



Committente:

AIPO – Ufficio operativo di Cremona

Sito di indagine: Chiavica Foce Riglio - Cremona

**CR-E-230 Lavori di adeguamento della Chiavica Riglio nei
Comuni di Cremona e Spinadesco – attività di supporto alla
progettazione esecutiva: indagini geognostiche**

Risultati delle indagini sismiche e delle prove penetrometriche

Relazione n.:	1601/2011
Data:	Gennaio 2011
Revisione:	0
Redatto da :	Dott. Ing. Fabrizio fantini
Controllato da:	Dott. Geol. Mario Naldi

1	INTRODUZIONE.....	1
2	UBICAZIONE INDAGINI E ACQUISIZIONE DATI.....	2
3	ELABORAZIONE DATI	3
4	DEFINIZIONE DELLA CLASSE SISMICA – PROFILO MASW	4
4.1	PREMESSA.....	4
4.2	PROFILO DI VELOCITA' E VALUTAZIONE DEL PARAMETRO V_{s30}	5
5	RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE E MASW 2D	6
6	PROVE SCPT	7
7	SINTESI CONCLUSIVA DEI RISULTATI.....	8

In allegato:

Appendice A	Descrizione della metodologia MASW
Appendice B	Descrizione della metodologia sismica a rifrazione

Figure:

Figura 1	Ubicazione indagine geofisica
Figure 2 ÷ 3	Risultati indagine MASW
Figura 4	Sezione sismica a rifrazione
Figura 5	Sezione MASW 2D
Figura 6	Confronto MASW1- SCPT1
Figura 7 ÷ 8	Documentazione fotografica prove SCPT
Figure 9 ÷ 10	Diagrammi prove SCPT



1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra e descrive le indagini geofisiche e geognostiche realizzate su incarico dell'AIPO di Cremona presso la Chiavica Riglio a Cremona (CR-E-230 Lavori di adeguamento della Chiavica Riglio nei Comuni di Cremona e Spinadesco – attività di supporto alla progettazione esecutiva: indagini geognostiche).

Scopo dell'indagine è duplice:

- definire il parametro V_{s30} per la classificazione sismica dei suoli (in accordo alle NTC del DM 14.01.2008 e successivi aggiornamenti);
- definire la caratterizzazione lito-stratigrafica dei materiali del sottosuolo.

Il piano di indagini ha previsto la realizzazione di una prova MASW per il calcolo del parametro V_{s30} e di una sezione sismica a rifrazione per la definizione delle caratteristiche elastiche del sottosuolo mediante l'analisi della distribuzione delle velocità delle onde di compressione. L'indagine MASW è stata estesa su più profili, che – grazie ad un'opportuna interpolazione dei dati – ha consentito l'ottenimento di una sezione sismica in onde di taglio (sezione MASW2D).

I dati sismici ottenuti con una delle linee sismiche a rifrazione sono stati confrontati con i risultati dell'indagine sismica MASW 2D in onde di taglio.

Oltre alle prove geofisiche sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche.

In quanto segue si illustrano ed analizzano i risultati ottenuti.



2 UBICAZIONE INDAGINI E ACQUISIZIONE DATI

L'indagine MASW ha previsto il tracciamento di una linea sismica a 24 geofoni da 4.5 Hz spaziatissimi di 2 m, con punti di scoppio esterni ad una distanza di 14, 12, 10, 8, 6, 4 e 2 m dal primo geofono (Figura 1). Tale disposizione geometrica è la più rispondente all'obiettivo di indagine (Tabella 1).

Depth (Z_{max}) ¹ (m)	Source (S) ² (lb)	Receiver (R) ³ (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)			
			Length ⁴ (D)	Source Offset ⁵ (X_1)	Receiver Spacing (dx)	
					24-ch*	48-ch
≤ 1.0	≤ 1 (1)**	4.5-100 (40)	1-3 (2.0)	0.2-3.0 (0.4)	0.05-0.1 (0.1)	0.02-0.05 (0.05)
1-5	1-5 (5)	4.5-40 (10)	1-15 (10)	0.2-15 (2)	0.05-0.6 (0.5)	0.02-0.3 (0.25)
5-10	5-10 (10)	≤ 10 (4.5)	5-30 (20)	1-30 (4)	0.2-1.2 (1.0)	0.1-0.6 (0.5)
10-20	≥ 10 (20)	≤ 10 (4.5)	10-60 (30)	2-60 (10)	0.4-2.5 (1.5)	0.2-1.2 (1.0)
20-30	≥ 10 (20)	≤ 4.5 (4.5)	20-90 (50)	4-90 (10)	0.8-3.8 (2.0)	0.4-1.9 (1.5)
20-50	≥ 10 (20)	≤ 4.5	20-150	6-150	1.2-6.0	0.6-2.0
> 50	or passive	(4.5)	(70)	(15)	(3.0)	(2.0)
	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	> 50 (150)	> 10 (30)	> 2.0 (6.0)	> 1.0 (4.0)

Tabella 1 - Disposizione geometrica ottimale su linea MASW in relazione alla profondità di indagine (da www.masw.com)

L'acquisizione della linea MASW 2D è stata effettuata utilizzando lo stendimento predisposto per la linea MASW classica; le basi di energizzazione differiscono dallo schema di acquisizione classico al fine di poter permettere la costruzione di una sezione bidimensionale e sono disposte secondo lo schema riportato in Tabella 2.

Geofoni attivi	Punto di energizzazione (m)
13-24	48
12-23	46
11-22	44
10-21	42
9-20	40
8-19	38
7-18	36
6-17	34
5-16	32
4-15	30
3-14	28
2-13	26
1-12	24

Tabella 2 - Disposizione geometrica delle basi di energizzazione e corrispondenti geofoni attivi



L'indagine sismica a rifrazione è stata effettuata con uno stendimento a 24 geofoni equispaziati a 4 metri al fine di raggiungere una profondità d'indagine pari a circa 18 metri; la posizione dello stendimento è riportata nella Figura 1.

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con un sismografo a 24 canali dotato di un convertitore analogico/digitale a 24 bit (unità Daq Link III, Seismic Source Ltd.). Lo strumento è fornito di una connessione di rete standard 10/100 (base RJ45) per la comunicazione con un computer portatile su cui è installato un apposito programma (VibraScope ® v.2.4.40) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate. I geofoni utilizzati (Weihai Sunfull) possiedono una frequenza di risonanza pari 40 Hz per l'indagine sismica a rifrazione, con distorsione inferiore allo 0.2%, e di 4.5 Hz per l'indagine MASW. L'energizzazione si è ottenuta con massa battente da 8 Kg su piastra metallica. Per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

3 ELABORAZIONE DATI

Per l'elaborazione dei dati sismici a rifrazione si è proceduto al riconoscimento e raccolta dei dati dei primi arrivi (software *Reflexw*, Sandmeier Software, D). Successivamente le onde di primo arrivo sono state elaborate con il metodo GRM (General Reciprocal Method) accoppiato ad una inversione tomografica su una griglia di nodi equispaziati per una modellazione della distribuzione delle velocità delle onde di compressione nel sottosuolo (software *Rayfract*, Intelligent Resources Inc., CDN). Il metodo dell'inversione tomografica consente (con un sufficiente numero di scoppi) di individuare anche eventuali inversioni di velocità (che costituiscono il limite della prospezione sismica a rifrazione).

I dati sismici relativi all'indagine MASW e MASW2D sono stati elaborati con il software Surfseis V. 3.05 (Kansas University, USA), che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo. Per la sezione MASW2D si sono interpolati i valori dei profili MASW affiancati.



4 DEFINIZIONE DELLA CLASSE SISMICA – PROFILO MASW

4.1 PREMESSA

Secondo la normativa sismica vigente, approvata con D.G.R. Lombardia n. 14964 del 7 novembre 2003, **il Comune di Cremona ricade in zona 4.**

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a _g /g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a _g /g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Tabella 3 – Suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco orizzontale su suolo

Le coordinate geografiche assolute (gradi, minuti, secondi) del punto di riferimento del profilo MASW (per il calcolo VS30) sono:

- 45° 8'13.13"N Latitudine
- 9°57'18.35"E Longitudine

La normativa generale (DM 14.01.2008) individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna (Vs₃₀) e viene calcolato con la seguente formula:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità (in m/s) delle onde di taglio (per deformazioni di taglio γ < 10⁻⁶) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Nella Tabella 4, riportata nella pagina seguente, si presenta la classificazione sismica prevista dal suddetto Decreto Ministeriale.



Suolo	Descrizione geotecnica	Vs ₃₀ (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs ₃₀ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	>800
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs ₃₀ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT ₃₀ > 50 nei terreni a grana grossa e cu ₃₀ > 250 kPa nei terreni a grana fina).	360÷800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs ₃₀ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT ₃₀ < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu ₃₀ < 250 kPa nei terreni a grana fina).	180÷360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs ₃₀ inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT ₃₀ < 15 nei terreni a grana grossa e cu ₃₀ < 70 kPa nei terreni a grana fina).	<180
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).	-
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs ₃₀ inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu ₃₀ < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.	-

Tabella 4: Classificazione del tipo di suolo secondo la nuova normativa sismica italiana O.P.C.M. n. 3431/2005
(le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni).

4.2 PROFILO DI VELOCITA' E VALUTAZIONE DEL PARAMETRO Vs₃₀

Come illustrato nella Figura 3, il valore di Vs₃₀ ottenuto tramite la prova MASW è pari a 240 m/s (Classe C).



5 RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE E MASW 2D

Il modello tomografico della sezione sismica a rifrazione è illustrato nella Figura 4. La sezione sismica riporta la suddivisione in isotache (curve di ugual velocità di compressione, V_p) ottenute dalla elaborazione tomografica dei primi arrivi delle onde V_p (si veda l'Appendice A per maggiori dettagli). Nelle sezioni sono riportati anche i punti di scoppio (da 1 a 9) e la posizione dei geofoni (ogni 4 m).

La sequenza sismo-stratigrafica evidenzia i seguenti caratteri salienti:

- un primo strato a velocità basse con valori compresi tra 200 e 500 m/s, probabilmente corrispondente a depositi limoso-sabbiosi scarsamente addensati;
- un secondo strato caratterizzato da velocità delle onde di compressione gradualmente crescenti e comprese tra 500 e 1500 m/s. Tali valori si osservano tra 5 e 15 metri di profondità e si possono attribuire a depositi sabbiosi talvolta passanti a sabbioso-limosi.
- Uno strato profondo caratterizzato da valori di velocità delle onde di compressione maggiori di 1500 m/s; tale sismo strato potrebbe corrispondere ad un passaggio granulometrico dei depositi che si presenterebbero oltre i 15 -18 metri di profondità prevalentemente ghiaioso-sabbiosi.

Il confronto con l'indagine MASW 2D (Figura 5) evidenzia il passaggio da un corpo detritico debolmente addensato e maggiormente permeabile ad una unità litologica maggiormente addensata; tale discontinuità è visibile a profondità congrue anche attraverso l'indagine sismica a rifrazione.



6 PROVE SCPT

Le prove penetrometriche sono state svolte nei punti indicati dal Committente (Figura 1).

L'attrezzatura si compone di una prima batteria di aste ciascuna della lunghezza di 1.2 m, di peso pari a 7 Kg/m, e diametro di 34 mm, alla cui estremità inferiore è collegata una punta conica di diametro 50,8 mm ed angolo di apertura 60 °. Il maglio di 73 Kg ha un'altezza libera di caduta di 75 cm. Il sistema di sollevamento del maglio è di tipo idraulico con sganciamento automatico. La prova procede alternativamente e consecutivamente, battendo sulle aste interne per infiggere la punta e contando il numero dei colpi (NP) necessari per avanzare nel terreno di 30 cm. La prova viene interrotta quando N_p o N_r superano il valore di 100 (si vedano le Figure 7 e 8).

I risultati delle prove SCPT sono illustrati nelle Figure 9 e 10, dove si osserva come la prova sia stata interrotta a 22.2 m (SCPT1) e 18.6 m (SCPT2) per rifiuto alla penetrazione.

Per interpretare dal punto di vista stratigrafico i risultati ottenuti, si è proceduto a confrontare i risultati della prova MASW con la prova SCPT1 (Figura 6). Il confronto tra i due dati, assieme alla conoscenza della litologia tipica della zona di indagine, evidenzia la presenza di:
un orizzonte superficiale di depositi sabbiosi e a matrice fine (fino a circa 16 m)
un orizzonte profondo di depositi ghiaioso-sabbiosi.

Le prove SCPT hanno anche fornito indicazioni sul livello di falda (dicembre 2010) posto a -3 m da p.c..

Il numero di colpi, utile alla determinazione dei parametri geotecnici secondo le formule note in letteratura tecnica e scientifica, è riportato nelle Figure 9 e 10.



7 SINTESI CONCLUSIVA DEI RISULTATI

I risultati delle prove geognostiche e geofisiche realizzate presso la Chiavica Riglio (Cremona) hanno fornito le seguenti indicazioni:

CLASSIFICAZIONE SISMICA

Classe C – Vs30 = 240 m/s

PROFONDITA' FALDA

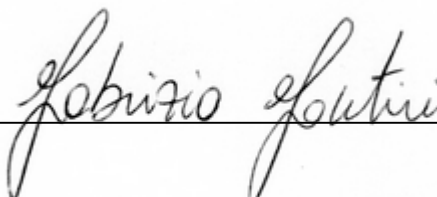
Circa 3 m da p.c. (Dicembre 2010)

PROFILO STRATIGRAFICO

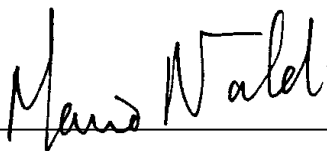
- da 0 a 4 m, limo-sabbia fine
- da 4 a 16 m, sabbia medio-fine a tratti limosa
- da 16 a 30 m, sabbia e ghiaia

Relazione redatta da:

Dott. Ing. Fabrizio Fantini



Controllata da:
Dott. Geol. Mario Naldi



APPENDICE 1

Cenni sulle metodologie MASW



CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA MASW

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo SWM (surface waves multichannel) è una curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato in Figura 1 e 2, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione (Figura 1);
- 2) Elaborazione (Figura 2);
- 3) Inversione (Figura 3).

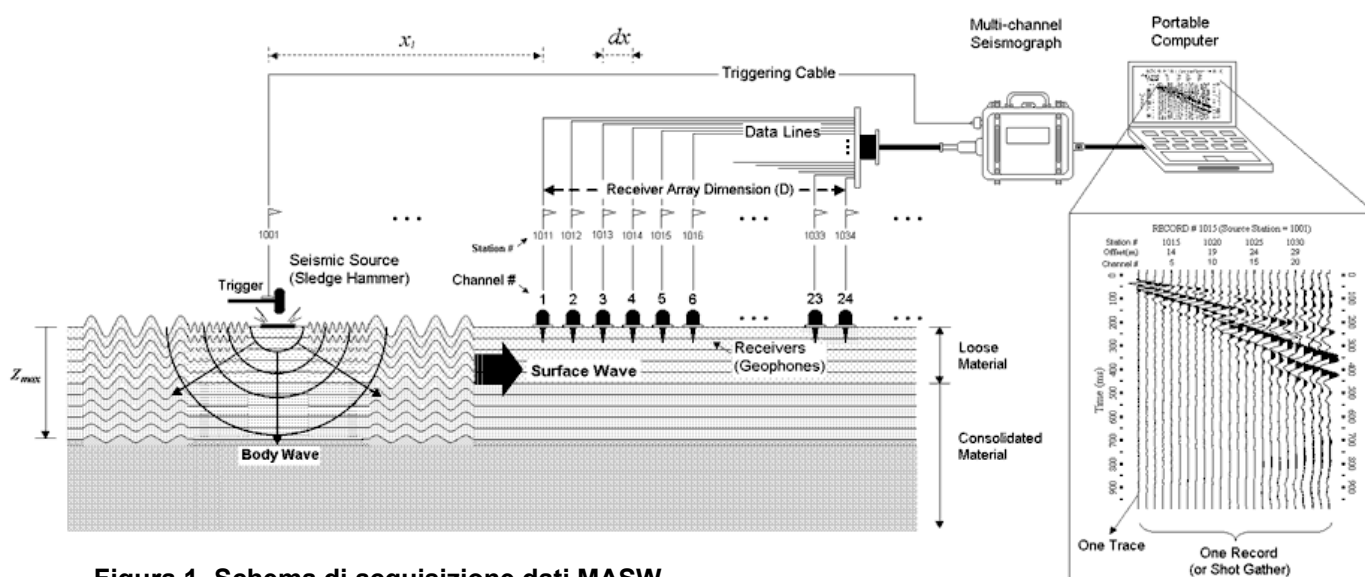


Figura 1- Schema di acquisizione dati MASW

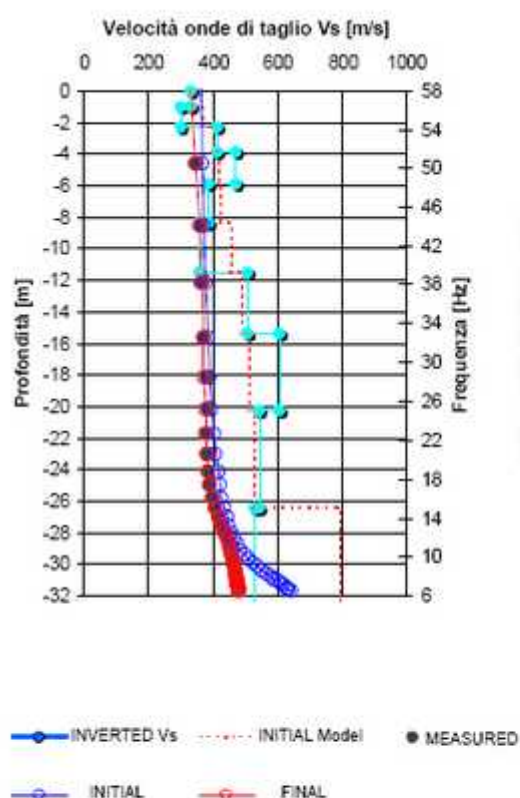


Figura 2 Modello di propagazione delle velocità delle onde Vs

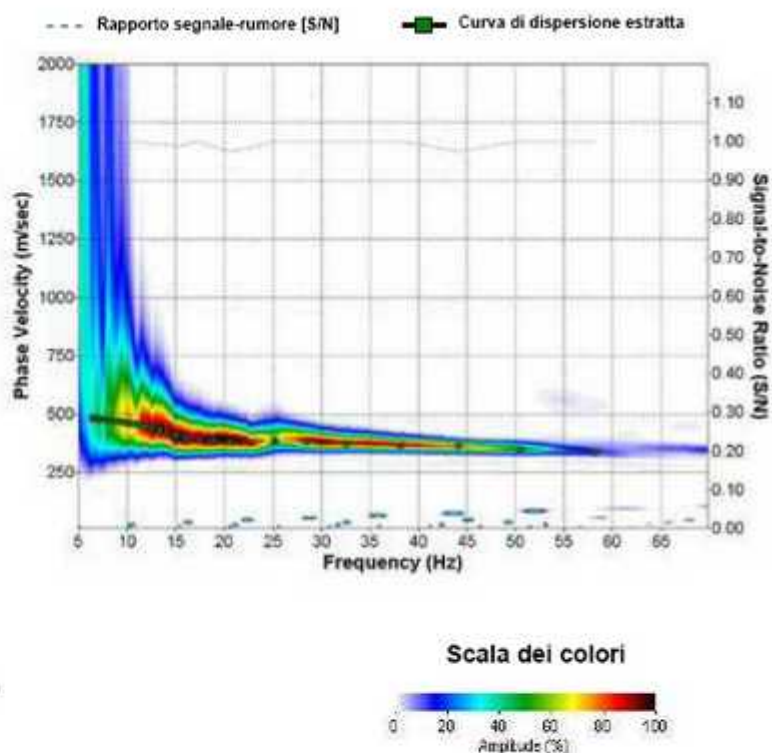


Figura 3 Curva di dispersione della velocità Vs in funzione della frequenza e della velocità di fase

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis® versione 2.0, Kansas University USA).

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e se le caratteristiche del sito sono tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh VR, determinabile in base alla teoria

delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori (V_R, f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura 3). La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura (Figura 2).



APPENDICE 2

Cenni sulla metodologia Sismica a Rifrazione



CENNI TEORICI SULLE INDAGINI GEOSISMICHE A RIFRAZIONE

Il rilievo sismico a rifrazione di onde P è un metodo di indagine basato sulla misura dei tempi di percorso che le onde elastiche, generate nel terreno in un punto-sorgente, impiegano per raggiungere dei ricevitori (geofoni) disposti sulla superficie del terreno ed allineati con il punto di energizzazione. La distanza tra i geofoni e quella del punto di energizzazione sono scelte in base allo spessore ed ai tipi di materiale che si vogliono indagare.

Le onde elastiche che si propagano in profondità e vengono in parte deviate (rifratte) lungo l'interfaccia che separa due mezzi a differente impedenza acustica (V_1 , V_2) ed in parte proseguono verso il basso finché l'energia viene completamente assorbita dal mezzo in cui si propaga.

L'effetto di queste onde è la formazione di vibrazioni che vengono captate da sensori posti sulla superficie, generalmente elettromagnetici, in grado di trasformare la sollecitazione meccanica, che subisce la massa mobile del magnete, in un segnale elettrico che, debitamente amplificato, viene riprodotto su monitor e memorizzato su supporto informatico.

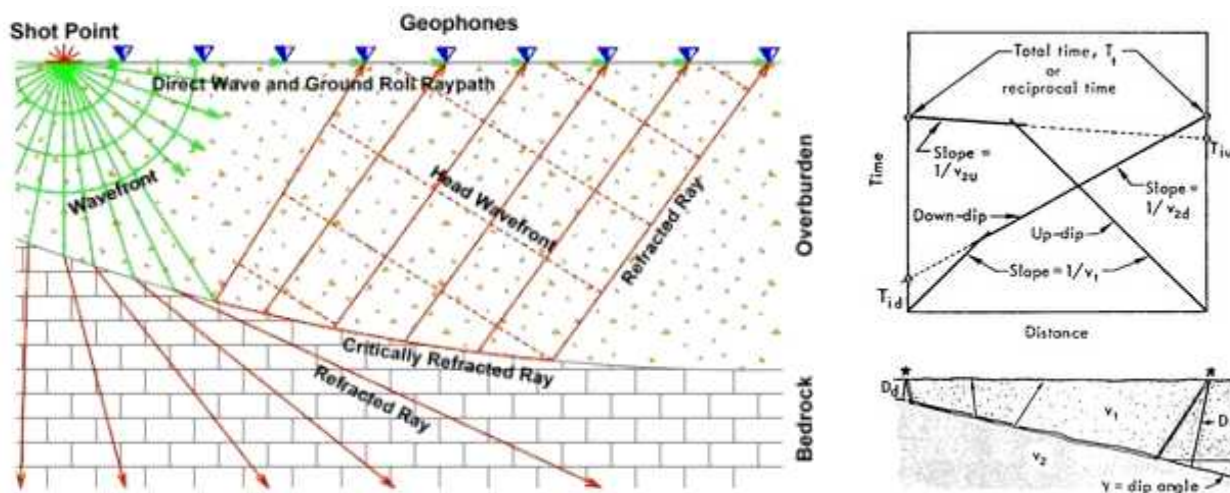


Figura 1 – Modello di propagazione dei fronti d'onda nei raggi rifratti.

Con i tempi di percorso rilevati mediante i geofoni e le distanze degli stessi dai punti di energizzazione si tracciano dei diagrammi tempi-distanze (dromocrone) che permettono di calcolare sia la velocità di propagazione delle onde di compressione P, sia la profondità e lo spessore dei terreni che sono stati attraversati dalle onde sismiche.

L'interpretazione delle dromocrone consente di ricavare delle sezioni sismiche che schematizzano

la distribuzione della velocità in funzione della profondità.

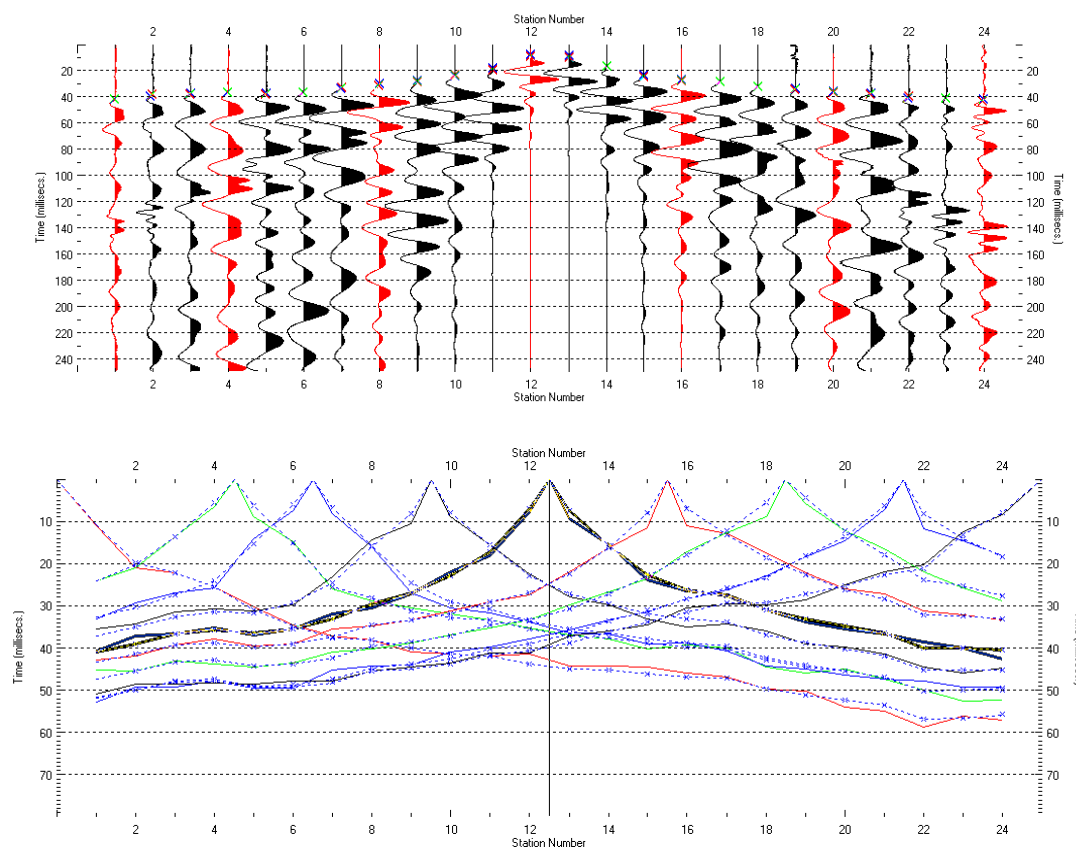


Figura 2 – Sismogramma e dromocrone

Dall'analisi delle dromocrone è possibile definire il numero dei sismostrati presenti nel sottosuolo (ovviamente per la finestra temporale adottata che è funzione della lunghezza dello stendimento e della quantità di energia utilizzata). E' importante sottolineare che la sismica a rifrazione funziona solo per velocità crescenti. L'interpretazione per la risoluzione geometrica dei sismostrati (profondità e velocità) si avvale di diverse metodologie di calcolo dalle più semplici procedure dirette (Hagedoorn, 1959; Barry, 1967), seguendo le leggi generali dell'ottica, a quelle più complesse sia 1D che 2D che elaborano i dati mediante la tecnica del GRM (Palmer, 1980), del Ray-tracing o della tomografia (Hampson & Russell, 1984; Olsen, 1989). La finalità della tomografia è la dettagliata esplorazione del modello di distribuzione della velocità in un mezzo. Essa si basa sui primi arrivi ottenuti per set plurimi di coppie sorgente-ricevitore: la sola limitazione è quella che i raggi sismici formino una rete completa e cioè, idealmente, ciascun punto del mezzo investigato dovrebbe essere attraversato dai raggi in tutte le direzioni.

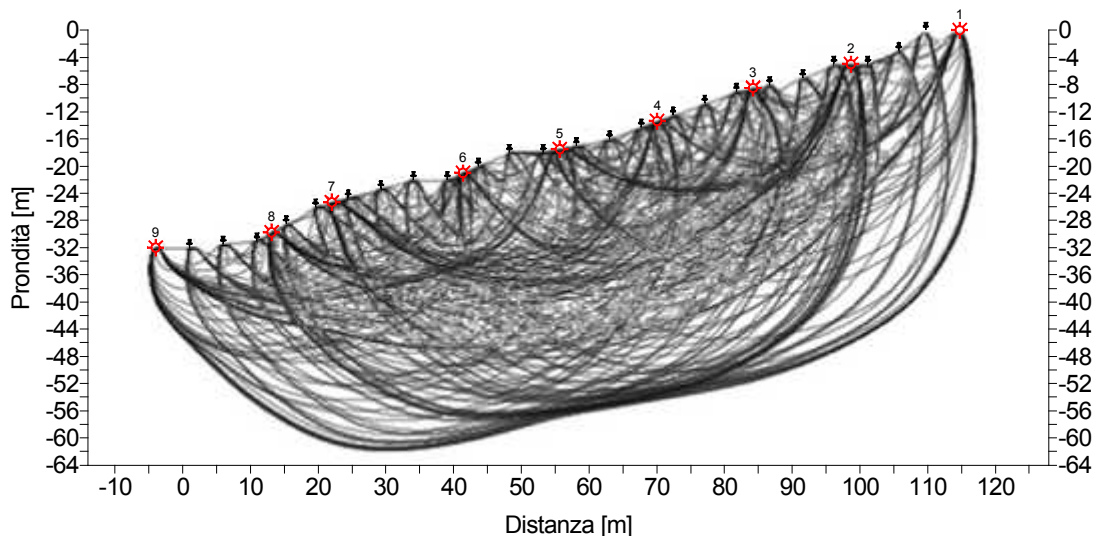


Figura 2 – Copertura raggi sismici

L'analisi dei raggi sismici con un programma di inversione tomografica discretizza il modello fisico e restituisce un modello di distribuzione delle velocità delle onde di compressione P (isotache espresse in m/s) coerente con il modello geologico del sottosuolo.

Per l'elaborazione dei dati sismici a rifrazione si utilizza il software RAYFRACTTM (32 – bit version), della Intelligent Resources Inc. (Canada). I dati dei primi arrivi (onde di compressione) sono stati elaborati con il metodo GRM (general reciprocal method) accoppiato ad una inversione tomografica su una griglia di nodi equispaziati per una modellazione della distribuzione delle velocità delle onde di compressione nel sottosuolo. Tale metodo (inversione tomografica) consente (con un sufficiente numero di scoppi) di individuare anche eventuali inversioni di velocità (che costituiscono il limite della prospezione sismica a rifrazione).

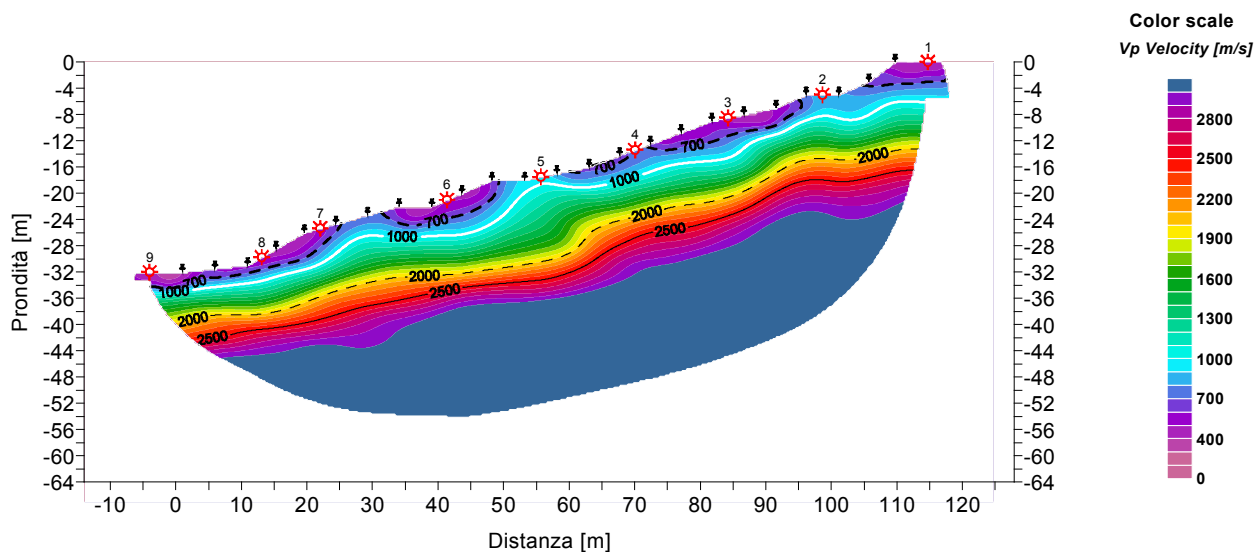
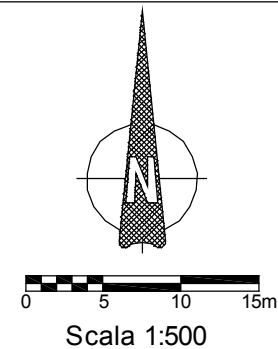
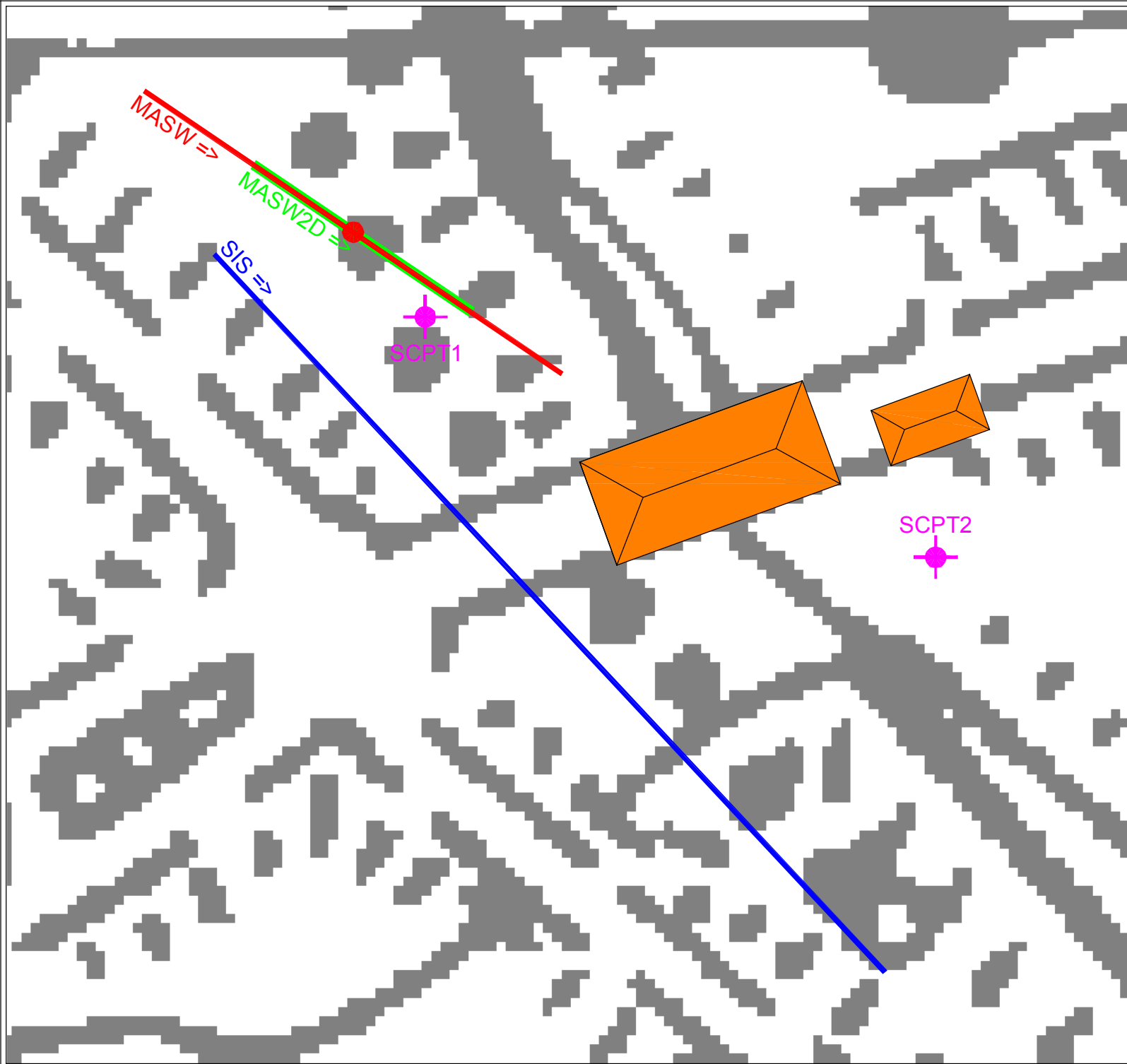


Figura 3 – Modello tomografico della distribuzione delle onde di compressione Vp in m/s








FIGURE





Legenda

-  Stendimento linea MASW
-  Centro linea MASW
Ubicazione profilo Vs30
-  Sezione MASW 2D
-  Sezione sismica a rifrazione (SIS)
-  Prove SCPT



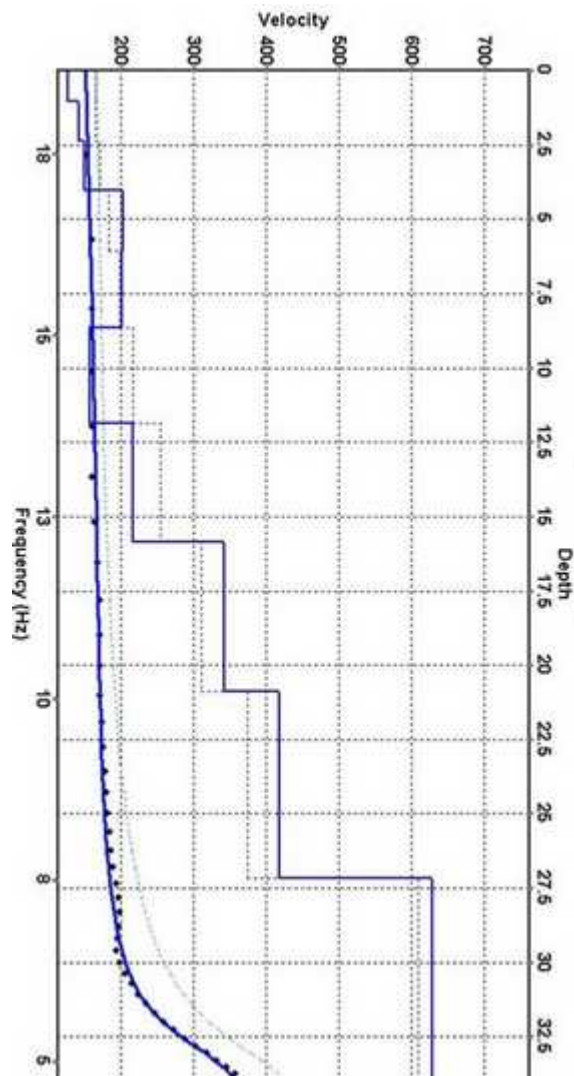
Techgea Servizi Sas
Via Modigliani 26/a 10137 Torino
tel +39 011 700113
fax +39 011 7077673
e-mail info@techgea.eu

Committente:	Magistrato per il Po - Parma		
Oggetto:	Indagini sismiche		
Sito:	Chiavica Foce Riglio - Cremona		
Titolo:	Ubicazioni indagini sismiche		
Data:	Dicembre 2010	Figura:	1
Relazione:	1601/10	Revisione:	0

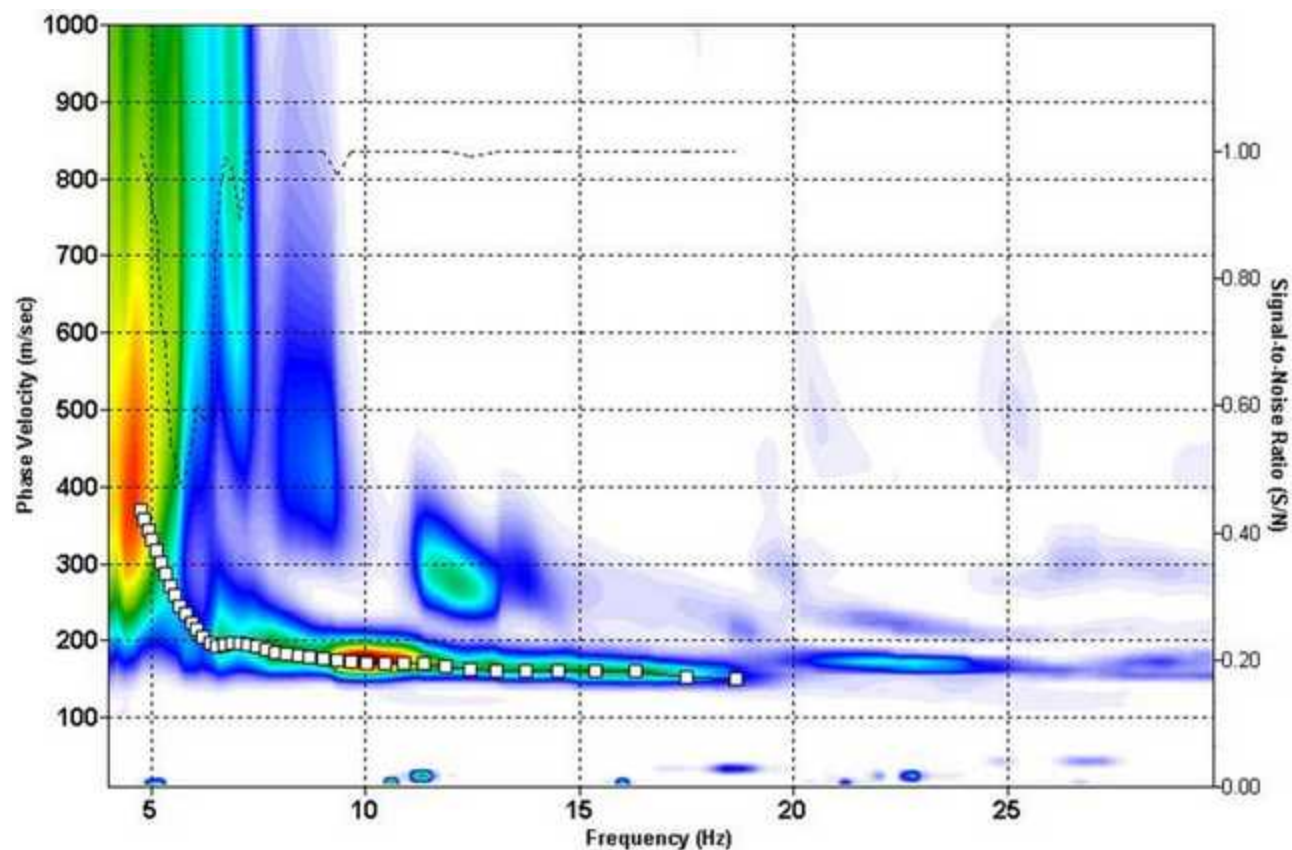
Chiavica Foce Riglio - Cremona

Indagine MASW - Curva di dispersione e modello di velocità delle onde S (Vs)

Modello delle velocità



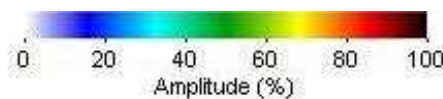
Curva di dispersione



----- Rapporto segnale-rumore [S/N]

—□— Curva di dispersione estratta

Scala dei colori



T S Techgea Servizi
Geofisica Geologia Ambiente

Committente: Magistrato per il Po - Parma

Progetto: Indagini sismiche

Sito: Chiavica Foce Riglio (CR)

Data: 12/2010

Figura:

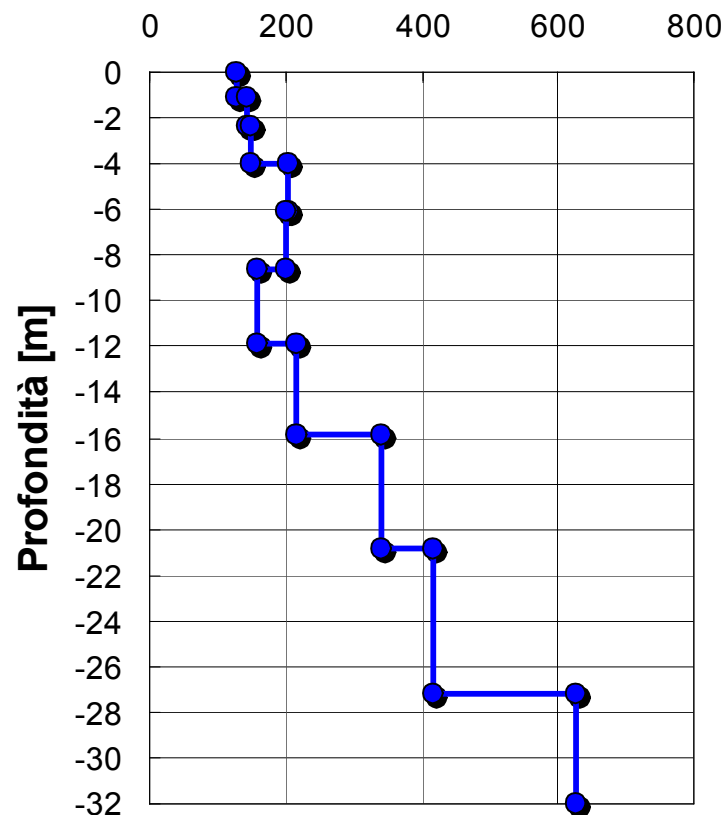
Relazione: 1601/10

2

Chiavica Foce Riglio - Cremona

Indagine MASW - Profilo di velocità e calcolo del parametro V_{s30}

Velocità onde di taglio V_s [m/s]



Modello Profilo V_s a 10 strati

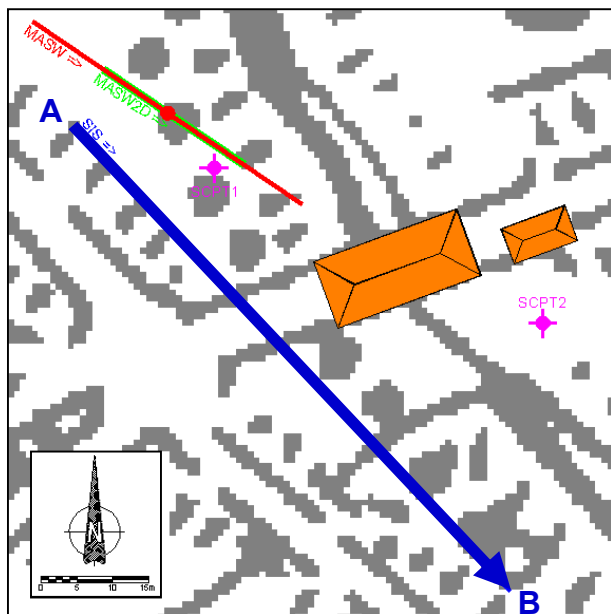
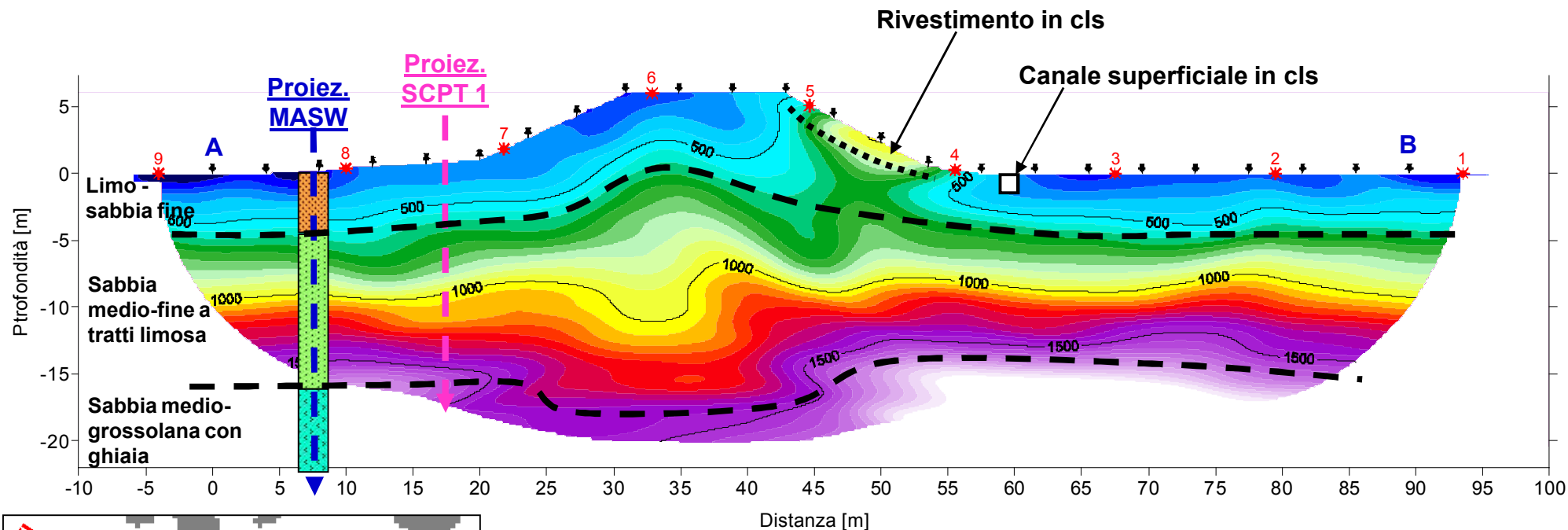
Strato	Profondità [m]		V_s [m/s]
	da	a	
1	0.00	-1.05	126.79
2	-1.05	-2.37	141.92
3	-2.37	-4.01	149.27
4	-4.01	-6.07	202.28
5	-6.07	-8.64	200.92
6	-8.64	-11.86	156.85
7	-11.86	-15.87	215.32
8	-15.87	-20.90	341.42
9	-20.90	-27.17	416.98
10	-27.17	-33.97	627.09

Suolo	Descrizione geotecnica	V_{s30} CALCOLATO
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).	240 m/sec (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30 m)

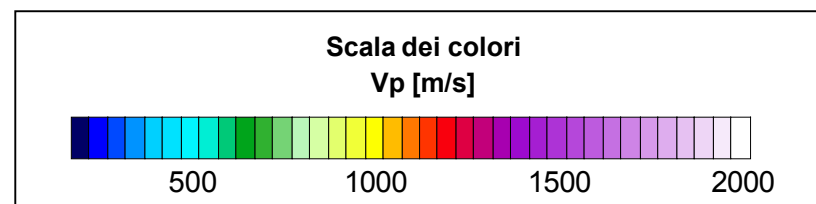
 Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Magistrato per il Po - Parma
Progetto:	Indagini sismiche
Sito:	Chiavica Foce Riglio (CR)
Data:	12/2010
Relazione:	1601/10
Figura:	3


Chiavica Foce Riglio - Cremona

Indagine sismica a rifrazione – Modello tomografico di velocità delle onde P (Vp)

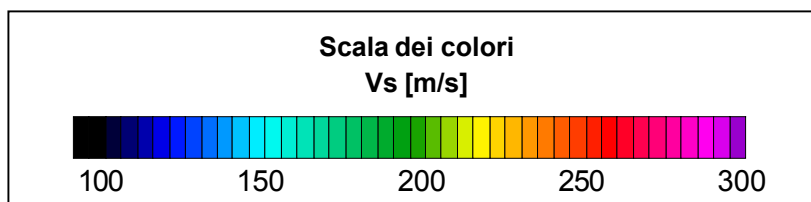
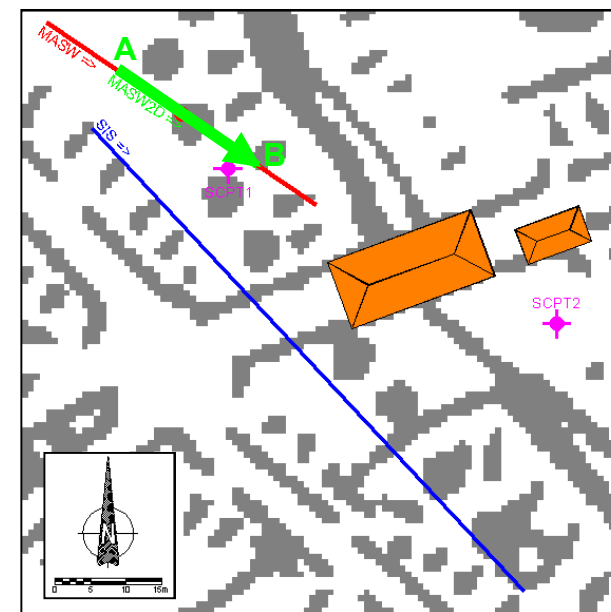


N.B: le velocità delle onde di compressione sono sovrastimate per effetto della saturazione dei terreni



	Techgea Servizi	
	Geofisica Geologia Ambiente	
Committente:	Magistrato per il Po - Parma	
Progetto:	Indagini sismiche	
Sito:	Chiavica Foce Riglio (CR)	
Data:	12/2010	Figura:
Relazione:	1601/10	4

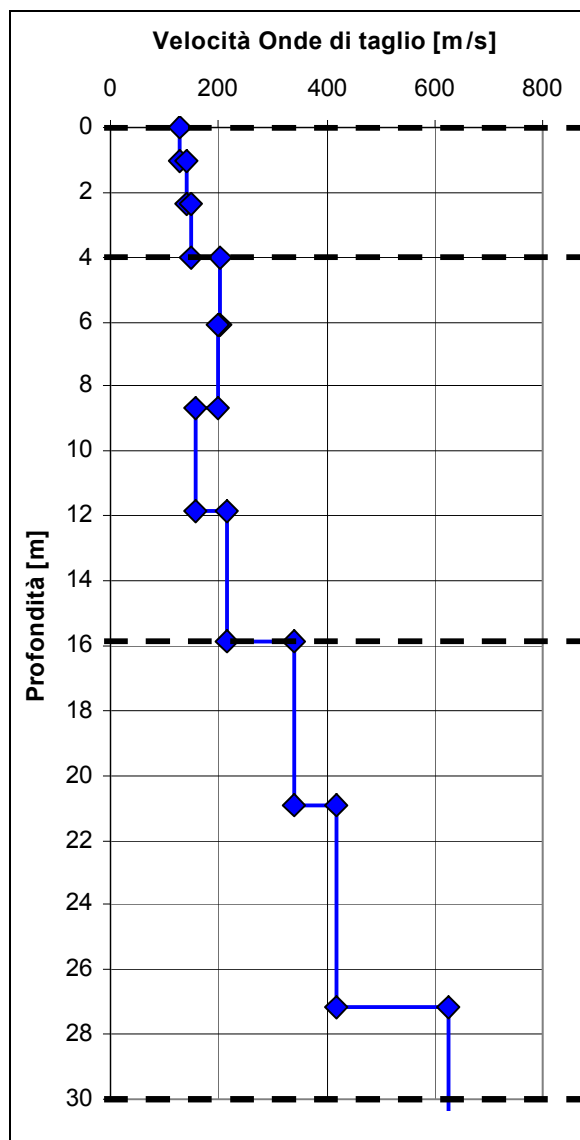
Indagine MASW 2D – Modello tomografico di velocità delle onde S (V_s)



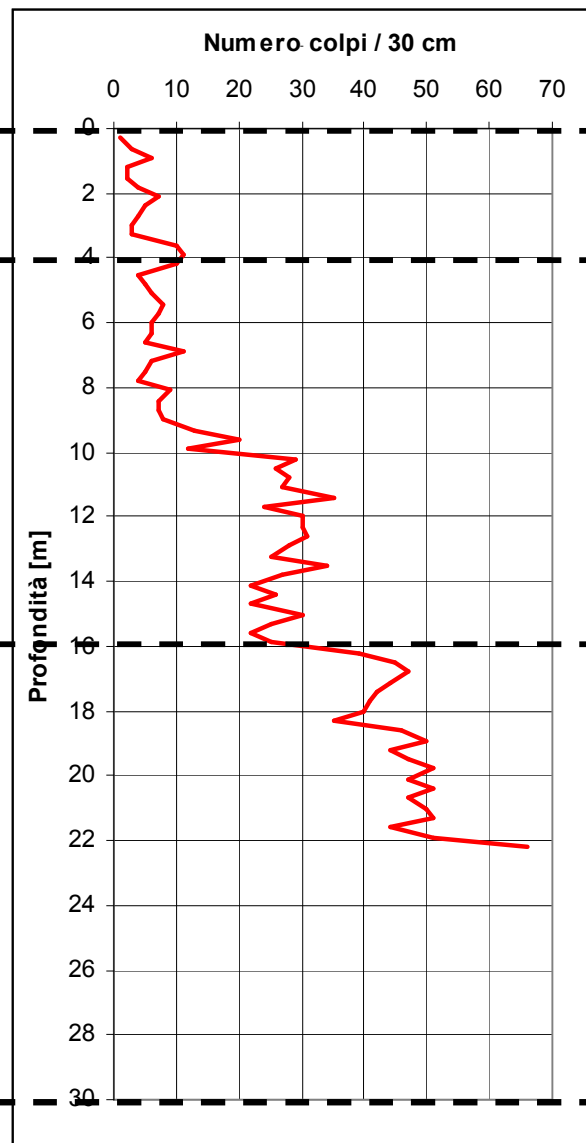
Chiavica Foce Riglio - Cremona

Confronto tra profilo di velocità delle onde S (MASW) e prova SCPT 1

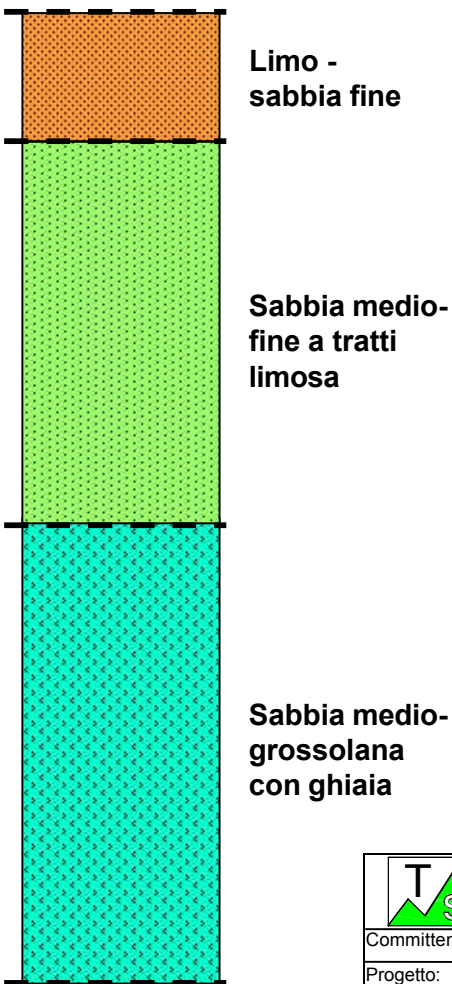
Profilo onde S (MASW)




Prova SCPT 1



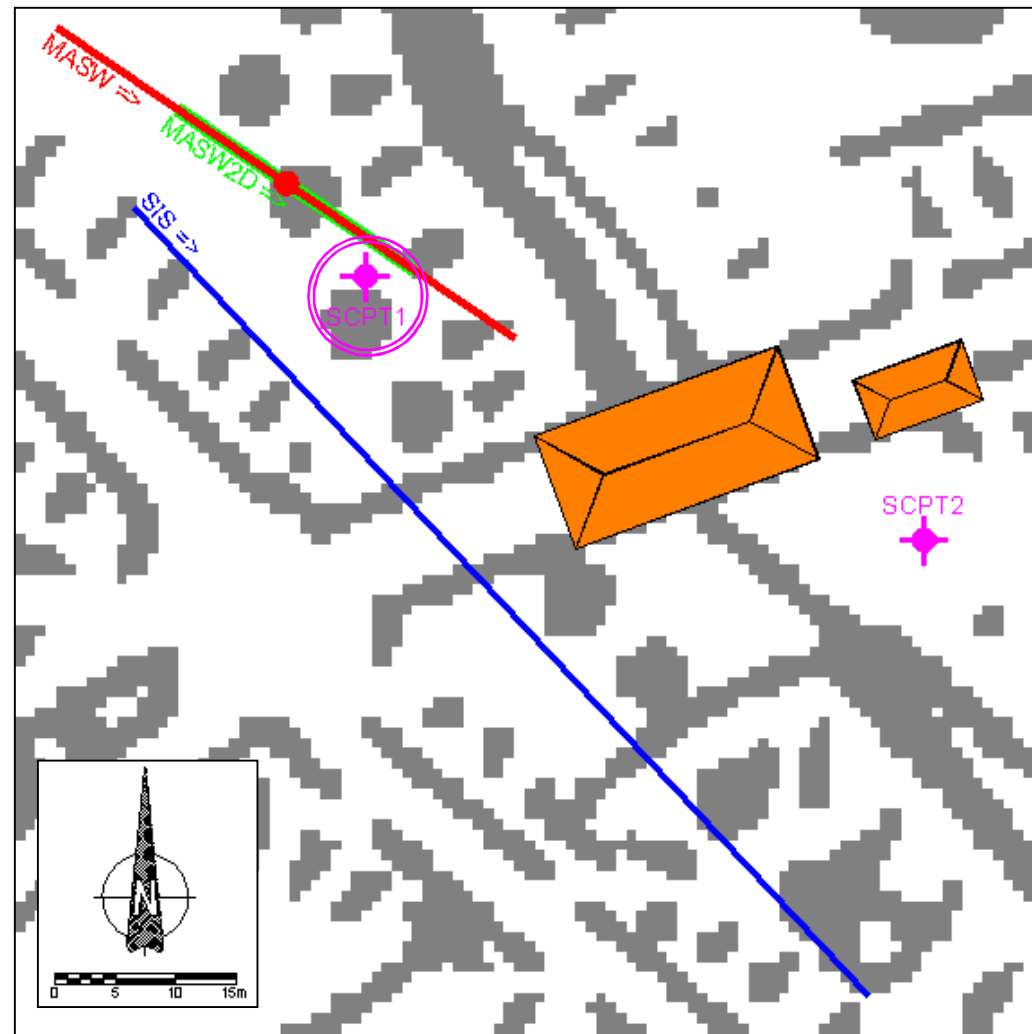
Interpretazione stratigrafica




	Techgea Servizi	
	Geofisica Geologia Ambiente	
	Committente:	Magistrato per il Po - Parma
	Progetto:	Indagini sismiche
	Sito:	Chiavica Foce Riglio (CR)
	Data:	12/2010
	Relazione:	1601/10
		Figura: 6

Chiavica Foce Riglio - Cremona

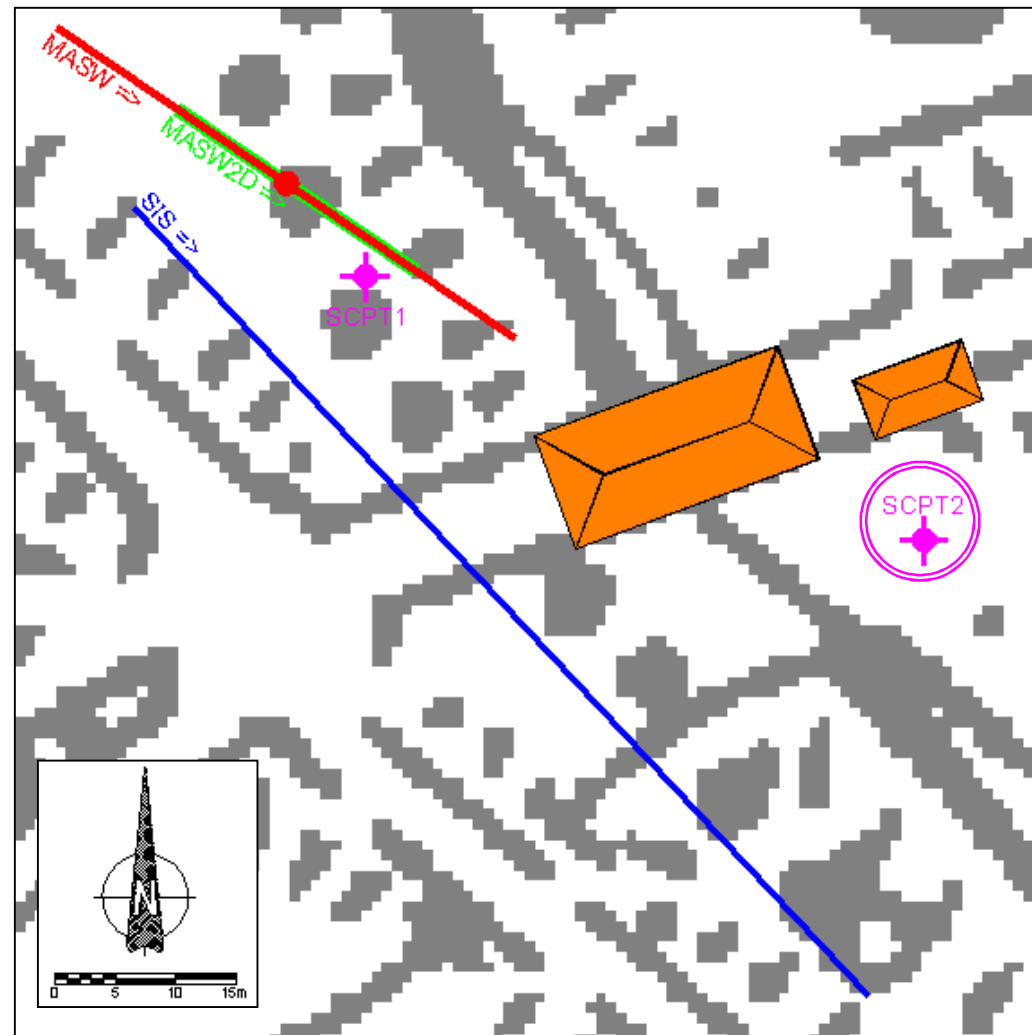
Prova Penetrometrica Dinamica – SCPT 1



	Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
	Committente:	Magistrato per il Po - Parma
	Progetto:	Indagini sismiche
	Sito:	Chiavica Foce Riglio (CR)
	Data:	12/2010
	Relazione:	1601/10
		Figura: 7

Chiavica Foce Riglio - Cremona

Prova Penetrometrica Dinamica – SCPT 2



	Techgea Servizi Geofisica Geologia Ambiente	
	Committente:	Magistrato per il Po - Parma
	Progetto:	Indagini sismiche
	Sito:	Chiavica Foce Riglio (CR)
	Data:	12/2010
	Relazione:	1601/10
		Figura: 8

