

PREMESSA

Il presente rapporto riferisce sui risultati di indagine geognostica costituita da prove dirette ed indirette effettuate per conto del **Consorzio di Bonifica Stornara e Tara** all'interno del territorio del comune di San Giorgio Ionico, in prossimità di affluente del Canale Cicena, per acquisire una caratterizzazione stratigrafica delle litologie costituenti il piano di impostazione di opere ed interventi di miglioramento sui recapiti finali costituiti da corpi idrici non significativi. Gli accertamenti eseguiti hanno lo scopo di acquisire dati utili alla caratterizzazione stratigrafica, alla determinazione degli orizzonti litologici affioranti ed in successione stratigrafica e modellazione sismica delle litologie in relazione alla pericolosità sismica di base del sito, come previsto dal D.M. del 14 gennaio 2008 e N. T. C. entrato in vigore il 1 luglio 2009; nonché la determinazione della Vs 30 delle litologie poste in successione stratigrafica.

Vengono quindi di seguito illustrati i risultati ottenuti dal rilevamento dei dati geologico-morfometri di superficie, successivamente integrati da quelli ricavati da:

- **n. 1 indagine geognostica diretta (carotaggio) con prelievo di campione indisturbati rappresentativo in sondaggio;**
- **n. 4 indagine geognostica indiretta prove penetrometriche dinamiche SPT;**
- **250 ml di indagine georadar in area avente i requisiti ad essere indagata con tale tecnologia;**
- **n. 2 indagine geognostica non distruttiva – M.A.S.W. mediante stesa sismica.**

Gli accertamenti eseguiti hanno lo scopo di acquisire dati utili alla caratterizzazione degli strati in relazione alla stesura di relazione geologica - geotecnica e all'individuazione della

successione stratigrafica, nonché alla individuazione di strutture che possano interferire e/o agevolare le opere in progetto.

NORME DI RIFERIMENTO

Il rapporto geologico – geomorfologico viene redatto in conformità a quanto previsto dal:

- L'O.P.C.M. del 23 Marzo 2003 " Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (*GU n. 105 del 8-5-2003- Suppl. Ordinario n.72*) " hanno determinato una nuova classificazione sismica del territorio italiano. Per quanto riguarda l'area provinciale di Taranto , la nuova situazione è la seguente:

Codice Istat 2001	Denominazione	Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti fino al 1984)	Categoria secondo la proposta del GdL del 1998	Zona ai sensi del presente documento (2003)
16073001	Avetrana	4	4	4
16073002	Carosino	4	4	4
16073003	Castellaneta	4	3	3
16073004	Crispiano	4	3	3
16073005	Faggiano	4	4	4
16073006	Fragagnano	4	4	4
16073007	Ginosa	4	3	3
16073008	Grottaglie	4	4	4
16073009	Laterza	4	3	3
16073010	Leporano	4	4	4
16073011	Lizzano	4	4	4
16073012	Manduria	4	4	4
16073013	Martina Franca	4	4	4
16073014	Maruggio	4	4	4
16073015	Massafra	4	3	3
16073016	Monteiasi	4	4	4
16073017	Montemesola	4	4	4
16073018	Monteparano	4	4	4
16073019	Mottola	4	3	3

16073020	Palagianello	4	3	3
16073021	Palagiano	4	3	3
16073022	Pulsano	4	4	4
16073023	Roccaforzata	4	4	4
16073024	San Giorgio Ionico	4	4	4
16073025	San Marzano di San G. pe	4	4	4
16073026	Sava	4	4	4
16073027	Taranto	4	3	3
16073028	Torricella	4	4	4
16073029	Statte (1)			3

Dalla quale si evince che al Comune di San Giorgio Ionico è stata attribuita la Categoria 4 cioè a basso rischio sismico.

- In ottemperanza a quanto disposto dal D.M. 11 marzo 1988 *e successive modifiche ed integrazioni.*" Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- Secondo quanto stabilito da D.M. del 14 gennaio 2008 e N. T. C. entrate in vigore il 1 luglio 2009.

La presente relazione viene redatta in ottemperanza a quanto disposto dalla vigente legislazione per le costruzioni in zona sismica (nella fattispecie classe 4) e conformemente a quanto previsto dalla vigente dalla legge dal D.M. 11 marzo 1988 e succ. mod. "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."

ANALISI FISICA DEL SITO

GEOMORFOLOGIA

Il sito risulta ubicato nell'agro del comune di San Giorgio Ionico (TA) (Vedi Cartografia allegata).

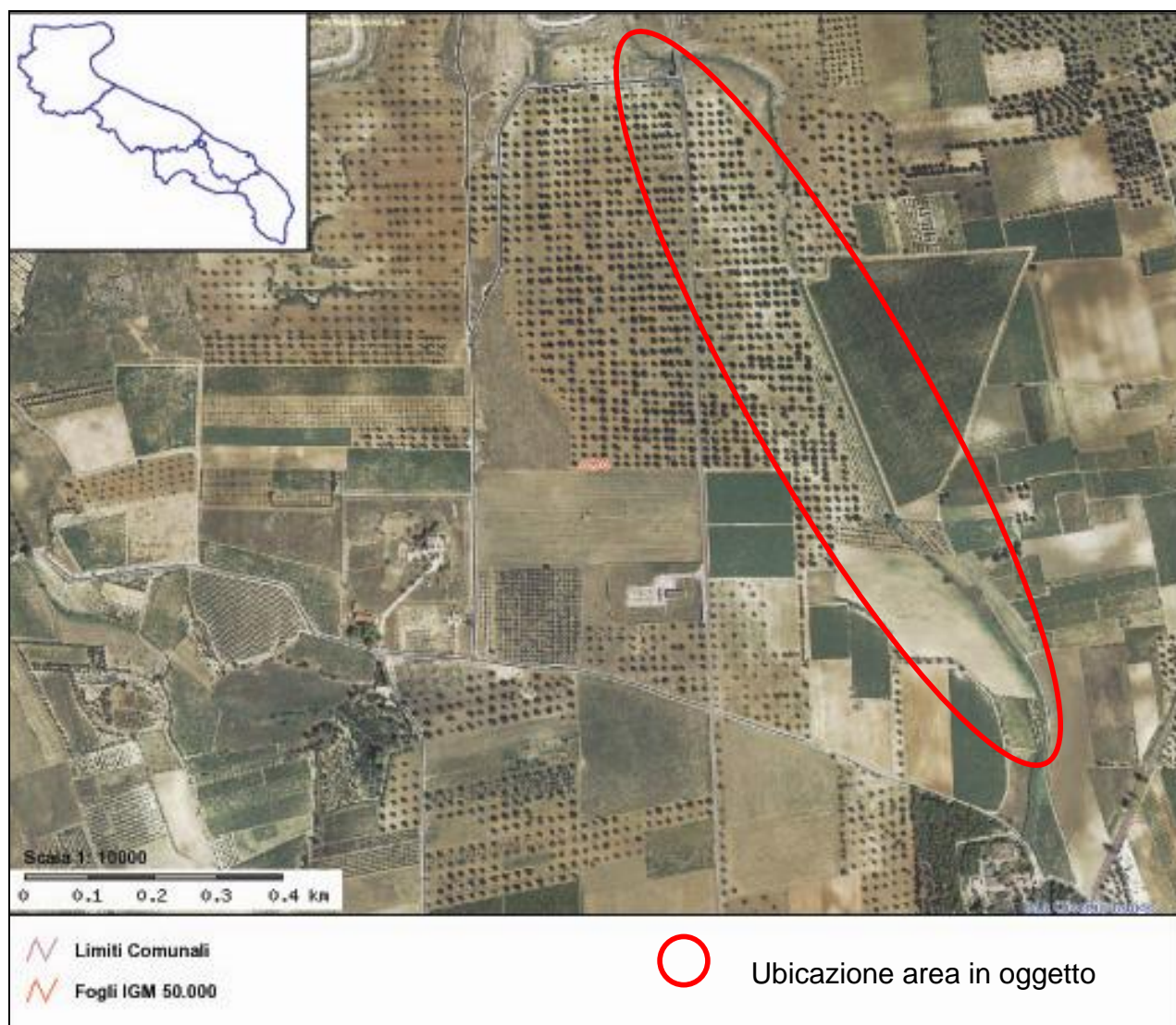


FIGURA N.1

UBICAZIONE SITO

Sotto il profilo morfologico l'area è costituita da una incisione valliva con impluvio tributario variamente marcato del Canale Cicena.

L'area di studio risulta antropizzata, coinvolta in fenomeni di rimaneggiamento superficiale. Da rilevamento effettuato si evince un livello di litologie e materiali riportati sabbiosi- limo argillosi di ricoprimento che ricopre buona parte del sito oggetto d'indagine; la restante area è caratterizzata dall'affioramento di depositi biocalcarenitici variamente cementati, ma nel complesso coesi e a caratteristiche massive.

Dal sopralluogo effettuato nell'area sono presenti e diffusi fenomeni erosivi anomali realizzati dalle acque superficiali.

La zona oggetto dell'intervento è costituita da depositi alluvionali più o meno recenti sedimentati e modellati dall'erosione superficiale delle acque di ruscellamento e da fenomeni ensogeni in generale. Sono di facies per lo più sabbiose – limose, calcarenitiche con intercalazioni bio-organogene e livelli sabbioso limosi a cementazione variabile.

Trattasi in genere di strati metrici di bio - calcareniti, di sabbie posti su litologia calcarea compatta e tenace costituente la dorsale della Murgia Tarantina.

Gli alluvioni si sono sedimentati su terrazzi aventi differenti livelli di impostazione. Sono individuabili nei luoghi limitrofi evidenze di paleoterrazzi soggetti a fenomeni di erosione che hanno impostato diverse linee di paleocosta poste a differenti quote in relazione alle variazioni del livello del mare nel corso del plio – pleistocene.

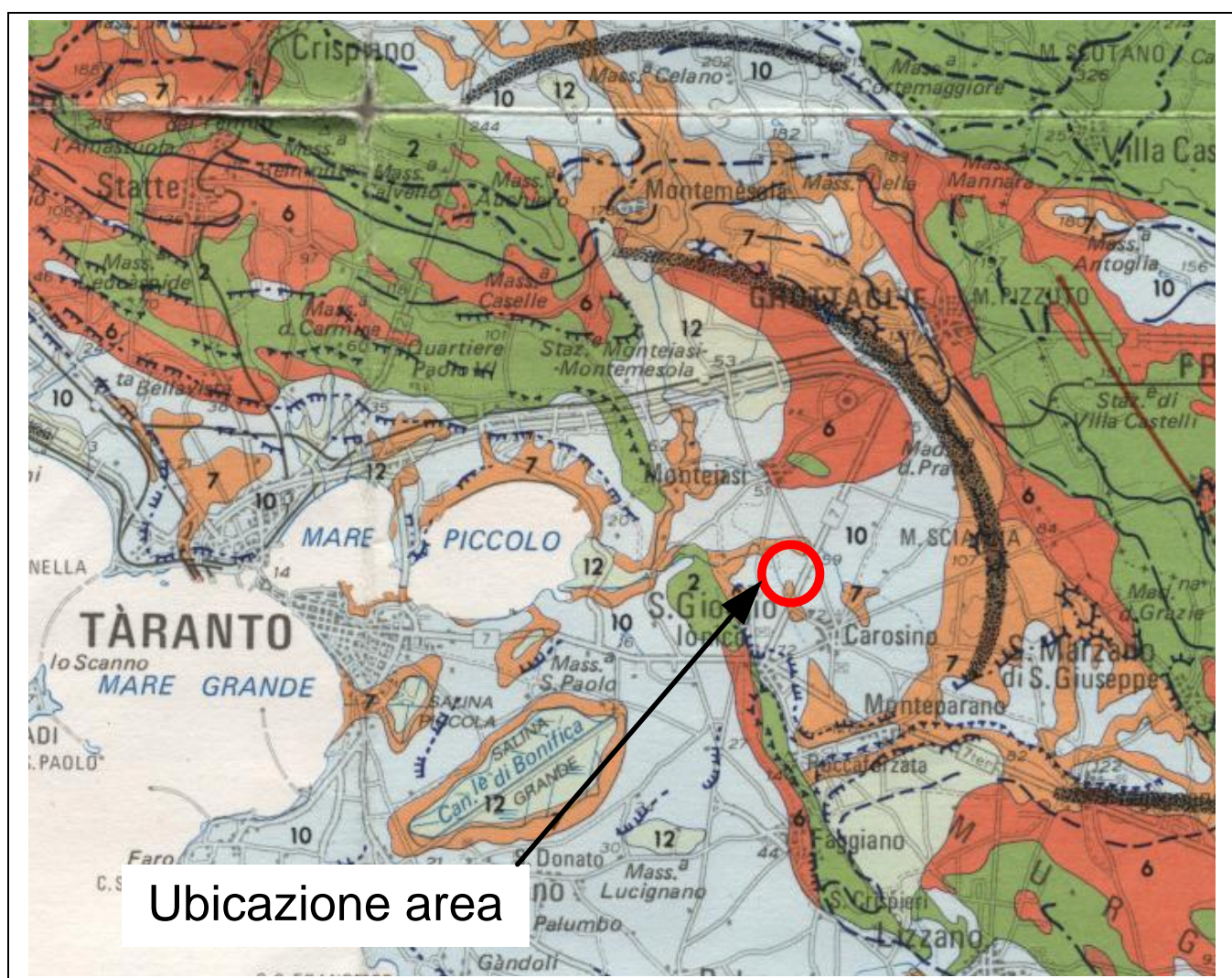
L'incisione valliva è ridotta ad un modesto solco che si sviluppa come marcatore dei limiti di proprietà di appezzamenti, a luogo incolti ed a luogo coltivati a vigneto, uliveto ed a ortaggi.

GEOLOGIA E LITOLOGIA

Dal rilevamento geologico si evince che si tratta di un'area antropizzata costituita da appezzamenti coltivati o incolti.

Nell'area di intervento affiora formazione sedimentaria marina terrazzata, costituita da biocalcarenitici a consistenza variabile giallo ocre, sabbie a grado di cementazione variabile, di colore bianco – avano, limi sabbiosi grigi e argille verdastre con spessori variabili e rapporti eteropici laterali compatibili alle condizioni di sedimentazione e diagenesi alle quali sono state soggette (***Argille del Bradano denominate "Argille Subappenniniche"***).

Esse appartengono ai depositi marini pleistocenici in facies di sabbie limo-argillose di colore dal giallo-ocra al marrone talora con sfumature grigiastre, con sporadici livelli e/o lenti di conglomerati ad elementi generalmente minuti (Fig.2 Stralcio Carta Geologica Regionale e fig. 3 Stralcio Carta Geologica di Dettaglio). A nord si apprezza un contatto stratigrafico tra i termini calcarenitici definiti **Calcarenite di Monte Castiglione** (appartenenti ai termini delle Argille del Bradano) **sovrapposte alle Calcarenite di Gravina**.



LEGENDA

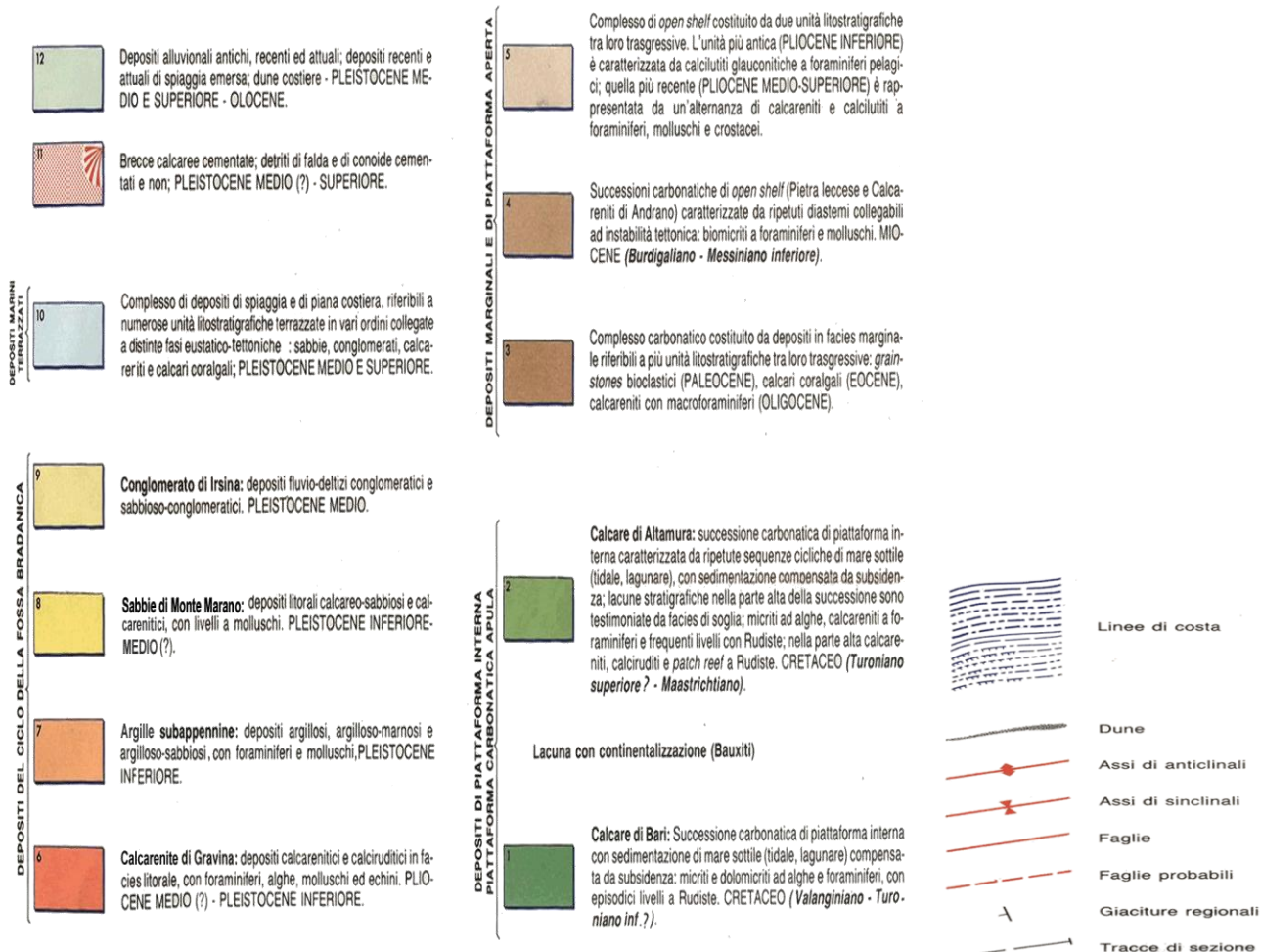
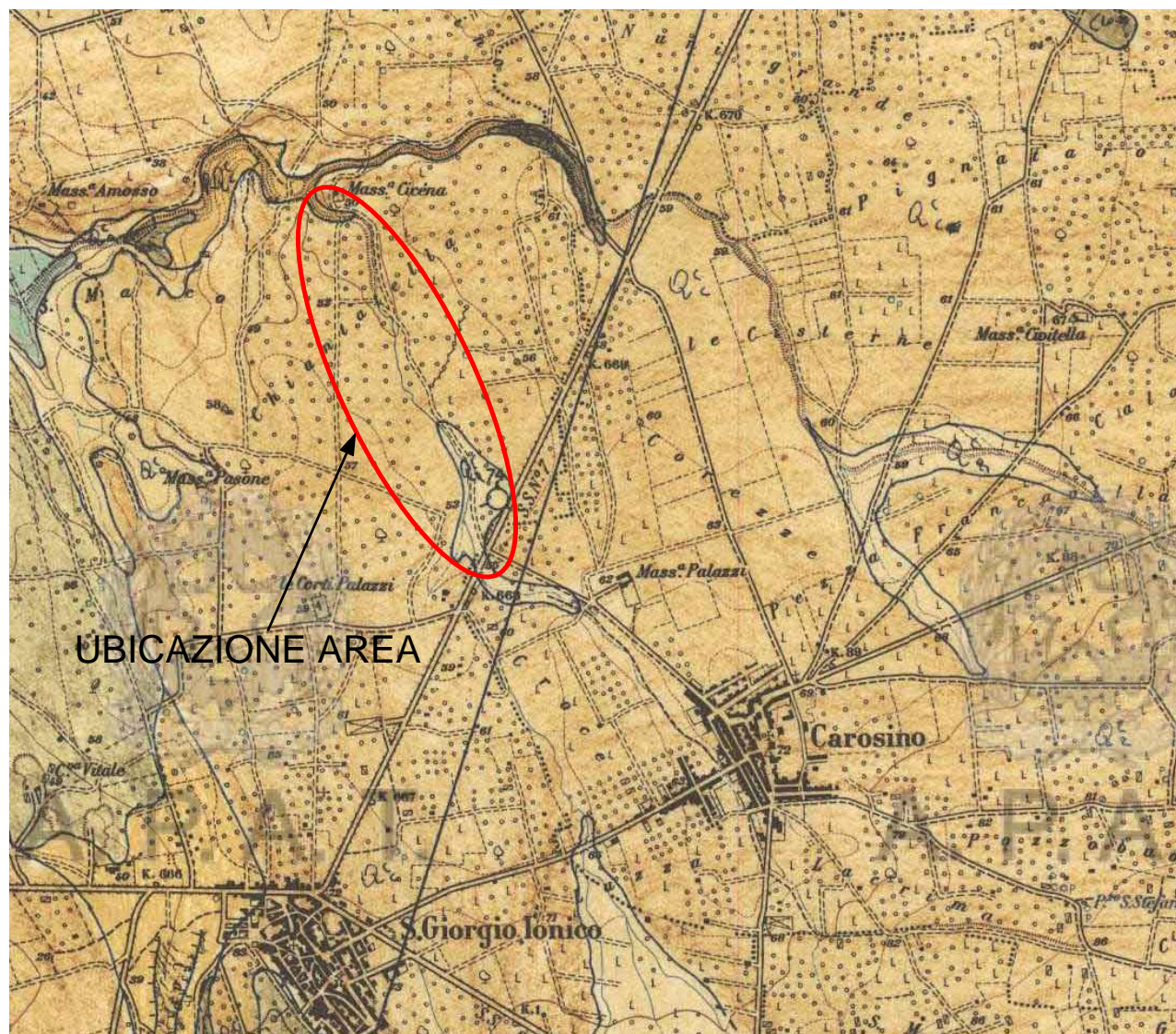


FIGURA N.2 - STRALCIO CARTA GEOLOGICA



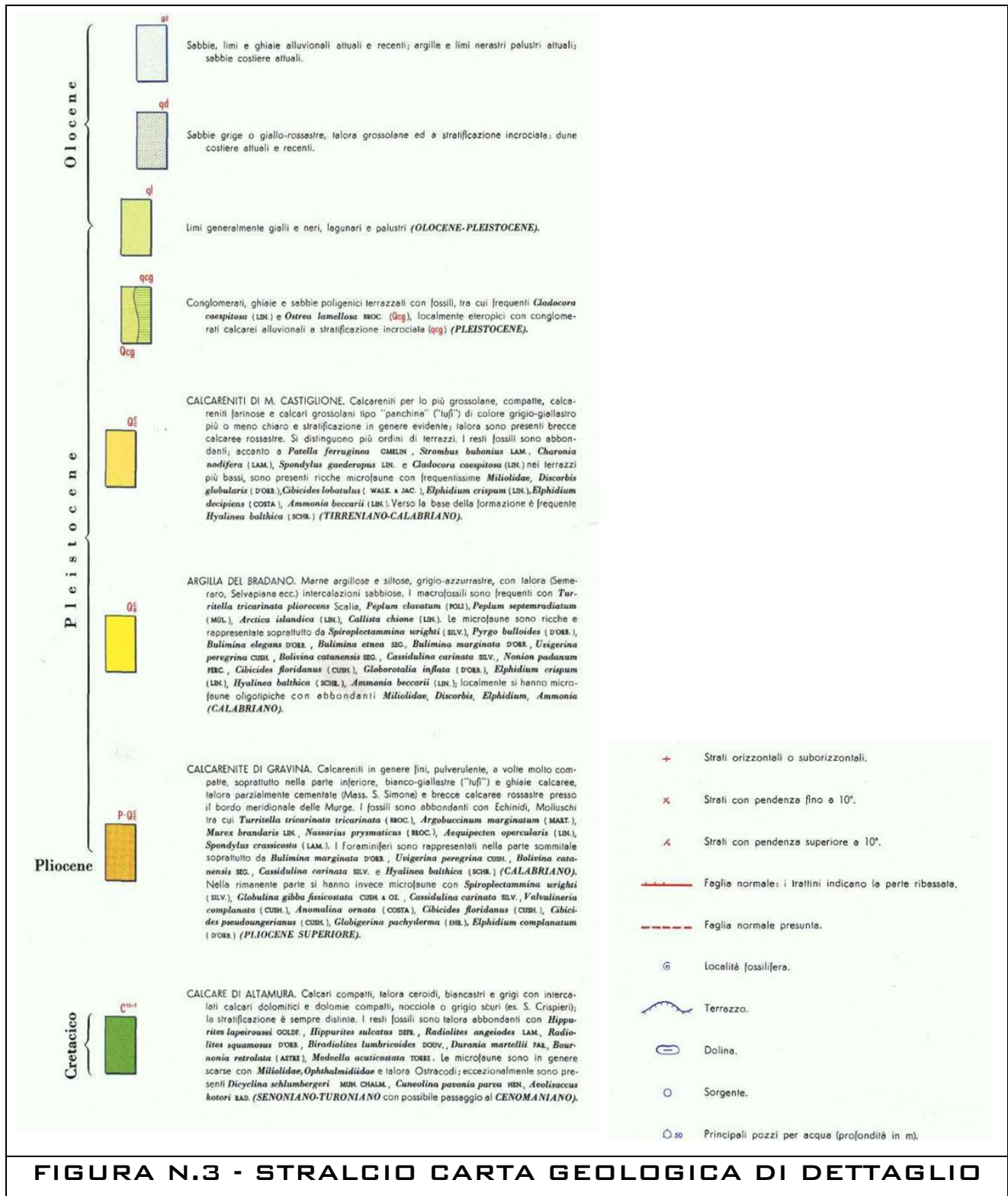


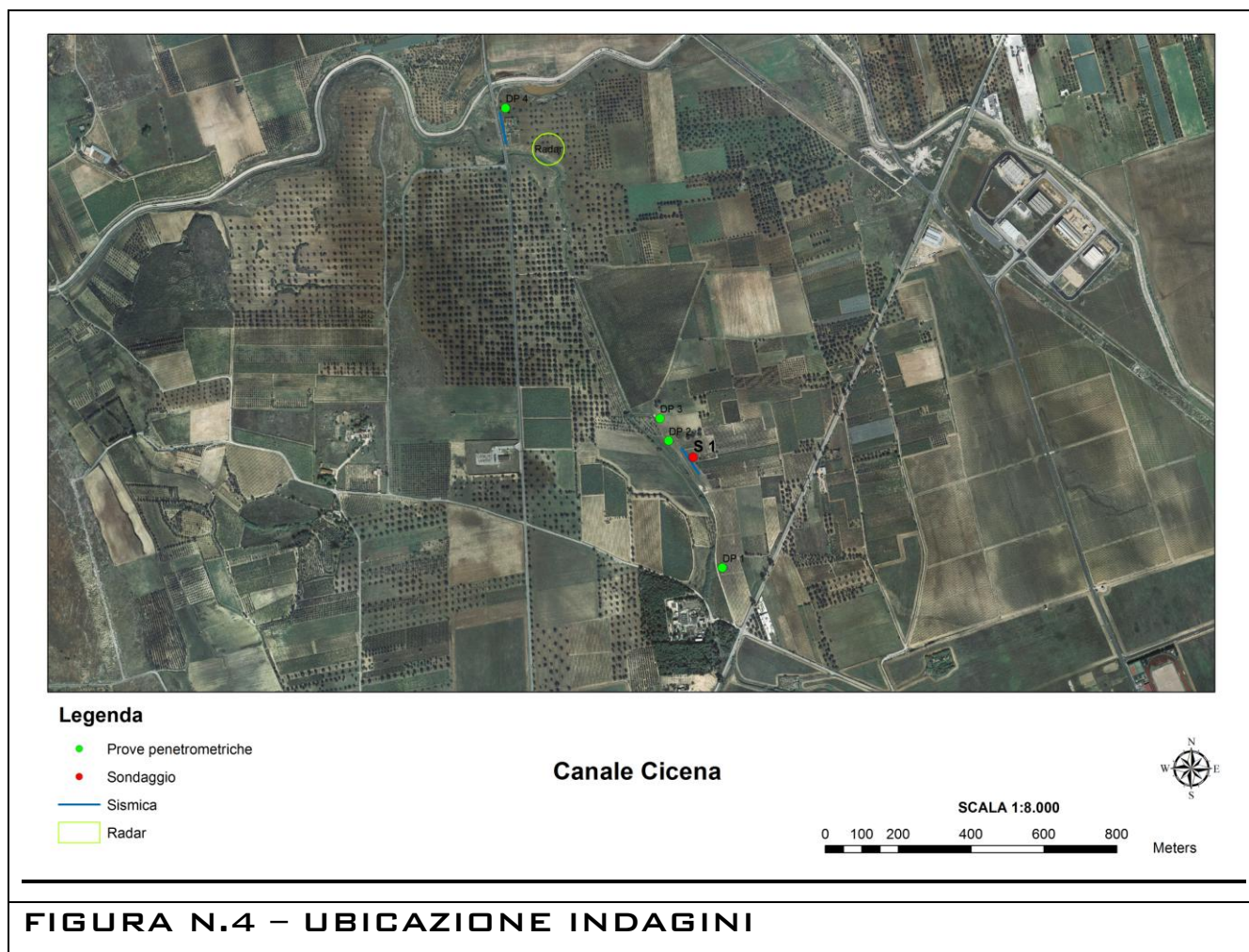
FIGURA N.3 - STRALCIO CARTA GEOLOGICA DI DETTAGLIO

INDAGINE GEOGNOSTICA DEL SITO

La caratterizzazione ha permesso di interpretare la successione stratigrafica presente all'interno dell'area indagata.

L'indagine geognostica eseguita, a supporto dell'attuale fase progettuale, consiste in:

- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo costituita da S1, spinto fino alla profondità di 10 m dal p.c.;
- n. 2 indagini geognostiche indirette MASW per verificare, arealmente, il comportamento geomeccanico e gli sviluppi laterali degli orizzonti litologici affioranti del sito, ciascuno stendimento costituito, compatibilmente allo stato dei luoghi da 18 e 12 canali con distanza intergeofonica di 5 m;
- n. 4 prove penetrometriche dinamiche effettuate prodotte fino alla registrazione del rifiuto alla prosecuzione della prova;
- 250 ml di acquisizione georadar per valutare le caratteristiche di RQD dell'ammasso roccioso affiorante.



Di seguito si riporta descrizione del carotaggio e delle prove effettuate.

SONDAGGIO S1

- Intercettato un livello litologico composto da materiale rimaneggiato e/o riportato costituito da terreno vegetale frammisto a sabbie e limi verdastri avente uno spessore di 2,0 m;
- da 2,0 m a 7,5 m dal p.c. si intercetta litologia sabbiosa limosa variamente consistente, livelli poco coesi si susseguono a spessore più cementati e coesi;
- successivamente vi è uno strato litologico che va da 7,5 a 10,0 m a composizione calcarenitica con alternanza di orizzonti coesi e ben cementati a orizzonti a minore coesione. Il grado di cementazione valutabile con valori di RQD prossimi al 70 %. Nella caratterizzazione delle litologie calcaree carotabili, si adotta la metodologia del RQD - Rock Quality Designation; si presenta a colorazione variabile dal biancastro al giallastro. Trattasi di litologia "**Calcarenitica**".

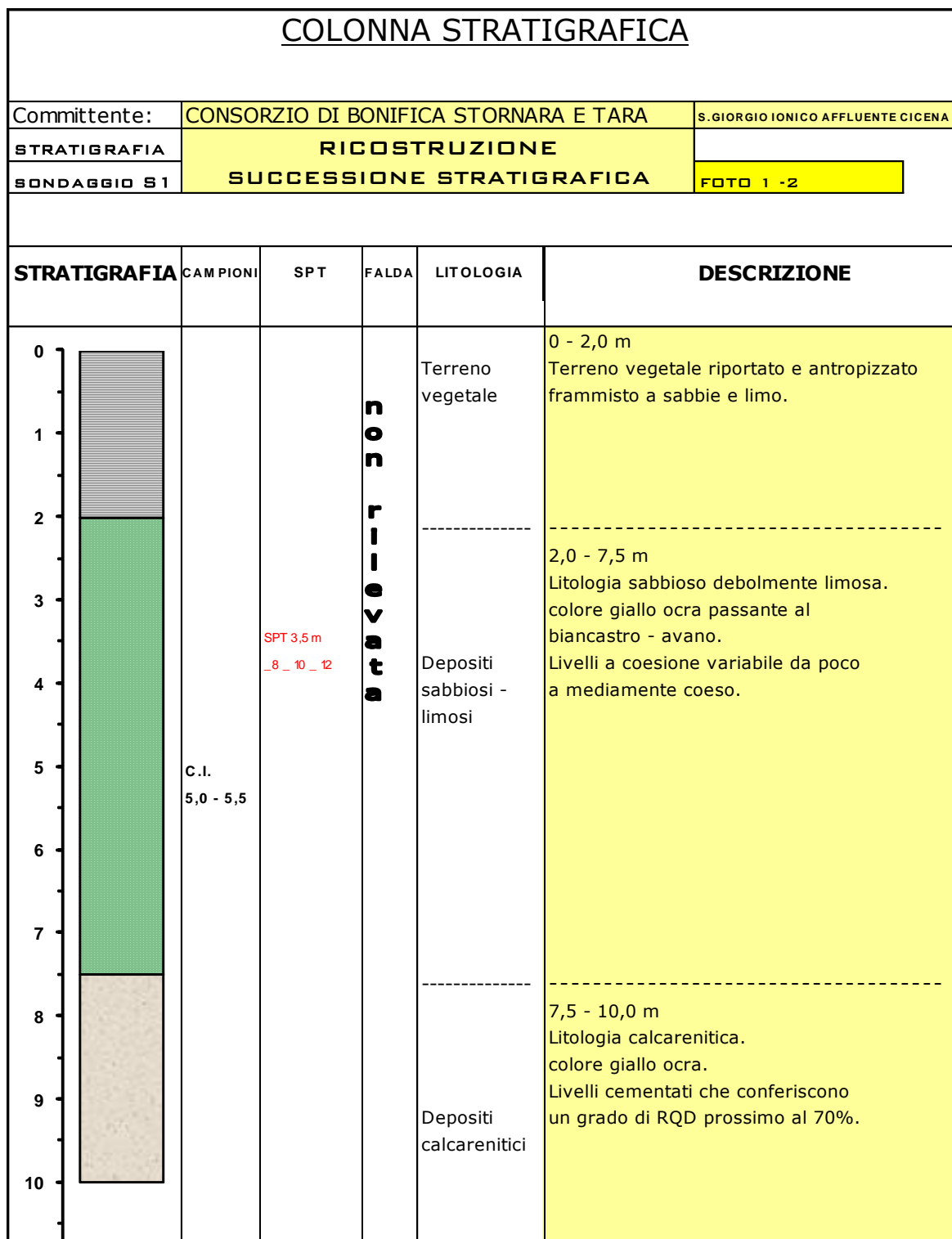


FIG. 5 - SUCCESSIONE STRATIGRAFICA SONDAGGIO S1



STRATIGRAFIA DA 0 -5 M - SONDAGGIO S1



STRATIGRAFIA DA 5 -10 M - SONDAGGIO S1

STENDIMENTI SISMICI

Oltre al sondaggio a carotaggio continuo sono state effettuate n. 2 stendimenti sismici posizionati come da planimetria ubicativa.

- **Stesa sismica M1 costituita da 85 m con 18 canali con distanza intergeofonica di 5 m (M1_18_85_5).**
- **Stesa sismica M2 costituita da 55 m con 12 canali con distanza intergeofonica di 5 m (M2_12_55_5).**

METODO MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) risulta essere una tecnica di indagine ottimale, non invasiva, utile a definire la risposta sismica di un determinato sito, classificando il sottosuolo in 5 categorie differenti. Tale analisi individua il profilo delle velocità delle onde di taglio verticali Vs misurando le stesse in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo più importante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato, come possono essere i terreni oggetto di interesse, le onde di Rayleigh sono dispersive.

Ciò risulta facilmente riscontrabile attraverso l'osservazione e lo studio delle onde stesse; infatti, onde ad alta frequenza e piccola lunghezza si propagano negli strati più superficiali del sottosuolo, mentre onde a bassa frequenza e lunghezza maggiore, si estendono a profondità più rilevanti.

In altre parole, nell'indagine MASW, le onde superficiali generate in un punto del terreno di fondazione, sono misurate da uno stendimento lineare di sensori (geofoni) che permettono di ottenere una velocità di fase o curva di dispersione. Ciò, fornisce informazioni sulla parte di terreno generalmente compresa entro i primi 30 metri di profondità.

In accordo a quanto detto quindi, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, così come anche specificato dalla nuova normativa sismica, viene valutato nei primi 30 metri lo spessore di terreno che interagisce in maniera significativa con la struttura e pertanto, la classificazione del suolo di fondazione, la si identifica sulla base dei valori di velocità delle onde sismiche di taglio, appunto entro i primi 30 metri di profondità.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama *dispersione*. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (**Vs**), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di **Rayleigh** è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

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

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace con canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde **S (Vs)** è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

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

RISULTATI DELLE ANALISI MASW STENDIMENTI

Compatibilmente alle condizioni e alle caratteristiche del sito, in relazione a quanto sopra esposto, sono state effettuate n. 2 stese sismiche (M1 – M2) per la caratterizzazione della Vs 30 delle litologie poste in successione stratigrafica.

Nelle Fig 6-7 vengono riportate le curve di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30 per i profili realizzati (M1 – M2)

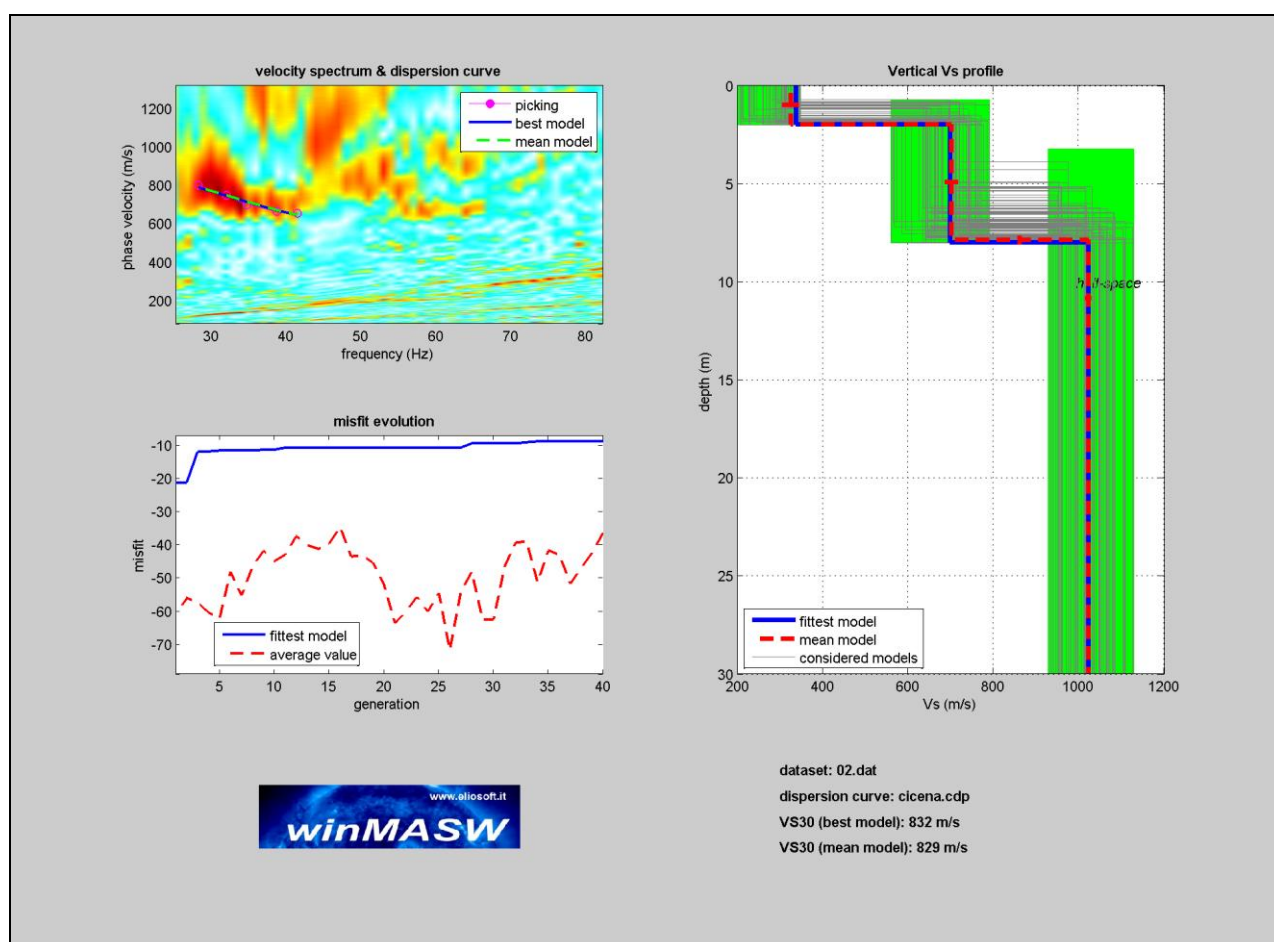


Fig. 6: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità relativa al profilo M1

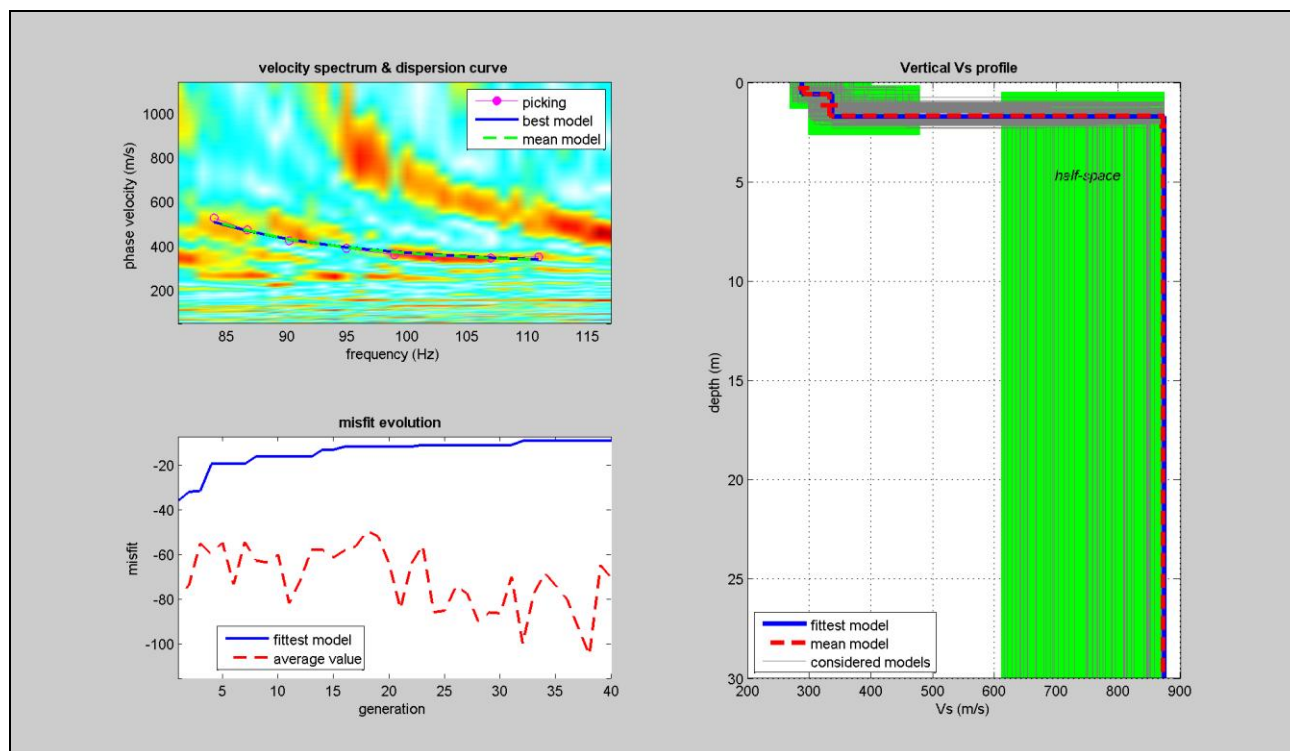


Fig. 7: Curva di dispersione con profilo verticale della velocità Vs al variare della profondità relativa al profilo M2

Nelle figure precedenti viene riportata la curva di dispersione per il sito in studio assieme al modello di stratificazione utilizzato per il calcolo della Vs30.

Dovendo come già precisato in precedenza classificare il sottosuolo di fondazione ai sensi delle normative che attualmente regolano il settore (D.M. del 14/01/2008, Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recepita dalla Regione Puglia nel marzo 2004; DGR Puglia 2 marzo 2004 e dalle modifiche allo stesso portate dal Consiglio dei ministri con ordinanza n.3431 del 03.05.2005), si dichiara che **il valore di Vs 30, misurato sperimentalmente, è pari a:**

- **M1 829 m/s**
- **M2 881 m/s**

Poichè tali valori risultano maggiori di 800 m/s, si imporrebbe l'attribuzione dello spessore litologico indagato, alla CATEGORIA "A" (Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi) e pertanto definibile come litologie omogenee e rigide, come desumibile da tabella allegata.

Categoria suolo	Tipo	N_{SPT}	c_u (kPa)	Velocità di diffusione delle onde sismiche
A	Suoli omogenei molto rigidi			$V_{s30} > 800$ m/s
B	Sabbie molto addensate	$N_{SPT} > 50$	$c_u > 250$	$360 \text{ m/s} < V_{s30} < 800 \text{ m/s}$
C	Sabbie mediamente addensate	$15 < N_{SPT} < 50$	$70 < c_u < 250$	$180 \text{ m/s} < V_{s30} < 360 \text{ m/s}$
D	Terreni granulari poco addensati	$N_{SPT} < 15$	$c_u < 70$	$V_{s30} < 180$ m/s
E	Terreni a strati superficiali alluvionali			V_{s30} come C o D nello strato superficiale (spessore tra 5 e 20 m) e come A nel substrato

TABELLA – CATEGORIE DI SUOLO

Il territorio di San Giorgio Ionico, ai sensi dell'O. P. C. M. 3274/03, è classificato come zona sismica 4, per cui il valore di accelerazione orizzontale massima al suolo da adottare, espresso come frazione dell'accelerazione di gravità g , è il seguente:

$$a_g = 0.05.$$

INDAGINE SISMICA

Il metodo di esplorazione sismica utilizza la propagazione delle onde meccaniche per caratterizzare le proprietà elastiche del sottosuolo e quindi la geometria dei mezzi attraversati. La tecnica di base consiste nel generare delle onde meccaniche, mediante sorgenti poste in punti opportunamente scelti sulla superficie topografica, e nel misurare i tempi impiegati dalle perturbazioni elastiche per raggiungere i geofoni, anch'essi opportunamente posizionati sulla superficie topografica. In particolare, l'esplorazione eseguita con il metodo della rifrazione si basa sull'analisi del tempo di arrivo dell'onda diretta e delle onde di testa; queste ultime sono onde rifratte che si determinano nel caso in cui la velocità di propagazione delle onde è crescente con la profondità, quando l'angolo di incidenza è critico.

L'obiettivo principale del metodo sismico tomografico a rifrazione è quello di determinare la velocità e le sue variazioni nel mezzo indagato, utilizzando i tempi di viaggio ottenuti da un rilievo di sismica a rifrazione. La relazione tra velocità dell'onda sismica e tempi di viaggio del raggio sismico è, per un set di M raggi:

$$\delta \mathbf{t} = \mathbf{A} \delta \mathbf{v} \quad (1)$$

dove $\delta \mathbf{t}$ è il vettore dei tempi di viaggio residui ($t_{\text{osservati}} - t_{\text{calcolati}}$), \mathbf{A} è la matrice Jacobiana $\partial t_i / \partial v_j$, e $\delta \mathbf{v}$ è il vettore velocità di perturbazione.

Un approccio alternativo è quello che introduce il concetto di lentezza dell'onda.

Se si definisce la lentezza dell'onda come $u(x) = v^{-1}(x)$, allora la (1) diventa:

$$\mathbf{t} = \mathbf{A} \mathbf{u} \quad (2)$$

dove \mathbf{t} è il vettore dei tempi di viaggio osservati, $\mathbf{A} = dl_{ij}$ = matrice delle lunghezze dei percorsi parziali e \mathbf{u} = vettore dei valori della lentezza. Gli elementi A_{ij} rappresentano la lunghezza del percorso dell' i -esimo raggio nella j -esima cella.

La individuazione dei valori della velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo attraversato consentono una caratterizzazione del mezzo stesso attraverso i parametri Γ (densità lineare) e C (densità di frattura).

Esistono delle relazioni empiriche che legano i parametri di densità di una formazione litologica alle velocità di propagazione delle onde P ed S.

Pertanto note le velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo è possibile stabilire la qualità di una formazione litologica.

E' anche possibile, attraverso l'utilizzo delle velocità di propagazione delle onde P ed S, stimare i valori di densità di massa (ρ) delle formazioni litologiche indagate. La relazione empirica utilizzata per la stima di ρ è:

$$\rho = 0.23V_p^{0.25}$$

E' possibile il calcolo del coefficiente di Poisson (σ), del modulo di Young (E) e del modulo di taglio (G).

$$\sigma = \frac{0.5 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

$$E = 2\rho V_p^2 (1 + \sigma)$$

$$G = \rho V_s^2$$

PROFILI SISMICI

Profilo sismico M1

Le indagini sono state eseguite con un sismografo Doremi con 18 canali e geofoni verticali con frequenza propria di 4.5Hz; la energizzazione è stata eseguita con un martello da 5kg. Scopo dell'indagine è mettere in evidenza possibili variazioni del campo di velocità dell'onda P eventualmente correlabili ai parametri caratterizzanti una formazione litologica. Per tentare di stimare la distribuzione di V_p è stata utilizzata una tecnica di acquisizione tomografica che fa uso di una opportuna disposizione in superficie di n geofoni ed m sorgenti.

La geometria scelta per l'acquisizione è costituita da un allineamento di 18 geofoni distanti tra di loro 5m, sull'allineamento sono posizionati $n=3$ punti di energizzazione (Fig. 8). La tecnica di acquisizione consente di determinare la velocità media di propagazione in ognuna delle N ($N \leq nxm$) celle elementari che ricoprono la superficie indagata.

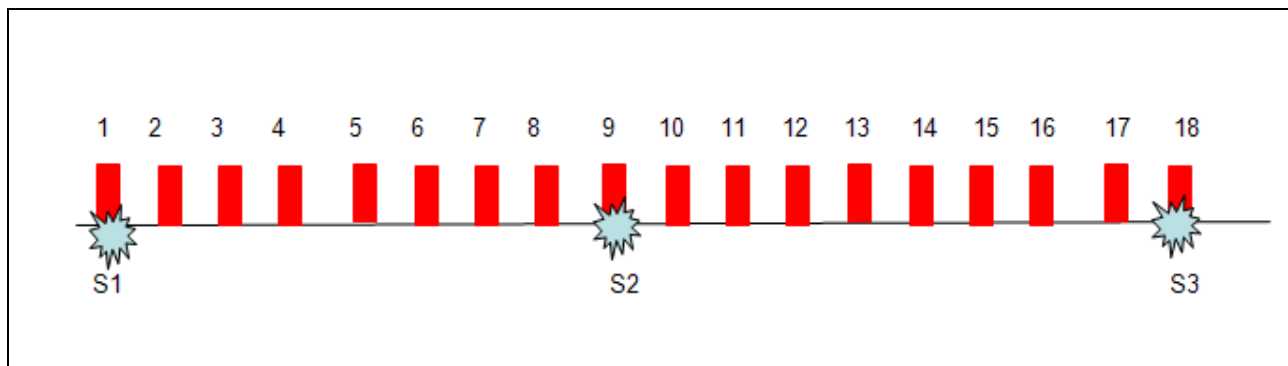


Fig. 8: Geometria di acquisizione del rilievo sismico tomografico a rifrazione: geofoni: 1, 2,....., 18; punti di energizzazione S1, S2, S3.

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 9b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.9a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.9c.

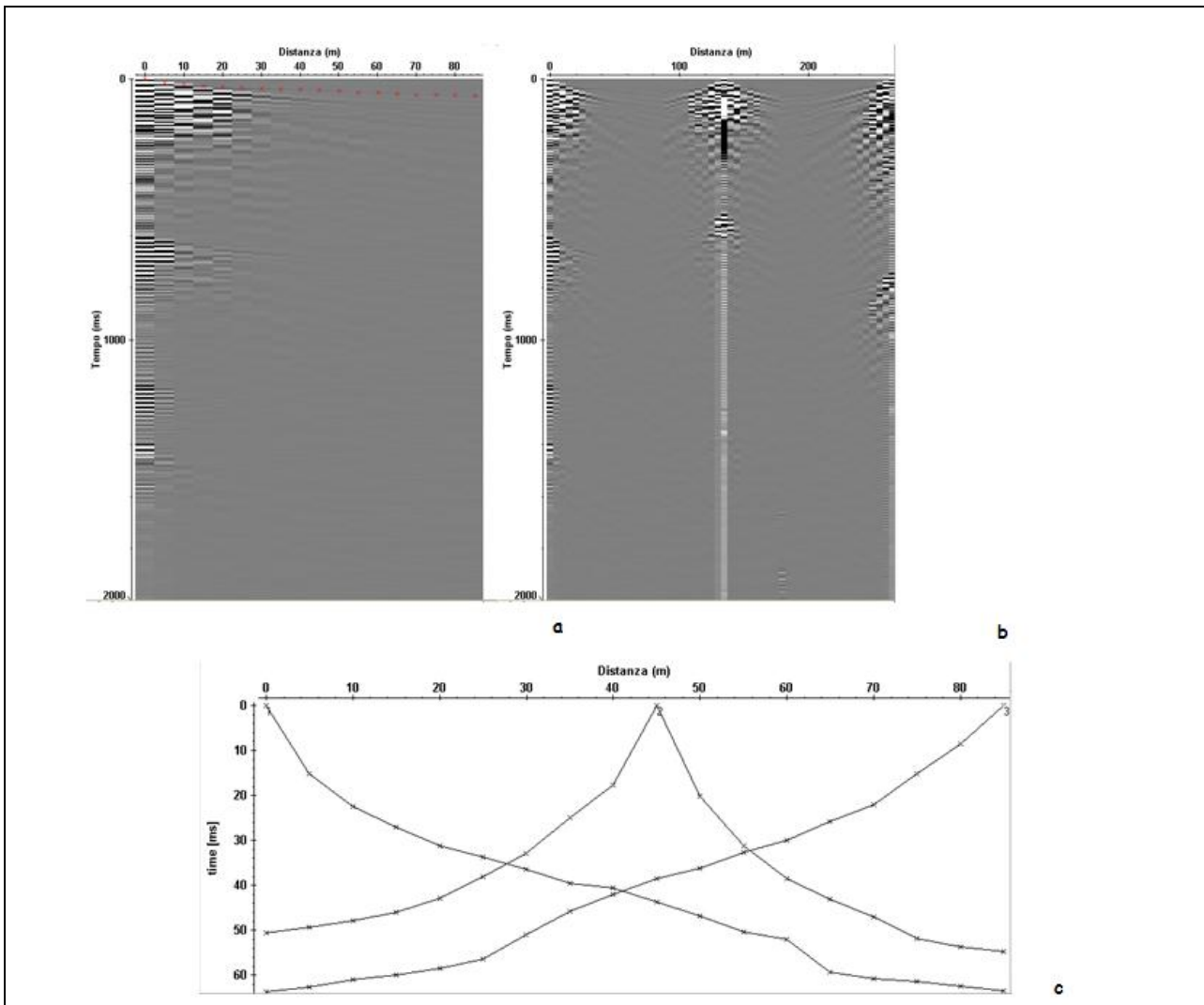


Fig. 9: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico

La elaborazione delle stesse mediante algoritmi sofisticati permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s (Fig. 10).

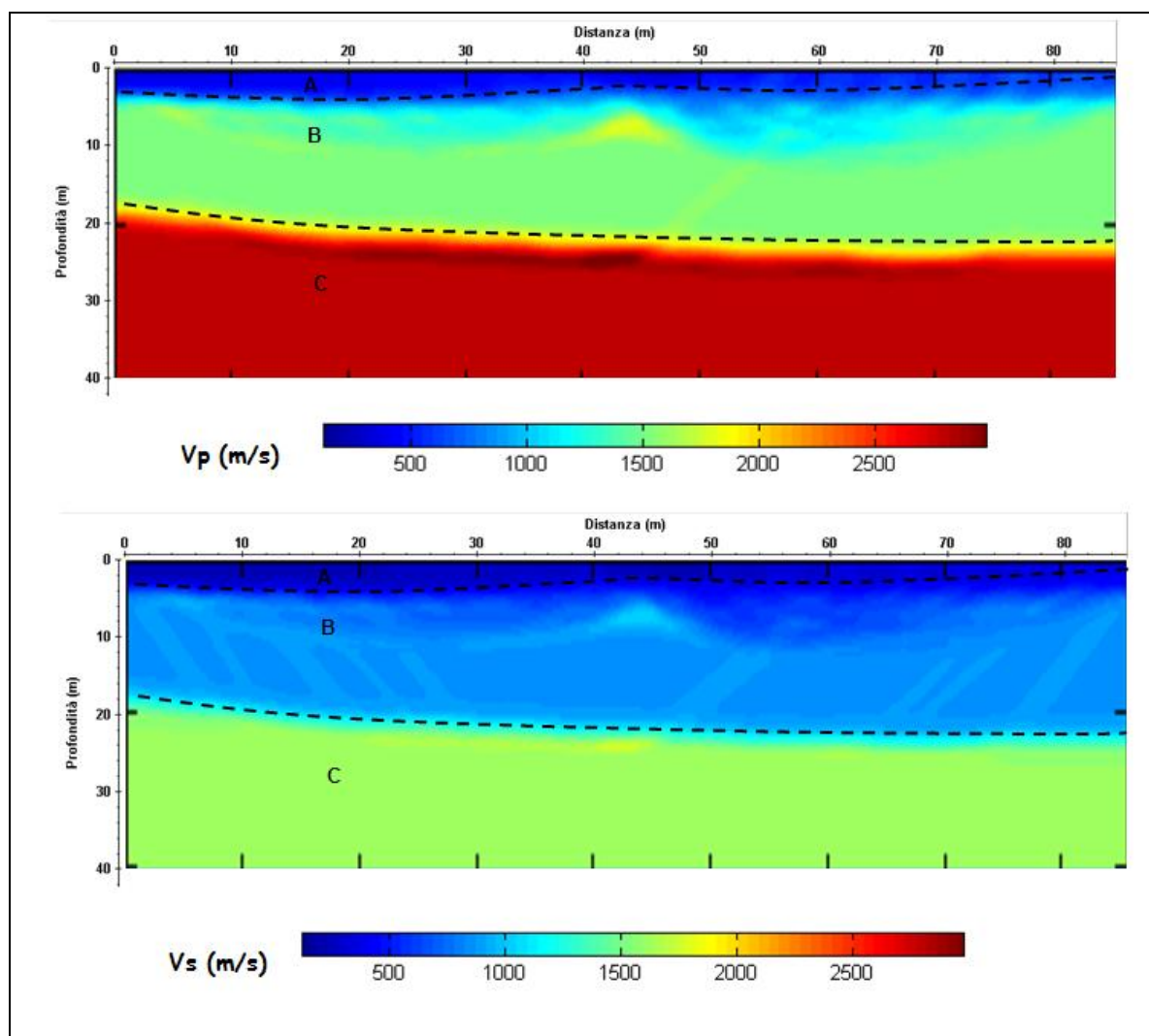


Fig. 10.M1: Modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s a varie profondità.

Dalla Fig. 10.M1 si evince che i valori di V_p sono generalmente compresi tra 500m/s e 2500m/s mentre valori di V_s sono generalmente compresi tra 300m/s e 1000m/s.

In particolare è possibile distinguere

- A: $V_p=600\text{m/s}$ ($V_s=300\text{m/s}$); strato superficiale fino a 3.0 – 5,0m di profondità;
- B: $1300 < V_p < 1600\text{m/s}$ ($650 < V_s < 750\text{m/s}$); probabile presenza di litologie compatte fino alla profondità compresa tra 5.0 e 15.0m circa;
- C: $1700 < V_p < 1900\text{m/s}$ ($900 < V_s < 1100\text{m/s}$); probabile miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche fino alla profondità compresa tra 15.0 e 30.0m circa.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri densità di massa (Fig. 11.M1) e coesione (Fig. 12.M1).

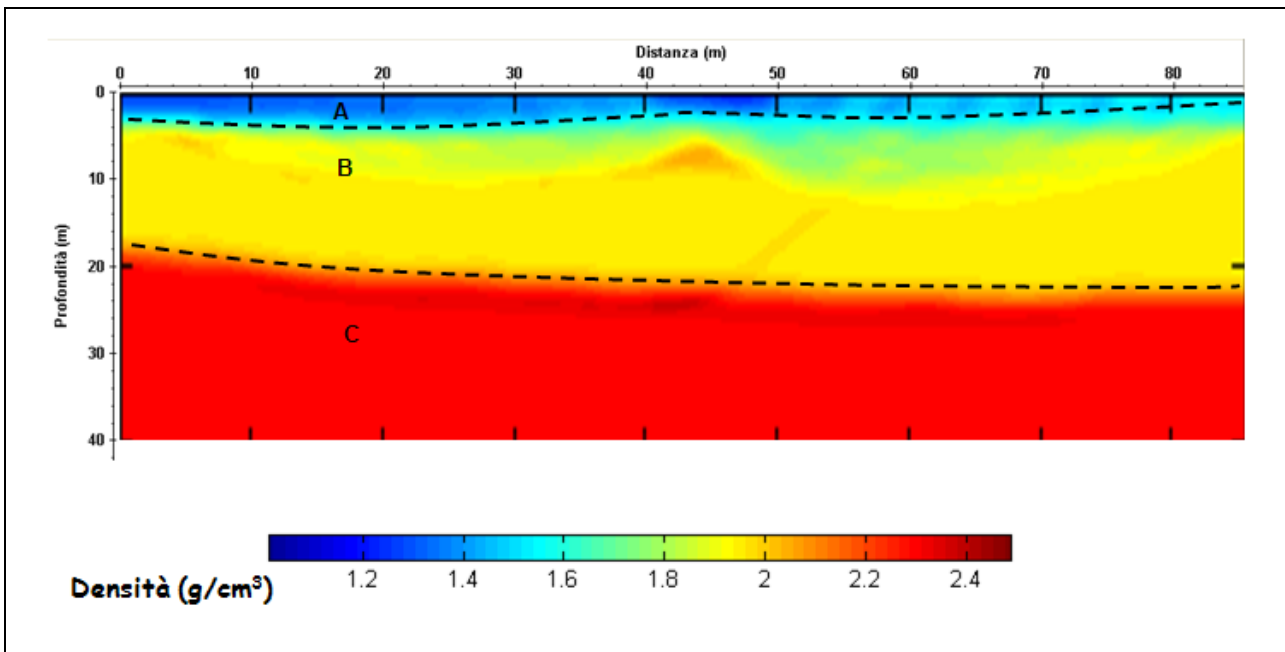


Fig. 11.M1: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

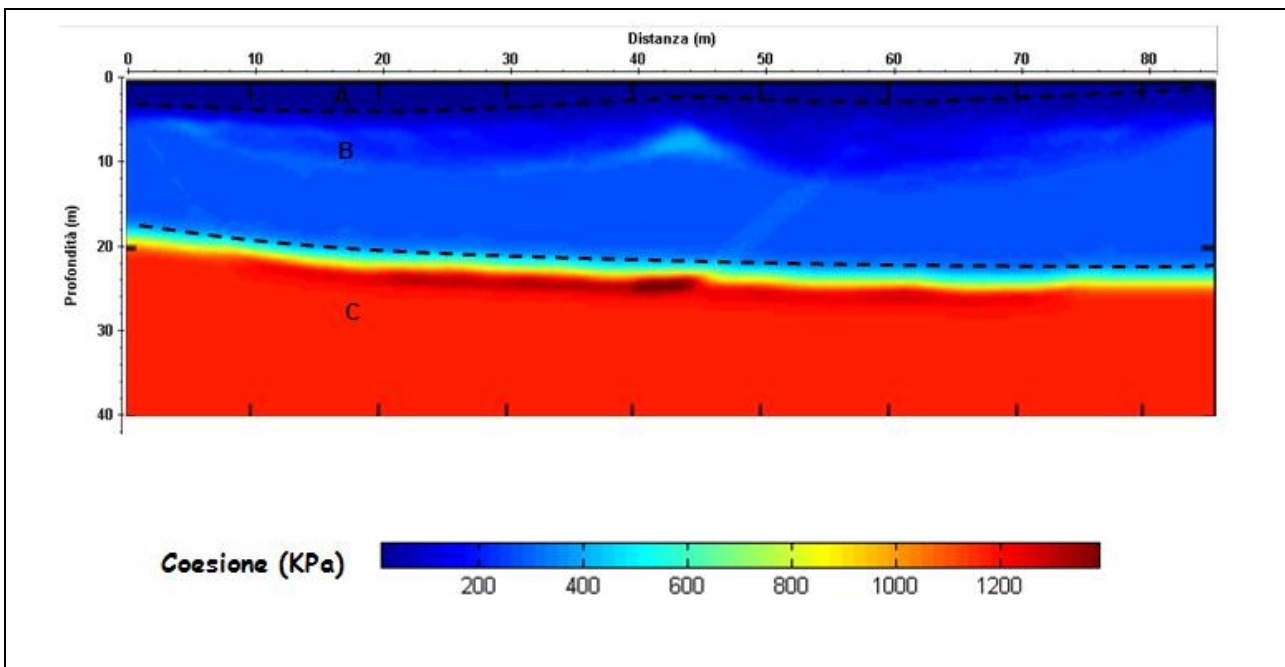


Fig. 12.M1: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.

Profilo sismico M2

Le indagini sono state eseguite con un sismografo Doremi con 12 canali e geofoni verticali con frequenza propria di 4.5Hz ; la energizzazione è stata eseguita con un martello da 5kg.

La geometria scelta per l'acquisizione è costituita da un allineamento di 12 geofoni distanti tra di loro 5m, sull'allineamento sono posizionati n=3 punti di energizzazione (Fig. 13-M2). La tecnica di acquisizione consente di determinare la velocità media di propagazione in ognuna delle N ($N \leq nxm$) celle elementari che ricoprono la superficie indagata.

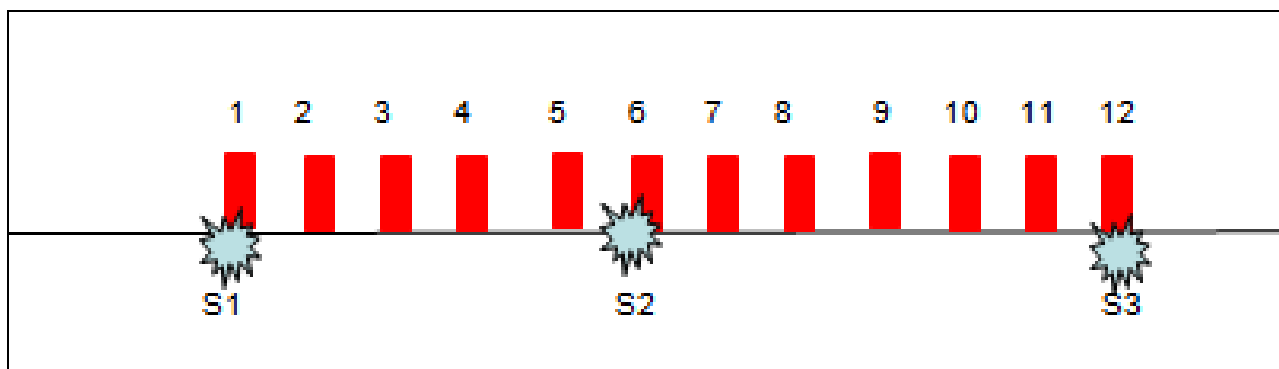


Fig. 13.M2: Geometria di acquisizione del rilievo sismico tomografico a rifrazione: geofoni: 1, 2,....., 12; punti di energizzazione S1, S2, S3.

La lettura dei tempi di primo arrivo (picking) (Fig. 14.M2b), per ogni traccia, su ciascun sismogramma (Fig.14M2a), consente di ottenere le dromocrone riportate in Fig.14M2c.

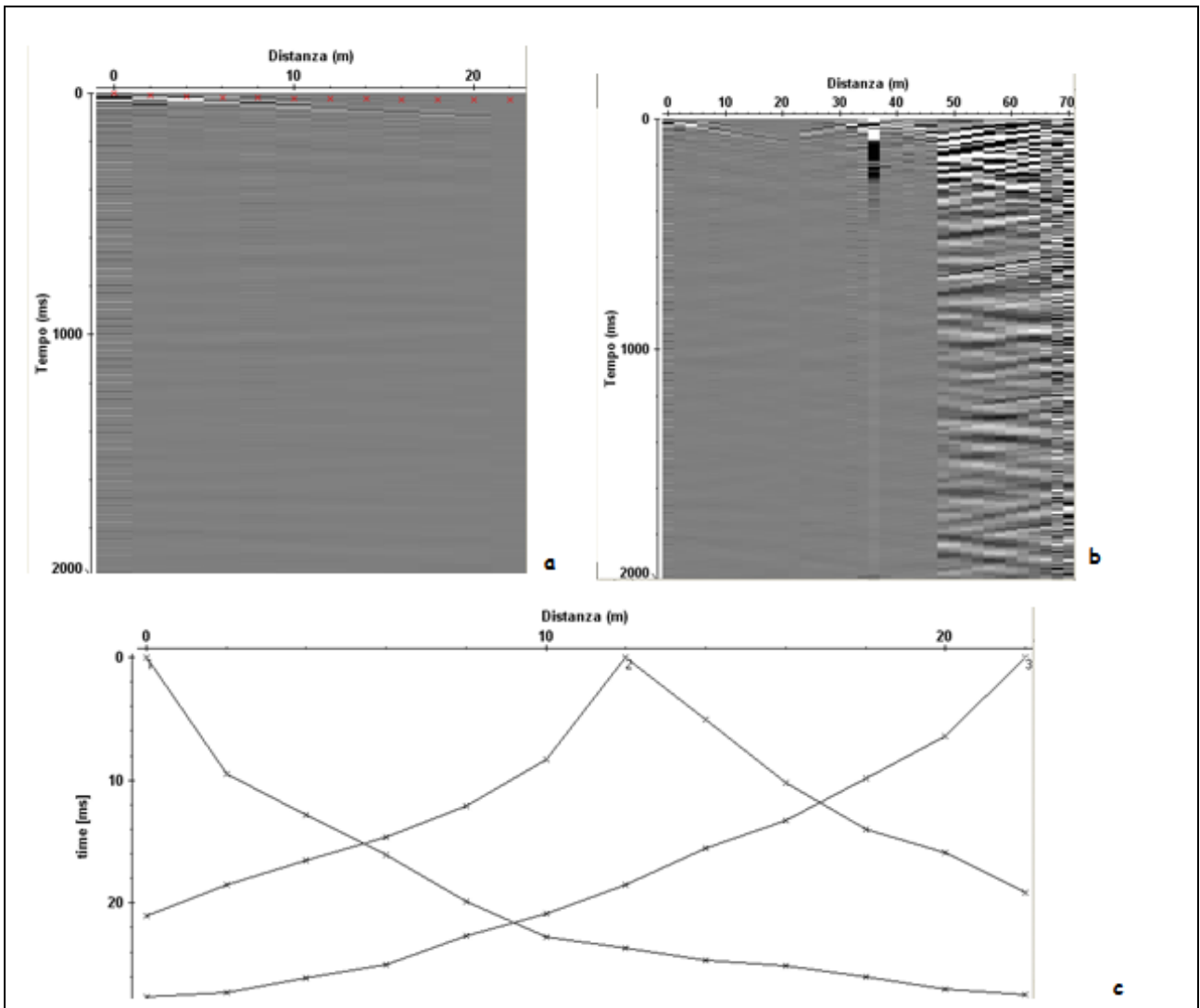


Fig. 14.M2: a) sismogrammi delle 3 energizzazioni; b) esempio di picking dei primi arrivi; c) Dromocrone relative al profilo sismico M2

La elaborazione delle stesse mediante algoritmi sofisticati permette di ottenere il modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s (Fig. 15).

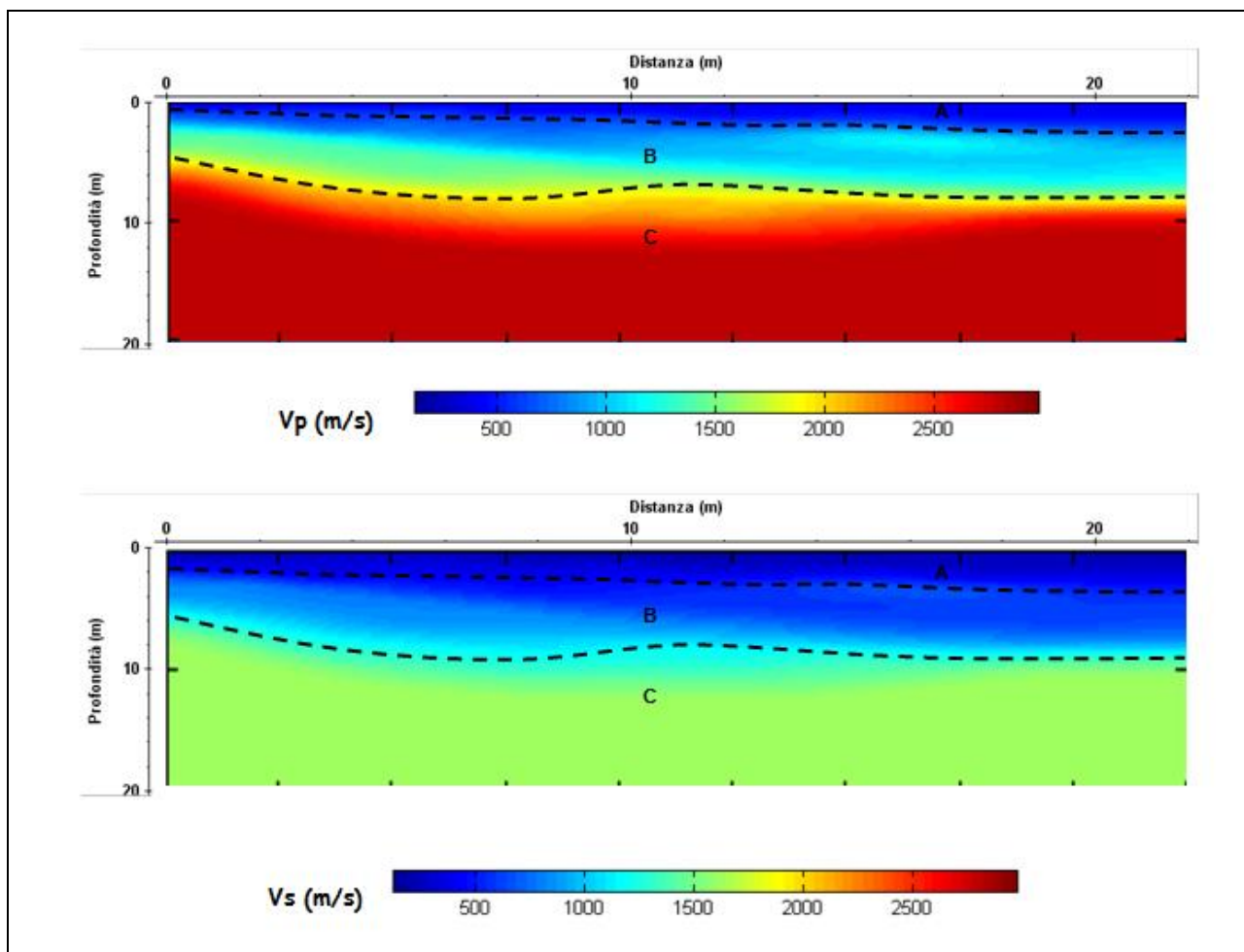


Fig. 15.M2: Modello di distribuzione delle velocità V_p e V_s a varie profondità.

Dalla Fig. 15.M2 si evince che i valori di V_p sono generalmente compresi tra 500m/s e 2600m/s mentre valori di V_s sono generalmente compresi tra 300m/s e 1300m/s.

In particolare è possibile distinguere:

- A: $V_p=600\text{m/s}$ ($V_s=300\text{m/s}$); strato superficiale da 0 a 2.0m circa di profondità;
- B: $800 < V_p < 1200\text{m/s}$ ($450 < V_s < 700\text{m/s}$); probabile presenza di materiale a compattezza crescente fino alla profondità compresa tra 2.0 e 10.0m circa;
- C: $1900 < V_p < 2300\text{m/s}$ ($850 < V_s < 950\text{m/s}$); probabile presenza di litologia a generale miglioramento delle condizioni di densità e compattezza litologica fino alla profondità compresa tra 10.0 e 20.0m circa.

Attraverso l'utilizzo delle relazioni empiriche sopra descritte è possibile ottenere i modelli di distribuzione dei parametri densità di massa (Fig. 16.M2) e coesione (Fig.17M2).

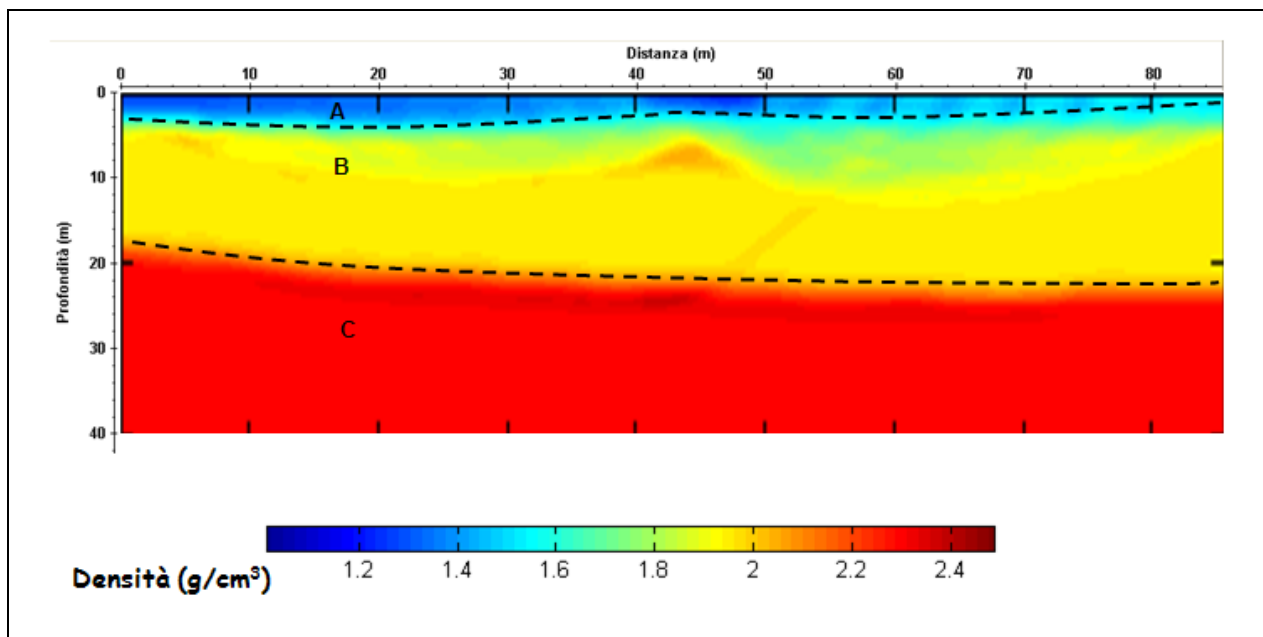


Fig. 16.M2: Modello di distribuzione della densità di massa a varie profondità.

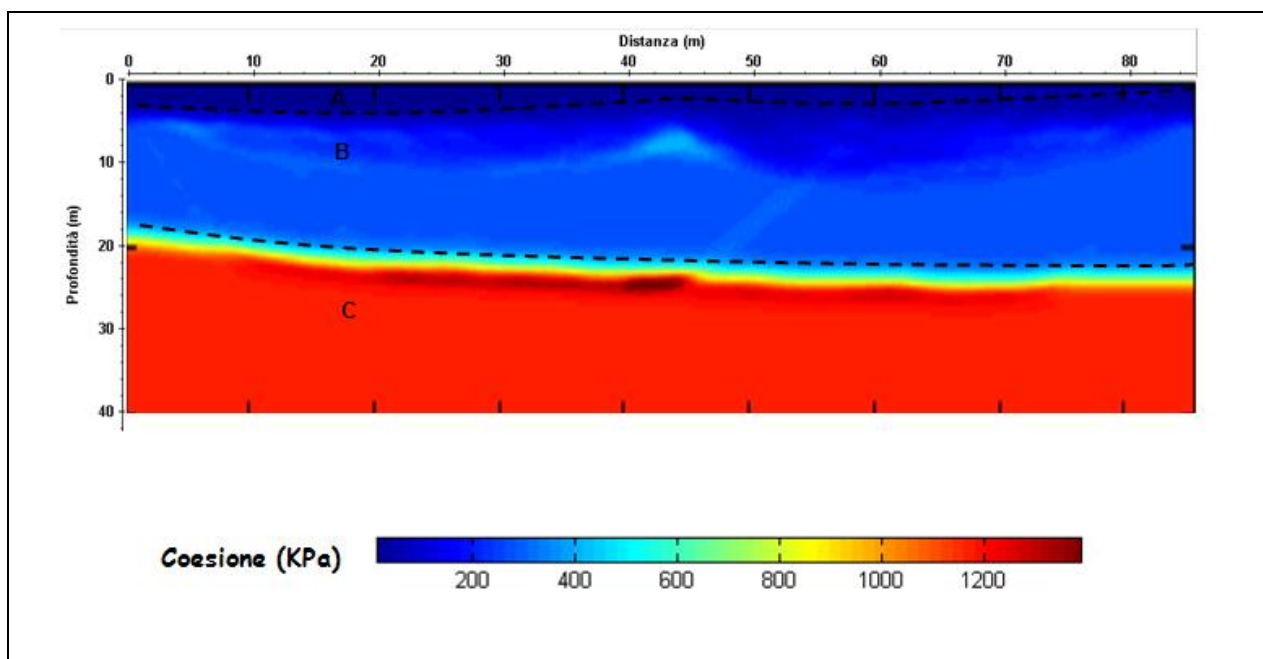


Fig. 17.M2: Modello di distribuzione della coesione a varie profondità.

Analizzando le Figg. 16.M2 e 17.M2 si ottiene la tabella riassuntiva 1.

Tab. 1: Riassunto dei risultati

strato	Densità (g/cm ³)	Coesione (KPa)
B	2.0	300
C	2.2	1000

E' inoltre possibile calcolare i valori del coefficiente di Poisson, del modulo di Young e del modulo di taglio (tab. successiva).

strato	σ	E (MPa)	G (MPa)	Lamè (MPa)	Taglio (MPa)
B	0.35	2847	1054	2459	3162
C	0.30	6297	2332	5438	6993

VINCOLO SISMICO

Considerando il caso in esame.

Il fattore di amplificazione sismica totale **Fa**, varrebbe quindi = **1.2 (Suscettibilità di amplificazione sismica)**, poiché associato a Vs maggiori di 800 m/s.

Considerando infine l'O. P. C. M. 3274/03, si evince che il territorio di San Giorgio Ionico (TA) è classificato come *zona sismica 4*, per cui il valore di accelerazione orizzontale massima al suolo da adottare, espresso come frazione dell'accelerazione di gravità g, è il seguente:

$$a_g \geq 0,05g$$

Il fattore di amplificazione litologica **S**, calcolato attraverso il metodo "**MICRO**" di Giulio Riga (2008) e riferito ai 30 metri di riferimento,

$$\ln(S) = [2.66 - 0.215 * \ln(V_s/1000) + 0.81], \text{ varrebbe invece } = 1.2$$

A questo valore, va sommato il fattore di amplificazione topografica ricavato per mezzo della seguente formula: **Ft = e^{(0.7 * tang(α))} = 2.7182^(0.7 * tang 0°) = 1.10**. Si consideri però solamente la parte decimale del risultato ottenuto:

$$S = 1.20 + 0.10 = 1.30$$

Il fattore di amplificazione sismica locale da considerare varrebbe quindi 1.30 (amplificazione sismica medio-alta).

Appare fondamentale, inoltre, stabilire l'accelerazione massima superficiale dell'area investigata, conoscendo, in principio, sia la categoria di sottosuolo che quella topografica, nonché i dati di macrozonazione.

Vs= maggiore di 800 m/s Categoria "A" (in relazione ai n.2 stendimenti sismici effettuati).

$$S=1.30$$

Ag bed-rock = 0.05 g (zona sismica 4)

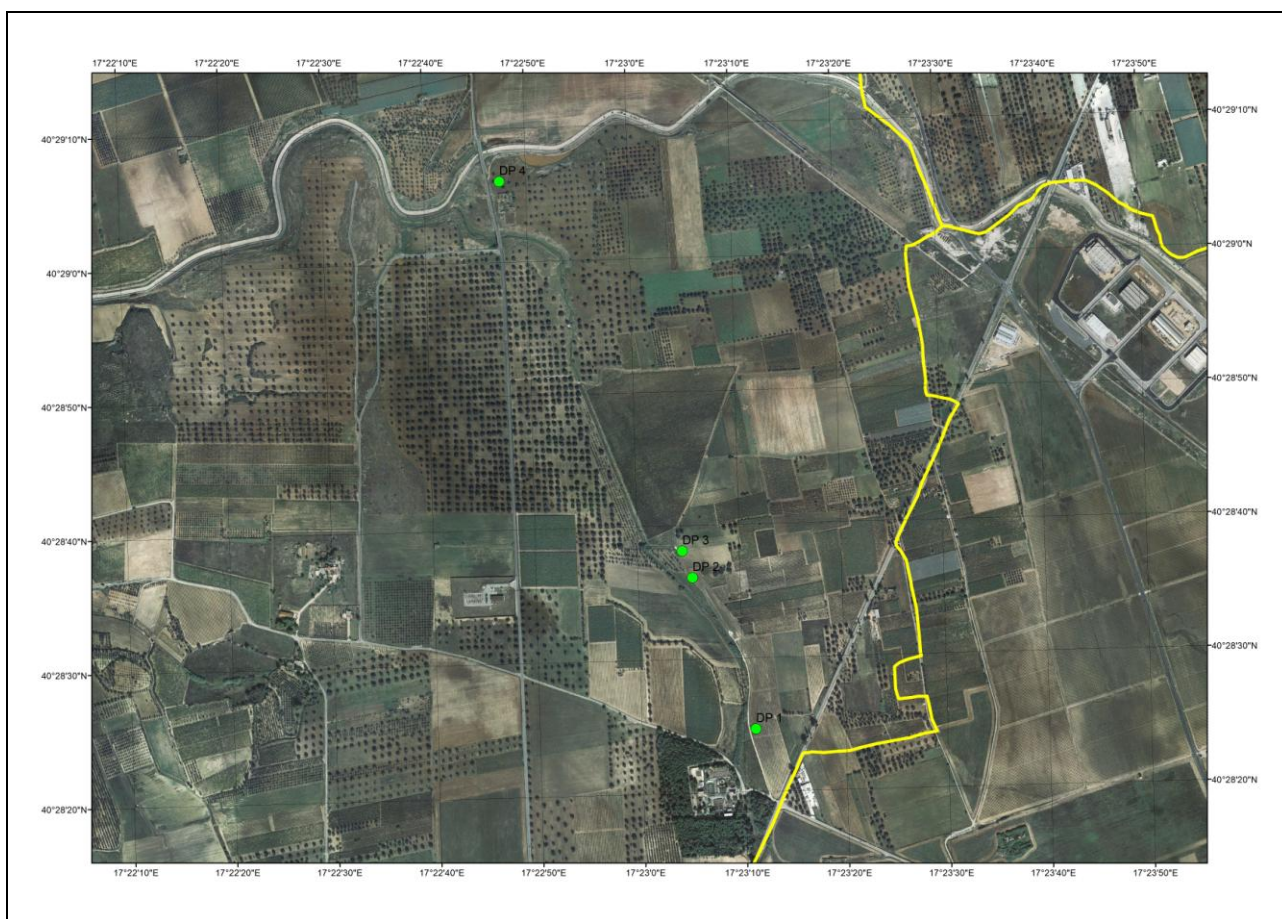
$$a_{max} = a_g * (S) = 0.05 * 1.30 = 0.065 g = 0.637 m/s^2$$

PENETROMETRICHE DINAMICHE

Sono state effettuate n. 4 prove Penetrometriche Dinamiche SPT, lungo lo sviluppo del canale (vedi cartografia ubicativa delle indagini), acquisite dalla Geoexploration srl.

I risultati ottenuti, le caratteristiche della strumentazione adottata e i risultati geotecnici ottenibili da correlazioni empiriche sono di seguito riportate in questo paragrafo.

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE EFFETTUATE



Committente: Geologo Gianfranco Moro
Cantiere: Canale Cicena
Località: Canale Cicena San Giorgio Ionico

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DL-30 (60°)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0.20 m
Peso sistema di battuta	11 Kg
Diametro punta conica	35.68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2.4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0.783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING) DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandese

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (δ / N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);
P = peso totale aste e sistema battuta.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media - s

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione $d = 1$ mt..

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$N_{spt} \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda) .

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argilloso-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.

- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONAL RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck 1948-1967

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981. Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u min-max.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.
- Schmertmann 1975 C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).

- Buissmann- Sanglerat, valida per argille compatte (Nspt <30) medie e molli (Nspt <4) e argille sabbiose (Nspt=6-12).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. >15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA DP 1

Strumento utilizzato DL-30 (60°)
Prova eseguita in data 29/11/2011
Profondità prova 4.80 mt
Quota 52.00 mt
Falda non rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.10	1	0.857	3.55	4.15	0.16	0.19
0.20	2	0.855	7.09	8.29	0.32	0.38
0.30	3	0.853	10.61	12.44	0.48	0.57
0.40	4	0.851	14.11	16.59	0.64	0.75
0.50	4	0.849	14.08	16.59	0.64	0.75
0.60	4	0.847	14.05	16.59	0.64	0.75
0.70	4	0.845	14.02	16.59	0.64	0.75
0.80	5	0.843	17.49	20.74	0.79	0.94
0.90	4	0.842	13.23	15.72	0.60	0.71
1.00	4	0.840	13.20	15.72	0.60	0.71
1.10	4	0.838	13.17	15.72	0.60	0.71
1.20	5	0.836	16.43	19.65	0.75	0.89
1.30	5	0.835	16.40	19.65	0.75	0.89
1.40	7	0.833	22.91	27.51	1.04	1.25
1.50	7	0.831	22.87	27.51	1.04	1.25
1.60	6	0.830	19.56	23.58	0.89	1.07
1.70	6	0.828	19.52	23.58	0.89	1.07
1.80	8	0.826	25.98	31.44	1.18	1.43
1.90	6	0.825	18.48	22.41	0.84	1.02
2.00	7	0.823	21.52	26.14	0.98	1.19
2.10	8	0.822	24.55	29.88	1.12	1.36
2.20	9	0.820	27.56	33.61	1.25	1.53
2.30	10	0.819	30.57	37.34	1.39	1.70
2.40	11	0.817	33.57	41.08	1.53	1.87
2.50	11	0.816	33.51	41.08	1.52	1.87
2.60	9	0.814	27.37	33.61	1.24	1.53
2.70	11	0.813	33.39	41.08	1.52	1.87
2.80	11	0.811	33.33	41.08	1.52	1.87
2.90	8	0.810	23.05	28.46	1.05	1.29
3.00	12	0.809	34.52	42.69	1.57	1.94
3.10	28	0.707	70.45	99.60	3.20	4.53
3.20	16	0.756	43.03	56.92	1.96	2.59
3.30	18	0.755	48.32	64.03	2.20	2.91
3.40	14	0.753	37.52	49.80	1.71	2.26
3.50	13	0.752	34.78	46.25	1.58	2.10
3.60	16	0.751	42.74	56.92	1.94	2.59
3.70	15	0.750	40.00	53.36	1.82	2.43
3.80	16	0.748	42.60	56.92	1.94	2.59
3.90	20	0.747	50.75	67.92	2.31	3.09
4.00	24	0.696	56.73	81.51	2.58	3.70
4.10	17	0.745	43.00	57.74	1.95	2.62
4.20	18	0.744	45.46	61.13	2.07	2.78
4.30	16	0.743	40.35	54.34	1.83	2.47
4.40	17	0.741	42.81	57.74	1.95	2.62
4.50	16	0.740	40.23	54.34	1.83	2.47
4.60	16	0.739	40.17	54.34	1.83	2.47
4.70	19	0.738	47.63	64.53	2.17	2.93
4.80	16	0.737	40.05	54.34	1.82	2.47

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP 1
TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - argilla	3.13	1.30	0.20	0.39	0.15	0.13	0.30	0.49	0.29	0.67	0.16	0.41	0.39
[2] - argilla limosa	5.39	2.10	0.34	0.67	0.25	0.22	0.53	0.80	0.49	0.84	0.27	0.70	0.67
[3] - limo argilloso	8	3.00	0.54	1.00	0.25	0.32	0.78	1.13	0.71	1.04	0.40	1.02	1.00
[4] - limo	13.7	4.80	0.93	1.71	0.50	0.54	1.35	1.82	1.19	1.51	0.69	1.74	1.71

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)	
[1] - argilla	3.13	1.30	Robertson (1983)	6.26
[2] - argilla limosa	5.39	2.10	Robertson (1983)	10.78
[3] - limo argilloso	8	3.00	Robertson (1983)	16.00
[4] - limo	13.7	4.80	Robertson (1983)	27.40

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - argilla	3.13	1.30	14.36	46.95	33.72	39.13
[2] - argilla limosa	5.39	2.10	24.73	80.85	56.77	67.38
[3] - limo argilloso	8	3.00	36.70	--	83.39	100.00
[4] - limo	13.7	4.80	62.86	--	141.52	137.00

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - argilla	3.13	1.30	15.60	31.30
[2] - argilla limosa	5.39	2.10	41.59	53.90
[3] - limo argilloso	8	3.00	71.60	80.00
[4] - limo	13.7	4.80	137.15	137.00

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - argilla	3.13	1.30	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] - argilla limosa	5.39	2.10	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[3] - limo argilloso	8	3.00	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[4] - limo	13.7	4.80	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - argilla	3.13	1.30	Meyerhof ed altri	1.64
[2] - argilla limosa	5.39	2.10	Meyerhof ed altri	1.78
[3] - limo argilloso	8	3.00	Meyerhof ed altri	1.90
[4] - limo	13.7	4.80	Meyerhof ed altri	2.05

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - argilla	3.13	1.30	Meyerhof ed altri	1.86
[2] - argilla limosa	5.39	2.10	Meyerhof ed altri	1.88
[3] - limo argilloso	8	3.00	Meyerhof ed altri	1.91
[4] - limo	13.7	4.80	Meyerhof ed altri	2.25

Velocità onde di taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - argilla	3.13	1.30		
[2] - argilla limosa	5.39	2.10		
[3] - limo argilloso	8	3.00		
[4] - limo	13.7	4.80		

PROVA DP. 2

Strumento utilizzato... DL-30 (60°)
 Prova eseguita in data 29/11/2011
 Profondità prova 4.80 mt
 Quota 50.00 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.10	1	0.857	3.55	4.15	0.16	0.19
0.20	5	0.855	17.72	20.74	0.81	0.94
0.30	6	0.853	21.22	24.88	0.96	1.13
0.40	5	0.851	17.64	20.74	0.80	0.94
0.50	4	0.849	14.08	16.59	0.64	0.75
0.60	4	0.847	14.05	16.59	0.64	0.75
0.70	4	0.845	14.02	16.59	0.64	0.75
0.80	5	0.843	17.49	20.74	0.79	0.94
0.90	5	0.842	16.54	19.65	0.75	0.89
1.00	8	0.840	26.40	31.44	1.20	1.43
1.10	5	0.838	16.47	19.65	0.75	0.89
1.20	4	0.836	13.15	15.72	0.60	0.71
1.30	6	0.835	19.68	23.58	0.89	1.07
1.40	6	0.833	19.64	23.58	0.89	1.07
1.50	7	0.831	22.87	27.51	1.04	1.25
1.60	8	0.830	26.08	31.44	1.19	1.43
1.70	8	0.828	26.03	31.44	1.18	1.43
1.80	10	0.826	32.48	39.30	1.48	1.79
1.90	7	0.825	21.56	26.14	0.98	1.19
2.00	9	0.823	27.67	33.61	1.26	1.53
2.10	11	0.822	33.75	41.08	1.53	1.87
2.20	10	0.820	30.63	37.34	1.39	1.70
2.30	8	0.819	24.46	29.88	1.11	1.36
2.40	8	0.817	24.41	29.88	1.11	1.36
2.50	7	0.816	21.32	26.14	0.97	1.19
2.60	8	0.814	24.33	29.88	1.11	1.36
2.70	10	0.813	30.35	37.34	1.38	1.70
2.80	11	0.811	33.33	41.08	1.52	1.87
2.90	7	0.810	20.17	24.90	0.92	1.13
3.00	8	0.809	23.01	28.46	1.05	1.29
3.10	10	0.807	28.72	35.57	1.31	1.62
3.20	11	0.806	31.54	39.13	1.43	1.78
3.30	11	0.805	31.49	39.13	1.43	1.78
3.40	9	0.803	25.72	32.02	1.17	1.46
3.50	8	0.802	22.83	28.46	1.04	1.29
3.60	12	0.801	34.19	42.69	1.55	1.94
3.70	17	0.750	45.33	60.47	2.06	2.75
3.80	15	0.748	39.94	53.36	1.82	2.43
3.90	17	0.747	43.14	57.74	1.96	2.62
4.00	24	0.696	56.73	81.51	2.58	3.70
4.10	21	0.695	49.56	71.32	2.25	3.24
4.20	21	0.694	49.47	71.32	2.25	3.24
4.30	23	0.693	54.10	78.11	2.46	3.55
4.40	24	0.691	56.36	81.51	2.56	3.70
4.50	24	0.690	56.27	81.51	2.56	3.70
4.60	23	0.689	53.84	78.11	2.45	3.55
4.70	22	0.688	51.42	74.72	2.34	3.40
4.80	21	0.687	49.00	71.32	2.23	3.24

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP. 2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - Argilla	3.91	1.50	0.24	0.49	0.15	0.16	0.38	0.60	0.36	0.73	0.20	0.52	0.49
[2] - Limo argilloso	7.01	3.50	0.44	0.88	0.25	0.28	0.69	0.99	0.63	0.96	0.35	0.79	0.88

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)	
[1] - Argilla	3.91	1.50	Robertson (1983)	7.82
[2] - Limo argilloso	7.01	3.50	Robertson (1983)	14.02

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Argilla	3.91	1.50	17.94	58.65	41.67	48.88
[2] - Limo argilloso	7.01	3.50	32.16	--	73.29	87.63

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Argilla	3.91	1.50	24.57	39.10
[2] - Limo argilloso	7.01	3.50	60.22	70.10

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Argilla	3.91	1.50	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] - Limo argilloso	7.01	3.50	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Argilla	3.91	1.50	Meyerhof ed altri	1.69
[2] - Limo argilloso	7.01	3.50	Meyerhof ed altri	1.86

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] - Argilla	3.91	1.50	Meyerhof ed altri	1.87
[2] - Limo argilloso	7.01	3.50	Meyerhof ed altri	1.90

Velocità onde di taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Argilla	3.91	1.50		
[2] - Limo argilloso	7.01	3.50		

PROVA DP. 3

Strumento utilizzato... DL-30 (60°)
 Prova eseguita in data 29/11/2011
 Profondità prova 4.80 mt
 Quota 50.00 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.10	1	0.857	3.55	4.15	0.16	0.19
0.20	4	0.855	14.18	16.59	0.64	0.75
0.30	5	0.853	17.68	20.74	0.80	0.94
0.40	4	0.851	14.11	16.59	0.64	0.75
0.50	4	0.849	14.08	16.59	0.64	0.75
0.60	4	0.847	14.05	16.59	0.64	0.75
0.70	5	0.845	17.53	20.74	0.80	0.94
0.80	5	0.843	17.49	20.74	0.79	0.94
0.90	7	0.842	23.15	27.51	1.05	1.25
1.00	9	0.840	29.70	35.37	1.35	1.61
1.10	8	0.838	26.35	31.44	1.20	1.43
1.20	6	0.836	19.72	23.58	0.90	1.07
1.30	5	0.835	16.40	19.65	0.75	0.89
1.40	6	0.833	19.64	23.58	0.89	1.07
1.50	6	0.831	19.60	23.58	0.89	1.07
1.60	8	0.830	26.08	31.44	1.19	1.43
1.70	9	0.828	29.28	35.37	1.33	1.61
1.80	7	0.826	22.73	27.51	1.03	1.25
1.90	7	0.825	21.56	26.14	0.98	1.19
2.00	6	0.823	18.44	22.41	0.84	1.02
2.10	11	0.822	33.75	41.08	1.53	1.87
2.20	9	0.820	27.56	33.61	1.25	1.53
2.30	11	0.819	33.63	41.08	1.53	1.87
2.40	11	0.817	33.57	41.08	1.53	1.87
2.50	9	0.816	27.42	33.61	1.25	1.53
2.60	8	0.814	24.33	29.88	1.11	1.36
2.70	7	0.813	21.25	26.14	0.97	1.19
2.80	7	0.811	21.21	26.14	0.96	1.19
2.90	8	0.810	23.05	28.46	1.05	1.29
3.00	8	0.809	23.01	28.46	1.05	1.29
3.10	10	0.807	28.72	35.57	1.31	1.62
3.20	11	0.806	31.54	39.13	1.43	1.78
3.30	9	0.805	25.76	32.02	1.17	1.46
3.40	9	0.803	25.72	32.02	1.17	1.46
3.50	8	0.802	22.83	28.46	1.04	1.29
3.60	11	0.801	31.34	39.13	1.42	1.78
3.70	12	0.800	34.13	42.69	1.55	1.94
3.80	16	0.748	42.60	56.92	1.94	2.59
3.90	16	0.747	40.60	54.34	1.85	2.47
4.00	14	0.746	35.47	47.55	1.61	2.16
4.10	16	0.745	40.47	54.34	1.84	2.47
4.20	17	0.744	42.94	57.74	1.95	2.62
4.30	22	0.693	51.75	74.72	2.35	3.40
4.40	23	0.691	54.01	78.11	2.46	3.55
4.50	25	0.690	58.61	84.91	2.66	3.86
4.60	21	0.689	49.16	71.32	2.23	3.24
4.70	22	0.688	51.42	74.72	2.34	3.40
4.80	24	0.687	56.01	81.51	2.55	3.70

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP. 3
TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - Argilla	3.13	0.80	0.20	0.39	0.15	0.13	0.30	0.50	0.29	0.67	0.16	0.47	0.39
[2] - Argilla limosa	5.48	2.00	0.34	0.69	0.25	0.22	0.53	0.82	0.49	0.84	0.27	0.72	0.69
[3] - Limo argilloso	7.1	3.50	0.44	0.89	0.25	0.29	0.69	0.99	0.64	0.97	0.36	0.80	0.89
[4] - Limo	14.39	4.80	0.97	1.80	0.50	0.57	1.42	1.89	1.25	1.57	0.72	1.86	1.80

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)	
[1] - Argilla	3.13	0.80	Robertson (1983)	6.26
[2] - Argilla limosa	5.48	2.00	Robertson (1983)	10.96
[3] - Limo argilloso	7.1	3.50	Robertson (1983)	14.20
[4] - Limo	14.39	4.80	Robertson (1983)	28.78

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Argilla	3.13	0.80	14.36	46.95	33.72	39.13
[2] - Argilla limosa	5.48	2.00	25.14	82.20	57.69	68.50
[3] - Limo argilloso	7.1	3.50	32.58	--	74.21	88.75
[4] - Limo	14.39	4.80	66.02	--	148.56	143.90

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Argilla	3.13	0.80	15.60	31.30
[2] - Argilla limosa	5.48	2.00	42.62	54.80
[3] - Limo argilloso	7.1	3.50	61.25	71.00
[4] - Limo	14.39	4.80	145.09	143.90

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Argilla	3.13	0.80	Classificaz. A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] - Argilla limosa	5.48	2.00	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[3] - Limo argilloso	7.1	3.50	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[4] - Limo	14.39	4.80	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] - Argilla	3.13	0.80	Meyerhof ed altri	1.64
[2] - Argilla limosa	5.48	2.00	Meyerhof ed altri	1.79
[3] - Limo argilloso	7.1	3.50	Meyerhof ed altri	1.86
[4] - Limo	14.39	4.80	Meyerhof ed altri	2.06

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[1] - Argilla	3.13	0.80	Meyerhof ed altri	1.86
[2] - Argilla limosa	5.48	2.00	Meyerhof ed altri	1.88
[3] - Limo argilloso	7.1	3.50	Meyerhof ed altri	1.90
[4] - Limo	14.39	4.80	Meyerhof ed altri	2.27

Velocità onde di taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Argilla	3.13	0.80		
[2] - Argilla limosa	5.48	2.00		
[3] - Limo argilloso	7.1	3.50		
[4] - Limo	14.39	4.80		

PROVA DP 4

Strumento utilizzato... DL-30 (60°)
 Prova eseguita in data 29/11/2011
 Profondità prova .50 mt
 Quota 46.00 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.10	2	0.857	7.11	8.29	0.32	0.38
0.20	15	0.805	50.06	62.21	2.28	2.83
0.30	13	0.803	43.28	53.92	1.97	2.45
0.40	100	0.651	269.91	414.75	12.27	18.85
0.50	100	0.649	269.12	414.75	12.23	18.85

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DP 4
 TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] - Limo	10.96	0.30	0.74	1.37	0.50	0.44	1.08	1.74	0.97	1.28	0.55	1.91	1.37

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)	
[1] - Limo	10.96	0.30	Robertson (1983)	21.92

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Limo	10.96	0.30	50.28	--	113.58	109.60

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Limo	10.96	0.30	105.64	109.60

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Limo	10.96	0.30	Classificaz. A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[1] - Limo	10.96	0.30	Meyerhof ed altri	1.99

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[1] - Limo	10.96	0.30	Meyerhof ed altri	2.19

Velocità onde di taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Limo	10.96	0.30		0

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	96.93	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanes e National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3	49.37	42.37	49.92	37.42	40.96	42	>38	49.27	50.49	56.75	54.57

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3	631.61	626.40	924.64	767.25	466.50

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3	469.80	188.30	555.93	387.22

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m³)
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3	Meyerhof ed altri	2.50

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m³)
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3	Terzaghi-Peck 1948- 1967	2.50

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3	(A.G.I.)	0.19

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3	3917.86	1794.73

Velocità onde di taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3	Ohta & Goto (1978) Limi	121.88

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[2] - Calcareniti	78.3	0.50	78.3		---

In allegato al presente rapporto vi sono anche le stratigrafie esemplificative delle prove SPT effettuate.

ACQUISIZIONI BIDIMENSIONALI GEORADAR

Sono stati acquisiti profili georadar al fine di acquisire dati utili alla caratterizzazione delle litologie massive, all'individuazione e dimensionamento di eventuali aree di debolezza riscontrabili, laddove l'acquisizione lo permetta, stimandone le dimensioni e la tipologia. Tali profili sono stati concentrati laddove affiorava ammasso roccioso, in quanto tale tipo di tecnologia fornisce informazioni empiriche circa le caratteristiche di RQD degli ammassi rocciosi.

Sono stati acquisiti 250 ml su litologia massiva, concentrate in area riportata in planimetria ubicativa (Fig. 4) effettuate acquisizioni consecutive.

La tecnologia utilizzata per tali indagini consiste in un georadar (G.P.R.).

Il radar geologico utilizza la riflessione delle onde elettromagnetiche per l'esplorazione degli strati superficiali del sottosuolo; in funzione delle caratteristiche elettromagnetiche del mezzo, l'impulso si propaga per essere parzialmente riflesso in corrispondenza di interfacce di separazione tra due mezzi aventi differenti comportamenti. Un antenna emittente manda nel sottosuolo impulsi di energia elettromagnetica di brevissima durata. Le onde riflesse sono captate tramite una antenna ricevente, amplificate, elaborate e trasformate in corrente elettrica trasferite ad un monitor che permette la visualizzazione delle litologie attraversate dagli impulsi elettromagnetici.

Nella redazione di tale indagine georadar si sono seguite:

- le norme guida indicate dalla ASTM 2002 e successive modifiche ed integrazioni redatte dall' American Society for Testing Materials "Standard D6432-99 Standard Guide for Using the surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation";
- norma di riferimento CEI 306 – 8/2004 "Impiego del radar per introspezione del suolo per prospezioni preliminari ad opere di posa di servizi ed infrastrutture sotterranee".

L'elaborazione consiste nel leggere le modalità di propagazione e di riflessione delle onde elettromagnetiche registrate, che variano di intensità e/o ampiezza in funzione delle proprietà dielettriche e delle caratteristiche di conduzione elettrica delle litologie attraversate.

L'interpretazione e l'apprezzamento di comportamenti elettromagnetici differenti all'interno di una sezione di acquisizione permette di individuare aree in cui le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso litoide subiscono apprezzabili variazioni.

Per il rilievo georadar è stata utilizzata antenna emittente/ricevente:

- antenna a 270 Mhz per l'indagine ottimale dello strato superficiale, fino ad una profondità ottimale di acquisizione di 6 metri dal p.c. .

Vengono quindi di seguito illustrati i risultati ottenuti dal rilevamento con georadar che consistono:

1- relazione particolareggiata sulle strutture e sulle variazioni geomeccaniche, stratigrafiche e morfologiche;

2- elaborati grafici e restituzione strumentale di sezioni dell'area in oggetto rilevate.

Tutti i valori di profondità delle anomalie rilevate si intendono al top della struttura.

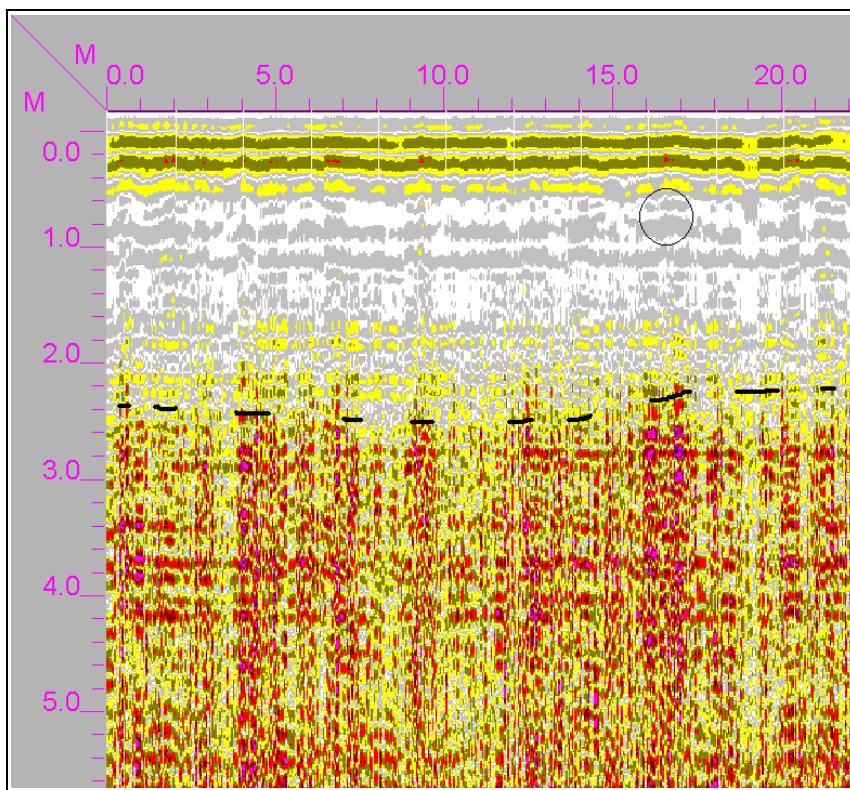
Le misure fornite hanno una tolleranza di 35 cm.

RAPPRESENTAZIONE DELLE SEZIONI BIDIMENSIONALI ACQUISITE

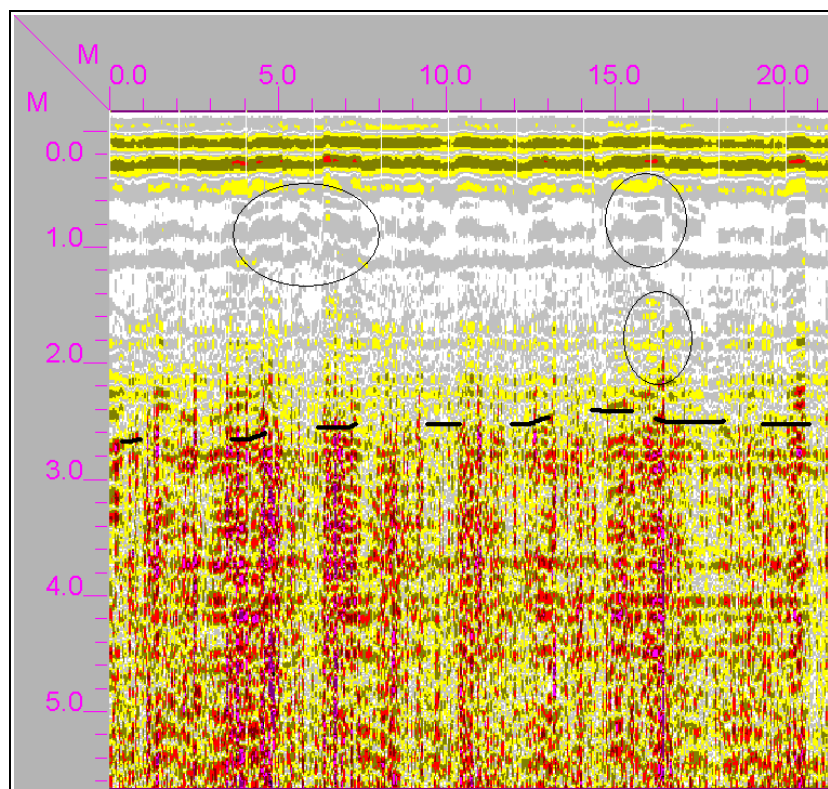
Buona risposta elettromagnetica interpretabile nelle sezioni acquisite che registrano aree ad anomalia elettromagnetica difforme diffuse, ma di dimensioni modeste nel complesso. Ad eccezione di n. 3 aree dove l'ampiezza delle anomalie risulta più ampia sia in larghezza che in profondità (aree cerchiare nelle rappresentazioni bidimensionali successive).

La maggior parte delle anomalie sono concentrate nei primi 2 – 3 m di profondità, raramente tali anomalie si diffondono al di sotto della superficie di stratificazione interpretabile, individuabile a contatto tra litologie aventi differenti caratteristiche elettromagnetiche (tratteggio riportato).

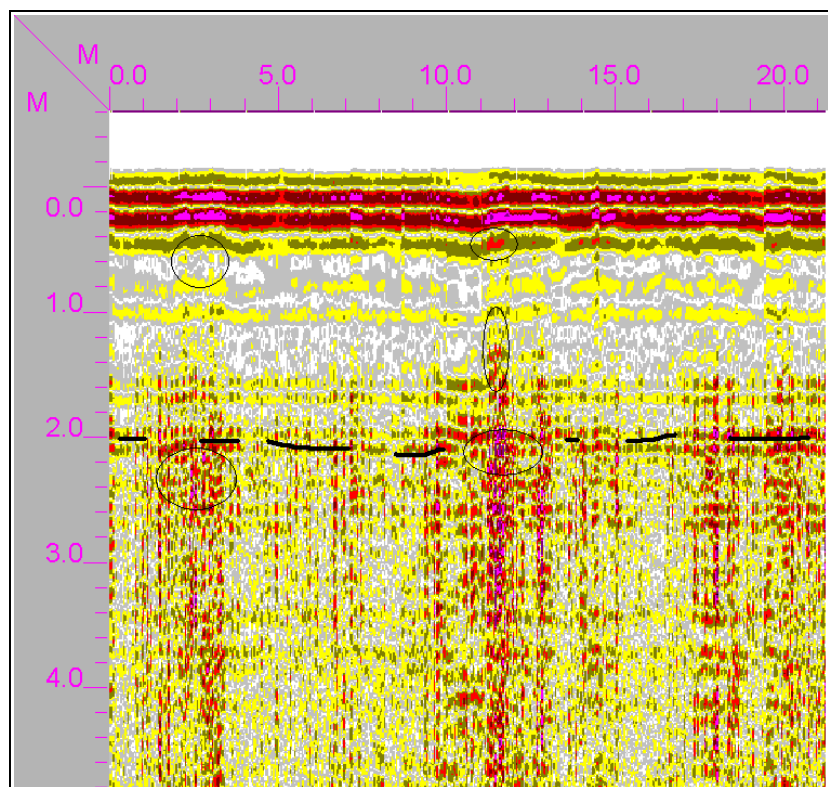
La superficie di stratificazione presenta un andamento a plande pieghe, mantenendosi in una profondità compresa tra 2 e 3 metri.



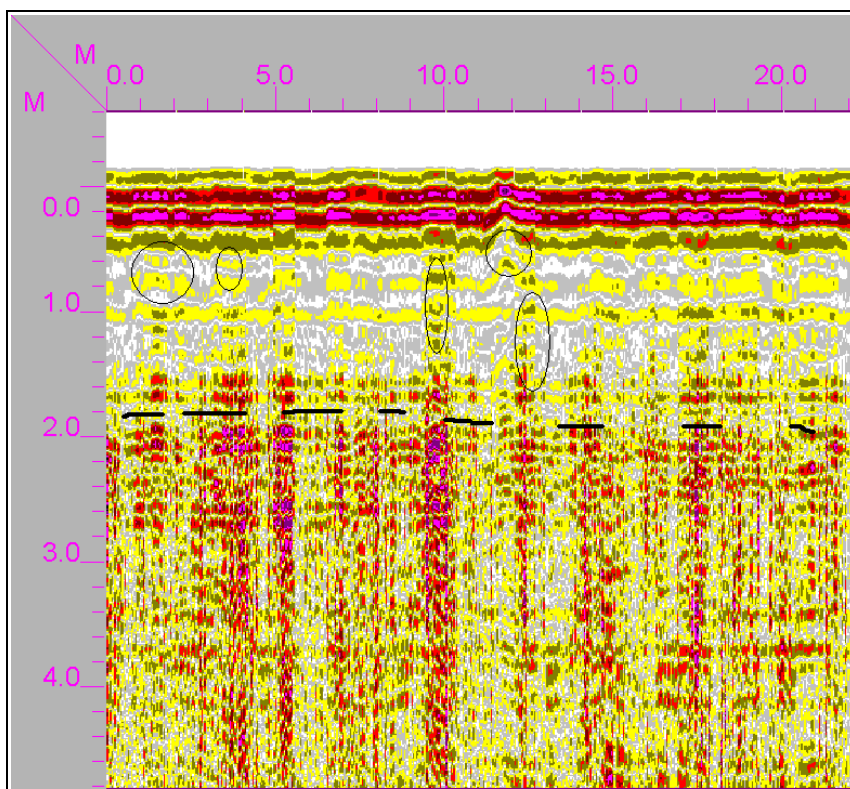
SEZIONE 1



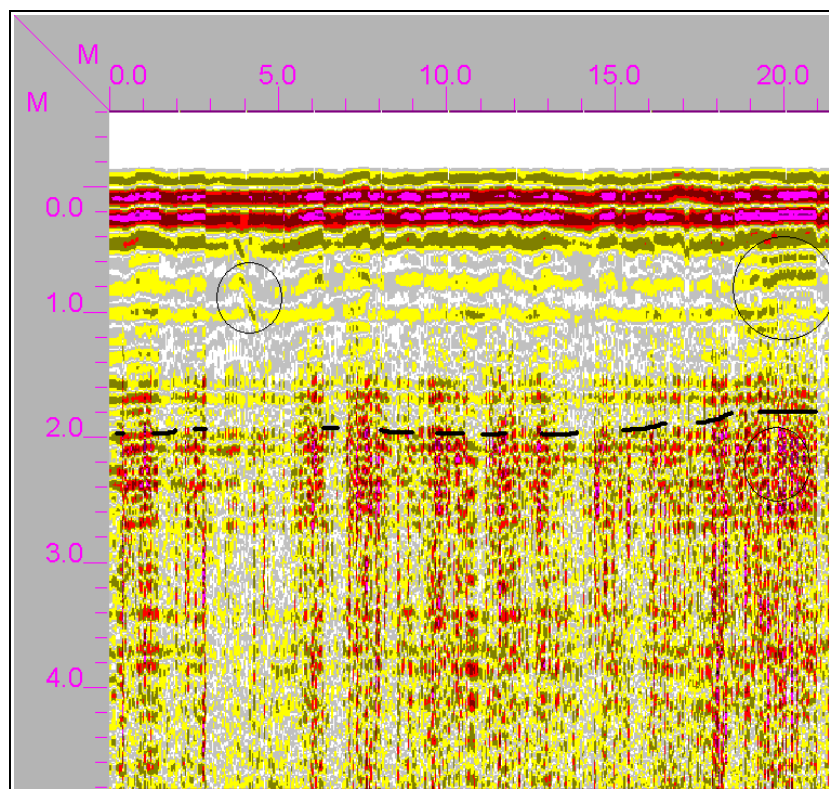
SEZIONE 2



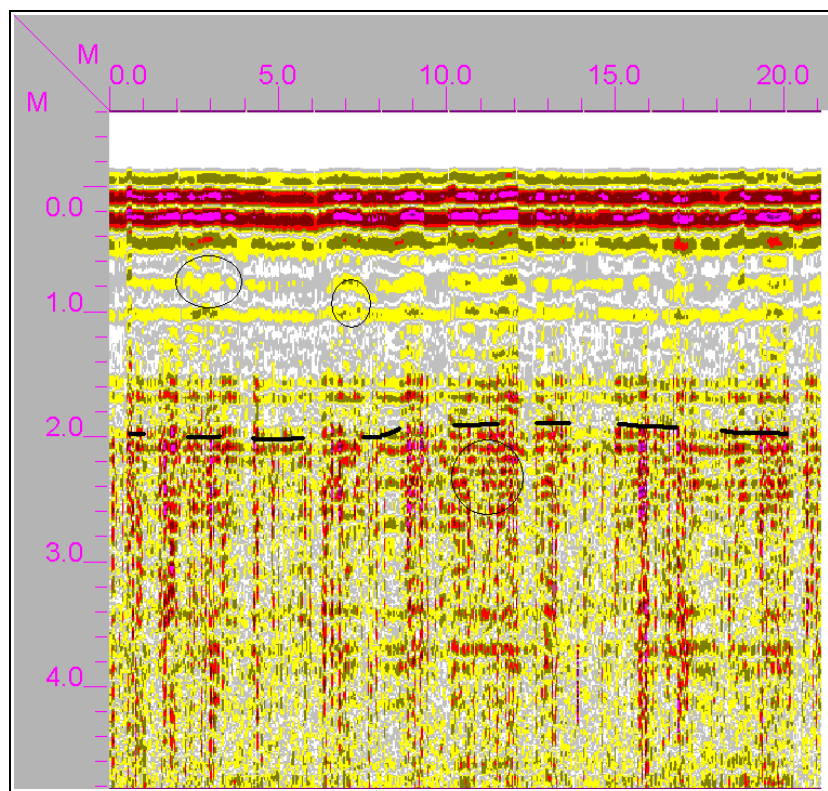
SEZIONE 3



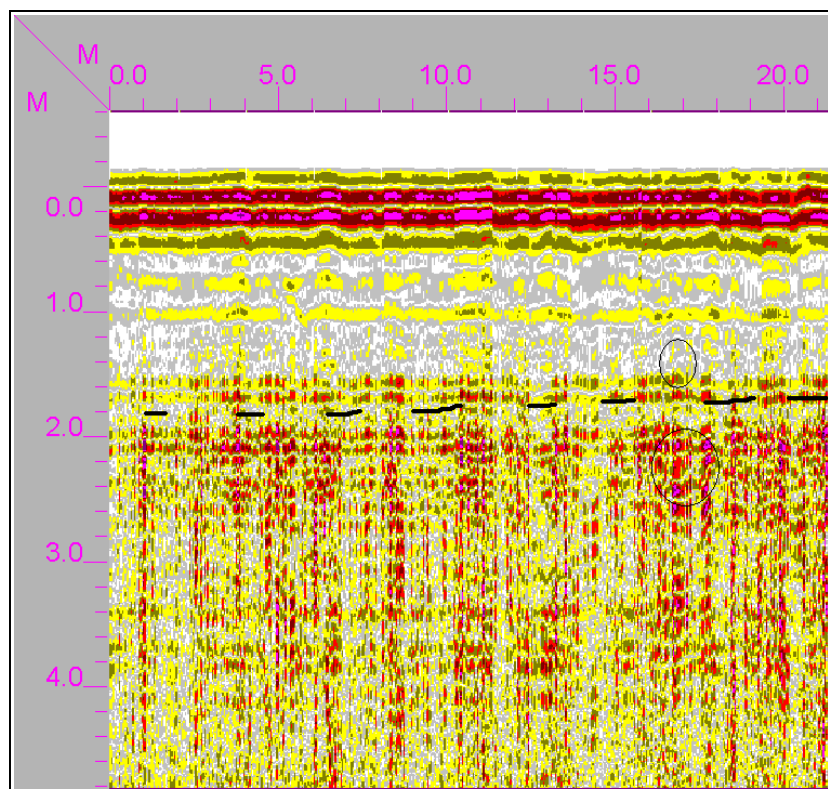
SEZIONE 4



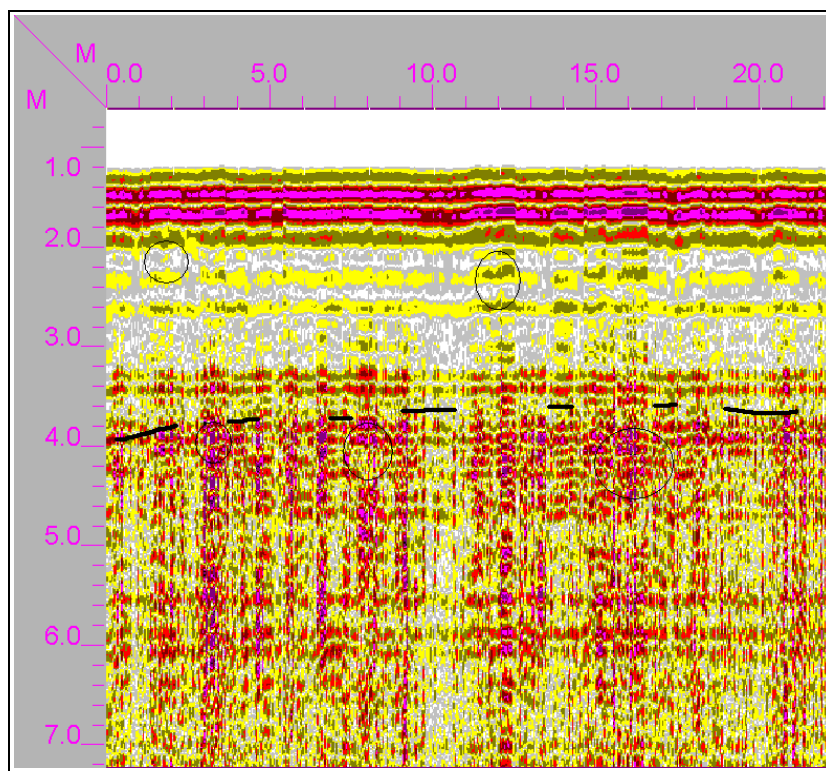
SEZIONE 5



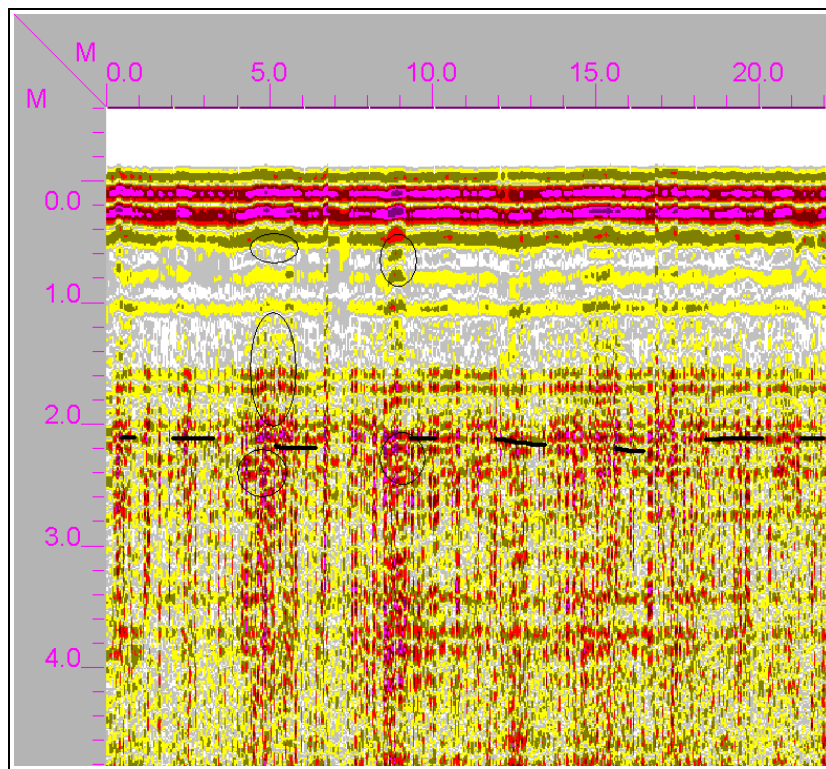
SEZIONE 6



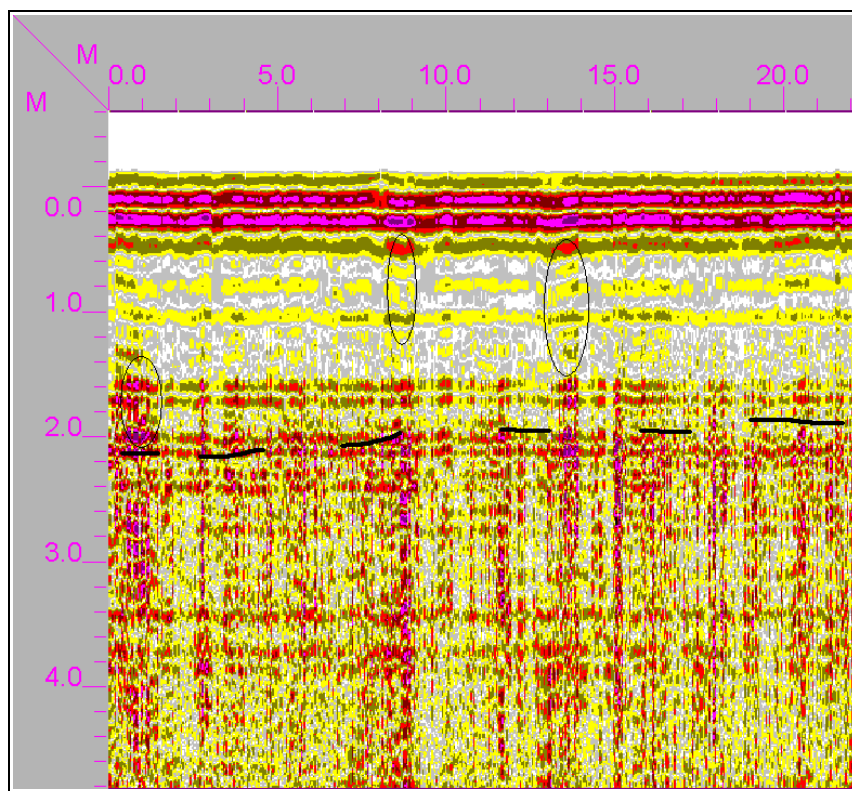
SEZIONE 7



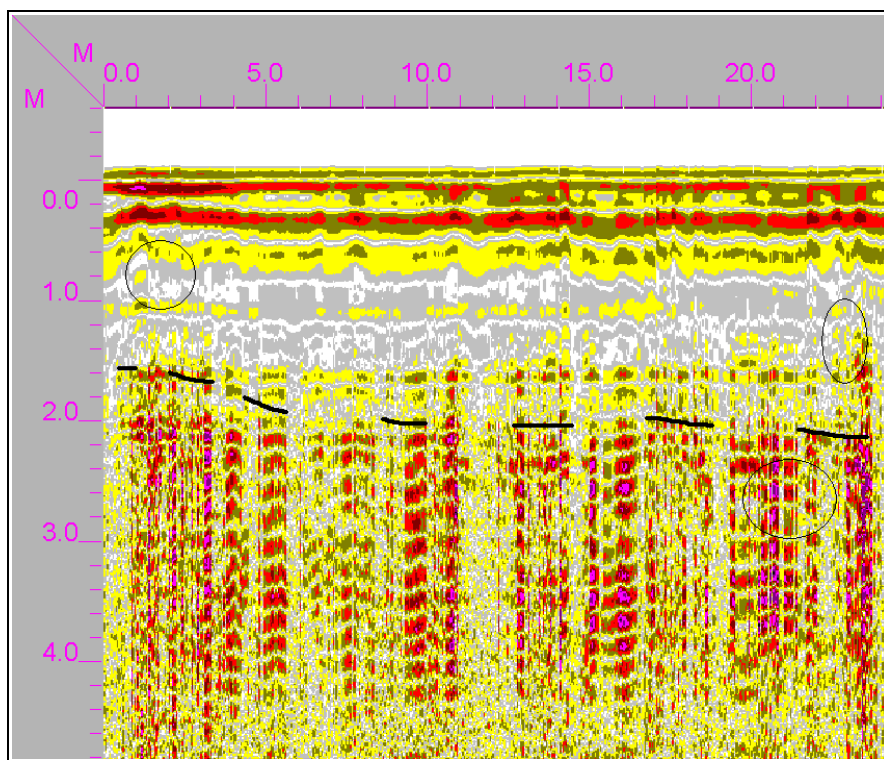
SEZIONE 8



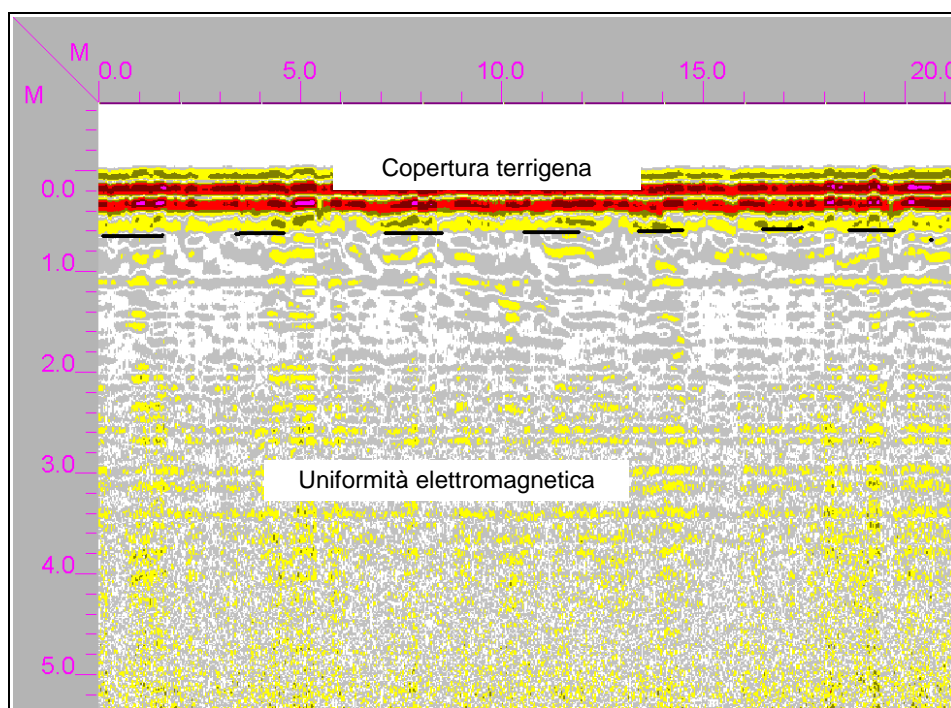
SEZIONE 9



SEZIONE 10



SEZIONE 11



SEZIONE 12

L'indagine geognostica non distruttiva effettuata, ha permesso di riscontrare alcune aree ben delimitate e localizzate che forniscono una differente risposta elettromagnetica (riportate nelle sezioni), definibili come anomalie elettromagnetiche. Esse sono presenti nelle acquisizioni, in particolare, diffuse nei primi due metri dal p.c..

Si tratta di aree a diffusa anomalia elettromagnetica riconducibile a fenomeni carsogenetici.

E' interpretabile una condizione di fratturazione più diffusa ad una profondità compresa tra 0 e 2 m dal p.c., spessore entro il quale si concentrano le modeste aree carsogenetiche individuate.

Si è apprezzata, nel complesso una successione stratigrafica così rappresentabile:

- Aree ad anomalia elettromagnetica diffuse, ma sempre definite e di ampiezza stimabile inferiore al metro; dalle acquisizioni ottenute è

interpretabile, nel complesso, lo sviluppo stratigrafico di ammasso roccioso calcarenitico definibile fratturato con coefficiente RQD stimabile a valori compresi tra 60 e 75 %.

PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

Riassumendo sinteticamente, le indagini geognostiche dirette ed indirette effettuate hanno permesso di ricavare la successione stratigrafica costituita da n. 2 orizzonti litologici:

- litologia a componente sabbioso - limoso debolmente argilloso a spessore fino ai 7,5 m dal p.c. in prossimità al sondaggio effettuato, che si riduce di spessore man mano che ci si sposta nella direzione della confluenza, posta a nord, seguendo il naturale percorso del canale;
- litologia calcarenitica nel complesso a coesione variabile con valori di RQD compresi tra il 60 -75% impostata ai 7,5 m in prossimità del sondaggio e progressivamente posta a minore profondità man mano che ci si sposta a nord, fino ad affiorare direttamente, presentandosi priva di copertura superficiale.

PARAMETRI GEOTECNICI RIFERIBILI ALLO STRATO N.1 - *SABBIA LIMOSA FRAMMISTA A COPERTURA TERRIGENA*

Durante il sondaggio S1 è stato possibile effettuare all'interno delle sabbie limose a compattezza variabile una prova SPT a 3,5 m con valori di 8-10-12. Relazionando il comportamento geomeccanico dello spessore litologico in questione rilevato direttamente, mediante misurazione dei N_{spt} da utilizzare, ovvero 10 colpi (numero colpi necessari all'avanzamento) si posso empiricamente calcolare i parametri geotecnici dei litostrati individuati utilizzando formule di ormai acclarata efficacia e riconosciute dal mondo accademico e riportate in numerosi tomi, **che saranno confortate dai risultati di laboratorio effettuati sul campione prelevato ad una quota di 5,0 m dal p.c..**

Per la definizione dei parametri utilizzeremo quanto riportato in:

- "Ingegneria Geotecnica e Geologia Applicata di Faustino Cetraro EPC Libri"
- "Elementi di Geotecnica" P. Colombo – F. Colleselli; Ed. Zanichelli;
- "Calcolo delle Fondazioni" A. Ardolino –Dario Flaccovio Editore.

Una metodologia utilizzata in sabbie, sabbie limose per la definizione dell'**Angolo di Attrito φ** poste ad una profondità compresa tra 3,5 m e 9,0 m è il Metodo Diretto ROAD BRIDGE SPECIFICATION che relaziona i parametri $N_{spt} - \varphi$ mediante la seguente relazione:

$$\varphi = 15 + \sqrt{15 \cdot N_{spt}} \quad *$$

* "Ingegneria Geotecnica e Geologia Applicata di Faustino Cetraro EPC Libri"

dove N_{spt} rappresenta il numero di colpi medio nello strato considerato che ottiene per le sabbie limose moderatamente consistenti, valore dell'angolo d'attrito di

$$\varphi = 17^\circ$$

Per la definizione del **Modulo di Deformazione o Modulo di Young E** si è utilizzato il Metodo di SCHMERTMANN che si basa sull'utilizzazione di un coefficiente B legato alla litologia dei terreni, per la sabbia media è di 6.

La formula è la seguente:

$$E = 2 \cdot B \cdot N_{spt} = \text{kg/cm}^2$$

* "Ingegneria Geotecnica e Geologia Applicata di Faustino Cetraro EPC Libri"

per sabbie limose moderatamente consistenti, valore del Modulo di Deformazione è

$$E = 120 \text{ kg/cm}^2$$

Per la definizione del **Modulo di Edometrico M** si è utilizzato il Metodo di MENZENBACH E MALCEV che si basa sull'utilizzazione della seguente formula per le sabbie medie

La formula è la seguente:

$$M = 38 + 4,46 \cdot N_{spt} = \text{kg/cm}^2$$

* "Ingegneria Geotecnica e Geologia Applicata di Faustino Cetraro EPC Libri"

per sabbie limose moderatamente consistenti, valore del Modulo di Deformazione è

$$M = 83 \text{ kg/cm}^2$$

Il comportamento geomeccanico delle litologie sabbiose limose individuate, in funzione delle SPT effettuate, ha permesso di ottenere un quadro approssimativo generale delle caratteristiche geomeccaniche del litostrato rilevato, confortati dai valori geotecnici empirici che si ottengono applicando metodologie ormai acquisite.

- litologia sabbioso - limosa. I valori di NSPT riscontrati riportano in media 10 colpi. Si tratta di valori di resistenza alla penetrazione che permettono di parametrizzare la **litologia sabbioso – limosa "dura - plastica"** e permette di ottenere delle caratteristiche geotecniche empiriche di riferimento.

CONSISTENZA	N _{SPT} (colpi per piede)	q _c (Kg/cm ²)	I _c	C _u (bar)
MOLTO MOLLE	<2	<0.25	0	<0.1
MOLLE	2-4	0.25-0.5	0-0.25	0.1-0.25
PLASTICO	4-8	0.5-1	0.25-0.5	0.25-0.5
DURO	8-15	1-2	0.5-0.75	0.5-1
MOLTO DURO	15-30	2-4	0.75-1	1-2
DURISSIMO	>30	>4	>1	>2

Tabella – Relazione indicativa tra numero di colpi, resistenza alla compressione semplice, indice di consistenza e coesione non drenata in terreni coesivi.

Confermato da analisi di laboratorio allegate utilizzabili i seguenti parametri geotecnici di riferimento.

angolo di attrito $\varphi = 15 - 21^\circ$;
 Indice dei vuoti "e" = 0,4 – 0,8;
 angolo di attrito all'interfaccia terreno calcestruzzo = 12 - 15°;
 Coesione C = valori compresi tra 0 - 0,2 kg/cm²;
 Coefficiente di spinta a riposo "K₀" = valori tra 0,6 e 1;
 Peso per unità di volume $\gamma_n = 1,5 - 1,9$ g/cm³;
 Modulo Elastico "E" = 100 – 200 Kg/cm²;
 Modulo di Poisson = 0,35.

PARAMETRI GEOTECNICI RIFERIBILI ALLO STRATO N.2 AMMASSO ROCCIOSO -
CALCARENITE COESA CON FATTORE RQD COMPRESO TRA 60 E 75%.

angolo di attrito $\varphi = 25 - 35^\circ$;
Indice dei vuoti "e" = 0,6 – 0,8;
Peso per unità di volume $\gamma_n = 1,5 - 2,0 \text{ g/cm}^3$;
Modulo Elastico "E" = 600 – 1200 Kg/cm²;
Modulo di Poisson = 0,30;
Coefficiente RQD = 60 – 75%.

Mentre per quanto riguarda la parametrizzazione sismica della litologia, il valore di Vs30, misurato sperimentalmente, con indagine MASW ampiamente descritta precedentemente, impone l'attribuzione del suolo di fondazione, alla **CATEGORIA "A" (Ammassi rocciosi o terreni molto rigidi).**

CONCLUSIONI

Relativamente all'aspetto stratigrafico e geotecnico si è accertata l'esistenza di livelli sabbiosi limosi frammisti a copertura terrigena, posti su depositi calcarenitici sabbioso a consistenza variabile.

E' interpretata una giacitura e una distribuzione litologica eteropica laterale variabile negli spessori con variazioni dovute al naturale processo sedimentario plicativo e alterativo, che comporta variazioni litologico-meccaniche da luogo a luogo, in particolare tali variazioni eteropiche riguarda i termini limoso sabbiosi e i termini argilloso limosi.

In relazione a quanto sopra esposto e ai risultati acquisiti dalle indagini si può concludere che l'indagine MASW effettuata ha permesso di confortare quanto rilevato dall'indagine georadar e permettendo di **definire l'area di classe sismica A**.

A seguito delle indagini sismiche così effettuate, è possibile definire quanto segue:

Il fattore di amplificazione sismica locale da considerare è pari a 1.20 (susceptibilità sismica bassa).

Considerando il caso in esame il fattore di amplificazione sismica totale **Fa**, varrebbe quindi = **1.2 (Susceptibilità di amplificazione sismica)**, poiché associato a Vs maggiore di 800 m/s. Considerando infine l'O. P. C. M. 3274/03, si evince che il territorio di S. Giorgio Ionico è classificato come *zona sismica 4*, per cui il valore di accelerazione orizzontale massima al suolo da adottare, espresso come frazione dell'accelerazione di gravità g, è il seguente:

$$a_g \geq 0,05g$$

Ft (categoria topografica)=1.1

S (fattore dipendente dalla categoria di sottosuolo)= 1.20

ag bed-rock = 0.05 g (zona sismica 4)

$$a_{max} = ag * (S) = 0.05 * 1.30 = 0.065 g = 0.637 m/s^2$$

L'indagine SPT ha ampiamente parametrizzato l'orizzonte litostratigrafico posto al di sopra della litologia calcarenitica.

Nell'area non si rilevano aspetti negativi o impedimenti tali da non poter effettuare quanto previsto.

Esaminate la natura e le caratteristiche geo-litologiche dell'area d'intervento, **si ritiene che questa possieda tutti i necessari REQUISITI DI IDONEITÀ, da un punto di vista geologico-tecnico, ad accogliere le opere in progetto.**

In ogni caso per la realizzazione di quanto in oggetto si richiamano tutte le norme di buona tecnica tali da evitare, nelle diverse condizioni, effetti negativi sullo stato dei luoghi e delle opere.

A seconda delle esigenze della Committenza verranno fornite documentazioni integrative a quelle attuali, compreso anche eventuali ulteriori accertamenti sul terreno e/o assistenza tecnica durante la messa in opera.

Martina Franca 02-12-2011

IL TECNICO
Geologo Gianfranco Moro

Questo rapporto professionale è stato stampato su entrambi i lati. Ciò comporta una riduzione significativa del consumo di carta a fronte di una limitata scomodità nella consultazione.