



**irpi**



# LE MODIFICAZIONI CLIMATICHE E I RISCHI NATURALI

ATTI DELLE GIORNATE DI STUDIO

## IMPATTO DELLE MODIFICAZIONI CLIMATICHE SU RISCHI E RISORSE NATURALI

*Strategie e criteri d'intervento  
per l'adattamento e la mitigazione*



**Bari, 10/11 marzo 2011**

**Università degli Studi di Bari**  
AULA MAGNA DI SCIENZE DELLA TERRA

*Organizzato da*

*Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del CNR, Sede di Bari;  
International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG),  
Sezione Italiana, Commissione "Gli effetti delle modificazioni climatiche sui  
rischi naturali e sui criteri di progettazione degli interventi"*

*in collaborazione con*

*Associazione Italiana di Geologia Applicata e Ambientale (AIGA)*

## **LE MODIFICAZIONI CLIMATICHE E I RISCHI NATURALI**

**ATTI DELLE GIORNATE DI STUDIO**

### **IMPATTO DELLE MODIFICAZIONI CLIMATICHE SU RISCHI E RISORSE NATURALI**

*Strategie e criteri d'intervento  
per l'adattamento e la mitigazione*

*Edito da Maurizio Polemio*

## **Giornate di Studio**

### **Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali. Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione**

#### COMITATO SCIENTIFICO

Giuseppe Baldassarre, Marcello Benedini, Paolo Canuti, Claudio Cherubini, Marta Chiarle, Antonio Rosario Di Santo, Walter Dragoni, Francesco Gentile, Fausto Guzzetti, Luciano Masciocco, Teresa Nanni, Olga Petrucci, Maurizio Polemio, Antonello Provenzale, Giuseppe Scarascia Mugnozza, Lucio Ubertini, Massimo Veltri, Pasquale Versace

#### RESPONSABILE ORGANIZZATIVO

Maurizio Polemio

#### COMITATO ORGANIZZATORE

Alessia Basso, Tiziana Bisantino, Vittoria Dragone, Giovanni Filograsso, Luciana Giornetti, Candida Giovannelli, Pier Paolo Limoni, Teresa Lonigro, Annarita Romanazzi

## Edito da Maurizio Polemio

Impaginazione e grafica: Alessia Basso, Vittoria Dragone, Teresa Lonigro

Divulgazione e pubblicazione su web: Vittoria Dragone

Revisione scientifica: ogni articolo pubblicato in questo libro è stato soggetto alla revisione di uno o più referee, selezionato in base alle proprie competenze tra gli esperti del Comitato Scientifico, con il contributo ulteriore di Giovanni Mortara e Piernicola Lollino

Anno di pubblicazione: 2011

Editore: Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Sede di Bari, del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Per comunicazioni: CNR IRPI, UOS di Bari, Via Amendola 122/I, 70126 Bari (Ba), Italia; tel. (+39) 0805929584; fax (+39) 0805929610; email [m.polemio@ba.irpi.cnr.it](mailto:m.polemio@ba.irpi.cnr.it)

**ISBN: 9788890508806**

Si segnala che chiunque ha facoltà di usare liberamente il libro e/o ciascun articolo purché: gli stessi siano compiutamente citati, sia escluso qualsiasi uso commerciale e non siano in alcun modo modificati. Si precisa che il libro e ciascun articolo, inclusi tutti i materiali pubblicati in insieme agli stessi, possono essere distribuiti esclusivamente sotto la Creative Commons Attribution 3.0 License, perennemente consultabile alla pagina web: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>. L'editore e gli autori si riservano ogni altro diritto di utilizzo del libro e di ciascun articolo.

Si raccomanda che il riferimento a questo libro o a un articolo di questo sia rispettivamente riportato nelle seguenti modalità:

Polemio M. (Ed.) 2011. Le modificazioni climatiche e i rischi naturali. CNR IRPI, Bari, pp. 222 + X.

Petrucchi O., Polemio M., Pasqua, A.A. 2011. Eventi idrogeologici dannosi in Calabria nel periodo 1981-1990. In: Le modificazioni climatiche e i rischi naturali, Polemio M. (Ed.), CNR IRPI, Bari, 77-80.



# INTRODUZIONE

FAUSTO GUZZETTI, MAURIZIO POLEMIO  
Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI)

Nel corso del ventesimo secolo si è osservata una tendenza generalizzata al riscaldamento e, nella porzione a media-alta latitudine dell'emisfero settentrionale, un aumento dell'uno per cento per decennio delle precipitazioni meteoriche, unitamente a incrementi contenuti, ma non nulli, della frequenza degli eventi di precipitazione intensa. In Europa, la distribuzione stagionale della piovosità è variata per una maggior frequenza di stagioni invernali particolarmente umide. Gli effetti descritti risultano variabili da regione a regione, anche a scala europea: decrescono e localmente si invertono procedendo dall'Europa settentrionale verso il bacino del Mediterraneo. Nell'area Mediterranea, come nel territorio nazionale, si osservano tendenze climatiche diverse. A prescindere dal segno delle variazioni e dall'estensione delle aree coinvolte, negli ultimi decenni sono state osservate modificazioni sostanziali della temperatura e delle precipitazioni.

È legittimo chiedersi quali siano stati gli effetti di tali modificazioni e quali saranno nel futuro prossimo se gli scenari climatici previsionali, che nel complesso non segnalano inversioni delle tendenze, si avvereranno. La valutazione degli effetti dei cambiamenti della temperatura e delle precipitazioni sul ciclo idrologico è particolarmente complessa, in particolare se si fa riferimento agli effetti delle variazioni dei valori estremi delle precipitazioni di diversa durata in termini di deflusso e di infiltrazione. Non vi è però dubbio che le variazioni tendenziali delle precipitazioni efficaci condizionino la distribuzione spaziale, la frequenza, la tipologia e le caratteristiche dei fenomeni di instabilità geo-idrologica.

La conoscenza dei cambiamenti climatici in atto e delle relative tendenze costituisce uno strumento fondamentale per studiare e comprendere la ricorrenza dei fenomeni geo-idrologici, e in particolare di quelli potenzialmente catastrofici, fra i quali principalmente piene e frane. La conoscenza dei cambiamenti climatici è anche importante per la comprensione della stabilità degli ambienti glaciali e periglaciali, per caratterizzare la frequenza e l'intensità delle siccità, per la valutazione delle disponibilità delle risorse idriche, anche in termini qualitativi, come nel caso di quelle sotterranee esposte al rischio di intrusione marina, nonché per valutare gli effetti complessivi sulla conservazione degli ecosistemi. Queste temi devono essere affrontati con un approccio olistico, che comprenda la raccolta e l'analisi statistica dei dati nonché lo sviluppo e l'utilizzo di scenari climatici a scala continentale e delle relative procedure di *downscaling*.

I cambiamenti climatici e le complesse problematiche ad essi associate richiederanno sempre più spesso la progettazione di specifici interventi di adattamento e mitigazione sia per la realizzazione di opere sia per l'attuazione di politiche di gestione del territorio e degli ambienti naturali. Tali interventi dovranno essere ispirati a criteri di progettazione che tengano conto della variabilità, dell'incertezza e delle tendenze climatiche in atto.

Dalla volontà di approfondire tali riflessioni è nata l'idea di organizzare le Giornate di Studio "Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali. Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione". Le riflessioni hanno anche ispirato numerosi quesiti, riassumibili nella seguente domanda. Quali saranno gli effetti dei cambiamenti climatici sulle condizioni di rischio geo-idrologico, sulla stabilità degli ambienti glaciali e sulla disponibilità di risorse idriche?

Esiste una percezione diffusa dell'esistenza del cambiamento climatico e che esso si sostanzia in un riscaldamento globale associato al progressivo verificarsi di sempre più intensi e/o frequenti fenomeni geo-idrologici catastrofici. Tuttavia, non sempre e non ovunque esistono studi di dettaglio che confermino le previsioni o le percezioni. Se ci si limita ai risultati conseguiti attraverso l'applicazione di un rigoroso metodo scientifico, non sempre le risposte sono disponibili per ogni dove, con sufficiente accuratezza. Vi è tuttavia un generale consenso sulla complessità delle ricerche, sui problemi connessi all'accuratezza delle previsioni a medio-lungo termine, e sulla difficoltà di costituire banche dati di qualità e di estensione temporale e geografica idonee.

Le riflessioni sono anche coerenti con le finalità ambientali del 7° Programma Quadro della Commissione Europea. A scala europea, le conoscenze sul cambiamento climatico influiranno sempre di più sui processi decisionali (politici, sociali e economici), a diverse scale temporali e geografiche. L'attenzione è orientata a sviluppare nuove capacità d'analisi degli effetti dei cambiamenti, delle nuove tecnologie e delle pratiche innovative in grado di mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici. Se è vero che questi sforzi attiveranno competenze e approcci diversi, è altrettanto vero che tutte le ricerche finiranno per prestare particolare attenzione alle modificazioni del ciclo idrologico e alle conseguenze di tali modificazioni. La comunità scientifica nazionale, come anche attestato da questo Volume, sta fornendo un quadro di conoscenze coerente con le finalità perseguite dai propositi di ricerca europea. Una molteplicità di competenze, applicando diverse metodologie, ha fornito un quadro utile a caratterizzare interessanti previsioni in merito agli effetti dei cambiamenti climatici.

I lavori pubblicati nel Volume forniscono risultati scientifici interessanti, che si potrebbero definire, in estrema sintesi, di diverso segno. A seconda della tematica e dell'area geografica studiata, le valutazioni degli effetti dei cambiamenti climatici risultano essere negative o catastrofiche, ma anche foriere di un miglioramento delle condizioni di rischio. Molti dei cinquantacinque contributi evidenziano come il fattore chiave non sia dovuto tanto ai cambiamenti climatici quanto alle modificazioni antropiche. In molti casi è l'effetto antropico, in termini di utilizzo delle risorse naturali e di uso del suolo, il fattore che meglio spiega i cambiamenti nella ricorrenza di eventi catastrofici di tipo geo-idrologico e la degradazione quantitativa e qualitativa delle risorse naturali.

Nel prossimo futuro dovremo aumentare le nostre conoscenze e le nostre capacità predittive degli effetti combinati delle modificazioni climatiche e antropiche in atto. Questo volume e l'evento che lo ha ispirato sono un contributo in questa direzione.



# INDICE

INTRODUZIONE	v
Cassardo C., Vela N., Galli M. <i>Variazione delle componenti del bilancio idrologico nel clima futuro</i>	1
Meisina C. <i>Mappatura di terreni soggetti a variazioni di volume connesse a fenomeni di siccità</i>	5
De Paola F., Ducci D., Giugni M. <i>La definizione delle aree sensibili alla desertificazione (ESAS) nel bacino del fiume Tusciano</i>	9
Polemio M., Lonigro T. <i>Variabilità climatica e ricorrenza delle calamità idrogeologiche in Puglia</i>	13
Fiorillo F., Guadagno F. M. <i>Trend and fluctuations in the long karst spring discharge series</i>	17
Dogliani A. <i>Impatto delle variazioni climatiche di piccola scala sugli acquiferi della Puglia Meridionale</i>	21
Giglio L., Lopez R., Charfeddine M., Ventrella D., Moriondo M. <i>Analisi spazio-temporale dei cambiamenti climatici sulle produzioni di frumento duro in Puglia</i>	25
Sollitto D., Sollitto D. <i>Caratterizzazione idrochimica e idrodinamica delle sorgenti idriche nel territorio di Vieste (FG)</i>	29
Castrignanò A., De Benedetto D., Girone G., Sollitto D. <i>Studio dei caratteri idrochimici dell'acquifero carsico della Murgia mediante tecniche geostatistiche multivariate</i>	33
Aureli A., Dipasquale M. <i>Gli effetti del biennio di siccità 2001-02 sui punti d'acqua del bacino idrogeologico Anapo-Cavadonna</i>	37
Ferrara R.M., Rana G. <i>Cambiamenti climatici e produzione del grano in aree marginali: effetti della topografia</i>	41
Lopez N. <i>Studio idrogeologico delle falde superficiali nelle doline del territorio di Conversano (Puglia – Italia)</i>	45
Aureli A., Di Pasquale M. <i>Sorgente Aretusa effetti di un evento pluviometrico eccezionale</i>	49
Bassi M., Colombino G., Cremonini R., Masciocco L. <i>Analisi delle piogge intense in Piemonte</i>	53
Brunetti M., Caloiero T., Coscarelli R., Gullà G., Nanni T., Simolo C. <i>Trend delle precipitazioni giornaliere estreme in Calabria</i>	57
Meisina C., Visconti L., Zizioli D. <i>Shallow landslides triggered by heavy rainfalls in Oltrepo Pavese (Northern Italy)</i>	61
Morra di Cella U., Letey S., Pogliotti P., Curtaz M., Cremonese E., Vagliasindi M. <i>Nuovo catasto dei rock glacier della Valle d'Aosta</i>	65
Giachetta E., Capolongo D., Refice A. <i>Il ruolo delle variazioni climatiche sull'evoluzione del paesaggio. Un approccio numerico</i>	69

Murgese D., Fontan D., Dematteis N., Filippi M.L., Dematteis A. <i>Valutazione del rischio da colate detritiche nell'ambito della pianificazione territoriale alla luce dei dati previsionali dei modelli climatici</i>	73
Petrucci O., Polemio M., Pasqua A. A. <i>Eventi Idrogeologici Dannosi in Calabria nel periodo 1981 – 1990</i>	77
Cirillo C. , Calandrelli M.M., Acampora G., Calandrelli R., Scarpa L. <i>La dimensione ambientale nei processi di pianificazione territoriale</i>	81
Refice A., Adamo M., Balenzano A., Belmonte A., Biagi B., Blonda P., Bovenga F., Giacobazzo V.M., Lovergine F., Mattia F., Pasquariello G., Satalino G., Tarantino C., Veneziani N. <i>Monitoraggio del territorio: il potenziale del telerilevamento</i>	85
Gioia D., Gallicchio S., Moretti M., Sabato L., Tropeano M. <i>Studio geologico e geomorfologico del reticolo idrografico del settore pugliese del subappennino Dauno e dell'adiacente Tavoliere di Puglia (provincia di Foggia, Italia meridionale)</i>	89
Brussolo E., von Hardenberg J., Provenzale A., Rebora N. <i>Disaggregazione stocastica</i>	93
Brocca L., Camici S., Tarpanelli A., Melone F., Moramarco T. <i>Analisi degli effetti dei cambiamenti climatici sulla frequenza delle piene mediante modellistica idrologica in continuo</i>	97
De Paola F., Ranucci A. <i>La distribuzione spaziale della pioggia e della temperatura negli USA</i>	101
Dematteis A., Filippi M. L., Dematteis N., Murgese D. <i>Scenari di cambiamento climatico locale a medio termine (50 anni) e possibili ricadute sui progetti mini idroelettrici</i>	105
Bertotto S., Fioraso G., Giardino M., Nigrelli G., Perotti L., Sanchez Palomo E., Chiarle M. <i>Effetti del cambiamento climatico sui ghiacciai delle alpi occidentali. Rischi associati e nuove metodologie `indagine</i>	109
Preziosi E., Del Bon A., Petrangeli A., Romano E. <i>Vulnerabilità dei sistemi idrici e mitigazione degli eventi di siccità nel bacino del Tevere</i>	113
Calzolari C., Ungaro F. <i>Previsione dell'andamento temporale della profondità della falda ipodermica nei suoli della pianura emiliano-romagnola</i>	117
Rapti-Caputo D., Caputo R. <i>Some remarks on water resources degradation and ground fissures formation in Thessaly, Greece</i>	121
Doglioni A., Simeone V. <i>Modellazione data driven della risposta alle precipitazioni di acquiferi carsici e porosi pugliesi</i>	125
Romano E., Preziosi E., Petrangeli A. B. <i>Analisi di ciclicità e trend nelle precipitazioni nel bacino del Tevere (1917-2008)</i>	129
Mastrorilli M., Campi P., Palumbo A. D., Vitale D. <i>Variabilità climatica e consumi irrigui nel Tavoliere di Puglia</i>	133
La Vigna F. <i>Modello numerico del sistema idrogeologico delle acque Albule (Roma): test di simulazione in condizioni critiche di ricarica</i>	137

D'Amato Avanzi G., Galanti Y., Giannecchini R., Mariotti S. <i>Gli eventi del Dicembre 2009 nell'Appennino Pistoiese: fenomeni meteorici ed effetti indotti</i>	141
Scalcione E., Stelluti M., Cardinale N. <i>Studio della variabilità spaziale e interpolazione dei dati pluviometrici della Basilicata secondo le moderne tecniche di elaborazione geostatistica</i>	145
Tropeano M., Cilumbriello A., Sabato L., Andriani G.F., Gallicchio S., Grippa A., Rossi C., Spilotro G., Walsh N. <i>Stratigrafia e idrostratigrafia preliminare del sottosuolo della piana costiera meta pontina (Basilicata Italia meridionale)</i>	149
D'Amato Avanzi G., Galanti Y., Giannecchini R. <i>Le aree d'innescio delle frane superficiali rapide: un caso di studio in Toscana Settentrionale</i>	153
Coviello V., Arattano M., Chiarle M., Mortara G., Occhiena C., Pirulli M., Scavia C. <i>Impatto dei cambiamenti climatici sulla degradazione del permafrost alpino. Studio dell'instabilità di pareti rocciose d'alta quota attraverso l'analisi di emissioni acustiche al sito sperimentale della Capanna Carrel (3829 m s.l.m.), Monte Cervino</i>	157
Sabato L., Tropeano M. <i>Alluvial sedimentology as a tool to recognize main flood events and climatic changes in absence of historic records: examples from fumara streams (Calabria, southern Italy)</i>	161
Cuculo F., Di Ludovico A., di Niro A., Giancola M., Izzo M.P., Urciuoli D. <i>Interpretazione dell'evoluzione quaternaria del Fiume Fortore nella pianificazione delle risorse idriche</i>	165
Parise M., Caloi V., Galeazzi C., Germani C., Sammarco M. <i>Alla ricerca dell'acqua perduta: gli antichi acquedotti sotterranei</i>	169
Capriolo A., Giordano F., Mascolo R.A., Spizzichino D. <i>Climate change and adaptation policies in the euro mediterranean area: proposed strategies in the life act (Adapting to Climate change in Time) project</i>	173
Baldassarre G., Ouechtati S. <i>Contributo del T. Cannapale all'interrimento della diga Camastra (prov. di Potenza) e impatto dei cambiamenti climatici sui fenomeni erosivi in atto</i>	177
Amoruso G., Tedeschi G., Corbino R., Intini F. <i>Il monitoraggio meteoclimatico finalizzato ad attività di protezione civile (previsione, prevenzione e allertamento) nel tempo reale e ad attività di pianificazione nel tempo differito</i>	181
Camera C., Apuani T., Masetti M. <i>Relazioni tra precipitazioni e sviluppo di falde sospese in versanti terrazzati</i>	185
Provenzale A. <i>The Ev-K2-CNR SHARE project PAPRIKA-Karakorum: Cryospheric responses to Anthropogenic Pressures in the Hindu Kush-Karakoram-Himalaya regions: impacts on water resources and Availability</i>	189
Perini L., Bajocco S., Ceccarelli T., Zitti M., Salvati L. <i>An objective approach to land vulnerability assessment</i>	193
Lazzari S. <i>Sistemi tecnologici avanzati per il controllo e la mitigazione dei rischi ambientali</i>	197
Polemio M., Dragone V., Limoni P.P. <i>La disponibilità di acque sotterranee in Puglia</i>	201

Camici S., Romano E., Preziosi E., Tarpanelli A., Brocca L., Melone F., Moramarco T. <i>Analisi di trend e ciclicità di serie storiche pluviometriche per la modellazione stocastica di scenari di precipitazione in condizioni di cambiamenti climatici</i>	205
Ventrella D., Charfeddine M., Rinaldi M. <i>Il Progetto FISR Climesco: adattamento agronomico ai cambiamenti climatici per frumento duro e pomodoro in ambiente Mediterraneo</i>	209
Polemio M., V. Dragone, D. Casarano, A. Basso, M. Brunetti, M. Maugeri, T. Nanni, C. Simolo <i>Cambiamenti climatici e disponibilità di acque superficiali e sotterranee: trend in atto e previsioni</i>	213
Viterbo A., Berni N., Natazzi L., Pandolfo C., Stelluti M. <i>Valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici nella gestione delle risorse idriche: esperienze della regione Umbria nell'ambito del progetto "Secli" – risultati preliminari</i>	217
Indice Autori	221

# VARIAZIONE DELLE COMPONENTI DEL BILANCIO IDROLOGICO NEL CLIMA FUTURO

CASSARDO CLAUDIO<sup>1</sup>, VELA NAIMA<sup>1</sup>, GALLI MARCO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica, Università di Torino, Torino, Italia, claudio.cassardo@unito.it

## RIASSUNTO

Diversi studi hanno mostrato le conseguenze dei cambiamenti climatici dedotti dalle proiezioni per la fine del secolo a livello di temperature e precipitazioni. Questo studio, condotto attraverso una catena di simulazioni modellistiche culminata nell'uso di un modello di Land Surface (UTOPIA) guidato dai dati di un modello regionale di clima (RegCM3), evidenzia come anche gli andamenti medi annui delle componenti del bilancio idrologico sembrano mostrare variazioni rilevanti nel clima futuro, potenzialmente in grado di ripercuotersi negativamente sull'agricoltura e sulle altre attività umane. La maggiore frequenza delle precipitazioni piovose invernali future si rifletterà in un deflusso maggiore e più distribuito d'inverno e in primavera. Le minori precipitazioni e maggiori temperature registrate d'estate causeranno un bilancio idrologico deficitario, con umidità del suolo inferiori e situazioni siccitose potenzialmente più frequenti. Anche le maggiori precipitazioni autunnali, d'altra parte, potrebbero riflettersi in un aumento delle situazioni potenzialmente alluvionali. Questi dati, molto evidenti per lo scenario A2, lo sono anche per lo scenario B2, più moderato per quanto riguarda le emissioni di CO<sub>2</sub>, e sembrerebbero quindi rappresentare un denominatore comune associato ai cambiamenti climatici attesi nel futuro.

**Parole chiave:** bilancio idrologico, siccità, neve

## INTRODUZIONE

Solo negli ultimi anni la comunità scientifica ha riconosciuto che i processi fisici all'interfaccia dell'atmosfera con la superficie terrestre (strato superficiale) sono una componente chiave del sistema climatico. Infatti, valori leggermente diversi di alcuni parametri, come umidità e temperatura del suolo, possono influire sulla stabilità dell'intera troposfera, la quale influenza i fenomeni convettivi che regolano la formazione di nubi e precipitazioni. In generale, il suolo agisce in due modi sul sistema climatico: ripartisce la radiazione netta in flusso di calore sensibile e latente, e flusso conduttivo nel suolo, e ridistribuisce l'acqua precipitata in evapotraspirazione, deflusso superficiale (runoff) e drenaggio gravitazionale, regolando l'umidità del terreno.

Nonostante l'importanza di tali variabili fisiche, esistono pochissime campagne di misure sperimentali estensive a loro dedicate, per cui risulta molto difficile valutare i bilanci energetico ed idrologico a grande scala e su tempi lunghi. Per questo motivo, è stata recentemente proposta una metodologia, chiamata CLIPS (CLImatologia dei Parametri Superficiali) (Cassardo et alii 1997), secondo la quale alcuni parametri rilevanti nello strato superficiale vengono stimati alla mesoscala usando un modello fidato di tipo SVATs (Soil Vegetation Atmosphere Transfer scheme) come surrogato delle osservazioni mancanti. Tale modello è o guidato da osservazioni meteorologiche tradizionali (temperatura, pressione, umidità, precipitazione, intensità del vento, radiazione solare) oppure, come in questo studio, dalle uscite di un modello climatico (Cassardo et alii 2009).

## DESCRIZIONE DELLO STUDIO

L'obiettivo è valutare le componenti del bilancio idrologico nella zona Alpina e gli effetti del cambiamento climatico su tali valori. Sono stati analizzati due trentenni: il primo, 1961-1990, è comunemente usato in molti studi climatici di confronto tra clima presente e futuro; l'altro, 2071-2100, è riferito a due scenari di emissione (A2 e B2) menzionati nel IV rapporto dell'IPCC (Nakicenovic & Swart 2001).

Il modello climatico regionale usato è stato il RegCM3 (sviluppato presso l'ICTP di Trieste), di cui sono stati usati i dati relativi alla simulazione di RegCM3 (Giorgi et alii 2004,- Elguindi et alii 2007) descritta

sul rapporto finale del progetto PRUDENCE, ed è stato scelto poiché possiede una delle maggiori risoluzioni esistenti (Christensen 2005). Lo SVATs utilizzato è stato UTOPIA (University of Torino model of land Process Interaction with Atmosphere) (Loglisci et alii 2001, Cassardo 2006), che studi precedenti hanno rivelato essere in grado di descrivere con accuratezza i bilanci energetico ed idrologico in diverse zone climatiche (si veda ad es. Cassardo et alii 1997 per una rassegna). Il dominio scelto, l'area rettangolare compresa tra i meridiani 5°E e 18°E ed i paralleli 43°N e 48°N, include gran parte della regione Alpina (che sta già rispondendo in maniera maggiore al riscaldamento climatico in atto) e la pianura padana, con 720 punti griglia su terra, distanti in media circa 20 km. La tipologia di vegetazione è decisa a partire da variabili estrapolate dal dataset ECOCLIMAP (Masson et alii 2001) e ricondotte alle categorie del database Wilson and Henderson-Sellers (Wilson et alii 1978). Su ciascuno dei punti sono state condotte le simulazioni con UTOPIA nei due periodi, identificati rispettivamente come clima presente (*Control*) e clima futuro (A2 e B2). I punti griglia sono stati suddivisi secondo le tipologie di vegetazione, ed in base alla loro quota.

Si presentano qui i risultati per due tipologie di vegetazione (Fig. 1): la più diffusa sul territorio considerato, *Mixed woodland*, e quella maggiormente presente in pianura padana, *Crops/Mixed farming*.

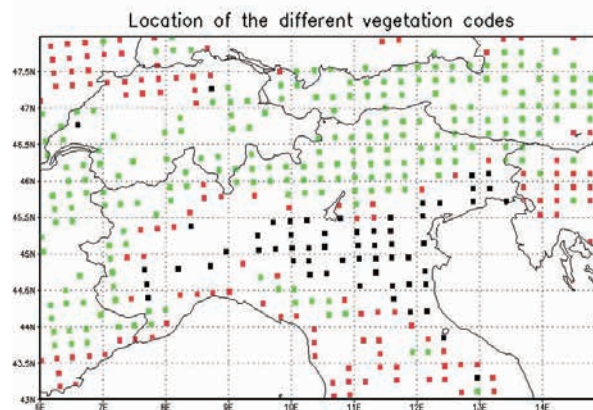


Figura 1- Collocazione dei punti griglia utilizzati: NERO= Crops/Mixed farming (sotto i 700m a.s.l.), ROSSO=Mixed woodland (sotto i 700m a.s.l.), VERDE=Mixed woodland (sopra i 700m a.s.l.).

## ANALISI DEI RISULTATI

Per esigenze di spazio, si riportano qui soltanto i risultati riguardanti lo scenario A2, in quanto quelli relativi al B2 si situano in posizione intermedia tra l'A2 ed il *Control*. I grafici rappresentano l'andamento annuo delle componenti del bilancio idrologico, mediate su tutti i punti griglia appartenenti ad una determinata classe di vegetazione (suddivisi sopra e sotto i 700 m sul livello del mare) e sul trentennio. La Figura 2 mostra il bilancio idrologico relativo al clima presente e futuro per *Mixed woodland* in pianura. Si nota un periodo di siccità estiva molto più pronunciato nel clima futuro, dovuto alla forte diminuzione delle piogge ed all'aumento dell'evaporazione dovuto alle temperature medie più elevate, ed una diminuzione delle precipitazioni nel periodo invernale. Nei punti griglia in quota (Fig. 3), nel clima futuro compare un breve periodo estivo in cui l'evaporazione supera le precipitazioni. Inoltre, varia la distribuzione del deflusso superficiale in inverno e primavera: nel clima presente c'è un picco primaverile, dovuto alla fusione del manto nevoso invernale, mentre nel clima futuro è pressoché uniforme su tutto il periodo, segno che le precipitazioni invernali, oltre che diminuire, vedono una diminuzione della componente nevosa a favore di quella piovosa.

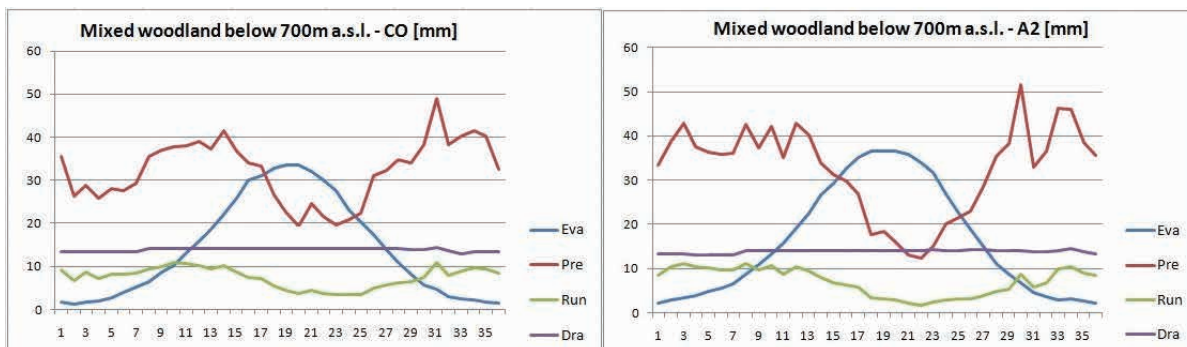


Figura 2 – Bilancio idrico annuo per la tipologia di vegetazione “Mixed woodland” al di sotto dei 700m sul livello del mare. [Eva=Evaporazione; Pre=Precipitazioni; Run= Deflusso superficiale (Runoff); Dra=Deflusso superficiale (Drainage)]

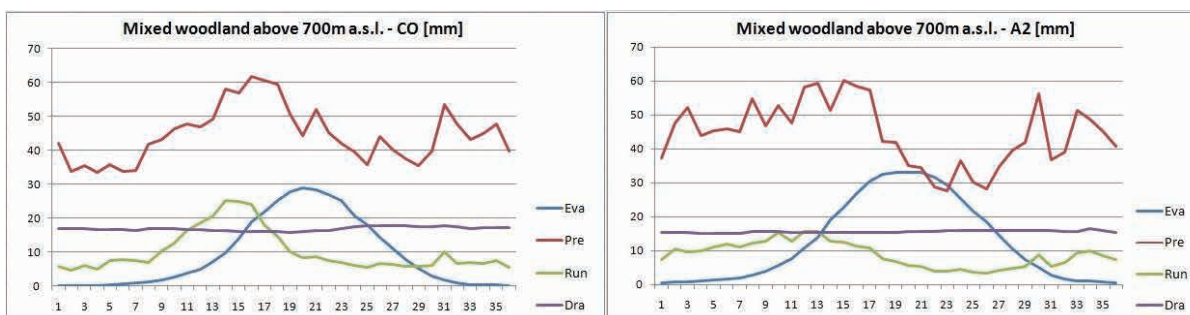


Figura 3 – Bilancio idrico annuo per la tipologia di vegetazione “Mixed woodland” al di sopra dei 700m sul livello del mare.

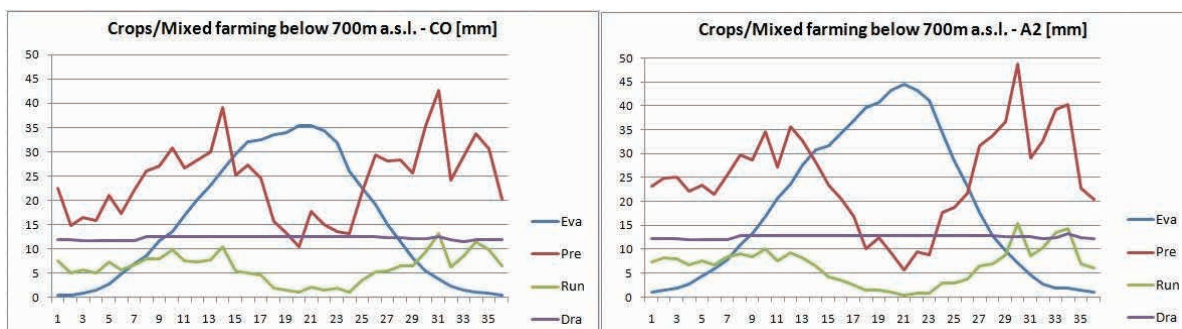


Figura 4 – Bilancio idrico annuo per la tipologia di vegetazione “Crops/Mixed farming”.

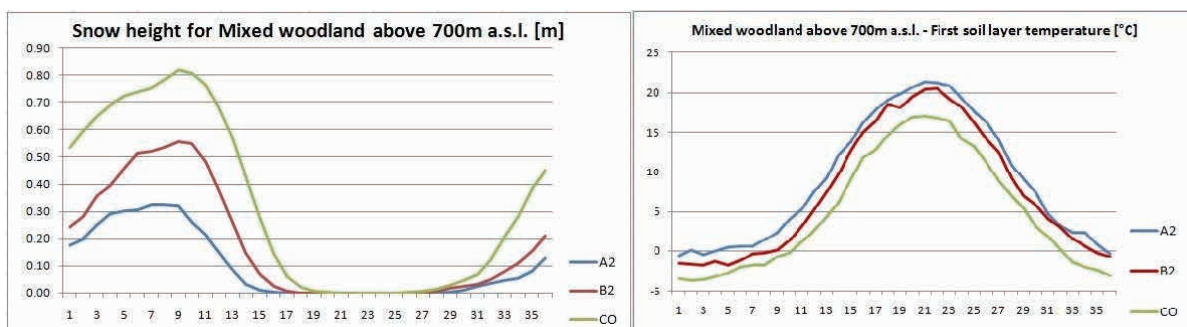


Figura 5 – Andamento dell’altezza del manto nevoso e della temperatura del primo strato di suolo per i tre scenari analizzati.

Per quanto riguarda la tipologia *Crops/Mixed farming*, che ricopre la quasi totalità della pianura padana, il periodo siccitoso nei mesi caldi si allunga da 100 a 130 giorni e si approfondisce (Fig. 4), a causa della forte diminuzione delle precipitazioni e dell’altrettanto intenso aumento dell’evaporazione dovuto alle temperature significativamente più elevate, annullando praticamente il deflusso superficiale. Aumentano invece le precipitazioni nel periodo invernale, con relativo aumento del deflusso superficiale (indice del carattere principalmente piovoso delle stesse), e questo dato è rilevante per i possibili risvolti sulla frequenza degli episodi alluvionali.

La Figura 5 (relativa ai punti griglia con vegetazione *Mixed woodland*) mostra come le precipitazioni nevose diminuiscano sensibilmente d'inverno, con un'altezza minima associata allo scenario A2 (in questo caso sono mostrati anche i risultati relativi allo scenario B2, in quanto la differenza con l'A2 è evidente), in piena correlazione con i valori della temperatura del primo strato di suolo (spesso 5 cm), costantemente maggiore (tra 4°C e 5°C) per gli scenari futuri rispetto al clima presente.

## CONCLUSIONI

Premesso che le considerazioni emergenti da questo studio sono basate su simulazioni condotte con un modello (UTOPIA) inizializzato con le uscite di un altro modello (RegCM3), a sua volta inizializzato con le uscite di un ulteriore modello globale, e non possono quindi prescindere dalle incertezze insite nei modelli stessi e nella procedura usata, i principali risultati possono essere così riassunti.

Le zone montuose appaiono mostrare una consistente diminuzione delle precipitazioni nevose d'inverno, a favore delle precipitazioni piovose, generando una redistribuzione del deflusso superficiale in modo più uniforme sui mesi invernali e primaverili. La conseguenza appare essere una diminuzione della quantità di acqua disponibile all'approssimarsi dell'estate, poiché la pioggia, nel clima futuro, sarà immediatamente trasportata a valle dai fiumi, mentre nel clima presente viene trattenuta in quota nel manto nevoso. D'estate si evidenzia, invece, un aumento del periodo siccitoso in pianura, sia come intensità che come durata. L'aumento delle precipitazioni autunnali lungo il bacino del Po, in un periodo in cui il suolo già nel clima presente si umidifica rapidamente, favorendo la crescita del deflusso superficiale, appare preoccupante a causa delle possibili ricadute sull'ingrossamento eccessivo dei corsi d'acqua ed il rischio di esondazioni e comparsa di situazioni di pericolo. Le analisi riguardanti lo scenario B2, non mostrate qui per esigenze di spazio, appaiono evidenziare gli stessi fenomeni mostrati dallo scenario A2, ma con valori numerici inferiori.

## BIBLIOGRAFIA

- Cassardo, C., Ruti, P.M., Cacciamani, C., Longhetto, A., Paccagnella, T., and Bargagli, A. (1997). *Clips experiment. First step: model intercomparison and validation against experimental data*. MAP Newsletters, 7, 74 – 75.
- Chang, S.K., and Kim, J. (2000). *Monsoon Season in Korea*. J. Hydrometeor., 10, 1379-1396.
- Cassardo, C., Park, S.K., Thakuri, B.M., Priolo, D., Zhang, Y. (2009) *Soil Surface Energy and Water Budgets during*
- Nakicenovic, N., and Swart, R. (2001). *Special report on emissions scenarios: a special report of working group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Giorgi, F., Bi, X., Qian, Y., and Pal, J.S. (2004a). *Mean, interannual variability and trends in a regional climate experiment over Europe.II: climate change scenarios (2071-2100)*. Climatic Dynamics, 22, 733-756.
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., and Zakery, A. (2007). *RegCM3.1 user's guide*. Technical report, ICTP.
- Christensen, J.H. (2005). *PRUDENCE final report*. <http://prudence.dmi.dk>
- Loglisci, N., Cassardo, C., Balsamo, G.P., and Qian, M.W. (2001a). *A technical description of the land surface process model (LSPM version 2000)*. Technical report, CSI, Sala Situazione Rischi Naturali, Corso Unione Sovietica 216 - 10134 Torino - Italy.
- Cassardo, C. (2006). *The land surface process model (LSPM) version 2006*. Technical Report DFG Report 01/2006 Dipartimento di Fisica Generale Amedeo Avogadro, Via Pietro Giuria 1 – 10125 Torino - Italy.
- Masson, V., Champeaux, J.L., Chauvin, F., Meriguet, C., and Lacaze, R. (2001). *A global database of land surface parameters at 1Km resolution in meteorological and climate models*. Journal of Climate, 16, 9, 1261-1282.
- Wilson, M.F., and Henderson-Sellers, A. (1978). *A global archive of land cover and soils data for use in general circulation climate models*. Journal of Climatology, 5, 119-143.



# MAPPATURA DI TERRENI SOGGETTI A VARIAZIONI DI VOLUME CONNESSE A FENOMENI DI SICCIITÀ

MEISINA CLAUDIA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia, Pavia, Italia, claudia.meisina@unipv.it

## RIASSUNTO

L'articolo presenta una metodologia di identificazione dei terreni soggetti a variazioni di volume e di valutazione della suscettibilità al ritiro-rigonfiamento messa a punto e validata in Oltrepo Pavese dove il fenomeno interessa principalmente i terreni alluvionali della Pianura e le coltri eluvio-colluviali dell'Appennino Pavese.

**Parole chiave:** reti neurali artificiali, suscettibilità al ritiro-rigonfiamento, terreni argillosi.

## INTRODUZIONE

I cambiamenti climatici globali hanno portato alla ricorrenza sempre più frequente di periodi caratterizzati da scarse precipitazioni, seguiti da periodi piovosi, quali gli anni 1989-1993, 1997-2000 e 2003. Gli effetti di tali periodi siccitosi sono evidenti in corrispondenza dei terreni argillosi soggetti a variazioni di volume che costituiscono il sedime di fondazione di edifici e infrastrutture, tanto da dar luogo al termine di "siccità geotecnica" (Blanchard et al. 2007).

La gravità del fenomeno, evidenziata dalla sue conseguenze economiche, rende necessario l'adozione di metodi di identificazione e mappatura dei terreni argillosi soggetti a variazioni di volume nell'ottica di un'adeguata pianificazione territoriale (Oteo et al. 1995; Vincent et al. 2007).

Lo scopo del lavoro è stata la messa a punto e la validazione di una metodologia di identificazione dei terreni soggetti a variazioni di volume e di valutazione della suscettibilità al ritiro-rigonfiamento in Oltrepo Pavese. In particolare sono stati applicati metodi innovativi basati sulle reti neurali artificiali per la valutazione dell'intensità del fenomeno.

## IDENTIFICAZIONE E MAPPATURA DI TERRENI SOGGETTI A RITIRO-RIGONFIAMENTO

L'area collinare dell'Oltrepo Pavese corrisponde al settore nord-occidentale dell'Appennino Settentrionale, costituito da successioni litostratigrafiche a dominante argillosa, ricoperte da coltri eluvio-colluviali di spessore variabile e a componente prevalentemente argillosa. L'area di pianura risulta costituita da una successione di depositi alluvionali quaternari, originati dall'attività deposizionale dei torrenti appenninici e del fiume Po. I terreni soggetti al ritiro-rigonfiamento possono essere suddivisi in tre tipologie (Fig.1A): terreni eluvio-colluviali (I), terreni alluvionali (II), terreni di origine eolica (III).

La metodologia messa a punto a scala 1:10.000 si è articolata in differenti fasi.

Nella prima fase sono state identificate delle unità di terreno omogenee affinché la loro suscettibilità al ritiro-rigonfiamento possa essere considerata identica (unità lito-tecniche). La base di partenza è costituita da una banca dati geotecnica messa a punto e implementata presso il Laboratorio di Geologia Applicata e di Geotecnica del Dipartimento di Scienze della Terra di Pavia e contenente informazioni su circa 1200 campioni, riguardanti: a) la profondità di prelievo; b) il tipo di terreno (depositi alluvionali e eluvio-colluviali, bedrock); c) le proprietà geotecniche (limiti di Atterberg, contenuto in argilla (C), valore al blu di metilene (VB), contenuto in acqua (w), densità secca ( $\gamma_d$ ), pressione interstiziale negativa o suzione (pF), pressione di rigonfiamento determinata tramite prova di rigonfiamento in parallelo su campione naturale (SP) e ricostituito con  $w=W_s$  (SPmax), variazione percentuale di volume determinato tramite prova di rigonfiamento in parallelo su campione naturale (S) e ricostituito con  $w=W_s$  (Smax)).

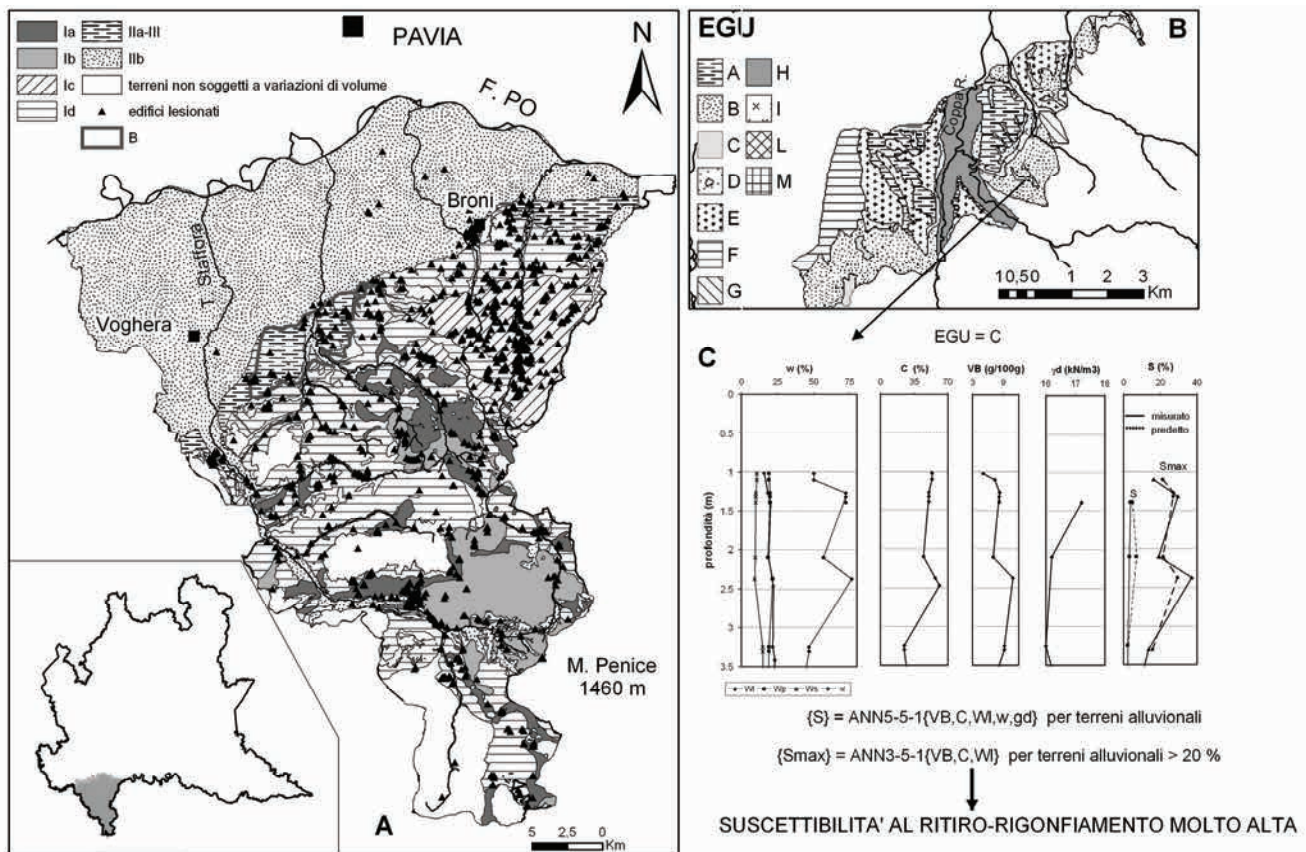


Figura 1 - Metodologia di valutazione della pericolosità al ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi. A. Tipologia di terreni soggetti al ritiro-rigonfiamento in Oltrepo Pavese. B. Carta delle unità lito-tecniche (1° step). A: argilla siltosa; B: limo argilloso; C: argilla; D: argilla siltosa con ciottoli; E: limo debolmente argilloso; F: limo sabbioso; G: limo argilloso con ciottoli; H: argilla sabbiosa; I: limo; L: limo argilloso con sabbia e ghiaia; M: sabbia e ghiaia. C. Valutazione della variazione percentuale di volume nella zona attiva mediante rete neurale artificiale (3° step).

Le prove penetrometriche statiche CPT, semplici e poco costose, hanno aiutato nella caratterizzazione geotecnica delle unità lito-tecniche.

Nella seconda fase per ogni unità lito-technica é stata valutata la zona attiva (spessore di terreno che é soggetto alle variazioni di umidità e quindi di volume in risposta al clima), per calcolare l'intensità e l'estensione del fenomeno, tramite differenti metodologie:

prove penetrometriche eseguite in differenti periodi dell'anno corrispondenti ad un periodo umido e ad uno secco. La differenza di resistenza penetrometrica  $q_c$ , osservata nel periodo asciutto sino ad una determinata profondità, è da imputarsi ai più elevati valori delle tensioni efficaci per effetto della minore saturazione del terreno sottoposto ai fenomeni di essiccamento ed evidenzia lo spessore della zona attiva.

profili di suzione con la profondità. La suzione è stata misurata in laboratorio con il metodo della carta da filtro (Chandler & Gutierrez 1986; Swarbrick 1995) su blocchetti di terreno indisturbato prelevati in diversi periodi dell'anno. Il principio su cui si basa il metodo è quello di determinare il contenuto in acqua di una carta da filtro (tipo Whatmann n°42) in equilibrio con il campione di terreno. Conoscendo la curva di ritenzione (curva di taratura) della carta da filtro è possibile, noto il suo contenuto di acqua risalire alla suzione della stessa che è anche quella del terreno esaminato.

La zona attiva ha spessori esigui per le formazioni argillose della zona collinare (0.5-0.8 m). In pianura essa raggiunge 1.7-2.8 m in presenza di vegetazione. In casi di periodi di siccità eccezionale, come l'estate del 2003, ha superato i 3 m.

La terza fase è consistita nella valutazione dell'intensità del fenomeno come pressione di rigonfiamento SP e/o variazione percentuale di volume S, determinate mediante le reti neurali artificiali. La rete neurale utilizzata è di tipo multi-layered feed-forward, ha un paradigma di apprendimento supervisionato

(backpropagation model) con una configurazione a tre strati. Il software relativo è stato messo a punto presso la Kansas State University (Najjar et al. 1996).

Sono stati selezionati due tipi di parametri di input:

proprietà indici (Wl, Wp, IP, VB, C): essi dipendono solo dalla natura del terreno, sono di facile determinazione in laboratorio (modelli semplici);

proprietà fisiche: w,  $\gamma_d$ , e pF che dipendono dalle condizioni in situ del terreno (modelli complessi).

La pressione di rigonfiamento naturale SP e massima SPmax e la percentuale di rigonfiamento naturale S e massima Smax rappresentano gli output delle reti neurali.

I dati geotecnici sono stati distinti in due data set in relazione all'origine dei terreni: a) depositi alluvionali presenti nel margine pedecollinare e nel settore di pianura dell'area di studio, b) bedrock e le relative coltri colluviali.

L'implementazione della rete è avvenuta in due fasi successive:

1° fase: è consistita nell'addestramento della rete in relazione alla base di dati che è stata immessa. Circa il 60 % dei dati a disposizione è stato scelto come training set. Attraverso la presentazione di un certo numero di esempi la rete sintetizza, utilizzando particolari algoritmi di calcolo, la conoscenza insita nelle associazioni di input e output. Il processo di apprendimento è stato ripetuto più volte al fine di selezionare la rete che ha mostrato un apprendimento migliore;

2° fase: valutazione dell'affidabilità del modello mediante l'applicazione della rete neurale ai dati del testing e validation set (dati non entrati nella procedura di addestramento della rete).

La rete neurale complessa che ha presentato la migliore performance è relativa ai depositi alluvionali e ha come parametri di input Wl, C, VB,  $\gamma_d$ , w e come output S; la rete neurale semplice con i migliori risultati è stata quella che ha come input VB, C, Wl e come output Smax.

Con la rete neurale messa a punto è stata determinata per ogni unità lito-tecnica la variazione percentuale di volume massima Smax che il terreno può sviluppare per lo spessore che corrisponde alla zona attiva (Fig.1C). Sulla base di Smax sono state individuate 5 classi di suscettibilità (Fig.2). Dalla figura 2 emerge una buona corrispondenza tra la concentrazione degli edifici lesionati e le classi di suscettibilità alta e molto alta.

## CONCLUSIONI

È stato messo a punto un metodo di determinazione della suscettibilità alle variazioni di volume dei terreni argillosi che prevede la definizione di unità omogenee del terreno dal punto di vista del ritiro-rigonfiamento (unità lito-tecniche), la misura della zona attiva e la determinazione della variazione percentuale di volume. Per la valutazione di quest'ultimo parametro è stato utilizzato un approccio basato sulle reti neurali artificiali. Queste ultime, rispetto ai metodi tradizionali statistici, hanno il vantaggio di considerare contemporaneamente più parametri che condizionano il fenomeno di ritiro-rigonfiamento. Una certa difficoltà è emersa nella determinazione dello spessore della zona attiva, per la cui misura è stata proposta una metodologia basata sull'esecuzione di prove penetrometriche in differenti periodi dell'anno.

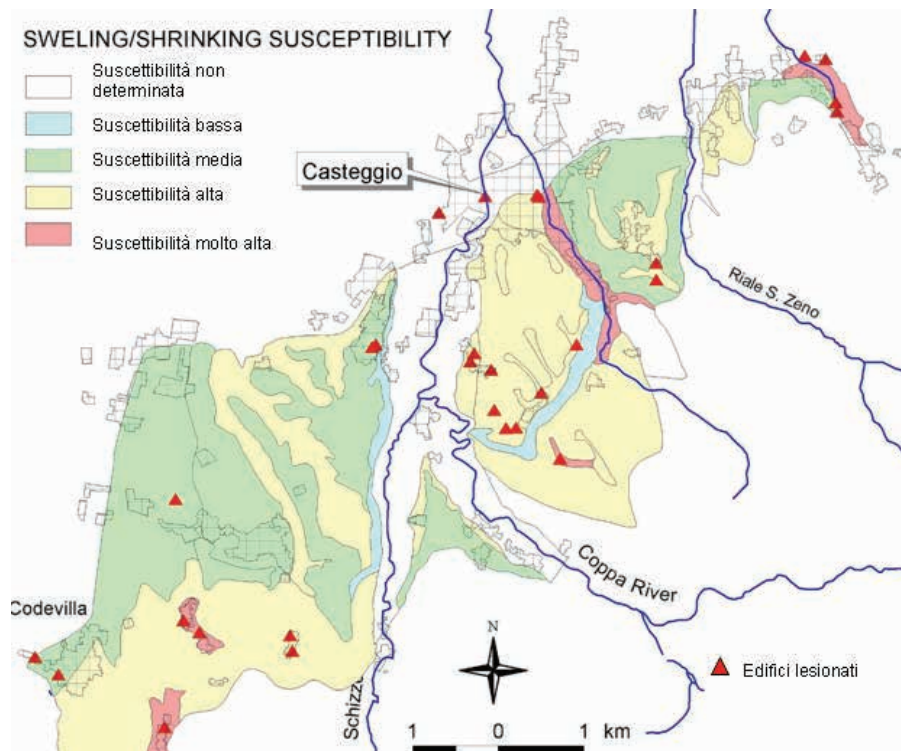


Figura 2 - Carta della suscettibilità al ritiro-rigonfiamento a scala 1:10.000 in un sito campione del settore orientale dell'Oltrepo Pavese

## BIBLIOGRAFIA

- Blanchard, M., Franchistéguy, L., Habets F., Martin, E., Noilhan, J., (2007). *Typologie des sécheresses sur la France et outils de suivi de la ressource en eau utilisés à météo-France*. Revue Française de Géotechnique, 120-121, 11-20.
- Chandler, R.J., Gutierrez, C.I., (1986). *The filter paper of suction measurement*. Géotechnique, 36 (2), 265-268.
- Ferretti, A, Prati, C., Rocca, F., (2001). *Permanent Scatterers InSAR Interferometry*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 39, 8-20.
- Najjar, Y. M., Basheer, I. A., McReynolds, R., (1996). *Neural Modeling of Kansas Soil Swelling*. Transportation Research Record, 1526, 14-19.
- Oteo, C.S., Salinas, J.L., Ayala, F.J., Ferrer, M., (1995). *Risk map for swelling of soils in Spain: results*. In: Alonso and Delage Eds., Proceedings of the First International Conference on Unsaturated Soils, Paris, 2, 915-920.
- Swarbrick, G.E., (1995). *Measurement of soil suction using the filter paper method*. In: Alonso and Delage Eds., Proceedings of the First International Conference on Unsaturated Soils, Paris, 2, 653-658.
- Vincent, M., Plat, E., Le Roy, S., (2007). *Cartographie de l'aléa retrait-gonflement et plans de prévention des risques*. Revue Française de Géotechnique, 120-121, 188-200.

# LA DEFINIZIONE DELLE AREE SENSIBILI ALLA DESERTIFICAZIONE (ESAS) NEL BACINO DEL FIUME TUSCIANO

DE PAOLA FRANCESCO<sup>1</sup>, DUCCI DANIELA<sup>1</sup>, GIUGNI MAURIZIO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria Idraulica Geotecnica ed Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II, depaola@unina.it.

## RIASSUNTO

Per la caratterizzazione delle aree sensibili alla desertificazione è stata proposta nell'ambito del progetto europeo MEDALUS la metodologia Environmentally Sensitive Areas (ESAs), della quale sono state sinora effettuate solo alcune applicazioni. Nella nota, dopo una sintetica presentazione della suddetta metodologia, vengono illustrati i risultati di un'applicazione per il bacino del fiume Tusciano, che ne ha messo in evidenza la notevole vulnerabilità: oltre la metà della superficie del bacino è, infatti, risultata a rischio. L'indagine effettuata ha consentito, altresì, con il supporto di un GIS, la redazione di una mappa del rischio di desertificazione del bacino di immediata consultazione.

**Parole chiave:** cambiamenti climatici, desertificazione, ESAs.

## INTRODUZIONE

La desertificazione, definita come “il degrado del territorio nelle zone aride, semi-aride e sub-umide” (United Nations Convention to Combat Desertification, 2000), causa un'alterazione delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche dei suoli ed una riduzione della loro produttività biologica e/o economica (ANPA, 2000; APAT, 2006; National Committee, 1999). Il fenomeno interessa attualmente circa il 35% delle terre emerse, fra cui particolarmente colpite in Europa risultano alcune regioni del Portogallo e della Grecia. In Italia sono significativamente interessate le regioni meridionali (Sardegna, Sicilia, Calabria, Puglia e Basilicata) (S.A.R., 2004) in cui il degrado del suolo - con conseguente elevato rischio di desertificazione - dipende da condizioni climatiche sempre più aride, precipitazioni eccezionali di crescente intensità, prelievi idrici eccessivi almeno in alcuni periodi dell'anno, incendi caratterizzati da elevata frequenza, etc (CNSLD, 1999; Di Pace & Baldassarre, 2005; Ferrara et al, 2005; Piro et al., 2007). In linea generale le cause del processo di desertificazione di un territorio possono essere di origine antropica (sfruttamento incontrollato delle risorse idriche, urbanizzazione diffusa, agricoltura intensiva, etc.) o derivare da fattori naturali (prolungati periodi di siccità, suoli con notevole predisposizione all'erosione, frequenti incendi, degrado della copertura vegetale, elevate pendenze, etc.). In particolare, le principali cause antropiche sono legate ad attività socio-economiche (agricoltura, zootecnia, industria, urbanizzazione, turismo, discariche, attività estrattive) ed al conseguente uso competitivo e sovrasfruttamento delle risorse naturali (suolo, acqua, vegetazione) (CNSLD, 1999).

## METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLE AREE SENSIBILI ALLA DESERTIFICAZIONE (ESAS): IL MODELLO “MEDALUS”

Al fine di individuare e caratterizzare le aree sensibili alla desertificazione (ESAs, *Environmentally Sensitive Areas*), è stata recentemente messa a punto una metodologia innovativa nell'ambito del progetto dell'Unione Europea MEDALUS (MEDiterranean Desertification And Land Use) (Kosmas et al., 1999). La metodologia operativa sviluppata nell'ambito di MEDALUS consente di definire le ESAs attraverso la valutazione di un Indice di Sensibilità Ambientale (ESAI), da individuare in base a quattro sub-indici, relativi alla qualità della vegetazione, del clima, del suolo (al fine di ottenere un quadro complessivo delle condizioni ambientali) ed alla gestione del territorio (in modo da valutare la pressione esercitata dalle attività antropiche). Ciascun sub indice dipende a sua volta da diversi fattori, a ciascuno dei quali è necessario associare un punteggio variabile tra 1 (“peso minore”) e 2 (“peso massimo”) in funzione della sua influenza sul processo di desertificazione.

In figura 1 è stato riportato lo schema della metodologia MEDALUS, con l'indicazione dei fattori necessari per la valutazione dei quattro sub indici VQI (Vegetation Quality Index), CQI (Climate Quality Index), SQI (Soil Quality Index) e MQI (Management Quality Index).

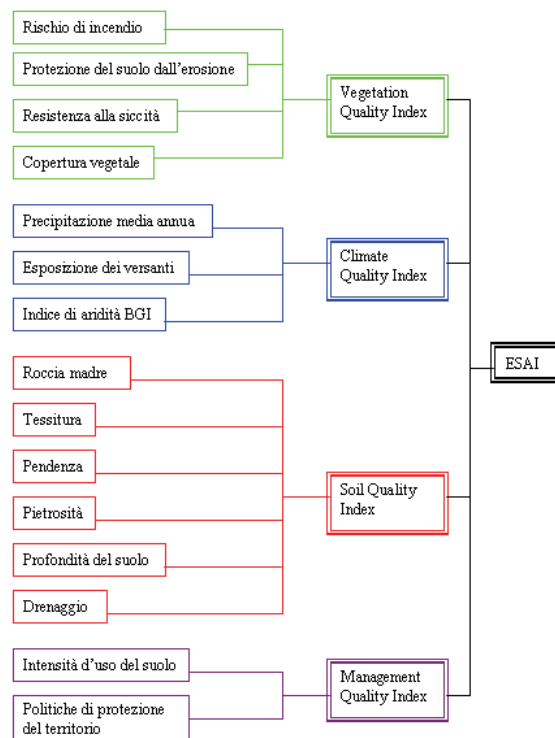


Fig. 1 - Schema della Metodologia MEDALUS (Kosmas et al, 1999)

Ciascun sub indice va calcolato dalla media geometrica dei fattori considerati, pervenendo, infine, alla valutazione dell'andamento territoriale dell'Indice ESAI dalla media geometrica dei quattro sub indici:

$$ESAI = \sqrt[4]{VQI * CQI * SQI * MQI} \quad (1)$$

## STIMA DELLE AREE A RISCHIO DESERTIFICAZIONE (ESAs) PER IL BACINO DEL FIUME TUSCIANO

Il modello MEDALUS è stato applicato al bacino del fiume Tusciano (ubicato nella regione Campania, di superficie all'incirca pari a 220 km<sup>2</sup>), procedendo alla valutazione dei sub indici di qualità della Vegetazione (VQI), del Clima (CQI), del Suolo (SQI) e della gestione del territorio (MQI), la cui mappatura per motivi di spazio non viene riportata. Successivamente si è calcolato, con il supporto di un G.I.S., l'Indice di Sensibilità Ambientale (ESAI) mediante la già citata relazione (1), al fine di pervenire ad una classificazione delle aree in funzione della loro sensibilità alla desertificazione. In particolare, si è fatto riferimento alla classificazione in aree Critiche, Fragili, Potenziali e Non soggette, come riportato nella tabella in fig. 2, da cui si nota come il rischio di desertificazione cresca all'aumentare dell'Indice ESAI. Inoltre, le classi ESAs Critica e Fragile sono state suddivise, a loro volta, in tre sub-aree secondo quanto proposto in MEDALUS. In maggior dettaglio:

- le ESAs Critiche sono aree già altamente degradate a causa del cattivo uso del terreno;
- le ESAs Fragili sono superfici per cui qualsiasi variazione del delicato equilibrio delle attività naturali o umane può causare fenomeni di desertificazione;
- le ESAs Potenziali sono aree per cui una particolare utilizzazione del suolo, praticata con criteri gestionali non corretti, potrebbe creare seri problemi;
- le ESAs Non Soggette, infine, sono aree con suoli profondi o molto profondi, pianeggianti, ben drenate e con tessitura grossolana. Tali superfici, indipendentemente della loro copertura vegetale, sono

considerate non soggette ai fenomeni di desertificazione ma solo eventualmente assoggettabili ad un lento processo di degradazione.

La carta delle Aree Sensibili alla Desertificazione (ESAs) per il bacino del fiume Tusciano, riportata in fig. 2, mostra una netta distinzione tra la fascia montana e quella pedemontana e sub pianeggiante: quest'ultima, infatti, è caratterizzata per lo più da valori elevati dell'Indice ESAI con conseguente classificazione in aree Critiche.

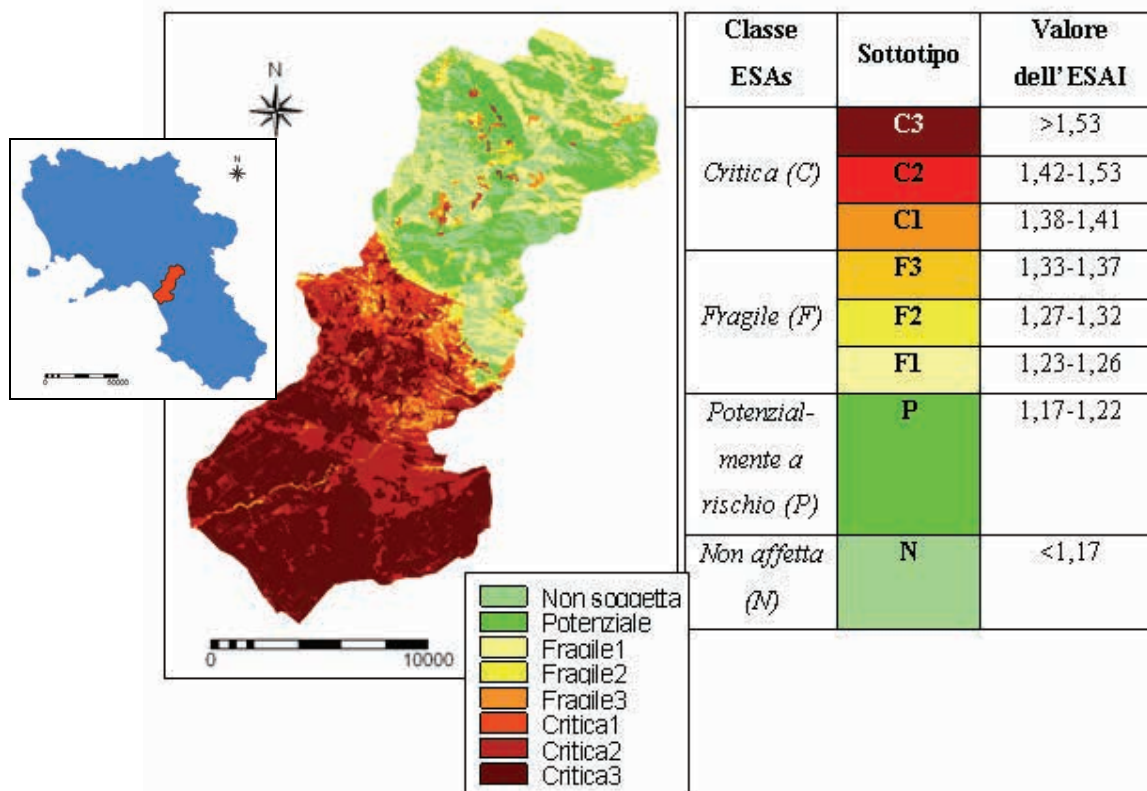


Fig. 2. Stima delle aree sensibili alla desertificazione (ESAs) per il bacino del fiume Tusciano (fonte tabella: Kosmas et al. 1999).

In maggior dettaglio, oltre la metà del bacino del Tusciano è stata classificata come Critica: in particolare, il 32.70% in aree C3, marcatamente suscettibili alla desertificazione, il 16.21% in ESAs C2 ed il 4.07% in C1 (fig. 3). Tali aree sono situate quasi totalmente nella zona sub pianeggiante del bacino, mentre solo alcune aree montane di ridottissima estensione sono state classificate come ESAs C2 o C1. Le ESAs Fragili rappresentano, invece, il 22.22% del totale e sono distribuite nella zona pedemontana e montana del bacino. Le ESAs Potenziali e Non soggette a desertificazione, infine, pari, rispettivamente, al 13.13% ed al 11.67% del bacino, ricadono totalmente nella fascia montana.

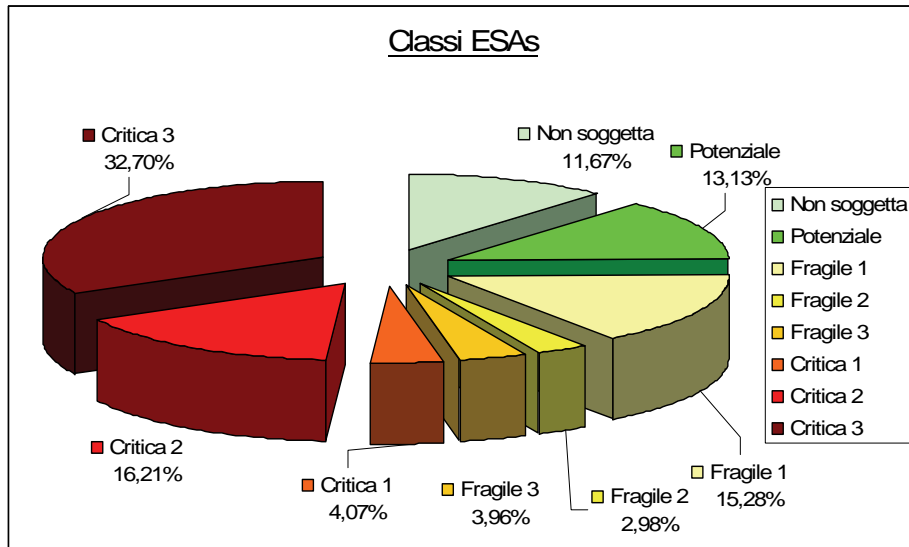


Fig. 3. Suddivisione percentuale del territorio del Tusciano in classi di sensibilità alla desertificazione.

### CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'applicazione della metodologia Medalus al bacino del fiume Tusciano ha messo in evidenza la notevole vulnerabilità del territorio esaminato: oltre la metà della superficie del bacino è risultata, infatti, a rischio desertificazione. I risultati ottenuti risentono dell'articolazione morfologica del bacino del fiume Tusciano che mostra una netta distinzione tra la superficie montana e quella pedemontana e subpianeggiante, che è caratterizzata da elevata criticità.

L'indagine effettuata ha consentito, altresì, di confermare la validità della metodologia applicata e di redigere una mappa del rischio di desertificazione del bacino di immediata consultazione, che potrà costituire un utile supporto per la programmazione di interventi di mitigazione del rischio.

### BIBLIOGRAFIA

- ANPA, (2000). *Desertification Indicators for the European mediterranean regions: state of the art and possibile methodological approaches*, a cura di G. Enne, C. Zucca C.
- APAT, C.R.A., CNLSD, (2006). *La lotta alla desertificazione in Italia: stato dell'arte e linee guida per la redazione di proposte progettuali di azioni locali* a cura di G. Enne, A. Luise, Manuali e linee guida 41/2006.
- CNLSD (Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità ed alla Desertificazione), (1999). *Mappa delle aree sensibili alla desertificazione in Italia*.
- Di Pace, A., Baldassarre, G., (2005). *Aree sensibili alla desertificazione nel tavoliere di Puglia*. *Giornale di Geologia Applicata* 2 (2005) 203–209, doi: 10.1474/GGA.2005–02.0–29.0055.
- Ferrara, A., Bellotti, A., Faretta, S., Mancino, G., Baffari, P., D'Ottavio, A., Trivigno, V., (2005). *Carta delle aree sensibili alla desertificazione della Regione Basilicata*.
- Kosmas, C., Kirkby, M., Geeson, N., (1999). *The Medalus project: Mediterranean Desertification and Land Use*. Manual on Key indicators of desertification and mapping Environmentally Sensitive Areas to Desertification, EUR 18882.
- National Committee to Combat Drought and Desertification, *Guidelines of the National Action Programme to Combat Desertification*, 22 July 1999.
- Piro, P., Carbone, M., Frega, F., (2007). *Identificazione di aree sensibili alla desertificazione (ESAs)*. *Applicazione alla regione Calabria*, L'Acqua.
- S.A.R. (Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna), (2004) *Carta delle Aree Sensibili alla desertificazione, Environmentally Sensitive Area to Desertification ESAs*, a cura di A. Motroni, S. Canu, G. Bianco, G. Loy
- United Nations Convention to Combat Desertification, *National Report of Italy on the Implementation of the UNCCD*, 2000.



## **VARIABILITA' CLIMATICA E RICORRENZA DELLE CALAMITA' IDROGEOLOGICHE IN PUGLIA**

POLEMIO MAURIZIO<sup>1</sup>, LONIGRO TERESA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR IRPI, Via Amendola 122/I, Bari, m.polemio@ba.irpi.cnr.it

### **RIASSUNTO**

Il contributo si basa sull'analisi di diversi tipi di dati, elaborati fino a costituire serie storiche mensili inerenti il clima (pioggia, temperatura, giorni piovosi e intensità di pioggia) dal 1918 al 2006. Nonostante la tendenza al calo della piovosità e dell'intensità di pioggia e all'incremento della temperatura e dei giorni piovosi, si osserva la crescente ricorrenza di piene e frane, a conferma della crescente antropizzazione di aree a pericolosità idrogeologica. La discussione delle relazioni clima-frane ha evidenziato delle limitazioni ragionevolmente dovute al concentrarsi delle frane in parte del territorio e alla minore qualità del dato storico.

**Parole chiave:** cambiamento climatico, frane, piene, Puglia

### **INTRODUZIONE**

Recenti ricerche internazionali hanno posto in evidenza sempre più marcate e preoccupanti variazioni del clima, che si sostanziano in un aumento globale della temperatura e in una variata intensità e distribuzione delle precipitazioni meteoriche (EEA 2008).

Tra le conseguenze nell'area mediterranea, note o temute, si segnalano anomali periodi di siccità, l'impovertimento delle risorse idriche e l'accentuarsi di fenomeni di dissesto idrogeologico.

Anche il territorio dell'Italia meridionale, della Puglia in particolare, risente delle variazioni climatiche, subendo rilevanti effetti in termini di calo di disponibilità di risorse idriche (Polemio & Casarano 2008). Per lo stesso territorio ci si pone l'obiettivo di discutere se esistano, e quali siano, le relazioni tra le variazioni climatiche e l'occorrenza di fenomeni di dissesto idrogeologico, in particolare frane e piene. A questo fine sono stati costituiti due diversi database, uno climatico, relativo ai dati mensili inerenti pioggia, giorni piovosi, intensità di pioggia e temperatura, ed un altro inerente gli eventi idrogeologici dannosi. Ciò permette di definire il trend dei parametri climatici, di frane e piene catastrofiche e di incrociare la discussione delle diverse serie storiche.

### **INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO**

La Puglia si estende per circa 20.000 km<sup>2</sup> dei quali il 54,2% è pianeggiante, il 44,4% collinare e solo l'1,4% risulta montuoso. I rilievi si concentrano nel Subappennino dauno e nel Gargano (max 1.152 m slm). Dal punto di vista amministrativo la regione è suddivisa in 6 province e 258 comuni.

Da est verso ovest è possibile riconoscere tre diversi domini geologici: Avampaese, Fossa bradanica e Catena (Fig. 1). Il primo è costituito da rocce carbonatiche di età cretacea di origine marina ed impegna tre ambiti fisiografici: il Salento, la Murgia ed il Gargano (Ricchetti et al. 1988). Procedendo verso ovest, in trasgressione sui termini carbonatici, si riconoscono i depositi di riempimento plio-pleistocenici della Fossa bradanica, sia marini che continentali (Casnedi 1988). Infine, in corrispondenza della zona del Subappennino dauno, si distinguono le unità appenniniche, costituite da depositi carbonatici e terrigeni di antichi bacini che, sotto la spinta orogenetica, si sono impilati risultando caotici e notevolmente tettonizzati (D'Argenio et al. 1973).

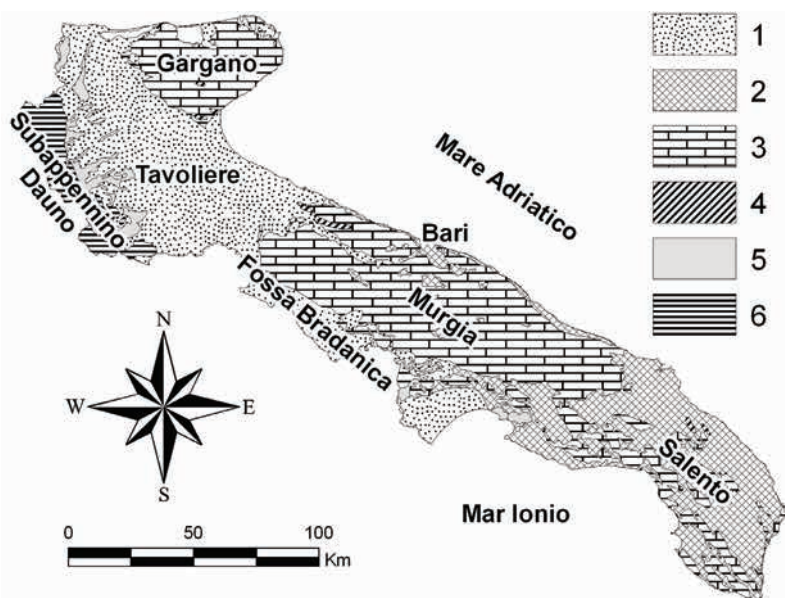


Figura 1 – Carta geologico-tecnica della Puglia. 1-Argille sabbiose, sabbie argillose, sabbie e ghiaie; 2-Sabbie, limi, calcareniti, calcari e dolomie; 3-Calcarei e dolomie; 4-Calcareni ed arenarie; 5-Argille marnose; 6-Alternanza di sedimenti calcareo-marnosi.

## IL DATABASE CLIMATICO E GLI INDICI SINTETICI

Il database climatico dell'IRPI è stato integrato con dati storici (fino al 1877) e recenti (fino al 2008), in quest'ultimo caso grazie alla cortese disponibilità del Centro Funzionale del Servizio di Protezione Civile della Regione Puglia. I dati storici utilizzati rinviengono dagli Annali Idrologici (SIMN 1919-1996) e da alcune pubblicazioni del Prof. Eredia (Ministero LL. PP. 1918 e 1928). Per questa nota sono stati utilizzati dati mensili di temperatura  $T$ , pioggia  $P$  e giorni piovosi  $G$  (giorni in cui la pioggia è maggiore o uguale ad 1 mm). Fino al 1920 escluso, per giorno piovoso si intendeva qualsiasi giorno dalla pioggia non nulla: in mancanza di dati coevi e giornalieri di pioggia, questa anomalia è stata corretta con una complessa

trattazione statistica (la cui esposizione è omessa per brevità). Dal dataset sono state selezionate 60 stazioni pluviometriche (di cui 47 termometriche), selezionate con il criterio di minimizzare le lacune ottimizzando la densità delle stazioni (Fig. 2).

Per ciascun mese e stazione è stata calcolata l'intensità di precipitazione dei giorni piovosi  $I$  (intensità di pioggia nel seguito) come rapporto tra  $P$  e  $G$ . Nel seguito ci si riferisce sempre all'anno idrologico: l'anno  $x$  si estende da settembre del medesimo anno solare ad agosto di quello successivo.

Per ridurre il problema spazio-temporale della caratterizzazione delle modificazioni climatiche e degli effetti sulla ricorrenza di calamità idrogeologiche, sono stati definiti indici climatici sintetici, ciascuno dei quali costituisce una serie temporale (Polemio & Petrucci 2010). L'indice di piovosità mensile, bimestrale, e ...  $IP_1(z)$ ,  $IP_2(z)$ , ...,  $IP_m(z)$ , con  $m=1, 2, \dots, 12$ , è definito dalla relazione:

$$IP_m(z) = \frac{\sum_{j=z-m}^z \sum_{i=1}^n PM_{i,j}(z)}{\sum_{j=z-m}^z \sum_{i=1}^n PMM_{i,j}(x)} 100 - 100 \quad (1)$$

in cui  $x$  è il mese dell'anno medio (da 1 a 12, a partire da settembre),  $z$  rappresenta il numero di posizione del mese considerato, iniziando da settembre del 1918,  $PM_i$  è la pioggia mensile alla stazione  $i$  e  $PMM_i$  è la pioggia mensile media della stazione  $i$ , con  $i=1, 2, \dots, n$ , dove  $n$  è il numero delle stazioni disponibili nel mese  $z$ .  $IP_m(z)$  considera i valori di pioggia rilevati nel mese  $z$  e in  $m-1$  mesi precedenti, dove  $m$  è la durata dell'indice considerato. Usando questo indice adimensionale, un'unica serie temporale di pioggia può essere considerata per l'intera area di studio. Sostituendo a  $P$ ,  $G$ ,  $I$  e  $T$  si ottengono analoghi indici per i restanti parametri; tali indici possono variare in un ampio intervallo di valori in cui i valori negativi indicano piovosità (temperatura, ...) inferiore alla media nell'intera area, mentre valori positivi indicano il contrario (per una discussione più approfondita degli indici si rimanda a Polemio & Petrucci 2010). Se  $m=12$  l'indice diviene annuale e lo denominiamo  $P_y$ ,  $G_y$ , ... .

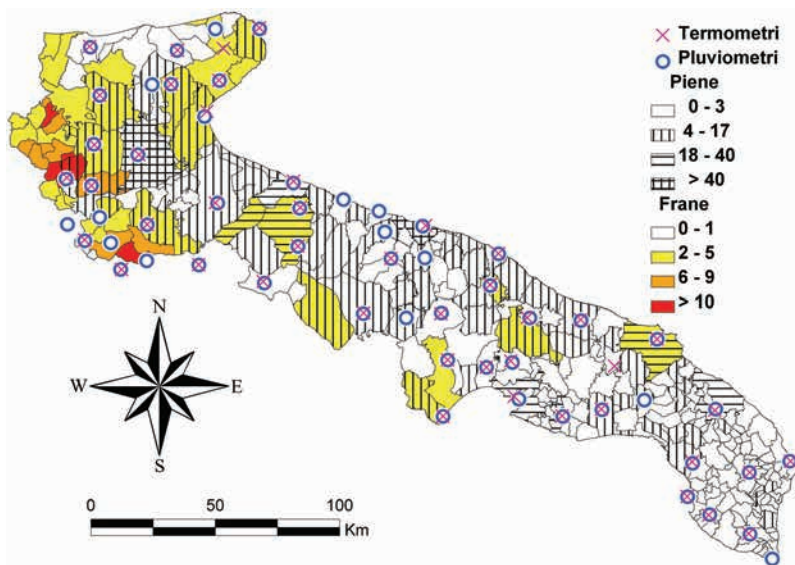


Figura 2 – stazioni termopluviometriche e ricorrenza comunale di piene e frane (1918-2006).

## IL DATABASE SUGLI EVENTI DI DISSESTO IDROGEOLOGICO

La fonte principale dei dati riguardanti piene e frane che abbiano causato danni in Puglia è il database AVI (CNR-GNDCI 1999), utilizzato per il periodo 1918-1996. Tale fonte è stata integrata con dati inediti per il periodo successivo, fino al 2006. Sul territorio pugliese sono stati individuati 926 eventi di piena e 237 di frana (il primo di frana è del 1928). Per ciascun comune sono state costituite le serie storiche mensili degli eventi di piena e di frana; per semplice somma sono state determinate le analoghe serie storiche regionali (Fig. 2).

Analogamente a quanto fatto per i dati climatici, anche per le frane e le piene sono stati calcolati gli indici relativi a 1, 2, ... e 12 mesi, e quello relativo a ciascun anno idrologico (indice  $A_y$  per le piene e  $F_y$  per le frane).

Si noti che gli eventi di piena sono diffusi in tutto il territorio mentre i movimenti franosi sono localizzati soprattutto nella zona del Subappennino dauno, dove le caratteristiche geologiche, morfologiche e geotecniche favoriscono fenomeni di instabilità dei versanti.

## ANALISI DEI DATI E CONCLUSIONI

Nell'anno medio il picco delle piene si osserva a settembre (1,73 eventi), tra settembre e novembre si concentra il 50% del totale, pari a 10,4 piene dannose ogni anno (Fig. 3). Il picco della franosità si osserva a gennaio (0,2 eventi), da dicembre a febbraio si verifica il 61% del totale, in media pari a tre l'anno. Il massimo mensile di piene è di 29 eventi (settembre 2006); quello delle frane è 61, osservato a gennaio 2003. Buona è la correlazione nell'anno medio tra intensità (max a set-tembre), secondariamente piovosità, e piene. Passando ai valori annuali, la correlazione tra piogge, intensità, giorni piovosi, temperatura e piene è diretta, salvo nel caso della temperatura. Il massimo della correlazione si ottiene nel caso della piovosità (Tabella 1). L'analisi, ripetuta per periodi cumulati fino a 5 anni, ha dato risultati poco variabili. Per quanto riguarda le frane, la correlazione con gli indici climatici è risultata sempre diretta e in genere

più bassa rispetto a quella osservata per le piene. Precedenti esperienze maturate per la Calabria, a diffusa ed elevata franosità, mostrano che le variabili climatiche considerate sono in genere ben correlate con la ricorrenza delle frane (Polemio & Petrucci 2010).

Il tipo di risultato emerso per la Puglia dipende principalmente dal concentrarsi delle frane nella provincia di Foggia, in particolare nell'Appennino dauno, mentre gli indici

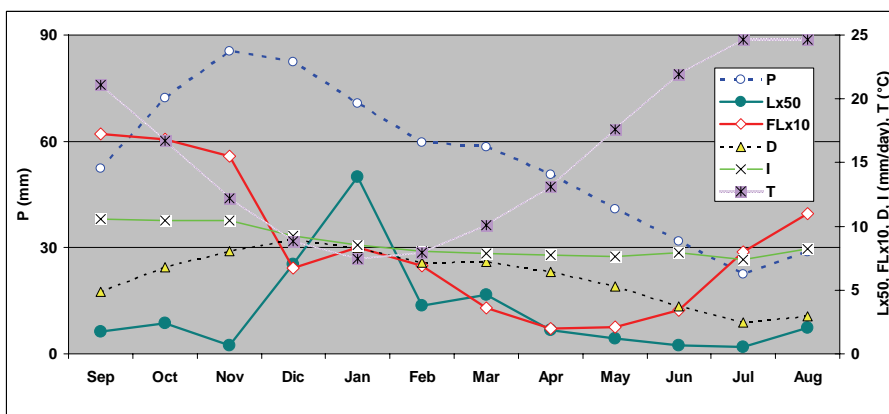


Figura 3 – Regime climatico e dei dissesti. P) Piovosità, F) Numero di frane, A) Numero di piene, D) Giorni piovosi, I) Intensità di pioggia e T) Temperatura.

	Ay	Fy	Py	Gy	Iy	Ty
Ay	1.0					
Fy	0.1	1.0				
Py	0.4	0.1	1.0			
Gy	0.3	0.2	0.8	1.0		
Iy	0.2	0.0	0.6	0.1	1.0	
Ty	-0.2	0.3	0.0	-0.1	0.0	1.0

Tabella 1 – Coefficiente di correlazione tra gli indici annuali di piene (Ay), frane (Fy), precipitazioni (Py), giorni piovosi (Gy), intensità di pioggia (Iy) e temperatura (Ty).

Il trend climatico, nel complesso, determina condizioni sfavorevoli per l'aumento della ricorrenza di piene e frane. Ciò nonostante i trend del numero annuale di eventi dannosi di piena e di frana sono positivi ovvero evidenziano un aumento di tali fenomeni (Fig. 4). I risultati mostrano quindi un ruolo tutt'altro che marginale svolto dall'uso del territorio, in cui il crescente utilizzo di aree a non trascurabile pericolosità idrogeologica non poco contribuisce alla mancata diminuzione della ricorrenza degli eventi di piena e di frana catastrofici.

climatici, per definizione, sono riferiti all'intero territorio regionale. Secondariamente, la natura marginale dei territori soggetti ad elevata pericolosità da frana rende molto difficile l'acquisizione di dati storici di sufficiente qualità sull'occorrenza di frane, se non per gli anni più recenti.

L'analisi dei trend ha messo in evidenza una lenta tendenza alla diminuzione delle precipitazioni e della loro intensità e all'aumento dei giorni piovosi e delle temperature, in accordo con quanto noto a scala globale e per l'Italia meridionale (EEA 2008, Polemio & Casarano 2008). Il

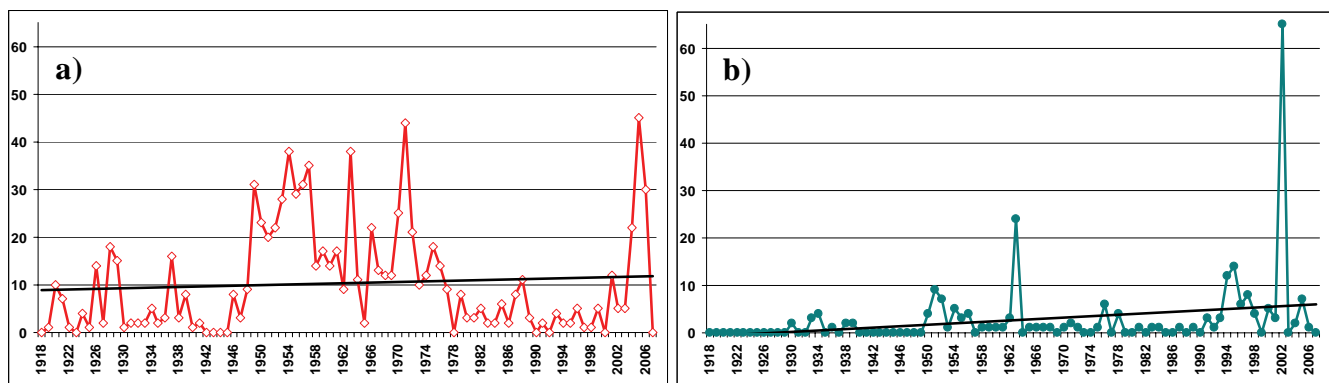


Figura 4 – Serie storiche e trend dell'occorrenza annuale di piene e frane. a) Piene, b) Frane.

## BIBLIOGRAFIA

- Casnedi, R., (1988) *La Fossa bradanica: origine, sedimentazione e migrazione*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 439-448.
- CNR-GNDICI, (1999) *Database AVI degli eventi alluvionali occorsi su tutto il territorio nazionale dal 1930 al 1999*.
- D'Argenio, B., Pescatore, T., Scandone, P., (1973) *Schema geologico dell'Appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Accademia Nazionale dei Lincei, 183, 49-72.
- EEA, (2008) *Impacts of Europe's changing climate -An indicator-based assessment*. European Environment Agency Report, 4, [http://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2008\\_4/](http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2008_4/), 2008.
- Ministero LL. PP., (1918) *Osservazioni pluviometriche raccolte a tutto l'anno 1915 dal R. Ufficio centrale di Meteorologia e ordinate a cura del Prof. FILIPPO EREDIA, Puglia*.
- Ministero LL. PP., (1928) *Osservazioni pluviometriche raccolte a tutto l'anno 1915*. Pubbl. n.1 del Servizio Idrografico, Appendice al volume I, Italia peninsulare e isole, ordinate a cura del Prof. Filippo Eredia.
- Polemio, M., Casarano, D., (2008) *Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy*. In: *Climate Change and Groundwater*, Dragoni, W., Sukhija, B.S., (Eds.), Geological Society, London, Special Publications, 288, 39-51.
- Polemio, M., Petrucci, O., (2010) *Occurrence of landslide events and the role of climate in the twentieth century in Calabria, southern Italy*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 43, 1-14.
- Ricchetti, G., Ciaranfi, N., Luperto Sinni, E., Mongelli, F., Pieri, P., (1988) *Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'avampaese Apulo*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 57-82.
- SIMN, (1919-1996) *Annali Idrologici-Parte I*. Sezione di Bari, Ministero dei Lavori Pubblici, Roma.

# **TREND AND FLUCTUATIONS IN THE LONG KARST SPRING DISCHARGE SERIES**

FIORILLO FRANCESCO, GUADAGNO FRANCESCO M.

Dipartimento di Studi Geologici ed Ambientali, Università degli Studi del Sannio, Benevento; francesco.fiorillo@unisannio.it.

## **ABSTRACT**

Long karst spring discharge series have been analysed to find trends and fluctuations and relations to climate variables. In some cases hydrological data cover more than one hundred years of records. Data come from aquifers of southern Italy, where karst springs constitute the main water resource and supply millions of peoples.

As the spring discharge expresses the output of the aquifer, it is connected to recharge processes, which depend mainly on the rainfall and temperature catchment distribution. For these reasons, spring discharge “mediates” the climate parameter records on long term, and can be considered an important indicator of the climate.

**Key words:** Campania, rainfall, spring discharge.

## **INTRODUCTION**

Karst aquifers provide about 25% of the world’s drinking water (Ford & Williams 2007). In Italy this contribute is considerable higher in many areas of the peninsula, and reaches values near 100% in many regions (Umbria, Marche, Lazio, Abruzzo, Molise, Campania), supplying millions of peoples. In these areas, karst springs were tapped by aqueduct since Roman age, and have had an important role in the historical development. The regime of these springs depends on the rainfall and temperature distribution, and it is controlled by the morphological and hydrogeological setting of the basins.

The climate change observed worldwide, has suggested to investigate on the possible consequences of the regime of these springs.

Fiorillo et al. (2007) analysed the long spring discharge series of Serino spring (Campania), and highlighted the discharge drop after 1986. Fiorillo (2009), based on historical series of some spring discharge series of the Campania region, focused the analyses on the drought periods, evaluating the hydrological conditions leading to droughts in karst environments.

In this study we have collected discharge measurements of powerful karst springs located in Southern Italy. On the basis of these measurements, analyses to find trends and fluctuations have been carried out and comparison between series has been also considered. To investigate on the relation with climate variables, some rain gauges located inside the hydrogeological basins of the karst springs have been selected; their annual rainfall time series have been compared with that of annual mean spring discharge.

## **GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL FEATURES**

The investigated karst springs belong to the two main karst systems of Campania: the Matese massif, and the Picentini mountains. These mountains are primarily characterized by high slopes and elevations up to 2050 m a.s.l. for Matese massif and 1809 m a.s.l. for Picentini mountains. Flat zones are limited to endorheic areas and induced a higher and concentrated infiltration. In particular, the polje of Lago Matese and Piano Laceno are the most important respectively for the Cervialto and Matese massif. Both the karst massifs are constituted by calcareous and calcareous-dolomite series (Late Triassic-Miocene), characterized by a thickness ranging between 2500 and 3000 m, which are heavily fractured and faulted. Along the northern and eastern sectors, these massifs are tectonically overlapped on the terrigenous and impermeable deposits, constituting complex argillaceous (Paleocene) and flysch sequences (Miocene). Along the southern and western sectors, these massifs are limited by normal faults and are covered by recent quaternary deposits. More specific geological insight of the outcropping areas can be found in

Parotto and Praturlon (2004) and related literature, and recent Geological Map of Italy, 1:50.000 scale (ISPRA 2009).

Pyroclastic deposits of Somma-Vesuvius activity cover the Picentini mountains, with thickness of few decimeters along steep slopes and entire area of Mount Cervialto. These deposits, almost absent on the Matese massif, play an important role in the infiltration of water into the karst substratum.

These karst massifs feed many karst springs with discharge up to thousands liters/second, and constitute the main water resource in Southern Italy, and their main hydrological characteristics are shown in Table 1.

Hydrogeological details of these springs can be found in Civita (1969a-b), Celico & Civita (1976), Celico (1978); Budetta et al. (1994); Fiorillo & Doglioni (2010); Fiorillo et al. (2010).

Location	Matese Massif			Picentini Mountains		
	Torano	Maretto	S.Maria a Rivoli	Caposele	Cassano I.	Serino
Spring	Torano	Maretto	S.Maria a Rivoli	Caposele	Cassano I.	Serino
Elevation (m a.s.l.)	201	175	485-505	420	473-476	330-380
Time interval of data series	1 Jan 1950 to 31 Aug 2009	1 Jan 1968 to 31 Aug 2009	1 Jan 1976 to 31 Dec 2008	1 Jan 1920 to 31 Dec 2009	1 Jan 1965 to 31 Dec 2009	1 Jan 1887 to 31 Dec 2008
$\mu$ (mm)	2.04	0.99	1.04	3.96	2.73	2.24
$\sigma$ (mm)	0.64	0.30	0.46	0.59	0.68	0.33
$Q_{90}$ (m <sup>3</sup> /s)	2.90	1.35	1.65	4.89	3.55	2.64
$Q_{10}$ (m <sup>3</sup> /s)	1.35	0.62	0.51	3.14	1.79	1.81

Table 1. Statistics of karst springs analysed.  $\mu$ , mean;  $\sigma$ , standard deviation;  $Q_{90}$ , 90th percentile;  $Q_{10}$ , 10th percentile.

## DATA ANALYSIS AND FINAL CONSIDERATION

To compare the different time series of the spring discharge, the annual mean values (November-October),  $Q_i$ , have been standardized,  $Q_s$ , by the following (1):

$$Q_s = \frac{Q_i - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

with  $\mu$  and  $\sigma$ , the mean and the standard deviation of the series, respectively (Figure 1a). In general, it is possible to distinguish periods characterized by consecutive values above the mean (*High flow period*), during which isolated value below the mean can be present, and period characterized by consecutive values below the mean (*Low flow period*), during which isolated value above the mean can be present. The lowest values of 1949 and 2002, coincident with the most intense droughts, are well marked in all series, as other intense droughts (1943, 1946, 1975 and the recent period 2007-2008). Fiorillo et al. (2007) analysed the trend of the Serino spring discharge and provide a methods to forecast droughts. Fiorillo (2009) extends the previous hydrological analyses and compared Caposele and Serino spring discharge, defining the hydrological threshold below which drought occurs. The highest discharge values of the Picentini springs were induced by the 23 November 1980 Irpinia earthquake (Ms=6.9). After 1986 all series clearly show a decrease in discharge values, which appears interrupted only during 2006 and 2009. To compare the spring discharge and rainfall, the series of the mean standardised annual values has been considered. For each year, the mean standardised of spring discharge,  $Q_s$ -m, is computed as the mean of the  $Q_s$  values available; thus, it coincides with  $Q_s$  of Serino spring discharge up to 1919; it is the mean between  $Q_s$  of Serino and Caposele spring discharge in the period 1920-1950; and so on. The same has been done for the mean standardized annual rainfall,  $P_s$ -m, using the rain gauges of table 2.

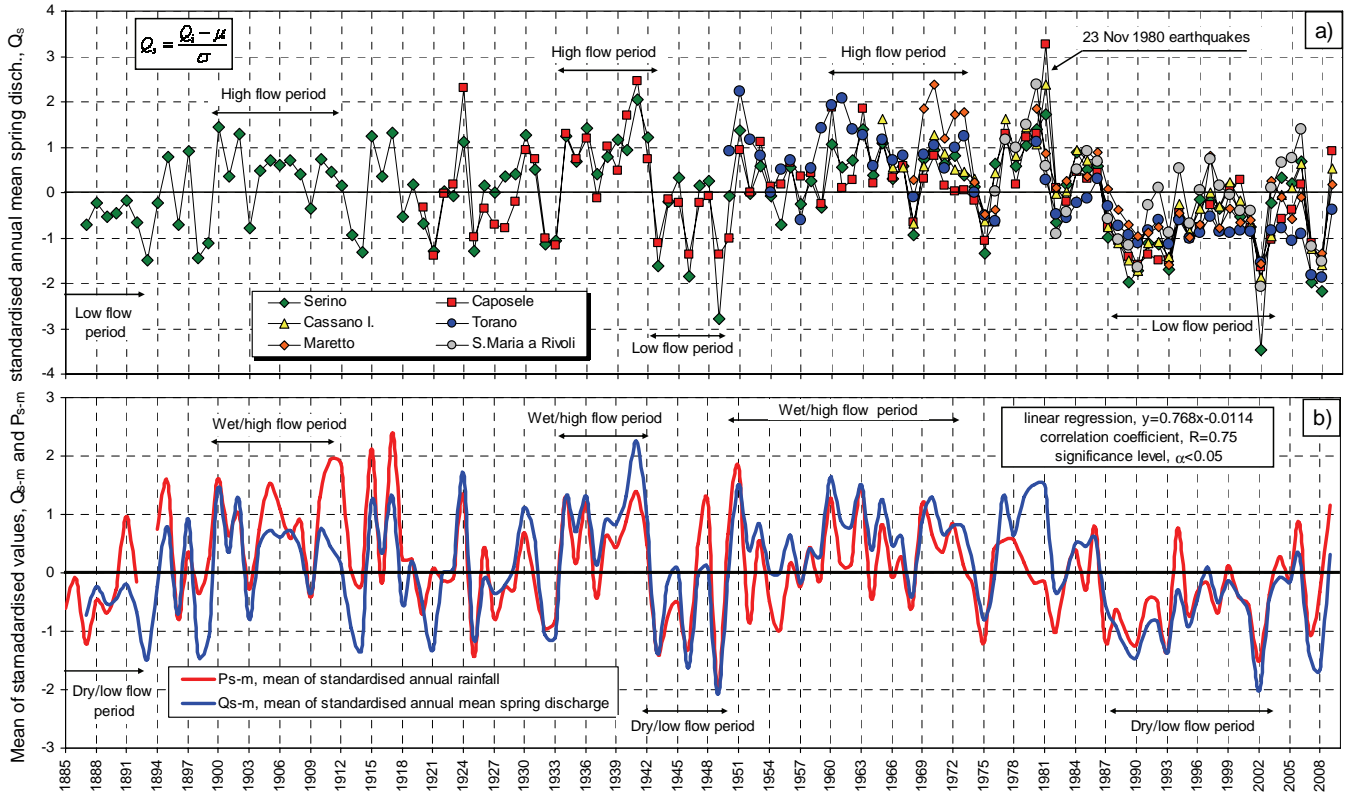


Figure 1a) Standardised annual mean (November-October) karst spring discharge series,  $Q_s$ . b) Mean of standardised annual mean karst spring discharge,  $Q_{s-m}$ , and mean of standardised annual rainfall (September-August),  $P_{s-m}$ .

<i>Location</i>	Matese massif		Partenio massif	Picentini Mountains	
<i>Rain gauge</i>	Lago Matese	Roccamandolfi	Montevergine	Serino	Caposele
<i>Elevation (m a.s.l.)</i>	1013	810	1270	351	426
<i>Time interval of data series</i>	1 Jan 1920 to 31 Dec 2009	1 Sep 1919 to 31 Dec 2009	1 Aug 1884 to 31 Dec 2009	1 Aug 1920 to 31 Dec 2009	1 Sep 1917 to 31 Dec 2009
$\mu$ (mm)	1948	1830	2172	1334	1245
$\sigma$ (mm)	414	370	630	283	267
$P_{90}$ (mm)	2463	2297	2978	1663	1618
$P_{10}$ (mm)	1446	1377	1455	969	927

Table 2. Characteristics of the rain gauges analysed.  $\mu$ , annual mean rainfall (September-August);  $\sigma$ , standard deviation;  $P_{90}$ , 90<sup>th</sup> percentile;  $P_{10}$ , 10<sup>th</sup> percentile.

Figure 1b shows the time series of the mean standardized values,  $Q_{s-m}$  and  $P_{s-m}$ , where the high linear correlation indicates the important control of the annual rainfall on the annual mean spring discharge. However, the relation appears weaker before 1918, probably because only one rainfall series (Montevergine) and one discharge series (Serino) are available. Later the relation is stronger, with exception of the period 1980-1982, because spring discharge was influenced by the November 1980 earthquakes.

After 1986 spring discharge exceeds the mean value only during 2006 and 2009 (Figure 1b), whereas the rainfall exceeds more times the mean value in the same period.

The two main characters of the spring discharge series are the cyclicity and the drop of the discharge after 1986. The cyclicity can be observed for the longer time series (Serino and Caposele), but probably it is common to all series. This cyclicity has to be connected to the tendency of wet years to bunch together, as well as dry years (Fiorillo 2009). The drop of discharge after 1986 has been prolonged up to recent wet years 2009 and 2010 and has to be connected to the changing of the climatic conditions.

All discharge series are strictly controlled by the annual rainfall time series, providing that the cyclicity of the series is an effect of the hydrological cycle control. After 1986, also annual rainfall presents a clear

decreasing; however, it doesn't fully explain the drop of the spring discharge. This seems indicate that temperature increasing observed since the eighteens has a contribute in the spring discharge lowering after 1986. Temperature data from worldwide (MOHC 2010) and Italy (Brunetti et. al. 2006) confirm that the beginning of the general warming has been recorded worldwide mainly since the eighties. Thus, spring discharge time series reflect two important modification in the climate records: the drop of the annual rainfall and the increasing of the temperature, both occurred since the eighties. The drop of the groundwater level has been also found in many other regions of southern Italy (Polemio and Casarano 2008; Simeone 2001) and of central Italy (Cambi & Dragoni 2000), providing that the phenomenon is common in a wide area of the Mediterranean basin, and depends on the global climate control. These climate changing seem indicate a modification of the hydrological cycle, which needs specific investigations and monitoring on the effect on the groundwater.

## REFERENCES

- Budetta, P., Celico, P., Corniello A., De Riso, R., Ducci, D., Nicotera, P., (1994). *Carta Idrogeologica della Campania 1:200.000*. In: Proc. of IV Geoengineering Int. Congress, 10–11 March, Torino-Italy, pp 565–585.
- Brunetti, M.A., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T., (2006). *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series*. Int. J. Clim. 26: 345–381.
- Cambi, C., Dragoni, W., (2000). *Groundwater, recharge variability and climatic changes: considerations arising from the modelling of a spring in the Umbria-Marche Apennines*. Hydrogeology, 4, 11 - 25.
- Celico, P., (1978). *Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale*. Memorie e Note Istituto di Geologia Applicata, Napoli 14:1–43.
- Celico, P., Civita, M., (1976). *Sulla tettonica del massiccio del Cervialto (Campania) e le implicazioni idrogeologiche ad essa connesse*. Boll. Soc. Natur., 85, Naples.
- Civita, M., (1969). *Idrogeologia del massiccio del Terminio-Tuoro (Campania)*. Memorie e Note Istituto di Geologia Applicata. Università di Napoli, Italy.
- Fiorillo, F., (2009). *Spring hydrographs as indicators of droughts in a karst environment*. J. Hyd. 373:290–301.
- Fiorillo, F., & Doglioni, A., (2010). *The relation between karst spring discharge and rainfall by cross correlation analysis (Campania, southern Italy)*. Hydrogeology Journal, 18: 1881–1895.
- Fiorillo, F., Guadagno, F.M., Ventafridda, G., (2010). *Karst aquifer behaviour during droughts*. Earth and Env. Sciences. Submitted.
- Fiorillo, F., Esposito, L., Guadagno, F.M., (2007). *Analyses and forecast of water resources in an ultra-centenarian spring discharge series from Serino (Southern Italy)*. J. Hydrol. 336:125–138.
- Ford, D., Williams, P., (2007). *Karst hydrogeology and geomorphology*. Wiley, England, 562 pp.
- ISPRA, (2009) *Geological Map of Italy, 1:50.000 scale*. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Rome. <http://www.apat.gov.it/Media/carg/>.
- MOHC, (2010). *Global average temperature series 1850-2009*. Met Office Hadley Centre (MOHC), <http://www.metoffice.gov.uk/climatechange/science/hadleycentre/>.
- Parotto, M., Praturlon, A., (2004). *The Southern Apennine Arc*. In: Crescenti, U., D'Offizi, S., Merlino, S., Sacchi, L., (eds). Special volume of the Italian Geological Society, 32° Int. Geol. Conf., Florence, pp 34–58.
- Polemio, M., Casarano, D., (2008). *Climate Change, Drought And Groundwater Availability in Southern Italy*. Geological Society, London, Special Publications 2008; 288: 39-51.
- Simeone, V., (2001). *Variazioni climatiche e rischi di depauperamento delle falde e di desertificazione in provincia di Taranto*. Geologia Tecnica ed Ambientale 2, 23–32.



# IMPATTO DELLE VARIAZIONI CLIMATICHE DI PICCOLA SCALA SUGLI ACQUIFERI DELLA PUGLIA MERIDIONALE

DOGLIONI ANGELO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politecnico di Bari, Facoltà di Ingegneria Taranto, Taranto, Italia, a.doglioni@poliba.it

## RIASSUNTO

L'analisi di impatto delle variazioni climatiche sulle risorse idriche costituisce una tematica di fondamentale importanza, in particolare per quelle regioni dove l'equilibrio fra clima e risorse idriche è precario. Pertanto, variazioni di medio-lungo periodo possono condizionare in modo determinante sia la disponibilità che la qualità delle risorse.

Il presente lavoro introduce uno studio sulla relazione fra precipitazioni e livelli di falda, per due pozzi freatici nella Puglia meridionale, relativamente non particolarmente distanti, ma rappresentativi di due differenti acquiferi, uno carsico ed uno poroso. L'analisi è stata effettuata su di un periodo di 50 anni (1953-2002), durante il quale si sono succeduti periodi piovosi a periodi siccitosi. Queste variazioni trovano significativo riscontro nella disponibilità di risorse idriche sotterranee in quanto il livelli di falda hanno risentito in maniera inequivocabile delle variazioni negli afflussi.

**Parole chiave:** Cambiamenti climatici, livelli di falda, Puglia.

## INTRODUZIONE

La gestione delle risorse idriche rappresenta un tema di fondamentale importanza per quelle regioni prive di significative risorse idriche superficiali (Siegfried & Kinzelbach 2006) ed il cui clima è periodicamente soggetto a periodi siccitosi. In queste regioni, come la Puglia meridionale, le variazioni climatiche (Simeone, 2001; Polemio & Casarano, 2008) possono avere conseguenze particolarmente rilevanti perché colpiscono aree caratterizzate da un fragile equilibrio fra clima e risorse idriche. La gestione degli acquiferi non può pertanto essere dominata dall'uso incondizionato di regole generiche basate su osservazioni di tipo indiretto, ma piuttosto dalla combinazione dell'analisi delle precipitazioni e dal monitoraggio e caratterizzazione degli acquiferi e dalla loro modellazione.

Il presente lavoro mostra un'analisi di due acquiferi della Puglia meridionale, con differenti caratteristiche idrogeologiche, in termini di oscillazioni di lungo periodo della falda come conseguenza delle variazioni delle precipitazioni di medio e lungo periodo. Gli acquiferi studiati sono l'acquifero superficiale e permeabile per porosità che ha sede nella piana di Brindisi e il potente acquifero carsico profondo costiero salentino permeabile per fatturazione e carsismo.

## DESCRIZIONE DEI CASI STUDIO

La Puglia meridionale (Fig. 1) è caratterizzata da un substrato costituito da calcari e calcari dolomitici Mesozoici intensamente fratturati e carsificati e, pertanto, caratterizzati da una permeabilità elevata. Essi ospitano un potente acquifero carsico costiero (Cotecchia 1977, Grassi e Simeone 2002, Cotecchia et al. 2005) che rappresenta la principale risorsa idrica autoctona. Questo basamento calcareo è diffusamente ricoperto da sedimenti del Paleogene, Miocene e Plio – Pleistocene, dovuti a cicli trasgressivi e regressivi che ospitano acquiferi permeabili per porosità. In particolare nell'area di Brindisi il substrato è sprofondato ed affiorano terreni di un ciclo sedimentario Plio-Pleistocenico che ospitano nelle sabbie regressive un acquifero superficiale (Ricchetti & Polemio 1996, Mancarella & Simeone 2008).

L'acquifero carsico costiero è alimentato in massima parte dalle precipitazioni che insistono nell'area salentina e che si infiltrano in corrispondenza degli affioramenti del basamento carbonatico mesozoico, ed in parte anche da una alimentazione sotterranea proveniente dalla Murgia. Tuttavia si può ritenere che ai fini dell'alimentazione dell'acquifero possa, con buona approssimazione, farsi riferimento ai dati di pioggia misurati nella stazione di Lecce. Per quel che riguarda l'acquifero di Brindisi, questo possiede un bacino idrogeologico abbastanza limitato che si estende nell'entroterra Brindisino ed è alimentato in massima parte dalle precipitazioni locali. Si è ritenuto che ai fini dello studio delle precipitazioni il

pluviometro di Brindisi potesse essere considerato sufficientemente rappresentativo. Le due stazioni pluviometriche sono state scelte oltre che per la loro collocazione geografica anche perché esse sono fra quelle che nell'area presentano le più lunghe serie storiche avendo dati a partire dalla seconda metà del XIX secolo.

Essendo l'alimentazione di entrambi gli acquiferi essenzialmente locale, si prestano molto bene allo studio degli impatti delle variazioni di precipitazione sui loro livelli e quindi sulla disponibilità di risorse idriche sotterranee. Per entrambi i siti sono disponibili i dati del livello di falda fra il 1953 ed il 2002 in pozzi posti in aree dove lo sfruttamento della falda risulta essere relativamente modesto, tanto da poterli considerare rappresentativi di uno stato indisturbato della falda. L'acquifero carsico costiero del Salento è stato monitorato attraverso un pozzo ubicato alla periferia ovest di Lecce, mentre quello poroso di Brindisi è stato monitorato attraverso un pozzo, posto 6 km ad ovest di Brindisi.

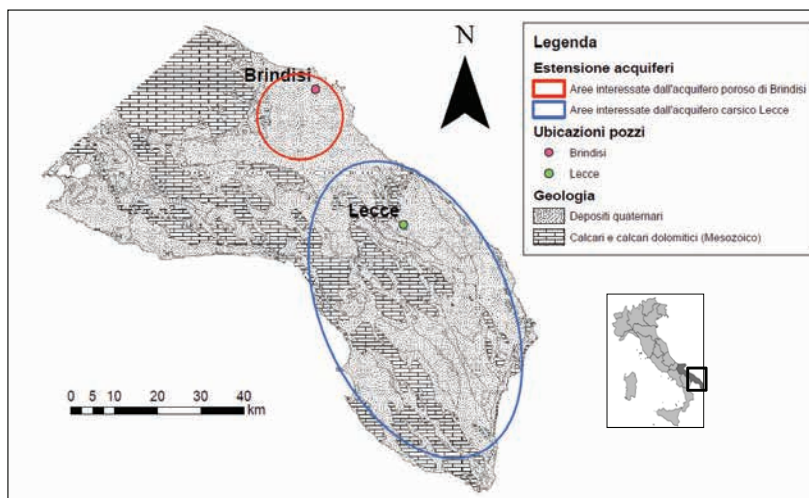


Figura 1 - Ubicazione e caratteristiche principali dell'area oggetto di studio.

Brindisi e Lecce sono caratterizzate da climi simili e tipicamente mediterranei e semi-aridi (Racioppi & Simeone 2003). Il ciclo stagionale delle piogge trova riscontro nei livelli di falda, anche se la risposta della falda è condizionata dalla diversa tipologia dei due acquiferi. L'acquifero di Brindisi è caratterizzato da risposte relativamente lente alle precipitazioni e l'incremento dei livelli avviene prevalentemente durante i primi tre mesi dell'anno in quanto di fatto le piogge autunnali servono a ripristinare le condizioni di umidità degli strati di terreno più superficiali. Il massimo livello si raggiunge in marzo ed aprile, mentre il minimo è raggiunto nei mesi estivi, laddove a causa delle l'evapotraspirazione l'afflusso è praticamente nullo.

L'acquifero di Lecce è contraddistinto da una permeabilità dovuta principalmente a fratture e fenomeni carsici, pertanto la pioggia si infiltra con facilità e la risposta della falda è pressoché immediata. Pertanto l'acquifero è contraddistinto da risposte rapide alle precipitazioni, ed il periodo di ricarica inizia a settembre/ottobre per concludersi a febbraio/marzo e il livello nell'anno è caratterizzato da un solo minimo nella stagione estiva.

## ANALISI DEI RISULTATI E DISCUSSIONE

Per studiare l'influenza delle variazioni climatiche in termini di afflussi sulle variazioni dei livelli di falda, la prima analisi ha riguardato la correlazione lineare fra medie mobili della pioggia e livelli di falda. In particolare sono state valutate le medie mobili a 3, 5, 10, 20 e 30 anni sia per l'acquifero superficiale di Brindisi che per quello di Lecce, Figura 2. L'analisi è stata effettuata sul semestre invernale, ottobre – marzo, essendo questo la componente principale alla ricarica della falda. I risultati ottenuti sono coerenti con quanto precedentemente esposto. In particolare si è ottenuta una netta correlazione fra le medie mobili a 30 anni ed i livelli dell'acquifero profondo di Lecce, con un valore di R pari a 0.84. Per quanto riguarda l'acquifero superficiale di Brindisi, la correlazione massima si è ottenuta con la media mobile a 3 anni, con un valore R pari a 0.81. È importante sottolineare che i valori di R per gli altri intervalli su cui

sono state valutate le medie mobili risultano essere nettamente inferiori rispetto ai massimi precedentemente introdotti. Inoltre la correlazione diminuisce monotonicamente al restringersi della finestra su cui sono valutate le medie per l'acquifero di Lecce, mentre aumenta monotonicamente al restringersi della finestra su cui sono valutate le medie per l'acquifero di Brindisi.

Successivamente, il periodo di studio è stato diviso in 5 decenni e per ciascuno di essi sono stati valutati valori medi mensili dei livelli di falda. I risultati di tale analisi sono riportati in Figura 3, dove sono rappresentati i livellogrammi medi annui dei diversi decenni considerati. Dall'analisi dei livellogrammi è interessante notare che la falda superficiale di Brindisi mostra nei decenni una diminuzione dei livelli medi della falda dal decennio 1953 – 1963 sino al decennio 1983 – 1993, con uno spostamento progressivo del picco della falda dal mese di marzo ai mesi di aprile-maggio. Successivamente, nel decennio 1993 – 2002 i valori medi del livello risalgono con un riposizionamento del picco al mese di aprile. Tale comportamento è dovuto a una progressiva diminuzione delle precipitazioni, con un minimo pronunciato nella seconda metà degli anni '80 e nella prima metà degli anni '90, a cui è seguita una fase climatica di una ricrescita delle precipitazioni ad oggi ancora in atto. Inoltre è interessante notare come a seguito della fase piovosa i livelli della falda di Brindisi si siano in tempi relativamente brevi riportati su valori elevati. Ciò è coerente con le dimensioni e le modeste potenzialità dell'acquifero superficiale Brindisino.

Per quanto riguarda l'acquifero costiero profondo di Lecce, Figura 2b, si evidenzia un progressivo calo nei decenni, con una sola inversione nel decennio 1973 – 1983. È interessante notare che nel decennio 1992 – 2002, anche a fronte di un certo aumento delle precipitazioni rispetto al decennio precedente i livelli medi mensili si attestano ai minimi storici. Ciò è interpretabile come conseguenza di un forte depauperamento della risorsa nel lungo periodo siccitoso della fine degli anni '80 primi anni '90, che non è stata poi del tutto recuperata. E' interessante osservare come il livello piezometrico dell'acquifero sia mediamente diminuito di 50 cm dagli anni 50 al 2002, a fronte di un livello medio di poco inferiore ai 3 m. Questo dato, trattandosi di un acquifero costiero evidenzia un forte depauperamento della risorsa idrica sotterranea, dove tale escursione del livello superficiale da luogo ad una risalita della zona di transizione di oltre 15-20 m. Inoltre è evidente che anche a seguito di un incremento delle precipitazioni la falda non ha recuperato rapidamente gli abbassamenti netti registrati fra il 1953 ed il 1992.

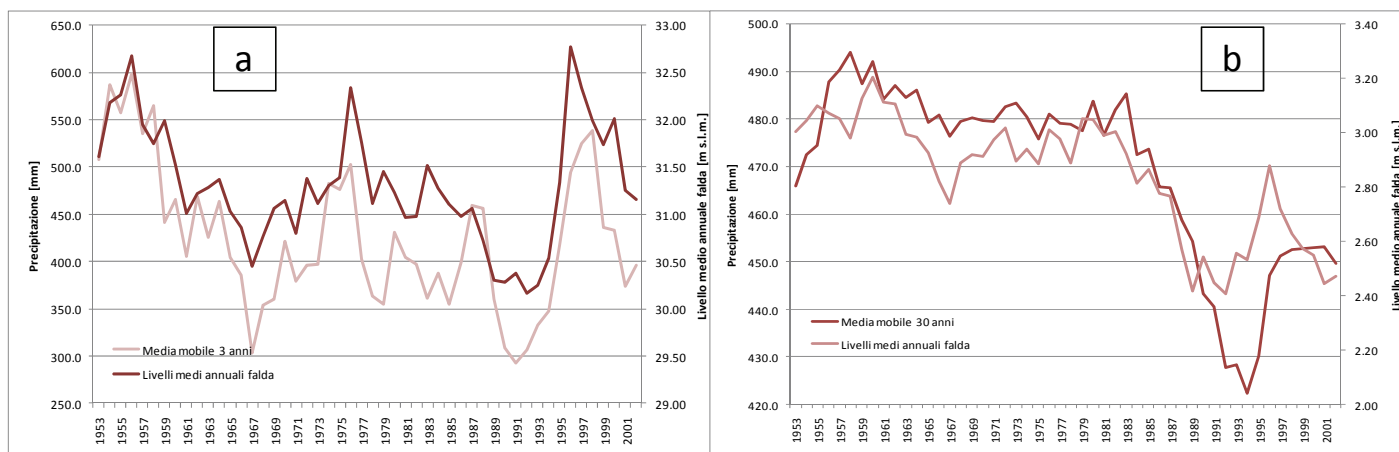


Figura 2 - Medie mobili delle precipitazioni valutate sulle finestre temporali di 3, 5, 10, 20 e 30 anni: a) Brindisi, b) Lecce.

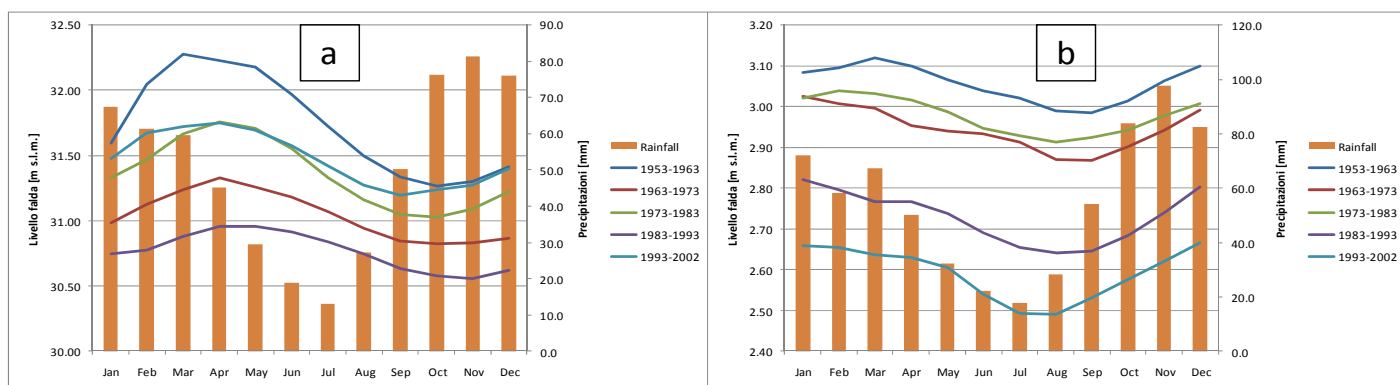


Figura 3 - Regime pluviometrico e medie dei totali mensili suddivise per decenni: a) Brindisi, b) Lecce.

Le analisi precedentemente proposte evidenziano chiaramente come variazioni climatiche in termini di precipitazioni possano condizionare in maniera differente la qualità e la quantità delle risorse idriche sotterranee a seconda del tipo di acquifero e del suo sfruttamento.

I risultati di tale analisi evidenziano infine come le falde superficiali siano esposte a rischi di depauperamento a fronte di variazioni di breve periodo, e comunque possono altresì in brevi periodi recuperare quanto perso. Tuttavia le falde superficiali sono relativamente poco sfruttate e le loro oscillazioni hanno impatti relativamente modesti sullo sfruttamento e l'uso della risorsa. Al contrario l'acquifero profondo è fortemente sfruttato, e pertanto un suo depauperamento risulta rischioso e di forte impatto sull'utilizzo della risorsa, in quanto l'eventuale recupero è lento e soprattutto le conseguenze in termini di qualità della risorsa possono essere molto serie.

## RINGRAZIAMENTI

L'autore è grato al Prof. Vincenzo Simeone per i suggerimenti ricevuti e la rilettura critica del manoscritto.

## BIBLIOGRAFIA

- Cotecchia, V., (1977). *Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina)*. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 20, 1-466.
- Cotecchia, V., Grassi, D Polemio, M., (2005). *Carbonate aquifers in Apulia and seawater intrusion*. Giornale di Geologia Applicata, 1, 219-231.
- Grassi D., Simeone V., (2002) *Different hydrogeological characters recognized in the same Mesozoic limestone platform of Apulia region* International Groundwater Conference – IAH Inter. Ass. of Hydrogeologists – Darwin, Australia 12-17 may, 2002
- Mancarella, D., Simeone, V., (2008). *Modellazione e previsione nei sistemi idrogeologici mediante la tecnica E.P.R. (Evolutionary Polynomial Regression)*. Giornale di Geologia Applicata, 8, 8-16.
- Racioppi, R., e Simeone, V., (2003). *Rainfall Decreasing And Desertification Risks In Southern Apulia Region – Italy*. Options Mediterranennes Series A n. 57 Local Resources and Global Trades: Environments and Agriculture in the Mediterranean Region, 429-440.
- Polemio, M., Casarano, D., (2008). *Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy*. Geological Society Special Publication, 288, 39-51.
- Ricchetti, E., Polemio, M., (1996). *L'acquifero superficiale del territorio di Brindisi: dati geoidrologici diretti e immagini radar da satellite*. Memorie della Società Geologica Italiana, 51, 1059-1074.
- Siegfried, T., Kinzelbach, W., (2006). *A multiobjective discrete stochastic optimisation approach to shared aquifer management: Methodology and application*. Water Resour. Res., AGU, 42(2), W02402.
- Simeone V., (2001), *Variazioni climatiche e rischi di depauperamento delle falde e di desertificazione in provincia di Taranto*. Geologia Tecnica & Ambientale (Journal of Technical & Environmental Geology) 2/2001, 23-32.

## **ANALISI SPAZIO-TEMPORALE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRODUZIONI DI FRUMENTO DURO IN PUGLIA**

GIGLIO LUISA<sup>1</sup>, LOPEZ RAFFAELE<sup>1</sup>, CHARFEDDINE MONIA<sup>1</sup>, VENTRELLA DOMENICO<sup>1</sup>, MORIONDO MARCO<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>CRA SCA, Bari, domenico.ventrella@entecra.it  
<sup>2</sup>CNR IBIMET, Firenze

### **RIASSUNTO**

In questo lavoro vengono analizzati gli effetti dei cambiamenti climatici sulle produzioni di grano duro nella regione Puglia mediante il modello AEGIS/WIN, interfaccia GIS del DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology). Il modello è stato usato per simulare l'impatto degli scenari climatici futuri sulle produzioni considerando la variabilità spaziale dei suoli e la distribuzione delle aree potenzialmente coltivabili a frumento. Per l'area in studio, sono stati confrontati uno scenario passato e due futuri (Anomaly 2 e Anomaly 5). L'approccio regionalizzato ha consentito di valutare la risposta produttiva di un territorio ad orografia complessa e soggetto a Cambiamenti Climatici (CC).

**Parole chiave:** cambiamenti climatici, frumento, Puglia.

### **INTRODUZIONE**

Si prevede che le regioni del sud Europa e del bacino del Mediterraneo siano quelle maggiormente vulnerabili all'impatto dei CC (EEA 2005). In particolare, nella regione del Mediterraneo si potrebbero verificare tra il 2030 ed il 2060 aumenti nelle temperature medie annuali da 1 a 3°C (Giannakopoulos et al., 2005) e riduzioni tra il 30 e 40% nelle precipitazioni (Giorgi et al. 2004).

Il territorio pugliese è caratterizzato da condizioni pedo-climatiche a volte limitanti per lo svolgimento dell'attività agricola. Il clima caldo-arido e la concentrazione delle piogge nel periodo autunno invernale, favorirebbero condizioni di vulnerabilità rispetto ai possibili CC. La richiesta competitiva da parte di diversi settori delle limitate risorse idriche, fa sì che l'agricoltura irrigua debba fronteggiare una ridotta disponibilità di acqua spesso anche caratterizzata da una qualità non ottimale. Di conseguenza sarà necessario individuare opportune strategie di pianificazione e gestione di suolo e/o acqua, per bilanciare il vantaggio economico con il principio della conservazione delle risorse naturali.

Questo studio, proiettandosi nel futuro mediante ipotetici scenari climatici, si propone di valutare le potenzialità del territorio pugliese alla coltivazione del frumento duro, specie storicamente molto presente nell'area del Tavoliere e normalmente coltivata in asciutto. Ci si è avvalsi delle possibilità offerte dai modelli di simulazione (climatici e colturali) che consentono di valutare le molteplici interazioni che intervengono nel sistema suolo-pianta-atmosfera, attraverso una riproduzione il più possibile vicina alla realtà, anche a scopo previsionale. Inoltre, il ricorso a dati climatici regionalizzati, tenendo conto della complessità dei fenomeni che intervengono sul territorio, ha differenziato da un punto di vista climatico le aree geografiche, raggiungendo un dettaglio necessario per analisi di vulnerabilità a scala regionale.

Il modello di simulazione colturale a scala spaziale AEGIS/WIN (Agricultural and Environmental Geographic Information System for Windows), interfaccia GIS del DSSAT (Engel et al. 1997), sulla base delle specifiche caratteristiche climatiche e pedologiche, permette di evidenziare la ripartizione delle produzioni di frumento duro nelle diverse aree della regione, potenzialmente coltivabili.

### **METODOLOGIA**

Il modello CERES-Wheat implementato nel software DSSAT v. 4.0 (Jones et al. 2003), è stato applicato per simulare la crescita e la resa del frumento duro (cv SIMETO), specie per la quale il modello è stato precedentemente calibrato e validato (Rinaldi 2001).

I dati climatici del periodo passato di riferimento (1975 – 2005), derivano dalle elaborazioni effettuate nell'ambito del progetto MARS (MARS project <http://mars.jrc.ec.europa.eu/>) da cui sono stati estrapolati i dati giornalieri di pioggia, radiazione solare, temperatura massima e temperatura minima, relativamente alle celle di una griglia, a risoluzione 50x50 km, corrispondenti al territorio pugliese.

Gli scenari utilizzati nelle simulazioni, relative ad un periodo futuro di 100 anni, derivano da processi di *downscaling* statistico a partire dagli scenari climatici globali prodotti dall'IPCC e basati sui diversi livelli di emissione di gas serra. I due scenari futuri generati Anomaly\_2 e Anomaly\_5, prodotti in corrispondenza delle celle MARS-JRC, si riferiscono rispettivamente ad intervalli di tempo futuri caratterizzati da incrementi di temperatura media globale di 2 e 5°C, rispetto al periodo pre-industriale. Mediante il generatore climatico stocastico LARS WG (Semenov and Barrow 1997), sono state generate serie climatiche future sulla base della variabilità delle serie storiche di dati misurati nell'area d'interesse. Ad alcune celle climatiche ricadenti prevalentemente nel mare (area salentina) o su piccole porzioni di aree interne, sono stati attribuiti dati climatici relativi a celle ad esse adiacenti.

Le informazioni pedologiche, sono state ottenute a partire dalla carta dei suoli realizzata nell'ambito del progetto ACLA2 (2001). In una fase successiva, le unità di suolo sono state incrociate con le aree potenzialmente coltivate a frumento, ottenute estraendo dalla carta dell'uso del suolo del progetto SIGRIA dell'INEA (2002) la classe cartografica dei "Seminativi non irrigui (CLC 211)". Le unità cartografiche ottenute (suolo-frumento), sono state sottoposte ad unione, utilizzando come criterio guida la presenza di Unità Tipologiche di Suolo uguali o simili. Infine le UC pedologiche sono state intersecate con le celle climatiche della griglia MARS-JRC relativamente all'area geografica della regione Puglia, ottenendo così 187 unità di calcolo o poligoni per le simulazioni di AEGIS/WIN.

## RISULTATI

La figura 1 riporta la distribuzione spaziale degli incrementi medi mensili delle temperature massime nei due scenari futuri rispetto allo scenario passato; il periodo di riferimento considerato è quello del ciclo colturale del frumento (novembre-maggio). Nello scenario A\_2 la temperatura massima mostra incrementi da 0.95 a 1.62 °C; gli incrementi più marcati si registrerebbero nello scenario A\_5, con valori variabili da 2.55 °C a 4.17 °C. Per entrambi gli scenari, gli incrementi sembrerebbero più elevati nella porzione centro settentrionale della regione, rispetto al Salento e all'arco ionico-tarantino, dove maggiore è l'effetto mitigante del mare. Analogo andamento e distribuzione si registrerebbe per le temperature minime (dati non mostrati).

Le piogge medie annuali, previste per i due scenari sul territorio pugliese, farebbero registrare una riduzione più o meno marcata per le diverse celle climatiche, e tali decrementi risulterebbero più consistenti nello scenario A\_5. In particolare, per il ciclo del frumento, i due scenari mostrano riduzioni delle precipitazioni, più marcate nella porzione centro-settentrionale e tali decrementi raggiungerebbero valori prossimi al 25% nello scenario A\_5 (fig. 2).

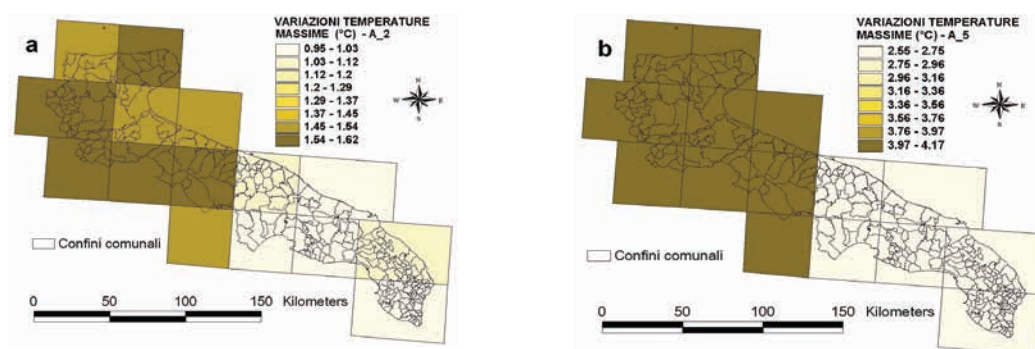


Figura 1. Mappe delle variazioni delle temperature massime in A\_2 (a) e A\_5 (b) rispetto al passato.

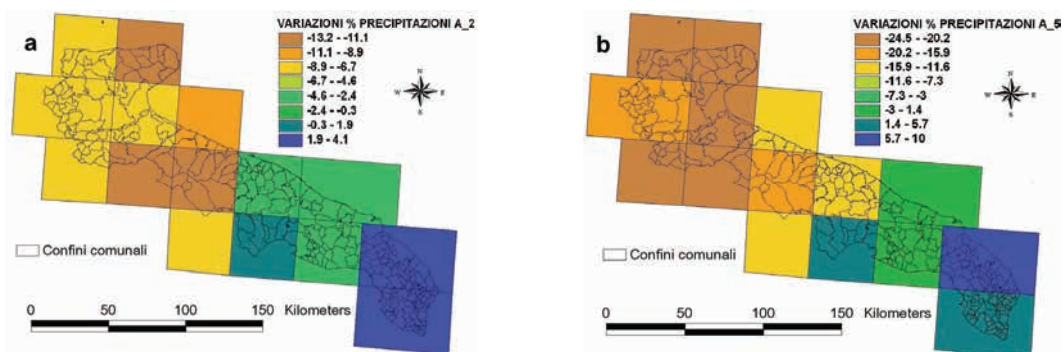


Figura 2. Mappe delle variazioni percentuali delle precipitazioni in A\_2 (a) e A\_5 (b) rispetto al passato.

A livello regionale, la produzione media di granella simulata nel passato risulta di 3.67 t/ha di s.s., coerentemente ai dati medi produttivi reali. Tale produzione risulterebbe più elevata nello scenario A\_2 (4.16t/ha) e pari a 3.76 t/ha in A\_5. L'effetto del clima sulla variabilità delle produzioni risulta prevalente rispetto a quello dovuto al suolo.

Per quantificare l'effetto delle variazioni climatiche sulla produzione di granella, sono stati riportati i valori medi annui delle produzioni per unità di calcolo suolo/clima, rappresentandoli in 4 classi equiprobabili sulla base dei quartili. Nella figura 3 è rappresentata la distribuzione delle produzioni di frumento su tutto il territorio regionale. In particolare, nella figura 3a, che rappresenta le produzioni del passato, si registra un intervallo compreso fra 1.57 e 6.54 t/ha di ss. Le aree che mostrano produzioni particolarmente favorevoli (4.4–6.54 t/ha) sono localizzate nella zona del Subappennino Dauno meridionale. Le produzioni medio-alte (3.61–4.44 t/ha) si registrano prevalentemente nelle zone del Tavoliere e sul versante lucano dell'altopiano delle Murge. Le aree con le produzioni più basse sono invece caratterizzate da suoli meno fertili e con minore piovosità (Salento, arco ionico-tarantino, parte del Tavoliere e promontorio del Gargano). Nelle figure 3b e 3c si riportano le variazioni percentuali delle produzioni negli scenari A\_2 e A\_5 rispetto al passato. Con lo scenario A\_2, si avrebbero variazioni positive in quasi tutto il territorio. Il 50% dei poligoni potrebbero far registrare un incremento di produzione variabile dal circa il 13 a quasi il 40%. Le variazioni meno favorevoli, invece, si avrebbero nell'arco ionico-tarantino e nel Salento. Tali effetti sulle produzioni in queste aree si spiegherebbero soprattutto con i più contenuti incrementi di temperatura (fig. 3b).

L'impatto dello scenario A\_5 si confermerebbe in generale più marcato. Il più consistente aumento delle temperature combinato con la maggiore riduzione delle piogge, fa sì che per più del 25% dei poligoni la produzione potrebbe ridursi fino al 24%; le aree più penalizzate sarebbero quelle del Subappennino Dauno meridionale e del versante lucano delle Murge. Invece, le aree più produttive nello scenario A\_5 sono contraddistinte da un intervallo di variazioni (12–44%) più ampio rispetto a quanto si possa osservare in A\_2 (20–40%) (fig: 3c).

Nella figura 3d si riportano le funzioni della probabilità cumulata della produzione ponderata di granella per unità di calcolo nei tre scenari climatici e i relativi box-plot. Si evidenzia come lo scenario A\_2 risulterebbe più favorevole di A\_5 per il quale, in corrispondenza delle unità più produttive, le rese diverrebbero più basse che nel passato. Il confronto tra gli scenari evidenzia, comunque, che le differenze possono essere considerate mediamente non significative.

## CONCLUSIONI

I risultati hanno messo in evidenza le potenzialità delle diverse aree pugliesi nella coltivazione del frumento duro in asciutto e la loro vulnerabilità rispetto ai CC. Il più moderato incremento di temperature, combinato a quello dell'effetto positivo della CO<sub>2</sub> atmosferica, previsti nello scenario A\_2, determinerebbero incrementi delle produzioni di granella nell'area centro settentrionale della regione

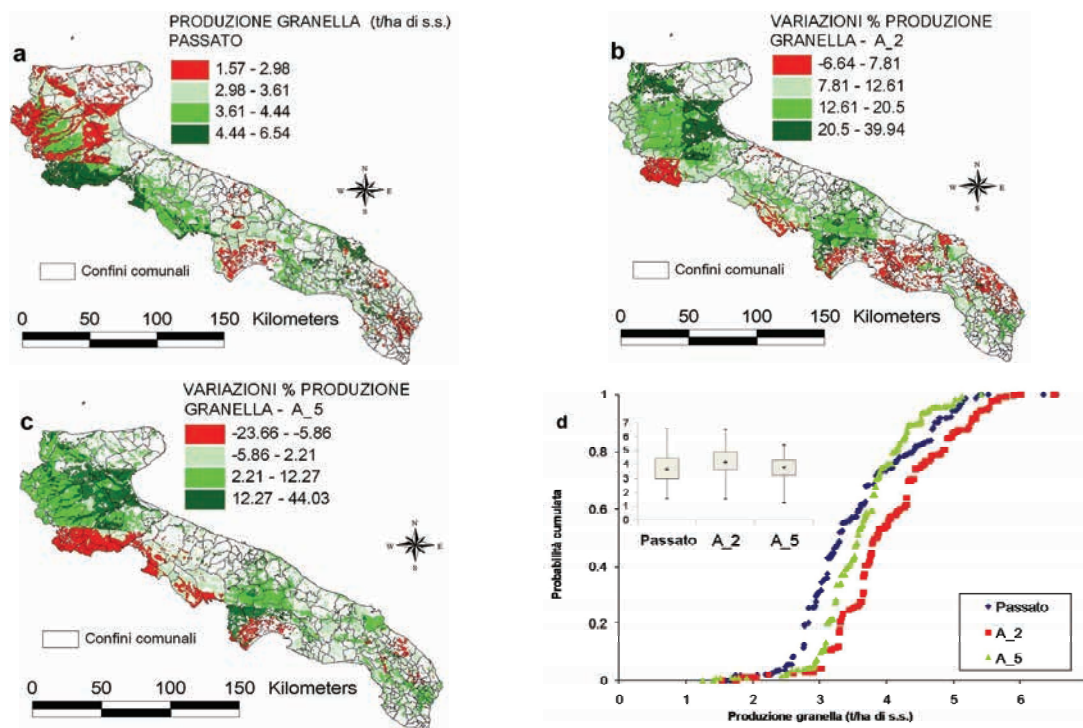


Figura 3. Mappe della produzione di granella nel passato (a) e delle variazioni rispetto ad esso in A\_2 (b) e A\_5 (c); funzione di probabilità cumulata della produzione di frumento nei tre scenari e boxplot relativi (d).

anche in corrispondenza di suoli caratterizzati da minore fertilità. Nello scenario A\_5, contraddistinto da un maggiore incremento di temperatura, solo il 50% circa delle aree manifesterebbe incrementi di produzione ma con più ampia variabilità dei valori. Si conferma che gli impatti dei CC sarebbero generalmente

più contenuti per le colture mediterranee a ciclo autunno-primaverile rispetto a quanto si riscontra generalmente per le quelle a ciclo primaverile-estivo.

La metodologia adottata si è dimostrata adeguata per valutare la vulnerabilità del territorio pugliese, diversificato dal punto di vista pedologico e climatico, rispetto ai previsti CC. Il modello AEGIS/WIN si è risultato efficace per l'elaborazione di informazioni d'interesse agronomico e la visualizzazione spazializzata dei risultati, combinando dati climatici a più alta risoluzione con il modello culturale DSSAT, diffusamente accreditato come valido strumento di supporto alle decisioni in agricoltura.

## BIBLIOGRAFIA

- ACLA2, (2001). *Caratterizzazione agroecologica della Regione Puglia in funzione della potenzialità produttiva – Annesso 2: carta pedologica in scala 1:100.000*. Progetto ACLA2, P.O.P. Puglia 94-99. Sottoprogramma FEOGA.
- Easterling, W.E., Aggarwal, P.K., Batima, P., Brander, K.M., Erda, L., Howden, S.M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J. F., Schmidhuber, J., Tubiello, F.N., (2007). *Food, fibre and forest products. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L., Parry, O.F. Canziani, J.P., Palutikof, P.J., van der Linden, C.E., Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273-313.
- European Environment Agency (EEA), (2005). *Vulnerability and adaptation to climate change in Europe*. EEA Technical report, No 7/2005. ISSN, 1725-2237.
- Engel, T., Hoogenboom, G., Jones, J. W., Wilkens, P.W., (1997). *AEGIS/WIN: a computer program for the application of crop simulation models across geographic areas*. Agron. J., 89, 919-928.
- Giannakopoulos, C., Bindi, M., Moriondo, M., Le Sager, P., Tin, T., (2005). *Climate change impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise*. Report for WWF, 1 July 2005.
- Giorgi, F., Bi, X., Pal, J.S., (2004). *Mean interannual and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: Climate Change scenarios (2071-2100)*. Climate Dynamics, 23 (7-8), 839-858.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T., (2003). *The DSSAT cropping system model*. Europ. J. Agronomy, 18, 235-265.
- Progetto CASI 3-SIGRIA INEA, (2002). *Studio sull'uso irriguo della risorsa idrica nelle regioni Obiettivo 1*.
- Rinaldi, M., (2001). *Durum wheat simulation in Southern Italy using CERES-Wheat model. I. Calibration and validation*. Proc. of 2nd International Symposium "Modelling Cropping Systems", Florence (Italy), 16-18 July, 81-82.
- Semenov, M.A., Barrow, E.M., (1997). *Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios*. Climatic Change, 35, 397-414.



## CARATTERIZZAZIONE IDROCHIMICA E IDRODINAMICA DELLE SORGENTI CARSICHE NEL TERRITORIO DI VIESTE (FG)

SOLLITTO DONATO<sup>1</sup>, SOLLITTO DOMENICO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Associazione GEG, Bari, Italia, d.sollitto@libero.it

### RIASSUNTO

Nell'ambito del progetto *Spring Surv*, finanziato dalla Regione Puglia nel programma “*Principi attivi: giovani idee per una Puglia migliore*”, è stato condotto un monitoraggio quantitativo e qualitativo delle acque sorgive che scaturiscono lungo la costa del territorio di Vieste (FG) per valutarne i caratteri idrodinamici e idrochimici. Ne risultano caratteri di qualità non dissimili dalle acque prelevate da pozzi in esercizio lungo la costa e, considerate le portate erogate dalle sorgenti, si ritiene che queste possano costituire una valida alternativa ai prelievi meccanizzati per il potenziamento della rete di approvvigionamento idrico del territorio.

**Parole chiave:** Acquifero carsico, intrusione salina, sorgenti idriche

### INTRODUZIONE

La tendenza climatica degli ultimi decenni, caratterizzata da una sensibile diminuzione dei periodi piovosi, ha determinato un progressivo inaridimento di alcune aree della Puglia, con sensibili alterazioni degli equilibri idrogeologici.

Questa situazione ha pesato sensibilmente sul continuo incremento del fabbisogno idrico, determinando situazioni allarmanti per la disponibilità idrica sul territorio regionale. In conseguenza di ciò si è determinato un ricorso sempre più esteso alle risorse idriche sotterranee, per buona parte dei casi di natura privata e in assenza di una adeguata pianificazione per la gestione sostenibile dei prelievi, provocando talvolta uno sfruttamento della risorsa in misura superiore rispetto a quanto i caratteri di rinnovabilità dei sistemi acquiferi possono garantire. Tale situazione comporta severe ripercussioni sulla disponibilità delle acque sotterranee e un progressivo decadimento delle loro caratteristiche qualitative. Negli acquiferi costieri, infatti, l'equilibrio idrogeologico esistente tra le acque dolci di falda e le acque marine di intrusione continentale in corrispondenza della fascia di transizione dipende sensibilmente dal bilancio idrogeologico; in generale la riduzione dei volumi di acqua dolce, sia per effetto del sovrasfruttamento che per una riduzione della ricarica naturale, determina un richiamo delle acque salate verso i settori più interni dell'acquifero, aumentandone il grado di contaminazione salina.

Le condizioni di carenza idrica in aree come il Promontorio del Gargano contrastano con le potenzialità delle risorse idriche sotterranee in tale contesto territoriale, sede di un vasto acquifero carsico. Tuttavia, la maggior parte dei prelievi risulta localizzata lungo la fascia costiera, dove l'orografia è prossima al livello del mare e sono presenti livelli idrici più superficiali, contribuendo al richiamo delle acque marine di intrusione continentale e alla progressiva contaminazione salina delle acque di falda.

Il recapito finale delle acque sotterranee è rappresentato da una serie di sorgenti costiere concentrate in alcuni tratti ben definiti della costa garganica. Tale risorsa potrebbe rappresentare una alternativa sostenibile ai prelievi meccanizzati dai pozzi per il potenziamento dell'attuale sistema di approvvigionamento idrico.

A tal riguardo, il progetto *SpringSurv* finanziato dalla Regione Puglia nell'ambito del programma “*Principi attivi: giovani idee per una Puglia migliore*” è stato finalizzato al monitoraggio quantitativo e qualitativo delle acque delle sorgenti idriche ubicate in agro di Vieste, al fine di valutarne le effettive potenzialità di approvvigionamento idrico in alcune aree di insediamenti turistici e balneari. Lo studio è stato supportato dal Consorzio di Bonifica Montana del Gargano e dal Dipartimento di Geologia e Geofisica dell'Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”, che ne hanno condiviso le finalità e hanno fattivamente contribuito al raggiungimento degli obiettivi.

## LINEAMENTI IDROGEOLOGICI

La potente successione di rocce calcaree e dolomitiche (Giurassico-Cretaceo) affiorante sul Promontorio del Gargano ospita una estesa falda carsica i cui caratteri idrogeologici sono in stretto rapporto con l'ambiente di sedimentazione delle diverse formazioni carbonatiche (Cotecchia & Magri 1996; Zezza et al. 1996; Maggiore & Pagliarulo 2004). La circolazione idrica sotterranea si esplica quasi ovunque in pressione attraverso livelli idrici maggiormente carsificati che spesso si rinvengono a diversi metri sotto il l.m., con direzioni principali del flusso idrico sotterraneo generalmente perpendicolari alla linea di costa.

L'acqua di falda scaturisce da numerose sorgenti costiere, talora raggruppate in fronti sorgivi, che sono state classificate, in base alle modalità di scaturigine, in sorgenti di trabocco per sbarramento, sorgenti ascendenti, sia superficiali che subacquee, e sorgenti di emergenza (Cotecchia & Magri 1966).

Studi recenti (Polemio et al., 2000) hanno stimato l'entità media di ricarica dell'acquifero intorno a 10.8 m<sup>3</sup>/s, di cui soltanto il 32 % (3.4 m<sup>3</sup>/s) alimenta le sorgenti ad oggi censite, mentre il 60 % di tale risorsa ha una destinazione tuttora sconosciuta.

Nel territorio di Vieste (Fig. 1) la falda carsica circola nelle unità calcareo-dolomitiche di bacino che, caratterizzate da un minor grado di carsismo rispetto alle unità più interne, offrono delle vie preferenziali di flusso idrico nelle porzioni interessate da un maggior grado di fratturazione. I depositi alluvionali e sabbiosi, estesamente affioranti nelle zone a nord del centro abitato di Vieste e in alcuni lembi ristretti lungo la costa, presentano una permeabilità primaria per porosità con un grado intermedio. In questi terreni per lo più incoerenti si sviluppa una circolazione idrica sotterranea piuttosto diffusa.

Nel territorio di Vieste la falda carsica emerge lungo la costa attraverso numerose scaturigini che alcune volte sono raggruppate lungo veri fronti sorgivi, mentre altre volte si rinvengono come singoli punti

d'acqua. I principali gruppi sorgivi sono ubicati a sud del centro abitato, in corrispondenza dei litorali "Scialara" e "Portonuovo". Altre due scaturigini importanti sono, invece, ubicate a nord di Vieste, in località "Palude Mezzana" e in località "Scialmarino" (Fig. 1). Nel corso del presente studio è stato condotto un monitoraggio delle portate sorgive nel periodo compreso tra aprile del 2009 e marzo del 2010, in modo da analizzarne il regime idrogeologico nell'arco dell'intero anno e rapportarlo con i dati di bilancio idrico. Contestualmente è stato condotto un monitoraggio delle caratteristiche fisiche e chimiche delle acque sotterranee, sia alla scaturigine che in falda, al fine di definirne la facies idrochimica e valutarne i caratteri di qualità.

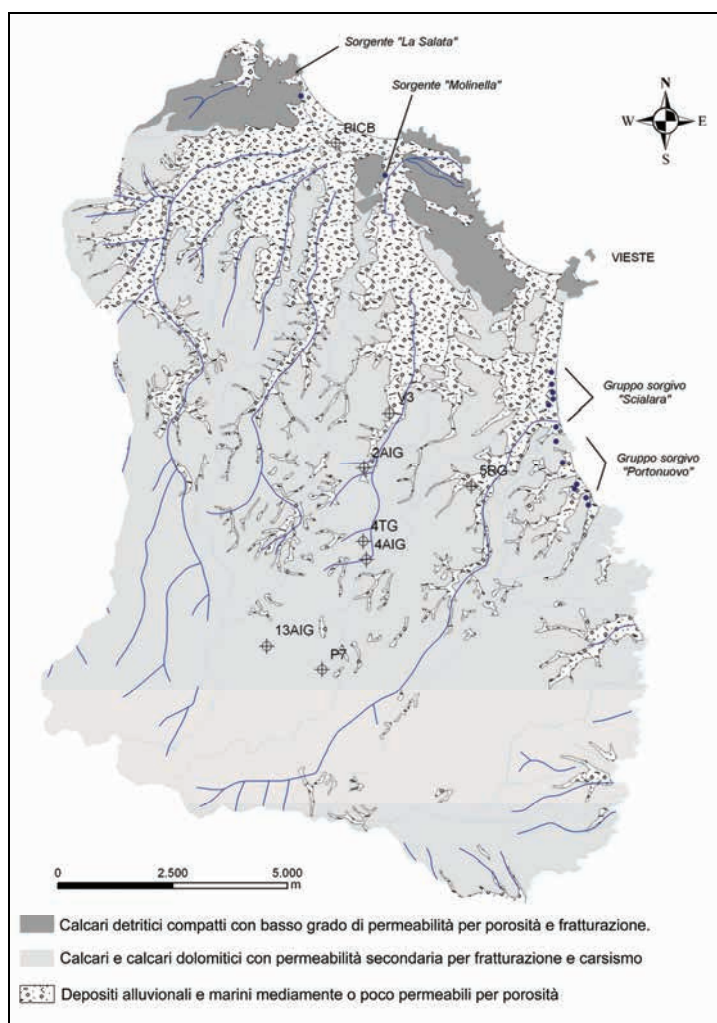


Figura 1 - Unità idrogeologiche del territorio di Vieste (FG)

## CARATTERI QUANTITATIVI E QUALITATIVI DELLE ACQUE SORGIVE

Le sorgenti che scaturiscono sulle coste di Vieste sono tutte emergenze di tipo perenne, dalle quali durante l'arco dell'anno vengono erogate portate medie che oscillano da circa 50 l/s fin oltre 350 l/s (Tab. 1). Il grado di variabilità temporale di queste sorgenti è piuttosto elevato, probabilmente in virtù della

natura carsica dell'acquifero. In base all'indice di variabilità, definito come

$$I_v = \left[ \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\text{med}}} \right] \times 100 \quad (1)$$

esse possono essere classificate come sorgenti variabili, essendo tale indice sempre al di sopra del 100%. Soltanto per il gruppo sorgivo della Scialara si può parlare di sorgenti sub-variabili, dato che per queste scaturigini l'indice di variabilità della portata complessiva risulta pari al 73,7%.

L'andamento delle portate complessive erogate da tutte le scaturigini monitorate mostra valori dell'ordine di  $10^2 \div 10^3$  l/s, con un regime caratterizzato da periodi di massima portata intorno a febbraio e da fasi di esaurimento che generalmente vanno da maggio fino a settembre. Occorre evidenziare, inoltre, che l'andamento complessivo delle portate erogate da tutte le sorgenti non mostra impulsi evidentemente legati all'andamento delle piogge mensili registrate nella stazione di Vieste.

I dati di portata monitorati mensilmente hanno permesso di analizzare la curva di esaurimento di ciascuna scaturigine, utilizzando la funzione esponenziale di Maillet:

$$Q_t = Q_0 \times e^{-\alpha t} \quad (2)$$

dove  $Q_0$  e  $Q_t$  rappresentano le portate erogate rispettivamente all'inizio e alla fine dell'intervallo di tempo  $t$  di esaurimento, mentre  $\alpha$  è il coefficiente di esaurimento. I coefficienti calcolati per le sorgenti in studio mostrano tutti dei valori dell'ordine di  $10^{-3}$ . L'analisi della curva di esaurimento ha consentito, inoltre, di quantificare la risorsa dinamica tra  $8,39 \times 10^5 \div 4,12 \times 10^6$  mc. Confrontando questi dati con quanto ottenuto nella stima del bilancio idrologico è possibile dedurre l'esistenza di un bacino idrogeologico molto più vasto di quanto i dati delle sorgenti censite possano spiegare, confermando l'esistenza di volumi idrici che scaturiscono in forma di sorgenti sottomarine attraverso circuiti idrici ancora del tutto ignoti.

In generale le temperature rilevate in corrispondenza di tutti i punti di monitoraggio oscillano tra 16 e 21 °C, con variazioni significative tra le diverse scaturigini o gruppi di scaturigine. Il diverso intervallo di variabilità e il grado di accordo tra il regime termico delle acque sorgive e quello dell'aria sembrano essere connessi al meccanismo di scaturigine.

Variazioni temporali di temperatura più modeste e apparentemente poco sensibili al regime termico atmosferico caratterizzano più tipicamente le sorgenti di emergenza, le cui acque sono maggiormente influenzate dallo stato termico dell'acquifero regionale. Al contrario, le acque erogate da sorgenti ascendenti o di sbarramento appaiono maggiormente influenzate dal regime climatico, evidentemente per via di un loro rimescolamento con i livelli idrici alluvionali più superficiali.

Le medesime ragioni spiegherebbero la maggiore conducibilità elettrica che caratterizza le acque dell'acquifero carsico regionale che scaturiscono da sorgenti di emergenza (8 mS/cm), caratterizzate come è noto da un certo grado di contaminazione salina, rispetto alle acque che giungono da sorgenti ascendenti o di sbarramento (3-4 mS/cm), per le quali il contenuto salino verrebbe diluito nel rimescolamento con le acque più dolci dei livelli idrici superficiali.

In tutti i campioni analizzati si riscontra la prevalenza degli ioni alcalini ( $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ) su quelli alcalino terrosi ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) e la prevalenza dello ione cloruro sugli ioni bicarbonato e solfato. Le acque esaminate presentano, quindi, una prevalenza degli ioni di origine marina ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ) rispetto agli ioni di origine continentale ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), rivelando un livello di contaminazione marina. Il diagramma di Piper (Fig.2) mostra come il grado di contaminazione salina presenta una certa tendenza che è determinata dalla diversa distanza dal mare dei punti di campionamento; le acque più dolci, infatti, si

Sorgente	Q min (l/s)	Q max (l/s)	Q med (l/s)	Iv
Portonuovo	16,07	134,93	51,32	231,60
Lago di Chiara	37,42	146,27	81,51	133,54
Caruso	232,81	805,08	368,32	155,37
Calcari	39,40	122,99	76,52	109,23
Gruppo Scialara	246,82	491,45	331,68	73,75
Molinella	49,24	154,25	100,45	104,53
La Salata	48,37	131,41	82,82	100,26

Tabella 1 - Valori medi ed estremi delle portate sorgive

rinvengono nei pozzi distribuiti nelle zone più distanti dal mare, mentre diventano via via più salmastre man mano che la distanza diminuisce. In corrispondenza delle sorgenti costiere la composizione delle acque è molto vicina a quella di un campione di acqua di mare analizzato, sebbene sia evidente una leggera differenziazione nel contenuto di ione cloruro tra i diversi gruppi sorgivi, in accordo con quanto riscontrato per i parametri fisici.

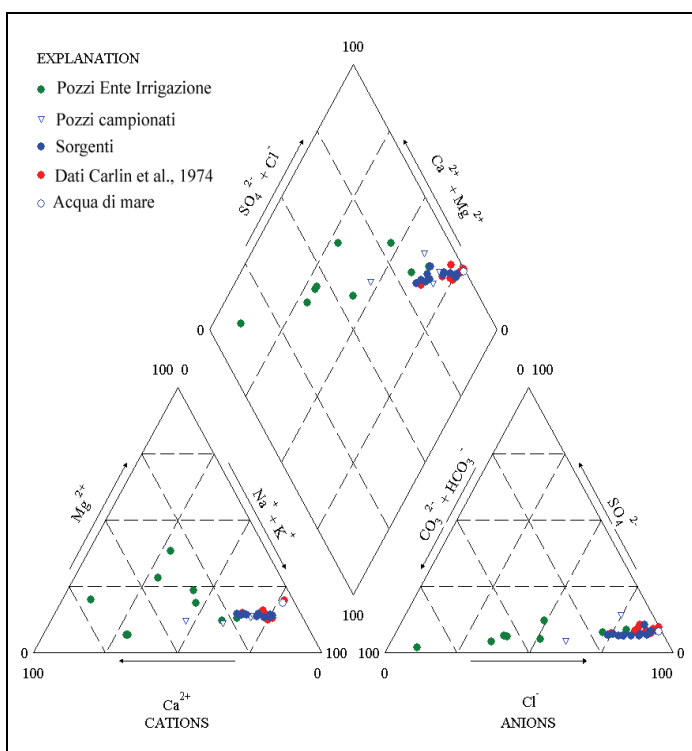


Figura 2 - Diagramma di Piper delle acque campionate

idrogeologici e di ridurre il richiamo di acqua marina, favorendo sensibili diminuzioni nel grado di contaminazione salina delle acque.

## BIBLIOGRAFIA

- Carlin, F., Gragnani, R., Paganin, G., (1976) – *Geochemical study of the Gargano promontory thermal springs (Apulia Region – Southern Italy)*. Int. Congress on the thermal Waters, Geothermal Energy and Vulcanism of the Mediterranean Area, Atene.
- Cotecchia, V., Magri, G., (1966) – *Idrogeologia del Gargano*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 1, 1-80, Bari.
- Maggiore, M., Pagliarulo, P., (2004) – *Circolazione idrica ed equilibri idrogeologici negli acquiferi della Puglia*. Atti conv. “Uso e tutela dei corpi idrici della Puglia”, in Geologi e Territorio, supplemento n°1, 13 – 35.
- Polemio, M., Di Cagno, M., Virga, R., (2000) – *Le acque sotterranee del Gargano: risorse idriche integrative e di emergenza*. Acque Sotterranee, 68, 41-58.
- Zeza, V., Macri, F., Polemio, M., (1996) – *Nuove conoscenze idrogeologiche del Gargano centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 51, 1037 – 1043.

## CONCLUSIONI

Il presente studio pone in evidenza l'esistenza di una risorsa idrica cospicua nel territorio di Vieste che si manifesta attraverso numerose scaturigini naturali alimentate dalla falda carsica del Gargano. La caratterizzazione idrochimica delle acque sorgive le classifica come leggermente salmastre, sebbene la loro composizione chimica non sia diversa da quella delle acque prelevate da pozzi privati posti lungo i litorali di Vieste.

L'impiego delle acque sorgive potrebbe costituire una fonte alternativa per il potenziamento dei locali sistemi di approvvigionamento idrico, che negli ultimi episodi di particolare siccità si sono rivelati insufficienti a soddisfare le reali esigenze idriche del territorio nel periodo estivo. Ciò comporterebbe, inoltre, un uso sostenibile della risorsa idrica sotterranea in quanto, trattandosi di scaturigini naturali della falda, consentirebbe di preservarne gli equilibri

# STUDIO DEI CARATTERI IDROCHIMICI DELL'ACQUIFERO CARSICO DELLA MURGIA MEDIANTE TECNICHE GEOSTATISTICHE MULTIVARIATE

CASTRIGNANÒ ANNAMARIA<sup>1</sup>, DE BENEDETTO DANIELA<sup>1</sup>, GIRONE GIACOMA<sup>1</sup>, SOLLITTO DONATO<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>CRA-SCA, Bari, Italia. annamaria.castrignano@entecra.it

## RIASSUNTO

I dati idrochimici e di trasmissività idraulica dell'acquifero carsico della Murgia (Italia meridionale) sono stati analizzati mediante tecniche geostatistiche multivariate al fine di caratterizzare la variabilità spaziale. L'analisi degli elementi maggiori ha consentito di produrre alcune mappe di concentrazione degli ioni. L'analisi spaziale alle componenti principali, inoltre, ha posto in evidenza l'esistenza di due processi idrochimici che maggiormente condizionano le strutture di variabilità spaziale delle variabili geochemiche.

**Parole chiave:** geostatistica multivariata, factor cokriging, intrusione marina, qualità delle acque

## INTRODUZIONE

I caratteri idrochimici delle acque sotterranee dipendono, come è noto, da numerosi processi che determinano la concentrazione delle sostanze in esse disciolte. Tra i numerosi fattori, sia naturali che antropici, che possono condizionare i caratteri di qualità delle acque sotterranee vi sono alcuni strettamente connessi con le modificazioni climatiche e il loro impatto sugli equilibri idrogeologici. In contesti idrogeologici carsici e costieri come quelli della Puglia, ad esempio, le principali cause di alterazione qualitativa delle acque sotterranee sono da ricondurre all'intrusione salina. L'entità di tale fenomeno è correlabile ad una progressiva riduzione della risorsa idrica connessa principalmente alla diminuzione della ricarica naturale dell'acquifero ad opera delle acque meteoriche (Polemio & Casarano 2008).

Le pressioni indotte da prelievi intensi di acque sotterranee e la presenza di particolari condizionamenti idrogeologici, inoltre, determinano l'esistenza di aree particolarmente vulnerabili all'intrusione salina in prossimità della costa (Polemio et al. 2009).

L'applicazione di tecniche geostatistiche per la spazializzazione dei dati chimici e idrogeologici può fornire un valido supporto per l'analisi della variabilità spaziale delle variabili idrochimiche, producendo mappe di concentrazione dei singoli elementi. Tuttavia la realizzazione di mappe tematiche non può essere considerata del tutto esaustiva per la comprensione dei processi idrogeologici in atto, in quanto esse sono poco esplicative dei reciproci rapporti di variabilità. A tal riguardo l'applicazione di tecniche geostatistiche multivariate permette di valutare non soltanto la variabilità spaziale delle singole variabili in gioco, ma anche la loro correlazione spaziale, ponendo in evidenza l'esistenza di fattori di variabilità comuni e riconducibili ai medesimi processi idrochimici.

Al fine di investigare alcuni aspetti idrogeologici e idrochimici dell'idrostruttura murgiana sono stati analizzati alcuni dati qualitativi delle acque sotterranee mediante tecniche geostatistiche multivariate.

## INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La struttura idrogeologica delle Murge risiede nella successione calcareo-dolomitica del Cretaceo ed è caratterizzata da un'elevata capacità idrica, sebbene sia presente una permeabilità secondaria medio-bassa dovuta a fessurazione e carsismo. La distribuzione irregolare delle fratture e delle forme carsiche ipogee conferisce all'acquifero uno schema di circolazione idrica sotterranea piuttosto complesso, frazionato su più livelli tra loro interconnessi, che a grande scala formano un unico sistema di flusso (Maggiore &

Pagliarulo 2004). La zona di prevalente ricarica è ubicata in corrispondenza delle aree carsiche interne dell'alta Murgia e, rispetto allo spartiacque idrogeologico disposto per lo più parallelamente ai rilievi murgiani, la componente prevalente del flusso idrico sotterraneo nel settore orientale dell'acquifero è orientata perpendicolarmente alla linea di costa.

Considerato lo sviluppo costiero degli acquiferi carbonatici della Puglia, il livello di base della circolazione idrica sotterranea è spesso rappresentato dalle acque salate di intrusione marina. I caratteri di qualità delle acque sotterranee sono, perciò, principalmente influenzati dal rimescolamento tra le acque dolci di falda e le acque marine (Fidelibus & Tulipano 1991). Pertanto i caratteri idrochimici delle acque di falda denotano l'esistenza di acque dolci prevalentemente nelle zone interne dell'acquifero murgiano, mentre in prossimità della costa si riscontra la presenza di acque notevolmente più saline.

Nel presente studio sono stati analizzati due differenti dataset: il primo, riferito a valori di trasmissività idraulica, è stato ottenuto analizzando una serie di prove di portata documentate in diverse stratigrafie di pozzi per acqua reperiti in alcuni archivi regionali (Ente Irrigazione); il secondo, invece, riguarda le concentrazioni dei soli elementi maggiori ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  e  $Cl^-$ ) e la conducibilità elettrica. I dati sono stati raccolti nell'ambito del progetto di ricerca Primac, finanziato con fondi europei attraverso il programma Interreg III.

## **METODOLOGIA GEOSTATISTICA**

Un'analisi geostatistica univariata è stata dapprima condotta sui dati di trasmissività idraulica, al fine di ottenere un modello di dipendenza spaziale del dato e, quindi, produrne una stima nei punti in cui sono stati campionati i dati di qualità delle acque. In tal modo è stato ottenuto un dataset coregionalizzato comprendente sia dati idrochimici che di trasmissività idraulica, al fine di poter effettuare l'analisi multivariata.

Data la distribuzione spaziale accentuatamente non uniforme dei punti campionati, si è reso prioritario un procedimento di de-clustering dei dati, che consiste nell'attribuzione di un peso alle variabili misurate in base alla densità di campionamento della variabile stessa (Castrignanò et al. 2009). Poiché tutte le variabili presentano distribuzioni fortemente asimmetriche, con magnitudo molto differenti, è stato necessario normalizzarle e standardizzarle a media nulla e varianza unitaria, mediante un procedimento di anamorfofi gaussiani (Wackernagel 2003).

I dati gaussiani trasformati sono stati elaborati attraverso tre fasi di analisi, complessivamente noti come "Factor co-kriging Analysis (Castrignanò et al. 2000):

a) adattamento di un modello lineare di coregionalizzazione, al fine di modellizzare simultaneamente i semi-variogrammi diretti ed incrociati delle 9 variabili analizzate e determinare, per ciascuna scala spaziale individuata, una matrice di regionalizzazione contenente i sill dei variogrammi diretti e incrociati. In questa fase, inoltre, vengono prodotte le mappe tematiche delle singole variabili mediante co-kriging su una maglia con passo di 1000 m; b) analisi delle componenti principali su ciascuna delle matrici di regionalizzazione per il calcolo di fattori regionalizzati dipendenti dalla scala; c) stima dei fattori regionalizzati mediante co-kriging ai nodi della stessa griglia precedentemente definita e loro rappresentazione su mappa.

## **DISCUSSIONE DEI RISULTATI**

La statistica di base delle variabili di studio (dati non riportati) mostra un campo di variabilità relativamente ampio per le concentrazioni di tutti gli elementi principali analizzati, evidenziando anche distribuzioni fortemente asimmetriche verso i valori più elevati. In particolare, si osserva tendenzialmente un maggior grado di asimmetria per gli elementi tipici di origine marina ( $Na^+$ ,  $K^+$  e  $Cl^-$ ) rispetto a quelli di origine continentale ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $HCO_3^-$ ), evidentemente in relazione alla presenza di acque maggiormente contaminate da intrusione marina. D'altra parte, anche la conducibilità elettrica mostra un ampio intervallo di variabilità, con valori minimi e massimi che sono tipicamente di acque dolci e di acque salmastre rispettivamente.

La matrice di correlazione mostra coefficienti piuttosto elevati tra gruppi di variabili riconducibili alla medesima origine (dati non riportati). Lo ione  $\text{HCO}_3^-$ , ad esempio, risulta ben correlato con  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , i quali sono ascrivibili a processi di scambi ionici tra le acque sotterranee e il serbatoio acquifero della Murgia, di composizione litologica calcareo-dolomitica. D'altra parte, gli ioni alcalini ed il cloro risultano essere molto correlati tra loro e con lo ione  $\text{SO}_4^{2-}$ . Queste variabili, infatti, sono accomunate da processi di salinizzazione delle acque di falda dovute all'intrusione marina nei settori di acquifero più prossimi alla costa. Va osservato, infine, come la trasmissività idraulica sia poco correlata con tutte le variabili; la maggiore correlazione positiva con gli ioni di origine marina è da mettere in relazione con il fenomeno di intrusione marina che, a parità di altre condizioni idrogeologiche, può assumere una maggiore estensione nei settori acquiferi caratterizzati da una maggiore trasmissività idraulica.

L'analisi di coregionalizzazione (dati non riportati) rivela la presenza di due componenti di variabilità approssimativamente di uguale peso: la prima componente è detta effetto nugget puro, corrispondente ad una variabilità non correlata spazialmente su scala inferiore alla distanza media di campionamento; la seconda descrive una variabilità strutturata spazialmente con un range di 8.000 m.

Le mappe di co-kriging delle singole variabili rivelano l'esistenza di strutture di dipendenza spaziale piuttosto differenti tra le componenti ioniche, riconducibili a processi genetici differenti. Ad esempio, nella mappa di concentrazione di  $\text{Na}^+$  (Fig. 1a) si riscontrano zone ad elevato contenuto salino in settori costieri localizzati a N e a S-SE dell'area di indagine. Nel caso dello ione bicarbonato, invece, si riscontra un maggior grado di variabilità erratica e l'assenza di ben definite strutture di dipendenza spaziale, da porre in relazione con la costituzione litologica dell'acquifero (Fig. 1b).

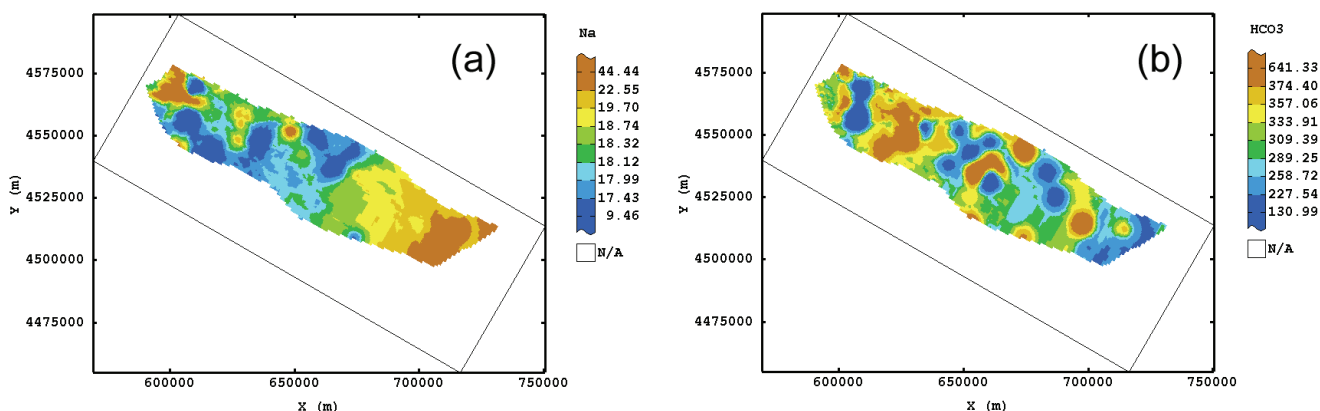


Figura 1 - Mappe di co-kriging delle concentrazioni degli ioni  $\text{Na}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$  (mg/l).

Trascurando l'effetto di nugget, perché maggiormente affetto da errori di misura e di campionamento, si sono analizzati i fattori regionalizzati corrispondenti alla componente strutturata spazialmente che tiene conto di circa il 60% della variabilità spaziale complessiva. In particolare, si sono analizzati i primi due fattori relativi ad un autovalore superiore all'unità, che quindi individualmente spiegano una proporzione della variabilità, relativa alla scala considerata, significativamente superiore a quella associata ad una singola variabile (Tab. 1). Il primo fattore spiega il 44,93% della varianza relativa alla scala spaziale di 8000 m, su cui pesano in misura predominante gli ioni di origine continentale, oltre che la conducibilità elettrica. Viceversa sul secondo fattore, che spiega il 32,79% della varianza, pesano maggiormente gli ioni alcalini, i solfati e la trasmissività. L'ortogonalità statistica e spaziale dei due fattori regionalizzati assicura che i pesi delle singole variabili risultino in parte complementari, nel senso che variabili che pesano in misura maggiore sul primo fattore assumono un peso trascurabile nel secondo fattore e viceversa.

L'ortogonalità dei due fattori si può verosimilmente associare a due processi distinti. Il primo fattore potrebbe essere ricondotto ai processi di scambio ionico tra le acque sotterranee e la roccia madre; dato che tale processo è diffusamente presente sull'intero dominio acquifero, ciò probabilmente giustifica la maggiore proporzione di varianza totale spiegata da tale fattore. Il secondo fattore, invece, è principalmente riconducibile a processi di intrusione salina, più localizzati in prossimità della costa e

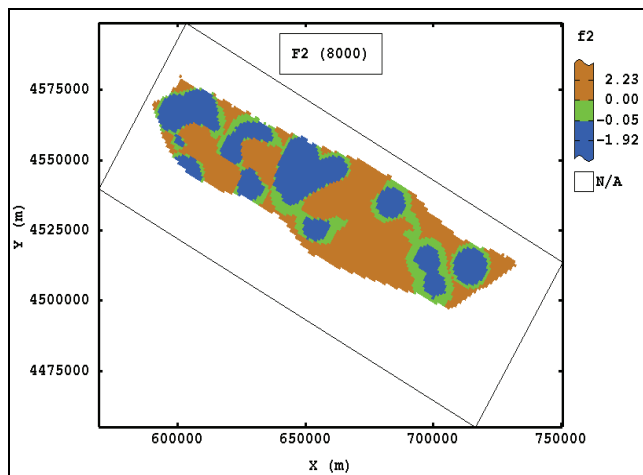


Figura 2 - Mappa del fattore F2 ottenuta mediante co-kriging

fortemente condizionati dalla trasmissività idraulica, che condiziona maggiormente tale fattore. La mappa di quest'ultimo fattore (Fig. 2), ad esempio, permette di delineare zone in cui pesano maggiormente gli effetti del processo ad esso associato e, dunque, potenzialmente a rischio di salinizzazione.

## CONCLUSIONI

L'impiego di metodi geostatistici multivariati a un insieme di dati idrochimici e idrogeologici può risultare particolarmente efficace nell'individuazione di aree interessate da determinati processi idrochimici. Nel caso specifico dell'acquifero della Murgia, l'applicazione di tale

analisi ad un dataset più corposo e uniforme consentirebbe, ad esempio, di delineare con un minor grado di incertezza zone a rischio di intrusione salina, quali aree sensibili a processi di degrado e di desertificazione per effetto dei cambiamenti climatici.

Fattori	Ce	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	K <sup>+</sup>	Tr	Eigen val.	Val. Var.
F1	0.377	<b>0.494</b>	0.154	<b>0.654</b>	<b>0.314</b>	0.148	0.041	0.185	0.067	2.629	<b>44.93</b>
F2	0.099	-0.079	<b>0.136</b>	-0.240	-0.051	<b>0.201</b>	<b>0.306</b>	<b>0.3000</b>	<b>0.824</b>	1.918	<b>32.79</b>

Tabella 1 - Analisi alle componenti principali

## BIBLIOGRAFIA

- Castrignanò, A., Giugliarini, L., Risaliti, R., Martinelli, N., (2000). *Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics*. Geoderma, 97: 39-60.
- Castrignanò, A., Buondonno, A., Odierna, P., Fiorentino, C., Coppola, E., (2009). *Uncertainty assessment of a soil quality index using geostatistics*. Envirometrics, 20, 298-311.
- Fidelibus, M. D., Tulipano, L., (1991) – *Mixing phenomena due to seawater intrusion for the interpretation of chemical and isotopic data of discharge waters in the Apulian coastal carbonate aquifer (Southern Italy)*. In: Briggeman G.A. (ed) Hydrogeology of salt water intrusion. Verlag Heinz Heise, Hannover, pp 317-327.
- Maggiore, M., Pagliarulo, P. (2004). *Circolazione idrica ed equilibri idrogeologici negli acquiferi della Puglia*. Atti conv. "Uso e tutela dei corpi idrici della Puglia", in Geologi e Territorio, supplemento n°1, 13 – 35.
- Polemio, M., Casarano, D., (2008). *Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy*. In: Climate Change and Groundwater, Dragoni W. & Sukhija B.S. (Eds). Geological Society of London, Special Publications, 288, 39-51.
- Polemio, M., Dragoni, V., Limoni, P. P., (2009). *Monitoring and methods to analyse the groundwater quality degradation risk in coastal karstic aquifers (Apulia, Southern Italy)*. Environ. Geol., 58, 299-312.
- Wackernagel, H., (2003). *Multivariate Geostatistics: an introduction with Applications*. Springer-Verlag, Berlin, 3<sup>rd</sup> edn., 388 pp.



# GLI EFFETTI DEL BIENNIO DI SICCA' 2001-02 SUI PUNTI D'ACQUA DEL BACINO IDROGEOLOGICO ANAPO-CAVADONNA

AURELI AURELIO<sup>1</sup>, DIPASQUALE MARIO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> già Ordinario di Geologia Applicata Università di Palermo, Italia

<sup>2</sup> Dip. di Geologia e Geodesia Università di Palermo, Italia, m.dipasquale@unipa.it

## RIASSUNTO

Il bacino dell'Anapo-Cavadonna è uno dei più ricchi di risorse idriche profonde dell'intera area iblea e ciò ha portato allo scavo, negli anni, di un numero rilevante di pozzi concentrati principalmente nella piana costiera del Ciane. Gli ingenti prelievi hanno determinato la diminuzione dei livelli piezometrici, la riduzione delle portate delle sorgenti e, nei tratti costieri, l'insalinamento delle falde. Un insieme di problematiche si manifesta nei periodi estivi, quando maggiori sono gli sfruttamenti idrici e si aggrava nei periodi di siccità prolungata (biennio 2001-02) quando la ricarica annua è deficitaria, provocando variazioni negative dei livelli piezometrici che, nelle zone di costa, determinano il richiamo, verso l'interno, delle acque del mare.

**Parole chiave:** intrusione marina, ione cloro, periodo di siccità

## INTRODUZIONE

La presente nota vuole evidenziare gli effetti che la prolungata siccità del biennio 2001-02 ha causato sulle falde e sui punti d'acqua presenti nel bacino Anapo- Cavadonna.

In tale periodo sono state registrate, nelle stazioni pluviometriche, quantitativi di piogge inferiori al dato medio, pari a 570 mm, stimato per l'intera serie storica (periodo 1918-2000).

L'analisi dell'intera serie storica ha permesso di evidenziare un progressiva diminuzione generalizzata nel corso del XX secolo delle precipitazioni ed il ripetersi, periodicamente, di periodi siccitosi dove si è verificato un incremento del grado di insalinamento e una generalizzata diminuzione delle portate sorgentizie (Aureli et alii 2005).

Tali aspetti sono da collegare, oltre che al decremento generalizzato del trend pluviometrico, anche al sopravvenuto incremento dei prelievi idrici dalle falde, causa lo scavo di centinaia di pozzi concentrati principalmente nella piana costiera del Ciane.

La Fig. 1 mostra la carta di Vulnerabilità della piana costiera del bacino dell'Anapo-Cavadonna, nella quale si evidenzia che la isopiezia di quota 0 msm risulta, in determinati areali del graben di Florida, arretrata anche di alcuni Km verso l'entroterra (Aureli et alii 1989 ridisegnata).

## BACINO ANAPO-CAVADONNA

Il bacino idrogeologico dell'Anapo-Cavadonna si sviluppa nella zona nord orientale dell'Unità idrogeologica iblea ed è costituito per l'89% da terreni permeabili, prevalentemente di natura carbonatica con subordinati terreni di natura vulcanica costituenti gli acquiferi principali del bacino.

Gli ingenti volumi d'acqua di falda presenti, qualitativamente di pregio, sono testimoniati dal numero e dalle portate delle sorgenti che vi scaturiscono ed anche dai numerosi punti d'acqua utilizzati per il fabbisogno idropotabile dei centri urbani ivi presenti (Buscemi, Palazzolo A., Florida, Siracusa).

## DATI PLUVIOMETRICI BACINO DELL'ANAPO

La precipitazione media su tutto il bacino dell'Anapo, in base alle serie storica relativa al periodo 1918-2000, si aggira intorno ai 700 mm/aa; nella parte alta si raggiungono mediamente i 900 mm/aa, mentre nella fascia litoranea si riduce, mediamente, ai 500 mm/aa.

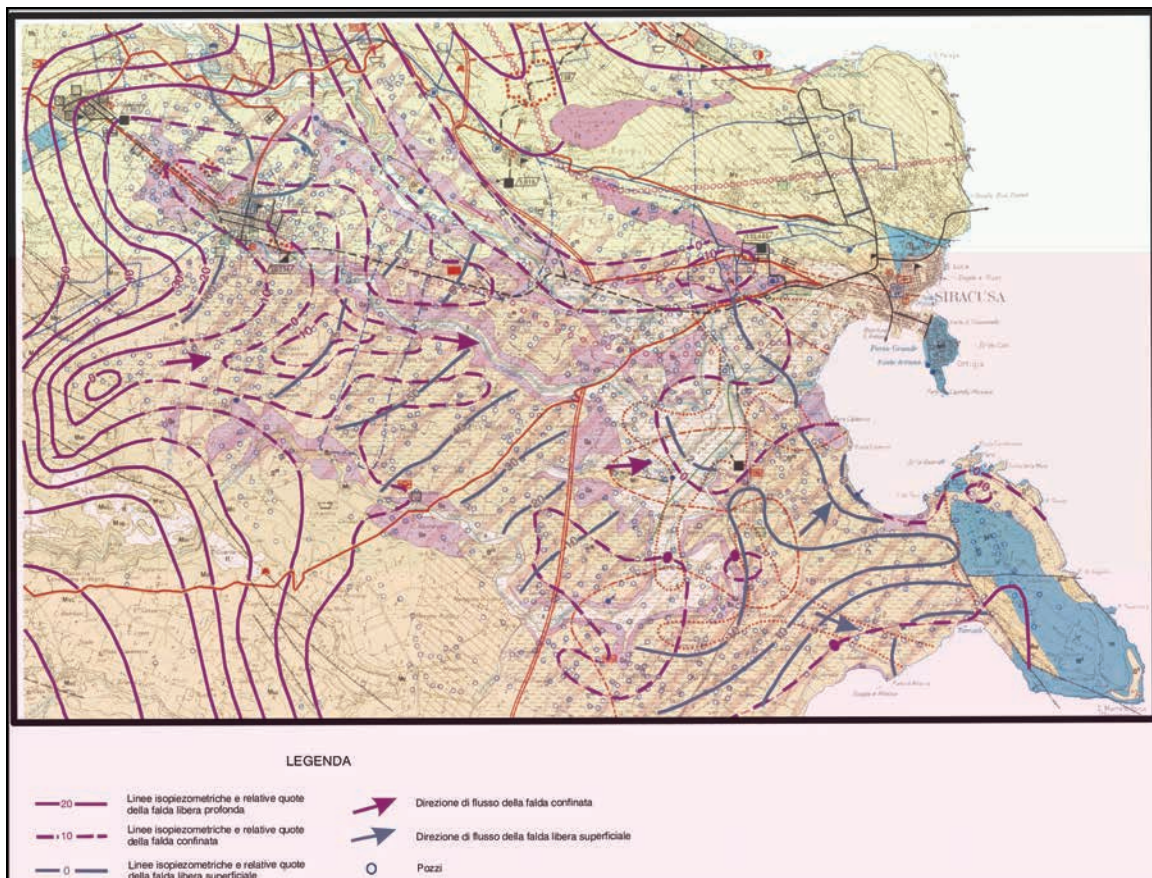


Figura 1 – Carta di Vulnerabilità del bacino dell’Anapo con la geometria dei corpi idrici (Aureli et alii, 1989, ridisegnata).

DATI PLUVIOMETRICI BACINO DELL’ANAPO-CAVADONNA – PERIODO 1994-2003									
ANN O	SORTIN O	FLORIDI A	SIRACUS A	v. m. annuo	ANN O	SORTIN O	FLORIDI A	SIRACUS A	v. m. annuo
1994	696,6	516,3	510,8	574,57	1999	779,8	776,4	514,4	690,20
1995	731,2	792,4	467,6	663,73	2000	575,8	564,4	396,2	512,13
1996	1190,2	1184,2	?	--	2001	327,8	416,4	440,4	394,87
1997	1181,8	1192	1070,8	1148,2 0	2002	384,6	324,2	414	374,27
1998	444	396,8	336,6	392,47	2003	1123,8	1091	982,4	1065,73

Tabella 1 – Analisi dati pluviometrici periodo 1994-2003 (mm).

La Tab. 1 riporta (periodo 1994-2003) i dati pluviometrici delle tre stazioni ricadenti nel bacino in studio che per l’intera serie storica considerata (periodo 1918-2000) fanno riscontrare i seguenti dati medi di pioggia: Sortino: 890,44 mm; Floridia: 748,89 mm; Siracusa 558,72mm (con un dato medio di 732,68 mm).

L’analisi dei dati consente di evidenziare che, nel decennio considerato, si riscontrano diversi anni con valori di pioggia inferiori alla media.

Negli anni 1998, 2001 e 2002 i volumi risultano inferiori di circa il 50% rispetto al dato pluviometrico medio e sono soltanto parzialmente bilanciati degli anni 1996, 1997 e 2003 a maggiore piovosità.

### VARIAZIONI PORTATE NEL TEMPO

Il Servizio Idrografico Italiano nel triennio 1930-33 aveva censito nell’intero bacino in studio le seguenti sorgenti con le relative portate: **I.** bacino del Mammaiabica n. 12 sorgenti per un totale di 1478,30 l/s; **II.** bacino dell’Anapo n. 69 sorgenti per un totale di 1.220,50 l/s; **III.** nell’ambito di Siracusa n. 7 sorgenti per un totale di 581,30 l/s; pari ad un totale di 88 sorgenti ed ad un volume complessivo di 3280,10 l/s.

La Tab. 2 riporta le variazioni delle portate intercorse nel periodo 1925-2003 in tre delle maggiori sorgenti presenti nel bacino: **a.** sorgente Damone; **b.** sorgenti del Ciane; **c.** sorgente Aretusa.

Si constata una diminuzione generalizzata delle portate con un decremento maggiore nelle due sorgenti ubicate nel tratto costiero del bacino (Aureli et alii, 2005) causa il maggior numero di pozzi ivi presenti.

### DIMINUZIONE DEI LIVELLI

La Tab. 3 mette a confronto il numero dei pozzi censiti nel bacino dal 1961 al 1985, che risultò quadruplicato in un quarto di secolo, passando da 155 a 591 e che attualmente, è stimato in oltre 800 (Aureli et alii, 2005) ed il cui volume medio annuo estratto si stima in circa  $47,4 \times 10^6$  mc.

Lo sfruttamento operato dai pozzi ha provocato variazioni negative dei livelli piezometrici e del cono di depressione che ha portato tali livelli anche a molti metri sotto quello del mare, determinando il richiamo verso l'interno delle acque del mare, provocando l'insalinamento delle falde (Aureli & Dipasquale, 2008). Un bilancio sintetico dei volumi in entrata ed in uscita nel bacino, stimerebbe un valore leggermente negativo di solo  $6,1 \times 10^6$  mc pari a 193 l/s, valori che possono essere considerati compresi nel campo di variabilità dovuta alla diversa entità delle piogge annue e che, comunque giustificano ampiamente il progressivo abbassamento dei livelli piezometrici constatato nel bacino a far corso dal 1961.

### INSALINAMENTO DELLE FALDE NELLE ZONE COSTIERE

La Tab. 4 riporta i dati dei Cloruri riscontrati nelle acque di alcuni pozzi e sorgenti ubicati nella zona costiera dove da anni si è constatato l'insalinamento delle falde (Aureli et alii, 1988, 2003 e 2006).

I campionamenti sono stati effettuati rispettivamente nell'ottobre del 2002 (periodo di massima siccità) e nel dicembre 2003, ovvero dopo l'evento alluvionale del settembre 2003, che aveva segnato un'inversione di tendenza per il regime pluviometrico nell'area (Tab. 1), tutt'ora in atto.

BACINO ANAPO - VARIAZIONI DELLE PORTATE NELLE MAGGIORI SORGENTI NEL TEMPO											
sorgente	ago'25	lug'30	set'30	giu'33	ago'61	est'65	1970	lug'75	estate85	ago'1989	ago'03
<i>Damone</i>			9,0				6,8				3,6
<i>Ciane</i>		1263		1465		902		447	251	237,5	
<i>Aretusa</i>	676		455		400				289		137

Tabella 2- Bacino Anapo-Cavadonna; correlazione diminuzione delle portate nelle principali sorgenti

Periodo	Sottobacino Anapo	Sottobacino Fontanelle-Ciane	Sottobacino Litorale	Totale
<i>1961</i>	106	31	18	155
<i>1974-75</i>	305	96	115	516
<i>1981</i>	321	110	123	554
<i>1985</i>	348	114	129	591

Tabella 3 – Numero pozzi bacino Anapo-Cavadonna (da: Aureli et alii, 2005).

PUNTI D'ACQUA BACINO DELL'ANAPO – VARIAZIONE DEL TENORE IN CLORURI (confronto ott'02-dic'03)								
PERIODO	POZZO1	POZZO2	POZZO3	POZZO4	POZZO5	SORGENTE ARETUSA	SORGENTE PISIMA	SORGENTE SCHIAVI
<b>ott'02</b>	524	495	126,8	320,5	2340	1450,9	359,1	790
<b>dic'03</b>	475	440	30,7	211	1980	694,5	304,4	644

Tabella 4 – Correlazione del tenore in cloruri.

Dall'analisi dei dati si verifica che: **a.** il grado di insalinamento nel periodo di siccità (ott'02) era diverso nei punti d'acqua considerati; **b.** il valore più elevato si riscontrava nella sorgente Aretusa; **c.** un valore inferiore veniva riscontrato nelle acque delle sorgenti del Ciane (Pisima); **d.** nella zona centrale della piana costiera presso C. da Carroziere si riscontrava il massimo d'insalinamento (pozzo 5); **e.** gli altri punti d'acqua mostravano valori di insalinamento più contenuti o minimi (pozzo 3).

Nel dicembre 2003, posteriormente all'evento alluvionale del settembre 2003 si constatava: **a.** un decremento del grado salino in quei punti (pozzo n. 3 e sorgente Aretusa) dove i rilievi condotti avevano permesso di verificare l'esistenza di circuiti di alimentazione legati al fenomeno carsico; **b.** gli altri punti d'acqua considerati mostravano, seppure con tenori in cloruri diversi, un decremento minimo indice di alimentazione da circuiti più lenti e profondi che solo parzialmente avevano risentito dell'avvenuta ricarica.

## CONCLUSIONI

Il bacino dell'Anapo è stato interessato a partire dalla fine degli anni '90 da un prolungato periodo di siccità che ha avuto il suo culmine nel biennio 2001-02.

In tale periodo gli scriventi ebbero modo di verificare sul campo diverse casistiche: diminuzione dei livelli idrici nei pozzi; riduzione delle portate nelle sorgenti; incremento nella zona costiera del grado di insalinamento che divenne preoccupante nei mesi estivi del 2002 quando, a fronte di una portata in via di progressivo esaurimento, l'aumento dei prelievi, specie quelli irrigui, determinarono condizioni negative temporanee di isteresi, che le precipitazioni successive riuscirono solo parzialmente a colmare.

Si è verificato che il grado di insalinamento non risulta uniforme in tutta la zona costiera ma si concentra nelle aree limitrofe alle grandi faglie che bordano il graben centrale ove si concentra il fenomeno carsico testimoniando la fragilità, la vulnerabilità e l'eterogeneità dell'acquifero carbonatico in studio.

## BIBLIOGRAFIA

- Aureli et alii, (1988). *Carta della Vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi nel settore nord-orientale ibleo (Sicilia Sud-Orientale)*. 1° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee, Marano sul Panaro (Modena) Sett., 1990.
- Aureli et alii, (2003). *Submarine springs and salt-water intrusion in fractured environment*. Groundwater in Fractured rocks – Prague, Czech Republic.
- Aureli et alii, (2005). *Due dolci ninfe: Ciane e Aretusa Vulnerabili e violate*. Atti 4° National Congress on the Protection and Management of Groundwater. Reggio di Colorno (Pr), 21-23 Settembre, 2005.
- Aureli et alii, (2006). *L'intrusione marina negli acquiferi carbonatici costieri della Sicilia Sud-Orientale*. Atti del 2° Seminario Internazionale di Studi sul Carsismo negli Iblei e nell'Area Mediterranea. Castello di Donnafugata. Ragusa 28-30 Maggio 2004.
- Aureli, A., Dipasquale, M., (2008). *Hydrogeological and Hydrochemical Characteristics of the Anapo River Basin (Aretusa-Ciane spring system)*. 84° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana – 15-17 Settembre 2008 – Sassari.
- Servizio Idrografico Italiano, (1934). *Censimento delle sorgenti Italiane*.

# **CAMBIAMENTI CLIMATICI E PRODUZIONE DEL GRANO IN AREE MARGINALI: EFFETTI DELLA TOPOGRAFIA**

FERRARA ROSSANA MONICA<sup>1,2</sup>, RANA GIANFRANCO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CRA-ABP, Firenze, Italia, rossana.ferrara@entecra.it

<sup>2</sup>CRA-SCA, Bari, Italia

## **RIASSUNTO**

Le produzioni agricole in terreni marginali collinari potrebbero essere influenzate negativamente dai cambiamenti climatici aumentandone la vulnerabilità. Simulazioni a livello di comprensorio, mediante il modello distribuito STAMINA, hanno consentito di valutare come gli scenari climatici futuri incideranno sull'effetto della pendenza e della quota sulla produzione di grano in un'area sottoposta a clima semi-arido (sud Italia). Le analisi hanno mostrato che le previste condizioni climatiche andranno a intensificare la vulnerabilità dei futuri sistemi agricoli non irrigui in terreni dalla topografia complessa.

**Parole chiave:** orografia, semi-arido, terreni complessi

## **INTRODUZIONE**

La produzione agricola risente in maniera consistente delle variazioni climatiche in atto (Harrison & Butterfield 1996). In particolare, la resa dei cereali alle alte latitudini dovrebbe beneficiare dell'allungarsi della stagione di crescita colturale per effetto del riscaldamento globale e dell'aumento delle precipitazioni (Richter & Semenov 2005). Viceversa, in aree sottoposte a clima arido e semi-arido, l'aumento della temperatura e la variazione della distribuzione delle precipitazioni dovrebbero avere ripercussioni negative sulle rese (Rosenzweig & Tubiello 1997; Harrison et al. 2000). Tali rischi aggravano la vulnerabilità delle aree agricole marginali collinari, a causa di un accentuarsi dell'impatto dei parametri topografici, quali pendenza e quota, sui processi di scambio energetico che guidano la crescita colturale. Il modello STAMINA (Richter et al. 2006) è stato sviluppato per simulare la crescita di una coltura in un terreno complesso sottoposto a diversi scenari climatici. In questo lavoro, si analizzano le rese di grano duro in funzione dei cambiamenti climatici e dei parametri topografici in una zona collinare del sud Italia (Capitanata) sottoposta a clima semi-arido, utilizzando il modello su menzionato.

## **MATERIALI E METODI**

Il modello STAMINA (Stability and Mitigation of Arable Systems in Hilly Landscapes) è in grado di simulare le variabili climatiche (Rana et al. 2007), idrologiche (Richter et al. 2006) e colturali (Acutis et al. 2007) in terreni complessi, dando in uscita i relativi valori giornalieri spazializzati e indicatori colturali (ad es., Resa e Harvest Index) a livello stagionale. Gli input del modello sono: le variabili meteorologiche misurate in un punto di riferimento (radiazione globale, temperatura e umidità dell'aria, velocità e direzione del vento, pioggia); le caratteristiche del suolo (tessitura, sostanza organica, parametri idraulici, densità apparente); i tre parametri topografici fondamentali (quota, pendenza, esposizione).

In questo lavoro, l'area presa in considerazione è situata a Volturino (Lat. 41°29'N, Long. 15°07'E, alt. 365 m s.l.m.) in Capitanata, coltivata a grano duro. L'area di studio è di circa 40 ha divisa in 122 celle con risoluzione spaziale di 75 m. Gli scenari climatici utilizzati per il futuro sono del tipo A2 e B2 e sono stati ottenuti mediante il modello HadCM3 regionalizzato per l'Europa per il periodo 2071–2100 (Hulme et al. 2002). Lo scenario del passato (Base) corrisponde al periodo 1961 – 1990. I livelli di concentrazione di CO<sub>2</sub> atmosferica sono posti a 330, 715 e 562 ppm per gli scenari Base, A2 e B2 rispettivamente.

Al fine di studiare la variazione dell'impatto della topografia sulla resa a causa dei cambiamenti climatici, si sono selezionate due tipologie di annate, secca e umida, discriminate sulla base della pioggia cumulata da gennaio ad aprile.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

In Figura 1 è mostrata la distribuzione media della resa di grano duro per lo scenario Base, da cui si può constatare che i più alti valori di resa si ottengono nelle aree con più bassa altitudine e pendenza. In particolare, a livello di bacino si osserva una riduzione della produzione di grano all'aumentare della quota. Tuttavia, sono presenti alcune aree a maggiore altitudine che mostrano alte rese (maggiori di 2.6 t/ha). Un'analisi dettagliata di queste aree (Fig. 2) indica che la produzione di grano a quote maggiori di 480 m diminuisce linearmente ( $r^2=0.8$ ) in funzione della pendenza (da  $0^\circ$  a  $14^\circ$ ). Inoltre, le celle maggiormente penalizzate dall'effetto negativo della topografia sono localizzate tra 473 e 505 m s.l.m. con una pendenza più grande di  $6^\circ$  ed esposte a nord-est.

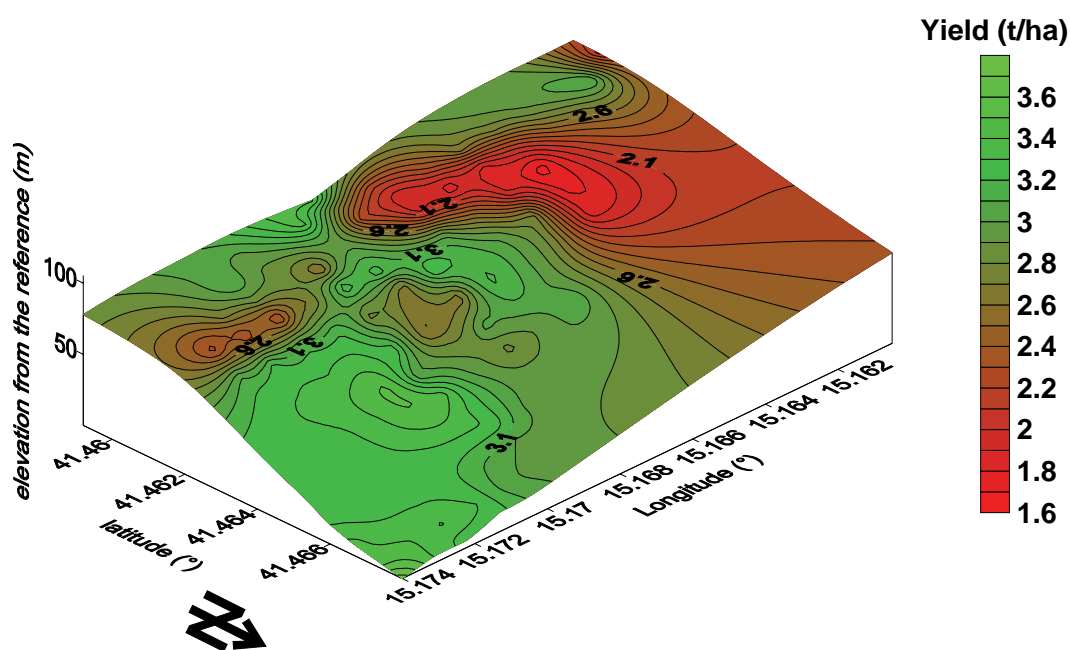


Figura 1 – Distribuzione spaziale della resa media (Yield) per lo scenario Base (da Ferrara et al. 2010).

Al fine di valutare gli effetti combinati di topografia e clima, sono state analizzate le rese del grano in annate secche e umide, sempre relative allo scenario Base (Fig. 3). Durante la stagione secca l'effetto negativo della quota è costante, mentre per le annate umide l'effetto negativo si osserva solo a quote maggiori di 480 m s.l.m. (Fig. 3a). L'effetto della pendenza (Fig. 3b) è meno chiaro a causa dell'interazione tra pendenza e orientamento delle celle.

Le simulazioni per gli scenari futuri A2 e B2 indicano una riduzione della produzione media del grano di circa l'80% rispetto alla Base, con uno spostamento della resa media da 2.9 t/ha a 0.6 t/ha. Nel futuro la riduzione delle piogge (-337 e -214 mm per A2 e B2, rispettivamente) e l'aumento della temperatura (+6.6 e +2.7 °C per A2 e B2, rispettivamente) sono fattori limitanti per l'intero comprensorio, favorendo l'aumento delle annate a resa inferiore a 1 t/ha.

L'andamento delle rese negli scenari futuri può essere spiegato agronomicamente in termini di accorciamento del ciclo di crescita colturale, in accordo con quanto riportato in letteratura (Tubiello et al. 2000). Inoltre, in ambiente semi-arido, la produzione è ridotta a causa dell'effetto combinato aumento temperatura – stress idrico. Qui, infatti, l'aumento della temperatura non è compensato da un aumento delle precipitazioni come è pronosticato ad alte latitudini (Burkart et al. 2004). La diminuzione della resa

dovuta ad un accorciamento del ciclo sembra essere più importante dell'effetto fertilizzante positivo dovuto all'aumento della concentrazione della CO<sub>2</sub> atmosferica.

### CONCLUSIONI

L'analisi di scenario adottata in questo lavoro ha mostrato come i cambiamenti climatici previsti andranno ad accentuare la vulnerabilità di sistemi agricoli non irrigui in terreni collinari sottoposti a clima semi-arido. Le previsioni di drastica riduzione delle precipitazioni annue e di aumento della temperatura causeranno il fallimento della coltivazione nell'80% dei casi, con accentuazione dell'impatto negativo della topografia.

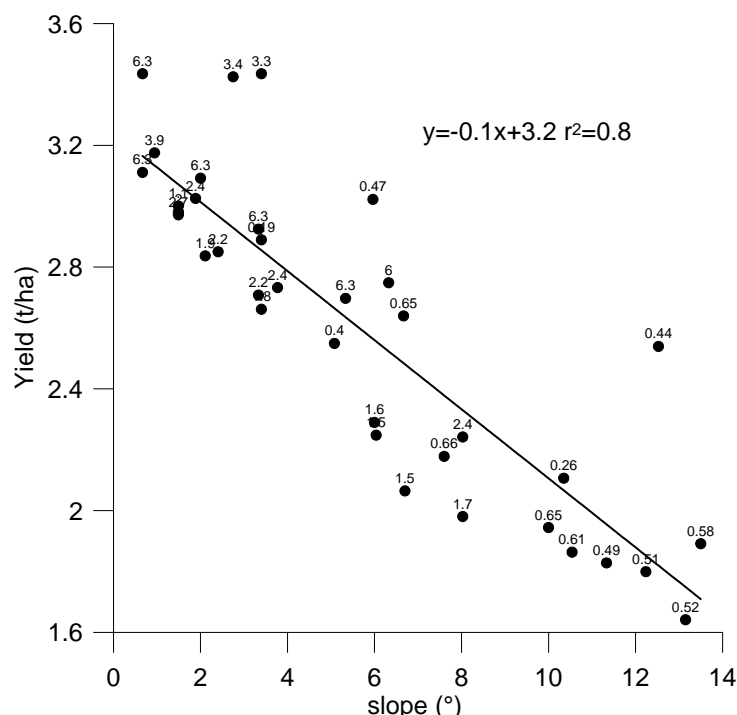


Figura 2 –Resa (Yield) del grano in funzione della pendenza (slope) per quote maggiori di 480 m s.l.m.: le etichette dei punti indicano l'esposizione delle celle in radianti (da Ferrara et al. 2010).

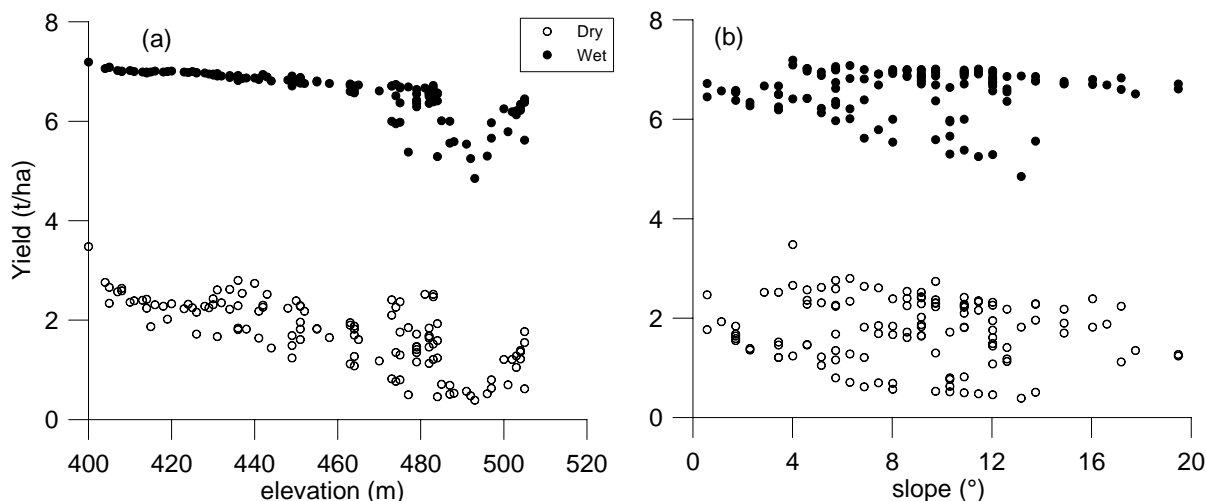


Figura 3 –Resa (Yield) del grano in funzione della quota (elevation) (a) e della pendenza (slope) (b) per annate secche (dry) e umide (wet) dello scenario Base (da Ferrara et al. 2010).

## RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato interamente finanziato dal progetto europeo STAMINA (EU-QLK-5-CT-2002-01313). Si ringraziano i Sig. Michele Introna e Nicola Martinelli per il lavoro sperimentale.

## BIBLIOGRAFIA

- Acutis, M., Rana, G., Trevisiol, P., Bechini, L., Laudato, M., Ferrara, R., Richter, G.M., (2007). *Integrating a spatial micrometeorological model into the risk assessment for arable crops in hilly terrain*; Modelling water and nutrient dynamics in soil-crop systems. Springer. Edited by: K.C. Kersebaum, J.-M. Hecker, W. Mirschel & M. Wegehenkel, 51-58
- Burkart, S., Manderscheid, R., Weigel, H.J., (2004). *Interactive effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations and plant available soil water content on canopy evapotranspiration and conductance of spring wheat*. Eur. J. Agron., 21, 401-417.
- Ferrara, R.M., Trevisiol, P., Acutis M., Rana G., Richter G.M., Baggaley N., (2010). *Topographic impacts on wheat yields under climate change: two contrasted case studies in Europe*. Theoretical and Applied Climatology, 99, 53-65.
- Harrison, P.A. and Butterfield, R.E., (1996). *Effects of climate change on Europe-wide winter wheat and sunflower productivity*. Clim. Res., 7, 225-241.
- Harrison, P. A., Porter, J. R., Downing, T. E., (2000). *Scaling-up the AFRC-WHEAT2 model to assess phenological development for wheat in Europe*. Agric. Forest Meteorol., 101, 167-186.
- Hulme, M., Jenkins, G.J., Lu, X., Turnpenny, J.R., Mitchell, T.D., Jones, R.G., Lowe, J., Murphy, J.M., Hassell, D., Boorman, P., McDonald, R., and Hill, S., (2002). *Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report*, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK. 120 pp.
- Rana, G., Ferrara, R.M., Martinelli, N., Collier, P., Personnic, P., (2007). *Estimating energy fluxes on crop in slope using standard agrometeorological measurements and topography*; Agr. Forest Meteorol., 146(3-4), 116-133.
- Richter, G.M., Rana, G., Ferrara, R.M., Ventrella, D., Acutis, M., Trevisiol, P., Laudato, M., Gusberti, D., Mayer, Th., Baggaley, N.; Morris, J., Holmes, A., Trawick, P., Dailey A.G., Robbins, P., Simota, C., Whitmore, A.P., Powelson, D.S., (2006). *Stability and Mitigation of Arable Systems in Hilly Landscapes* (EU-QLK-5-CT-2002-01313). Report to the European Commission, Brussels, 280 pp.
- Richter, G.M., Semenov, M.A., (2005). *Modelling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales: assessing drought risks*; Agr. Syst., 84, 77-97.
- Rosenzweig, C., Tubiello, F.N., (1997). *Impacts of future climate change on Mediterranean agriculture: current methodologies and future directions*; Mitig. Adapt. Strategies Clim. Change, 1, 219-232.
- Tubiello, F.N., Donatelli, M., Rosenzweig, C., Stockle, C.O., (2000). *Effects of climate change and elevated CO<sub>2</sub> on cropping systems: model predictions at two Italian locations*. Eur. J. Agron., 13, 179-189.



# STUDIO IDROGEOLOGICO DELLE FALDE SUPERFICIALI NELLE DOLINE DEL TERRITORIO DI CONVERSANO (PUGLIA – ITALIA)

LOPEZ NICOLA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Bari, Bari, Italia, nicola.lopez@geo.uniba.it

## RIASSUNTO

Nel corso del 2010 sono state condotte indagini idrogeologiche per valutare le caratteristiche di piccole falde superficiali ospitate in alcune doline presso Conversano (Puglia), comunicanti con la falda carbonatica profonda. La superficie freatica è soggetta ad oscillazioni collegate alle variazioni pluviometriche stagionali. In particolare, la falda emerge di qualche decina di cm dal piano campagna in occasione delle precipitazioni intense mentre nel periodo estivo essa si rinviene a profondità massime di 3-4 metri. Una stima dei deflussi idrici verticali, relativamente al solo periodo estivo, evidenzia un volume di almeno 200 m<sup>3</sup> di acqua che percola verso la falda profonda.

**Parole chiave:** doline, falda carbonatica profonda, falde superficiali

## INTRODUZIONE

La principale risorsa idrogeologica della Murgia (Puglia – Italia) è rappresentata, come ben noto, dall'acquifero carbonatico profondo che per le sue peculiarità, quali lo stato di fessurazione e di carsismo, presenta un carattere eterogeneo ed anisotropo che lo rendono vulnerabile in un modo complesso (Lopez et al. 2005). Inoltre, la presenza di livelli dolomitici impermeabili, discontinui e di spessore variabile influisce significativamente sul grado orizzontale e verticale di permeabilità dell'ammasso carbonatico di età cretacea (Cotecchia et al. 1983).

La zona di alimentazione dell'acquifero è sita nella Murgia nordoccidentale o Alta Murgia (Cotecchia et al. 1978); è possibile però che localmente la falda sia alimentata direttamente per via concentrata, attraverso manifestazioni carsiche epigee comunicanti con l'acquifero sottostante attraverso condotti sotterranei. Una tale condizione, ad es., si verifica nella Murgia sudorientale, nella zona dei "laghi" carsici di Conversano ove una serie di depressioni carsiche costella l'intero territorio: alcune di queste forme, meglio preservate dall'azione di trasformazione antropica (Lopez et al. 2009), sono colmate da sabbie fini limose eluvio-colluviali di età olocenica costituenti un materasso alluvionale, di spessore variabile tra qualche metro e 10 metri, nel quale si forma una piccola falda superficiale a seguito del deflusso sotterraneo e dell'accumulo di acque meteoriche: tali serbatoi naturali rappresentano di fatto delle risorse locali che forniscono un "surplus" idrico alla falda carbonatica non trascurabile, alla luce dei cambiamenti climatici che determinano, da alcuni decenni ormai, un incremento di periodi siccitosi e, pertanto, un impoverimento della ricarica nelle aree principali di alimentazione (Polemio et al. 2009).

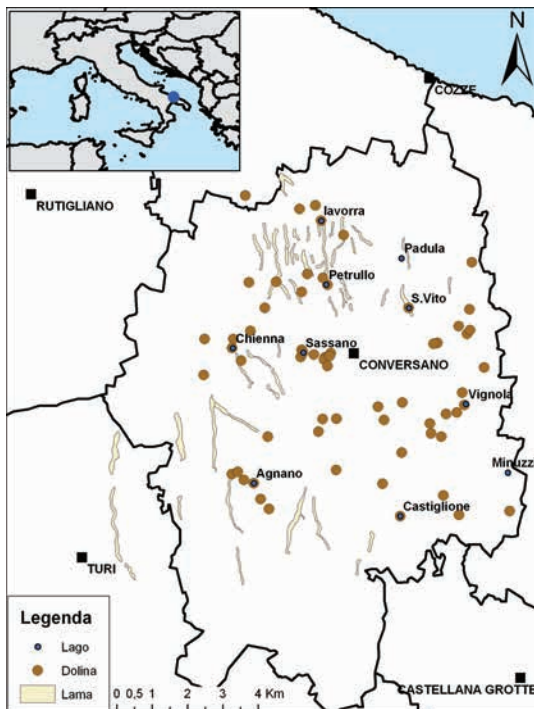


Figura 1 – Area dei "laghi" di Conversano

In occasione del periodo di maggiore piovosità o immediatamente dopo le precipitazioni estive intense e di breve durata l'accumulo delle acque superficiali contribuisce a costituire dei veri e propri laghetti stagionali. Attualmente nel comprensorio di Conversano sono riconoscibili dieci laghetti carsici a carattere stagionale (fig. 1): quattro di questi laghi sono stati prescelti quali siti di indagini idrogeologiche avviate nel gennaio 2010 e, alla stesura della presente nota, ancora in corso.

## INDAGINI E RISULTATI

All'interno dei laghetti carsici attorno alla città di Conversano sono ubicati alcuni pozzi e cisterne dalla geometria variabile, generalmente a forma di campana o di bottiglia, con un diametro compreso tra 4 m e 9 m e una profondità totale tra 4 m e 10 m; i pozzi, tutti rivestiti in muratura a secco, sono in numero variabile da sito a sito: in passato adoperati per l'immagazzinamento di acqua a fini potabili e irrigui, attualmente non sono utilizzabili poiché le aree lacustri fanno parte di una riserva naturale orientata. Tra gennaio e novembre 2010 sono stati condotti dei rilievi nei pozzi a scavo ubicati presso le doline di Petruccio, Iavorra, San Vito e Padula, comprendenti misure del livello statico della falda superficiale e della profondità totale dei pozzi stessi, al fine di valutare sia la variabilità della superficie freaticometrica sia i volumi defluiti in falda profonda. Le misurazioni sono state condotte con cadenza periodica quindicinale ed in occasione degli eventi di pioggia di maggiore intensità. Contemporaneamente sono stati raccolti i dati pluviometrici ([www.protezionecivile.puglia.it](http://www.protezionecivile.puglia.it)) per confrontare le oscillazioni della falda con l'andamento delle precipitazioni atmosferiche. A tal proposito, da gennaio a novembre 2010 sono caduti 665 mm di pioggia, il 9% in più della media annua (serie storica 1970-2004); il 27% delle precipitazioni è

avvenuto nel solo mese di ottobre, raggiungendo una quantità (183 mm) pari a tre volte la media storica del mese. Per quanto riguarda i livelli idrici nei pozzi si riportano, per brevità, gli idrogrammi relativi a due dei quattro siti indagati, Petruccio e S.Vito (figg. 2, 3), nei quali la falda è emersa dal piano campagna (valori in rosso di fig. 2): in ambo i casi, le dimensioni di tale falda risultano modeste, con uno spessore medio di circa 8 m ed un'estensione tra 1500 e 2100 m<sup>2</sup>. Dall'esame degli idrogrammi risulta, in generale, una variabilità nelle velocità di abbassamento dei livelli idrici da pozzo a pozzo in tre periodi di riferimento: 1) a fine inverno, in fase di ricarica della falda superficiale 2) a metà estate, in fase di esaurimento (31/07/10–31/08/10); 3) seguente al periodo autunnale eccezionalmente piovoso (30/10/10-27/11/10), caratterizzato da una nuova fase di ricarica. Nella dolina di Petruccio, indipendentemente dal periodo considerato, le velocità di abbassamento sono più alte nei pozzi 1, 6 e 7 (tra 1,4 e 5,9 cm/giorno) mentre negli altri pozzi la variazione avviene con valori minori (< 0,8 cm/giorno) e in maniera uniforme. In generale, le velocità sono maggiori nelle fasi di ricarica, con valori medi tra 1,0 cm/g (periodo 1) e 1,6 cm/g (periodo 3), mentre tendono a ridursi o addirittura ad annullarsi nella fase

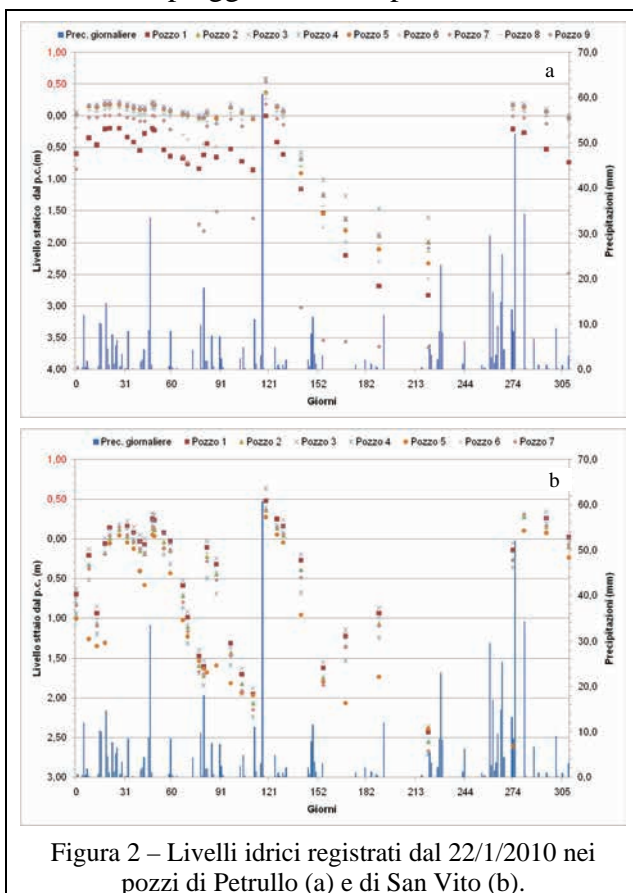


Figura 2 – Livelli idrici registrati dal 22/1/2010 nei pozzi di Petruccio (a) e di San Vito (b).

estiva. Peraltro il comportamento delle velocità degli abbassamenti varia da sito a sito: nella dolina di San Vito, quale che sia la fase considerata, non si registrano differenze significative da punto a punto, evidenziando un comportamento più uniforme della superficie freatica. Inoltre, risulta che le velocità maggiori, mediamente pari a 5,5 cm/g, si registrano nella fase di ricarica invernale e a distanza di diversi giorni dai periodi di maggiore piovosità oltre che nel periodo estivo. Pertanto, si individuano due cicli principali di variazione dei livelli idrici: 1) ciclo di ricarica della falda (tra gennaio e aprile) durante il quale il livello idrico tende a crescere pressoché regolarmente e lentamente; 2) ciclo di esaurimento della falda, con culmine nel periodo estivo in assenza di apporti meteorici significativi. A questi si può aggiungere un terzo ciclo, autunnale e di durata minore rispetto ai primi due, nel quale avviene un'ulteriore ricarica della falda.

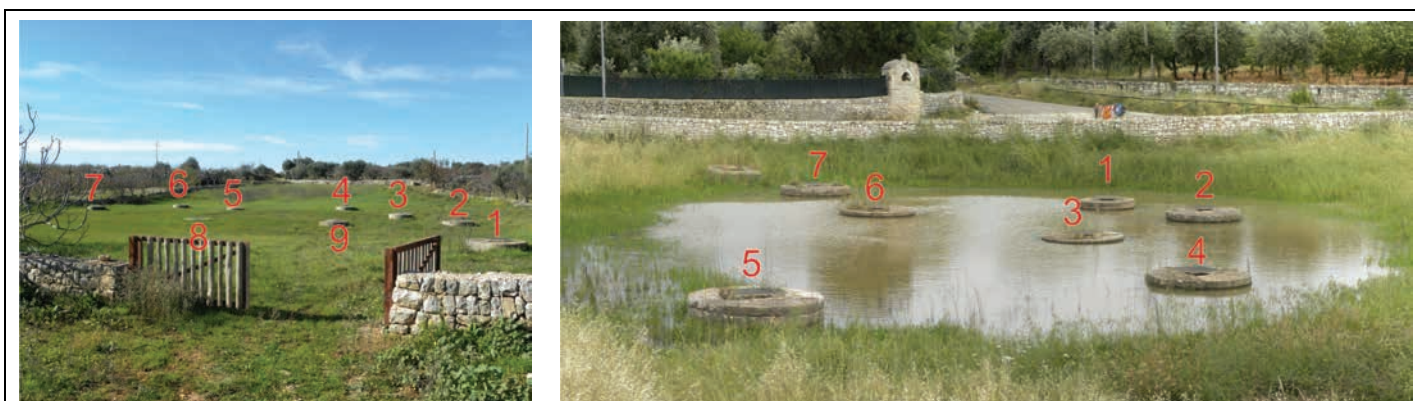


Figura 3 - Disposizione dei pozzi a scavo nelle doline di Petruzzo (a dx) e di San Vito (a sx).

La ricostruzione della superficie freatica nei diversi cicli di misura effettuati ha permesso di individuare le direttrici del deflusso idrico sotterraneo. Nel caso della dolina di Petruzzo (fig. 4a), si osserva che le acque di falda si muovono prevalentemente in direzione NW-SE dal pozzo 4, ove si individua il carico idraulico massimo per tutto il periodo di osservazione, verso i pozzi 2, 3, 5 e 6 nonché verso il pozzo 7; questi è anche interessato, al pari dei pozzi 1, 8 e 9, da apporti idrici superficiali che convergono, nelle fasi di ricarica, nella zona di emergenza della falda convogliati dal settore a SE della dolina ovvero da una

lama, che scende da Conversano per circa 1 km e che termina a ridosso della scarpata che definisce il bordo meridionale della dolina stessa.

Conclusioni quasi analoghe

possono trarsi per la dolina di San Vito (fig. 4b), ove il carico idrico massimo si individua sempre presso i pozzi 4 e 5, e le direttrici del deflusso sotterraneo sono orientate NNW-SSE ossia verso i restanti pozzi ubicati nella zona centrale della depressione. Gli apporti idrici nella falda profonda avvengono, dunque, in forma concentrata e differenziata da punto a punto, attraverso i pozzi ubicati nella zona più depressa dei laghi. Una stima, seppur approssimativa e limitata alla fase di esaurimento, individuerrebbe un “trasferimento” di acqua dai pozzi verso la falda profonda di circa 180 m<sup>3</sup> e 270 m<sup>3</sup> rispettivamente per la dolina di Petruzzo e per quella di San Vito (tab. 1).

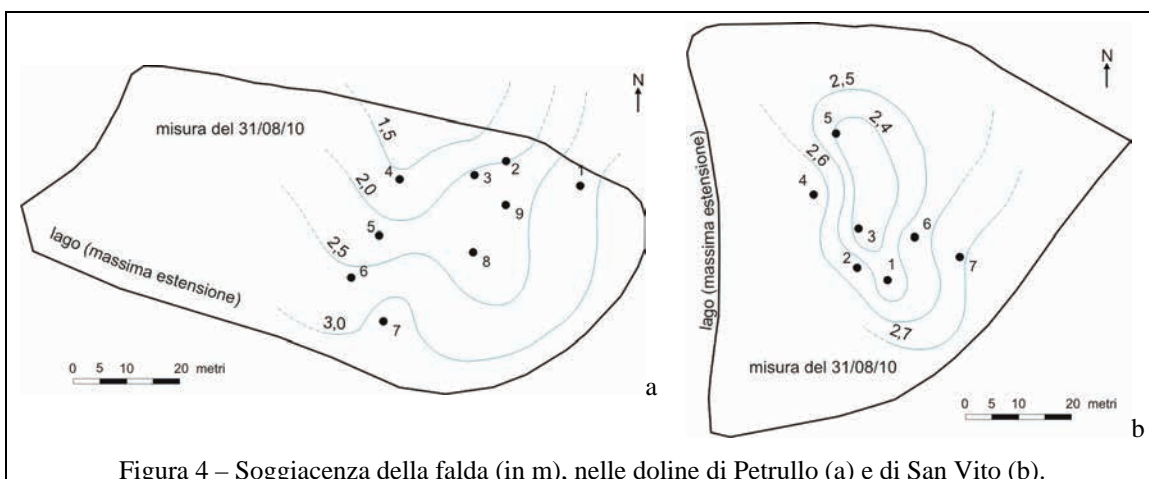


Figura 4 – Soggiacenza della falda (in m), nelle doline di Petruzzo (a) e di San Vito (b).

## CONCLUSIONI

La tutela del paesaggio carsico e delle risorse idriche ad esso connesse è una questione fondamentale per molti territori come, ad es., quello della Murgia. La raccolta di acque superficiali all'interno di alcune doline consente, come nel caso del territorio di Conversano, la formazione di corpi idrici poco profondi e stagionali che alimentano la falda carbonatica attraverso le fratture ed i condotti carsici.

Dolina di Petruzzo						
Profondità della falda dal p.c. (m)						
Pozzo	Pt (m)	A (m <sup>2</sup> )	21/05/2010	31/08/2010	Δ (m)	V=A*Δ(m <sup>3</sup> )
1	6,00	8,50	0,01	2,83	2,82	23,97
2	4,65	8,45	0,00	1,99	1,99	16,82
3	3,86	7,89	0,00	1,98	1,98	15,62
4	2,43	9,02	0,00	1,61	1,61	14,52
5	4,11	8,45	0,00	2,33	2,33	19,69
6	4,38	8,25	0,00	2,57	2,57	21,20
7	4,85	8,55	0,00	3,66	3,66	31,29
8	7,39	9,73	0,00	2,15	2,15	20,92
9	7,02	7,75	0,00	2,09	2,09	16,20
					Σ V =	180,23
Dolina di San Vito						
Profondità della falda dal p.c. (m)						
Pozzo	Pt (m)	A (m <sup>2</sup> )	21/05/2010	31/08/2010	Δ (m)	V=A*Δ(m <sup>3</sup> )
1	6,67	9,51	0,00	2,43	2,43	23,10
2	8,61	15,34	0,00	2,55	2,55	39,11
3	7,38	14,25	0,00	2,36	2,36	33,62
4	9,37	15,48	0,00	2,71	2,71	41,94
5	7,65	18,09	0,00	2,39	2,39	43,23
6	9,19	15,90	0,00	2,57	2,57	40,85
7	6,27	20,42	0,00	2,67	2,67	54,52
					Σ V =	276,36

Tabella 1 – Stima dei volumi di acqua (V) percolati in falda profonda durante la fase di esaurimento della falda superficiale: Pt = profondità totale del pozzo (in m); A = sezione trasversale media del pozzo a scavo (in m<sup>2</sup>); Δ= variazione del livello statico nel periodo esaminato (in m).

L'iterazione che si stabilisce tra la superficie e l'ambiente idrogeologico sottostante, mediante il trasferimento di volumi idrici in quantità variabile da punto a punto, produce i suoi effetti sulla ricarica effettiva di una falda, quella profonda, affetta da degrado quantitativo dovuto all'incremento delle fasi siccitose e al sovrasfruttamento; pertanto, si rende necessario tutelare questi serbatoi idrici naturali di superficie. In tal senso, un aspetto da considerare è la qualità delle acque scambiate dal corpo idrico superficiale con quello profondo. Pertanto, in prospettiva, si ritiene che sarà necessario estendere le indagini mediante campionamento ed analisi delle acque, finalizzati al rinvenimento di contaminanti di origine agricola (nitriti, nitrati, fosfati, ecc.), che potrebbero rappresentare, in relazione alle caratteristiche geologiche ed

idrogeologiche locali, un rischio per la vulnerabilità dell'acquifero profondo.

## BIBLIOGRAFIA

- Cotecchia, V., Tadolini, T., Tulipano, L., (1978). *Ground water temperature in the Murgia karst aquifer (Puglia-Southern Italy)*. Final Proc. Int. Symp. On Karst Hydrology, Budapest, pp.1-18.
- Cotecchia, V., Tadolini, T., Tulipano, L., (1983). *Sea water intrusion in the planning of groundwater resources protection and utilization in the Apulia region (southern Italy)*. Geol Appl Idrogeol. 18(2):367-382.
- Lopez, N., Sciannamblo, D., Spizzico V., (2005). *Vulnerabilità intrinseca dell'acquifero costiero pugliese valutata mediante modello parametrico SINTACS modificato*. Giornale di Geologia Applicata (2):158-166, doi: 10.1474/GGA.2005-02.0-23.0049.
- Lopez, N., Spizzico, V., Parise, M., (2009). *Geomorphological, pedological, and hydrological characteristics of karst lakes at Conversano (Apulia, southern Italy) as a basis for environmental protection*. Environmental Geology, 58(2):327-337, July 2009, Springer-Verlag, Berlin (GE). ISSN: 0943-0105, doi: 10.1007/s00254-008-1601-9.
- Polemio, M., Dragone V., Limoni P. P. (2009). *The piezometric stress in the coastal aquifers of a karstic region, Apulia, Italy*. Trends and Sustainability of Groundwater in Highly Stressed Aquifers (Proc. of Symposium JS.2 at the Joint IAHS & IAH Convention, Hyderabad, India, September 2009). IAHS Publ. 329, 2009.

## **SORGENTE ARETUSA EFFETTI DI UN EVENTO PLUVIOMETRICO ECCEZIONALE**

AURELI AURELIO<sup>1</sup>, DIPASQUALE MARIO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> già Ordinario di Geologia Applicata Università di Palermo, Italia

<sup>2</sup> Dip. di Geologia e Geodesia Università di Palermo, Italia, m.dipasquale@unipa.it

### **RIASSUNTO**

La Sorgente Aretusa per secoli ha meravigliato le genti determinandone il mito poichè sgorga su un'isoletta che, per le sue ridotte dimensioni, non ne può giustificare la portata; l'acqua dolce deve, in qualche maniera, passare sotto il mare prima di venire a luce e così nacque il mito della ninfa Aretusa che, per sfuggire al dio-fiume Alfeo, venne trasformata in fonte dalla Dea Diana.

Negli anni si è verificato che le precipitazioni per la stazione di Siracusa (dal 1918 al 2000) sono diminuite con un dato medio passante da circa 700 mm/annui (nei primi anni del '900) a circa 500 mm/annui (anni '90); ciò ha determinato, causa anche l'incremento del numero di pozzi scavati nella zona di alimentazione della sorgente, una progressiva riduzione della portata da 676 l/s (ago. 1925) a 137 l/s (ago.2003).

Nell'articolo si riportano i dati pluviometrici e chimici che consentono di verificare l'influenza del fenomeno alluvionale del 16-17 settembre 2003, sul chimismo delle sue acque e la loro influenza sulla salinità ivi presente causa i collegamenti con il mare.

**Parole chiave:** chimismo, evento alluvionale, intrusione marina, Sicilia SE

### **INTRODUZIONE**

La sorgente Aretusa sgorga, oggi, in una vasca in muratura a forma semicircolare sul bordo esterno di ponente dell'isola di Ortigia di fronte al Porto Grande di Siracusa; la sua portata in origine era dell'ordine medio di 0,600 mc/s.

Le acque dell'Aretusa, sgorganti in riva al mare da una roccia che né spiegava, né giustificava la loro provenienza, colpirono la fantasia della popolazione e fu rivestito del "mito" da insigni poeti: da Lucano a Diodoro, da Ovidio a Pindaro e Virgilio e da scrittori quali Cicerone, Pausania, Plutarco, Seneca e Strabone.

All'Aretusa venne associato il culto di Alfeo, fiume sacro del Peloponneso che, innamoratosi della ninfa la inseguì al di sotto del Mare Egeo sino ad Ortigia, ove l'Aretusa, trasformata in fonte, era ritornata a luce.

Le leggende mitologizzate si tramandarono per secoli ed anche poeti e scrittori moderni ne furono incantati ma ogni leggenda chiede, oggi, un'interpretazione scientifica.

Nell'articolo vengono spiegate le modifiche della salinità delle acque della sorgente, causate dall'alluvione del settembre 2003, che segna la fine di un prolungato periodo di magra (biennio 2001-02).

### **GEOLOGIA E TETTONICA**

L'analisi dell'idrogeologia del settore NE dell'unità idrogeologica iblea (Aureli et alii 1987, 1988, 2003) ha consentito di spiegare: 1) natura degli acquiferi; 2) numero, tipologia, modalità e geometria di deflusso delle falde.

L'insieme di tali studi ha permesso di determinare, nel bacino idrogeologico denominato Anapo-Cavadonna, l'area di ricarica della falda che alimenta la sorgente Aretusa e le acque sotterranee presenti in Ortigia.

I limiti del bacino idrogeologico solo in parte coincidono con quelli dei bacini idrografici superficiali omonimi e gli spartiacque profondi, che delimitano la falda di cui si tratta, la separano dagli altri bacini idrogeologici presenti a Nord (Priolo - Melilli - Augusta) e a Sud (Cassibile).

La Fig. 1 riporta la carta geologica (Aureli et alii 1988) del bacino dell'Anapo con evidenziata l'ubicazione della sorgente.

Idrogeologicamente, nelle zone di horst (Belvedere, Ortigia, Penisola della Maddalena) ove affiorano i calcari, è presente un unico acquifero nei calcari miocenici; diversamente, nel graben di Floridaia, sono presenti due acquiferi: il primo, superficiale nei terreni sabbioso-calcarenitici, il secondo, profondo nei calcari miocenici; l'acquicluda è dato da spessori variabili di argille grigio-azzurre plio-pleistoceniche con spessori massimi di circa 50 metri (Aureli et alii 1987).

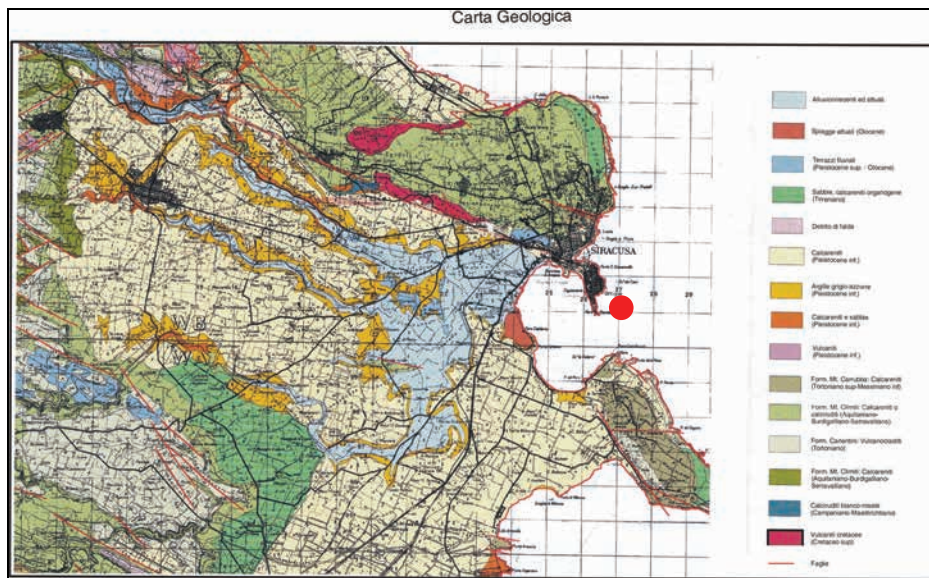


Figura 1 – Carta Geologica del bacino dell'Anapo e ubicazione della sorgente (Aureli et alii 1988)

## REGIME PLUVIOMETRICO

Nel presente paragrafo si analizzano i dati pluviometrici totali annui per la stazione di Siracusa (dal 1918 al 2000) dove si constata una diminuzione generalizzata delle piogge negli anni con un dato medio passante da circa 700 mm/annui (nei primi anni del '900) a circa 500 mm/annui (anni '90) (linea di tendenza fig.2). Ciò ha portato ad una diminuzione generalizzata delle portate delle maggiori sorgenti (Aureli et alii 2005) anche a causa della forte pressione antropica ivi esistente (Aureli et alii 2006).

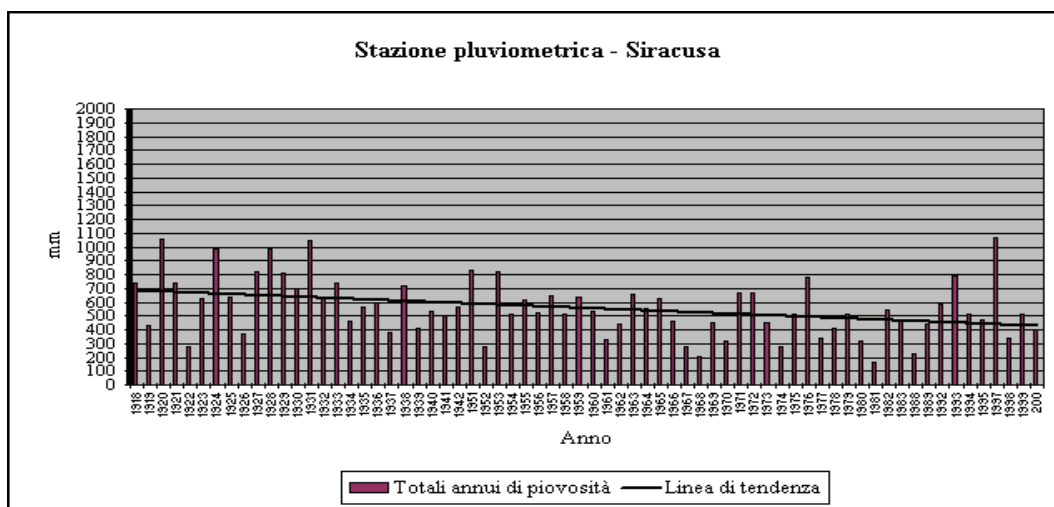


Figura 2 – Stazione di Siracusa – correlazione del dato medio annuo (periodo 1918-2000)

Nella Tab. 1 vengono riportati, sempre per la stazione di Siracusa, i dati di pioggia dal 1994 al 2003 evidenziando un dato medio di 570 mm di pioggia. L'analisi dei dati riportati in Tabella mostrano il

ripetersi di diversi anni di magra:1998, 2000, 2001 e 2002, periodo che perdura sino al settembre del 2003.

DATI PLUVIOMETRICI STAZIONE DI SIRACUSA				
periodo 1994-2003				
ANNO	SIRACUSA		ANNO	SIRACUSA
1994	510,8		1999	514,4
1995	467,6		2000	396,2
1996	?		2001	440,4
1997	1070,8		2002	414,0
1998	336,6		2003	982,4
<b>valore medio periodo 1994-2003</b>				<b>570,4</b>

Tabella 1 – Stazione pluviometrica di Siracusa; dati di pioggia 1994-2003

Nel settembre 2003 si ha un'inversione del trend pluviometrico, il cui inizio è segnato dal fenomeno alluvionale che si registra nell'intera zona orientale dell'unità idrogeologica iblea.

Specificatamente, nelle prime ore del 17 settembre (dalle ore 0.30 alle ore 7.30 locali), nella stazione di Siracusa, in località Monasteri, vennero registrati ben 425 mm di pioggia, con un'intensità media di circa 61 mm/h e con punte di circa 100 mm/h. Il quantitativo di pioggia superiore a quello misurato per intero nei diversi anni di magra, determinò per le sue proporzioni, danni ingenti alle popolazioni, all'agricoltura e alle opere civili anche a causa dello straripamento del fiume Anapo nel suo tratto finale.

## VARIAZIONE DEL CHIMISMO

Le modifiche del regime pluviometrico negli anni alle quali si somma l'ingente pressione antropica, hanno prodotto forti squilibri anche riguardo al chimismo delle acque, specie nelle zone costiere, dove sempre più forte è divenuta l'influenza dell'intrusione salina (Aureli & Dipasquale 2008).

Nella Fig. 3 si riportano i valori di Cloruri e Bicarbonati nelle acque della Sorgente Aretusa per il periodo di tempo compreso tra l'ottobre 2002 ed il settembre 2003, nel quale è possibile verificare il passaggio da una condizione di pesante insalinamento (ottobre 2002, acme di magra) ad una situazione di miglioramento sensibile del chimismo delle acque (Aureli et alii 2010).

Riguardo alle due specie chimiche riportate è possibile osservare: 1) la diminuzione, di circa 2/3, del tenore in cloruri indicativo del pesante insalinamento delle acque dell'Aretusa nel periodo di magra; 2) i bicarbonati, invece, confermano, con la costanza del dato, la natura calcarea della roccia madre dell'acquifero alimentatore della Sorgente.

Tali modifiche del tenore in cloruri mostrano che le acque della Sorgente Aretusa presentano, proprio per la natura dell'ultimo tratto del condotto d'alimentazione, un forte interscambio acqua dolce-acqua salata (Aureli et alii 2003), specie nei periodi di magra, quando manca il bilanciamento da parte della ricarica dalle zone interne; il che spiega l'insalinamento.

Soltanto in concomitanza di eventi alluvionali tale pesante insalinamento può essere mitigato da un surplus di ricarica.

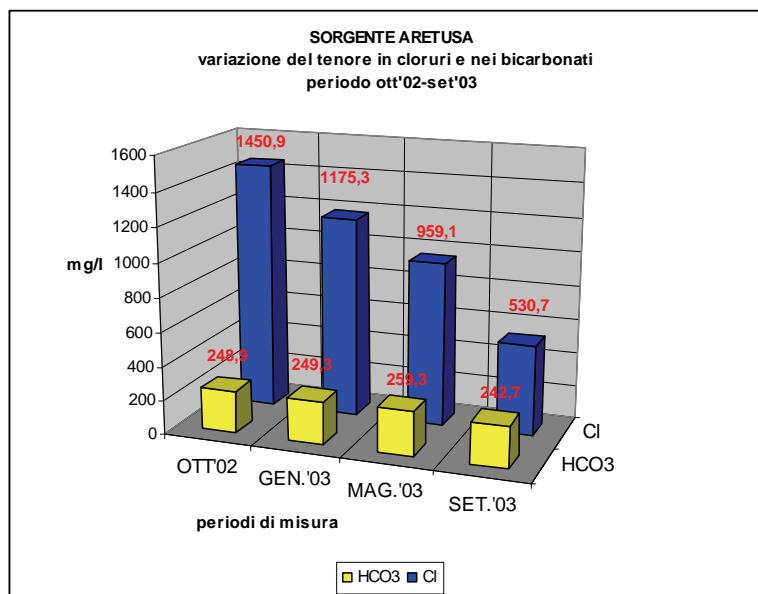


Figura 3 – Sorgente Aretusa; Correlazione dei tenori in cloruri e bicarbonati (periodo ott'02-set'03)

## CONCLUSIONI

La nota ha avuto lo scopo di descrivere gli effetti dell'evento alluvionale accaduto nella area siracusana nel settembre 2003, sul chimismo della Sorgente Aretusa, una delle più note dell'intero bacino mediterraneo.

L'analisi dei dati pluviometrici ha permesso di constatare che, nelle prime sette ore del 17 settembre, sono state misurate nella stazione pluviometrica di Siracusa ubicata in C. da Monasteri, ben 425 mm di pioggia con punte maggiori di 100 mm /h. Tale quantitativo di pioggia è maggiore di quello misurato nei tre anni precedenti.

L'effetto di tale evento sul chimismo delle acque nella Sorgente Aretusa ha determinato un processo di mitigazione dell'insalinamento su valori inferiori del tenore in cloruri di circa 2/3 (530,7 mg/l) a quanto misurato nel periodo di massima magra precedente all'evento alluvionale (1450,9 mg/l).

Viceversa, la costanza del dato dei bicarbonati nel medesimo periodo, indica la natura carbonatica dell'acquifero.

## BIBLIOGRAFIA

- Aureli et alii, (1987). *Caratteristiche delle linee di flusso dell'intrusione salina influenzate dalla tettonica in area costiera ove gli acquiferi sono sovrasfruttati*. Mem. Soc. Geol. Ital. n. 37, Roma 1987. Pubbl. n. 23 del G.N.D.C.I.
- Aureli et alii, (1988). *Carta della Vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi nel settore nord-orientale ibleo (Sicilia Sud-Orientale)*. 1° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee, Marano sul Panaro (Modena) Sett., 1990.
- Aureli et alii, (2003). *Submarine springs and salt-water intrusion in fractured environment*. Groundwater in Fractured rocks – Prague, Czech Republic.
- Aureli et alii, (2005); *Due dolci ninfe: Ciane e Aretusa Vulnerabili e violate*. Atti 4° National Congress on the Protection and Management of Groundwater. Reggio di Colorno (Pr), 21-23 Settembre, 2005.
- Aureli et alii, (2006). *L'intrusione marina negli acquiferi carbonatici costieri della Sicilia Sud-Orientale*. Atti del 2° Seminario Internazionale di Studi sul Carsismo negli Iblei e nell'Area Mediterranea. Castello di Donnafugata. Ragusa 28-30 Maggio 2004.
- Aureli, A., Dipasquale, M., (2008). *Hydrogeological and Hydrochemical Characteristics of the Anapo River Basin (Aretusa-Ciane spring system)*. 84° Congresso Nazionale della Società Geologica Italiana – 15-17 Settembre 2008 – Sassari.
- Aureli et alii, (2010). *Hydrogeochemical study of water point and springs in Ortigia Islands*. Proceedings of the 3° International Symposium Karst Evolution in the South Mediterranean Area



## ANALISI DELLE PIOGGE INTENSE IN PIEMONTE

BASSI MANUELA<sup>1</sup>, COLOMBINO GIANLUCA<sup>2</sup>, CREMONINI ROBERTO<sup>1</sup>, MASCIOTTO LUCIANO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ARPA Piemonte, Torino, Italia, r.cremonini@arpa.piemonte.it

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino, Italia, luciano.masciocco@unito.it

### RIASSUNTO

Sono state analizzate le serie di precipitazioni intense di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore registrate in Piemonte nel periodo 1930-2004; se ne sono studiati i trend e la distribuzione spaziale. Dalle analisi effettuate, si è rilevato che le piogge più intense si collocano nel settore montuoso settentrionale e secondariamente in alcune zone del settore montuoso meridionale: prendendo in considerazione 5 periodi di osservazione successivi, non si sono riscontrate variazioni significative di tale distribuzione geografica mentre si è evidenziato un aumento di intensità delle piogge nel periodo più recente.

**Parole chiave:** Piemonte, piogge intense, trend

### INTRODUZIONE

Lo studio delle precipitazioni intense e dei loro *trend* riveste particolare rilevanza sia nella valutazione delle aree a rischio idraulico sia nella formulazione di nuovi scenari di pericolosità del territorio.

Il Quarto Rapporto Valutativo dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* sottolinea come la regione alpina sia sensibile agli impatti degli attuali e futuri scenari climatici. Si pensa che la quota di esistenza del *permafrost* si alzi di centinaia di metri a causa dell'aumento di temperatura, provocando destabilizzazione dei versanti ed aumento dei fenomeni franosi (IPCC 2007). Ad esempio, un aumento di *debris flow* in aree glaciali è già stato documentato in Svizzera, nel Canton Vallese (OECD 2007).

Le precipitazioni sull'intera area alpina non mostrano variazioni significative nell'ultimo secolo: mentre nel versante settentrionale delle Alpi si è osservato un aumento del 20–30% delle piogge annue, in quello meridionale si è registrata un'equivalente diminuzione. Gli scenari climatici ipotizzati prevedono una generale diminuzione delle precipitazioni estive ed un aumento di quelle invernali. Per quanto concerne le precipitazioni intense, tutti i modelli climatici sono in accordo nel mostrare un aumento in inverno, mentre il segnale non è così chiaro in estate. Su gran parte delle Alpi possono quindi verificarsi precipitazioni estreme anche se le precipitazioni annue tendono a diminuire (ClimChAlp 2008). Nel versante meridionale delle Alpi è stato osservato un aumento significativo del numero di giorni con altezza di pioggia superiore a 25 mm, e la diminuzione di quelli con pioggia di altezza inferiore a 25 mm (Brunetti 2001).

Lo studio nel lungo periodo degli andamenti delle precipitazioni brevi ed intense è reso difficoltoso sia dalla sostituzione di vecchie stazioni con impianti ubicati in località diverse sia dall'utilizzo di nuove strumentazioni per la misura delle precipitazioni (con conseguenti interruzioni di preziose serie storiche). Il presente lavoro analizza le precipitazioni brevi ed intense registrate in Piemonte dalla rete pluviografica del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (rete SIMN) e da quella, di più recente costituzione, gestita dapprima dalla Regione Piemonte e attualmente da Arpa Piemonte (rete ARPA), al fine di valutarne sia la variazione nel tempo sia la distribuzione nello spazio.

### DATI UTILIZZATI

Nel presente studio, si sono analizzate le serie di precipitazioni intense di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore registrate in n. 47 stazioni della rete meccanica SIMN (Fig. 1a) così suddivise per provincia: AL 5, AT 3, BI 2, CN 12, TO 16, NO 2, VC 2; VCO 5. La maggior parte delle stazioni SIMN è rimasta attiva dagli anni '30 del secolo scorso all'inizio del Duemila. Tra tutte le stazioni di questa rete (più di 200 sul territorio piemontese), si sono scelte quelle per le quali fossero reperibili le piogge massime annue, relative alle cinque durate standard, per almeno 20 anni anche non continuativi.

Per gli anni precedenti al 1995, i dati delle piogge massime annue utilizzati sono quelli pubblicati negli “Annali Idrologici”. Bisogna precisare però che, per questo periodo, i massimi annui erano stati ricavati dalle registrazioni esistenti, anche se in alcune stazioni degli anni presentavano lacune significative. Ad esempio, per le stazioni di Farigliano e Ceva nel 1994 non furono rilevati i dati nei mesi di novembre (mese particolarmente piovoso) e dicembre; malgrado ciò, le piogge massime furono ugualmente estrapolate dai dati esistenti e regolarmente pubblicate.

La pubblicazione degli “Annali Idrologici” del 1995 risulta attualmente l’ultima disponibile. I dati registrati dalle singole stazioni SIMN negli anni successivi al 1995 sono stati riportati dall’Arpa Piemonte in un *data base* con una frequenza del dato pari a 15 minuti.

Per il periodo successivo al 1995 quindi si sono esclusi gli anni che presentavano lacune significative in periodi di pioggia rilevata dalle stazioni circostanti. Con tale criterio, si sono studiate anche le piogge intense rilevate dall’attuale rete automatica ARPA, in funzione dalla fine degli anni ’80 del secolo scorso. Delle circa 400 stazioni che oggi costituiscono la rete ARPA, se ne sono prese in considerazione n. 45 (suddivise per provincia nel seguente modo: AL 4, AT 1, BI 2, CN 11, TO 16, NO 2, VC 2, VCO 7), che hanno funzionato contemporaneamente per 11 anni dal 1994 al 2004 (Fig. 1b).

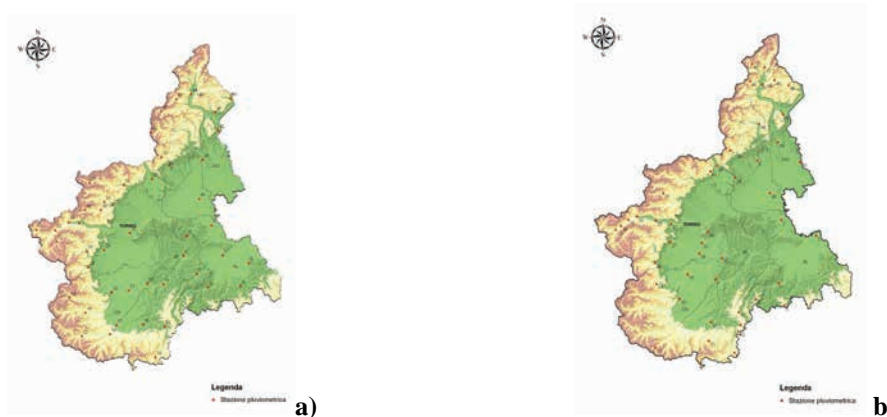


Figura 1 – Le 47 stazioni della rete meccanica SIMN (a) e le 45 stazioni della rete automatica ARPA (b) scelte per l’analisi delle piogge intense in Piemonte. La rete SIMN (circa 200 stazioni meccaniche) è stata attiva mediamente dagli anni trenta del secolo scorso ai primi anni del duemila. La rete ARPA (circa 400 stazioni) è attiva dalla fine degli anni ottanta del secolo scorso.

## EVOLUZIONE TEMPORALE DELLE PIOGGE INTENSE IN PIEMONTE

Nel presente studio si è analizzata la variazione nel tempo delle precipitazioni massime annue per le diverse durate (1, 3, 6, 12, 24 ore) per ognuna delle 92 stazioni considerate, tenendo separate le elaborazioni relative alle stazioni SIMN da quelle riguardanti le stazioni ARPA.

Per tutte le stazioni considerate, si sono costruiti 5 diagrammi di dispersione, uno per ciascuna durata standard di pioggia, inserendo nelle ordinate l’altezza di pioggia massima annua registrata e nelle ascisse il tempo. In tal modo, sono stati realizzati n. 235 diagrammi relativi alle stazioni SIMN e n. 225 diagrammi relativi alle stazioni ARPA. Dalle rette di regressione dei diagrammi sono stati valutati i *trend* delle piogge intense nei periodi di funzionamento delle due reti meteorologiche (Fig. 2).

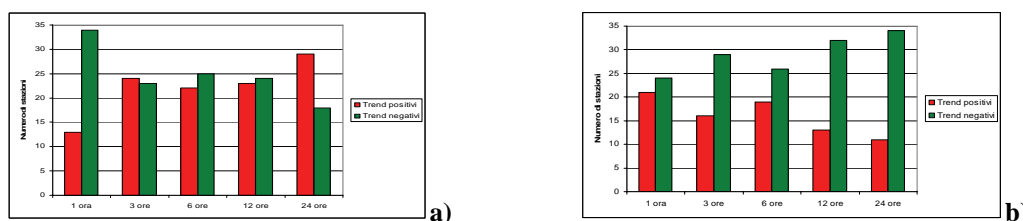


Figura 2 – Confronto tra numero di stazioni meteorologiche con rette di tendenza delle piogge massime annue crescenti e decrescenti per le durate di 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore. In rosso le stazioni con rette di tendenza crescenti, in verde quelle con rette di tendenza decrescenti. a) – confronto nell’ambito delle 47 stazioni della rete SIMN (periodo 1930-2000); b) – confronto nell’ambito delle 45 stazioni della rete ARPA (periodo 1994-2004).

Per quanto riguarda le 47 stazioni SIMN (periodo 1930-2000) è risultata una netta prevalenza di trend negativi per la durata 1 ora e una leggera prevalenza di trend positivi per la durata 24 ore, mentre per le durate intermedie di 3, 6 e 12 ore i trend sono all'incirca per metà positivi e per metà negativi. Per le stazioni ARPA (periodo 1994-2004), i trend tendono a essere negativi per più della metà delle stazioni considerate e in particolare per le durate 12 e 24 ore prevalgono nettamente i trend negativi. Dalle elaborazioni spaziali di questi risultati, non si sono osservate distribuzioni preferenziali sul territorio piemontese di stazioni con trend simili (positivi o negativi) di piogge intense.

### **DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELLE PIOGGE INTENSE IN PIEMONTE E SUA VARIAZIONE NEL TEMPO**

Per analizzare la distribuzione spaziale delle piogge intense in Piemonte nel tempo, si sono considerati 5 periodi di osservazione successivi: 1940 – 1955, 1956 – 1970, 1971 – 1985, 1986 – 2000, 1994 – 2004. Per ciascun periodo, sono state costruite delle cartografie utilizzando le medie delle piogge massime annue di durata 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore, registrate da stazioni contemporaneamente in funzione per almeno 10 anni (le stazioni utili per ogni periodo sono risultate rispettivamente di: 15, 32, 16, 23 e 45). Chiaramente, per i primi quattro periodi si sono utilizzati i dati delle stazioni SIMN, mentre per l'ultimo periodo si è fatto ricorso a quelli delle stazioni ARPA. Si sono ottenute in questo modo n. 25 carte delle isoiete, relative alle piogge massime per le diverse durate orarie, mediate sui periodi considerati.

In Figura 3, vengono riportate come esempio le carte delle isoiete relative alle piogge massime annue di durata 1 ora mediate rispettivamente su 10 anni del periodo 1956-1970 (32 stazioni SIMN) e sugli 11 anni del periodo 1994-2004 (45 stazioni ARPA).

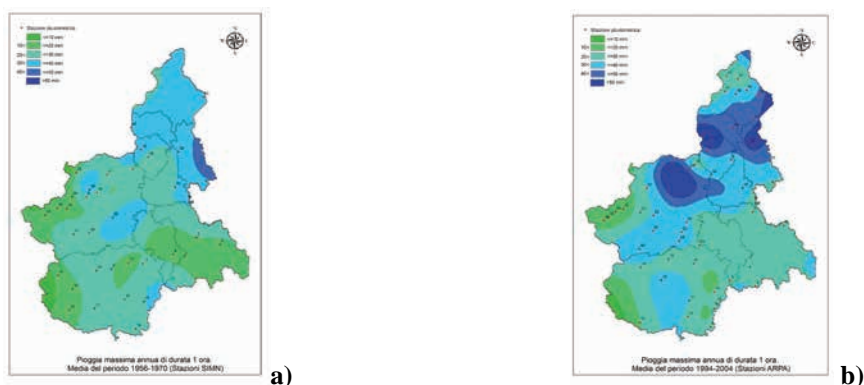


Figura 3 – Carte delle isoiete relative alle piogge massime annue di durata 1 ora mediate rispettivamente su 10 anni del periodo 1956-1970 in 15 stazioni SIMN (a) e sugli 11 anni del periodo 1994-2004 in 45 stazioni ARPA (b).

Dal confronto di queste due carte, ma in generale di tutte le altre, risulta che le piogge più intense in Piemonte si concentrano nel settore montuoso settentrionale, in modo particolare nella zona del Verbano Cusio Ossola e, secondariamente, in alcuni settori montani meridionali. Tale distribuzione non sembra variare in modo apprezzabile nei 5 periodi analizzati, mentre il valore delle isoiete, e quindi l'intensità di pioggia, appare più elevato nel primo periodo (1940 – 1955) e soprattutto nell'ultimo (1994 – 2004), rispetto a quelli intermedi.

Per discretizzare e confermare queste valutazioni qualitative, si sono calcolati i valori delle mediane dei dati di pioggia per i singoli periodi e per le diverse durate delle precipitazioni intense (Tab. 1).

	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1940 – 1955	23,2	34,4	46	62,4	86
1956 – 1970	22	32,1	42,2	57,3	80,8
1971 – 1985	23,1	33,8	41,2	56,8	78,8
1986 – 2000	20,6	32,9	43,1	56,6	78,2
1994 – 2004	27,2	37,2	49,9	65	88

Tabella 1 – Valori delle mediane dei dati di pioggia per le diverse durate delle precipitazioni intense per i periodi: 1940-1955 su 15 stazioni SIMN; 1956-1970 su 32 stazioni SIMN; 1971 – 1985 su 16 stazioni SIMN; 1986 – 2000 su 23 stazioni SIMN; 1994 – 2004 su 45 stazioni ARPA.

## CONCLUSIONI

Dalle analisi effettuate si può dedurre che le piogge più intense in Piemonte si collocano nel settore montuoso settentrionale e secondariamente in alcune zone del settore montuoso meridionale. L'intensità sembra essere diminuita dai primi anni di osservazione (periodo 1940 – 1955) rispetto alla seconda metà del secolo scorso, per poi toccare i valori più elevati nell'ultimo periodo preso in considerazione nello studio (1994 – 2004). L'analisi dei *trend*, che non mostra un aumento delle piogge intense in Piemonte, sembra condizionata dal fatto che si è costretti a considerare separatamente le serie storiche della rete SIMN e quelle più recenti e ancora ridotte della rete ARPA. Quest'ultima ha rilevato mediamente delle piogge più intense rispetto a quelle registrate dalla rete SIMN nel secolo scorso. Questo aspetto può essere evidenziato quantitativamente considerando le mediane dei valori massimi di precipitazione delle stazioni SIMN e le mediane dei valori massimi di precipitazione delle stazioni ARPA, calcolando le rispettive curve di probabilità pluviometrica e rilevando che i coefficienti delle curve costruite coi valori delle stazioni ARPA mediati sull'ultimo periodo risultano più elevati.

## BIBLIOGRAFIA

- Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., (2001). *Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in North Eastern Italy*. Int. J. Climatol., 21, 861-871.
- ClimChAlp, (2008). *Climate Change, Impacts and Adaptation Strategies in the Alpine Space*. Climate change assessment report, WP5 of the Interreg III B Alpine Space Project ClimChAlp.
- IPCC, Core Writing Team, Pachauri, (2007). *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. R.K. and Reisinger, A., (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland, pp 104.
- OECD, (2007). *Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management*. Ed. Ahardul Agrawala, Paris, France.

## TREND DELLE PRECIPITAZIONI GIORNALIERE ESTREME IN CALABRIA

BRUNETTI MICHELE<sup>1</sup>, CALOIERO TOMMASO<sup>1,2</sup>, COSCARELLI ROBERTO<sup>2</sup>, GULLÀ GIOVANNI<sup>2</sup>, NANNI TERESA<sup>1</sup>, SIMOLO CLAUDIA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNR ISAC, Italia, m.brunetti@isac.cnr.it

<sup>2</sup> CNR IRPI, Italia, coscarelli@irpi.cnr.it

### RIASSUNTO

Nel presente lavoro, le serie pluviometriche giornaliere di 129 stazioni presenti sul territorio calabrese, omogeneizzate e completate nei loro dati mancanti, sono state utilizzate per la valutazione dei trend in Calabria. Per poter valutare le variazioni della distribuzione delle precipitazioni, queste sono state suddivise in classi in base alla loro intensità giornaliera. I risultati evidenziano una diminuzione delle precipitazioni che cadono nelle categorie più alte e un aumento di quelle che cadono nelle categorie più basse, specialmente nel periodo invernale. Tuttavia questo andamento è fortemente dipendente dal periodo temporale considerato, come mostrato da un'analisi dei trend mobili.

**Parole chiave:** precipitazione, trend, Calabria

### INTRODUZIONE

La Calabria, per le sue caratteristiche morfologiche e orografiche, presenta una marcata variabilità spaziale delle caratteristiche climatiche, che si riflettono anche sui fenomeni idrologici estremi, quali alluvioni e siccità, nonché sui più complessi eventi di dissesto idrogeologico (Gullà et al. 2009) e su particolari eventi di frana. In tale contesto, l'analisi dell'andamento delle precipitazioni estreme, intendendo per queste quelle che si collocano nelle "code" di una ipotetica distribuzione statistica, ricopre un notevole interesse. Infatti, da una parte è certamente noto che, nella maggioranza dei casi, le condizioni tipiche di innesco di movimenti franosi sono caratterizzate da un periodo di piogge persistenti, ma rientranti nella norma stagionale, a cui fa seguito un evento, anche di un solo giorno, di carattere eccezionale. Dall'altra parte, prolungati periodi con precipitazioni giornaliere nulle o di bassa entità possono condurre a periodi siccitosi. Per l'impatto sulla gestione di un territorio che hanno detti valori estremi, l'analisi delle serie storiche di precipitazione giornaliera e dei possibili trend ricopre quindi notevole importanza, sia nello studio dei fenomeni di dissesto idrogeologico sia nella gestione delle risorse idriche.

Uno dei principali problemi che si riscontrano nell'analisi di dette serie è dato dal fatto che queste possono contenere disomogeneità ed errori dello stesso ordine di grandezza, o talora addirittura maggiori, dei segnali a lungo termine, che le analisi dei trend si propongono di evidenziare. Negli ultimi decenni la comunità scientifica ha preso sempre più coscienza di questo problema e ha dedicato numerosi sforzi allo sviluppo di tecniche per l'individuazione delle disomogeneità e la correzione delle serie climatiche (e.g. Alexandersson 1986, Peterson & Easterling 1994, Brunetti et al. 2006). Accanto al problema dell'omogeneità dei dati, di notevole importanza è anche la gestione dei valori mancanti nelle serie meteorologiche, a causa, ad esempio, di occasionali interruzioni nel funzionamento delle stazioni automatiche, del malfunzionamento degli strumenti, della riorganizzazione della rete. A tale scopo sono state sviluppate diverse tecniche di interpolazione per la valutazione delle osservazioni mancanti nelle serie temporali, su base stagionale, mensile e giornaliera (Simolo et al. 2010 e la bibliografia ivi citata).

In generale, le valutazioni dei trend pluviometrici su grandi scale spaziali hanno evidenziato incrementi significativi delle precipitazioni nell'Asia centro-settentrionale, nelle zone orientali del Nord e del Sud America e nel Nord Europa; al contrario, condizioni più secche sono state osservate nel Sahel, nel bacino del Mediterraneo, in Sud Africa e in Asia meridionale (IPCC 2007). In particolare, per quanto riguarda il bacino del Mediterraneo, diversi autori hanno evidenziato un decremento annuo delle precipitazioni: si citano a titolo d'esempio, perché inerenti il territorio nazionale, i lavori di Brunetti et al. (2006, 2010), Caloiero et al. (2009).

Utilizzando le serie dei dati registrati dalle stazioni di misura presenti sul territorio calabrese, con un periodo di osservazione prossimo ai 100 anni, il presente studio si prefigge di contribuire ad una analisi del trend delle precipitazioni giornaliere estreme, provvedendo preliminarmente alla rimozione dei problemi di disomogeneità e incompletezza presenti nelle suddette serie.

## **DATI E METODOLOGIA**

Nel presente studio sono stati utilizzati i dati giornalieri di precipitazione ottenuti dalla rete di misura gestita dall'ex Servizio Idrografico Italiano, ora "Centro Funzionale Multirischi", dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria (A.R.P.A.CAL.). La qualità del dato giornaliero è stata verificata attraverso l'applicazione del test di Craddock (1979) applicato in modo ricorsivo, testando ogni serie rispetto a tutte le altre, in sotto-gruppi di 10 serie. Una volta individuata una disomogeneità in una serie, questa è stata corretta utilizzando alcune delle serie vicine che sono risultate essere omogenee in un sottoperiodo centrato sulla disomogeneità secondo quanto già effettuato in Brunetti et al. (2010). Al termine della procedura di omogeneizzazione, delle 197 serie storiche analizzate, sono state ottenute 129 serie storiche omogenee: 77 inizialmente omogenee, 42 omogeneizzate, 10 omogenee di 2° livello, ossia serie storiche considerate omogenee dopo la riapplicazione del test di Craddock, utilizzando come serie di riferimento le serie omogeneizzate. Il dataset omogeneo di 129 stazioni è stato ricostruito, per quanto concerne i dati mancanti, nel periodo compresi fra il primo anno in cui si hanno a disposizione i dati per la stazione ed il 2007. La stima dei dati mancanti, è stata eseguita applicando la procedura proposta da Simolo et al. (2010), che permette di conservare la localizzazione temporale dell'evento (giorni secchi o giorni piovosi) e le proprietà statistiche della serie di precipitazione.

Al fine di analizzare i trend relativi agli estremi delle precipitazioni, le piogge giornaliere sono state aggregate in categorie di differente intensità giornaliera basati sui decili (PC01, PC02, ..., PC10), unitamente con i percentili più estremi 95° e 99° (PC95, PC99), stimati applicando una distribuzione Gamma alle serie giornaliere. La significatività dei trend è stata valutata con il test non-parametrico di Mann-Kendall (Sneyers 1990).

Per facilitare l'analisi spaziale dei trend i dati delle stazioni sono stati interpolati su una griglia regolare, la cui risoluzione è stata scelta pari alla interdistanza media delle 129 stazioni scelte, che è di circa 10 km (1/10 di grado in latitudine e in longitudine). Prima di interpolare i dati delle stazioni sulla griglia, ogni serie è stata convertita in "anomalie", normalizzando ogni valore mensile con la sua media stimata su un periodo di riferimento (1961-1990). Questa scelta è giustificata dal fatto che i valori assoluti presentano gradienti spaziali molto pronunciati; il passaggio alle anomalie evita, inoltre, che la non uniforme disponibilità di dati tra le diverse stazioni (l'anno di inizio varia serie per serie) possa influenzare i risultati. I trend sono stati anche valutati ("trend mobili") in sotto-periodi di larghezza variabile (da 20 anni fino alla durata dell'intera serie) e anno di partenza variabile, coprendo tutta la lunghezza della serie e considerando valori di precipitazione medi regionali.

## **RISULTATI E DISCUSSIONE**

L'analisi del trend condotta in precedenti lavori (Brunetti et al. 2010) aveva già evidenziato per le precipitazioni un trend negativo statisticamente significativo per quasi tutto il territorio regionale maggiormente evidente per le piogge invernali. Trend opposto invece veniva rilevato per le piogge estive. I risultati ottenuti dall'analisi del trend sulle categorie di precipitazione sono riportati in figura 1 in cui la significatività del trend è evidenziata dalla diversa dimensione dei quadrati. Su scala annuale, le precipitazioni che rientrano nelle categorie più elevate (PC10, PC95, PC99) mostrano un trend negativo nel periodo 1923-2006, con aree (da Crotone a tutto il versante ionico della provincia di Catanzaro) che presentano riduzioni anche di circa il 20%/decade. Allo stesso tempo, le precipitazioni giornaliere delle categorie più basse mostrano un generale andamento positivo anche se statisticamente significativo solo per aree limitate (in prossimità dell'Aspromonte e in corrispondenza del versante tirrenico del Pollino). Il principale contributo all'andamento negativo delle categorie di intensità maggiore deriva dalla stagione

invernale e, in misura minore, dall'autunno. Al contrario, in estate quasi tutte le categorie, tranne le tre più alte sopra la soglia del 90° percentile (per i quali non possono essere rilevate chiare tendenze), mostrano un trend positivo. Ciò è coerente con l'aumento delle precipitazioni osservato nei mesi estivi.

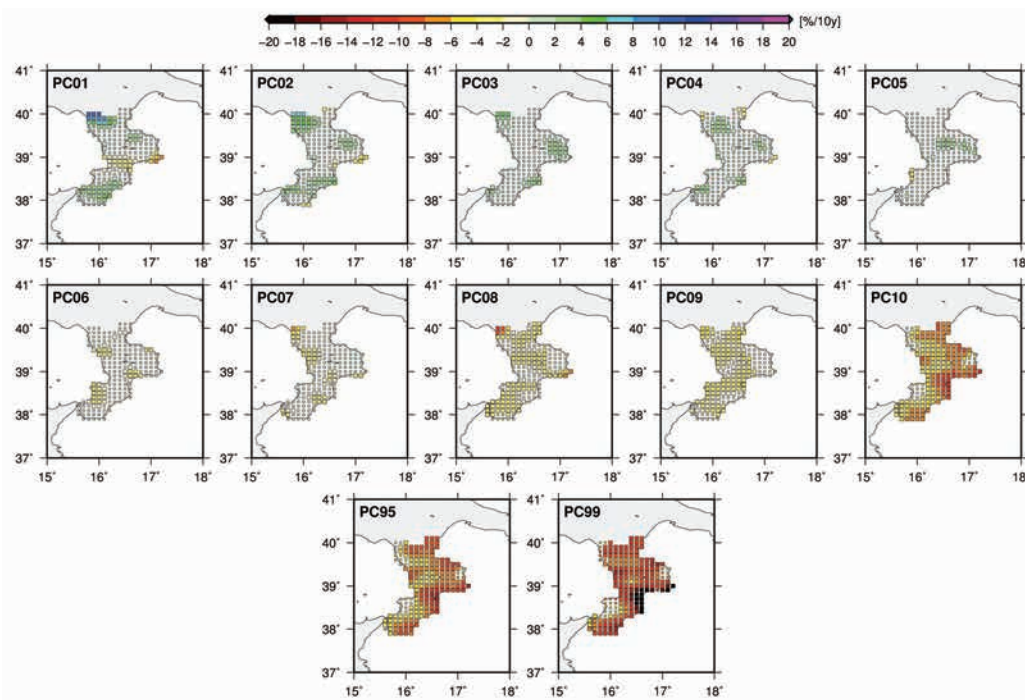


Figura 1 – Mappe del trend annuo delle precipitazioni ricadenti nelle 12 categorie selezionate.

L'analisi effettuata mediante i trend mobili sulle medie regionali ha evidenziato un'interessante variabilità temporale nel segno della tendenza. In particolare, specie per le categorie più basse, le serie temporali sono caratterizzate da un duplice comportamento, con un trend positivo nella prima parte della serie seguita da uno negativo dopo il 1950 (Figura 2).

## CONCLUSIONI

L'analisi di dettaglio, oggetto del presente studio, è stata possibile grazie ai test di qualità delle serie storiche di partenza, che hanno permesso di ottenere una banca dati di precipitazioni giornaliere omogenea e completa. I risultati ottenuti forniscono chiare indicazioni sull'andamento delle piogge in Calabria, che sta determinando un regime delle precipitazioni più distribuito nel corso dell'anno, con eventi sempre meno presenti nei mesi invernali ma frequenti anche nei mesi estivi. Se detti trend vengono confermati potranno determinare significative ripercussioni nella gestione delle risorse idriche e una valutazione della probabilità di innesco di eventi franosi anche in mesi finora considerati "secchi" per la Calabria. Significativa è risultata, inoltre, su scala regionale media, l'inversione di tendenza, registrata specie per le precipitazioni di più bassa categoria, "collocabile" all'incirca intorno al 1950.

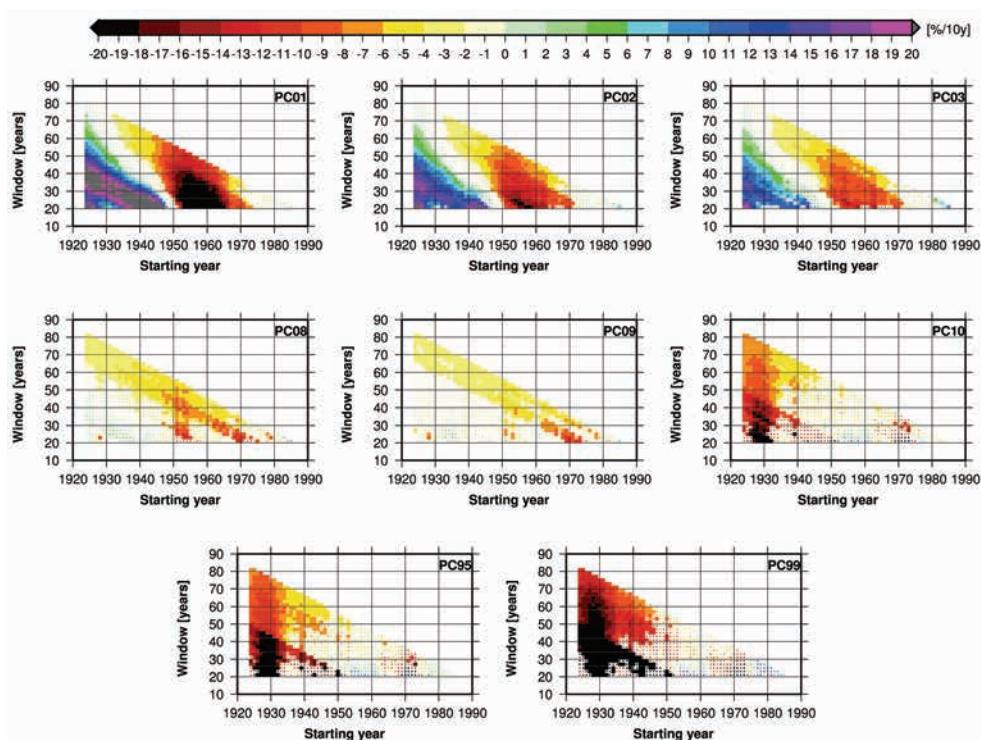


Figura 2 - Trend mobili per le serie delle precipitazioni medie annue regionali ricadenti nelle categorie estreme (Asse y: larghezza della finestra mobile; asse x: primo anno della finestra sulla quale è calcolato il trend). La significatività del trend è evidenziata dalla diversa dimensione dei quadrati.

## BIBLIOGRAFIA

- Alexandersson, H., (1986). *A homogeneity test applied to precipitation data*. International Journal of Climatology, 6, 661-675.
- Brunetti, M., Buffoni, L., Maugeri, M., Nanni, T., (2006). *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series*. International Journal of Climatology, 26, 345-381.
- Brunetti, M., Caloiero, T., Coscarelli, R., Gullà, G., Nanni, T., Simolo, C., (2010). *Precipitation variability and change in the Calabria region (Italy) from a high resolution daily dataset*. International Journal of Climatology. Pubblicato online in attesa di stampa.
- Caloiero, T., Coscarelli, R., Ferrari E., Mancini, M., (2009). *Trend detection of annual and seasonal rainfall in Calabria (Southern Italy)*. International Journal of Climatology. Pubblicato online in attesa di stampa.
- Craddock, J.M., (1979). *Methods of comparing annual rainfall records for climatic purposes*. Weather, 34, 332-346.
- Gullà, G., Antronico, L., Borrelli, L., Caloiero, T., Coscarelli, R., Iovine, G., Nicoletti, P.G., Pasqua, A.A., Petrucci, O., Terranova, O. (2009) *Indicazioni conoscitive e metodologiche connesse all'evento di dissesto idrogeologico dell'autunno-inverno 2008-2009 in Calabria*, Geologi Calabria, 1, 4-21.
- IPCC, (2007). *Climate change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Peterson, T.C., Easterling, D.R., (1994). *Creation of homogeneous composite climatological reference series*. International Journal of Climatology, 14, 671-679.
- Simolo, C., Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., (2010). *Improving estimation of missing values in daily precipitation series by a probability density function-preserving approach*. International Journal of Climatology, 30, 1564-1576.
- Sneyers, R., (1990). *On the statistical analysis of series of observation*. WMO, Technical Note N. 143, Geneve



## SHALLOW LANDSLIDES TRIGGERED BY HEAVY RAINFALLS IN OLTREPO PAVESE (NORTHERN ITALY)

MEISINA CLAUDIA<sup>1</sup>, VISCONTI LUCA<sup>1</sup>, ZIZIOLI DAVIDE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia, Pavia, Italia, claudia.meisina@unipv.it

### ABSTRACT

On April 27 and 28, 2009 a heavy rainfall event triggered more than 1600 shallow landslides in Oltrepo Pavese (Northern Apennines, Italy). This paper presents the preliminary results from a detailed analysis of the shallow landslides in a test area where one fatality occurred and several people were injured. Results obtained through an intensive field investigation combined with photo-interpretation revealed that the causes of the slides involved geological, geotechnical, hydrogeological processes and anthropogenic activities, particularly those related to vineyards.

**Key-words:** land use, Oltrepo Pavese, shallow landslide

### INTRODUCTION

The temporal frequency and the spatial distribution of shallow landslides are of considerable importance for landslide hazard assessment and risk mitigation. Indispensable to these evaluations is an understanding of the key factors and mechanisms contributing towards an unstable slope condition.

Oltrepo Pavese, which is located in the Northern Apennines of Italy, is characterized by high density of landslides. The mass movements often developed in clayey-marly formations and are classified as complex movements triggered by prolonged rainfalls. More recently climate changes are responsible of extreme weather conditions, such as heavy rainfalls, that have triggered shallow landslides in Oltrepo Pavese areas, which had not been previously affected by this type of landslides. An important event happened the 27th and 28th April 2009 subsequently to rapid snowmelt and intense rainfall.

The paper presents the preliminary results from a geological investigation carried out in the north-eastern sector of Oltrepo Pavese shortly after the April 2009 event. The objectives of the study were: (i) to investigate the nature of rainfall-induced landslides, (ii) to evaluate which key contributing factors led to the 2009 event, (iii) to assess the influence of changes in vegetation cover and land use on the occurrence of shallow landslides.

### THE STUDY AREA

Calcareous flysch, made up of alternating marls, calcareous marls, and shales predominate in the southern part of the study area, which is characterized by gentle slopes (<20°). In the northern sector, slopes are characterized by medium-high gradient (40 % of the area have slope gradient higher than 15°) and are composed of marls and by gravel, sand and poorly cemented conglomerates. Colluvial soils, derived by the weathering of the bedrock, have a thickness ranging from 0.5 m to 2-3 m at the bottom of the valley (Fig.1).

On 28th April 2009 a rain-gauge station (Cigognola) recorded 160 mm of rain in 48 h (20% of the annual average amount) with maximum 22 mm/h rainfall intensity at 9p.m. on 27/4/2009. The April 2009 event occurred after a rather wet winter season with heavy snowfalls. After the rainfall peak registered at 9p.m. on 27/4/2009, several shallow landslides were triggered, which caused one fatality and damaged/blocked roads in several places.

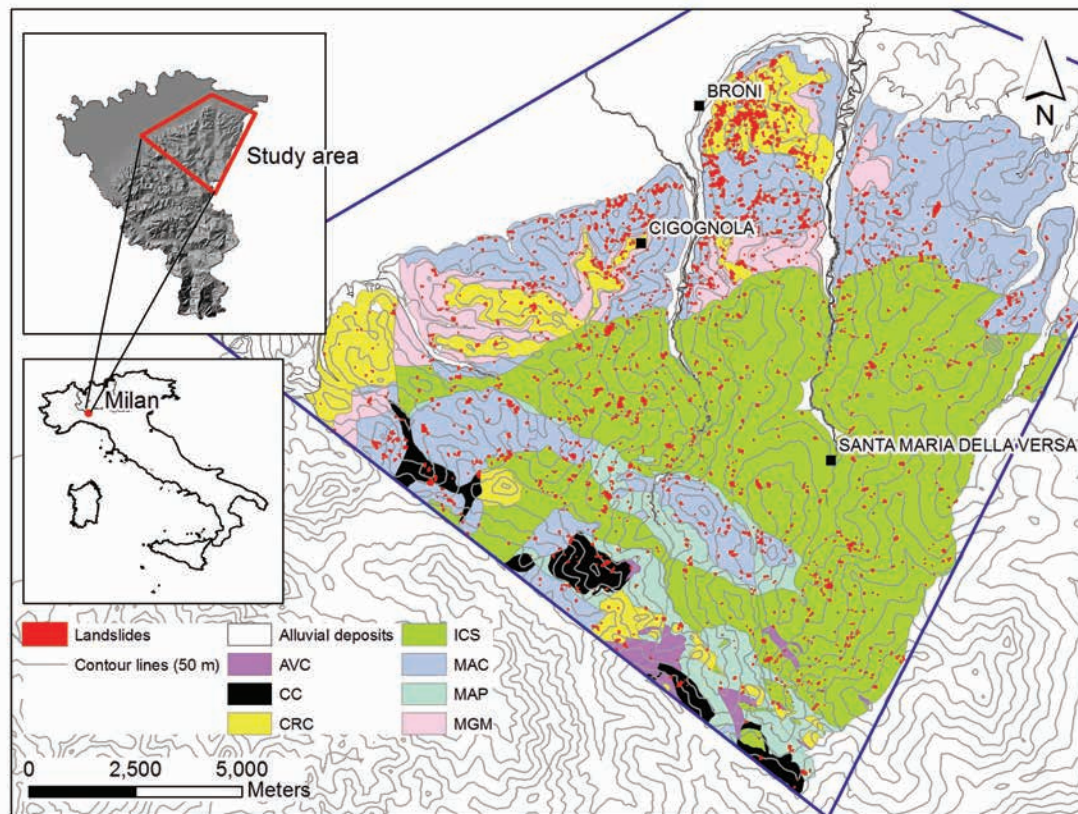


Figure 1 - Litological sketch map and location of the shallow landslides triggered by the 26-27 April 2009 rainfall event. AVC: varicolored clay; CC: rock blocks, embedded in a clay matrix; CRC: gravel, poorly cemented conglomerates and sandstones; ICS: sandstone interbedded with clay; MAC, MAP: marl and shale with few arenaceous intercalations; MGM: gypsum marl (Braga et al., 1985)

## METHODS

Color aerial photographs taken by Ditta Rossi s.r.l. (Brescia) immediately after the events, with a spatial resolution of 15 cm (photo scale 1:12.000), were studied in order to map the existing landslides. Field investigations involved detailed study of failure site geomorphology and landslides characteristics. Description of landslides includes the type of movement according to the classification of landslides described by Campus et al. (1998) and Cruden & Varnes (1996).

The geotechnical characterization of colluvial deposits was based on standard soils analysis conducted according to the ASTM standard. The performed tests include (i) assessment of the physical parameters of materials (grain size distribution, bulk and dry densities and Atterberg Limits), (ii) standard geotechnical tests (direct shear tests). A 10 m DTM was used to provide the following variables relevant to landslide triggering: slope, aspect, curvature. Three sets of aerial photos, taken in 1980, 2003 and 2009, were used to map the evolution of land cover in some test sites.

## CHARACTERISTICS OF THE LANDSLIDES

The rainfall event of April 2009 triggered about 1,638 landslides in the north-eastern sector of Oltrepò Pavese. Field observations indicated that the slides occurred mainly in colluvial soils. Most of the slides were shallow (thickness usually from 0.5 to 2 m) with the failure surface located along the contact between colluvial cover and the weathered bedrock; sometimes they involved portions of bedrock. According to the Cruden & Varnes (1996) classification and that proposed by Campus et al. (1998) for rainfall-triggered landslides, four types of landslides were recognized (Fig.2): a) incipient translational slides; b) translational soil slides; c) rotational slides, d) complex landslides.

The types c) and d) are the most diffused. The extension of single events is less than 10,000 m<sup>2</sup>, the average surface being about 620 m<sup>2</sup>.

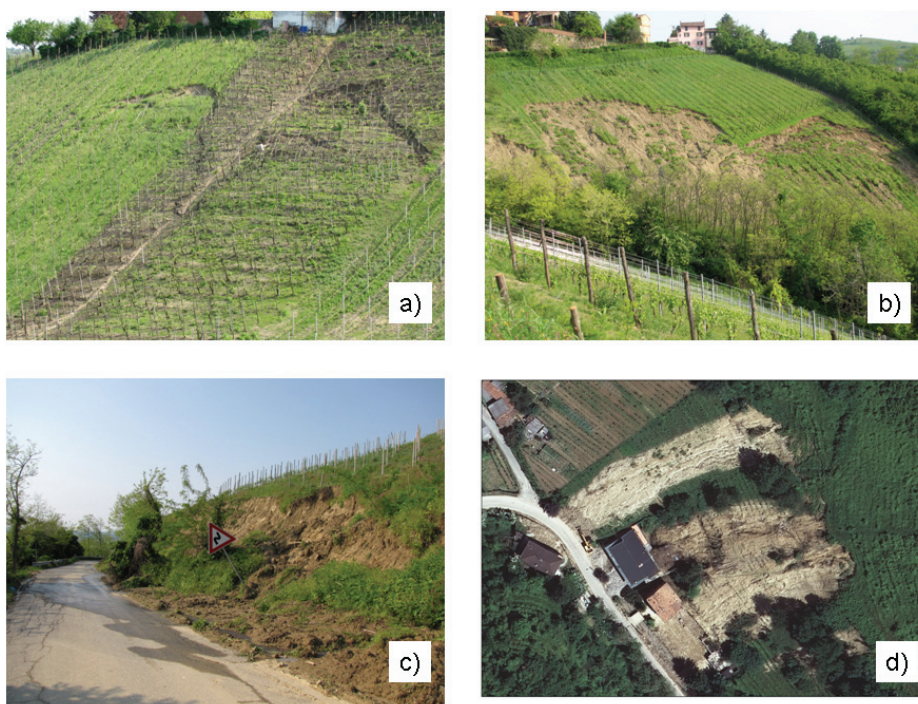


Figure 2 - Types of landslides in the study area. a) incipient translational slide, b) translational soil slide, c) rotational slide, d) complex landslide

### PREDISPOSING FACTORS IN LANDSLIDE-AFFECTED AREAS

51 % of the shallow landslides occurred in correspondence of marls and of gravel, sand and poorly cemented conglomerates.

On the basis of grain-size distribution, the colluvial soils derived by the weathering of the marls were classified as clayey silt (the percentage of clay is less than 30%); the colluvial soils derived by the weathering of sandstones and conglomerates were classified as clayey sandy silt (the percentage of sand fraction is up to 13-17%). According to USCS classification, the majority of the analyzed samples are non plastic or slightly plastic soils (CL).

The geotechnical soil profiles do not highlight significant geotechnical differences with depth. Nevertheless, below the cover forming the interface between the soil layers and the bedrock is a thin layer of silty clay derived from the direct weathering of the bedrock: in a large number of cases this layer constitutes the sliding surface of the landslide. Extensive perched water table development is common on these colluvial soils slopes, overall during the rainy season.

Dry density ranges between 15 and 16.3 kN/m<sup>2</sup>. Porosity ranges between 38 and 43. Shear strength results showed a friction angle of 24-30°. The cohesion is 7-10 kPa.

Landslides appear on N-W oriented slopes and were observed in the slope range from 10° to 35°. The landslide frequency is higher (36%) for slope angles between 15°-25° and tends to decline with an increasing or decreasing slope angle (the 27 % of landslide developpes between 10° and 15°). Most of the landslides are concentrated in areas of slope angle change (e.g., from a gentle slope to a steep slope).

Over the studied period (1980-2009), significant changes occurred in land use, particularly in agricultural practices, which caused a significant modification of runoff conditions. Until the 1980s traditional vineyard plantations used a tillage pattern oriented across the maximum slope gradient; agricultural works were undertaken in the traditional manner with weeding and digging, thus runoff and sediment transport were partially controlled. After the 1980s traditional vineyards disappeared and were replaced by modern

vineyards with row direction parallel to the maximum slope gradient (upslope and downslope) in order to optimize the vine density and the mechanical work. The shape of the slope was also altered, whereas the steepest slopes were abandoned and recolonized by natural vegetation (shrubs and trees).

“Woodlands” are then composed by trees and shrubs developed on abandoned vineyards and they are less than 20 years old. The roots extend generally in the first meters of the soil profile and are involved in the landslide. In the abandoned vineyards the old tillage pattern oriented across the maximum slope gradient allow also the concentration of water. The situation explains the occurrence of the majority of landslides in correspondence of the woodland.

## CONCLUSIONS

The April 2009 landslide event, which caused one fatality, the injury of several people, and significant damage to infrastructure, provided an opportunity to improve knowledge on the causes of shallow landslides in Oltrepo Pavese. Field investigations shortly after rainfall event associated with aerial photointerpretation contributed to developing an understanding of the slope processes and to identifying the key contributing factors in landslide initiation, this is the starting point for shallow landslide susceptibility assessment.

The results indicate that slope inclination is a crucial factor for slope stability. Generally landslides occurred in correspondence of slope angle changes which also correspond to changes in land use (from gentle slope with vineyards to steep slopes with wood-land). Changes in land cover have played major role in landslide occurrence and distribution in the study area. From 1980 to 2009 woodland increased from as a consequence of recolonisation of abandoned vineyards. The natural revegetation process in the abandoned vineyards has proven to be unsuccessful in reducing landslide occurrence.

## BIBLIOGRAFIA

Braga, G., Braschi, G., Calculli, S., Caucia, F., Cerro, A., Colleselli, F., Grisolia, M., Piccio, A., Rossetti, R., Setti, M., Spalato, A., Soggetti, F., and Veniale, F., (1985). *I fenomeni franosi nell'Oltrepo Pavese: tipologia e cause*. Geologia Applicata e Idrogeologia 20: 621–666.

Campus, S., Forlati, F., Susella, G., Tamberlani, F., (1998). *Frane per mobilitazione delle coperture detritiche*, in: Eventi alluvionali in Piemonte, Regione Piemonte, Torino, 266–287.

Cruden, D.M., Varnes, D.J., (1996). *Landslide types and processes*. In: Turner AK, Schuster RL (Eds) Landslides: investigation and mitigation. Sp. Rep.247, Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington DC, pp 36–75.

## NUOVO CATASTO DEI ROCK GLACIER DELLA VALLE D'AOSTA

UMBERTO MORRA DI CELLA<sup>1</sup>, STÉPHANIE LETEY<sup>1</sup>, PAOLO POGLIOTTI<sup>1</sup>, MICHÈLE CURTAZ<sup>2</sup>, EDOARDO CREMONESE<sup>1</sup>, MARCO VAGLIASINDI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ARPA Valle d'Aosta, Saint-Christophe (AO), u.morradicella@arpa.vda.it

<sup>2</sup> Fondazione Montagna Sicura, Courmayeur (AO)

### RIASSUNTO

Utilizzando i più recenti prodotti cartografici disponibili è stato realizzato il nuovo Catasto dei rock glacier della Valle d'Aosta. L'individuazione di queste forme tipiche dell'ambiente periglaciale avviene mediante fotointerpretazione, analizzando le ortofoto (2006, risoluzione 0,5 m), il modello digitale del terreno (2006, passo 2 m) e le ortofoto all'infrarosso falso colore (2005, risoluzione 15 cm, derivanti dal progetto "HABITALP"). Dopo essere stati localizzati, i rock glacier sono perimetrati manualmente in ambiente GIS, mentre i dati morfometrici e le principali caratteristiche sono inseriti in un database. Il lavoro di censimento è concluso ed è in corso la validazione dei dati.

**Parole chiave:** catasto, rock glacier, Valle d'Aosta.

### INTRODUZIONE

Alcune informazioni riguardo alla distribuzione ed alle caratteristiche dei rock glacier presenti in Valle d'Aosta erano già presenti nel "Catasto dei rock glacier delle Alpi Italiane" (Guglielmin & Smiraglia 1997), ma il catasto in corso di realizzazione risulta più completo, preciso e dettagliato, grazie alla disponibilità di materiale cartografico di recente acquisizione, che copre l'intero territorio regionale.

Il Catasto dei rock glacier, riguardando l'ambiente periglaciale, fa parte del Catasto ghiacciai della Valle d'Aosta inserito nel sistema informativo territoriale regionale (e pubblicato online sul sito regionale), gestito da Fondazione Montagna sicura, in collaborazione con il DIT (Dipartimento Innovazione e Tecnologia).

Il lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto Interreg 2007-2013 Alpine Space "PermaNET – Longterm Permafrost Monitoring Network", in particolare nel *work package 5 (WP5 - Permafrost and Climate Change)* che ha previsto la costituzione di un database delle evidenze di permafrost (PED, *Permafrost Evidences Database*): i rock glacier sono infatti considerati un'evidenza indiretta della presenza di permafrost. I dati del PED forniti dai partner del progetto, oltre a costituire una banca dati comune a livello dell'arco alpino, sono utilizzati per la realizzazione di una mappa unica per le Alpi di probabile distribuzione del permafrost.

### METODOLOGIA DI LAVORO

Il territorio valdostano (3300 km<sup>2</sup>, di cui più del 50% sopra i 2000 m s.l.m. e circa il 5% occupato da ghiacciai) è stato diviso in due aree sulle quali due operatori diversi hanno svolto il lavoro di censimento indipendentemente, seguendo una metodologia comune.

La base cartografica utilizzata per il lavoro è costituita da ortofoto all'infrarosso falso colore (IRFC, 2005, risoluzione 15 cm - progetto Interreg "HABITALP") e relative immagini stereoscopiche, modello digitale del terreno (DTM, 2006, passo 2 m), ortofoto (2006, risoluzione 0,5 m) e CTR in scala 1:10000 (Figura 1).

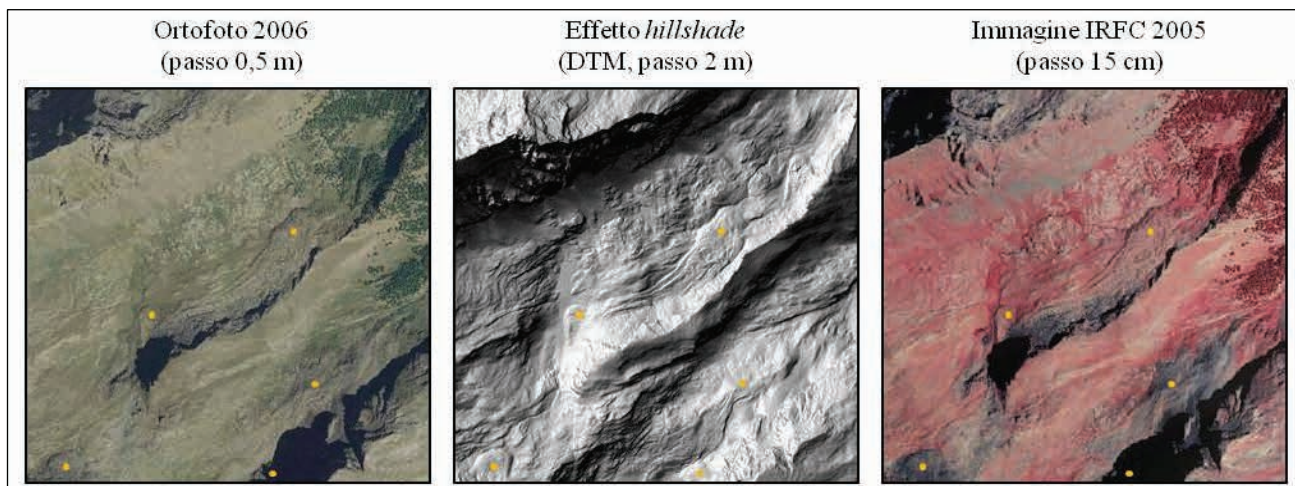


Figura 1 – Estratti cartografici ed esempio di punti di localizzazione preliminare di rock glacier

A differenza del catasto del 1997, in cui i rock glacier sono individuati in modo puntuale, nel nuovo catasto ogni forma è stata perimetrata attraverso fotointerpretazione delle ortofotografie e con il supporto delle informazioni derivate da opportuni trattamenti del DTM; l'insieme delle geometrie è stato organizzato in ambiente GIS. Oltre al perimetro, per ogni forma sono stati tracciati i segmenti corrispondenti alla larghezza lungo tre sezioni trasversali (3 segmenti) ed alla lunghezza (1 segmento) (Figura 2).

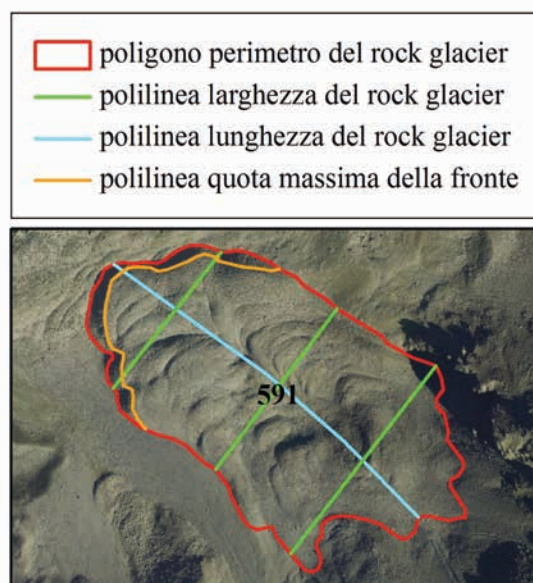


Figura 2 – Perimetrazione di un rock glacier in ambiente GIS.

Sull'esempio di tabelle utilizzate in altri catasti (Seppi et al. 2005, Guglielmin & Smiraglia 1997) e rispettando le richieste del PED, è stata realizzata una scheda unica che raccoglie tutti le informazioni ed i dati relativi ai rock glacier individuati.

I valori delle principali caratteristiche morfometriche (area, lunghezza, larghezza, quota massima e minima, quota massima della fronte, esposizione media, pendenza media) sono calcolati a partire dal DTM in formato raster mediante strumenti di analisi GIS (*Spatial Analyst* di *ARCGIS*) e sono riportati nella scheda. Altri campi della tabella riguardano caratteristiche tipiche dei rock glacier: (i) grado di attività (distinguendo rock glacier intatti – attivi e inattivi – e rock glacier relitti), (ii) geometria (rock glacier lobati, con forma a lingua o equidimensionali), (iii) forma (semplice o complessa e tipo di complessità: *multipart*, *multiroot*, *multilobe*, *multiunit*), (iv) alimentazione (da morena, da falda di detrito), (v) localizzazione, (vi) relazione con forme glaciali e con i limiti della vegetazione, (vii)

indicazione di caratteristiche morfologiche evidenti (presenza di solchi longitudinali e/o trasversali, corpo rigonfio o sgonfio, presenza di cavità coniche).

E' stato ritenuto opportuno creare dei campi per note strettamente legate alle modalità di esecuzione del lavoro, svolto principalmente mediante fotointerpretazione, relative alla presenza di ombre nell'ortofoto ed al grado di certezza che l'operatore attribuisce alle informazioni raccolte (ad esempio quanto è sicuro di aver individuato e perimetrato correttamente il rock glacier o quanto è certo di aver attribuito il reale grado di attività).

Inoltre è riportata l'esistenza o meno di attività di studio/monitoraggio oltre alla possibilità di interferenza tra rock glacier ed infrastrutture (impianti di risalita, strade, ecc.) presenti sul loro corpo o nelle immediate vicinanze, al fine di valutare i rischi che potrebbero derivare a seguito di una degradazione del permafrost al loro interno.

### **PRIMI RISULTATI E PROSPETTIVE FUTURE**

Il lavoro di perimetrazione e catalogazione dei rock glacier è concluso; al momento sono state censite 959 forme sul territorio valdostano, a fronte dei 257 rock glacier censiti nel catasto del 1997, dato tuttavia ancora suscettibile di cambiamenti dovuti alle verifiche in corso.

Di questi, 421 sono stati classificati come intatti e 538 come relitti, mentre, nel catasto del 1997 (nel quale i rock glacier erano stati classificati, a seconda del grado di attività, in attivi, inattivi o di attività incerta) erano stati individuati 87 rock glacier attivi, 111 inattivi e 57 di attività incerta.

Sulla base dei confini dei bacini idrografici valdostani, i rock glacier si distribuiscono sul territorio regionale come segue (tra parentesi il numero di rock glacier per bacino nel catasto del 1997): 32 nell'alto bacino Dora Baltea (4), 28 nel bacino della bassa valle (4), 122 nel bacino dell'alta valle (7), 41 nel bacino della media valle (9), 61 nel bacino Dora di Rhêmes (4), 37 nel bacino Dora di Valgrisenche (17), 31 nel bacino Dora di Verney (2), 149 nel bacino Torrente Buthier (48), 56 nel bacino Torrente Evançon (32), 70 nel bacino del Torrente Lys (31), 77 nel bacino del Torrente Marmore (43), 32 nel bacino del Torrente Saint Barthélemy (16), 18 nel bacino del Torrente Ayasse (9), 28 nel bacino del Torrente Clavalité (7), 113 nel bacino del Torrente Grand Eyvia (20), 64 nel bacino del Torrente Savara (4) (Figura 3).

Con i dati acquisiti verranno condotte elaborazioni di tipo geostatistico per analizzare quali siano le caratteristiche principali dei rock glacier in Valle d'Aosta e valutare in che modo questi depositi si distribuiscano in relazione alla topografia del territorio regionale.

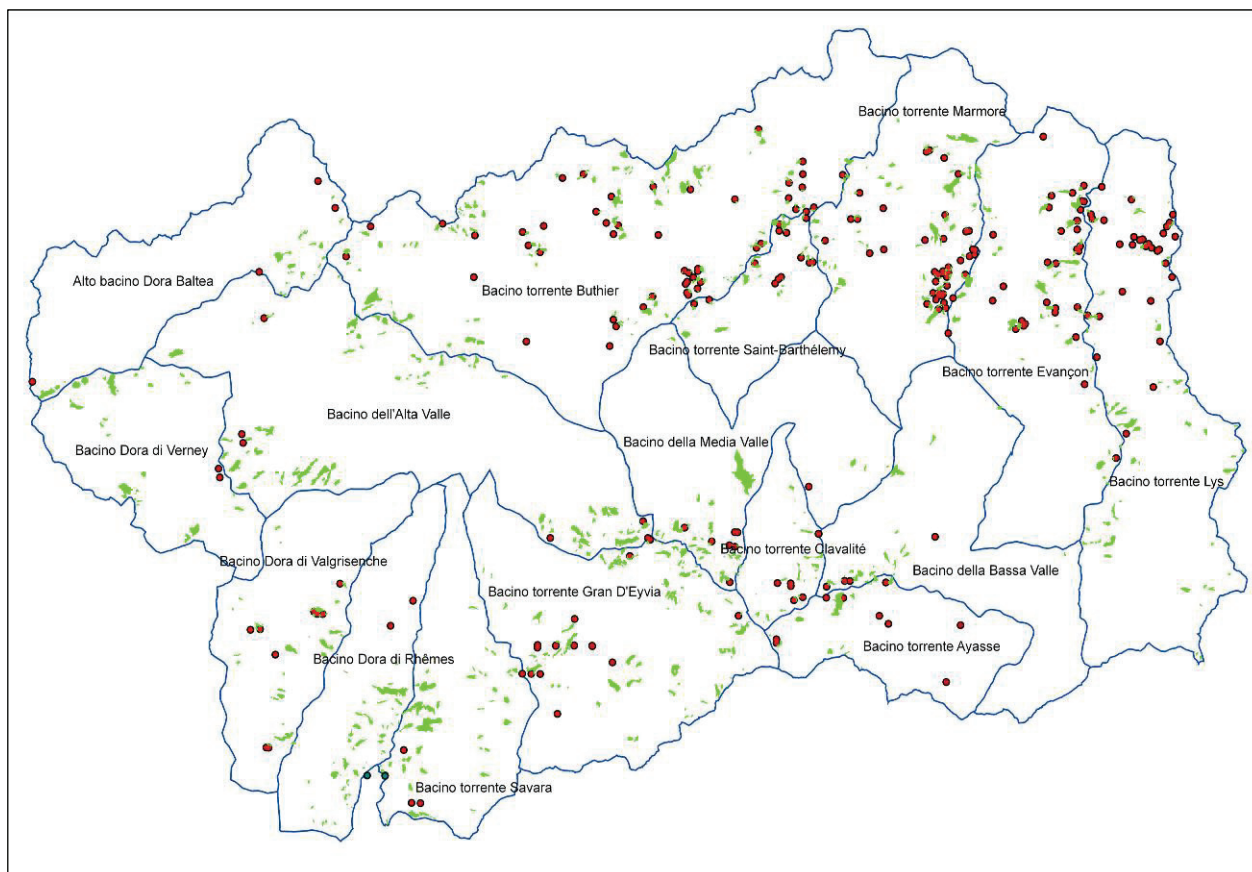


Figura 3 - Distribuzione dei rock glacier sul territorio valdostano (in verde i poligoni del nuovo catasto, in rosso i rock glacier del catasto del 1997).

## CONCLUSIONE

Il nuovo Catasto dei rock glacier della Valle d'Aosta, realizzato impiegando basi cartografiche recenti e nuove tipologie di dati, costituisce un imprescindibile punto di partenza per studi e analisi rivolti all'ambiente periglaciale. L'attuale distribuzione dei rock glacier in Valle d'Aosta mostra come alcuni di questi possano essere considerati non più in equilibrio con le condizioni climatiche attuali e, quindi, potenzialmente sottoposti a intense modificazioni del proprio stato e proprie caratteristiche. La destabilizzazione degli apparati e/o le variazioni della loro dinamica, fenomeni indotti dai cambiamenti climatici e riconosciuti in diversi settori dell'arco alpino, evidenziano come queste forme siano da un lato potenziale elemento di dissesto e, dall'altro, importanti indicatori dell'effetto del *global change* sul territorio.

## BIBLIOGRAFIA

Seppi, R., Carton, A., Baroni, C., (2005). *Proposta di una nuova scheda per il censimento dei rock glaciers da fotografie aeree: applicazione sull'Alta Val d'Ultimo (Gruppo Ortles-Cevedale)*; Geogr. Fis. Dinam. Quat. Suppl.VII.  
 Guglielmin, M., Smiraglia, C., (eds.), (1997). *Rock glacier inventory of the italian alps*. Archivio del Comitato Glaciologico Italiano, GNGFG, 3.



# IL RUOLO DELLE VARIAZIONI CLIMATICHE SULL'EVOLUZIONE DEL PAESAGGIO. UN APPROCCIO NUMERICO

GIACHETTA EMANUELE<sup>1</sup>, CAPOLONGO DOMENICO<sup>1</sup>, REFICE ALBERTO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università degli studi di Bari, Bari, Italia, egiachetta@geo.uniba.it

<sup>2</sup>CNR-ISSIA, Bari, Italia

## RIASSUNTO

In questo lavoro viene presentato il modello SIGNUM acronimo per “Simple Integrated Geomorphological NUMerical Model”. Trattasi di un modello numerico di evoluzione del paesaggio basato su TIN e sviluppato in Matlab. SIGNUM è in grado di simulare l'evoluzione di paesaggi a scala di bacino o catena per intervalli temporali che vanno dalle decine al milione di anni.

**Parole chiave:** Matlab, modello numerico di evoluzione del paesaggio, TIN

## INTRODUZIONE

Il ruolo che il clima ha sullo sviluppo del paesaggio fisico è cruciale per la definizione degli impatti causati dalle future variazioni climatiche sul paesaggio stesso e per la comprensione dei record geologici formati in contesti climatici differenti. Recentemente i rapporti tra clima, sollevamento ed erosione sono stati studiati attraverso l'utilizzo di modelli numerici di evoluzione del paesaggio (landscape evolution models) (Tucker & Slingerland 1997). Tali modelli sono stati applicati allo studio di sistemi geomorfologici complessi, principalmente con due finalità. Una è quella di testare ipotesi quantitative sui processi in atto in tali sistemi, generando previsioni verificabili e fornendo quindi un collegamento tra processi misurabili sul campo per brevi intervalli spazio-temporali e le loro implicazioni geomorfologiche a lungo termine. La seconda è quella, più pragmatica, di fornire uno strumento di supporto alle decisioni nel campo geoambientale e dei rischi geomorfologici. Fornendo un potenziale collegamento tra processi misurabili sul campo e dinamica a lungo termine, i modelli hanno permesso di formulare nuove ipotesi e spinto a nuovi studi quantitativi sul campo e a nuove analisi basate su modelli digitali del terreno (DEM, *Digital Elevation Models*).

La relativa semplicità di elaborazione delle griglie regolari (*raster*) e l'aumento della disponibilità di DEM basati su questo tipo di griglie hanno reso preferibile il loro utilizzo in molti modelli idrologici e geomorfologici. Tuttavia le metodologie di discretizzazione della superficie topografica basate sulle griglie regolari presentano alcune limitazioni: (1) gli elementi del rilievo devono essere rappresentati con una risoluzione spaziale costante, che in pratica significa la più alta risoluzione relativa all'elemento o al processo di interesse; (2) le direzioni di drenaggio sono ristrette ad intervalli di 45°; (3) in alcune circostanze l'uso di griglie regolari può produrre una anisotropia che porta ad un errore nella simulazione dei percorsi di drenaggio (Braun & Sambridge 1997); (4) l'uso di griglie regolari rende difficile o addirittura impossibile simulare alcuni processi geomorfologici in cui la componente orizzontale è significativa, come ad esempio l'evoluzione dei meandri fluviali o gli spostamenti lungo un piano di faglia.

Questi ed altri svantaggi hanno motivato lo sviluppo di modelli di evoluzione del paesaggio basati sulle TIN (*Triangulated Irregular Networks*). Tali strutture, che consentono di ottenere una risoluzione spaziale variabile, si prestano naturalmente alle procedure di interpolazione (Sambridge et al. 1995), e presentano una reale possibilità di discretizzare in maniera dinamica la superficie a seconda della risoluzione desiderata (Braun & Sambridge 1997, Lancaster 1998). Nonostante questi vantaggi, le TIN non sono così diffuse come si potrebbe pensare tra i modelli di evoluzione del paesaggio, soprattutto a

non sono così diffuse come si potrebbe pensare tra i modelli di evoluzione del paesaggio, soprattutto a causa della maggiore complessità connessa alla gestione delle strutture dati e allo sviluppo di algoritmi di calcolo per una rete TIN rispetto al caso di griglie regolari.

## IL MODELLO NUMERICO

In questo lavoro viene descritto un nuovo modello di evoluzione del paesaggio sviluppato dagli autori. Denominato SIGNUM (acronimo da *Simple Integrated Geomorphological NUmerical Model*), esso è basato su una struttura di tipo TIN, ottenuta usando il criterio di triangolazione di Delaunay (Delaunay 1934) ed il diagramma di Voronoi (Voronoi 1908). Tale modello si propone come uno strumento adatto a simulare in maniera efficiente gli effetti dovuti al trasporto e alla deposizione di sedimento a varie scale spaziali e temporali, nel contesto dell'evoluzione e del modellamento del paesaggio. Il tipo di strutture dati e gli algoritmi sviluppati per il modello SIGNUM traggono vantaggio dalle potenzialità del linguaggio di programmazione ad alto livello in ambiente Matlab.

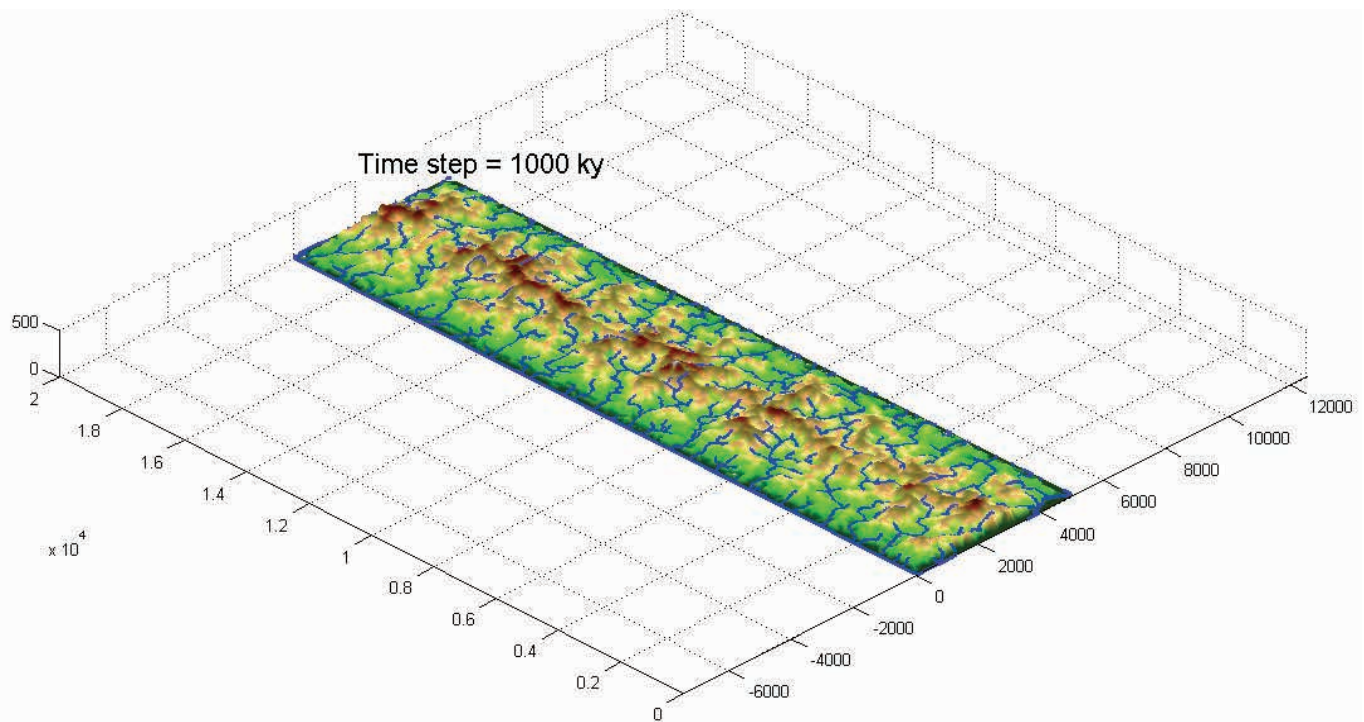


Figura 1 - Esempio di TIN evoluta in SIGNUM, con formazione di una catena montuosa in steady-state sotto un regime di precipitazioni costante.

SIGNUM è un modello multi-processo in quanto, oltre a fornire una struttura numerica per l'espressione topografica di un paesaggio, simula alcuni tra i processi geomorfologici principali che trasformano il paesaggio stesso. In particolare, nella versione attuale, esso è in grado di simulare processi di versante come l'erosione diffusa (diffusione lineare e diffusione non lineare), l'incisione del substrato roccioso da parte dei corsi d'acqua (*detachment limited bedrock channel incision*), il sollevamento tettonico regionale (e/o abbassamento del livello di base), la comparsa di strutture tettoniche nel paesaggio come faglie e pieghe e le variazioni climatiche sotto forma di variazione delle precipitazioni e del "runoff" (figura 1 e 2).

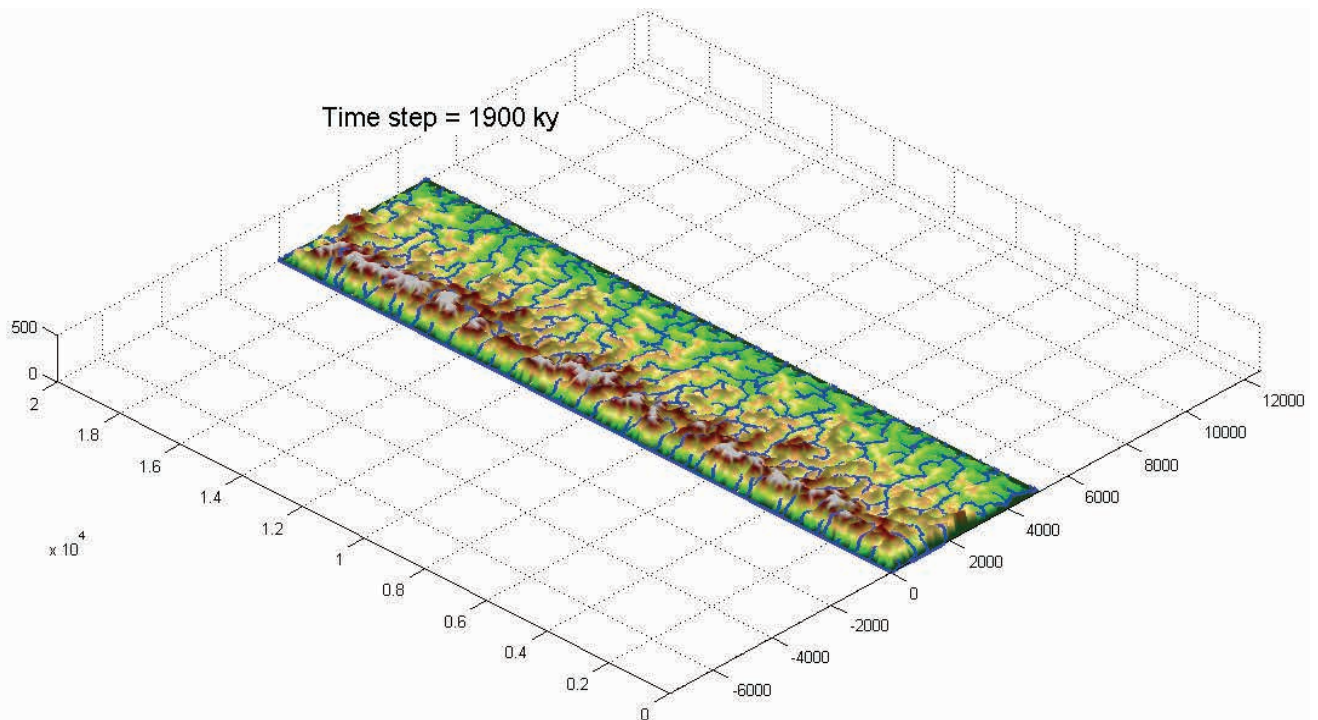


Figura 2 - Evoluzione della catena montuosa in figura 1 sotto un mutato regime di precipitazioni di tipo orografico, con conseguente migrazione del main divide verso il lato più secco.

SIGNUM è un modello numerico in quanto riproduce tutti i processi mediante espressioni matematiche, applicandole ad una rappresentazione numerica del paesaggio, sia esso reale o virtuale, visualizzando graficamente il risultato del modellamento dello stesso.

Inoltre SIGNUM è applicabile su scale temporali definite dall'utente: risolvendo le equazioni che sono alla base di ogni singolo processo simulato ad ogni iterazione, è in grado di rappresentare il paesaggio ottenuto dopo intervalli di tempo arbitrari, dalle centinaia fino alle centinaia di migliaia di anni. SIGNUM si propone di diventare in un prossimo futuro uno strumento *open source* da utilizzare, oltre che per scopi di ricerca, anche come supporto alla didattica grazie alla sua versatilità, modularità e alla relativa semplicità d'uso, disponibile per la prima volta in modelli del genere grazie alla applicazione del linguaggio Matlab.

## CONCLUSIONI

Eseguendo diversi esperimenti numerici con SIGNUM e variando i vari parametri relativi alle precipitazioni e al tasso di sollevamento della catena mostrata in figura 1 e 2, abbiamo ottenuto risultati molto interessanti per quanto riguarda la riorganizzazione del reticolo idrografico e delle forme del paesaggio nel tempo. In particolare abbiamo analizzato le modalità e i tempi con cui le forme si riadattano in risposta alle mutate condizioni climatiche e tettoniche, cercando di mantenere costanti alcuni parametri misurabili del paesaggio, come la spaziatura delle valli sul fronte della catena stessa e il pattern dei bacini idrografici.

## BIBLIOGRAFIA

- Braun, J., Sambridge, M., (1997). *Modeling landscape evolution on geologic timescales: A new method based on irregular spatial discretization*. Basin Research, 9, 27–52.
- Delaunay, B., (1934). *Sur la sphère vide*. Izvestia Akademii Nauk SSSR, Otdelenie Matematicheskikh i Estestvennykh Nauk, 7, 793–800.
- Lancaster, S.T., (1998). *A nonlinear river meander model and its incorporation in a landscape evolution model*. Ph.D. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 177pp.

- Sambridge M., Braun J., McQueen H., (1995). *Geophysical parameterization and interpolation of irregular data using natural neighbours*. *Geophysical Journal International*, 122, 837 - 857.
- Tucker, G.E., Slingerland, R., (1997). *Drainage basin responses to climate change*. *Water Resources Research*, 33, (8), 2031-2047.
- Voronoi, M., (1908). *Nouvelles applications des parametres continus à la thèorie des forms quadratiques*. *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, 134, 198–287

# VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA COLATE DETRITICHE NELL'AMBITO DELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE ALLA LUCE DEI DATI PREVISIONALI DEI MODELLI CLIMATICI

MURGESE DAVIDE<sup>1</sup>, FONTAN DARIO<sup>1</sup>, DEMATTEIS NICCOLÒ<sup>1</sup>, FILIPPI MARIA LETIZIA<sup>1</sup>,  
DEMATTEIS ANTONIO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SEA Consulting Srl, Torino, Italia, [murgese@seaconsult.eu](mailto:murgese@seaconsult.eu)

## RIASSUNTO

Il presente contributo vuole evidenziare la necessità di un confronto dei risultati di valutazione del rischio da colate detritiche basato su dati di precipitazione da serie storiche con i risultati ottenuti applicando gli scenari relativi ai modelli di previsione climatica riferiti al XXI secolo.

**Parole chiave:** cambiamenti climatici, colate detritiche, rischio naturale

## INTRODUZIONE

Nel campo della gestione dei rischi naturali in ambiente montano un elemento di pericolosità di particolare interesse per le sue potenzialità distruttive è rappresentato dalle colate detritiche. La valutazione della probabilità di occorrenza, della magnitudo e della dinamica evolutiva di questo tipo di fenomeni riveste una notevole importanza nella definizione delle azioni di prevenzione/mitigazione del rischio naturale e della pianificazione territoriale. L'elemento scatenante di questi fenomeni è nella maggioranza dei casi rappresentato da precipitazioni intense: queste determinano l'attivazione di frane lungo i versanti del bacino o possono creare le condizioni per la destabilizzazione del materiale detritico in alveo. In ogni caso, il materiale mobilizzato, concentrandosi negli alvei dei torrenti in piena, può dare luogo alla formazione di colate detritiche.

Nella gestione del rischio naturale, ed in particolare di tutti quei fenomeni associati all'occorrenza di precipitazioni, la conoscenza degli scenari climatici futuri appare decisiva. L'approfondimento delle conoscenze concernenti lo sviluppo di modelli di previsione climatica a scala regionale e locale rappresenta un elemento cruciale per la verifica dell'efficacia delle misure di mitigazione definite con metodi standard rispetto alle modificazioni climatiche previste per i prossimi decenni. La possibilità di contestualizzare i risultati degli studi in ambito di rischio naturale rispetto agli studi in tema di cambiamento climatico ha rilevanti ripercussioni sull'economia del processo di gestione del territorio, con ricadute dirette sull'efficacia degli strumenti di pianificazione e, quindi, sui bilanci degli enti locali. Con il presente contributo vengono brevemente illustrati i risultati relativi a due studi di caratterizzazione delle pericolosità da colate detritiche per contesti urbanizzati in ambiente alpino. Per i due casi selezionati sarà fornita l'indicazione dell'applicazione del dato di precipitazione nella fase di valutazione della pericolosità. Successivamente vengono brevemente presentati gli scenari di cambiamento del clima a scala globale e locale definiti dai modelli di previsione climatica, per porre in evidenza la necessità di verifica dell'adeguatezza dei dati previsionali ricavati da serie storiche riferite a contesti climatici del passato.

## I MODELLI DI PREVISIONE CLIMATICA E RISULTATI ACQUISITI

Negli ultimi 40 anni sono stati condotti un numero sempre maggiore di studi per lo sviluppo di modelli climatici allo scopo di ottenere previsioni a medio-lungo termine a scala globale e a scala regionale. Nonostante l'abilità previsionale dei *modelli globali* (GCM), il formato dei dati prodotti (grigliato di 100-300km) è di scarso utilizzo pratico per molti settori (prevenzione dei rischi naturali, agricoltura, energia)

che necessitano di informazioni su scala regionale. Esistono diverse metodologie per lo sviluppo dei *modelli regionali* (RCM), con i quali è possibile raggiungere dimensioni di maglia fino a 10km. Alcune tecniche di regressione statistica consentono una risoluzione ancora maggiore per l'analisi di aree a orografia complessa come le Alpi: questo approccio è noto come *down-scaling statistico* (Pal et al. 2005). Il grande vantaggio degli RCM è rappresentato da una elevata rispondenza del dato previsionale con i dati da osservazione diretta (figura 1A) e la maggiore abilità, rispetto a un GCM, nel prevedere eventi estremi (figura 1B).

Per l'area alpina, le previsioni fornite da diversi modelli climatici indicano un aumento della temperatura media annuale di 2-4° nel periodo 1990-2100, con un aumento maggiormente pronunciato in estate. Per la stessa area, i modelli climatici regionali indicano inoltre una riduzione nella precipitazione annuale media conseguente ad un allungamento dei periodi di precipitazione nulla (compresa tra il 20% ed il 50%, rispetto al periodo 1961-1990) (Faggian & Giorgi 2009), accompagnata dall'intensificarsi di eventi alluvionali per l'area dell'Italia settentrionale (Allamano et al. 2010; Ferrara 2002).

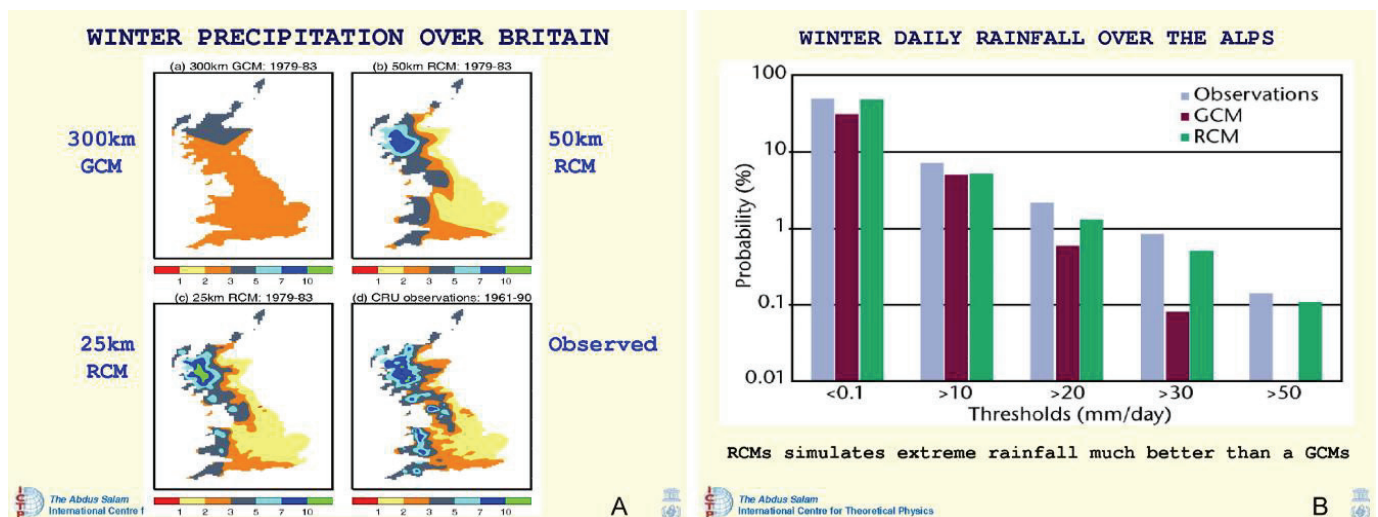


Figura 1 – A: variazione del dettaglio del modello previsionale in funzione della dimensione del grigliato di elaborazione; B: confronto tra la capacità di prevedere eventi estremi da parte dei GCM e degli RCM (da Pal et al. 2005)

## LA MODELLIZZAZIONE DELLE COLATE DETRITICHE NELLA GESTIONE DEI RISCHI NATURALI E NELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

In questa sezione sono proposti in estrema sintesi i risultati di due studi sulle colate detritiche condotti nel corso della valutazione della pericolosità geomorfologica a scala locale per due comuni della bassa Valle Susa (Piemonte, Provincia di Torino): il Comune di Bruzolo ed il Comune di Venaus.

Nel primo caso è stato condotto uno studio per la valutazione del rischio residuo relativo ad una porzione dell'edificato del Comune di Bruzolo con riguardo all'occorrenza di colate detritiche lungo il corso del Rio Pissaglio.

La verifica è stata condotta mediante tre differenti simulazioni della propagazione a valle di una ipotetica colata detritica: (1) studio idraulico mediante simulazione con applicativo HEC RAS (figura 2A); (2) modellizzazione bidimensionale mediante applicazione delle equazioni di Voellmy (1955) e Takahashi (1991); (3) modellizzazione della propagazione a valle della colata detritica mediante l'applicativo RASH3D (Pirulli 2005). Tutti e tre gli approcci si basano direttamente o indirettamente sul livello di precipitazione che determina l'innesco della colata detritica. In particolare, il primo approccio è basato sulla conversione degli afflussi in deflussi e quindi sulla modellizzazione del pelo libero della corrente per la sezione considerata. Per le altre due metodologie, l'identificazione delle aree di innesco delle frane all'origine delle colate detritiche è definito, in ambiente GIS, mediante il programma SHALSTAB (Montgomery & Dietrich 1994). La soglia di innesco delle frane è valutata in base al livello di precipitazione dello scenario di evento caratterizzato da tempo di ritorno  $T_r$  200 anni. Nei modelli il

livello di precipitazione atteso è stato determinato in base alle celle pluviometriche di cui alla direttiva 2 dell'autorità di Bacino del Fiume Po - P.A.I. "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica".

Per il Comune di Venaus sono state simulate le colate detritiche per i rii Croce e Supita (figura 2B) che attraversano il concentrico e la cui attività ha dirette ripercussioni sull'abitato e sulle infrastrutture presenti nei rispettivi bacini idrografici. La simulazione delle colate detritiche ha preso in considerazione le potenziali aree di innesco ricavate da analisi di terreno, analisi storica ed analisi in ambiente GIS condotte con il programma SHALSTAB. La modellazione della propagazione delle colate detritiche è stata eseguita con il programma RASH3D. Anche per queste simulazioni è stata considerato un evento scatenante avente tempo di ritorno  $Tr$  200 anni, calcolato secondo il metodo descritto per i caso precedente.

Le analisi presentate permettono la definizione di scenari di rischio che hanno ripercussioni sulla sicurezza e sulle possibilità di sviluppo delle comunità locali, con ricadute di tipo sociale ed economico sul medio e lungo termine. I risultati delle simulazioni, unitamente ad altri studi specialistici, contribuiscono a definire le linee di intervento per le amministrazioni locali con ripercussioni sui bilanci degli enti pubblici preposti all'amministrazione del territorio. In considerazione degli scenari di previsione climatica, che per i bacini alpini segnalano un incremento della frequenza degli eventi estremi ed una variazione della magnitudo degli eventi di riferimento (es. precipitazioni per  $Tr$  200 anni) (Allamano et al. 2010), risulta necessario integrare i dati di precipitazione definiti di modelli previsionali nella simulazione degli effetti da colate detritiche al fine di fornire, parallelamente ai risultati ottenuti con approcci tradizionali, elementi di riferimento relativi a quanto previsto per il XXI secolo.

## CONCLUSIONI

La valutazione del rischio naturale derivante dall'occorrenza di colate detritiche risulta strettamente connesso al calcolo statistico della magnitudo dell'evento innescante: l'altezza di precipitazione attesa.

Gli strumenti di modellizzazione attuali permettono la valutazione delle potenziali aree di innesco delle frane alla base della generazione delle colate detritiche, così come la modellizzazione della colata nella sua propagazione verso valle. I dati ricavati forniscono una puntuale caratterizzazione del rischio naturale, che riveste un ruolo chiave nel processo di pianificazione territoriale in ambiente montano.

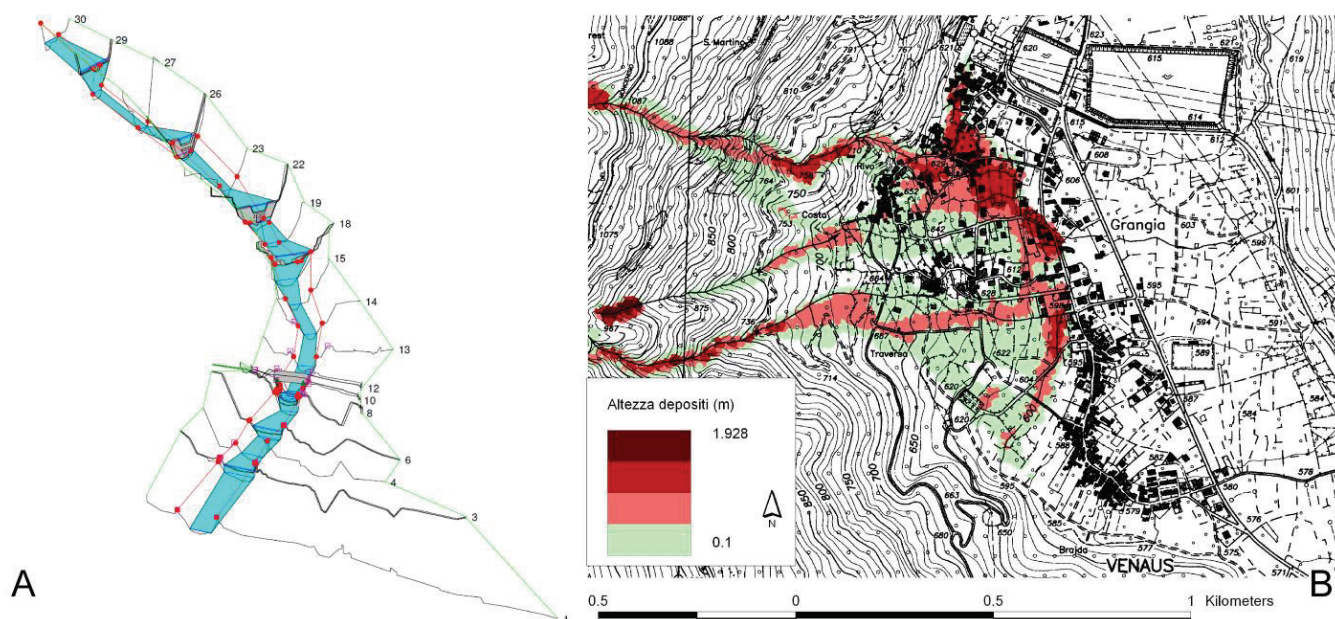


Figura 2 – A: risultato dello studio idraulico condotto per il Rio Pissaglio (Comune di Bruzolo); B: risultati della simulazione della propagazione delle colate detritiche lungo i rii Supita e Croce nel Comune di Venaus.

I modelli di previsione climatica propongono per il XXI secolo contesti climatici significativamente differenti da quelli che hanno caratterizzato gli ultimi 50 anni, con precipitazioni medie annue inferiori del 20-30% ed eventi estremi più frequenti. Alla luce di queste informazioni risulta di estrema importanza la verifica della coerenza tra gli scenari di riferimento assunti per le analisi di rischio attuali, con i risultati proposti dagli strumenti di modellizzazione climatica. La scala di modellizzazione e la previsione delle variazioni di temperatura e di precipitazione, rispetto al presente, permette di raggiungere livelli di dettaglio a scala regionale. Le tecniche di down-scaling offrono l'opportunità di estrapolare dai modelli globali informazioni applicabili alla scala di bacino. I dati previsionali in tema di cambiamento climatico evidenziano quindi la necessità, nella gestione del rischio naturale, dell'avvio di un processo di confronto e verifica dei risultati ottenuti con le metodologie standard rispetto ai risultati ottenuti con l'applicazione dei dati previsionali dei modelli climatici.

## BIBLIOGRAFIA

- Allamano, P., Bartolini, E., Claps, P., Laio, F., (2010). *Effetti di variazioni climatiche sul rischio di piena nei bacini alpini*. XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo 14-17 settembre 2010.
- Faggian, P., Giorgi, F. (2009). *An analysis of global model projections over Italy, with particular attention to the Italian Greater Alpine Region (GAR)*. Climatic Change, 96, 239–258.
- Ferrara, V. (2002). *Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia*. Sintesi del contributo ENEA alla Terza Comunicazione Nazionale dell'Italia alla UN-FCCC.
- IPCC, (2007a). *Working Group I Report, The Physical Science Basis*, [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg1\\_report\\_the\\_physical\\_science\\_basis.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm).
- IPCC, (2007b). *Working Group II Report, Impacts, Adaptation and Vulnerability*. [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_wg2\\_report\\_impacts\\_adaptation\\_and\\_vulnerability.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg2_report_impacts_adaptation_and_vulnerability.htm)
- Montgomery, D.R., Dietrich, W.E., (1994). *A physically based model for the topographic control on shallow landsliding*. Water Resources Research, 30: 1153-1171.
- Pal, J. S., Giorgi, F., Bi, X., Elguindi, N., Solmon, F., Gao, X., (2005). *Regional Climate Modeling and the ICTP Regional Climate Model (RegCM3)*, paper presented at The Agridema Courses, Vienna.
- Pirulli, M., (2005). *Numerical modelling of landslide runout, a continuum mechanics approach*, Tesi di Dottorato in Ingegneria Geotecnica, Politecnico di Torino, Italia.
- Takahashi, T., (1991). *Debris flow*. Balkema, Rotterdam, 165 pp.
- Voellmy, A., (1955). *Über die Zerstörungskraft von Lawinen*. Schweiz. Bauzeitung, 73: 159-165, 212-217, 246-249, 280-285.



## EVENTI IDROGEOLOGICI DANNOSI IN CALABRIA NEL PERIODO 1981-1990

PETRUCCI OLGA<sup>1</sup>, POLEMIO MAURIZIO<sup>2</sup>, PASQUA ANGELA AURORA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNR IRPI, Rende (CS), Italia, o.petrucchi@irpi.cnr.it

<sup>2</sup> CNR IRPI, Bari, Italia

### RIASSUNTO

Si propone una metodologia per lo studio di Eventi Idrogeologici Dannosi (EID) basata sul confronto fra i dati storici sui dissesti innescati da precipitazioni meteoriche e le piogge giornaliere. Un'applicazione della metodologia alla regione Calabria (Italia meridionale) utilizzando un periodo di studio di 10 anni evidenzia che il settore orientale della regione è il più frequentemente affetto da EID regionali, innescati da piogge con periodi di ritorno inferiori a 10 anni. Il settore NW presenta la maggiore vulnerabilità, essendo colpito da danni consistenti a seguito di piogge che solo in poche stazioni mostrano eccezionalità. Strade ed edilizia privata sono gli elementi più danneggiati.

**Parole chiave:** Calabria, frana, piena, pioggia

### INTRODUZIONE

Si definiscono Eventi Idrogeologici Dannosi (EID) periodi di piogge intense o prolungate, anche accompagnate da forti venti, che innescano fenomeni di dissesto quali frane, piene, allagamenti e mareggiate responsabili di danni a beni e persone (Petrucci e Polemio 2003; Petrucci et al. 2008). La caratterizzazione degli EID tipici di una regione fornisce elementi utili per la previsione e prevenzione degli eventi futuri.

Il contributo fa parte di una attività di ricerca finalizzata a caratterizzare il ruolo delle modificazioni climatiche nel modificazioni tendenziali dell'occorrenza degli EID, particolarmente di frane e piene (Polemio e Petrucci 2010 e in corso di stampa), a partire dalla seconda metà del 1800 ad oggi. I primi risultati mostrano per la Calabria una tendenza all'aumento dell'occorrenza di EID nonostante il trend climatico non giustifichi tali incrementi, evidenziando il crescente utilizzo di aree a rilevante pericolosità idrogeologica. In tale contesto, si seleziona un decennio recente, di rilevante significatività per il verificarsi di numerosi eventi particolarmente catastrofici. Per tale decennio si propone una metodologia per la caratterizzazione degli EID basata sull'analisi storica comparata delle piogge registrate in corso di evento e dei fenomeni responsabili dei danni.

### METODOLOGIA

La metodologia proposta per la caratterizzazione degli EID è schematizzabile come segue:

- 1) Selezione di una regione di studio e di un periodo di indagine sufficientemente esteso ( $\geq 10$  anni).
- 2) Indagine storica e raccolta dei dati relativi sia ai fenomeni di dissesto idrogeologico innescati nella regione durante il periodo selezionato che ai danni da essi indotti.
- 3) Definizione dei limiti spaziali e temporali degli EID occorsi nel periodo di indagine.
- 4) Valutazione, per ogni EID, dell'*Indice di Area danneggiata* (IAD %), pari a  $\sum A/S$ , in cui  $\sum A$  è l'area totale dei comuni colpiti e  $S$  è l'area totale della regione. Sulla base del valore di quest'indice, e dunque dell'estensione dell'area coinvolta, gli eventi sono classificati in tre tipi: a) *Eventi locali*:  $IAD < 2.5\%$ ; b) *Eventi ampi*:  $2.5 < IAD < 10\%$ ; c) *Eventi regionali*:  $IAD > 10\%$ .
- 5) Valutazione sintetica del danno a scala comunale, utilizzando l'*Indice di Danno Locale* (IDL) che è pari a  $\sum D$ , con  $D = E \times V$ . In questa espressione,  $E$  è il valore di ogni elemento danneggiato, misurato in una scala arbitraria da 1 a 10 e  $V$  è la percentuale di danno subita dall'elemento (Alta:  $V=1.00$ ; Media:  $V=0.50$ ; Bassa:  $V=0.25$ ) (Petrucci et al. 2005). Inoltre, dividendo l'IDL per l'area del comune in cui i danni sono stati registrati si ottiene un valore definibile come *Densità di Danno* (DD),

- suddivisibile in 4 classi di gravità crescente: Classe 1:  $DD \leq 1$ ; Classe 2:  $1 < DD \leq 2$ ; Classe 3:  $2 < DD \leq 3$ ; Classe 4:  $DD > 3$ .
- 6) Valutazione sintetica del danno a scala regionale mediante l'*Indice di Danno Regionale (IDR)*, ossia la sommatoria di tutti i valori di IDL ottenuti per i comuni interessati dall'evento.
  - 7) Raccolta dei dati di pioggia giornaliera per tutte le stazioni pluviometriche funzionanti al momento dell'evento e valutazione dei *Tempi di ritorno (T)* delle massime piogge giornaliere registrate in corso di evento. I valori ottenuti sono suddivisi in 4 classi di tempo di ritorno: Classe 1:  $T \leq 2$  anni; Classe 2:  $2 < T \leq 10$  anni; Classe 3:  $10 < T \leq 20$  anni; Classe 4:  $T > 20$  anni.
  - 8) Schematizzazione degli EID selezionati ed individuazione delle modalità tipiche con cui, nella regione in esame, si presentano gli scenari di eventi di dissesto a scala regionale innescati dalle piogge.

## APPLICAZIONE METODOLOGICA IN CALABRIA

Per il periodo 1981-1990, i dati sull'occorrenza di fenomeni di dissesto sono stati ottenuti mediante consultazione di circa 3600 edizioni del principale quotidiano regionale, *La Gazzetta del Sud*. Sono stati individuati 747 fenomeni (frane: 43%, piene: 7%, allagamenti: 31%, mareggiate: 19%) (Fig. 1A).

Nel periodo indagato sono stati individuati 94 EID; in base all'estensione dell'areale coinvolto essi sono stati classificati, in: *locali* (70 casi), *ampi* (19 casi) e *regionali* (5 casi) (Fig. 1B). Gli anni 1984 e 1986 mostrano il più elevato numero di eventi locali di tutto il decennio (14 e 13 casi). Nel periodo indagato, si registra al massimo un evento di rilevanza regionale all'anno (Fig. 1C), e soltanto in 5 anni sui 10 costituenti il periodo di indagine, in prevalenza a dicembre (2 casi) e gennaio (2 casi) (Fig. 1D). Nel seguito si analizzano i 5 eventi regionali verificatisi nel periodo di indagine, i cui dati principali sono riassunti in figura 1E.

- **Evento 1.** Nel decennio analizzato, è l'unico evento che colpisce il settore NW della regione. L'85% delle stazioni pluviometriche regionali registra piogge giornaliere con  $T < 2$  anni. La bassa percentuale di pluviometri con  $T$  nelle classi 3 e 4 è localizzata proprio nel settore regionale colpito dai dissesti, rappresentati in prevalenza da allagamenti e frane. Il 57% dei comuni coinvolti è affetto da danni di entità lieve, ma fra tutti gli eventi analizzati, questo è quello che presenta la massima percentuale (19%) di comuni in cui il danno è massimo ( $DD=4$ ). Il valore elevato dell'Indice di Danno Regionale è causato da danni principalmente alle reti di servizi e secondariamente all'edilizia privata e alla rete viaria.
- **Evento 2.** Coinvolge principalmente il settore Est. Il valore di  $T$  si attesta nelle due classi di minore eccezionalità per tutti i pluviometri. Frane e mareggiate prevalgono sugli altri tipi di fenomeni, e le mareggiate presentano il valore massimo rispetto agli altri eventi analizzati. Il 63% dei comuni è affetto da danni di livello lieve e le restanti percentuali sono distribuite fra le classi 2, 3 (15% in entrambi i casi) e 4 (7%). L'IDR raggiunge il massimo osservato nel decennio (255); i danni sono principalmente a carico di strade, edilizia privata e attività produttive.
- **Evento 3.** I comuni interessati da dissesti sono dislocati su tutti i settori regionali. Il 92% dei pluviometri registra  $T < 2$  anni, il 6% fra 2 e 10 anni e il 2% fra 10 e 20 anni. I valori più elevati si registrano lungo la costa occidentale. Questo evento è caratterizzato dalla durata più breve (2 giorni), e dal minore valore di IDR (96), in accordo con le basse eccezionalità delle piogge. Per il 70% dei comuni coinvolti,  $DD$  ricade nella classe 1. I danni riguardano in prevalenza l'edilizia privata.
- **Evento 4.** Il settore colpito è prevalentemente quello SE. Quest'evento presenta i più elevati livelli di eccezionalità delle piogge giornaliere: il 67% dei pluviometri registra  $T < 2$  anni, ma il 7% mostra  $T > 20$  anni. I valori più elevati ( $>100$  anni) si registrano nel settore centrale della regione. I fenomeni più rappresentati sono le frane. I danni non sono però elevati, in prevalenza distribuiti nelle prime due classi (68% in classe 1 e 21% in classe 2), e l'IDR supera soltanto quello valutato per l'evento 3. Gli elementi più danneggiati sono le strade e l'edilizia privata.
- **Evento 5.** Quest'evento colpisce sia il settore orientale che quello occidentale della regione. I valori di  $T$  sono in prevalenza distribuiti fra le due classi minori (64% e 27%, rispettivamente) e i valori più alti ( $>70$  anni) si registrano al centro della regione. I fenomeni più rappresentati sono frane e mareggiate. I danni sono in prevalenza classificati nelle due classi minori (63% e 25%) e l'IDR è il terzultimo fra

quello dei 5 eventi analizzati. Anche in questo caso gli elementi più danneggiati sono le strade e l'edilizia privata.

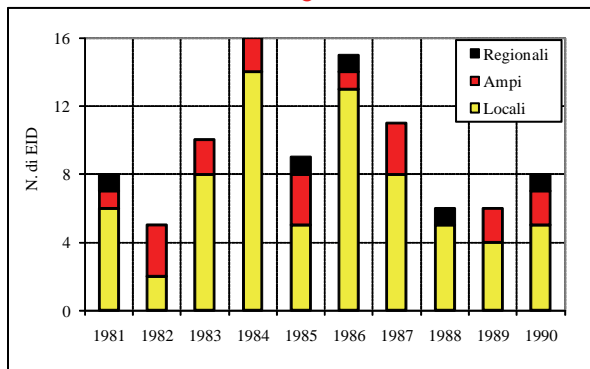
**A**

Province	Frane		Piene		Allagamenti		Mareggiate		Totale	
	N.	%	N.	%	N.	%	N.	%	N.	%
Catanzaro	38	5	7	1	29	4	9	1	83	11
Cosenza	138	18	22	3	113	15	75	10	348	47
Crotone	12	2	3	0	11	1	2	0	28	4
Reggio C.	108	14	18	2	66	9	48	6	240	32
Vibo V.	23	3	3	0	13	2	9	1	48	6
<b>Totale</b>	<b>319</b>	<b>43</b>	<b>53</b>	<b>7</b>	<b>232</b>	<b>31</b>	<b>143</b>	<b>19</b>	<b>747</b>	<b>100</b>

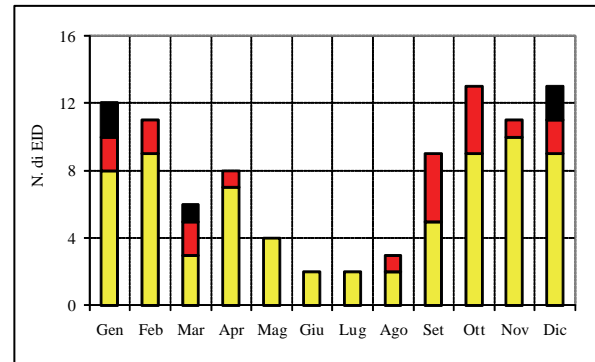
**B**

Tipo di EID	N.	N. comuni			Durata (giorni)		
		Min	Med	Max	Min	Med	Max
Locale	70	1	2.21	10	1	1.50	9
Ampio	19	3	13.89	35	1	3.74	17
Regionale	5	37	48.8	59	2	13.20	20

**C**



**D**



**E**

N.	Anno	Mese	Durata (gg)	Percentuale di pluviometri compresa nelle classi				Percentuale di comuni compresa nelle classi				Numero di comuni affetti da danni ai diversi tipi di elementi										IDR
				Classe 1 T≤2 anni	Classe 2 2<T≤10 anni	Classe 3 10<T≤20 anni	Classe 4 T>20 anni	Classe 1 DD≤1	Classe 2 1<DD≤2	Classe 3 2<DD≤3	Classe 4 DD>3	Strade	Ferrovie	Edilizia privata	Edilizia pubblica	Reti di servizi	Attività produttive	Strutture turistiche	Difese litoranee	Opere idrauliche		
1	1981	Gen	3	85	13	---	---	57	17	6	19	12	3	14	3	35	10	---	---	1	1	207
2	1985	Gen	18	88	12	---	---	63	15	15	7	39	4	18	8	15	7	8	3	3	255	
3	1986	Dic	2	92	6	2	---	70	16	5	8	10	---	27	3	6	---	---	2	---	96	
4	1988	Mar	10	67	21	5	7	68	21	8	4	36	3	12	3	4	5	---	---	2	2	185
5	1990	Dic	17	64	27	5	4	63	25	8	4	30	3	14	2	5	4	5	6	2	187	

**F**

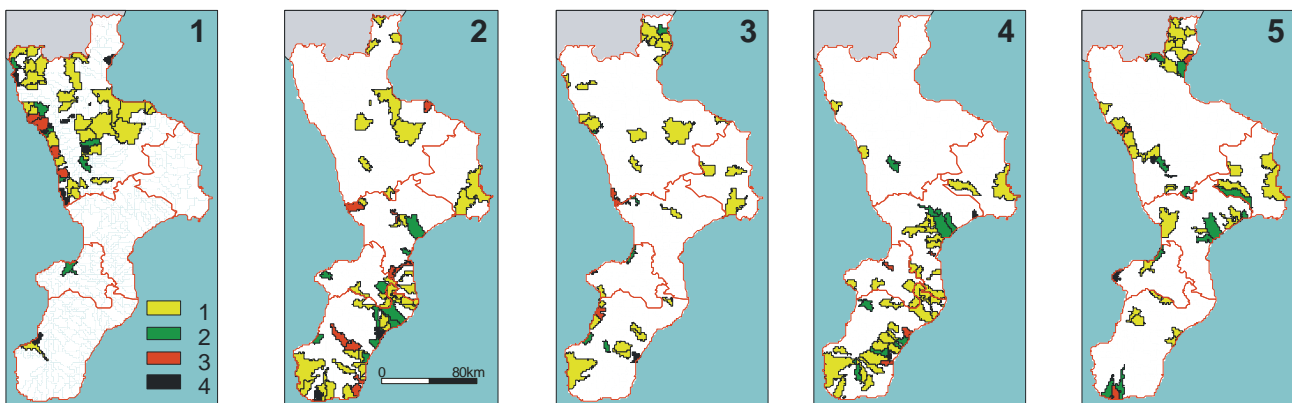


Figura 1 – A) quadro riassuntivo dei fenomeni di dissesto censiti in Calabria per il periodo 1981-1990, espressi come valori totali e come percentuali. B) Suddivisione degli EID censiti per il periodo di indagine in funzione dell'estensione areale colpita. C) Suddivisione degli EID locali, ampi e regionali per anno di occorrenza. D) Suddivisione degli EID locali, ampi e regionali per mese di occorrenza. E) Quadro riassuntivo delle caratteristiche degli EID regionali analizzati. F) Localizzazione dei comuni colpiti da dissesti durante gli EID regionali analizzati.

## CONCLUSIONI

L'indagine storica sugli EID verificatisi in Calabria nel periodo 1981-1990, ha evidenziato 5 eventi a scala regionale, rappresentati da periodi piovosi in grado di innescare frane, piene, allagamenti e mareggiate. I fenomeni più frequentemente innescati sono le frane (43% del totale), sia in eventi locali e ampi che negli eventi di rilevanza regionale.

Il settore nord-occidentale della regione, colpito soltanto dall'evento N. 1, è l'area meno frequentemente affetta da EID regionali ma sembra essere la più vulnerabile: qui, piogge di bassa eccezionalità innescano prevalentemente frane e allagamenti causando danni notevoli, in funzione della maggiore densità di insediamenti e infrastrutture presenti rispetto ad altri settori regionali. Tale evento mostra la più alta percentuale di comuni nella classe di danno 4. Reti di servizi ed edilizia privata sono gli elementi più danneggiati. I danni alle persone non sono stati considerati nella schematizzazione proposta ma occorre notare che, durante questo evento, 4 persone hanno perso la vita in un incidente ferroviario causato da una frana, e ciò ovviamente aumenta la gravità complessiva dell'evento.

Il settore orientale della regione, il più frequentemente affetto da EID anche al di fuori del periodo di studio, sembra mostrare due differenti comportamenti, rappresentati dagli eventi N. 2 e N. 4. Nel caso N. 2, la bassa eccezionalità delle piogge genera valori elevati del danno. Nel caso N. 4, al contrario, la relazione è più lineare: danni elevati vengono innescati da piogge di elevato tempo di ritorno. Ciò può essere spiegato considerando che, nel caso N. 2, parte dei danni sono stati causati da mareggiate, connesse all'andamento dei venti più che alle piogge. In quest'area si può desumere che valori di pioggia caratterizzati da  $T < 10$  anni sono in grado di innescare EID. In entrambi i casi, strade ed edilizia privata sono gli elementi più danneggiati.

La rete viaria è l'elemento più frequentemente ed intensamente danneggiato: la percentuale di comuni (riferita al totale dei comuni coinvolti nell'evento analizzato) varia dal 15% (Evento 1) al 55% (Evento 4). L'edilizia privata rappresenta l'altro elemento frequentemente vulnerato, poiché oscilla dal 18% al 56% del totale dei comuni danneggiati durante gli EID regionali: in molti dei casi registrati i danni sono stati tali da rendere necessaria l'evacuazione degli abitanti.

## BIBLIOGRAFIA

- Petrucci, O., Polemio, M., (2003) *The use of historical data for the characterisation of multiple damaging hydrogeological events* Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 3, 17-30.
- Petrucci, O., De Matteis, V., Versace, P., (2005) *Identificazione dell'impatto al suolo delle mareggiate lungo le coste della Calabria: aspetti metodologici* I Workshop Modeci: Modelli Matematici per la simulazione di Catastrofi Idrogeologiche. UNICAL, 30-31 marzo 2004.
- Petrucci, O., Polemio, M., Pasqua, A.A., (2008) *Analysis of Damaging Hydrogeological Events: the case of the Calabria Region (Southern Italy)* Environmental Management, 25, 483-495.
- Polemio, M., Petrucci, O., (2010) *Occurrence of landslide events and the role of climate in the twentieth century in Calabria, southern Italy*; Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 43, 1-14.
- Polemio, M., Petrucci, O., (in stampa) *The occurrence of floods and the role of climate from 1880 in Calabria (Southern Italy)* Nat. Hazards Earth Syst. Sci.

# LA DIMENSIONE AMBIENTALE NEI PROCESSI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

CIRILLO CLELIA<sup>1</sup>, CALANDRELLI MARINA MAURA<sup>1</sup>, ACAMPORA GIOVANNA<sup>1</sup>, CALANDRELLI ROBERTO<sup>2</sup>,  
SCARPA LUIGI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CNR IBAF, Napoli, Italia, clelia.cirillo@ibaf.cnr.it

<sup>2</sup> CNR ISGI, Napoli, roberto.calandrelli@isgi.cnr.it

<sup>3</sup> UNINA, Napoli, luscarpa@unina.it

## RIASSUNTO

Gli effetti del cambiamento del clima mettono sempre più a rischio i nostri territori; per contrastare questa grave emergenza ambientale è necessario pianificare a medio e a lungo termine specifici interventi di adattamento e di mitigazione dei cambiamenti in atto. Queste problematiche ecologiche, unitamente agli squilibri degli assetti territoriali, obbligano la comunità amministrativa e scientifica ad attivare ricerche a carattere multidisciplinare, finalizzate ad innovare le metodologie di analisi e i processi di pianificazione territoriale.

**Parole chiave:** GIS. pianificazione territoriale.

## INTRODUZIONE

Una tra le maggiori esigenze avvertite nei processi di pianificazione territoriale è l'utilizzazione di strumenti informatici territoriali, in grado di implementare nel piano le politiche ambientali e di evidenziare gli impatti ambientali registrati, le attuali tendenze e gli scenari futuri. In questo contesto i sistemi di supporto alle decisioni si rivelano utili per valutare le modificazioni climatiche in un quadro più ampio di conoscenze (Trombino G. et al. 2007).

L'impiego di tali strumenti innovativi nella valutazione della vulnerabilità dell'ambiente a fronte dei cambiamenti climatici e nella progettazione di interventi di adattamento e mitigazione degli impatti negativi, rende possibile l'implementazione della dimensione ambientale nel processo di pianificazione. Per affrontare il problema delle modificazioni climatiche, per minimizzare gli impatti negativi prevedibili, per prevenire i rischi e contrastare le emergenze future è necessario adottare nei processi di piano un approccio integrato e transdisciplinare che consenta di pianificare e progettare strategie di adattamento del sistema territoriale alle variazioni climatiche, a garanzia della sostenibilità ambientale (Giordano R. et al. 2007). Nelle scienze territoriali, con il termine pianificazione *s'intende il regolamento di azioni relative all'uso del territorio, concordate dalla collettività, da realizzarsi mediante piani che stabiliscono, entro certi limiti di tempo, il conseguimento di determinati effetti o obiettivi socio-economici*. La pianificazione è un'attività che ha sempre interessato l'opera dell'uomo; essa fa risalire i suoi precedenti alle frontiere più lontane della cultura umana, ne è una testimonianza la centralità che la pianificazione ha rivestito nella costruzione delle grandi città preclassiche. Pianificare il territorio rappresenta l'abilità di applicare gli strumenti della razionalità alle trasformazioni territoriali e allo sviluppo delle politiche sociali, finalizzate ad aggregare i diversi bisogni della collettività, in un insieme di strategie mirate a conseguire obiettivi e finalità a beneficio della società. Per far fronte all'emergenza ambientale, gli obiettivi e gli effetti che oggi la pianificazione territoriale deve perseguire sono quelli della sostenibilità ambientale; è necessario quindi che gli strumenti di pianificazione abbiano un carattere strategico-processuale dinamico e flessibile, che consenta che azioni, strategie ed obiettivi siano costantemente verificate ed eventualmente modificate per rendere coerenti le strategie e le azioni agli obiettivi di sostenibilità ambientale (Blecic I. et al. 2005). Le soluzioni ai problemi d'uso del territorio, per essere incisive, devono essere basate su di una precisa descrizione delle problematiche e sull'analisi della loro evoluzione nel tempo; infatti lo sviluppo sostenibile, economico e sociale, per essere realizzato, deve essere programmato da strumenti di pianificazione intesi ad integrare i rapporti di interdipendenza tra i settori

produttivi e la società, valorizzandone le attitudini specifiche e le identità culturali locali (Laniado et al. 2005).

## **LA DIMENSIONE AMBIENTALE NEI PROCESSI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE**

L'insieme delle relazioni che intercorrono tra ambiente e sistemi antropici trovano la loro concretezza nella dimensione fisica del territorio, per cui la rappresentazione territoriale dei processi ambientali e antropici diventa una fase necessaria per valutare la dimensione delle problematiche ambientali; tale rappresentazione può avvenire in modi diversi: il territorio può essere descritto attraverso degli indici, attraverso la realizzazione di tematismi specifici, attraverso la costruzione di cartografie di tipo analitico e, ancora, attraverso la modellistica (Ocelli S. 2005).

In ogni caso la rappresentazione dei processi ambientali e territoriali per poter supportare gli strumenti di pianificazione e per potersi integrare con la contabilità ambientale deve essere strutturata secondo dei criteri in grado di rappresentare i processi connessi ad una componente ambientale relativa ad un fenomeno specifico, che può essere la stabilità del clima, la qualità dell'aria, la stabilità geo-idrologica e quant'altro. Questa complessità territoriale richiede la conoscenza più dettagliata possibile dei fenomeni ambientali in atto; per realizzare lo sviluppo sostenibile del territorio e la tutela ambientale, la premessa indispensabile per gli strumenti di piano è di avvalersi di analisi in grado di fornire la conoscenza scientifica del territorio in tutte le sue componenti (Calandrelli M.M. 2008). Una pianificazione orientata verso uno sviluppo sostenibile deve recepire le conoscenze analitiche e revisionali all'interno della fase progettuale del processo di piano, mirando a risolvere le problematiche ambientali. Per non incorrere in analisi e previsioni non corrette, è auspicabile utilizzare nei processi di pianificazione un approccio strategico che contenga al suo interno un percorso progettuale ed un percorso valutativo; entrambi i percorsi si appoggiano sulla stessa base conoscitiva del territorio ma mentre uno è caratterizzato dalle scelte di piano, l'altro è caratterizzato dalla valutazione e dalla verifica nel tempo di tali scelte. Per realizzare un approccio integrato è fondamentale avvalersi, nei processi di pianificazione del territorio, di metodologie di analisi e tecnologie avanzate (Orlando G. 2005). A fronte delle modificazioni climatiche provocate dalle attività umane, il potenziamento dell'utilizzo di modelli ambientali nei processi di governance ambientale è decisamente auspicabile al fine di rispondere adeguatamente alle esigenze delle politiche di sviluppo sostenibile; a tal riguardo la ricerca può contribuire al miglioramento della qualità territoriale e ambientale attraverso attività scientifiche multidisciplinari mirate a realizzare lo sviluppo di strumenti in grado di poter fornire ai decisori le procedure necessarie per realizzare processi di pianificazione integrata. Altro valido supporto alle attività di pianificazione del territorio è la metodologia GIS che rappresenta un procedimento utilizzato per dare soluzioni ai problemi spaziali; la messa a punto di metodologie di analisi spaziale in ambiente GIS consente di gestire i dati mediante un database relazionale strutturato da dati grafici e dati alfanumerici logicamente collegati (Cirillo C. et al. 2008). La realizzazione di un sistema informativo territoriale così costruito rappresenta uno strumento di raccordo e di coordinamento tra gli enti deputati alla gestione del territorio per implementare in modo integrato politiche di mitigazione e di adattamento ai danni ambientali provocati dall'antropizzazione (Calandrelli M.M. & Scarpa L. 2008). La conoscenza e la valutazione delle modificazioni del clima sono necessarie per fronteggiare i fenomeni catastrofici che si stanno verificando sempre più frequentemente; la valutazione degli effetti provocati dal cambiamento climatico consente di dettagliare le cause e gli effetti in atto mettendo in evidenza gli impatti registrati, le attuali tendenze e gli scenari futuri. Lo studio dei cambiamenti climatici avviene in due fasi distinte: in primo luogo viene rilevato con approccio statistico la modificazione senza analizzarne le casualità; in un secondo momento vengono attribuite le cause alle modificazioni. Per comprendere a pieno gli effetti sulla disponibilità a lungo termine delle risorse naturali e studiare gli effetti complessivi in termini di conservazione degli ecosistemi è determinante aumentare l'efficacia dell'analisi; questo obiettivo viene raggiunto utilizzando nei processi di valutazione delle applicazioni informatiche in grado di aumentare il numero di alternative confrontabili e di informazioni da processare. Un sistema così concepito elabora dati contenuti in un database strutturato come base di conoscenza aiutando i decisori a valutare le tendenze e gli scenari degli impatti ambientali; queste

valutazioni richiedono approcci raffinati in quanto gli impatti che si vanno a rappresentare sono particolarmente complessi, complessità causata dagli effetti combinati delle modificazioni climatiche sulle diverse componenti abiotiche e biotiche.



Figura 1 – Modello DPSIR per l'Analisi antropico ambientale delle pressioni antropiche (strade ed insediamenti) esercitate sullo stato ambientale (uso del suolo) e le risposte (aree poste a protezione) relative al tratto di costa compreso tra il fiume Garigliano e il fiume Volturno, Campania Settentrionale

## CONCLUSIONI

Il fenomeno simbiotico dell'uomo contemporaneo con il territorio si è reso più problematico e le metodologie di pianificazione non sembrano più adeguate ad una realtà sociale, territoriale e ambientale sempre più complessa. Attualmente non vi è una integrazione fra gli strumenti di pianificazione, siano essi di tipo generale che di settore. Questo è un dato che non aiuta a conseguire gli obiettivi di sostenibilità ambientale; è necessario, pertanto, che gli strumenti di piano di carattere generale siano di riferimento alla pianificazione di settore ma nello stesso tempo devono essere in grado di recepire le indicazioni che provengono da quest'ultima in

modo che non vi siano contraddizioni nell'uso del territorio.

Inoltre l'integrazione della dimensione ambientale nei processi di pianificazione deve avvenire introducendo le problematiche ambientali tra i criteri per la definizione dei piani territoriali, sin dalle prime fasi del processo di pianificazione. A supporto di una pianificazione mirata a valutare l'impatto di scenari di evoluzione socio-economica su una emergenza di carattere ambientale è auspicabile che la riduzione degli effetti indotti dai cambiamenti climatici sull'ecosistema venga studiata utilizzando strumenti e metodologie di analisi ad approccio integrato in grado di simulare e valutare gli interventi di adattamento e di mitigazione delle modificazioni climatiche in atto.

## BIBLIOGRAFIA

- Blecic, I., Cecchini, A., Tronfio, G.A., (2005). *Costruire scenari futuri per la pianificazione territoriale strategica: metodologie e strumenti*. Analisi e modelli per la pianificazione, a cura di Cecchini A., Plaisant A., Edizione F. Angeli, 259-270.
- Calandrelli, M.M., (2008). *I valori paesaggistici e le instabilità geomorfologiche della fascia costiera cilentana in rapporto alla pianificazione territoriale ed ambientale*, tesi di Dottorato in Scienze della Terra, pubblicato su Scientific Commons, pp. 181.
- Calandrelli, M.M., Scarpa, L., (2008). *Compatibilità ambientale tra usi antropici e valori paesaggistici della fascia costiera cilentana. Un modello parametrico, con procedura GIS, per l'analisi territoriale e ambientale*, in Atti del Convegno "Coste: Prevenire, Programmare, Pianificare, Maratea (PZ), Collana dell'Autorità di Bacino della Basilicata, 9, II Serie, 147-157.
- Cirillo, C., (2006). *Ambiente, Territorio e Ricerca*. Quaderno dell'IBAF/CNR, pp. 110.
- Cirillo, C., Acampora, G., Calandrelli, M.M., Scarpa, L., (2008). *Analisi antropico ambientale del tratto di costa della Campania Settentrionale e del Lazio Meridionale con l'utilizzo della metodologia GIS*, Atti del II Simposio Internazionale "Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo", 279-288.
- Dalu, G., Baldi, M., (2007). *Effetto delle variazioni dell'uso e copertura del suolo sul clima a scala regionale*. Clima e Cambiamenti Climatici- Attività di Ricerca del CNR a cura di Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S., 125-128.
- Giordano, R., Uricchio, V.F., (2007). *Processi decisionali partecipativi per la definizione di strategie di mitigazione dello stress idrico*. Clima e Cambiamenti Climatici- Attività di Ricerca del CNR a cura di Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S., 819-822.
- Laniado, E., Cappiello, A., Cellina, F., Cerioli, R., (2005). *Un approccio metodologico e un Sistema di Supporto alle decisioni per la pianificazione territoriale: il progetto SFIDA*. Analisi e modelli per la pianificazione edizione a cura di Cecchini A., Plaisant A., Edizione F. Angeli, 304-315.
- Liberti, G.L., Congeduti, F., Dionisi, D., Transerici, C., Velea, L., Cheruy, F., (2007). *Caratterizzazione della variabilità spazio-temporale del vapor d'acqua come diagnostico per un modello di clima*. Clima e Cambiamenti Climatici- Attività di Ricerca del CNR a cura di Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S., 35-38.
- Maurizi, A., D'Isidoro, M., Mircea, M., Tampieri, F., (2007). *BOLCHEM: uno strumento numerico per la simulazione della composizione dell'atmosfera*. Clima e Cambiamenti Climatici - Attività di Ricerca del CNR a cura di Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S., 27-30.
- Ocellì, S., (2005). *Le metodologie come impegno all'azione: il ruolo dell'attività modellistica*. Analisi e modelli per la pianificazione, a cura di Cecchini A., Plaisant A., Edizione F. Angeli, 72-83.
- Orlando, G., Selicato, F., Torre, C.M., (2005). *I GIS come strumento di supporto nella valutazione dei rischi*. Analisi e modelli per la pianificazione, a cura di Cecchini A., Plaisant A., Edizione F. Angeli, 231-234.
- Pasqui, M., Ceseri, M., Maracchi, G., Meneguzzo, F., Piani, F., (2007). *Riduzione dinamica degli scenari climatici a scala di bacino tramite modellistica numerica regionale*, Clima e Cambiamenti Climatici- Attività di Ricerca del CNR a cura di Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S., 47-50.
- Scarascia Mugnozza, G., Calfapietra, C., De Angelis, P., Maglietta, F., (2007). *Ecosistemi forestali e mitigazione dei cambiamenti ambientali: l'impatto dei cambiamenti atmosferici previsti a metà del secolo XXI*. Clima e Cambiamenti Climatici- Attività di Ricerca del CNR a cura di Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S., 705-708.
- Tombino, G., Cinnirella, S., Pirrone, N. (2007) *Sviluppo di Strumenti di Supporto alle Decisioni per la mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici sull'ambiente*. Clima e Cambiamenti Climatici- Attività di Ricerca del CNR a cura di Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S., 847-850.



# MONITORAGGIO DEL TERRITORIO: IL POTENZIALE DEL TELERILEVAMENTO

REFICE ALBERTO, ADAMO MARIA, BALENZANO ANNA, BELMONTE ANTONELLA, BIAGI BENEDETTO, BLONDA PALMA, BOVENGA FABIO, GIACOVAZZO V. MARTINO, LOVERGINE FRANCESCO, MATTIA FRANCESCO, PASQUARIELLO GUIDO, SATALINO GIUSEPPE, TARANTINO CRISTINA, VENEZIANI NICOLA  
Gruppo Osservazione della Terra – CNR ISSIA, Bari, Italia, refice@ba.issia.cnr.it

## RIASSUNTO

L'osservazione della Terra da piattaforme spaziali, integrata con misure in situ e con acquisizione da piattaforme aeree, è una tecnologia di riferimento per il monitoraggio di ampie zone del Territorio con una elevata frequenza spaziale. Queste caratteristiche sono essenziali per investigare, da un lato, l'effetto di modifiche indotte da cambiamenti climatici, dall'altro la presenza di situazioni che siano precursori di cambiamenti, in un'ottica di previsione ed allerta. Nel presente lavoro vengono presentati alcuni esempi applicativi in questo scenario.

**Parole chiave:** telerilevamento, SAR, fusione dati.

## INTRODUZIONE

Lo studio dei cambiamenti climatici risente in maniera molto marcata dalle incertezze nelle misure dei parametri legati ai vari fenomeni. Fra queste, notevole importanza riveste l'incertezza sugli effetti di tali cambiamenti sul territorio, nonché sulla loro scala temporale. Un aiuto nella direzione di una quantificazione affidabile degli effetti delle variazioni climatiche su scala sinottica è dato dalla disponibilità sempre maggiore di dati telerilevati di elevata qualità, quantificabile in termini di risoluzione spaziale, ripetitività temporale, densità spettrale (Proc. IEEE 2010).

Presso l'Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione (ISSIA) CNR di Bari sono in corso attività di ricerca e sviluppo incentrate sull'analisi di dati telerilevati generati con sensori operanti in varie finestre dello spettro elettromagnetico, finalizzate all'estrazione di parametri di interesse bio-geofisico. Sebbene le scale temporali analizzabili mediante il telerilevamento siano relativamente compresse rispetto a quelle caratteristiche dei cambiamenti climatici, molti parametri telerilevati sono utili all'indagine degli effetti dei cambiamenti climatici sul territorio, anche in relazione ai riconosciuti fenomeni di accelerazione di questi ultimi in tempi recenti. In questo contesto, particolare attenzione è posta allo sviluppo di approcci che guardano all'integrazione (data fusion) fra sensori differenti (per esempio Ottico/SAR) ed all'integrazione fra dati in situ e dati da piattaforme sia aeree che spaziali.

I fenomeni che è possibile indagare sono molteplici: frane e inondazioni dovute a variazioni nei regimi di precipitazione; subsidenze connesse a variazioni dei livelli di falda, o, in aree costiere, a variazioni del livello del mare; monitoraggio di precisione della topografia per la modellistica idrogeologica; variazioni dei contenuti in acqua dei suoli e il loro impatto sulla vegetazione e quindi sulle colture. Nel presente lavoro vengono citati progetti ed esempi di applicazioni del telerilevamento in alcuni degli ambiti accennati, che evidenziano il contributo potenziale che le tecniche di telerilevamento possono dare allo studio degli effetti dei cambiamenti climatici, e nella prevenzione e allerta inerente ad eventi catastrofici connessi a tali processi.

## FRANE

Grazie alle capacità dei sistemi radar di poter operare in qualsiasi condizione meteorologica, sia di giorno sia di notte, e di poter misurare con precisione piccole deformazioni al suolo (variazioni di quota di qualche millimetro), le tecniche di interferometria SAR (Synthetic Aperture Radar) risultano interessanti per il rilevamento e il monitoraggio su vaste aree di fenomeni di deformazione al suolo quali frane, sismi e movimenti tettonici. L'impiego di tale tecnologia per l'individuazione ed il monitoraggio di eventi franosi rappresenta uno dei casi applicativi più complessi, in relazione all'estensione spesso limitata

del fenomeno, alle caratteristiche orografiche su cui tipicamente insistono (pendenze del suolo elevate) ed alla copertura del suolo spesso ricca di vegetazione. Tali circostanze inducono in generale condizioni di basso rapporto segnale/rumore ed una maggiore variabilità della componente atmosferica nel segnale interferometrico SAR che rendono indispensabile l'impiego di un'analisi multi-temporale, quale quella nota come Persistent Scatterers Interferometry o PSI, tecnica alla quale l'uso di dati SAR di ultima generazione ad alta risoluzione (COSMO-SkyMed, TerraSAR-X) può apportare notevoli vantaggi.

Il progetto "FRANE PUGLIA - Rilevamento di deformazioni al suolo con tecniche satellitari avanzate", finanziato dalla Regione Puglia, si pone come obiettivo primario quello di testare l'applicabilità, l'affidabilità e le potenzialità dei risultati prodotti dalla tecnica PSI utilizzando dati interferometrici acquisiti dai sensori SAR di ultima generazione (Nutricato et al. 2010). A tale scopo è stata individuata come sito di studio l'area dell'Appennino Dauno (Puglia), un territorio caratterizzato da un'elevata incidenza, in termini percentuali, di fenomeni franosi, di dimensioni spesso contenute e distribuiti su vaste superfici collinari e vegetate. Questo sito risulta di notevole interesse per la Protezione Civile – Regione Puglia, che è uno dei potenziali utenti dei risultati prodotti dalla tecnica dei PS. La Fig. 1 mostra un esempio di applicazione delle tecniche PSI ad alcuni comuni inclusi nell'area di studio, elencati nella tabella. I pannelli sulla destra mostrano alcune mappe di deformazione (punti colorati secondo la velocità media di deformazione stimata) sovrapposte alla rappresentazione 3D delle aree geografiche indagate (Google Earth™).

ID	Latitudine (°)	Longitudine (°)	Quota (m)	Sito
1	41.59	14.98	550	CARLIANTINO
2	41.62	15.10	430	CASALNUOVO MONTEROTARO
3	41.594	15.11	480	CASALVECCHIO DI PUGLIA
4	41.58	15.12	550	CASTELNUOVO DELLA DAUNIA
5	41.54	15.13	440	PIETRAMONTECORVINO
6	41.506	15.115	640	MOTTA MONTECORVINO
7	41.48	15.125	720	VOLTURINO
8	41.495	15.05	520	VOLTURARA APPULA
9	41.56	14.98	470	CELENZA VALFORTORE
10	41.525	15.005	660	SAN MARCO LA CATOLA
11	41.43	15.12	740	ALBERONA
12	41.397	15.095	460	BICCARI
13	41.5	15.33	200	LUCERA
14	41.28	15.27	680	ORSARA DI PUGLIA
15	41.25	15.25	720	MONTAGUTO
16	41.36	15.31	430	TROIA
17	41.325	15.16	820	FAETO
18	41.37	15.095	640	ROSETO VALFORTORE
19	41.326	15.181	720	CELLE DI SAN VITO
20	41.341	15.20	610	CASTELLUCCIO VALMAGGIORE
21	41.25	15.34	580	BOVINO
22	41.222	15.275	730	PIANI
23	41.22	15.385	560	DELICETO
24	41.158	15.33	650	ACCADIA
25	41.151	15.38	750	SANTAGATA DI PUGLIA

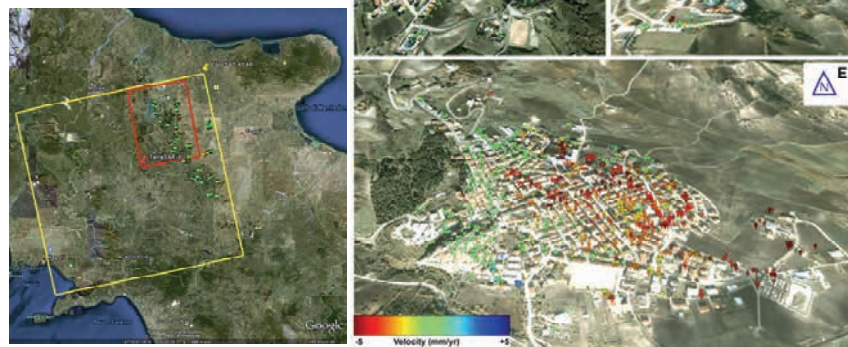


Figura 1 - Mappe puntuali di deformazione da dati ENVISAT sono state ottenute su alcuni paesi della Daunia interessati da fenomeni franosi (l'elenco completo è mostrato in tabella): I pannelli mostrano i casi di Volturino (A), Bovino (B), Orsara (C), Motta Montecorvino (D) e Pietramontecorvino (E). I punti colorati rappresentano diffusori stabili (PS) sui quali è possibile stimare la velocità di deformazione (codificata nella scala di colori).

## ALLUVIONI

Le alluvioni provocano ogni anno danni rilevanti a città, vie di comunicazione e insediamenti produttivi e in casi particolarmente gravi, causano anche ingenti perdite in termini di vite umane. Il nostro Paese è interessato in modo particolare dai fenomeni connessi al rischio idrogeologico, che spesso si verificano anche a seguito di precipitazioni non eccezionali. In caso di alluvione, una delle prime necessità che si

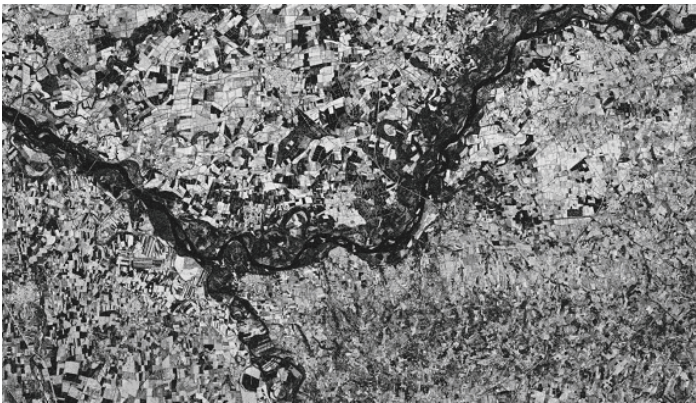


Figura 2 - Immagine del modulo della coerenza interferometrica relativa alla coppia di immagini COSMO/SkyMed del 30 aprile /1 Maggio 2009. Nell'immagine le zone a bassa coerenza in prossimità del fiume Tanaro corrispondono ad aree soggette ad esondazione. Le immagini di partenza sono state processate nell'ambito del progetto OPERA dell'ASI; per il processing interferometrico è stato utilizzata la catena di processing SPINUA sviluppata in-house.

durante un evento alluvionale: i voli di ricognizione aerea sono limitati dalle cattive condizioni meteorologiche che seguono di solito eventi di questa natura, mentre controlli accurati a terra sono spesso impraticabili a causa dell'inaccessibilità delle regioni colpite. Di conseguenza, risulta spesso impossibile o molto dispendioso ottenere una mappa alluvionale accurata in un tempo sufficientemente breve. L'osservazione dallo spazio della regione colpita mediante telerilevamento rende possibile una visione sinottica dell'evento alluvionale e permette di identificare in modo puntuale le strutture e le vie di comunicazione più gravemente danneggiate. Il SAR, in particolare, con la sua capacità di osservare la superficie terrestre ad alta risoluzione, di notte e di giorno e con qualsiasi condizione meteorologica, rappresenta la tecnologia che meglio d'ogni altra può contribuire al flood mapping. In Fig. 2 è rappresentata una immagine di coerenza ottenuta dall'analisi interferometrica di una coppia di immagini COSMO/SkyMed del 30 aprile / 1 maggio 2009 su una sezione del fiume Tanaro, esondato il giorno precedente le acquisizioni. Si può notare come la fascia scura (a bassa coerenza) a cavallo del letto del fiume sia riconoscibile come effetto della copertura della zona da parte dell'acqua. Ulteriori studi sono in corso per validare questa tecnica di riconoscimento a fronte di dati ancillari (Bellifemine et al. 2010).

## STIMA DI UMIDITÀ DEL SUOLO

Il processore SMOSAR (Soil MOisture retrieval from multi-temporal SAR data), sviluppato presso l'ISSIA, trasforma serie temporali di immagini SAR con breve tempo di rivisita in mappe di umidità superficiale ad alta risoluzione spaziale (ad es. 300-500 m) relative a suoli agricoli. La ben nota difficoltà dei sistemi SAR di stimare l'umidità del suolo è in gran parte dovuta alla molteplice dipendenza del dato SAR da parametri superficiali (per esempio l'umidità del suolo ma anche la biomassa vegetale, la rugosità dei suoli e la struttura geometrica delle colture). Il metodo sviluppato sfrutta la diversa dinamica temporale che caratterizza la rugosità dei suoli, la struttura geometrica delle colture, la biomassa vegetale rispetto a quella dell'umidità del suolo (Balenzano et al in press). Infatti quest'ultima varia molto rapidamente rispetto agli altri parametri che evolvono lentamente nel tempo (se si eccettuano periodi in cui i campi agricoli vengono lavorati). Il metodo sviluppato è reso possibile dalla disponibilità di serie multi-temporali acquisite con brevi tempi di rivisita, che possono seguire i rapidi cambiamenti di umidità del suolo, mentre sono poco sensibili ai lenti cambiamenti degli altri parametri superficiali (praticamente costanti per brevi intervalli temporali). Il prototipo SMOSAR è stato sviluppato nel contesto di progetti finanziati dell'Agenzia Spaziale Europea ed è stato validato sia con dati in banda C che L acquisiti sia con sistemi aviotrasportati come il sistema E-SAR che con dati acquisiti dai sensori satellitari PALSAR ed ASAR. In figura 3 è riportato un esempio di mappe di umidità del suolo ottenute con il processore

riscontra è quella di individuare tutte le zone coinvolte dall'evento, assicurando un monitoraggio globale del fenomeno affinché le operazioni di soccorso possano essere programmate efficacemente; in un secondo momento, quando l'acqua si è ritirata e l'emergenza è rientrata, è richiesta l'identificazione più precisa dell'area colpita, per valutare l'entità degli oneri assicurativi e degli interventi finanziari, per il risarcimento dei danni provocati; infine, mappe post-evento ancora più accurate sono utili per la creazione di modelli idrogeologici, fondamentali per definire i piani di ricostruzione e per prevenire le alluvioni future.

Attualmente, nessun metodo tradizionale consente di tracciare in maniera rapida (nel giro di poche ore dall'evento stesso) ed efficace una mappa delle aree inondate

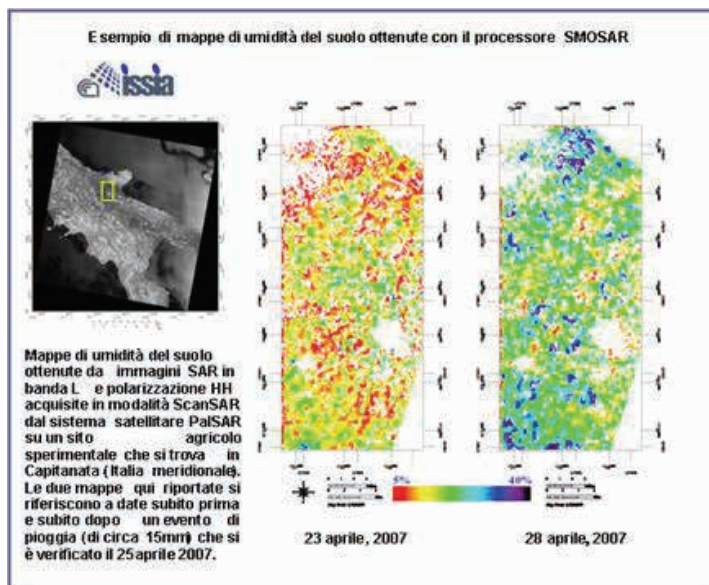


Figura 3 - Esempio di mappe di umidità del suolo sull'area della Daunia ottenute con il processore SMOSAR.

SMOSAR sul tavolo durante la stagione 2007. Le due mappe sono relative al 23 ed al 29 aprile 2007 ed evidenziano il considerevole cambiamento di stato idrico del suolo dovuto ad un evento di pioggia, di circa 15 mm, verificatosi il 25 aprile 2007 nell'area di test. Sebbene la tecnica su esposta ovviamente non sia stata sviluppata per l'osservazione di fenomeni legati ai cambiamenti climatici, tuttavia dimostra le potenzialità del telerilevamento SAR nel monitoraggio del contenuto idrico dei suoli e potrebbe essere utile nel rilevare tendenze di lungo periodo qualora si rendessero disponibili lunghe serie temporali (ad es. decine di anni) di dati sistematicamente acquisiti da sensori SAR con brevi tempi di rivisita.

## CONCLUSIONI

Gli esempi riportati sono indicativi di applicazioni del telerilevamento all'osservazione del territorio e dei suoi cambiamenti, che, in taluni casi, possono essere generati o influenzati dai cambiamenti climatici. In ciascuna applicazione gioca un ruolo importante la possibilità di poter ottenere una descrizione sinottica del territorio con sufficiente ripetitività temporale, in maniera da poter mettere in evidenza le variazioni sia spaziali che temporali che sono avvenute (o stanno avvenendo) nel territorio in esame. Pertanto appare evidente come il telerilevamento ha notevoli potenzialità nello studio dei cambiamenti climatici e degli effetti di questi ultimi sul territorio, sia dal punto di vista operativo, connesso alle necessità di pianificazione degli interventi di ripristino e risanamento delle zone colpite da tali calamità, sia da quello più speculativo della comprensione delle cause scatenanti degli eventi di origine climatica, a scala più estesa.

## BIBLIOGRAFIA

- Special Issue, (2010) *Satellite Remote Sensing Missions for Monitoring Water, Carbon, and Global Climate Change*, Proceedings of the IEEE Vol. 98, No. 5, May 2010.
- Bellifemine, V., Bovenga, F., Candela, L., Nutricato, R., Pasquariello, G., Refice, A., (2010) *Identificazione di aree inondate da immagini SAR a media ed alta risoluzione*, Proc. ASITA 2010, Fiera di Brescia, Italy, 9 – 12 Nov 2010.
- Nutricato, R., Nitti, D. O., Chiaradia, M. T., Bovenga, F., Refice, A., Pasquariello, G., *Rilevamento di deformazioni del suolo in Daunia (Puglia) per mezzo di tecniche interferometriche SAR*, Proc. ASITA 2010, Fiera di Brescia, Italy, 9 – 12 Nov. 2010.
- Balenzano, A., Matia, F., Satalino, G., Davidson, M. W. J., *Dense Temporal Series of C- and L-band SAR Data for Soil Moisture Retrieval Over Agricultural Crops*, IEEE J-STARS Special Issue on Temporal Change Observation for Bio-Geophysical Parameter Retrieval in Agricultural from SAR and Optical data, in press

# **STUDIO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL RETICOLO IDROGRAFICO DEL SETTORE PUGLIESE DEL SUBAPPENNINO DAUNO E DELL'ADIACENTE TAVOLIERE DI PUGLIA (PROVINCIA DI FOGGIA, ITALIA MERIDIONALE)**

GIOIA DARIO<sup>1</sup>, GALLICCHIO SALVATORE<sup>1</sup>, MORETTI MASSIMO<sup>1</sup>, SABATO LUISA<sup>1</sup>, TROPEANO MARCELLO<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Dipartimento di Geologia e geofisica, Università di Bari "Aldo MORO", Bari, Italia, dario.gioia @unibas.it

## **RIASSUNTO**

L'acquisizione di dati geologici e geomorfologici connessi alle problematiche idrauliche e idrogeologiche rappresenta uno strumento fondamentale per l'individuazione delle aree ad elevato rischio di eventi alluvionali e fenomeni franosi e per l'implementazione di carte tematiche di rischio e/o pericolosità. Il presente lavoro si propone di definire, attraverso un approccio integrato geologico e geomorfologico, nuovi vincoli sull'evoluzione del reticolo idrografico del settore pugliese del subappennino dauno e dell'adiacente Tavoliere delle Puglie in risposta alla tettonica e ai cambiamenti climatici quaternari. I dati geologici e geomorfologici acquisiti possono rappresentare una valida base in materia di gestione del territorio nei riguardi dei fenomeni di dissesto idrogeologico.

**Parole chiave:** conoidi alluvionali terrazzate, dissesto idrogeologico, rilevamento geologico e geomorfologico,

## **SCOPO DEL LAVORO E METODI**

Il presente lavoro introduce i risultati preliminari di un progetto finanziato dalla Cassa di Risparmio di Puglia che ha come obiettivo quello di approfondire le conoscenze sui meccanismi che regolano l'evoluzione del reticolo idrografico del settore pugliese del Subappennino Dauno e dell'adiacente Tavoliere di Puglia in risposta alle caratteristiche geologiche e strutturali ed alle variazioni climatiche ed antropiche. Questo aspetto è particolarmente importante se si pensa che le variazioni climatiche in atto determinano l'aumento degli eventi di maggiore magnitudo. Lo studio si propone di acquisire, attraverso un approccio integrato geologico e geomorfologico, dati utili per valutazioni di pericolosità idraulica ed idrogeologica in un settore dove i numerosi corsi d'acqua a carattere effimero presenti hanno un ruolo fondamentale nel rischio idrogeologico. La valutazione del rischio rispetto ai fenomeni alluvionali necessita infatti di studi sull'evoluzione geologica e geomorfologica del reticolo idrografico in risposta alla tettonica, ai cambiamenti climatici e agli impatti antropici (Della Seta et al. 2005, Santangelo et al. 2006). Le proprietà fisiografiche e geomorfologiche dell'area e le loro relazioni con i caratteri geologici e strutturali sono state investigate mediante i metodi classici della geologia e geomorfologia come il rilevamento sul terreno e la fotointerpretazione e le informazioni morfometriche estratte da modelli digitali di terreno (DEM) dell'area. L'analisi geologico-geomorfologica mediante analisi di fotoaeree e rilevamenti di terreno ha consentito di individuare e definire i principali gruppi di depositi e forme legate all'azione dei processi fluviali ed all'evoluzione dei versanti. Inoltre, l'analisi morfometrica delle caratteristiche del paesaggio e del reticolo idrografico, realizzata con l'ausilio di un DEM con risoluzione spaziale di 8 m, ha permesso di definire, da un punto di vista quantitativo, le proprietà del rilievo (elevazione, pendenza, esposizione, energia del rilievo) e numerosi parametri ed indici geomorfici utili a caratterizzare l'organizzazione e l'evoluzione della rete idrografica. L'insieme delle informazioni geologiche e geomorfologiche acquisite sono state inoltre inserite in un Sistema Informativo Territoriale (SIT).

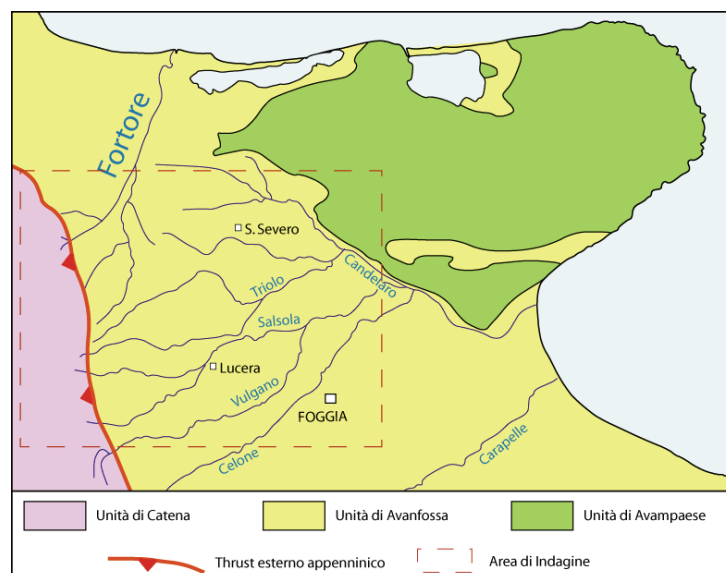


Figura 1 - Ubicazione dell'area e schema tettonico.

### INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO E RISULTATI PRELIMINARI

L'area studiata è ubicata nel settore nord-occidentale della provincia di Foggia e comprende il settore pugliese dell'Appennino dauno e l'adiacente pedemonte del Tavoliere di Puglia (Fig. 1). Dal punto di vista geologico, l'area è caratterizzata dalle unità mesozoico-terziarie fortemente deformate della catena appenninica sovrapposte tettonicamente alle successioni suborizzontali plio-quadernarie di avanfossa (Di Nocera et al. 2006, *cum bibl.*). Queste ultime sono essenzialmente costituite dai depositi marini prevalentemente siltosi di età altopliocenica-infrapleistocenica delle argille subappennine (Tropeano et al. 2002, *cum bibl.*). Su questi depositi poggiano, in discordanza angolare, depositi continentali riferibili a sistemi di conoide alluvionale di tipo *braided* coalescenti, costituiti da ghiaie poligeniche in genere poco organizzate, soprattutto nei settori prossimali, ed a luoghi intercalate a livelli sabbiosi e/o sabbioso-limosi. Più raramente i depositi di conoide poggiano in discordanza sui terreni meso-cenozoici delle coltri alloctone della catena e sui depositi alluvionali più antichi. La distribuzione plano-altimetrica e le caratteristiche geomorfologiche di questi depositi permettono di individuare almeno 6 ordini di terrazzi incastrati, sospesi a quote differenti dall'incisione fluviale (Fig. 2). Una peculiare caratteristica dei lembi dei depositi terrazzati è la diminuzione dell'angolo della loro superficie basale dai depositi più antichi, attribuibili alla parte bassa del Pleistocene medio, a quelli recenti/attuali, di età Pleistocene superiore-Olocene.

Il paesaggio si presenta aspro e con un rilievo medio-alto nel settore appenninico mentre l'area di avanfossa è debolmente incisa dai corsi d'acqua e dominata da morfologie poco acclivi. La distribuzione di frequenza delle pendenze dell'area, valutata in maniera quantitativa con l'ausilio di un DEM, mostra una netta prevalenza dei settori suborizzontali o debolmente inclinati ( $< 4^\circ$ ), e quindi un rilievo dominato, soprattutto nell'area di avanfossa, dai lembi terrazzati più o meno estesi dei depositi conoidali sospesi a diverse quote dall'incisione del reticolo fluviale. I bacini idrografici dell'area presentano una modesta organizzazione gerarchica e dimensioni areali abbastanza ridotte. La forma dei bacini è allungata con spartiacque poco distinguibili, soprattutto nel settore pedemontano. Le aste principali dei bacini idrografici sono organizzati secondo un *pattern* parallelo con un regime generalmente torrentizio ed alimentazione prevalentemente di tipo pluviale.

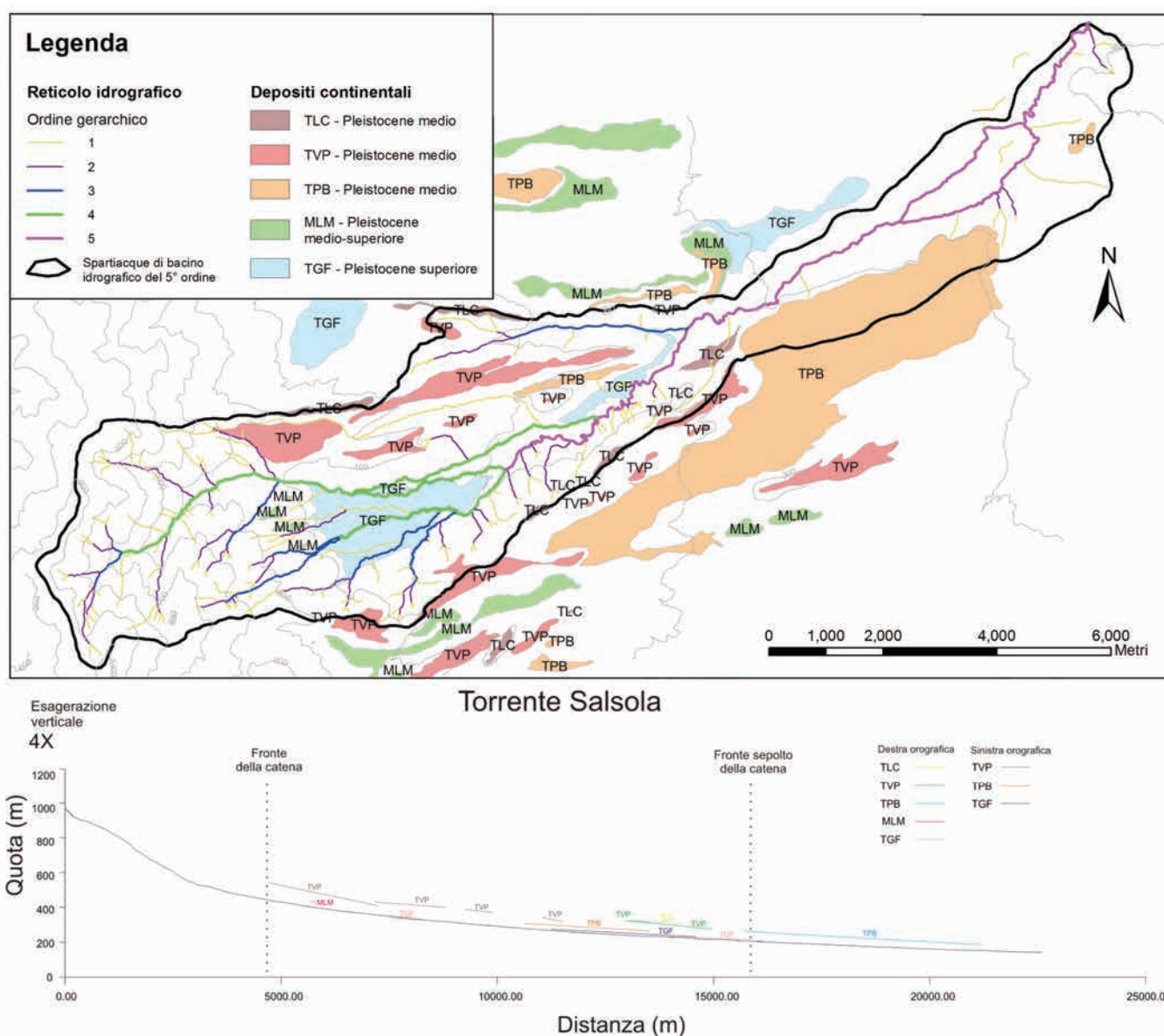


Figura 2 – In alto: depositi conoidali terrazzati nell'area del bacino idrografico del Torrente Salsola. In basso: distribuzione altimetrica dei lembi di depositi conoidali terrazzati lungo il profilo longitudinale del Torrente Salsola.

## APPROFONDIMENTI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali terrazzati del Pleistocene medio e superiore che poggiano in discordanza sui depositi marini delle argille subappennine e, più raramente, sulle unità tettoniche meso-cenozoiche della catena e sui depositi alluvionali più antichi. L'analisi di questi depositi consente di delineare l'evoluzione di questo settore di avanfossa dopo l'emersione e in risposta alla tettonica e ai cambiamenti climatici quaternari. L'interesse di questo studio risiede nella possibilità di interpretare la dinamica attuale degli alvei in funzione di alcuni trend evolutivi evidenziabili nei depositi alluvionali terrazzati che si sono succeduti a partire dalla fine del Pleistocene inferiore lungo i medesimi torrenti analizzati. Lo studio dei suddetti trend evolutivi può rappresentare una valida base scientifica su cui tarare i modelli di pericolosità idrogeologica, anche in relazione agli effetti indotti dalle recenti variazioni climatiche.

Le conoidi alluvionali analizzate sono organizzate in almeno 6 ordini di terrazzi incastrati e la loro deposizione e la successiva incisione, solo parzialmente imputabile a cause tettoniche, è stata fortemente controllata dalle variazioni climatiche medio-altopleistoceniche (cfr. Wegmann & Pazzaglia, 2009).

L'assetto geologico e geomorfologico ricostruito ha una diretta connessione con la pericolosità alluvionale dell'area: i terrazzi più recenti si configurano, per le loro caratteristiche fisiografiche e geomorfologiche (posizione altimetrica rispetto agli alvei attuali e basse pendenze dei gradini morfologici), come ampie aree ad elevata vulnerabilità nei riguardi dei fenomeni alluvionali. Oltre a delineare l'evoluzione tardo-quadernaria geologica e geomorfologica del reticolo idrografico, i dati derivanti dalle analisi geologiche e geomorfologiche effettuate consentono di effettuare stime dei tempi di corruzione dei bacini idrografici, dei tassi di erosione nei bacini idrografici attraverso la valutazione indiretta del trasporto torbido unitario medio annuo (Tu, Ciccacci et al. 1980), e mappe di pericolosità alluvionale.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Ciccacci, S., Fredi, F., Lupia Palmieri, E., Pugliese, F., (1980). *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 99, 455-516.
- Della Seta, M., del Monte, M., Pascoli, A., (2005). *Quantitative geomorphic analysis to evaluate flood hazards*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 28(1), 117-124.
- Di Nocera, S., Matano, F., Pescatore, T., Pinto, F., Senatore, M.R., Quarantiello, R., Torre, M., (2006). *Schema geologico del transetto Monti Picentini orientali-Monti della Daunia meridionali: evoluzione tettonica e stratigrafica del settore esterno dell'Appennino meridionale*. Bollettino Società Geologica Italiana, 125, 39-58.
- Santangelo, N., Santo, A., Faillace, I.P., (2006). *Valutazione della pericolosità alluvionale delle conoidi del Vallo di Diano (Salerno, Italia meridionale)*. Il Quaternario, 19(1), 3-17.
- Tropeano, M., Sabato, L., Pieri, P., (2002). *The Quaternary «Post-turbidite» sedimentation in the South-Appennines Foredeep (Bradanic Trough-Southern Italy)*. Bollettino Società Geologica Italiana, spec. 1, 449-454.
- Wegmann, K.W., Pazzaglia, F.J., (2009). *Late Quaternary fluvial terraces of the Romagna and Marche Apennines, Italy: Climatic, lithologic, and tectonic controls on terrace genesis in an active orogen*. Quaternary Science Reviews, 28(1-2), 137-165.



## DISAGGREGAZIONE STOCASTICA

BRUSSOLO ELISA<sup>1</sup>, VON HARDENBERG JOST<sup>1</sup>, PROVENZALE ANTONELLO<sup>1</sup>, REBORA NICOLA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ISAC-CNR, Torino, Italy

<sup>2</sup>CIMA Foundation, Savona, Italy

### RIASSUNTO

In questo lavoro presentiamo un nuovo metodo di disaggregazione stocastica della precipitazione che include una correzione per gli effetti orografici. Il metodo è basato sull'estensione della tecnica chiamata RainFARM, sviluppata negli scorsi anni, ed è validato su un'ampia data base di pluviometri. Questo metodo può essere utilizzato per disaggregare la precipitazione provvista da modelli globali e regionali per studi di impatto del cambiamento climatico.

**Parole chiave:** disaggregazione stocastica, effetti orografici, precipitazione

### INTRODUZIONE

La stima degli impatti del cambiamento climatico in aree montane richiede scenari di precipitazione ad alta risoluzione spaziale e temporale. I modelli climatici globali raggiungono tuttavia risoluzioni spaziali non più alte di 50-100 km, mentre i modelli climatici regionali (RCM) sono tipicamente limitati a risoluzioni dell'ordine di 20-30 km. Al fine di superare il salto tra queste scale e le piccole scale necessarie per studi di impatto a scala di ghiacciai, piccoli bacini o versanti, sono state sviluppate negli ultimi anni numerose tecniche di disaggregazione (*downscaling*) della precipitazione. In particolare le tecniche di disaggregazione stocastica della precipitazione (si veda p.es. Ferraris et al. 2003), sviluppate principalmente per permettere la valutazione del rischio in campo meteo-idrologico, permettono la generazione di campi di precipitazione sintetici, ad alta risoluzione, le cui proprietà statistiche riproducono quelle della precipitazione osservata, e possono essere applicate a scenari climatici di precipitazione al fine di valutare l'incertezza a piccola scala (Brussolo et al. 2008). Per poter applicare queste tecniche ai modelli climatici globali, tuttavia, è necessario tenere conto degli effetti orografici alle scale inferiori alla risoluzione del modello.

### EFFETTI OROGRAFICI SULLA PRECIPITAZIONE

In questo lavoro analizziamo gli effetti dell'orografia sulle statistiche di precipitazione in un'area di studio in Italia Nord-Occidentale (figura 1) e sviluppiamo una modifica della procedura di disaggregazione stocastica RainFARM descritta in dettaglio in Rebora et al. 2006. La procedura è sviluppata sulla base di serie temporali di precipitazione da più di 440 stazioni di misura nel periodo 2004-2008 (figura 1a) e validata, fuori campione, sui dati del 2009.

Come primo passo effettuiamo un'analisi preliminare allo scopo di esplorare correlazioni a grande scala tra orografia e precipitazione nell'area in esame. La Figura 2a riporta, in funzione della latitudine, la precipitazione mediata su bande di latitudine e su tutto il periodo considerato, a confronto con il profilo meridionale della quota orografica media. Risultano evidenti un aumento orografico della precipitazione sui versanti meridionali degli Appennini e delle pre-Alpi e una riduzione della precipitazione sul versante nord degli Appennini ed a quote alte (sopra ca 1200 m s.l.m.). Questa analisi è consistente con analoghi risultati ottenuti per l'intero arco alpino in Frei and Schär 1998 e Nykanen 2008. Questa forte correlazione dipende tuttavia dalle aree considerate, come evidenziato ripetendo l'analisi su due sottoregioni più piccole, ad est ed ovest di 9°E. In questo caso, mentre la sottoregione occidentale mantiene una forte correlazione tra precipitazione e quota media, in quella orientale non si riscontra una significativa correlazione (senza figura).

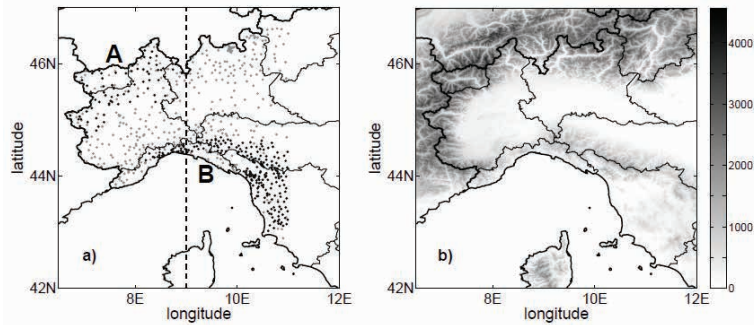


Figura 1 - a) Area di studio e rete delle stazioni pluviometriche automatiche utilizzate. I dati sono descritti in dettaglio in Brussole et al. 2008 e forniti dal Dipartimento della Protezione Civile. I due gruppi di pluviometri in grigio (A) e nero (B) sono utilizzati per l'analisi descritta nel testo; b) orografia dell'area di studio, ottenuta dal progetto GLOBE della NOAA.

Questo risultato evidenzia la necessità di esplorare effetti orografici a scala locale. A questo scopo calcoliamo medie di precipitazione su scatole di lato  $0.25^\circ$ , una scala confrontabile con modelli climatici regionali. Consideriamo solo scatole contenenti almeno 3 pluviometri attivi. La Figura 2b riporta, per ognuna di queste aree, la media di precipitazione rispetto alla quota media. Non si riscontra una significativa correlazione e né un fit lineare, né un fit parabolico spiegano una frazione significativa della varianza dei dati. Questo risultato mostra che la climatologia della precipitazione a scala di  $0.25^\circ$  è influenzata da processi atmosferici e dalla circolazione a grande scala, i cui effetti sono più importanti della forzante orografica locale.

Anche in questo caso questo risultato dipende crucialmente dall'area di studio scelta. Ripetendo l'analisi per i due gruppi di pluviometri marcati con (A) e (B) in figura 1, scopriamo che, mentre per i pluviometri dell'area Apenninica (B) continua ad esservi un'assenza di correlazione, le aree Alpine (gruppo A) sono caratterizzate da una significativa correlazione tra quota e precipitazione (con quote elevate associate a precipitazione ridotta).

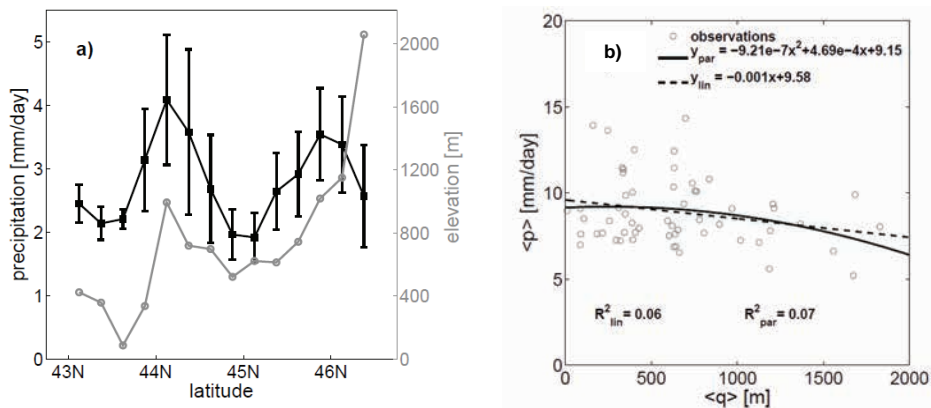


Figura 2.- a) Precipitazione mediata su bande di latitudine (curva nera) e quota media (curva grigia). b) precipitazione mediata su aree di  $0.25^\circ$  di lato contenenti almeno tre pluviometri attivi rispetto alla quota media.

Non risulta dunque possibile identificare una singola relazione applicabile ovunque tra quota e precipitazione. Tuttavia possiamo procedere sviluppando un modello a piccola scala tra variabili orografiche e precipitazione a scala giornaliera. In particolare verifichiamo, per ogni pluviometro, se la sua precipitazione media giornaliera,  $p_i(t)$ , dipenda (attraverso un modello lineare) dalla precipitazione media sulla scatola di appartenenza (di lato  $0.25^\circ$  o  $0.75^\circ$ ),  $\langle p(t) \rangle$ , dalla quota del pluviometro,  $q_i$ , e dalla pendenza locale,  $s_i$ . Quale modello più generale consideriamo anche la possibile presenza di termini quadratici,  $q_i^2$  ed  $s_i^2$ , e possibili termini misti tra precipitazione media e variabili orografiche. Effettuando una serie di fit, includendo ed escludendo selettivamente i diversi possibili termini, per i dati di precipitazione nel periodo 2004-2008, identifichiamo i termini che contribuiscono maggiormente alla varianza spiegata. L'analisi mostra che, oltre alla precipitazione media della scatola di appartenenza, vi è

un significativo aumento della varianza spiegata includendo anche un termine misto con la pendenza locale,  $\langle p(t) \rangle s_i$ . Questo modello da solo spiega fino al 84% della varianza della precipitazione a scala di pluviometro. L'inclusione di altri termini ha invece un effetto più modesto sulla varianza spiegata.

## DOWNSCALING CON OROGRAFIA

Avendo identificato un modello locale adatto, procediamo applicandolo nell'ambito della tecnica di disaggregazione RainFARM (rimandiamo a Rebora et al. 2006 per una dettagliata descrizione della tecnica). In dettaglio, illustriamo la procedura elencando i passi seguiti per verificarne l'efficacia quando applicata ai dati del 2009:

- 1) Generiamo dei campi di precipitazione a grande scala ideali, aggregando a scala di  $0.25^\circ$  e  $0.75^\circ$  i dati dai pluviometri. Questo ci permette di disporre di scenari di precipitazione ideali, perfettamente consistenti con la precipitazione osservata.
- 2) Appliciamo RainFARM ai campi a grande scala del 2009 per ottenere una serie (200 di numero in questo caso) di campi disaggregati a scala spaziale di 1 km e scala temporale di 1 giorno.
- 3) Per ogni scatola, utilizziamo la relazione lineare ed i parametri determinati precedentemente nel periodo 2004-2008 (parametri diversi per ogni scatola), per trasformare la precipitazione a scala di 1 Km, usando come input la media di precipitazione sulla scatola e la pendenza locale determinata dall'orografia. La precipitazione risultante viene riscalata in modo da conservare la media sulla scatola.

Verifichiamo l'efficacia della procedura calcolando la percentuale di giorni nel 2009 in cui, per ogni pluviometro, la precipitazione osservata cade all'interno del 95% delle precipitazioni previste dal modello stocastico. Consideriamo solo episodi di precipitazione intensa, in cui la precipitazione media giornaliera sulla scatola supera i 10 mm/giorno. Confrontiamo in figura 3 le distribuzioni (in termini di frequenza tra pluviometri) di queste percentuali per il caso con e senza correzione orografica e per due diverse scelte di scala delle scatole ( $0.25^\circ$  e  $0.75^\circ$ ). Una procedura di disaggregazione ideale dovrebbe produrre distribuzioni piccate sul 95% (essendo questa la soglia scelta sopra per definire le bande). Notiamo come per entrambe le scale, anche senza correzione orografica, RainFARM sia in grado di produrre distribuzioni piccate attorno allo 0.95, confermando la validità della tecnica. L'inclusione di correzioni orografiche non ha effetti significativi (indistinguibili dall'errore di campionamento) per scatole di  $0.25^\circ$  di lato, mentre a scala più grande ( $0.75^\circ$ ) si osserva un significativo miglioramento dell'ensemble stocastico prodotto.

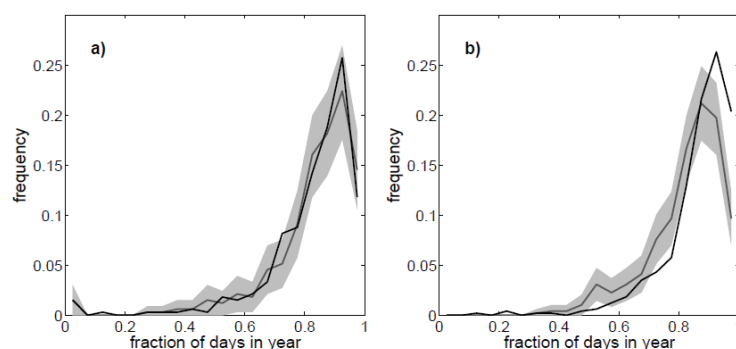


Figura 3 - Distribuzione della percentuale di giorni in cui, nel 2009, la precipitazione osservata cade all'interno delle bande al 95% delle precipitazioni generate da RainFARM, con (linea nera) e senza (linea grigia) correzione orografica. Le bande di confidenza grigie sono state da una stima binomiale dell'errore di campionamento. a) Scatole di lato  $0.25^\circ$ ; b) scatole di lato  $0.75^\circ$ .

## CONCLUSIONI

Riassumendo, i nostri risultati indicano che la dipendenza della precipitazione dalle caratteristiche orografiche è molto variabile e dipende dalla regione considerata e dal tipo di evento. Anche se su singole sottoregioni è possibile trovare correlazioni significative, non esiste una relazione universale e la

correlazione media su grandi aree è bassa. Questo risultato suggerisce che nella nostra area di studio un ruolo importante per la precipitazione sia giocato da pattern di circolazione atmosferica a mesoscala, come discusso in Ciccarelli et al. 2008. L'integrazione di un modello lineare a scala locale nella procedura di disaggregazione RainFARM, rivela che a piccole scale di  $0.25^\circ$ , la disaggregazione stocastica senza correzioni orografiche fornisce già da sola una buona rappresentazione della precipitazione osservata. Questo risultato è in linea con l'osservazione in Brussolo et al. 2009 che a queste scale, un semplice downscaling stocastico può avere la stessa *skill* nel riprodurre la precipitazione osservata, di un modello atmosferico di circolazione locale ad alta risoluzione. A scale più grandi ( $0.75^\circ$ ), l'introduzione di correzioni orografiche permette invece di aumentare significativamente la frazione di giorni in cui un ensemble stocastico generato con la disaggregazione contiene la precipitazione giornaliera osservata. Metodi di correzione orografica sono quindi importanti per disaggregare campi a scala più grande, come quelli prodotti dai modelli climatici globali.

## BIBLIOGRAFIA

- Brussolo, E., von Hardenberg, J., Ferraris, L., Rebora, N., Provenzale, A., (2008). *Verification of Quantitative Precipitation Forecasts via Stochastic Downscaling*. Journal of Hydrometeorology, 9(5), 1084.
- Brussolo, E., von Hardenberg, J., Rebora, N., (2009). *Stochastic versus Dynamical Downscaling of Ensemble Precipitation Forecasts*. Journal of Hydrometeorology, 10(4), 1051.
- Ciccarelli, N., von Hardenberg, J., Provenzale, A., Ronchi, C., Vargiu, A., Pelosini, R., (2008). *Climate variability in north-western Italy during the second half of the 20th century*. Global and Planetary Change, 63(2-3), 185–195.
- Ferraris, L., Gabellani, S., Rebora, N., Provenzale, A., (2003). *A comparison of stochastic models for spatial rainfall downscaling*. Water Resour. Res, 39(12), 1368.
- Frei, C., Schär, C., (1998). *A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations*. International Journal of Climatology, 18(8), 873–900.
- Nykanen, D. K. (2008). *Linkages between Orographic Forcing and the Scaling Properties of Convective Rainfall in Mountainous Regions*. Journal of Hydrometeorology, 9(3), 327.
- Rebora, N., Ferraris, L., von Hardenberg, J., Provenzale, A., (2006). *The RainFARM: Rainfall Downscaling by a Filtered AutoRegressive Model*. J. Hydrometeorol., 7, 724–738.

# **ANALISI DEGLI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA FREQUENZA DELLE PIENE MEDIANTE MODELLISTICA IDROLOGICA IN CONTINUO**

BROCCA LUCA<sup>1</sup>, CAMICI STEFANIA<sup>1</sup>, TARPANELLI ANGELICA<sup>1</sup>, MELONE FLORISA<sup>1</sup>, MORAMARCO TOMMASO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNR IRPI, Perugia, Italia, t.moramarco@irpi.cnr.it

## **RIASSUNTO**

Il presente studio propone una metodologia per la stima degli effetti dei cambiamenti climatici sulla frequenza delle piene. Tale metodologia si basa sull'uso accoppiato di modelli di generazione stocastica per le piogge e le temperature e di un modello afflussi deflussi di tipo continuo. I risultati ottenuti per quattro diversi bacini dell'Alto-Medio Tevere, hanno evidenziato che l'entità di tali effetti può essere legata alle caratteristiche geomorfologiche e di tipo/uso del suolo dei bacini investigati.

**Parole chiave:** cambiamenti climatici, frequenza delle piene, modellistica idrologica in continuo

## **INTRODUZIONE**

La conoscenza delle modificazioni climatiche in atto e delle relative tendenze costituisce uno strumento fondamentale per stimare gli effetti sulla ricorrenza dei fenomeni idrogeologici catastrofici, come gli eventi di piena. In tale ambito, la Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvione, suggerisce di tenere in conto il probabile impatto delle modificazioni climatiche sul verificarsi di alluvioni. In particolare, ci si attende che il cambiamento climatico contribuirà ad aumentare la probabilità e ad aggravare l'impatto negativo degli eventi di piena (Direttiva 2007/60/EC). Molti studi sono stati proposti per valutare l'impatto dei cambiamenti climatici sul ciclo idrologico ed in particolare sulle variazioni della frequenza delle piene. Generalmente tali studi possono essere articolati secondo tre fasi distinte e sequenziali. La prima, basata sull'uso di modelli di circolazione globale (Global Circulation Models, GCMs), è indirizzata a fornire scenari sul clima futuro a scala globale conseguenti all'incremento dei gas serra. La seconda, mediante l'uso di tecniche di downscaling, consente di trasferire i risultati dei GCMs alle scale compatibili con i modelli idrologici. La terza, mediante l'uso di modelli idrologici, riguarda la simulazione degli effetti dei cambiamenti climatici sul regime idrologico a varie scale (Xu et al. 2005).

In questo contesto, tale studio mira a valutare gli effetti dei cambiamenti climatici sugli eventi di piena in alcuni bacini dell'Alto-Medio Tevere, con area compresa tra 100 km<sup>2</sup> e 300 km<sup>2</sup>. Probabili scenari sono stati dedotti dall'uso integrato dei modelli di circolazione globale, GCMs, e del modello MISDc (Brocca et al 2010) che permette di trasformare le indicazioni fornite dai GCMs e riportate a scala locale, in termini di cambiamento nella portata massima annuale di bacini idrografici. Ulteriori informazioni sull'evoluzione climatica nell'Italia Centrale in termini di precipitazione sono state ottenute sulla base di lunghe serie temporali osservate nel bacino del Fiume Tevere.

## **METODOLOGIA**

L'analisi è basata sull'applicazione di un modello idrologico in continuo accoppiato con modelli di generazione stocastica di pioggia e temperatura alla scala temporale oraria. Tale accoppiamento permette di ottenere lunghe serie sintetiche di portata attraverso le quali, estraendo i massimi annuali, è possibile valutare la frequenza delle portate stesse con particolare riferimento ai valori estremi. La metodologia proposta è stata applicata considerando sia il clima attuale derivato dalle serie temporali di pioggia e temperatura osservate, sia le previsioni fornite dal modello GCM-HadCM3 dell'Hadley Centre per i due scenari A2 e B2 descritti nello "Special Report on Emission Scenarios" (SRES) e considerati di riferimento per due opposti modelli di sviluppo sociale, tecnologico e ambientale (IPCC 2002; Yu e Wang 2009). In particolare, per questo studio sono state considerate le variazioni medie mensili di

temperatura e di pioggia al 2020, 2050, 2080 assunte come previsione per i seguenti periodi temporali: breve termine (2010-2039), medio termine (2040-2069) e lungo termine (2070-2099). Tali variazioni sono state applicate alle serie di pioggia e temperatura osservate in quattro bacini dell'Alto-Medio Tevere ottenendo così tre serie "perturbate" rappresentative del periodo 2020, 2050 e 2080. Un'ulteriore serie "perturbata" di precipitazione è stata ottenuta applicando alla serie di pioggia osservata le variazioni stagionali fornite da Camici et al. (in stampa).

Per la generazione stocastica di pioggia e temperatura sono stati utilizzati, rispettivamente, il modello ad impulsi rettangolari di Neyman-Scott (NSRP, Cowpertwait et al. 1996) e il modello ARIMA a differenziazione frazionaria (FARIMA, Montanari et al. 1997). Le serie sintetiche così generate sono state utilizzate come dati di input del modello afflussi-deflussi in continuo MISDc (Brocca et al. 2010) sviluppato per la simulazione di eventi di piena nell'Alto bacino del Fiume Tevere.

## CASO DI STUDIO

Il bacino dell'Alto-MedioTevere è caratterizzato da un clima mediterraneo con precipitazioni medie annuali di circa 950 mm e con temperature medie annuali che variano da 5.5°C a 16°C. Per questo studio sono stati considerati i sottobacini dei torrenti: Niccone (137 km<sup>2</sup>), Caina (206 km<sup>2</sup>), Genna (91 km<sup>2</sup>) e Cerfone (284 Km<sup>2</sup>). Una densa rete di monitoraggio idro-meteorologico presente nell'area di studio, ha consentito di disporre di dati di pioggia e temperatura registrati dal Gennaio 1989 al Dicembre 2007 con risoluzione temporale oraria.

Per quanto riguarda le variazioni medie mensili di pioggia e temperatura fornite dal modello GCM-HadCM3 per l'Italia Centrale, la Figura 1 mostra il loro andamento in accordo agli scenari A2 e B2 presi come riferimento.

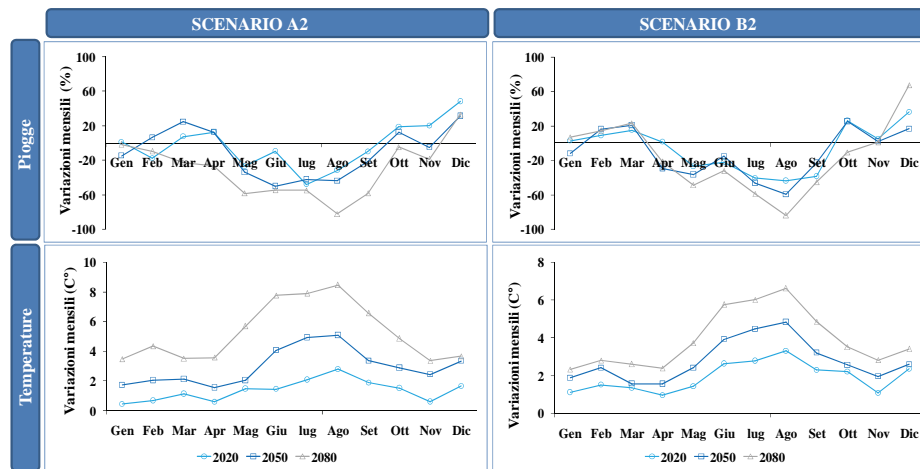


Figura 1 - Variazioni mensili di pioggia e temperatura secondo gli scenari A2 and B2 forniti dal modello GCM-HadCM3 per l'Italia Centrale.

Come si può vedere, nell'Italia Centrale è atteso un aumento sostanziale delle temperature fino a superare gli 8°C per lo scenario A2 e 6°C per lo scenario B2 per il 2080. Le piogge, in generale, presentano una tendenza alla diminuzione nel mese estivo per tutti gli orizzonti temporali, mentre nei mesi tra Ottobre e Aprile le variazioni oscillano tra -30% e 50%, sempre per il lungo termine.

Ulteriori informazioni riguardo l'evoluzione climatica nell'Italia Centrale in termini di pioggia sono state ottenute analizzando l'andamento temporale dei dati di precipitazione giornaliera registrati nelle stazioni del bacino del Fiume Tevere dal 1917 al 2008. Tale analisi ha evidenziato un trend lineare decrescente e una variabilità ciclica sia della precipitazione media annua che delle precipitazioni invernali ed autunnali con periodo tra i 15 e i 20 anni e ampiezza tra il 15 e il 20% (Camici et al. In stampa).

## RISULTATI E DISCUSSIONE

Per ciascun bacino il modello NSRP, calibrato sulle statistiche valutate con i dati di pioggia osservati nel periodo 1989-2007 e sulle serie "perturbate", è stato utilizzato per simulare 4 insiemi ciascuno con 10

serie di pioggia di 100 anni, rappresentativi delle condizioni climatiche attuali (1989-2007) e dei periodi 2020, 2050, 2080. Sono state eseguite più simulazioni al fine di considerare l'incertezza nelle serie di pioggia legata alla natura stocastica del modello stesso. Seguendo la procedura di calibrazione proposta da Montanari et al. (1997), anche il modello FARIMA è stato implementato ottenendo così 4 insiemi di 10 serie di temperatura, ognuna di 100 anni. Come per le piogge, i diversi insiemi riproducono l'andamento della temperatura per i periodi 1989-2007, 2020, 2050, 2080.

Le serie di pioggia e temperatura così ottenute sono state impiegate come input nel modello MISDc, precedentemente calibrato su eventi di piena significativi, per il calcolo della portata. Per ciascuno dei quattro orizzonti temporali oggetto dell'analisi, dalle serie sintetiche di portata sono stati estratti i valori massimi annuali, ottenendo così 10 curve di frequenza e determinando la curva di frequenza media (ottenuta dalle 10 curve) considerata come riferimento. Per ogni scenario A2 e B2, la curva di frequenza media è stata confrontata con quella stimata per il clima attuale, considerando dapprima la variazione della sola temperatura e successivamente la variazione di entrambe le grandezze. Dal confronto con i risultati ottenuti per il clima attuale è emerso che l'incremento della temperatura determina una variazione trascurabile nella stima della portata massima, mentre differenze significative sono state osservate considerando anche la variazione della pioggia. In particolare, lo scenario A2 risulta più critico per il breve termine (2020), con incrementi della portata massima fino al 78%; mentre per il lungo termine (2080) le differenze in valore assoluto risultano contenute entro il 15% per tutti i bacini ad eccezione del Torrente Caina per il quale si osserva una riduzione delle portate fino al 31%. Contrariamente, per lo scenario B2 le previsioni al 2080 determinano le portate più elevate. Considerando i due bacini contigui del Torrente Genna e del Torrente Caina e caratterizzati da regimi pluviometrici simili, la Figura 2 evidenzia differenti effetti dei cambiamenti climatici sui valori estremi della portata. In particolare, per lo scenario A2 si osserva un forte incremento della portata per il breve termine che tende a ridursi a lungo termine nel caso del Torrente Genna; mentre per il Torrente Caina si ha un incremento contenuto a breve termine e un decremento a medio e lungo termine. Tali differenze sono probabilmente legate al diverso grado di permeabilità dei suoli dei due bacini (maggiore per il Torrente Caina). Pertanto, le caratteristiche geomorfologiche e di uso/tipo di suolo possono avere un ruolo importante negli effetti dei cambiamenti climatici sulla frequenza delle piene.

Alle stesse considerazioni è possibile giungere se si estrae la curva di frequenza delle portate massime al 2050 calcolate a partire da serie di pioggia che riproducono le variazioni medie mensili di precipitazione evidenziate nell'Italia centrale da Camici et al. (in stampa), per la finestra temporale 2040-2069, e da serie di temperatura ottenute ipotizzando un trend lineare pari a  $0.02^{\circ}\text{C}/\text{anno}$ . Come è possibile notare in Figura 2, la curva di frequenza ottenuta per il Caina risulta molto prossima a quella calcolata per il 2050 per lo scenario A2, mentre rimane al di sotto di quest'ultima per il Genna fino a tempi di ritorno di 40 anni. In Figura 3 è mostrato l'andamento delle portate massime annue simulate per il periodo 2010-2070, dove si nota per entrambi i bacini un trend decrescente, simile a quello riprodotto nelle piogge con una ciclicità di 15 anni.

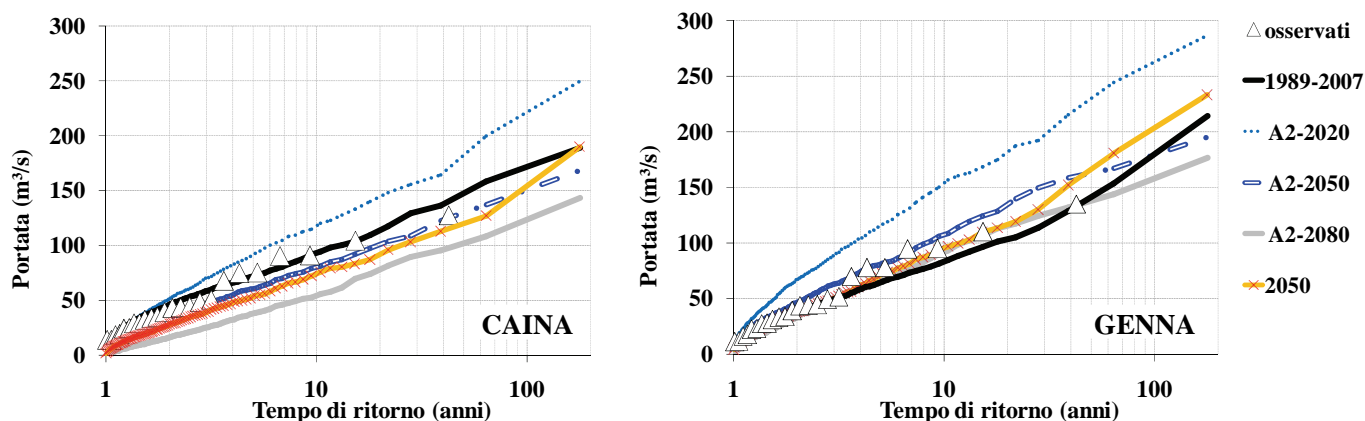


Figura 2- Frequenza delle piene: confronto tra le portate massime annuali osservate e simulate per il clima attuale (1989-2007), per lo scenario A2 con differenti orizzonti di previsione (A2-2020, A2-2050, A2-2080) e su osservazioni locali per l'orizzonte 2050.

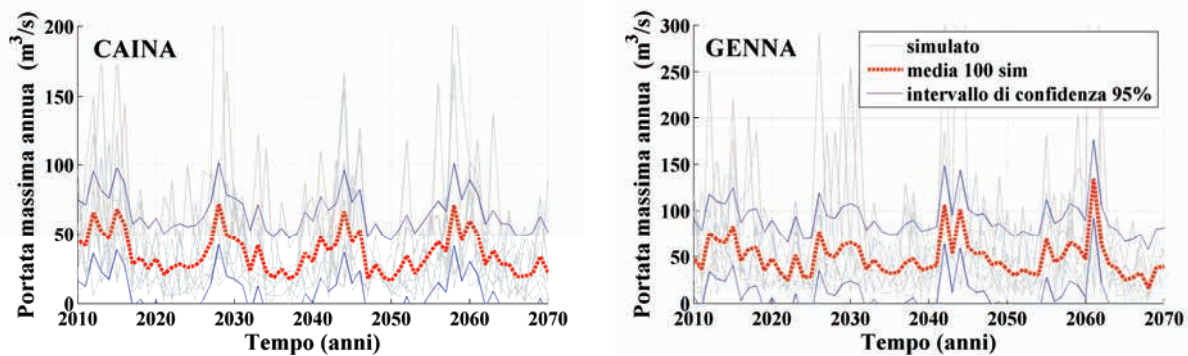


Figura 3 - Portate massime annuali simulate per il periodo 2010-2070 a partire dalle serie di pioggia che riproducono le variazioni medie mensili di precipitazione evidenziate nell'Italia centrale.

## CONCLUSIONI

La procedura proposta per l'analisi degli effetti dei cambiamenti climatici sul ciclo idrologico è risultata utile per valutare in quale misura la frequenza delle piene può esserne influenzata. Sulla base del modello HadCM3, i risultati ottenuti per quattro sottobacini localizzati in Italia Centrale hanno evidenziato che le caratteristiche geo-morfologiche e di uso del suolo possono avere un ruolo chiave nell'impatto sulla frequenza delle piene.

## BIBLIOGRAFIA

- Brocca, L., Barbeta, S., Melone, F., Moramarco, T., (2010), *A continuous rainfall-runoff model derived from investigations on a small experimental basin*, IAHS Publ. 336: 179-185.
- Cowpertwait, P.S.P., O'Connell, P.E., Metcalfe, A.V., Mawdsley, J.A., (1996), *Stochastic point process modelling of rainfall. I. Single-site fitting and validation*, J. Hydrol., 175: 17-46.
- IPCC, (2002), *Third Assessment Report. Climate Change (2001): Synthesis Report*, 397p. UK, Cambridge University Press.
- Montanari, A., Rosso, R., Taqqu, M.S., (1997), *Fractionally differenced ARIMA models applied to hydrologic time series: identification, estimation and simulation*, Water Resour. Res., 33: 1035-1044.
- Camici, S., Romano, E., Preziosi, E., Tarpanelli, A., Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T., (in stampa), *Analisi di trend e ciclicità di serie storiche pluviometriche per la modellazione stocastica di scenari di precipitazione in condizioni di cambiamenti climatici*, Atti delle Giornate di Studio "Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali. Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione", Bari, 10-11 Marzo 2011, sottomesso.
- Xu, C., Widen, E., Halldin, S., (2005), *Modelling hydrological consequences of climate change – Progress and Challenges*, *Advances in Atmospheric Sciences*, 22: 789-797.
- Yu, P.S., Wang, Y.C., (2009), *Impact of climate change on hydrological processes over a basin scale in northern Taiwan*, *Hydrological Processes*, 23(25): 3556-3568.



# LA DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELLA PIOGGIA E DELLA TEMPERATURA NEGLI USA

DE PAOLA FRANCESCO<sup>1</sup>, RANUCCI ANTONIO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Idraulica Geotecnica ed Ambientale, Università degli Studi di Napoli, Italia  
depaola@unina.it; antonio.ranucci@unina.it

## RIASSUNTO

Negli ultimi anni la letteratura scientifica internazionale si è andata con sempre maggiore attenzione occupando della valutazione e quantificazione dei trend delle temperature medie e delle precipitazioni meteoriche osservando modificazioni spazio-temporali a volte anche sostanziali. I cambiamenti, riguardano sia i valori medi annuali, che la distribuzione stagionale, i valori giornalieri, con differenze marcate sia a scala continentale che nazionale. Nel presente lavoro, con riferimento ad un database (contenente registrazioni di circa 8000 stazioni termometriche e circa 12000 stazioni pluviografiche per il periodo 1895-1997) disponibile sul sito dell'*Institute for Mathematics Applied to Geosciences* (<http://www.image.ucar.edu/Data/US.monthly.met/>) in America, è stata condotta un'analisi circa la correlazione spaziale sussistente tra la pioggia media annua  $P$  e temperatura media annua al suolo  $t$ . In particolare con l'ausilio della funzione copula si è cercato di mettere a punto un modello stocastico per definire la distribuzione di probabilità condizionata  $Pr(P(mm)|t(^{\circ}C))$ . Successivamente si è visto come variazioni di temperatura potessero influenzare la pioggia media annua.

**Parole chiave:** cambiamenti climatici, precipitazioni annue, temperature medie, US

## INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni il rischio connesso con i cambiamenti climatici è stato uno dei temi che si è andato sempre più diffondendo nella letteratura scientifica a livello mondiale, per le conseguenze sia di tipo economico che politico, riferito alle ricadute che esso può avere a scala territoriale sull'ambiente fisico. In particolare la correlazione statistica tra temperature e precipitazioni varia in funzione delle aree geografiche considerate pertanto è possibile riscontrare situazioni differenti spostandosi da una latitudine ad un'altra. Ad esempio diversi studi condotti considerando le precipitazioni in Italia degli ultimi 120 anni (Brunetti et al 2000; Buffoni et al 2003; Nanni et al 2007) hanno evidenziato un aumento delle temperature accompagnato da una lieve diminuzione delle precipitazioni totali; contestualmente si è riscontrata una forte diminuzione del numero di giorni piovosi con conseguente aumento dell'intensità delle piogge.

Rajagopalan & Lall (1998) hanno elaborato le misure di pioggia giornaliera, relative ad un periodo di circa 60 anni, di sette stazioni pluviografiche collocate tra gli stati dell'Idaho e dell'Arizona riscontrando che le precipitazioni negli ultimi anni non seguono un trend ma sono caratterizzate dalla tipica oscillazione meridionale El-Niño che comporta periodi di inondazioni che si alternano a periodi di siccità con una frequenza media di cinque anni e comunque compresa tra i tre e i sette anni.

Scopo del presente lavoro, quindi, è quello di investigare circa la correlazione spaziale sui valori medi temporali desunti a partire da serie storiche di precipitazioni e temperature sufficientemente lunghe. In particolare sono stati considerati i dati dell'*Institute for Mathematics Applied to Geosciences* (<http://www.image.ucar.edu/Data/US.monthly.met/>) in America, con riferimento ad un database contenente registrazioni di circa 8000 stazioni termometriche mensili e circa 12000 stazioni pluviografiche mensili per il periodo 1895-1997 (103 anni). Tra queste stazioni sono state, in questa fase, considerate solo quelle che avessero dati "misurati" per l'intero periodo di osservazione 103 anni (riducendo il campione a 286). Per queste stazioni si sono calcolate le piogge annue totali e la media delle temperature medie annue per tutti e 103 anni a disposizione. In particolare in fig. 1 si riporta la distribuzione spaziale (ricavata mediante una spline superficiale) della pioggia media annua  $hc$  e della relativa media delle temperature medie annue  $T$  al suolo per il periodo 1895-1997. Inoltre nella stessa figura è riportato il box-plot della pioggia media annua connesso alla media delle temperature medie

annue. Dal diagramma si nota come le maggiori dispersioni si ottengono per valori delle temperature comprese tra i 15 ed i 17 °C, mentre per valori inferiori ai 15 °C il box-plot sembra ammettere una certa dipendenza statistica tra tali variabili. Applicando sia il test di Spearman che quello di Kendall si sono ricavate le seguenti misure di correlazione di rango  $\rho_S = 0.518$  e  $\tau_K = 0.374$  rispettivamente, lasciando intendere quindi una certa correlazione statistica di tipo ordinale, almeno in termini spaziali delle due grandezze in argomento.

### DETERMINAZIONE DELLA FUNZIONE DI PROBABILITA' CONGIUNTA $P(h_c, T)$ MEDIANTE L'APPLICAZIONE DELLA FUNZIONE COPULA

Al fine di ricercare la distribuzione di probabilità congiunta  $P(h_c, T)$ , si è applicato l'approccio della funzione Copula (Genest & Rivest 1993; Nelsen 1999). Mediante l'applicazione del test di Genest, Remillard e Beaudoin (2009), a cui si rinvia per motivi di spazio, è stata stimata come migliore la copula di Gumbel il cui parametro è risultato essere  $\theta = 1.607$ . La copula di Gumbel-Hougaard presenta la seguente espressione:

$$C(u, v) = \exp\left\{-\left[(-\ln(u))^\theta + (-\ln(v))^\theta\right]^{1/\theta}\right\} \quad (1)$$

dove con  $u = P(h_c)$  e  $v = P(T)$  intendiamo rispettivamente le funzioni di distribuzioni di probabilità per le due grandezze pioggia annua media  $h_c$  e media delle temperature medie annue  $T$ . Mediante un'analisi di statistica inferenziale le funzioni  $P(h_c)$  e  $P(T)$  sono risultate essere rispettivamente la distribuzione *normale* di parametri  $\sigma = 334.82$  mm e  $\mu = 920.69$  mm e la distribuzione *gamma* di parametri  $\alpha = 7.571$  e  $\beta = 1.469$  °C.

Pertanto la funzione di distribuzione di probabilità bivariata risultante è la seguente:

$$P(h_c, T) = \exp\left\{-\left[\left(-\ln\left(\Phi\left(\frac{h_c - \mu}{\sigma}\right)\right)\right)^{1.607} + \left(-\ln\left(\frac{\Gamma_{T/\beta}(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}\right)\right)^{1.607}\right]^{1/1.607}\right\} \quad (2)$$

in cui  $\Phi$  è l'integrale di Laplace,  $\Gamma$  è la funzione gamma e  $\Gamma_z$  è la funzione gamma incompleta.

A questo punto la funzione di distribuzione di probabilità condizionata  $P(h_c|T)$  si ricava mediante la derivata parziale della funzione copula attraverso la seguente espressione

$$P(U \leq u | V = v) = \frac{\partial C(u, v)}{\partial v} = \left(\exp\left\{-\left[(-\ln(u))^\theta + (-\ln(v))^\theta\right]^{1/\theta}\right\}\right) \cdot \left[(-\ln(u))^\theta + (-\ln(v))^\theta\right]^{\frac{1}{\theta}-1} \cdot \left(\frac{(-\ln(v))^{\theta-1}}{v}\right) \quad (3)$$

dove al solito  $u = P(h_c)$  e  $v = P(T)$ .

Per poter ricavare il valore della pioggia media annua condizionata a quel valore della media della temperatura media annua occorre uguagliare la (3) al valore della frequenza campionaria espressa attraverso la plotting position di Weibull, ossia scrivere un'equazione di congruenza del tipo:

$$P(h_c^* | t = T) = F(h_c) \quad (4)$$

in questo modo è possibile valutare i valori  $h_c^*$  da confrontare con i valori di precipitazione annua  $h_c$  riportati in fig.1. Dall'analisi si è evinto come la funzione di probabilità condizionata espressa dalla (3) fornisca dei risultati abbastanza soddisfacenti se si pensa, ad esempio, che nella fascia  $\pm 20\%$  è compresa più della metà del territorio USA.

Confortati da questo risultato, si è ammesso un aumento della media delle temperature medie annue di 2°C ( $t = T + 2^\circ\text{C}$ ) e si è diagrammata (fig. 2) la corrispondente distribuzione spaziale della pioggia totale annua cumulata.

L'incremento ipotizzato è compatibile con l'accordo siglato a Copenaghen durante la conferenza mondiale sul clima del dicembre del 2009, tra gli Stati Uniti e alcuni Paesi in via di Sviluppo (India, Cina, Brasile e Sud Africa), di cui tutti gli altri hanno preso atto e che prevede, tra l'altro che tutti gli Stati membri si impegnino a prendere le misure necessarie a mantenere l'aumento di temperatura del Pianeta al di sotto dei *due gradi centigradi* (Climate Change Conference 2009).

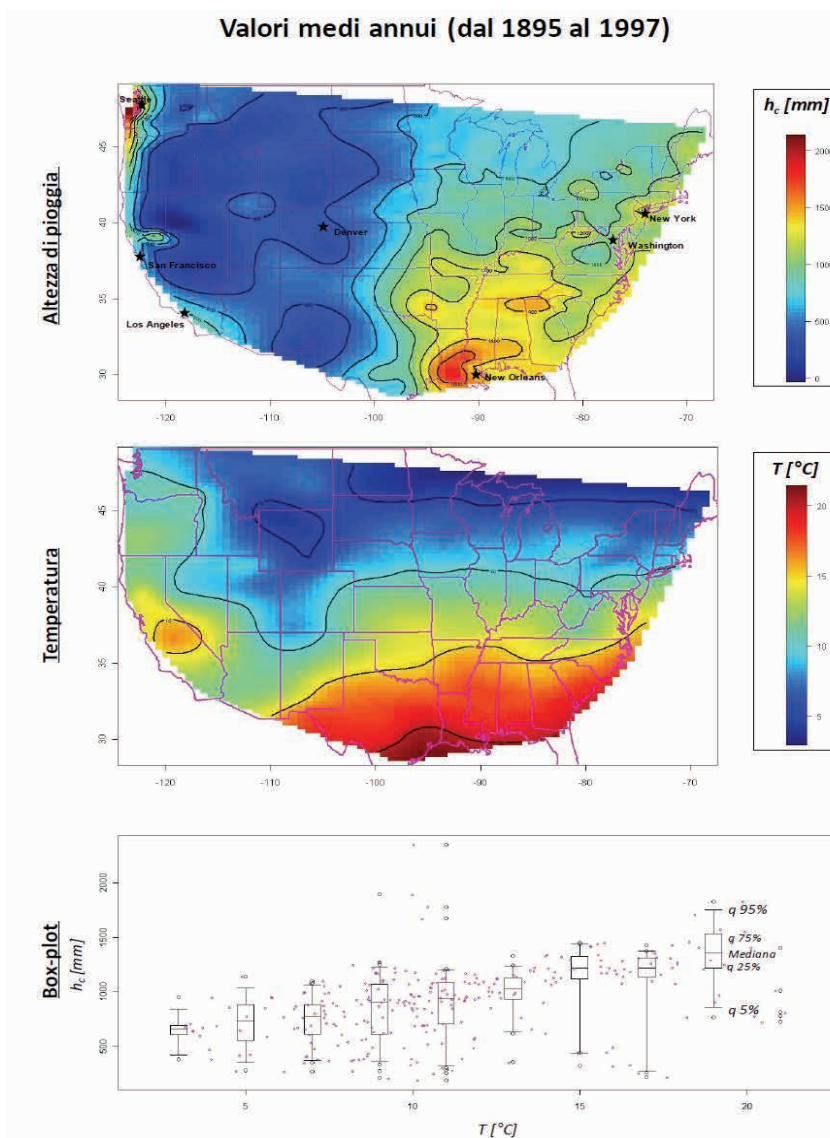


Fig. 1 – (a) Distribuzione spaziale della pioggia media annua; (b) Distribuzione spaziale della media delle temperature medie annue; (c) Box-plot della pioggia rispetto alla temperatura.

Dalla figura 2 si evince che le variazioni di pioggia connesse alle variazioni di temperature non mostrano un chiaro trend; almeno dal punto di vista statistico, quindi, non è possibile prevedere a chiare lettere per l'intero territorio statunitense quali saranno le variazioni di pioggia (aumento o diminuzione) collegate ad una aumento della temperatura di 2°C. Infatti da alcune elaborazioni all'uopo effettuate, si evince che la porzione di territorio interessata da un aumento della piovosità cumulata annua è maggiore di non più del 30% di quella relativa ad una riduzione complessiva della piovosità cumulata annua. Tale percentuale si incrementa se si considera un aumento della temperatura media di +4°C.

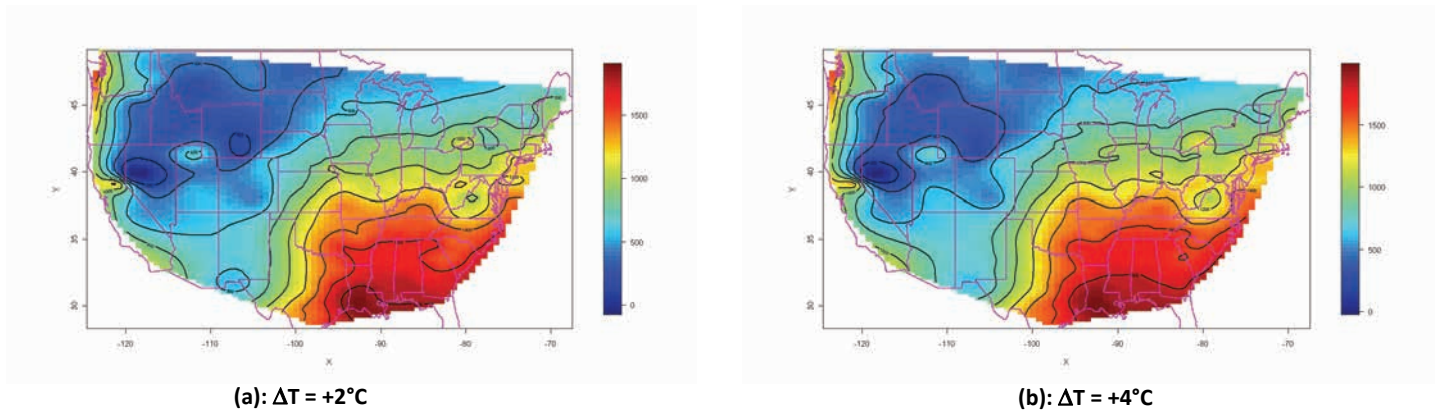


Fig. 2 – Distribuzione spaziale della precipitazione ottenuta attraverso la (5), per un incremento della temperatura  $\Delta T$ : (a) di  $2^{\circ}\text{C}$  e (b) di  $4^{\circ}\text{C}$ .

## CONCLUSIONI

Nel presente studio, con riferimento ad un database (contenente registrazioni di circa 8000 stazioni termometriche e circa 12000 stazioni pluviografiche per il periodo 1895-1997) disponibile sul sito dell'*Institute for Mathematics Applied to Geosciences* (<http://www.image.ucar.edu/Data/US.monthly.met/>) in America, è stata condotta un'analisi circa la correlazione spaziale sussistente tra la pioggia media annua  $P$  e temperatura media annua al suolo  $t$ . In particolare con l'ausilio della funzione Copula si è messo a punto un modello stocastico per definire la distribuzione di probabilità condizionata  $\Pr(P(\text{mm})|t(^{\circ}\text{C}))$ . Successivamente si è visto come, dal punto di vista statistico, un incremento nella temperatura media dai  $2$  ai  $4^{\circ}\text{C}$ , non comporterebbe un significativo aumento della piovosità.

## BIBLIOGRAFIA

- Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., (2000). *Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995*. Theor. Appl. Climatol., 65, 165-174.
- Buffoni, L., Brunetti, M., Mangianti, F., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T., (2003). *Ricostruzione del clima Italiano negli ultimi 130 anni e scenari per il XXI secolo*, Atti Workshop CLIMAGRI – Cambiamenti Climatici e Agricoltura, Cagliari, 16-17 gennaio 2003.
- Genest, C., Rivest, L., (1993). *Statistical Inference Procedures for Bivariate Archimedean Copulas*, Journal of the American Statistical Association 88, 1034-1043.
- Genest, C., Remillard, B., Beaudoin, D. (2009). *Goodness-of-fit tests for copulas: A review and a power study*. Insurance: Mathematics and Economics, 44, 199-214.
- Nanni, T., Brunetti, M., Maugeri, M., (2007). *Variazioni climatiche in Italia negli ultimi due secoli*, Arpa rivista anno X, n.1, 13-15.
- Nelsen, R.B., (1999). *An Introduction to Copulas*. ISBN 0-387-98623-5.
- Rajagopalan, B., U., Lall, (1998). *Locally Weighted Polynomial Estimation of Spatial Precipitation*, J. of Geographic Information and Decision Analysis, 2(3), 48-57.
- The IPCC Third Assessment Report, Climate Change 2001.
- The United Nations Climate Change Conference in Copenhagen, 7-19 December 2009.

## SCENARI DI CAMBIAMENTO CLIMATICO LOCALE A MEDIO TERMINE (50 ANNI) E POSSIBILI RICADUTE SUI PROGETTI MINI IDROELETTRICI

DEMATTEIS ANTONIO<sup>1</sup>, FILIPPI MARIA LETIZIA<sup>2</sup>, DEMATTEIS NICCOLÒ<sup>3</sup>, MURGESE DAVIDE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SEA Consulting s.r.l., Torino, dematteis@seaconsult.eu

<sup>2</sup> Libero Professionista, Alpignano (TO)

<sup>3</sup> Dipartimento di Fisica Generale, Università di Torino

### RIASSUNTO

Questa breve nota intende illustrare l'esperienza maturata dagli autori nell'applicare gli scenari di cambiamento climatico locale a medio termine (50 anni) alla progettazione di mini impianti idroelettrici. Poiché tutte le simulazioni prodotte dai modelli climatici prevedono per l'Europa una modifica del clima nei prossimi decenni, spesso rappresentata da una diminuzione delle precipitazioni, diventa sempre più strategico inserire questi scenari nei progetti delle opere che sfruttano la risorsa idrica. L'elevato grado di incertezza delle previsioni climatiche a medio termine rende difficile la quantificazione delle possibili ricadute sulla produzione elettrica. L'integrazione dell'analisi a livello di studio idrologico è confrontata ad un approccio di analisi economica che applica un fattore di riduzione forfettario del ricavo proveniente dalla vendita dell'energia.

**Parole chiave:** clima, energia, mini idroelettrico

### GLI SCENARI DI CAMBIAMENTO CLIMATICO

A partire dagli anni '70 sono stati condotti un numero sempre maggiore di studi per lo sviluppo di modelli climatici allo scopo di ottenere previsioni a medio-lungo termine a scala globale (si veda per approfondimenti IPCC 2007, WG1, cap. 8). La risoluzione dei dati prodotti da questi modelli globali (grigliato di 100-300 km di lato) appare ancora insufficiente per quei settori (agricoltura, energia, geologia) che necessitano di informazioni su scala molto inferiore. Negli ultimi anni sono quindi stati sviluppati diversi metodi per la simulazione con risoluzione maggiore, a scala regionale, fino a raggiungere dimensioni di griglia di 10 km (Christensen et al. 2007): questo approccio è noto come downscaling statistico.

**Previsioni per l'Europa.** I risultati ottenuti per un'area come l'Europa con i modelli regionali hanno mostrato un incremento della temperatura media maggiore di quello previsto dai modelli globali per il resto del pianeta. In generale, le alte latitudini nord (in particolare l'Artico) sono le aree più soggette a cambiamenti climatici a causa della disposizione dei continenti in questo emisfero (l'emisfero boreale è coperto al 70% da terre emerse, che risentono maggiormente dell'aumento di temperatura, per esempio per il basso potere calorico). In Europa è previsto un riscaldamento medio annuo pari a +2,3-5,2°C, più marcato in inverno, e un aumento delle precipitazioni invernali nelle zone settentrionali e una diminuzione delle stesse in estate nell'area mediterranea (Figura 1). Le simulazioni indicano che tale riscaldamento porterà all'accorciamento del periodo invernale di 1-3 mesi e una diminuzione delle precipitazioni nevose, sebbene queste potrebbero aumentare nelle aree di alta montagna e in Scandinavia. Per gli eventi estremi si prevede un aumento della variabilità annua ed una crescita del numero di ondate di caldo in estate, dalle 20 alle 100 volte.

**Previsioni per l'area alpina.** Per quanto riguarda l'area alpina (Grande Regione Alpina Italiana, GAR), il lavoro di Faggian e Giorgi (2009) valuta le più recenti proiezioni sui cambiamenti climatici futuri di una ventina di modelli climatici globali, con un focus specifico sulla regione italiana ed in particolare sulla GAR.

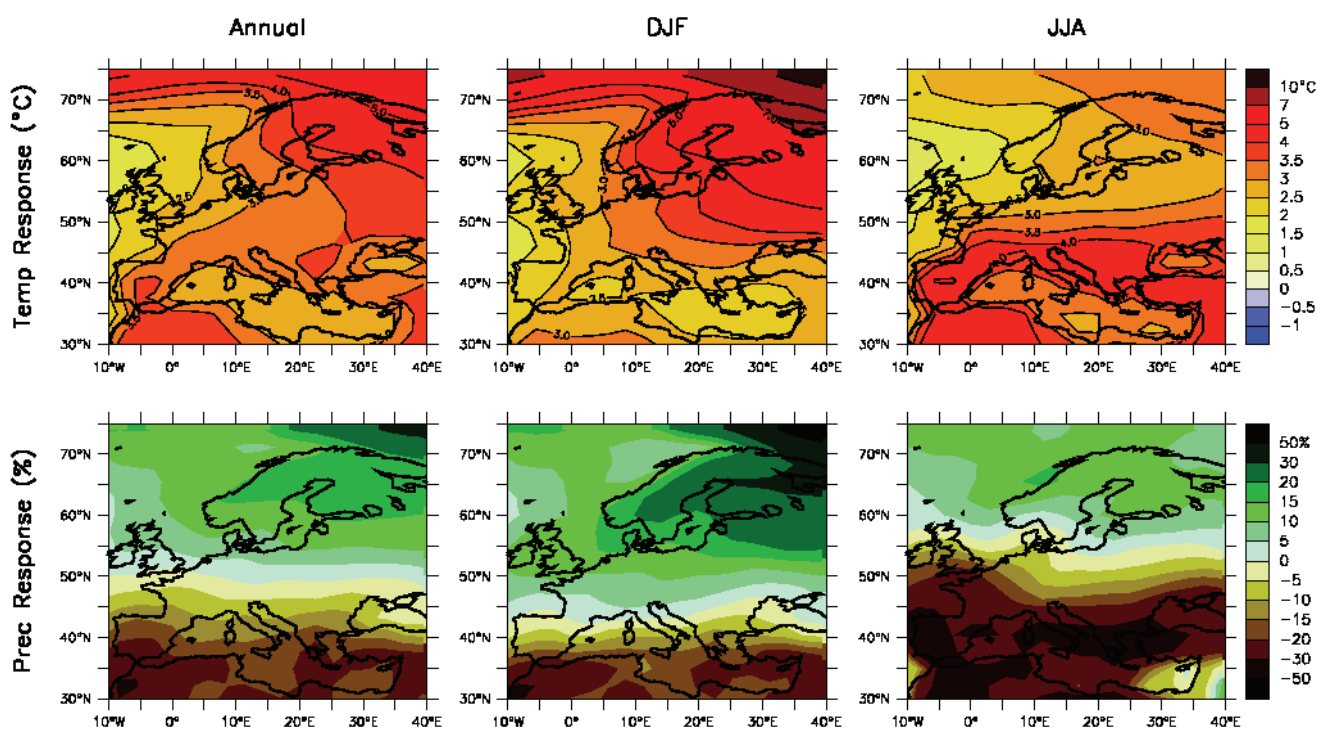


Figura 1 – Scenari di temperatura e precipitazione in Europa. La prima riga rappresenta la previsione delle temperature medie nello scenario A1B nel 2080-2099 rispetto a 1980-1999. La seconda riga rappresenta la previsione delle precipitazioni medie nello scenario A1B nel 2080-2099 rispetto a 1980-1999 (Christensen et al. 2007)

Considerato tutti gli scenari e tutti i criteri di media, i modelli proiettano un aumento della temperatura media annuale di 2-4° nel periodo 1990-2100, con un aumento maggiormente pronunciato in estate e un riscaldamento di grandezza simile per aree ad alta e bassa altitudine (considerata la quota di 400 m di altezza come limite di demarcazione). I modelli proiettano invece una riduzione nella precipitazione annuale media nello stesso periodo, sia sopra l'Italia che nella regione alpina. Questa riduzione è più pronunciata sull'Italia, poiché sul GAR si prevede un leggero aumento di precipitazioni della stagione invernale. Parallelamente i colleghi svizzeri (OcCC/Proclim 2007) calcolano che nel 2050 in Svizzera la temperatura media aumenterà di 1,8°C in inverno e 2,7° in estate, mentre le precipitazioni invernali aumenteranno dell'8-11%, e quelle estive diminuiranno del 17-19% (per l'estate l'area di incertezza è particolarmente ampia) (Figura 2).

## RICADUTE SULLA PROGETTAZIONE DEGLI IMPIANTI IDROELETTRICI

Poiché tutte le simulazioni numeriche prodotte dai modelli climatici prevedono per l'Europa e anche per aree più ristrette (es. GAR, Svizzera) una modifica del clima nei prossimi decenni, diventa sempre più importante inserire questi scenari nelle progettazioni delle opere che sfruttano la risorsa idrica, come ad esempio gli impianti idroelettrici, irrigui e potabili.

La previsione della producibilità di un impianto idroelettrico è ovviamente basata sulla previsione della disponibilità idrica del bacino, oltre che dal salto netto disponibile. Lo studio idrologico che viene svolto per la definizione dei parametri chiave del progetto, che sono rappresentati dalla portata media, dalla portata calcolata e dalla potenza dell'impianto (ESHA 2004), classicamente è sviluppato sulla base dell'analisi del bacino idrologico secondo una metodologia consolidata. Il modello concettuale idrogeologico che generalmente viene considerato è sempre del tipo mostrato nella figura 3.

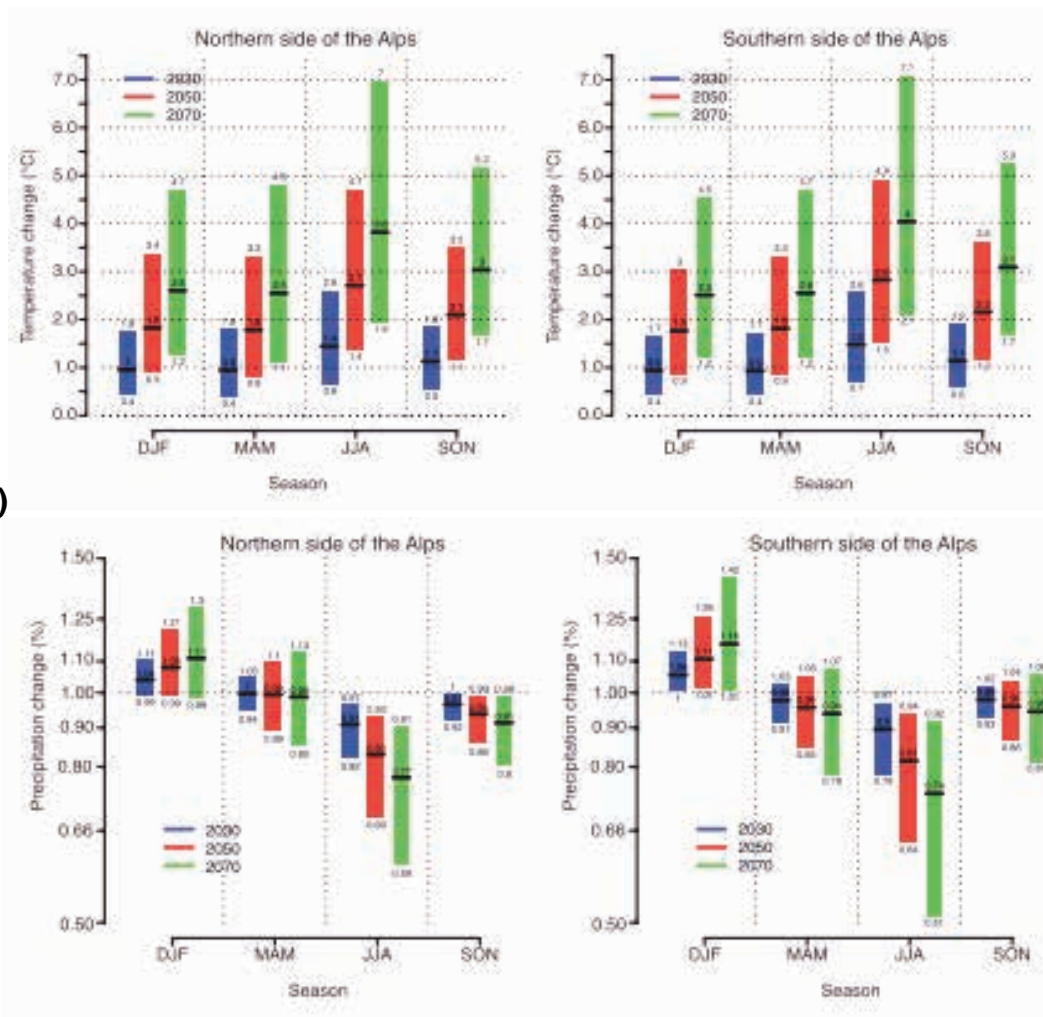


Figura 2 – Cambiamento della temperatura (a) e delle precipitazioni (b) medie sulle Alpi in inverno (DJF), primavera (MAM), estate (JJA) e autunno (SON); (OcCC/Proclim 2007).

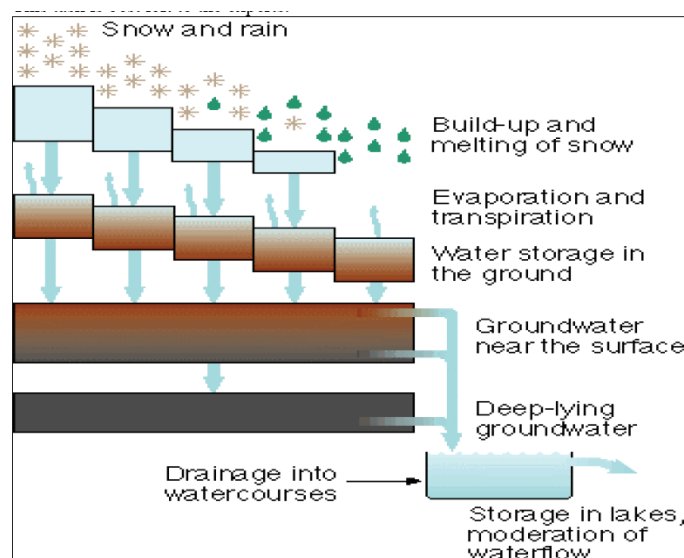


Figura 3 - Componenti del modello idrologico (da ESHA 2004)

L'acqua che fluisce da monte a valle del bacino perde energia potenziale in funzione del dislivello che compie. Considerando due punti A e B nel bacino, il calcolo di conversione dell'energia potenziale persa tra il punto A e il punto B in potenza è descritto dall'equazione  $P = Q H \gamma$ , dove P è la potenza persa

dall'acqua in kW,  $Q$  è la portata in  $m^3/s$ ,  $H$  è il salto netto in m tra due punti del bacino e  $\gamma$  è il peso specifico dell'acqua ( $9.81 \text{ kN/m}^3$ ). E' evidente che, una volta definito il salto  $H$ , la previsione della portata  $Q$  risulta il parametro fondamentale per sviluppare l'analisi economica dell'impianto e definire la redditività dell'investimento. Il calcolo di  $Q$  si basa classicamente sull'analisi statistica del dato storico misurato alle sezioni idrauliche nei corsi d'acqua. Successivamente, nel caso frequente in cui il bacino in questione non disponga di misure alla sezione dell'opera di presa, differenti approcci di regionalizzazione del dato misurato permettono di ottenere la previsione della portata specifica locale.

## CRITICITA' PROGETTUALI

Applicare i risultati degli scenari climatici alle progettazioni delle infrastrutture di gestione e sfruttamento dell'acqua rientra nell'obiettivo di attuare misure di adattamento al cambiamento climatico (Cacciamani et al. 2010). Allo stesso tempo, queste applicazioni tendono generalmente a evidenziare una riduzione, almeno nella zona europea, delle produttività energetiche calcolate sull'analisi statistica del dato storico. Nella pratica degli studi applicati alla realizzazione delle infrastrutture sopracitate questo aspetto è di difficile approccio, almeno per quanto riscontrato dagli autori. Ciò è dovuto all'ancora scarsa diffusione di previsioni climatiche a medio termine disponibili in letteratura a scala regionale ridotta e all'elevato grado di incertezza delle previsioni stesse, anche utilizzando il confronto tra modelli previsionali differenti. Questa incertezza, che si riflette sull'affidabilità delle previsioni di produzione energetica, rende difficile giustificare la sostenibilità (o la non sostenibilità) degli investimenti sulla base del confronto tra i costi previsti e le produzioni attese.

Gli afflussi sul medio periodo (50 anni) simulati dai modelli climatici regionali molto spesso non vengono integrati nello studio idrologico del progetto. In alcuni casi, ma non in tutti, l'eventuale riduzione degli afflussi indicata dai modelli climatici viene considerata a livello del quadro economico, applicando un fattore di riduzione forfettario del ricavo proveniente dalla vendita dell'energia. Questa pratica è certamente imprecisa, ma si giustifica considerando, come già detto sopra, la notevole incertezza del dato di ingresso proveniente dai modelli climatici. Se da un lato sarebbe auspicabile un'analisi più accurata degli afflussi, dall'altro si preferisce non inserire un elemento supplementare di incertezza, non quantificata.

## BIBLIOGRAFIA

- Christensen, J.H., B., Hewitson, A., Busuioc, A., Chen, X., Gao, I., Held, R., Jones, R.K., Kolli, W.,T., Kwon, R., Laprise, V., Magaña Rueda, L., Mearns, C., G., Menéndez, J., Räisänen, A., Rinke, A., Sarr, P., Whetton, (2007). *Regional Climate Projections*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M., Tignor H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press.
- Cacciamani, C., Pavan V., Tomozeiu R., Pelosini R. (2010). *Cambiamenti climatici, impatti e adattamento*. *Ecoscienza*, 2, 25-28.
- European Small Hydropower Association – ESHA, (2004). *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant*. esha@arcadis.be, 151 pp
- Faggian, Giorgi (2009). An analysis of global model projections over Italy, with particular attention to the Italian Greater Alpine Region (GAR). *Climatic change*, 96: 239-258.
- IPCC, (2007) Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland. pp 104
- OcCC/ProClim. 2007. *Climate Change and Switzerland 2050. Expected Impacts on Environment, Society and Economy*. Bern.



# EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUI GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI

## Rischi associati e nuove metodologie d'indagine

BERTOTTO STEFANIA<sup>1</sup>, FIORASO GIANFRANCO<sup>2</sup>, GIARDINO MARCO<sup>3</sup>, NIGRELLI GUIDO<sup>1</sup>, PEROTTI LUIGI<sup>3</sup>,

SANCHEZ PALOMO ESTEFANIA<sup>1</sup>, CHIARLE MARTA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CNR IRPI, Torino, Italia, stefania.bertotto@irpi.cnr.it

<sup>2</sup> CNR IGG, Torino, Italia

<sup>3</sup> DITAG, Università di Torino, Italia

### RIASSUNTO

Il presente studio si inserisce nel progetto Alcotra 2007-2013 n.56 GlaRiskAlp (Rischi Glaciali nelle Alpi Occidentali) e considera l'influenza del cambiamento climatico sulle zone glaciali e periglaciali dell'arco alpino piemontese, con specifica attenzione ai fenomeni d'instabilità in atto e attesi. Lo studio si avvarrà di metodologie innovative, basate sull'integrazione di tecnologie tradizionali ed avanzate, che troveranno applicazione in particolare nel monitoraggio di aree ad elevata criticità geomorfologica. I risultati del progetto contribuiranno al progresso delle conoscenze scientifiche sugli impatti del cambiamento climatico sull'alta montagna, ma forniranno anche indicazioni significative per la gestione di questi territori da parte della pubblica amministrazione.

**Parole chiave:** Geomatica, ghiacciai, instabilità geomorfologica

### INTRODUZIONE

Clima e ghiacciai sono un binomio inscindibile. Infatti, da sempre, gli studi che si occupano di cambiamento climatico hanno evidenziato la stretta dipendenza della dinamica glaciale dal clima e, dunque, il valore dei ghiacciai quali sensibili indicatori di variazioni climatiche (Haeberli *et al.* 2002). Al contempo, anche le aree periglaciali evolvono con rapidità per effetto dell'azione morfogenetica esplicata dai ghiacciai durante le fasi di avanzata e di regresso.

Questo continuo divenire dell'ambiente d'alta montagna non di rado si associa a fenomeni di instabilità naturale, talora caratterizzati da un elevato grado di pericolosità: ne sono un chiaro esempio alcune manifestazioni impulsive quali crolli di roccia e ghiaccio, rotte glaciali e fenomeni improvvisi di trasporto in massa (Chiarle & Mortara 2008).

La pulsazione della Piccola Età Glaciale (PEG, sviluppatasi tra il 1450 e il 1850 circa) ha lasciato apparati morenici di dimensioni significative, in relazione all'intervallo relativamente breve di deposizione. Si tratta di sedimenti poco consolidati in aree sovente ad elevata acclività, soggetti all'azione di modellamento della gravità e dell'acqua, e pertanto facilmente rimobilizzabili. La sempre più capillare frequentazione turistica e l'accresciuta antropizzazione delle aree di alta quota rende i processi sopra descritti un elemento di rischio spesso trascurato a causa dell'ubicazione remota delle aree di innesco.

L'accelerazione del cambiamento climatico avvenuta negli ultimi decenni (Pachauri & Reisinger 2007) ha innescato una sempre più drastica modificazione degli ambienti glaciali e periglaciali: a questo punto, il rischio associato a questi fenomeni non può più essere trascurato. In questo contesto si inserisce il progetto Alcotra 2007-2013 n. 56 GlaRiskAlp (Rischi Glaciali nelle Alpi Occidentali), finalizzato all'identificazione delle aree a maggior criticità in ambiente glaciale e periglaciale nell'arco alpino occidentale e all'individuazione delle più idonee metodologie d'indagine, con particolare attenzione a quelle di carattere innovativo.

Il progetto coinvolge la Francia (Université de Savoie e CNRS) e l'Italia (FMS – capofila del progetto, ARPA Valle d'Aosta, CNR-IRPI Torino). Il presente contributo si propone di illustrare obiettivi e metodologie del progetto, con specifico riferimento alle attività di competenza del CNR-IRPI di Torino, relative al territorio piemontese.

## INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

L'areale oggetto di studio comprende gruppi montuosi glacializzati delle Alpi Marittime (Clapièr, Corburant, Argentera), Cozie (Monviso, Ambin) e Graie (Rocciamelone, Levanne, e il versante piemontese del Gran Paradiso). L'estensione di tali aree glaciali si è sensibilmente ridotta negli ultimi decenni (Fig.1): nel 1958 l'area complessiva era stimata in 13.800 ha, nel 1989 in 12.500 ha (Ajassa *et al.* 1997), con una perdita approssimativa del 10%. Non sono disponibili dati complessivi più aggiornati per le aree oggetto d'indagine, tuttavia alcune indicazioni possono essere tratte da studi a carattere più generale o riguardanti singoli ghiacciai.



Fig.1 – Il confronto fotografico evidenzia la drastica contrazione areale e volumetrica del Ghiacciaio di Galambra (Alpi Cozie, Valle di Susa) avvenuta in un sessantennio.

Zemp *et al.* (2008) hanno calcolato, nonostante la grande variabilità nel tasso di decrescita delle superfici glaciali, che le Alpi Occidentali negli ultimi 150 anni hanno subito globalmente una diminuzione di circa il 50% della copertura di ghiaccio e neve. Secondo Mercalli *et al.* (2009) i ghiacciai del Gran Paradiso già nel 1991 presentavano una perdita areale del 50% rispetto all'estensione raggiunta durante la PEG.

Alla diminuzione dello spessore e dell'area dei ghiacciai si accompagnano l'innalzamento della quota delle fronti e del limite delle nevi. Questi fenomeni comportano notevoli modificazioni non solo degli apparati glaciali stessi ma anche della morfologia delle zone circostanti: aumento delle coperture detritiche sulle superfici ghiacciate, affioramento di zone rocciose prima ricoperte da ghiaccio e neve, con conseguente frammentazione delle unità glaciali e accelerazione dei processi di neoformazione o espansione di specchi lacustri di pertinenza glaciale. Si verificano inoltre importanti conseguenze per l'idrologia, con alterazione dei regimi dei corsi d'acqua glaciali e riduzione delle riserve idriche dei bacini montani, nonché complessi fenomeni gravitativi in alta quota connessi a rimobilizzazioni in massa dei sedimenti glaciali (earth flow, debris flow) e alla degradazione del permafrost alpino (rock fall / avalanche, ice avalanche).

## OBIETTIVI E METODOLOGIE DI INDAGINE

Il progetto ha come obiettivo, in primo luogo, la realizzazione e messa in rete di un catasto informatizzato dei ghiacciai e delle adiacenti zone periglaciali, di una banca dati sui fenomeni d'instabilità in ambiente glaciale, ad integrazione delle banche dati esistenti (es. banche dati dei progetti GlacioRisk, PermaDataRoc), al fine di individuare le zone sensibili propense a generare, nel breve e medio termine, fenomeni di instabilità. Il progetto, per quanto riguarda il contributo del CNR-IRPI, si articola in due tipi di attività: uno studio a carattere regionale e alcuni approfondimenti a scala locale su siti pilota. Gli obiettivi dello studio regionale sono l'ubicazione e la caratterizzazione geomorfologica delle aree glacializzate e recentemente deglacializzate (a partire dal termine della PEG) e dei laghi glaciali, nelle province di Torino e Cuneo, per poter definire le tipologie di instabilità, in atto ed attese, e la propensione delle zone sensibili a generare fenomeni di instabilità. Gli studi verranno condotti attraverso rilevamenti diretti sul terreno, anche mediante l'utilizzo di tecniche GNSS (particolarmente utili in aree quali quelle indagate, dove la topografia è in continua evoluzione), l'osservazione di foto aeree e ortofoto, indagini

bibliografiche e d'archivio. La fotointerpretazione è un valido strumento d'indagine sovente indispensabile quando l'inaccessibilità e la pericolosità dei luoghi limitino fortemente l'osservazione diretta. L'analisi multitemporale delle foto aeree consente la ricostruzione delle trasformazioni geomorfologiche delle aree in esame (presso il CNR-IRPI sono presenti riprese a partire dagli anni Cinquanta del secolo scorso). Gli approfondimenti di studio su alcuni siti pilota, scelti in funzione della rappresentatività delle problematiche che il progetto si propone di analizzare, forniranno un contributo per una migliore comprensione della morfogenesi dei luoghi e delle dinamiche evolutive dei fenomeni d'instabilità. Si potranno pertanto fornire agli Enti decisori utili elementi conoscitivi funzionali alla gestione del territorio e alla mitigazione del rischio glaciale, applicabili non soltanto al contesto territoriale specifico, ma, più in generale, in tutte le situazioni che presentino caratteristiche simili. I ghiacciai selezionati all'interno di un sito pilota verranno analizzati utilizzando aerofotografie digitali che verranno elaborate tramite software fotogrammetrici per ottenere prodotti cartografici quali ortofoto e modelli digitali del terreno (DEM), attraverso i quali sarà ad esempio possibile stimare le variazioni areali e volumetriche delle masse glaciali intercorse negli ultimi decenni (Fig. 2).

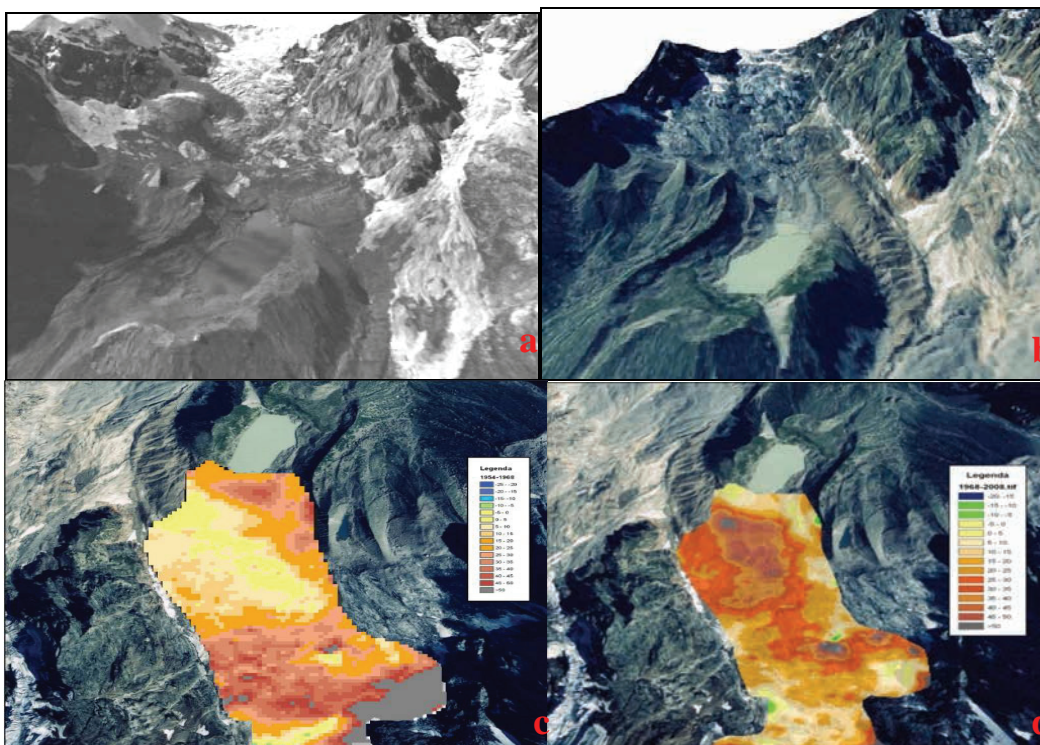


Fig. 2 - Esempi di prodotti ottenibili da elaborazioni fotogrammetriche riferite al Gh. Settentrionale delle Locce (Valle Anzasca): modelli 3D di ortofotoimmagini ricavate dal volo IGM 1968 (a) e dal volo CGR 2008 (b); carta della variazione superficiale nel periodo 1954-1968 (c) e 1968-2008 (d) (da Bertotto 2009). In rosso risultano evidenziate le maggiori perdite di spessore.

L'applicazione delle immagini multi e iper-spettrali potrà essere impiegata anche per individuare l'eventuale presenza di ghiaccio sepolto e di laghi glaciali e periglaciali. Infine, in aree campione in cui siano stati accertati fenomeni di instabilità un monitoraggio tramite laser scanner terrestre potrebbe consentire di seguire l'evoluzione dei fenomeni stessi e fornire una stima di volumi coinvolti e velocità di movimento.

## RISULTATI ATTESI

I risultati attesi per i settori studiati riguardano: a) una cartografia geomorfologica di dettaglio riguardante i ghiacciai e le aree periglaciali; b) l'implementazione di una banca dati sui fenomeni d'instabilità; c) una nuova mappatura dei ghiacciai italiani, a partire dal Catasto dei Ghiacciai Italiani (CNR-CGI 1959-1962). I dati riguardanti i fenomeni di instabilità e le variazioni multi-temporali dei ghiacciai verranno raccolti

in schede, utilizzando quando possibile i criteri già utilizzati da catasti esistenti (WGI e GLIMS): tale lavoro verrà svolto per i ghiacciai piemontesi, ma in futuro potrebbe essere esteso a tutti i ghiacciai italiani. Infine in alcuni siti pilota verranno messe a punto metodologie innovative che permetteranno lo studio approfondito delle variazioni di alcuni ghiacciai e il monitoraggio delle criticità geomorfologiche.

## CONCLUSIONI

In un frangente climatico caratterizzato da un rialzo termico globale a cui le Alpi stanno rispondendo con sorprendente prontezza, le competenze acquisite in corso d'opera e le metodologie sviluppate potranno fornire strumenti e dati per lo studio dell'evoluzione degli ambienti glaciali e periglaciali alpini.

Sarà così possibile mettere a disposizione della comunità scientifica e degli enti territoriali elementi per affrontare le pericolosità in atto e future, e per attivare strategie socio-economiche che consentano di fronteggiare il progressivo depauperamento delle masse glaciali e delle trasformazioni attese nel paesaggio alpino.

## BIBLIOGRAFIA

- Ajassa, R., Biancotti, A., Biasini, A., Brancucci, G., Carton, A., Salvatore, M.C., (1997). *Changes in the number and area of Italian Alpine Glaciers between 1958 and 1989*. Geogr. Fis. Din. Quat, 20, 293-297.
- Bertotto, S., (2009). *Analisi fotogrammetrica multitemporale del ghiacciaio Nord delle Locce (Massiccio del Monte Rosa, versante est): evoluzione cinematica e geomorfologica*. Tesi di laurea inedita, Università degli Studi di Torino.
- Chiarle, M., Mortara, G., (2008) *Geomorphological impact of climate change on alpine glacial and periglacial areas. Examples of processes and description of research needs*. Interpraevent 2008, Dornbirn, 26-30 maggio 2008, II/111-122.
- CNR-CGI (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Comitato Glaciologico Italiano) (1959-1962). *Catasto dei ghiacciai italiani*, II vol., Torino.
- Haerberli, W., Maisch, M., Paul, F., (2002). *Mountain glaciers in global climate-related observation networks*. World Meteorological Organization Bulletin, 51 (1), 18–25.
- Mercalli, L., Cat Berro, D., Mortara, G., Smiraglia, C., (2009). *Effetti dei cambiamenti climatici sui ghiacciai*. In: Castellari, S., Artale, V., (ed.). *I cambiamenti climatici in Italia: evidenze, vulnerabilità e impatti*. Bononia University Press, 221-239.
- Pachauri, R.K., Reisinger, A., (eds.) (2007). *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team*, IPCC, Geneva, Switzerland, pp 104.
- Zemp, M., Paul, F., Hoelzle, M., Haerberli, W., (2008). *Glacier fluctuations in the European Alps 1850–2000: an overview and spatiotemporal analysis of available data*. In: Orlove, B., Wiegandt, E., Luckman B. (eds.): *The darkening peaks: Glacial retreat in scientific and social context*. University of California Press: p. 152–167.
- World Glacier Inventory <http://nsidc.org/data/g01130.html> (ultimo accesso 25/11/2010)
- Global Land Ice Measuring from Space <http://glims.colorado.edu/glacierdata/> (ultimo accesso 25/11/2010)

# VULNERABILITÀ DEI SISTEMI IDRICI E MITIGAZIONE DEGLI EVENTI DI SICCA' NEL BACINO DEL TEVERE

PREZIOSI ELISABETTA<sup>1</sup>, DEL BON ANDREA<sup>1</sup>, PETRANGELI ANNABRUNA<sup>1</sup>, ROMANO EMANUELE<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> CNR - IRSA, Roma, Italia, preziosi@irsa.cnr.it

## RIASSUNTO

In questo articolo si descrivono i processi metodologici adottati nell'implementazione di uno strumento di supporto alle decisioni finalizzato alla gestione del deficit idrico nei principali sistemi del bacino del Tevere. Tale strumento, supportato da un modello matematico che simula il trasferimento della risorsa attraverso una rete di connessioni risorse-utenze di tipo "nodi" ed "archi", ha consentito di esaminare la vulnerabilità dei principali sistemi idrici della porzione umbra del bacino del Tevere. Inoltre è stata verificata l'efficacia di soluzioni di pianificazione esistenti (piani regolatori degli acquedotti, piani irrigui) ed analizzare l'impatto (dal punto di vista quantitativo) di alcune opzioni strutturali per la mitigazione di situazioni di prolungata siccità o scarsità idrica severa.

**Parole chiave:** gestione risorse idriche, mitigazione della siccità, Tevere, vulnerabilità sistemi idrici

## INTRODUZIONE

La disponibilità delle risorse idriche, in particolare nell'area mediterranea, risente sia di forzanti antropiche (crescenti fabbisogni e modificazioni negli usi delle risorse) sia di quelle naturali, in particolare in relazione ai cambiamenti climatici che inducono una accresciuta variabilità dei fenomeni e riduzione degli afflussi meteorici), che hanno agito molto frequentemente in modo sinergico. Le crisi idriche occorse negli ultimi venti anni in Italia e in Europa hanno determinato una maggiore sensibilità da parte della popolazione, delle autorità politiche e dei gestori riguardo l'uso delle risorse per il soddisfacimento dei vari tipi di fabbisogni e nella definizione di ordini di priorità per i medesimi. In questo contesto si inquadra questo studio, eseguito dall'IRSA-CNR su incarico dell'Autorità di Bacino del Tevere, volto all'implementazione di scenari di distribuzione delle risorse in condizioni di scarsità, utilizzando per le simulazioni il codice SimBaT, sviluppato dal DICA - Università di Perugia (Bellezza et al. 2006). SimBat è uno strumento di supporto alle decisioni che simula il trasferimento, l'utilizzo e l'immagazzinamento della risorsa attraverso un sistema topologico che schematizza sia la rete delle connessioni antropiche che il reticolo fluviale mediante "nodi" connessi da "archi". E' molto efficace per la gestione delle risorse immagazzinate negli invasi: confronta il volume di risorsa disponibile previsto per una determinata finestra temporale con la domanda e, in caso di disponibilità ridotta, riduce le allocazioni alle utenze distribuendo il deficit secondo priorità prestabilite. In sostanza restituisce informazioni sulla distribuzione e la durata dell'eventuale deficit al passo settimanale.

## CASO DI STUDIO E METODOLOGIA DI INDAGINE

Il bacino del Tevere non sembra, ad una prima analisi, un sistema molto sensibile agli eventi siccitosi, data la ricchezza di risorse idriche sotterranee; tuttavia le crisi occorse nel 2001-2003 e nel 2007, che hanno interessato la sua parte settentrionale (Regione Umbria) ed in parte quella sud-occidentale (Lazio meridionale), sono ascrivibili alla congiunzione fra eventi climatici ampiamente documentati ed aumentata richiesta di risorse, aggravato dallo stato delle reti idriche. Questi episodi sono stati all'origine di nuove strategie di mitigazione, strutturali e non, ed hanno in molti casi accelerato il completamento di interventi già programmati.

L'approccio metodologico si è sviluppato secondo due direttrici principali: l'analisi del verificarsi di condizioni di siccità, mediante studio delle serie storiche di precipitazioni e portate nel periodo 1952-2007, e la ricostruzione dell'assetto idrico dell'area. La prima, svolta per mezzo di indicatori standardizzati, ha permesso di individuare i periodi siccitosi pregressi (metà anni 50, primi anni 70, fine

anni 80 e dal 2000) e di comprendere meglio le dinamiche idrologiche delle varie porzioni del bacino, finalizzandole alla generazione di serie sintetiche in cui le condizioni siccitose verificatesi nel passato sono state forzate per simulare scenari futuri di maggiore criticità, riproducendo il trend negativo individuato nel passato (Romano & Preziosi sottomesso). La seconda, basata sull'analisi di documentazione storica, piani di settore, provvedimenti amministrativi e legislativi, interviste con i gestori, ha permesso di verificare la corrispondenza fra i periodi siccitosi individuati nel passato ed il manifestarsi della crisi da punto di vista socio-economico. Infine sono stati ricostruiti gli schemi di connessione tra risorse (sorgenti, pozzi, invasi), utenze (civili e irrigue) e reticolo idrografico e di predisporre lo schema topologico da implementare nel modello di simulazione, fissando come orizzonte temporale di riferimento l'anno 2015 sia per gli aspetti riguardanti la stima dei fabbisogni sia per gli interventi strutturali previsti e/o operanti inerenti alle adduzioni idriche.

### **IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI SIMULAZIONE**

Lo schema topologico è stato elaborato per “macrorisorse” (gruppi di risorse afferenti agli stessi sistemi acquedottistici) e “macroutenze”, al fine di evidenziare a scala di bacino quali porzioni del modello presentassero significativi eventi di deficit (Fig.1). L'area interessata è il bacino del Tevere chiuso a Corbara.

L'obiettivo delle simulazioni è stato la valutazione dell'efficacia delle soluzioni adottate. Le simulazioni sono state svolte al passo settimanale, che meglio si presta alla valutazione del soddisfacimento dei fabbisogni agricoli durante la stagione estiva, i quali costituiscono una percentuale preponderante di quelli complessivi. La durata della simulazione è di 55 anni, compatibilmente con i dati idrologici disponibili (1952-2007) e le ricostruzioni delle serie temporali effettuate. Il modello è alimentato dalle risorse idriche che alimentano le diverse utenze: sotterranee (sorgenti e pozzi) e superficiali (corsi d'acqua). In mancanza di serie storiche sufficientemente complete, queste sono state integrate, o anche completamente ricostruite, tramite la generazione di serie sintetiche regionalizzate coerenti con l'indice standardizzato di precipitazione individuato. Per le risorse estratte da pozzi, sono stati impiegati i valori (costanti per tutto il periodo di simulazione) previsti dai piani acquedottistici, senza una valutazione specifica della loro sostenibilità in assenza di una precisa definizione dei modelli idrogeologici degli acquiferi, attualmente disponibile solo in modo molto parziale. Infine, a partire dai dati idrologici così elaborati, sono state generate delle ulteriori serie idrologiche, a partire da quelle ‘naturali’, che riflettessero una progressiva diminuzione nel tempo delle medesime, un aumento della loro varianza stagionale e una combinazione di questi due andamenti. Ciò con l'intento di stressare il sistema di distribuzione idrica con modalità differenti rispetto a quelle determinate dalle sole condizioni verificatesi storicamente. Il fabbisogno, con cui viene confrontata la disponibilità, è stato ricostruito sulla base delle previsioni al 2015 dei piani acquedottistici ed irrigui (Fig. 2) ed è lo stesso per tutti i 55 anni di simulazione.

### **RISULTATI CONSEGUITI**

Gli output delle simulazioni sono costituiti per ogni utenza, a scala settimanale, dal confronto fra fabbisogno e disponibilità. Per le utenze ambientali (portate dei corsi d'acqua o rilasci a valle degli invasi) il confronto avviene tra le portate minime stabilite (fabbisogno) e quelle effettivamente fluite. Riguardo gli invasi, il codice calcola il volume in entrata, l'immagazzinamento, l'addotto alle utenze ed il rilascio. Quando la domanda eccede la disponibilità, si entra in modalità di gestione, e le risorse disponibili sono ripartite tra le utenze connesse secondo priorità definite. In Fig. 3 viene mostrato, a titolo di esempio, il risultato di una delle simulazioni effettuate, in cui una rappresentazione “a semafori” evidenzia l'assenza di deficit, deficit moderato, deficit severo (definito in base alle persistenza ed intensità). Lo schema topologico riproduce la situazione infrastrutturale prevista per il 2015, ed include i due grandi invasi esistenti di Montedoglio sul Tevere e di Valfabbrica sul Chiascio per un volume utile complessivo pari a quello attuale, cioè 153 Mm<sup>3</sup>.

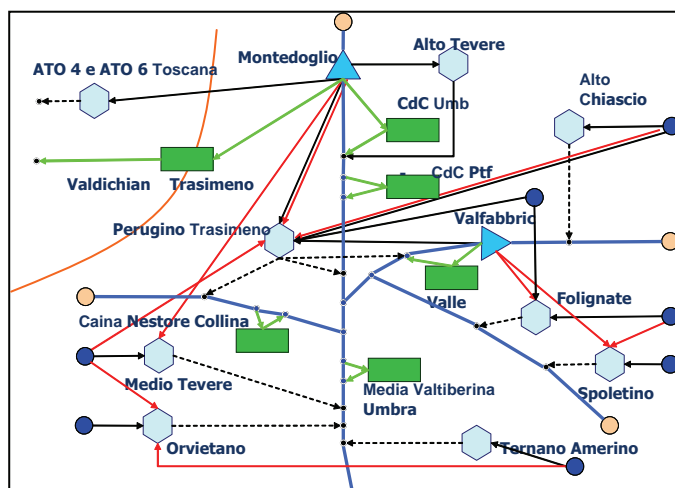


Figura 1- Schema delle connessioni fra macro-risorse (cerchi blu=sott., cerchi rosa=sup.) e macro-utenze (rombi=civile, rettangoli= irriguo) considerate nella simulazione. I triangoli rappresentano gli invasi esistenti (Montedoglio e Valfabbrica). A valle di ciascun invaso esiste un'utenza "ambientale" alla quale deve essere garantito un deflusso minimo.

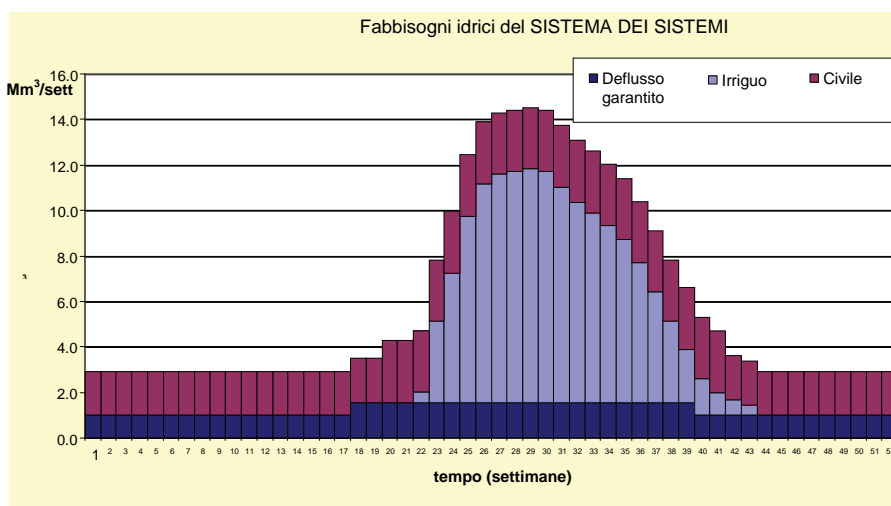


Figura 2 – Distribuzione settimanale dei fabbisogni per l'anno tipo per le utenze considerate nelle simulazioni

Questo scenario confronta la domanda prevista per il 2015 con una disponibilità di risorse che, pur mantenendo dei valori medi su lungo periodo pari a quelli osservati nel periodo 1952-2006, presenta un aumento della varianza del 20% per simulare uno scenario climatico con valori medi stazionari rispetto all'attuale ma con accentuazione degli eventi, cioè con periodi sia siccitosi che piovosi più marcati. In altre parole i periodi di siccità, così come quelli più piovosi, risultano più intensi rispetto a quanto osservato nel periodo 1952-2006. Questa situazione climatica, seppur meno impattante rispetto agli scenari in cui si prospetta un trend di diminuzione degli input idrologici, è quella considerata maggiormente di interesse per la pianificazione di bacino, poiché associa episodi marcati di input positivi, da eventualmente meglio immagazzinare, con accentuati e prolungati episodi di siccità.

In effetti questo scenario mostra un netto aumento degli episodi di deficit (in intensità e durata) rispetto allo scenario ordinario, ma in modo meno marcato al confronto degli scenari in cui si prospetta un trend negativo associato o meno ad un aumento della variabilità (non esposti per mancanza di spazio).

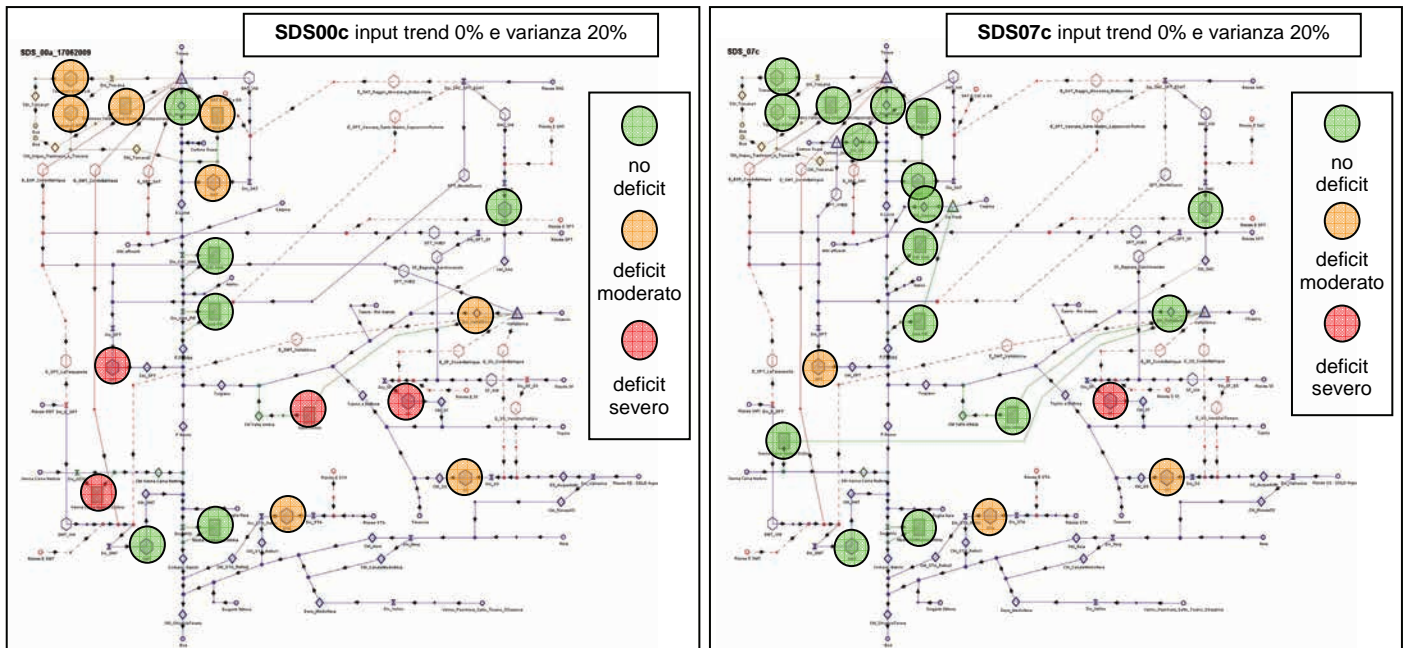


Figura 3 - sinistra: risultato di uno scenario di condizioni climatiche con media stazionaria degli input idrologici, aumento della varianza pari al 20%; destra: scenario con identiche condizioni climatiche che valuta l'efficacia di ulteriori invasi di medie dimensioni su affluenti del Tevere al momento non regimati

La combinazione di trend negativo e aumento della variabilità degli input è quella che determina le situazioni di crisi più pesanti tra i differenti scenari implementati, tanto che in quelle simulazioni alcuni sistemi manifestano delle crisi severe pluriennali.

Sono stati infine implementati ulteriori scenari per valutare l'efficacia di opzioni di mitigazione strutturali quali la presenza di ulteriori invasi di media dimensione, per un volume utile totale di 260 Mm<sup>3</sup>, considerando lo stesso input idrologico (aumento della varianza degli eventi). In estrema sintesi gli scenari implementati hanno quindi permesso di valutare l'impatto di nuovi invasi di dimensioni differenti sia sulla aumentata disponibilità alle utenze civili ed agricole, sia sul rispetto del deflusso garantito a valle degli invasi per le utenze ambientali. La possibilità, rispetto agli altri scenari, di poter meglio immagazzinare ulteriori risorse idriche risulta determinante in condizioni climatiche estremizzate.

## CONCLUSIONI

Lo studio svolto ha permesso di verificare una procedura di indagine per l'implementazione di uno strumento di supporto alle decisioni, fondata su di un modello di simulazione del trasferimento della risorsa, che consente di valutare in modo quantitativo, gli effetti di possibili soluzioni al deficit idrico per motivi climatici. La finalità ultima di tale strumento è di costituire la base di discussione per scelte condivise fra i grandi utenti, incluso l'ambiente, ed i gestori.

## BIBLIOGRAFIA

- Bellezza, M., Casadei, S., Pierleoni, A., (2006), *Progetto di sviluppo di un software di simulazione del reticolo idrografico superficiale - Manuale d'uso SimBaT*. Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Autorità di Bacino del Fiume Tevere
- Romano, E., Preziosi, E., (submitted), *Climate evolution analysis in the Tiber Basin (Central Italy) by means of standardized indices of precipitation (1952-2007)*. Submitted to International Journal of Climatology.



# PREVISIONE DALL'ANDAMENTO TEMPORALE DELLA PROFONDITÀ DELLA FALDA IPODERMICA NEI SUOLI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA

CALZOLARI COSTANZA<sup>1</sup>, UNGARO FABRIZIO<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>CNR IRPI, Firenze, Italia, calzolari@irpi.cnr.it

## RIASSUNTO

La profondità della falda ipodermica può essere stimata con approcci diversi basati, ad esempio, su serie storiche di dati climatici, o su evidenze legate alla morfologia del suolo, o sugli output di modelli di bilancio idrico. In questo studio, al fine di fornire uno strumento per ottimizzare la gestione degli apporti irrigui a scala regionale, si propone un modello empirico di previsione spazio-temporale della profondità della falda basato su precipitazioni ed evapotraspirazione cumulate e sulla profondità ed oscillazione media della falda di lungo periodo. A tal fine sono stati utilizzati i dati della rete di monitoraggio della falda ipodermica, raccolti tra il 1997 e il 2009 in 157 stazioni piezometriche su un'area di circa 12,000 Km<sup>2</sup> per un totale di 21,470 osservazioni. Il modello è stato calibrato utilizzando i dati disponibili tra il 2004 ed il 2009, utilizzando i dati di 62 stazioni ( $N = 7050$ ). La validazione su un subset di 15 siti indipendenti ( $N = 1440$ ) ha restituito un errore medio di 29.5 cm ( $R^2 = 0.64$ ).

**Parole chiave:** fabbisogno irriguo, falda ipodermica, pianura emiliano-romagnola

## INTRODUZIONE

In uno scenario di cambiamento climatico l'uso sostenibile delle risorse idriche destinate all'irrigazione ha assunto negli ultimi anni una sempre maggiore rilevanza. Nelle aree di pianura dell'Emilia Romagna, la disponibilità di acque da destinare ad uso irriguo è drammaticamente diminuita negli ultimi anni, sia per una maggiore domanda sia per la riduzione delle disponibilità. Nel decennio 1991-2001 la piovosità media regionale (887 mm/anno) è infatti diminuita del 10% rispetto alla media 1921-1971 (ARPA 2003), a fronte di un aumento di oltre il 20% delle necessità irrigue nella parte orientale della pianura, e con uno sbilancio annuale tra precipitazioni ed evapotraspirazione di riferimento che è stato superiore ai 420 mm tra il 1997 ed il 2008, contro i 340 mm del periodo 1951-1997 (Mannini & Bottau 2009). La presenza stagionale di falde superficiali (-0.5-3 m) nello spessore di suolo interessato dagli apparati radicali delle colture nel periodo di crescita rappresenta una riserva idrica in grado di soddisfare una quota significativa del loro fabbisogno. A questo scopo la regione Emilia Romagna ha sviluppato programmi di monitoraggio mirati alla realizzazione di strumenti operativi per la stima nel tempo e nello spazio della profondità della falda nelle aree di pianura. Questa è misurata con una batteria di piezometri, inseriti nel suolo a profondità diverse, generalmente da 50 a 300 cm dalla superficie. I piezometri sono localizzati in siti rappresentativi per posizione geografica, morfologia, clima, suolo e pratiche colturali (Morgan & Stolt 2004). Scopo di questo lavoro è fornire previsioni affidabili della profondità della falda nel tempo e nello spazio utilizzando un numero limitato di dati idrologici e climatici. Viene presentato un modello empirico *data driven*, basato su valori cumulati di registrazioni giornaliere di pioggia ed evapotraspirazione di riferimento, e sulle caratteristiche della falda (profondità media e oscillazione media) derivate da letture puntuali irregolarmente distribuite nello spazio e nel tempo ed estese a tutta l'area della pianura con procedure geostatistiche.

## MATERIALI E METODI

I dati meteorologici relativi a circa 300 stazioni provengono dal Servizio Idro-meteo-clima dell'ARPA Emilia-Romagna). I dati di falda derivano da una rete di 160 stazioni piezometriche. Le misure vengono effettuate manualmente dal 1997, in media circa due volte al mese (1.67 letture/mese sull'intero data set), con frequenza maggiore nel periodo primaverile-estivo. La frequenza delle letture è molto variabile nello

spazio e nel tempo, con meno di una lettura al mese nelle province di Parma e Piacenza a più di due letture al mese nelle province di Ravenna e Ferrara. Per la calibrazione del modello, sono stati utilizzati i dati di un numero ristretto di siti, selezionati considerando la lunghezza e la completezza della serie di letture piezometriche nell'arco di tempo per il quale è disponibile il dato di pioggia (2004-2009), per un totale di 62 stazioni piezometriche e 7050 misure. Per tutti i siti, in corrispondenza delle misure piezometriche, sono state calcolate l'evapotraspirazione potenziale e le precipitazioni cumulate rispettivamente nei 30, 60, 90, 180 e 365 giorni antecedenti la misura. A partire da queste, sono stati inoltre derivati i deficit evapotraspirativi cumulati negli stessi intervalli di tempo. Per la validazione del modello è stato utilizzato un subset indipendente di dati relativi a 15 stazioni piezometriche (1440 letture), selezionate in modo da coprire la variabilità delle caratteristiche climatiche, pedologiche, morfologiche e della falda.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

Nella figura 1 è illustrato l'andamento dei valori medi annui della profondità della falda superficiale tra il 1997 ed il 2009: è chiaro un abbassamento della falda negli anni tra il 1997 ed il 2008, ad un tasso medio di 4.5 cm/anno. Si nota inoltre come l'aumento della profondità media della falda registrato nel periodo 2004-2007 abbia visto un'inversione di tendenza nel 2009, anno relativamente più piovoso, con un precipitazione media totale di 636 mm.

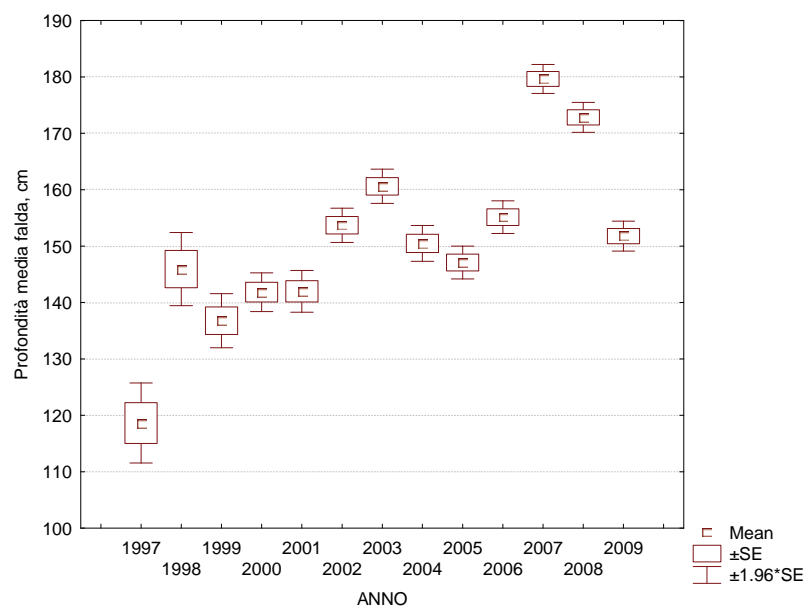


Figura 1 – Profondità falda: valori medi annui, errore standard ed intervalli di confidenza.

Dalla figura emerge la significativa differenza fra le profondità di falda medie registrate negli anni 2007-2008, anni siccitosi, con una precipitazione media totale di 453 e 507 mm rispettivamente. Per tutti i siti, in corrispondenza delle misure piezometriche, sono state calcolate l'evapotraspirazione potenziale e le precipitazioni cumulate rispettivamente nei 30, 60, 90, 180 e 365 giorni antecedenti la misura. A partire da queste, sono stati inoltre derivati i deficit evapotraspirativi cumulati negli stessi intervalli di tempo.

In tabella 1 sono riportate le statistiche descrittive del data set, relativamente alle misure di profondità della falda, alle precipitazioni, all'evapotraspirazione, e le relative correlazioni. E' inoltre riportato il valore del deficit cumulato dei 180 giorni antecedenti, misura che risulta l'indice maggiormente correlato alla misura della profondità di falda.

	Prof. falda	ETP 365	ETP 180	ETP 90	ETP 60	ETP 30	Pcum 365	Pcum 180	Pcum 90	Pcum 60	Pcum 30	Deficit 180
Num. oss.	7050	7050	7050	7050	7050	7050	7050	7050	7050	7050	7050	7050
Media	158	1031	508	292	203	106	573	276	139	95	49	-232
Min	3	869	173	48	26	12	243	26	4	0	0	-762
Max	300	1166	914	537	382	203	1173	857	723	494	312	631
Std.Dev.	63	47	223	149	104	55	138	87	68	57	40	245
<i>Correl</i>												
Tmedia	1.00											
ETP 365	<b>0.19</b>	1.00										
ETP 180	<b>0.46</b>	<b>0.19</b>	1.00									
ETP 90	<b>0.42</b>	<b>0.15</b>	<b>0.76</b>	1.00								
ETP 60	<b>0.35</b>	<b>0.13</b>	<b>0.57</b>	<b>0.96</b>	1.00							
ETP 30	<b>0.24</b>	<b>0.10</b>	<b>0.32</b>	<b>0.85</b>	<b>0.96</b>	1.00						
Pcum 365	<b>-0.25</b>	<b>-0.40</b>	<b>-0.08</b>	<b>-0.09</b>	<b>-0.08</b>	<b>-0.07</b>	1.00					
Pcum180	<b>-0.32</b>	<b>-0.18</b>	<b>-0.07</b>	<b>-0.17</b>	<b>-0.18</b>	<b>-0.19</b>	<b>0.67</b>	1.00				
Pcum90	<b>-0.30</b>	<b>-0.15</b>	0.00	<b>-0.12</b>	<b>-0.13</b>	<b>-0.13</b>	<b>0.45</b>	<b>0.66</b>	1.00			
Pcum60	<b>-0.27</b>	<b>-0.14</b>	0.00	<b>-0.13</b>	<b>-0.17</b>	<b>-0.17</b>	<b>0.36</b>	<b>0.53</b>	<b>0.84</b>	1.00		
Pcum30	<b>-0.22</b>	<b>-0.11</b>	0.01	<b>-0.09</b>	<b>-0.14</b>	<b>-0.19</b>	<b>0.24</b>	<b>0.40</b>	<b>0.61</b>	<b>0.75</b>	1.00	
Deficit180	<b>-0.53</b>	<b>-0.24</b>	<b>-0.93</b>	<b>-0.75</b>	<b>-0.58</b>	<b>-0.36</b>	<b>0.31</b>	<b>0.42</b>	<b>0.24</b>	<b>0.19</b>	<b>0.13</b>	1.00

Tabella 1 - Statistiche descrittive e correlazioni del data set relativo ai 62 siti piezometrici: Prof. falda, profondità misurata della falda (cm); ETP e Pcum, evapotraspirazione potenziale e precipitazioni cumulate rispettivamente nei 30, 60, 90, 180 e 365 giorni antecedenti alla misura (mm); Deficit 180, deficit evapotraspirativo nei 180 giorni antecedenti la misura (P cum180-ETP180, mm). In grassetto le correlazioni significative a  $p < 0.01$

La profondità della falda risulta correlata positivamente, e significativamente, all'ETP cumulata nei giorni antecedenti e negativamente alle precipitazioni, qualunque sia la lunghezza del periodo considerato. Per la definizione delle regressioni multiple è stato ipotizzato che la falda sia controllata dall'andamento meteorologico di breve, medio e lungo periodo. L'equazione di regressione multipla per la stima della profondità di falda ad un qualsiasi giorno  $i$  è stata ottenuta attraverso una procedura *stepwise* ed ha la forma seguente ( $R^2 = 0.70$ ):

$$Prof_{falda_i} = -190.12 + 0.161ETP_{365_i} - 0.075 Cum_{30_i} - 0.154 Cum_{60_i} - 0.128 D_{180_i} + 1.097 falda_{04_09} \quad (1)$$

dove,  $Prof_{falda_i}$  è la profondità di falda stimata al giorno  $i$ ,  $ETP_{365_i}$  è l'evapotraspirazione potenziale cumulata nei 365 giorni antecedenti la stima,  $Cum_{30_i}$  è la precipitazione cumulata nei 30 giorni antecedenti la stima,  $D_{180_i}$  è il deficit evapotraspirativo nei 180 giorni antecedenti la stima,  $falda_{04_09}$  è la media della profondità di falda misurata nel periodo 2004-2009. Quest'ultima variabile considera il valore attorno al quale è più verosimile che la falda oscilli. La regressione multipla è stata validata su un subset di 1440 letture indipendenti da 15 stazioni piezometriche; i risultati in termini di indici di errore sono riportati nella tabella 2 accanto ai medesimi indici calcolati per il data set di calibrazione. In entrambi i casi l'errore medio assoluto si mantiene al di sotto dei 30 cm, con il 70% ed il 64% di variabilità osservata catturata dalla regressione, rispettivamente sul data set di calibrazione e su quello di validazione. In figura 2, a titolo di esempio, sono riportate le osservazioni e l'andamento stimato per uno dei siti di validazione.

	Calibrazione	Validazione
Numero osservazioni	5611	1440
Media, osservata, cm	157.07	159.45
Media stimata, cm	156.69	157.18
Dev. standard, osservata, cm	63.51	62.31
Dev. standard, stimata, cm	53.04	49.99
R <sup>2</sup>	0.70	0.64
MAE, cm	26.9	29.4
RMSD, cm	35.00	37.58

Tabella 2 - Statistiche di calibrazione e validazione per la regressione multipla MAE: errore medio assoluto; RMSD: radice dello scarto quadratico medio.

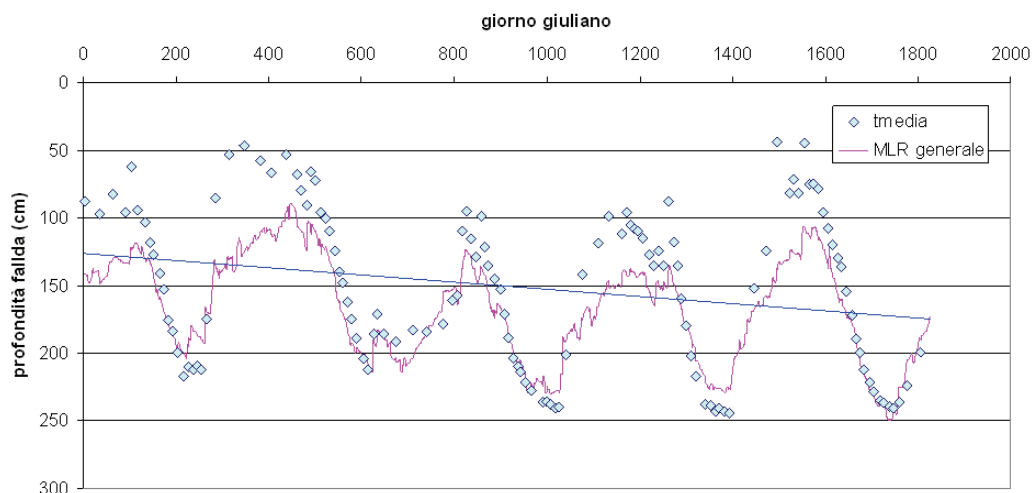


Figura 2 - Profondità della falda: confronto tra valori stimati e osservati in un sito di validazione

## CONCLUSIONI

In uno scenario di aumento del rischio di siccità dovuto al cambiamento climatico, l'occorrenza stagionale della falda ipodermica rappresenta un risorsa per le colture agricole. L'abbassamento della falda ipodermica registrato nella pianura emiliano-romagnola nel periodo 1997-2008 è legato alla diminuzione delle precipitazioni e al trend climatico generale. E' quindi di fondamentale importanza la conoscenza delle sue dinamiche spazio temporali per un uso sostenibile della risorsa idrica. L'algoritmo presentato in questo lavoro consente, con un ragionevole grado di accuratezza e precisione, la previsione spazio-temporale del livello della falda in un qualsiasi momento dell'anno e in qualsiasi punto dell'area di studio, note le precipitazioni e l'evapotraspirazione giornaliera ed una stima regionalizzata del livello medio della falda nel lungo periodo.

## RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata finanziata nell'ambito del progetto "Produzioni agricole, falda e salinità" ammesso con Determinazione N. 11384 del 4/11/2009 della Giunta della Regione Emilia-Romagna ai fini della LR28/98 piano stralcio 2009

## BIBLIOGRAFIA

ARPA, Emilia Romagna, (2003). Documento preliminare del Piano di Tutela delle Acque.  
Mannini, P., Bottau, D., (2009). Irrigazione e variazioni del clima in Emilia-Romagna. Rivista ERMES Agricoltura, 108-111  
Morgan, C.P., Stolt, M.H., (2004). *A comparison of several approaches to monitor water-table fluctuation*. Soil Sci. Soc. Am. J., 68, 562-566.

## **SOME REMARKS ON WATER RESOURCES DEGRADATION AND GROUND FISSURES FORMATION IN THESSALY, GREECE**

RAPTI-CAPUTO DIMITRA, CAPUTO RICCARDO

Dept. of Earth Sciences, University of Ferrara, via Saragat 1, I-44100, Ferrara, Italy, cpr@unife.it

### **PREMISE**

During the last decades, the concomitance of a relatively dry period (i.e. low precipitations) affecting the Aegean Region and the huge increase of the cotton cultivation in large sectors of Thessaly, central Greece, forced people to search for new water resources to provide the needs. Accordingly, during the seventies and eighties, the synergy of the natural phenomenon with the inappropriate agricultural choice, was coupled with the drilling of an almost uncontrolled number of boreholes across the entire area. These water-wells that mainly exploit the alluvial multi-aquifer system of the Larissa Plain caused a significant drop of the piezometric level that critically exceeded the capacity to regenerate the underground natural hydraulic conditions. As a consequence, a quantitative and sometimes qualitative degradation of the water resources occurred.

During the nineties, numerous ground fissures have been documented within the Larissa Plain. These superficial features have locally produced important damages by creating open fractures in houses, stores and infrastructures, dislocations and hollows across roads and even caused a road accident. The occurrence of the phenomenon more than once, the associated damages and the awareness of the general seismogenic character of Thessaly deeply frightened the inhabitants of the region and their Authorities. A common opinion is that the production of fissures is straightforwardly and directly related to the general lowering of the piezometric level (Soulis, 1997). In the present research, we revised all available data in order to better understand the phenomenon and the cause-effect relationships.

**Keywords:** alluvial aquifer system, piezometric level, piping, subsidence, tectonic control

### **GEOLOGICAL AND TECTONIC FRAMEWORK**

The tectonic architecture of Thessaly is the result of several deformational phases, mainly of contractional type, developed from Cretaceous to Miocene. However, the present-day morphology of the region is basically due to the Neogene tectonic inversion, probably associated with the post-orogenic collapse of the Internal Hellenides (Caputo and Pavlides 1993). Indeed, NE-SW extension in Thessaly began during Pliocene (Caputo 1990) generating the so-called basin-and-range-like Thessalian system consisting of a series of horst and graben bordered by NW-SE trending faults, partly of new formation and partly by inversion of older thrusts and reverse faults. Relative to the study area, the major morphological and tectonic imprint caused by this crustal stretching event was the creation of the Larissa Basin. The 60 km long NW-SE trending Larissa Plain roughly coincides with this major tectonic structure.

During that period, which probably lasted till Early Pleistocene, the palaeogeography of the area, as deduced from sedimentological and stratigraphic studies, is characterised by fluvial and mainly lacustrine conditions (Caputo et al. 1994). Due to subsidence and according to climatic conditions a large lake extended over most of the area. Only the definitive entrenching of the Tembi Gorge across the Olympus and Ossa Mountains caused by the Pinios River allowed a permanent water outpouring from the Larissa Basin. As a consequence, the Thessalian lake emptied and a throughout permanent drainage system was formed.

After a period of quiescence, a new tectonic regime affected the region, but it was characterised by a roughly N-S direction of extension (Caputo 1990). This deformational phase, started during the Middle(?) to Late Pleistocene and it is still active as can be clearly deduced by the recent seismicity of the area. This tectonic phase is very important for the morphological evolution of Thessaly and particularly of the Larissa Plain. In fact, as a consequence of the new geodynamic conditions, a new system of normal faults was generated mainly trending E-W to ESE-WNW. Although minor faults affect the whole region, the major structures developed in the northern sector of the plain therefore generating the Tyrnavos Basin. As

a major consequence, subsidence concentrated in the northern sector where a new sedimentary depocenter formed. In contrast, the southern sector of the Larissa Plain was separated from the Pinios hydrographic network therefore remaining almost a palaeogeographically close system (Caputo et al. 1994).

### **Hydrogeological setting**

The underground of the southern Larissa Plain consists of latest Miocene(?) and mainly Pliocene to Holocene sediments accumulated in lacustrine, marshy and/or alluvial environments. The variability in space and time of the sedimentary conditions was induced by the irregular inherited topography and climate changes. The lower portion of the stratigraphic succession is comparable to that outcropping in the Central Hills after the tectonic uplift of this sector of Thessaly (Caputo 1990). In contrast, the continuing subsidence of the NW-SE trending Larissa Basin allowed the accumulation of similar deposits up to Early-Middle Quaternary. Due to the lack of new accommodation space (*viz.* subsidence), Upper Quaternary sediments are likely represented by a reduced succession. As a consequence of this geological evolution, the aquifer system of the Larissa Plain consists of numerous sandy and silty-sandy levels located at different depth and characterised by a highly variable thickness. These bodies are commonly in hydraulic connection, while the principal feeding source of these confined alluvial aquifers is associated with lateral infiltration from the surrounding uplifted bedrock. As mentioned above, during the last decades this aquifer system has been subject to an over-exploitation.

The results of the pumping tests allowed to calculate a mean transmissivity of the aquifer of  $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . During the period 1986-1991, a differential lowering of the piezometric level between 10 and 25 m has been observed (Fig. 1). These variations are due to i) the mode of exploitation of the aquifer, ii) the recharge velocity and iii) the thickness of the aquifer body. In the same time period, also several springs outpouring along the foothills surrounding the alluvial plain suffered an important decrease in their water discharge. Paradigmatic is the case of Yperia Krini spring, known for its abundance since ancient times (Rapti-Caputo and Helly 2008). This spring, which is located at Velestino along the south-eastern margin of the Central Hills, showed a progressive but rapid decline of its discharge that cannot be justified by the lowering alone of the mean annual precipitations.

### **DISCUSSION**

As regards the formation of ground fissures, we try to analyse all possible natural and anthropogenic aspects that could have played a role in the process by indirectly favouring or directly causing the occurrence of the phenomenon.

Firstly, it is clear that the over-exploitation of the aquifer system is a fundamental facet of the problem because it broke the equilibrium of the natural recharge of the underground water resources and it is well known that the drying up of an aquifer can produce compaction in soft sediments. However, because of the huge number of wells, at present it is not possible to quantify the total amount of pumped water and its space distribution.

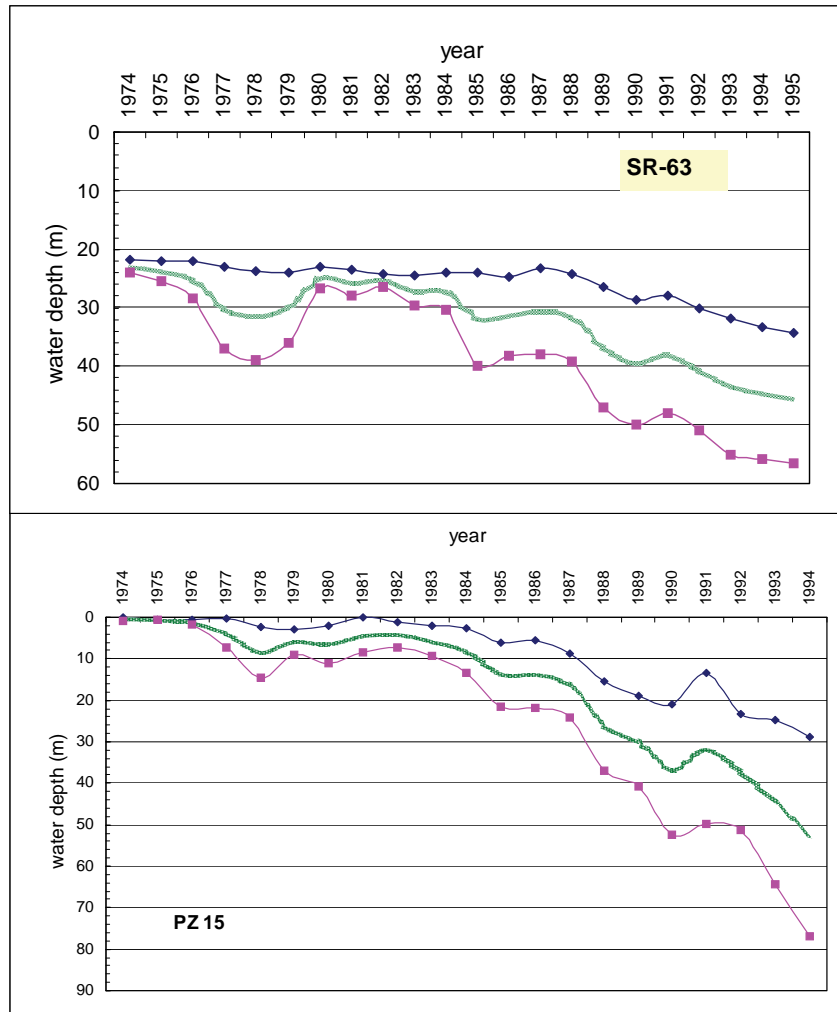


Figure 1 - Two examples of water depth variations from Rizomylo (SR-63) and Stefanovikio areas (PZ 15). The maximum, mean and minimum annual values of the confined aquifer are represented (bottom, central and top curves, respectively). It is noteworthy to observe the different amount of water level lowering, at few kilometres of distance.

Secondly, the stratigraphic succession where the aquifer system is developed has important lateral variations both in terms of thickness and lithology. As a direct consequence the system is characterised by a large variability in i) the amount of water available for exploitation and ii) the permeability of the aquifer itself therefore strongly influencing the rate of recharge.

Thirdly, similar to that observed in the Central Hills, it is obvious that the substratum of the Pliocene-Quaternary sedimentary succession consists of many different types of rocks each one characterised by a different degree of weathering before burial, primary porosity, tectonic fracturing and especially permeability. Consequently, the uneven distribution of the bedrock materials critically governs the natural recharge. Also the occurrence of the substratum at variable depths within short distances, as clearly documented by numerous boreholes, has obviously favoured/hindered the lateral feeding process.

Fourthly, following the above discussion, compaction of the sedimentary succession took place with a highly variable distribution, while it is likely that some differential subsidence has been locally occurred. However, the jeopardised pattern of this induced phenomenon should have produced a random distribution of the superficial features. In contrast, most of the ground fissures show an ESE-WNW orientation (Soulios 1997). This certainly documents the local control of similar tectonic structures affecting the bedrock as well as part of the sedimentary infill. It is noteworthy that this trend is parallel to the major active faults affecting many sectors of Thessaly (Caputo and Pavlides 1993), while secondary Quaternary faults have been mapped in the Central Hills west of Stefanovikio and Rizomylo (Caputo 1990). The parallelism of the ground fissures with the recent tectonic structures possibly suggests the

occurrence of creeping phenomena (Zouros *et al.* 1994) though a real lengthening (*viz.* opening) has been documented only locally, while most of the graben-like structures produced at the surface are undoubtedly caused by a piping phenomenon (Fig. 2).

Fifthly, the temporal variation of the climatic parameters like the mean annual precipitation and temperature interfered with the amount of water available for infiltration mainly in the nearby hills and eventually for the recharge of the aquifer system of the southern Larissa Plain.

Based on the available data and following a multi-disciplinary approach, our preliminary results suggest that the process of the ground fissures recently formed in Eastern Thessaly is more complex than previously thought being the effect of the combined role of many natural and anthropogenic factors. Next step of the research will be the construction of a conceptual model in order to understand the mechanism and the contribution of the various parameters. This will potentially lead to a better understanding of the process and its future evolution and the possible counter-actions to reduce the phenomenon and/or to reduce the associated hazard.



Figure 2 - Left: differential compaction at Nike. Right: ground fissures near Stefanovikio; the 'grass bridge' in the foreground documents the lack of a real superficial lengthening and the occurrence of a piping phenomenon at the surface.

## REFERENCES

- Caputo, R., (1990). *Geological and structural study of the recent and active brittle deformation of the Neogene-Quaternary basins of Thessaly (Greece)*. Scientific Annals, 12, Aristotle University of Thessaloniki, 2 vol., 5 encl., 252 pp., Thessaloniki
- Caputo, R., Pavlides, S., (1993). *Late Cainozoic geodynamic evolution of Thessaly and surroundings (central-northern Greece)*. Tectonophys., 223, 339-362.
- Caputo, R., Bravard, J. P., Helly, B., (1994). *The Pliocene-Quaternary tecto-sedimentary evolution of the Larissa Plain (Eastern Thessaly, Greece)*. Geodinamica Acta, 7, 57-85.
- Rapti-Caputo, D., Helly, B., (2008). *'Yperia Krini' spring (Central Greece): inferences on climatic changes from its 2000 years of history*. In: Dragoni W. & Sukhija B.S. (Eds), Climatic Changes and Groundwater, Geological Society of London, Spec. Publ. 288, 63-77.
- Soulios, G., (1997). *Subsidence de terrains alluviaux dans le sud-est de la plain de Thessalie, Grèce*. In: Engineering Geology and the Environment, Marinos, Koukis, Tsiambaos & Stournaras (Eds), Balkema, Rotterdam, 1067-1071.
- Zouros, N., Pavlides, S., Chatzipetros, A., (1994). *Recent movement on the Larissa plain neotectonic faults (Thessaly, Greece)*. Water level fluctuation or tectonic creep?. ESC XXIV General Assembly, 19-24 September, 1994, Athens, Greece, Abstracts, p. 67.



# MODELLAZIONE DATA DRIVEN DELLA RISPOSTA ALLE PRECIPITAZIONI DI ACQUIFERI CARSIICI E POROSI PUGLIESI

DOGLIONI ANGELO<sup>1</sup>, SIMEONE VINCENZO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politecnico di Bari, Facoltà di Ingegneria Taranto, Taranto, Italia, a.doglioni@poliba.it

## RIASSUNTO

Lo studio della dinamica di un acquifero in risposta alle precipitazioni è un problema di fondamentale importanza per la gestione delle risorse idriche sotterranee, specialmente alla luce delle problematiche connesse alle variazioni climatiche che possono incidere sui meccanismi di ricarica della falda. La messa a punto di modelli fisicamente basati atti ad analizzare la dinamica della falda in relazione alle precipitazioni è generalmente non semplice. In tal senso l'utilizzo di tecniche data-driven che forniscano un modello esplicito possono essere un potente strumento sia per lo studio della risposta della falda alle precipitazioni che come strumento di tipo gestionale. In questo lavoro, attraverso la tecnica EPR (Evolutionary Polynomial Regression), è stata modellata la risposta alle precipitazioni di due acquiferi differenti dal punto di vista idrogeologico: uno poroso ed uno carsico fratturato dell'area della Puglia meridionale. La tecnica ha fornito per i due acquiferi modelli molto soddisfacenti e coerenti con le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dei due acquiferi.

**Parole chiave:** Modelli data-driven, modelli idrogeologici, risposta della falda, Puglia meridionale

## INTRODUZIONE

La modellazione e gestione delle risorse idriche sotterranee rappresenta un tema di fondamentale importanza per le regioni prive di significative risorse idriche superficiali (Siegfried & Kinzelbach 2006), caratterizzate da un clima mediterraneo, come la Puglia. In tali scenari la gestione delle risorse idriche sotterranee, ed il loro livello di sfruttamento sostenibile, dipendono da una caratterizzazione di dettaglio degli acquiferi che consentano di pianificare le azioni di tutela e mitigazione degli impatti sulla risorsa idrica (Custodio 2002). In tal senso è indispensabile che la gestione sia basata su un monitoraggio continuo affiancato da una attenta analisi ed interpretazione della risposta della falda.

Nel presente lavoro viene proposta la modellazione di due acquiferi della Puglia meridionale in termini di risposta del livello della falda alle precipitazioni, attraverso una tecnica di modellazione evolutiva tipo data-driven: EPR (Evolutionary Polynomial Regression) (Giustolisi & Savic 2006; 2009) che è stata applicata con successo a molti problemi di ingegneria ed in particolare nella modellazione dinamica della risposta della falda alle precipitazioni (Giustolisi et al. 2008; Mancarella & Simeone 2008; Doglioni et al. 2010). L'utilizzo di questa tecnica permette di ricostruire un insieme di espressioni simboliche che esprimono il modello di risposta della falda attraverso un polinomio che correla il livello di falda ad un determinato istante di tempo al livello di falda agli istanti precedente ed alle precipitazioni dei mesi antecedenti.

## IL CASO DI STUDIO

E' stata analizzata la risposta alle precipitazioni di due acquiferi della Puglia meridionale: quello superficiale e permeabile per porosità ospitato nelle sabbie regressive Pleistoceniche della piana di Brindisi (Ricchetti & Polemio 1996; Mancarella & Simeone 2008) e l'acquifero carsico costiero salentino ospitato nel substrato calcareo cretaceo mesozoico permeabile per fatturazione e carsismo (Grassi & Simeone 2002; Cotecchia et al. 2005). Entrambi gli acquiferi sono stati oggetto di monitoraggio da parte del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici mediante pozzi freatici nel periodo 1953 – 2002, e ciò ha consentito di disporre di una lunga serie di dati sui quali è stato possibile operare attraverso la tecnica data-driven proposta.

Entrambi i pozzi sono posti in aree dove lo sfruttamento della falda risulta essere relativamente modesto, tanto da poterli considerare rappresentativi di uno stato indisturbato della stessa e pertanto si prestano

molto bene allo studio degli impatti delle variazioni di precipitazione sui loro livelli e quindi sulla disponibilità di risorse idriche sotterranee. Per quanto attiene le precipitazioni si è scelto di fare riferimento alle stazioni pluviometriche di Brindisi e di Lecce. La scelta della prima è risultata pressoché obbligata essendo l'unica che ricade nel bacino idrogeologico di alimentazione dell'acquifero, mentre per l'acquifero salentino si è scelto di fare riferimento alla stazione pluviometrica più prossima al punto di misura del livello di falda.

Il regime climatico di entrambe le stazioni è tipicamente mediterraneo con un marcato ciclo stagionale che trova diverso riscontro nei due tipi di acquifero (Fig. 1). L'acquifero di Brindisi di tipo poroso è caratterizzato da una risposta alle precipitazioni sfalsata di circa 3-4 mesi con un massimo in marzo ed un minimo alla fine della stagione estiva. L'acquifero di Lecce caratterizzato da una permeabilità dovuta principalmente per fratturazione e carsismo ha una risposta molto rapida alle piogge con un minimo nella stagione estiva e senza massimi evidenti.

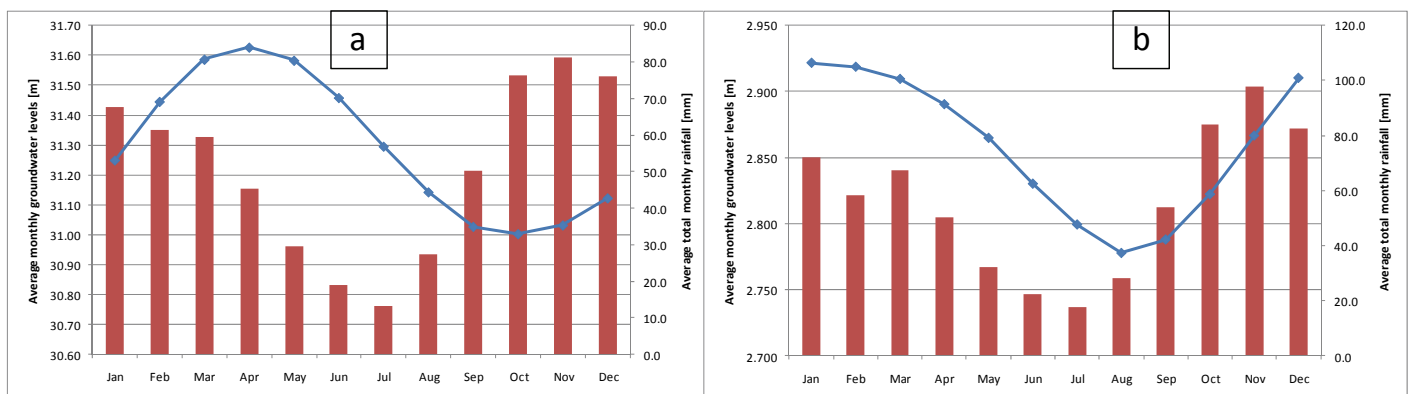


Figura 1 - Valori medi mensili delle piogge e delle precipitazioni: a) Brindisi; b) Lecce.

## METODOLOGIA, RISULTATI E DISCUSSIONE

Lo studio dell'incidenza delle precipitazioni sulle escursioni del livello di falda è stato sviluppato attraverso la tecnica data-driven EPR-MOGA (Giustolisi & Savic 2009), una tecnica di modellazione evolutiva multi obiettivo, di tipo evolutivo, che consente di identificare il fronte di Pareto di polinomi espliciti rappresentanti le relazioni esistenti fra dati di input ed output. Nel caso specifico l'insieme di dati di input è costituito dai valori del livello medio mensile della falda precedente a quello che si intende valutare e delle precipitazioni totali del mese nel periodo 1953- 2002 (Fig. 2), mentre l'output dei modelli è il livello medio mensile di falda.

I dati dei due acquiferi sono stati suddivisi in due gruppi il training set usato per identificare il modello e stimare i parametri del modello ed il test set utilizzato per validare il modello Giustolisi *et al.* (2008). Per costruire il modello sono stati utilizzati di dati di pioggia totale mensile ed il livello della falda misurato nel mese. In particolare per il caso di Brindisi come input del modello sono stati utilizzati:  $H_{t-1}$  and  $H_{t-2}$  and  $P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, P_{t-3}, P_{t-4}, P_{t-5}, P_{t-6}, P_{t-7}, P_{t-8}, P_{t-9}, P_{t-10}, P_{t-11}, P_{t-12}$ , cioè il livello della falda misurato nei due mesi precedenti e le altezze di pioggia del mese e dei 12 mesi antecedenti. Il pedice  $t-2$  indica il livello di falda misurato 2 mesi prima dell'attuale ( $t$ ). Per Lecce come dati di input sono invece stati utilizzati  $H_{t-1}$  and  $H_{t-2}$  and  $P_t, P_{t-1}, P_{t-2}, P_{t-3}, P_{t-4}, P_{t-5}, P_{t-6}, P_{t-7}, P_{t-8}, P_{t-9}, P_{t-10}$ . Per entrambi i casi la massima dimensione del polinomio è stata assunta di 5 termini, mentre i valori ipotizzati per gli esponenti del polinomio utilizzati sono: 0; 0.5; 1; 2.

EPR-MOGA hanno fornito due gruppi di equazioni per i due acquiferi considerati, fra i quali sono stati selezionati due modelli di riferimento in base a considerazioni sulla affidabilità della risposta e sulla parsimonia dei termini utilizzati Giustolisi *et al.* (2008) e Giustolisi & Savic (2009). L'affidabilità dei

modelli è stata valutata attraverso i valori del coefficiente di determinazione CoD riportati in tabella 1. I modelli ottenuti sono congruenti con la fisica del sistema e sono rispettivamente per Brindisi e per Lecce:

$$H_t = 0.00052034 \cdot P_{t-3}^2 \cdot P_{t-4} \cdot P_{t-12}^2 + 0.041465 \cdot P_{t-1} \cdot P_{t-2}^{0.5} + 0.0063853 \cdot P_t^2 + 0.90026 \cdot H_{t-1} + 2.9772 \quad (1)$$

$$H_t = 0.0080995 \cdot P_t^{0.5} + 0.9819 \cdot H_{t-1} \quad (2)$$

Entrambe le equazioni danno risultati affidabili per le previsioni sia a breve (1, 2 mesi in avanti) che a lungo termine (6 mesi). Particolarmente interessante è la struttura delle due equazioni. I modelli identificati dimostrano come lo strumento utilizzato non solo fornisca previsioni affidabili del livello della falda, ma anche modelli consistenti con la differente dinamica dei due acquiferi e con la loro differente risposta alle precipitazioni in ragione della loro struttura idrogeologica. La risposta dell'acquifero poroso (eq. (1)) è legata ad una combinazione non lineare delle precipitazioni di un lungo periodo antecedente, in accordo con il comportamento dell'acquifero, dove la risposta della falda è condizionata non da eventi di pioggia impulsivi, ma dai periodi lunghi di precipitazione e/o siccità. L'acquifero carsico mostra un comportamento completamente differente. La sua struttura è particolarmente semplice, dove il livello di falda dipende da un termine di persistenza  $H_{t-1}$  e dalla precipitazione dello stesso mese in cui viene studiato il livello, evidenziando una risposta impulsiva alle precipitazioni in accordo con la natura carsica dell'acquifero caratterizzato da percorsi di infiltrazione preferenziali.

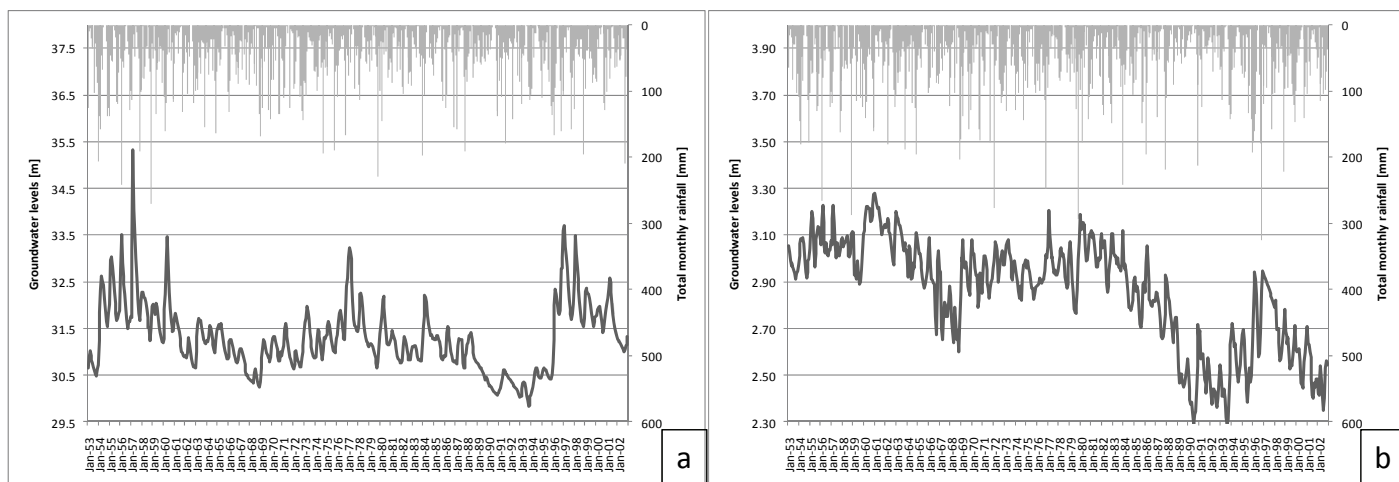


Figura 2 - Piogge mensili e corrispondenti livelli di falda: a) Brindisi; b) Lecce

		CoD 1-month	CoD 2-months	CoD 4-months	CoD 6-months	CoD simulation
Eq. (1)	Training	0.9493	0.8849	0.8043	0.7712	0.6055
	Test	0.9524	0.8882	0.7647	0.7073	0.4768
Eq. (2)	Training	0.9495	0.8871	0.8025	0.7677	0.6075
	Test	0.9448	0.8677	0.7334	0.6753	0.3877

Tabella1 - Valori di CoD per le equazioni 1 e 2 per il training e il test sets.

## CONCLUSIONI

La metodologia EPR-MOGA si è dimostrata in grado di interpretare la risposta della falda sia per l'acquifero carsico che per quello poroso. I modelli identificati ed i loro risultati forniscono ottimi risultati in termini di affidabilità della previsione della risposta della falda alle precipitazioni.

Entrambi i modelli si sono dimostrati consistenti con le differenti caratteristiche idrogeologiche dei due acquiferi. L'acquifero poroso di Brindisi evidenzia una risposta lenta dove le precipitazioni impulsive non influenzano le variazioni del livello di falda, che sono invece influenzate da periodi di precipitazioni anche non particolarmente intense, ma prolungate; in accordo con la natura porosa del terreno. Questo tipo di comportamento è ben descritto dall'equazione (1) fortemente non lineare e basata sulle precipitazioni antecedenti. L'acquifero di Lecce è caratterizzato da un comportamento completamente differente con una risposta rapida alle precipitazioni impulsive, ben interpretata dall'equazione (2) la cui struttura è molto semplice ed evidenzia assenza di sfasamento fra le precipitazioni e le escursioni dei livelli di falda, in accordo con la natura carsica dell'acquifero.

Pertanto l'uso di EPR per lo studio della risposta della falda alle precipitazioni per due differenti situazioni idrogeologiche ha fornito modelli affidabili e coerenti con le caratteristiche idrogeologiche dei due acquiferi. L'approccio data-driven proposto si è dimostrato uno strumento particolarmente potente per la costruzione di modelli idrogeologici di risposta della falda alle precipitazioni. Modelli particolarmente importanti in funzione della gestione degli acquiferi e della costruzione di scenari specialmente in regimi climatici mediterranei caldo-aridi periodicamente soggetti a lunghi periodi siccitosi, nonché in funzione della costruzione di scenari utili a valutare l'impatto delle variazioni climatiche sulle risorse idriche sotterranee.

## BIBLIOGRAFIA

- Cotecchia, V., Grassi, D., Polemio, M., (2005). *Carbonate aquifers in Apulia and seawater intrusion*. *Giornale di Geologia Applicata*, 1:219–231.
- Custodio, E., (2002). *Aquifer overexploitation: what does it mean?*. *Hydrogeol. J.*, 10(2), 254-277.
- Dogliani, A., Mancarella, D., Simeone, V., Giustolisi, O., (2010). *Inferring groundwater system dynamics from time series data*. *Hydrological Sciences Journal, IAHS press*, Vol. 55, n. 4, pp. 593-608, doi: 10.1080/02626661003747556. ISSN 0262-6667.
- Giustolisi, O., Savic, D. A., (2006). *A Symbolic Data-driven Technique Based on Evolutionary Polynomial Regression*. *J. Hydroinform.*, IWA, 8(3), 207-222.
- Giustolisi, O., Dogliani, A., Savic, D. A., di Pierro, F., (2008). *An Evolutionary Multi-Objective Strategy for the Effective Management of Groundwater Resources*. *Water Resour. Res.*, AGU, 44, W01403.
- Giustolisi, O., e Savic, D.A. (2009). *Advances in data-driven analyses and modelling using EPR-MOGA*. *J. Hydroinform.*, IWA, 11(3–4): 225–236.
- Grassi, D., Simeone V., (2002) *Different hydrogeological characters recognized in the same Mesozoic limestone platform of Apulia region* – International Groundwater Conference – IAH Inter. Ass. of Hydrogeologists – Darwin, Australia 12-17 may, 2002
- Mancarella, D., Simeone, V., (2008). *Modellazione e previsione nei sistemi idrogeologici mediante la tecnica E.P.R. (Evolutionary Polynomial Regression)*. *Giornale di Geologia Applicata*, 8, 8-16.
- Ricchetti, E., Polemio, M., (1996). *L'acquifero superficiale del territorio di Brindisi: dati geoidrologici diretti e immagini radar da satellite*. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 51, 1059-1074.
- Siegfried, T., Kinzelbach, W., (2006). *A multiobjective discrete stochastic optimisation approach to shared aquifer management: Methodology and application*. *Water Resour. Res.*, AGU, 42(2), W02402.

## **ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI NELL'AREA UMBRA DEL BACINO DEL TEVERE (1952-2008)**

ROMANO EMANUELE, PREZIOSI ELISABETTA, PETRANGELI ANNA BRUNA  
CNR IRSA, Roma, Italia, romano@irsa.cnr.it

### **RIASSUNTO**

Nell'ambito del progetto SECLI (Siccità e Cambiamenti Climatici, committente: Regione Umbria) è stata condotta un'analisi della precipitazione giornaliera relativamente al periodo 1952-2008; tale analisi, effettuata mediante indici standardizzati applicati alle serie storiche di circa 100 stazioni ubicate nel bacino del Fiume Tevere, ha permesso di identificare una ciclicità nelle precipitazioni medie annuali, correlata con le variazioni dell'indice NAO e un trend in diminuzione di circa l'8% sull'intero periodo, determinato essenzialmente da una diminuzione delle precipitazioni invernali (-16%). Tale diminuzione è correlata ad una diminuzione del numero di giorni piovosi; non è stato viceversa verificato un aumento dell'intensità media di precipitazione.

**Parole chiave:** cambiamento climatico, NAO, Precipitazioni.

### **INTRODUZIONE**

E' stata condotta un'analisi delle serie pluviometriche nell'ambito del progetto SECLI (Siccità e Cambiamenti Climatici, committente: Regione Umbria) sui dati di precipitazione giornaliera forniti dai servizi idrografici delle regioni Umbria e Lazio. Scopo della ricerca è stata la valutazione di eventuali ciclicità e trend nel pattern di precipitazione riconducibili a variazioni climatiche alla scala globale. L'analisi è stata condotta sia alla scala annuale (anno idrologico da settembre ad agosto) che alla scala stagionale mediante Standardized Precipitation Index (McKee et al. 1993) ed è relativa al periodo 1952-2008.

### **METODOLOGIA**

Ai fini dell'analisi delle precipitazioni sono state considerate tutte le stazioni con almeno 30 anni di dati, anche non consecutivi, per un totale di 98 stazioni. Il numero di stazioni disponibili per ogni anno risulta in generale essere superiore a 30 eccetto che per il periodo della seconda guerra mondiale ed il primo dopoguerra, durante il quale il numero di stazioni disponibili scende a circa 20. L'analisi della deviazione standard dello SPI per ogni anno ha mostrato che la variabilità spaziale dell'indice standardizzato può essere rappresentata se è disponibile un numero di stazioni superiore a 20. Gli indicatori standardizzati di precipitazione calcolati per ciascuna stazione sono stati aggregati alla scala dell'intero bacino attribuendo all'indice "locale" un peso proporzionale all'area del poligono di Thiessen associato (variabile di anno in anno in funzione delle stazioni attive). Lo SPI così calcolato esprime quindi un valore medio ponderato alla scala regionale.

### **INDICI DI PRECIPITAZIONE CUMULATA**

In Figura 1 sono mostrati l'SPI alla scala annuale e il North Atlantic Oscillation Index (winter NAO; fonte: <http://www.cgd.ucar.edu/>); mediante linea continua sono rappresentate le corrispondenti medie mobili a 5 anni.

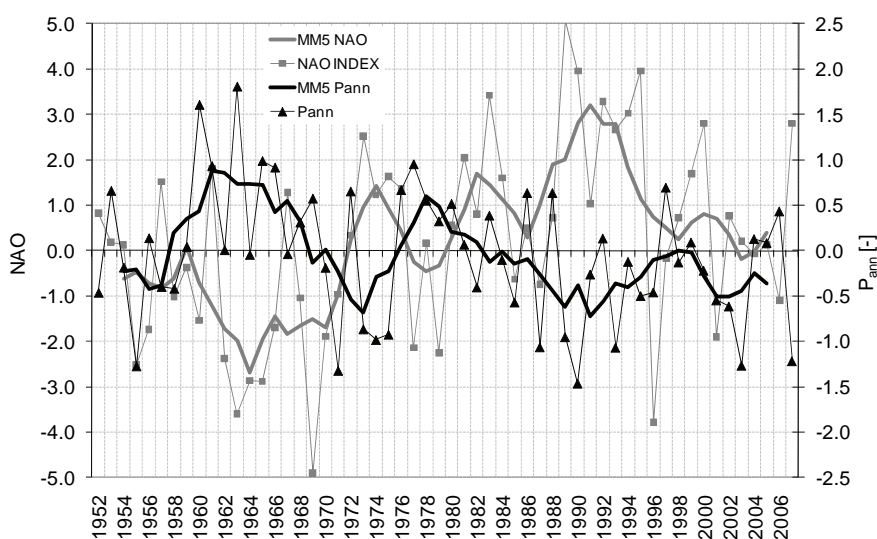


Figura 1 - Confronto tra SPI alla scala annuale e NAO (winter NAO).

Esiste un'evidente ciclicità di periodi secchi e umidi, evidenziata dalla media mobile a 5 anni: i picchi di massimo relativo (individuati in base alla media mobile a 5 anni) si identificano nel 1961, 1978 e 1998; utilizzando anche i dati relativi al periodo 1920-1951 (non presentati in questa comunicazione), sono stati individuati altri 2 picchi, nel 1924 e nel 1938; di conseguenza il tempo intercorso tra un picco positivo e l'altro risulta pari a 14, 23, 17 e 20 anni, rispettivamente. Il valore della media mobile a 5 anni dell'*SPI* varia tra -1 e +1, equivalente a una variazione pari approssimativamente a  $\pm 15\%$  della media di lungo periodo. L'alternanza di periodi secchi e umidi appare legata a ciclicità di tipo globale, rappresentata da indici climatici quali il NAO (Figura 1). Tale risultato conferma i risultati di altri studi che hanno mostrato l'esistenza di una stretta correlazione tra il NAO e il pattern di precipitazione in Europa, anche alla scala locale (i.e. Haylock & Goodess 2004; Pavan et al. 2008; Zanchettin et al. 2008).

L'analisi sugli indicatori di precipitazione cumulata stagionale (non mostrata in questa comunicazione per ragioni di spazio) ha mostrato che la ciclicità evidenziata sull'indice annuale (in correlazione con il NAO), risulta meno evidente alla scala stagionale. Non è dunque possibile attribuire la medesima ciclicità a tutte le stagioni, né correlare per tutte le stagioni la ciclicità stagionale alla ciclicità annuale.

## INDICI DI INTENSITA'

Al fine di verificare l'andamento dell'intensità di precipitazione sono stati calcolati i seguenti indici:

- 1) numero di giorni di precipitazione (*PD*): numero di giorni nel periodo di riferimento caratterizzati da un valore di precipitazione giornaliera superiore a 1 mm, standardizzato rispetto a media e deviazione standard.
- 2) Intensità media di precipitazione (*MI*): precipitazione cumulata sul periodo di aggregazione (anno o stagione) diviso per il numero di giorni di precipitazione, standardizzato rispetto a media e deviazione standard.

In Figura 2 è mostrato l'andamento dell'indice standardizzato di precipitazione annuale insieme con l'indice standardizzato del numero di giorni di pioggia e dell'intensità media di precipitazione.

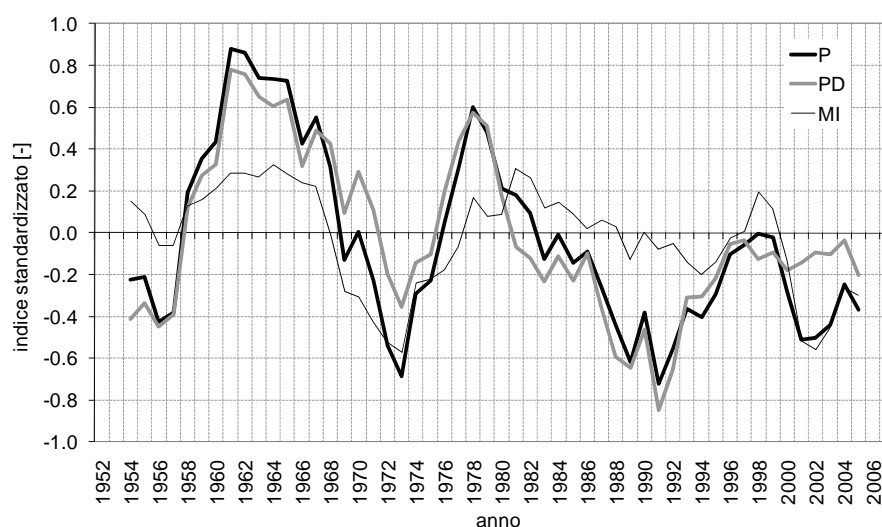


Figura 2 - Media mobile a 5 anni degli indici annuali di precipitazione (*P*), numero di giorni di pioggia (*PD*) e intensità media di precipitazione (*MI*)

Come evidenziato in Figura 2, l'indice *PD* alla scala annuale presenta lo stesso andamento dell'indice *P*: dunque le variazioni nelle precipitazioni cumulate sono attribuibili alle variazioni nel numero di eventi piovosi. Risultati analoghi sono stati ottenuti su dati di precipitazione alla scala locale, ad esempio da Nanni et al. (2008) e Gozzini et al. (2008). La variazione nel tempo dell'intensità media di precipitazione segue approssimativamente lo stesso andamento dell'indice di precipitazione; tuttavia il coefficiente di correlazione lineare tra *P* e *MI* ( $R^2 = 0.45$ ) risulta più basso di quello tra *P* e *PD* ( $R^2 = 0.77$ ), segno di una minore influenza delle variazioni di intensità media sulla precipitazione annuale cumulata, rispetto alla variazione del numero di giorni piovosi.

## TREND

Al fine di verificare l'esistenza di trend è stato applicato il test non parametrico di Mann-Kendall alle serie di indici disponibili relativamente al periodo 1952-2008. Il test di Mann-Kendall nel caso di numerosità campionaria superiore a 10 è basato sull'ipotesi nulla che il coefficiente di correlazione per ranghi di Kendall segua una statistica di tipo gaussiano al livello di significatività prescelto (nel nostro caso, 90%). In tabella 1 sono mostrati i risultati in termini di verifica del test (il SI equivale alla negazione dell'ipotesi nulla) e variazione percentuale dell'indice, calcolata rispetto alla media della precipitazione del periodo considerato.

INDICE	Verifica del trend	TREND [%]
<i>Precipitazione Annuale</i>	SI	-8.4
<i>Precipitazione Inverno</i>	SI	-16.2
<i>Precipitazione Primavera</i>	NO	-2.7
<i>Precipitazione Estate</i>	NO	-10.0
<i>Precipitazione Autunno</i>	NO	-2.5
<i>Numero di giorni di Precipitazione</i>	NO	-6.0
<i>Intensità Media Annuale</i>	NO	-1.4

Tabella 1 – Risultati del test di Mann-Kendall sugli indici in esame e corrispondenti valori del trend.

Il test di Mann-Kendall conferma l'esistenza di un trend in diminuzione delle precipitazioni annuali (pari a - 8.4 %) dovuto essenzialmente ad una diminuzione delle precipitazioni invernali (- 16.2 %) relativamente al periodo 1952-2008. È importante sottolineare che utilizzando un periodo di riferimento più lungo (1920-2008) il trend annuale risulta pari a -0.13% , cioè -7.5% in 50 anni, ma tale trend non è

confermato dal test effettuato. Viceversa, il trend relativo al periodo 1952-2008 risulta verificato e pari a -8.4% in 55 anni. E' evidente dunque come la scelta del periodo di riferimento risulti estremamente importante per l'analisi delle tendenze. Ai trend negativi riscontrati sulle serie di precipitazioni, corrispondono analoghi trend positivi dell'indice  $NAO_{winter}$ , anche in questo caso verificati per il periodo 1952-2008 (trend annuale pari a + 0.04%) e non verificati per il periodo 1920-2008 (trend annuale pari a + 0.01%).

## CONCLUSIONI

L'analisi condotta sulle serie storiche di precipitazione giornaliera relative al bacino del Tevere condotta mediante l'utilizzo di indici standardizzati ha evidenziato che:

Esiste un'alternanza di periodi umidi-secchi in relazione con indici di tipo globale quali il winter NAO con periodo variabile tra i 15 e i 23 anni. Tale ciclicità non si evidenzia alla scala stagionale.

Test statistici per l'analisi dei trend indicano una diminuzione delle precipitazioni annuali (pari a -8.4%) dovuta essenzialmente ad una diminuzione delle precipitazioni invernali (-16.2%) relativamente al periodo 1952-2008. La scelta del periodo di riferimento appare tuttavia un elemento chiave per l'analisi

La variazione di precipitazione annuale è essenzialmente correlata alla variazione del numero di giorni piovosi e, in misura minore, alla variazione dell'intensità media di precipitazione.

## BIBLIOGRAFIA

Gozzini, B., Baldi, M., Maracchi, G., Meneguzzo, F., Pasqui, M., Piani, F., Crisci, A., Magno, R., Guarnieri, F., Genesio, L., De Chiara, G., Fibbi, L., Marrese, F., Mazzanti, B., Menduni, G., (2008), *Dalla scala locale alla scala regionale: la pluviometria del bacino del fiume Arno come segnale del cambiamento climatico nel Mediterraneo* - in "Clima e Cambiamenti Climatici – Le attività di Ricerca del CNR", (a cura di B. Carli, G. Cavarretta, M. Colacino, S. Fuzzi), ed. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma

Haylock, MR, Goodess, CM., (2004), *Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation*. International Journal of Climatology. 24, 759-776.

McKee, TB, Doesken, NJ, Kleist, K., (1993), *The relationship of drought frequency and duration to time scale*. In 8th Conference on Applied Climatology. Am. Meteor. Soc: Boston

Nanni, T., Brunetti, M., Maugeri, M., (2008), *Variazione nella frequenza e nell'intensità delle precipitazioni giornaliere in Italia negli ultimi 120 anni* - in "Clima e Cambiamenti Climatici – Le attività di Ricerca del CNR", (a cura di B. Carli, G. Cavarretta, M. Colacino, S. Fuzzi) ed. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma

Zanchettin, D., Frank, S.W., Traverso, P., Tomasino, M., (2008), *On ENSO impacts on European wintertime rainfalls and their modulation by the NAO and the Pacific multi-decadal variability described through the PDO index*. International Journal of Climatology. 28, 995-1006.



# VARIABILITÀ CLIMATICA E CONSUMI IRRIGUI NEL TAVOLIERE DI PUGLIA

MASTRORILLI MARCELLO<sup>1</sup>, CAMPI PASQUALE<sup>1</sup>, PALUMBO A. DOMENICO<sup>1</sup>, VITALE DOMENICO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CRA SCA, Bari, Italia, marcello.mastrorilli@entecra.it

Dipartimento di Statistica, Università di Bari, Italia, dmenicovitale1981@libero.it

## RIASSUNTO

L'analisi descrittiva delle serie storiche dei dati agrometeorologici registrata nello scorso cinquantennio in provincia di Foggia conferma che la crescita dei consumi irrigui 'percepita' dagli agricoltori nell'ultimo decennio è dovuta all'aumento della domanda evapotraspirativa dell'ambiente. Un trend crescente di evapotraspirazione si è consolidato a partire dal 1968. Ciò ha comportato l'aumento dei volumi irrigui sia nel caso dell'olivo che del pomodoro. Relativamente al cinquantennio considerato, è possibile affermare che esiste una correlazione negativa -statisticamente significativa- fra precipitazioni (dati storici) e consumi irrigui (dati stimati).

**Parole chiave:** evapotraspirazione, olivo, pomodoro.

## INTRODUZIONE

Gli agricoltori stanno percependo con grande preoccupazione il cambiamento climatico. Le analisi scientifiche per verificare se si tratti di variazioni reali o presunte hanno fornito finora risultati controversi sulla interpretazione dei fenomeni agro-bio-climatici. All'origine della controversia ci sono due elementi: la scarsità di sequenze agrometeorologiche e l'approccio statistico usato per interpretare le serie storiche. Nel mediterraneo i volumi irrigui rappresentano indicatori sintetici di cambiamento climatico. Lo scopo dello studio è di analizzare le serie temporali di dati agrometeorologici per verificare se l'aumento dei volumi irrigui registrato dagli agricoltori negli ultimi 50 anni possa essere imputabile al cambiamento del clima.

## METODOLOGIA

I volumi irrigui stagionali di pomodoro da industria e di olivo sono stati calcolati per il cinquantennio 1951 – 2002 utilizzando i dati agro-meteorologici del Tavoliere di Puglia, dove queste colture sono rappresentative dei sistemi colturali in irriguo.

In pratica per ogni coltura e annata sono stati eseguiti i bilanci idrici (Allen et al., 1998). Per il bilancio idrico sono necessari i seguenti input:

- percentuale di superficie di terreno bagnata durante l'adacquamento (10% per olivo e 30% per pomodoro);
- profondità dell'apparato radicale (0.8 m per olivo e 0.6 m per pomodoro);
- altezza della coltura (3 m per olivo e 0.6 m per pomodoro);
- percentuale di acqua facilmente disponibile nel terreno, (40% per olivo e da 10 a 40% per pomodoro);
- durata della stagione vegetativa (in corrispondenza di temperature medie dell'aria  $> 7$  °C per olivo e 100 giorni dal trapianto per pomodoro);
- coefficienti colturali,  $K_c$  ( $K_c$  ini = 0.3,  $K_c$  mid = 0.5 and  $K_c$  late = 0.5 per olivo e  $K_c$  ini = 0.15,  $K_c$  mid = 1.15 and  $K_c$  late = 0.8 per pomodoro).

I dati climatici provengono dalla stazione agro-meteorologica del 'Podere 124' del CRA-SCA (lat. 41°26'49'', long. 15°30'15'', alt. 90m).

In base ai risultati dell'analisi di sensibilità del modello di bilancio idrico (Rana et al., 1998), sono state applicate le procedure di controllo della qualità alle variabili più influenti, pioggia e radiazione globale. Per distinguere tra variazioni artificiali e naturali, la serie storica di pioggia è stata testata attraverso il Standard Normal Homogeneity Test, SNHT (Alexandersson et al., 1997). Per realizzare il test sono state considerate altre sei serie localizzate nell'intorno della serie 'Podere 124' da testare (fig. 1).



Figura 1 –Localizzazione delle stazioni utilizzate per il test di omogeneità (SNHT) della serie di dati di pioggia ‘Podere 124’

La statistica  $T(a)$  (Alexandersson, 1986) è stata utilizzata per confrontare le medie di pioggia all’interno e tra le 7 sequenze temporali. In caso di assenza di uno scostamento dalla media  $T(a)$  è inferiore ad un certo valore critico, mentre nell’ipotesi alternativa  $T(a)$  assume valori più grandi. Come valore critico è stato assunto l’1% di quello simulato attraverso un test statistico messo a punto da Jaruscová (1994). Questa analisi, condotta per stagione, permette anche di individuare l’anno in cui si verificano gli scostamenti dalla media.

Dopo il controllo di qualità e le procedure di omogeneizzazione, i dati climatici sono stati introdotti nel modello di bilancio idrico (Allen et al., 1998) per calcolare i consumi irrigui di olivo e pomodoro. I volumi irrigui stagionali sono stati utilizzati per individuare la presenza di un ‘change point’ (Bai, 1994) nella serie storica e per analizzare il trend temporale attraverso il test non parametrico Mann-Kendall (Mann, 1945).

## RISULTATI

Per quanto riguarda la serie delle piogge, il SNHT (Fig. 2) non mostra alcuna discontinuità con le stazioni vicine. Poiché la statistica  $T(a)$  risulta inferiore all’1% del valore critico, c.l., la serie ‘Podere 124’ si considera rappresentativa delle condizioni climatiche del Tavoliere, idonea quindi a rappresentare i volumi irrigui di olivo e pomodoro calcolati attraverso il ‘bilancio idrico’.

Tra 1951 e il 1968, l’evapotraspirazione di riferimento ( $ET_0$ ) annuale è stata in media il 16% inferiore a quella registrata in seguito (952mm vs. 1134mm). I volumi irrigui stimati per olivo erano 233mm/anno [n° di osservazioni = 52; Valore minimo (1959) = 49mm/anno; Valore massimo (2000) = 448mm/anno; varianza = 8211mm<sup>2</sup>/anno]. Nel 1959, infatti, durante la stagione irrigua, l’evapotraspirazione ( $ET_c$ ) dell’olivo è stata pari a 505mm e la pioggia 436mm; nel 2000, invece,  $ET_c$  era 681mm e la pioggia solo 118mm.

Secondo l’analisi temporale riportata in figura 3, la serie dei volume irrigui dell’olivo presentano un ‘change point’ delle medie nell’intorno dell’anno 1976. Successivamente i volumi irrigui sono aumentati di 100 mm.

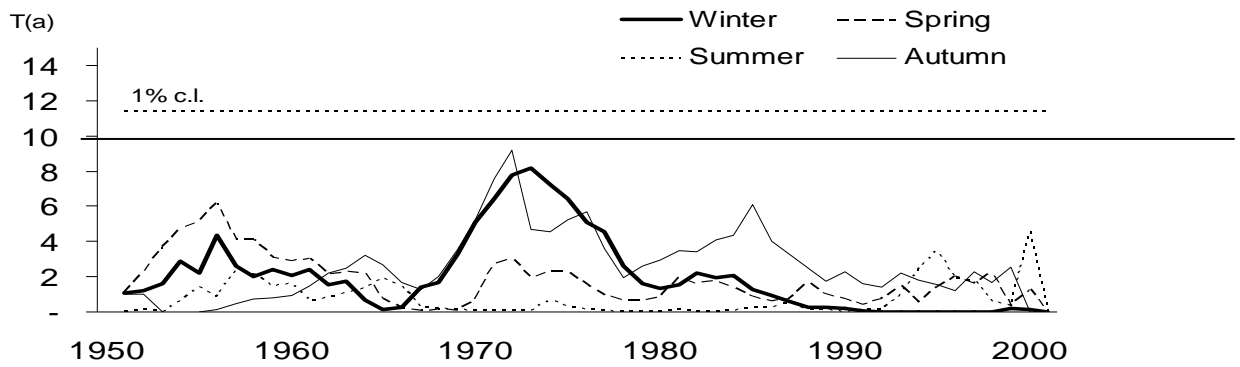


Figura 2 – Risultati del SNHT applicato alle serie stagionali di pioggia nel periodo 1951 – 2001. Nel grafico si riportano la statistica  $T(a)$ , suddivisa per le 4 stagioni, e la soglia critica (l.c.).

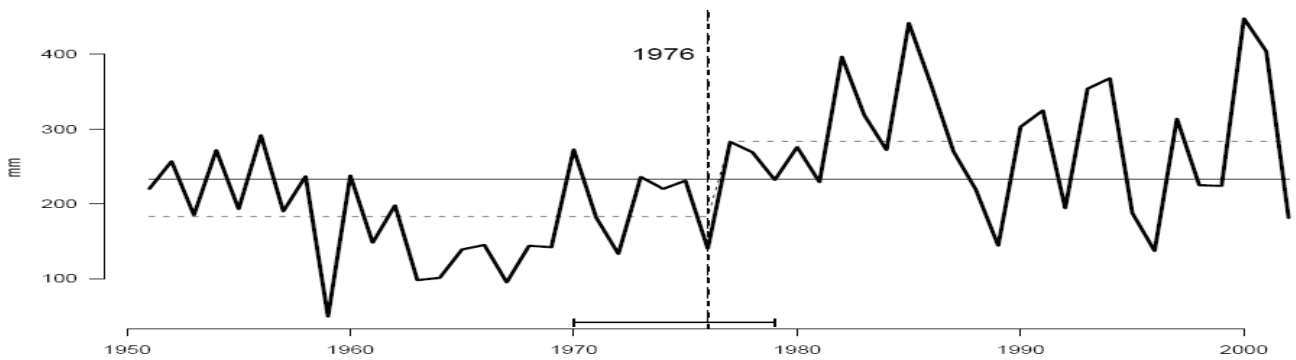


Figura 3 – Volumi irrigui di olivo e 'change point' stimati nel Tavoliere.

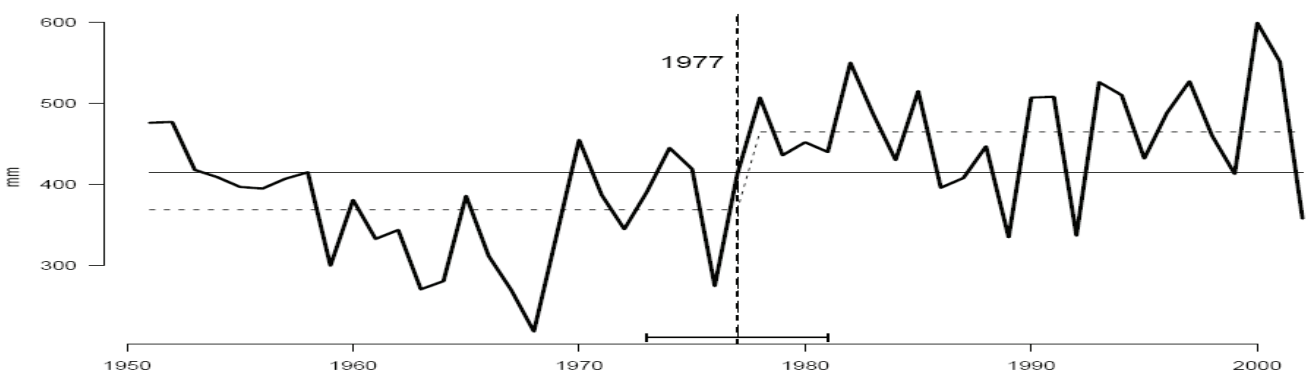


Figura 4 – Volumi irrigui di pomodoro e 'change point' stimati nel Tavoliere.

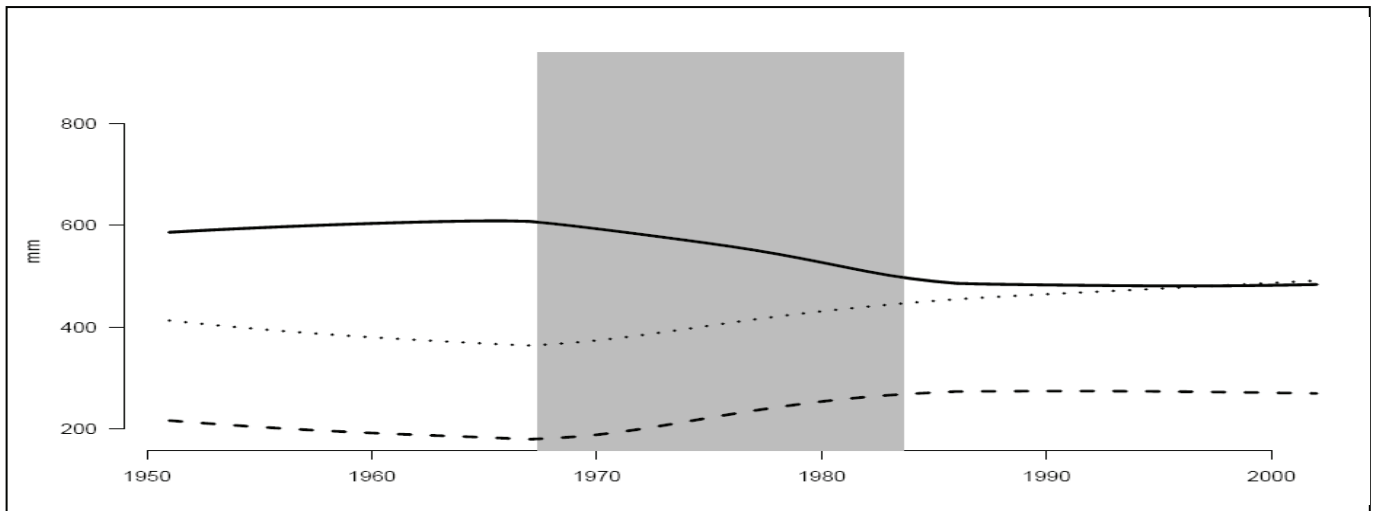


Figura 5 - Pioggia (linea continua) e consumi irrigui di olivo (linea tratteggiata) e pomodoro (linea punteggiata). Correlazione pioggia - volumi irrigui dell'olivo = -0.487; correlazione pioggia - volumi irrigui pomodoro = -0.261

Secondo il modello di bilancio idrico la media dei volumi irrigui del pomodoro da industria nel avoliere è stata 415mm/anno [ n° di osservazioni = 52; Valore minimo (1968 ) = 219 mm/anno; Valore massimo(2000) =599mm/anno; Varianza = 6888mm<sup>2</sup>/anno]. Nel 1968, ETc del pomodoro era 376mm e la pioggia pari a 233mm; nel 2000, ETc era 661mm e la pioggia 118mm. La sequenza storica dei volumi irrigui del pomodoro è stata caratterizzata da una varianza inferiore rispetto a quella dell'olivo e ciò è dovuto alla diversa durata del ciclo colturale (3-4 mesi per pomodoro e 5-6 mesi per olivo). Anche per la serie dei volumi irrigui del pomodoro è stato individuato il 'change point' intorno al 1977 (Fig. 4).

## CONCLUSIONI

I risultati statistici prodotti dal test Mann-Kendall dimostrano che durante il cinquantennio considerato, i volumi irrigui tendono a crescere a partire dal 1975. L'aumento dell'ET<sub>0</sub> (anche nei mesi invernali) si accompagna alla diminuzione delle piogge (fig. 5).

L'aumento del consumo di acqua irrigua da parte delle colture irrigue del Tavoliere, segnalato empiricamente dagli agricoltori, trova qui una conferma obiettiva.

## BIBLIOGRAFIA

- Alexandersson, H., (1986). *A homogeneity test applied to precipitation data*. Journal of Climatology, 6, 661-675.
- Allen R.G. et al., (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Paper 56, F.A.O. , Rome.
- Bai J., (1994). *Least Squares Estimation of a Shift in Linear Processes*, Journal of Time Series Analysis, 15, 453-472.
- Jarusková, D., (1994). *Change-point detection in meteorological measurement*. Monthly Weather Review, 124, 1535-1543.
- Mann, H.B. (1945), *Nonparametric tests against trend*, Econometrica, 13, 245-259.
- Rana G., Katerji N., (1998) *A measurement based sensitivity analysis of the Penman-Monteith Actual Evapotranspiration model for crops of different height and in contrasting water status*, Theoretical and Applied Climatology, 60, 141-149.

# MODELLO NUMERICO DEL SISTEMA IDROGEOLOGICO DELLE ACQUE ALBULE (ROMA): TEST DI SIMULAZIONE IN CONDIZIONI CRITICHE DI RICARICA

LA VIGNA FRANCESCO

Università degli Studi RomaTRE – Dip. Sc. Geologiche – LinQ, Lab. Idrogeologia Numerica e Quantitativa,  
lavigna@uniroma3.it

## RIASSUNTO

L'assetto idrogeologico della piana di Tivoli-Guidonia è caratterizzato da un acquifero carbonatico profondo termalizzato e un acquifero superficiale all'interno di una spessa coltre di travertini, oggetto fin dall'antichità di ingenti attività estrattive. I due acquiferi sono separati da un acquicludo discontinuo e vengono in contatto generando le manifestazioni idrotermali delle Acque Albule. La modellazione numerica idrogeologica di questo complesso sistema idrogeologico, attraverso i codici dell'USGS MODFLOW-2005 e UCODE-2005, ha permesso di fornire uno strumento di gestione da poter essere utilizzato per pianificare i futuri assetti e usi delle risorse idriche nell'area al variare delle condizioni sia climatiche che antropiche.

**Parole chiave:** modellazione numerica, sistemi idrogeologici complessi, gestione risorse idriche

## INTRODUZIONE

Questa nota presenta i risultati derivati dall'applicazione di un modello numerico al sistema idrogeologico complesso della Piana di Tivoli-Guidonia, nella campagna subito ad Est dell'Urbe. Nell'area in esame, caratterizzata da uno spesso deposito di travertino affiorante, è presente fin dall'epoca romana un'attività estrattiva per la coltivazione di questo importante litotipo. Questa attività di coltivazione, che avviene tramite approfondimento verticale, necessita di un'opera costante ed importante di *dewatering* poiché il livello di saturazione naturale del terreno raggiunge quote molto alte poste a pochi metri dal piano campagna.

In questo lavoro vengono studiati gli effetti prodotti sulla falda che satura l'acquifero dei travertini, dagli emungimenti per approvvigionamento idrico a scopo industriale, agricolo, idro-termale e per le necessità di *dewatering* da parte delle aziende estrattive ma anche gli effetti sulla quantità delle risorse dovuti alle variazioni di infiltrazione efficace nelle zone di ricarica del bacino.

Il bacino delle Acque Albule, da un punto di vista geologico, si colloca in un settore distensivo dell'Appennino Centrale, subito ad ovest dei Monti Tiburtini, e subito a nord del Complesso Vulcanico dei Colli Albani. L'area corrisponde ad una depressione interessata da un lento processo di subsidenza tettonica che ha permesso, successivamente alle ultime eruzioni vulcaniche del Distretto Albano, nel corso degli ultimi 115 Ka, e conseguentemente ad una intensa attività termale, la deposizione di sequenze di travertino, che nella sua parte più spessa superano i 90 metri (Faccenna et al. 2008). Il deposito di travertino, i cui maggiori spessori si trovano lungo una fascia allungata in direzione N-S, poggia su sequenze fluvio lacustri, sui prodotti vulcanici e su terreni marini pliocenici prevalentemente argillosi. Il substrato del bacino è costituito da termini carbonatici meso-cenozoici che affiorano a nord e ad est della piana (Monti Cornicolani e Lucretili). L'andamento N-S degli spessori massimi e delle principali emergenze idrotermali si allinea con il principale motivo tettonico dell'area, con movimento trascorrente destro e ben riconoscibile sui rilievi Cornicolani a Nord della Piana (Faccenna 2004, Faccenna et al. 2008).

Da un punto di vista idrogeologico l'acquifero travertinoso della Piana di Tivoli-Guidonia riceve la sua ricarica prevalente nei rilievi carbonatici Lucretili e Cornicolani, che lo alimentano parzialmente per trabocco laterale, nei settori settentrionali e orientali, e prevalentemente per sifonamento dal basso, nella sua zona centrale, in corrispondenza di discontinuità degli acquicludi pliocenici (Capelli et al. 1987). Lo schema concettuale di circolazione (La Vigna et al. *under review*) è stato schematizzato in tre unità idrostratigrafiche principali: un acquifero superficiale definito da travertini e sedimenti superficiali; un

aquiclude discontinuo sottostante i travertini; il bedrock carbonatico affiorante nei rilievi circostanti e confinato dall'aquiclude in corrispondenza della piana; la quota di saturazione del sistema carbonatico è attualmente ritenuta corrispondente al livello del lago presente nel Pozzo del Merro, cavità carsica di elevata profondità (>300 metri) nei Monti Cornicolani. La risalita delle acque termalizzate e in pressione dal bedrock ai travertini si ritiene avvenga attraverso limitate zone ad elevata permeabilità verticale localizzate nell'aquiclude (Fig.1a).

## DATI E METODI

Per la definizione dello schema di circolazione sono state condotte approfondite campagne sperimentali idrogeologiche nell'area, comprendenti sia misure di pozzi e piezometri, sia misure di portata in alveo nei corsi d'acqua, sia misure di portata nei singoli canali di eduazione del consorzio estrattivo. Durante la più recente campagna sperimentale (febbraio 2008, Fig.1c) sono stati acquisiti anche i principali valori chimico-fisici delle acque rilevate, per mezzo di campionatori e misuratori portatili. Inoltre nella zona è stata installata, a partire dal 2006, una rete di monitoraggio dei parametri idrogeologici composta da 7 sonde multiparametriche (registratori livello, temperatura e conducibilità elettrica), ad intervallo di registrazione orario (La Vigna et al. 2007).

Per la modellazione numerica è stato utilizzato il codice di calcolo Modflow 2005 (Harbaugh 2005). Il modello, discretizzato secondo celle da 100 m di lato e tre strati (Fig.1b) è stato implementato in stato stazionario (La Vigna 2009).

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, il carico idraulico nei carbonati è stato simulato assegnando un carico costante di 80 metri s.l.m. (valore superiore alle quote della piana, variabili tra i 75 m ed i 35 m s.l.m.) al limite del dominio attivo del terzo strato; questa scelta è coerente con i bassi gradienti idraulici dell'acquifero carbonatico e con i carichi osservati in cavità carsiche sature nei rilievi dei Monti Cornicolani; tramite il River Package il Drain Package sono stati simulati il Fiume Aniene e le sorgenti , mentre con il Well Package è stato simulato il dewatering dell'area estrattiva.

La calibrazione del modello è stata effettuata in parte secondo metodologia "*trial & error*", in parte tramite l'utilizzo del codice di modellazione inversa UCODE-2005 che ha permesso anche di eseguire l'analisi di sensibilità dei parametri (Poeter et al. 2005). Durante il processo di calibrazione e l'analisi di sensibilità si è potuto osservare come i parametri più importanti per la soluzione del modello numerico fossero le conducibilità idrauliche dei travertini, le zone a conducibilità idraulica elevata situate nell'aquiclude e i pompaggi. La calibrazione si è quindi concentrata su questi parametri (La Vigna et al 2009a).

Il modello calibrato è stato successivamente utilizzato per eseguire dei test in stato stazionario con condizioni al contorno differenti relative a periodi per cui erano disponibili alcuni set di osservazioni. In particolare, oltre a diversi scenari caratterizzati da specifiche variazioni antropiche sui prelievi (La Vigna 2009), si è voluto simulare uno scenario fortemente influenzato da una variazione climatica corrispondente ad un anno molto siccitoso (2000) che ha prodotto decrementi di ricarica stimati attorno al 30% nell'area.

## RISULTATI

A seguito del rilevamento idrogeologico è stata prodotta una cartografia delle linee isopiezometriche del periodo di riferimento in relazione al quale è stato calibrato il modello numerico (Febbraio 2008) .

Le carte dei parametri chimico-fisici (conducibilità elettrica e temperatura) mostrano come i valori maggiori siano indicativamente distribuiti in senso N-S nell'area compresa tra le sorgenti principali (L.Regina e Colonnelle) e le sorgenti minori posizionate a sud dell'area vicino il corso del Fiume Aniene (Gruppo Sorgenti del Barco). In particolare nella carta dei valori di temperatura (Fig.1) si vede chiaramente come due *plumes* rispettivamente di valori più alti e più bassi si dirigano, seguendo le linee di flusso, la prima dalle sorgenti maggiori e la seconda dall'alveo dell'Aniene (posto topograficamente più in alto di molte cave) verso l'area estrattiva (centro del cono di depressione). I dati riportati nei grafici

delle sonde multiparametriche della rete di monitoraggio mettono in luce l'estrema dinamicità di questo sistema idrogeologico e la sua stretta relazione con le attività antropiche ma allo stesso tempo un trend negativo nei livelli. Vi sono infatti oscillazioni "stagionali" legate probabilmente alla variazione dell'intensità delle attività termale, ed industriale nei vari periodi dell'anno, e oscillazioni repentine troppo veloci e frequenti (spesso ad intervalli regolari) per essere dipendenti da cause naturali.

Il modello numerico calibrato restituisce con buona approssimazione la situazione rilevata e mostrata precedentemente. Viene messo in evidenza un alto piezometrico in corrispondenza dei Laghi Regina e Colonnelle, la depressione in corrispondenza dell'area estrattiva e gli scambi tra il Fiume Aniene e l'acquifero superficiale. I punti di calibrazione relativi carichi idraulici, corrispondenti in parte all'ubicazione delle sonde multiparametriche mostrano una buona rispondenza tra valori osservati e simulati. Per visualizzare il percorso delle acque dal bedrock carbonatico è stato applicato il codice MODPATH ponendo una serie di particelle sul fondo del modello (3° layer). Alla fine della simulazione le particelle percorrono le zone a conducibilità idraulica maggiore all'interno dell'acquicludo (2° layer) e arrivano nell'acquifero superficiale dei travertini (1° layer) dentro cui si muovono, parte in direzione dell'area estrattiva, parte in direzione del drenaggio dell'Aniene.

Nel test simulante lo scenario relativo all'anno 2000, sulla base delle osservazioni disponibili, è stato diminuito il carico costante nel sistema carbonatico di 4 metri, come effetto dell'importante decremento della ricarica e si sono lasciate le altre condizioni al contorno invariate. L'effetto prodotto da questa diminuzione di carico nei carbonati produce nella simulazione un impoverimento della falda dei travertini che si traduce in corrispondenza delle principali sorgenti termali in un abbassamento di circa 2 metri, valore di soggiacenza effettivamente corrispondente a quanto riportato nei dati osservati disponibili per lo stesso periodo.

## **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Il modello numerico della Piana di Tivoli-Guidonia presenta un grado di calibrazione accettabile se si considerano le assunzioni fatte, la scala di approccio e la complessità e dinamicità del sistema naturale. I test condotti per verificare in modo empirico la capacità predittiva del modello, sebbene basate su situazioni che prendono in considerazione solo i risultati e le osservazioni in pochi punti del modello, hanno risposto positivamente alle variazioni delle condizioni al contorno in vari scenari di simulazione.

Si ritiene dunque il modello abbastanza affidabile per simulare il flusso delle acque sotterranee nell'area e per poter quindi prevedere gli effetti a grande scala di future scelte operate nella gestione delle risorse idriche locali nonché gli effetti dovuti ai cambiamenti nelle quantità di ricarica legate ai cambiamenti climatici (come confermato dai risultati relativi allo scenario del 2000).

Lo studio è stato anche utile a "fotografare" la condizione attuale della risorsa tramite il rilevamento idrogeologico di dettaglio e a confermare uno schema di circolazione da tempo ipotizzato dagli autori. Durante l'analisi di sensitività condotta nella fase di calibrazione, infatti, è emerso come il modello numerico sia molto sensibile alla ricarica dal basso. Questo indica come la piezometria, soprattutto nell'area dei Laghi Regina e Colonnelle sia prima di tutto sensibile agli apporti di acqua dovuti all'infiltrazione efficace nelle aree di ricarica situate nelle dorsali Lucretili e Cornicolane; questo avvalorava la validità del modello concettuale proposto. Anche il test simulato relativo all'anno 2000 conferma questa stretta dipendenza del sistema acquifero superficiale da quello profondo.

Oltre alle semplificazioni apportate nella costruzione del modello numerico bisogna considerare che un limite di questo studio è legato alla mancata simulazione della termalità degli acquiferi. Attualmente si sta lavorando alla conversione del modello in un codice ad elementi finiti (FEFLOW) in grado di simulare il trasporto di calore e la variazione di densità dei fluidi.

Il modello nonostante questi limiti è stato utilizzato per proporre uno scenario "a risparmio energetico" in cui, con una disposizione ragionata delle pompe da dewatering si ottiene un risparmio sul quantitativo emunto di circa il 20% con un conseguente risparmio energetico e minore impatto sulle risorse idriche locali.

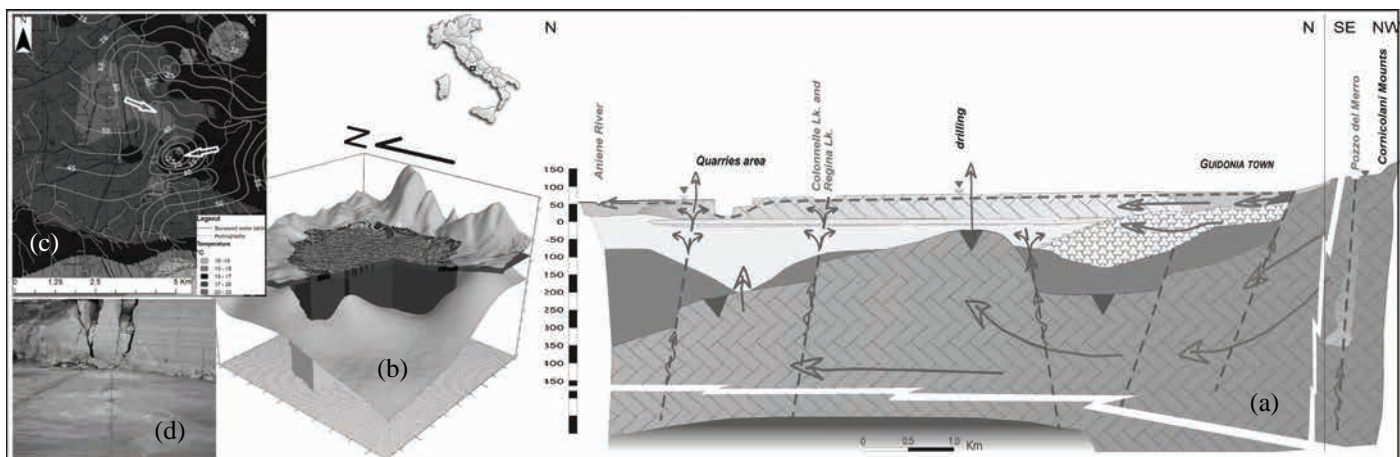


Figura 1 – a) Modello concettuale idrogeologico di riferimento (La Vigna 2009); b) Spaccato del grid del modello numerico; c) Carta della piezometria rilevata e dell'andamento delle temperature dell'acquifero dei travertini: sono evidenziate due frecce che mostrano come due *plumes* di acqua calda e fredda si muovono rispettivamente dalle sorgenti termali maggiori e dall'alveo del Fiume Aniene verso il cono di emungimento; d) Tipica emergenza da frattura beante in una cava di travertino.

## BIBLIOGRAFIA

- Anderson, M.P., Woessner, W.W. (1992). *Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport*. Academic Press, Inc., San Diego: US.
- Capelli G., Cosentino D., Messina P., Raffi R. & Ventura G. (1987). *Modalità di ricarica e assetto strutturale dell'acquifero delle sorgenti Capore – S. Angelo (Monti Lucretili – Sabina Meridionale)*. Geologica Romana, Vol.26 (419-447).
- Faccenna, C., Soligo, M., Billi, A., De Filippis, L., Funicello, R., Rossetti, C., Tuccimei, P. (2008). *Late Pleistocene depositional cycles of the Lapis Tiburtinus travertine (Tivoli, Central Italy): Possible influence of climate and fault activity*". Global and Planetary Change 60 299-308, Elsevier
- Faccenna C., Funicello R., Montone P., Parotto M. & Voltaggio M. (1994). *Late Pleistocene Strike-Slip tectonics in the Acque Albule basin (Tivoli – Latium)*. Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, Vol. XLIX, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- Harbaugh A.,V. (2005). *MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey modular ground-water model - the Ground-Water Flow Process*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.
- La Vigna F. (2009). *Modello numerico del flusso dell'unità idrogeologica termominerale delle Acque Albule (Roma)*. Tesi dottorato XXI Ciclo, Università degli Studi Roma TRE.
- La Vigna F., Rossetto R. & Mazza R. (2009). *Ground water model calibration using geology information together with sensitivity analysis and estimation methods (UCODE-2005). The Acque Albule model case, Rome, Italy*. In Calibration and Reliability of Groundwater Modeling, China University of Geosciences Press, Wuhan, China. 79-82. ISBN 978-7-5625-2417-5
- La Vigna F., Teoli P., Mazza R. & Rossetto R. (2009). *Approccio al mezzo poroso equivalente nella simulazione dei sistemi idrogeologici fratturati – il caso della Piana delle Acque Albule, Roma*. In Atti del 3° Congresso Nazionale AIGA. Centro di Geotecnologie, S. Giovanni Valdarno – (AR) 25-27 febbraio 2009
- La Vigna F., Mazza R., Taviani S., Teoli P. & Capelli G. (2007). *Development of a modern hydrogeological monitoring network in urban contest – The case of Acque Albule Plain; Central Italy; Latium Region; Rome*. Geophysical research Abstracts. - 1124 : Vol. 9
- Poeter, E.P., Hill, M.C., Banta, E.R., Mehl, S., Christensen, S. (2005). *UCODE\_2005 and Six Other Computer Codes for Universal Sensitivity Anlaysia, Calibration and Uncertainty Evaluation*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A11.



## GLI EVENTI DEL DICEMBRE 2009 NELL'APPENNINO PISTOIESE: FENOMENI METEORICI ED EFFETTI INDOTTI

D'AMATO AVANZI GIACOMO<sup>1</sup>, GALANTI YURI<sup>1</sup>, GIANNECCHINI ROBERTO<sup>1</sup>, MARIOTTI SARA<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze della Terra, Pisa, Italia, galanti@dst.unipi.it

### RIASSUNTO

Le modificazioni climatiche sono spesso richiamate quando frane e alluvioni colpiscono il territorio, soprattutto se provocate da particolari eventi meteorologici. È il caso degli eventi che nel dicembre 2009 hanno investito la Toscana nord-occidentale, caratterizzati dall'azione combinata di piogge abbondanti, nevicate copiose, repentini aumenti di temperatura e rapida fusione del manto nevoso, che insieme hanno determinato afflussi idrici molto consistenti sui versanti e negli alvei fluviali. Questa situazione è culminata il 24-25 dicembre con molteplici frane e onde di piena lungo le valli. In questa nota sono descritti i fenomeni meteorologici e gli effetti indotti sui versanti nell'Appennino Pistoiese.

**Parole chiave:** Appennino Settentrionale, frane, precipitazioni

### INTRODUZIONE

Le variazioni meteo-climatiche sono state spesso invocate per giustificare la proliferazione e recrudescenza degli eventi estremi. In molti casi si tratta di variazioni, anche significative, che non s'inquadrano in una tendenza definita, ma potrebbero rientrare nella normale variabilità e ciclicità del clima. Su questi temi controversi il dibattito scientifico è ancora aperto. Tuttavia casistiche a medio e lungo termine sembrano indicare variazioni nel regime delle precipitazioni, con una tendenza all'estremizzazione e alla concentrazione delle precipitazioni stesse, che sovente sono causa di molteplici frane e alluvioni, con gravi conseguenze per il territorio e la popolazione (Guzzetti 2000; Giannecchini & D'Amato Avanzi 2011).

Negli ultimi decenni la Toscana settentrionale è stata colpita più volte da eventi catastrofici, che hanno causato vittime e danni ingenti soprattutto nelle provincie di Lucca e Pistoia (ANPA-ARPAT 1998; D'Amato Avanzi & Giannecchini 2003; D'Amato Avanzi et al. 2002, 2004; Casagli et al. 2006; Giannecchini & Verani 2006). Nel dicembre 2009 tale area è stata nuovamente investita da piogge intense e prolungate e, in particolare dal 18 al 21 dicembre, da abbondanti nevicate fino al livello del mare (D'Amato Avanzi et al. 2010). Ne sono seguiti fenomeni alluvionali e franosi soprattutto in Val di Magra, Val di Serchio, Alpi Apuane e Appennino Pistoiese. Il Serchio ha reagito con una piena persistente (fino a

1900 m<sup>3</sup>/s, Nardi 2010) culminata con le rotture arginali del 25 dicembre e l'inondazione delle pianure di Lucca e Pisa, mentre le piogge e la fusione della neve hanno causato molteplici frane nella notte tra il 24 e il 25 dicembre. In questa nota sono descritti gli eventi meteorici e i loro effetti sui versanti nei bacini del F. Reno e del T. Lima in provincia di Pistoia (Fig. 1).

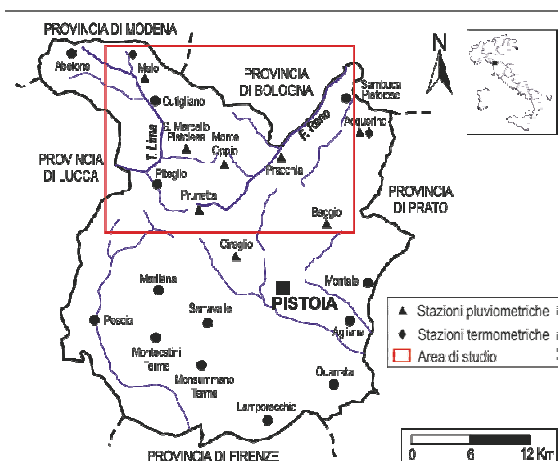


Figura 1 - L'area della provincia di Pistoia colpita dagli eventi alluvionali del dicembre 2009.

### GLI EVENTI METEORICI

Nel mese di dicembre la Toscana nord-occidentale è stata caratterizzata da particolari condizioni meteorologiche. A metà mese la risalita dell'Anticiclone delle Azzorre verso latitudini polari ha provocato la discesa di aria fredda dalle alte latitudini, originando condizioni di blocco delle correnti

atlantiche. A oriente masse d'aria molto fredda di origine artico-siberiana sono entrate nell'area ligure-tirrenica attraverso la valle del Rodano, generando abbondanti nevicate sull'Italia centro-settentrionale. Quindi una "falla barica" nell'area iberica ha richiamato correnti fredde, innescando un forte flusso sciroccale nell'area tirrenica (Consorzio Lamma 2010). Questo ha determinato piogge abbondanti e un repentino rialzo termico, con la fusione di gran parte del manto nevoso.

Nell'Appennino Pistoiese le precipitazioni di dicembre hanno raggiunto 675,8 mm a Pracchia e 613,0 mm ad Acquerino (Sambuca Pistoiese), mentre nell'area indagata in 16 giorni piovosi è stato registrato circa il 30% della media annua (Tab. 1); gli alti valori di tutte le stazioni indicano una vasta perturbazione.

Stazione pluviometrica	Quota (m s.l.m.)	Comune	Pioggia (mm)	Giorni piovosi*	Media giorni piovosi (mm)	Media annua (mm)	Periodo	%
Acquerino	900	Sambuca P.se	613,0	17	36,1	-	-	-
Monte Oppio	816	San Marcello P.se	457,2	15	30,5	1914	1966-1986	24
Melo	992	Cutigliano	589,2	16	36,8	-	-	-
Pracchia	635	Pistoia	675,8	16	42,2	-	-	-
Prunetta	951	Piteglio	530,4	16	33,2	1763,5	1975-2005	30
Cireglio	630	Pistoia	572,4	16	35,7	1594,8	1975-2005	36

Tabella 1 - Piogge cumulate del dicembre 2009 in alcune stazioni pluviometriche della provincia di Pistoia, confrontate con la media annuale (\*giorno piovoso: giorno in cui cade almeno 1 mm di pioggia) (dati: Centro Funzionale Regione Toscana)

Pur in mancanza di strumenti nivometrici, si può ritenere che la fusione del manto nevoso per l'aumento di 16-17° delle temperature minime (Fig. 2) sia stata determinante nel destabilizzare i versanti.

All'Abetone (1.340 m s.l.m.), nei pressi dell'area di studio, il 22 dicembre si sono registrati 70 cm di neve (dati Servizio Meteomont, acquisizione manuale), il 24/12 30 cm, il 27/12 7 cm (Centro Funzionale Regione Toscana & Autorità di Bacino del Fiume Serchio 2010).

Per quantificare il contributo in acqua dato dallo scioglimento della neve, si è fatto riferimento allo SWE (Snow Water Equivalent). Il 20/12, con 38 cm di neve a Monteacuto nelle Alpi (BO), a pochi chilometri dall'area di studio, viene stimato un valore di SWE compreso tra 10 e 25 mm (ARPA Emilia-Romagna 2009), che conferma il contributo dello scioglimento della neve nel determinare un consistente aumento degli afflussi idrici. Naturalmente non si può quantificare l'effettiva infiltrazione nel suolo, che dipende da vari fattori (tipo di copertura/substrato, acclività, grado di saturazione, ecc.).

I movimenti franosi si sono attivati a seguito delle precipitazioni del 24-25 dicembre insistenti su un terreno pressoché saturo e in molti contesti prossimo all'equilibrio limite, a causa delle abbondanti nevicate descritte precedentemente e delle precipitazioni dei giorni precedenti (dal 1 al 21 dicembre: 121,4 mm a Pracchia, 114,4 mm a Cireglio, 106,2 mm a Prunetta e 102,8 mm a San Marcello Pistoiese).

In particolare, si distinguono tre differenti eventi piovosi (Fig. 3); i primi due, del 22-23 dicembre (cumulate di 191,0 mm a Cireglio, 231,4 a Pracchia, 168,0 mm a Prunetta e 126,6 mm a San Marcello

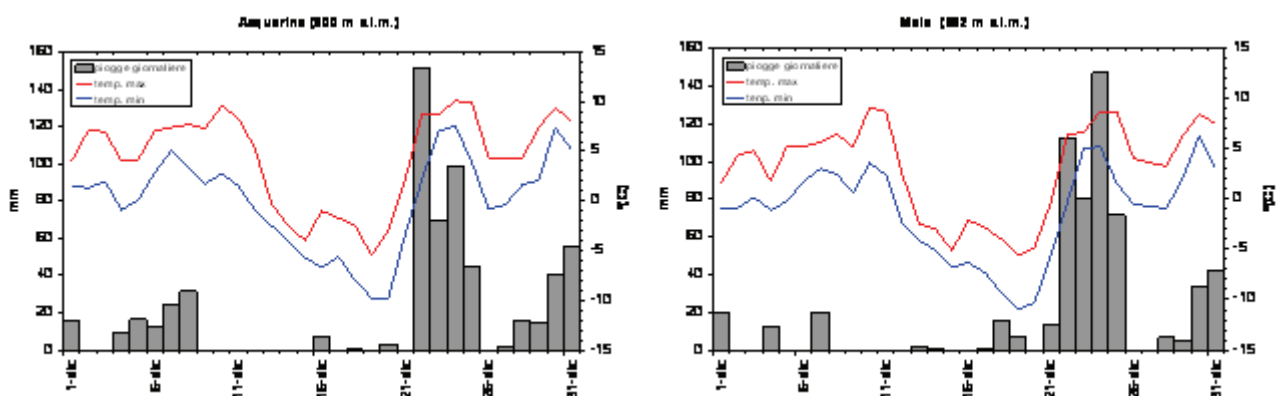


Figura 2 - Confronto tra le precipitazioni giornaliere e le temperature registrate rispettivamente ad Acquerino (Sambuca Pistoiese) e a Melo (Cutigliano), per il mese di dicembre 2009 (dati: Centro Funzionale Regione Toscana).

Pistoiese) e del 23-24 dicembre, non hanno causato frane, ma hanno contribuito a creare condizioni di equilibrio limite. Dalle 12.00 del 24 alle 4.00 del 25 dicembre, si registrano precipitazioni pressoché ininterrotte: 118,2 mm ad Acquerino, 132,0 mm a Prunetta, 142,0 mm a Cireglio, 121,2 mm a San Marcello Pistoiese, 169,2 mm a Pracchia (Figura 3), 156,4 mm a Melo (Fig. 3) e 136,4 mm a Monte Oppio. I picchi di maggiore intensità di pioggia oraria si registrano a Pracchia dalle 16.00 alle 22.00 del 24 dicembre, con 15,1 mm/h e a Melo dalle 21.00 alle 24.00 con 15,3 mm/h.

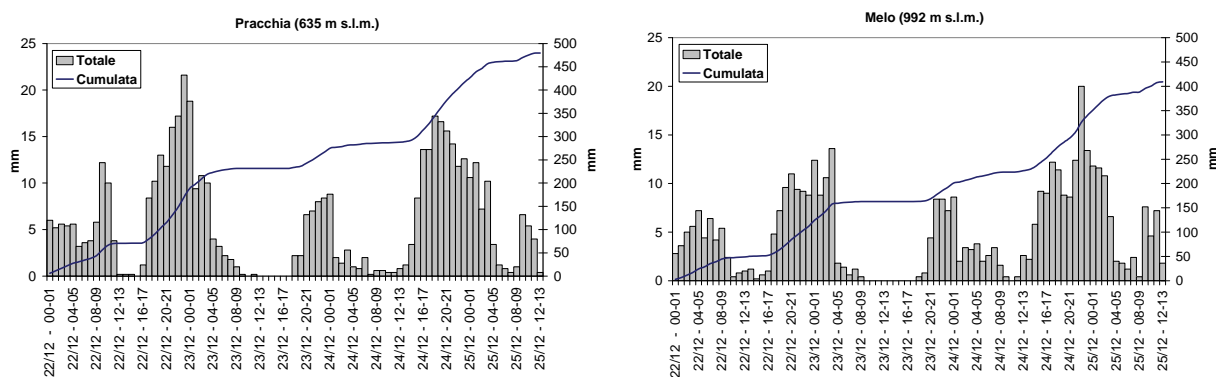


Figura 3 – Piogge orarie e cumulate registrate nel periodo 22-25 dicembre 2009 alle stazioni di Pracchia e Melo (dati: Centro Funzionale Regione Toscana)

### EFFETTI SULLA STABILITÀ DEI VERSANTI

Gli eventi meteorici del dicembre 2009 hanno causato in provincia di Pistoia decine di movimenti franosi, diversi dei quali hanno interrotto vie di comunicazione strategiche: la ferroviaria Pracchia-Pistoia, la SS 12 del Brennero nei pressi di Popiglio, la SR Porrettana a Pavana, la SP 20 tra San Marcello Pistoiese e Pian di Novello e la SP 632 in località Le Due Vie. Generalmente le frane hanno coinvolto le coperture detritiche e colluviali dei versanti, spesso per l'intero spessore (da qualche decimetro a diversi metri) e in alcuni casi anche la porzione più alterata e fratturata del substrato, costituito in prevalenza da rocce arenaceo-pelitiche o arenacee.

Le frane principali sono avvenute nei pressi di Popiglio (Comune di Piteglio), in località Pontepetri e a monte di Pracchia (Fig. 4) (Comune di Pistoia). Le prime due consistono in fenomeni di scorrimento - colata rapida di detrito, noti anche come *soil slip-debris flow* (Crosta et al. 1990, Cruden & Varnes 1996). Tali dissesti si attivano principalmente nelle concavità elementari dei versanti, dove la convergenza dei deflussi idrici nella copertura favorisce la saturazione del materiale e l'accumulo di pressioni neutre; spesso tale ubicazione caratterizza le frane innescate da piogge intense (Campbell 1975, Wieczorek 1996, Crosta 1998, D'Amato Avanzi et al. 2004). La velocità di tali frane può raggiungere vari m/s.

La frana di Pracchia (Fig. 4), uno scorrimento rotazionale di roccia e terra, è avvenuta tra le 8.30 e le 10.30 del 26 dicembre e si è staccata da una quota di circa 710 m s.l.m., coinvolgendo l'intero spessore di copertura detritica e parte del substrato arenaceo-pelitico alterato. Con un fronte di circa 100 m, uno spessore compreso tra 5 e 10 m e un volume stimato di 800.000 m<sup>3</sup>, essa ha distrutto un ponte e sbarrato l'alveo del Reno; l'invaso creatosi ha posto a rischio gli abitati a valle, per l'eventuale sviluppo di colate detritiche in caso di collasso dello sbarramento naturale.



Figura 4 – La Frana di Pracchia

La frana di Pracchia (Fig. 4), uno scorrimento rotazionale di roccia e terra, è avvenuta tra le 8.30 e le 10.30 del 26 dicembre e si è staccata da una quota di circa 710 m s.l.m., coinvolgendo l'intero spessore di copertura detritica e parte del substrato arenaceo-pelitico alterato. Con un fronte di circa 100 m, uno spessore compreso tra 5 e 10 m e un volume stimato di 800.000 m<sup>3</sup>, essa ha distrutto un ponte e sbarrato l'alveo del Reno; l'invaso creatosi ha posto a rischio gli abitati a valle, per l'eventuale sviluppo di colate detritiche in caso di collasso dello sbarramento naturale.

### CONCLUSIONI

Le frane del dicembre 2009 hanno ancora una volta messo in evidenza la fragilità del territorio. Gli eventi discussi in questa nota sono il prodotto dell'azione combinata di piogge e nevicate copiose, repentini

aumenti di temperatura e rapida fusione del manto nevoso in contesti sovente influenzati dall'attività antropica. Si tratta di una combinazione di fenomeni che può essere di previsione molto difficile e che sembra caratterizzare gli ultimi decenni di storia meteo-climatica, la cui recrudescenza pare essere dimostrata anche dai recenti episodi dell'ottobre 2010. In questo contesto assume particolare rilevanza lo studio previsionale delle frane: occorre intensificare e perfezionare gli studi sulla pericolosità e la suscettibilità di frana, sui modelli di infiltrazione delle precipitazioni nel sottosuolo e sulle soglie pluviometriche critiche per l'innesco delle frane. La combinazione delle previsioni meteorologiche e delle mappe di suscettibilità, diversificate per entità dei valori-soglia, potrà consentire di avere efficaci strumenti di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico nelle aree montane.

## BIBLIOGRAFIA

- ANPA-ARPAT, (1998). 19 giugno 1996: alluvione in Versilia e Garfagnana. Un caso di studio. Graf. Il Fiorino (FI), 315 pp.
- ARPA Emilia-Romagna, (2009). *Bollettino dell'innevamento in Emilia-Romagna n. 115 del 20/12/2009*. 2 pp.
- Campbell, R.H., (1975). *Soil slip, debris flows and rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity, Southern California*. U. S. Geological Survey Professional Paper, (851), 51 pp.
- Casagli, N., Dapporto, S., Ibsen, M.L., Tofani, V., Vannocci, P., (2006). *Analysis of the landslide triggering mechanism during the storm of 20th-21st November 2000, in Northern Tuscany*. Landslides, (3), 13-21.
- Centro Funzionale Regione Toscana, Autorità di Bacino del Fiume Serchio, (2010). *Report sull'evento alluvionale registrato nei giorni 24-25 dic. 2009 nel Bacino del Fiume Serchio*. 62 pp.
- Consorzio LaMMA, (2010). *Rapporto per il mese di dicembre 2009*. 41 pp.
- Crosta, G. (1998) - *Regionalization of rainfall thresholds: an aid to Landslide hazard evaluation*. Environmental Geology, (35, 2-3), 131-145.
- Crosta, G., Guzzetti, F., Marchetti, M., Reichenbach, P., (1990). *Morphological classification of debris-flow processes in South-Central Alps (Italy)*. Proc. 6<sup>th</sup> Int. IAEG Congr., Balkema, Rotterdam, 1565-1572.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., (1996). *Landslide type and processes*. Landslide: Investigation and Mitigation, Spec. Rep. 247, Transp. Res. Board, Nat. Acad. of Sciences, Washington, 36-75.
- D'Amato Avanzi, G., Galanti, Y. & Giannecchini, R., (2010). *Le frane indotte dagli eventi meteo del dicembre 2009 in Toscana nord-occidentale: osservazioni preliminari*. Atti Convegno "Frane e dissesto idrogeologico: consuntivo". Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 22/03/2010, in stampa.
- D'Amato Avanzi, G., Giannecchini R., (2003). *Eventi alluvionali e fenomeni franosi nelle Alpi Apuane (Toscana): primi risultati di un'indagine retrospettiva nel bacino del Fiume Versilia*. Rivista Geografica Italiana, (110), 527-559.
- D'Amato Avanzi, G., Giannecchini, R., Puccinelli, A., (2002). *I movimenti franosi del novembre 2000 nella provincia di Lucca: osservazioni preliminari*. Atti Conv. "Il dissesto idrogeologico: inventario e prospettive". Roma, 5/6/2001, Atti Conv. Lincei, (181), 365-377.
- D'Amato Avanzi, G., Giannecchini, R., Puccinelli, A., (2004). *The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An example in a temperate climate environment: the June 19, 1996 event in the north western Tuscany (Italy)*. Engineering Geology, (73), 215-228.
- Giannecchini, R., D'Amato Avanzi, G., (2011). *Historical research as a tool in estimating the flood/landslide hazard in a typical small alpine-like area: the example of the Versilia River basin (Apuan Alps, Italy)*. Submitted to Physics and Chemistry of the Earth, Spec. Issue "Disaster Risk Reduction".
- Giannecchini, R., Verani, M., (2006). *L'evento alluvionale del novembre 2000 nell'area di Pescia (Italia - Toscana Settentrionale): caratteristiche del fenomeno pluviometrico ed effetti indotti*. It. Jou. Eng. Geo. Env., (1), 19-34.
- Guzzetti, F., (2000). *Landslide fatalities and evaluation of landslide risk in Italy*. Engineering Geology, (58), 89-107.
- Nardi, R. (2010). *Le rotture arginali del fiume Serchio durante la piena del 25 dicembre 2009*. Geitalia, (30), 34-37.
- Wieczorek, G.F., (1996). *Landslide triggering mechanisms*. Landslide: Investigation and Mitigation, Spec. Rep. 247, Transp. Res. Board, Nat. Acad. of Sciences, Washington, 76-90.

# **STUDIO DELLA VARIABILITA' SPAZIALE E INTERPOLAZIONE DEI DATI PLUVIOMETRICI DELLA BASILICATA SECONDO LE MODERNE TECNICHE DI ELABORAZIONE GEOSTATISTICA**

SCALCIONE EMANUELE<sup>1</sup>, STELLUTI MATTEO, CARDINALE NICOLA  
<sup>1</sup> ALSIA, Matera, Italia, emanuele.scalcione@alsia.it

## **RIASSUNTO**

L'obiettivo di questo lavoro è di fornire un quadro di riferimento per la caratterizzazione pluviometrica della regione Basilicata, utilizzando i dati di precipitazione del trentennio 1971–2001. La fonte dei dati è rappresentata dagli annali pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico di Catanzaro e Bari e dai dati rilevati dalla rete del Servizio Agrometeorologico Lucano dell'ALSIA.

Lo studio climatologico è stato condotto tenendo conto dei dati delle singole stazioni per le quali sono state prodotte rappresentazioni cartografiche degli andamenti pluviometrici mensili della regione Basilicata.

**Parole chiave:** Basilicata, caratterizzazione pluviometrica, cartografia.

## **INTRODUZIONE**

Conoscere il territorio è il presupposto indispensabile per la corretta gestione delle sue risorse naturali, specie se rapportato al trend dei cambiamenti climatici segnalati da numerosi studi.

Ne consegue, la necessità di approfondire gli studi sui fenomeni e sulle relazioni che influenzano la potenzialità produttiva del territorio al fine di pianificare e razionalizzare l'uso delle risorse coinvolte nel processo produttivo.

La caratterizzazione climatologica è solo uno dei primi passi necessari per la valutazione delle potenzialità di un territorio, studiando non solo l'andamento in una fase di lungo periodo, ma soprattutto la loro variabilità spazio-temporale.

Le applicazioni geostatistiche si stanno sempre più diffondendo perché sfruttano la correlazione spaziale fra osservazioni vicine migliorando la stima dei dati meteorologici in siti non campionati (Stelluti & Castrignanò 2003).

Le tecniche di elaborazione sono state, quindi, finalizzate al conseguimento di due obiettivi:

- esprimere le caratteristiche strutturali del fenomeno in una forma numerica adeguata;
- stimare in punti non campionati i parametri a partire dall'informazione disponibile.

## **MATERIALI E METODI**

La fonte dei dati pluviometrici sono stati gli annali del Servizio Idrografico e Mareografico di Catanzaro e Bari e i dati del Servizio Agrometeorologico Lucano dell'ALSIA.

Sono stati acquisiti i dati pluviometrici di 68 stazioni distribuite sul territorio lucano come indicato in figura 1, le cui serie storiche coprono differenti intervalli di tempo nel periodo che va dal 1971 al 2001.

Per il periodo considerato le stazioni sono state distinte in due gruppi:

- quelle che hanno almeno 24 anni di dati, sono indicate come "lunghe";
- quelle che hanno meno di 24 anni di dati, sono indicate come "corte".

I dati mensili mancanti sono stati ricostruiti con un metodo di interpolazione (Caliandro & Stelluti 2001) che si ispira sia al metodo della distanza inversa (Isaaks & Srivastava 1989) che a quello del rapporto tra le medie pluriennali (Ray et al. 1958).

Per la spazializzazione dei dati di precipitazione media mensile è stato utilizzato il cokriging co-localo, fra ciascun parametro meteorologico (variabile primaria) e la quota (variabile ausiliaria).

Preliminarmente si è proceduto al calcolo delle statistiche di base dei dati di precipitazione mensile utilizzati nell'analisi.

## RISULTATI

Per migliorare la stima della pluviometrica del territorio è stato utilizzato un DEM (Digital Elevation Model) con una risoluzione di 75 m x 75 m e una accuratezza dell'ordine del metro.

Tutte le distribuzioni hanno presentato delle accentuate eccentricità positive (con numerosi valori superiori alla media). Anche il secondo parametro di forma (curtosi) ha confermato un generale sensibile scostamento delle distribuzioni sperimentali da quella teorica gaussiana o normale. Per tale motivo tutte le variabili sono state preventivamente normalizzate.

I variogrammi dei singoli parametri climatici e quelli incrociati fra il singolo parametro climatico e la quota sono risultati tutti abbastanza ben strutturati, come confermato dal test di cross-validation, ottenendo così le mappe spaziali delle piogge mensili (fig. 2).

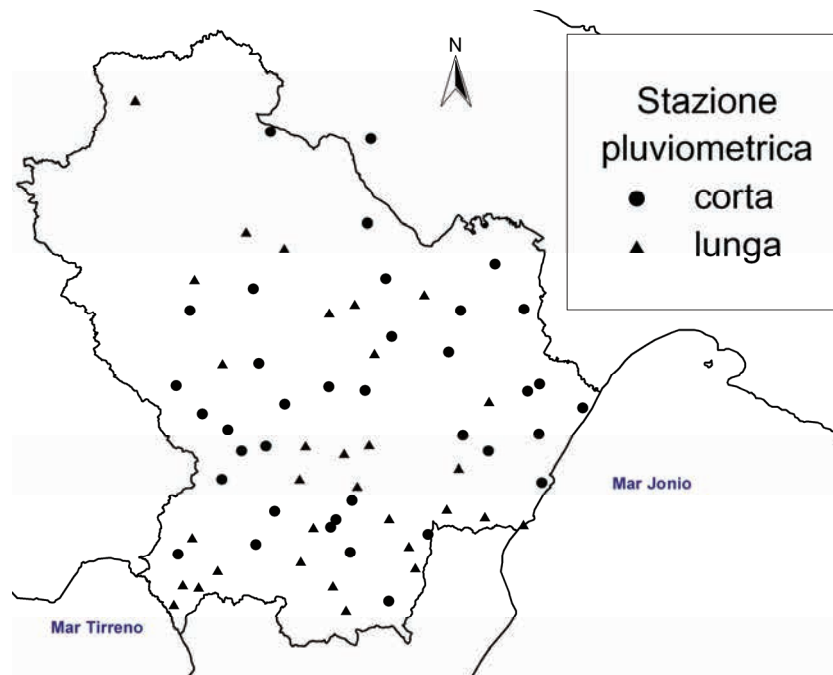


Fig. 1 - Ubicazione delle stazioni pluviometriche con serie storiche "lunghe" e "corte".

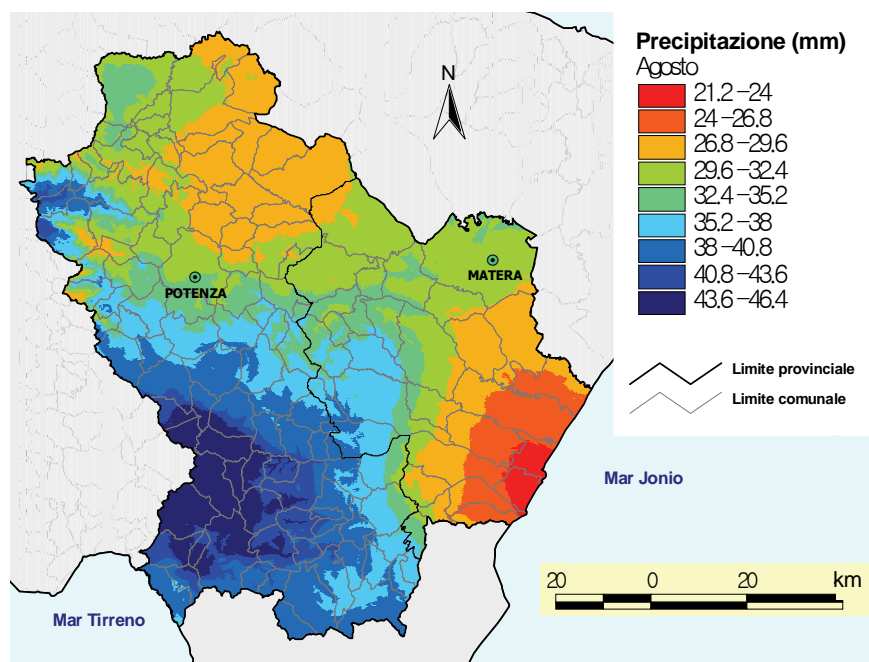


Fig. 2 – Esempio di mappa spaziale della pluviometria mensile

Per completezza si sono calcolati, per ogni punto della griglia di interpolazione, i limiti fiduciali 95%, ottenendo le mappe spaziali dei limiti inferiori (pioggia stimata -  $1,96 \cdot$  errore standard) e dei limiti superiori (pioggia stimata +  $1,96 \cdot$  errore standard).

## CONCLUSIONI

Il risultato delle elaborazioni effettuate e la cartografia prodotta mette in rilievo in termini quantitativi alcune caratteristiche significative del territorio regionale, caratterizzato da un regime pluviometrico influenzato dalla complessa orografia e della posizione geografica a cavallo dei due mari.

Da ciò deriva che la cartografia prodotta è solo uno dei risultati che si possono ottenere da una banca dati trentennale che ben si presta a studi di maggiore approfondimento in relazione ad esempio ai fenomeni di cambiamento climatico.

Di fatti, l'approfondimento degli studi sui meccanismi e sulle relazioni che regolano le dinamiche ambientali e produttive possono definire un sistema per la gestione dei dati territoriali, finalizzate a descrivere le reali potenzialità del territorio compresa la pianificazione e il razionale uso delle risorse coinvolte nel processo produttivo per fornire agli amministratori pubblici e ai privati cittadini, una base conoscitiva adeguata a supportare i processi decisionali consentendo scelte sostenibili e con minore impatto ambientale.

Inoltre, lo studio della variabilità temporale delle precipitazioni può evidenziare la presenza di un cambiamento climatico a livello "locale" e la sua influenza sulla climatologia regionale compresa la stima di alcune variabili derivate, quali l'evapotraspirazione e il bilancio idroclimatico.

Informazioni queste che potranno essere la base su cui sviluppare successive analisi per valutare l'adattabilità delle colture attualmente praticate alle condizioni future, l'opportunità di modificare le tecniche agronomiche attualmente impiegate e le potenzialità di introduzione e diffusione di nuove specie e varietà, come ad esempio l'anticipo dell'epoca di trapianto e/o raccolta per sfuggire agli effetti del caldo e della siccità estiva.

In Basilicata da alcuni anni è disponibile per gli agricoltori un servizio interattivo di assistenza all'irrigazione, denominato IrriWeb (<http://irrigation.altavia.eu/LoginALSIA.aspx>) mirata a ridurre gli apporti idrici e lo scadimento qualitativo della produzione.

La cartografia regionale completa può essere scaricata al seguente indirizzo:

[http://www.ssabasilicata.it/CANALI\\_TEMATICI/Agrometeorologia/File\\_allegati/Pluviometria della Basilicata.pdf](http://www.ssabasilicata.it/CANALI_TEMATICI/Agrometeorologia/File_allegati/Pluviometria_della_Basilicata.pdf).

## **BIBLIOGRAFIA**

Stelluti, M., Castrignanò, A., (2003). *Caratterizzazione meteorologica*. Caratterizzazione agroecologica del territorio garganico a cura di Z. Flagella e E. Tarantino, Università di Foggia. Claudio Grenzi Editore, 85-152.

Caliandro, A., Stelluti, M., (2001). *Delimitazione di aree climatiche omogenee*. Interreg II Italia-Albania, Asse 6, Misura 6.2, Sottomisura 6.2.C “Introduzione di innovazioni tecnologiche nei processi produttivi”. Stampato in proprio, allestimento: Tecnomack, Bari.

Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., (1989). *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, New York.

Ray, K. L. jr., Max, A. K., Joseph, L. K. P., (1958). *Hydrology of engineers*. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York – Toronto – London.



# STRATIGRAFIA E IDROSTRATIGRAFIA PRELIMINARE DEL SOTTOSUOLO DELLA PIANA COSTIERA METAPONTINA (BASILICATA - ITALIA MERIDIONALE)

TROPEANO MARCELLO<sup>1</sup>, CILUMBRIELLO ANTONIETTA<sup>1</sup>, SABATO LUISA<sup>1</sup>, ANDRIANI GIOACCHINO FRANCESCO<sup>1</sup>, GALLICCHIO SALVATORE<sup>1</sup>, GRIPPA ANTONIO<sup>1</sup>, ROSSI COSIMA ANNAMARIA<sup>2</sup>, SPILOTRO GIUSEPPE<sup>3</sup>, WALSH NICOLA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro", Italy, m.tropeano@geo.uniba.it

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Geologiche, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italy

<sup>3</sup> Dipartimento di Strutture, Geotecnica, Geologia Applicata all'Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italy

## RIASSUNTO

L'analisi sedimentologica e stratigrafica di numerose carote perforate nella Piana Metapontina (area costiera del Golfo di Taranto, in Basilicata) ha permesso di proporre un modello di distribuzione delle facies basato su concetti di stratigrafia sequenziale, sui quali può essere basata una successiva modellizzazione idrostratigrafica dell'acquifero costiero sepolto. Viene qui sinteticamente presentata la parte stratigrafico/sedimentologica della ricerca con una visione idrostratigrafica preliminare.

**Parole chiave:** Piana Metapontina, idrostratigrafia, acquifero costiero.

## INTRODUZIONE

Per suggerire corrette pratiche di uso del suolo e gestione territoriale delle piane costiere ed alluvionali attuali è ormai necessario proporre modelli 3D della distribuzione dei caratteri litologici del sottosuolo ricavati da studi stratigrafici e sedimentologici di tipo sequenziale. La metodologia, se applicata successivamente allo studio degli acquiferi sepolti, viene definita idrostratigrafia, e, in Italia, esempi avanzati di questo tipo di studi vengono dalla Pianura Padana, e dalle piane del Fiume Arno e del Fiume Tevere. La modellistica idrostratigrafica necessita di schemi di distribuzione spaziale delle facies che derivano essenzialmente dalla conoscenza teorica dei processi che governano: la dinamica sedimentaria nei vari contesti deposizionali; l'evoluzione dei vari sistemi deposizionali in condizioni di relativa stazionarietà dei livelli di base; la risposta dei vari sistemi deposizionali alle variazioni di breve, medio e lungo periodo dei livelli di base. I modelli stratigrafici così ottenuti devono essere successivamente affinati caratterizzando granulometricamente e tessituralmente le differenti facies riconosciute ed acquisendo i loro parametri petrofisici.

Al fine di proporre una interpretazione in chiave idrostratigrafica dei depositi sepolti della piana costiera metapontina (Golfo di Taranto - Italia meridionale), un'area che ricade nell'estrema propaggine meridionale della Fossa bradanica, sono stati analizzati venti sondaggi a carotaggio continuo aventi profondità variabili da 50 m fino ad un massimo di 120 m (Fig. 1). Lungo quattro carote dei venti sondaggi (quelle per le quali è stata possibile la conservazione presso il Dipartimento di Geologia e Geofisica dell'Università di Bari) sono state condotte analisi di facies di dettaglio ed analisi biostratigrafiche e cronostatigrafiche (datazioni con il metodo del radiocarbonio) di tipo mirato su campioni ritenuti utili (Cilumbriello et al. 2010). Altre informazioni di carattere esclusivamente litostratigrafico provenienti da oltre 350 sondaggi svolti dall'Ente Irrigazione della Regione Basilicata, di cui non è stato possibile analizzare le carote (ormai perdute) ma solo reinterpretare le stratigrafie di perforazione, ed informazioni indirette di tipo geofisico (*gamma ray logs*) hanno completato il *data set* di partenza.

Sulla base dei dati al momento acquisiti, sono state elaborate alcune sezioni 2D di dettaglio con una visione idrostratigrafica di distribuzione dell'acquifero costiero che potrebbe già presentare un buon grado

di predittività (essendo basato su analisi stratigrafico-sequenziali) se supportato da una caratterizzazione petrofisica delle facies (analisi programmate nella prosecuzione della ricerca).

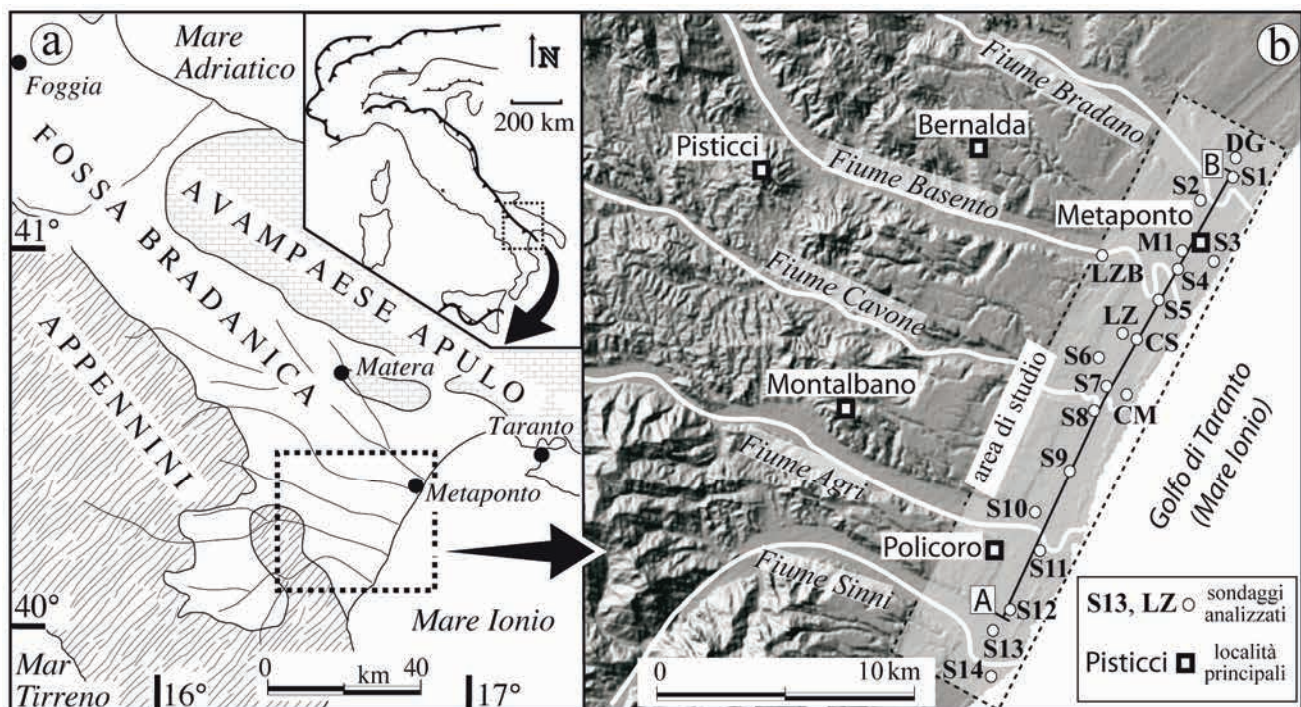


Figura 1 - a) Ubicazione geografica dell'area studiata; b) dettaglio dell'area di studio con ubicazione dei sondaggi analizzati

## STRATIGRAFIA

Il sottosuolo della Piana Metapontina è da diversi anni area di interesse per ricerche legate alla corretta gestione dell'acquifero costiero (fra gli altri: Boenzi et al. 1987; Polemio & Ricchetti 1991; Polemio et al. 2003a; 2003b; Spilotro 2004).

Il riconoscimento di due superfici di discontinuità di significato regionale (SB1 e SB2 in Fig. 2a), ottenuto tramite correlazioni stratigrafiche effettuate lungo profili sia paralleli che trasversali alla linea di costa attuale, ha permesso recentemente di suddividere la successione sepolta dell'area metapontina in tre unità sovrapposte, di cui solo la più alta affiorante, ognuna delle quali composta da più litofacies (Pescatore et al. 2009; Cilumbriello et al., 2010). Il dettagliato studio sui caratteri di facies dei depositi attraversati, sui rapporti latero-verticali delle stesse facies e sull'organizzazione stratigrafica delle loro associazioni ha permesso di distinguere all'interno dei depositi analizzati quattro tipi di sistemi deposizionali: sistema fluviale, sistema deltizio dominato dalle onde, sistema estuarino dominato dalle onde, e sistema di transizione alla piattaforma. Depositi riferibili ad uno o più di tali sistemi costituiscono ognuna delle tre unità, per cui tipi litologici simili, a seconda della loro posizione rispetto alle superfici di discontinuità regionale, possono essere ricondotti ad unità differenti.

L'unità inferiore è stata incontrata a partire da una profondità minima di almeno 40 m sotto il livello del mare; costituisce il substrato della successione attraversata dai sondaggi ed è stata perforata per almeno 60 m senza che la base sia stata raggiunta. Tale unità è costituita da depositi prevalentemente siltosi e siltoso-argillosi di ambienti riferiti a sistemi di transizione alla piattaforma, passanti verso terra e verso l'alto a depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di ambienti riferiti a sistemi deltizi dominati dalle onde. Da considerazioni di carattere geologico regionale, l'unità viene attribuita al Pleistocene medio e,

dubitativamente, superiore; inoltre, la parte siltoso-argillosa dell'unità può essere considerata come la

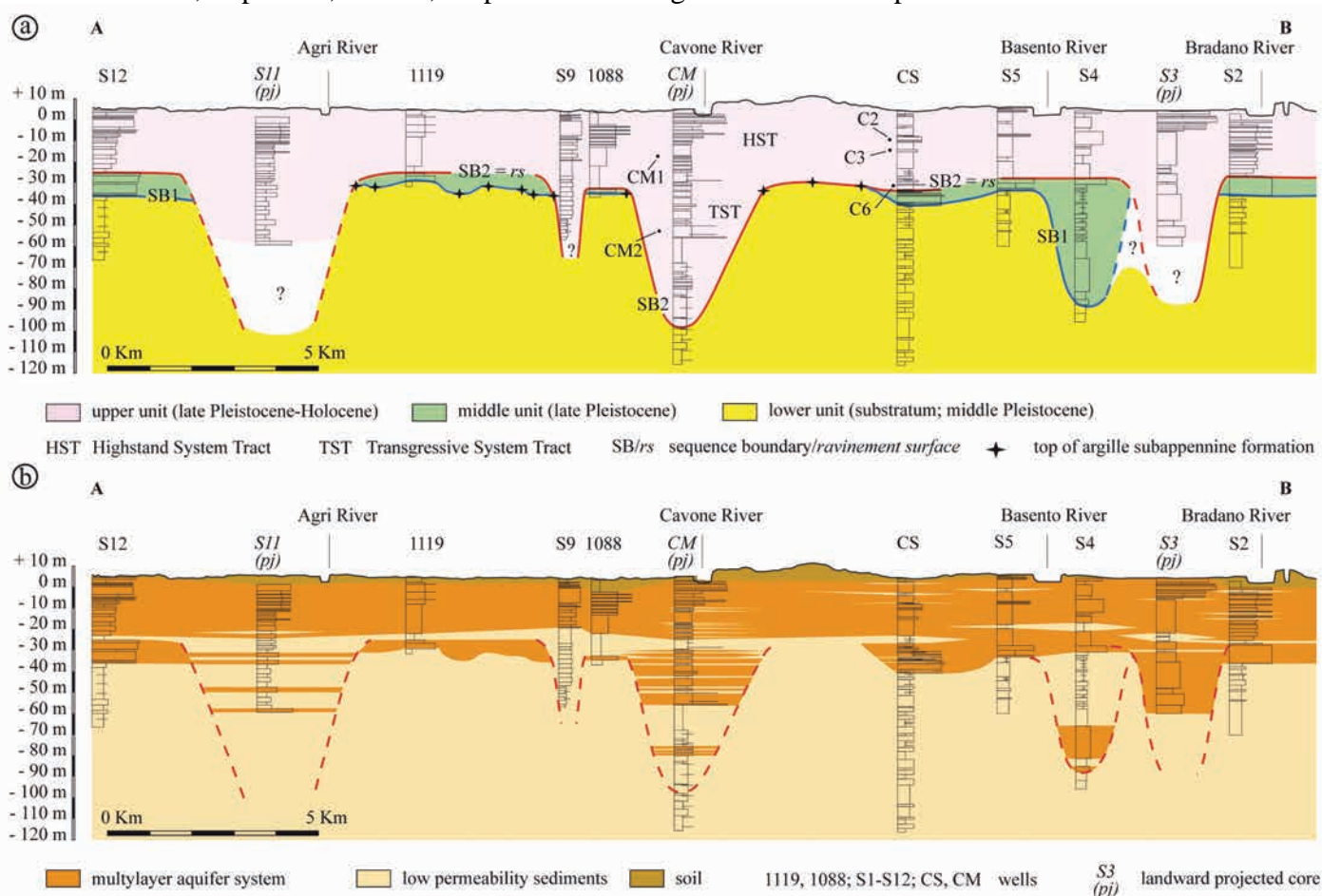


Figura 2 - a) stratigrafia della piana costiera metapontina, per l'ubicazione della sezione si veda la figura 1; b) idrostratigrafia preliminare (modello stratigrafico 2D). Da Cilumbriello et al. (2010).

porzione più recente della formazione delle argille subappennine, facente parte del ciclo di riempimento della Fossa bradanica. Il tetto dell'unità inferiore è rappresentato da una superficie molto irregolare ed articolata, localmente caratterizzata da bruschi approfondimenti che vengono riferiti ad incisioni vallive prodottesi in intervalli di tempo di esposizione subaerea dell'area e correlati a fasi di caduta e stazionamento basso del livello relativo del mare. Il loro riempimento sarebbe avvenuto prevalentemente ad opera di sistemi deposizionali estuarini dominati dalle onde sviluppatasi durante intervalli di tempo di risommersione dell'area correlati a fasi di risalita del livello relativo del mare. Un primo ciclo di caduta e risalita relativa del livello del mare, riferito ad un intervallo di tempo compreso fra il MIS 4 (*Marine Isotope Stage 4*) e il LGM (*Last Glacial Maximum*) e quindi al Pleistocene superiore, avrebbe permesso prima lo sviluppo e successivamente l'erosione al tetto dell'unità intermedia, definita "unità MP1" (*Metaponto Plain 1*). Questa costituisce un corpo discontinuo e a geometria irregolare il cui tetto può essere riconosciuto ad una profondità di circa 30 m. L'unità MP1 presenta uno spessore di 15 m che aumenta bruscamente fino ad un massimo di 60 m dove riempie una paleovalle; nel primo caso si tratta di depositi sabbioso ghiaiosi di ambienti riferiti a sistemi fluviali e/o deltizi, nel secondo caso di depositi siltoso-sabbiosi di ambienti riferiti a sistemi estuarini passanti verso l'alto a depositi siltoso-sabbiosi di ambienti riferiti a sistemi deltizi. Un secondo ciclo di caduta e risalita relativa del livello del mare avrebbe determinato prima l'incisione di una nuova serie di valli fluviali su entrambe le unità precedenti e successivamente il loro riempimento da parte di depositi di ambienti riferiti a sistemi estuarini; il colmamento delle valli sarebbe stato seguito dall'aggradazione di depositi siltoso-argillosi di ambienti riferiti a sistemi di transizione alla piattaforma che passano verso l'alto a depositi siltoso-sabbiosi di ambienti riferiti a sistemi deltizi ed infine a depositi sabbiosi di ambienti riferiti a sistemi fluviali, questi ultimi costituenti l'attuale piana metapontina. L'insieme di questi depositi costituisce l'unità superiore,

definita “unità MP2” (*Metaponto Plain 2*) e riferita ad un intervallo di tempo compreso fra il LGM e l’attuale (parte alta del Pleistocene superiore e Olocene). A causa della base irregolare l’unità MP2 mostra spessori variabili da 30 m fino ad un massimo di 90 m nei riempimenti delle paleovalli.

Per l’analisi di dettaglio dei depositi affioranti dell’unità superiore si rimanda al recente lavoro di Pescatore et al. (2009), mentre per il dettaglio dell’analisi di facies delle carote si rimanda al lavoro di Cilumbriello et al. (2010).

## **IDROSTRATIGRAFIA PRELIMINARE E CONCLUSIONI**

I caratteri stratigrafici riconosciuti e le caratteristiche di facies riscontrate permettono di considerare i depositi siltosi e siltoso-argillosi dell’unità più bassa, cioè quelli riferiti alla formazione delle argille subappennine, come il substrato dei depositi del sottosuolo della piana metapontina. La superficie di tetto di tale substrato, articolata dalla presenza delle profonde paleoincisioni vallive, corrisponde all’acquitrando di un unico acquifero multistrato ospitato nelle due unità stratigraficamente sovrastanti il substrato. Alla luce dell’architettura stratigrafica riconosciuta nelle due unità sovrastanti il substrato, nei riempimenti delle incisioni vallive l’acquifero si approfondisce ed è confinato lateralmente dai depositi del substrato che costituiscono i fianchi delle paleovalli successivamente riempite. Verticalmente l’acquifero risulta partizionato, con falde in pressione presenti nei corpi più porosi ospitati nel riempimento delle paleovalli e falde freatiche, non confinate lateralmente, nei corpi porosi ospitati nella porzione più alta della successione che caratterizza il sottosuolo della Piana Metapontina.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Boenzi, F., Cherubini, C., Giasi, C., (1987) *Dati e considerazioni sull’evoluzione recente e sui caratteri idrogeologici della piana costiera metapontina compresa tra il F. Bradano ed il F. Basento (Basilicata)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 10, 34-46.
- Cilumbriello, A., Sabato, L., Tropeano, M., Gallicchio, S., Grippa, A., Maiorano, P., Mateu-Vicens, G., Rossi, C.A., Spilotro, G., Calcagnile, L., Quarta, G., (2010) *Sedimentology, stratigraphic architecture and preliminary hydrostratigraphy of the Metaponto coastal-plain subsurface (Southern Italy)*. In: Proceedings of the National Workshop "Multidisciplinary approach for porous aquifer characterization", Bersezio, R. & Amanti, M. (eds). Memorie descrittive della Carta Geologica d’Italia, XC, 67-84.
- Pescatore, T., Pieri, P., Sabato, L., Senatore, M.R., Gallicchio, S., Boscaino, M., Cilumbriello, A., Quarantiello, R. & Capretto, G., (2009) *Stratigrafia dei depositi pleistocenico-olocenici dell’area costiera di Metaponto compresa fra Marina di Ginosa ed il Torrente Cavone (Italia meridionale): Carta geologica in scala 1:25.000*. Il Quaternario, 22(2), 307-324.
- Polemio, M., Dragone, V., Limoni, P.P., Mitolo, D., Santaloia, F., (2003a) *Caratterizzazione idrogeologica della Piana di Metaponto, qualità e rischi di degrado delle acque sotterranee*. Acque sotterranee, 83, 35-49.
- Polemio, M., Limoni, P.P., Mitolo, D., Santaloia, F., (2003b) *Characterization of the ionian-lucanian coastal plain aquifer (Italy)*. Boletín Geológico y Minero, 114, 225-236.
- Polemio, M., Ricchetti, E., (1991) *Caratteri idrogeologici dell’acquifero della piana costiera di Metaponto (Basilicata)*. Convegno Nazionale Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Gargnano (BS), Italy, 417-426.
- Spilotro, G., (2004) *Erosion profile of the Blue Clay bedrock along the Ionian coast of the Basilicata Region*. Quaternaria Nova, 8, 247-261.

# LE AREE D'INNESCO DELLE FRANE SUPERFICIALI RAPIDE: UN CASO DI STUDIO IN TOSCANA SETTENTRIONALE

D'AMATO AVANZI GIACOMO<sup>1</sup>, GALANTI YURI<sup>1</sup>, GIANNECCHINI ROBERTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Pisa, Italia, galanti@dst.unipi.it

## RIASSUNTO

In Toscana Settentrionale, le piogge intense e concentrate, sempre più spesso, innescano frane superficiali rapide che coinvolgono le coperture detritico-colluviali. Tali frane, essendo controllate da diversi fattori, risultano di difficile previsione spazio-temporale. Pertanto, per comprenderne meglio i meccanismi d'innescò e contribuire alla definizione della pericolosità, si ritiene utile implementare le conoscenze sulle caratteristiche morfologiche dei versanti e sulle caratteristiche geotecniche dei terreni di copertura. A tal proposito, su alcuni versanti-campione della Provincia di Lucca, sono state svolte indagini atte a definire la geometria dei pendii e le caratteristiche dei materiali coinvolti in termini di spessore ed angolo di attrito.

**Parole chiave:** aree d'innescò, depositi colluviali, *soil slip-debris flow*

## INTRODUZIONE

In Toscana Settentrionale, precipitazioni intense e concentrate possono innescare frane superficiali rapide che coinvolgono, principalmente, le coperture detritico-colluviali delle formazioni arenaceo-pelitiche come il Macigno (Falda Toscana) e lo Pseudomacigno (Autoctono *Auctt.*), molto diffuse in quest'area. Particolarmente colpite risultano alcune zone della provincia di Lucca, come la Versilia e la Garfagnana (D'Amato Avanzi & Giannecchini 2003, D'Amato Avanzi et al. 2004), la Media Valle del Serchio (D'Amato Avanzi et al. 2002, 2010) e l'Appennino Pistoiese (D'Amato Avanzi et al. 2010). Recentemente (31 ottobre-1 novembre 2010), tali fenomeni si sono innescati anche nell'entroterra di Massa, causando 3 vittime. Tali frane avvengono in contesti geologici e geomorfologici tipici: versanti acclivi (30-45°) con copertura detritica di modesto spessore (0,5-2 m) e substrato semi-permeabile o impermeabile (D'Amato Avanzi et al. 2004). Tuttavia, non tutti i pendii con tali caratteristiche sono stati coinvolti da movimenti franosi in concomitanza degli eventi citati, come già osservato da Giannecchini (2003). È quindi necessario, per comprendere meglio i meccanismi d'innescò delle frane superficiali e contribuire alla definizione della loro pericolosità, implementare le conoscenze sulle caratteristiche morfologiche dei versanti e sulle caratteristiche geotecniche dei terreni di copertura.

In questa nota vengono esposti i risultati preliminari di indagini effettuate su alcuni versanti della Media Valle del Serchio, colpiti dagli eventi pluviometrici del novembre 2000 e del giugno 2010 (Figura 1).

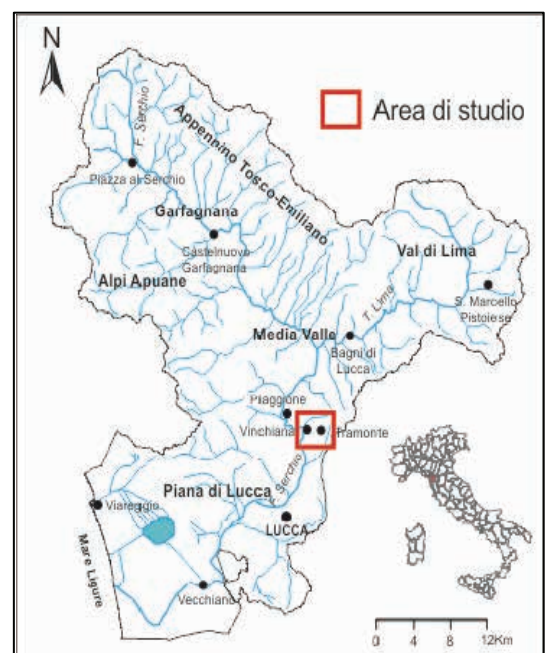


Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area di studio.

## EVENTI PLUVIOMETRICI

Gli eventi del 20 novembre 2000 e del 19 giugno 2010 hanno causato rispettivamente centinaia e decine di movimenti franosi, prevalentemente di tipo superficiale, che hanno interessato le coperture detritico-colluviali del Macigno (arenarie quarzoso-feldspatiche-micacee con intercalazioni siltitiche e argillitiche). I grafici in Figura 2 mostrano i dati di pioggia giornaliera ed oraria, registrati a Piaggione (LU) nel novembre 2000 e nel giugno 2010. L'evento del 20 novembre 2000 è stato caratterizzato da 176,6 mm di

pioggia registrati dalle 23.00 del 19/11 alle 13.00 del 20/11 e da una intensità di 12,6 mm/h. Mentre il 19 giugno 2010 sono state registrate, dalle ore 00.00 alle 12.00, precipitazioni quantificabili in 148,4 mm (12,4 mm/h), con picchi di intensità massima di 45mm/h tra le 6.00 e le 7.00. I due eventi sono stati caratterizzati da quantità ed intensità di pioggia simili; quindi, la differenza nel numero di frane innescate e di conseguenza nei danni prodotti, è da attribuire all'influenza delle piogge antecedenti nel determinare condizioni d'instabilità. Infatti, le precipitazioni nei 30 giorni precedenti all'evento del novembre 2000 sono quantificabili in 371,2 mm, mentre quelle antecedenti al 19 giugno 2010 solamente in 64,8 mm (Figura 2).

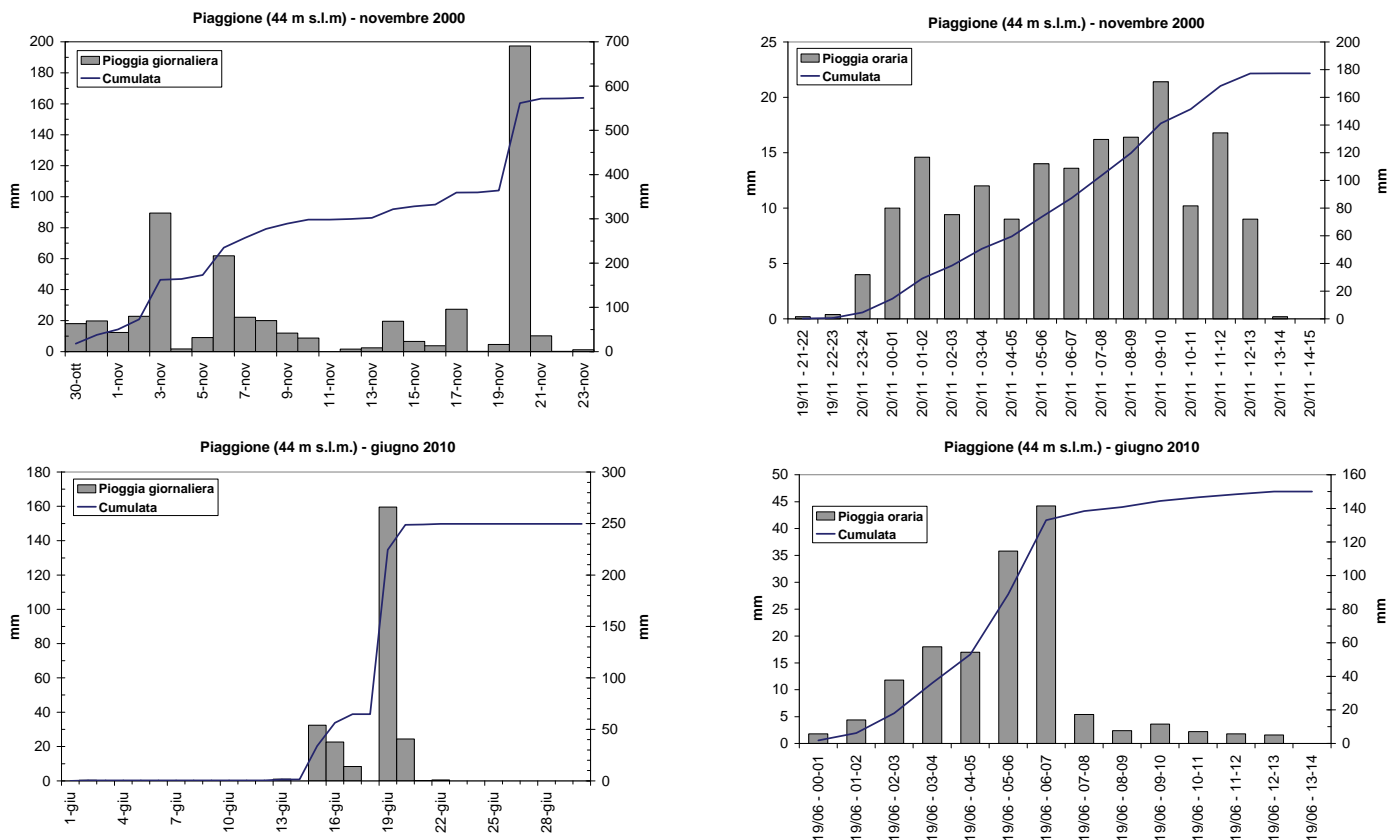


Figura 2 – Piogge giornaliere ed orarie registrate nel novembre 2000 e nel giugno 2010 al Pluviometro di Piaggione (LU), confrontate con le rispettive cumulate (dati: Centro Funzionale Regione Toscana).

## CARATTERISTICHE DELLE AREE D'INNESCO

La maggior parte dei movimenti franosi avvenuti nell'area di studio, innescati dagli eventi suddetti, è riferibile a scorrimenti superficiali di detrito evoluti a colate rapide (*complex, debris slide-flow* – Cruden & Varnes 1996), conosciuti anche come *soil slip-debris flow* (Crosta et al. 1990). Le frane sono avvenute, prevalentemente, nelle concavità elementari dei versanti, dove la convergenza dei deflussi idrici nella copertura favorisce la saturazione del materiale e l'accumulo di pressioni neutre; numerosi studi hanno mostrato come tale ubicazione caratterizzi comunemente le frane superficiali rapide innescate da eventi pluviometrici intensi (tra gli altri, Wiczorek 1996, Crosta et al. 1990, Crosta 1998, D'Amato Avanzi et al. 2004).

I rilievi svolti hanno evidenziato come i punti d'innescio dei *soil slip-debris flow* siano tipicamente ubicati all'interno dei cosiddetti "bacini di ordine zero", ossia bacini non canalizzati che drenano verso l'impiuvio principale. Tale configurazione è tipica anche in altre zone d'Italia soggette ad eventi pluviometrici intensi, come in diversi territori della Campania (Guida 2003, Cascini et al. 2008) e della Calabria (Calcaterra & Parise 2005). In particolare, è stato possibile distinguere due differenti tipologie di

aree sorgenti: nel primo caso l'area d'innescò corrisponde alla porzione sommitale dei canali principali (Figura 3), mentre nel secondo caso essa è ubicata su versanti ad elevata acclività adiacenti ai canali stessi (Figura 4A-4B).

Per analizzare da un punto di vista morfometrico i pendii, sono state fatti diversi profili topografici (in scala 1:2000) in corrispondenza di molteplici frane avvenute nel giugno 2010. A titolo di esempio, i profili più significativi sono riportati in Figura 5.

La Figura 4 mostra un *soil slip-debris flow* avvenuto nella parte sommitale del Solco dell'Angelo in località Tramonte (LU) e caratterizzato da una lunghezza di circa 100 m e una larghezza, nella zona di distacco, di circa 10 m. Il profilo A-A' (Figura 5A), longitudinale al canale stesso, mostra un'acclività di circa 37° nel punto d'innescò della frana ed un andamento del versante leggermente concavo. In Figura 4B sono ubicate le tracce delle sezioni B-B' e C-C', in prossimità del Solco del Miglino (Vinchiana) (Figura 4A). In questo caso le aree sorgente presentano inclinazioni nell'ordine di 40-45° e, come nel caso precedente, profilo leggermente concavo (Figure 5B e 5C) che tende a diventare convesso scendendo verso valle.

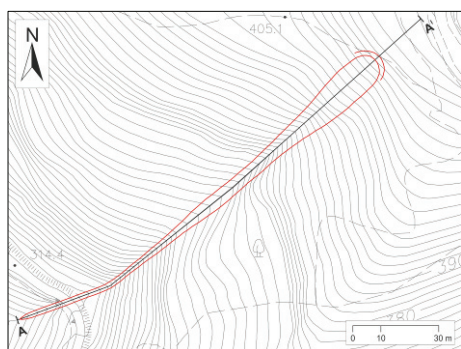


Figura 3 – *Soil slip-debris flow* avvenuto il 19 giugno 2010 nella copertura del Macigno.

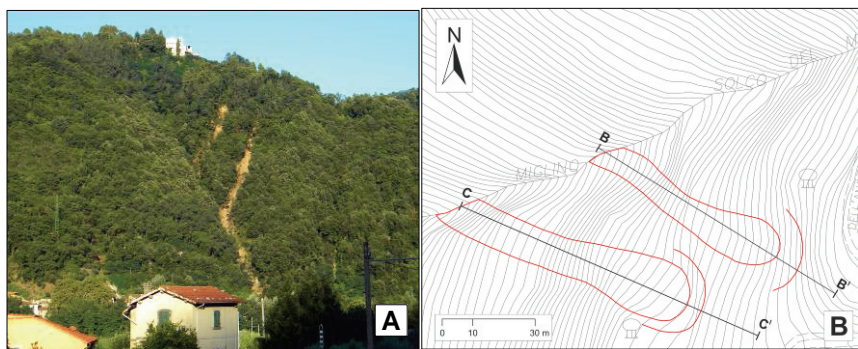


Figura 4 – Vista panoramica (A) e mappa (B) di due scorrimenti superficiali innescati il 19 giugno 2010 nella copertura del Macigno.

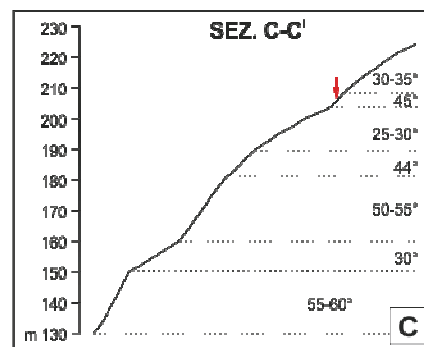
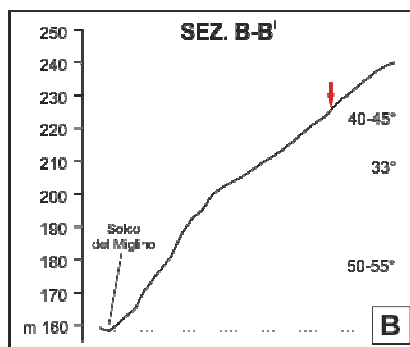
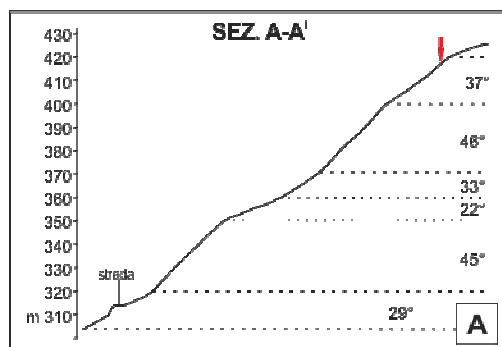


Figura 5 – A: Profilo topografico in corrispondenza della frana in figura 3. B e C: profili topografici delle frane in figura 4 (B). Le frecce rosse indicano il punto d'innescò dei movimenti franosi.

Inoltre, al fine di realizzare un database riguardo alla caratterizzazione geotecnica delle coperture coinvolte, sono state raccolti i dati riguardanti 43 prove penetrometriche dinamiche continue, di cui 23 su depositi colluviali, 13 su accumuli di frana e 7 su depositi detritici, eseguite in seguito all'evento del novembre 2000. La rielaborazione di tali dati ha permesso di ottenere alcune informazioni particolarmente importanti per la definizione delle caratteristiche dei versanti maggiormente coinvolti nei dissesti, quali lo spessore della copertura e l'angolo di attrito dei materiali. Per quanto riguarda lo spessore, all'interno di un *range* compreso tra 0,5 e 2,5 m, si è ottenuto uno spessore medio di 1,5 m per i versanti interessati da movimenti franosi. Tali valori trovano conferma nelle misurazioni effettuate in prossimità delle corone di distacco delle frane innescate nel giugno 2010 e concordano con i risultati ottenuti nella zona di Cardoso (Alpi Apuane) da Giannecchini (2003) e Giannecchini & Pochini (2003), in contesti geologici e geomorfologici simili. Infine, attraverso correlazioni empiriche, è stato possibile

stimare un angolo di attrito di picco ( $\varphi'$ ) dei terreni compreso tra 33° e 38°. I dati ricavati sono confrontabili con i risultati ottenuti da due prove di taglio diretto eseguite su campioni, classificabili come sabbie ghiaioso-limose, che hanno fornito angoli di attrito rispettivamente di 34° e 36°.

## CONCLUSIONI

Gli studi svolti hanno permesso di acquisire nuovi dati sulle caratteristiche morfologiche e geotecniche delle aree di innesco delle frane superficiali rapide avvenuti nella Toscana Settentrionale. Queste informazioni consentono di arricchire le banche dati su questi particolari fenomeni, che più volte hanno colpito le province di Lucca e di Massa-Carrara, provocando ripetutamente vittime e danni molto ingenti. Questo potrà contribuire alla zonazione del territorio in base alla suscettibilità al dissesto e alla definizione delle condizioni di pericolosità in relazione alle condizioni pluviometriche d'innesco.

## BIBLIOGRAFIA

- Calcaterra, D., Parise, M., (2005). *Landslide types and their relationships with weathering in a Calabrian basin, southern Italy*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, (64), 193-207.
- Cascini, L., Cuomo, S., Guida, D., (2008). *Typical source areas of May 1998 flow-like mass movements in the Campania region, Southern Italy*. Engineering Geology, (96), 107-125.
- Crosta, G. (1998) - *Regionalization of rainfall thresholds: an aid to Landslide hazard evaluation*. Environmental Geology, (35, 2-3), 131-145.
- Crosta, G., Guzzetti, F., Marchetti, M., Reichenbach, P., (1990). *Morphological classification of debris-flow processes in South-Central Alps (Italy)*. Proc. 6<sup>th</sup> Int. IAEG Congr., Balkema, Rotterdam, 1565-1572.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., (1996). *Landslide type and processes*. Landslide: Investigation and Mitigation, Spec. Rep. 247, Transp. Res. Board, Nat. Acad. of Sciences, Washington, 36-75.
- D'Amato Avanzi, G., Giannecchini, R., Puccinelli, A., (2002). *I movimenti franosi del novembre 2000 nella provincia di Lucca: osservazioni preliminari*. Atti Conv. "Il dissesto idrogeologico: inventario e prospettive". Roma, 5/6/2001, Atti Conv. Lincei, (181), 365-377.
- D'Amato Avanzi, G., Giannecchini R., (2003). *Eventi alluvionali e fenomeni franosi nelle Alpi Apuane (Toscana): primi risultati di un'indagine retrospettiva nel bacino del Fiume Versilia*. Rivista Geografica Italiana, (110), 527-559.
- D'Amato Avanzi, G., Giannecchini, R., Puccinelli, A., (2004). *The influence of the geological and geomorphological settings on shallow landslides. An example in a temperate climate environment: the June 19, 1996 event in the north western Tuscany (Italy)*. Engineering Geology, (73), 215-228.
- D'Amato Avanzi, G., Galanti, Y. & Giannecchini, R., (2010). *Le frane indotte dagli eventi meteo del dicembre 2009 in Toscana nord-occidentale: osservazioni preliminari*. Atti Convegno "Frane e dissesto idrogeologico: consuntivo". Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, 22/03/2010, 185-195.
- Giannecchini, R., (2003). *Contributo alla valutazione della pericolosità e alla determinazione delle soglie d'innesco dei soil slip-debris flows nelle Alpi Apuane meridionali (Toscana): caratterizzazione geotecnica, idrogeologica e pluviometrica*. Tesi di Dottorato inedita, Università di Pisa, 236 pp.
- Giannecchini, R., Pochini, A., (2003). *Geotechnical influence on soil slips in the Apuan Alps (Tuscany): first results in the Cardoso area*. Proc. Int. Conference on "Fast Slope Movements - Prediction and Prevention for Risk Mitigation". Patron Editore, Napoli, (1), 241-245.
- Guida, D., (2003). *The role of the zero-order basin in flowslide-debris flow occurrence and recurrence in Campania (Italy)*. Proc. Int. Conference on "Fast Slope Movements – Prediction and Prevention for Risk Mitigation", Patron Editore, Napoli, (1), 255-262.
- Wieczorek, G.F., (1996). *Landslide triggering mechanisms*. Landslide: Investigation and Mitigation, Spec. Rep. 247, Transp. Res. Board, Nat. Acad. of Sciences, Washington, 76-90.



# IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA DEGRADAZIONE DEL PERMAFROST ALPINO

## Studio dell'instabilità di pareti rocciose d'alta quota attraverso l'analisi di emissioni acustiche al sito sperimentale della Capanna Carrel (3829 m s.l.m.), Monte Cervino

COVIELLO VELIO<sup>1</sup>, ARATTANO MASSIMO<sup>1</sup>, CHIARLE MARTA<sup>1</sup>, MORTARA GIOVANNI<sup>1</sup>,  
OCCHIENA CRISTINA<sup>2</sup>, PIRULLI MARINA<sup>2</sup>, SCAVIA CLAUDIO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CNR IRPI, Torino, Italia, velio.coviello@irpi.cnr.it

<sup>2</sup> Politecnico di Torino, Italia

### RIASSUNTO

Le ricerche in corso presso il sito di monitoraggio sperimentale della Capanna Carrel (3829 m s.l.m.) sono finalizzate allo studio delle correlazioni tra cambiamenti climatici, degradazione del *permafrost* alpino e aumento degli eventi di crolli in roccia registrato negli anni recenti in ambiente d'alta montagna. L'analisi di questi fenomeni di instabilità geologica passa attraverso lo sviluppo di una procedura di indagine che comprende l'analisi morfostrutturale classica e telerilevata (laserscanner), la caratterizzazione termica di ammassi rocciosi e l'utilizzo di tecniche geofisiche come le emissioni acustiche (AE). Il presente lavoro si concentra in particolare su quest'ultimo aspetto, che ha come ulteriore obiettivo la verifica delle potenzialità di un sistema di monitoraggio che rilevi le emissioni acustiche nel prevedere i crolli in roccia.

**Parole chiave:** cambiamento climatico, crolli in roccia, emissioni acustiche (AE), permafrost.

### INTRODUZIONE

L'ambiente alpino d'alta quota è particolarmente sensibile ai cambiamenti climatici in atto su scala planetaria, da un lato in ragione della presenza della criosfera (ghiacciai, permafrost e neve), dall'altro a causa delle variazioni climatiche più accentuate della media registrate in questo ambiente. Questa sensibilità fa dell'ambiente di alta montagna un laboratorio a cielo aperto in cui studiare con sistematicità gli effetti dei cambiamenti in atto, responsabili dell'attivazione di alcuni meccanismi fisici di instabilità o dell'insorgere di situazioni di potenziale pericolo. Ne sono un esempio la formazione di laghi a margine di ghiacciai, l'innescio di debris flows ad alte quote e talora in assenza di precipitazioni, il manifestarsi di crolli e valanghe di roccia e di ghiaccio. Va inoltre tenuto conto che nel corso degli ultimi decenni, oltre alla frequentazione turistica, è considerevolmente aumentata la presenza, in alta montagna, di infrastrutture e di insediamenti abitativi e commerciali.

La presenza di ghiaccio è dunque l'elemento che maggiormente caratterizza l'ambiente d'alta montagna, non solo quello che costituisce i ghiacciai, ma anche quello che, in condizioni di permafrost, si genera in profondità nel terreno o occupa le discontinuità strutturali delle pareti rocciose. La degradazione del permafrost in un ambiente ad elevata energia di rilievo, come quello alpino, può implicare il sorgere di situazioni di diffusa instabilità dei versanti rocciosi che può tradursi in un forte incremento del rischio per il tessuto antropico e la vita umana. In anni recenti, in particolare nella torrida estate 2003, lungo l'arco alpino si sono verificati numerosi crolli di roccia a quote elevate, anche prossime a 4000 m. Particolare risalto ebbero quelli accaduti lungo le vie alpinistiche più classiche del Cervino: l'alta frequentazione dell'area indusse le autorità competenti a sconsigliare le scalate e, sul versante italiano, a chiudere temporaneamente la Capanna J.A. Carrel, base di appoggio posta lungo la via normale alla vetta.

Nei confronti di questa tipologia di fenomeni di instabilità, solitamente di piccole dimensioni ma diffusi sul territorio, privi di chiari indizi premonitori e spesso ubicati in aree difficilmente accessibili, le consuete metodologie d'indagine trovano difficoltà d'applicazione. Questa è stata la motivazione che ha portato alla realizzazione di un impianto sperimentale di monitoraggio, con il duplice scopo di indagare, da una parte, le possibili correlazioni tra parametri climatici e deformazione di ammassi rocciosi in condizioni di permafrost, dall'altra, l'utilità delle reti microsismiche nell'individuazione di precursori di crollo, e in generale a supporto delle decisioni per la mitigazione e gestione dei rischi legati ai fenomeni

d'instabilità in alta montagna. La sperimentazione, avviata nel 2007 con il supporto della Regione Valle d'Aosta nell'ambito del Progetto Interreg *Permadataroc*, ha ricevuto nuovo impulso dal progetto Alcotra *MASSA*, che ha consentito la progettazione e l'installazione della rete geofonica attualmente in funzione.

## INQUADRAMENTO DEL SITO

Il sito sperimentale individuato si colloca sulla Cresta del Leone, spartiacque nord-occidentale tra versante italiano e svizzero del Monte Cervino (Alpi Graie, Valle d'Aosta), nell'intorno della Capanna Carrel (3829 m s.l.m.; Figura 1). Il rifugio poggia su un ripiano posto alla base del caratteristico risalto della cresta denominato Gran Torre, su rocce (ortogneiss) di derivazione granitoide, fortemente fratturate. Il sito è stato scelto sia in virtù dei numerosi crolli avvenuti nell'estate 2003 nelle immediate vicinanze del rifugio, imputabili ad un forte rialzo termico, sia per l'appoggio logistico fornito dalla Capanna Carrel, quanto mai preziose date le condizioni ambientali estreme in cui ci si trova ad operare. L'esistenza di condizioni di permafrost all'interno dell'ammasso roccioso in oggetto è stata dimostrata dalla presenza di ghiaccio all'interno delle fratture, rivelata dai crolli occorsi nell'estate 2003.



Figura 1 – Inquadramento del sito di indagine: a. Monte Cervino (foto: Coviello), b. Capanna Carrel (foto: Regione VdA)

## INDAGINI MICROSISMICHE PER LO STUDIO DELL'INSTABILITÀ DI VERSANTE

Sulla base delle esperienze di vari autori raccolte da Arattano *et al.* (2007), la scelta delle grandezze da monitorare più indicate per gli obiettivi fissati è caduta sulle cosiddette emissioni acustiche, fenomeno oggi noto anche con il nome di “rock talk” o *AE/MS activity* (Acoustic Emission / Microseismic Activity), che risulta essere un buon indicatore della stabilità meccanica degli ammassi rocciosi. In generale, i crolli avvengono quando lo sforzo tangente supera la resistenza al taglio determinata dalle caratteristiche meccaniche della roccia e dei piani di discontinuità già esistenti. In pareti rocciose d'alta quota, però, a influire sulla resistenza al taglio è indirettamente anche la temperatura dell'aria, che controlla l'evoluzione del permafrost. Quando la temperatura dell'aria aumenta, il permafrost si degrada, causando lo “scollamento” di porzioni dell'ammasso roccioso isolate da sistemi di frattura: la massa rocciosa “scollata” si muove lungo una superficie di scivolamento e la formazione di nuove fratture, la propagazione delle fratture già esistenti e la stessa formazione di superfici di scivolamento, sono precedute da una più o meno evidente concentrazione degli sforzi a cui sono associati rilasci di tensione e la conseguente generazione di energia elastica, sorgente di emissioni acustiche.

Se lo studio dei meccanismi di rottura e la ricerca di possibili precursori di rottura attraverso l'indagine delle emissioni acustiche su campioni di roccia in laboratorio sono ormai realtà consolidate, esistono ancora poche applicazioni di monitoraggio diretto di pareti rocciose instabili, soprattutto a quote elevate

(Kolesnikov *et al.* 2003, Willenberg *et al.* 2004; Eberhardt *et al.* 2004; Amitrano *et al.* 2005). In ambito geotecnico, il rilevamento di attività microsismica richiede l'installazione di una rete di trasduttori (*array*) in posizione tale da permettere la captazione di qualunque attività che si possa originare nell'area oggetto di indagine. In particolare, in funzione degli obiettivi e del numero di trasduttori di cui si dispone, si potrà operare nell'ambito del monitoraggio generale o della localizzazione delle sorgenti di emissione. Lo scopo del monitoraggio generale è definire l'esistenza di attività microsismica nell'area in cui si colloca l'elemento oggetto di indagine e accertare a cosa può essere associata tale attività. La localizzazione delle sorgenti di emissioni acustiche costituisce la seconda fase del monitoraggio. L'idea alla base delle ricerche in atto sul Cervino è di approfondire la possibilità di servirsi di questi due strumenti di indagine, monitoraggio generale e localizzazione, per l'individuazione di possibili precursori di crolli in roccia e per indagare le correlazioni tra deformazione dell'ammasso roccioso e parametri climatici.

## **II SISTEMA DI MONITORAGGIO DI EMISSIONI ACUSTICHE DEL CERVINO**

In occasione dei lavori di consolidamento strutturale della Capanna Carrel furono realizzate nell'estate 2004 alcune perforazioni di profondità variabile (fra 2,5 e 7 m), predisposte per l'installazione di una rete di sensori geofonici, poi realizzata dal CNR-IRPI di Torino nel settembre 2007, con il supporto della Regione Valle d'Aosta, nell'ambito del progetto Interreg *Permadataroc*. La rete geofonica si integrava con un sistema per l'acquisizione di dati utilizzabili per la definizione dei regimi termici delle pareti rocciose d'alta quota attraverso tecniche di modellazione numerica, realizzato da ARPA Valle d'Aosta nell'ambito dello stesso progetto. Nell'ambito di tale azione, i termistori installati in roccia dall'ARPA Valle d'Aosta in prossimità della Capanna Carrel hanno poi fornito importanti indicazioni circa la relazione tra gli eventi di emissione acustica e l'andamento delle temperature.

Grazie all'avvio del progetto "*Medium And Small Size rock fall hazard Assesment*" MASSA (a finanziamento UE) le ricerche intraprese alla Capanna Carrel sono riprese. Nei giorni 21 e 22 settembre 2010 il sistema di monitoraggio è stato rinnovato e ampliato: la rete strumentale è ora composta da sette geofoni triassiali di cui tre nuovi a bassa frequenza (4,5 Hz), e l'acquisitore multicanale e il sistema di trasmissione dati a Cervina sono stati sostituiti e potenziati. Allo stesso tempo, è in corso la definizione di un più accurato modello 3D delle velocità delle onde sismiche nell'ammasso indagato per poter superare i limiti della precedente localizzazione degli eventi. In fase di installazione sono stati infatti generati ed acquisiti un numero consistente di eventi artificiali (martellate geofisiche) con l'obiettivo di realizzare, attraverso elaborazioni numeriche, un migliore modello della velocità di propagazione delle onde sismiche dell'ammasso roccioso indagato.

Il sistema di monitoraggio di emissioni acustiche installato nel 2007 era invece composto da 5 geofoni triassiali da 100 Hz orientati e cementati (3 in foro e 2 in superficie), con soglia di trigger per far scattare la registrazione dell'evento impostata a 0,01 mm/s con un numero minimo di canali su cui deve essere superata pari a sei su ventiquattro. Questa soglia ha consentito di registrare tra il 2 novembre 2007 e l'aprile 2008 ben 640 segnali che per caratteristiche di forma d'onda, ampiezza e frequenza potevano essere associati a fenomeni di emissione acustica. A partire dal mese di aprile 2008 è risultato impossibile stabilire la connessione radio con la centralina installata in Capanna ed i dati sono stati registrati solo su memoria solida recuperata recandosi fisicamente in capanna. Da quel momento anche il sistema di acquisizione non ha più funzionato correttamente ed ha presentato alcune lacune di dati relativi ad uno e a volte a più canali. In ogni caso, la serie completa delle registrazioni raccolte dal sistema copre l'arco di tempo di circa un anno. È risultato di particolare interesse il confronto di questi dati con l'andamento delle temperature della roccia misurate in situ: è stata evidenziata l'esistenza di una forte relazione tra i bruschi abbassamenti delle temperature medie giornaliere dell'aria e i picchi di frequenza degli eventi di emissione acustica registrati (Amitrano *et al.* 2010). La localizzazione degli ipocentri di questi segnali è stata possibile grazie al modello di velocità di propagazione delle onde sismiche nell'ammasso roccioso definito a partire da una serie di soli 4 test di prova realizzati in situ. Nel settembre 2010 i test realizzati sono stati invece 20 e ciò, come accennato, dovrebbe consentire la realizzazione di un migliore modello della velocità di propagazione delle onde sismiche nell'ammasso roccioso indagato.

## CONCLUSIONI

Questo lavoro si propone come presentazione delle ricerche in atto volte alla comprensione della relazione che lega la degradazione del *permafrost* alpino, dovuta al cambiamento climatico, all'aumento dei fenomeni di crolli in roccia registrati negli anni recenti in ambiente alpino d'alta quota. Grazie ad un nuovo sistema di monitoraggio di emissioni acustiche installato alla Capanna Carrel ci si attende di poter ampliare la finestra temporale di indagine per avere a disposizione una serie di dati pluriennale. La definizione di un accurato modello 3D delle velocità delle onde sismiche nell'ammasso indagato consentirà una più precisa localizzazione degli eventi di emissione acustica registrati. Per quanto riguarda l'analisi delle relazioni tra dinamica dell'ammasso roccioso e le sue condizioni termiche, un avanzamento significativo nella comprensione dei fenomeni in atto potrebbe provenire dall'installazione di catene termometriche in profondità nell'ammasso roccioso.

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano Umberto Morra di Cella e Paolo Pogliotti (ARPA Valle d'Aosta) per la concessione dei dati di temperatura registrati alla Capanna Carrel, Franco Godone e Marco Baldo (CNR IRPI Torino) per la realizzazione dei rilievi topografici, SolGeo S.r.l. per il supporto tecnico fornito in sede di progettazione e messa in posto della rete geofonica, Paolo Pilia (Secondo Principio COOP) per l'utilizzo di Cervino Demo 0.1, Lucio Trucco e la Società Guide del Cervino per il supporto alle operazioni di installazione delle apparecchiature presso la Capanna Carrel e per aver messo a disposizione i locali della propria sede per l'alloggiamento della stazione ricevente. Il sistema di monitoraggio attualmente in funzione è finanziato dalla Regione Valle d'Aosta - Assessorato opere pubbliche, difesa del suolo e edilizia residenziale pubblica, nell'ambito del Progetto MASSA - P.O. di cooperazione territoriale europea transfrontaliero Obiettivo 3 Italia/Francia (Alpi) 2007/2013 - Alcotra.

## BIBLIOGRAFIA

- Amitrano, D., Grasso, J. R., Senfaute, G., (2005) *Seismic precursory patterns before a cliff collapse and critical-point phenomena*. Geoph. Res. Let., 32(8), L08314, doi:10.1029/2004GL022270.
- Amitrano, D., Arattano, M., Chiarle, M., Mortara, G., Occhiena, C., Pirulli, M., Scavia, C., (2010) *Microseismic activity analysis for the study of the rupture mechanisms in unstable rock masses*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 831-841.
- Arattano, M., Chiarle, M., Mortara, G., Pirulli, M., Succio, M., (2007) *II Relazione di attività del CNR-IRPI Torino*. Proget Interreg III A – ALCOTRA n.196 PERMAdataROC.
- Eberhardt, E., Spillmann, T., Maurer H., Willenberg, H., Loew, S., Stead, D., (2004) *The Randa Rockslide Laboratory: Establishing brittle and ductile instability mechanisms using numerical modelling and microseismicity*. Proceedings of the 9th International Symposium of Landslides, Rio de Janeiro, Brazil, 481-487.
- Kolesnikov, Y. I., Nemirovich Danchenko, M.M., Golden, S. V., Seleznev, V. S., (2003) *Slope stability monitoring from microseismic field using polarization methodology*. Nat. Hazard and Earth System Sciences (2003) 3, 515-521.
- Willenberg, H., Evans, K. F., Eberhardt, E., Loew, S., Spillmann, T., Maurer, H., (2004) *Geological, geophysical and geotechnical investigations into the internal structure and kinematics of an unstable sliding mass in crystalline rock*. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Symposium of Landslides, Rio de Janeiro, Brazil, 489-494, 2004.

# ALLUVIAL SEDIMENTOLOGY AS A TOOL TO RECOGNIZE MAIN FLOOD EVENTS AND CLIMATIC CHANGES IN ABSENCE OF HISTORIC RECORDS: EXAMPLES FROM FIUMARA STREAMS (CALABRIA, SOUTHERN ITALY)

SABATO LUISA<sup>1</sup>, TROPEANO MARCELLO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari "Aldo Moro", l.sabato@geo.uniba.it

## ABSTRACT

In Calabria a lot of gravel-bed rivers, very steep and short, flow through the mountain chains. These streams have a great transport and erosion capacity because of their flow regime, that is dominated by episodic flash floods alternated with long periods of inactivity during which the bed becomes completely dry. Detailed sedimentologic analysis performed on present-day and recent deposits allows us to distinguish different alluvial processes, and this method represents a useful tool to obtain information about main ancient flood events not recorded by historic data.

**Key words:** alluvial sedimentology, Calabria, fiumara streams

## INTRODUCTION

"Fiumara" is the name used to indicate typical rivers which flow through the southern Italy mountain chains, in Calabria and Sicilia regions (Fig. 1). These streams are ephemeral, torrent-like, very steep and short, and drain only mountainous areas. They have a high transport and erosion capacity because of their flow regime, and are presently dominated by episodic flash floods alternating with long periods of inactivity. In the middle and lower reaches they show a braided pattern and a gravel-bedload. These features are strictly in relationship with the location of these streams in an area which is still uplifting, and they are thus morpho-dynamically active. Furthermore, in the last decades the natural equilibrium of these streams has undergone notable modifications, because of wrong anthropogenic interventions often exalting the destructive effects of floods (Sabato 1994, 1999, Petrucci & Polemio 2007) remarkably changing the morphology of the alluvial plain. A geological and sedimentological study of these peculiar environments allows us to widen our knowledge on hydraulic hazard in a region affected by a high vulnerability and where a monitoring system for sediment and flow



Figure 1 - Location of main fiumara streams in Calabria and northeastern Sicily (southern Italy).



Figure 2 - Present-day riverbed-deposits

discharge is really lacking (Gabriele et al. 1998; Sabato & Tropeano 2004).

In particular, a detailed facies analysis performed on present-day and recent deposits which characterize the fiumara streams permits to distinguish different alluvial processes, and this method represents a useful tool to obtain information about main ancient flood events not recorded by historic data.

### MAIN SEDIMENTOLOGICAL FEATURES

Fiumara streams show a braided morphology (*sensu* Miall 1977; 1978), with large and shallow channels. The riverbed deposits are mainly gravels with

mean grain size variable from some centimetres up to over 2 metres, while the average maximum diameter is about 70-80 centimetres (Fig. 2); sands, silts and clays are also present in minor percentage. Along the riverbed several bedforms, made up of whether gravels (pebble clusters, transverse ribs) or sands (sand shadows) are visible (Sabato 1989).

Thanks to a recent natural dissection of the lower reaches of fiumara streams a sedimentological study along stratigraphic sections has been possible. Sediments result mainly composed of conglomerates with minor sandstones and clays and form tabular gravel units, up to 2 meters thick and normally or inversely graded, often clast-supported, with a sandy or clayey matrix (Fig. 3). Sandy or clayey facies are rarely found and are often eroded by the overlying gravel unit. Cross-stratification and good imbrication are also common in the studied deposits. In particular, the facies analysis performed on the Saraceno Fiumara allowed the recognition of a series of facies associations (A-F) (Tab. 1). Facies association A is represented by thick-bedded, unsorted, matrix- (A1) or clast- supported (A2) conglomerates resting with an erosional boundary on similar facies or, more rarely, on sandy deposits. This facies association can be related to debris-flow (A1) or hyperconcentrated-flood (A2). Facies association B consists of stratified and normal graded conglomerates and pebbly sandstones, and shows sedimentological characteristics suggesting sheet-flow processes. Facies association C, made up of conglomerate lenticular bodies is strictly related to channel-fill processes. Facies association D, made up of cross-bedded conglomerates and sandstones represent traction processes during bar development. Facies association E is composed of open-framework conglomerate lobes associated to sieve effect. Finally, facies association F is made up of lenticular fine deposits (clay and silt) related to low-water accretion processes in abandoned areas.

### CONCLUSION

In general, all the measured stratigraphic sections show facies associations organized into a fining- and thinning-upward to coarsening- and thickening-upward succession. Indeed, this latter, up to 10-12 m thick, starts with either facies A1 or A2, passing upward to facies B and then frequently to facies C, and finally again to facies A1 and A2. Facies D and E are less frequent and the latter is observed in the lower part of the sections, strictly related to facies association A2. Facies associations A1+A2 volumetrically form most of the sections. Therefore, facies analysis shows a prevalence of unconfined debris-flow and hyperconcentrated-flow deposits in lower and upper parts of the study succession, while in its middle part stream-flood deposits are exposed.

This could be tentatively related to semi-arid conditions during sedimentation of the first type of deposits (unconfined debris-flow and hyperconcentrated-flow deposits), while for the second type (stream-flood

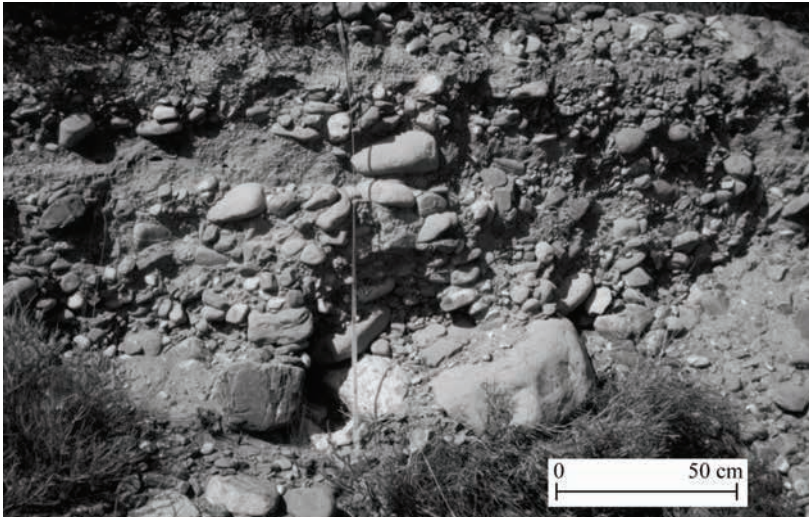


Figure 3 - Prehistoric riverbed-deposits (no more than 5.000-6.000 years old, according to Sabato & Tropeano 2008) dissected and exposed along flanks of the present-day alluvial plain.

deposits) we suggest wetter conditions; accordingly, decreasing and then increasing grain size and changes in depositional mechanism from bottom to top of the exposed sections could be related to climate changes occurred during the last 5.000-6.000 years (Sabato & Tropeano 2008; Tropeano & Sabato 2008).

This kind of study, that it is applicable to other fiumara streams, represents a useful tool to obtain information about ancient main flood events not recorded by historic data, and, in case of climate changes, could suggest expected evolutionary trends of environments and

processes of these fluvial systems.

facies association	description	interpretation
A1	matrix-supported disorganized conglomerates	debris-flow deposits
A2	clast-supported disorganized conglomerates	hyperconcentrated flood-flow deposits
B	organized horizontal- or cross-bedded and normally graded conglomerates passing upward to horizontal- or cross-stratified sandstones	sheet-flow deposits
C	lenticular and channellized normally graded conglomerates	stream-flood deposits
D	planar cross-stratified conglomerates passing distally to planar cross-stratified sandstones	linguoid-bar deposits
E	openwork conglomerates	sieve deposits
F	laminated clays and silts	overbank or aeolian deposits

Table 1 - Main features of the recognized facies associations and their interpretation.

## REFERENCES

- Gabriele, S., Petrucci, O., Dodaro, S., (1998). *Individuazione delle aree vulnerate dalle piene del 1951 e del 1953 nella Calabria ionica meridionale*. G.N.D.C.I. Unità operativa 1.4 C.N.R.- I.R.P.I., C.N.R. Publ. 1821, 82 pp.
- Miall, A.D., (1977). *A review of the braided-river depositional environment*. Earth Science Review, 13, 1-62.
- Miall, A.D., (1978). *Lithofacies types and vertical profile models in braided rivers deposits: a summary*. In: Miall, A.D. (ed.) *Fluvial sedimentology*. Mem. Can. Soc. Petrol. Geol., 5, 597-604.
- Petrucci, O., Polemio, M., (2007). *Flood risk mitigation and anthropogenic modifications of a coastal plain in southern Italy: combined effects over the past 150 years*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 7, 361-373.
- Sabato, L., (1989). *Sedimentazione attuale in alcuni fiumi a breve corso fra le piane di Metaponto e Sibari (confine calabro-lucano)*. Mem. Soc. Geol. It., 42, 269-285.

- Sabato, L., (1994). *Human impact on alluvial environments in Calabria (Southern Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., 48, 935-941.
- Sabato, L., (1999). *Le fiumare: corsi d'acqua ad alto rischio ambientale*. Geologia dell'ambiente, I, 8-13.
- Sabato, L., Tropeano, M., (2004). *Fiumara: a kind of high hazard river*. Physics and Chemistry of the Earth, 29/10, 707-715.
- Sabato, L., Tropeano, M., (2008). *The Holocene coastal alluvial fan of the Saraceno Fiumara (Calabria, Southern Italy): highstand filling of an incised valley*. In: Amorosi A., Haq B.U. & Sabato L. (eds.) Advance in Application of Sequence Stratigraphy in Italy, GeoActa Sp. Publ. 1, 15-27. ISSN 1721-8039.
- Tropeano, M., Sabato, L., (2008). *La conoide costiera olocenica della Fiumara Saraceno (Calabria ionica settentrionale)*. In: "Studi di base sull'interazione tra clima, tettonica e morfoevoluzione in Italia meridionale durante il Quaternario" (F. Boenzi, D.Capolongo, S.I. Giano, M. Schiattarella, eds.), dibuonoedizioni, Villa D'Agri (PZ), 168-175



# INTERPRETAZIONE DELL'EVOLUZIONE QUATERNARIA DEL FIUME FORTORE NELLA PIANIFICAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE

CUCULO FEDELE<sup>1</sup>, DI LUDOVICO ALBERTO<sup>2</sup>, DI NIRO ANNUNZIATA<sup>1</sup>, GIANCOLA MICHELA<sup>2</sup>, IZZO MARIA PINA<sup>1</sup>, URCIUOLI DANIELA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore, Campobasso, fedele.cuculo@tin.it

<sup>2</sup> ARPA Molise, Campobasso, albertodiludovico@alice.it

## RIASSUNTO

Dalla comparazione in ambiente GIS delle cartografie storiche con quelle prodotte negli ultimi anni mediante l'ausilio di tecnologie di telerilevamento, unitamente ad analisi sedimentologiche sui depositi delle pianure alluvionali, è possibile stimare le variazioni geomorfologiche dei corsi d'acqua e i trend evolutivi direttamente connessi con l'azione combinata delle variazioni climatiche e dell'impatto antropico. La comprensione dei processi fluviali in atto è di basilare importanza al fine di programmare le azioni di ottimizzazione e gestione delle risorse idriche attraverso una pianificazione efficace a scala di bacino.

**Parole chiave:** Fiume Fortore, geomorfologia fluviale, pianificazione territoriale.

## INTRODUZIONE

La corretta lettura ed interpretazione delle forme e, di conseguenza, dei processi geomorfologici in atto costituisce un elemento propedeutico alla conoscenza delle modificazioni e delle tendenze evolutive che coinvolgono il territorio ed in particolare i corpi idrici superficiali. In particolare, la valutazione degli effetti indotti sui corsi d'acqua dall'azione combinata delle variazioni climatiche in atto e del diretto intervento antropico dovrebbe costituire un elemento cardine nell'ambito delle azioni di studio e pianificazione delle risorse idriche e del territorio per gli obiettivi di cui alla Direttiva Quadro sulle Acque WFD 2000/60/CE e alla cosiddetta Direttiva Alluvioni 2007/60/CE. In particolare, con il presente studio si vuole proporre una metodologia di approccio all'analisi geomorfologica e sedimentologica dei corsi d'acqua dell'Italia meridionale, al fine di coadiuvare i canonici strumenti conoscitivi e per una corretta programmazione degli interventi strutturali e non da porre in essere. A tale scopo, l'analisi applicata al caso del Bacino del Fiume Fortore costituisce un esempio rappresentativo in quanto è stato possibile delineare un quadro sufficientemente esaustivo circa i trend evolutivi che hanno interessato il Fortore, consentendo, al contempo, di fornire informazioni utili alla discretizzazione e quantizzazione degli effetti dovuti alle variazioni climatiche e quelli imputabili al diretto impatto antropico. Di tale evoluzione è possibile averne parziale contezza, anche se riferita ad una scala temporale ridotta, dal confronto in ambiente GIS della cartografia ufficiale del 1879 prodotta dal Regio Istituto Topografico Militare, con la cartografia IGMI del 1957 e con la CTR della Regione Puglia del 2008. Della tendenza evolutiva del fiume Fortore se ne trova traccia anche negli "Atti della Commissione Interministeriale per lo studio della Sistemazione Idraulica e della Difesa del Suolo" del 1974 ove si afferma che "*il fiume Fortore che era un corso d'acqua perenne (al tempo dei Normanni era navigabile).....omissis.....per le continue alluvioni ricorrenti ha accumulato tanti e tali materiali asportati dalle pendici da essere costretto a reincidere in quei materiali il suo corso, in sito anche molto distante dalla sede dell'antico equilibrio*" (AA.VV. 2002; AA.VV. 2008).

## INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il Bacino del fiume Fortore si colloca in un settore di territorio compreso tra la Regione Campania, Molise e Puglia; il suo tracciato, è contraddistinto da un andamento planimetrico che varia sensibilmente al passaggio dall'alta valle alla media e poi alla bassa valle. Nell'alta valle assume un'orientazione tendenzialmente meridiana, leggermente piegata in senso NNO-SSE; nella media valle, invece, dopo aver superato i rilievi collinari su cui sorgono gli abitati di Celenza Valfortore e Carlantino e poi lo sbarramento di Occhito, si orienta in direzione NE-SO; lungo il basso corso, infine, riassume di nuovo un

andamento sub-meridiano, ma questa volta piegando leggermente verso NNE-SSO. Il corso del fiume Fortore sviluppandosi da un settore interno alla catena appenninica, benché posto in prossimità del suo margine orientale, litologicamente costituito da depositi flyschiodi di natura argilloso-marnoso-arenacea ovvero da sedimenti calcareo-marnosi, di età compresa dal Messiniano al Pliocene inferiore (Checchia Rispoli 1904; Buonanno *et al.* 2007), si snoda in territori geologicamente più recenti, corrispondenti ai domini paleogeografici dell'ultima avanfossa dell'Appennino meridionale, denominata anche "Avanfossa Bradanica". Per quanto riguarda l'assetto geologico-strutturale, nella porzione di Appennino in esame, l'elemento dominante è rappresentato dal fronte di sovrascorrimento, orientato in direzione circa NNO-SSE ed individuabile lungo la media valle del Fortore, che porta in ricoprimento le falde appenniniche sui depositi dell'originaria "Avanfossa Bradanica". Nella linee generali, le formazioni pre-quadernarie sono caratterizzate da complessi rapporti tra le varie unità alloctone e da un variabile grado di tettonizzazione dei depositi (Pescatore *et al.* 2000), determinati dalle varie fasi tettonogenetiche mio-plioceniche che hanno dato origine all'edificio appenninico, costituito da falde di ricoprimento sovrapposte. La neotettonica disgiuntiva di età plio-quadernaria, con movimenti verticali differenziali, ha delineato gli attuali assetti morfostrutturali, dando origine ad insiemi di blocchi fagliati nell'ambito dei quali i blocchi più calcarei individuano solitamente gli alti strutturali di una data zona mentre nelle zone strutturalmente ribassate si ritrovano, preservati dall'erosione, i termini prevalentemente argilloso-marnosi. Nel tratto terminale del corso d'acqua sono presenti in affioramento sequenze stratigrafiche riferibili ad una sedimentazione sostanzialmente autoctona, di età compresa fra il Pliocene medio e l'Attuale, che è possibile ricondurre a diversi ambienti deposizionali, nel complesso evolventi da condizioni marine a transizionali e, infine, a condizioni continentali. Buona parte di tali sequenze rappresentano, in sostanza, un emiciclo sedimentario regressivo rappresentativo del riempimento finale di un bacino che in termini paleogeografici è legato, come si è detto, all'ultima avanfossa appenninica meridionale, individuata dopo la fase orogenica messiniana, ovvero all'inizio del Pliocene inferiore, quale effetto della subduzione dei domini dell'avampaese pugliese sotto la catena appenninica. Il bacino di avanfossa è divenuto, quindi, sede di un'attiva sedimentazione terrigena nel corso del Pliocene e del Pleistocene inferiore, ma è stato anche coinvolto nelle ultime fasi deformative, che nel Pliocene medio - superiore hanno determinato l'accavallamento tettonico delle unità della catena sul margine interno dell'avanfossa ed una migrazione complessiva del fronte orogenico verso Est. All'interno del bacino, invece, si è protratta una marcata attività di subsidenza durante il Pliocene; successivamente, tra la fine del Pliocene e l'inizio del Pleistocene si è instaurato un processo di colmamento del bacino non più compensato da subsidenza che durante il Pleistocene inferiore lo ha portato all'emersione; infine, nel corso del Pleistocene inferiore e medio più eventi deformativi hanno determinato sollevamenti, generalizzati ma anche differenziali, di questi settori ormai emersi.

## **ANALISI DELLE DINAMICHE SEDIMENTARIE**

Lungo il corso del fiume Fortore le differenze più spiccate consistono nel fatto che le aree appenniniche presentano gli aspetti distintivi e i motivi morfologici tipici dei paesaggi "maturi", a differenza delle zone situate tra il fronte montuoso e le aree costiere, che assumono i lineamenti tipici dei paesaggi in stadio "giovane". Le peculiarità dei paesaggi "giovani" si manifestano, nella zona collinare del bacino in esame e consistono nella mancanza di un'adeguata gerarchizzazione del reticolo idrografico, i cui rami secondari scorrono in valli relativamente strette e corte, dai versanti scoscesi, in progressivo approfondimento ma con i caratteri tipici dell'erosione lineare regressiva, per cui la profondità delle incisioni si riduce da valle verso monte, in risposta alle variazioni di livello di base. Le macroscopiche differenze appena descritte si possono complessivamente ricondurre alla maggiore complessità delle vicissitudini tettoniche che hanno interessato i rilievi appenninici, alla precocità di inizio delle fasi di sollevamento e quindi di emersione dai domini marini e di modellamento subaereo, risalenti all'inizio del Pliocene medio, come fra l'altro testimonia l'assenza sui rilievi di sedimenti marini più recenti del Pliocene inferiore. D'altra parte, per entrambi i tipi di rilievo su descritti si può dire che, successivamente alle fasi mio-plioceniche dell'orogenesi appenninica, la neotettonica di età plio-quadernaria ha originato, con movimenti surrettivi sia in blocco sia disgiuntivi, gli attuali assetti morfostrutturali ed ha contribuito,

interferendo in vari modi e tempi con i processi geomorfici attivatisi negli ambienti continentali e con gli effetti delle oscillazioni climatiche ed eustatiche quaternarie, ad individuare configurazioni morfologiche del rilievo prossime a quelle attuali. Lungo il fondovalle principale, l'alveo del Fortore scorre tra materassi alluvionali presenti su entrambi i lati, i quali testimoniano i riflessi sul fondovalle dei processi di produzione detritica e franosità attivi sui versanti, nelle condizioni attuali e ancor più in periodi passati, in presenza di gradienti longitudinali attenuati lungo la media valle. D'altra parte, la presenza di tali depositi alluvionali unita all'andamento marcatamente sinuoso e meandriforme dell'alveo fluviale può presumibilmente far desumere anche l'insorgere in passato di condizioni di drenaggio difficoltoso, determinate dal movimento differenziale di blocchi del rilievo orientati in senso trasversale rispetto alla valle fluviale. In ogni caso, le frequenti brusche deviazioni del tracciato denunciano un marcato controllo strutturale ad opera di lineazioni tettoniche, oltre che l'effetto di movimenti franosi che invadono l'area di fondovalle. Infine, anche la presenza dell'invaso di Occhito, realizzato negli anni '50, contribuisce attualmente a favorire le condizioni di alluvionamento per la ridotta capacità di trasporto del corso d'acqua, effetto che però risulta maggiormente evidente più avanti, nella bassa valle; d'altra parte, la media valle, in parte, e la bassa valle del Fortore sono caratterizzate dalla presenza di morfologie terrazzate distribuite a varie quote. Esse rappresentano il risultato di cicli erosionali e deposizionali attivatisi in ambienti marini, di transizione e continentali e legati a eventi surrettivi, sia regionali sia differenziali, o anche a cicliche fasi di sommersione accompagnata da alluvionamento ed emersione con conseguente reincisione del fondovalle riconducibili all'interazione tra un continuo, lento sollevamento e le pulsazioni glacio-eustatiche (queste ultime piuttosto ravvicinate durante il Pleistocene medio). In ogni caso, l'insieme di tali eventi ha indotto, nel bacino del Fortore ed in quelli limitrofi, frequenti variazioni di livello di base, che sono state anche causa di ripetute riorganizzazioni della rete drenante, testimoniate da diverse evidenze, quali i fenomeni di reincisione lineare regressiva (in successive ondate), i fenomeni di cattura e di decapitazione delle valli e le riorientazioni dei tracciati, comunque controllati da lineamenti tettonici. Per contro, nella parte inferiore del bacino si manifesta un trend evolutivo comune alle basse valli dei corsi d'acqua adriatici, dall'Abruzzo meridionale al F. Fortore, un trend che associa ai maggiori sollevamenti dei settori nordoccidentali sia il basculamento delle paleosuperfici sommitali (verso E o ESE nel caso del Fortore) sia la genesi di diverse asimmetrie, che riguardano: a) i reticoli, i cui affluenti di sinistra hanno valli relativamente più lunghe; b) i terrazzi fluviali, che in sinistra sono distribuiti in un maggior numero di ordini ed hanno maggiore estensione; c) il profilo trasversale delle valli principali e di alcune valli tributarie, in cui gli alvei tendono a migrare progressivamente verso il versante opposto, cioè verso SE, per cui il versante destro diviene più scosceso ed a luoghi soggetto a fenomeni di instabilità. Al passaggio tra la media e la bassa valle si allarga la pianura alluvionale del Fortore, con ampiezze che vanno dai circa 1.100 metri nel punto più chiuso (stretta di Serracapriola) agli oltre 3.000 della zona più ampia, in prossimità della foce. Al suo interno divaga il letto fluviale, che assume caratteri differenti nei settori prossimali ed in quelli distali della bassa valle. Nei settori prossimali, più vicini ai rilievi appenninici dotati di consistente energia di rilievo, l'alveo e la piana assumono configurazioni tipiche dei "braided streams", ovvero degli alvei e relative pianure caratterizzate da un letto a canali intrecciati molto ampio e poco profondo, in cui si individuano più rami fra loro anastomizzati, separati da barre rilevate ed allungate in senso sia longitudinale sia trasversale al corso d'acqua, laddove l'insieme di rami e barre arriva ad occupare l'intera pianura. Tali elementi rappresentano, rispettivamente, l'alveo di piena, comprendente l'intera sezione, che per il Fortore in questo tratto è ampia fino a circa 700 metri, e l'alveo di magra. Inoltre, i gradienti longitudinali assumono valori relativamente elevati (pari a qualche punto per cento), risultando intermedi tra quelli di conoide alluvionale (fino al 15% ed anche oltre) e quelli delle zone distali della pianura (1÷3 ‰). A questi aspetti geometrici si associano quelli sedimentologici, che consistono nella presenza di notevoli quantità di detrito, costituito da ghiaie, sabbie e limi, laddove la frazione grossolana risulta consistente rispetto a quella fine (rapporto ghiaia/sabbia + pelite  $\geq 1$ ). Nelle condizioni normali tale detrito viene continuamente ripreso dal fiume e ridistribuito al succedersi delle piene nelle barre presenti lungo l'alveo. Rispetto a questo quadro "normale" si registrano delle modificazioni nelle condizioni attuali in quanto la costruzione dell'invaso di Occhito, completata alla fine degli anni cinquanta, ha ridotto i deflussi idrici e quindi la capacità di trasporto del fiume. Nei settori

distali della bassa valle, vicini alle aree costiere, acquistano evidenza le dinamiche tipiche dei sistemi fluviali “a meandri”, in cui l’alveo presenta successioni di anse molto accentuate, talvolta anche singoli meandri, mentre la sua sezione trasversale diviene più ristretta e più profonda, oltre che asimmetrica, rispetto a quella del corso fluviale di tipo “braided”. Inoltre, i gradienti longitudinali della piana e dell’alveo sono molto attenuati (qualche punto per mille), così come si riducono in media le granulometrie dei sedimenti, per lo più costituiti da sabbie e limi. Nel caso del Fortore vi è la peculiarità che tali morfologie risultano, anche se di pochi metri (una decina), “incastrate”, in quanto l’attuale superficie topografica della piana alluvionale non è propriamente in equilibrio con i livelli di base attuali ma rappresenta una superficie terrazzata, corrispondente al IV ordine, il più recente, dei terrazzi fluviali riconosciuti nella cartografia geologica ufficiale; in prossimità della piana costiera si riconoscono infine le geometrie e gli indizi di alcuni meandri abbandonati.

## CONCLUSIONI

L’analisi geomorfologica e sedimentologica proposta, in relazione ad una sempre minore disponibilità di risorse idriche ed alla contemporanea sempre maggiore richiesta (AA.VV. 2002), è di fondamentale importanza anche per la pianificazione sia dei diversi usi idrici, sia delle sistemazioni idrauliche del fiume Fortore nel tratto a valle dell’invaso di Occhito. Come è ampiamente noto, ultimata la costruzione della diga, nel tratto valle non sono mai stati effettuati interventi di sistemazione e regimazione idraulica. Questo stato di cose appare ancor più critico in quanto direttamente connesso con la ridotta capacità di deflusso delle acque rilasciate dallo scarico di fondo dell’invaso e con la sempre minore capacità di trasporto solido. Come conseguenza di tutto questo l’ente gestore dell’invaso non può ottimizzare l’utilizzo della risorsa idrica disponibile all’invaso in quanto deve comunque garantire che le portate scaricate siano contenute all’interno dell’attuale alveo del fiume Fortore e quindi deve aumentare nel periodo invernale e primaverile la capacità di laminazione dell’invaso a scapito della capacità utile, con il rischio che la ridotta capacità utile non consenta il soddisfacimento delle utenze irrigue e potabili nel periodo estivo ed autunnale. Pertanto, la discretizzazione degli effetti riconducibili ai cambiamenti climatici da quelli connessi con l’intervento antropico diretto, deve essere considerata l’elemento imprescindibile per l’ottimizzazione delle risorse disponibili anche nell’ottica degli obiettivi ambientali irrinunciabili per lo sviluppo sostenibile.

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., (2008). *Atlante Tematico delle Acque d’Italia*. Volume Monografico Brigati.
- AA.VV., (2002). *Studio per l’aggiornamento del Piano di utilizzazione delle risorse idriche per lo sviluppo della Regione Molise*.
- Buonanno, A., Pertusati, S., Zuppetta, A., (2007). *Structural evolution of the Fortore Unit (Southern Apennines, Italy)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, vol. 126, fasc. 3, 497-510.
- Cecchia Rispoli, G., (1904). *Osservazioni geologiche lungo la valle del Fortore in Capitanata*. Bollettino della Società Geologica Italiana, vol. 23, fasc. 2, 295-297.
- Pescatore, T., Di Nocera, S., Matano, F., Pinto, F., (2000). *L’Unità del Fortore nel quadro della geologia del settore orientale dei Monti del Sannio (Appennino meridionale)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, vol. 119, fasc. 3, 587-601.

## **ALLA RICERCA DELL'ACQUA PERDUTA: GLI ANTICHI ACQUEDOTTI SOTTERRANEI**

PARISE MARIO<sup>1,2</sup>, CALOI VITTORIA<sup>2</sup>, GALEAZZI CARLA<sup>2</sup>, GERMANI CARLO<sup>2</sup>, SAMMARCO MARIANGELA<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> CNR IRPI, Bari, Italia, m.parise@ba.irpi.cnr.it

<sup>2</sup> Società Speleologica Italiana, Commissione Cavità Artificiali

<sup>3</sup> Università del Salento, Facoltà Beni Culturali, Lecce

### **RIASSUNTO**

Gli antichi acquedotti sotterranei costituiscono una preziosa testimonianza delle opere idrauliche realizzate nel corso dei secoli al fine di garantire disponibilità di risorse idriche alle popolazioni. Per la predominante natura di opera ipogea, essi si sono conservati pressoché intatti anche dopo millenni, ed in molti casi risultano ancora in funzione, pur in assenza di opere di manutenzione. Il presente contributo riassume le attività sinora svolte nel corso di un progetto sull'intero territorio nazionale, a cura della Società Speleologica Italiana, relativo alla raccolta e catalogazione di dati sugli antichi acquedotti sotterranei, nonché alla loro esplorazione e rilievo mediante tecniche speleologiche.

**Parole chiave:** acquedotti sotterranei, risorse idriche, speleologia

### **INTRODUZIONE**

La gestione delle risorse idriche è una problematica di notevole complessità, che nella seconda metà del secolo scorso si è inevitabilmente aggravata a causa dell'elevata concentrazione di popolazione nelle aree urbane, e dell'influenza che vari processi antropici hanno avuto sulla qualità delle acque, con ripetuti eventi di inquinamento (Cotecchia 1991). Allo stesso tempo, si registra un costante aumento nei consumi idrici che, a sua volta, è all'origine della ricerca di ulteriori risorse idriche per soddisfare la crescente domanda. Periodicamente, e con frequenza sempre maggiore negli ultimi anni, si osservano infine periodi di crisi idriche derivanti da prolungati periodi di siccità, o da malfunzionamento delle esistenti reti di trasporto e distribuzione idrica.

In un contesto del genere, si comprende come vi sia una stringente necessità nell'ottimizzare la gestione delle risorse idriche e nell'evitare ulteriori sperperi nonché eventi di inquinamento delle falde acquifere, specialmente in ambienti particolarmente fragili come quelli carsici (Parise 2010). Il territorio italiano, sul quale da secoli si sono avvicendate varie civiltà, è un ottimo esempio dal quale trarre utili lezioni in materia di sviluppo sostenibile se si vanno a considerare le opere realizzate in passato, e le relative modalità di gestione delle risorse idriche. La presenza di acquedotti ed opere idrauliche risalenti ad epoche passate sull'intero territorio nazionale costituisce un elemento di notevole importanza storica (Castellani & Dragoni 1992; Castellani 1999), che testimonia la capacità da parte dell'uomo di adattarsi alle caratteristiche naturali dell'ambiente in cui si insedia e di trarre vantaggio dalle risorse in esso contenute, senza per questo necessariamente causare degrado o innescare situazioni di inquinamento ambientale.

L'approvvigionamento idrico ha infatti da sempre costituito un elemento di fondamentale importanza per gli insediamenti umani, e in ogni epoca ciascuna comunità ha dovuto fronteggiare la necessità di assicurarsi adeguati rifornimenti idrici, oltre che corrispondenti sistemi di smaltimento delle acque reflue. Lo studio delle antiche opere idrauliche, delle tecniche di costruzione e delle pratiche di manutenzione delle stesse, oltre a costituire argomento di indubbio interesse per gli studiosi di vari settori di ricerca, consente altresì di apprezzare appieno la capacità tecnica delle antiche popolazioni e il rispetto che esse nutrivano per le risorse ambientali, in primo luogo l'acqua (Germani et al. 2009a). Inoltre, l'analisi di tali strutture idrauliche ed i contesti idrogeologici in cui sono state realizzate offrono spunti di interesse in relazione alle recenti situazioni di crisi idrica e alle eventuali modificazioni delle condizioni climatiche rispetto al passato. Gli acquedotti sotterranei, molti dei quali a tutt'oggi sono ancora funzionali nonostante i tanti secoli trascorsi dalla loro realizzazione, possono infatti fornire significativi elementi di analisi relativamente al tema dei cambiamenti climatici ed alle modificazioni idrologiche ed idrogeologiche

avvenute nel corso del tempo, con particolare riferimento alla disponibilità a lungo termine delle risorse idriche. In tal senso, merita un cenno l'ipotesi di recente proposta in merito all'acquedotto di Bologna per spiegare alcune delle principali ristrutturazioni che hanno interessato questa imponente struttura sotterranea, che ancora oggi alimenta il centro storico della città: è presumibile che alcune delle deviazioni osservate all'originario percorso ipogeo di epoca romana (in particolare, l'utilizzo di cunicoli scavati ad un livello superiore rispetto a quello principale) siano derivate da variazioni nell'apporto solido del fiume Reno, da collegare a loro volta con eventi eccezionali di piena (Zannoni 1868; Gruppo Speleologico Bolognese & Unione Speleologica Bolognese 2010). Le poche informazioni sinora disponibili non consentono di inserire tali presumibili eventi in un quadro preciso di variazioni climatiche registrate dall'epoca della costruzione dell'acquedotto a quella della realizzazione delle ristrutturazioni suddette, ma ben evidenzia la possibilità di intraprendere ulteriori studi e ricerche finalizzate all'evoluzione dei corsi d'acqua che alimentano l'acquedotto di Bologna negli ultimi millenni, in risposta ad eventuali variazioni climatiche e, di conseguenza, a particolari eventi di piovosità eccezionale (Gruppo Speleologico Bolognese & Unione Speleologica Bolognese 2010).

Tutti gli aspetti su richiamati fanno sì che gli antichi acquedotti sotterranei costituiscano opere di notevole interesse storico-archeologico e scientifico. Esistono però notevoli ed indubbie difficoltà nell'esplorazione di un antico acquedotto: dalla presenza di acqua, alla necessità di muoversi in stretti cunicoli, ai crolli che possono interessare alcuni tratti della struttura, alle interazioni con l'antropizzato sovrastante (presenza di tubazioni per emungimento, scarichi di liquami, ecc.). Tali difficoltà hanno di frequente limitato gli studi da parte di specialisti dei vari settori disciplinari, e richiedono necessariamente l'utilizzo di tecniche speleologiche di progressione e rilievo, al fine di esplorare in sicurezza tali ambienti ipogei. Ai fini della completa caratterizzazione delle opere idrauliche ipogee risulta pertanto imprescindibile l'apporto degli speleologi, trattandosi di strutture che presentano un predominante sviluppo sotterraneo. A testimonianza della rilevanza che le esplorazioni in cavità di origine antropica hanno assunto in Italia, si è sviluppata in ambito speleologico la categoria di ricerca di "speleologia in cavità artificiali", ed è stata fondata nel 1981 una specifica Commissione Nazionale Cavità Artificiali nell'ambito della Società Speleologica Italiana. Tra le sue attività, la Commissione ha avviato a partire dal 2003 il Progetto "La Carta degli Antichi Acquedotti Italiani", interamente dedicato allo studio, all'esplorazione ed all'analisi delle antiche opere idrauliche sotterranee (Parise 2007a, 2009; Germani et al. 2009a,b; Parise et al. 2009).

## **LA CARTA DEGLI ANTICHI ACQUEDOTTI ITALIANI**

Gli antichi acquedotti (Fig. 1) rappresentano una preziosa documentazione delle talora inattese capacità progettuali e tecniche delle antiche comunità, consentendo l'indagine dell'evoluzione di tali conoscenze nello spazio e nel tempo. Stante la loro predominante natura di opere sotterranee, si sono conservati pressoché intatti anche dopo millenni e costituiscono oggi una insostituibile testimonianza delle opere di controllo del territorio che hanno consentito l'insediamento e lo sviluppo delle civiltà urbane. Molti antichi acquedotti sono ancora in funzione pur in assenza di opere di manutenzione e di una precisa conoscenza della loro struttura; altri, dismessi in tempi relativamente recenti, potrebbero essere ripristinati con interventi contenuti a vantaggio delle locali comunità, anche a fronte delle recenti crisi idriche. Non è poi da sottovalutare un loro possibile, seppur parziale, ri-utilizzo a fini di turismo culturale o didattico-speleologico.

La Carta degli Antichi Acquedotti Italiani rappresenta una prima sintesi del Catasto Nazionale delle Cavità Artificiali, costituendo un progetto che si propone come importante strumento di conoscenza del territorio. Il database realizzato, derivante dall'insieme delle informazioni sintetiche sugli acquedotti esistenti in Italia, ottenute sia da studi ed indagini speleologiche che dall'esame critico della letteratura disponibile, è uno strumento di consultazione rapida a disposizione dei vari organismi operanti sul territorio, utile soprattutto per indirizzare indagini più di dettaglio relativamente alle strutture trattate.

Nell'ambito del progetto (Parise 2007a, 2009; Germani et al. 2009b), per acquedotto si intende l'insieme delle opere di captazione della risorsa idrica e di quelle funzionali al successivo trasporto ed utilizzo delle acque. Data l'enorme quantità di opere idrauliche presenti sul territorio italiano, sono stati adottati due limiti spazio/temporali al fine di contenere il numero di ipogei da classificare: la ricerca ha come limite temporale il XVIII secolo; e la lunghezza minima dell'opera idraulica dovrà essere di almeno 400 metri, sia misurati che dedotti dalla localizzazione delle sorgenti e dell'area di destinazione. Sulla base dell'epoca di costruzione, gli acquedotti risultano suddivisi in tre fasi cronologiche: il periodo greco-romano (fino al VI secolo d.C.), il periodo bizantino-medioevale (dall'VII al XIV secolo), e il periodo rinascimentale-moderno (dal XV al XVIII secolo). Gran parte degli acquedotti sinora censiti (circa il 75%) è riferibile all'epoca greco-romana; i rimanenti sono in ogni caso di frequente realizzati su tracciati risalenti allo stesso periodo storico.

Nelle prime fasi di attività è stata avviata una raccolta bibliografica di testi, specialistici e non, di varia natura e tipologia riguardanti le opere idrauliche sotterranee. Tale ricerca bibliografica, che è in continuo aggiornamento, ha consentito sinora di raccogliere oltre 1000 riferimenti bibliografici. Per favorire la consultazione di una bibliografia di tali dimensioni, i riferimenti bibliografici sono stati suddivisi in testi di carattere generale e in testi di interesse regionale o locale (Parise 2007b). Questi ultimi sono stati a loro volta distinti in base alle singole strutture idrauliche. Risulta in tale maniera immediato risalire alla

bibliografia specifica relativa a un determinato acquedotto, o a una precisa area geografica del territorio nazionale.

Di pari passo alla raccolta e catalogazione delle informazioni complessive del progetto, si è proceduto ad eseguire approfondimenti su acquedotti singoli, analizzandone aspetti specifici di interesse, quali ad esempio le condizioni geologiche e morfologiche alla base della realizzazione dell'opera (Delle Rose et al. 2006; Del Prete & Parise 2007); lo sviluppo di acquedotti in zone archeologiche (Castellani et al. 1993, 2000; Galeazzi et al. 1999; Bambini et al. 2007); la storia e l'evoluzione recente di opere acquedottistiche in aree urbane, anche in relazione allo sviluppo stesso delle città (Guglia 2007); l'analisi a scala regionale su distribuzione e tipologia delle opere idrauliche esistenti (Del Prete & Varriale 2007); l'analisi di opere idrauliche utilizzate per trasporto di acqua necessaria a fungere da forza motrice per strutture produttive (Bixio et al. 2007).

Il progetto non si limita infatti a prendere in esame gli acquedotti, bensì riguarda anche altre opere idrauliche sotterranee, quali gli emissari artificiali, le opere di bonifica, i cunicoli di drenaggio.

Gli emissari artificiali furono scavati in primo luogo al fine di evitare le oscillazioni del livello dei laghi, in particolare quelli di origine vulcanica solitamente



Figura 1 – Galleria dell'acquedotto in località Marcigliana (Palestrina, Roma; foto: C. Germani)

privi di emissari naturali, così consentendo il sorgere di centri abitati e lo sviluppo di aree coltivate lungo le rive. Le opere di bonifica mediante scavo di gallerie drenanti si resero invece necessarie per rendere utilizzabili aree potenzialmente coltivabili, altrimenti soggette ad impaludamento. Nella sola regione Lazio sono noti centinaia di cunicoli di questo tipo (Judson & Kahane 1963), molti dei quali rendono tuttora possibile l'attività agricola. La conoscenza e la documentazione di tali antiche opere idrauliche è di cruciale importanza al fine di operare una corretta gestione e tutela del territorio, la quale potrebbe ancora validamente utilizzare alcune di tali strutture, se opportunamente protette o consolidate.

## BIBLIOGRAFIA

- Bambini, R., Campagnoli, A., Campagnoli, M., Cappa, G., (2007). *Un acquedotto etrusco-romano nel territorio di Cerveteri*. Opera Ipogea, anno 9, n. 1, 95-104.
- Bixio, R., De Pascale, A., Saj, S., Traverso, M., (2007). *Tre acquedotti sotterranei in provincia di Genova*. Opera Ipogea, anno 9, n. 1, 85-94.
- Castellani, V., (1999). *La civiltà dell'acqua*. Editorial Service System, Roma, 256 pp.
- Castellani, V., Dragoni, W., (1992). *Opere arcaiche per il controllo del territorio. Gli emissari artificiali dei laghi alban*. In: AA.VV., *Gli Etruschi maestri di idraulica*. Electa Editori Umbri, Perugia.
- Castellani, V., Mecchia, G., Piro, M., Caloi, V., Dragoni, W., (1993). *L'acquedotto dell'antica Praeneste*. Atti XVI Conr. Naz. Spel., Le Grotte d'Italia, 137-151.
- Castellani, V., Caloi, V., Cianetti, L., (2000). *Un'indagine preliminare dei resti grafici nel condotto dell'acquedotto di Palestrina (Roma)*. Opera Ipogea, anno 1, n. 1, 19-28.
- Cotecchia, V., (1991). *Strategie progettuali e gestionali delle risorse idriche*. Medit, anno 2, n. 3, 40-55.
- Delle Rose, M., Giuri, F., Guastella, P., Parise, M., Sammarco, M., (2006). *Aspetti archeologici e condizioni geologico-morfologiche degli antichi acquedotti pugliesi. L'esempio dell'acquedotto del Triglio nell'area tarantina*. Opera Ipogea, a. 8, n. 1-2, 33-50.
- Del Prete, S., Parise, M., (2007). *L'influenza dei fattori geologici e geomorfologici sulla realizzazione di cavità artificiali*. Opera Ipogea, anno 9, n. 2, 3-16.
- Del Prete, S., Varriale, R., (2007). *Breve rassegna sui principali acquedotti ipogei della Campania*. Opera Ipogea, a. 9, n. 1, 75-84.
- Galeazzi, C., Galeazzi, S., Germani, C., De Paolis, A., (1999). *Gli ipogei minori della Caffarella (Roma)*. Opera Ipogea, anno 2, n. 3, 19-30.
- Germani, C., Galeazzi, C., Parise, M., Sammarco, M., (2009a). *Gli antichi acquedotti sotterranei: esempi di uso sostenibile delle risorse idriche*. Atti Convegno "La crisi dei sistemi idrici: approvvigionamento agro-industriale e civile", Accademia dei Lincei, Roma, 22 marzo 2007, Atti Convegni Lincei, vol. 248, 217-223.
- Germani, C., Galeazzi, C., Parise, M., Sammarco, M., (2009b). *La carta degli antichi acquedotti sotterranei: stato dell'arte e prospettive future*. Atti Convegno "Acque interne in Italia: uomo e natura", Accademia dei Lincei, Roma, 28 marzo 2008, Atti Convegni Lincei, vol. 250, 335-340.
- Gruppo Speleologico Bolognese, Unione Speleologica Bolognese, (2010). *Gli antichi acquedotti di Bologna*. Grafiche A&B, Bologna, 320 pp.
- Guglia, P., (2007). *L'acquedotto Teresiano di Trieste*. Opera Ipogea, anno 9, n. 1, 113-122.
- Judson, S., Kahane, A., (1963). *Underground drainageways in southern Etruria and northern Latium*. Papers of the British School at Rome, vol. 31, 74-99.
- Parise, M., (2007a). *Il Progetto "La Carta degli Antichi Acquedotti Italiani"*. Opera Ipogea, anno 9, n. 1, 3-16.
- Parise, M. (a cura di) (2007b). *Bibliografia di base*. Opera Ipogea, anno 9, n. 1, 17-68.
- Parise, M., (2009). *Distribution and characteristics of ancient underground aqueducts in Italy*. Atti Int. Water Ass. Specialty Conf., 2<sup>nd</sup> Int. Symp. on "Water and wastewater technologies in ancient civilizations", Bari, 28-30 May 2009.
- Parise, M., (2010). *Environmental sustainability and management of karst territories: problems and open questions*. Geological Society of America Abstracts with Program vol. 42 (5).
- Parise, M., Bixio, R., Burri, E., Caloi, V., Del Prete, S., Galeazzi, C., Germani, C., Guglia, P., Meneghini, M., Sammarco, M., (2009). *The map of ancient underground aqueducts: a nation-wide project by the Italian Speleological Society*. Atti 15<sup>th</sup> Int. Congr. of Speleology, Kerrville (Texas, USA), 19-26 July 2009, vol. 3, 2027-2032.
- Zannoni, A., (1868). *Progetto di riattivazione dell'antico acquedotto bolognese*. Regia Tipografia, Bologna, 78 pp.



## **CLIMATE CHANGE AND ADAPTATION POLICIES IN THE EURO MEDITERRANEAN AREA: PROPOSED STRATEGIES IN THE LIFE ACT (*Adapting to Climate change in Time*) PROJECT.**

CAPRIOLO ALESSIO<sup>1</sup>, GIORDANO FRANCESCA<sup>1</sup>, MASCOLO ROSA ANNA<sup>1</sup>, SPIZZICHINO DANIELE<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> ISPra – Institute for Environmental Protection and Research, Roma, Italia, alessio.capriolo@isprambiente.it

### **ABSTRACT**

Adaptation, together with mitigation, is one of the two concurrent actions that must be undertaken to face the problem of climate change. As stated by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), mitigation aims at avoiding the unmanageable impacts, while adaptation aims at managing the unavoidable impacts and increasing the resilience of natural and human systems to current and future impacts of climate change. Starting from this idea, the scope of the present work is to describe the methodological approach adopted in order to develop Local Adaptation Plans in three representative municipalities located in the Mediterranean area. Such activity is being carried out within the framework of the Life Project ACT (*Adapting to Climate change in Time*) aiming at the development of Local Adaptation Plans which will be based on the predictable climate scenarios and address the environmental, social and economic impacts of climate change on the most vulnerable sectors in the Mediterranean Basin. An inclusive and participated process, shared by all the local actors involved, will allow to select proportionate, appropriate and cost-effective measures.

**Key words:** Adaptation, Climate Change, Mediterranean area

### **INTRODUCTION**

At local level, the need to address the impacts of climate change requires more and more that urban policy for climate is fully integrated in all the planning policies: from environment to mobility, from city-planning to the social sector. Addressing the effects of climate change at local and urban level, firstly means to develop innovative tools that allow administrators to manage the governance processes in a new way. Policy makers therefore need to understand the sensitivity and vulnerability of the territory in terms of impacts, related risks, opportunities, costs and consequences of different options and scenarios. Climate change has a significant impact on the hydrological cycle and all its related phenomena. Between 1279 and 2002 A.D. in Italy, the AVI catalogue (<http://avi.gndci.cnr.it>) has recorded 4521 extreme events in terms of damages. In the same period we had 13.8 victims per year due to landslides and 49.6 victims per year due to floods (Margottini et al, 2010). These phenomena in the environmental and anthropogenic settings resulted in significant economic losses and casualties (e.g. Piemonte 1994, Versilia 1996, Campania 1998, Golfo Ligure 04/02/2003, Bari 23/10/2005, Vibo Valentia 3/7/2006, Cagliari 22/10/2008, Giampileri (ME) 01/10/2009, Veneto Region 01/11/2010). At present, it's quite difficult to define a strong correlation between current climatic trend in occurrence of natural and anthropogenic impacts vs. future scenarios. The correlation should consider the relationship between meteorological trigger mechanisms (not yet very well associated to climate change) and related impacts. Natural hazard represents the conflict between natural-physical system and social and economical setting, constituting a fundamental imbalance for population. The likely increase in frequency and intensity of extreme weather events (IPCC 2007), especially in the Mediterranean area, could lead to an increase in economic, environmental and social damages. Starting from these premises, the Life ACT Project (*Adapting to Climate Change in Time*) aims to demonstrate that through an inclusive and participated process, shared by all the involved local actors, it is possible to develop a Local Adaptation Plan, which will be based on the most common climate scenarios and address the environmental, social and economic impacts of climate change on the most vulnerable sectors of three European municipalities in the Mediterranean Basin (Ancona, Patras and Bullas). In particular, the objectives of the ACT Project focus on:

- the development of a standardized process to draw and implement local adaptation strategies, easily applicable to a wide range of local authorities to forecast the impacts of climate change at a local scale and to define corresponding actions;

- by increasing their awareness, the involvement of local actors (local industries, citizens, health system, civil protection, etc.) and stakeholders in the development of local adaptation strategy;
- the development and dissemination of guidelines that can encourage other European communities (in particular in the Mediterranean basin) to adopt the same process and develop their own local adaptation strategies.

## METHODOLOGICAL APPROACH

Adaptation to climate change is a long and complex process that starts with the definition of an adaptation team and the identification of local stakeholders, continues with the analysis of the most reliable climate scenarios and the projected impacts of climate change on the most vulnerable sectors, to end up with the definition of the Adaptation Plan, which includes also the monitoring and reviewing of the overall process. In particular, the identification and characterisation of human and natural systems vulnerability to climate change become key inputs for targeting, formulating and evaluating adaptation policies. There is no single best approach to decide the key systems that may be vulnerable to climate change in a region. The systems considered most suitable to the Plan will depend on the climate and socio-economic context of the area (ISPRA 2009). In order to implement the impact and vulnerability assessment within the framework of the ACT project, we adopted and implemented a methodological approach which is consistent with the pillars proposed by IPCC (IPCC 2007b), focusing on climate change impacts, vulnerability and adaptation concepts (Figure 1).

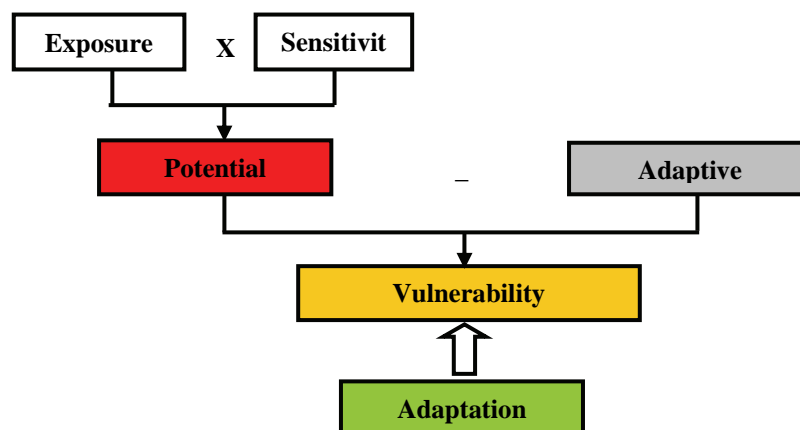


Figure 1 – Simplified version of the conceptual model for climate change impacts, vulnerability and adaptation (Source: Isoard et al. 2008).

Impacts of climate change, adaptive capacity and vulnerability to climate change are the key elements to enhance our knowledge on adaptation needs and consequently build adaptation policies (Harley et al. 2008). Impacts of climate change may be harmful, or to some extent beneficial, and may affect environment, economy and society, depending on the sensitivity and the exposure of the natural systems or the economic sectors to climate change (EC 2009; EEA/JRC/WHO 2008). The adaptive capacity represents the ability of a system to adjust to climate change (including climate variability and extremes), to moderate potential damage, to take advantage of opportunities, or cope with the consequences. Various key factors could influence the adaptive capacity of a system, such as the access and ability to process information on climate change, the resources to be invested, the flexibility of a system to change in response to climate stimuli, the willingness to change and many others. Finally, the vulnerability of a system is defined as the degree to which it is sensitive to, and unable to cope with, the adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. In this context, systems that are sensitive to climate and less able to adapt to changes are generally considered to be vulnerable to damages from climate change and vice versa (EEA 2005; IPCC 2007b). Based on these key components, adaptation policies will seek to address the impacts of climate change through adjustments to sensitivity and/or exposure, while building and strengthening adaptive capacity will provide additional tools to reduce vulnerability.

## **STRUCTURE AND RESULTS OF ACT PROJECT**

Three climate change vulnerable municipalities in the Mediterranean Basin have been selected in order to define and implement the Local Adaptation Plans in areas representative of climate change impacts: Ancona (Italy), Bullas (Spain) and Patras (Greece). Due to common features of climate pattern in the Mediterranean areas, these municipalities will all have to face some effects related to climate change: problems concerning water resources (drought, floods), coastal erosion, desertification and soil erosion, loss of biodiversity, health risk and effects on climate-sensitive economic sectors (i.e.: agriculture, tourism). For the purpose of the ACT Project, three main actions were identified. In the first one all the information on existent models and climate forecasting scenarios have been reviewed and analyzed and the climate variables (i.e. temperature, precipitation and sea level rise) were elaborated for the three target areas and implemented in order to carry out a downscaling useful for a local scale methodology and assessment. The second action aims at defining a shared methodology for local impact assessment to be applied by each municipality taking into account economic, social and environmental aspects. In the third action each municipality will establish its own Local Adaptation Board and will develop the Local Adaptation Plan. Each action will provide specific results: in the first action a baseline scenario on local climate change for the municipalities involved and a state of the art Report were elaborated, while the second action will provide a Road Map in order to guide local authorities in developing local adaptation strategies. Finally, the third action will lead to the development of the Local Adaptation Plan. Other actions will follow in order to allow the evaluation of the project results and the dissemination and communication of the results to a wide range of public, local authorities, economic sectors, national and European institution.

## **CONCLUSIONS**

The choice of partners located in vulnerable areas (e.g. Mediterranean coastal areas) with common characteristics can lead to visible environmental results, such as the environmental level through concrete environmental benefits in preserving biodiversity and ecosystems that are likely to be damaged by soil and coastal erosion, changes in river flows and capacity, by the identification and prevention of the risks of environmental disasters related to climate change (e.g. flooding, droughts etc.). Through the identification and prevention of risks of industrial accidents that may affect people and environment, with the adaptation actions have an intrinsic mitigation potential that will contribute to the mitigation policies that project beneficiaries have already adopted. The synergies between the two strategies include also the identification of possible conflicts between mitigation and adaptation for avoiding mal-adaptation such as, in some cases, artificial snow-making, transfer of water, air conditioning or desalination. It has to be noted that it is challenging to forecast exactly the environmental results of this project at this point, and this for two important reasons. First of all, adapting to climate change mainly refers to risks prevention and reduction. Secondly, the particular nature of this project, i.e. the development of local adaptation strategies, shows at the first stages the identification of local climate change effects and their physical impacts that strongly depends on local peculiarities, hence other more specific environmental benefits will emerge during the project and will be addressed differently in each municipality. From technical point of view important results should be achieved by: i) the development of a standardized methodological process to draw and implement local adaptation strategies, easily applicable to a wide range of local authorities to forecast the impacts of climate change on a local scale and the actions to implement. The process will include these main steps: data gathering, local effects of climate change; social, economic and environmental impact assessment, identification of the most vulnerable sectors, involvement of local stakeholders, definition of possible actions, economic and risk assessment of actions, implementation of the actions with the collaboration of a wide range local stakeholders; ii) a shared methodology to assess which actions should be implemented taking into account different parameters including: risk assessment, economic costs, environmental damages, and vulnerability. Moreover, each action will be evaluated for the emissions that implies, thus having a full sustainability evaluation. This last parameter will enhance the strategic connection between adaptation and mitigation

strategies; iii) the possibility of defining local adaptation strategies and plans at local level even without reference strategies at regional or national level; iv) the implementation of a bottom-up evaluation approach that starts off by assessing local vulnerabilities by making economic, environmental and social evaluation; v) better city planning resulting in social, environmental and health benefits. At political level: i) local authorities will enhance their capability to forecast the impact of climate change on their community, to evaluate different intervention strategies in order to mitigate these effects taking into account social, economic, environmental and risk parameters; ii) the engagement (during the whole process) of key actors responsible for the implementation of adaptation actions; iii) community and stakeholder involvement will increase the awareness on climate change issue, and build know how that can be shared and disseminate to other local authorities, widening the results of this project; iv) the inclusion of economic parameters to select the action to be implemented to tackle climate change will enhance decision-makers credibility towards other actors that might not be sensitive to environmental issues, and facilitate substantial discussions; v) integration of adaptation strategy within existing and future municipal plans, policies, and legislations. The strategy will provide municipalities with a set of strategic indicators to monitor and report every year the state of the art of the actions, in order to ensure a follow-up after the end of the project. Last but not least, the whole process should include an economic evaluation through a cost-benefit analysis that will assist municipalities to choose the most cost-effective adaptation actions among others (Carraro 2008).

## REFERENCES

- Carraro, C., (2008). *Cambiamenti climatici e strategie di adattamento in Italia. Una valutazione economica*. Ed. Il Mulino, pp. 518.
- EC (European Commission), (2009). White Paper. *Adapting to climate change: Towards a European framework for action*. COM(2009) 147 final.
- EEA (European Environment Agency), (2005). *Vulnerability and adaptation to climate change in Europe*. EEA Technical Report No 7/2005.
- EEA/JRC/WHO, (2008) *Impacts of Europe's changing climate – 2008*. Indicator-based assessment (EEA Report No. 4/2008). Copenhagen: European Environment Agency.
- Harley, M., Horrocks, L., Hodgson, N., (AEA), Van Minnen, (PBL), (2008). *Climate change, vulnerability and adaptation indicators*. ETC/ACC Technical Paper, 2008.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2007b). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; Van der Linden, P. J., Hanson, C. E. (Eds), 2007. Cambridge University Press, UK.
- Isoard, S., Grothmann, T., Zebisch, M., (2008). *Climate Change Impacts, Vulnerability and Adaptation: Theory and Concepts*. Workshop 'Climate Change Impacts and Adaptation in the European Alps: Focus Water', UBA Vienna.
- ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), (2009). *L'adattamento ai cambiamenti climatici: strategie e piani in Europa*. Rapporti 94/2009. ISBN 978-88-448-0304-9.
- Margottini, C., Spizzichino, D.,(2010) *Climate change, geological and hydrological hazard and adaptation policy in Italy*. Geophysical Research Abstracts Vol. 12, EGU2010-10870, 2010 EGU General Assembly 2010, Wien 2-7 May 2010

# **CONTRIBUTO DEL T. CANNAPALE ALL'INTERRIMENTO DELLA DIGA CAMASTRA (PROV. DI POTENZA) E IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUI FENOMENI EROSIVI IN ATTO**

BALDASSARRE GIUSEPPE<sup>1</sup>, OUECHTATI SAMI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università degli Studi di Bari, Italia, gbaldassarre@geo.uniba.it

## **RIASSUNTO**

La valutazione dell'apporto solido del T. Cannapale alla diga Camastra (Basilicata) è stata ottenuta attraverso l'Analisi Geomorfica Quantitativa. Il bacino Cannapale contribuisce al volume dei sedimenti accumulati nella diga Camastra nella misura del 2%. L'analisi statistica dei dati climatici mostra una tendenza al decremento delle precipitazioni annue e una tendenza all'incremento sia della frequenza degli eventi estremi sia dell'intensità pluviometrica giornaliera; tutto ciò favorisce quindi l'incremento dei processi erosivi.

**Parole chiave:** Analisi Geomorfica Quantitativa, Erosione, Trend

## **INTRODUZIONE**

Gli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse ambientali possono essere sintetizzati nella riduzione della disponibilità di risorse idriche, nell'aumento del rischio di alluvioni, nel deterioramento della qualità dei suoli e anche nell'incremento dei processi erosivi. La stima del tasso di erosione nell'area di studio è stata effettuata utilizzando metodi quantitativi indiretti. Per valutare l'impatto dei cambiamenti climatici sul fenomeno dell'erosione sono state compiute analisi statistiche.

## **INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO**

Il corso d'acqua preso in esame è il T. Cannapale, che confluisce in destra idrografica nell'invaso artificiale costituitosi per sbarramento con la diga in terra del T. Camastra in località Ponte Fontanelle. Il suo bacino ha un'area di 2,89 km<sup>2</sup> e un perimetro di 7,95 km. Questo bacino è situato nell'Appennino meridionale e fa parte del sistema appenninico-dinarico costituito da tre domini principali: la catena sud-appenninica, l'avanfossa adriatica meridionale (Fossa bradanica) e l'Avanpaese apulo (D'Argenio et al. 1973, Ippolito et al. 1975). L'orogenesi appenninica si individua in Italia meridionale a partire dall'Oligocene sup – Miocene inf.

## **MORFOLOGIA E ACCLIVITÀ DEI VERSANTI**

La morfologia del bacino del T. Cannapale è quella tipica della media montagna dell'Appennino Meridionale; si passa da una quota di 550 m del punto di confluenza tra il T. Camastra e il T. Cannapale, alla quota di 1128 m rilevabile nella parte orientale, poco a sud della località S. Leonardo e da cui prende origine il T. Cannapale alla quota di 980 m. Le acclività sono più costanti e le superfici più uniformi su lunghi tratti dove affiora la facies argilloso-arenacea, mentre nell'area nord-orientale di affioramento, le pendenze assumono valori compresi tra lo 0 e il 18%, e in quella prossima alla confluenza raggiungono il 30-60% ed oltre. La configurazione morfologica della facies prevalentemente argillosa ha caratteristiche intermedie tra la facies prevalentemente arenacea e quella argilloso-arenacea. In tal senso questi terreni presentano una morfologia alquanto articolata; infatti superfici con acclività uniformi e dolci sono interrotte da forti ed improvvisi aumenti di pendenza che assumono valori variabili dal 15% a > 60%.

## **IDROGRAFIA E USO DEL SUOLO**

Il T. Cannapale ha una lunghezza di 3,04 km con un dislivello di 430 m tra il suo punto più alto e la sua confluenza nell'invaso Ponte delle Fontanelle, quindi una pendenza media di 14%. Il suo bacino presenta

un reticolo idrografico poco sviluppato e piuttosto asimmetrico. La gerarchizzazione del reticolo idrografico del bacino del T. Cannapale secondo quanto indicato nel lavoro di Strahler (1957), mostra che è d'ordine 3. Per quanto riguarda la copertura vegetale, interessante l'area del bacino risulta che si differenzia in bosco costituito da querce di medio fusto, sporadicamente da olmi e in un sottobosco che, quasi sempre, si presenta fitto e persistente, e a tratti impenetrabile. Sia il bosco che il sottobosco interessano quasi tutta l'area del bacino tranne l'alveo del corso d'acqua, i suoi immediati versanti di sponda e le nicchie di distacco delle frane, occupando un'area pari a circa l'86% della superficie del bacino.

### **STIMA DELL'EROSIONE: ANALISI GEOMORFICA QUANTITATIVA**

L'Analisi Geomorfica Quantitativa (AGQ) (Ciccacci et al. 1981) si basa sui principi dell'analisi morfometrica dei reticoli idrografici e del rilievo, da molto tempo introdotti da geomorfologi americani (Horton 1932 e 1945, Melton 1958), e successivamente sviluppati e applicati anche al territorio italiano. L'AGQ consente la valutazione indiretta dell'entità dei fenomeni erosivi (Canuti et al. 1975, Ciccacci et al. 1981, Baldassarre et al. 1995). Il metodo si basa sull'assunzione del deflusso torbido unitario medio annuo (Tu) di un corso d'acqua quale fattore rappresentativo dell'erodibilità media dei terreni affioranti nel sotteso bacino idrografico. Il parametro Tu, definito anche come "indice di erosione", esprime solo l'aliquota in sospensione del trasporto solido complessivo. La relazione più adatta per l'area di studio per la previsione del Tu è la seguente:

$$\log Tu = 1,447803 + 0,326190 D + 0,102467 \Delta a \quad (R^2 = 0,97) \quad (1)$$

nella quale le variabili indipendenti considerate sono la densità di drenaggio ( $D = 3,2 \text{ km}^{-1}$ ) e l'indice di anomalia gerarchica ( $\Delta a = 0,125$ ). L'erosione stimata in termini di Tu risulta, dunque, pari a  $316 \text{ t/km}^2/\text{anno}$ .

### **CONTRIBUTO DEL T. CANNAPALE ALL'INTERRIMENTO DELLA DIGA CAMASTRA**

L'interrimento annuale della diga Camastra risulta pari al 0,17% della sua capacità iniziale (25.4 milioni di  $\text{m}^3$ , Bazzoffi et al. 2005). In termini quantitativi, dunque, il volume di sedimenti annui che contribuiscono all'interrimento della diga è  $43120 \text{ m}^3/\text{anno}$ . In base al parametro Tu, calcolato mediante l'AGQ, il T. Cannapale produce  $913 \text{ t/anno}$  di sedimenti. In assenza di misure reali, dalla letteratura risulta che la densità dei sedimenti varia da  $1,1 \text{ t/m}^3$  fino a valori leggermente superiori a  $2 \text{ t/m}^3$ , in relazione alla natura dei sedimenti e alla loro provenienza. Assumendo un valore minimo di  $1,1 \text{ t/m}^3$ , il contributo sedimentario del bacino del T. Cannapale risulta pari a  $830 \text{ m}^3/\text{anno}$ . Dunque il bacino idrografico del T. Cannapale contribuisce al 2% circa del volume dei sedimenti accumulati nel bacino d'invaso della diga Camastra.

Il rapporto tra l'area del bacino del T. Cannapale ( $2,89 \text{ km}^2$ ) e quella del bacino del T. Camastra ( $350 \text{ km}^2$ ) è uguale a 0,8%. Questo evidenzia che l'attività erosiva nel bacino del T. Cannapale, da non sottovalutare, è più importante rispetto all'attività erosiva che si esplica nella restante parte del bacino del T. Camastra.

### **CAMBIAMENTI CLIMATICI E EROSIONE**

L'impatto diretto dei cambiamenti climatici sull'erosione e sul trasporto solido in un dato bacino idrografico non è ancora chiaro, ma è evidente che l'erosione, e particolarmente il tasso di trasporto solido, è fortemente correlata con le portate di massima piena, in modo tale che più le portate di massima piena sono numerose e importanti, più il trasporto solido è accentuato. D'altra parte, diverse ricerche hanno dimostrato che i cambiamenti climatici hanno contribuito ad aumentare il numero degli eventi estremi e anche l'intensità pluviometrica giornaliera (rapporto tra le precipitazioni totali annue ed il numero dei giorni piovosi). Dunque, con questo scenario, si può prevedere un aumento del tasso di

trasporto solido e un incremento dei fenomeni erosivi. Per questo motivo, è necessaria l'elaborazione di alcune analisi statistiche dei dati climatici che riguardano l'area di studio. Sono stati presi in considerazione i dati relativi alla stazione di misura della diga del T. Camastra (Lat. 40°32'30" N, Long. 15°59'00" E, quota 554 m s.l.m.). Il periodo di osservazione va dal 1971 fino al 2009 (39 anni). Sono stati calcolati ed analizzati: le precipitazioni totali annue, il numero di eventi estremi in un anno e l'intensità pluviometrica giornaliera, espressa come il rapporto tra le precipitazioni totali annue ed il numero dei giorni piovosi (un giorno piovoso corrisponde ad una precipitazione > 1 mm). I dati mostrano chiaramente l'esistenza di un trend negativo statisticamente significativo delle precipitazioni annue, quindi una netta tendenza al decremento nel corso del tempo (Fig. 1). Questa tendenza è confermata sia linearmente sia calcolando una serie di medie variabili. Il decremento è pari a 14% in 39 anni.

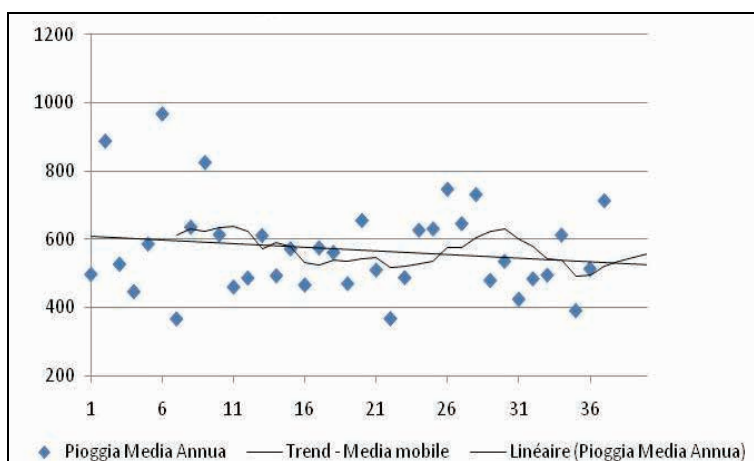


Figura 1 - Trend negativo della pioggia media annua

Per quanto riguarda il numero degli eventi estremi in un anno, i dati mostrano l'esistenza di un netto trend positivo (Fig. 2) che riflette un notevole incremento del numero delle piene in un anno e quindi l'incremento del volume dei materiali solidi trasportati dal T. Cannapale.

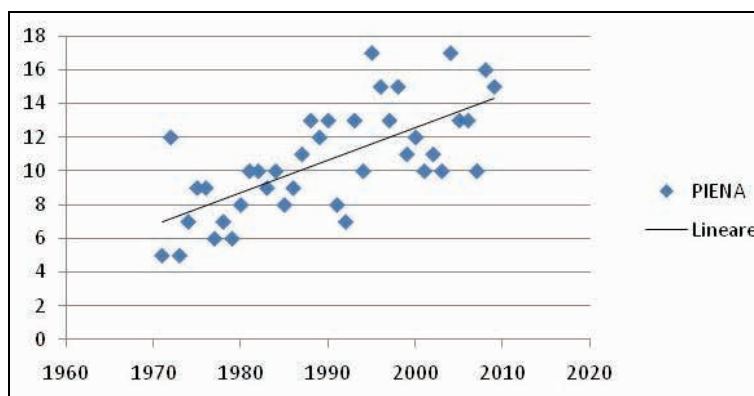


Figura 2 - Trend positivo del numero di eventi estremi

L'analisi statistica dell'intensità pluviometrica giornaliera (espressa in mm/giorno) rivela una netta tendenza all'incremento con un trend positivo statisticamente significativo (Fig.3). L'incremento è valutato pari al 33% in 39 anni. Il notevole incremento di questo indice è dovuto al decremento netto del numero dei giorni piovosi. Partendo da questa osservazione, si può dedurre che la pioggia, più scarsa, sta diventando anche maggiormente intensa, dunque ammetterà un indice di erosione più alto e quindi i processi erosivi saranno più gravi.

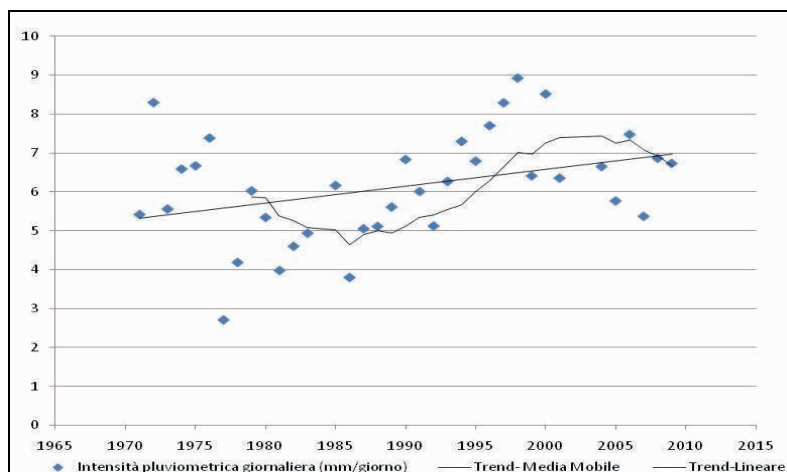


Figura 3 - Trend positivo dell'intensità pluviometrica giornaliera

## CONCLUSIONI

L'Analisi Geomorfica Quantitativa ha mostrato che il tasso di erosione nel bacino idrografico del T. Cannapale stimato in termini di  $Tu$  risulta pari a  $316 \text{ t/km}^2/\text{anno}$ . Questo contribuisce a 2% circa del volume dei sedimenti accumulati nel fondo della diga Camastra. L'analisi statistica dei dati climatici dell'area di studio mostra una tendenza al decremento di 14% delle precipitazioni annue durante il periodo di osservazione (39 anni) e una tendenza all'incremento sia della frequenza degli eventi estremi sia dell'intensità pluviometrica giornaliera (33%). Tutti questi parametri favoriscono un incremento graduale dei processi erosivi.

## BIBLIOGRAFIA

- Baldassarre, G. Trizzino, D. , (1995) *Implementation of a GIS based on environmental monitoring method aimed at reservoir protection*. 17th Int. Conf. , Proc. 1 ;Barcelona
- Bazzoffi, P. , Abbattista, F., Vanino, S., Napoli, R. , Fais, A., Nino, P., (2005) "Loss of water storage capacity of reservoirs in Southern Italy: economic implicances of sedimentation". OECD Workshop on agriculture and water: Sustainability, Markets and policie, Australia
- Canuti, P., Morini, D., Tacconi P. , (1975) *Analisi geomorfica quantitativa del bacino del fiume Elsa (affluente del F. Arno)*. Boll. Soc. Geol. It. , pp 46 - 50
- Ciccacci, S. , Fredi, P., Lupia Palmieri, E. , (1981) *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It., 99 pp 455 - 516
- D'argenio, B. , Pescatore, T., Scandone, P. (1973) *Schema geologico dell'appennino meridionale (Campania e Lucania)*. Acc Naz. Lincei, 183, 49-72
- Horton, R.E. , (1932) *Drainage basins characteristics*. Un. Trans. , 13th . Ann Meet., Washington
- Horton, R.E. , (1945) *Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geol. Soc. of America Bull., 56, pp 275 – 370
- Ippolito, F. , D'argenio, B. , Pescatore, T., Scandone, P. (1975): *Structural, stratigraphic units and tectonic frame work of southern Appennines*. Geology of Italy , Edited by Coy Squyres , The Earth Sc.Soc. of the Libyan Arab. Rep., 317 - 328. Tripoli
- Melton, M.A. (1958) *Correlation structure of mature drainage system and their rappresentation in a E4 (pedice) phase space*. Jour. Geol., 66 , pp. 35-65
- Strahler, A.N. , (1957) *Quantitative analysis of watershed geomorphology*. Trans. Am. Geophys. Un. , 8 n° 6, pp. 913 – 920.



# **MONITORAGGIO METEOCLIMATICO FINALIZZATO AD ATTIVITÀ DI PROTEZIONE CIVILE (PREVISIONE, PREVENZIONE E ALLERTAMENTO) NEL TEMPO REALE E AD ATTIVITÀ DI PIANIFICAZIONE NEL TEMPO DIFFERITO**

AMORUSO GIUSEPPE<sup>1</sup>, TEDESCHI GIUSEPPE<sup>1</sup>, CORBINO ROSA<sup>1</sup>, INTINI FRANCESCA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Funzionale Regionale e Struttura di Monitoraggio Meteorologico, Servizio Protezione Civile, Bari, Italia,  
g.amoruso@regione.puglia.it

<sup>2</sup> Geophysical Applications Processing (GAP) srl, Politecnico di Bari

## **RIASSUNTO**

La disponibilità di una serie storica di dati termopluviometrici, rilevati dalla rete regionale di misura al suolo, ha permesso di realizzare mappe climatiche regionali, ottenute con tecniche geostatistiche (kriging), relative al trentennio 1976-2005. Al fine di porre in atto misure di mitigazione nelle aree ad elevato rischio idraulico, il Centro Funzionale Regionale ha potenziato la rete di monitoraggio. Nuovi sensori idrometrici sono stati installati sul bacino interregionale del fiume Fortore che, negli ultimi anni, è stato ripetutamente interessato da eventi meteorologici avversi che hanno coinvolto la Protezione Civile regionale nella gestione delle relative situazioni di criticità.

**Parole chiave:** mitigazione, rischio idraulico, soglie

## **INTRODUZIONE**

La Regione Puglia, in attuazione al decreto P.C.M. del 15.12.1998 ha aderito al Programma di Potenziamento delle reti di Monitoraggio meteo-idro-pluviometrico per la realizzazione della rete dei Centri Funzionali, preposti alle attività di sorveglianza meteorologica e di supporto tecnico alle competenti strutture di protezione civile finalizzate alla emissione degli allarmi in favore della popolazione esposta a rischio. Il Centro Funzionale ha il compito di definire le principali situazioni di rischio e di vulnerabilità (identificazione delle criticità ed attività di censimento dei principali elementi esposti al rischio sul territorio) e di formulare una diagnosi tempestiva sulla criticità dell'evento in atto o previsto. Inoltre, svolge attività di analisi e di studio su aggregazioni temporali medio lunghe finalizzate ad attività di pianificazione e realizzazione di interventi strutturali nel tempo differito. Recentemente, in collaborazione con il CNR-IRSA e con l'Ufficio Statistico regionale, sono stati elaborati i dati termopluviometrici del trentennio 1976-2005 per la realizzazione di mappe climatiche regionali su base mensile. Le mappe sono state realizzate grazie ad un Sistema Informativo Geografico (GIS) utilizzando procedure di interpolazione spaziale basate su kriging su una griglia con risoluzione di 1 km per 1 km e per un numero complessivo di 81 stazioni per la temperatura e di 125 stazioni per le precipitazioni. Le stazioni fanno parte della rete regionale in telemisura gestita dalla Struttura di Monitoraggio Meteorologico (ex Ufficio Idrografico e Mareografico) che, insieme al Centro Funzionale regionale, ne assicura il funzionamento, il potenziamento, l'aggiornamento tecnologico, la manutenzione ordinaria e straordinaria, la raccolta, la validazione, l'archiviazione e la pubblicazione dei dati sugli Annali Idrologici. In tale ottica e nel rispetto della Direttiva P.C.M. del 27.02.2004 e s.m.i, il Centro Funzionale regionale ha avviato un programma di monitoraggio strumentale (sensori termometrici, anemometrici, pluviometrici, idrometrici...) per tutti i bacini della Puglia ed avviato attività specialistiche per la valutazione degli effetti al suolo sulla base della conoscenza delle precipitazioni osservate e/o attese e di valori "soglia" al raggiungimento dei quali scatta il corrispondente livello di allerta. Di seguito viene illustrato un esempio di esperienza operativa del Centro Funzionale regionale maturata durante gli eventi di piena nel periodo gennaio-marzo 2010 del bacino interregionale del fiume Fortore.

## IL BACINO DEL FIUME FORTORE

Il bacino idrografico del fiume Fortore, ha carattere interregionale e attraversa le province di Campobasso, Benevento e Foggia. La lunghezza dell'asta principale è di 12 km e l'intero bacino imbrifero occupa una superficie di circa 1600 kmq. E' intercettato da una tra le più grandi dighe in terra in Europa, la diga di Occhito, situata nel comune di Carlantino e gestita dal Consorzio per la Bonifica della Capitanata. Le caratteristiche principali sono riassunte nella tabella 1. Gli organi di scarico comprendono uno scaricatore di superficie ed una galleria di scarico di fondo. Lo scarico di superficie dell'invaso è ubicato in sponda sinistra ed è costituito da una soglia fissa libera sfiorante posta alla quota di 195,00 m s.l.m. e da tre luci sfioranti aventi soglia fissa a quota 192 m s.l.m. e munite di paratoie automatiche a ventola. A partire da ottobre 2009 il bacino risulta monitorato con n.3 misuratori del livello idrometrico in tempo reale, installati a valle della diga sul corso d'acqua principale e ubicati, a partire da monte verso valle, in corrispondenza di ponte Fortore, Ponte Ripalta e Colle Arena. A breve la rete sarà integrata con ulteriori n.4 idrometri di cui n.2 sugli affluenti t. Staina e t. Tona.

	Anno di costruzione	Capacità utile invaso (mc)	Quota di massimo invaso (m s.l.m.m.)	Quota di massima regolazione (m s.l.m.m.)	Volume di laminazione (mc)	Altezza sbarramento (m)	Tipologia
<b>Diga di Occhito</b>	1957	250.800.000	198,00	195,00	42.200.000	60,00	Materiali sciolti

Tabella 1 –Caratteristiche principali della Diga di Occhito.

## MONITORAGGIO E CONTROLLO DELLE PIENE NEL PERIODO GENNAIO-MARZO 2010

Ai sensi della Direttiva P.C.M. del 27.02.2004 e s.m.i. è stato predisposto per la diga di Occhito il piano di laminazione statico. Esso prevede il mantenimento, con continuità e durante i periodi dell'anno valutati critici per il verificarsi di eventi di piena, di una quota di invaso minore della quota di esercizio autorizzata (195,00 m. s.l.m.m.). Il piano in questione tiene conto anche degli effetti in relazione alla mitigazione del rischio idraulico a valle della diga, fissando come massima portata scaricabile dalla diga stessa il valore di 50 mc/sec. Sulla base dei dati di registrazione in tempo reale dei livelli idrometrici, dei livelli d'invaso, delle precipitazioni, ed in funzione dello scenario di riferimento del piano di laminazione, il Centro Funzionale regionale ha svolto una costante attività di monitoraggio al fine di contenere i possibili effetti negativi delle portate rilasciate dall'invaso durante gli eventi di piena. Nel periodo analizzato, le tre paratoie di superficie sono state posizionate a quota 192,00 m. s.l.m.m, 193,00 m. s.l.m.m. e 194,00 m. s.l.m.m. e nella tabella 2 vengono riportati i massimi valori registrati delle grandezze misurate.

Max livello invaso (m s.l.m.m.)	Q <sub>max</sub> scaricata (mc/s)	Max livello idrometro a ponte Fortore (m)	Max livello idrometro a ponte Ripalta (m)	Max livello idrometro a Colle Arena (m)	Max afflussi meteorici nel bacino di monte (mm)	Max afflussi meteorici nel bacino di valle (mm)
193,22	50,00	2,78	6,11	4,37	15,00	30,00

Tabella 2 – Valori massimi registrati nel periodo gennaio-marzo 2010.

Il valore massimo di livello d'invaso è stato di 193,22 raggiunto il giorno 10 gennaio (fig.1.) per effetto delle precipitazioni verificatesi a monte del bacino nei giorni antecedenti (fig.2). Durante tutto il periodo i volumi rilasciati sono stati sempre inferiori a quelli affluiti e la portata massima rilasciata (50 mc/sec) si è

verificata tra il 9 e 10 gennaio (fig.3). A causa delle precipitazioni osservate ed in funzione delle ulteriori precipitazioni previste sul bacino di valle (predisposte dalla modellistica di GAP), dal 15 gennaio è stata effettuata la manovra di apertura graduale dello scarico di fondo per consentire un più rapido rientro della quota del lago al valore previsto dal piano di laminazione (192,00), facendo in modo che la portata complessivamente rilasciata dal sistema paratoie-scarico di fondo fosse contenuta nel limite massimo consentito e, nel contempo, migliorando la capacità di laminazione della piena.



Figura 1 – Andamento della quota della diga di Occhito.

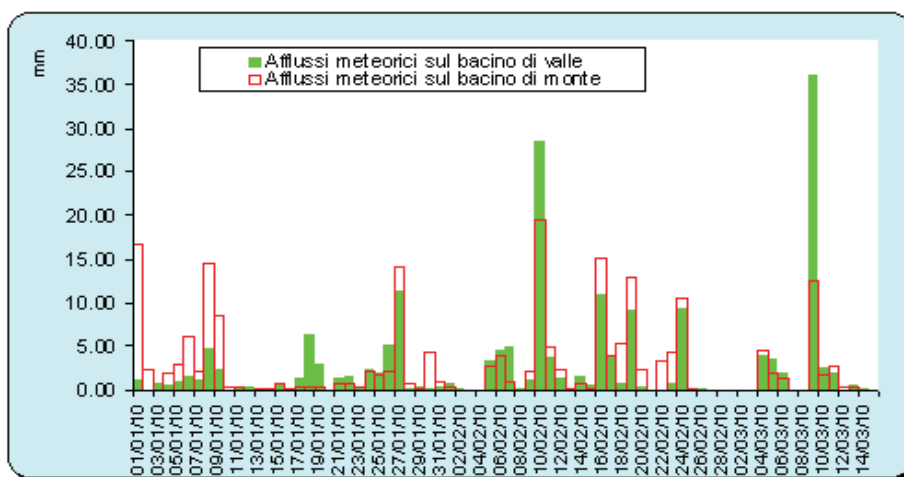


Figura 2 – Afflussi meteorici sul bacino sotteso dalla diga e a valle della stessa.

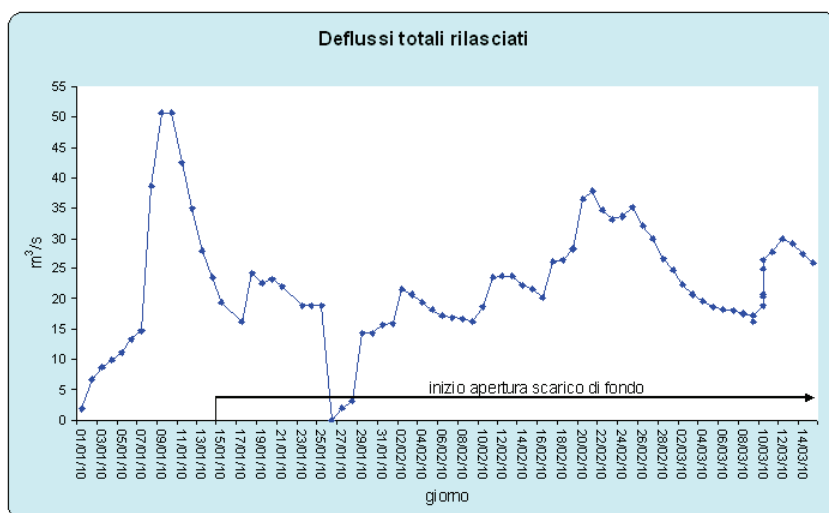


Figura 3 – Portate rilasciate dalla diga.

## CONCLUSIONI

La memoria presentata mette in evidenza la necessità di disporre della conoscenza dei dati per poter migliorare la comprensione di fenomeni idrologici e attuare iniziative per difendere ed intervenire sul territorio. L'esperienza operativa del Centro funzionale regionale maturata durante gli eventi di piena che hanno interessato il bacino del fiume Fortore nel periodo gennaio-marzo 2010 ha consentito di effettuare delle prime osservazioni sui tempi di propagazione degli eventi di piena e di fissare via sperimentale valori di soglie idrometriche nelle sezioni monitorate corrispondenti a possibili scenari di rischio idraulico.

## BIBLIOGRAFIA

- Presidenza del Consiglio dei Ministri, (1998). Approvazione del programma di potenziamento delle reti di monitoraggio meteoridropluviometrico. Gazzetta Ufficiale n. 23 del 29-1-1999
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, (2004). *Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile*. Gazzetta Ufficiale dell'11 marzo 2004 n. 59.

# RELAZIONI TRA PRECIPITAZIONI E SVILUPPO DI FALDE SOSPESSE IN VERSANTI TERRAZZATI

CAMERA CORRADO<sup>1</sup>, APUANI TIZIANA<sup>1</sup>, MASETTI MARCO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze della Terra 'A. Desio' – Università degli Studi di Milano, corrado.camera@unimi.it

## RIASSUNTO

Il lavoro vuole contribuire alla comprensione delle dinamiche di infiltrazione e circolazione idrica, in un versante terrazzato con muretti a secco, per capire i meccanismi di formazione di falde sospese temporanee, i loro rapporti con gli eventi di precipitazione e con la stabilità dei muri. Sulla base di dati di precipitazione e misure piezometriche recenti è stata proposta una soglia pluviometrica di sviluppo di falde sospese e un'analisi degli eventi meteorologici dal 1980 ad oggi. Si è poi costruito un modello numerico che riesce a riprodurre la formazione e lo sviluppo di falde sospese sul versante.

**Parole chiave:** falde sospese, muri a secco, soglie pluviometriche

## INTRODUZIONE

La formazione di falde sospese, come conseguenza finale del processo di infiltrazione, può essere considerato uno dei principali fattori di controllo riguardo la stabilità di un versante terrazzato (Crosta et al. 2003). I terrazzi sono tipicamente formati da terreni di riempimento, costituiti da depositi sciolti con conducibilità idraulica medio alta, sopra un substrato roccioso rigido poco permeabile; situazione geologica che dato l'alto contrasto di conducibilità idraulica tra i due mezzi si presta alla formazione di una falda sospesa immediatamente a tetto del substrato roccioso (Huat et al. 2006). Nei versanti terrazzati l'instabilità di un singolo terrazzo può evolvere inducendo il franamento dei terrazzi a valle ed eventualmente innescando un effetto domino con formazione di debris flow (Azzola & Tuia 1983). In particolare lo studio si è concentrato sull'area a monte dell'abitato di Tresenda, nella media Valtellina, dove nel maggio 1983 si sono verificate tre colate detritiche che causarono 18 vittime e diversi danni ad abitazioni ed infrastrutture (Cancelli & Nova 1985). Sempre nella stessa zona nel novembre 2002 si è verificato un ulteriore evento dello stesso tipo che in questo caso ha comportato la chiusura temporanea di una strada provinciale. Lo studio, volto alla comprensione dei meccanismi di formazione delle falde sospese si è avvalso di: i) rilievi sul terreno, prove geotecniche e idrogeologiche in sito e laboratorio; ii) monitoraggio piezometrico; iii) analisi dei caratteri delle precipitazioni e relazioni con le altezze di falda misurate; iv) modellazione numerica del processo di infiltrazione e circolazione idrica.

## CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

L'attività di rilevamento è stata innanzitutto diretta a definire le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del versante, focalizzandosi sui caratteri geometrici dei muretti a secco, sull'uso del suolo, sullo spessore dei terreni di riporto e sulla geometria del substrato roccioso. Successivamente sono state svolte prove geotecniche ed idrogeologiche in sito e in laboratorio; si è poi proceduto all'installazione di sette piezometri, due dei quali strumentati con sonde per l'acquisizione in continuo, e due tensiometri per il monitoraggio idrogeologico. I rilievi svolti hanno evidenziato che la geometria dei muri è molto varia: l'altezza può variare tra 70 cm e 5 m ma i valori più ricorrenti sono compresi tra 1.40 m e 2.50 m; la lunghezza e larghezza del terrazzo dipendono invece dalle caratteristiche del versante, in particolare dalla sua pendenza puntuale. Sono state riconosciute otto diverse classi di uso del suolo, con netta predominanza di vigneti e vigneti abbandonati. Lo spessore del suolo è stato ricavato da interpolazione lineare di misure dirette effettuate in sito. Il rilievo geomorfologico, realizzato alla scala 1:5000, ha evidenziato la presenza di terrazzi morfologici, trincee e contro-scarpate che sottolineano una generale situazione di instabilità. Da un punto di vista litologico il substrato è formato da micascisti (Scisti di

Edolo) che spesso affiorano alla base dei muretti a secco e sono molto fratturati fino a mostrare fasce cataclastiche. I terreni di copertura hanno invece varie origini: glaciale, fluvio-glaciale, colluviale e sui terrazzi anche antropica. Il drenaggio delle acque superficiali è consentito attraverso una rete di canali artificiali (*valgelli*). Dopo gli eventi del 1983 lungo il versante sono state costruite strade cementate che hanno il doppio compito di facilitare l'accesso ai terrazzi e di funzionare come canali di gronda nel caso di eventi di precipitazione particolarmente intensi.

Sul terreno sono state svolte prove infiltrometriche con doppio anello, prove infiltrometriche in foro e prove con volumometro a sabbia, oltre al campionamento per le prove di laboratorio. I terreni di riempimento a tergo dei muri investigati hanno: peso di volume naturale ( $\gamma_0$ ) tra 13.5-15.8 kN/m<sup>3</sup>, peso di volume secco  $\gamma_d = 12.8 - 15.7$  kN/m<sup>3</sup>, porosità  $n = 40\% - 52\%$ , con una densità delle particelle solide  $G_s = 24.2 - 26.9$  kN/m<sup>3</sup> e un contenuto d'acqua in peso al momento del campionamento  $W_0 = 1.2\% - 14.4\%$ , corrispondente ad un grado di saturazione  $S_r = 10\% - 38\%$ . La conducibilità idraulica satura ( $k_s$ ) dalle prove in sito risulta compresa tra  $1.1 \cdot 10^{-4} - 5.4 \cdot 10^{-6}$  m/s mentre da quelle di laboratorio tra  $1.4 \cdot 10^{-5} - 2.1 \cdot 10^{-6}$  m/s, valori confrontabili considerando l'effetto scala. Secondo il *Unified Soil Classification System* (U.S.C.S), i terreni analizzati sono SM (*silty sand with gravel*) o GM (*silty gravel with sand*) con un coefficiente di uniformità CU tra 20 e 157 a significare terreni ben assortiti.

## ANALISI PRECIPITAZIONI – FALDE SOSPESE

Dall'agosto 2009, per un anno, si sono registrati attraverso i piezometri installati i livelli delle falde sospese formatesi sul versante a seguito delle precipitazioni. Le precipitazioni sono state registrate dalla stazione meteorologica di Teglio-Somasassa, posizionata poco a monte dell'area di studio. Tutte le precipitazioni di durata maggiore o uguale alle due ore sono state analizzate, considerando terminato un evento quando seguito da almeno 12 ore di assenza di pioggia, per un totale di 62 eventi.

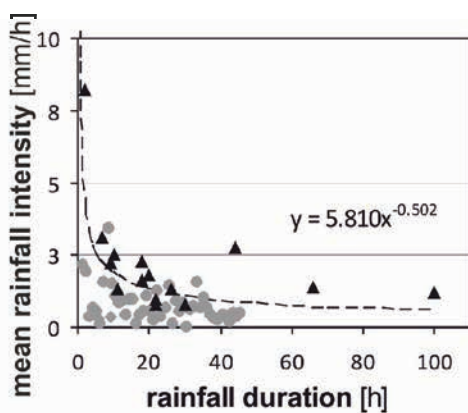


Figura 1 - Soglia intensità-durata per l'insorgenza di falde sospese su un versante terrazzato. I triangoli indicano gli eventi con formazione di falda, i cerchi quelli senza.

Gli eventi sono stati caratterizzati da durata, altezza totale di precipitazione e intensità media e a partire da questi dati, incrociati con quelli registrati dai piezometri, si è determinata una soglia empirica per l'occorrenza di falde sospese nel contesto analizzato (Figura 1).

Il principio su cui si basa la curva ottenuta è lo stesso utilizzato da vari autori per determinare soglie di innesco di fenomeni franosi (vedere Dahal & Hasegawa 2008, Guzzetti et al. 2008 per un'estesa bibliografia). Per la stessa stazione meteorologica, si sono avuti a disposizione anche tutti i dati orari per i due periodi 1980-2002 e 2007-2010. La lacuna temporale è causata dal passaggio dall'acquisizione attraverso pluviografo a quello con stazione automatica.

Va inoltre notato che il pluviografo nella stagione invernale veniva rimosso e per cui le analisi successivamente presentate sono basate su un periodo di tempo poco superiore ai sei mesi,

che va indicativamente dal 20 di marzo al 10 di ottobre di ciascun anno. Per ogni anno si sono calcolati dati quali: numero di precipitazioni, pioggia totale nell'anno, altezza di precipitazione media per ogni evento, ore totali di precipitazione, intensità totale media, intensità massima media, durata media e numero di precipitazioni con caratteristiche sopra la soglia determinata precedentemente (Figure 2 e 3).

Questi dati sono stati analizzati per individuare degli andamenti nel tempo delle citate caratteristiche, da cui è emerso che altezze di precipitazione totale annue e medie per evento nell'anno, numero di precipitazioni totali e numero di precipitazioni sopra soglia, nonché intensità sia medie che massime medie hanno trend confrontabili, con un leggero aumento tra l'inizio e la fine degli anni ottanta a cui è seguito un costante lieve decremento. Le durate mostrano un andamento analogo, ad eccezione del lieve incremento che sembra in atto nei tempi recenti. Tra tutti questi dati si è trovato significativo osservare

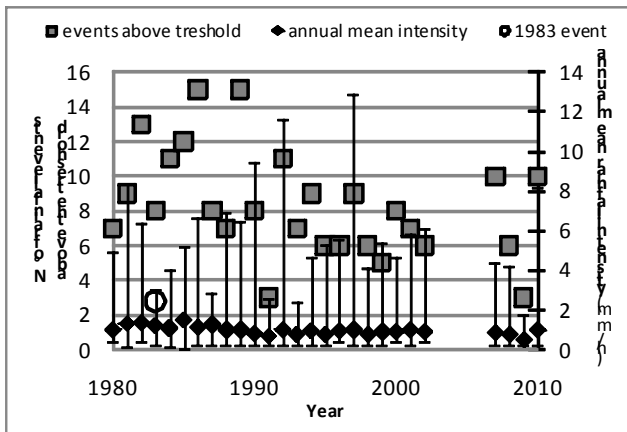


Figura 2 - Relazione tra intensità medie annuali e numero di precipitazioni sopra soglia. Le barre indicano il range di variazione delle intensità medie di evento nell'anno

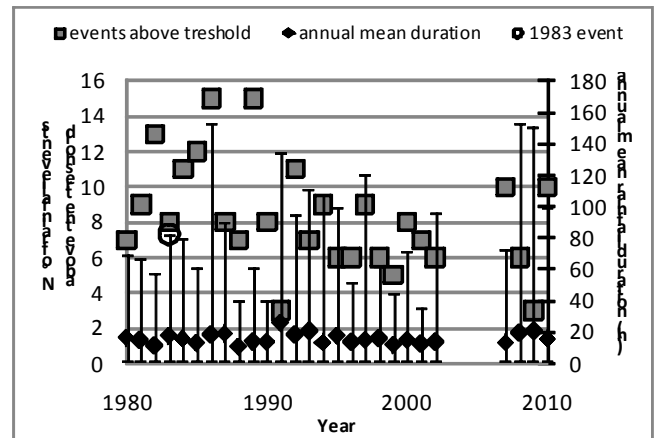


Figura 3 - Relazione tra durate medie annuali e numero di precipitazioni sopra soglia. Le barre indicano il range di variazione delle durate di evento nell'anno.

l'andamento del numero di precipitazioni sopra soglia rispetto ad intensità e durata media all'interno del loro range di variazione annuale. Dai grafici di Figure 2 e 3 si può notare come i parametri medi, seppur con oscillazioni limitate, riescano a riprodurre meglio dei massimi l'andamento del numero di precipitazioni sopra soglia, questo perché la formazione di una falda è resa possibile sia da eventi estremi di breve durata ma più facilmente anche da eventi di elevata intensità media e media durata, come si può notare dai punti sopra la curva in Figura 1. Le condizioni invece che sembrano doversi verificare per l'innescò di fenomeni franosi (Figure 2 e 3 – evento 1983) sono quelle di un'intensità elevata, comunque superiore alla media, per durate elevate-estreme, siamo intorno ai tre giorni e mezzo di precipitazione.

### MODELLAZIONE

Dalle prove in sito e in laboratorio sono state stimate le caratteristiche idrogeologiche da attribuire al modello. La conducibilità idraulica satura  $k_s$  è pari a  $1.10^{-5}$  m/s (terreno),  $5.10^{-4}$  m/s (muri) e  $1.10^{-8}$  m/s (substrato). La curva di ritenzione idrica del terreno è stata invece stimata con il metodo di Gupta & Larson (1979) dalle analisi granulometriche eseguite, mentre quelle di muro e substrato sono state considerate costanti. Le funzioni di conducibilità sono valutate con il metodo di Green & Corey (1971) Il modello è stato calibrato e validato sulla base delle misure effettuate in sito e di due eventi di precipitazione reali. Il modello validato ha poi analizzato gli effetti di piogge di durata fissa (72 ore) ed altezze totali calcolate per tempi di ritorno di 10, 50 e 100 anni. In

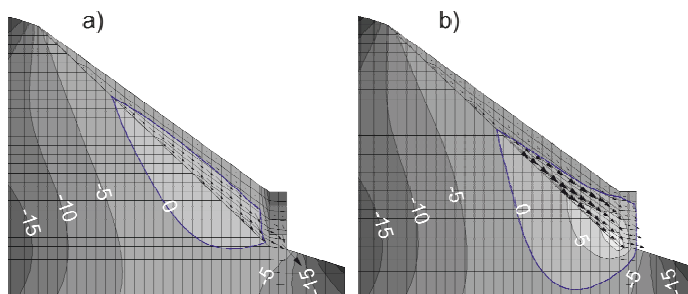


Figura 4 - Curve di ugual pressione dei pori (kPa) per una precipitazione di 72 ore con tempo di ritorno di 50 anni con muro ben mantenuto e drenante (a) e muro a drenaggio limitato (b).

confrontabile con quella dell'evento del 1983, e diversi valori della conducibilità idraulica del muro a secco.

Nella Figura 4a  $k_s$  del muro è pari al valore di calibrazione ( $5.10^{-4}$  m/s), mentre nella Figura 4b è stata diminuita a  $1.10^{-6}$  m/s per simulare la condizione di un muretto non ben mantenuto con difficoltà di drenaggio. Si evince che eventi come quello del 1983 possono innescarsi non solo a causa di determinati livelli di precipitazione ma anche per cause legate al mantenimento dei muri.

## CONCLUSIONI

L'analisi delle precipitazioni degli ultimi 30 anni ha reso possibile l'individuazione di andamenti temporali di alcune caratteristiche pluviometriche medie che possono essere correlate al numero di fenomeni di insorgenza di falde sospese sul territorio in esame, rilevando una seppur debole tendenza alla riduzione del numero di eventi pluviometrici potenzialmente in grado di generare falde sospese. Va comunque considerato che l'innesco di fenomeni di instabilità non è necessariamente direttamente proporzionale al numero di insorgenze, che è comunque un indicatore dalla maggior probabilità di accadimento. Dalla modellazione dei processi di infiltrazione e circolazione idrica in questo contesto è inoltre emerso che i livelli di falda che si possono raggiungere non sono solo funzione dell'intensità e della durata della precipitazione, ma anche delle caratteristiche di drenaggio dei muretti a secco in relazione al loro stato di conservazione e manutenzione.

Quella che interviene è quindi una concomitanza di fattori che dipende anche da variabili di difficile determinazione. In quest'ottica il monitoraggio continuo dei processi, associato alla modellazione numerica, fornisce un utile supporto alla comprensione qualitative e quantitativa dei fenomeni di instabilità in esame.

## BIBLIOGRAFIA

- Azzola, M., Tuia, T., (1983). *Osservazione sui fenomeni franosi che hanno interessato i vigneti terrazzati a monte di Tresenda nel maggio 1983*. Geologia Tecnica, 4, 23-35.
- Cancelli, A., Nova, R., (1985). *Landslides in soil debris cover triggered by raistorms in Valtellina (Central Alps – Italy)*. Proceedings of the IV international conference and field workshop on landslides, Tokio, agosto 1985, 267–272.
- Crosta, G.B., Dal Negro, P., Frattini, P., (2003). *Soil slips and debris flows on terraced slopes*. Nat Hazards Earth Syst Sci, 3, 31-43.
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., (2008). *Rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya*. Geomorphology, 100(3-4), 429-443.
- Green, R.E., Corey, J.C., (1971). *Calculation of hydraulic conductivity: a further evolution of some predictive methods*. Soil Science Society of America Proceeding, 35, 3-8.
- Gupta, S.C., Larson, W.E., (1979). *Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density*. Water Res Res, 15, 1633-1635
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., Stark, C.P., (2008). *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update*. Landslides, 5(1), 3–17.
- Huat, B.B.K., Ali, F.H., Low, T.H., (2006). *Water infiltration characteristics of unsaturated soil slope and its effect on suction and stability*. Geotech Geol Eng, 24, 1293-1306.



# **THE EV-K2-CNR SHARE PROJECT PAPRIKA-KARAKORUM: CRYOSPHERIC RESPONSES TO ANTHROPOGENIC PRESSURES IN THE HINDU KUSH-KARAKORAM-HIMALAYA REGIONS: IMPACTS ON WATER RESOURCES AND AVAILABILITY**

PROVENZALE ANTONELLO  
ISAC- CNR, Torino, Italia and the PAPRIKA-Karakorum Team <sup>1</sup>

## **SUMMARY**

The Italian Ev-K2-CNR SHARE project PAPRIKA-Karakorum is devoted to determining the effects of atmospheric aerosols, particularly Black Carbon (BC) and mineral dust, on glacier dynamics, on the hydrologic cycle and on water availability in the Karakorum area in Pakistan, using both in-situ and remotely-sensed data and an integrated modelling approach. The main focus of PAPRIKA-Karakorum, in terms of both data collection and modelling, will be on the area of Baltoro glacier and the upper Indus basin, and cooperation with research institutions in Pakistan is envisaged. Paprika-Karakorum is conducted in close collaboration with the twin French project Paprika-Himalaya, devoted to the Khumbu region and to other areas in Nepal. A report on the activities conducted in the framework of the SHARE project in the Karakorum area is available from Ev-K2-CNR (Bonasoni et al. 2010).

**Keywords:** Climate change, Cryospheric processes, Hydrologic cycle, Water availability

## **DESCRIPTION, GOALS AND WORK PLAN**

The mountain region of the Hindu Kush, Karakoram and Himalaya (HKKH) contains a large amount of glacier ice and it is considered to be the "third polar ice cap" of our planet. Glaciers in this area play the role of "water towers" in the hydrologic balance of the region, and provide significant amounts of melt water, especially in the dry season, for agriculture, drinking purposes and power production.

The Karakoram is a large mountain range spanning the borders between Pakistan, India and China. This range is about 500 km in length, and is the most heavily glaciated part of the world outside the polar regions. Due to its altitude and ruggedness, the Karakoram is much less inhabited than parts of the Himalayas further east. On the other hand, this area is placed at the western boundary of the most densely populated areas of India and China, and it is bound to be a receptor of the pollution generated by the increased industrial activities and vehicular traffic in those regions, which lead to a massive growth of anthropogenic pollutant emissions (UNEP 2008).

In the last years, most glaciers in the HKKH region have been retreating and/or losing mass, owing to a blend of negative effects that include a significant regional warming trend and the effect of the large load of atmospheric aerosols. In South Asia, one of the most impressive effects of natural and anthropic emissions – including the heavy biomass burning and fossil fuels emissions - is the brownish haze that

---

<sup>1</sup> The PAPRIKA-Karakorum Project, coordinated by A. Provenzale, involves several researchers from various institutions, including the Institute of Atmospheric Sciences and Climate of CNR (A. Provenzale, P. Bonasoni, P. Cristofanelli, S. Decesari, C. Facchini, F. Fierli, S. Fuzzi, J. von Hardenberg, A. Marinoni), the Department of Earth Sciences, University of Milano, Italy (C. Smiraglia, C. D'Agata, G. Diolaiuti, C. Mihalcea), the Bavarian Academy of Sciences and Humanities, Munich, Germany (C. Mayer, A. Lambrecht), the National Institute of Geophysics and Volcanology, Rome, Italy (A. Zirizzotti, I. Tabacco, S. Urbini), the Dept. of Environmental, Hydraulic, Infrastructures and Surveying Engineering, Polytechnic School of Milan, Italy (R. Rosso, A. Bianchi, D. Bocchiola, B. Groppelli, M.C. Rulli), the Institute for the Study of Ecosystems of CNR (A. Lami, A. Marchetto), the CMCC, Euro-Mediterranean Center for Climate Change, Italy (A. Navarra, C. Cagnazzo, S. Gualdi), The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy (F. Giorgi, F. Solmon), the Technical University Delft, The Netherlands (M. Menenti and coworkers), the Ev-K2-CNR Committee, Bergamo, Italy (E. Vuillermoz, C. Belotti, G. Lentini, F. Steffanoni), the Ev-K2-CNR SEED project (F. Mari and coworkers).

cover and envelope this region giving rise to the Atmospheric Brown Cloud (Ramanathan et al. 2001, ACPD 2009). Through so-called “direct-effect”, aerosols scatter and/or absorb the solar radiation, thus cooling the Earth’s surface and changing the radiative balance in the atmosphere. Aerosols also affect the water cycle through so-called “indirect-effects”, whereby increasing the number of cloud condensation nuclei, thus inhibiting the growth of cloud drops to raindrops and increasing the lifetime of clouds. This leads to more persistent and less precipitating clouds, increase reflection of solar radiation and further cool the Earth’s surface. When deposited on a glacier surface, the dark aerosols lower glacier albedo and favor ice melt. Both effects potentially lead to negative glacier mass balance, associated with lowered winter precipitation and more intense summer melt.

The southern slopes of the Karakoram are directly exposed to South Asia aerosol emissions. In addition, this mountain ridge is surrounded by desert areas (eg. Thar, Kara-Kum, Kyrgyl-Kum, Takla Makan regions) and the influence of polluted aerosols on size distribution, concentration and chemical composition of particulate matter is very likely augmented by the presence of mineral dust. Aerosols generally scatter solar radiation, but black carbon (BC) and, to a lesser extent, mineral dust absorb solar radiation. Large amounts of these aerosols characterize the Atmospheric Brown Cloud (ABC) and have been revealed at high altitude in the eastern Himalaya (Nepal Climate Observatory - Pyramid ABC site, Nepal) (Bonasoni et al., 2008; ACPD Special Issue, 2009). Studies on the Atmospheric Brown Cloud have shown that this haze blocks up to 15 % of solar radiation, causing cooling of the surface and heating of the atmosphere, which can affect monsoons and other rainfall patterns (Ramanathan et al. 2005). This kind of brown haze has assumed continental scale proportion; moreover in tropical area, the presence of a dry season can increase aerosol and cloud lifetime and thus enhance both direct and indirect effects (Lau et al. 2006). Preliminary studies at Bishkek and Lidar sites (Kyrgyzstan background), the only in-situ information available in Central Asia, reveal a very large amount of mineral dust and organic aerosol. BC and mineral dust depositions onto snow-surfaces and glaciers may reduce the surface albedo, favouring increased heating of snow and ice surfaces, thus accelerating melting, shortening snow duration, altering mass balance and causing retreat of mountain glaciers, potentially changing the amount of available water resources in the region and thus posing a threat to the region’s water security and agricultural productivity.

Economic and population growth, on the other hand, mean an ever-greater demand on these shrinking water resources. Many countries in the HKKH region already face major threats to their water security and thus to their ability to provide people with safe drinking water and food, to produce energy and sustain economic growth and to enhance environmental quality. In addition, climate change greatly amplifies the water insecurity of many countries. Climate-induced modifications are already affecting the water balance of this region, and could become even more severe in coming years, both in terms of water quantity and quality.

The Ev-K2-CNR SHARE project PAPRIKA-Karakorum, conducted in close collaboration with the twin French project PAPRIKA-Himalaya and in contact with the Pakistan Meteorological Department (PMD), will be devoted to determining the effects of atmospheric aerosols, particularly Black Carbon (BC) and mineral dust, on glacier dynamics, on the hydrologic cycle and on water availability, using both in-situ and remotely-sensed data and an integrated modelling approach. The main focus of PAPRIKA-Karakorum, in terms of both data collection and modelling, will be on the area of Baltoro glacier and the upper Indus basin in Pakistan, and cooperation with others research institutions in Pakistan will be encouraged.

From a scientific viewpoint, PAPRIKA-Italy includes open and challenging issues, such as:

- (1) assess the effect of aerosols on the atmospheric circulation in high-altitude mountain areas and on the thermodynamical processes associated with seasonal snow melt, glacier mass/energy balance and ice ablation;
- (2) study the interaction between the western weather systems, particularly important for the Karakoram, and the snow and ice distribution;
- (2) understand and model the dynamics of partially debris-covered glaciers (such as Baltoro) and quantify how debris-covered glaciers respond to climate change;

- (3) develop downscaling procedures for stochastic sub-grid parameterizations in regional climate models, allowing for consistent communication between atmospheric processes (resolved at scale of some tens of km) and land surface processes (at scale of a few km);
- (4) investigate upscaling parameterizations to obtain an average representation, at regional scale, of cryospheric and hydrologic processes that are measured and quantitatively modelled at the scale of individual glaciers and sub-basins;
- (5) build and validate an integrated modelling system that uses the boundary conditions provided by a global climate model with aerosol transport and chemistry, includes a regional climate model with snow/glacier/land-surface interactions, and provides the input to hydrological models able to estimate water availability in different scenarios of climate change and aerosol emissions.

An important point is that systematic observations of atmospheric compounds are not available in the Karakoram ridge, especially at high altitude. The foreseen construction of the new Pakistan Climate Observatory – Karakorum (PCO-K) in the framework of the ABC-UNEP project, able to monitor atmospheric composition changes, represents a crucial and necessary step to understand background atmospheric conditions in the Karakoram and to quantify pollution and mineral transport at high altitudes, were they play a key role in delicate climate process. PCO-K would provide extremely relevant information for a better understanding of the complex interactions between high mountain ranges and climate processes, as well as to produce input data for atmospheric chemistry and climate modelling.

From the point of view of climate services, the ultimate goals of PAPRIKA-Karakorum are:

- Obtain a quantitative assessment of the current state of the atmospheric properties and circulation; aerosol load, deposition and chemical properties; glacier status, mass/energy balance and flow estimates; and hydrologic characteristics, including water quantity and quality, in the two study areas. The observational part of PAPRIKA-Karakorum will have a specific focus on the region of Baltoro glacier and the upper Indus basin.
- Provide an ensemble of integrated modelling tools, based and validated on field and remotely sensed data (satellites and airborne radars), to obtain quantitative estimates of water availability and climate change impacts on agriculture, environment and ecosystems in the coming decades (2010-2050).
- Develop strategies for capacity building, dissemination and information transfer to policy makers.

## REFERENCES

- ACPD Special Issue, (2009) *Atmospheric brown cloud in the Himalayas*; Eds. G. McFiggans and J. J. Schauer [http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/special\\_issues.html](http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/special_issues.html)
- Bonasoni, P., Angelini, P., Laj F., Arduini, J., Bonafè, U., Calzolari, F., Cristofanella, P., Decesari, S., Facchini, M.C., Fuzzi, S., Gobbi, G.P., Maione, M., Marinoni, A., Petzold, A., Roccatò, F., Roger, J.C., Sellegri, K., Sprenger, M., Venzac, H., Verza, G.P., Villani P., Vuilleumoz, E., (2008). *The ABC-Pyramid Atmospheric Research Observatory in Himalaya for aerosol, ozone and halocarbon measurements*; *Sci. Total Env.* 391, 252-261.
- Bonasoni, P., Vuilleumoz, E., Tartari, G., Salerno, F., et al. (2010). *Scientific research activities of Ev-K2-CNR in the Karakorum region in Pakistan*; Ev-K2-CNR Committee, ISBN 9788890539800.
- Lau, K.M., Kim, M.K., Kim, K.M., (2006). *Asian monsoon anomalies induced by aerosol direct forcing*; *Climate Dynamics*, 26, 855-864.
- Ramanathan, V, et al., (2001). *Indian Ocean Experiment: An integrated analysis of the climate forcing and effects of the great Indo-Asian haze*; *J. Geophys. Res.* 106, 28371-28398.
- Ramanathan, V., Chung, C., Kim, D., Bettge, T., Buja L., Kiehl, J.T., Washington W.M., Fu, Q., Sikka, D.R., Wild, M.V (2005). *Atmospheric brown clouds: Impacts on South Asian climate and hydrological cycle*; *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102, 5326-5333.
- UNEP, 2008: *Atmospheric Brown Clouds, Regional Assessment report with focus on Asia*.



# AN OBJECTIVE APPROACH TO LAND VULNERABILITY ASSESSMENT

PERINI LUIGI<sup>1</sup>, BAJOCO SOFIA<sup>1</sup>, CECCARELLI TOMASO<sup>1</sup>, ZITTI MARCO<sup>1</sup>, SALVATI LUCA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CRA-CMA, Roma, Italy, luigi.perini@entecra.it

<sup>2</sup> CRA-RPS, Roma, Italy

## ABSTRACT

Land degradation (LD) represents a threat for environment and human survival, triggered by initial conditions of environmental fragility and due to both natural and anthropogenic factors. Under evolving socio-environmental scenarios, this work proposes a LD evaluation approach to quantify the role of the main LD processes in Italy: climate quality, soil erosion, salinisation, sealing, contamination and compaction. Through statistical methods and GIS tools, we derived six thematic indicators of vulnerability to each LD process, implemented a synthetic land vulnerability index (LVI) and analyzed the LD risk in Italy. Advantages of this approach compared to other methodologies were finally discussed.

**Key words:** Italy, land degradation processes, principal component analysis

## INTRODUCTION

Land Degradation (LD) is a process known to be active in arid, semi-arid and dry sub-humid areas. It is the result of various factors, including climatic variations and human activities, and progressively reduces soil fertility. The complexity of the environmental processes involved in LD is particularly evident in the Mediterranean countries due to the long-term interaction between bio-physical and socio-economic phenomena (Puigdefabregas & Mendizabal 1998). When dealing with a degrading landscape, monitoring strategies should be the major research component and the underlying measurement concepts should encompass the multi-disciplinary perspectives of the problem (Gisladottir & Stocking 2005). Accordingly, a number of recent studies has been carried out and different methodologies have been proposed for assessing LD making use of visual observation, field measurements, social enquiries, statistical indicators, remote sensing, and mathematical models (Basso et al. 2000, Salvati & Zitti 2009). Among the procedures aimed at quantifying LD vulnerability, the standard Environmentally Sensitive Area (ESA) framework is the most frequently applied in the Mediterranean basin due to its simplicity in model building and its flexibility in the use of several variables (Brandt 2005). In this model, different factors (climate, soil, and vegetation) produce a synthetic index of land sensitivity, the so called ESAI (Lavado-Contador et al. 2009). Additional factors have been proposed in further studies to take into account the impact of the human pressure (Rubio & Bochet 1998, Basso et al. 2000). Other ESAI-like indexes of LD risk were proposed (e.g. Salvati & Zitti 2009, Santini et al. 2010); however, the majority of these studies generates indicators suitable for early-warning purposes rather than concentrating on the processes behind LD. The objective of this paper is thus to illustrate a process-based assessment of vulnerability to LD in Italy and to discuss the use of the proposed methodology as a potentially independent procedure, that can be considered ancillary to the ESA approach and designed for regional LD analysis and policy implementation at large scale.

## DATA

Vulnerability to soil sealing was estimated by using five variables: population density (POP) and growth (GRW), the proportion of built-up areas (URB), the concentration of population in compact urban centres (SET), and (v) tourism density (TOU).

Four variables were used to estimate vulnerability to soil salinisation: the surface areas exposed to primary salinisation (SAL), the percent surface area of farms practicing groundwater irrigation (GRO) and equipped with obsolete irrigation systems (IRR) on the total agricultural surface area. The Shannon

index applied to irrigated farm data was used to estimate the diversification of the irrigation sources used by the Italian farms (DIV).

Vulnerability to soil erosion was quantified by means of twelve variables related to: soil properties, natural vegetation and crop cover, anthropogenic pressures, and soil protection measures. Soil properties include depth (DEP), texture (TEX), parental material (PAR), and the potential (maximum) water capacity of the agricultural soils (AWC). Variables referring to the land cover include a drought resistance indicator (DRE), the rate of vegetation cover (VEG), and two additional indicators quantifying fire risk (FRE) and the vegetation protection against soil erosion (EPR). An indicator of potential erosion risk estimating the annual soil loss (ERO) by using the USLE methodology was further computed. Finally, variables quantifying forest fires as the percentage of burnt surface area on the total forested surface area (BUR), overgrazing (GRA) as the ratio of an indicator of livestock pressure to the available grassland surface area, and the percentage of surface areas under environmental protection (PRO) were calculated.

Vulnerability to soil contamination from diffused sources (CON) was estimated by considering three components: resident population, agriculture (including livestock), and the industrial activities. All these activities were classified by scores according to their potential impact on soil quality. The sum of the scores divided by the municipality surface area quantifies a 'contamination footprint' for each municipality.

The five variables indicating vulnerability to soil compaction in agricultural lands corresponds to the percentage of crop intensity (INT), land rented for cultivation (AFF), farmer ageing (AGE), land abandonment (LOS) on the municipality area, and an index of farm mechanization (COM).

For quantifying climate impact, long-term (1971-2000) average variables of precipitation, temperature, soil water balance, climate aridity, and drought severity were used. The precipitation was described by: the mean annual long-term precipitation (PRE), the average ratio of spring and summer precipitations (cumulated from April to September) to autumn and winter precipitations (cumulated from October to March) as a proxy of rainfall seasonality (PST), and the average ratio of annual precipitations to the number of rainy days as a proxy of rainfall concentration (PCO). Finally, the coefficient of variation (CV) of the annual precipitation was computed to quantify the precipitation variability in terms of departures from the normal regime during the investigated period (PVA). To quantify climate aridity we used the standard aridity index (ARI) *sensu* UNEP (i.e. the ratio of mean annual precipitation to mean annual  $ET_0$ ), and the long-term average annual soil moisture (MOI). Long sequences of days without precipitation were considered as a proxy for drought severity. Days with less than 1 mm precipitation were defined as 'dry' and a continuous period of at least 10 dry days was defined as a 'dry period'. The average annual number of dry days belonging to dry periods was computed accordingly (SPE). Moreover, the Standardized Precipitation Index (SPI) was introduced to quantify the abundance or deficit of rainfall. We thus calculated the mean annual frequency of SPI scores less than -0,99, which is the threshold indicating drought conditions. The average annual frequency of days with temperatures higher than 35°C (TEM) was calculated as a proxy for hot wave persistency. Finally, angle (ANG) was computed as a proxy for conditions affecting the soil microclimate.

If not differently stated, all variables refer to 2000-2001. Variables were obtained from different statistical sources (e.g. National Census of Agriculture, Population and Buildings, Industry and Services), land cover maps provided by the CORINE project, and additional sources.

## **METHODS**

All variables were converted to a regular spatial grid covering the entire Italy. The grid size was chosen accordingly to variables resolution. A 15 km random grid composed of 1,346 nodes was created and the value of each variable was estimated at each grid node. Next, each variable was normalized, ranging from 0 (lowest contribution to LD vulnerability) to 1 (highest contribution to LD vulnerability). A Principal Component Analysis (PCA) was then applied to the matrix composed of all the normalized variables describing each degradation process. The number of significant axes ( $m$ ) was chosen according to the

components with absolute eigenvalues higher than 1. The structure of the data matrix was analyzed by computing loadings, i.e. the correlation among the normalized variables and the selected PCA components. Following Salvati & Zitti (2009), a weight was attributed to each variable by multiplying its contribution ( $V_i$ ) to the  $m$  PCA axes by their proportion of explained variance ( $C_k$ ). The sum of these products for all the  $m$  axes corresponds to the weight ( $W_i$ ) assigned to each variable. Weights were expressed as a value ranging between 0 and 1. Each of the six thematic indicators ( $I_t$ ) was then obtained as the weighted average of the respective variables. The same procedure (PCA and weighting assignment) was repeated in order to derive the LVI starting from the matrix composed of the six thematic indicators. The LVI was thus obtained as the weighted average of the six thematic indicators. LVI scores range between 0 and 1, respectively the lowest and the highest level of land vulnerability to degradation.

## RESULTS

The average values of the six thematic indicators in Italy are illustrated in Figure 1. Climate quality, soil erosion, and soil compaction/agricultural intensification were found as the processes with a potentially higher role in determining vulnerability to LD. However, they showed different spatial patterns.

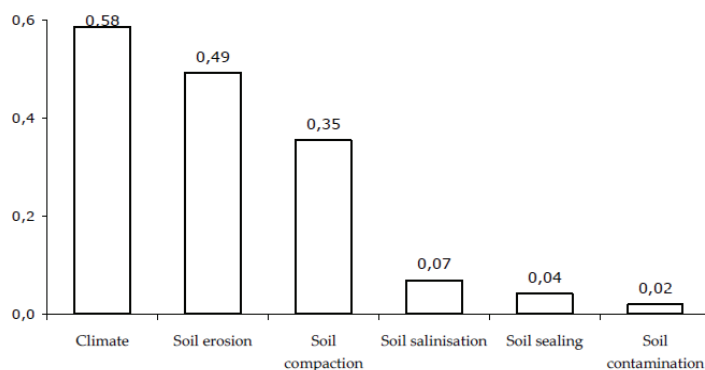


Figure 1 - Average score of the six thematic indicators in Italy.

The land vulnerability to soil sealing was found relatively low throughout Italy. This process concentrated around cities, as well as in lowland and coastal areas. The variables contributing the most to this indicator are POP and URB. LD vulnerability to soil salinisation showed the opposite spatial pattern, increasing from northern to southern Italy, with the highest contribution provided by DIV and GRO. The vulnerability scores attributed to the soil erosion process were found relatively high in the entire Italy, with the highest contributions provided by DRE, VEG, EPR, and DEP. The land vulnerability to soil contamination showed generally low scores with a clustered distribution associated to urban and industrial areas. Finally, land vulnerability to soil compaction followed a latitude gradient from north to south, with the highest contributions provided by INT and COM. The same pattern was found for climate quality. The variables contributing the most to this indicator are MOI, ARI and PRE. The most vulnerable area corresponded to insular Italy, followed by southern Italy (Figure 2). On average, northern and central Italy were found less vulnerable to LD. However, the LVI was found locally high also in northern Italy, especially in the region along the Po plain close to the Adriatic sea.

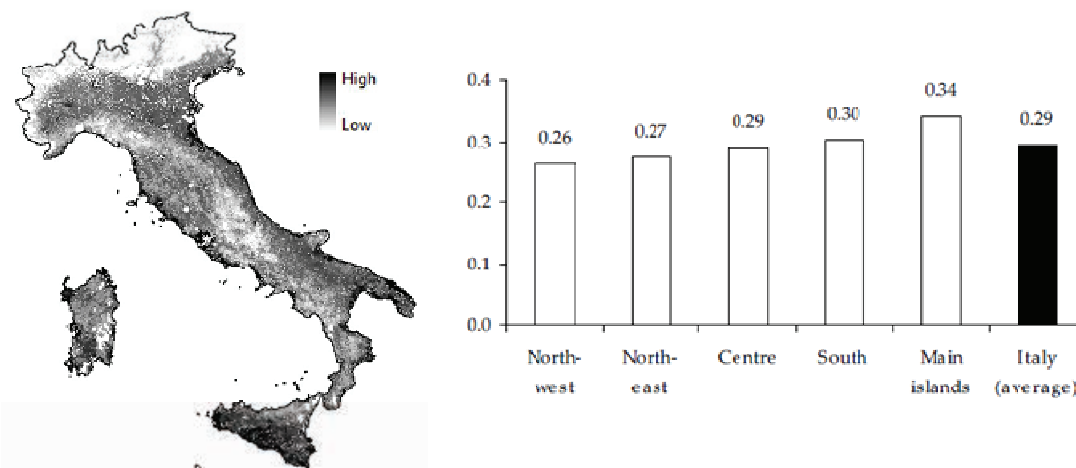


Figure 2 – Map (left) and average score (right) of LVI distribution in Italy.

## CONCLUSIONS

Knowing the basic processes determining the level of LD vulnerability of a certain area and assessing their interactions are crucial when effective policies against desertification are to be undertaken (Gisladottir & Stocking 2005). In this perspective, this study has combined several indicators derived from both bio-physical and socio-economic data into a process-based evaluation of the LD vulnerability. The procedure presented is not alternative to the standard ESAI approach, but it could provide ancillary information to be used side by side with standard indexes with the aim of precisely estimate the role of several different degradation processes influencing the vulnerability of a certain area. The flexibility of the methodology makes the procedure potentially suitable also to environmental conditions other than the Mediterranean region, for which it was originally implemented.

## REFERENCES

- Basso, F., Bove, E., Dumontet, S., Ferrara, A., Pisante, M., Quaranta, G., Taberner, M., (2000). *Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agribasin - Southern Italy*. Catena, 40, 19-35.
- Brandt, J., (2005). *Desertification information system to support National Action Programmes in the Mediterranean (DISMED)*. DIS4ME, Desertification Indicator System for Mediterranean Europe (www.unibas.it/desertnet/dis4me/using\_dis4me/dismed.htm and http://dataservice.eea.europa.eu/data service/metadetails.asp?id=635).
- Gisladottir, G., Stocking, M., (2005). *Land degradation control and its global environmental benefits*. Land Degrad. Develop., 16, 99–112.
- Lavado Contador, J.F., Schnabel, S., Gomez Gutierrez, A., Pulido Fernandez, M., (2009). *Mapping sensitivity to land degradation in Extremadura, SW Spain*. Land Degrad. Develop., 20, 129 - 144.
- Puigdefabregas, J., Mendizabal, T., (1998). *Perspectives on desertification: western Mediterranean*. J.Arid Environ., 39, 209–224.
- Rubio, J.L., Bochet, E., (1998). *Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe*. J. Arid Environ., 39, 113-120.
- Santini, M., Caccamo, G., Laurenti, A., Noce, S., Valentini, R., (2010). *A multi-model GIS framework for desertification risk assessment*. Appl. Geogr., 30, 394-415.
- Salvati, L., Zitti, M., (2009). *Assessing the impact of ecological and economic factors on land degradation vulnerability through multiway analysis*. Ecol. Indic., 9, 357-363.



## **SISTEMI TECNOLOGICI AVANZATI PER IL CONTROLLO E LA MITIGAZIONE DEI RISCHI AMBIENTALI**

LAZZARI SILVESTRO

CEDAT EUROPA – Centro Dati e Servizi per l’Ambiente e il Territorio, Via Ancona 37/G, 85100 Potenza, Italia, cedateuropa@virgilio.it

### **RIASSUNTO**

La nota illustra un prodotto di tecnologia avanzata nel campo del telerilevamento, messo a punto da Cedat Europa ®, un’azienda specializzata nel settore del monitoraggio ambientale e della difesa dalle catastrofi naturali.

Si tratta di un sistema (SIMONA) basato su piattaforme terrestri e spaziali munite di sensori ed integrate da tecnologie ICT, che trovano nei web-sensors e nei web-services uno strumento di acquisizione ed elaborazione dei dati, con possibili applicazioni real time.

Il sistema presenta molteplici applicazioni nel campo del monitoraggio ambientale in remoto e con esso si possono realizzare analisi sia delle componenti ambientali, sia di configurazioni di emergenza, anche idrogeologica, durante l’intero decorso, fornendo una vera e propria attività di sorveglianza del territorio, in relazione anche ai rischi connessi ai cambiamenti climatici in atto.

**Parole chiave:** monitoraggio, protezione civile, telerilevamento

### **PREMESSA**

Il telerilevamento è una tecnica che, da qualche decennio, è in continuo sviluppo e viene sempre più impiegata per rilevare a distanza oggetti, superfici ed ambienti (remote sensing), mediante sensori e reti di misura spesso posti a grande distanza dal fruitore finale (Galati G. & Gilardini A. 2000).

Inoltre va sempre più affermandosi l’integrazione tra le tecnologie del telerilevamento a distanza e quelle dell’ICT, rendendo possibili importanti applicazioni real time. In altre parole le informazioni fornite da piattaforme tecnologiche multifunzione e multiparametriche, consentono di sviluppare sistemi intelligenti che possono intervenire da remoto ed in tempo reale e, tramite la rete web, far pervenire le informazioni ovunque nel mondo.

Una caratteristica molto importante di questa tecnologia è quella di poter osservare aree molto estese e fenomeni in atto o in evoluzione, avvalendosi della mobilità e della modularità delle piattaforme che accolgono i sensori. Si hanno così svariati campi di applicazione, con acquisizione di molteplici informazioni a costi contenuti.

Peraltro i numerosi rischi e le emergenze che colpiscono il territorio, anche a causa delle modificazioni climatiche, richiedono interventi di protezione civile ed ambientale rapidi, efficaci ed a basso costo.

Risulta inoltre conveniente realizzare interventi di monitoraggio in tempo reale, per prevenire o tenere sotto controllo fenomeni ed eventi ad elevato impatto, come ad esempio quelli causati dal dissesto idrogeologico, in modo da intervenire con i mezzi e nei tempi più idonei (Anselmo 1993).

La Società Cedat Europa®, sulla base delle esperienze maturate in interventi e calamità che hanno richiesto l’apporto di tecnologie avanzate e di protezione civile, ha sviluppato la piattaforma tecnologica SIMONA (Sistema di Monitoraggio Ambientale), che consente di monitorare il territorio e l’ambiente real time, utilizzando sistemi integrati di comunicazione.

### **IL SISTEMA SIMONA**

Il funzionamento di SIMONA è basato soprattutto su strumenti digitali, su software ed hardware, sulla rete internet e su mezzi spaziali mobili (Fahlstrom P. G., Gleason T. J. 1998).

È quindi un sistema composto di norma da tre piattaforme autonome e nello stesso tempo interoperabili: una mobile aerea, supportata da immagini satellitari, una mobile a terra ed una fissa.

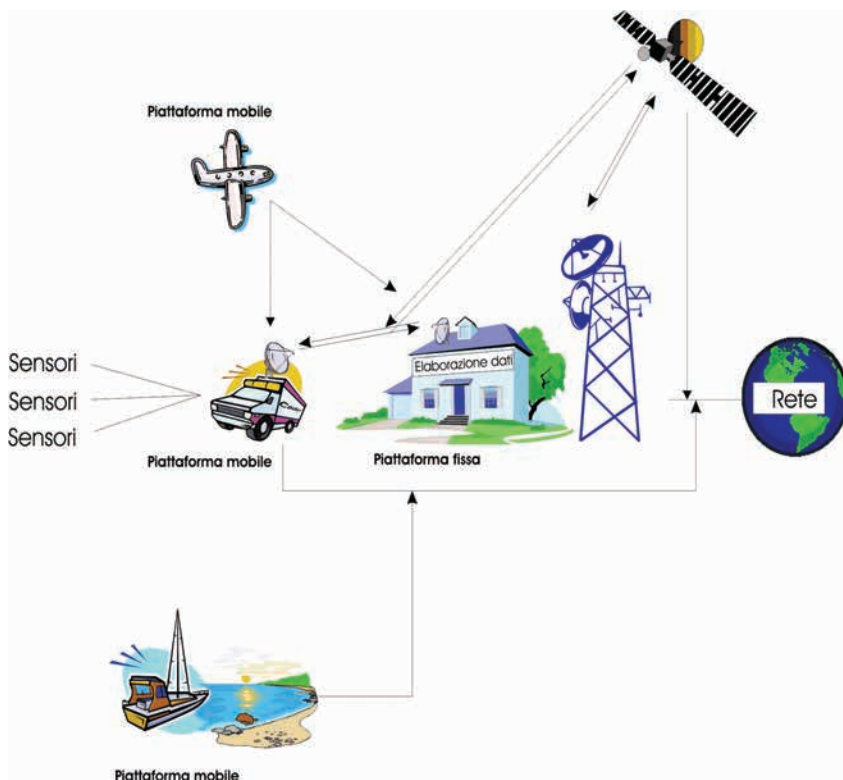


Figura 1 – Principali componenti dell'architettura del sistema SIMONA. Le componenti possono variare in relazione alla tipologia di eventi e fenomeni e possono anche essere autonome

Esso consente di implementare vari sensori e varie piattaforme di acquisizione dei dati, attraverso sia la rete web, sia le reti GSM-GPRS e satellitari. Una volta che le informazioni sono confluite nelle banche dati, possono essere sviluppate in forma numerica, descrittiva e cartografica. Nella figura 1 è schematizzata l'impalcatura di SIMONA con tutte le possibili componenti terrestri e spaziali, che consentono sia l'acquisizione di dati ed immagini, quanto la loro elaborazione. I sensori utilizzati non sono fissi ma variano in funzione dei parametri da acquisire, siano essi di carattere geotecnico, idraulico, idrogeologico e chimico-fisico (Grecchi e Muggiati 2006).

SIMONA consente non solo di acquisire, analizzare e divulgare dati ed informazioni provenienti da stazioni remote e di elaborare schede tecniche e cartografie tematiche,

quanto di sviluppare immagini e di gestire allarmi e pronti interventi causati da calamità ed eventi ad elevato rischio ed impatto per la comunità.

Con SIMONA si possono effettuare anche operazioni di telecontrollo h/24, che possono essere gestite da un solo operatore tramite videoterminale.

I campi di applicazione sono molteplici e diversificati ed attengono anche agli effetti connessi agli eventi ed ai fenomeni prodotti dai mutamenti climatici sia globali, ma soprattutto locali. In particolare con il sistema si possono acquisire parametri ed informazioni inerenti le variazioni di temperatura e di frequenza di fenomeni meteorologici intensi e si possono sviluppare modelli di fenomenologie franose a sviluppo ed impatto rapido, quali le colate. Si possono altresì mappare siti vulnerabili e scenari di impatto su versanti ed aree costiere a rischio (Zavatti 1994). SIMONA si rivela uno strumento molto utile nello studio dei rischi di aree urbanizzate, sia a livello statico, sia a livello di inquinamento ambientale come ad esempio il prelievo di campioni e l'analisi di inquinanti aerei che influiscono sull'effetto serra.

Questo strumento consente infine di analizzare e monitorare fenomeni complessi quali frane ed alluvioni, che rappresentano gli effetti più devastanti dei mutamenti climatici globali. La Fig. 2 illustra un esempio di analisi, monitoraggio ed intervento di somma urgenza in un'area ad alto rischio di frana, effettuato mediante il sistema SIMONA. In questo caso sono state utilizzate piattaforme fisse e mobili per tenere sotto controllo fenomeni di caduta massi e per inviare ad una stazione fissa dati e cartografie, confluiti in un progetto, che ha consentito di realizzare sia le opere di consolidamento del versante, sia il monitoraggio degli elementi rocciosi più instabili. Le varie fasi sono illustrate dallo schema che segue.

Il sistema di monitoraggio ambientale si può utilizzare a costi piuttosto contenuti e con un minimo di formazione preliminare degli addetti, consentendo di acquisire informazioni, immagini e parametri ambientali in tempo reale e comunque in tempi piuttosto brevi, con un basso impiego di personale. Con questo strumento è possibile intervenire con rapidità, anche in situazioni complesse e difficilmente gestibili e si può altresì tenere sotto costante controllo visivo e strumentale eventi in evoluzione e strutture ove vi sia pericolo di collasso, tutelando non solo i beni, quanto la vita umana. Peraltro la visualizzazione dall'alto, anche tramite immagini satellitari, permette di monitorare vaste superfici, controllandone nel tempo l'evoluzione ed i rischi ed aggiornando periodicamente le informazioni.

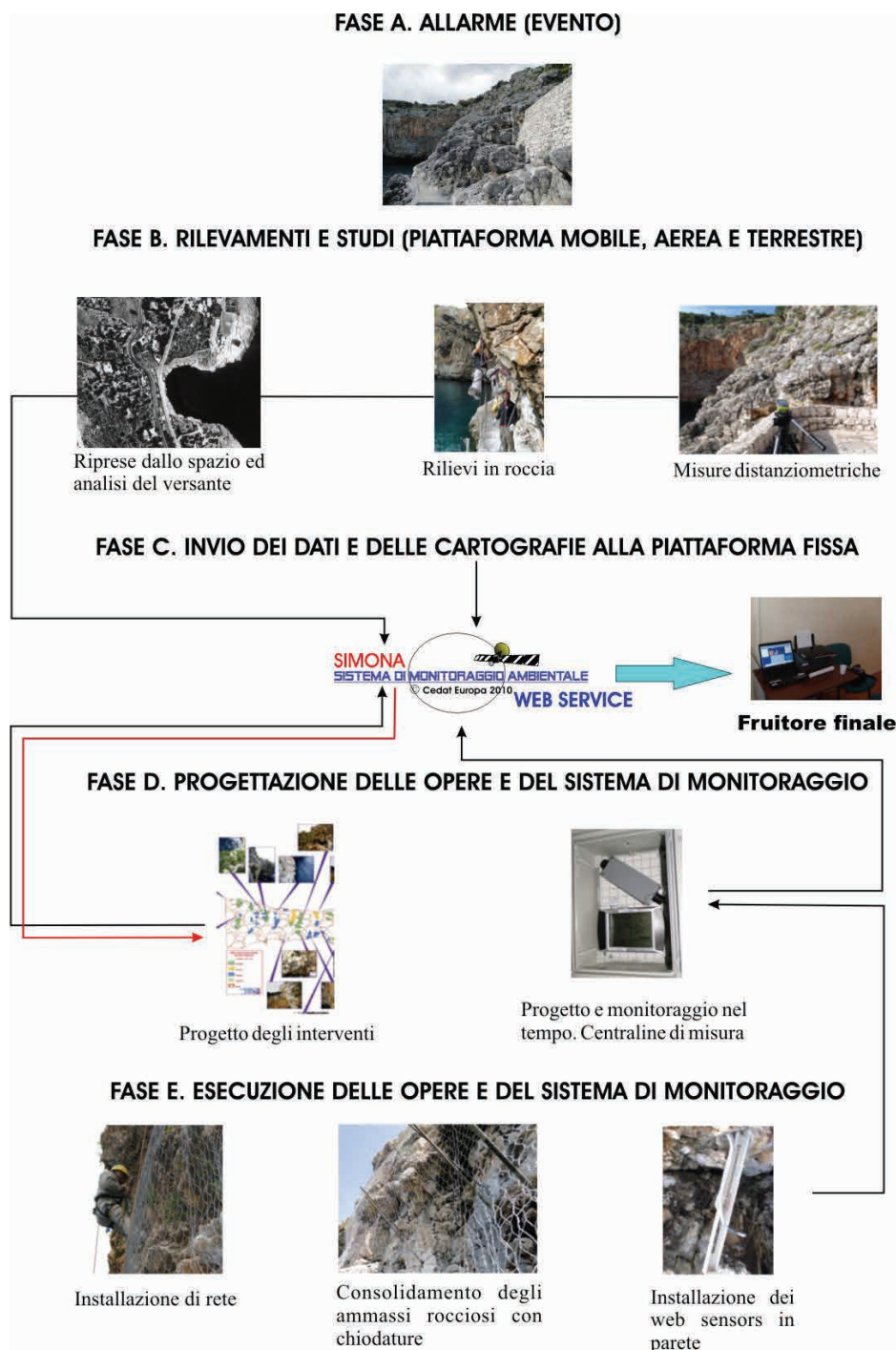


Figura 2 - Sequenza delle attività. Analisi degli scenari di rischio, rilevamenti e monitoraggi in sito, invio dei dati al web service, elaborazione del progetto ed interventi di presidio statico in area a rischio di elevata valenza ambientale e di intensa fruizione turistica.

Gli elementi innovativi sono molteplici e sono rappresentati da numerose prestazioni che il sistema può fornire. Tra queste vanno segnalate le seguenti:

- acquisizione ed invio di dati in tempo reale relativi a spostamenti, parametri idrogeologici e termometri, pluviometrici, focolai di incendi, inquinamenti, allarmi, etc;
- acquisizione ed invio di immagini video e fotografiche della località e degli eventi;
- elaborazione ed invio real time di cartografia tematica e schede tecniche;
- videosorveglianza e telecontrollo h/24;
- campionamenti di suolo, acque, aria;
- rilievi e studi di aree vaste, di reti infrastrutturali e di itinerari turistico – ambientali;
- attività di ricerca e formazione.

La novità è rappresentata dall'aver implementato tecniche oggi settorializzate, che invece SIMONA integra in un unico sistema costituito da piattaforme tecnologiche autonome e nello stesso tempo interoperabili.

## CONCLUSIONI

Il sistema SIMONA, nell'integrare varie tecnologie, mette a disposizione un potente strumento di analisi e di controllo di configurazioni ed eventi ad elevato e rapido impatto, contribuendo a ridurre gli effetti sull'uomo e sull'ambiente.

In tal modo eventi a rischio allo stato iniziale o in rapida evoluzione, conseguenti anche alle mutazioni climatiche, possono essere tenuti sotto costante controllo mediante una infrastruttura tecnologica leggera, dotata di strumenti e mezzi a basso costo ed a limitato impiego di personale. Questa tecnologia fornisce infatti una visione sinottica dei luoghi e consente di acquisire importanti informazioni circa la variabilità spaziale e temporale di fenomeni ed eventi che, in tale modo, possono essere sottoposti ad un costante monitoraggio e quindi ad operazioni finalizzate a ridurre o annullarne i dannosi effetti.

## BIBLIOGRAFIA

- Anselmo, V., (1993) *Manuale di riferimento per la misura al suolo delle grandezze idrometeorologiche*, CNR – GNDCI (Linea 1), Roma
- Dunncliff, J., (1993) – *Geotechnical instrumentation for monitoring field performance*, Wiley & Sons
- Fahlstrom, P. G., Gleason, T. J., (1998) – *Introduction to UAV Systems*, Uav systems inc
- Galati, G., Gilardini, A., (2000) *Tecniche e strumenti per il telerilevamento ambientale*, CNR, Roma
- Gravelle, N., Schoenholtz, S., Fanucci, J., Maass, D., Payne, J., (2007) – *Design and test of a sonobuoy precision aerial delivery (SPAD) UAV System*, AUVSI, 110, Washington
- Grecchi, M., Muggiati, G., (2006) – *Elementi di monitoraggio geotecnico e strutturale*, Geomon Milano
- Portale Simona [www.cedateuropa.eu](http://www.cedateuropa.eu)
- Zavatti, A., (1994) – *Il controllo dell'ambiente. Sintesi delle tecniche di monitoraggio ambientale*, Pitagora Editrice, Bologna.

# LA DISPONIBILITÀ DI ACQUE SOTTERRANEE IN PUGLIA NEGLI ULTIMI 80 ANNI

POLEMIO MAURIZIO<sup>1</sup>, DRAGONE VITTORIA<sup>1</sup>, LIMONI PIER PAOLO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNR IRPI, Bari, Italia, m.polemio@ba.irpi.cnr.it

## RIASSUNTO

La prevalente natura carsica del territorio limita la disponibilità di risorse idriche superficiali e conferisce valore particolare alle acque sotterranee della Puglia. Pregevoli per qualità, le acque sotterranee degli acquiferi carbonatici sono state prelevate in misura crescente dai primi decenni del secolo scorso. L'incremento è stato particolarmente rilevante durante e a seguito dei recenti e anomali periodi di siccità. L'andamento dei trend piezometrici e delle portate delle sorgenti evidenziano una drastica riduzione della disponibilità negli ultimi 80 anni. Tale calo è solo in parte giustificato dalle modificazioni climatiche.

**Parole chiave:** acquifero costiero, depauperamento acque sotterranee, serie temporali idrogeologiche

## INTRODUZIONE

Le acque sotterranee in Puglia costituiscono una risorsa molto importante in termini di sviluppo regionale, data l'estrema scarsità delle acque superficiali, disponibili solo nel Tavoliere (Fig. 1). Si consideri che sin dall'epoca storica la disponibilità di acque sotterranee facilmente estraibili ha condizionato l'ubicazione di importanti villaggi, oggi prosperose città, in particolare lontano dalla costa.

Le modificazioni climatiche, osservate in particolare dal 1980 in poi in tutta l'Italia meridionale, hanno comportato un potenziale calo della ricarica che, sovrapposto al crescente utilizzo delle risorse, possono determinare condizioni di sovrasfruttamento (Polemio e Casarano 2008, Polemio et al. 2010). I rischi di degradazione quantitativa comportano rischi di degradazione qualitativa per gli acquiferi costieri. L'incremento della salinità delle acque sotterranee pugliesi, a causa dell'intrusione marina è un fenomeno ben conosciuto e accuratamente studiato (Cotecchia 1977). Nonostante le conoscenze scientifiche

acquisite, ad oggi i criteri di gestione applicati non hanno impedito una progressiva degradazione qualitativa (Polemio et al. 2009b). In questa situazione, il contributo discute le modificazioni della disponibilità di risorse idriche sotterranee negli ultimi 80 anni e il ruolo svolto su queste dal clima.

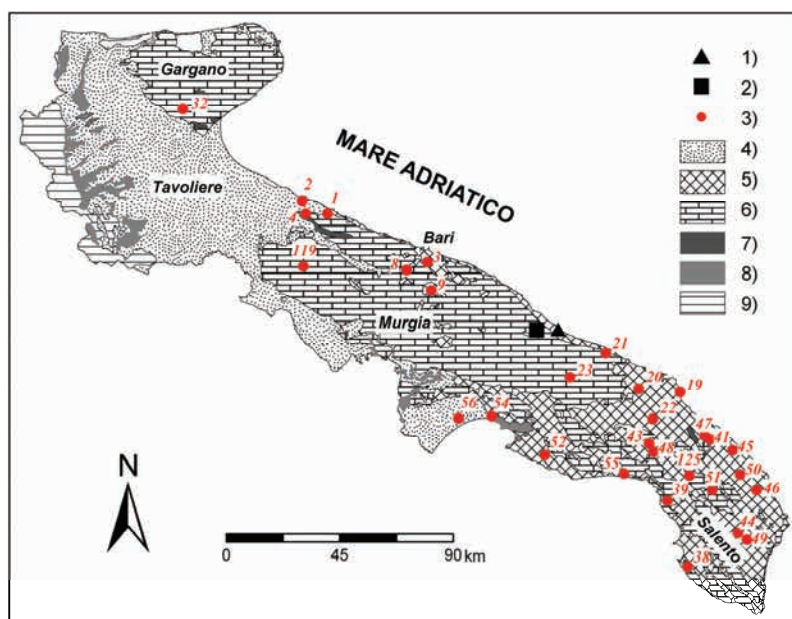


Figura 1 – Carta geologico-tecnica schematica della Puglia ed ubicazione dei punti di monitoraggio. Legenda: 1) sorgente; 2) stazione pluviometrica; 3) pozzi; 4) Argille sabbiose, sabbie argillose, sabbie e ghiaie; 5) Sabbie, limi, calcareniti, calcari e dolomie; 6) Calcari e dolomie; 7) Calcareniti ed arenarie; 8) Argille marnose; 9) Alternanze di sedimenti calcareo-marnosi.

## AREA DI STUDIO

In Puglia si possono distinguere quattro principali strutture idrogeologiche (SI): Gargano, Tavoliere, Murgia e Salento (Figura 1). Il Tavoliere si sostanzia in un acquifero poroso superficiale in cui la circolazione idrica sotterranea, a letto limitata da una formazione argillosa potente centinaia di metri, avviene in condizioni freatiche nell'interno del

territorio e in pressione più a valle fino alla costa (Polemio 2005). La qualità delle acque sotterranee in genere non consente l'uso potabile (Polemio et al. 2006).

Risorse idriche sotterranee di alta qualità, si rinvencono in potenti e profondi acquiferi carbonatici costieri, quali il Gargano (trattato marginalmente nell'articolo per la minore disponibilità di dati), la Murgia e il Salento. Essi hanno in comune alcuni aspetti (Cotecchia et al. 2005, Polemio 2005). Sono caratterizzate da ampi e potenti acquiferi con sede nelle rocce calcaree e/o calcareo-dolomitiche del Mesozoico. La permeabilità, per il disomogeneo e anisotropo effetto del carsismo e della fratturazione, a luoghi è elevata. La circolazione idrica sotterranea è in pressione, eccetto lungo una ristretta fascia costiera. Le tre SI carbonatiche, con effetti molto diversi, sono interessate dal fenomeno dell'intrusione marina (Polemio et al. 2009).

## DATI E ANALISI

Lo studio si basa principalmente su l'analisi di serie temporali piezometriche e di portata sorgiva, integrati da dati termo-pluviometrici. I dati provengono da ricerche storiche, da reti di monitoraggio (Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori pubblici, Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione, Protezione Civile della Regione Puglia) e da rilievi in sito svolti direttamente dall'IRPI dal 2003. Per l'analisi delle serie temporali piezometriche sono stati selezionati circa trenta pozzi, o stazioni piezometriche, tra un gruppo di sessantatre pozzi considerati da Polemio et al. (2009a) (Figura 1). Le serie storiche piezometriche sono disponibili nel periodo 1965-2010, sia pure con diverse lacune (Tabella 1).

Il trend di ogni serie piezometrica è stato quantificato mediante il coefficiente angolare (CA) della retta di regressione e statisticamente validato mediante il test di Mann-Kendall (livello di significatività 95%). La

tendenza piezometrica è risultata generalmente negativa. Vi è quindi una diffusa tendenza, anche se in alcuni casi molto lenta, al decremento piezometrico o il calo della disponibilità della risorsa (Tabella 1). Il calo piezometrico tendenziale appare grave per Murgia, Salento e Tavoliere.

Con il fine di approfondire e passare dalla conoscenza puntuale a quella areale, si è selezionato il Salento per applicare un approccio spaziale multitemporale (per il Tavoliere si consideri Polemio et al. 1999 e Polemio et al. 2005). Il Salento infatti presenta una criticità rilevante in quanto è la SI più esposta ai rischi di degradazione qualitativa per intrusione marina. A questo scopo si è ricostruita la superficie piezometrica dell'acquifero profondo del Salento negli anni: 1930, 1976, 1996, 2003 e 2010. Nel 1930 il numero di pozzi esistenti era molto basso: quindi tale superficie si può ritenere alquanto naturale. La Figura 2 rappresenta le variazioni piezometriche riferite al 1930. Le aree nelle quali si assiste ad un decremento piezometrico tendono ad aumentare, anche se tale incremento conosce delle pause, come nel

Tabella - 1 Principali valori statistici delle serie storiche piezometriche e CA (coefficiente angolare del trend)

Pozzo	Periodo		Valori statistici (m slm)			CA (m/anno)
	da	a	Min	Media	Max	
1	Sep-73	Dec-09	0,81	1,45	1,64	-0,0007
2	Sep-73	Dec-09	3,81	5,98	6,58	-0,0045
3	Dec-65	Dec-09	-1,61	0,82	2,02	-0,0017
4	Jun-75	Dec-09	4,95	29,60	63,54	-0,1004
8	Jun-75	Dec-09	42,79	47,22	54,36	0,0039
9	May-75	Dec-09	31,87	44,64	50,99	-0,0083
19	Sep-73	Sep-03	1,51	1,99	2,20	-0,0120
20	Oct-73	Sep-03	1,95	2,30	6,02	0,0300
21	Oct-73	Sep-03	0,45	1,42	1,79	-0,0132
22	Sep-73	Sep-03	0,99	2,07	2,40	-0,0192
23	Sep-73	Sep-03	24,55	27,45	28,18	-0,0492
32	Oct-75	Feb-10	1,23	4,78	9,27	-0,0035
38	Sep-73	Sep-03	-0,11	1,68	2,93	-0,0180
39	Sep-73	Feb-10	-0,65	0,13	0,92	-0,0003
41	Oct-73	Jan-10	-6,40	1,42	1,85	-0,0044
43	Sep-73	Jan-10	1,10	2,21	2,94	-0,0035
44	Sep-73	Mar-10	1,44	3,26	3,73	-0,0041
45	Oct-73	Mar-10	1,01	2,12	2,41	-0,0023
46	Oct-73	Mar-10	3,38	4,63	5,17	-0,0026
47	Jan-78	Jan-10	0,18	1,11	1,99	-0,003
48	Jul-68	Jan-10	1,17	2,24	2,61	-0,002
49	Jun-75	Nov-96	4,46	4,84	5,58	0,023
50	Oct-73	Feb-10	2,21	3,19	3,62	-0,001
51	Jul-75	Feb-10	1,52	2,80	3,56	-0,003
52	Sep-73	Feb-10	7,40	14,72	16,03	-0,019
54	Mar-73	Feb-10	2,82	4,87	6,56	-0,003
55	Sep-73	Feb-10	1,13	2,28	2,68	-0,002
56	Sep-73	Nov-09	2,36	6,36	8,70	-0,012
119	May-75	Mar-10	17,94	23,50	38,31	0,010
125	Jan-65	Feb-10	1,00	1,99	3,24	-0,001

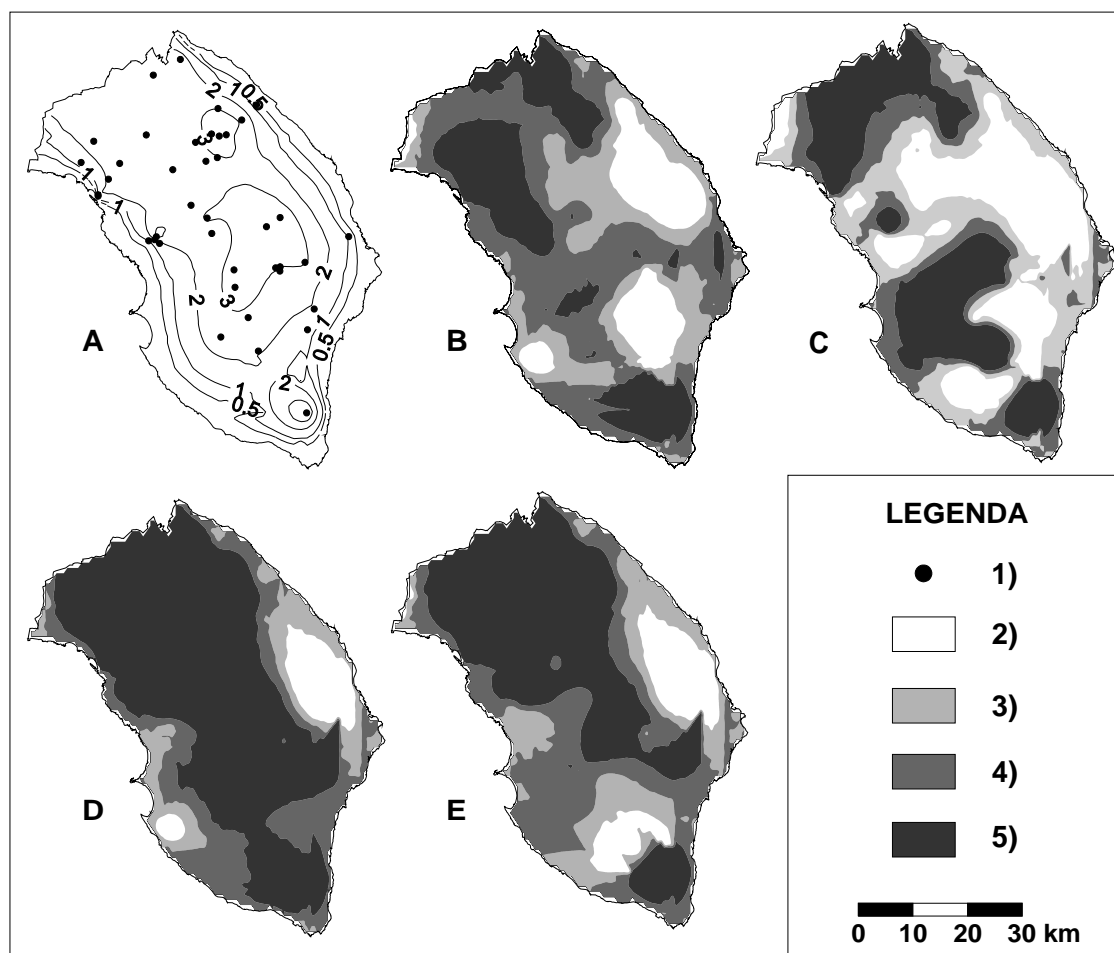


Figura 2 – Variazioni piezometriche storiche del Salento. (A) superficie piezometrica di riferimento (1930, m slm); variazioni piezometriche (VP, m) del 1976 (B), del 1996 (C), del 2003 (D) e del 2010 (E).  
 Legenda: 1) pozzi; 2)  $VP > 0,5m$ ; 3)  $0,5m < VP < 0m$ ; 4)  $0m < VP < -0,5m$ , 5)  $VP > -0,5m$ .

1996 e, secondariamente, nel 2010. Si consideri che il 1996 è corrisposto a un periodo particolarmente piovoso nell'ambito di una anomala successione di periodi siccitosi osservati dal 1980 (Polemio e Casarano 2008). Calcolato il volume fittizio racchiuso tra ciascuna superficie delle variazioni piezometriche e il livello del mare, è stata calcolata l'altezza media relativa a tale volume per tutto il Salento o, in altre parole, la variazione piezometrica media per ciascun intervallo temporale riferito al 1930. Il calo medio è risultato: 0,165m nel 1976, 0,020 m nel 1996, 0,876 m nel 2003 e 0,397 m nel 2010. Le sorgenti costiere rappresentano il recapito finale della circolazione idrica sotterranea. Le variazioni della portata di una sorgente dipende dalla variabilità climatica come dalla variabilità dei prelievi in un'ampia porzione di acquifero. Considerando la disponibilità di dati storici, è stata selezionata una tra le più significative sorgenti costiere, la sorgente Fiume Grande (Figura 1). La portata è stata misurata nel periodo 1926-1951 dal Servizio Idrografico Italiano (LL.PP. 1953) e dagli autori dal 2008 in poi (Polemio et al. 2009a). La serie storica consiste di 43 misure disponibili da ottobre 1926 a novembre 2010. La portata misurata varia tra 124 (settembre 2008) e 1132 L/s (agosto 1935), con un valore medio di 574 L/s (Figura 3). Tramite il calcolo della regressione lineare si evidenzia che la portata nel periodo di osservazione ha manifestato un decremento pari a 4,43 L/s per anno. Contestualmente anche il trend delle piogge misurate nella stazione pluviometrica di Fasano (Figura 1) ha mostrato un blando andamento decrescente pari a 0,10 mm per anno. Sia si consideri tale trend locale della piovosità effettiva sia si consideri il trend della piovosità efficace a scala regionale (Polemio e Casarano 2008), il trend negativo della portata sorgiva non può essere spiegato solo in termini di variazioni climatiche ma richiede che si considerino come rilevanti gli effetti dei crescenti prelievi. Se l'entità della ricarica si è drasticamente ridotta a partire dal 1980, per le modificazioni climatiche (Polemio e Casarano 2008), vistosi cali di

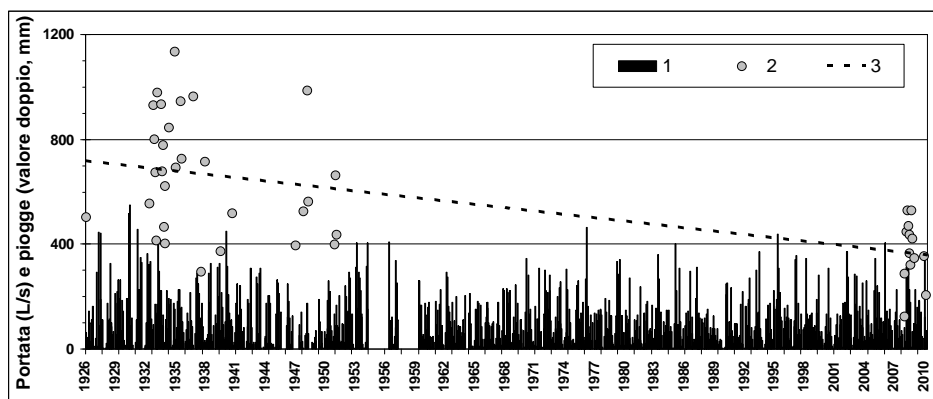


Figura 3 - Portata della sorgente Fiume Grande e piovosità nella stazione di monte dal 1926 al 2010. 1) Piogge mensili (x 2), 2) portata sorgente (L/s); 3) retta di regressione delle portate.

riduzione della disponibilità delle acque sotterranee nei principali acquiferi pugliesi. Questi effetti sono più rilevanti, in valore assoluto, in alcune aree interne della Murgia e nel Tavoliere.

L'abbassamento piezometrico nella penisola salentina è lento, ma particolarmente rischioso poiché, sostanzialmente a causa delle minori e basse quote piezometriche che sono tipiche della SI anche in condizioni naturali (Figura 2), è particolarmente esposta ai rischi di degradazione qualitativa per intrusione marina. Lo studio condotto sta ad indicare in ogni suo aspetto che è in atto nell'intero territorio pugliese la tendenza ad un progressivo impoverimento della disponibilità di risorse idriche sotterranee di alta qualità dovuto ad un deficit di ricarica sia per le modificazioni climatiche occorse negli ultimi anni ma anche per un dissennato incremento dell'emungimento da pozzi. D'altra parte, durante le più recenti siccità sia soggetti pubblici che privati hanno fatto ricorso all'incremento dei prelievi dalle falde idriche sotterranee mediante la realizzazione dei nuovi pozzi. Perdurando le attuali tendenze climatiche non si potrà prescindere da una politica gestionale che punti su scelte oculate di medio-lungo periodo e ridimensioni così le ragioni di "urgenza" che spingono a scelte dannose per il patrimonio idrico regionale.

## BIBLIOGRAFIA

- Cotecchia, V., (1977). *Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina)*. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 20, 1-466.
- Cotecchia, V., Grassi, D. & Polemio, M. (2005). Carbonate aquifers in Apulia and seawater intrusion. *Giornale di Geologia Applicata* **1**, 219-231.
- LL.PP (1953) *Le sorgenti italiane. elenco e descrizione (Regione Pugliese)*. Ministero dei Lavori Pubblici, Vol. I, Rome, Italy.
- Polemio, M. (2005) Seawater intrusion and groundwater quality in the Southern Italy region of Apulia: a multi-methodological approach to the protection. UNESCO, IHP **77**, 171-178, Paris.
- Polemio, M. & Casarano, D. (2008) Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy. In: *Climate Change and Groundwater* (ed. by W. Dragoni), 39-51. Special Publications, 288, Geological Society, London, UK.
- Polemio M., Casarano D., Limoni P.P. (2010) Apulian coastal aquifers and management criteria, SWIM 21 - 21st Salt Water Intrusion Meeting, Azores, 203-206.
- Polemio, M., Dragone, V. & Di Cagno, M. (1999) Effetti antropici e naturali sul degrado quantitativo delle acque sotterranee del Tavoliere. *Quaderni di Geologia Applicata* **4**, 143-152.
- Polemio, M., Dragone, V. & Limoni, P. P. (2005) Groundwater as main resources of a wide semiarid region: the case of Apulian region (southern Italy). In: *Proceedings of AVR05-Aquifer Vulnerability and Risk 2nd Int. Workshop, 4th Congress on the Protection and Management of Groundwater*. Parma, Italy.
- Polemio M., Dragone V., Limoni P.P. (2009a). The piezometric stress in the coastal aquifers of a karstic region, Apulia, Italy. Proc. of Symposium "Trends and Sustainability of Groundwater in Highly Stressed Aquifers", IAHS & IAH Convention, Hyderabad, India, September 2009. IAHS Publ.329, pp.138-144.
- Polemio M., Dragone V., Limoni, P.P. (2009b) Monitoring and methods to analyse the groundwater quality degradation risk in coastal karstic aquifers (apulia, southern italy), *Environ. Geol.*, **58**, 299-312.
- Polemio, M., Limoni, P. P., Mitolo, D. & Virga, R. (2006). Il degrado qualitativo delle acque sotterranee pugliesi. *Giornale di Geologia Applicata* **3**, 25-31.

disponibilità erano già evidenti prima, come effetto del crescente emungimento da pozzi che si è via via incrementato a partire dal 1950.

## CONCLUSIONI

L'andamento dei trend della quota piezometrica e della portata sorgiva evidenzia, nel complesso, una drastica



# ANALISI DI TREND E CICLICITÀ DI SERIE STORICHE PLUVIOMETRICHE PER LA MODELLAZIONE STOCASTICA DI SCENARI DI PRECIPITAZIONE IN CONDIZIONI DI CAMBIAMENTI CLIMATICI

CAMICI STEFANIA<sup>2</sup>, ROMANO EMANUELE<sup>1</sup>, PREZIOSI ELISABETTA<sup>1</sup>, TARPANELLI ANGELICA<sup>2</sup>, BROCCA LUCA<sup>2</sup>, MELONE FLORISA<sup>2</sup>, MORAMARCO TOMMASO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CNR IRSA, Monterotondo Stazione, Roma, Italia, romano@irsa.cnr.it

<sup>2</sup>CNR IRPI, Perugia, Italia, s.camici@irpi.cnr.it

## RIASSUNTO

In questa nota si intende presentare una procedura per l'individuazione di scenari pluviometrici futuri da essere utilizzati in una modellistica idrologica in continuo a scala di bacino. A partire dall'analisi dei trend pluviometrici e della loro ciclicità osservati nel bacino del Fiume Tevere, è stata effettuata una generazione stocastica di serie sintetiche di pioggia per due bacini idrografici dell'Alto e Medio Tevere. L'analisi ha mostrato come le serie pluviometriche generate conservano con sufficiente accuratezza sia il trend che la ciclicità osservata.

**Parole chiave:** ciclicità, indici standardizzati, modellazione stocastica, pioggia.

## INTRODUZIONE

La generazione di scenari pluviometrici finalizzati all'analisi del deflusso superficiale, alla ricarica alle falde, viene spesso effettuata basandosi sugli scenari climatici elaborati alla scala globale (GCM) ed adattati alla scala locale mediante diverse tecniche di downscaling, statistiche o dinamiche. La tecnica di downscaling dinamico usa i modelli climatici regionali (RCMs) per la disaggregazione spaziale degli output dei modelli di circolazione globale. Nel downscaling statistico si cerca di stabilire un legame statistico fra le variabili a grande scala e quelle che si desidera descrivere a scala regionale studiando i dati delle serie storiche di entrambe le variabili (Groppelli et al. 2010, Portoghesi et al. 2010).

Nel caso in studio viene presentata una metodologia per la generazione di scenari pluviometrici futuri mediante l'utilizzo del modello ad impulsi rettangolari di Neyman-Scott (NSRP, Cowpertwait et al. 1996). A partire dalle serie pluviometriche del bacino del Fiume Tevere del periodo 1917-2008, mediante un'analisi basata su indicatori standardizzati, sono stati elaborati alcuni scenari relativi alla variazione nel tempo dell'anomalia di precipitazione annuale e stagionale. Tali variazioni, applicate alle serie di pioggia osservate, in due bacini dell'Alto-Medio Tevere ha consentito, mediante il modello NSRP, di descrivere quantitativamente sia i trend delle grandezze di studio, sul periodo di osservazione (nel caso di studio 1952-2007), diversificati alla scala annua e stagionale, sia le ciclicità osservabili alla scala pluriennale.

## CASO DI STUDIO

Il bacino del Fiume Tevere è caratterizzato da un clima mediterraneo con precipitazioni medie annuali di circa 950 mm e con temperature medie annuali che variano da 5.5°C a 16°C. Per l'elaborazione degli scenari pluviometrici sono stati analizzati i dati di pioggia giornalieri (misurati in circa 90 pluviometri), aggregati alla scala annua e stagionale. Sono stati selezionati solo stazioni per le quali le serie disponibili sono di almeno 30 anni idrologici (1 settembre-31 agosto), anche non consecutivi.

Come caso di studio sono stati considerate le piogge medie areali (PMA) dei sottobacini dei torrenti Caina (206 km<sup>2</sup>) e Genna (91 km<sup>2</sup>) dell'Alto-Medio Tevere. Una densa rete di monitoraggio idro-meteorologico presente nell'area di studio, ha consentito di disporre di 19 anni di dati di pioggia registrati dal Gennaio 1989 al Dicembre 2007.

## METODOLOGIA

La metodologia è composta di una prima fase nella quale sono state analizzate le serie storiche pluviometriche del bacino del Tevere al fine di individuare possibili trend stagionali. Sulla base di tali

trend, sono state perturbate le serie di pioggia osservate nei due bacini di studio e sono stati stimati i parametri del modello NSRP per la fase di generazione.

Più in dettaglio, nella prima fase sono stati calcolati indicatori standardizzati, analoghi allo Standardized Precipitation Index (McKee et al. 1993), su tutte le serie disponibili con almeno 30 anni di dati aggregati sia nel tempo (anno idrologico) che nello spazio (scala di bacino). L'uso di indicatori standardizzati aggregati ha permesso di esaminare l'andamento nel tempo delle grandezze in studio alla scala di bacino, riducendo quindi l'influenza di fattori locali sul trend regionale. L'analisi dei dati pregressi è stata finalizzata ad accertare la presenza non solo di trend lineari sull'insieme dei dati ma anche di ciclicità da riprodurre nella generazione stocastica dei dati sintetici. La presenza di trend è stata verificata mediante il test di Mann-Kendall (Kendall 1962).

Sulla base delle osservazioni sperimentali sono stati così elaborati alcuni scenari relativi alla variazione nel tempo dell'anomalia di precipitazione stagionale. Tali variazioni sono state applicate alle serie di pioggia osservate, ottenendo così delle serie "perturbate" sulle quali il modello NSRP è stato calibrato.

Il modello NSRP ha un totale di 5 parametri, che vengono stimati impiegando il metodo dei momenti, nel quale le proprietà statistiche delle serie temporali osservate sono uguagliate alle corrispondenti espressioni teoriche ricavate direttamente dal modello (Cowpertwait et al. 1996). Come mostrato da precedenti studi (Cowpertwait 1991), la principale caratteristica del modello NSRP è la sua abilità nel preservare le proprietà statistiche delle serie di pioggia osservate a differenti livelli di aggregazione temporale. Maggiori dettagli possono trovarsi in Cowpertwait et al. (1996).

## **RISULTATI E DISCUSSIONE**

Per il bacino del Fiume Tevere, si osserva che esiste una ciclicità di periodi secchi e umidi, evidenziata dalla media mobile a 5 anni, sebbene non risulti costante il periodo di tale ciclo (variabile tra i 14 e i 23 anni). Il valore della media mobile a 5 anni dell'SPI varia tra -1 e +1, che equivale a una variazione pari approssimativamente al  $\pm 15\%$  della media di lungo periodo (Figura 1). L'alternanza di periodi secchi e umidi risulta legata a ciclicità di tipo globale, rappresentata da indici climatici quali il North Atlantic Oscillation Index (NAO).

La medesima analisi effettuata alla scala stagionale mostra che la ciclicità evidenziata alla scala annuale (in correlazione con il NAO), risulta meno evidente alla scala stagionale. Non è dunque possibile attribuire la medesima ciclicità a tutte le stagioni, né correlare per tutte le stagioni la ciclicità stagionale alla ciclicità annuale. Gli elementi a disposizione ci portano ad ipotizzare il seguente schema per la generazione di serie sintetiche di precipitazione che tengano conto dell'alternanza riscontrata nell'ultimo secolo di periodi secchi e periodi umidi:

1. variabilità ciclica della media annua di precipitazione con periodo tra i 15 e 20 anni e ampiezza tra il 15 e il 20%;
2. variabilità ciclica delle precipitazioni invernali e delle precipitazioni autunnali, con periodo tra i 15 e i 20 anni e ampiezza tra il 15 e il 20%;
3. nessuna ciclicità delle precipitazioni primaverili ed estive.

Il trend calcolato per il periodo 1952-2006 risulta pari a -8.4% in 55 anni, con un valore del test di Mann-Kendall pari a 1.92, cioè una significatività superiore al 90%.

Gli elementi a disposizione hanno portato ad ipotizzare scenari alla scala stagionale della lunghezza di 60 anni per la generazione di serie sintetiche di pioggia che tengano conto del trend negativo di precipitazione riscontrato negli ultimi 50 anni:

- trend di precipitazione annuale negativo variabile tra -6% e -9% in 50 anni;

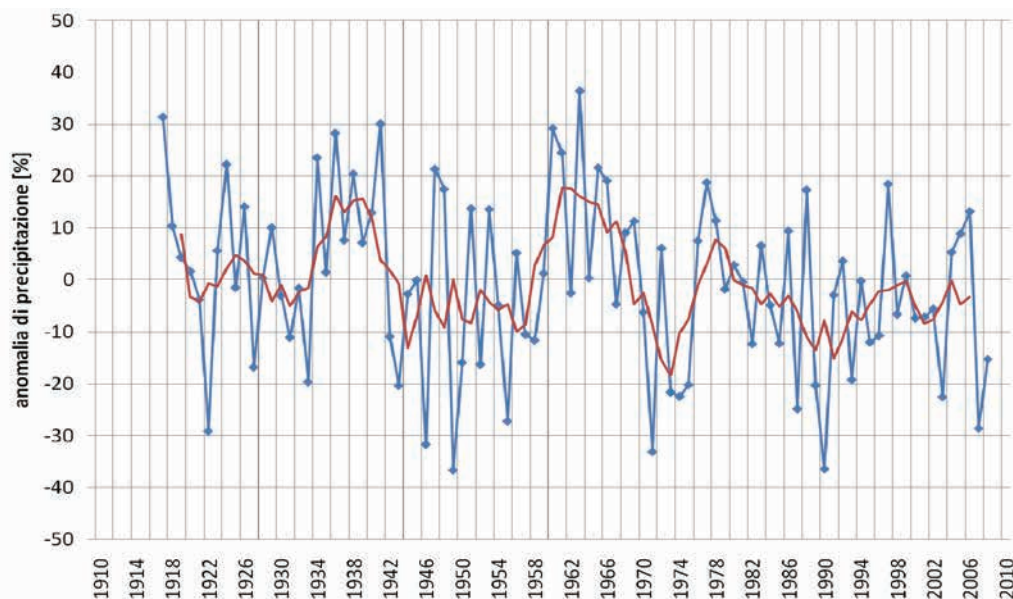


Figura 1 - Anomalia di precipitazione per il periodo 1917-2008 . In rosso è indicata la media mobile a 5 anni.

- trend di precipitazione annuale negativo variabile tra -6% e -9% in 50 anni;
- trend di precipitazione invernale variabile tra -8 e -13 % in 50 anni;
- trend di precipitazione autunnale pari a -3% in 50 anni;
- trend di precipitazione primaverile pari a -3% in 50 anni;
- trend di precipitazione estiva pari a -10% in 50 anni.

Sulla base di tali indicazioni, assumendo un trend di precipitazione invernale pari a -8%, sono state ricostruite le serie di PMA "perturbate" per i due bacini di studio, per il periodo 2010-2070. In particolare, ciascuna variazione stagionale è stata applicata alle serie osservate di PMA ottenendo così 60 serie "perturbate" annuali. Per ciascun mese dell'anno di ogni serie perturbata sono stati stimati i parametri del modello NSRP, che è stato successivamente utilizzato per generare 60 serie di pioggia stazionarie della lunghezza di 100 anni. Infine 100 serie di pioggia non stazionarie, ciascuna di 60 anni, riproducenti l'anomalia di precipitazione ricavata dai dati osservati, sono state ottenute trasponendo le 60 serie ottenute dal modello NSRP. In Figura 2 è mostrato l'andamento della PMA del bacino del Caina nelle diverse stagioni per ciascun anno e per ognuna delle 100 simulazioni. In Figura 3 sono mostrati gli andamenti annuali della PMA per i due bacini di studio. Come è possibile osservare, il modello NSRP risulta in grado di riprodurre nel tempo le anomalie di precipitazione sia a livello stagionale che annuale. Tali dati potranno essere utilizzati come input per la modellazione dei deflussi superficiali e sotterranei.

## CONCLUSIONI

La procedura proposta per l'analisi di trend e ciclicità a partire dai dati pluviometrici ha consentito di elaborare degli scenari relativi alla variazione nel tempo dell'anomalia di precipitazione. Sulla base di tali scenari è stato calibrato il modello NSRP che è risultato essere in grado di riprodurre quantitativamente sia i trend delle grandezze in studio, diversificati alla scala annua e stagionale, sia le ciclicità osservabili alla scala pluriennale.

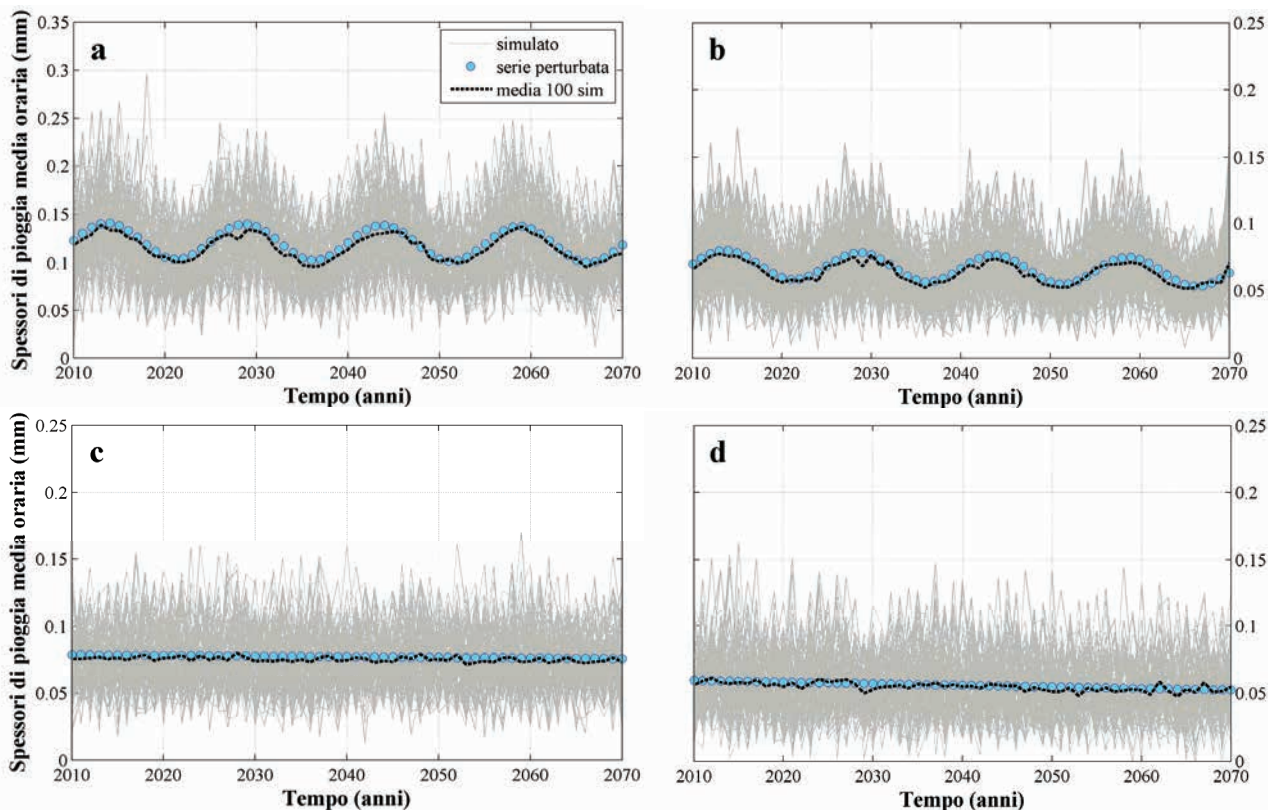


Figura 2 - Variazione della media della PMA calcolata per il bacino del Caina per la stagione a) autunnale, b) invernale, c) primaverile, d) estiva.

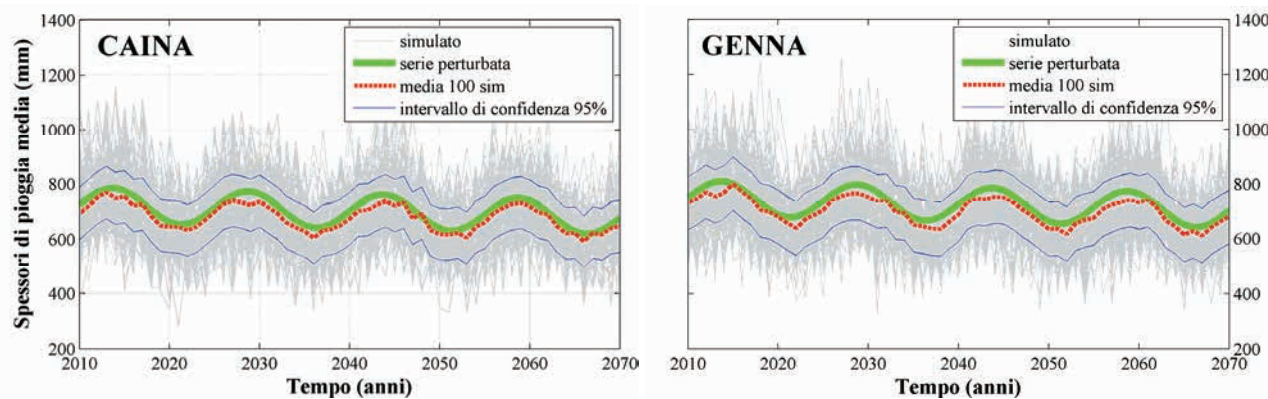


Figura 3 - Variazione della media annua della PMA calcolata per i due bacini di studio.

## BIBLIOGRAFIA

- Cowpertwait, P.S.P., (1991), *The stochastic generation of rainfall time series*, Ph.D. Thesis, University of Newcastle upon Tyne.
- Cowpertwait, P.S.P., O'Connell, P.E., Metcalfe, A.V., and Mawdsley, J.A., (1996), *Stochastic point process modelling of rainfall. I. Single-site fitting and validation*, J. Hydrol., 175: 17-46.
- Kendall, MG., (1962), *Rank Correlation Method*, 3rd ed. Hafner Publishing Company: New York.
- McKee, TB, Doesken, NJ, Kleist, K., (1993), *The relationship of drought frequency and duration to time scale*. In 8th Conference on Applied Climatology. Am. Meteor. Soc: Boston.
- Groppelli, B., Bocchiola, D., Rosso, R., (2010), *Spatial downscaling of precipitation from GCMs for climate change projections using random cascades: a case study in Italy*, Water Resour. Res., in press.
- Portoghese, I., Bruno, E., Vurro, M., (2010), *From regional climate simulations to the hydrological information needed for basin scale impact studies*, Adv. Geosci., 26,25-31.

# **IL PROGETTO FISR CLIMESCO: ADATTAMENTO AGRONOMICO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI PER FRUMENTO DURO E POMODORO IN AMBIENTE MEDITERRANEO**

VENTRELLA DOMENICO, CHARFEDDINE MONIA, RINALDI MICHELE  
CRA-SCA, Bari, Italia, domenico.ventrella@entecra.it

## **RIASSUNTO**

La valutazione della vulnerabilità ai cambiamenti climatici delle principali colture della Capitanata e l'individuazione di alcune strategie di adattamento agronomico sono stati i principali obiettivi del Progetto FISR CLIMESCO che in questo lavoro sono esposti limitatamente all'ottimizzazione dell'epoca di semina/trapianto, dell'irrigazione e della concimazione azotata. La coltivazione primaverile di pomodoro è risultata più vulnerabile rispetto al frumento duro. In generale, nell'ambito degli scenari più pessimistici le strategie di adattamento agronomico risultano essere insufficienti nel contenere l'impatto negativo dei cambiamenti climatici, a differenza di quanto riscontrato nello scenario in cui l'incremento della temperatura globale è mantenuto inferiore ai 2°C.

**Parole chiave:** agronomia, colture, resa

## **INTRODUZIONE**

E' probabile che i cambiamenti climatici previsti per questo secolo potranno modificare intensamente l'agricoltura inducendo importanti trasformazioni legate essenzialmente ad effetti sulla fenologia delle specie, sui processi fotosintetici e sul fabbisogno evapotraspirativo, ecc.

Anomali incrementi termici, brusche variazioni della distribuzione delle precipitazioni, maggiore frequenza ed intensità di siccità da una parte e di inondazioni dall'altra stanno già manifestando i loro effetti sulle risposte produttive e qualitative dei sistemi colturali. Questa tendenza si manifesta in molte aree del pianeta ma le aree mediterranee possono essere caratterizzate da un grado di vulnerabilità particolarmente elevato.

Parallelamente ad azioni di mitigazione, tendenti a ridurre la concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub>, è necessario pianificare ed attuare percorsi di adattamento che mirino a ridurre gli eventuali impatti negativi del surriscaldamento sulla produttività delle colture attraverso: uso del suolo, scelta colturale e dell'epoca di semina o di trapianto, ottimizzazione della fertilizzazione, ecc. Nelle aree mediterranee l'agricoltura dei prossimi decenni dovrebbe caratterizzarsi per un ulteriore incremento delle richieste evapotraspirative e quindi dei fabbisogni idrici. Ciò rende auspicabili strategie di adattamento che si basino sulla massimizzazione dell'efficienza d'uso dell'acqua.

Il Progetto FISR CLIMESCO ha inteso individuare un approccio integrato, volto alla ottimizzazione delle risorse idriche in comprensori meridionali caratterizzati da sistemi colturali irrigui ad alto valore aggiunto. L'analisi si è sviluppata su fasi temporali sufficientemente lunghe, in cui gli andamenti climatici "probabili" hanno rappresentato gli elementi fondamentali di ben individuati scenari futuri.

Al fine di valutare le complesse interazioni del sistema "suolo-pianta-atmosfera" in presenza di cambiamenti climatici, il ricorso ai modelli di simulazione colturale rappresenta una opportunità per la ricerca. Tra i modelli di simulazione colturale, il DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) è in grado di simulare sistemi colturali a scala spaziale.

Obiettivo del presente lavoro è quello di illustrare i risultati principali ottenuti nell'ambito dell'area della Capitanata e riguardanti la coltivazione delle due colture principali di tale area: il frumento duro e il pomodoro. In particolare, questa memoria presenta l'impatto dei cambiamenti climatici sulla produttività di queste due colture e le possibilità di adattamento agronomico ai cambiamenti climatici con particolare riferimento alla ottimizzazione dell'epoca di semina e di trapianto, alla pratica irrigua e alle fertilizzazioni azotate.

## MATERIALI E METODI

I modelli CERES-Wheat e CROPGRO, implementati nel software DSSAT v. 4.0 (Jones et al. 2003), già precedentemente calibrati e validati per l'area di interesse della Capitanata (Provincia di Foggia), sono stati applicati, rispettivamente per il frumento duro e il pomodoro.

Per entrambe le colture, sono stati utilizzati tre scenari climatici, ottenuti mediante un processo di *downscaling* statistico, sulla base di una serie storica di dati misurati, tramite 3 diversi GCM (HadCM3, CCSM3 e ECHAM). In particolare, si tratta di dati climatici generati per il periodo 1951-2005 (Passato) e di 2 scenari futuri di 90 anni (suddivisi in 3 trentenni relativi ai periodi 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100) riferibili agli scenari IPCC (A2 e B1), IPCC (2007).

I dati pedologici dell'area di studio sono stati estrapolati dalle aree omogenee elaborate nell'ambito del progetto CLIMESCO ed ottenute mediante *clustering*, successivamente all'interpolazione di numerosi dati di suolo con metodi geostatistici, individuando 7 aree omogenee per caratteristiche fisiche e chimiche dei suoli (Castrignanò et al. 2010).

Le tecniche colturali considerate per la simulazione delle due colture sono quelle normalmente adottate nell'area della Capitanata.

Per quanto riguarda le strategie di adattamento, sono state considerate 5 epoche di trapianto (10, 20, 30 Aprile, 10 e 20 maggio) per il pomodoro e altrettante per la semina del frumento (29 ottobre, 13 e 28 novembre, 12 e 27 dicembre). Relativamente all'irrigazione e alla fertilizzazione azotata, in questo lavoro si riportano i dati relativi alla coltivazione del pomodoro per il quale sono state considerate le seguenti variabili: ripristino all'80% della riserva idrica del suolo (RIS) con soglia di intervento pari al 20, 40 60 e 80% della RIS in interazione con due concimazioni azotate pari a 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>.

Per lo studio di adattamento agronomico sono stati utilizzati tre scenari climatici. Il primo, Past, riguarda dati osservati nel periodo 1975–2005 (Past) forniti dal centro europeo JRC (MARS-Meteorological Data Base-EC-JRC, <http://mars.jrc.ec.europa.eu/>) nella cella più prossima all'area in studio. Questo *data-set* è stato sottoposto a processo di *downscaling* statistico, operato con il modello LARS-WG (Semenov e Barrow 1997), per la costituzione di due data-set relativi a scenari climatici futuri. In particolare, partendo dallo scenario di emissione A2 (IPCC 2007), sono state individuate due finestre temporali corrispondenti ad incrementi di temperatura globali di 2 e 5°C (rispettivamente Anomaly\_2 e Anomaly\_5). I livelli di CO<sub>2</sub> imposti ai tre scenari sono stati di 360, 550 e 700 ppm rispettivamente per Past, Anomaly\_2 e Anomaly\_5.

## RISULTATI

Nelle aree coltivate a frumento, la produzione media di granella, che si attesta intorno a 4.2 t/ha, fa registrare un tendenziale aumento per effetto dei cambiamenti climatici, ma con differenze non significative. Tali variazioni rispetto al passato non sembrano differenziarsi nell'ambito dei due scenari IPCC. Nelle aree coltivate a pomodoro al contrario, la produzione di bacche, che nel periodo passato risulta mediamente pari a 11.6 t/ha di s.s., negli scenari futuro fa riscontrare una leggera riduzione (11 t/ha) nei primi due trentenni ed una riduzione più consistente e statisticamente significative nel terzo trentennio e nell'ambito dello scenario A2, contraddistinto da una media di 7,2 t/ha (fig. 1). Confrontando i risultati ottenuti con i tre diversi modelli di simulazione (GCM) all'interno di ciascun trentennio, non si sono evidenziate sostanziali differenze nelle previsioni di resa in granella e produzione di bacche.

Passando ad esaminare i risultati relativi all'aspetto dell'adattamento, l'effetto principale ha riguardato, per entrambe le colture, l'accorciamento del ciclo colturale risultato pari a 10 e 27 giorni per il frumento e 14 e 24 giorni per il pomodoro, rispettivamente nei due scenari Anomaly\_2 e Anomaly\_5.

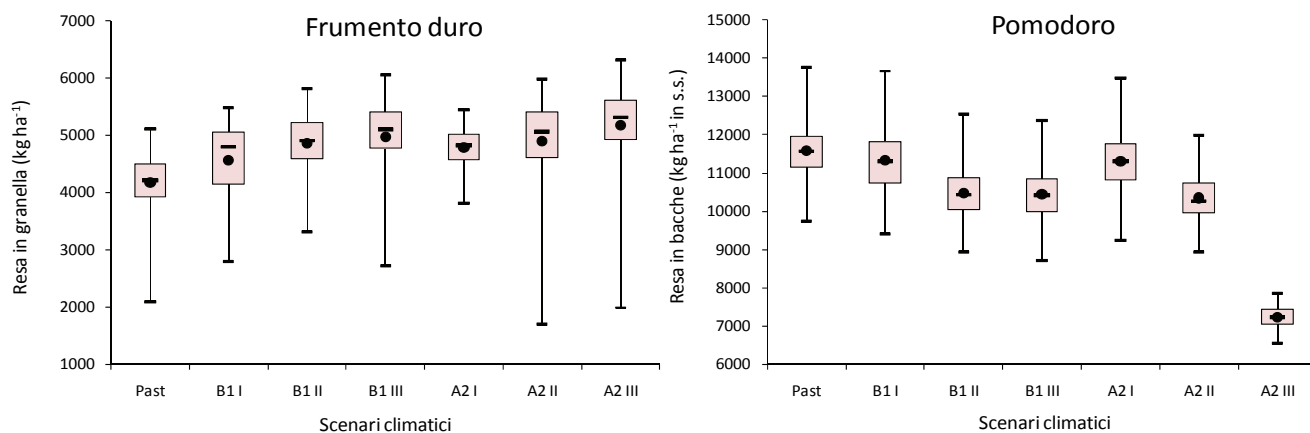


Figura 1 - Boxplot della distribuzione delle rese di frumento e pomodoro nei vari scenari climatici

Le funzioni di risposta della produzione all'epoca di semina e di trapianto risultano significativamente diverse nei tre scenari. Per il frumento, e nello scenario passato, si nota una mancanza di risposta per le prime due epoche di semina a cui segue un andamento decrescente e pressoché lineare. Nei due scenari futuri, invece, ad un incremento lineare e crescente segue un andamento piatto che contraddistingue le epoche più tardive. I livelli produttivi sono generalmente più elevati nello scenario Anomaly\_2 mentre nell'Anomaly\_5 sarebbe possibile ottenere lo stesso livello produttivo del passato (con la semina tradizionale di fine novembre) solo seminando mediamente dopo il 10 di dicembre. Nel caso del pomodoro, l'epoca di trapianto si caratterizza per una mancanza di risposta nello scenario passato e in Anomaly\_2 mentre in Anomaly\_5 le due epoche più precoci risultano mediamente più favorevoli rispetto alle altre tre (fig. 2).

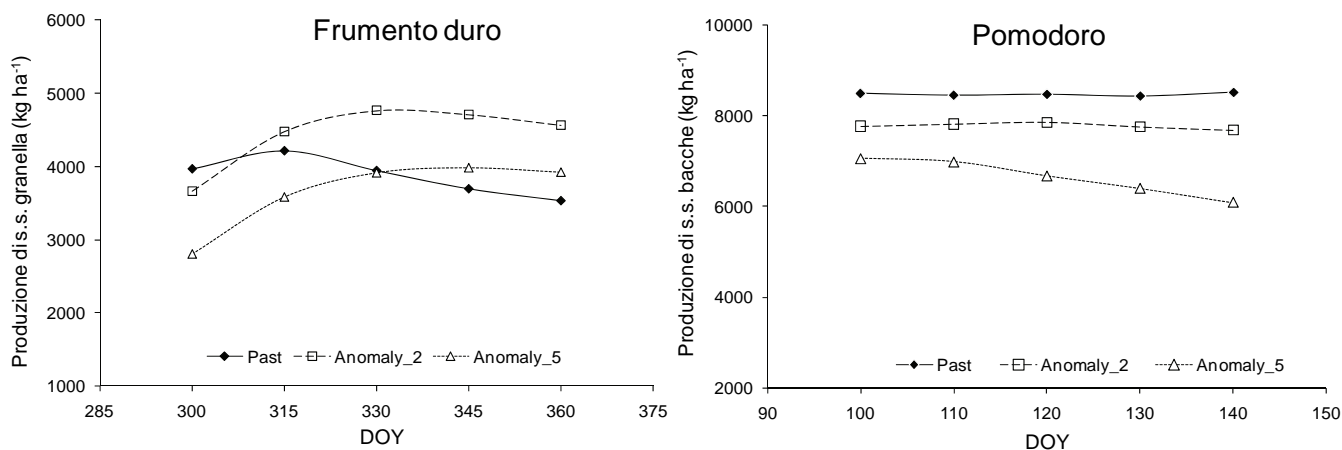


Figura 2 - Funzioni di risposta all'epoca di semina e trapianto per frumento e pomodoro (Ventrella et al. 2011)

La fertilizzazione azotata mostra la sua efficienza in ognuno dei tre scenari. Anche le funzioni di risposta all'irrigazione cambiano in maniera significativa passando da un andamento crescente e lineare nel passato a uno di tipo curvilineo nei due scenari futuri con punti di massimo che si riducono drasticamente passando da Anomaly\_2 a Anomaly\_5 e soprattutto in presenza di elevate concimazioni azotate (fig. 3).

## CONCLUSIONI

L'analisi dei risultati ottenuti ha evidenziato una più marcata sensibilità ai cambiamenti climatici nel caso della coltivazione del pomodoro, coltura a semina primaverile. Gli effetti negativi dei cambiamenti climatici sono decisamente meno evidenti per il frumento duro. In particolare per il pomodoro, le possibilità di adattamento agronomico si riducono drasticamente nel caso dello scenario più pessimistico caratterizzato da un incremento medio della temperatura globale pari a 5°C. In questo caso, ad esempio, l'irrigazione dovrebbe spingersi fino a circa 550 mm per poter ottenere la produzione massima di 80 t ha<sup>-1</sup> di s.s. ma questa sarebbe inferiore a quella ottenibile nello scenario passato, pari a circa 100 t ha<sup>-1</sup> con un'irrigazione stagionale di circa 500 mm. Anche l'anticipo del trapianto avrebbe effetti positivi sulla resa ma non consentirebbe di ripristinare i livelli produttivi dello scenario passato. Contenendo il surriscaldamento dell'atmosfera a 2°C, le possibilità di adattamento agronomico, sia agendo sull'epoca di trapianto che dosando opportunamente azoto e acqua, consentirebbero di ridurre significativamente gli attesi effetti negativi dei cambiamenti climatici sulla produttività del pomodoro. Nel caso del frumento duro una semina posticipata rispetto all'epoca tradizionale risulterebbe più vantaggiosa nei due scenari futuri considerati.

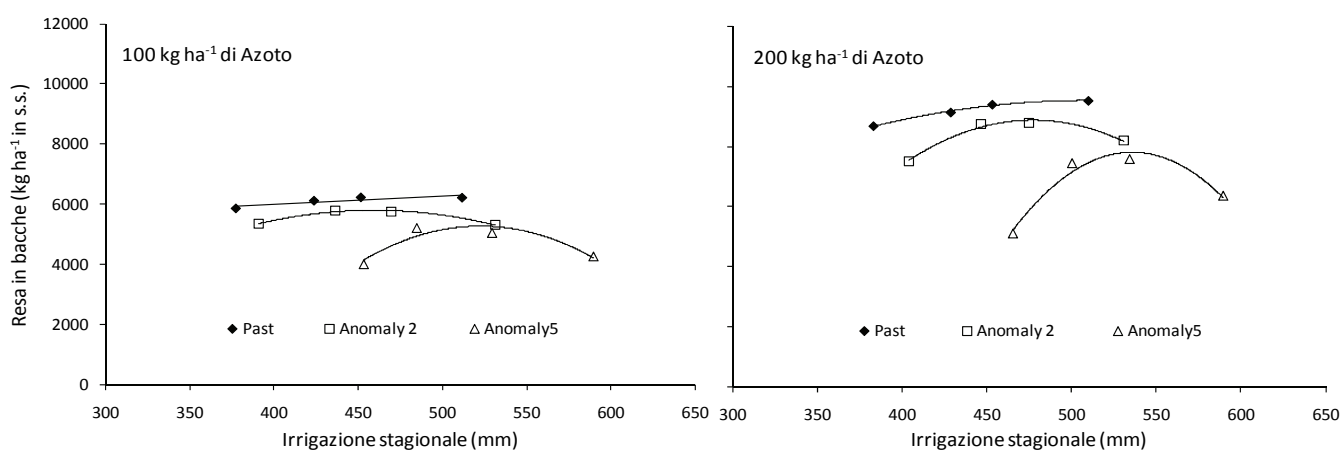


Figura 3 - Funzioni di risposta all'irrigazione per la coltivazione di pomodoro (Ventrella et al 2011)

Queste considerazioni tuttavia prescindono da un eventuale progresso genetico che potrebbe caratterizzare le future varietà e ibridi di queste due colture, mentre l'adozione di varietà a ciclo più lungo potrebbe porsi come alternativa all'anticipo del trapianto nella coltivazione del pomodoro.

## BIBLIOGRAFIA

- IPCC, (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman A. J., Ritchie, J.T., (2003). *The DSSAT cropping system model*. European Journal of Agronomy, 18, 235-265.
- Semenov, M.A., Barrow, E.M., (1997). *Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios*. Climatic Change, 35, 397-414.
- Ventrella, D., Charfeddine, M., Giglio, L., (2011). *Agronomic adaptation of winter wheat and tomato to climate change of a Mediterranean region*. Submitted to Regional Environmental Change.
- Castrignanò, A., De Benedetto, D., Girone, G., Guastaferrò, F., Sollitto, D., (2010). *Characterization, delineation and visualization of agro-ecozones using multivariate geographical clustering*. Italian Journal of Agronomy, 5(2), 121-132.



# CAMBIAMENTI CLIMATICI E DISPONIBILITA' DI ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE: TREND IN ATTO E PREVISIONI

POLEMIO MAURIZIO<sup>1</sup>, DRAGONE VITTORIA, CASARANO DOMENICO, BASSO ALESSIA  
BRUNETTI MICHELE<sup>2</sup>, MAUGERI MAURIZIO<sup>2,3</sup>, NANNI TERESA<sup>2</sup>, SIMOLO CLAUDIA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CNR IRPI, Bari, Italia, m.polemio@ba.irpi.cnr

<sup>2</sup> ISAC-CNR, Bologna, ITALIA

<sup>3</sup> Dipartimento di fisica, Università degli Studi di Milano, Milano, Italia

## RIASSUNTO

La variabilità climatica spazio-temporale è stata riprodotta considerando un ampio settore dell'Italia meridionale mediante una griglia di 1 km di lato dal 1900 al 2009, ricostruendo piovosità e temperature mensili. Sono stati selezionati un bacino idrogeologico e uno idrografico in base alla disponibilità di dati di portata e al basso impatto antropico sul ciclo idrologico. Una volta definiti i modelli di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali o sotterranei, sono stati stimati i valori di piovosità e temperatura utilizzando uno scenario previsionale applicato a ciascun nodo della griglia. I risultati mostrano che il calo in atto della disponibilità idrica proseguirà nel periodo di previsione.

**Parole chiave:** Cambiamento climatico, risorse idriche, modelli climatici, serie storiche, Campania, Puglia

## INTRODUZIONE

Le recenti variazioni del clima stanno determinando preoccupanti rischi di impoverimento delle risorse idriche in diversi contesti geografici, tra i quali si distingue il caso dell'Italia meridionale (Dragoni e Sukhija 2008, Polemio e Casarano 2008). La valutazione dell'evoluzione della disponibilità delle risorse idriche, presente e futura, richiede una adeguata stima degli afflussi meteorici e delle perdite per evapotraspirazione sull'intera area. Questo non è possibile se si dispone solo di poche serie pluviometriche, in grado di fornire unicamente indicazioni sulla tendenza a lungo termine delle anomalie (caratterizzate da una buona coerenza spaziale) ma non sull'apporto totale integrato sull'intero bacino. Questo perché i gradienti spaziali dei valori assoluti sono molto forti e dipendono in modo determinante dall'orografia.

È quindi necessario mettere a punto metodologie che permettano di trasferire ad un livello il più possibile vicino alla scala locale le informazioni contenute nelle serie temporali di dati rilevati, ovvero che consentano di ottenere in modo opportuno dataset di variabili meteorologiche ad alta risoluzione. Tali dataset ad alta risoluzione sono anche un eccellente strumento da utilizzare per il downscaling degli output dei modelli climatici: essi permettono di costruire informazioni sul clima futuro ad una scala spaziale estremamente fine, indispensabile per la valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla disponibilità delle risorse idriche.

L'articolo riassume l'esperienza di ricerca svolta studiando le principali variabili climatiche a scala di Italia meridionale, nel contesto della quale sono state selezionate due aree particolarmente significative dal punto di vista idrologico.

## AREA DI STUDIO E METODI

Le due aree di indagine selezionate sono il bacino idrogeologico della sorgente di Caposele e il bacino idrografico del torrente Cervaro. I due bacini, ubicati in Italia meridionale, impegnano diversi domini geostutturali, di catena il primo (Appennino Campano-Lucano) e di avanfossa il secondo (Fossa Bradanica). Il bacino di Caposele si estende per circa 110 km<sup>2</sup> tra le province di Avellino e di Salerno, includendo il monte Cervialto (344-1808 m slm). Il bacino idrogeologico è dominato dall'affioramento di una potente successione di calcari dolomitici, calcari e calcari con intercalazioni di conglomerati. Il

bacino del Cervaro si estende per circa 775 km<sup>2</sup> tra le province di Foggia e Avellino (per una più dettagliata descrizione si rimanda, per brevità, a Fiorillo e Doglioni 2010 e alla relativa bibliografia). Il torrente Cervaro, lungo circa 85 km, si sviluppa a monte nel Subappennino Dauno e a valle nel Tavoliere, con foce nel mare Adriatico (da 0 a 1103 m slm). A monte affiorano in prevalenza litotipi pelitici e dominano morfologie blande, caratterizzate da pendenze in genere non elevate. La zona del Tavoliere, di pianura, è costituita da sedimenti alluvionali, alluvioni terrazzate e per colmata, depositi fluviali ed eluviali, cordoni litorali e dune determinano in affioramento litologie che coprono un intervallo granulometrico estremamente ampio.

La selezione dei due bacini ha avuto lo scopo di individuare, tra i domini idrologicamente significativi, quelli in cui l'effetto antropico sul ciclo idrologico fosse trascurabile o minimo. I principali dati idrologici utilizzati consistono in due serie storiche: la portata della sorgente Sanità di Caposele (dati recenti su cortesia di Acquedotto Pugliese), costituita da 90 anni di osservazioni (1920-2009), e la portata del fiume Cervaro ad Incoronata, gestita dal Servizio Idrografico della Regione Puglia, con 67 anni di osservazioni pubblicate negli Annali Idrologici (1930-1996). L'analisi delle serie storiche dei dati è stata condotta con metodi statistico-descrittivi e metodologie di analisi delle serie temporali (Box et al., 1994).

I dati per l'analisi idrologica sono stati raccolti e analizzati mediante un geodatabase. I livelli informativi utilizzati sono: formazioni geologiche, lineazioni tettoniche, forme carsiche, limiti idrologici, idrografia superficiale, complessi idrogeologici (associati al coefficiente di infiltrazione CI, secondo Civita, 1987), classificazione pedologica, uso del suolo, gruppi idrologici omogenei (in base alla pedologia e all'uso del suolo e alle procedure definite da USDA (1986) per la determinazione del curve number CN). In ogni cella di discretizzazione, il calcolo della evapotraspirazione reale mensile (Er) viene effettuato con il metodo Thornthwaite-Mather (1957), che utilizza principalmente come dati la piovosità e la temperatura mensile. La piovosità efficace (Pe) mensile si ottiene sottraendo Er alla piovosità (P). L'infiltrazione (I) nel sottosuolo è pari al prodotto tra Pe e CI; infine il deflusso si calcola sottraendo Er e I a P.

## **GRIGLIE TERMO-PLUVIOMETRICHE**

Le griglie termo-pluviometriche ad alta risoluzione sono state realizzate mediante la sovrapposizione di due campi: i valori normali relativi a un periodo standard, che definiscono la climatologia, e le deviazioni da questi, definite anomalie. La proiezione di queste ultime su di un grigliato ad alta risoluzione è pienamente giustificato dal fatto che le fluttuazioni temporali delle variabili meteorologiche, legate alla variabilità climatica, presentano una buona coerenza spaziale; ciò fa sì che i dati registrati presso una stazione di misura non siano rappresentativi del solo punto in cui la stazione è collocata, ma rappresentino una porzione di territorio centrata intorno alla stazione stessa. Le climatologie, al contrario, sono legate alle caratteristiche geografiche del territorio, per cui i gradienti spaziali sono molto più forti ed è necessario un maggior numero di stazioni (tuttavia per un intervallo temporale più ridotto) per rappresentarli. I due campi ora descritti possono essere ricostruiti in modo del tutto indipendente e basandosi su dataset diversi (alta densità spaziale e breve lasso temporale per le climatologie, bassa densità spaziale e lunga estensione temporale per le anomalie).

Le lunghe serie storiche disponibili vengono, in primo luogo, trasformate in serie mensili di anomalie rispetto ai valori medi del periodo di riferimento 1961-1990. Queste serie di anomalie hanno un'elevata coerenza spaziale e possono essere proiettate su griglia (ovvero spazializzate) mediante algoritmi statistici standard. Sui medesimi punti di griglia vengono stimati i valori medi mensili (le climatologie) termometrici e pluviometrici del periodo di riferimento per ogni mese dell'anno. Una volta disponibili le anomalie e le climatologie sulla medesima griglia, si procede semplicemente a sovrapporre i due campi per ottenere serie temporali termopluviometriche in valore assoluto stimate in ogni nodo della griglia. Mentre la procedura di spazializzazione delle anomalie è stata realizzata con procedure statistiche standard, la costruzione delle climatologie ha richiesto uno sforzo notevole, sia in termini di acquisizione di nuovi dati, sia in termini di definizione di nuove metodologie. Le climatologie sono state ottenute con un modello di interpolazione (Brunetti et al., 2009a,b) che usa dati puntuali di stazioni e dati ottenuti da un modello di elevazione digitale (DEM) in modo da catturare la complessità del legame tra la variabile

meteorologica e la quota. Per ciascuna stazione si calcola un peso in base alla distanza e alle differenze di orientazione (facet) e di pendenza (slope) tra stazione e punto di griglia, arrivando alla valutazione della dipendenza locale della precipitazione o della temperatura dalla quota, mediante una regressione lineare pesata.

Seguendo la procedura ora descritta sono stati costruiti due dataset su griglia di risoluzione 1km per il periodo 1900-2009, uno per le precipitazioni e uno per le temperature, per l'area 14.5°-16.0° est 40.5°-41.5° nord.

## **DISPONIBILITA' DELLE RISORSE IDRICHE**

Per quanto siano state analizzate serie di misure mensili se non giornaliere, si riportano per brevità i risultati relativi all'analisi dei valori annuali. Nel periodo di studio 1920-2009 la portata minima, media e massima osservate sono rispettivamente pari a 2,8, 3,9 e 5,7 m<sup>3</sup>/s per la sorgente Sanità di Caposele e (1930-1996) 0,3, 2,7 e 6,7 m<sup>3</sup>/s per il torrente Cervaro.

Per ciascuna serie temporale è stato determinato il trend nel periodo di osservazione, quantificato mediante il coefficiente angolare della retta di regressione. In entrambi i casi è risultata una tendenza rilevante alla diminuzione del deflusso, sia superficiale che profondo. La perdita tendenziale della portata nel rispettivo periodo di misura è stimabile per la sorgente di Caposele in 0,62 m<sup>3</sup>/s (pari al 16% della media) e in 1,09 m<sup>3</sup>/s (pari al 40% della media) per il torrente Cervaro.

L'attendibilità statistica della regressione è stata positivamente valutata mediante l'indice di correlazione R per ranghi di Spearman, un test statistico non parametrico.

Utilizzando la griglia di 1 km, è stato quantificato il processo di infiltrazione e di formazione del deflusso elaborando i dati dei diversi livelli informativi raccolti. Le serie storiche idrologiche sono state utilizzate per validare i dati e calibrare i due diversi modelli per i due bacini di studio. La procedura di calcolo o modello idrologico è a questo punto in grado di effettuare una stima dei deflussi per il futuro, utilizzando come input i dati di scenario climatico.

Lo scenario di emissioni utilizzato è l'A1B del CMIP3 ottenuto con il modello ECHAM 4.6 dall'INGV. La temperatura a 2 metri e le precipitazioni sono state disaggregate con tecniche statistiche sulla medesima griglia costruita per il passato, generando così una proiezione ad alta risoluzione per le due variabili meteorologiche da innestare nel modello idrologico.

L'applicazione del modello al bacino idrogeologico di Caposele restituisce un valore di piovosità media annua di 1538 mm nel periodo 1900-2009; la tendenza nel periodo risulta lievemente negativa, con una piovosità media di 1479 mm nell'ultimo trentennio. I valori medi annui di temperatura ed evapotraspirazione reale risultano rispettivamente di 9,8°C e di 307 mm. La tendenza termometrica risulta significativamente positiva, con un valore medio di 10,4°C per il trentennio 1980-2009 e di 10,8°C nel decennio 2000-2009. L'infiltrazione media annua è stimata pari a 3,80 m<sup>3</sup>/s, in buon accordo con i dati sperimentali (3,9 m<sup>3</sup>/s nel periodo 1920-2009). Le previsioni fino al 2100 mostrano una tendenza all'aumento della temperatura e alla contemporanea riduzione della piovosità. I valori medi di temperatura e piovosità calcolati per il periodo 2010-2100 risultano di 11,7°C e 1258 mm, raggiungendo i 12,5°C e 1102 mm con riferimento al trentennio 2071-2100. Le variazioni inducono anche un aumento dell'evapotraspirazione per cui le previsioni per il periodo 2010-2100 indicano drastiche riduzioni della portata sorgiva. La portata media scenderebbe a 2,29 m<sup>3</sup>/s nel trentennio 2071-2100, con un calo pari al 41% della portata media osservata.

L'applicazione del modello al bacino del torrente Cervaro indica un valore di piovosità media annua di 664 mm nel periodo 1900-2009; la tendenza nel periodo risulta lievemente negativa (646 mm nell'ultimo trentennio). I valori medi annui di temperatura ed evapotraspirazione reale sono rispettivamente di 14,1°C e di 443 mm. La tendenza termometrica risulta positiva, con un valore medio di 14,6°C nel trentennio 1980-2009 e di 15,1°C nel decennio 2000-2009. I valori di deflusso calcolati indicano, per il periodo 1900-2009, una stima di 2,84 m<sup>3</sup>/s, in buon accordo con i dati sperimentali (2,7 m<sup>3</sup>/s nel periodo 1930-1996). Le previsioni fino al 2100 sono nuovamente trend positivo per la temperatura e negativo per la piovosità. I valori medi di temperature e precipitazioni calcolati per il periodo 2010-2100 risultano di

16,0°C e 519 mm, (16,7°C e 451 mm con riferimento al trentennio 2071-2100). Visto il contestuale aumento dell'evapotraspirazione, le previsioni per il periodo 2010-2100 indicano drastiche riduzioni della portata fluviale: la media scenderebbe a 1,58 m<sup>3</sup>/s nel trentennio 2071-2100, con un calo superiore al 40% della portata media osservata.

## CONCLUSIONI

E' stato realizzato ogni possibile sforzo per conseguire la migliore accuratezza delle valutazioni quantitative descritte. La validazione effettuata considerando il ciclo idrologico nel suo insieme garantisce che tali valutazioni rappresentino una stima complessivamente attendibile delle variazioni climatiche in atto e delle conseguenti variazioni idrologiche.

In estrema sintesi, i risultati mostrano che le variazioni climatiche tendenziali, occorse negli ultimi 110 anni, hanno causato un calo rilevante di disponibilità di risorse idriche, superficiali e sotterranee, in particolare negli ultimi decenni; inoltre, i dati risultanti dai modelli previsionali applicati fino al 2100 indicano che tale tendenza potrà ulteriormente aggravarsi nel prossimo futuro.

## BIBLIOGRAFIA

- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., and Reinsel, G. C. (1994). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, 3rd ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Brunetti M., G. Lentini, M. Maugeri, T. Nanni, C. Simolo, J. Spinoni; 2009a. *Estimating local records for Northern and Central Italy from a sparse secular temperature network and from 1961-1990 climatologies*. Advances in Science and Research, 3, 63-71.
- Brunetti M., G. Lentini, M. Maugeri, T. Nanni, C. Simolo, J. Spinoni; 2009b. *1961-1990 high-resolution Northern and Central Italy monthly precipitation climatologies*. Advances in Science and Research, 3, 73-78.
- Civita M., (1987). *La previsione e la prevenzione del rischio d'inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante le Carte di vulnerabilità*, Atti del Convegno "Inquinamento delle Acque Sotterranee: Previsione e Prevenzione", Mantova: 9-18.
- Dragoni W., Sukhija B. S. (2008). *Climatic Change and Groundwater*. London, The Geological Society Publishing House, Geological Society Special Publication, n. 288.
- Fiorillo F., Doglioni A. (2010). *The relation between karst spring discharge and rainfall by cross correlation analysis (Campania, southern Italy)*. Hydrogeology Journal, 18: 1881-1895.
- Polemio, M., Casarano, D., (2008) *Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy*. Climate Change and Groundwater (Dragoni W., Sukhija B.S. eds), Geological Society, London, Special Publications, 288, 39-51.
- Thornthwaite C.W., Mather J.R., (1957.) *Introduction and tables for computing potential evapotranspiration and waterbalance*. Cencerton.
- USDA (1986). *Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55 (TR-55)* (Second Edition ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division.

# **VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI NELLA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE: ESPERIENZE DELLA REGIONE UMBRIA NELL'AMBITO DEL PROGETTO "SECLI" – RISULTATI PRELIMINARI**

ANGELO VITERBO<sup>1</sup>, NICOLA BERNI<sup>2</sup>, LOREDANA NATAZZI<sup>1</sup>, CLAUDIA PANDOLFO<sup>2</sup>, MARCO STELLUTI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>REGIONE UMBRIA, Direzione Ambiente, Territorio e Infrastrutture – Servizio Risorse Idriche e Rischio Idraulico  
*centrofunzionale@regione.umbria.it*

<sup>2</sup>REGIONE UMBRIA, Direzione Ambiente, Territorio e Infrastrutture – Servizio Protezione Civile

## **RIASSUNTO**

Negli ultimi dieci anni la Regione Umbria è stata interessata da periodi di scarsità di precipitazione, in particolare tra il 2001 ed il 2002 e tra il 2006 e il 2008, con una drastica riduzione degli afflussi meteorici e da quattro eventi alluvionali significativi; in tutti i casi sono stati registrati danni per svariati milioni di euro. Per questo è stata programmata l'attività del progetto SECLI indirizzata a stabilire, nel territorio umbro, le conseguenze dei processi naturali (essenzialmente variazioni climatiche) e dei processi antropici per ottenere indicazioni per un uso sempre più razionale della risorsa acqua sia superficiale che sotterranea.

**Parole chiave:** cambiamenti climatici, gestione risorse idriche, progetto SECLI, Umbria.

## **INTRODUZIONE**

La valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici nella gestione delle risorse idriche è un problema di fondamentale importanza per quel che riguarda un uso programmato consapevole dell'acqua anche e soprattutto per la definizione del fabbisogno idrico per differenti scenari futuri che una pubblica amministrazione è obbligata a prevedere e gestire. Nell'ultimo decennio in Umbria per due volte, tra il 2001 e il 2002 e tra il 2006 e il 2008, si è giunti alla dichiarazione di stato di calamità naturale da parte del governo a causa di persistenti eventi siccitosi. Durante tale decennio sono stati anche registrati quattro eventi alluvionali significativi che hanno investito per la quasi totalità il territorio regionale (Novembre 2005, Novembre 2008, Gennaio 2010 e Dicembre 2010) caratterizzati da onde di piena che, in alcuni tratti del reticolo idrografico, hanno raggiunto valori di picco associabili statisticamente a tempi di ritorno di 50 anni causando ingenti danni economici.

La Regione ha già pianificato la gestione delle risorse idriche destinate ad uso idropotabile, anche tramite nuovi sistemi acquedottistici, redigendo nel 2007 un nuovo Piano Regolatore Regionale degli Acquedotti (PRRA) con cui si è concluso un percorso di studi conoscitivi e propedeutici iniziato negli anni '90.

Il Piano, oltre a individuare le fonti di approvvigionamento idrico quali le formazioni calcaree, le formazioni vulcaniche e le acque d'invaso, definisce gli schemi acquedottistici, con la costruzione di 8 grandi sistemi, in parte interconnessi fra di loro, in modo da sopperire ad eventuali emergenze.

A seguito della prima fase di emergenza siccitosa, sono stati realizzati 7 degli 8 sistemi, con un impegno di spesa di circa 65 milioni di euro; tali interventi hanno permesso di mitigare considerevolmente gli effetti della seconda crisi idrica. E' previsto lo stanziamento di altri 42 milioni di euro che permetteranno entro tre anni di completare (ad eccezione della zona dell'Alto Chiascio) i sistemi individuati dal Piano.

In particolare, il PRRA si fonda su concetti di uso sostenibile dell'acqua e prevede un utilizzo delle risorse idriche in funzione del loro andamento stagionale. Per soddisfare i momenti di picco del fabbisogno giornaliero è stato anche previsto un approvvigionamento idrico in esubero rispetto alle necessità medie, per tenere conto sia di una possibile diminuzione delle portate erogate da sorgenti e pozzi, che di possibili guasti agli impianti di sollevamento ed alle condotte di adduzione, cui è possibile ovviare con l'utilizzo di risorse alternative o con le interconnessioni.

## **METODOLOGIA**

Nell'ultima crisi idrica manifestatasi in Umbria nel 2007 i nuovi grandi sistemi acquedottistici hanno permesso di mitigare gli effetti del periodo siccitoso per l'approvvigionamento idropotabile.

Considerando però che il Piano si è basato su scenari climatici classici, la Regione si è posta il problema di valutare eventuali impatti, sulla gestione delle risorse idriche, dei possibili cambiamenti climatici. A tal proposito è stato individuato un progetto di ricerca, tuttora in corso e con termine previsto nel 2013, denominato SECLI e finanziato con fondi POR-FESR 2007-2013, affidato ad un gruppo di ricerca coordinato dall'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRPI-CNR) e composto da:

1. Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR)
2. Dipartimento Scienze della Terra, Università di Perugia (DiST-UNIPG)
3. Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università di Perugia (DICA)

Il progetto è indirizzato a valutare gli effetti combinati dei processi naturali ed antropici legati ai cambiamenti climatici sulla risorsa acqua e in particolare sulle fonti di approvvigionamento. L'analisi sarà di supporto all'individuazione delle soluzioni per adeguare il sistema ai possibili scenari di impatto climatico.

La prima fase del progetto ha riguardato l'elaborazione di strumenti utili alla prevenzione e gestione degli eventi di siccità attraverso indicatori integrati rappresentativi dello stato quantitativo e del trend delle risorse idriche nel loro complesso. A questo scopo è stato fatto riferimento anche ad altre esperienze analoghe in ambito nazionale ed internazionale, con particolare riferimento alle attività del gruppo della CE Water Scarcity and Droughts. In particolare, sono state analizzate le serie storiche relative ai dati idro-meteorologici del bacino dell'Alto e Medio Tevere (acquisite e riorganizzate in un database di tipo open-source e pubblicate nel sito web <http://secli.unipg.it/secli/>), al fine di individuare trend climatici del passato e stabilire le possibili correlazioni fra le diverse grandezze in esame, mediante indicatori standardizzati (Box & Jenkins 1976, Bras & Rodriguez-Iturbe 1985, Brocca et al. 2010, Brunetti et al. 2006, Whittle 1953):

- acquisizione e validazione serie climatiche (temperatura, umidità, precipitazione, portata sorgente e corso d'acqua) del bacino dell'Alto e del Medio Tevere;
- ricostruzione di serie incomplete con serie di dati superiori a 30 anni;
- analisi spaziale e temporale dei dati meteo-idrologici, utilizzando indicatori standardizzati;
- individuazione trend climatici e loro ciclicità su lunghi periodi;
- elaborazione di indicatori di stato quantitativo finalizzati alla gestione degli eventi siccitosi.

Successivamente sono stati individuati scenari plausibili della disponibilità della risorsa idrica nell'Alto e Medio Tevere. Sulla base delle osservazioni sono state generate stocasticamente serie pluviometriche orarie sintetiche di lungo periodo che sono state perturbate alterando alcuni valori dei parametri statistici; tali serie sono state utilizzate come input di un modello idrologico in continuo (MISDC), implementato dall'IRPI (Brocca et al. 2008), per la generazione di serie sintetiche di portata da cui giungere ad una valutazione della disponibilità della risorsa idrica (Cowpertwait 1996, Montanari et al. 1997, Camici et al. 2011).

Inoltre, per simulare la resilienza dei volumi nei serbatoi è stato definito un modello di simulazione degli scenari di utilizzo plurimo della risorsa idrica (potabile, irriguo, ambientale e per la laminazione delle piene). Lo strumento utilizzato è il modello, a scala temporale settimanale o mensile, SimBaT (Simulazioni Bacino Tevere) sviluppato dal DICA (Casadei et al. 2008), sul quale sono state identificate le modifiche ai diagrammi di invaso del serbatoio determinate dai cambiamenti climatici e gli scenari di utilizzo della risorsa in funzione delle varie tipologie di uso, individuando gli eventuali potenziali deficit e di come gestire la risorsa in tali casi.

Questo approccio, legato all'impatto dei cambiamenti climatici sulla gestione dei serbatoi da cui si approvvigiona la Regione Umbria, è stato seguito anche per quanto riguarda gli approvvigionamenti da falda alluvionale: in particolare l'area della Valle Umbra cui fanno riferimento i prelievi di circa un quarto della popolazione regionale (Petrignano d'Assisi, Bastia Umbra e Pianello) (Cambi & Dragoni 2000, De Felice & Dragoni 1994, Di Matteo & Dragoni 2006, Dragoni 1998, Dragoni & De Felice 1994).

## CONCLUSIONI

L'attività ad oggi svolta nell'ambito del progetto SECLI, tuttora in corso e con termine nel 2013, ha consentito di raggiungere già alcuni risultati nell'ambito della caratterizzazione dei possibili effetti dei cambiamenti climatici nella gestione delle risorse idriche in Umbria:

- Per la porzione del bacino del F. Tevere che ricade nel territorio umbro la stima dell'indice standardizzato di precipitazione a scala annuale (Fig 1.b) e stagionale e dell'intensità media della precipitazione. Sono stati calcolati gli indici standardizzati nelle aree campione del progetto SECLI (Bagnara e Petrigliano). Sono stati analizzati i trend dei suddetti indici e sono stati elaborati alcuni scenari relativi alla variazione nel tempo dell'anomalia di precipitazione (Fig 2.b).

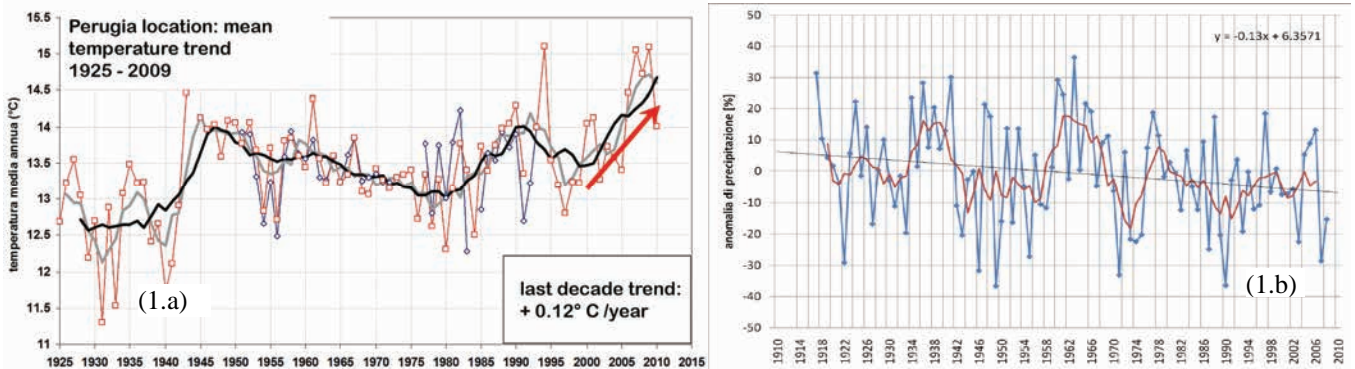


Figura 1 - Andamento delle temperature medie nella stazione di Perugia (1.a); andamento dell'indice standardizzato di precipitazione alla scala annuale (valore annuale, azzurro, media mobile a 5 anni, rosso); retta di regressione lineare (1.b).

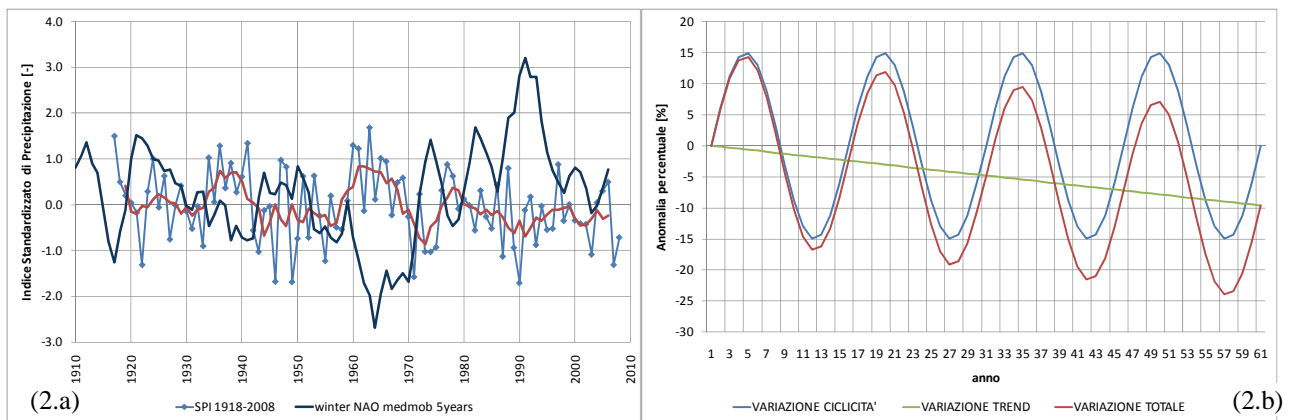


Figura 2 - Confronto tra SPI alla scala annuale e NAO (winter NAO fonte: [www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/Data/naodjfmindex.xls](http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/Data/naodjfmindex.xls)) (2.a); Variazione nel tempo dell'anomalia di precipitazione (linea rossa) ottenuta come sovrapposizione di una variazione ciclica (linea blu) e di un trend lineare (linea verde) (2.b).

- Sviluppo, implementazione e validazione di un modello idrologico in continuo per la stima delle portate nel bacino dell'Alto e Medio Tevere. Il modello è stato calibrato e applicato per le due aree campione selezionando dimostrandosi affidabile nella simulazione dei deflussi alla scala temporale semioraria, giornaliera e mensile nonostante il limitato numero di parametri.
- Analisi degli effetti sulla risorsa idrica sotterranea delle variazioni di bilancio sulle strutture carbonatiche a seguito di cambiamenti climatici con riferimento all'area campione della sorgente di Bagnara.
- Implementazione ed aggiornamento del modello SimBaT nel WEB (Casagrande et al. 2010) per consentire la definizione condivisa di scenari di simulazione in funzione dei dati di input idrologico e di input sugli utilizzi: dall'esame delle serie storiche dei deficit annuali (rispetto al target previsto nella pianificazione) che si sono registrati nelle varie utenze in funzione della serie storica dei volumi di invaso

registrati nei corrispondenti serbatoi, è possibile mettere in relazione la probabilità di un prefissato livello di deficit dell'utenza in funzione del volume di invaso che si è registrato in una prestabilita settimana.

## BIBLIOGRAFIA

- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., (1976). *Time series analysis: forecasting and control*. Edizione rivista, Holden-Day, Merrifield, Va.
- Bras, R.L., Rodriguez-Iturbe, I., (1985). *Random function and hydrology*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T., Singh, V.P., (2008). *A continuous rainfall-runoff model as tool for the critical hydrological scenario assessment in natural channels*. In: M. Taniguchi, W.C. Burnett, Y. Fukushima, M. Haigh, Y. Umezawa (Eds), *From headwater to the ocean. Hydrological changes and managements*, Taylor & Francis Group, London, 175-179.
- Brocca, L., Camici, S., Tarpanelli, A., Melone, F., Moramarco, T., (2010). *Analisi pluviometrica preliminare per la sorgente Bagnara*. Rapporto IRPI-CNR, Febbraio 2010.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T., (2006). *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series*. *Int. J. Climatol.* 26, 345-381.
- Cambi, C., Dragoni, W., (2000). *Groundwater yield, recharge variability and climatic changes: considerations arising from the modelling of a spring in the Umbria-Marche Apennines*. *Hydrogeology*, vol. 4, ed. BRGM, 11-25.
- Camici, S., Romano, E., Preziosi, E., Tarpanelli, A., Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T. (2010). *Analisi di trend e ciclicità di serie storiche pluviometriche per la modellazione stocastica di scenari di precipitazione in condizioni di cambiamenti climatici*. Atti delle Giornate di Studio "Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali. Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione", Bari, 10-11 Marzo 2011, sottomesso.
- Casadei, S., Bellezza, M., Pierleoni, A., (2008). *La gestione della risorsa idrica nell'alta valle del Fiume Tevere: scenari presenti e futuri*. Atti 31° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche.
- Casagrande, L., Bellezza, M., Casadei, S., Pierleoni, A., (2010). *An Hydrogeological Web-GIS Platform for Water Resource Management and Consensus Reaching at the Basin Scale*, Proc. Of the Balwois Conference Water observation and information system for decision support.
- Cowperrwait, P. S. P., (1996). *A generalized spatial-temporal model of rainfall based on a clustered point process*. Proc. of the R. Soc. of London, Series A, 450, 163-175.
- De Felice, A.M., Dragoni, W., (1994). *Considerazioni su variazioni climatiche e disponibilità idriche in alcune località dell'Italia Centrale*. IL QUATERNARIO, vol VII 1b, 357-364.
- Di Matteo, L., Dragoni, W., (2006). *Climate Change and Water Resources in Limestone and Mountain Areas: the case of Firenzuola Lake (Umbria, Italy)*. Hydrokarst 2006 (8th Conference on Limestone Hydrogeology), Neuchâtel, Switzerland, 46-52.
- Dragoni, W., De Felice, A.M., (1994). *Alcune considerazioni sul futuro delle risorse idriche in Umbria*. *Acque Sotterranee*, XI(4), 31-38.
- Dragoni, W., (1998). *Some considerations on climatic changes, water resources and water needs in the Italian region south of the 43°N*. In *Water, Environment and Society in Times of Climatic Change*. Issar A., Brown N. editors. Kluwer, 241-271.
- Montanari, A., Rosso, R., Taqqu, M.S., (1997). *Fractionally differenced ARIMA models applied to hydrologic time series: identification, estimation and simulation*. *Water Resour. Res.*, 33, 1035-1044.
- Whittle, P., (1953). *Estimation and information in stationary time series*. *Ark. Mat.*, 423-434.



## Indice autori

Acampora G	81	Curtaz M.	65
Adamo M.	85	D'Amato Avanzi G.	141, 153
Amoruso G.	181	De Benedetto D.	33
Andriani G. F.	149	De Paola F.	9, 101
Apuani T.	185	Del Bon A.	113
Arattano M.	157	Dematteis A.	73, 105
Aureli A.	37, 49	Dematteis N.	73, 105
Bajocco S.	193	Di Ludovico A.	165
Baldassarre G.	177	Di Niro A.	165
Balenzano A.	85	Dipasquale M.	37, 49
Bassi M.	53	Dogliani A.	21, 125
Basso A.	213	Dragone V.	201, 213
Belmonte A.	85	Ducci D.	9
Berni N.	217	Ferrara R. M.	41
Bertotto S.	109	Filippi M. L.	73, 105
Biagi B.	85	Fioraso G.	109
Blonda P.	85	Fiorillo F.	17
Bovenga F.	85	Fontan D.	73
Brocca L.	97, 205	Galanti Y.	141, 153
Brunetti M.	57, 213	Galeazzi C.	169
Brussolo E.	93	Galli M.	1
Calandrelli M. M.	81	Gallicchio S.	89, 149
Calandrelli R.,	81	Germani C.	169
Caloi V.	169	Giachetta E.,	69
Caloiero T.,	57	Giacovazzo V. M.	85
Calzolari C.	117	Giancola M.	165
Camera C.	185	Giannecchini R.	141, 153
Camici S.	97, 205	Giardino M.	109
Campi P.	133	Giglio L.	25
Capolongo D.	69	Gioia D.	89
Capriolo A.	173	Giordano F.	173
Caputo R.	121	Girone G.	33
Cardinale N.	145	Giugni M.	9
Casarano D.	213	Grippa A.	149
Cassardo C.	1	Guadagno F.M.	17
Castrignanò A.	33	Gullà G.	57
Ceccarelli T.	193	Intini F.	181
Charfeddine M.	25, 209	Izzo M. P.	165
Chiarle M.	109, 157	La Vigna F.	137
Cilumbriello A.	149	Lazzari S.	197
Cirillo C.	81	Letey S.	65
Colombino G.	53	Limoni P.P.	201
Corbino R.	181	Lonigro T	13
Coscarelli R.	57	Lopez N.	45
Coviello V.	157	Lopez R.	25
Cremonese E.	65	Lovergine F.	85
Cremonini R.	53	Mariotti S.	141
Cuculo F.	165	Masciocco L.	53

Mascolo R. A.	173	Sollitto D.	29
Masetti M.	185	Sollitto D.	29, 33
Mastrorilli M.	133	Spilotro G.	149
Mattia F.	85	Spizzichino D.	173
Maugeri M.	213	Stelluti M.	145, 217
Meisina C.	5, 61	Tarantino C.	85
Melone F.	97, 205	Tarpanelli A.	97, 205
Moramarco T.	97, 205	Tedeschi G.	181
Moretti M.	89	Tropeano M.	89, 149, 161
Moriondo M.	25	Ungaro F.	117
Morra di Cella U.	65	Urciuoli D.	165
Mortara G.	157	Vagliasindi M.	65
Murgese D.	73, 105	Vela N.	1
Nanni T.	57, 213	Veneziani N.	85
Natazzi L.	217	Ventrella D.	25, 209
Nigrelli G.	109	Visconti L.	61
Occhiena C.	157	Vitale D.	133
Ouechtati S.	177	Viterbo A.	217
Palumbo A. D.	133	von Hardenberg J.	93
Pandolfo C.	217	Walsh N.	149
Parise M.	169	Zitti M.	193
Pasqua A. A.	77	Zizioli D.	61
Pasquariello G.	85		
Perini L.	193		
Perotti L.	109		
Petrangeli A. B.	113, 129		
Petrucci O.	77		
Pirulli M.	157		
Pogliotti P.	65		
Polemio M.,.	13, 77, 201, 213		
Preziosi E.	113, 129, 205		
Provenzale A.	93, 189		
Rana G.	41		
Ranucci A.	101		
Rapti-Caputo D.	121		
Rebora N.	93		
Refice A.	69, 85		
Rinaldi M.	209		
Romano E.	113, 129, 205		
Rossi C. A.	149		
Sabato L.	89, 149, 161		
Salvati L.	193		
Sammarco M.	169		
Sanchez Palomo E.	109		
Satalino G.	85		
Scalcione E.	145		
Scarpa L.	81		
Scavia C.	157		
Simeone V.	125		
Simolo C.	57, 213		

**Con il patrocinio di**



**a r t i**  
Agenzia regionale  
per la tecnologia  
e l'innovazione



Regione Puglia



Provincia di Bari



Comune di Bari

**Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica  
Unità Organizzativa di Supporto di Bari**

via Amendola, 122/I - 70126 Bari - [www.ba.irpi.cnr.it](http://www.ba.irpi.cnr.it)