

COMUNE DI ANCONA

PROGETTO DI AMPLIAMENTO DEL CIMITERO

SITUATO IN LOCALITA' PINOCCHIO

COLOMBARI SUL LATO NORD

Indagine geologica – sismica

Committente: Amministrazione Comunale Ancona



Dott. geol.
Enzo Franchini
Via Trentino 22 e
Falconara M.ma
Tel. 071 911973



COMUNE DI ANCONA

PROGETTO DI AMPLIAMENTO DEL CIMITERO

SITUATO IN LOCALITA' PINOCCHIO

COLOMBARI SUL LATO NORD

Indagine geologica – sismica

INCARICO

Su incarico dell'*Amministrazione Comunale di Ancona*, viene condotto uno studio geologico sismico finalizzato alla necessità di adeguamento alla nuova normativa sismica (*D.M. 14/01/2008*) dell'indagine a suo tempo eseguita dallo scrivente (*) per un colombario da edificare sul lato nord del *Cimitero di Pinocchio*.

Il *Cimitero* esistente è ubicato in prossimità di *Via Pontelungo* a ridosso del fianco di una valletta risalente verso *SE* e le mura di cinta delimitano un'area pressoché quadrata di lato *70 m* circa in cui si riconoscono strutture sia di vecchia che di recente edificazione.

Il complesso da erigere consiste in due corpi ad impronta rettangolare lunghi circa *29 m*, larghi circa *3,5 m*, alti *5 m* circa, posti uno a fronte dell'altro, collegati ad una estremità con un corpo ad essi ortogonale, lungo *10 m* circa; l'ubicazione attuale non coincide perfettamente con quella del progetto iniziale in quanto i due colombari risultano leggermente più ravvicinati rispetto i precedenti.

*) Lo scrivente, nel marzo 2005 ha redatto, sempre per conto dell'*Amministrazione Comunale di Ancona* e con riferimento a più corpi fabbrica, una relazione geologica dal titolo "*Comune di Ancona-Progetto di ampliamento del Cimitero situato in località Pinocchio-Indagine geologica*", in parte nel frattempo edificati. A tale relazione, completa di inquadramenti geologico e morfologico, di sondaggi e prove penetrometriche, di ricostruzioni stratigrafiche, di valutazioni analitiche orientative, la presente relazione fa specifico riferimento.

METODOLOGIA DI INDAGINE

La normativa vigente richiede una stima del parametro V_{s30} , corrispondente ad una specie di velocità media pesata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m almeno di profondità nel sito di edificazione.

E' stata fatta eseguire pertanto un prova sismica passiva con metodologia *MASW* (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) che consente di risalire ad un profilo di velocità delle onde di taglio verticali sulla base della misura delle onde superficiali in corrispondenza di uno stendimento di diversi geofoni ed una prova *HVSR* (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) basata sulle vibrazioni sismiche ambientali (*rumore sismico o microtremore*) considerate onde di *Rayleigh*, che consente lo studio delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito.

L'indagine geofisica è stata condotta da una ditta del settore specializzata e la relazione specifica viene allegata.

SITUAZIONE LITOSTRATIGRAFICA LOCALE

Nel 2005 furono eseguiti nell'area vari sondaggi introspettivi: le terebrazioni più pertinenti all'area in oggetto sono il sondaggio *S2* e la prova penetrometrica statica *CPT4* (posti a quote leggermente diverse rispetto il piano del piazzale).

Sulla base degli elementi a suo tempo reperiti sono state elaborate in scala 1:200 le sezioni geologiche *EF* e *GH* che si allegano alla presente assieme ad una nuova sezione, *MN*, trasversale alle precedenti.

L'interpolazione eseguita ha consentito di risalire alla presenza in sub affioramento di *limi argillosi o argilloso sabbiosi di tipo colluviale*, con tracce organiche, di potenza crescente da est ad ovest, poggianti su *limi argilloso marnosi con livelletti sabbiosi* appartenenti alla formazione marina in posto conosciuta come *Argille a Colombacci*.

La successione stratigrafica è stata così ricostruita :

-da 0,0 m dal piano del piazzale, a prevedibilmente 0,5-0,7 m di profondità, affiora la pavimentazione ed il relativo sottofondo (*litotipo a*) ;

-da 0,5-0,7 m a 0,8-1,2 m (... a 1,8-1,5 m dal p.c. di esecuzione dei sondaggi) si incontra limo argilloso organico classificabile come terreno vegetale (*litotipo b*);

-da 0,8-1,2 m a 4,5-13,8 m circa (... a 5,9-14 m dal p.c di esecuzione dei sondaggi) seguono limi argillosi sabbiosi con tracce organiche di tipo colluviale (*litotipo c*);

-da 4,5-13,8 m (da 5,9-14 m dal p.c di esecuzione dei sondaggi) a fine sondaggi, seguono limi argillosi (marnosi) a consistenza elevata, con saltuari veli e livelletti sabbiosi, riconoscibili come termini della formazione marina in posto costituita da *Argille a Colombacci*, eluviale a tetto (*litotipo d*).

Tralasciando i *litotipi a e b* di tipo organico e di modesto spessore, si può orientativamente ritenere la *coesione non drenata* c_u sia valutabile per il *litotipo c* mediamente $c_u=1-1,2 \text{ kg/cm}^2$ ma con valori abbastanza elevati a tetto ($c_u \approx 1,5-2 \text{ kg/cm}^2$) e abbastanza modesti al letto ($c_u \approx 0,6-0,7 \text{ kg/cm}^2$) e ciò anche con spessori di potenza variabile da est ad ovest e da nord a sud.

Per la formazione marina, si possono ritenere valori crescenti con la profondità, con $c_u \geq 3 \text{ kg/cm}^2$ (*)

INQUADRAMENTO SISMICO

La recente normativa edilizia (*DM 14/01/2008*) richiede nella progettazione, la valutazione dell'azione sismica, la quale viene definita in funzione della localizzazione del sito nei confronti di una rete sismica nazionale, della tipologia della successione stratigrafica esistente nel sottosuolo e della velocità sismica equivalente V_{s30} che la contrassegna, nonché sulla base della caratteristica e destinazione dell'opera edilizia stessa.

Come si è detto è stata eseguita una analisi sismica di tipo *MASW* ed *HVSR (tromino)* che ha fornito per il sito nei primi trenta metri di profondità, un valore della velocità delle onde di taglio pari a $V_{s30}=334 \text{ m/s}$ ed un picco di risonanza alla frequenza di $4,5 \text{ Hz}$.

Il valore V_{s30} ottenuto, in base alla *tabella 3.2.II* delle *NTC*, fa rientrare il sottosuolo del sito nei "*depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti caratterizzati da valori V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s...*" cioè nella *categoria C* (**).

-
- *) Si è cercato di individuare stratigraficamente i valori della *coesione non drenata* in quanto la normativa prevede in via del tutto semplificativa ed in mancanza di elementi derivanti da prove sismiche, la possibilità in alternativa di risalire da detti dati, alla caratterizzazione del sottosuolo.
- **) Utilizzando i dati di *coesione* c_u per una stratigrafia tipo che comporti nei primi 10 m, $c_u=100 \text{ kPa}$ e nel restante tratto $c_u=300 \text{ kPa}$ come mediamente si potrebbe derivare dai dati geotecnici riscontrati nel sito, si perverrebbe a $c_{u30}=\sum h_i/\sum(h_i/c_{u_i}) \approx 183,7 \text{ kPa}$ che per essere $70 < c_{u30} < 250 \text{ kPa}$ (*tab. 3.2 II*), parimenti può portare all'identificazione di una categoria di suolo C.

Assegnando allora al parametro topografico S_T il valore $S_T=1$ (per risultare l'inclinazione topografica $<15^\circ$) gli elementi sin qui reperi consentono di inquadrare il *fattore di sottosuolo S* solo nel campo di specifica variazione (tab. 3.2.5 NTC) pari cioè a $S=1,25 \pm 0,25$.

Per esprimere una valutazione più calibrata del parametro S , è necessario conoscere le caratteristiche tecnico-progettuali dell'opera in progetto.

Nel caso per esempio, di un'opera dalla vita nominale $V_N=50 a$, classe d'uso II, coefficiente d'uso $C_u=1$, si riesce a valutare il periodo di riferimento $V_R=50 a$ e con uno stato limite SLV (salvaguardia della vita) e quindi con una conseguente probabilità di superamento $P_{VR}=10 \%$, si perviene a quantificare il periodo di ritorno $T_R=475 a$.

Gli elementi così individuati permettono di inserirsi nel reticolo sismico nazionale, attraverso il quale, per $LAT 43,587323^\circ$, $LON 13,493759^\circ$ (coord. WGS84) a cui si ritiene il sito corrisponda (*) è possibile risalire ai seguenti valori parametrici spettrali:

$$F_o = 2,458$$

$$T_c^* = 0,295 \text{ s}$$

$$a_g = 1,775 \text{ m/s}^2$$

*) Si è risaliti ai dati con un programma su internet (Geostru) che ha prospettato per il sito in oggetto il sottostante quadro:



Determinazione dei parametri sismici

(1)* Coordinate WGS84

Lat 43.587323 ° Long 13.493759 °

(1)* Coordinate ED50

Lat 43.588256 ° Long 13.494688 °

Classe dell'edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche ▾ $C_u = 1$

Vita nominale 50 ▾

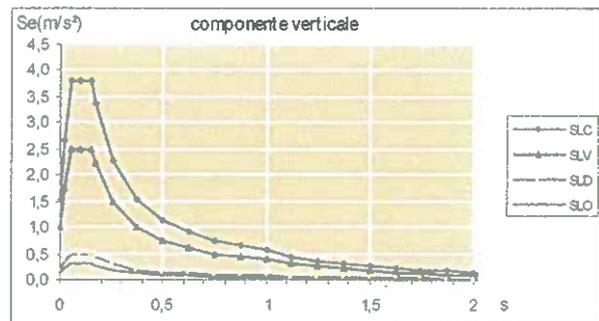
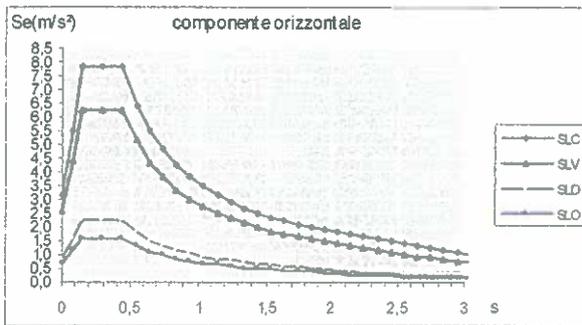
(Opere provvisorie ≤ 10 , Opere ordinarie ≥ 20 , Grandi opere ≥ 100)

Stato Limite	T_r [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0,045	2,444	0,277
Danno (SLD)	50	0,059	2,571	0,276
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,181	2,458	0,295
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,237	2,495	0,309
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

A questo punto, sulla base di quanto reperito, è possibile calcolare il parametro $S_s \approx 1,433$, e avendo considerato $S_T=1$, a definire S , nel caso preso ad esempio, pari a $S \approx 1,43$.

Essendo inoltre l'accelerazione massima al suolo $a_{max}=S*a_g=2,544 \text{ m/s}^2$ e potendo porsi il coefficiente di riduzione $\beta=0,24$, il coefficiente sismico orizzontale al suolo sarà $kh \approx 6,23 \%$.

Si riportano le ricostruzioni grafiche degli spettri in accelerazione delle componenti orizzontale e verticale per i vari stati limite, per uno smorzamento viscoso $\zeta=5 \%$ e conseguente fattore di correzione dello smorzamento $\eta=1$.



Nel caso possa poi essere applicata la procedura semplificata e possa considerarsi un fattore di struttura $q=1,5$, il periodo di oscillazione T può essere valutato con una certa facilità.

Per costruzioni semplici con altezza non superiore ai 40 m , con massa uniformemente distribuita, con struttura a telaio in c.a., è $T=0,075*H^{0,75}$ (dove H è l'altezza dell'edificio misurata dalle fondazioni).

Nel caso ad esempio di altezza $H=5 \text{ m}$ si avrebbe $T \approx 0,251 \text{ s}$ e lo spettro della componente orizzontale per SLV varrebbe $khi \approx 0,4252 \text{ g}$.

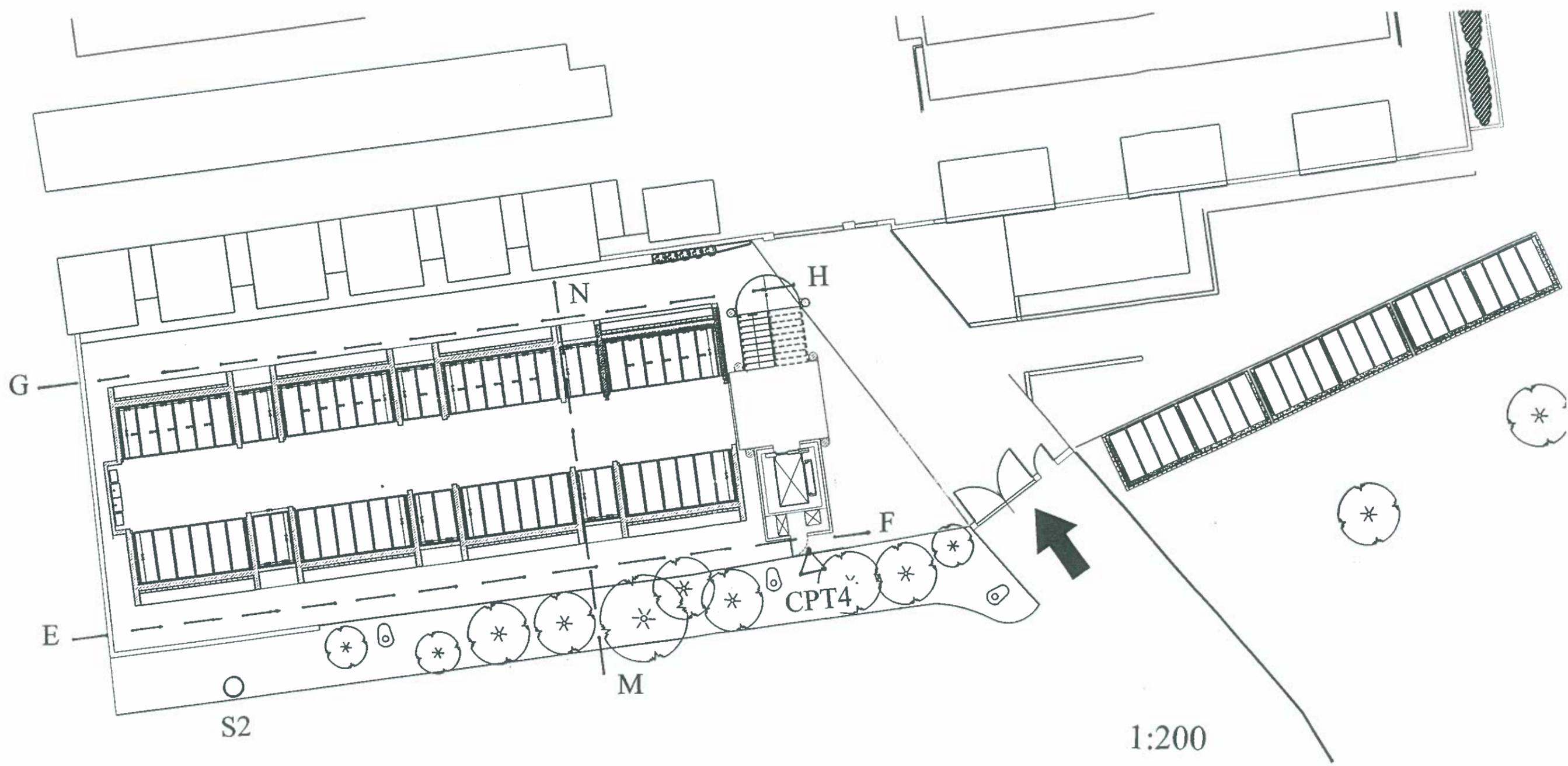
Viene allegato un foglio di calcolo di personale elaborazione che sulla base di quanto sopra inizialmente assunto per l'opera ($VN=50 \text{ a}$, classe d'uso II, periodo di riferimento $VR=50 \text{ a}$) fornisce i parametri sismici derivati per tutta la gamma delle opzioni.

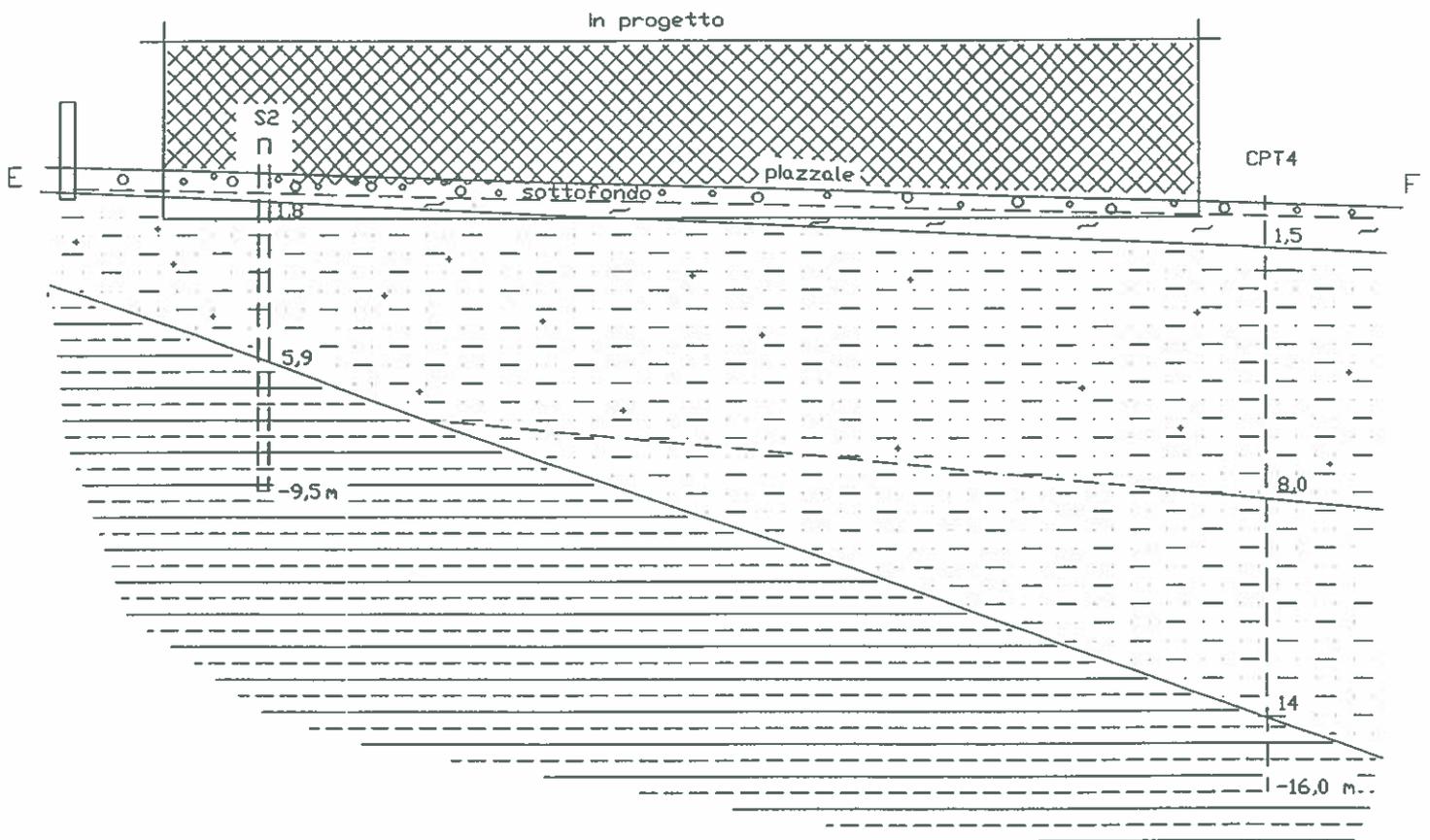
Falconara M.ma agosto 2011

Dott. geol. Enzo Franchini
Enzo Franchini
ORDINE DEI GEOLOGI DELLE MARCHE
Enzo FRANCHINI
Geologo Specialista
N. 710
ALBO SEZIONE A

ALLEGATI

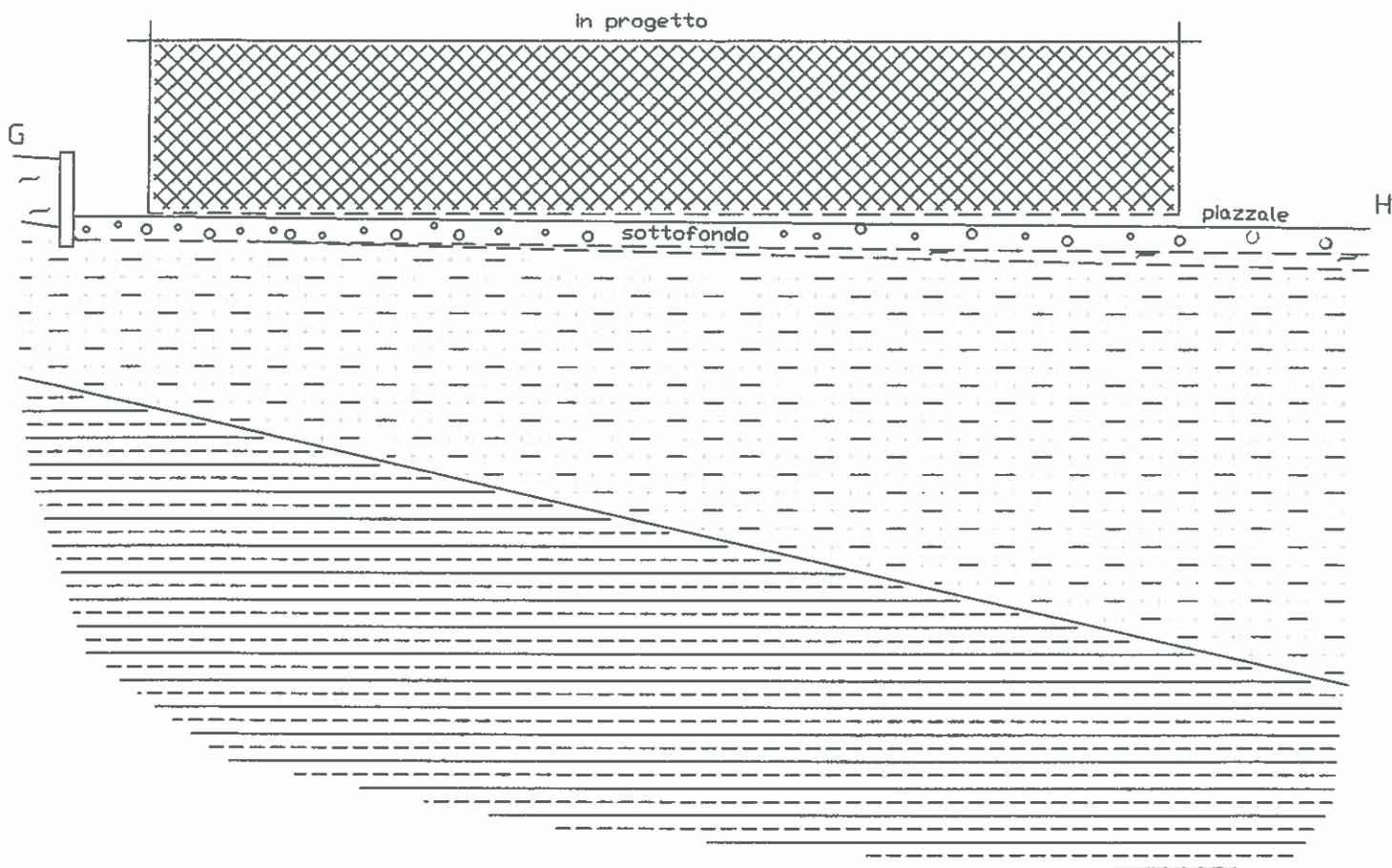
- 1) Stralcio di cartografia PAI aggiornata al 2011 con cerchiata l'area dove ricade il sito in oggetto
- 2) Planimetria scala 1:200 con riportata l'ubicazione dei manufatti in progetto e la traccia delle sezioni geologiche EF, GH, MN
- 3) Sezioni geologica EF scala 1:200
- 4) Sezione geologica GH scala 1:200
- 5) Sezione geologica integrativa MN scala 1:200
- 6) Fogli di calcolo relativi alla parametrizzazione sismica
- 7) Relazione di indagine geofisica





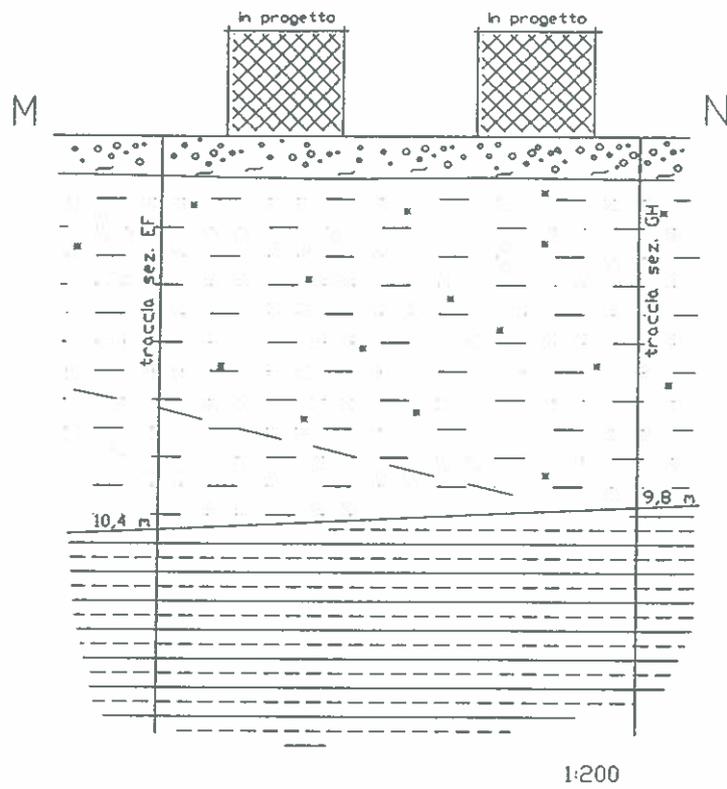
1:200

-  sottofondo granulare del piazzale esistente
-  limo argilloso organico
-  limo argilloso sabbioso con tracce organiche molto consistente
-  limo argilloso sabbioso con tracce organiche a bassa consistenza
-  limo argilloso marnoso con velli e livelletti sabbiosi (formazione marina di base)



- ○ sottofondo granulare del piazzale esistente
- ~ ~ limo argilloso organico
- - limo argilloso sabbioso con tracce organiche
- - - - limo argilloso marnoso con veli e livelletti sabbiosi
(formazione marina di base)

1:200



sottofondo granulare del piazzale su limo argilloso organico



limo argilloso sabbioso con tracce organiche, molto consistente



limo argilloso sabbioso con tracce organiche, a bassa consistenza



limo argilloso marnoso con veli e livelletti sabbiosi (formazione marina di base)

Valutazione di parametri sismici (D.M. 14 gennaio 2008)

INSERIMENTO				RISPOSTA			
Vita nominale opera VN	10, 50, 100	50		VN =	50	anni	
Classe d'uso	I -- II -- III -- IV			Classe d'uso	II		
Coefficiente d'uso Cu	0,7-1-1,5-2	1,0		Cu =	1		
Periodo di riferimento VR	=VN*Cu=			VR =	50	anni	
Stato limite							
Probabilità di superamento PVR							
Periodo di ritorno TR							

		LAT 43,587323	LON 13,493759	← WGS84	
Categoria di sottosuolo	A,B,C,D,E	C		C	
Periodo di ritorno TR, anni -->		30	50	475	975
Periodo di riferimento VR, anni	50	SLO	SLD	SLV	SLC
Fattore di amplificazione spettrale Fo		2,444	2,571	2,458	2,495
Periodo inizio tratto a velocità costante T*c		0,277	0,276	0,295	0,309
Accelerazione del terreno ag_1		0,045	0,059	0,181	0,237
ag_2		0,441	0,579	1,775	2,324
Parametro CC=f(T*c, SUOLO) = Cc		1,604	1,606	1,571	1,547

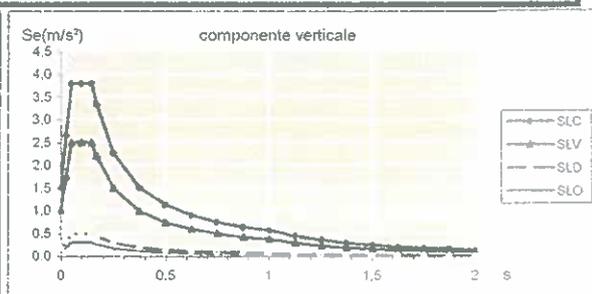
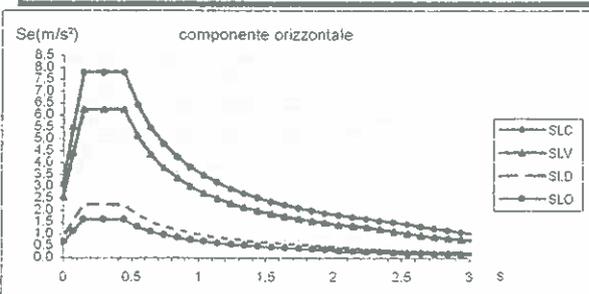
Condizioni topografiche					
Per inclinazione ST	1-1,2-1,4	1,0	T1	ST =	1,0
Rapporto h_sito/H_vetta	0...0,5...1	1,00		Str =	1,00

		1	1	1	1
		SLO	SLD	SLV	SLC
Parametro Ss da calcolo -->	Fo*ag_1=	0,1100	0,1517	0,4449	0,5913
Limiti di accettabilità di Ss	-->	1,634012	1,608987	1,433061	1,345211
Parametro Ss operativo -->		1,500	1,500	1,433	1,345
Fattore di sottosuolo S=Ss*ST=S=		1,5	1,5	1,433	1,345
		1,5	1,5	1,5	1,5

Categoria di sottosuolo		C		SLO		SLD		SLV		SLC	
Coefficiente di riduzione della accelerazione orizzontale	βs	A	BCDE	A	BCDE	A	BCDE	A	BCDE	A	BCDE
		0,2	0,2	0,2	0,2	0,27	0,24	0,3	0,28	0,3	0,28
		0,20	0,20	0,24	0,28						

		SLO	SLD	SLV	SLC
Acceler. max al suolo amax=	S*ag_2	0,662	0,868	2,544	3,126
Coeff. sismico orizzontale kh=	βs*amax/g	1,350	1,770	6,225	8,925
Coeff. sismico verticale kv=	0,5*kh	0,675	0,885	3,112	4,463

Ideazione: Enzo Franchini



categoria sottosuolo = C

fattore di correz. η= 1,0000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontale e verticale

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti **orizzontali**

categoria di sottosuolo C

	VN	CU	ag g	Fo	T*c s	Cc	Ss	ST	S	β i	ξ %	η	q	TB s	TC s	TD s	TR a
SLO	50	1	0,045	2,444	0,277	1,6039	1,5	1,00	1,5	0,20	5,00	1	1	0,1481	0,4443	1,78	30
SLD	50	1	0,059	2,571	0,276	1,6058	1,5	1,00	1,5	0,20	5,00	1	1	0,1477	0,4432	1,836	50
SLV	50	1	0,181	2,458	0,295	1,5709	1,433	1,00	1,433	0,24	5,00	1	1	0,1545	0,4634	2,324	475
SLC	50	1	0,237	2,496	0,309	1,547	1,345	1,00	1,345	0,28	5,00	1	1	0,1593	0,478	2,548	975

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti **verticali**

categoria di sottosuolo C

	VN	CU	ag g	Fo	T*c s	Cc	Ss	ST	S	β i	ξ %	η	q	TB s	TC s	TD s	Fv
SLO	50	1	0,045	2,444	0,277	1,6039	1	1,00	1,00	0,20	5,00	1	1	0,05	0,15	1,00	0,700
SLD	50	1	0,059	2,571	0,276	1,6058	1	1,00	1,00	0,20	5,00	1	1	0,05	0,15	1,00	0,843
SLV	50	1	0,181	2,458	0,295	1,5709	1	1,00	1,00	0,24	5,00	1	1	0,05	0,15	1,00	1,412
SLC	50	1	0,237	2,496	0,309	1,547	1	1,00	1,00	0,28	5,00	1	1	0,05	0,15	1,00	1,640

Parametri di accelerazione al suolo

$$\eta = 1$$

$$(q) = 1$$

	oriz. kh %	vert. kv %	amax_h	suolo	a_vert
SLO	1,35	0,675	0,662	m/s ²	0,1264
SLD	1,77	0,885	0,868	m/s ²	0,1897
SLV	6,225	3,1125	2,544	m/s ²	1,0195
SLC	8,9254	4,4627	3,126	m/s ²	1,5275

kh % kv %

Parametri di accelerazione di progetto

$$\eta_{\text{SLV-SLC}} = 0,6667$$

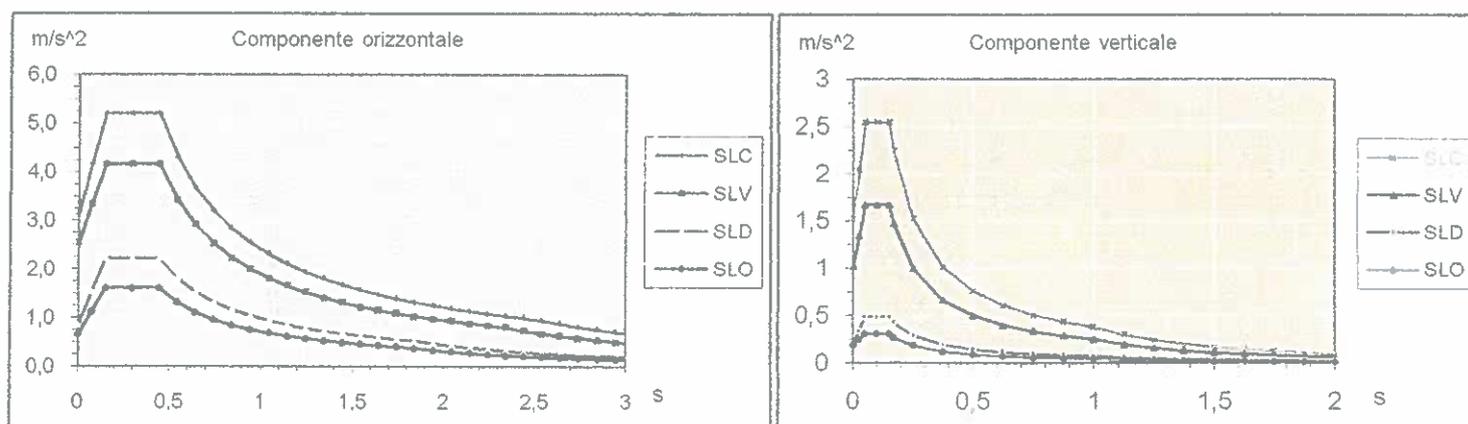
$$q = 1,4999$$

$$\eta_{\text{SLO-SLD}} = 1$$

$$q = 1$$

	orizzontale		verticale		oriz.	vert.
	khi (g)	(m/s ²)	kvi (g)	(m/s ²)	khj%	kvj%
SLO	0,1650	1,6179	0,0188	0,185	16,498	1,8822
SLD	0,2275	2,2315	0,0297	0,292	22,754	2,9726
SLV	0,4251	4,1686	0,1018	0,998	42,506	10,181
SLC	0,5305	5,2023	0,1549	1,519	53,047	15,49

periodo T = 0,251 s



TECNOSONDAGGI
DI BRUGIAPAGLIA CLAUDIO
VIA ABBADIA 39 – OSIMO 60027 – ANCONA
TEL/FAX 071 781840 – CELL. 335 6686573
P.I. 01511970426 – WWW.TECNOSONDAGGI.IT

Vs30 DM 14-01-2008
NUOVO COLOMBARIO
CIMITERO DEL PINOCCHIO
ANCONA

INDAGINE SISMICA MASW
PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA – METODO HVSR

Committente: Comune di Ancona

TECNOSONDAGGI
di Brugiapaglia Claudio
Via Abbadia, 39 - 60027 OSIMO (AN)
TEL. & FAX 071 781840
Cod. Fisc: BRG CLD/68D03 A271M
Part. IVA 01511970426

OSIMO, agosto 2011

1 PREMESSA

Il giorno 06 agosto 2011, su committenza del Comune di Ancona e sotto la direzione tecnica del Dott. Geol. Enzo Franchini, si è eseguita un'indagine geofisica mediante una prova MASW per il calcolo del valore Vs30 secondo il DM 14/01/2008 ed una Prospezione Sismica Passiva – METODO HVSR per il calcolo delle frequenze di risonanza dei terreni e la stima dell'amplificazione sismica locale.

2 INDAGINE EFFETTUATA

Nel caso in esame si è realizzato uno stendimento con 24 geofoni a passo di 1.0 metri e energizzazione a -5.00 m e a +5.00 m dagli estremi (Geofono 1 e Geofono 24).

La strumentazione utilizzata è costituita da :

- sismografo EEG BR24 24 canali
- 24 geofoni a 4.5Hz
- mazza da 5 Kg

Per la Prospezione Sismica Passiva – metodo hvsr si è utilizzato:

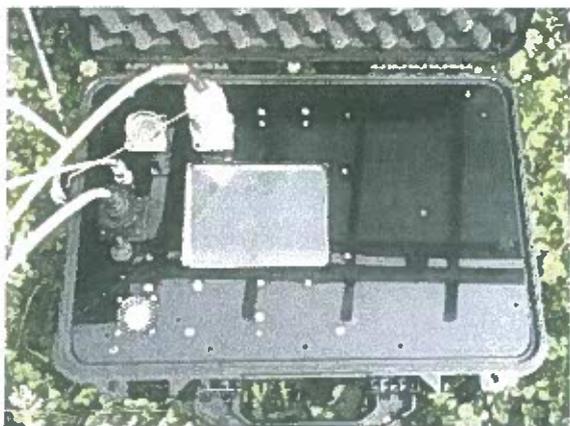
- sismografo EEG BR24 24 canali
- Geofono triassiale;

3 CENNI TEORICI SULL'ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE SUPERFICIALI

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.



L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh,

vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).



Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente.

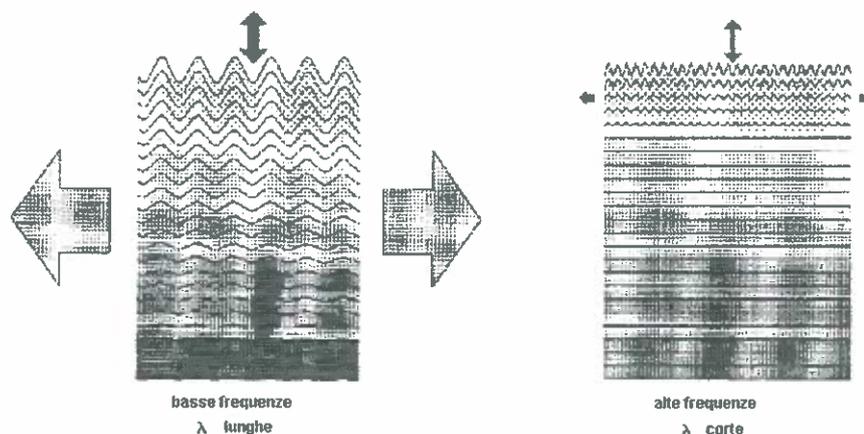
Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e

proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il

sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.

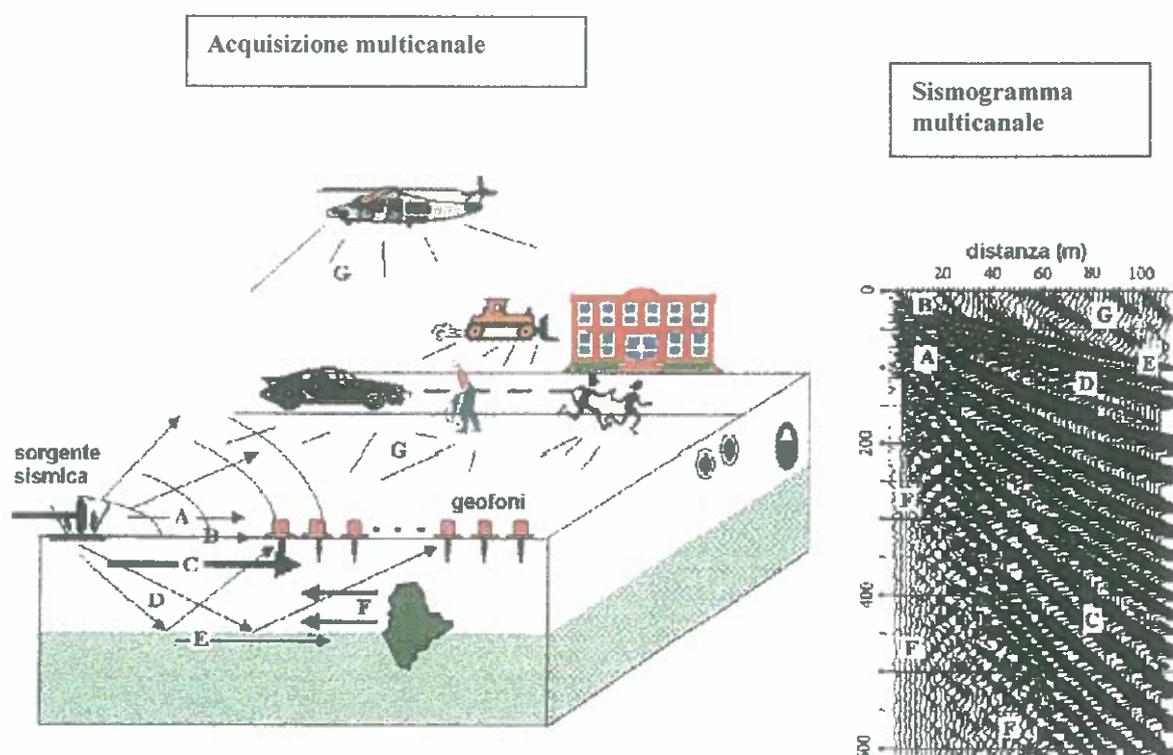
Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).



L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste

proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

VANTAGGI DELLA REGISTRAZIONE MULTICANALE

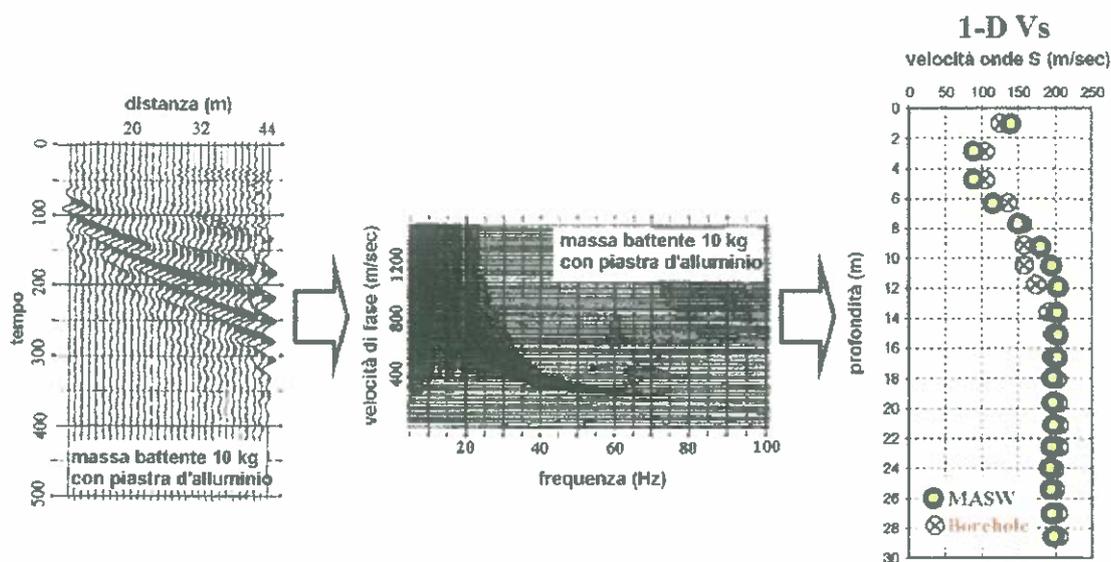


- A: onde in aria
- B: onde dirette
- C: onde di superficie
- D: onde riflesse
- E: onde rifratte
- F: onde riverberate
- G: rumore ambientale

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio

successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA MASW



La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- 1- acquisizione dei dati di campo;
- 2- estrazione della curva di dispersione;
- 3- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità

4 RISULTATI

In ALLEGATO sono riportati i risultati delle prove MASW.

Nel riquadro in alto a sinistra è riportata l'immagine di dispersione dell'energia sismica. Al di sotto è riportata l'estrazione della curva di dispersione eseguita sull'immagine precedente.

Ancora sotto sono riportati i grafici relativi al modello del terreno, sia sotto forma di stratificazione V_s (spezzata di colore blu) che di Modulo di Taglio (spezzata verde). Per il calcolo del modulo di taglio è stata usata una formula approssimata per la valutazione della densità, non nota. La formula utilizzata è la seguente:

$$\text{Densità} = 1,5 + V_s/1000$$

Poiché il valore del modulo di taglio G in MegaPascal si ottiene dalla formula

$$G = V_s \times V_s \times \text{Densità} / 10^3$$

è facile ricalcolare il modulo G esatto quando si disponesse di valori più precisi di densità.

Con una curva di colore rosso è stato tracciato il valore di V_s progressiva.

A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore del parametro V_{s30} calcolato utilizzando la stratigrafia V_s e la formula

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i – esimo, per un total e di N strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito verrà classificato sulla base del valore di V_{s30} come riportato nella seguente tabella:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SP,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Deposit di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SP,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Deposit di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SP,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Oltre a queste sono riconosciute ulteriori due categorie di suolo:

- S1 – Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($IP > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa).
- S2 – Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

La velocità calcolata è:

$$V_{s30} = 334 \text{ m/sec}$$

FOTO AEREA DELL'AREA

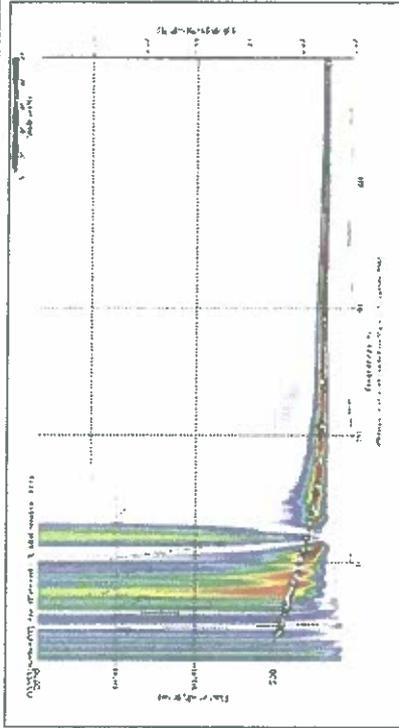


Stendimento MASW

Tecnosondaggi

EEG

INTERPRETAZIONE PROVA



LEGENDA

- Curva di dispersione misurata
- Curva di dispersione calcolata
- Velocità sismica delle onde S
- Modulo di taglio (MPascal)
- V_{sX}

Il valore approssimato del peso di volume per il calcolo del parametro C è stato calcolato dalla formula $\rho = 1.5 \cdot V_s / (G/1000)$

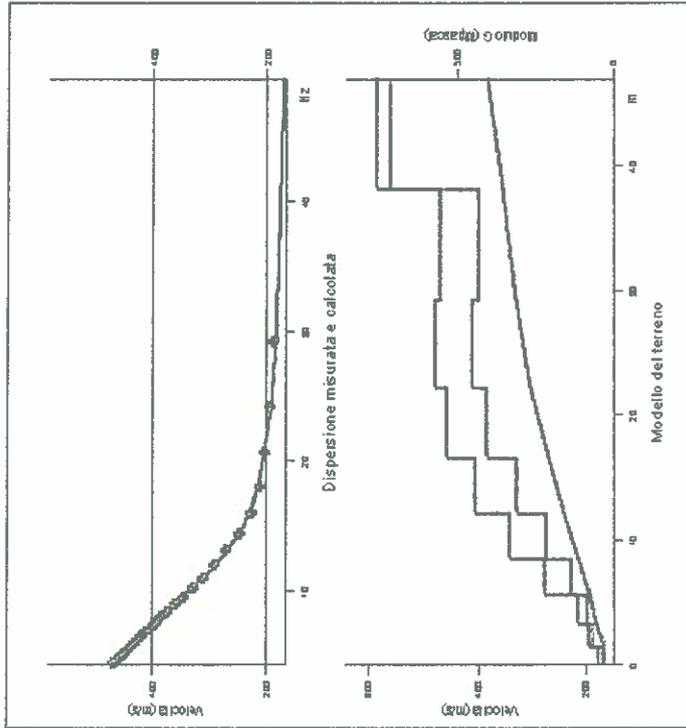


TABELLA DICALCOLO

Prof. (m)	V_s	HM	V_{sX}	G
0	1.5	167	167	47
1.5	3.3	195	191	64
3.3	5.6	217	195	81
5.6	8.5	276	216	135
8.5	12.1	341	243	213
12.1	16.6	404	272	310
16.6	22.3	465	303	405
22.3	29.4	478	332	451
29.4	36.2	461	365	429
36.2	47	534	384	711

VALORE CALCOLATO VS30 = 334 m/s

PROVA SISMICA VS30	EEG
Cimitero del Pino cccbio - Ancona	Luglio 2011
Comune di Ancona	
Metodologia MA SW	
VELOCITA' DELLE ONDE S	
PROVA 03253	
Aut. 2/a	EEG

PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA – METODO HVSR

La metodologia sismica HVSR misura il rumore sismico ambientale che è presente ovunque sulla superficie terrestre, ed è prodotto dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, microterremoti, vento) e dall'attività antropica.

Il rumore sismico ambientale viene anche chiamato *microtremore* in quanto costituito da oscillazioni di piccolissima ampiezza se confrontate con quelle associate ai terremoti.

La denominazione di sismica passiva dipende dal fatto che il rumore non viene generato *artificialmente*, come nelle energizzazione della sismica attiva, ma è presente naturalmente.

In qualsiasi luogo pianeggiante sono sempre presenti delle vibrazioni associate alle onde oceaniche con dei picchi a 0,14 e 0,07 Hz. A questo comportamento spettrale di "fondo", sempre presente in varia forma, e soggetto a scarsissima attenuazione, si sovrappongono le sorgenti locali dovute alle attività antropiche (traffico, macchinari ecc..) e naturali. L'effetto di queste sorgenti locali è soggetto ad attenuazioni all'aumentare della frequenza che sono dovute all'assorbimento anelastico associato all'attrito interno delle rocce e dei terreni.

La metodologia HVSR è stata introdotta da Nakamura (1989) per la determinazione delle frequenze di risonanza dei terreni e la stima dell'amplificazione sismica locale, elementi di grande utilità per l'ingegneria sismica.

La frequenza fondamentale di risonanza (F) dello strato di terreno n è data dalla formula:

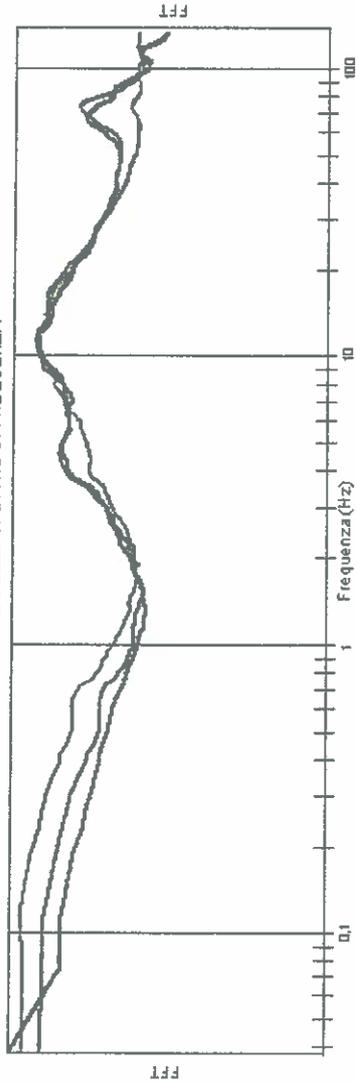
$$F_n = V_s / 4 h$$

in cui V_s è la velocità media delle onde S nello strato N ed h è lo spessore.

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati. Questo, insieme ad una stima delle velocità è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati.

Viceversa, nota la stratigrafia è teoricamente possibile fornire una valutazione approssimativa della velocità delle onde S nei singoli strati.

COMPONENTI XYZ DELLO SPETTRO DI FREQUENZA



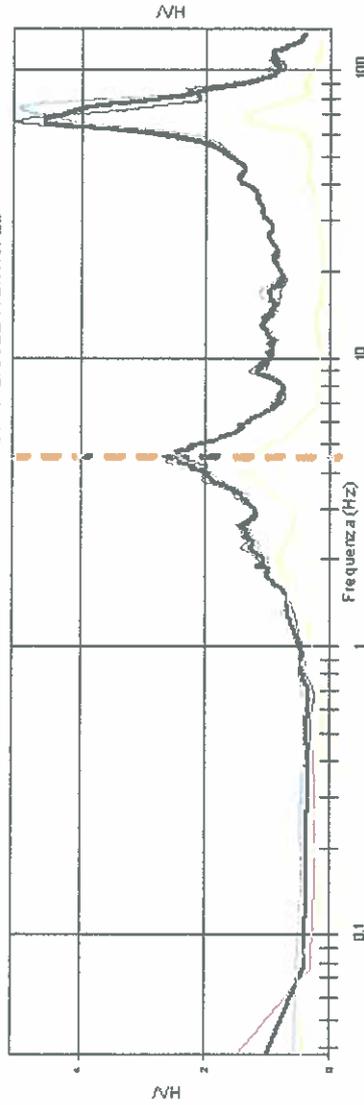
LEGENDA

- Spettro asse Z (verticale)
- Spettro asse X
- Spettro asse Y
- HVV direzione X
- HVV direzione Y
- HVV media
- Deviazione standard

Durata della registrazione 16' 36.1"
 Campionamento 10 KHz
 Finestra di campionamento 26.2 s

Picco alla frequenza 4.5 Hz

RAPPORTO DELLE COMPONENTI SPETTRALI ORIZZONTALI SULLA VERTICALE



PROVA HV	
Cimitero del Pinocchio - Ancona	
Comune di Ancona	
Analisi H/V - metodo Nakamura	
SPETTRI DI FREQUENZA PROVA 03258	
Att. 2/e	Luglio 2011
EEG S.p.A. Via S. Maria 101 00187 Roma	