

## COMUNE DI PONSACCO

(Pisa)

### PIANO ATTUATIVO E CONTESTUALE VARIANTE AL VIGENTE R.U. DEL PIANO PARTICOLAREGGIATO DI CUI ALLA SCHEDA DEL COMPARTO "PA15" RESIDENZA DELLA ROBBIA

---

Relazione di fattibilità geologica  
(D.C.R. 72/07 – N.T.A. DEL. C.I. 185/04 - D.P.G.R. 53/R)

PROPRIETA': FERRETTI MARIA GRAZIA ET AL.

PROGETTISTA: Dott. Arch. ALBERTO ARRIGHINI

COLLABORATORE: Dott. Arch. ALESSANDRA GIUNTINI

GEOLOGO : Dott. PAOLO GIANI

MAGGIO 2013

## *PREMESSA*

La presente relazione di fattibilità geologica supporta il Piano Attuativo con contestuale variante al R.U. del piano particolareggiato di cui alla scheda del comparto “PA15” posta in adiacenza a Via della Robbia nel comune di Ponsacco.

In questa sede si valutano le condizioni di fattibilità dell’ intervento alla luce dei criteri di definizione del grado di rischio geomorfologico, idraulico e sismico locale stimato sulla base di eventuali dati esistenti e/o sull’ incrocio delle informazioni disponibili con i criteri definiti dalla nuova disciplina (D.P.G.R. n. 53/R del 25/10/2011), essendo le cartografie del Piano Strutturale comunale non più rispondenti ai criteri di zonazione vigenti (D.P.G.R. n. 26/R).

Per definire la fattibilità del Piano attuativo ne è stata inoltre verificata la compatibilità rispetto alle salvaguardie ed ai vincoli sovraordinati alla disciplina del P.R.G., introdotti dalle normative nazionali e regionali sul rischio idraulico (N.T.A. Del. 185/2004 dell’Autorità di Bacino del Fiume Arno e D.C.R.T. n° 72/2007).

Relativamente alla caratterizzazione geotecnica dei terreni si fa riferimento a due prove penetrometriche statiche effettuate entro l’area soggetta a Piano attuativo, mentre si rimanda alla fase esecutiva l’esecuzione di una campagna geognostica di dettaglio conforme a quanto previsto dal D.P.G.R. 36/R per i singoli interventi edilizi sui vari lotti.

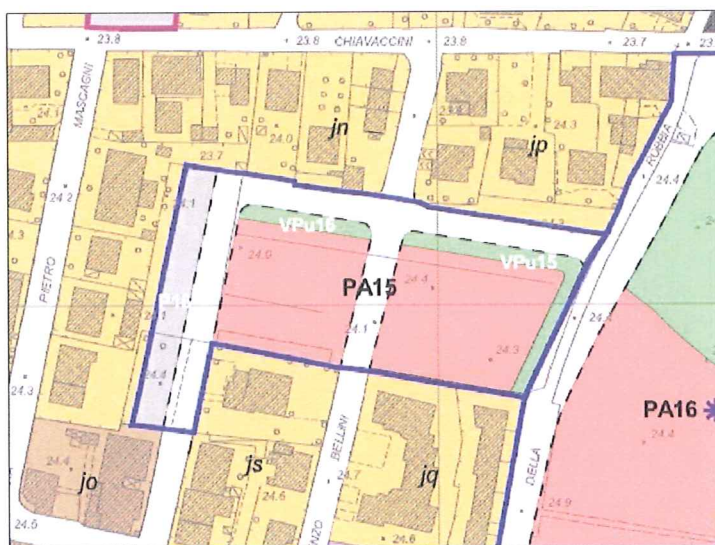
Per quanto riguarda gli aspetti sismici, in questa sede sono stati effettuati approfondimenti della locale situazione in prospettiva di microzonazione sismica di I livello. E’ stata pertanto effettuata una rilevazione in sismica passiva (microtremore sismico ambientale) su una postazione e si è tenuto conto di una linea MASW effettuata entro l’area sottoposta a piano attuativo.

## **1.DESCRIZIONE DELL’INTERVENTO**

L’ area soggetta a Piano Attuativo riguarda un appezzamento di terreno morfologicamente pianeggiante, di forma pressoché rettangolare, e di superficie territoriale complessiva del comparto, come definito dalla scheda PA15 del Vigente Regolamento

Urbanistico del Comune di Ponsacco, pari a di mq. 8.139,00 da R.U. (mq. 8.350,00 effettivi) a carattere esclusivamente residenziale.

### LINEAMENTI URBANISTICI PREVISTI NEL REGOLAMENTO URBANISTICO



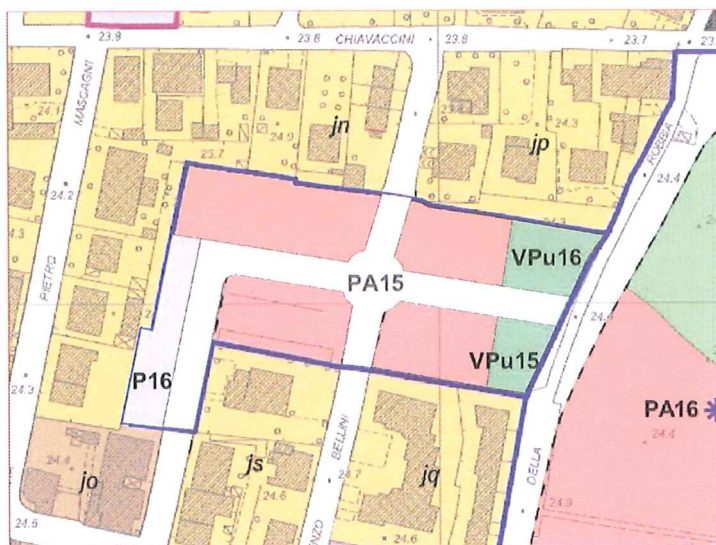
La cartografia del R.U. vigente, nei suoi lineamenti urbanistici, prevede uno schema planimetrico così articolato:

1. raccordo delle viabilità di penetrazione esistenti attraverso la realizzazione di una nuova viabilità posta a nord, a margine dell'edificato esistente in ingresso da Via Della Robbia come si evince dalla planimetria allegata;
2. realizzazione di un'area a parcheggio posta ad ovest a margine dell'edificato esistente identificata dalla sigla P16;
3. realizzazione di due fasce di verde pubblico a corona della nuova edificazione identificate con le lettere Vpu 15 e Vpu16.

Le aree derivanti da tale organizzazione risultano così articolate:

<i>Dati da Regolamento Urbanistico</i>			
Superficie Territoriale		mq .	8.139,00
Superficie a Standard	50%	mq.	4.070,00
Superficie Fondiaria		mq.	4.070,00
<b>I<sub>t</sub></b>	0,7	mc/mq	
<b>I<sub>r</sub></b>	1,4	mc/mq	
<b>H</b>	10	ml.	
<b>R<sub>c</sub></b>	30%		
Distanza dalle strade	7,5	ml.	
SUL		mq.	1.899,00
Volume max		mc.	5.697,00

## LINEAMENTI DELLA PROPOSTA PROGETTUALE DI ATTUAZIONE DEL COMPARTO



Proprio alla luce della programmazione urbanistica approvata e lo stato dei luoghi è stata proposta dal progettista questa “soluzione progettuale” così compendiate:

A) Viabilità di servizio all'interno del Comparto a raccordo delle viabilità posta centralmente rispetto al comparto stesso con la realizzazione di una rotatoria in

modo da articolare meglio il traffico proveniente dai raccordi viari;

- B) Realizzazione delle opere di urbanizzazione primaria necessarie per gli allacciamenti alla rete dei pubblici servizi come acquedotto, gas metano, linea elettrica e telefonica, fognatura nera e bianca;
- C) Consolidamento di n°6 “Lotti edificabili” in modo tale da permettere l’edificazione di in armonia con il tessuto esistente ;
- D) Conferma della previsione di realizzazione del parcheggio pubblico a standard ad ovest del comparto mentre per quanto concerne il verde pubblico la superficie complessiva a standard è stata prevista a fregio di via Della Robbia suddivisa in due aree di cui una attrezzata a giochi per bambini;

## 2. GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA DEL SITO

L'area in esame si colloca nella vasta pianura alluvionale posta sulla sinistra orografica del fiume Arno, nello specifico tra i fiumi Cascina ed Era, in un contesto pertanto caratterizzato da una conformazione morfologica pressochè pianeggiante e caratterizzata da quote medie di +23,3m s.l.m..

La geologia di superficie è costituita da sedimenti alluvionali olocenici (vedi Corografia Generale scala 1:10000 all.), di prevalente composizione silico-clastica, caratterizzati dall'alternanza di limi sabbiosi sciolti o poco addensati ed argille limose di media plasticità e consistenza. Tali depositi olocenici sono legati al sovralluvionamento che si è sviluppato nella Pianura di Pisa durante la deglaciazione postvurmiana che ha prodotto la risalita del livello del mare.

In generale in questi sedimenti prevalgono le sabbie nelle zone adiacenti ai corsi d'acqua attuale (e a quelli antichi), sabbie accumulate durante le esondazioni del passato; nelle zone più lontane dai fiumi, invece, che sono rimaste leggermente depresse e quindi soggette ad impaludamenti, sono più diffuse le argille e le torbe dato che le esondazioni vi trasportavano solo i materiali più fini.

Dal punto di vista sedimentologico trattasi quindi di un **sito complesso** nel quale sono possibili **variazioni frequenti di litologie sia in senso orizzontale che verticale**, come evidenziano peraltro le numerose prove penetrometriche effettuate nei dintorni.

I suoli superficiali, nelle zone dove prevalgono sedimenti sabbioso-limosi e limo-sabbiosi garantiscono un apprezzabile drenaggio verticale. Nei siti dove invece prevalgono sedimenti fini limo-argillosi l'infiltrazione verticale risulta difficoltosa per cui la circolazione delle acque piovane si concentra nel primo metro provocando nei periodi molto umidi saturazioni e ristagni temporanei.

Nel tempo si sono verificate ampie modifiche del tracciato del fiume principale; da immagini da satellite sono stati infatti rilevati numerosi tratti di alvei fluviali abbandonati per naturale evoluzione del corso fluviale, nonchè paleoalvei sepolti che testimoniano una

significativa variazione del regime di deposizione e quindi una notevole eteropia laterale dei sedimenti alluvionali.

Per quanto riguarda l'idrogeologia, nell'area esiste una attiva circolazione idrica sotterranea spiegabile con la presenza di una falda freatica regionale direttamente alimentata dalle piogge e dalla filtrazione laterale delle acque dell'Arno e dei canali principali; da essa attingono i pozzi a sterro localizzati presso molti dei fabbricati rurali e non dispersi nella pianura a sud dell'Arno.

La circolazione sotterranea, pur modesta, interessa esclusivamente gli strati sabbiosi e limo-sabbiosi a maggiore permeabilità, per cui, data la notevole vicarianza dei medesimi, origina modeste falde sospese separate da livelli argillosi, saturi ma improduttivi. Nell'area in esame, alla luce dei numerosi sondaggi effettuati, oltre i nove-dieci metri di profondità si riscontrano frequenti livelli di sabbie limose interessate da circolazione di falda costante, probabilmente caratterizzata da una leggera pressione.

Nei due fori di ispezione in data 30 Agosto 2011 sono stati misurati due livelli di acqua stabilizzati a -2,60mt dal p.c. nel sito CPT1 e -2,40mt dal p.c. nel sito CPT2; dato che trova conferma nella carta idrogeologica allegata che mostra un valore di soggiacenza della falda freatica per l'area in esame, riferita ad Ottobre 2000, compreso tra due e tre metri dal p.c. locale.

### 3. MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO

Non potendo rappresentare una sequenza litostratigrafica univoca, viste le frequenti eteropie di facies, sia verticali che laterali, tipiche dei depositi di pianura alluvionale, si definiscono di seguito i litotipi di terreno mediamente individuabili nel sottosuolo:

➤ p.c. – 0,80mt: TERRENO PEDOLOGICO (**LITOTIPO A**)

Trattasi del suolo pedologico-arativo di spessore stimato intorno agli 80cm a prevalenza limoso-argilloso e maggiormente sensibile alle variazioni di umidità stagionali

➤ 0,80mt – 2,00mt: LIMI SABBIOSI DI MEDIA CONSISTENZA (**LITOTIPO B**)

Questo litotipo è presente, al di sotto del suolo pedologico, fino a circa due metri di profondità. In merito ai parametri geotecnici si possono definire i seguenti valori:

- Resistenza statica alla punta	$13 < R_p < 24 \text{ kg/cm}^2$
- Coesione non drenata	$C_u = 0,60-0,90 \text{ kg/cm}^2$
- Peso di volume	$\gamma = 1.85 \text{ kg/dm}^3$
- Angolo di attrito interno	$\phi = 0^\circ$ (cautelativo)
- Modulo edometrico	$45 < M_o < 60 \text{ Kg/cm}^2$

➤ 2,00mt – fine prove: LIMI DI CONSISTENZA VARIABILE DA MEDIA A BASSA  
**(LITOTIPO C)**

In merito ai parametri geotecnici si possono definire i seguenti valori:

- Resistenza statica alla punta	$7 < R_p < 20 \text{ kg/cm}^2$
- Coesione non drenata	$C_u = 0,30-0,80 \text{ kg/cm}^2$
- Peso di volume	$\gamma = 1.85 \text{ kg/dm}^3$
- Angolo di attrito interno	$\phi = 0^\circ$ (cautelativo)
- Modulo edometrico	$32 < M_o < 60 \text{ Kg/cm}^2$

#### 4. POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Il potenziale di liquefazione prodotto per tensioni cicliche derivate da un evento tellurico nasce dall'istantaneo incremento di pressioni neutre sottoposte all'accelerazione sismica, che possono comportare il totale annullamento delle pressioni effettive intergranulari, determinando il completo decadimento della resistenza tangenziale di un terreno a comportamento esclusivamente granulare.

Perché ciò possa accadere occorre che il sedimento non sia dotato di coesione e che il drenaggio non sia talmente rapido da avvenire istantaneamente. Per tali motivazioni, soltanto i

depositi sabbiosi fini monogranulari, saturi e non addensati risultano soggetti a tale tipo di rischio.

Nel caso esaminato in questa sede l'analisi dei dati delle prove indirette (CPT) disponibili, da cui risulta un potenziale di liquefazione PL (Iwasaki et al., 1978) nullo, così come il calcolo del fattore di sicurezza FSL (Seed e Idriss, 1971) non mostra alcuna criticità, per cui si conclude come la potenzialità di liquefazione sia del tutto assente per l'area di intervento.

## **5. INQUADRAMENTO URBANISTICO: NORMATIVE SOVRAORDINATE AL P.R.G.**

### **5.1 Piano di bacino del fiume Arno: ammissibilità della richiesta ai sensi delle N.T.A. Del. C.I. n° 185/2004**

Nella cartografia adottata con Del. C.I. n° 185/2004 dall'Autorità di Bacino del fiume Arno (ed approvata con D.P.C.M. del 06/05/2005) risulta che il sito in oggetto è escluso dalle zone P.F.3, P.F.4, P.I.3 e P.I.4 a rischio geomorfologico ed idraulico elevato e molto elevato. L'area di intervento risulta perimetrata entro la zona P.I.2 soggetta a rischio idraulico moderato (vedi Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica scala 1:10000 all.) per le quali non sussistono vincoli ai sensi delle N.T.A. della delibera di attuazione del P.A.I.

### **5.2 Misure di salvaguardia del P.I.T. (D.C.R.T. n.72/2007)**

In relazione alle misure di salvaguardia adottate dalla Regione Toscana con l'approvazione del Piano di Indirizzo Territoriale (Del. C.R.T. n.72/2007, vigente dal 17 Ottobre 2007) si rileva che l'area in esame è esterna alle fasce della larghezza di 10 metri dai cigli di sponda o dal piede esterno degli argini dei corsi d'acqua censiti nel comune di Ponsacco, pertanto non soggetta ai vincoli di cui all' art. 36 comma 3 della D.C.R.T. n° 72/2007.



## 6. CLASSI DI PERICOLOSITA'

### 6.1D.P.G.R. n. 26/R

L'area di intervento risulta classificata come segue nella cartografia di supporto al P.S. redatta ai sensi del D.P.G.R. n. 26/R (cfr. Stralci cartografie scala 1:10000 all):

➤ *PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA (CLASSE G2 – PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA MEDIA)*  
*Ricadono in questa classe “.....aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto”*

➤ *PERICOLOSITA' IDRAULICA (CLASSE I3 – PERICOLOSITA' IDRAULICA ELEVATA):*  
*Ricadono in questa classe “Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra 30 e 200 anni”.*

Per quanto riguarda la pericolosità idraulica dell'area occorre sottolineare come la cartografia dei battenti prodotta dall'Ing. Nicola Croce, riferita all'evento esondativo duecentennale, non quantifichi alcuna lama d'acqua entro l'area soggetta a piano attuativo, tuttavia questo studio, relativamente alla porzione compresa tra i fiumi Cascina ed Era, non risulta essere stato recepito dall'Autorità di Bacino, per cui nel passaggio alla carta di pericolosità idraulica redatta ai sensi del D.P.G.R. n. 26/R, l'area è stata mantenuta soggetta a pericolosità elevata. Per definire il battente riferito all'evento duecentennale massimo atteso, non disponibile per l'area in esame, è necessario procedere sovrapponendo sulla cartografia C.T.R. in scala 1:2000 il limite del passaggio tra le aree a pericolosità idraulica media e moderata della cartografia P.A.I. in scala 1:10000, limite cui corrisponde il passaggio tra le aree, inondate e non, dall'evento con  $Tr=200$ anni; da detta sovrapposizione risulta una quota di scurezza idraulica pari a 24,80mt, da cui deriva, dato che l'area di imposta dell'edifici è attestata mediamente alla quota di 24,30mt, la necessità di prevedere il livellamento del piano di calpestio dei locali abitabili almeno a +0,50mt rispetto al piano campagna attuale.

➤ *PERICOLOSITA' SISMICA (CLASSE S3 – PERICOLOSITA' SISMICA ELEVATA)*

Facendo riferimento alla legenda contenuta nell' allegato 1 al D.P.G.R. n. 26/R il sito viene assimilato alle zone con depositi alluvionali granulari e/o sciolti (cfr. classe 9 della legenda). Dalle valutazioni sopra espresse viene pertanto attribuita all' area in oggetto la classe di pericolosità sismica elevata S3 (cfr. Carta della Pericolosità sismica locale scala 1:10.000 all.).

### **6.2D.P.G.R. n. 53/R**

Seguendo le direttive del D.P.G.R. n. 53/R, anche alla luce delle indagini geognostiche e sismiche condotte in loco, l'area in esame può venir classificata come segue:

➤ *PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA (CLASSE G1 – PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA BASSA)*

*Ricadono in questa classe “.....aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi”*

➤ *CLASSE I3 – PERICOLOSITA' IDRAULICA ELEVATA*

*Ricadono in questa classe “Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra 30 e 200 anni”.*

➤ *PERICOLOSITA' SISMICA (CLASSE S2 – PERICOLOSITA' SISMICA MEDIA)*

Per valutare la pericolosità sismica locale ai sensi del DPGR 53/R (punto C.5 allegato A) si sono considerate:

- le caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche dell'area;
- le caratteristiche litostratigrafiche rilevate mediante la campagna geognostica effettuata nell'area in esame;
- le risultanze delle specifiche indagini geo-sismiche, effettuate in prospettiva di una MS di I livello, le quali hanno consentito di rilevare un profilo delle Vs (indagine MASW) e di

individuare (indagine in sismica passiva), l'esistenza di frequenze di risonanza associabili a contatti tra litotipi a caratteristiche di velocità sismica (e quindi fisico-meccaniche) significativamente differenti. Lo studio di approfondimento del locale assetto geo-sismico è allegato alla presente relazione. Le risultanze dello stesso hanno consentito di rilevare che non esiste una suscettibilità di amplificazione locale in quanto non si rileva la presenza di significativi contrasti di impedenza sismica al di sotto della copertura alluvionale.

Per questo è stata definita una **Pericolosità sismica locale media (S.2)**. *Ricadono in questa classe "...zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3)*

## 7.FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO EDILIZIO

Di seguito si rivalutano pertanto le condizioni di fattibilità specifiche per l'area in esame alla luce della destinazione d'uso e dei criteri di definizione del grado di rischio geomorfologico, idraulico e sismico locale stimato sulla base dei criteri definiti dalla nuova disciplina (D.P.G.R. n. 53/R del 27/04/2007).

- La fattibilità in relazione agli aspetti geomorfologici è F2.

In fase esecutiva, dal punto di vista geologico-geotecnico, sarà necessario basare la progettazione su dati geognostici che consentano la valutazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, considerando i disposti del D.M. 4/01/08 e del D.P.G.R. 9 luglio 2009 n. 36/R ("Regolamento di attuazione dell'art.117, commi 1 e 2 della legge regionale 3 gennaio 2005 n.1 -Norme per il governo del territorio"). Al fine di una ricostruzione litologico-litotecnica puntuale, utile per una valutazione attendibile dei cedimenti e dei cedimenti differenziali, fondamentali per la definizione del carico ammissibile e quindi per la scelta della tipologia di fondazione, dovrà essere altresì condotta un'approfondita campagna di indagine geognostica puntuale. Non sussistono invece condizioni di fattibilità legate direttamente all'assetto geomorfologico dell'area.

- La fattibilità in relazione agli aspetti idraulici è F3.

Nel caso in esame dovrà essere previsto il livellamento del piano di calpestio degli edifici in progetto almeno alla quota di 24,80mt s.l.m., corrispondente mediamente a +0,50mt rispetto al piano campagna locale. Il progettista non prevede altresì rialzamenti del piano campagna attuale per le aree a verde (per le quali al contrario è previsto un seppur leggero abbassamento per poterle raccordare con l'adiacente Via della Robbia) né per la viabilità, essendo il piano campagna attuale già livellato alla viabilità circostante; infine, non sarà effettuato alcun riporto di terreno nelle resedi private, ma saranno realizzati unicamente degli scalini e piccole rampe per gli accessi ai locali abitabili.

Nel caso in esame il bacino sotteso dal Fiume Era, responsabile dell'evento esondativo duecentennale, è superiore ai 10Kmq di superficie e considerando un volume sottratto all'esondazione inferiore ai 1000mc (di circa 625mc, derivante dal prodotto della superficie massima copribile dagli edifici, quantificabile in 1251mq, per il battente massimo atteso pari a 0,50mt), non si rendono necessari interventi di compensazione idraulica ovvero le nuove previsioni non vanno considerate ai fini dell'incremento del livello di rischio così come esplicitato al punto 3.2.2.2. lettera c del D.P.G.R.53/R.

- La fattibilità in relazione agli aspetti sismici è F2,

Ciò in accordo con il grado di pericolosità sismica locale evidenziato. Questo, in base al punto 3.5 dell' allegato A al regolamento 53/R (*criteri generali in relazione agli aspetti sismici*), comporta quanto segue: *nelle situazioni caratterizzate da pericolosità sismica locale media (S2), non è necessario indicare condizioni di fattibilità specifica per la fase attuativa o per la valida formazione del titolo abilitativi all'attività edilizia.*

***Alla luce di quanto sopra evidenziato si conclude che il Piano Attuativo è fattibile dal punto di vista geologico.***

Castel del Bosco, 6/05/2013

*Il Geologo*

---

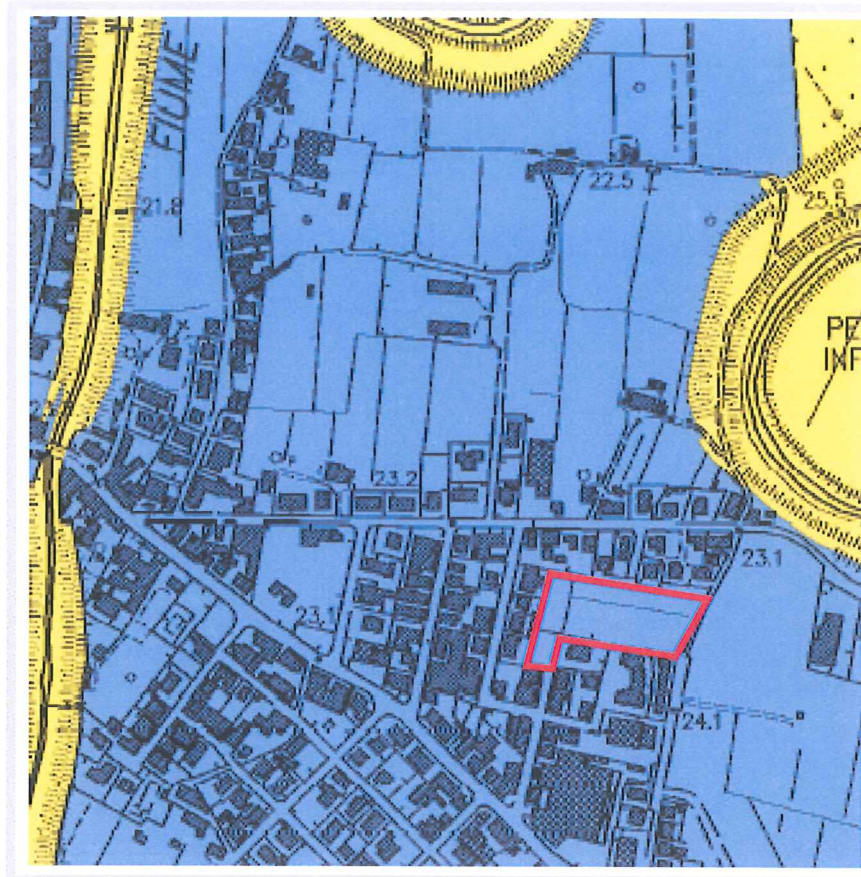
## APPENDICI

- Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica (tratta da PAI - Bacino del fiume Arno) scala 1:10000
- Stralcio Carta di Pericolosità Geomorfologica (tratta da P.S.) scala 1:5.000
- Stralcio Carta di Pericolosità Idraulica (tratta da P.S.) scala 1:5.000
- Carta delle zone a maggior pericolosità sismica locale scala 1:10000
- Carta Geologica scala 1:10.000
- Carta Idrogeologica scala 1:10.000
- Carta Litotecnica scala 1:10.000
- Carta di pericolosità geomorfologica relativa all'area in esame ai sensi del *DPGR 53/R*
- Carta di pericolosità idraulica relativa all'area in esame ai sensi del *DPGR 53/R*
- Carta della pericolosità sismica locale relativa all'area in esame ai sensi del *DPGR 53/R*
- Corografia C.T.R. scala 1:2000 con ubicazione indagini
- Planimetria generale scala 1:750 con schema smaltimento acque bianche
- Planimetria generale scala 1:750 con schema smaltimento acque nere
- Tabulati prove penetrometriche statiche CPT1 e CPT2
- Rilevazioni del microtremore sismico ambientale
- Indagine MASW

# AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME ARNO PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

FONTE: Sito WEB Autorità di Bacino del fiume Arno

PERICOLOSITA' IDRAULICA SCALA 1:10.000



## LEGENDA



P.1.4 Aree a pericolosità molto elevata



P.1.3 Aree a pericolosità elevata



P.1.2 Aree a pericolosità media



P.1.1 Aree a pericolosità moderata



R Aree di ristagno \*



Aree con pericolosità definita su cartografia 1:25.000



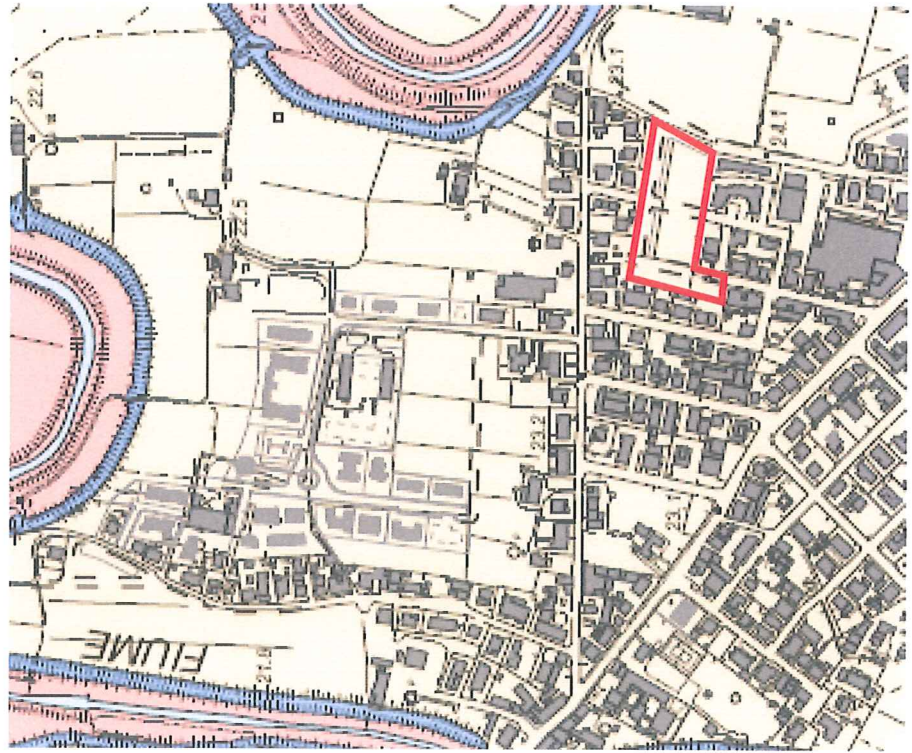
AREA IN ESAME

# CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Scala 1:10.000

tratta da  
INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE  
DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO COMUNALE

L.R. n° 1-2005, D.C.R. n° 72-2007, D.P.C.M. 6/05/2005, D.P.G.R. n° 26/r-2007



CLASSI DI PERICOLOSITA' AI SENSI DEL D.P.G.R. N° 26/R

G.4 - Pericolosità Geomorfologica Molto Elevata

Arece in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza

G.3 - Pericolosità Geomorfologica Elevata

Arece in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con indici di instabilità connessi alla glacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza.

G.2 - Pericolosità Geomorfologica Media

Arece in cui sono presenti fenomeni franosi: nativi stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giacurali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.

G.1 - Pericolosità Geomorfologica Bassa

Arece in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giacurali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa.



AREA IN ESAME

laghi

Argini fluviali

Limite Comunale

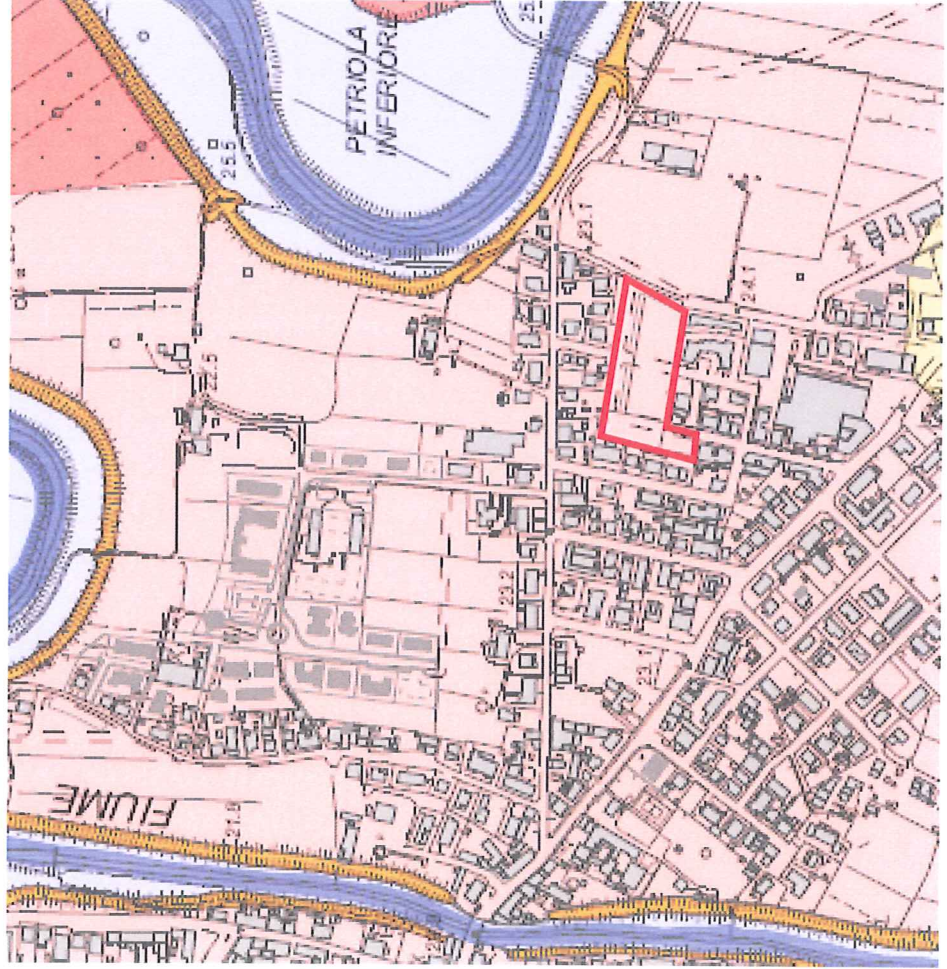
# CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Scala 1:10.000

tratta da

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE  
DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO COMUNALE

L.R. n° 1-2005, D.C.R. n° 72-2007, D.P.C.M. 6/05/2005, D.P.G.R. n° 26/r-2007



CLASSI DI PERICOLOSITA' AI SENSI DEL D.P.G.R. N° 26/R

## I.4 - Pericolosità Idraulica Molto Elevata



Aree interessate da allagamenti per eventi con  $Tr < 20$  anni



Aree interessate da allagamenti per eventi con  $Tr < 30$  anni

## I.3 - Pericolosità Idraulica Elevata



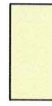
Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $30 < Tr < 200$  anni

## I.2 - Pericolosità Idraulica Media



Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra  $200 < Tr < 500$  anni

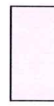
## I.1 - Pericolosità Idraulica Bassa



Aree collinari prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:  
a) non vi sono notizie storiche di inondazioni  
b) sono in situazione di alto morfologico, di norma a quote all'imetro superiori a metri 2 rispetto all'altitudine estremo dell'argine o, in mancanza, al ciglio di scarpata.

## Casse di espansione

di cui all'Allegato di Pianificazione tra Provincia, Autorità di Bacino, Comuni di Lari e Capannoli, D.P.G.R. n° 10 del 12/01/2001



## Corsi d'acqua principali e laghi



## Argini fluviali



## Limite Comunale



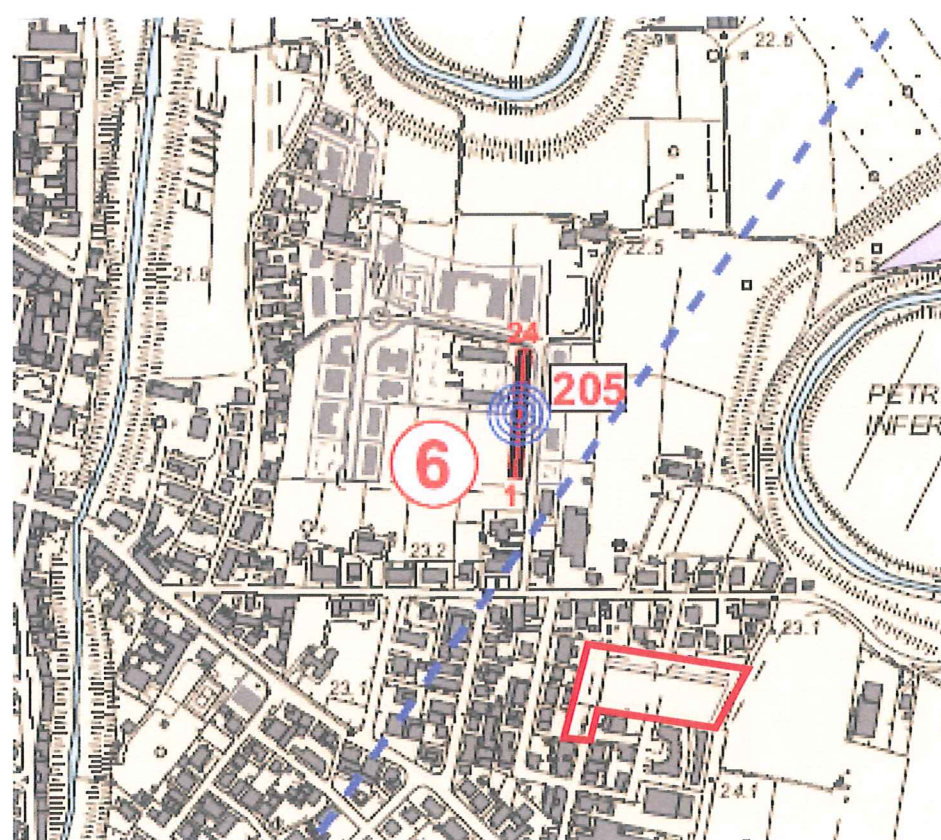
AREA IN ESAME










# CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA








Scala 1:10.000

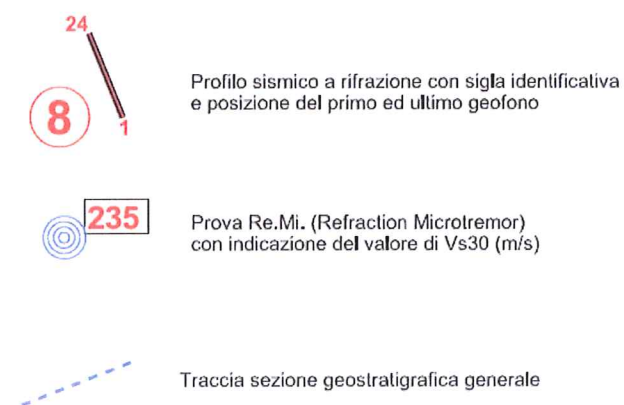
tratta da  
 INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE  
 DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO COMUNALE  
 L.R. n° 1-2005, D.C.R. n° 72-2007, D.P.C.M. 6/05/2005, D.P.G.R. n°26/r-2007



 AREA IN ESAME

Zona sismica di riferimento del GRT. 431 del 19/06/2006		3S	GRADO DI PERICOLOSITA' SISMICA
SIMBOLOGIA	TIPOLOGIA DELLE SITUAZIONI		
	(1)	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	S4
	(2A)	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	S3
	(2B)	Zone potenzialmente franose (sede di intensi fenomeni di erosione)	S3
	(4)	Zone con terreni particolarmente scendenti (ex cavi ricolmi)	S3
	(8)	Zone di bordo della valle e di raccordo con il versante	S3
	(9)	Zona con presenza di depositi alluvionali e di depositi del ciclo stratigrafico plio-pleistocenico (complesso neoautoctono)	S3
	(10)	Zona con presenza di coperture colluviali	S3

POSSIBILI EFFETTI	
	(1) ACCENTUAZIONE DEI FENOMENI DI INSTABILITA' IN ATTO E POTENZIALI DOVUTI AD EFFETTI DINAMICI QUALI POSSONO VERIFICARSI IN OCCASIONE DI EVENTI SISMICI
	(2A)
	(2B)
	(4) CEDIMENTI DIFFUSI
	(8) AMPLIFICAZIONE SISMICA DOVUTA A MORFOLOGIE SEPOLTE
	(9) AMPLIFICAZIONE DIFFUSA DEL MOTO DEL SUOLO DOVUTA ALLA DIFFERENZA DI RISPOSTA SISMICA TRA SUBSTRATO E COPERTURA DOVUTA A FENOMENI DI AMPLIFICAZIONE SISMICA
	(10)



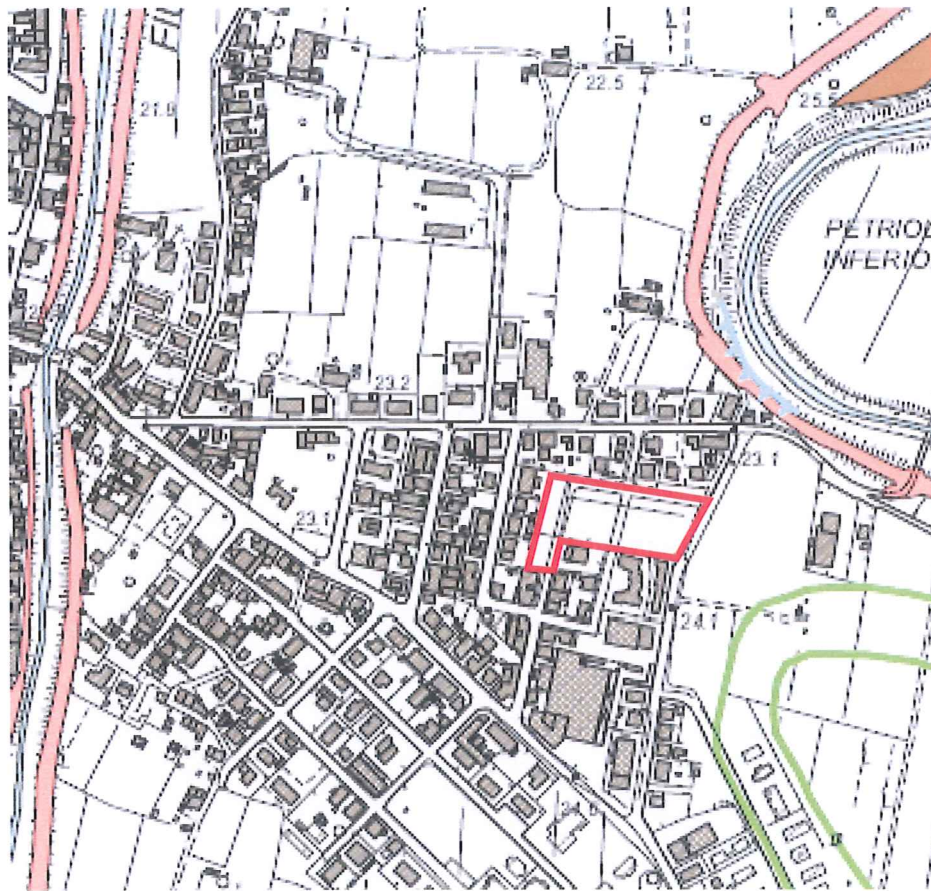
# CARTA GEOLOGICA

Scala 1:10.000

tratta da

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE

DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO COMUNALE

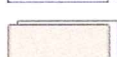


**Complesso  
Neoautoctono**

Ciocene

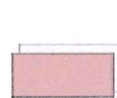


a - Alluvioni attuali



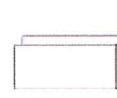
at - Alluvioni terrazzate

Pleistocene  
Sup.



q11 - Sabbie e limi di Vicarello

Pleistocene  
Medio



q6 - Conglomerati, Sabbie e Limi  
di Casa Poggio ai Lecci

Pleistocene  
Inf.



q2 - Sabbie ed argille ad Arctica

Pliocene  
Inf.-Medio



p3 - Sabbie

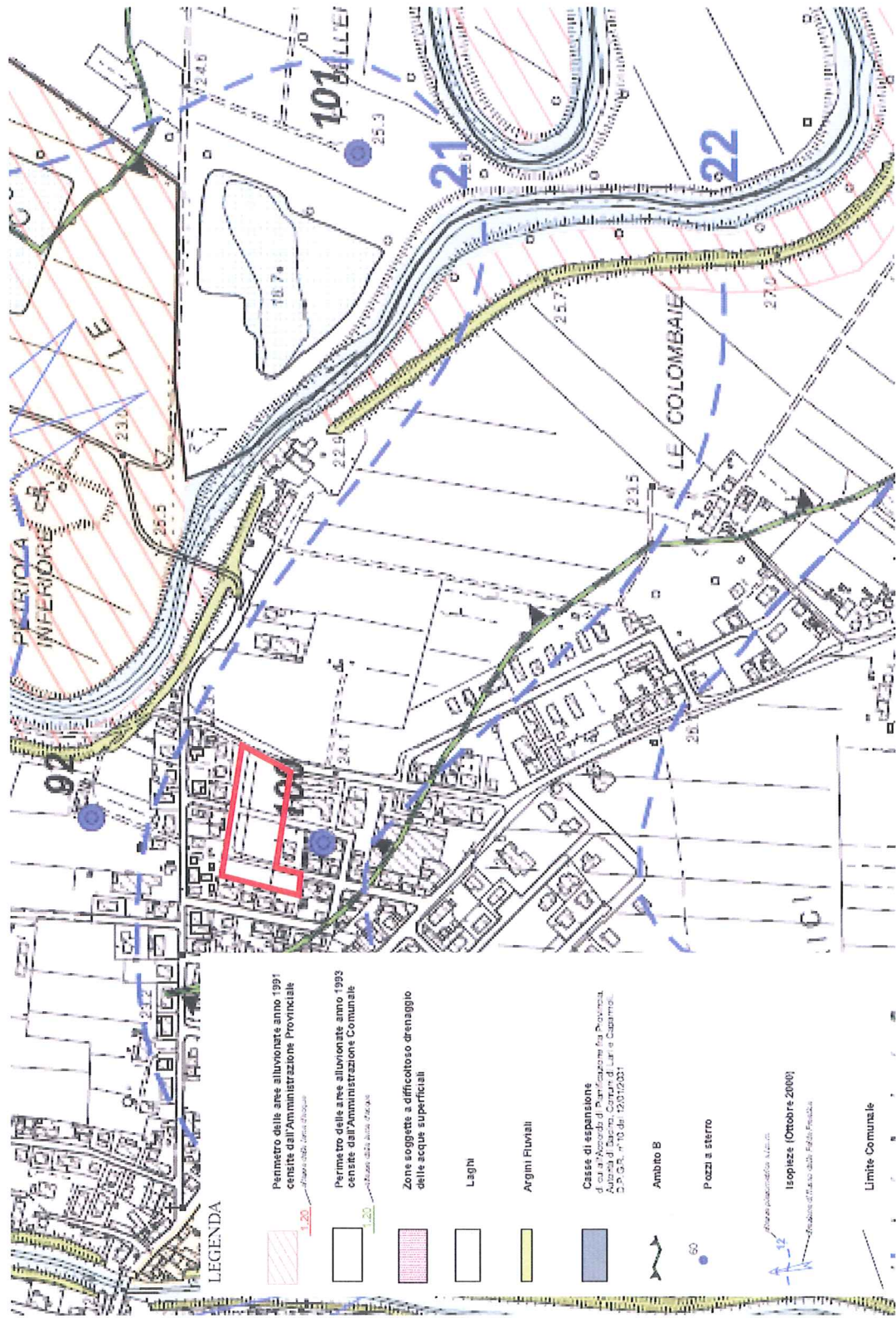


AREA IN ESAME

# CARTA IDROGEOLOGICA Scala 1:10.000

tratta da

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE  
DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO COMUNALE



# CARTA LITOTECNICA

Scala 1:10.000

tratta da

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE  
DI SUPPORTO ALLA PIANIFICAZIONE DEL TERRITORIO COMUNALE

L.R. n° 1-2005, D.C.R. n° 72-2007, D.P.C.M. 6/05/2005, D.P.G.R. n° 26/r-2007



AREA IN ESAME

Unità 1 : Formazioni di media resistenza  
(non rappresentata)

Unità 2 : Formazioni semicoerenti conglomeratiche  
(q6 - q17)

Unità 3 : Formazioni incoerenti sabbiose  
(at - p3)

Unità 4 : Formazioni coerenti di scarsa resistenza  
(non rappresentata)

Unità 5 : Formazioni pseudocoerenti argilloso-sabbiose  
(a)

Unità 6 : Formazioni pseudocoerenti prevalentemente  
argillose (q2)

Unità 7 : Accumulo di materiale rimaneggiato  
(discariche, detrito di versante, frane, ex cavi) - laghi

Corsi d'acqua principali

Ubicazione Prove Penetrometriche Dinamiche leggere

Ubicazione Prove Penetrometriche Dinamiche pesanti

Ubicazione Prove Penetrometriche Statiche

Ubicazione Sondaggi

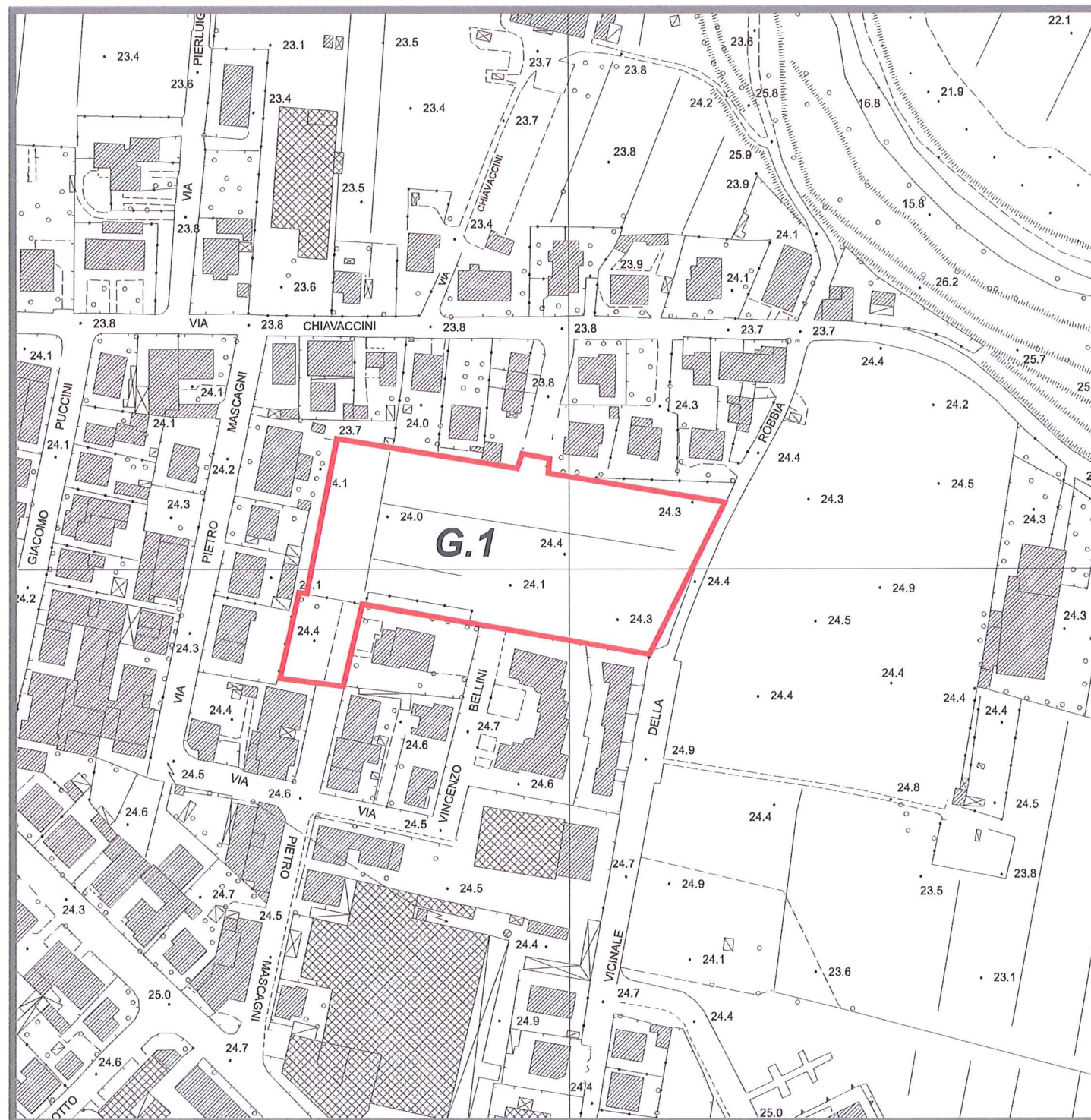
Ubicazione Saggi

Classi litotecniche

Ubicazione Prove in sito

**CARTA DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA**  
 (ai sensi D.P.G.R. 25/10/2011 n. 53/R, punto C.1)  
 Scala 1:2.000

**LEGENDA**



**G.1 PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA BASSA**

*Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici*

**G.2 PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA MEDIA**

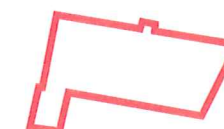
*Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto*

**G.3 PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA ELEVATA**

*Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche*

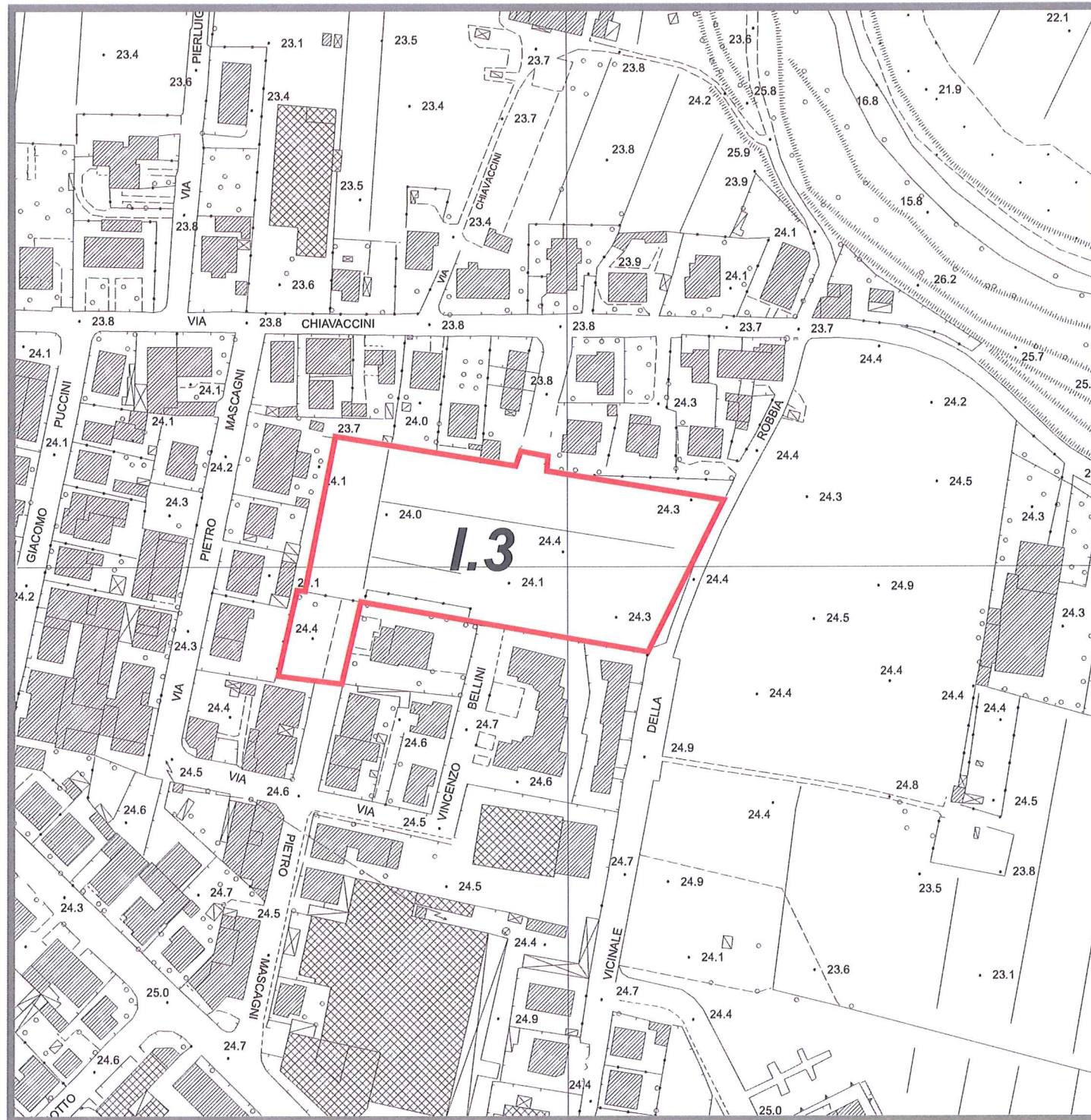
**G.4 PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA MOLTO ELEVATA**

*Aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi*



**Area soggetta a P.d.L.**

**CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA**  
 (ai sensi D.P.G.R. 25/10/2011 n. 53/R, punto C.2)  
 Scala 1:2.000



**LEGENDA**

**I.1 PERICOLOSITA' IDRAULICA BASSA**

*Aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:*

*a) non vi sono notizie storiche di inondazioni*

*B) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di*

**I.2 PERICOLOSITA' IDRAULICA MEDIA**

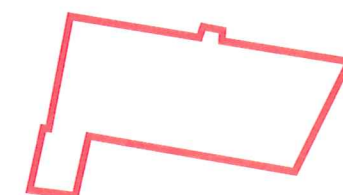
*Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra 200 < Tr < 500 anni.*

**I.3 PERICOLOSITA' IDRAULICA ELEVATA**

*Aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra 30 < Tr < 200 anni.*

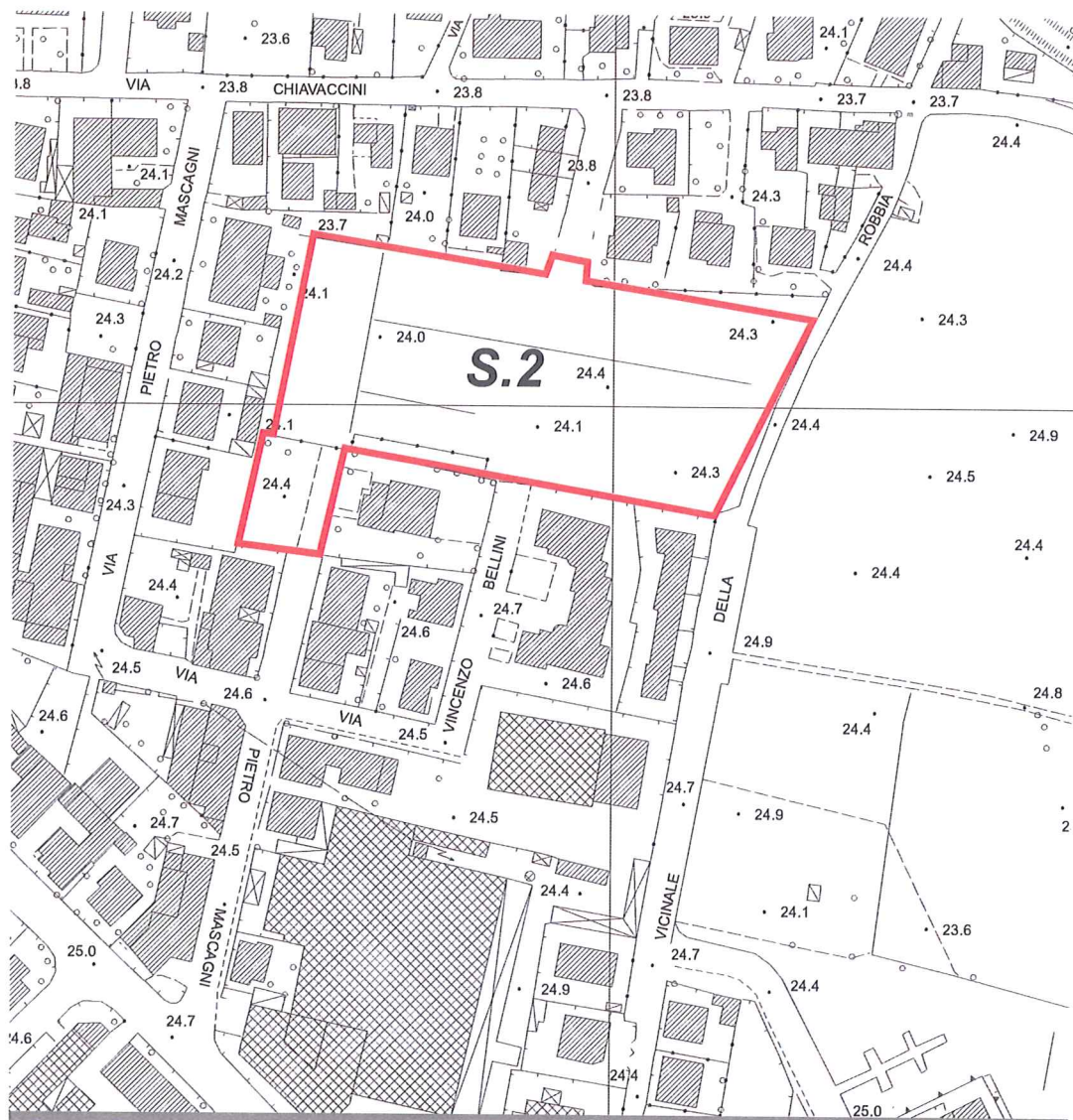
**I.4 PERICOLOSITA' IDRAULICA MOLTO ELEVATA**

*Aree interessate da allagamenti per eventi con Tr < 30 anni*



*Area soggetta a P.d.L.*

**CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE**  
(rielaborata ai sensi D.P.G.R. n. 53/R, punto C.5)  
Scala 1:2.000

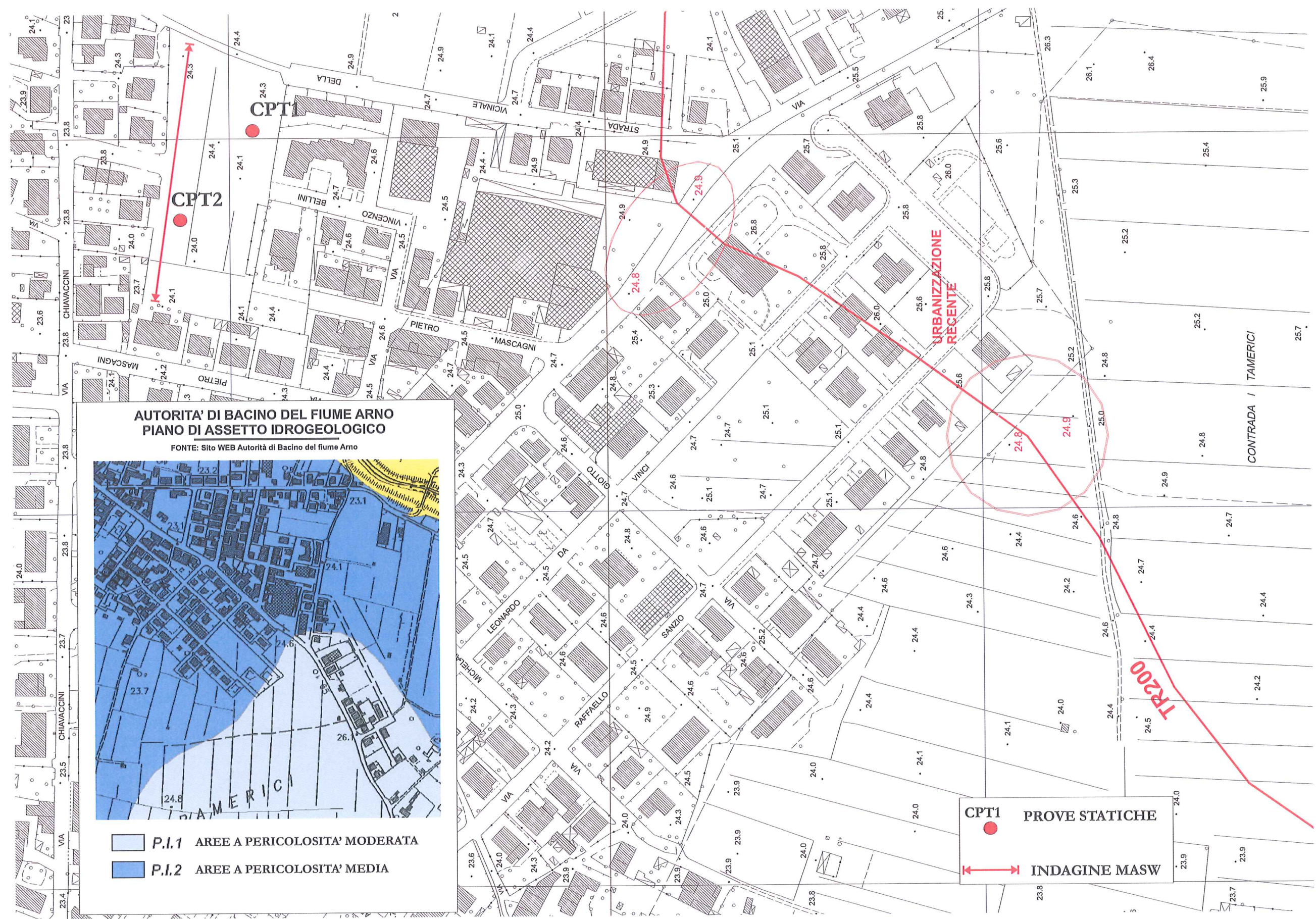


**S.2**

**PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE MEDIA**

Zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3.)

# COROGRAFIA C.T.R. SCALA 1.2000



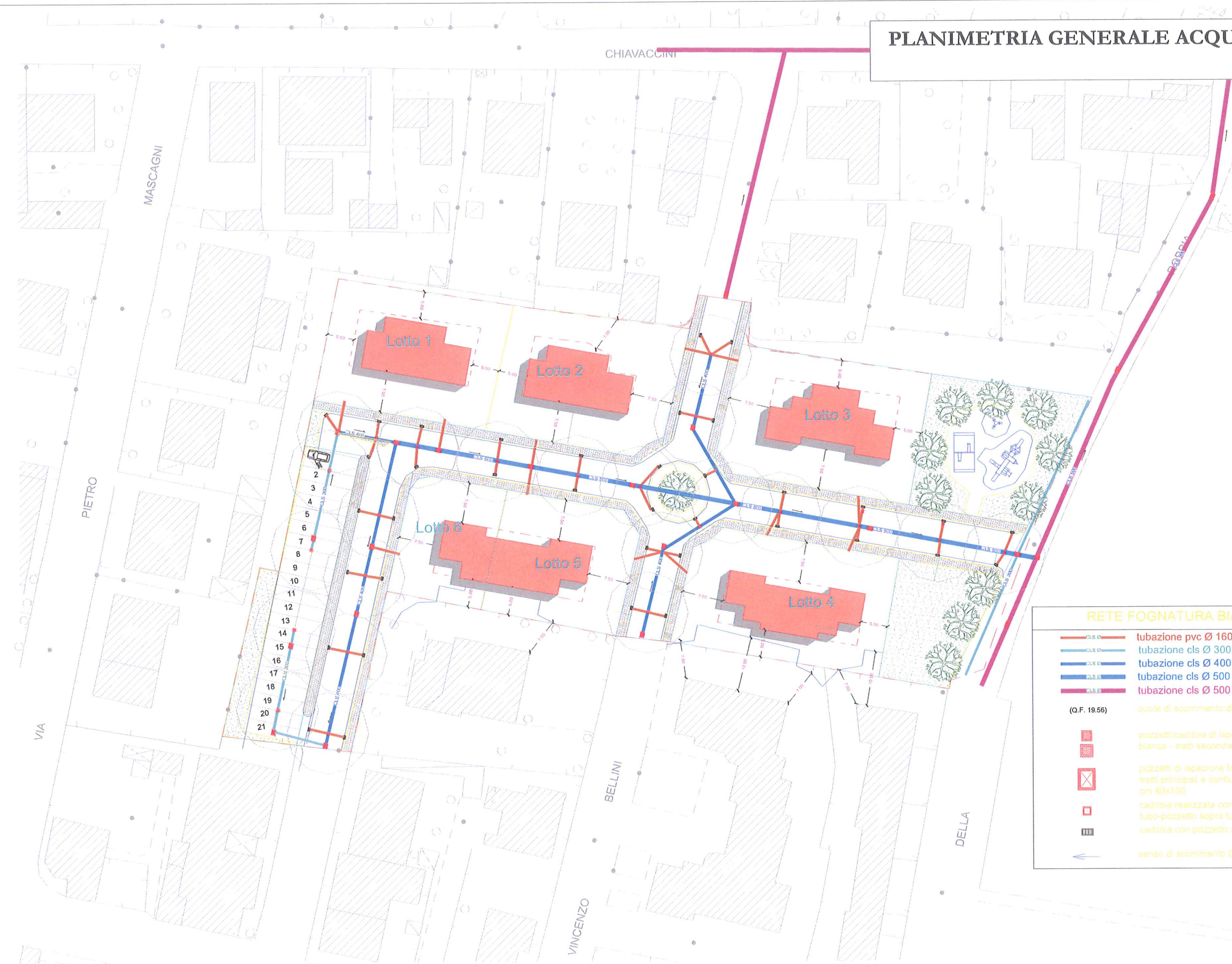
**AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME ARNO**  
**PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO**  
 FONTE: Sito WEB Autorità di Bacino del fiume Arno

P.I.1 AREE A PERICOLOSITA' MODERATA  
 P.I.2 AREE A PERICOLOSITA' MEDIA

● CPT1 PROVE STATICHE  
↔ INDAGINE MASW



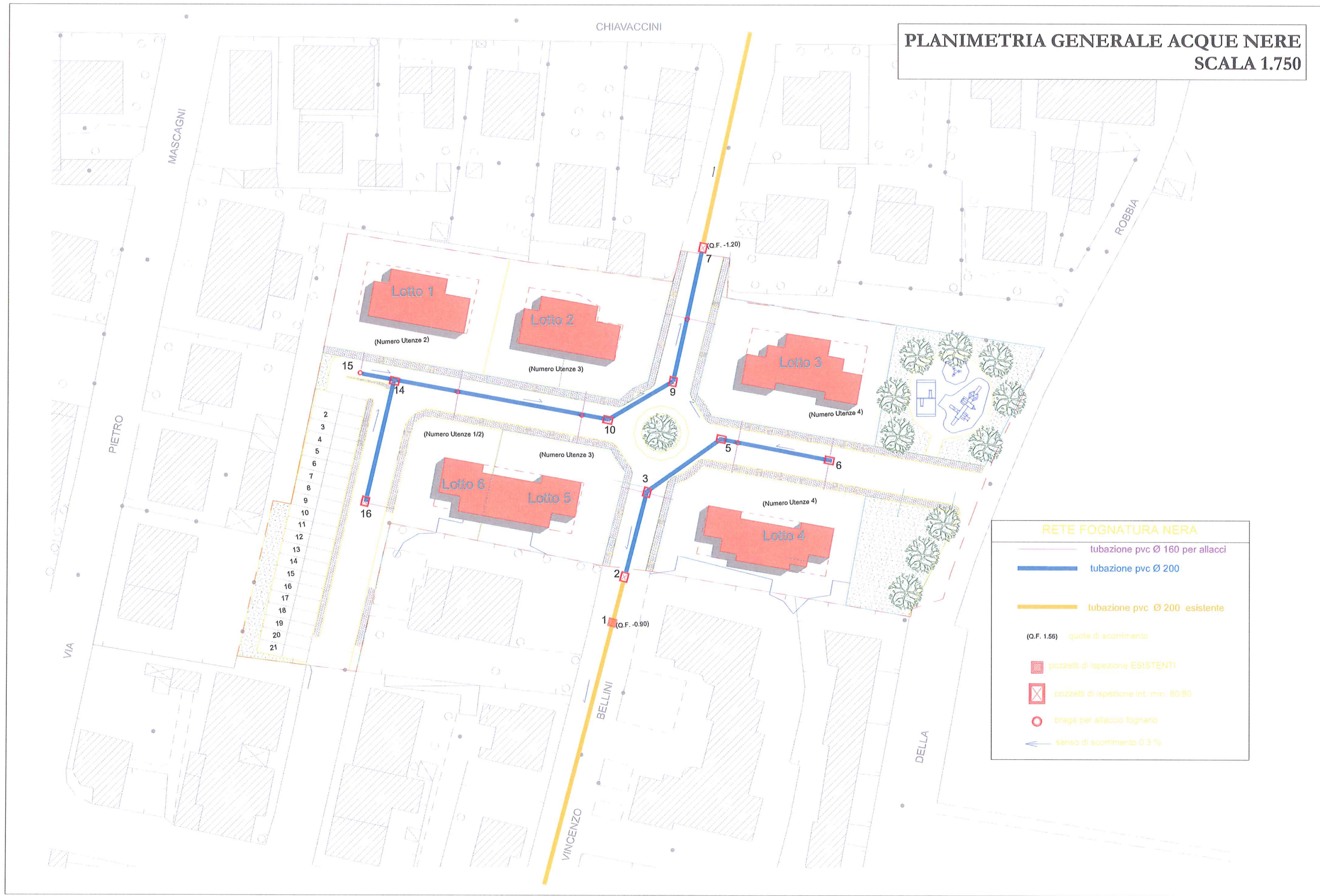
**PLANIMETRIA GENERALE ACQUE BIANCHE**  
**SCALA 1.750**



**RETE FOGNATURA BIANCA**

- tubazione pvc Ø 160
- tubazione cls Ø 300
- tubazione cls Ø 400
- tubazione cls Ø 500
- tubazione cls Ø 500 esistente
- (Q.F. 19.56) quote di scorcimento di progetto
- pozzetti/caditoie di ispezione fognatura bianca - tratti secondari cm 50x50
- pozzetti di ispezione fognatura bianca - tratti principali e confluenze di collettori cm 80x100
- caditoie realizzate con sistema tubo-pozzetto sopra tubazioni cls
- caditoie con pozzetto sifonato
- ← senso di scorrimento 0.2%

**PLANIMETRIA GENERALE ACQUE NERE**  
**SCALA 1.750**



CHIAVACCINI

MASCAGNI

ROBBIA

PIETRO

VIA

BELLINI  
 VINCENZO

DELLA

Lotto 1  
 (Numero UtENZE 2)

Lotto 2  
 (Numero UtENZE 3)

Lotto 3  
 (Numero UtENZE 4)

Lotto 5  
 (Numero UtENZE 1/2)  
 (Numero UtENZE 3)

Lotto 4  
 (Numero UtENZE 4)

- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21

(Q.F. -1.20)

(Q.F. -0.90)

## LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

### PENETROMETRO STATICO tipo:

Caratteristiche:

- punta conica meccanica  $\varnothing$  35.7 mm, angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$  - ( area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$ )
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (  $\varnothing$  35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. =  $150 \text{ cm}^2$ )
- velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  (  $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$  )
- spinta max nominale dello strumento  $S_{max}$  variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett.  $\Rightarrow$  spinta )  $C_t = \text{spinta (Kg)} / \text{LETTURA al manometro}$

$$\text{fase 1 - resistenza alla punta} \quad q_c \text{ ( Kg / cm}^2\text{)} = L_1 \times C_t / 10$$

$$\text{fase 2 - resistenza laterale locale} \quad f_s \text{ ( Kg / cm}^2\text{)} = (L_2 - L_1) \times C_t / 150$$

$$\text{fase 3 - resistenza totale} \quad R_t \text{ ( Kg )} = (L_t) \times C_t$$

$$q_c / f_s = \text{rapporto Begemann}$$

- L1. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta ( fase 1 )
- L2. totale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto ( fase 2 )
- Lt. aste = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( fase 3 )

N.B. : la spinta  $S$  ( Kg ) , corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna  $L$  per la costante di trasformazione  $C_t$  .

N.B. : causa la distanza intercorrente ( 20 cm circa ) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale  $f_s$  viene computata 20 cm sopra la punta .

### CONVERSIONI

$$1 \text{ kN ( kiloNewton )} = 1000 \text{ N} \approx 100 \text{ kg} = 0,1 \text{ t} - 1 \text{ MN ( megaNewton )} = 1000 \text{ kN} = 1000000 \text{ N} \approx 100 \text{ t}$$

$$1 \text{ kPa ( kiloPascal )} = 1 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ MN/m}^2 = 0,001 \text{ MPa} \approx 0,1 \text{ t/m}^2 = 0,01 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ MPa ( MegaPascal )} = 1 \text{ MN/m}^2 = 1000 \text{ kN/m}^2 = 1000 \text{ kPa} \approx 100 \text{ t / m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{kg/cm}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \approx 100 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MN/m}^2 = 0,1 \text{ Mpa}$$

$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} \approx 10 \text{ kN}$$

## LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto:  $F = (q_c / f_s)$

( Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977 )

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di  $q_c$  e di  $FR = (f_s / q_c) \%$

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$  di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato ( inalterato ) , per depositi coesivi

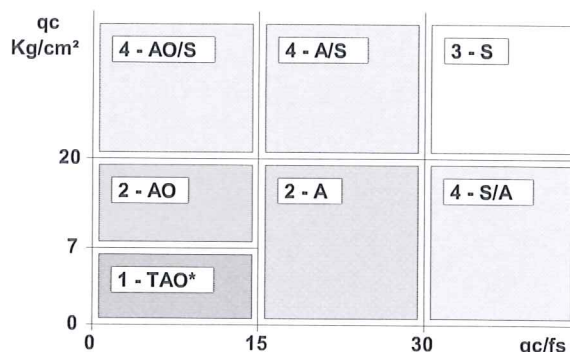
## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE ( validità orientativa )

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto  $qc / fs$   
( Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977 ), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

$qc \leq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni COESIVI      anche se  $( qc / fs ) > 30$

$qc \geq 20 \text{ kg/cm}^2$  : possibili terreni GRANULARI      anche se  $( qc / fs ) < 30$



NATURA LITOLOGICA

- 1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
- 2 - COESIVA IN GENERE
- 3 - GRANULARE
- 4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI ( validità orientativa ) - simboli - correlazioni - bibliografia

- $\gamma$  = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [ correlazioni :  $\gamma$  - qc - natura ]  
( Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982 )
- $\sigma'_{vo}$  = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno ( valutata in base ai valori di  $\gamma$  )
- $C_u$  = coesione non drenata (terreni coesivi ) [ correlazioni :  $C_u$  - qc ]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi ) [ correlazioni : OCR -  $C_u$  -  $\sigma'_{vo}$  ]  
( Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983 )
- $E_u$  = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [ correl. :  $E_u$  -  $C_u$  - OCR -  $I_p$   $I_p$ = indice plastico]  
 $E_{u50}$  -  $E_{u25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976 )
- $E'$  = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [ correlazioni :  $E'$  - qc ]  
 $E'_{50}$  -  $E'_{25}$  corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico corrisp. al 50-25% (coefficiente di sicurezza  $F = 2 - 4$  rispettivamente )  
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983 )
- $M_o$  = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [ correl. :  $M_o$  - qc - natura ]  
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973 )
- $D_r$  = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)  
[ correlazioni :  $D_r$  - qc -  $\sigma'_{vo}$  ] (Schmertmann 1976 )
- $\emptyset'$  = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C. ) [ correl. :  $\emptyset'$  -  $D_r$  - qc -  $\sigma'_{vo}$  ]  
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)  
 $\emptyset'_{1s}$  - (Schmertmann) sabbia fine uniforme       $\emptyset'_{2s}$  - sabbia media uniforme/ fine ben gradata  
 $\emptyset'_{3s}$  - sabbia grossa uniforme/ media ben gradata  
 $\emptyset'_{4s}$  - sabbia-ghiaia poco limosa/ ghiaietto uniorme
- $A_{max}$  = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )  
(  $g$  = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : ( $A_{max}/g$ ) -  $D_r$  ]  
 $\emptyset'_{dm}$  - ( Durgunoglu & Mitchell ) sabbie N.C.       $\emptyset'_{my}$  - (Meyerhof) sabbie limose

## PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.0105-157

- committente : Ferretti Maria Grazia et al.  
 - lavoro : Lottizzazione La Robbia  
 - località : Ponsacco - via della robbia  
 - assist. cantiere :

- data : 30/08/2011  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - falda : Falda non rilevata

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	-----	----	5,60	8,0	11,0	8,0	0,27	30,0
0,40	----	----	--	5,93	----	5,80	10,0	14,0	10,0	0,53	19,0
0,60	110,0	199,0	110,0	5,87	19,0	6,00	10,0	18,0	10,0	0,60	17,0
0,80	66,0	154,0	66,0	2,33	28,0	6,20	9,0	18,0	9,0	0,47	19,0
1,00	71,0	106,0	71,0	1,67	43,0	6,40	7,0	14,0	7,0	0,40	17,0
1,20	49,0	74,0	49,0	1,80	27,0	6,60	8,0	14,0	8,0	0,40	20,0
1,40	23,0	50,0	23,0	1,53	15,0	6,80	11,0	17,0	11,0	0,47	24,0
1,60	24,0	47,0	24,0	1,00	24,0	7,00	18,0	25,0	18,0	0,93	19,0
1,80	20,0	35,0	20,0	0,47	43,0	7,20	17,0	31,0	17,0	0,87	20,0
2,00	23,0	30,0	23,0	0,87	27,0	7,40	12,0	25,0	12,0	0,93	13,0
2,20	14,0	27,0	14,0	0,40	35,0	7,60	20,0	34,0	20,0	0,87	23,0
2,40	12,0	18,0	12,0	0,40	30,0	7,80	20,0	33,0	20,0	0,47	43,0
2,60	8,0	14,0	8,0	0,13	60,0	8,00	17,0	24,0	17,0	0,47	36,0
2,80	8,0	10,0	8,0	0,20	40,0	8,20	9,0	16,0	9,0	0,47	19,0
3,00	9,0	12,0	9,0	0,27	34,0	8,40	17,0	24,0	17,0	0,80	21,0
3,20	10,0	14,0	10,0	0,27	37,0	8,60	17,0	29,0	17,0	0,73	23,0
3,40	9,0	13,0	9,0	0,20	45,0	8,80	15,0	26,0	15,0	0,80	19,0
3,60	13,0	16,0	13,0	0,47	28,0	9,00	9,0	21,0	9,0	0,33	27,0
3,80	11,0	18,0	11,0	0,40	27,0	9,20	9,0	14,0	9,0	0,33	27,0
4,00	9,0	15,0	9,0	0,40	22,0	9,40	8,0	13,0	8,0	0,20	40,0
4,20	10,0	16,0	10,0	0,33	30,0	9,60	7,0	10,0	7,0	0,20	35,0
4,40	8,0	13,0	8,0	0,33	24,0	9,80	9,0	12,0	9,0	0,33	27,0
4,60	15,0	20,0	15,0	0,60	25,0	10,00	9,0	14,0	9,0	0,20	45,0
4,80	14,0	23,0	14,0	0,27	52,0	10,20	7,0	10,0	7,0	0,13	52,0
5,00	14,0	18,0	14,0	0,33	42,0	10,40	8,0	10,0	8,0	0,27	30,0
5,20	8,0	13,0	8,0	0,13	60,0	10,60	8,0	12,0	8,0	0,33	24,0
5,40	10,0	12,0	10,0	0,20	50,0	10,80	8,0	13,0	8,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo da 10 t - (senza anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

## PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

### CPT 2

2.0105-157

- committente : Ferretti Maria Grazia et al.  
- lavoro : Lottizzazione La Robbia  
- località : Ponsacco - via della robbia  
- assist. cantiere :

- data : 30/08/2011  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : Falda non rilevata

prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs	prf	L1	L2	qc	fs	qc/fs
m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-	m	-	-	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	-
0,20	----	----	--	4,40	----	<b>5,00</b>	9,0	14,0	9,0	0,33	27,0
0,40	79,0	145,0	79,0	4,47	18,0	5,20	11,0	16,0	11,0	0,53	21,0
0,60	70,0	137,0	70,0	1,00	70,0	5,40	9,0	17,0	9,0	0,60	15,0
0,80	69,0	84,0	69,0	1,53	45,0	5,60	11,0	20,0	11,0	0,73	15,0
<b>1,00</b>	49,0	72,0	49,0	2,27	22,0	5,80	12,0	23,0	12,0	0,53	22,0
1,20	31,0	65,0	31,0	0,67	46,0	<b>6,00</b>	17,0	25,0	17,0	0,80	21,0
1,40	18,0	28,0	18,0	0,87	21,0	6,20	16,0	28,0	16,0	0,53	30,0
1,60	21,0	34,0	21,0	0,47	45,0	6,40	10,0	18,0	10,0	0,47	21,0
1,80	13,0	20,0	13,0	0,40	32,0	6,60	9,0	16,0	9,0	0,33	27,0
<b>2,00</b>	11,0	17,0	11,0	0,53	21,0	6,80	8,0	13,0	8,0	0,93	9,0
2,20	8,0	16,0	8,0	0,33	24,0	<b>7,00</b>	22,0	36,0	22,0	0,67	33,0
2,40	8,0	13,0	8,0	0,07	120,0	7,20	15,0	25,0	15,0	0,73	20,0
2,60	9,0	10,0	9,0	0,20	45,0	7,40	13,0	24,0	13,0	1,00	13,0
2,80	13,0	16,0	13,0	0,47	28,0	7,60	14,0	29,0	14,0	0,60	23,0
<b>3,00</b>	13,0	20,0	13,0	0,47	28,0	7,80	13,0	22,0	13,0	0,47	28,0
3,20	9,0	16,0	9,0	0,20	45,0	<b>8,00</b>	11,0	18,0	11,0	0,53	21,0
3,40	9,0	12,0	9,0	0,40	22,0	8,20	10,0	18,0	10,0	0,80	12,0
3,60	9,0	15,0	9,0	0,47	19,0	8,40	21,0	33,0	21,0	0,93	22,0
3,80	9,0	16,0	9,0	0,60	15,0	8,60	22,0	36,0	22,0	0,73	30,0
<b>4,00</b>	10,0	19,0	10,0	0,67	15,0	8,80	15,0	26,0	15,0	0,47	32,0
4,20	10,0	20,0	10,0	0,53	19,0	<b>9,00</b>	13,0	20,0	13,0	0,53	24,0
4,40	7,0	15,0	7,0	0,33	21,0	9,20	14,0	22,0	14,0	0,73	19,0
4,60	9,0	14,0	9,0	0,33	27,0	9,40	11,0	22,0	11,0	-----	-----
4,80	7,0	12,0	7,0	0,33	21,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 10 t - (senza anello allargatore) -  
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct= 10 - Velocità avanzamento punta 2 cm/s  
- punta meccanica tipo Begemann  $\phi = 35.7$  mm (area punta 10 cm<sup>2</sup> - apertura 60°)  
- manicotto laterale (superficie 150 cm<sup>2</sup>)

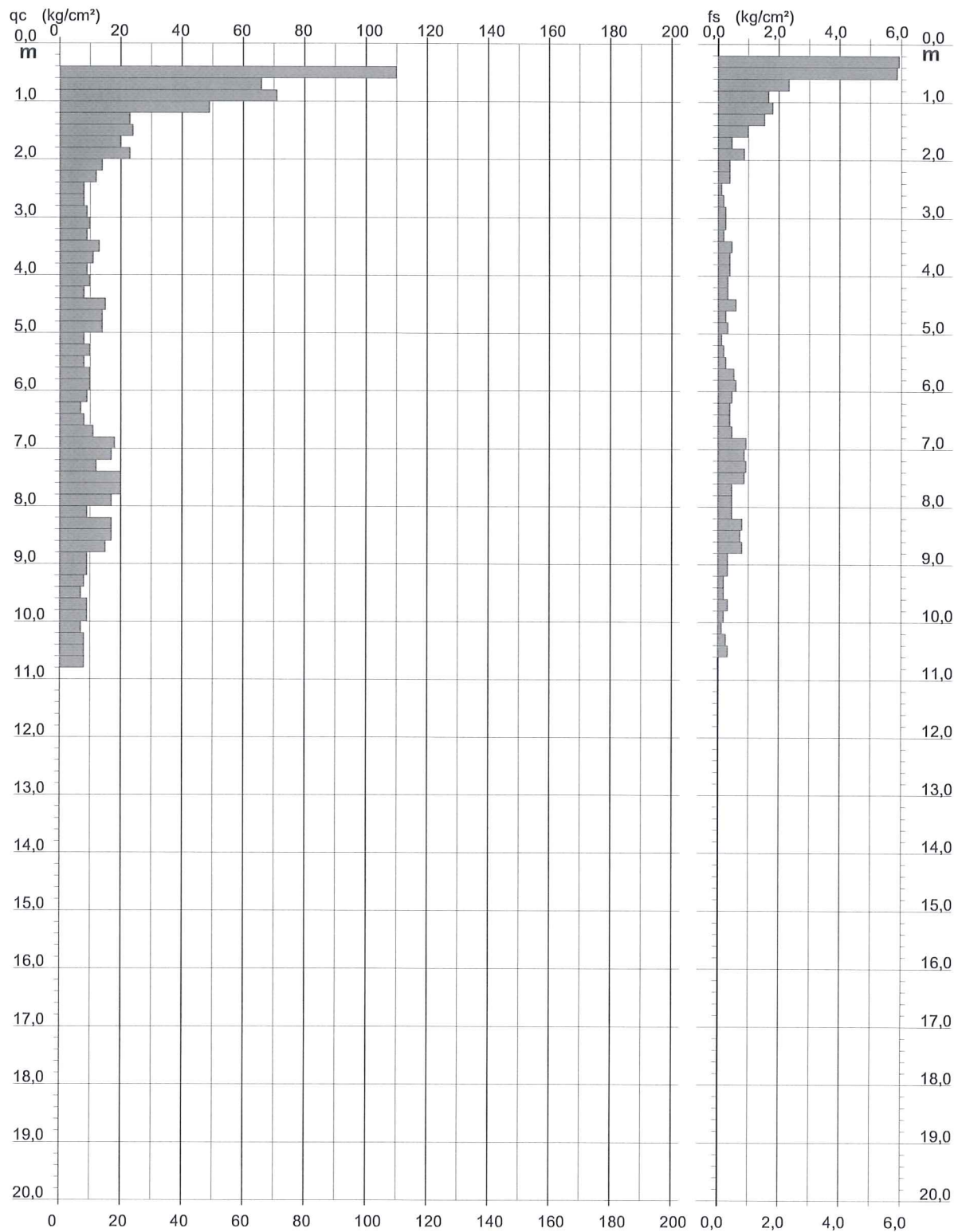
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

**CPT 1**

2.0105-157

- committente : Ferretti Maria Grazia et al.  
 - lavoro : Lottizzazione La Robbia  
 - località : Ponsacco - via della robbia  
 - assist. cantiere :

- data : 30/08/2011  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - falda : Falda non rilevata





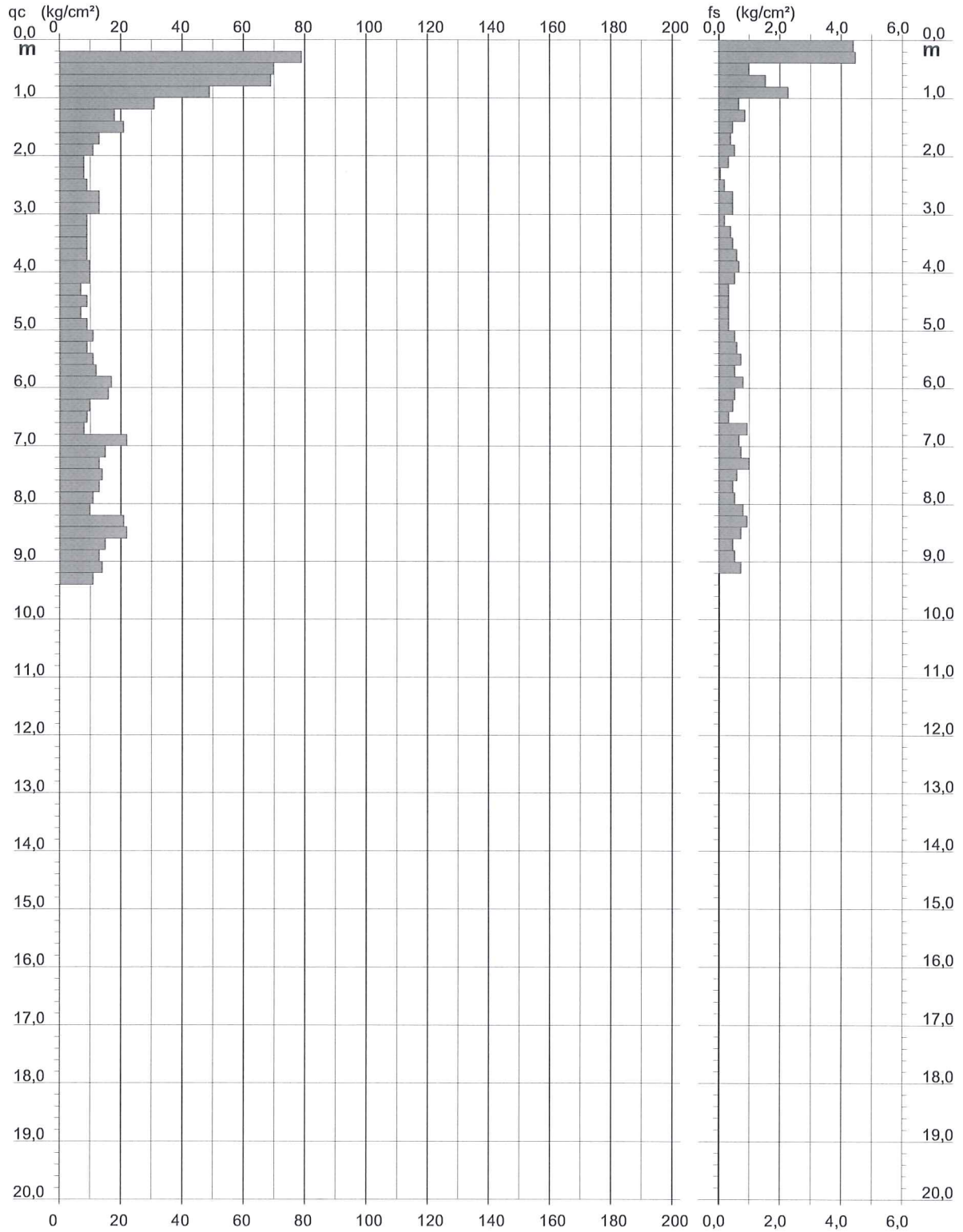
**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
DIAGRAMMA DI RESISTENZA**

**CPT 2**

2.0105-157

- committente : Ferretti Maria Grazia et al.  
 - lavoro : Lottizzazione La Robbia  
 - località : Ponsacco - via della robbia  
 - assist. cantiere :

- data : 30/08/2011  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - falda : Falda non rilevata



# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

**CPT 1**

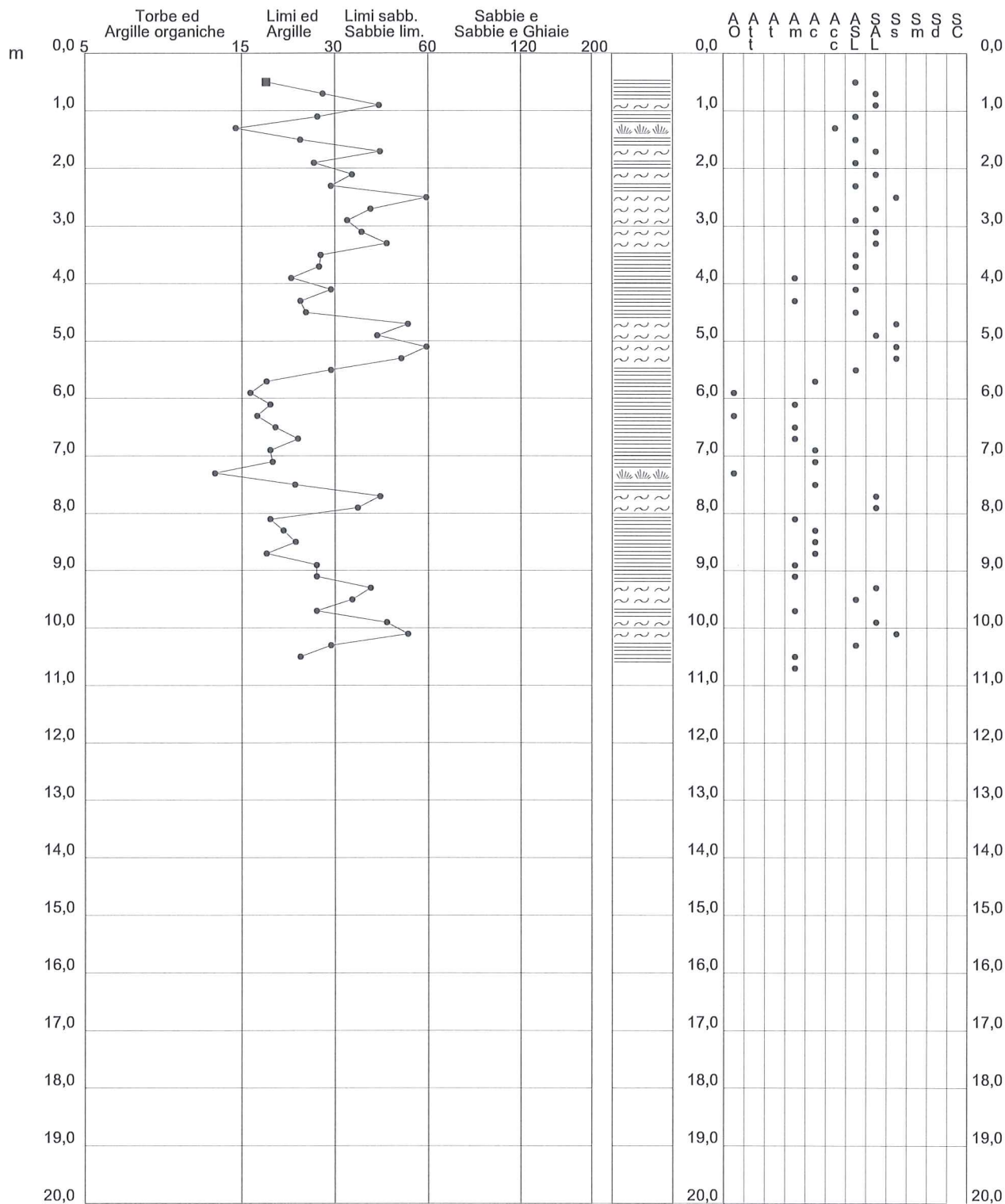
2.0105-157

- committente : Ferretti Maria Grazia et al.  
 - lavoro : Lottizzazione La Robbia  
 - località : Ponsacco - via della robbia  
 - assist. cantiere :

- data : 30/08/2011  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - falda : Falda non rilevata

qc/fs (Begemann 1965 A.G.I. 1977)

qc - fs/qc (Schmertmann 1978)



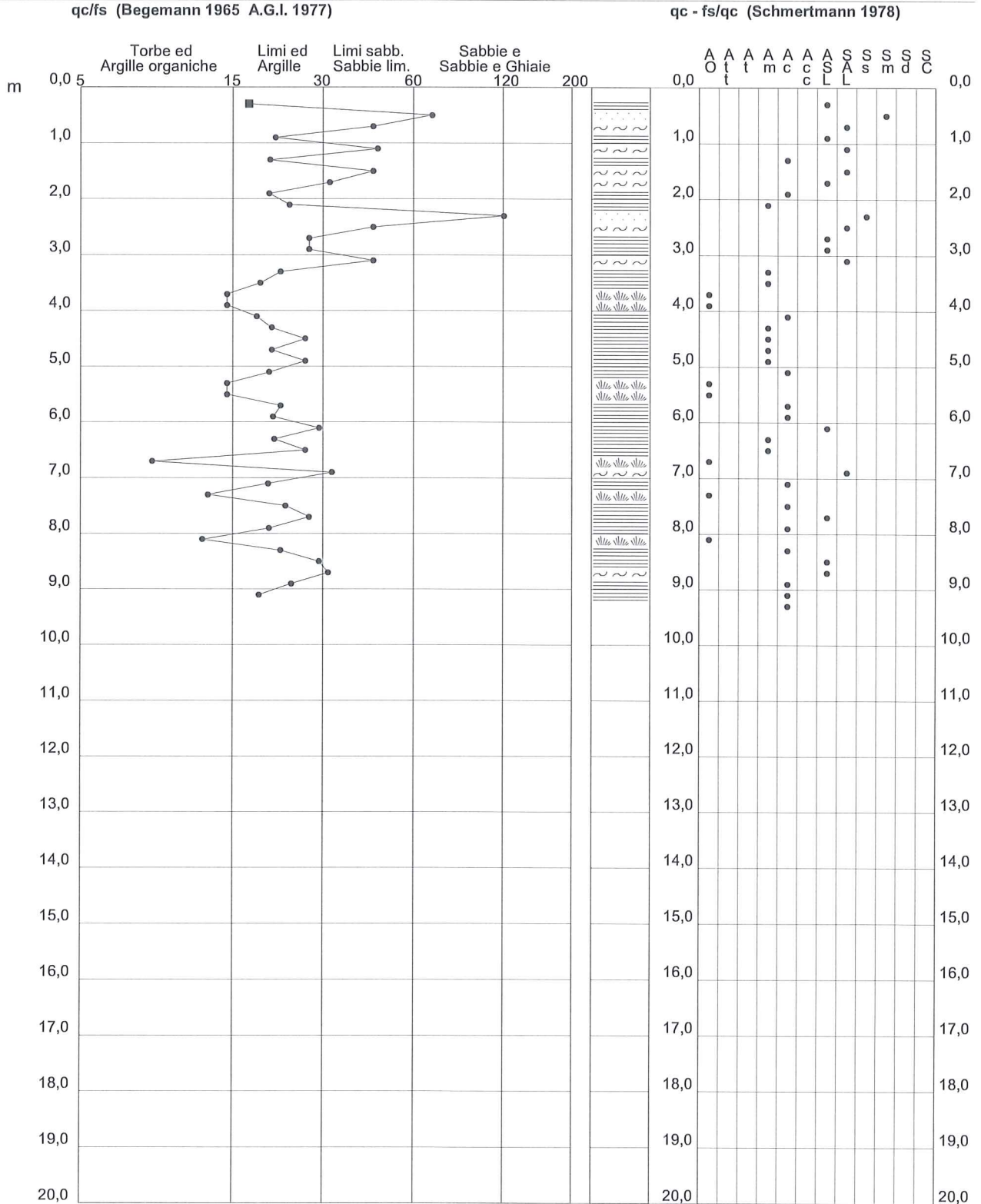
# PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

**CPT 2**

2.0105-157

- committente : Ferretti Maria Grazia et al.  
 - lavoro : Lottizzazione La Robbia  
 - località : Ponsacco - via della robbia  
 - assist. cantiere :

- data : 30/08/2011  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - falda : Falda non rilevata



**PROVA PENETROMETRICA STATICA  
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI**

**CPT 1**

2.0105-157

- committente : Ferretti Maria Grazia et al.  
- lavoro : Lottizzazione La Robbia  
- località : Ponsacco - via della robbia  
- assist. cantiere :

- data : 30/08/2011  
- quota inizio : Piano Campagna  
- falda : Falda non rilevata

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m²	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
0,40	--	--	???	1,85	0,07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
0,60	110	19	4/:	1,85	0,11	3,67	99,9	623	935	330	100	42	43	45	46	43	32	0,258	183	275	330		
0,80	66	28	4/:	1,85	0,15	2,20	99,9	374	561	198	100	42	43	45	46	43	32	0,258	110	165	198		
1,00	71	43	3::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	43	32	0,258	118	178	213		
1,20	49	27	4/:	1,85	0,22	1,63	76,1	278	417	147	84	40	41	43	45	41	31	0,204	82	123	147		
1,40	23	15	4/:	1,85	0,26	0,87	28,5	148	221	69	54	36	38	40	42	36	28	0,115	38	53	69		
1,60	24	24	4/:	1,85	0,30	0,89	24,8	151	227	72	53	35	38	40	42	36	28	0,111	40	60	72		
1,80	20	43	4/:	1,85	0,33	0,80	18,8	136	204	60	44	34	36	39	41	34	27	0,088	33	50	60		
2,00	23	27	4/:	1,85	0,37	0,87	18,2	148	221	69	46	34	37	39	42	34	28	0,093	38	58	69		
2,20	14	35	4/:	1,85	0,41	0,64	11,0	108	162	48	26	32	34	37	40	31	26	0,050	23	35	42		
2,40	12	30	4/:	1,85	0,44	0,57	8,6	105	158	45	19	31	34	36	40	30	26	0,036	20	30	36		
2,60	8	60	4/:	1,85	0,48	0,40	5,0	133	199	35	3	28	32	35	38	27	26	0,008	13	20	24		
2,80	8	40	4/:	1,85	0,52	0,40	4,5	144	217	35	1	28	31	35	38	27	26	0,003	13	20	24		
3,00	9	34	4/:	1,85	0,55	0,45	4,8	154	231	38	4	29	32	35	38	27	26	0,009	15	23	27		
3,20	10	37	4/:	1,85	0,59	0,50	5,1	163	244	40	6	29	32	35	38	27	26	0,014	17	25	30		
3,40	9	45	4/:	1,85	0,63	0,45	4,1	176	263	38	1	28	31	35	38	26	26	0,001	15	23	27		
3,60	13	28	2:///	1,85	0,67	0,60	5,6	180	270	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3,80	11	27	2:///	1,85	0,70	0,54	4,5	196	294	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4,00	9	22	2:///	1,85	0,74	0,45	3,4	208	312	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4,20	10	30	4/:	1,85	0,78	0,50	3,6	219	329	40	--	28	31	35	38	26	26	--	17	25	30		
4,40	8	24	2:///	1,85	0,81	0,40	2,6	210	315	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4,60	15	25	2:///	1,85	0,85	0,67	4,6	237	355	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4,80	14	52	4/:	1,85	0,89	0,64	4,1	248	372	48	7	29	32	35	39	27	26	0,016	23	35	42		
5,00	14	42	4/:	1,85	0,93	0,64	3,9	259	389	48	6	29	32	35	39	26	26	0,015	23	35	42		
5,20	8	60	4/:	1,85	0,96	0,40	2,1	222	333	35	--	28	31	35	38	25	26	--	13	20	24		
5,40	10	50	4/:	1,85	1,00	0,50	2,6	260	390	40	--	28	31	35	38	25	26	--	17	25	30		
5,60	8	30	4/:	1,85	1,04	0,40	1,9	226	339	35	--	28	31	35	38	25	26	--	13	20	24		
5,80	10	19	2:///	1,85	1,07	0,50	2,4	268	402	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
6,00	10	17	2:///	1,85	1,11	0,50	2,3	271	406	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
6,20	9	19	2:///	1,85	1,15	0,45	1,9	253	380	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
6,40	7	17	2:///	1,85	1,18	0,35	1,4	206	309	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
6,60	8	20	2:///	1,85	1,22	0,40	1,6	232	349	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
6,80	11	24	2:///	1,85	1,26	0,54	2,2	296	443	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
7,00	18	19	2:///	1,85	1,30	0,75	3,2	359	539	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
7,20	17	20	2:///	1,85	1,33	0,72	2,9	361	542	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
7,40	12	13	2:///	1,85	1,37	0,57	2,1	317	475	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
7,60	20	23	4/:	1,85	1,41	0,80	3,1	388	582	60	8	29	32	35	39	26	27	0,018	33	50	60		
7,80	20	43	4/:	1,85	1,44	0,80	3,0	394	592	60	8	29	32	35	39	26	27	0,017	33	50	60		
8,00	17	36	4/:	1,85	1,48	0,72	2,6	380	570	54	2	28	31	35	38	25	27	0,004	28	43	51		
8,20	9	19	2:///	1,85	1,52	0,45	1,4	265	397	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
8,40	17	21	2:///	1,85	1,55	0,72	2,4	387	581	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
8,60	17	23	2:///	1,85	1,59	0,72	2,3	391	586	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
8,80	15	19	2:///	1,85	1,63	0,67	2,1	371	557	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
9,00	9	27	2:///	1,85	1,66	0,45	1,2	267	401	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
9,20	9	27	2:///	1,85	1,70	0,45	1,2	267	401	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
9,40	8	40	4/:	1,85	1,74	0,40	1,0	240	360	35	--	28	31	35	38	25	26	--	13	20	24		
9,60	7	35	4/:	1,85	1,78	0,35	0,8	210	315	32	--	28	31	35	38	25	26	--	12	18	21		
9,80	9	27	2:///	1,85	1,81	0,45	1,1	269	403	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
10,00	9	45	4/:	1,85	1,85	0,45	1,1	269	404	38	--	28	31	35	38	25	26	--	15	23	27		
10,20	7	52	4/:	1,85	1,89	0,35	0,8	210	315	32	--	28	31	35	38	25	26	--	12	18	21		
10,40	8	30	4/:	1,85	1,92	0,40	0,9	240	360	35	--	28	31	35	38	25	26	--	13	20	24		
10,60	8	24	2:///	1,85	1,96	0,40	0,9	240	360	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
10,80	8	--	2:///	1,85	2,00	0,40	0,8	240	360	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		

## PROVA PENETROMETRICA STATICA TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

## CPT 2

2.0105-157

- committente : Ferretti Maria Grazia et al.  
 - lavoro : Lottizzazione La Robbia  
 - località : Ponsacco - via della robbia  
 - assist. cantiere :

- data : 30/08/2011  
 - quota inizio : Piano Campagna  
 - falda : Falda non rilevata

### NATURA COESIVA      NATURA GRANULARE

Prof. m	qc kg/cm <sup>2</sup>	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m <sup>3</sup>	p'vo kg/cm <sup>2</sup>	Cu kg/cm <sup>2</sup>	OCR (-)	Eu50 kg/cm <sup>2</sup>	Eu25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm <sup>2</sup>	E'25 kg/cm <sup>2</sup>	Mo	
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
0,40	79	18	4/:	1,85	0,07	2,63	99,9	448	672	237	--	100	42	43	45	46	45	33	0,258	132	198	237
0,60	70	70	3:::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	32	0,258	117	175	210	
0,80	69	45	3:::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	32	0,258	115	173	207	
1,00	49	22	4/:	1,85	0,19	1,63	95,5	278	417	147	89	40	42	43	45	41	31	0,218	82	123	147	
1,20	31	46	3:::	1,85	0,22	--	--	--	--	--	68	38	39	41	43	39	29	0,155	52	78	93	
1,40	18	21	2////	1,85	0,26	0,75	23,7	128	191	56	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
1,60	21	45	3:::	1,85	0,30	--	--	--	--	--	48	35	37	39	42	35	27	0,099	35	53	63	
1,80	13	32	4/:	1,85	0,33	0,60	13,2	103	154	47	29	32	35	37	40	32	26	0,055	22	33	39	
2,00	11	21	2////	1,85	0,37	0,54	10,0	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2,20	8	24	2////	1,85	0,41	0,40	6,1	107	160	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
2,40	8	120	4/:	1,85	0,44	0,40	5,5	120	180	35	5	29	32	35	38	27	26	0,013	13	20	24	
2,60	9	45	4/:	1,85	0,48	0,45	5,8	129	193	38	7	29	32	35	39	28	26	0,016	15	23	27	
2,80	13	28	2////	1,85	0,52	0,60	7,6	126	189	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3,00	13	28	2////	1,85	0,55	0,60	7,0	139	209	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3,20	9	45	4/:	1,85	0,59	0,45	4,5	165	248	38	2	28	31	35	38	26	26	0,005	15	23	27	
3,40	9	22	2////	1,85	0,63	0,45	4,1	176	263	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3,60	9	19	2////	1,85	0,67	0,45	3,8	187	281	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
3,80	9	15	2////	1,85	0,70	0,45	3,6	198	298	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4,00	10	15	2////	1,85	0,74	0,50	3,8	208	312	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4,20	10	19	2////	1,85	0,78	0,50	3,6	219	329	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4,40	7	21	2////	1,85	0,81	0,35	2,2	192	289	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4,60	9	27	2////	1,85	0,85	0,45	2,8	228	342	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
4,80	7	21	2////	1,85	0,89	0,35	2,0	197	295	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,00	9	27	2////	1,85	0,93	0,45	2,6	237	355	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,20	11	21	2////	1,85	0,96	0,54	3,0	264	395	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,40	9	15	2////	1,85	1,00	0,45	2,3	244	366	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,60	11	15	2////	1,85	1,04	0,54	2,8	275	412	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
5,80	12	22	2////	1,85	1,07	0,57	2,9	288	432	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,00	17	21	2////	1,85	1,11	0,72	3,7	313	470	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,20	16	30	4/:	1,85	1,15	0,70	3,4	322	483	52	6	29	32	35	38	26	27	0,014	27	40	48	
6,40	10	21	2////	1,85	1,18	0,50	2,1	276	414	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,60	9	27	2////	1,85	1,22	0,45	1,8	256	385	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
6,80	8	9	2////	1,85	1,26	0,40	1,5	233	350	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7,00	22	33	3:::	1,85	1,30	--	--	--	--	--	14	30	33	36	39	27	28	0,027	37	55	66	
7,20	15	20	2////	1,85	1,33	0,67	2,6	347	520	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7,40	13	13	2////	1,85	1,37	0,60	2,3	330	494	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7,60	14	23	2////	1,85	1,41	0,64	2,9	344	516	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
7,80	13	28	2////	1,85	1,44	0,60	2,1	335	502	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8,00	11	21	2////	1,85	1,48	0,54	1,8	307	460	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8,20	10	12	2////	1,85	1,52	0,50	1,6	290	435	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
8,40	21	22	4/:	1,85	1,55	0,82	2,8	417	625	63	8	29	32	35	39	26	27	0,017	35	53	63	
8,60	22	30	4/:	1,85	1,59	0,85	2,9	427	641	66	9	29	32	35	39	26	28	0,018	37	55	66	
8,80	15	32	4/:	1,85	1,63	0,67	2,1	371	557	50	--	28	31	35	38	25	27	--	25	38	45	
9,00	13	24	2////	1,85	1,66	0,60	1,8	346	518	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9,20	14	19	2////	1,85	1,70	0,64	1,8	362	543	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
9,40	11	--	2////	1,85	1,74	0,54	1,4	314	471	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	

RISULTATI DI INDAGINI GEOSISMICHE  
EFFETTUATE IN PONSACCO, VIA DELLA ROBBIA  
MEDIANTE UNA RILEVAZIONE DEL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE

APRILE 2013

---

## RISULTATI DI INDAGINI GEOSISMICHE EFFETTUATE IN PONSACCO, VIA DELLA ROBBIA, MEDIANTE UNA RILEVAZIONE DEL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE.

---

### PREMESSE

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati di un'indagine geo-sismica effettuata in un'area posta nell'abitato di Ponsacco (PI), e precisamente in un'area adiacente Via della Robbia, nell'ambito di approfondimenti effettuati in fase di valutazione di fattibilità geologica di una variante al R.U. del Comune di Ponsacco.

L'indagine si è articolata sull'effettuazione di un'indagine in sismica passiva (*microtremore sismico ambientale*) in una postazione; i dati sismici di base sono stati dedotti da una prospezione sismica a rifrazione effettuata nelle vicinanze.

E' stato così possibile ottenere i dati necessari a una prima definizione delle caratteristiche geo-sismiche della zona in prospettiva di microzonazione sismica di primo livello ai sensi del *DPRG 25.10.2011 n. 53/R*.

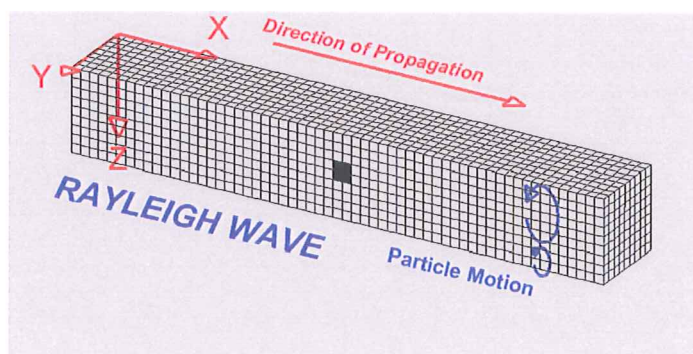
Le risultanze delle indagini in oggetto sono riportate nei grafici, schede e report allegati.

### PROSPEZIONE SIMICA MASW DI RIFERIMENTO

#### GENERALITÀ SUL METODO MASW

Le onde sismiche che si propagano in un mezzo si dividono, principalmente, in onde *di corpo* e onde *di superficie*. Fra queste ultime si hanno le onde di *Rayleigh*, le onde di *Love* e le onde di *Lamb*.

Le onde di *Rayleigh*, in particolare, sono originate dall'interazione fra le onde di pressione e le onde di taglio verticali quando esista una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo.



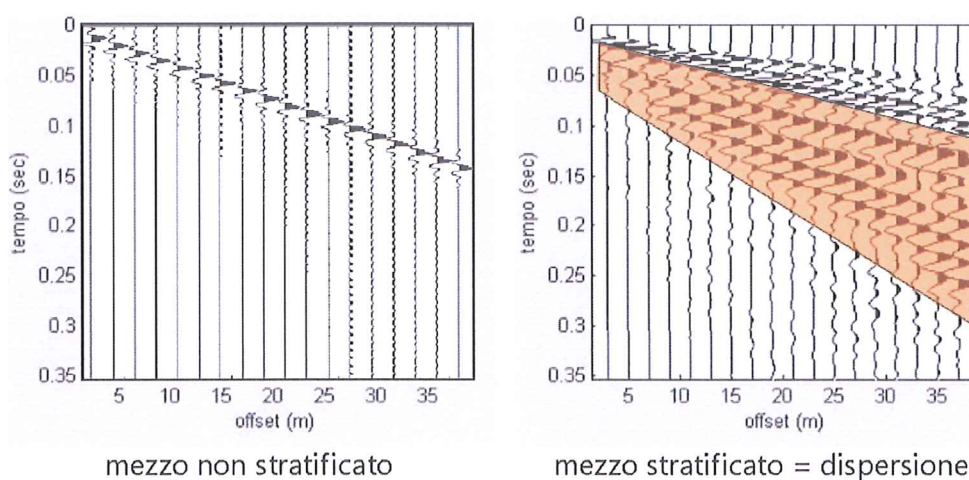
Il moto delle particelle è di tipo ellittico retrogrado, il quale si inverte a una profondità di  $\lambda/2\pi$ . L'ampiezza dello spostamento decresce secondo una legge esponenziale.

L'energia convertita in onde di *Rayleigh* è, in percentuale, molto maggiore rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P ed S. Inoltre l'ampiezza delle onde di superficie varia con la

---

radice quadrata di  $r$ , e non con  $r$  come avviene per le onde di corpo. Le onde di Rayleigh presentano una velocità del 90% circa rispetto a quella delle onde di taglio.

In presenza di un semispazio omogeneo, la velocità di tali onde non varia in funzione della frequenza, non si ha cioè *dispersione*, la deformazione di un treno di onde dovuta alla variazione della velocità di propagazione in funzione della frequenza. Questa deformazione si manifesta invece quando il terreno presenti una stratificazione; la velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda viene influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino a una profondità dell'ordine di  $\lambda/2$  circa.



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. Quindi una metodologia che utilizzi le onde superficiali è in grado di rilevare variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

Nel caso che l'obiettivo sia di verificare le caratteristiche delle velocità delle onde S nel terreno, questo tipo di indagine è molto utile, in quanto la  $V_s$  è il fattore che governa le caratteristiche della dispersione. Inoltre il metodo non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità, e presenta una buona risoluzione.

L'indagine secondo la tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) prevede l'energizzazione mediante sorgente attiva, con registrazione simultanea su 12 o più canali. Vengono utilizzati geofoni a componente verticale sensibili alle basse frequenze (un valore tipico sono 4,5 Hz).

La distanza dalla sorgente di energizzazione e il primo ricevitore condiziona  $\lambda_{max}$ , e quindi la profondità di indagine; anche la lunghezza dello stendimento geofonico è in relazione alla profondità di indagine, mentre la distanza intergeofonica condiziona lo spessore dello strato più sottile rilevabile.

E' importante osservare che nel sismogramma possono comparire diversi tipi di onde: onde di corpo, onde superficiali non piane, onde riverberate dalle disomogeneità superficiali, oltre al rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Questo comporta una difficoltà aggiuntiva nella "lettura" dello spettro di velocità e quindi nella successiva individuazione della curva di dispersione.

Le onde di corpo sono di solito riconoscibili; le onde superficiali riverberate (back scattered) possono risultare prevalenti in un sismogramma quando siano presenti discontinuità orizzontali. 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.

In sintesi l'indagine comporta:

- l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);



- la determinazione di uno spettro di velocità, con velocità di fase in funzione della frequenza;
- l'identificazione della curva di dispersione, cioè la determinazione dei punti che, sullo spettro di velocità, appartengono a un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh;
- l'inversione della curva di dispersione, al fine di ottenere il profilo verticale delle Vs.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando come riferimento la curva di dispersione precedentemente ottenuta. Per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione è necessaria l'assunzione di valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità.

La procedura di inversione utilizzata dal software *winMASW* è legata agli "algoritmi genetici", il quale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai metodi di inversione basati sulla matrice Jacobiana. E' estremamente utile, per una interpretazione affidabile, poter disporre di dati di riferimento, sia per fornire uno spazio di ricerca iniziale al processo di inversione, sia per effettuare una "modellazione diretta" di ausilio a un corretto "picking" della curva di dispersione.

### ATTREZZATURA E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura *AMBROGEO "ECHO 12-24/2002 Sismic Unit"*, avente le seguenti caratteristiche principali:

- |  |   |
|--|---|
| . numero di canali: 24                           | . sampler interval: 0,296 msec          |
| . A/D conversion: 16 bit                         | . input impedance: 1KOhm                |
| . Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)               | . distortion: 0,01%                     |
| . sampling: 130 microsec                         | . filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz |
| . digital filter low pass: 1000-50               | . digital filter high pass: 0-250       |
| . frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz | . dynamic range: 93 dB                  |

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00. L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spaziatati a 3 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni verticali da 4,5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, geofono starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per il profilo *MASW* in oggetto comprende 24 geofoni con spaziatura di 5,0 m. Sono stati effettuati diversi shots, impiegando esclusivamente la mazza di battuta, a varie distanze dalla linea geofonica, con tempo di acquisizione di 1,000 msec; l'energizzazione è stata verticale, in modo da effettuare l'analisi in onde di *Rayleigh*.

### INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software *winMASW*, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite l'inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici". Tale programma è in grado di operare sui records in formato *SGY* prodotti dalla strumentazione *Ambrogeo* secondo la procedura specifica descritta nel capitolo introduttivo.

Come già accennato, per dare uno spazio di ricerca significativo al processo di inversione ci si è basati anche sul contesto geolitologico locale.

Si è considerato lo spettro di velocità relativo allo "shot" posto a offset di 8,0 m dalla linea geofonica (gli altri sono analoghi). I diagrammi ed il report relativi al procedimento di elaborazione ed inversione sono allegati alla presente relazione. Sono stati individuati 4 strati a differente

velocità Vsh:

- secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3	4
VSh (m/sec)	175	191	184	260
spessore (m)	5,0	6,4	10,1	

Con i dati ottenuti si ha per la zona di indagine, a partire da p.campagna, una  $VS_{30} = 200$  m/sec .

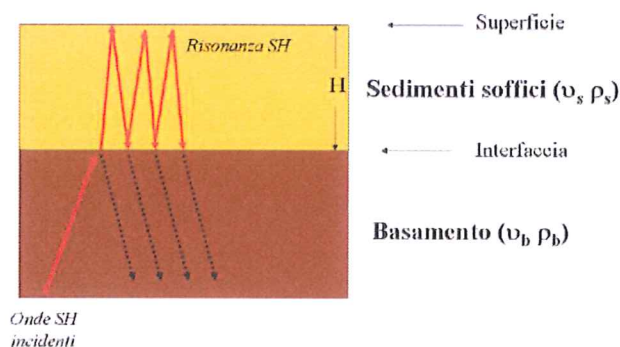
## INDAGINE SISMICA PASSIVA

### GENERALITÀ

La sismica passiva studia il *microtremore sismico ambientale* (rumore sismico); essa sfrutta il fatto che il "rumore", pur non recando l'informazione relativa alla sua sorgente, risulta sensibile alla locale struttura presso la stazione di misura. La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente bassi.

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse. nel campo del rumore sono rappresentate sia *onde di volume* (fronte d'onda sferico) sia *onde di superficie* (fronte d'onda cilindrico); ma le onde di superficie hanno carattere dominante, perché caratterizzate da minore attenuazione.

Quando fra 2 superfici esiste una variazione dell'impedenza acustica si ha il fenomeno della *risonanza*, che deriva dall' "intrappolamento" di energia sismica (essenzialmente delle fasi SH) all'interno delle coperture ovvero fra la superficie e un basamento rigido qui inteso come una formazione "caratterizzata da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti" delle onde.



L'equazione della risonanza è la seguente:

$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

dove  $n$  indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.),  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio nello strato oggetto di risonanza e  $H$  è lo spessore di detto strato. Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il *fondamentale*.

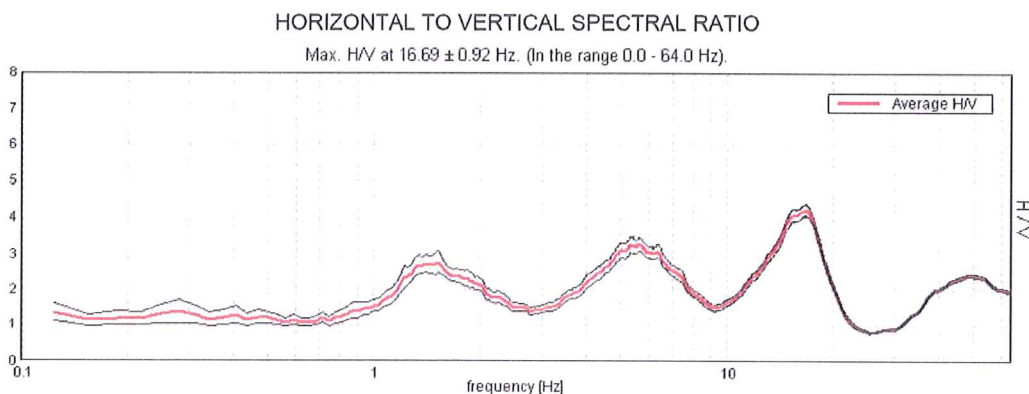
Le registrazioni in campagna vengono effettuate mediante un *tromografo*, apparecchiatura che riunisce una terna di sensori velocimetrici orientati su tre direzioni ortogonali:

- 2 nella componente orizzontale dello spostamento (tra loro ortogonali) per misure su suoli ordinariamente corrispondenti alle direzioni NS ed EW ;
- 1 nella componente verticale (up-down).



I diagrammi relativi a tali registrazioni vengono elaborati attraverso la determinazione dell'intensità del segnale in sottofinestre di determinata durata, e trasformati in *spettri H/V*. Nella pratica si utilizza il rapporto H/V perché è un buon *normalizzatore* e un buon estimatore delle frequenze di risonanza dei terreni; i valori assoluti degli spettri orizzontali e verticali variano infatti con il livello assoluto del rumore ambientale, mentre la forma dello spettro, e in particolare il rapporto tra le ampiezze orizzontale e verticale si mantiene più stabile, e per il suo carattere stocastico mostra caratteristiche correlabili con la struttura locale del suolo.

Alle frequenze caratteristiche di vibrazione dei suoli corrisponde infatti un decremento del segnale della componente verticale, che determina un picco nel rapporto spettrale rappresentato dal grafico seguente :

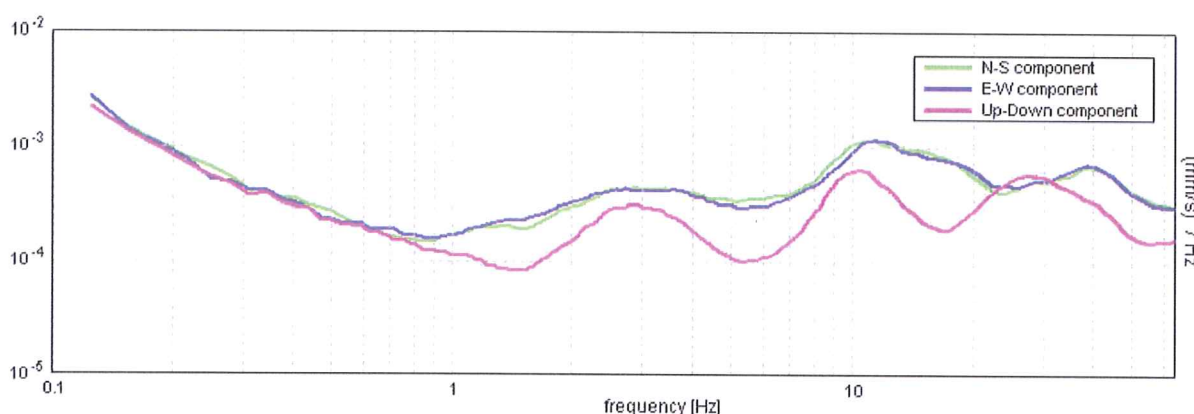


In un mezzo privo di contrasti di impedenza (ad esempio un ammasso roccioso sano) la curva H/V risulta teoricamente piatta e con valore medio fra 0,7 e 1,0 (in funzione del modulo  $\mu$ ).

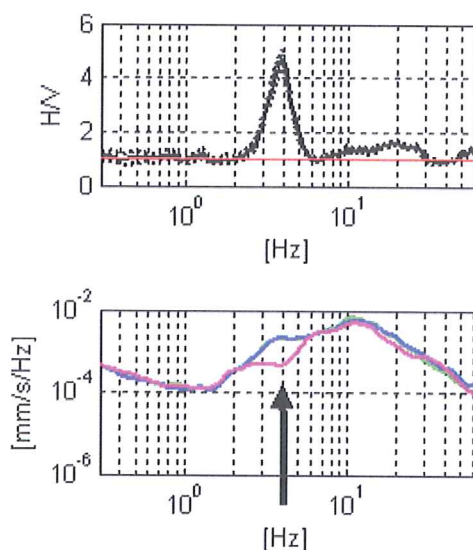
La presenza di un picco nella curva H/V può essere data da un fenomeno di *risonanza*, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi di passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità sismiche stesse.

Dato che tali picchi su H/V possono essere dovuti anche ad *artefatti* e *transienti*, l' H/V deve essere analizzato alla luce degli spettri delle singole componenti.

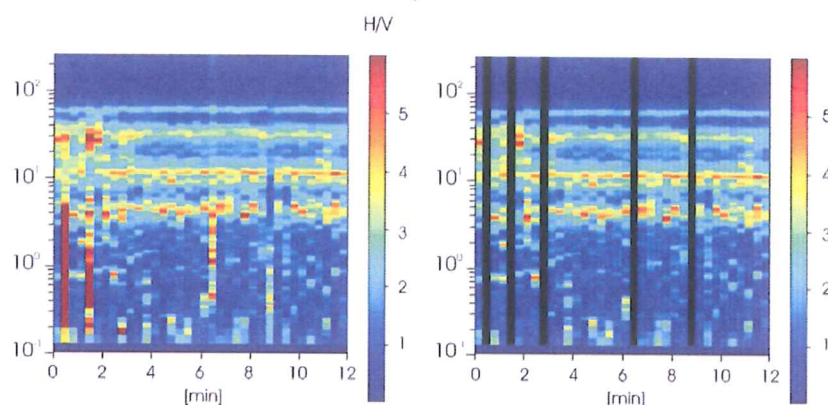
#### SINGLE COMPONENT SPECTRA



Un picco di natura stratigrafica (e non artefattuale) presenta un minimo locale della componente spettrale verticale, mentre picchi spettrali (di solito aguzzi) su tutte le 3 componenti del moto sono di origine antropica.

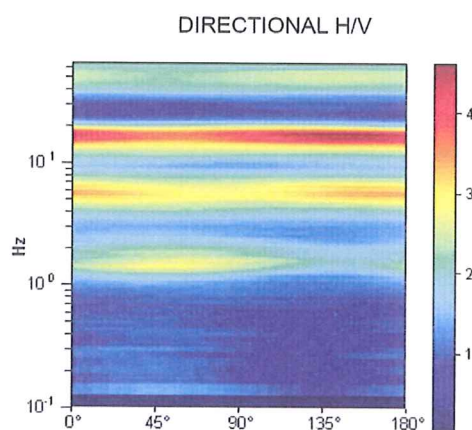


L'elaborazione degli spettri H/V comporta quindi un'analisi ragionata dei vari picchi, uno *smoothing* (nel caso in oggetto triangolare al 10%) e una valutazione sugli spettri nelle varie "finestre" di tempo in cui è stata suddivisa l'acquisizione, in modo da poter eventualmente rimuovere gli intervalli di misura caratterizzati da disturbi.



E' di solito consigliabile effettuare le correzioni nel dominio delle frequenze, e non operare nel dominio del tempo, in quanto in tale contesto non è agevole identificare quali siano artefatti e transienti.

Altro aspetto importante da considerare è la *stabilità direzionale* del segnale, che è un elemento a favore della valenza stratigrafica del picco analizzato.



### CAMPAGNA DI PROSPEZIONI IN OGGETTO

La prospezione è stata eseguita mediante l'utilizzo di uno strumento *TROMINO*® della società *Micromed Geophysics* di Mogliano veneto (TV), espressamente progettato per misure di microtremore.



---

*TROMINO*® è uno strumento efficiente per la misura del rumore sismico; presenta ridotte dimensioni e peso, e bassissimo consumo di energia.

L'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata consente di ottimizzare la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0,1 e 200 Hz; i sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. Le caratteristiche progettuali consentono una accuratezza relativa maggiore di  $10^{-4}$  sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz.

L'assenza di cavi esterni consente di lasciare virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente. Lo strumento dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali. Il moto del terreno viene amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash.

I dati registrati da *TROMINO*® possono essere scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati tramite il programma *Grilla* fornito assieme allo strumento. Esso include inoltre procedure per l'analisi spettrale di base e per l'analisi *HVSR* e la classificazione anche secondo le direttive fornite dal progetto di ricerca europeo *SESAME*.

\* \* \*

Nella zona di indagine è stata individuata una postazione di misura con un'acquisizione di durata pari a 20', suddivisa in "finestre" temporali di 20".

L'allegata scheda illustra le stazioni di misura, riportandone la documentazione fotografica e le note identificative. Per ciascuna postazione è riportata l'analisi effettuata sul picco di H/V ritenuto più significativo.

I dati di campagna sono stati trattati con una procedura di analisi/trattamento consistente in :

- lisciatura triangolare al 10% ;
- analisi temporale dell'intero spettro (0-64 Hz) in sottofinestre di 20 s ;
- analisi direzionale con step di 5° ;

Successivamente, analizzati i dati ottenuti, è stata effettuata una "pulizia" nel dominio delle frequenze, tramite eliminazione delle sottofinestre temporali contenenti sollecitazioni transienti, e nuova analisi sulle sole finestre selezionate, fino a raggiungere un risultato il più possibile chiaro. Si è anche ridotto lo spettro da analizzare all'intervallo fra 0 e 30 Hz, in modo da non comprendere il picco che è il più elevato ma non risulta di interesse, collocandosi sui 60 Hz.

La misura è soggetta alle valutazioni sulla "robustezza" statistica del dato secondo i criteri del protocollo *SESAME*, automaticamente inserito nei singoli report.

Nell'interpretazione si può riferirsi anche ai criteri adottati nello studio di "Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area Aquilana", finalizzati a una valutazione più generale e più restrittiva della qualità del dato acquisito. considerando, nell'analisi del dato stesso, i seguenti aspetti:

- stazionarietà del segnale nel campo dello sviluppo temporale dello spettro ;
  - isotropia del segnale nel campo dello sviluppo direzionale dello spettro ;
-

- presenza di rumore elettromagnetico, con particolare riferimento al campo di frequenza di eventuali picchi ;
- plausibilità fisica del picco ;
- robustezza statistica del picco (comprensiva dei primi 3 criteri *SESAME*) ;
- durata della misura .

Le misure sono classificabili:

- in classe **A** di qualità quando soddisfano tutti i criteri (fatta eccezione nel caso di spettri piatti che ovviamente disattendono i criteri *SESAME* per l'assenza di picchi significativi);
- in classe **B** quando ne disattendono almeno uno ma mantengono buona leggibilità ;
- in classe **C** quando contengono elementi di disturbo invalidanti ai fini della corretta interpretazione.

Nel primo caso le misure sono utilizzabili anche da sole, nel secondo caso sono utilizzabili con cautela e unitamente ad altre misure effettuate nell'ambito della lunghezza d'onda di interesse, nel terzo caso vanno scartate. Limitatamente ai primi due casi sono poi definite le sottoclassi 1 e 2 in base alla presenza o meno di un picco chiaro.

Pur essendo soddisfatti i criteri *SESAME*, riteniamo che l'indagine effettuata risulti affetta da evidenti problematiche di direzionalità, che rendono la prospezione poco interpretabile.

In particolare nel caso dell'indagine in oggetto (vedere report allegati) relativa alla postazione "GEOL. GIANI PAOLO - PERIGNANO" ha rilevato un massimo H/V con picco molto blando, a circa 1,0 Hz .

Il tipo di picco non sembra comunque evidenziare un netto fenomeno di risonanza, per cui in questa sede non azzarderemmo la collocazione di un passaggio netto di velocità nell'ambito del sottosuolo della zona di indagine.

#### **ALLEGATI :**

- *Ubicazione indagini geosismiche*
  - *MASW : Grafici common-shot gather e spettro di velocità (onde Rayleigh)*
  - *Sismica passiva : report rilevazione postazione*
-

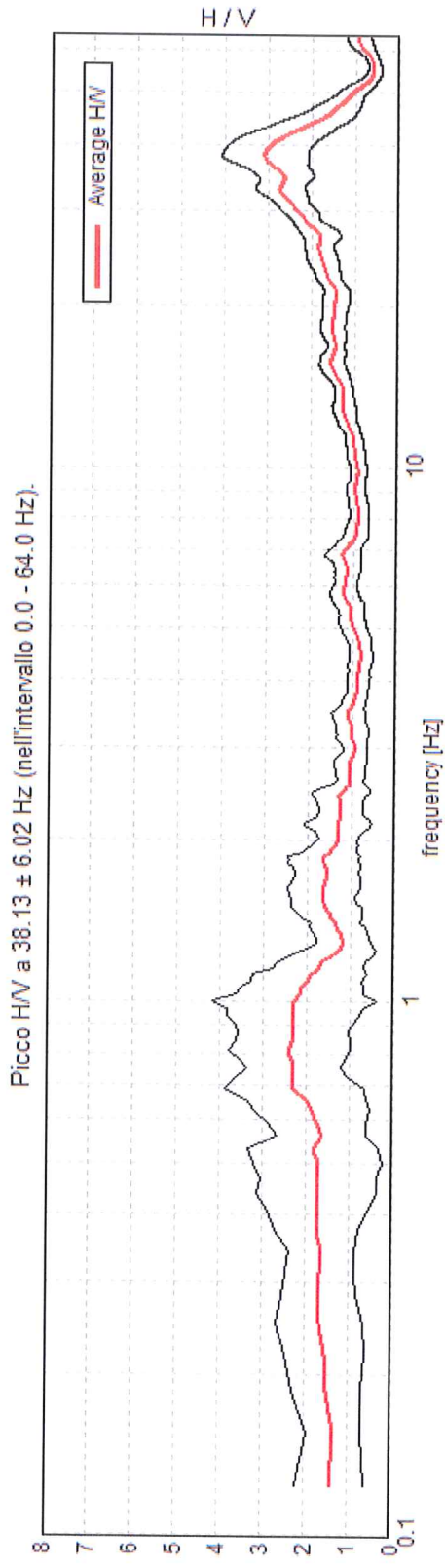
## GEOL. GIANI PAOLO - PONSACCO

Strumento: TRZ-0158/01-11  
Inizio registrazione: 29/04/13 15:54:55      Fine registrazione: 29/04/13 16:14:55  
Tipo di lisciamiento: Triangular window  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".      Analisi effettuata sull'intera traccia.

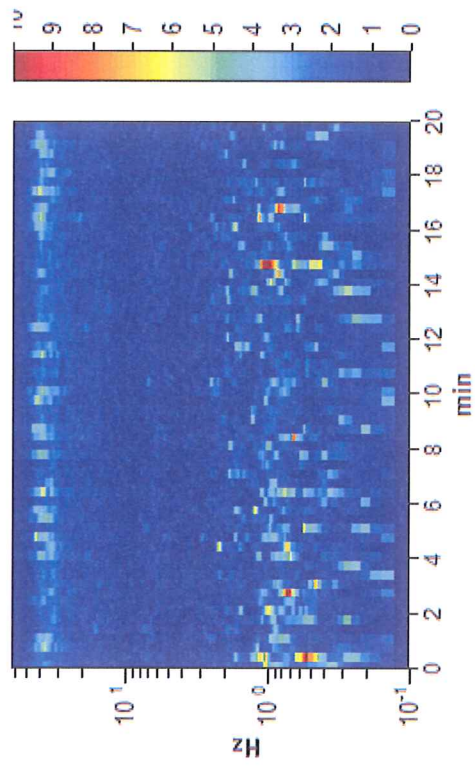
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamiento: Triangular window  
Lisciamiento: 5%

## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

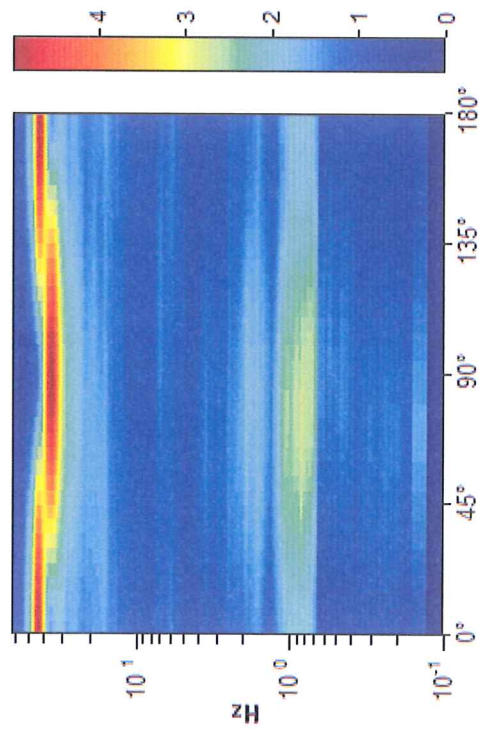




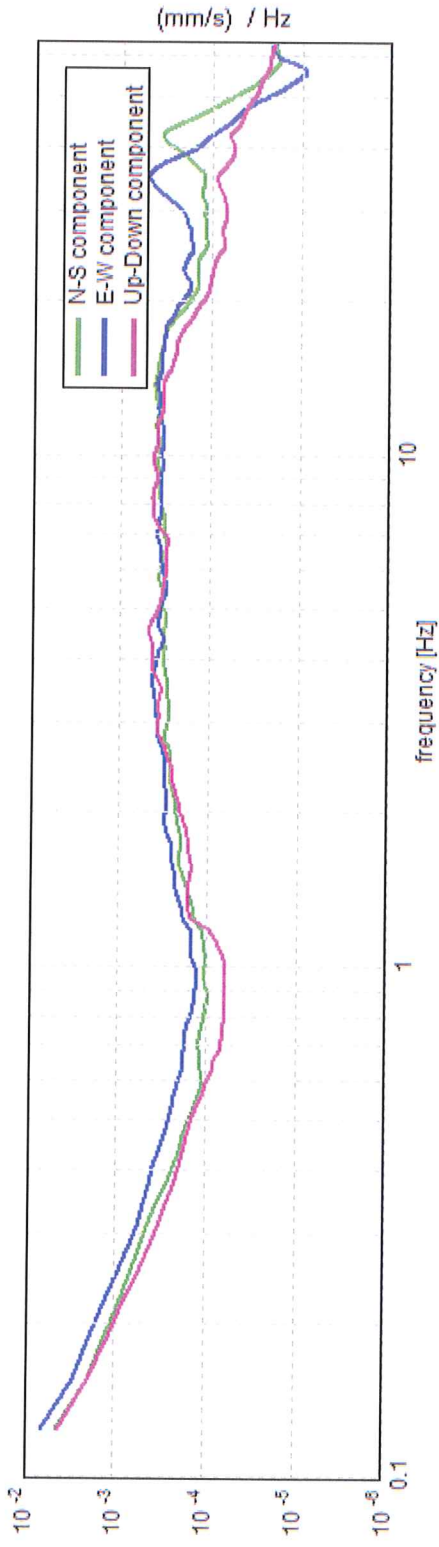
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



## LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco HV a 38.13 ± 6.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

$f_0 > 10 / Lw$ : 38.13 > 0.50 [ OK ]

$nc(f_0) > 200$ : 45750.0 > 200 [ OK ]

$sA(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$  if  $f_0 > 0.5\text{Hz}$

$sA(f) < 3$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$  if  $f_0 < 0.5\text{Hz}$  Superato 0 volte su 1439 [ OK ]

.....

Esiste  $f^-$  in  $[f_0/4, f_0]$  |  $AHV(f^-) < A_0 / 2$ : 22.094 Hz [ OK ]

Esiste  $f^+$  in  $[f_0, 4f_0]$  |  $A_HV(f^+) < A_0 / 2$ : 46.031 Hz [ OK ]

$A_0 > 2$ : 3.07 > 2 [ OK ]

$f\_picco[A\_HV(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$ : |0.07829| < 0.05 [ NO ]

$sf < e(f_0)$ : 2.98486 < 1.90625 [ NO ]

$sA(f_0) < q(f_0)$ : 0.4972 < 1.58 [ OK ]

**Geol. Paolo Giani**

Piazza L. Monaco 16  
56020 Montopoli in Val d'Arno (Pi)  
Tel. 3287239715

**Geol. Giuseppe Lotti**

Via Paolo Maioli, 37  
56027 San Miniato (PI)  
tel. 0571.418116

**RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W.  
ESEGUITA NEL COMUNE DI PONSACCO, VIA DELLA ROBBIA**



**APRILE 2013**

**Committente: Ferretti Maria Grazia et al**

**INDICE**

1 PREMESSE.....	3
2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH.....	3
3 IL METODO M.A.S.W.....	5
4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE.....	6
5 INTERPRETAZIONE DEI DATI.....	7

**ALLEGATI:**

- *Ubicazione linea MASW*
- *Grafici "common-shot gather" , spettro di velocità, e profilo verticale onde S*
- *Report di calcolo*

---

**RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W.  
ESEGUITA NEL COMUNE DI PONSACCO, VIA DELLA ROBBIA**



### **1 PREMESSE**

La presente relazione descrive i risultati della prospezione sismica M.a.s.w. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) eseguita nel Comune di Ponsacco in Via della Robbia, nella proprietà Ferretti Maria Grazia et al.

L'indagine M.a.s.w. è stata eseguita con l'obbiettivo di individuare le caratteristiche sismo-stratigrafiche dei litotipi presenti (velocità delle onde Sh), e la determinazione del parametro VS30, necessario al fine della classificazione dei suoli, per la definizione dell'azione sismica di progetto, secondo la normativa vigente (D.M. 14 gennaio 2008).

### **2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH**

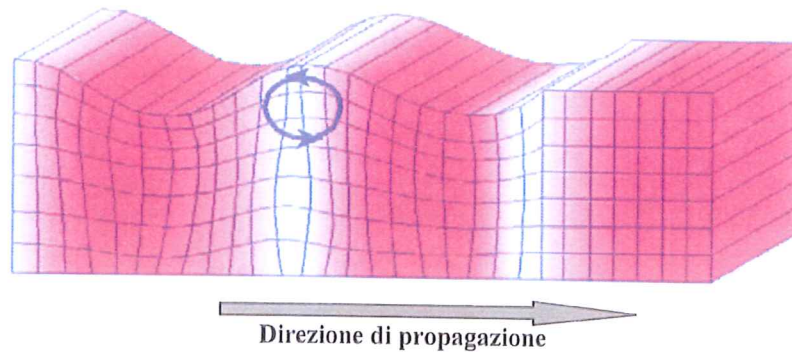
Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 1) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92V_s$ .

In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ .

La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



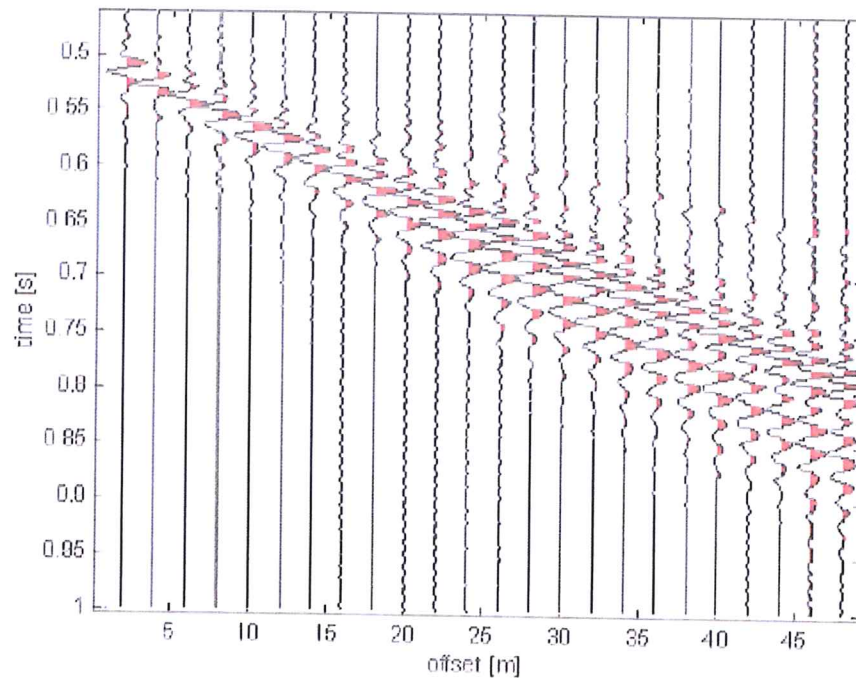
**Fig. 1 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_S$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%).

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dal DM 14/01/2008, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. In caso di variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga a una diversa velocità (velocità di fase) che a sua volta corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda. (Fig. 2)

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.



**fig. 2** – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato. Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

### 3 IL METODO M.A.S.W.

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio VS.

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 fasi fondamentali:

- acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
- Estrazione del modo fondamentale dalla curva di dispersione (grafico velocità di fase rispetto alla frequenza) delle onde superficiali di Rayleigh;
- Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle VS.

Per ottenere un profilo Vs vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  e  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni.

Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella possibilità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali. Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni. Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico.

#### 4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO12-24/2002 Sismic Unit", avente le seguenti caratteristiche:

- . numero di canali: 24
- . sampler interval: 0,296 msec
- . A/D conversion: 16 bit
- . input impedance: 1KOhm
- . Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- . saturation tension: +/- 2,3 V
- . saturation level: 100 dB
- . distorsion: 0,01%
- . sampler:
  - 25 msec (191 punti)
  - 50 msec (383 punti)
  - 100 msec (756 punti)
  - 200 msec (1530 punti)
  - 400 msec (3060 punti)



800 msec (6121 punti)

1000 msec

- . sampling: 130 microsec
- . filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- . digital filter low pass: 1000-50
- . digital filter high pass: 0-250
- . frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- . dynamic range: 93 dB
- . noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- . crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- . power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00.

L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spaziatati a 5 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni "Geospace" a 4,5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per il profilo MASW in oggetto ha le seguenti caratteristiche:

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 5 m
- n. shots: sono state effettuate 3 rilevazioni, impiegando la massa battente, a distanze di 2,5 m , 5 m e 10 metri dalla linea geofonica.
- tempo di acquisizione : 1.000 msec.

Il profilo è da considerare orizzontale, in quanto i dislivelli massimi lungo lo stendimento sono modesti (nell'ordine dei decimetri).

## 5 INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs, tramite l'inversione, effettuata con algoritmi "genetici", delle curve di dispersione ottenute. Tale programma è in grado di operare direttamente sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo.

Il picking della curva di dispersione è stato eseguito riconoscendo il solo modo fondamentale, utilizzando il grafico frequenze / velocità di fase, relativo allo shot con offset di 2,5 m, che è risultato con sufficiente grado di definizione.

Per la ricerca del modello sismico del sito, nel processo di inversione, ci si è basati sui dati derivanti da due prove penetrometriche eseguite sul lotto, oltre che sulle caratteristiche litostratigrafiche generali note per la zona. Sono pertanto stati ipotizzati 4 orizzonti a differente

velocità Vsh. I diagrammi ed il report relativi al procedimento di elaborazione ed inversione sono riportati in allegato.

Di seguito sono riportate le velocità Vs, e gli spessori, dei livelli sismici costituenti il modello monodimensionale geofisico ricostruito:

- secondo il MODELLO MEDIO

strato n.	1	2	3	4
VS (m/s):	175	191	184	260
spessori (m):	5.0	6.4	10.1	

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

strato	1	2	3	4
Vs (m/s):	175	192	187	255
spessori (m):	5	6	10.22	

Con i dati ottenuti, per la zona di indagine si ha :

VS30 del modello medio: 200 m/s

VS30 del modello migliore: 201 m/s

Fermo restando che la scelta della corretta categoria di suolo spetta al progettista, sulla base dei risultati della presente indagine sismica, e del progetto strutturale definitivo, la *categoria di sottosuolo del sito in esame, a partire da quota zero di p.c. è assimilabile a un **Sottosuolo di Tipo C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu30 < 250$  kPa nei terreni a grana fina).*

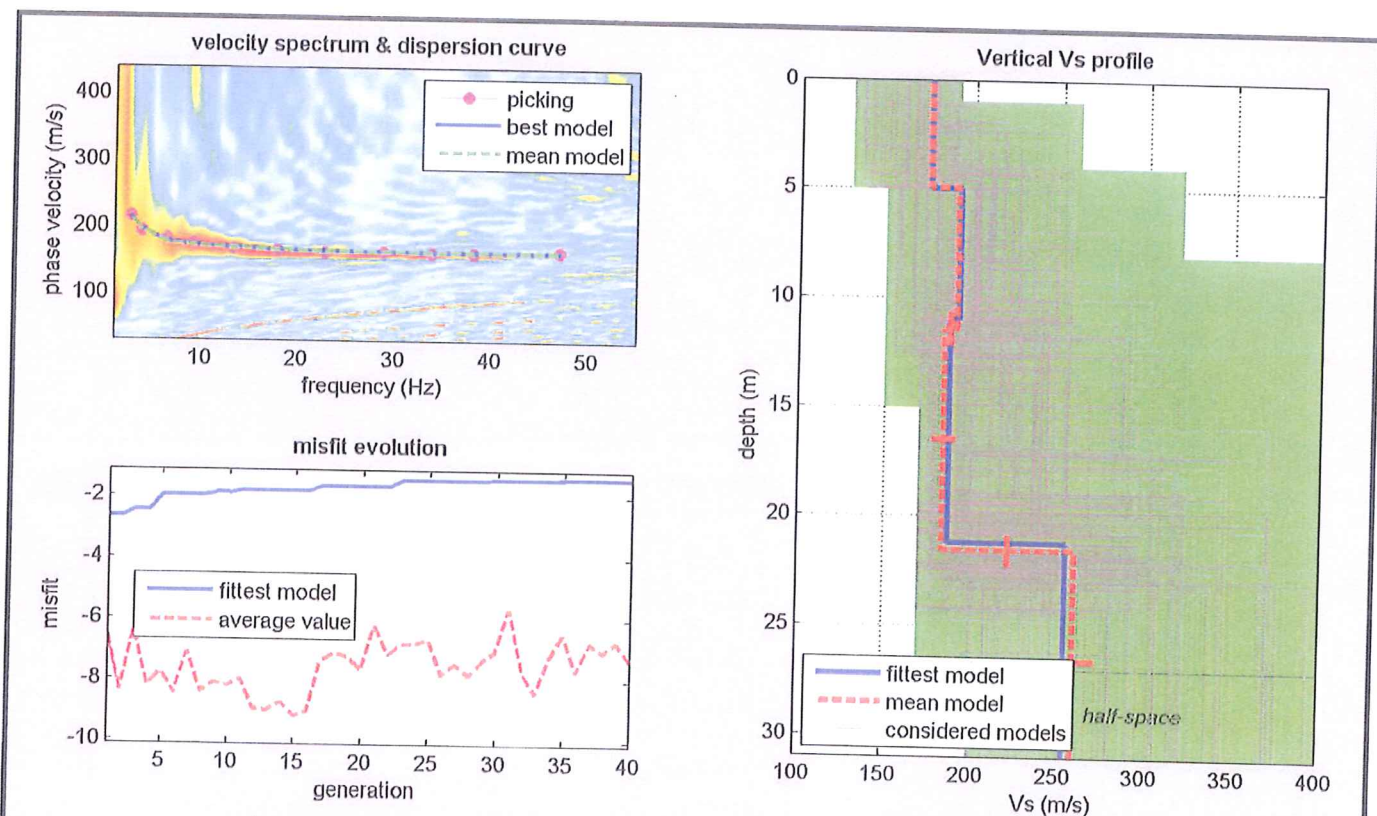
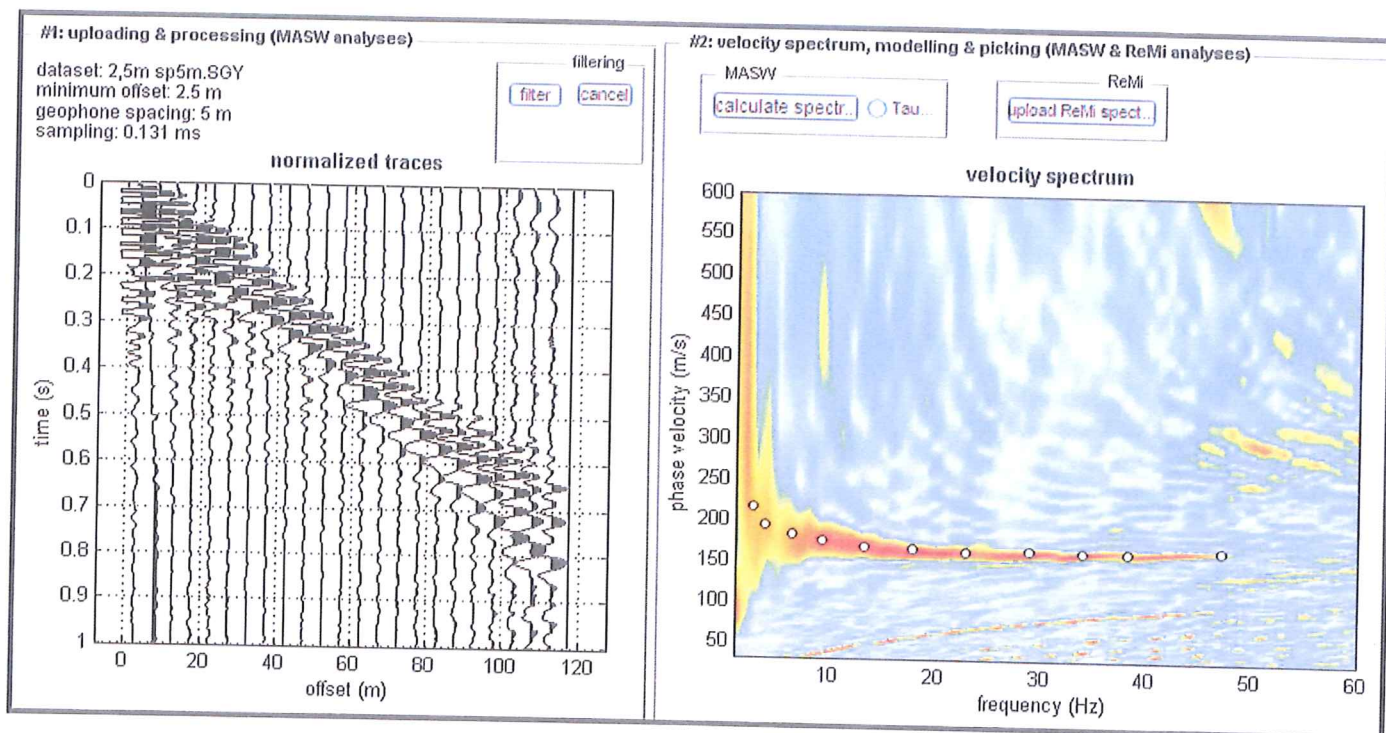
Si ricorda inoltre che il corretto valore di Vs30 dovrà essere calcolato a partire dal piano di posa della fondazione.

San Miniato, 30/04/2013

Geol. Paolo Giani

Geol. Giuseppe Lotti

Grafici "common-shot gather" e spettro di velocità, elaborazioni e profilo verticale onde S



dataset: 2,5m sp5m.SGY  
 dispersion curve: 2<sub>5</sub>.cdp  
 VS30 (best model): 201 m/s  
 VS30 (mean model): 200 m/s

Dispersion curve: number of frequency-velocity points=11

```

==o== SECTION#1
dataset: 2,5m sp5m.SGY
minimum offset (m): 2.5
geophone spacing (m): 5
sampling (ms): 0.131
Dispersion curve: 2_5.cdp
Number of individuals: 30
Number of generations: 31

```

Rayleigh-wave dispersion analysis

```

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 130 1 150 3 170 4 200
Adopted search space (maximum Vs & thickness): 191 5 260 10 320 12 400
Adopted Poisson values: 0.35 0.35 0.35 0.3

```

Output folder: C:\WINMAS~3\output

```

==o== SECTION#2

```

Rayleigh wave analysis

```

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -6.4655 -2.6837
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -8.3807 -2.6837
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -6.4042 -2.4658
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -8.2191 -2.4658
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -7.7452 -1.9763
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -8.5032 -1.974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -7.1195 -1.974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -8.4323 -1.974
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -8.1232 -1.8894
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -8.2206 -1.8894
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -7.9946 -1.8137
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -8.9675 -1.8137
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -9.0257 -1.8137
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -8.7447 -1.8137
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -9.2061 -1.8137
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -9.0482 -1.8137
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -7.3951 -1.6533
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -7.127 -1.6533
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -7.2517 -1.6533
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -7.6824 -1.6533
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -6.224 -1.6533
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -7.1652 -1.6533
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -6.8226 -1.4589
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -6.8205 -1.4589
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -6.6725 -1.4589
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -7.829 -1.4589
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -7.4629 -1.4589
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -7.8463 -1.4589
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -7.3841 -1.4589
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -7.057 -1.4135
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -5.6806 -1.4118

```

Checking the new search space (for the finer search)

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

```

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -7.7358 -1.4118
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -8.4309 -1.4118
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -7.2346 -1.4118
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -6.5013 -1.396
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -7.7055 -1.396
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -6.7533 -1.396
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -7.0725 -1.396
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -6.7321 -1.396
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -7.3426 -1.396

```

winMASW\_report

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 175 192 187 255  
Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.3  
Thickness (m): 5 6 10

Number of models considered to calculate the average model: 9

#####  
RESULTS winMASW Pro  
#####

Dataset: 2,5m sp5m.SGY  
Analyzed curve: 2\_5.cdp

==o== SECTION#3

MEAN MODEL

VS (m/s): 175 191 184 260  
Standard deviations (m/s): 0 2 7 12  
  
Thickness (m): 5.0 6.4 10.1  
Standard deviations (m): 0.0 0.7 0.7

Approximate values for Vp, density & elastic moduli  
Vp (m/s): 364 398 383 486  
Density (gr/cm3): 1.81 1.83 1.82 1.88  
Vp/Vs ratio: 2.08 2.08 2.08 1.87  
Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.30  
Young modulus (MPa): 150 180 167 330  
Shear modulus (MPa): 55 67 62 127  
Lamé (MPa): 129 156 144 190  
Bulk modulus (MPa): 166 201 185 275

Fundamental mode

Mean model

f(Hz)	VR(m/s)
2.65085	216.2243
3.79927	195.8211
6.38321	176.5939
9.25426	172.9053
13.2737	170.2979
17.8674	167.6083
22.8917	165.6721
28.9209	164.5156
33.9453	164.0704
38.2518	163.8723
47.1521	163.6999

==o== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 175 192 187 255  
thickness (m): 5 5.99524 10.2236

Approximate values for Vp, density & elastic moduli  
Vp (m/s): 364 400 389 477  
Density (gr/cm3): 1.81 1.83 1.83 1.87  
Vp/Vs ratio: 2.08 2.08 2.08 1.87  
Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.30  
Young modulus (MPa): 150 182 172 317  
Shear modulus (MPa): 55 68 64 122  
Lamé (MPa): 129 158 149 183  
Bulk modulus (MPa): 166 203 191 264

dispersion curve (frequency - Rayleigh phase velocity)

winMASW\_report

Fundamental mode)  
best model  
F(Hz) VR(m/s)  
2.65085 214.4753  
3.79927 196.9796  
6.38321 178.079  
9.25426 173.7952  
13.2737 170.7271  
17.8674 167.781  
22.8917 165.731  
28.9209 164.5275  
33.9453 164.0694  
38.2518 163.8669  
47.1521 163.692

==o== SECTION#5

Maximum penetration depth according to the "Steady State Rayleigh Method": 33 m

Inversion quality: very good

VS5 (mean model): 175 m/s  
VS5 (best model): 175 m/s

VS20 (mean model): 184 m/s  
VS20 (best model): 185 m/s

VS30 (mean model): 200 m/s  
VS30 (best model): 201 m/s

==o== SECTION#6

Possible Soil Type: C  
(based on the mean model)

For Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT30 < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero  $NSPT30 < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $VS > 800$  m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero  $10 < c_{u30} < 20$  kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Results saved in the folder "C:\WINMAS~3\output".

winMASW Pro  
Surface Wave Analysis

www.eliosoft.it