PROGETTO N° A08002-D

AUTOSTRADE SESTRI LEVANTE – LIVORNO

con diramazione VIAREGGIO – LUCCA e FORNOLA – LA SPEZIA

POTENZIAMENTO INTERCONNESSIONE A12/A15

REGIONE LIGURIA

settore pianificazione e valutazione interventi

PRESCRIZIONI DI CUI AL PARERE INTERLOCUTORIO DELLA REGIONE LIGURIA - SCHEMA n° NP/4583 DEL 11/03/2011

PROVINCIA DELLA SPEZIA

RAPPORTO AMBIENTALE

(ai sensi dell'art. 13 c.1. D.lgs 152/2006 e della L.R. 32/2012)

SANTO STEFANO MAGRA - CEPARANA

COLLEGAMENTO TRA IL RACCORDO AUTOSTRADALE E LA SPONDA DESTRA DEL F. MAGRA

0	Ottobre 2014	Prima Emissione		G. F.	G. F.
EM./RE.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.

APPROFONDIMENTI SPECIALISTICI

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

CODICE IDENTIFICATIVO: **SPSI 03 RA 12**

SCALA: -

PROGETTAZIONE

CISA Engineering S.p.A.

IL PROGETTISTA

Dott. Ing. Giuseppe Fratino
O.I. Provincia di Bari n°5349

società autostrada ligure toscana p.a.
Condirettore Generale

Monica Paganini

UNI EN ISO 9001:2008 CERTIQUALITY SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ CERTIFICATO

Sede sociale:
55041 Lido di Camaiore (LU)
via Don Enrico Tazzoli 9
Casella postale 56

Telefono: 0584–9091
Telefax: 0584–909300/319
E–mail: salt@salt.it
www.salt.it

Capitale sociale
€ 160.000.000
interamente versato

Codice Fiscale – P.IVA e
n.Iscr. Registro Imprese Lucca
00140570466

I N D I C E

1. PREMESSA 2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 3
3. REGIMI P.A.I. E VINCOLO IDROGEOLOGICO 4
4. DOCUMENTI GEOLOGICI-GEOTECNICI REPERITI 5
5. QUADRO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO 6
6. SISMICITA' 8
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE 10
7.1. STRATIGRAFIE DI SONDAGGIO REPERITE 10
7.2. INDAGINI SISMICHE 10
8. MODELLO GEOTECNICO E CATEGORIA SISMICA SOTTOSUOLO 18
8.1. VIADOTTO MAGRA 18
8.2. CAVALCAVIA A15 19
9. CONCLUSIONI 24
ALLEGATI 25

1. PREMESSA

Il progetto in esame riguarda la realizzazione del Collegamento tra il Raccordo Autostradale e la sponda destra del Fiume Magra; l'intervento ricade nei Comuni di Bolano, Vezzano Ligure e S.Stefano Magra in Provincia di La Spezia.

Il collegamento è lungo circa 2010 m ed è caratterizzato da due opere strutturali importanti:

- il Viadotto Magra, previsto in affiancamento a quello autostradale esistente
- il nuovo cavalcavia sull'A15, in affiancamento a quello esistente.

I tratti di raccordo con le spalle delle due opere sono previsti in rilevato con altezze dell'ordine dei 7-8 m:

In questi tratti gli scavi sono sostanzialmente limitati alle fasi di preparazione del sottofondo stradale e alla realizzazione di una vasca di compensazione e cioè alle lavorazioni dello scotico (sp=20cm) e della bonifica (sp=50cm) dei terreni più superficiali con scadenti qualità geotecnica; ulteriori attività di scavo sono riconducibili alla realizzazione delle fondazioni del viadotto e del cavalcavia.

Nella prima parte della relazione viene analizzato il quadro geologico-geomorfologico del contesto in cui si inseriranno le opere in progetto, sulla base del quale viene espresso un parere di fattibilità geologica dell'intervento ai sensi della normativa ad oggi vigente in materia e delle Norme di attuazione del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Magra.

A seguire, sulla base dei dati geologici-stratigrafici reperiti e delle indagini sismiche eseguite, viene descritto il modello geotecnico e sismico dei terreni di fondazione degli interventi in progetto.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per il presente lavoro sono state prese a riferimento le seguenti normative:

- *Legge 109/'94 e s.m.i. ("Legge Merloni") e del D.P.R. 554/99 (Regolamento di Attuazione)*
- *D.M. 14.01.2008* "Nuove norme tecniche per le costruzioni" e s.m.i.
- *Circ.Min. Infrstrutture n. 617 del 02.02.2009* "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"
- *OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*
- *Regione Liguria: D.G.R. n. 1362 del 19.11.2010* "D.M. 14.01.2008 Norme Tecniche per le Costruzioni. Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria".

3. REGIMI P.A.I. E VINCOLO IDROGEOLOGICO

Nel Piano Stralcio Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Magra l'area includente il sito di progetto è stata classificata nella "Carta della pericolosità geomorfologica" come area con pericolosità inferiore al livello Pg2 e quindi senza particolari problematiche di stabilità (rif. elab. SPSIPD03GEO02); per queste aree le Norme di Piano (art. 13 comma 6) demandano ai Comuni la disciplina specifica.

La "Carta del Vincolo Idrogeologico", visionata presso l'Ufficio Difesa del Suolo della Provincia di La Spezia, evidenzia che la zona di progetto non rientra nelle aree sottoposte a tale vincolo (R.D. 3267/1933 e L.R. n.4 del 22.01.1999 e s.m.i.).

4. DOCUMENTI GEOLOGICI-GEOTECNICI REPERITI

Il presente lavoro è iniziato con la ricerca e raccolta del materiale bibliografico, cartografico e tecnico già esistente circa le caratteristiche geologiche e geotecniche della zona in esame; la documentazione reperita è servita come base sulla quale sviluppare lo studio mirato al progetto in esame.

I documenti reperiti sono:

- "Carta Geologica d'Italia Foglio 248 La Spezia" scala 1:50.000 – Regione Liguria
- "Contributo alla conoscenza della idrogeologia della Bassa Val di Magra" – G.Raggi - Estratto Memorie Accademia Lunigianese di Scienze "G.Capellini" Vol. XL 1970 pp. 27-38
- "Note idrogeologiche sul Basso Corso del Magra, dalla confluenza del vara al mare (Provincia di La Spezia) – A. Antonelli - Estratto Memorie Accademia Lunigianese di Scienze "G.Capellini" Vol. XL 1970 pp. 39-60
- "Progetto Acquanet – Geochimica, idrogeologia, qualità e vulnerabilità dell'acquifero alluvionale del basso bacino del Fiume Magra" – G.Brozzo e L.Marini - DIP.TE.RIS. UniGE, ACAM Acque, Provincia La Spezia 2005
- "Atlante degli acquiferi della Liguria – Volume IV L'acquifero alluvionale della bassa valle del Fiume Magra" – DIP.TE.RIS UNIGE-ACAM Acque 2009
- Galli, P. (2000). New empirical relationship between magnitude and distance for liquefaction. Tectonophysics, 324:169-187.
- Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il Dipartimento di Protezione Civile, INGV Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp + 5 appendici.
- Gruppo di lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani. Versione 2004 (CPTI04). INGV, Bologna, http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/.
- Stratigrafie del Progetto Esecutivo dell'Autostrada A12 – Archivio SALT
- Indagini geognostiche allegate al Progetto Preliminare del "Progetto di connessione tra la sponda sinistra e la sponda destra del Fiume Magra tra i Comuni di S.Stefano Magra e Bolano"
- Documenti geologici-geotecnici facenti parte del progetto definitivo del "Potenziamento interconnessione A12/A15" – SALT Novembre 2010

5. QUADRO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO

Il Collegamento stradale in progetto insiste sui terrazzi alluvionali in destra e in sinistra orografica al Fiume Magra, pressoché in corrispondenza della confluenza con il Fiume Vara.

I sedimenti della zona in esame sono riconducibili a successive fasi di deposizione entro una depressione tettonica, limitata da faglie dirette, con direzione N-NW-S-SE; i movimenti tettonici risalgono alla fase di collasso che ha interessato la zona locale dell'Appennino Settentrionale a partire dal Pliocene superiore.

In origine la depressione fu occupata da laghi con conseguente deposizione di argille e limi di epoca Miocenica-Pliocenica Inf..

Successivamente sedimenti grossolani ciottolosi-sabbiosi, trasportati dai corsi d'acqua che sfociavano nei bacini lacustri, hanno in parte colmato la depressione; questa deposizione grossolano è databile come Villafranchiano.

La ripresa dell'erosione fluviale, dovuta sia a movimenti di sollevamento delle terre rispetto al mare sia a cambiamenti climatici, ha modellato poi in ampie forme terrazzate l'insieme dei depositi fluvio-lacustri; a questa fase più recente (Pleistocene-Olcene) sono ricollegabili i sedimenti alluvionali antichi e recenti del Fiume Vara.

Nella zona del progetto i depositi alluvionali antichi (Pleistocene) sono rappresentati dal "Subsintema di Ceparana (BVM3)" descrivibile come ciottolame e sabbie medio-grossolane con limi moderatamente alterati al tetto; sono poi presenti i depositi alluvionali recenti ("b_{n2}", "b_{n1}") e attuali del Fiume Magra ("b").

Sul lato Ceparana il collegamento stradale in progetto insiste sul locale terrazzo dei depositi alluvionali recenti, sovrappassa poi in viadotto le alluvionali mobili attuali mentre, sul lato S.Stefano Magra, si sviluppa prima sulle alluvioni recenti e poi, nel tratto finale, depositi alluvionali pleistocenici BVM_3.

Il substrato roccioso dei depositi alluvionali, riconducibile con buona probabilità alla formazione delle "Arenarie di M.te Gottero" (arenarie torbiditiche a grana media, medio-fine con subordinate peliti argillitiche), è attestato alla profondità di 11,70 m in corrispondenza del sondaggio S17 in sponda destra con una progressivo approfondimento procedendo verso la sponda sinistra.

Dal punto di vista geomorfologico il Collegamento in esame è inserito in una zona sub-pianeggiante senza problematiche di stabilità; la classificazione della "Carta della pericolosità morfologica" del PAI conferma questa situazione di stabilità dell'area.

Le caratteristiche geomorfologiche dell'area ammettono quindi l'inserimento sulla stessa delle opere in progetto.

Come idrogeologia si segnala la presenza di una falda acquifera di tipo freatico nel materasso delle alluvioni attuali e recenti del Fiume Magra (rif. "Carta piezometrica" e "Carta della soggiacenza" allegate); la stessa falda può essere ipotizzabile sconfini anche nei depositi della formazione del "Subsintema di Ceparana (BVM3)" sul quale insiste il Collegamento.

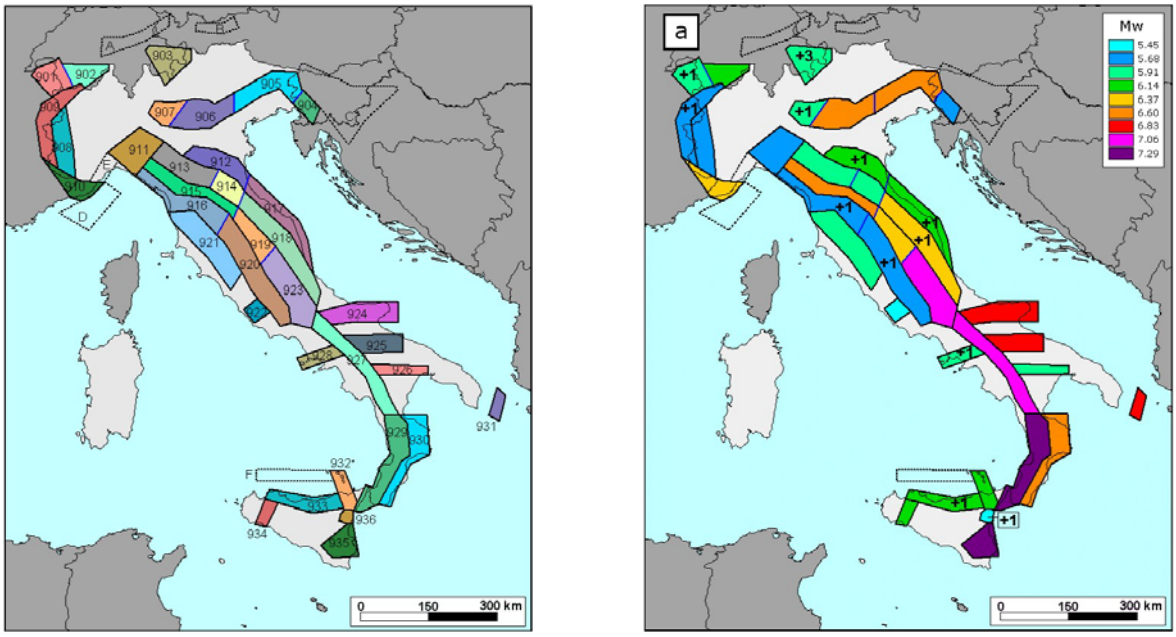
La velocità di deflusso della falda nel materasso alluvionale è, mediamente, dell'ordine di 25 m/giorno.

Nelle zone di terrazzo la falda ha una soggiacenza dell'ordine dei 5 m con possibili oscillazioni, anche significative, in funzione della piovosità stagionale e quindi del regime del corso d'acqua.

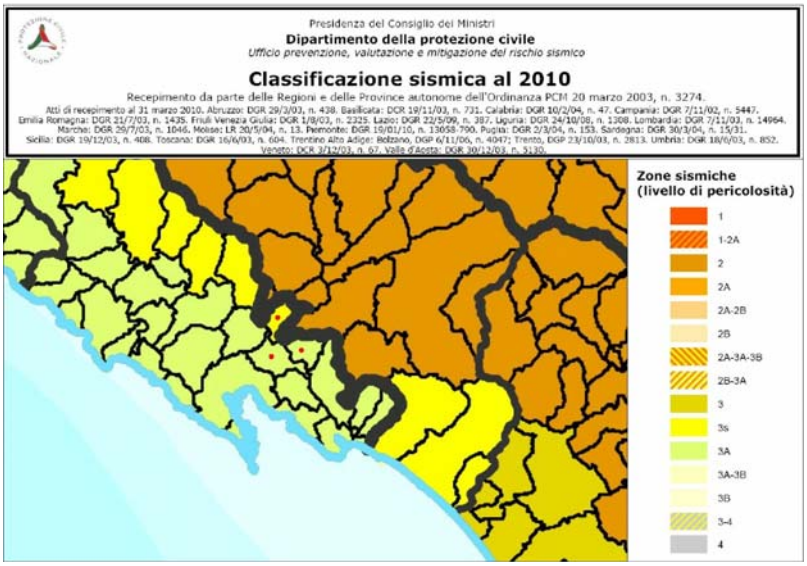
6. SISMICITA'

In termini sismologici la zona in esame ricade nella Zona Sismogenetica 916 "Versilia Chianti" (Zonazione sismogentica ZS9 Rapporto conclusivo Gruppo di Lavoro, 2004).

Questa zona comprende strutture sismogenetiche che in epoca storica hanno generato eventi di magnitudo massima superiore a 5 (MW).

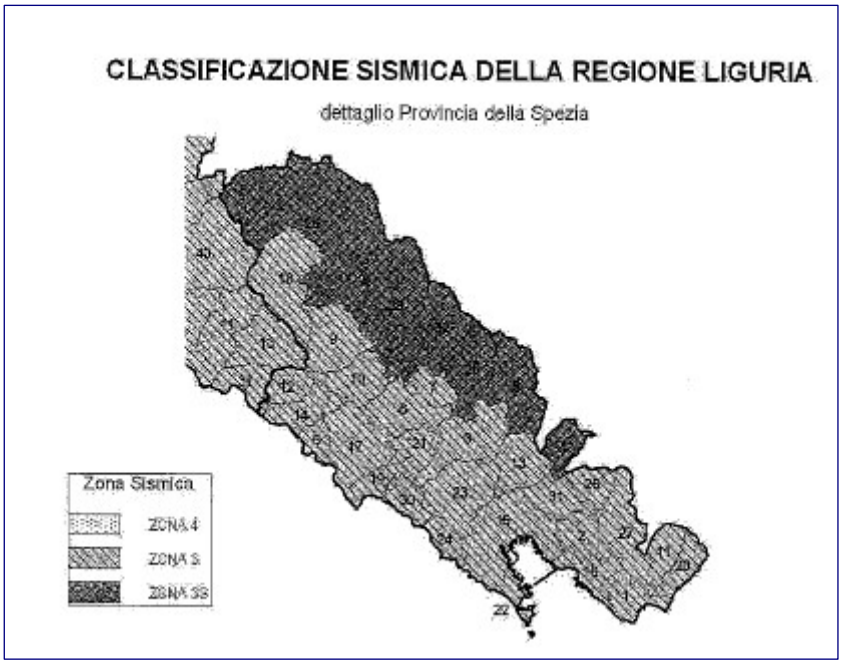


Dal punto di vista sismico, il territorio dei Comuni di Bolano, Vezzano Ligure e S.Stefano Magra entro cui ricade l'intervento in esame rientrano rispettivamente, secondo la classificazione nazionale 2010, in una Zona 3S e in una zona 3A.



Per i valori medi dei tre parametri di progetto che definiscono la pericolosità sismica (a_g, F_0 e T_c) si rimanda all'Allegato B delle NTC2008.

Nella nuova classificazione regionale di cui alla D.G.R. n. 1362 del 19.11.2010 il Comune di Bolano è classificato in una Zona 3S (n. 4 su mappa) mentre i Comuni di Vezzano Ligure e S.Stefano Magra rientrano in una Zona 3 (n. 31 e 26 su mappa).



7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per questo Intervento sono state utilizzate sia stratigrafie relative a lavori pregressi sia i dati geognostici ottenuti mediante l'esecuzione di una campagna di linee sismiche.

7.1. STRATIGRAFIE DI SONDAGGIO REPERITE

La ricerca della documentazione geotecnica già esistente ha permesso di ritrovare n. 7 stratigrafie di sondaggio") lungo e in prossimità del tracciato del progetto in esame.

Più in particolare nell'Archivio SALT sono stati ritrovati le stratigrafie dei sondaggio S17, S2 e S18 eseguiti all'epoca del progetto esecutivo e della costruzione dell'A15.

I sondaggi S1(2002) e S4 fanno parte della documentazione geotecnica del Progetto Preliminare del "Progetto di connessione tra la sponda sinistra e la sponda destra del Fiume Magra tra i Comuni di S.Stefano Magra e Bolano".

Il sondaggio S1(2008) fa parte dei documenti geologici-geotecnici del progetto definitivo del "Potenziamento interconnessione A12/A15" – SALT Novembre 2010

Il sondaggio S30 è stato ritrovato tra gli allegati della Tesi di Laurea citata nel paragrafo 4; questa stratigrafia, in base alle informazioni raccolte, è riconducibile ai sondaggi eseguiti dalla SALT all'epoca della costruzione dell'arteria autostradale.

7.2. INDAGINI SISMICHE

In attesa di approfondire ulteriormente le conoscenze geotecniche mediante opportune nuove indagini (sondaggi a carotaggio con prove in foro e prove di laboratorio) da realizzarsi nelle successive fasi di approfondimento della progettazione, sono state eseguite, in questa fase, alcune indagini con lo scopo di:

- fornire un prima taratura e controllo locale delle stratigrafie reperite, con riferimento particolare alla profondità del substrato
- fornire, ai sensi delle NTC 2008, i valori necessari per il calcolo della velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità e quindi della Categoria sismica del sottosuolo in termini di amplificazione stratigrafica locale.

La scelta della tecnica di indagine geofisica più appropriata deve essere operata in funzione delle caratteristiche dell'obiettivo e dei limiti imposti dalle condizioni peculiari del sito.

Le difficoltà riscontrabili in fase di acquisizione nel sito in esame sono state le seguenti:

- presenza di falda superficiale che si comporta da rifrattore delle onde P di compressione e impedisce la penetrazione del segnale a profondità maggiori;
- vibrazioni intense e persistenti, indotte nel terreno dal traffico veicolare dell'autostrada o trasmesse attraverso le pile dei ponti.

Sulla base delle difficoltà ambientali descritte, si è ritenuto opportuno impiegare tecniche sismiche per onde di taglio S che non risultano condizionate, a differenza delle prove per onde P, dalla presenza della falda; anche tali indagini hanno comunque risentito, in termini di qualità dei segnali acquisiti, del "rumore" generato dal traffico veicolare.

In sintesi sono state quindi eseguite dalla società Gamut di Torino (rif. elab. SPSIPD03GEO0301) :

- n. 3 linee Masw denominate M1, M2 e M3 ubicate, rispettivamente, in sponda destra del Magra, in sponda sinistra del Magra e in prossimità del Cavalcavia A15
- n 1 tomografia sismica in onde S in sponda destra del Magra.

Le tabella seguente riportano sinteticamente i parametri di acquisizione e la descrizione della ***tomografia sismica T1***:

Tomografia sismica T1

Lunghezza stendimento [m]	70.5
Spaziatura geofoni [m]	3
Canali [numero]	24
Tempo di campionamento [µs]	125
Finestra di campionamento [s]	0.5
Orientazione stendimento	NO-SE
Sorgenti [numero]	7

La strumentazione utilizzata per la tomografia sismica T1 comprendeva un sismografo Geometric GEODE a 24 canali, n. 24 geofoni ad asse orizzontale SWIPHONE a frequenza caratteristica di 4.5 Hz, n. 1 mazza da 4 kg battuta su traversina metallica con funzione di sorgente per le onde di taglio, dotata di trigger elettrico per contatto.

L'energizzazione in più punti prestabiliti lungo la linea è stata eseguita con mazza da 4 kg, battendo orizzontalmente sulla testa di una traversina in metallo, di peso e dimensioni adeguate per impedirne lo slittamento e generare onde SH di adeguato contenuto energetico. In ogni punto di energizzazione i colpi sono ripetuti e il segnale sommato (operazione di stacking) fino a quando l'operatore al sismografo non ritenga che il rapporto segnale/rumore sia accettabile.

L'elaborazione dei dati prevede l'esecuzione del picking manuale dei primi arrivi delle onde S, il cui risultato è generalmente visualizzato sotto forma di dromocrone (rif. "Sismogramma e picking" allegati)

I tempi di primo arrivo, espressi in millisecondi, insieme alle coordinate spaziali di ogni geofono, sono poi forniti in input al programma di inversione (RAYFRACT 3.06 – Intelligent Resources Inc.), il quale effettua una prima interpretazione attraverso il metodo classico della sismica a rifrazione e crea un modello di primo tentativo per poter inizializzare il processo di inversione.

Il programma procede suddividendo la sezione in celle alle quali assegna un certo valore di velocità delle onde di taglio, dedotto dal modello di primo tentativo creatosi in precedenza; successivamente viene simulata l'energizzazione in ogni punto di scoppio.

I tempi di primo arrivo ricavati dalla simulazione vengono poi confrontati con i tempi di primo arrivo sperimentali e, in base agli scarti, vengono corrette le velocità relative alle celle attraversate dai percorsi sismici; il processo di inversione è iterativo e si ottiene il risultato finale quando il valore degli scarti è inferiore ad un valore soglia deciso dall'operatore oppure dopo un particolare numero di iterazioni anch'esso deciso dall'operatore.

Il risultato consiste in una sezione verticale con andamento delle velocità delle onde S nel sottosuolo e una sezione con i valori di "copertura" che riporta per ogni cella della sezione stessa il numero di raggi sismici che la attraversano nell'ultima iterazione (rif. "Copertura raggi sismici" allegata); la sezione con i valori di copertura è utile alla definizione di affidabilità delle velocità ottenute, poiché bassi valori di copertura sottintendono una scarsa accuratezza.

Le tabelle seguenti riportano invece sinteticamente i parametri di acquisizione e la descrizione della ***linee Masw M1,M2 e M3***:

Linea MASW M1

Lunghezza stendimento [m]	70.5
Spaziatura geofoni [m]	1.5
Canali [numero]	48
Tempo di campionamento [µs]	500
Finestra di campionamento [s]	2
Orientazione stendimento	NO-SE

Linea MASW M2

Lunghezza stendimento [m]	70.5
Spaziatura geofoni [m]	1.5
Canali [numero]	48
Tempo di campionamento [µs]	500
Finestra di campionamento [s]	2
Orientazione stendimento	N-S

Linea MASW M3

Lunghezza stendimento [m]	70.5
Spaziatura geofoni [m]	1.5
Canali [numero]	48
Tempo di campionamento [µs]	500
Finestra di campionamento [s]	2
Orientazione stendimento	N-S

La strumentazione utilizzata per le linee Masw è la seguente:

- sismografo Geometrics GEODE costituito da due moduli a 24 canali controllati tramite laptop, per un totale di 48 canali disponibili; l'intervallo di campionamento è selezionabile tra 20 µs e 16 ms; la durata dell'acquisizione è funzione della frequenza di campionamento con il limite di 64000 campioni per canale; la dinamica del convertitore analogico/digitale è di 24 bit

- geofoni verticali SENSOR SM-6/U-B con frequenza propria di 4.5 Hz
- sorgente impulsiva: mazza da 4 kg su piastra metallica di ripartizione, dotata di trigger elettrico per contatto.

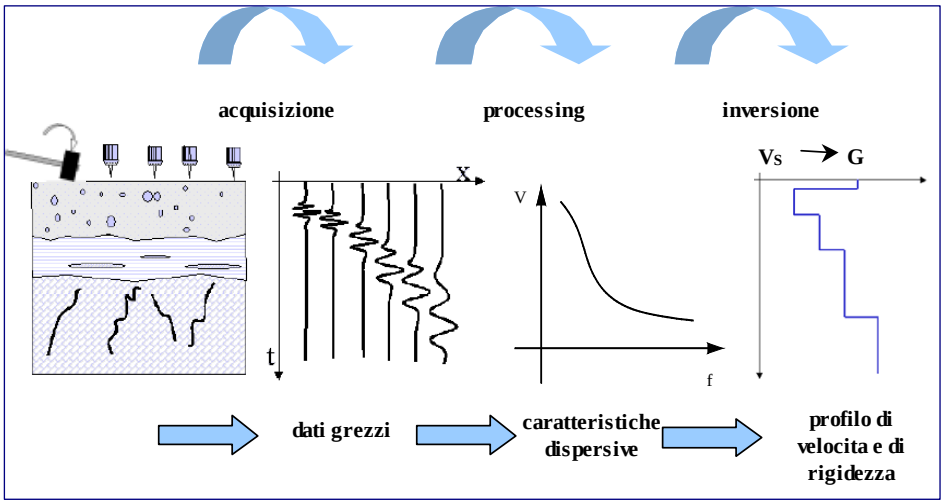
I dati sono stati elaborati con il software non commerciale Gamut GIADA.

Il metodo delle onde superficiali attive (SWM – Surface Wave Method) è un metodo di caratterizzazione sismica basato sull'analisi della dispersione geometrica delle onde superficiali; la procedura consiste nella valutazione delle caratteristiche dispersive del sito a partire dall'acquisizione e il trattamento dei dati sismici e nella loro successiva inversione per determinare le proprietà meccaniche del sottosuolo.

Il risultato finale che si ottiene con tale metodo è un profilo verticale delle velocità delle onde di taglio nel terreno in funzione della profondità.

La figura che segue sintetizza il metodo in tre principali fasi:

- Acquisizione;
- Processing;
- Inversione.



La fase di elaborazione è quella che segue l'acquisizione dei dati grezzi e permette di stimare, a partire dai sismogrammi acquisiti, le caratteristiche dispersive del sito, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza del segnale sismico (curva di dispersione sperimentale).

I dati vengono trasformati in dominio f-k (frequenza-numero d'onda) tramite una doppia trasformata di Fourier e la curva di dispersione è ricavata con un algoritmo di ricerca dei massimi spettrali (ai quali è associata per l'appunto la propagazione delle onde di Rayleigh).

Per ogni frequenza f, il picco spettrale è associato a un determinato valore del numero d'onda k, da cui è possibile ricavare la velocità di fase delle onde di Rayleigh attraverso la relazione:

$$V_R(f) = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{k}$$

L'esecuzione di più registrazioni separate invece della tradizionale procedura di stacking dei dati in acquisizione consente, senza un sensibile incremento dei tempi di acquisizione, di effettuare una serie di controlli statistici sulla qualità dei dati.

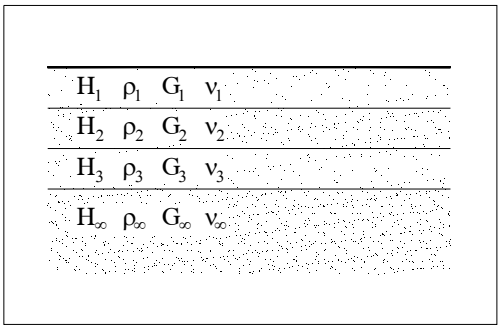
Si riportano, in allegato, le varie fasi di elaborazione del dato SWM delle 3 linee; in particolare sono allegati il sismogramma con energizzazione ad una testa, lo spettro f-k ottenuto dall'elaborazione delle tracce.

L'inversione è l'ultima delle tre fasi del metodo delle onde superficiali e consente di ottenere, a partire dalla curva di dispersione sperimentale ricavata in sito, un modello stratigrafico di sottosuolo compatibile con i dati misurati.

Il processo di inversione è basato sulla soluzione del problema diretto che, a partire da un set di parametri di modello calcola la curva di dispersione teorica.

Il confronto con la curva sperimentale fornisce una funzione di errore che deve essere minimizzata per ottenere un set di parametri di modello compatibile con i dati misurati; nella scelta dei parametri di modello sono adottate alcune semplificazioni al fine di ridurre il numero di incognite presenti.

Il modello di sottosuolo stratificato è descritto da un set di parametri che comprende la velocità delle onde di taglio Vs, la densità □, il coefficiente di Poisson □ e lo spessore H di ciascuno strato (figura successiva) ma poiché la soluzione del problema (la curva di dispersione) è scarsamente sensibile alle variazioni del coefficiente di Poisson e della densità dei singoli strati, il processo di inversione viene effettuato considerando come incognite solo la velocità delle onde di taglio ($Vs=(G/\square)^{0.5}$) e lo spessore H di ciascuno strato.



Inoltre, il numero di strati è scelto con criteri di minima parametrizzazione per evitare di produrre modelli finali affetti da problemi di equivalenza e indeterminazione.

L'inversione è stata effettuata utilizzando un codice che implementa un algoritmo ai minimi quadrati pesati; in allegato si riportano i "Profilo Vs" ottenuti per le 3 linee dall'inversione di dati sperimentali.

In allegato sono riportate inoltre, per le 3 linee, le curve di dispersione relative al profilo (rossi) sovrapposte alla curve di dispersione sperimentale (asterischi blu); la figura finale allegata riporta la curva di dispersione in funzione delle lunghezze d'onda / 2.5 e dà una valutazione qualitativa sulla massima profondità d'indagine raggiunta.

L'interpretazione dei risultati ottenuti può essere così sintetizzata:

Il *profilo di Vs M1* mostra uno strato superficiale, esteso fino a 11,5 m di profondità, caratterizzato da valori di Vs minori di 300 m/s, riconducibili alla coltre di materiale alluvionale.

Per profondità superiori, fino alla massima indagata (30 m), si incontra un unico strato, con velocità pari a 575 m/s, ascrivibile al substrato di arenaria; questi valori sono significativamente minori di quanto riscontrato in sponda sinistra (profilo M2, successivamente descritto) e potrebbero essere attribuiti alla presenza di roccia molto fratturata o ad una presenza importante delle alternanze di argilloscisti.

Si evidenzia peraltro che per profondità maggiori a 12 m, il profilo di Vs presenta scarsa risoluzione, come evidenziato nel grafico di pseudoprofondità ID – □/2.5 in allegato.

Profilo Vs M1 - Parametri del modello

Strato [numero]	Velocità [m/s]	Spessore [m]	Profondità da p.c. [m]
1	160	5.4	5.4
2	260	6.1	11.5
3	575	18.5	30.0

La *tomografia per onde di taglio T1* presenta un dato mediamente di scarsa qualità, a causa del forte disturbo provocato dal traffico sul viadotto e trasmesso al suolo attraverso le pile; la mappa di copertura dei raggi sismici individua infatti alcune zone della sezione in cui l'informazione è scarsa o del tutto assente.

Si può tuttavia osservare una buona corrispondenza di valori di Vs tra la mappa della sezione e il profilo M1: si osserva uno strato superficiale mediamente omogeneo con velocità comprese tra 300 e 500 m/s, esteso fino alla profondità di circa 12 m, dove si raggiungono i 600m/s.

Per profondità maggiori si osserva un incremento di velocità, non riscontrano sul profilo M1, che presenta valori analoghi a quelli del substrato di M2, probabilmente imputabile al miglioramento delle caratteristiche meccaniche del substrato; si evidenzia comunque che per profondità superiori a 18 m, la sezione di velocità riporta valori privi di significato geologico: la scarsa copertura dei raggi sismici è causa di artefatti di inversione.

Il profilo M2 individua un primo strato alluvionale di copertura fino alla profondità di circa 21 m, oltre la quale si incontra il substrato roccioso, caratterizzato da valori di Vs pari a 850 m/s.

Profilo Vs M2 - Parametri del modello

Strato [numero]	Velocità [m/s]	Spessore [m]	Profondità da p.c. [m]
1	345	10.8	10.8
2	490	10.3	21.1
3	850	8.9	30.0

Il profilo M3 incontra il substrato alla profondità di circa 32 m, con un errore di posizionamento stimato in circa $\pm$5 m; i valori di velocità del substrato (950 m/s) sono analoghi a quelli proposti nel profilo M2.

Profilo Vs M3 - Parametri del modello

Strato [numero]	Velocità [m/s]	Spessore [m]	Profondità da p.c. [m]
1	239	4.3	4.3
2	433	22.2	26.5
3	566	5.0	31.5
4	950	0.5	32.0

Il grafico con il profilo di Vs, riportato in allegato, è limitato alla profondità di 30m, in quanto finalizzato al calcolo del parametro Vs30; l'incertezza sulla presenza del substrato negli ultimi metri di profilo influisce comunque in modo trascurabile sul calcolo del parametro Vs30 e non provoca un eventuale cambio di classe di riferimento.

8. MODELLO GEOTECNICO E CATEGORIA SISMICA SOTTOSUOLO

Il collegamento in progetto è lunga circa 2010 m ed è caratterizzato da due opere strutturali importanti:

- il Viadotto Magra, previsto in affiancamento a quello autostradale esistente
- il nuovo cavalcavia sull'A15, in affiancamento a quello esistente.

I tratti di raccordo con le spalle delle due opere sono previsti in rilevato con altezze dell'ordine dei 7-8 m.

In questi tratti gli scavi sono sostanzialmente limitati alle fasi di preparazione del sottofondo stradale e cioè alle lavorazioni dello scotico (sp=20cm) e della bonifica (sp=50cm) dei terreni più superficiali con scadenti qualità geotecnica e alla realizzazione di una vasca di compensazione; ulteriori attività di scavo sono riconducibili alla realizzazione delle fondazioni del viadotto e del cavalcavia.

Si descrivono, di seguito il modello geotecnico e la categoria sismica per il Viadotto Magra e per il Cavalcavia A15.

8.1. VIADOTTO MAGRA

Il profilo geotecnico del Viadotto Magra è stato ricostruito sulla base dei dati stratigrafici geotecnici e sismici ad oggi disponibili.

Tale profilo dovrà essere oggetto di ulteriori approfondimenti geognostici (sondaggi a carotaggio continuo con prove e campionamenti terreni in foro e prove di laboratorio, prove penetrometriche eventuali indagini sismiche integrative) nelle successive fasi di maggiore dettaglio della progettazione.

L'approfondimento dovrà riguardare sia l'aspetto stratigrafico, con riferimento particolare all'andamento-profondità del contatto materasso alluvionale-substrato roccioso, sia l'aspetto di caratterizzazione quantitativa del grado di addensamento-granulometria delle ghiaie e della resistenza del substrato roccioso; inoltre dovrà riguardare gli aspetti sismici (categoria del sottosuolo e potenziale di liquefazione) dei terreni di fondazione.

La stratigrafia dei terreni di fondazione del viadotto, ricostruita sulla base dei sondaggi S17-S2-S18 e delle indagini sismiche, può essere così sintetizzata:

Stratigrafia media terreni fondazione Viadotto Magra

Livello	**Profondità (m da p.c.)**
Ghiaia-sabbiosa eterometrica con ciottoli (in genere < 40 cm); terreni da mediamenti addensati ad addensati	0,0-11,70÷21,0
Substrato roccioso: arenarie con intercalazioni di arigilliti; è ipotizzato un primo orizzonte più fratturato, rammollito, alterato di spessore pari a 5m	>11,70÷21,0
La falda acquifera, ipotizzata mediamente a pelo alveo, può avere oscillazioni significative in funzione della piovosità stagionale e quindi del regime del corso d'acqua.	

Il profilo prevede un approfondimento del contatto ghiaie-substrato roccioso dalla sponda destra verso la sponda sinistra; la profondità è circa 11,70 m sotto alla spalla destra e di circa 21 m in corrispondenza alla spalla sinistra.

In attesa dei risultati dei sondaggi integrativi, è stato ipotizzato un primo orizzonte del substrato più fratturato, rammollito, alterato di spessore pari a 5m.

La falda acquifera, ipotizzata mediamente a pelo alveo, può avere oscillazioni significative in funzione della piovosità stagionale e quindi del regime del corso d'acqua.

Sulla base del profilo Vs della linea Masw M1, scelta come caratteristica e dimensionante per le alluvioni mobili attuali, si assume, come categoria sismica del sottosuolo la "E" (terreni dei sottosuoli tipo C per spessore non superiore a 20 m posti su substrato di riferimento - tab. 3.2.II NTC2008).

8.2. CAVALCAVIA A15

Il profilo geotecnico del nuovo cavalcavia A15 è stato ricostruito sulla base dei dati stratigrafici geotecnici e sismici ad oggi disponibili.

Tale profilo dovrà essere oggetto di ulteriori approfondimenti geognostici (sondaggi a carotaggio continuo con prove e campionamenti terreni in foro, prove penetrometriche e prove di laboratorio, eventuali indagini sismiche integrative) nelle successive fasi di maggiore dettaglio della progettazione.

L'approfondimento dovrà riguardare sia l'aspetto stratigrafico, con riferimento particolare alla verifica su profondità utili per le fondazioni su pali del substrato roccioso, sia l'aspetto di caratterizzazione quantitativa del grado di addensamento-granulometria delle ghiaie e della resistenza del substrato roccioso; inoltre dovrà riguardare gli aspetti sismici (categoria del sottosuolo e potenziale di liquefazione) dei terreni di fondazione.

La stratigrafia dei terreni di fondazione del cavalcavia, ricostruita sulla base del sondaggio S30 e delle indagine sismica M3, prevede la presenza, sino alla profondità di circa 30, di ghiaia eterometrica con ciottoli e con possibili lenti sabbiose e/o limose; il materiale può essere considerato da mediamente addensato più superficialmente sino ad addensato o molto addensato con l'aumento della profondità (rif. elab. SPIPD03GEO0303).

Stratigrafia media terreni fondazione nuovo cavalcavia A15

Livello	**Profondità (m da p.c.)**
Ghiaia-sabbiosa eterometrica con ciottoli e con possibili lenti sabbiose e/o limose; terreni da mediamenti addensati ad addensati-molto addensati	0,0÷30,0
La falda acquifera, ipotizzata mediamente a – 5 m da p.c., può avere oscillazioni significative in funzione della piovosità stagionale e quindi del regime del corso d'acqua.	

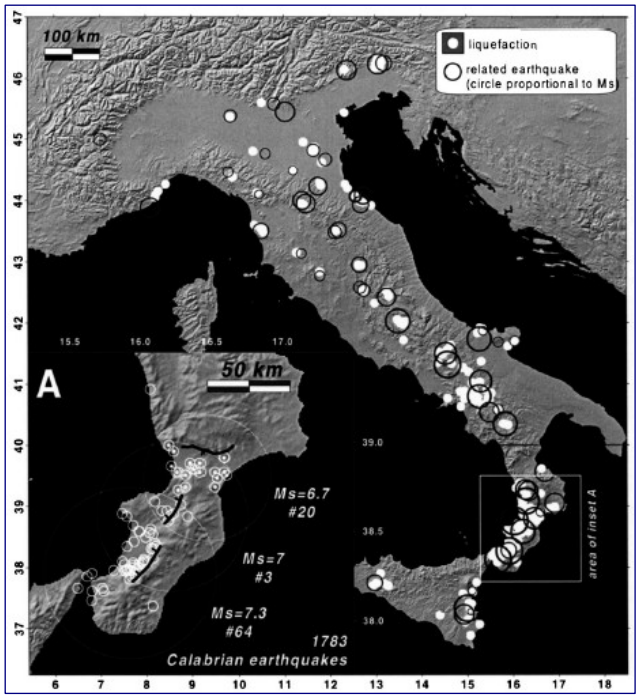
La falda acquifera, ipotizzata mediamente a – 5 m da p.c., può avere oscillazioni significative in funzione della piovosità stagionale e quindi del regime del corso d'acqua.

Sulla base del profilo Vs della linea Masw M3, si assume prudenzialmente, in questa fase, in attesa dei dati dei nuovi sondaggi, come categoria sismica del sottosuolo la "C" (tab. 3.2.II NTC2008).

Si affronta, di seguito, secondo la nuove NTC2008, l'aspetto della stabilità dei terreni di fondazione del Viadotto e del Cavalcavia in progetto nei confronti del fenomeno della liquefazione dei terreni in fase dinamica; tale fenomeno fisico rappresenta la perdita di resistenza a taglio causata dall'aumento di pressione interstiziale dovuta al sisma in terreni granulari saturi ed in presenza di una falda superficiale.

Un primo criterio per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione è quello storico che individua come siti a rischio tutti quei siti per i quali si abbiano evidenze o notizie di fenomeni passati.

In tale ottica il censimento storico di Galli (2000), contenente oltre 300 casi di liquefazione verificatisi negli ultimi 1000 anni sul territorio nazionale, non evidenzia nell'area in esame manifestazioni riconducibili a fenomeni di liquefazione (rif. figura successiva); le località più vicine in cui storicamente si sono verificati tali fenomeni sono Pontremoli (Lunigiana) e Pieve Fosciana (Garfagnana).



Distribuzione storica dei casi di liquefazione riportati nel lavoro di Galli (2000)

Un altro criterio di valutazione è quello geologico basato sul principio che maggiore è l'età del deposito e minore è, per l'aumento del grado di addensamento caratteristico dei terreni, il rischio di liquefazione.

I terreni della zona del Cavalcavia (BVM_3) risalgono al Pleistocene avendo quindi una età alla quale, in letteratura, viene associata una probabilità di liquefazione bassa o molto bassa; le alluvioni recenti e attuali del magra, risalenti all'Olocene, hanno invece, sulla base di questo criterio, un potenziale di liquefazione .

Le nuove norme tecniche prevedono che la verifica a liquefazione possa essere omessa quando sia verificata almeno una delle 5 condizioni riportate nel paragrafo 7.11.3.4.2 delle norme stesse.

Di queste condizioni le prime tre non sono verificate poiché possono essere attesi terremoti con magnitudo > 5, l'accelerazione max attesa è > di 0,1g e la falda ha una profondità media inferiore a 15 m.

Le colonne stratigrafiche sono prive di informazioni quantitative circa il grado di addensamento dei terreni e quindi di valori di $(N_1)_{60}$ di riferimento; a tale riguardo l'informazione sismica sembrano evidenziare comunque un aumento della velocità e quindi del grado di addensamento tra le ghiaie attuali del Magra (profilo M1) e le ghiaie del cavalcavia (profilo M3).

Per quanto riguarda invece la circostanza 5 è possibile, sulla base dei dati ad oggi disponibili, affermare che i terreni di fondazione in esame sono caratterizzati nei primi 15 m da una granulometria grossolana (prevalente frazione ghiaiosa) che, verosimilmente, non rientra pienamente nel fuso di potenziale liquefazione indicato dalle norme.

Avendo comunque i dati di Vs, ottenuti con le linee sismiche, è stata sviluppata una verifica numerica del potenziale di liquefazione utilizzando il metodo semplificato di Andrus e Stokoe 1997.

Questo metodo valuta il rischio di liquefazione confrontando le sollecitazioni indotte (CSR) con un parametro di resistenza ciclica (CRR); se la domanda sismica supera la resistenza si assume che il fenomeno di liquefazione sia possibile.

Il rapporto di sforzo ciclico CSR è dato dall'ampiezza dello sforzo ciclico di taglio, normalizzato con riferimento alla tensione geostatica verticale efficace secondo la sequente formula:

$CSR = 0{,}65 \cdot a_{max}/g \cdot \sigma_{vo}/\sigma'_{vo} \cdot r_d$

dove:

a_{max}/g = accelerazione di picco del sisma considerato (da NTC $a_{max}=a_g*S$)

σ_{vo} = pressione geostatica totale

σ'_{vo} = pressione geostatica efficace

r_d = coefficiente di riduzione legato alla profondità

La resistenza alla liquefazione, secondo l'equazione di Andrus e Stokoe (1997) è pari a

$CRR_{7,5}= 0{,}022 \cdot (V_{s1}/100)^2+2{,}8 \cdot (1/(V^*_{s1}+V_{s1})-1/V^*_{s1})$

dove:

V_{s1} = valore di V_s normalizzato rispetto alla tensione di confinamento

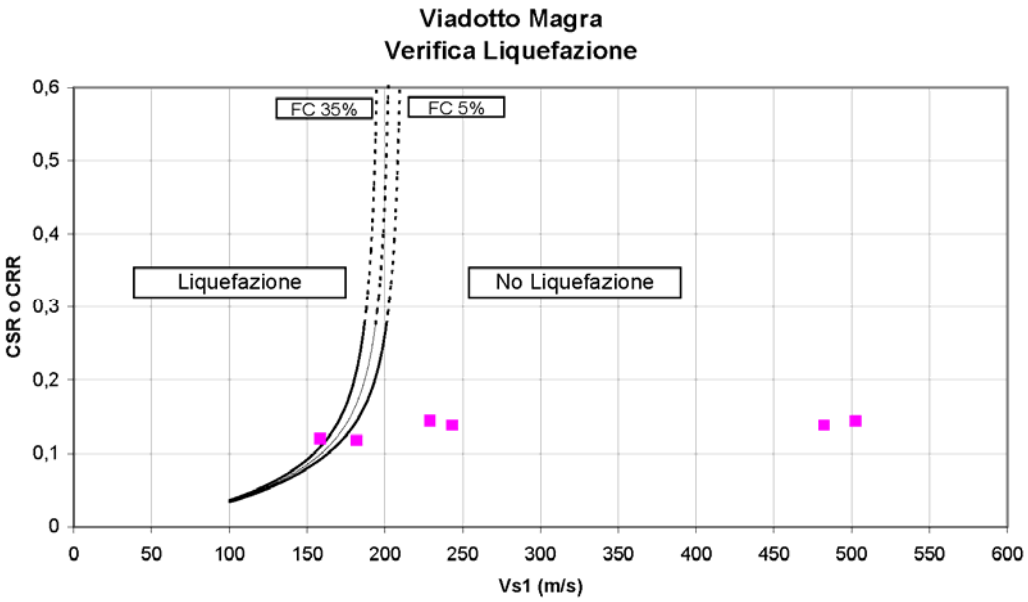
V^*_{s1} = limite superiore di V_{s1} per il verificarsi della liquefazione, e oscilla tra 200 m/s e 215 m/s in funzione del contenuto di materiali fini.

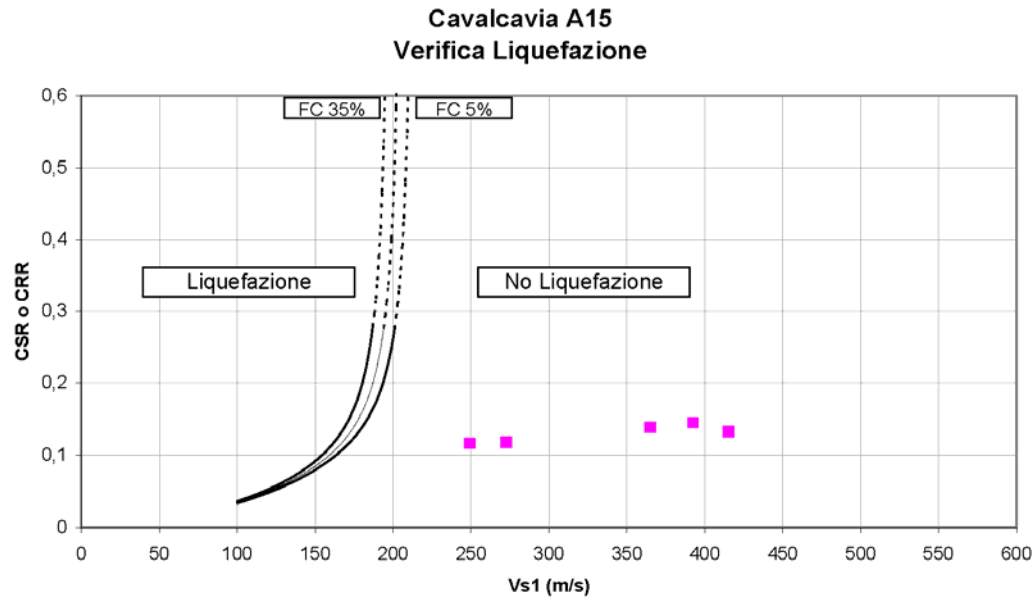
Poiché la resistenza alla liquefazione è stimata per un terremoto di magnitudo pari a 7,5, nel caso si analizzino terremoti di magnitudo diversa (nel caso in esame M=5,68 che è il valore associato da INGV alla zona sismogenetica 916) è necessario apportare una correzione al valore di $CRR_{7,5}$.

Tra le diverse formule per la valutazione del fattore correttivo è stata scelta la relazione di Youd (2001), poiché considerata cautelativa; il fattore correttivo viene quindi calcolato come:

$MSF= 10^{2.24} / M^{2.56}$

I grafici successivi riportano i risultati della verifica numerica per i due casi del Viadotto (valori di Vs linea M1) e del Cavalcavia (valori di Vs linea M3).





L'osservazione dei grafici evidenzia che, a meno di un caso comunque "border line", non ci sono le condizioni per la liquefazione dei terreni di fondazione sia del viadotto sia del cavalcavia.

Con i dati ad oggi disponibili, le valutazioni eseguite portano quindi, nel loro insieme, a concludere che si può ritenere bassa la probabilità che si verifichino fenomeni di liquefazione dei terreni di fondazione presenti nell'area in esame.

Tuttavia, a causa della eterogeneità composizionale laterale e verticale dell'orizzonte grossolano (ghiaie, brecce e ciottoli) e della presenza discontinua di possibili lenti locali sabbiose-limose, non possono essere esclusi, in caso di sisma con magnitudo elevata, possibili fenomeni di addensamento/assestamenti/cedimenti , anche differenziali, dei terreni di fondazione delle opere in progetto.

9. CONCLUSIONI

Lo studio dell'area di intervento e del suo contorno significativo ha permesso di ricostruire il contesto geologico-geomorfologico-idrogeologico locale.

Le caratteristiche di tale contesto ammettono l'inserimento dell'opera in progetto per cui si attesta la fattibilità geologica ai sensi della normativa vigente e delle norme di Piano di Bacino.

L'elaborazione incrociata dei dati rilevati sul terreno e dei dati geognostici reperiti ha permesso la definizione del modello geotecnico-sismico dei terreni interagenti con le opere in progetto.

ALLEGATI

- **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Foto 1: panoramica sull'area pianeggiante del primo tratto lato Ceparana del Collegamento



Foto 2: panoramica sull'area pianeggiante del primo tratto lato Ceparana del Collegamento



Foto 3: panoramica sul Viadotto Magra attuale; in primo piano le ghiaie depositate in corrispondenza della soglia



Foto 4: vista d'insieme sotto al viadotto attuale dalla sponda destra del Fiume Magra; in secondo piano la



Foto 5: vista d'insieme sotto al viadotto attuale dalla



Foto 6: sedimenti ghiaiosi attuali visibili nell'alveo del



Foto 7: sedimenti ghiaiosi in corrispondenza della soglia presente subito a valle del viadotto attuale



Foto 8: dettaglio sulla granulometria delle ghiaie di cui alla foto precedente



Foto 9: dettaglio sulla granulometria delle ghiaie di cui alla foto 7



Foto 10: deposito ghiaioso esposto in un locale canale di erosione



Foto 11: vista d'insieme sulla zona del cavalcavia A15 attuale



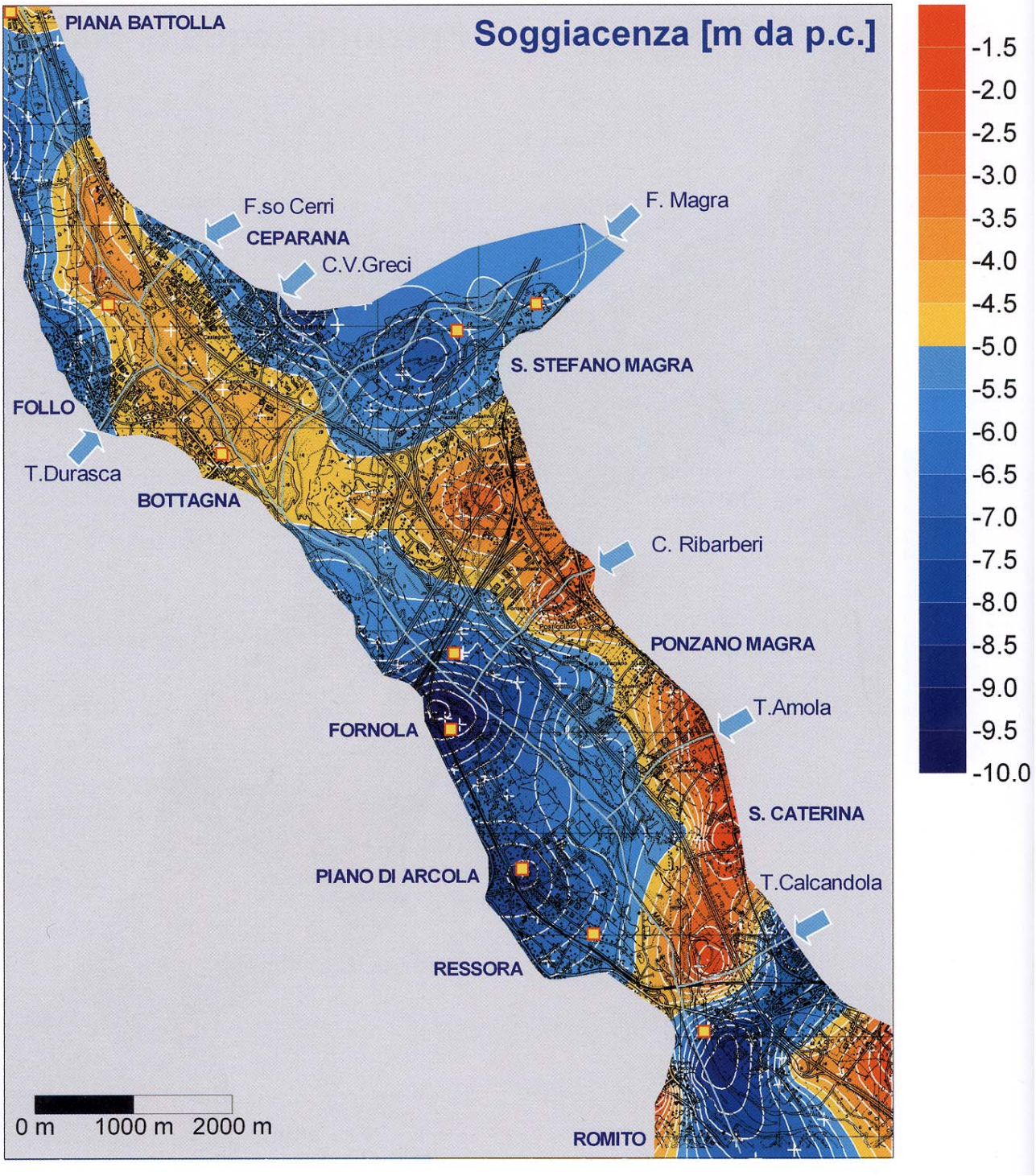
Foto 12: vista lato monte sul cavalcavia A15 attuale

PROGETTO AQUANET

CARTE PIEZOMETRICA e CARTA SOGGIACENZA

(RILIEVO MISURE MAGGIO 2004)


Piezometria (m s.l.m.)
PIANA BATTOLLA
F.so Cerri
CEPARANA
C.V.Greci
F. Magra
S. STEFANO MAGRA
FOLLO
T.Durasca
BOTTAGNA
C. Ribarberi
PONZANO MAGRA
T.Amola
FORNOLA
S. CATERINA
PIANO DI ARCOLA
T.Calcandola
RESSORA
ROMITO
0 m
1000 m
2000 m
36
34
32
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0


Soggiacenza [m da p.c.]
PIANA BATTOLLA
F.so Cerri
CEPARANA
C.V.Greci
F. Magra
S. STEFANO MAGRA
FOLLO
T.Durasca
BOTTAGNA
C. Ribarberi
PONZANO MAGRA
T.Amola
FORNOLA
S. CATERINA
PIANO DI ARCOLA
T.Calcandola
RESSORA
ROMITO
0 m
1000 m
2000 m
-1.5
-2.0
-2.5
-3.0
-3.5
-4.0
-4.5
-5.0
-5.5
-6.0
-6.5
-7.0
-7.5
-8.0
-8.5
-9.0
-9.5
-10.0

- **STRATIGRAFIE SONDAGGI**

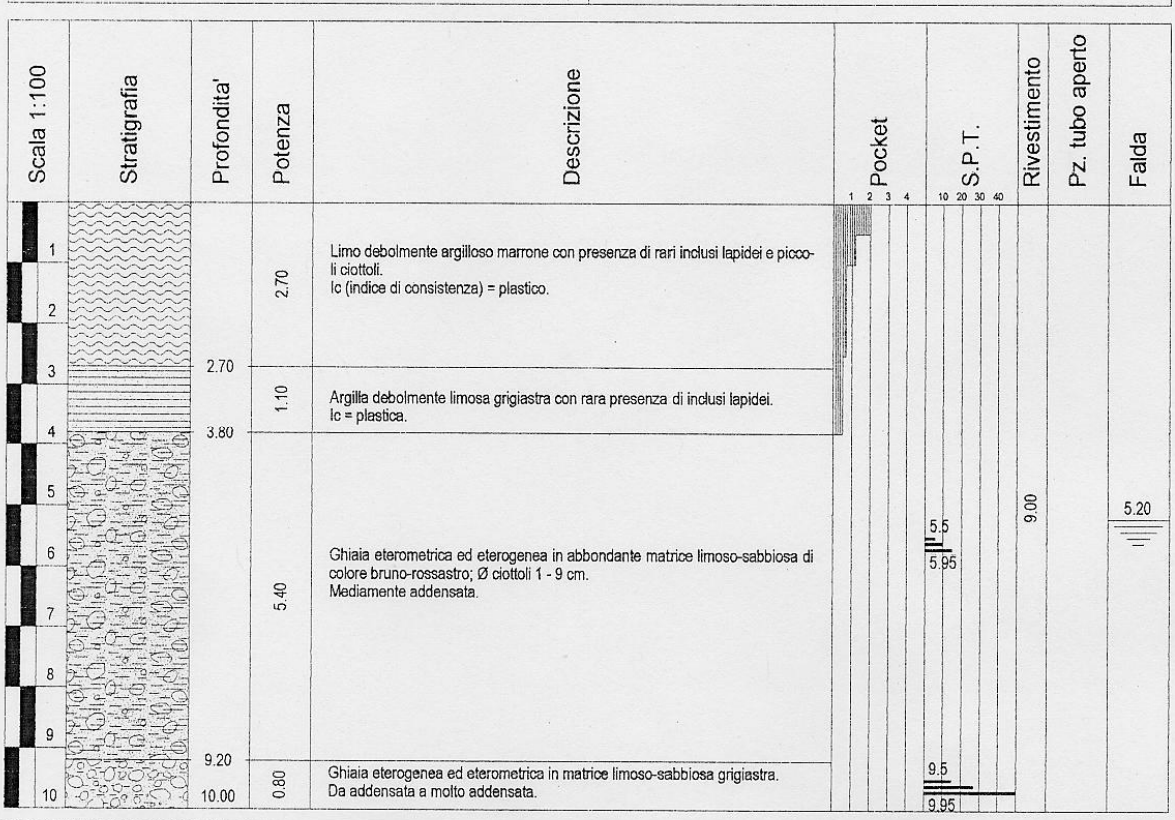
GEOSCAVI s.r.l.

GEOLOGIA
GEOTECNICA
IDRAULICA
PALIFICAZIONI
STRADE

ISO 9001

Via Marconi 1- 43040 SOLIGNANO (PARMA)
Tel (0525) 54542/54203/54613 - Fax (0525) 54568

Cantiere : Ceparana	N. sondaggio : S. 1
Committente : COALPA spa	Scala sondaggio : 1:100
Perforatore : Molinari Dr. Valter	Geologo : Molinari Dr. Valter
Coord.	Quota (p.c.)
Metodo perf. : Rotazione, carotaggio continuo	Data ultimazione : 22/02/02



N° cassette 2; N° SPT 2.
La misura del livello dell'acqua è stato effettuato al termine del sondaggio.

GEOSCAVI s.r.l.
GEOLOGIA-IDRAULICA-STRADE
Via Marconi, 1 - 43040 SOLIGNANO (PR)
Tel. (0525) 54542 - 54613 - Fax 54568
Partita IVA n. 01584490344

GEOSCAVI S.R.L. *tel 0525/ 54542/54613 ;fax 0525/54568*
Geologia – Geotecnica -Idraulica – Strade- Palificazioni
via Marconi , 1 SOLIGNANO (PR) geoscavi@tin.it

OGGETTO: **ESECUZIONE SONDAGGI VERTICALI A CAROTAGGIO CONTINUO PROF. MT 10.**

COMMITTENTE: COALPA S.P.A. VIA FIESCHI 3/12 - GENOVA
LOCALITA': CEPARANA (SP)

IMMAGINE FOTO:

SONDAGGIO N° 1 **Cassa N° 1** **Da mt 0.00 a mt 5.00**



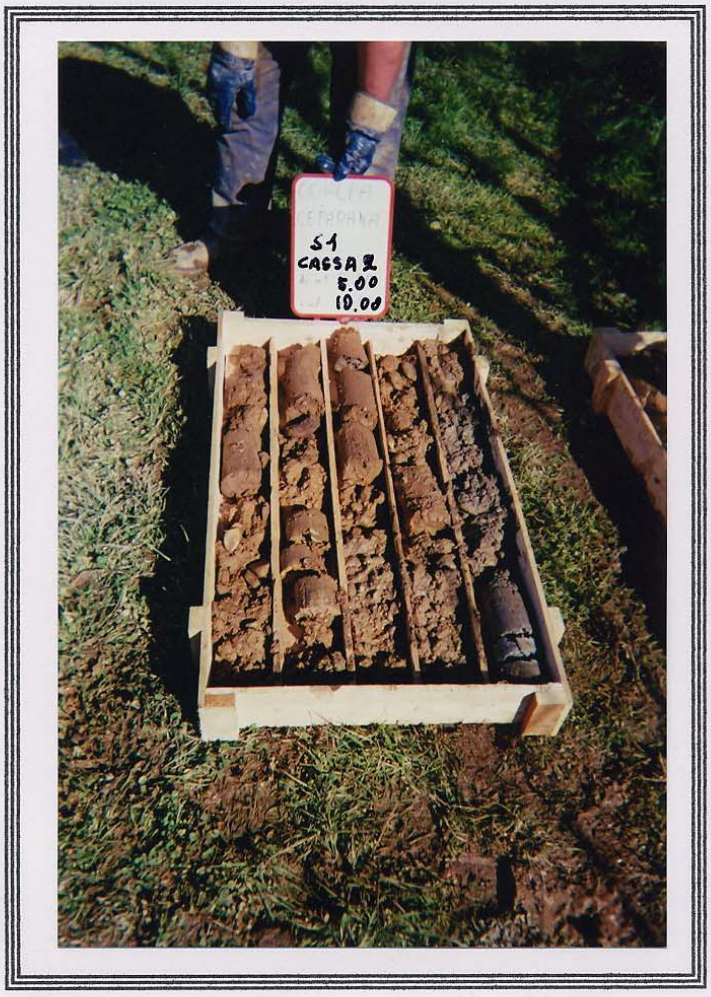
GEOSCAVI S.R.L. *tel 0525/ 54542/54613 ;fax 0525/54568*
Geologia – Geotecnica -Idraulica – Strade- Palificazioni
via Marconi , 1 SOLIGNANO (PR) geoscavi@tin.it

OGGETTO:ESECUZIONE SONDAGGI VERTICALI A CAROTAGGIO CONTINUO PROF. MT 10.

COMMITTENTE: COALPA S.P.A. VIA FIESCHI 3/12 - GENOVA
LOCALITA': CEPARANA (SP)

IMMAGINE FOTO:

SONDAGGIO N° 1 **Cassa N° 2** **Da mt 5.00 a mt 10.00**



ALPINA
S. p. A.
Ufficio Geotecnico

AUTOSTRADA SESTRI L.- LIVORNO

SONDAGGIO GEOGNOSTICO S 17

Localita' : F.Magra 1

Tipo Sondaggio: Percussione

Progressiva: Km. ~~43-44~~

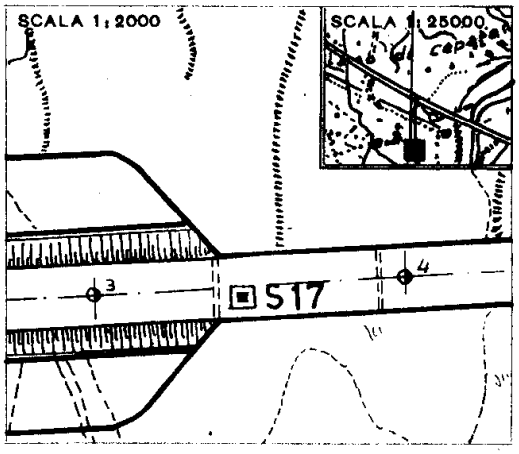
Quota Terreno: m. 20,80

Profondità: m. 19,00

Data: 4 marzo 1963

Impresa: S.I.N.

Osservatore:



SCALA 1:200

PROFONDITÀ IN METRI	DESCRIZIONE LITOLOGICA	SUDDIVISIONE GEOLOGICA	CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA	OSSERVAZIONI	DIAMETRO FORO mm.
0 – 1,50	Sabbia.	Alluvione	Da discreto a buono	Livello idrostatico a pochi dm. dal p.c.	305
1,50 – 4,50	Sabbia e ghiaia.				
4,50 – 11,70	Ghiaia e sabbia grossa.				
11,70 – 14,50	Arenaria con intercalazioni di argilloscisti.	Cretaceo	Buono		
14,50 – 19,00	Arenaria.				

AUTOSTRADA SESTRI L. LIVORNO

DIREZIONE LAVORI I ZONA

SONDAGGIO GEOGNOSTICO N° 2 (CARNEVARO)

TRONCO CALVARIO - STEFANO M. DATA DAL 28-6-67 AL 6-7-67

LOTTO 2 UBICAZIONE VIADOTTO SUL F. MAGRA

IMPRESA MAZZI IN ALVEO - PROGR. 11.450

TIPO DEL SONDAGGIO PERCUSSIONE ϕ FORO mm 400 FINO A mL 1850 poi mm 300

Scala 1 : 200

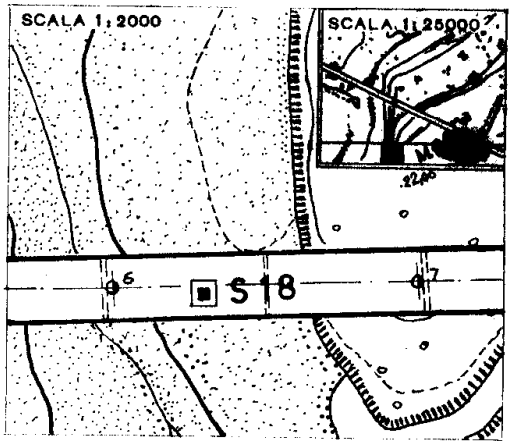
Q.C. 20,50 PROF.	STRATIGRAFIA	DESCRIZIONE LITOLOGICA DEI TERRENI ATTRAVERSATI	OSSERVAZIONI
0,00		Sabbia grossa con ghiaia di varie dimensioni	Livello idrostatico a ml. 0,50 sotto il p.c.
14,30		Sabbia fine	
17,00		Ghiaia con poca sabbia grossolana	
18,50		Arenaria con intercalazioni di argilloscisti	
27,00			

ALPINA
S. p. A.
Ufficio Geotecnico

AUTOSTRADA SESTRI L.- LIVORNO

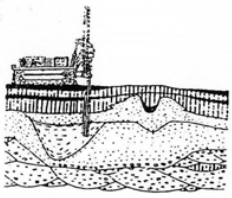
SONDAGGIO GEOGNOSTICO S 18

Località : F.Magra 2
Tipo Sondaggio: Percussione
Progressiva: Km. ~~44~~
Quota Terreno: m. 21,50
Profondità: m. 20,40
Data: 8 marzo 1963
Impresa: S.I.N.
Osservatore:



SCALA 1:200

PROFONDITÀ IN METRI	DESCRIZIONE LITOLOGICA	SUDDIVISIONE GEOLOGICA	CLASSIFICAZIONE GEOTECNICA	OSSERVAZIONI	DIAMETRO FORO mm.
0 – 20,40	Ghiaia e sabbia.	Alluvione	Da discreto a buono	Livello idrostatico a pochi dm. dal p.c.	305



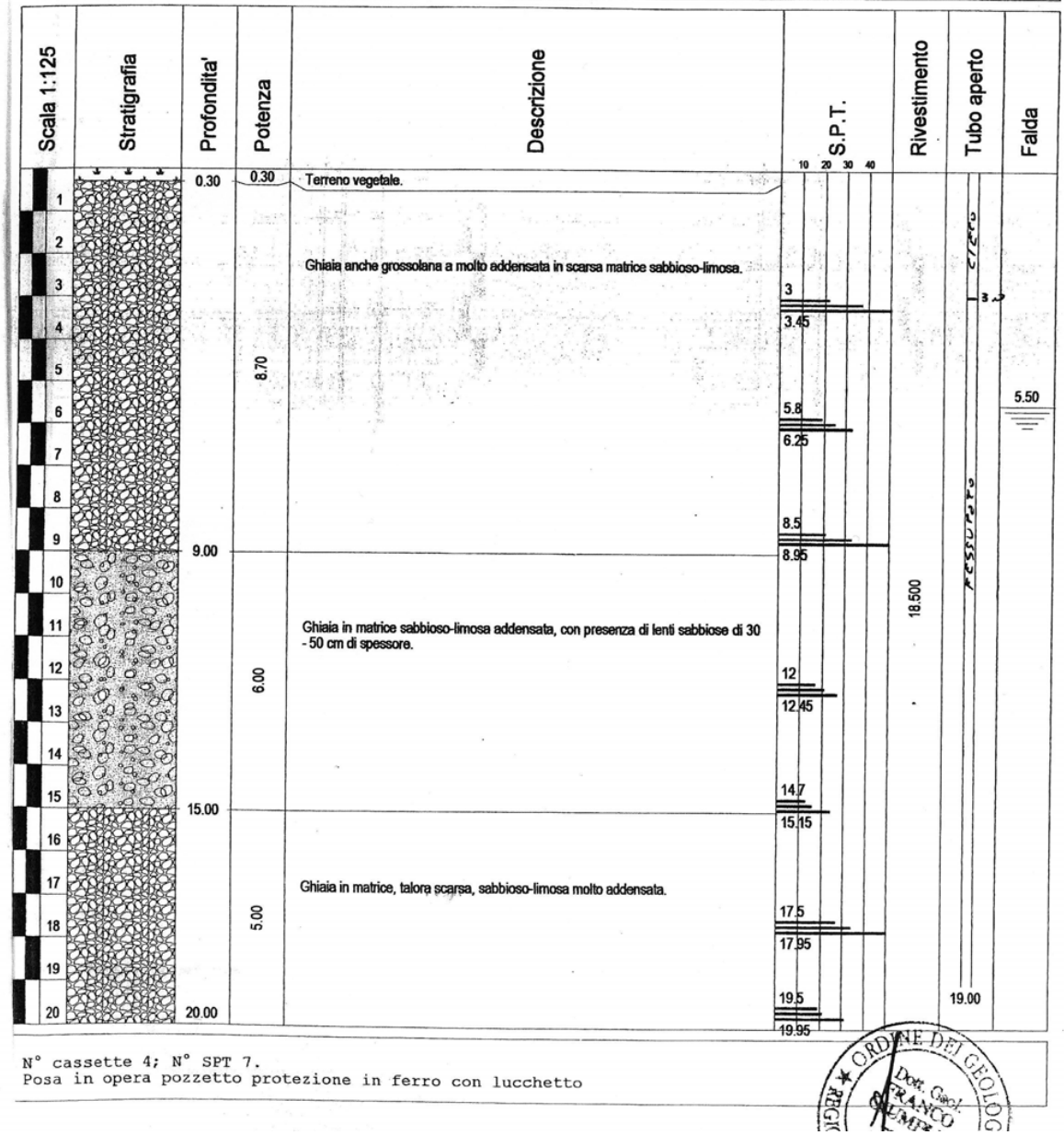
GEOSCAVI s.r.l.

Direttore Tecnico
Giumelli Dr. Franco

Via Fondovalle, 44 - 43040 SOLIGNANO (PARMA)
Tel. (0525) 54542/54203/54613 - Fax (0525) 54568
GEOSCAVI@NETSIS.IT

GEOLOGIA
GEOTECNICA
IDRAULICA
PALIFICAZIONI
STRADE

Cantiere : S. Stefano Magra (SP)	N. sondaggio : 4
Committente : A 15	Scala sondaggio : 1:125
Perforatore : Baghi Dr. Giovanni	Geologo : Baghi Dr. Giovanni
Coord.	Quota (p.c.)
Metodo perf. : Rotazione, carotaggio continuo.	Data ultimazione : 18/05/2000



N° cassette 4; N° SPT 7.
Posa in opera pozzetto protezione in ferro con lucchetto

Geofisica e Ambiente
INDAGINI GEOGNOSTICHE • INDAGINI GEOFISICHE

Committente	Sina Spa
Cantiere	centro SALT
Località	viadotto Fornarola-S.Stefano (SP)
Data Inizio	25/09/2008
Data Fine	30/09/2008

SONDAGGIO	FOGLIO
S1	1

GEOLOGO
GF Sabbia

Scala 1:75	Rivestimento	carotiere	manovre	Profondita'	Stratigrafia	Descrizione	Prova S.P.T.	Falda	prova lefranc
1	127	101	csw-s	0.10		asfalto.			
		101	ct6d	0.60		terreno di riporto composto da ciottoli, ghiaia, laterizi e scarso limo.			
			csw-s	0.90		soletta di cemento.			
2		101	csw-s			ciottoli arrotondati, ghiaia e scarso limo.			
3	127	101	csw-s	2.20		sabbia fine rara ghiaia, colore grigio.			
				2.55		ghiaia media, ciottoli sia arrotondati che spigolosi con sabbia, colore grigio.			
4	127	101	csw-s						
5		101	csw-s					4.60	
6	127		csw-s	5.00		ghiaia grossolana, ciottoli arrotondati e scarsa sabbia in matrice debolmente limosa, colore grigio.			
7	127	101	csw-s						
		101	csw-s						
8		101	csw-s						
9	127	101	csw-s						
10	127	101	csw-s						
11		101	csw-s				10.55 15-22-28 pc 11.00		
12	127			11.80		limo debolmente argilloso con sabbia e ghiaia, rari ciottoli, colore marrone chiaro.			
13	127	101	csw-s						
		101	csw-s						
14		101	csw-s						
15	127	101	csw-s						
		101	csw-s						
16	127	101	csw-s				15.55 12-19-23 pc 16.00		
				16.00		argilla limosa con ghiaia e scarsa sabbia, colore grigio marrone.			16.50
17		101	csw-s	16.60		limo debolmente argilloso con sabbia e ghiaia, rari ciottoli, colore marrone chiaro.			
18	127	101	csw-s	18.00		argilla limosa con ghiaia e scarsa sabbia, colore grigio marrone.			
				18.40		limo debolmente argilloso con sabbia e ghiaia, rari ciottoli, colore marrone chiaro.			
19				19.00		argilla limosa con ghiaia, rara sabbia e scarsi ciottoli, colore grigio marrone.			
20		101 101	csw-s	20.00					

- **INDAGINI SISMICHE**

UBICAZIONE LINEE SISMICHE





Linea masw M1 e tomografia T1





Linea masw M2



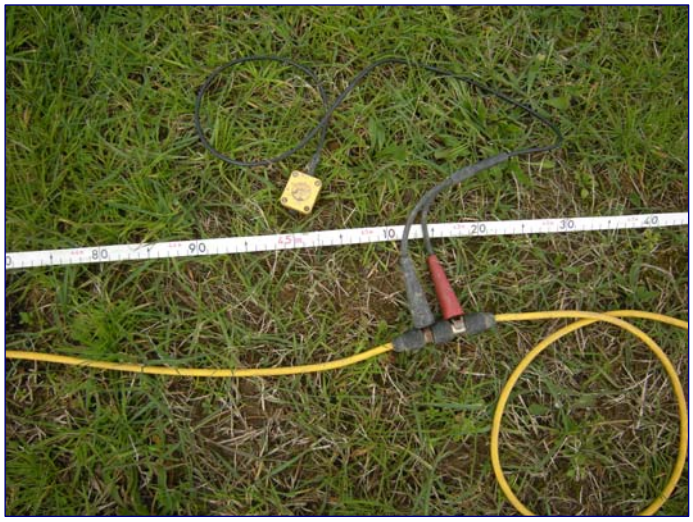


Linea masw M3

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE





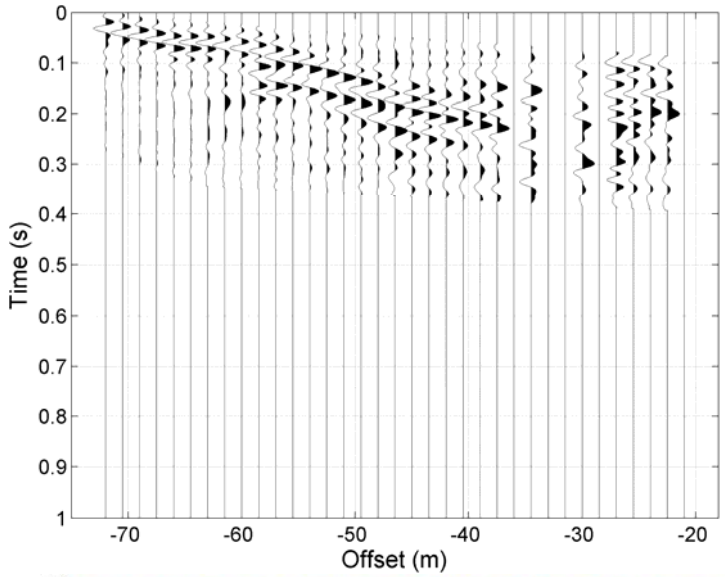




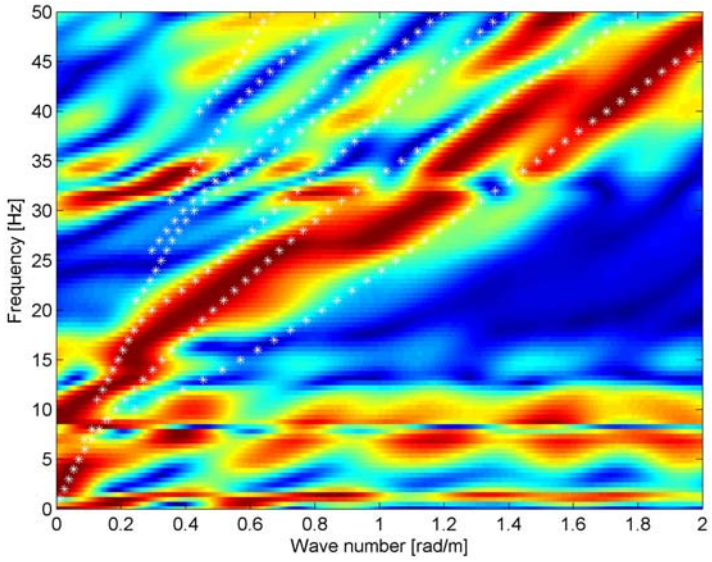




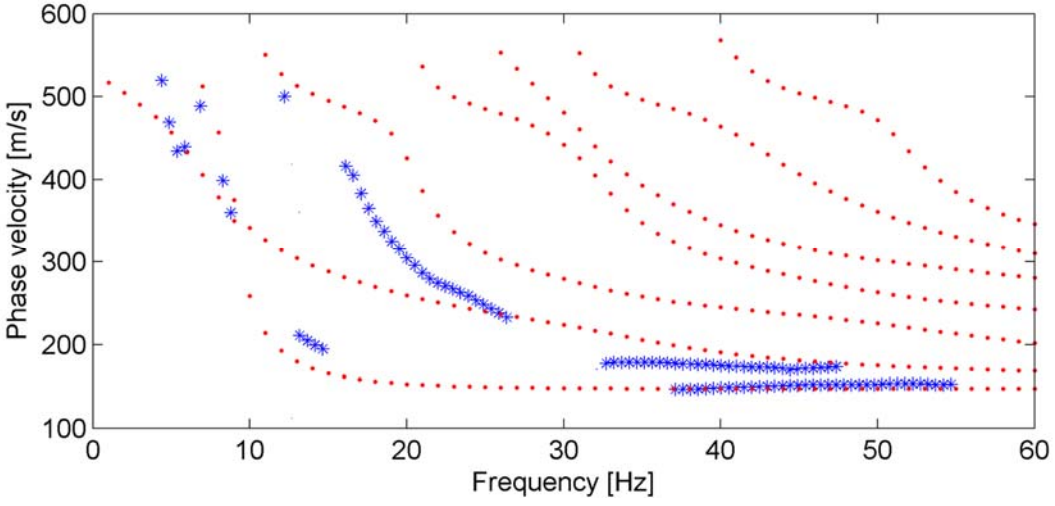
- **LINEA MASW M1**



SISMOGRAMMA

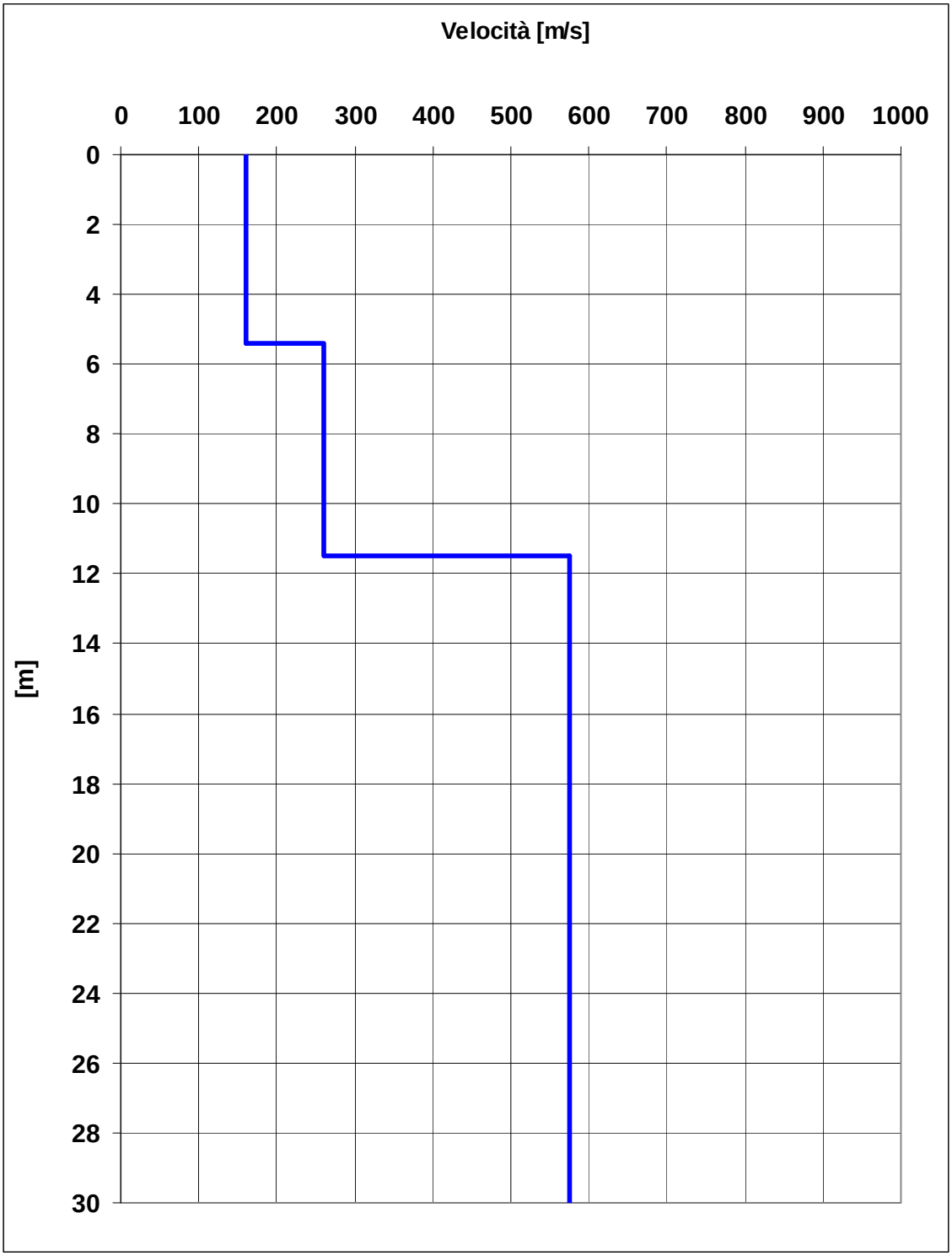


SPETTRO f-k e fitting delle curve di dispersione

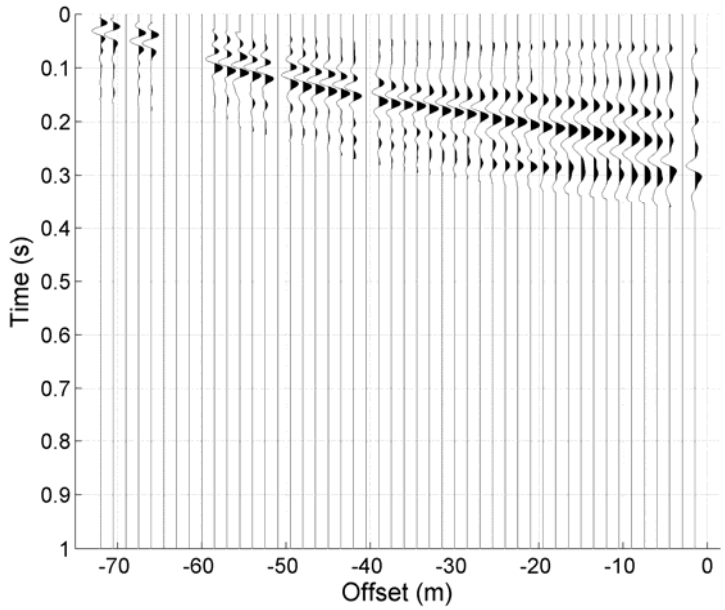


CURVE DISPERSIONE (da modello punti rossi, dati sperimentali

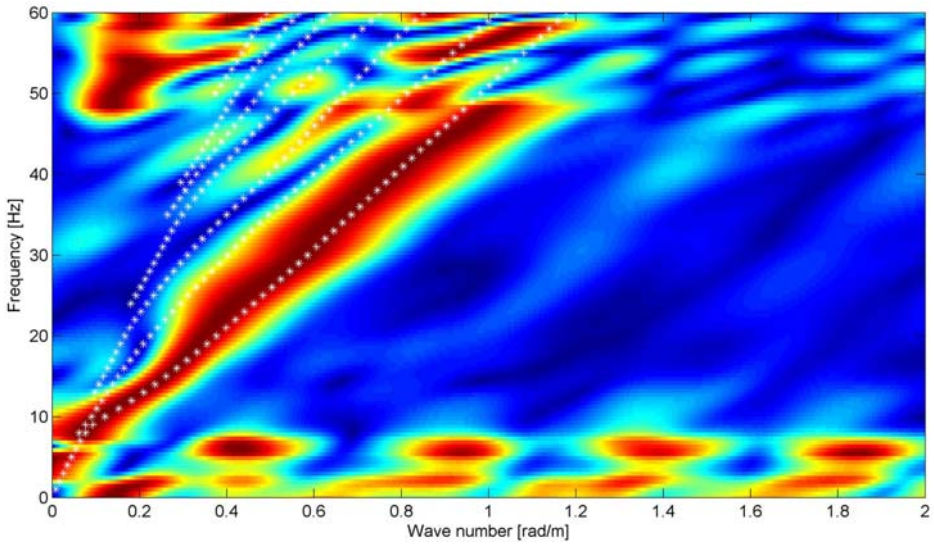
LINEA M1 – PROFILO VS



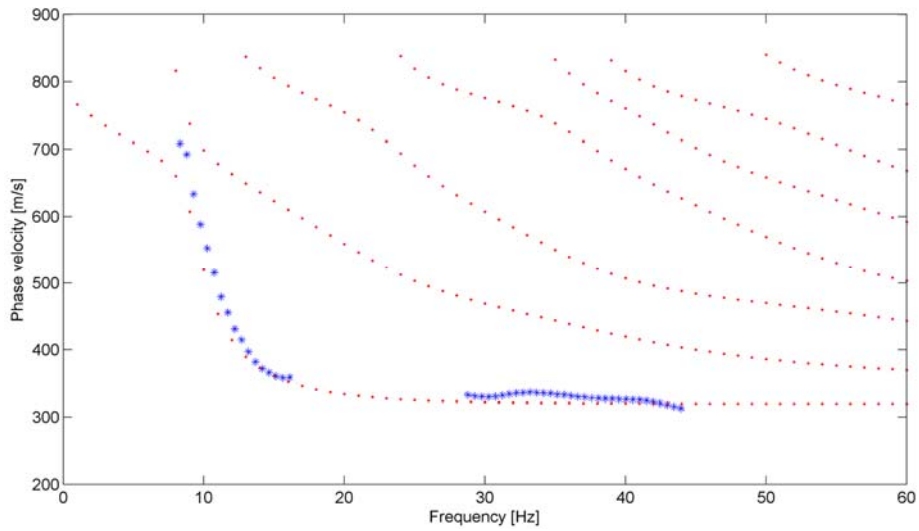
- **LINEA MASW M2**



SISMOGRAMMA

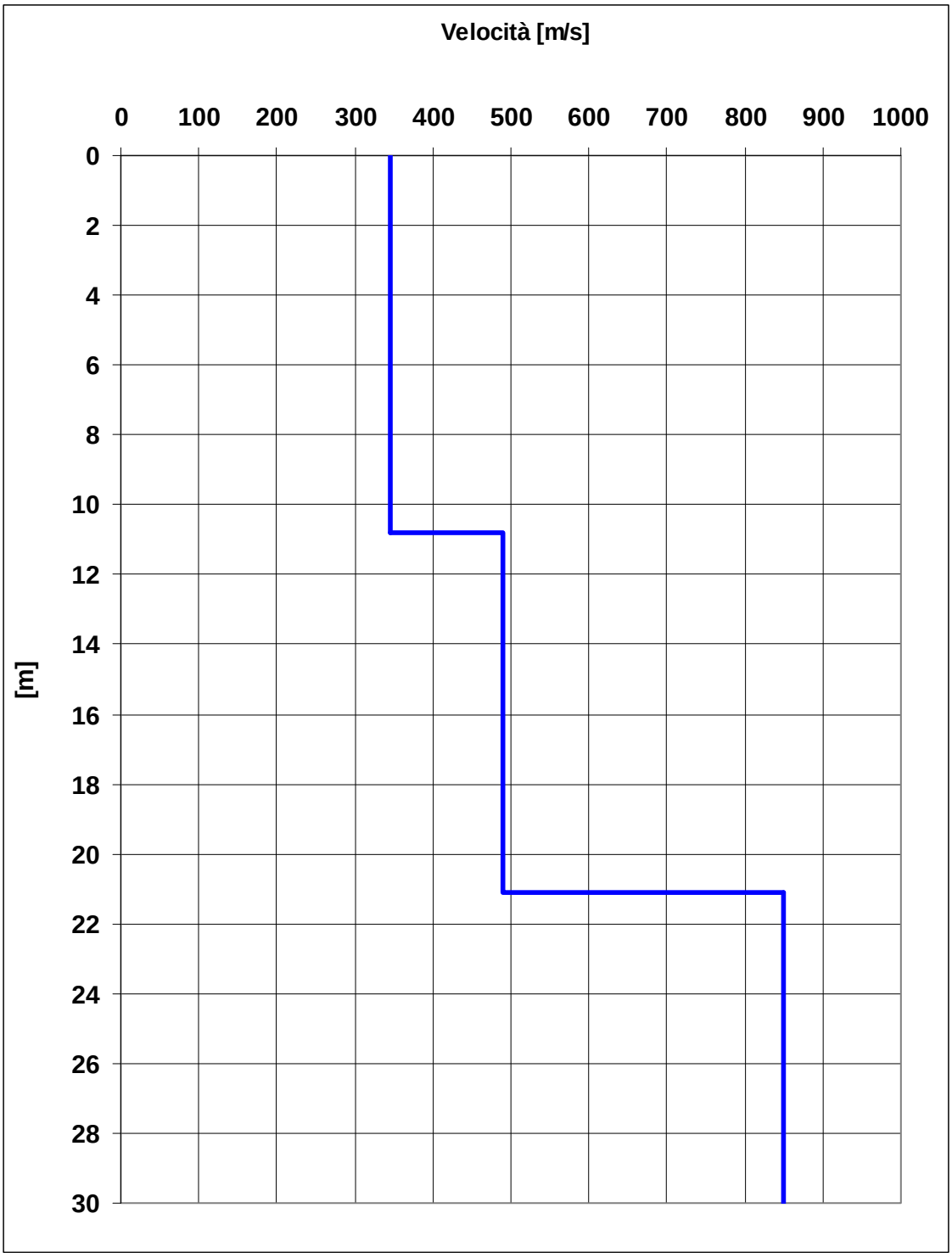


SPETTRO f-k e fitting delle curve di dispersione

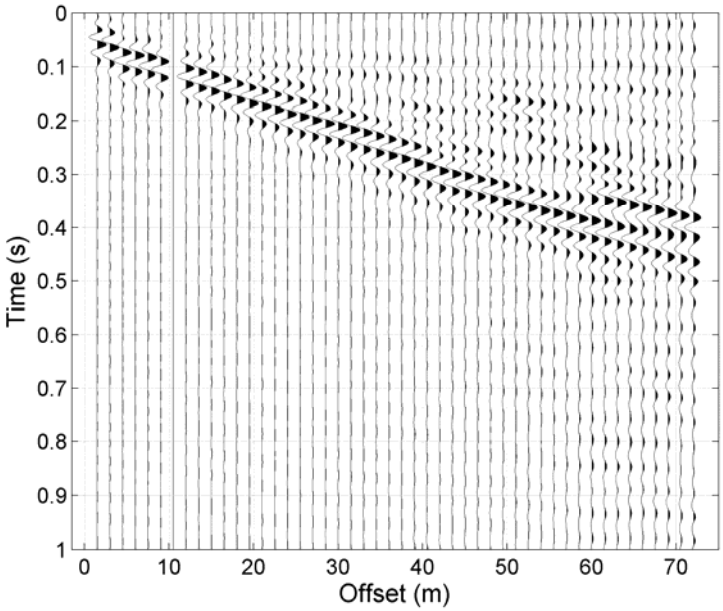


CURVE DISPERSIONE (da modello punti rossi, dati sperimentali

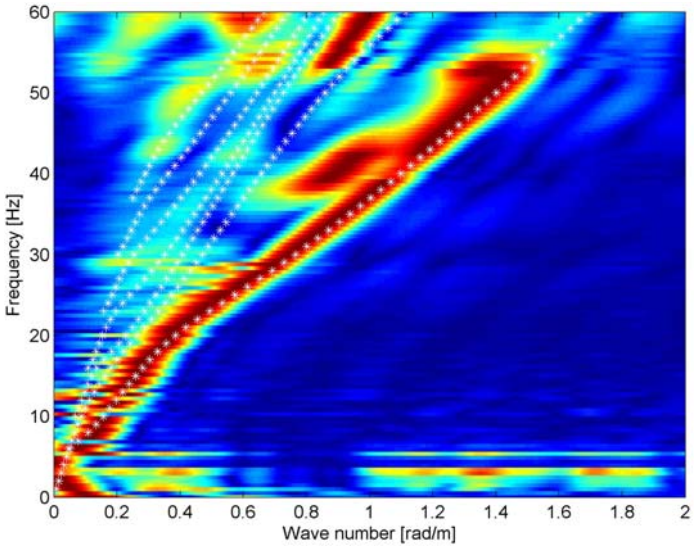
LINEA M2 – PROFILO VS



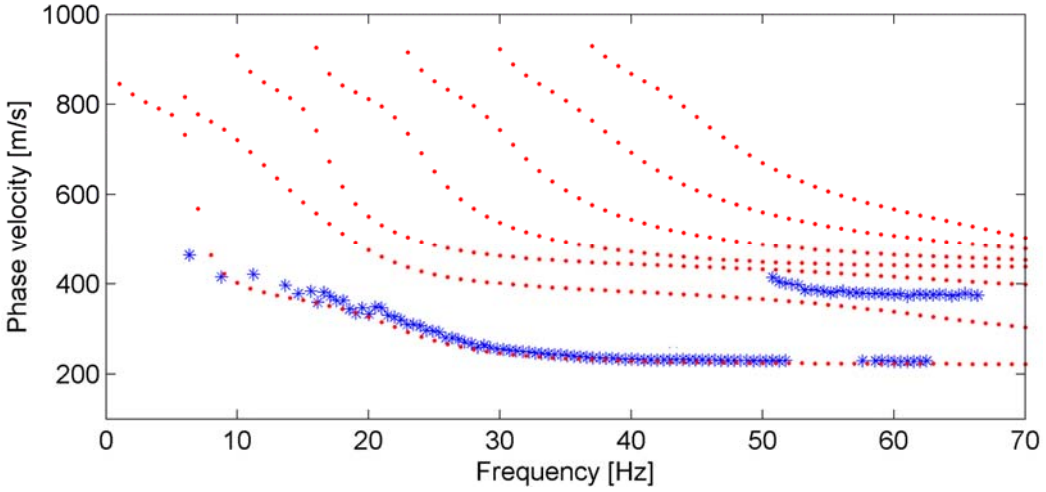
- **LINEA MASW M3**



SISMOGRAMMA

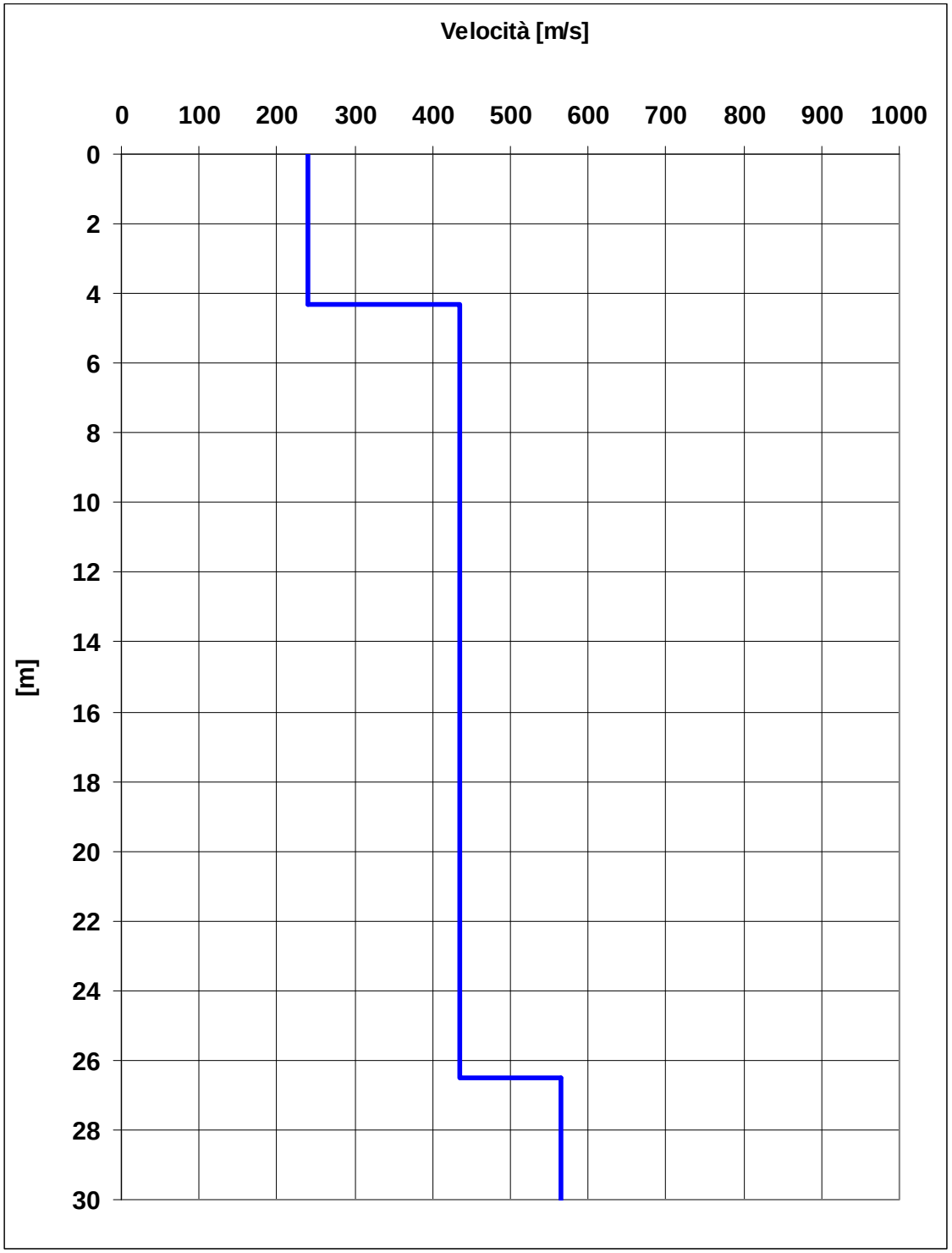


SPETTRO f-k e fitting delle

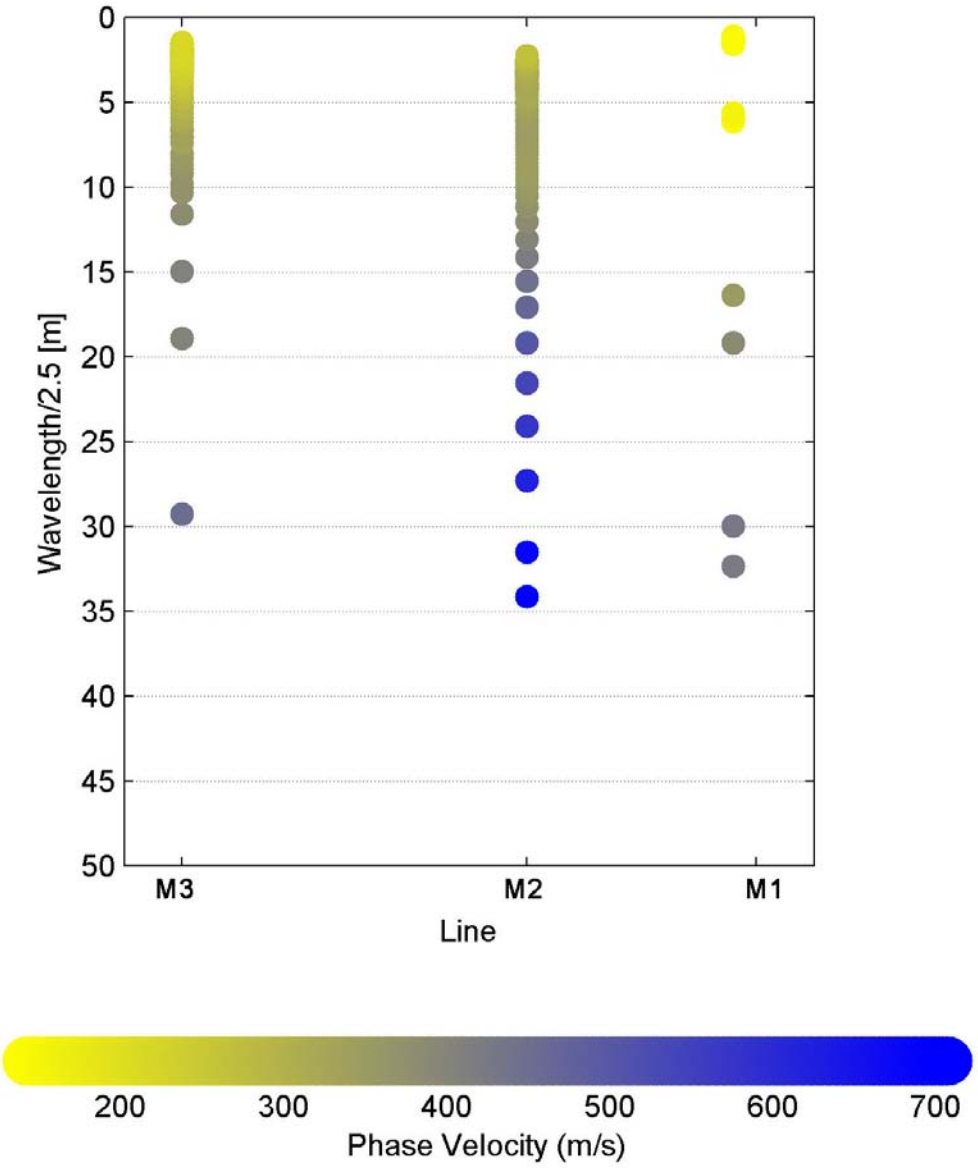


CURVE DISPERSIONE (da modello punti rossi, dati sperimentali

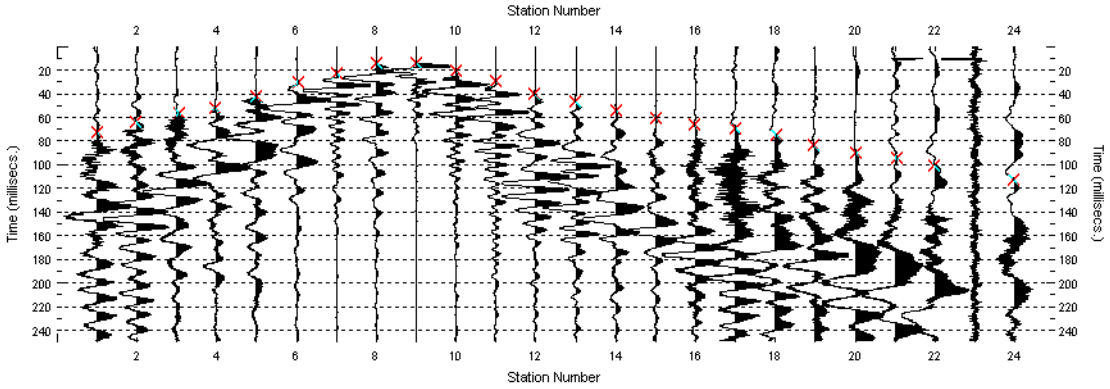
LINEA M3 – PROFILO VS

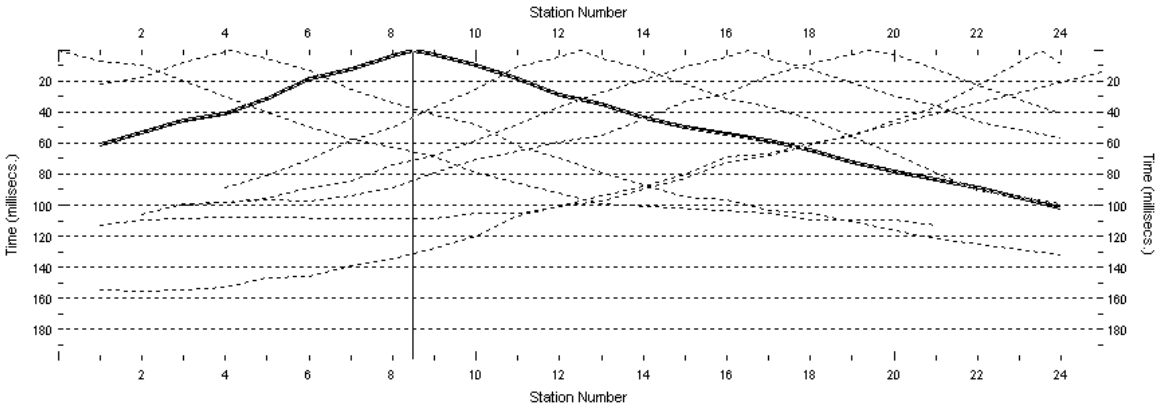


LINEE MASW M1-M2-M3 – DIAGRAMMA λ/2,5

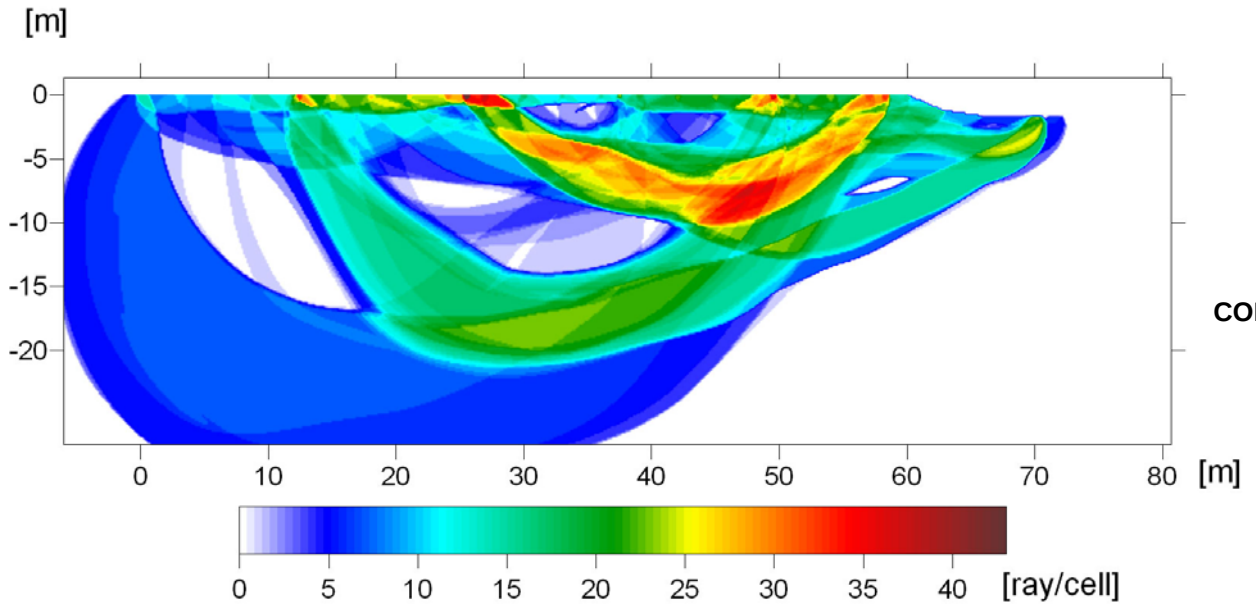


- **TOMOGRAFIA T1 (ONDE S)**





SISMOGRAMMA



COPERTURA RAGGI

SEZIONE TOMOGRAFICA T1

