

**INTERVENTO TURISTICO RICETTIVO  
COMPLESSO ALBERGHIERO –  
RESIDENZIALE  
LOCALITÀ VENERE AZZURRA DI  
LERICI (SP)**



**PUO - Piano Urbanistico Operativo  
ex L.R. n° 36/97 (e s.m.)**

**RELAZIONE  
GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA e GEOTECNICA  
(Integrazione L.R. n° 29 – 21 Luglio 1983 –  
Costruzioni in zone sismiche)**

---

Dott. Geol. Paolo PETRI ORGL n° 94

---

## SOMMARIO

<b>1 PREMESSA.....</b>	<b>5</b>
<b>2 RISPETTO DELLA NORMATIVA VIGENTE.....</b>	<b>5</b>
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>5</b>
<b>4 UBICAZIONE DELL'AREA.....</b>	<b>6</b>
<b>5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO PARTICOLAREGGIATO .....</b>	<b>8</b>
5.1 INQUADRAMENTO TETTONICO GENERALE .....	8
5.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	9
5.3 STABILITÀ DELL'AREA.....	11
<b>6 INDAGINI DI DETTAGLIO.....</b>	<b>12</b>
6.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA DELL'AREA .....	12
6.2 IDROGEOLOGIA DELL'AREA.....	12
<b>7 INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>15</b>
7.1 CAMPAGNE GEOGNOSTICHE 1999-2000 .....	15
7.2 CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2003.....	18
7.3 MODALITÀ ESECUTIVE DEL SONDAGGIO.....	20
7.4 CAMPIONAMENTO.....	20
7.5 PROVA S.P.T.....	21
7.6 INDAGINI GEOFISICHE .....	22
7.7 INDAGINE MEDIANTE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P E SH.....	22
7.7.1 <i>Procedure di campagna</i> .....	23
7.7.2 <i>Metodo di elaborazione dei dati</i> .....	23
7.7.3 <i>Analisi dei risultati</i> .....	24
7.7.4 <i>Parametri elastico-dinamici dei terreni</i> .....	25
7.8 INDAGINE MEDIANTE SISMICA DOWN-HOLE .....	28
7.8.1 <i>Correlazione tra velocità delle onde sismiche, parametri elastici e geomeccanici</i> .....	28
7.8.2 <i>Procedure di campagna</i> .....	29
7.8.3 <i>Metodo di elaborazione dati</i> .....	30
7.8.4 <i>Analisi dei risultati</i> .....	40
Sondaggio S9 .....	40
Sondaggio S13 .....	40
<b>8 ANALISI ED INTERPRETAZIONE DEI DATI.....</b>	<b>40</b>
8.1 CARTA DELLE ISOPACHE .....	42
8.2 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLA COLTRE DETRITICA.....	44
8.3 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEL SUBSTRATO ROCCIOSO .....	48
8.3.1 <i>Analisi di rottura: applicazione del metodo di Hoek &amp; Brown</i> .....	48
Classificazione di Hoek & Brown .....	48
<b>9 SEZIONI GEOLOGICO - STRATIGRAFICHE ED ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI.....</b>	<b>51</b>
9.1 CONDIZIONI DI STABILITÀ .....	55
9.1.1 <i>Assunzioni tecniche per la definizione delle condizioni di analisi di stabilità.</i> .....	55
<b>10 ZONIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA (ART. 3 L.R. 21 LUGLIO 1983 N° 29) .....</b>	<b>58</b>
10.1 COMPARAZIONE METODI DI CALCOLO Vs30 .....	59
<b>11 CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO TECNICO .....</b>	<b>66</b>
11.1 PRESCRIZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO E GEOLOGICO TECNICO DA OSSERVARE.....	67

**RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....69**

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1 - tavola di ubicazione dell'area .....	7
Figura 2 – Panoramica dell'area .....	8
Figura 3- Carta Geolitologica .....	10
Figura 4 - Carta Geomorfologia.....	10
Figura 6 – Carta delle isofreatiche .....	14
Figura 7 - Carta della Stabilità e Suscettività d'uso in scala 1:5.000.....	11
Figura 8 – Carta di ubicazione delle indagini in situ .....	19
Figura 9– Schema del sistema d'acquisizione .....	30
Figura 10 – Spessore della coltre detritica .....	41
Figura 11 - Caratteristiche generali dell'ammasso roccioso (substrato).....	41
Figura 12 - Carta delle isopache .....	43
Figura 13 a - analisi di rottura dei materiali secondo il metodo di Hoek & Brown.....	50
Figura 14 a- – verifiche di stabilità eseguite sulla sezione n° 1 .....	52
Figura 15 – verifiche di stabilità eseguite sulla sezione n° 3 .....	57

## ELENCO DELLE TABELLE

Tabella I - misure piezometriche eseguite nel mese di Novembre 2003.....	13
Tabella II – definizione delle caratteristiche di stabilità .....	11
Tabella III - indagine condotta nel Dicembre 1999 .....	17
Tabella IV - indagine condotta nel Febbraio 2000 .....	17
Tabella V - attività di sondaggio. CC: carotaggio continuo, CS: carotiere semplice, CD:carotiere doppio .....	20
Tabella VI - Riepilogo dei campioni prelevati. CR: Campione rimaneggiato .....	21
Tabella VII - Prove SPT .....	22
Tabella VIII - Principali litotipi e loro velocità sismica (espresse in m/sec) .....	24
Tabella IX - orizzonti sismici rilevati .....	25
Tabella X – profili sismici .....	28
Tabella XI – Caratteristiche dei principali materiali (da Press 1966, pp. 97-173) .....	31
Tabella XII - spessore delle coltri di detrito .....	42
Tabella XIII - tabella riassuntiva certificato di prova n.390/2003 .....	46
Tabella XIV – Fattore di sicurezza e relativa stabilità del versante .....	55
Tabella XV – valori di Fs utilizzati.....	56

## ELENCO DEGLI ALLEGATI IN RELAZIONE

- Allegato n° 1 – Carta Geolitologica di dettaglio;
- Allegato n° 2 – Carta di Ubicazione Sezioni Geologico-tecniche di progetto
- Allegato n° 3 – Sezione Geologica tecnica di progetto n° 1
- Allegato n° 4 – Sezione Geologica tecnica di progetto n° 2
- Allegato n° 5 – Sezione Geologica tecnica di progetto n° 3
- Allegato n° 6 – Sezione Geologica tecnica di progetto n° 4
- Allegato n° 7 – Carta di Zonizzazione Sismica;
- Allegato n° 8 – Carta di Zonizzazione Geologico-Tecnica ai fini fondazionali;

## **1 PREMESSA**

Oggetto della presente relazione è l'integrazione, conseguente alla classificazione del Comune di Lerici in Classe Sismica 3 con deliberazione della Giunta Regionale n° 530 del 16/05/2003, relativamente allo studio geologico - geotecnico e geomorfologico condotto a supporto del Piano Urbanistico Operativo (in seguito PUO) ed avente ad oggetto l'"Intervento turistico ricettivo complesso alberghiero – residenziale Località Venere Azzurra di Lerici (SP)".

In particolare, la presente relazione risponde alla applicazione della L.R. 21 Luglio 1983 n° 29 – Costruzioni in zone Sismiche – Deleghe e Norme Urbanistiche Particolari.

Gli elaborati integrativi facenti parte della presente relazione, oltre a quanto già precedentemente presentato sono costituiti da:

- ⇒ la presente relazione tecnica illustrativa
- ⇒ documentazione grafica e/o descrittiva delle analisi dello stato di fatto, comprese le necessarie indagini e verifiche effettuate sotto il profilo geologico e geotecnico;
- ⇒ specifiche norme di attuazione contenenti l'indicazione delle prescrizioni di carattere geologico e geotecnico da osservarsi nella fase di realizzazione degli interventi.

## **2 RISPETTO DELLA NORMATIVA VIGENTE**

L'articolazione formale della presente integrazione, nonché la metodologia adottata sono strutturate ed ispirate ai criteri delle seguenti normative:

- ⇒ Legge Regionale 21 Luglio 1983, n° 29 – Costruzioni in zone sismiche –Deleghe e Norme Urbanistiche particolari;
- ⇒ D.M. 11.03.1988 relativo a: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", e relative circolari applicative.
- ⇒ D.M. 16 Gennaio 1996 – Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- ⇒ O.P.C.M. 3274 – 20 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.);

in particolar modo si è cercato grazie ai dati già a disposizione di giungere ad una lettura delle problematiche territoriali rifacendosi ai criteri e dettami indicati al O.P.C.M 3274/2003 in rapporto a quanto richiesto dalla Legge Regionale n° 29/83

## **3 METODOLOGIA**

La metodologia, impostata in modo da rispondere compiutamente alla normativa vigente, si è articolata nelle seguenti fasi:

- ⇒ Rilievi di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico di superficie dell'area in esame e di quelle limitrofe;
- ⇒ Analisi della documentazione di carattere geologico esistente e riferita all'area;
- ⇒ Esecuzione di indagini sismiche finalizzate alla individuazione del substrato roccioso e successiva impostazione della campagna geognostica di taratura e verifica;
- ⇒ Esecuzione di n° 15 sondaggi verticali a carotaggio continuo, prelievo di campioni indisturbati, esecuzione d prove di laboratorio e prove SPT in foro.
- ⇒ Esecuzione di n° 2 prove Down Hole in foro;
- ⇒ Monitoraggio dei livelli di falda riscontrati durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici;
- ⇒ Elaborazione dei dati ed interpretazione delle prove.

La presente relazione rappresenta quindi la sintesi di quanto appreso nell'ambito dei punti elencati, nonché una analisi sulla fattibilità dell'opera sulla base di quanto previsto alle relative sezioni del DM 21.03.1988 nonché una valutazione sulle condizioni sismiche del territorio in esame.

Si è proceduto inoltre, sulla base di quanto previsto alla sez. A e B del suddetto decreto, nonché sulla base dei nuovi dati acquisiti (sondaggi e prove di laboratorio), all'individuazione delle principali caratteristiche stratigrafiche, idrogeologiche, geomorfologiche e fisico meccaniche dell'area.

Per rispondere compiutamente a quanto previsto alla Legge Regionale 21 Luglio 1983, n° 29 la presente relazione viene inoltre inquadrata alla luce di quanto richiesto all'art. 3 della citata legge evidenziando:

- Inquadramento Geologico-Geomorfologico particolareggiato;
- Allineamenti Tettonici principali con analisi particolareggiata della fagliazione e fatturazione locale;
- Caratteristiche fisico meccaniche di affioramenti contigui diversi;
- Frane in atto, potenziali, quiescenti o stabilizzate;
- Caratteristiche delle coltri incoerenti in riferimento alla possibilità di fenomeni di mobilizzazione e di liquefazione;
- Caratteristiche litologico-strutturali suscettibili di amplificare l'intensità dei fenomeni sismici.

#### **4 UBICAZIONE DELL'AREA**

L'area di interesse è ubicata nel Comune di Lerici (SP), in località Venere Azzurra (Figura 1, Figura 2).

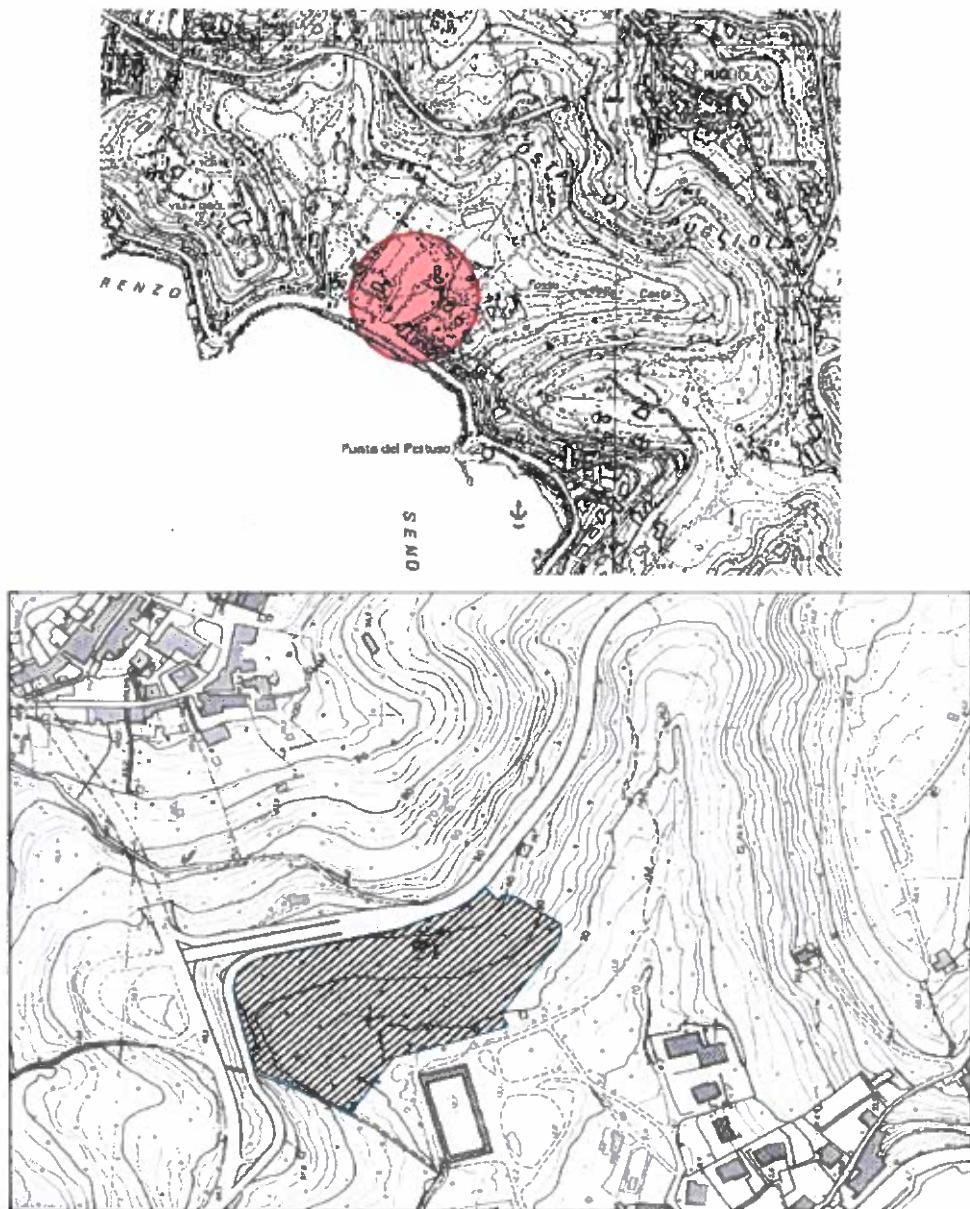


Figura 1 - tavola di ubicazione dell'area



**Figura 2 – Panoramica dell'area**

L'areale del previsto insediamento è stata recentemente oggetto di studi geologici e geomecanici approfonditi relativamente a: "Indagini geologiche finalizzate alla redazione del nuovo PUC"; "Piano di Bacino Stralcio del Canale "Fosso della Costa", Indagini geognostiche e studio geologico geotecnica finalizzato alla realizzazione del parcheggio adiacente.

Per cui, le considerazione di carattere generale si rifaranno a tali studi integrati da opportuni rilievi in situ, nonché alle indagini specificatamente eseguite e finalizzate al progetto definitivo dell'opera.

## **5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO PARTICOLAREGGIATO**

### **5.1 Inquadramento tettonico generale**

L'Appennino settentrionale è costituito principalmente da unità tettoniche alloctone appilate, messe in posto in un lasso di tempo compreso tra l'Eocene e il Miocene - Pliocene Inf.; la tettonica plicativa, almeno parzialmente sinsedimentaria, si risolve solitamente in anticlinali rovesciate o coricate.

Alla fase compressiva ne segue una distensiva di età tardo miocenica, pliocenica e quaternaria (in certe zone ancora in atto) che determina uno stile ad Horst e Graben tendenzialmente orientati in direzione NO - SE.

Procedendo dalle Apuane verso nord ovest tendenzialmente si nota una immersione assiale delle strutture verso la Liguria, in modo che risulta possibile osservare i complessi tettonici sovrapposti. Il complesso tettonico più profondo è rappresentato da una successione metamorfica, talvolta sub metamorfica, affiorante in varie zone tra le quali il Golfo della Spezia (DALLAN NARDI & NARDI, 1972). Il metamorfismo che interessa questi terreni è di tipo regionale, caratterizzato generalmente da gradienti geotermici relativamente alti e bassa pressione.

Al di sopra del substrato metamorfico si sovrappone, in discordanza, la successione dei termini della serie toscana non metamorfica, costituente l'unità tettonica della Falda Toscana e comprendente formazioni che vanno dal Trias sup. all'Oligocene.

Interposte tra la Falda Toscana non metamorfica e l'Autoctono s.s., metamorfico, si ritrovano "sottounità" metamorfiche o sub metamorfiche, tra le quali il cosiddetto "Verrucano dell'Unità di

Massa", al quale gli affioramenti Verrucani del Golfo della Spezia (Punta Bianca e Lerici) sono stati correlati (BALDACCI *et al.*, 1967).

La tettonica dell'Unità di Massa, in particolare, è caratterizzata da strutture largamente plicative tra il settore ovest delle Apuane e La Spezia (monoclinali di Punta Bianca, struttura positiva di Lerici, ecc.). Dopo la sua messa in posto l'unità ha partecipato al piegamento del sottostante "Autoctono" e alla successiva erosione, prima delle vicende tettoniche successive (messa in posto della Falda Toscana). La successione metamorfica presenta al tetto una superficie di erosione e livelli di brecce sedimentarie posteriori al metamorfismo e alla tettogenesi dell'autoctono e legate in parte alla messa in posto della Falda Toscana.

## 5.2 Inquadramento geologico e geomorfologico

Per l'inquadramento di base si può far riferimento alle carte geolitologica e geomorfologica mostrate in Figura 3 e Figura 4.

La carta geolitologica con richiami formazionali deriva da una attenta rilettura delle indagini eseguite in campagna nel quadro delle attività realizzate per la stesura della relazione del P.U.O e dei rilevamenti consequenti. La legenda proposta segue tali indicazioni sia per quanto riguarda i litotipi, che i riferimenti formazionali nonché i membri delle formazioni.

Le formazioni sono state quindi raggruppate secondo la litologia prevalente ed individuate con le sigle indicate nel Bollettino del Servizio Geologico d'Italia Vol. C1 1980 "Catalogo delle Unità formazionali Italiane" dove sono elencate le formazioni in funzione della creazione di un sistema di archivi automatizzati di dati geologici.

Il promontorio orientale del Golfo della Spezia è formato da una struttura antiforme allungata in direzione appenninica e limitata da ambo i lati da sistemi di faglie normali. Dal lato del golfo si ha infatti il grande sistema fagliato (Graben) di Carrodano-La Spezia, mentre dall'altro c'è la valle tettonica del fiume Magra. Dal lato del Golfo sono anche presenti faglie normali affioranti a basso angolo (GIAMMARINO & GIGLIA, 1984) che mettono a contatto vari termini della Serie Toscana e del substrato pre-carbonatico ("Verrucano").

La scarsa tipicità delle formazioni presenti, la profonda e complessa tettonizzazione della zona, le fasi di dolomitizzazione più o meno spinte e spesso sovrapposte all'interno di alcuni termini calcarei e, non ultimi, i differenti criteri di approccio alle questioni in gioco hanno portato a numerose interpretazioni da parte di molti autori non solo della tettonica dell'area ma anche del riconoscimento delle formazioni realmente presenti, rendendo estremamente difficoltoso un lavoro di unificazione delle varie teorie. Qui di seguito viene proposta la descrizione dei rilevamenti eseguiti in zona.

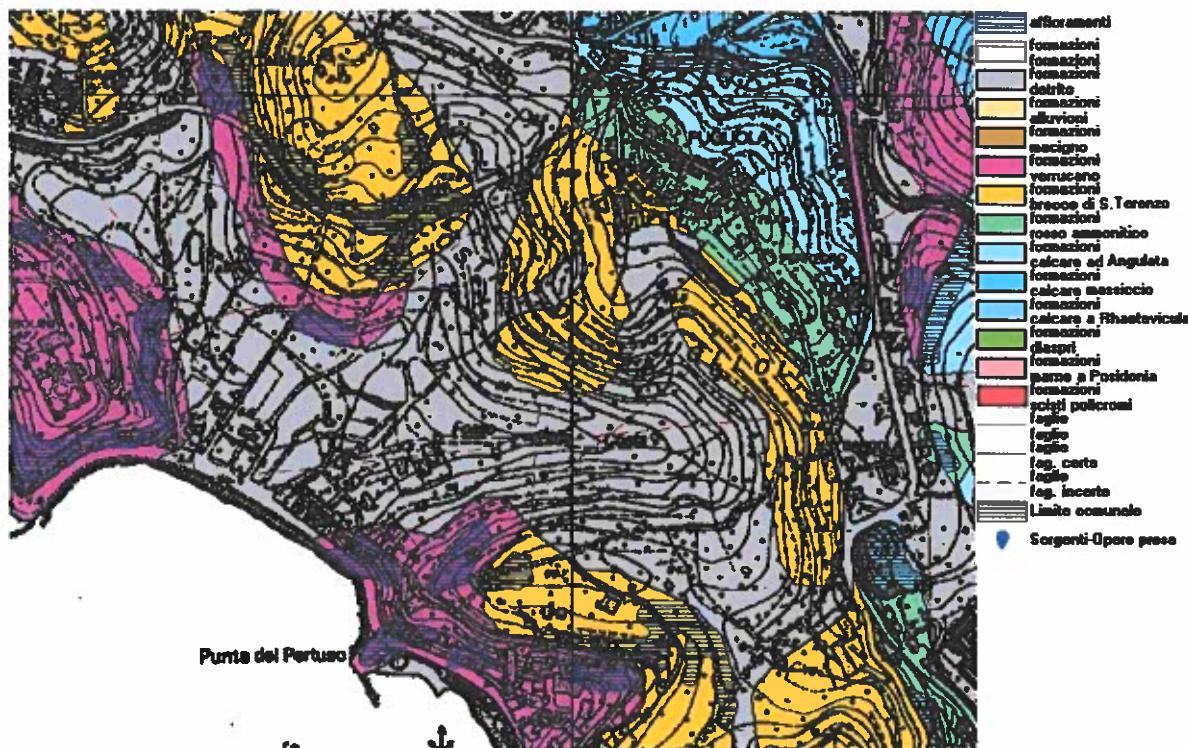


Figura 3- Carta Geologica

La zona in studio è ubicata in un'area dove avviene il passaggio dalla Formazione del Verrucano e quella delle Brecce di San Terenzo con la presenza di una copertura detritica. In particolare il deposito detritico occupa prevalentemente l'area più meridionale della zona d'intervento (Figura 3).

Per quanto riguarda la Geomorfologia non si evidenziano elementi di particolare rilievo all'interno della nostra zona (Figura 4).

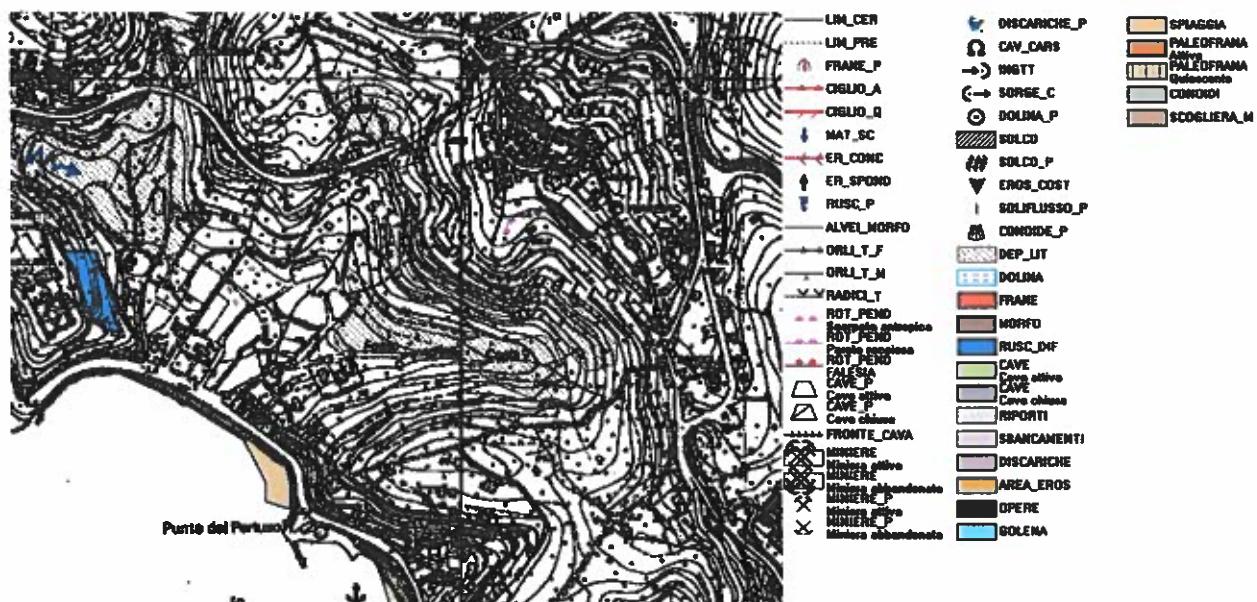


Figura 4 - Carta Geomorfologia

### 5.3 Stabilità dell'area

Circa la stabilità del pendio, in base a quanto stabilito dal D.M. 11.03.1988 relativo alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali per la progettazione, la esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e relative circolari applicative, va rilevato che l'area in oggetto contempla, al suo interno, terreni compresi in tre classi di stabilità: da stabile a tendente alla metastabilità a metastabile, questa ultima si riferisce alla zona più a monte (Figura 5).

Per quanto riguarda la definizione delle caratteristiche di stabilità riportiamo, qui di seguito, la Tabella I facente parte dello Studio Geologico allegato al Piano di Bacino, al quale facciamo riferimento per maggiori precisazioni.

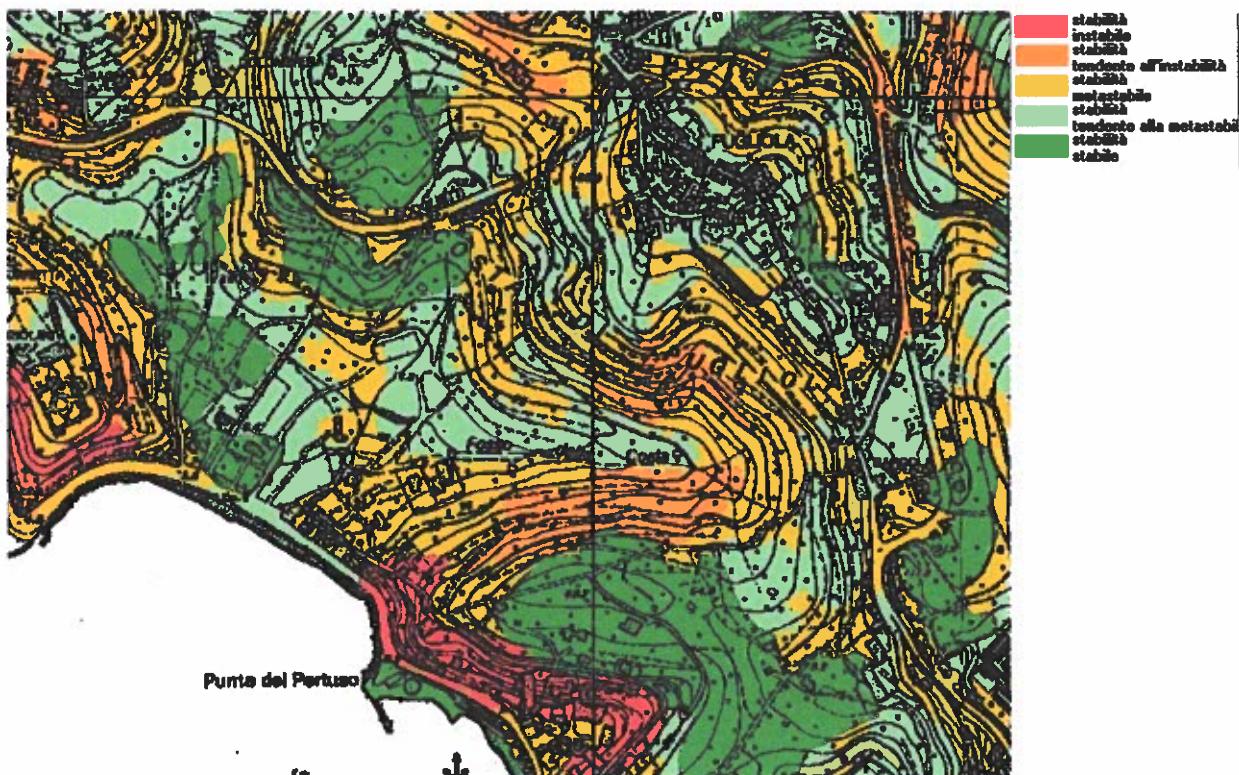


Figura 5 - Carta della Stabilità e Suscettività d'uso in scala 1:5.000

Classificazione dell'area	Descrizione
Instabile e/o potenzialmente instabili	Zone a più alto rischio di movimenti di masse di terreno a causa della interazione di almeno tre fattori predisponenti.
Tendente alla instabilità	Zone a rischio evoluti a medio-lungo termine in instabili a causa della interazione di almeno due fattori predisponenti.
Metastabile	Zone a rischio limitato che nel tempo possono evolvere in instabili per intervento di un ulteriore elemento predisponente.
Tendente alla metastabilità	Zone non a rischio; la mancanza di condizioni ideali, per la presenza di un fattore predisponente, induce alla prudenza il quanto il subentro di una turbativa al sistema in equilibrio può portare la zona in metastabilità.
Stabile	Zone sicure, con assetto naturale stabile ed assenza di qualunque elemento predisponente che possa

Tabella I – definizione delle caratteristiche di stabilità

## 6 INDAGINI DI DETTAGLIO

L'area è stata analizzata in dettaglio sul piano geologico, geomorfologico ed idrogeologico

### 6.1 Geologia e geomorfologia dell'area

L'areale è stato oggetto di rilevamento in campo al fine di verificare le informazioni desunte dalla cartografia allegata al PUC. Da tali rilievi si evidenzia una situazione generalizzata di copertura detritica di potenza valutabili intorno ai 8/10 metri (dato confermato dalla campagna geognostica che dalle indagini sismiche) caratterizzato da un detrito eterogeneo a componente argillo limosa con inclusi elementi litoidi (ghiaie e ciottoli). Nella zona a monte dell'intervento immediatamente a monte della strada comunale si nota un affioramento del substrato metamorfico (probabili Scisti di san Terenzo). La presenza della copertura metrica che continua verso la parte pianeggiante vicino alla piscina e nella zona dell'attuale parcheggio, maschera qualsiasi tipo di affioramento litoide e conferisce alla zona una morfologia classica delle aree terrazzate.

L'area infatti sul piano morfologico è caratterizzata da fasce terrazzate dell'altezza di circa due metri e non si sono rilevati segni di degrado che facciano presupporre l'instaurarsi di movimenti superficiali nonostante lo stato di abbandono dell'area.

Sotto il profilo della stabilità, almeno sulla base dei rilievi di campo eseguiti, non si sono riscontrati motivi morfologici degni di nota se non la presenza dei terrazzi coltivati ad ulivo.

(*vedi carta Geolitologica di dettaglio*)

### 6.2 Idrogeologia dell'area

La situazione idrogeologica dell'area, conseguentemente all'assetto geolitologico, è caratterizzata da coltri di detrito con buone caratteristiche di permeabilità.

Nell'area dell'intervento non sono state riscontrate emergenze idriche e l'attuale situazione di circolazione superficiale delle acque è riconducibile alle sole linee principali di drenaggio.

Al fine di una caratterizzazione puntuale delle condizioni idrogeologiche dell'area, sono stati monitorati i livelli piezometrici dei piezometri inseriti nei fori di sondaggio e i livelli di falda sono stati elaborati al fine di definire l'andamento delle isopiezometriche nell'area investigata.

Nei fori di sondaggio S1, S2, S4, S5, S6, S7, S8, S10, S11, S12, S14 e S15 è stato immesso un tubo piezometrico in PVC per tutta la profondità del foro, formato da barre di 3 m, del diametro di 40 mm, fenestrato dalla profondità di 2 m da piano campagna.

All'intorno del tubo è stato eseguito un dreno costituito da ghiaia silicea calibrata.

Dal piano campagna ad un metro di profondità è stato eseguito un tappo impermeabile di cemento e bentonite. Il boccaforo è stato protetto con pozzetto metallico.

Sono state eseguite due misure piezometriche nel mese di Novembre a seguito di piogge persistenti al fine di avere alcuni dati di riferimento. Verranno eseguite ulteriori misure al fine di avere l'andamento della falda nel tempo e una valutazione sulle sue eventuali variazioni.

In Tabella II vengono riportate le misure eseguite e le successive elaborazioni.

Sondaggio n°	Profondità perforazione	Livello piezometrico al 22/11/03 in m dal p.c.	Livello piezometrico al 29/11/03 in m dal p.c.	Differenza fra le 2 misure	Battente 22/11/03	Battente 29/11/03
1	18.00	-12.30	-12.20	0.10	5.70	5.80
2	11.00	-5.80	-2.00	3.80	5.40	9.00
3	7.00	-1.95	-1.10	0.85	5.05	5.90
4	10.00	-3.40	-2.50	0.90	6.60	7.50
5	10.00	-8.70	-8.40	0.30	1.30	1.60
6	12.40	-11.60	-11.60	0.00	0.80	0.80
7	20.00	-12.10	-11.90	0.20	7.90	8.10
8	10.00	-9.10	-9.10	0.00	0.90	0.90
9	20.00	-10.80	-11.70	-0.90	9.20	8.30
10	9.00	-8.00	-7.90	0.10	1.00	1.10
11	12.00	-3.87	-1.85	2.02	8.13	10.15
12	10.00	-8.35	-8.20	2.15	1.65	3.80
13	15.00	-4.90	-2.80	2.10	10.10	12.20
14	13.40	-13.30	-13.30	0.00	0.10	0.10
15	10.00	-10.50	-10.50	0.00	-0.50	-0.50

Tabella II - misure piezometriche eseguite nel mese di Novembre 2003

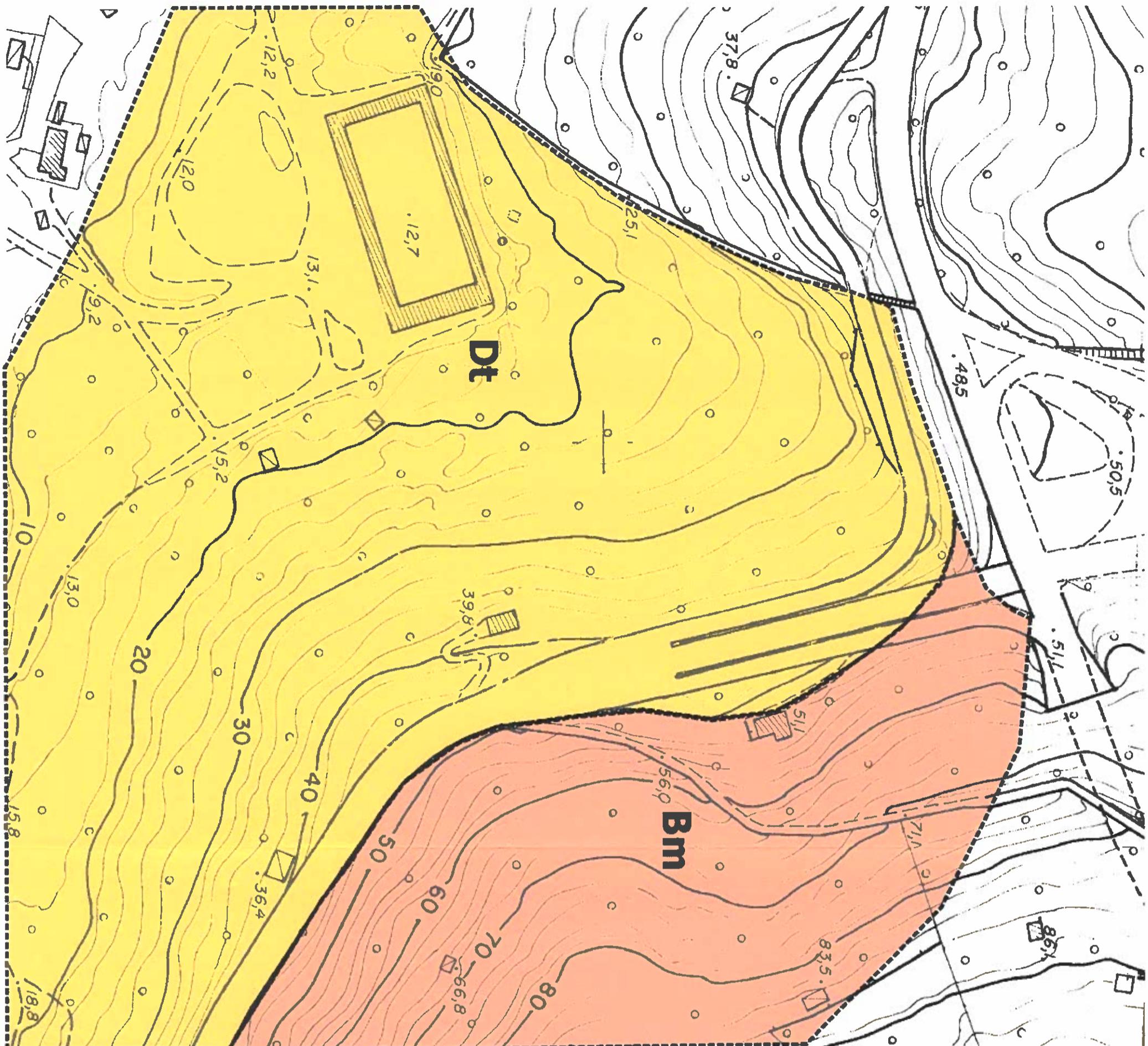
Al fine di visualizzare l'andamento della falda i dati riferiti alla seconda misura sono stati opportunamente trattati e ricostruite le curve isopiezometriche che esprimono (in m sul livello del mare) l'andamento della falda stessa e le linee di flusso al fine di evidenziare il movimento della falda stessa e preventivamente conseguentemente i necessari drenaggi. (Figura 6)

Risulta immediatamente intuitibile che la falda ha una alimentazione proveniente da monte e scorre verso la piscina, ed in particolare si orienta in corrispondenza dei sondaggi n° 7 e 11.

Dalle sezioni inoltre si evidenzia come tale falda interessi soprattutto il substrato roccioso, mentre interessa molto marginalmente la copertura detritica.

## Allegato n° 1

### Carta Geolitologica



**Dt = Coperture detritiche;**  
coltre detritica indifferenziata, costituita  
da argille limoso-sabbiose con cottoli e ghaie

**Bm = Basamento metamorfico;**  
costituito da quarziti e scisti

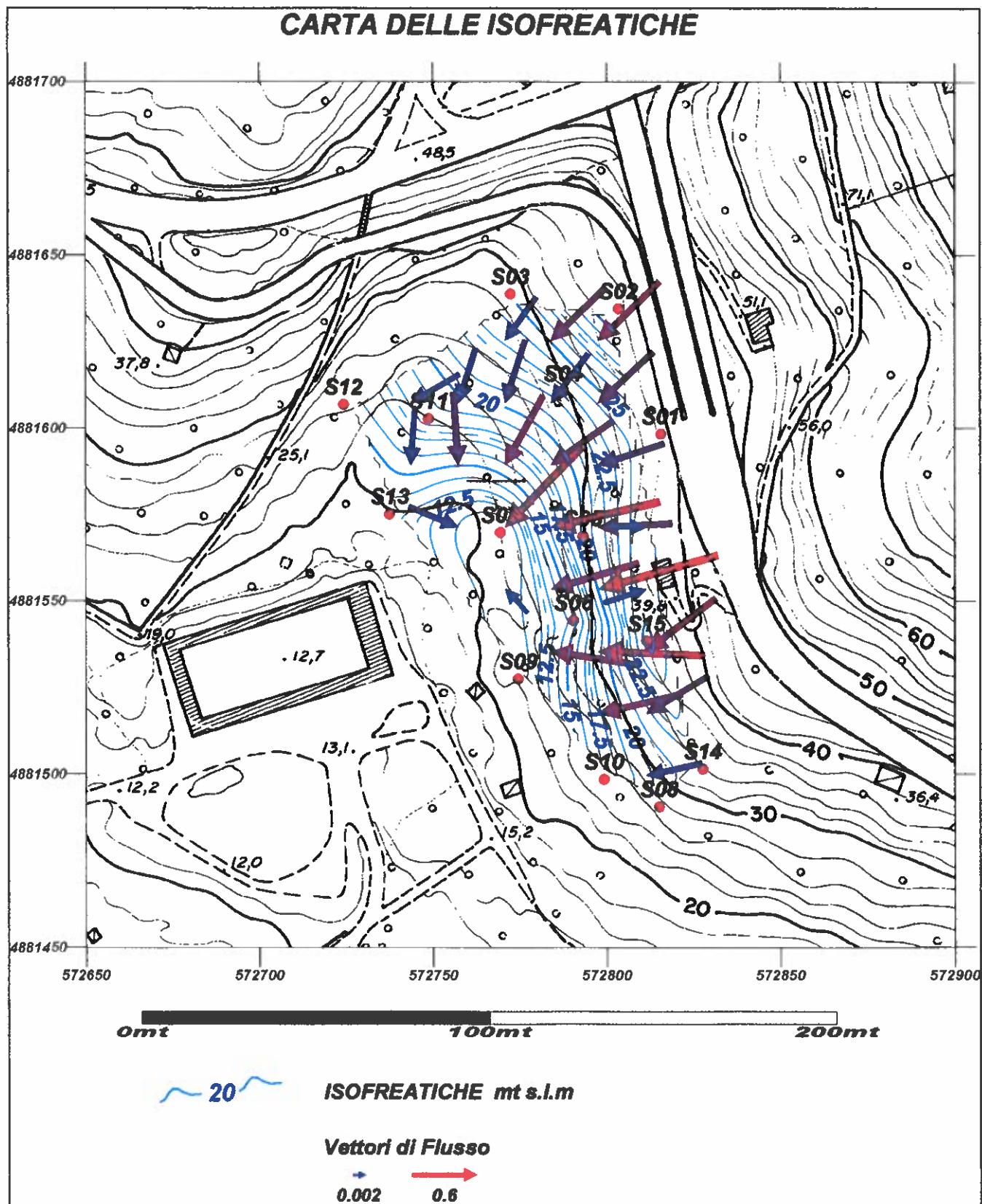


Figura 6 – Carta delle Isofatiche

## **7 INDAGINI GEOGNOSTICHE**

I dati per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni e per la determinazione degli spessori di coltri di alterazione o corpi detritici sono state derivate da un insieme di indagini geognostiche effettuate da Settembre a Dicembre 2003.

I risultati emersi da tali indagini sono stati affiancati a quelli derivanti a seguito di due indagini preliminari condotte nel Dicembre 1999 e nel Febbraio 2000 dal Comune di Lerici e finalizzate allo studio delle caratteristiche geomeccaniche dell'area interessata dal parcheggio in Loc. Venere Azzurra, adiacente all'area in esame.

Vengono conseguentemente qui di seguito presentati i risultati relativamente a:

- ⇒ Indagini geognostiche (Dicembre 1999 – Febbraio 2000) condotte per il Progetto del Parcheggio che vengono riprese per valutazioni di carattere complessivo dell'area;
- ⇒ Indagini geognostiche, sismiche e rilievi piezometrici (Settembre – Dicembre 2003) finalizzati ad una analisi puntuale dell'area;
- ⇒ Elaborazioni dei dati derivanti dalle indagini geognostiche;
- ⇒ Analisi di Laboratorio, verifica con i parametri derivati in campo e definizione dei parametri geomeccanici che caratterizzano l'areale.

### **7.1 Campagne geognostiche 1999-2000**

Tali dati hanno permesso di definire con un buon grado di accuratezza la geometria delle litologie interessate dal progetto, (potenza degli strati e coltri detritici, profondità del substrato ecc.) nonché le caratteristiche ideologiche e geomeccaniche degli stessi.

I singoli dati, in particolar modo quelli derivanti dalle prove penetrometriche sia statiche che dinamiche sono riportati nelle tabelle riassuntive (Tabella III, Tabella IV) di seguito mostrate.

Dicembre 1999

PROVA	N° STRATO	PROFONDITÀ in metri dal p.c.	Rp (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nsp= N <sub>20</sub> *1.52	COLOMBO	ϕ=rad.quad(15Npp)		ϕ=0.3Nsp+27 $\sigma'_{av}/Nsp$	ϕ=diagramma $\sigma'_{av}/R_p$	Cn=(Rp-γh)/15 Kg/cm <sup>2</sup>
						ϕ>15	ϕ>27			
DIN_1	1	1.8	4.56	30°/35°	23°	28°	32°	35°	35°	
	2	2.6	15.2	35°/40°	30°	32°	40°			
	3	4.6	12.16	35°/40°	28.5°	31°	35°			
	4	8.6	27.36	40°/45°	35°	35°	45°			
	5	>8.6	>50	>45°	>45°	>45°	>45°			
DIN_2	1	6.4	4.56	30°/35°	23°	28°	30°			
	2	7	10.64	35°/40°	28°	30°	35°			
	3	8.2	3.04	<30°	22°	28°	25°			
	4	8.8	10.64	35°/40°	28°	30°	35°			
	5	>8.8	>50	>45°	>45°	>45°	>45°			
CPT_3	1	3	25	30°/35°				37°	1.65	
	2	5.2	52	35°/40°				37°	3.43	
	3	>5.2	>200	>45°				>45°		
	4		20	<30°						
	5									
CPT_4	1	2	20					35°	1.32	
	2	3	70	35°/45°				41°	4.65	
	3	4	35	30°/35°				36°	2.31	
	4	5.4	120	35°/45°				41°	7.97	
	5	>5.4	>200	>45°				>45°		
DIN_5	1	1.4	12.16	35°/40°	28.5°	31°	45°			
	2	2.8	27.36	35°/40°	35°	35°	45°			
	3	5.2	15.2	35°/40°	30°	32°	40°			
	4	6.6	41.04	40°/45°	40°	39°	45°			
	5	>6.6	>50	>45°	>45°	>45°	>45°			
DIN_6	1	1.2	15.2	35°/40°	30°	32°	45°			
	2	2.4	48.64	40°/45°	42°	42°	>45°			
	3	>2.4	>50	>45°	>45°	>45°	>45°			

Tabella III - indagine condotte nel Dicembre 1999

PROVA	N° STRATO	PROFONDITA' in metri dal p.c.	Rp (Kg/cm <sup>2</sup> )	Nspt=N <sub>60</sub> *1.52	COLOMBO	Febbraio 2000	
						ϕ=rad.quad(15Nspt)+15	ϕ=0.3Nspt+27
DIN 1	1	1	15.2	35°/40°	30°	32°	45°
	2	4.8	3.04	<30°	22°	28°	25°
	3	5.6	15.2	35°/40°	30°	32°	40°
	4	7.8	6.08	30°/35°	24°	29°	30°
	5	>7.8	>50	>45°	>45°	>45°	>45°
DIN 2	1	1.2	15.2	35°/40°	30°	32°	45°
	2	3.8	3.04	<30°	22°	28°	25°
	3	4.8	28.88	35°/40°	36°	36°	25°
	4	>4.8	>50	>45°	>45°	>45°	>45°
	5						
DIN 3	1	1.6	4.56	30°/35°	23°	28°	35°
	2	4.2	6.08	30°/35°	24°	29°	35°
	3	6.2	9.12	30°/35°	27°	30°	35°
	4	>6.2	>50	>45°	>45°	>45°	>45°
	5						
CPT 4	1	2.5	33	30°/35°			37°
	2	4.1	77	35°/40°			40°
	3	5.5	140	40°/45°			41°
	4	>5.5	>200	>45°			>45°
	5						
DIN 5	1	2	9.12	30°/35°	27°	30°	40°
	2	3.6	30.4	35°/45°	36°	36°	45°
	3	>3.6	>50	>45°	>45°	>45°	>45°
	4						
	5						

Tabella IV - indagine condotta nel Febbraio 2000

## **7.2 Campagna geognostica 2003**

Sulla base delle prime indicazioni progettuali, nonché dei rilievi effettuati, si è proceduto alla analisi delle indagini in situ ubicate in funzione del progetto generale che permettono di esprimere una valutazione complessiva delle condizioni geologiche, idrogeologiche, geomorfologiche, geomeccaniche e di stabilità dell'area investigata.

Sono state analizzate le seguenti tipologie di prove:

- ⇒ n° 15 sondaggi a carotaggio continuo;
- ⇒ prove di laboratorio sui campioni indisturbati finalizzate alla determinazione dei parametri di taglio e di compressibilità dei terreni investigati;
- ⇒ esecuzione di indagini geofisiche (sismica a rifrazione) finalizzate alla determinazione delle profondità del substrato roccioso;
- ⇒ Prove Down Hole su due sondaggi al fine di derivare i parametri elastici e verificarli con quelli geomeccanici

I sondaggi inoltre come già trattato nel paragrafo relativamente alla idrogeologia dell'area, sono stati strumentati con Piezometri al fine di verificare la presenza di eventuali falde e programmare gli interventi di drenaggio dell'area.

Lo scopo delle indagini geofisiche è stato quello di poter estrapolare oltre ai parametri elastici dei terreni investigati, i dati relativi alla individuazione del substrato e confrontarli con i sondaggi geognostici e derivare di conseguenza un modello geomeccanico di riferimento attendibile sul quale, in fase di progetto esecutivo poter sviluppare i calcoli e verifiche di stabilità su alcune sezioni individuando le tecniche più idonee sul piano geotecnico ed ambientale al fine di garantire i coefficienti di sicurezza richiesti dalla legge.

L'ubicazione delle indagini è stata quindi scelta in comune accordo con i progettisti al fine di fornire dati ed elementi utili alla progettazione definitiva dell'opera. (Figura 7)

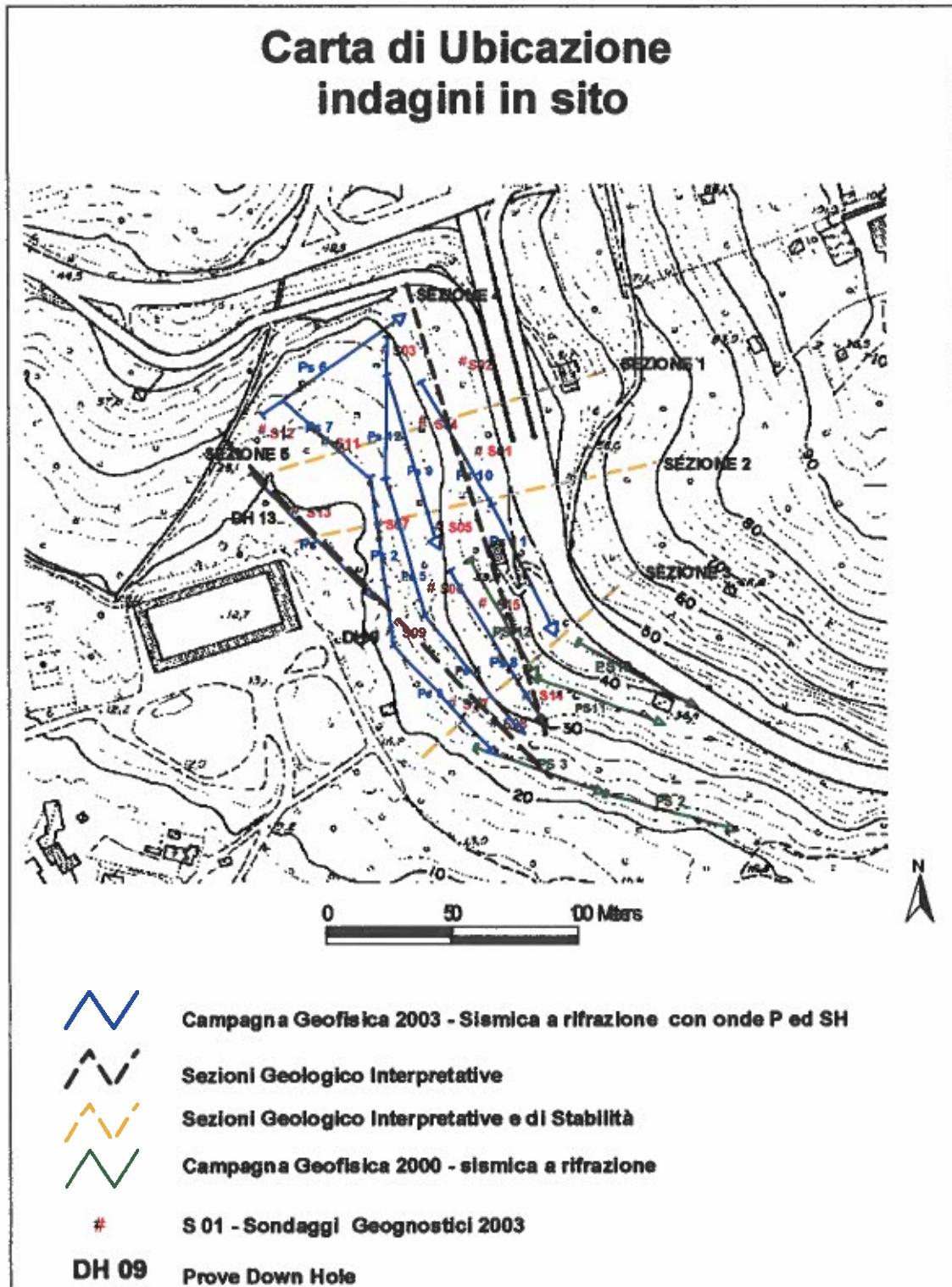


Figura 7 – Carta di ubicazione delle indagini in situ

### 7.3 Modalità esecutive del sondaggio

I sondaggi verticali a carotaggio continuo sono stati eseguiti a secco utilizzando come utensile di perforazione un carotiere semplice con corona con prismi in widia avente diametro 101 mm; utilizzando acqua come fluido di circolazione in caso di terreni cementati o roccia tenera. In presenza di roccia viene montato un carotiere doppio dotato di una corona diamantata.

A sostegno della parete del foro è stata installata una tubazione metallica di rivestimento del diametro 127 mm, utilizzando acqua come fluido di circolazione.

Durante l'indagine geognostica sono stati eseguiti n° 15 sondaggi verticali a carotaggio continuo denominati con la lettera S ed un numero progressivo secondo l'ordine di esecuzione e spinti rispettivamente alla profondità di S1: 18.00 m, S2: 11.00 m, S3: 7.00 m, S4: 10.00 m, S5: 10.00 m, S6: 12.40 m, S7: 20.00 m, S8: 10.00 m, S9: 20.00 m, S10: 9.00 m, S11: 12.00 m, S12: 10.00 m, S13: 15.00 m, S14: 13.40 m ed S15: 10.00 m dal piano di campagna.

Il materiale prelevato viene posto in apposite cassette catalogatrici a tenuta, costituite da quattro scomparti di 1 ml cadauno.

Su ogni cassetta sono segnati i seguenti dati:

- ⇒ Cantiere
- ⇒ Committente
- ⇒ Tipo e numero del sondaggio
- ⇒ Profondità del sondaggio
- ⇒ Data di inizio e fine sondaggio

Il riepilogo dell'attività di sondaggio è indicato in Tabella V.

Sondaggio	Profondità dal p.c. (m)	Metodo di perforazione	Utensile	n° Campioni	n° SPT
S1	18.00	CC	CS	-	2
S2	11.00	CC	CS	-	2
S3	7.00	CC	CS	1	1
S4	10.00	CC	CS	-	2
S5	10.00	CC	CS	1	2
S6	12.40	CC	CS	2	1
S7	20.00	CC	CS	2	2
S8	10.00	CC	CS	1	1
S9	20.00	CC	CS	1	1
S10	9.00	CC	CS	1	1
S11	12.00	CC	CS	2	2
S12	10.00	CC	CS	1	1
S13	15.00	CC	CS	2	2
S14	13.40	CC	CS	1	2
S15	10.00	CC	CS	-	1

Tabella V - attività di sondaggio. CC: carotaggio continuo, CS: carotiere semplice,  
CD:carotiere doppio

### 7.4 Campionamento

Durante la perforazione, si possono prelevare campioni indisturbati mediante campionatori a pareti sottili del tipo a pressione o a pistone. Il tubo campionatore consiste in una fustella in acciaio

inox trafiletto a freddo di lunghezza 600 mm e diametro interno 84 mm. L'estremità tagliente della fustella permette di penetrare nel terreno senza creare disturbi rilevanti.

Effettuato il campionamento, la fustella viene recuperata dal carotiere, ripulita e sigillata alle due estremità con appositi tappi e quindi paraffinata al fine far rimanere integre il più possibile le caratteristiche fisiche del campione.

Ogni fustella è stata etichettata indicando:

- ⇒ Cantiere;
- ⇒ Committente;
- ⇒ Data di prelievo;
- ⇒ Quota di prelievo;
- ⇒ Tipo di campione;
- ⇒ Polarità (alto, basso).

I risultati sono mostrati in Tabella VI.

Sondaggio	CR1	CR2	Sondaggio	CR1	CR2
S3	2.50 - 2.90	-	S10	4.70 - 5.00	-
S5	3.40 - 3.75	-	S11	2.00 - 2.50	6.00 - 6.40
S6	3.60 - 4.00	6.50 - 7.00	S12	3.00 - 3.40	-
S7	3.00 - 3.40	7.00 - 7.40	S13	3.60 - 4.00	6.40 - 6.70
S8	5.70 - 6.00	-	S14	2.20 - 2.60	-
S9	2.70 - 3.00	-			

Tabella VI - Riepilogo dei campioni prelevati. CR: Campione rimaneggiato

In questo caso, data la natura del terreno, non sono stati prelevati campioni indisturbati ma soltanto rimaneggiati cioè prelevati direttamente dalle cassette catalogatrici; tali campioni sono stati sigillati in appositi sacchetti di plastica trasparente o tubi di plastica.

Ogni sacchetto viene etichettato indicando:

- ⇒ Cantiere
- ⇒ Committente
- ⇒ Data di prelievo
- ⇒ Quota di prelievo
- ⇒ Sigla

I campioni prelevati sono state poi consegnati alla società incaricata al fine di eseguire le prove geotecniche di laboratorio concordate con la Direzione Lavori.

## 7.5 Prova S.P.T.

Per le prove S.P.T. (Standard Penetration Test) viene utilizzata una batteria di aste con diametro  $\phi=50$  mm collegata ad un campionatore di forma e dimensioni normalizzate (tipo Raymond).

Il sistema di percussione è costituito da un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 76 cm.

Questa prova consente così di determinare la resistenza che il terreno offre alla penetrazione dinamica del campionatore infisso in avanzamento. A questo scopo viene contato il numero di colpi necessari alla penetrazione nel terreno in tratti di 15 cm per un totale di 45 cm; il primo tratto viene

escluso dal conteggio cosicché il valore N(SPT) che verrà utilizzato nei calcoli geotecnici sarà riferito agli ultimi 30 cm di penetrazione. Il campione di terreno prelevato con questo campionatore viene classificato come i campioni prelevati con campionatori statici.

Nel caso di attraversamento di terreni ghiaiosi o comunque molto addensati, la scarpa tagliente del campionatore viene sostituita da una punta chiusa, per cui non ci sarà in questo caso prelievo di terreno ma solo indicazioni quantitative sulla consistenza del terreno testato.

I risultati sono mostrati in Tabella VII.

Sondaggio	Profondità (m)	Numero di colpi
<b>S1</b>	3.00-3.45	34 / rifiuto
<b>S1</b>	6.00-6.45	27 / 39 / rifiuto
<b>S2</b>	2.50-2.95	21 / rifiuto
<b>S2</b>	4.00-4.45	rifiuto
<b>S3</b>	3.30-3.75	18 / 27 / 27
<b>S4</b>	3.00-3.45	6/8/9
<b>S4</b>	5.00-5.45	17 / 24 / 29
<b>S5</b>	4.00-4.45	39 / rifiuto
<b>S5</b>	6.00-6.45	44 / rifiuto
<b>S6</b>	5.50-5.95	9 / 11 / 16
<b>S7</b>	5.00-5.45	16 / 14 / 17
<b>S7</b>	9.00-9.45	39 / rifiuto
<b>S8</b>	3.20-3.65	12 / 31 / 43
<b>S9</b>	5.20-5.65	14 / 24 / 16
<b>S10</b>	3.00-3.45	12 / 13 / 16
<b>S11</b>	3.30-3.75	20 / 15 / 17
<b>S11</b>	7.00-7.45	40 / rifiuto
<b>S12</b>	7.00-7.45	38 / rifiuto
<b>S13</b>	5.20-5.65	14 / 13 / 14
<b>S13</b>	8.00-8.45	16 / 15 / 15
<b>S14</b>	4.00-4.45	40 / rifiuto
<b>S14</b>	8.00-8.45	15 / 18 / 22
<b>S15</b>	4.00-4.45	17 / 12 / 11

Tabella VII - Prove SPT

## 7.6 Indagini geofisiche

L'indagine geofisica è stata organizzata mediante l'esecuzione di 12 profili di sismica a rifrazione superficiale con registrazione delle onde P di compressione e delle onde SH di taglio, utilizzando equidistanze di 2, 2.5 e 3 m per un totale complessivo di 724.5 m di rilievo, nonché due sondaggi sismici verticali in modalità down-hole per complessivi 31 m.

Scopo dell'indagine è stata la caratterizzazione sismostratigrafica ed il calcolo dei parametri elastico/dinamici dei terreni presenti nell'area.

## 7.7 Indagine mediante sismica a rifrazione con onde P e SH

Sono stati eseguiti 12 profili di sismica a rifrazione superficiale con registrazione delle onde P di compressione e delle onde SH di taglio, utilizzando equidistanze di 2, 2.5 e 3 m per un totale complessivo di 724.5 m di rilievo.

#### **7.7.1 Procedure di campagna**

Vengono stesi i cavi sismici lungo la zona di interesse e ad essi vengono collegati i geofoni precedentemente infissi nel terreno alle equidistanze prestabilite. L'energizzazione del terreno per generare onde elastiche di tipo P viene effettuata sia mediante massa battente da 5 Kg che tramite l'utilizzo del cannone sismico: l'impatto rende operativo, tramite un accelerometro reso solidale con la fonte di energizzazione (*trigger*), il sistema di acquisizione dati, permettendo così la registrazione ai geofoni della forma d'onda rappresentativa della velocità di spostamento del suolo.

La produzione di onde di taglio SH viene effettuata ponendo una trave di legno a diretto contatto con il terreno ed energizzando su entrambi i lati dopo averla adeguatamente caricata. Le registrazioni vengono effettuate alternativamente su entrambi i lati e sommate con polarità scambiata in modo da migliorare l'individuazione dell'onda di taglio polarizzata che viene generata.

Al fine di ottenere una migliore risoluzione della sismo-stratigrafia, i punti di energizzazione, detti punti di scoppio (*shot points*), vengono disposti simmetricamente rispetto al profilo: ai suoi estremi (*end*), esternamente (*offset*) ed a distanze variabili entro il profilo stesso (punti di scoppio centrali). La profondità di investigazione è, in linea teorica direttamente correlata alla lunghezza del profilo, alla distanza degli offset e soprattutto al contrasto di velocità dei mezzi attraversati. I tempi di arrivo delle onde sismiche nel terreno sono funzione della distanza tra i geofoni, delle caratteristiche meccaniche dei litotipi attraversati e della loro profondità.

#### **7.7.2 Metodo di elaborazione dei dati**

La procedura d'elaborazione dati consiste di due fasi: la lettura dei tempi d'arrivo ai vari geofoni dello stendimento per ciascuna energizzazione effettuata e la loro successiva elaborazione mediante metodi di calcolo. I tempi di primo arrivo delle onde sismiche vengono riportati su diagrammi spazio-tempo (*dromocrone*) nei quali l'asse dei tempi ha l'origine coincidente con l'istante in cui viene prodotta l'onda sismica ( $t_0$ ), mentre nelle ascisse si hanno le distanze relative fra i geofoni dello stendimento. Tali diagrammi consentono di determinare, nei punti di flesso, le variazioni di velocità fra i vari strati attraversati dai raggi sismici e, tramite elaborazioni, le profondità a cui si verificano tali variazioni. In tabella I sono riportate le relazioni tra le velocità medie delle onde sismiche compressionali P (espresse in m/sec) e le principali litologie, desunte da letteratura. (Tabella VIII).

Il procedimento di elaborazione dei tempi d'arrivo per ottenere le profondità dei rifrattori, utilizza più metodi: il Metodo del tempo di ritardo (*delay time*), il Metodo del tempo di intercetta ed il Metodo reciproco generalizzato (G.R.M.) proposto da PALMER (1980).

Il G.R.M. è un metodo interpretativo che si basa su tempi d'arrivo da energizzazioni coniugate, effettuate cioè da parti opposte del profilo sismico: tramite la determinazione di due funzioni (analisi della velocità e tempo -profondità) si determinano le velocità e quindi le profondità dei rifrattori individuati sulle dromocroni.

Materiale	Velocità onde P
Detrito superficiale alterato	300 - 600
Ghiaia, pietrisco, sabbia asciutta	500 - 900
Sabbia bagnata	600 - 1800
Argilla	900 - 2700
Acqua	1430 - 1680
Acqua salata	1460 - 1530
Arenaria	1800 - 4000
Scisti argillosi	2500 - 4200
Calcare	2000 - 6000
Sale	4200 - 5200
Granito	4000 - 6000
Rocce metamorfiche	3000 - 7000

Tabella VIII - Principali litotipi e loro velocità sismica (esprese in m/sec)

La funzione di analisi della velocità corrisponde al tempo necessario al raggio sismico a percorrere un tratto di lunghezza nota sul rifrattore (distanza intergeofonica), per cui la sua determinazione permette di ottenere una precisa stima della velocità delle onde sismiche nel rifrattore stesso. Tramite un procedimento di migrazione dei dati, sia la funzione tempo/profondità che quella di analisi della velocità vengono calcolate per distanze intergeofoniche crescenti (da 0 a multipli interi dell'equidistanza dei geofoni): viene scelta poi quella distanza per la quale le curve presentano il miglior andamento rettilineo.

Il G.R.M., a differenza del metodo del tempo d'intercetta, permette anche di verificare e di individuare, con metodi di calcoli indiretti, la presenza di eventuali strati nascosti (di limitato spessore e/o basso contrasto di velocità) e strati a bassa velocità nella serie stratigrafica. Negli strati nascosti si ha sempre un aumento di velocità con la profondità, ma il loro spessore è sottile e/o il contrasto di velocità con lo strato sottostante è così piccolo, per cui i raggi sismici che partono da questi strati vengono oscurati dai raggi che partono dallo strato sottostante. Gli strati a bassa velocità presentano invece una velocità sismica minore rispetto allo strato sovrastante (inversione di velocità), per cui alla loro interfaccia non si verifica una rifrazione critica e così non vengono evidenziati sul grafico tempo-distanza. I Valori di velocità medi  $V_p$  e  $V_s$  vengono poi utilizzati per ricavare i parametri geotecnici dinamici, secondo le formule riportate nel Paragrafo 6.8.1.

#### 7.7.3 Analisi dei risultati

Nel suo insieme, l'indagine ha messo in evidenza la presenza di tre orizzonti sismici caratterizzati dalle seguenti classi di velocità (Tabella IX):

Onde P	Velocità in m/sec.	Onde S	Velocità in m/sec.
Vp1	265 - 443	Vs1	96 - 194
Vp2	725 - 1102	Vs2	387 - 544
Vp3	1958 - 3296	Vs3	1048 - 1669

Tabella IX - orizzonti sismici rilevati

Le velocità del primo e del secondo orizzonte sismico, in base alle stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti forniteci dalla Committenza, possono essere riferite alle brecce poligeniche in matrice limo sabbiosa. Il terzo orizzonte sismico è riferibile al substrato roccioso dell'area e cioè alle alternanze rocciose poligeniche cementate in assetto caotico ad ai livelli rocciosi estremamente fratturati.

Le variazioni di velocità sismiche all'interno del substrato, che è presente a profondità comprese tra 4 e 15 m, sono riferibili o a variazioni litologiche orizzontali o a variazioni del grado di alterazione e/o fratturazione de litotipi che lo compongono. I valori dei moduli elasticici calcolati per i due orizzonti sismici più superficiali denotano la scarsa coerenza per i materiali che li costituiscono, ma restano comunque nella media per materiali incoerenti. Il terzo orizzonte sismico ha valori che indicano rocce con un certo grado di fratturazione e/o alterazione.

#### 7.7.4 Parametri elasticoo-dinamici dei terreni

I parametri elasticoo-dinamici dei vari orizzonti sismici rilevati sono di seguito descritti e mostrati in Tabella X:

<b>Vp</b>	<b>Velocità media onde di compressione P</b>
<b>Vs</b>	<b>Velocità media onde di taglio SH</b>
<b>ρ</b>	<b>Densità</b>
<b>v</b>	<b>Modulo di Poisson</b>
<b>G</b>	<b>Modulo di Taglio</b>
<b>E</b>	<b>Modulo di Young</b>
<b>K</b>	<b>Modulo di rigidità volumetrica</b>

#### Profilo Ps1

ORIZZONTE SISMICO	Vp m/sec.	Vs m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	v -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	333	153	1.8	0.37	42	115	144
2	954	496	2.1	0.31	517	1359	1222
3	2547	1429	2.5	0.27	5105	12970	9411

### Profilo Ps2

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	ν -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	373	171	1.8	0.37	53	144	180
2	1025	512	2.1	0.33	551	1468	1470
3	3137	1669	2.5	0.30	6964	18142	15317

### Profilo Ps3

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	ν -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	342	136	1.8	0.41	33	94	167
2	725	387	2.1	0.30	315	818	684
3	2784	1535	2.5	0.28	5891	15098	11520

### Profilo Ps4

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	ν -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	418	180	1.8	0.39	58	162	236
2	903	449	2.1	0.34	423	1131	1148
3	2334	1265	2.5	0.29	4001	10338	8285

### Profilo Ps5

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	ν -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	343	118	1.8	0.43	25	72	178
2	905	450	2.1	0.34	425	1136	1153
3	3037	1650	2.5	0.29	6806	17568	13982

### Profilo Ps6

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	ν -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	339	122	1.8	0.43	27	76	171
2	929	468	2.1	0.33	460	1223	1199
3	2692	1423	2.5	0.31	5062	13225	11373

### Profilo Ps7

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	v -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	265	96	1.8	0.42	17	47	104
2	825	416	2.1	0.33	363	966	945
3	2562	1422	2.5	0.28	5055	12915	9669

### Profilo Ps8

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	v -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	390	136	1.8	0.43	33	95	230
2	828	426	2.1	0.32	381	1006	931
3	3033	1619	2.5	0.30	6553	17048	14261

### Profilo Ps9

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	v -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	389	143	1.8	0.42	37	105	223
2	1102	544	2.1	0.34	621	1664	1722
3	2451	1527	2.5	0.18	5829	13788	7240

### Profilo Ps10

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	v -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	443	172	1.8	0.41	53	150	283
2	814	409	2.1	0.33	351	935	923
3	2358	1068	2.5	0.37	2850	7816	10095

### Profilo Ps11

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	v -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	422	194	1.8	0.37	68	185	230
2	1087	536	2.1	0.34	603	1616	1677
3	1958	1048	2.5	0.30	2746	7136	5923

## Profilo Ps12

ORIZZONTE SISMICO	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t/m <sup>3</sup>	v -	G Mpa	E MPa	K MPa
1	362	142	1.8	0.41	36	102	187
2	983	501	2.1	0.32	527	1396	1326
3	2649	1454	2.5	0.28	5285	13577	10496

Tabella X – profili sismici

### 7.8 Indagine mediante sismica down-hole

Sono stati eseguiti due sondaggi sismici verticali secondo la metodologia down-hole.

Nei fori di sondaggio S9 ed S13 è stato posto in opera un tubo in PVC del diametro di 3" rispettivamente alla profondità di 20.00 m e di 15.00 m, per la realizzazione della prova down-hole.

Il tubo è stato poi cementato con miscela cemento – bentonite ed è stata eseguita la cementazione dal basso a bassa pressione con tubicini a sezione ridotta posti a diverse profondità. Il boccaforo è stato protetto con pozetto metallico.

#### 7.8.1 Correlazione tra velocità delle onde sismiche, parametri elasticci e geomeccanici

Secondo i principi dell'elasticità dei materiali e le leggi che associano le deformazioni subite da un corpo agli sforzi ad esso applicati, è possibile stabilire relazione che forniscono i parametri elasticci di un materiale conoscendo i valori di velocità delle onde sismiche di compressione P e di taglio S.

Poiché le tensioni e le deformazioni che si generano sotto l'azione del campo d'onda sismico sono di modesta entità, anche il terreno e le rocce sollecitate in questo ambito possono essere considerati in prima approssimazione come materiali omogenei, isotropi ed elasticci, ed è quindi applicabile la legge di Hook (proporzionalità tra lo sforzo applicato  $\sigma_{ij}$  e la deformazione prodotta  $\epsilon_{kl}$ ) espressa come:  $\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl}$  nella quale le costanti di proporzionalità  $C_{ijkl}$  sono dette Moduli Elasticci.

Tali costanti definiscono le proprietà dei materiali, ed assumendo materiali isotropi ed elasticci, diminuiscono da 81 a 5, di cui quattro hanno un preciso significato fisico ( $G$ ,  $E$ ,  $K$ ,  $n$ ), mentre  $I$  rappresenta una semplificazione nelle formule.

In senso più generale possono essere definite le costanti di Lamè  $I$  e  $m$  come caratteristiche elasticci indipendenti dalle direzioni lungo cui vengono applicate le tensioni o lungo cui vengono registrate le deformazioni. Queste due costanti sono definite dalle relazioni:

$$I = (n E) / [(1 + n)(1 - 2n)]$$

$$m = E / 2(1 + n)$$

Analogamente i due moduli  $E$  e  $n$  possono essere espressi in funzione delle costanti di Lamè:

$$E = m(3I + 2n) / (I + n)$$

$$n = I / [2(I + m)]$$

Dimensionalmente i moduli elastici **G**, **E**, **K** e le due costanti di Lamè esprimono il rapporto tra una forza ed una superficie e sono quindi delle pressioni, mentre il rapporto di Poisson è adimensionale.

La costante **E** viene definita come rapporto tra sollecitazione e conseguente deformazione longitudinale rappresenta il modulo elastico del materiale (Modulo di Young). E' importante sottolineare che in campo dinamico si parla di modulo elastico dinamico, non statico, proprio perché tale modulo è ricavato dalle velocità delle onde sismiche.

La misura della resistenza del materiale al taglio viene definita come il rapporto tra deformazione e sforzo applicato, ed è chiamata Modulo di Taglio, **G**.

Il rapporto tra la tensione idrostatica e la deformazione cubica definisce il Modulo di compressione volumetrica o Bulk, **k**.

Infine, il Modulo di Poisson **ρ**, è definito come rapporto tra la deformazione trasversale e quella longitudinale; tale modulo varia fra 0 (resistenza al taglio infinita) e 0.5 (fluidi con resistenza al taglio nulla). Un'ultima costante entra a far parte delle relazioni tra caratteristiche elastiche e velocità, la densità **ρ** del materiale.

Le velocità sismiche possono essere espresse tramite le costanti elastiche con le seguenti relazioni:

$$V_p = ((1 + 2v)/\rho)^{1/2}$$
$$V_s = (v/\rho)^{1/2}$$

Pertanto avendo determinato i valori di **V<sub>p</sub>** e **V<sub>s</sub>** ed il valore **ρ** della densità del materiale attraversato, è possibile calcolare i valori delle costanti elastiche dinamiche che caratterizzano i terreni esaminati con le seguenti relazioni.

$$v = \frac{1}{2} [ (V_p/V_s)^2 - 2 ] / [ (V_p/V_s)^2 - 1 ]$$
$$G = \rho V_s^2$$
$$E = 2 \rho V_s^2 (1 + v)$$
$$K = (2 \rho V_s^2 (1 + v)) / (3(1 - 2v))$$

Merita di essere ricordato infine che i parametri ricavati da misure dinamiche, cioè mediante l'utilizzo delle velocità delle onde sismiche, hanno in genere valori superiori a quelli ricavati da prove statiche di laboratorio proprio per il diverso campo di sforzo applicato e deformazione raggiunta: le intense ma brevi sollecitazioni provocate dalla propagazione delle onde sismiche si mantengono infatti nel campo elastico delle deformazioni del materiale.

#### 7.8.2 Procedure di campagna

Per la registrazione delle onde di compressione e delle onde di taglio in profondità viene utilizzato un geofono munito di tre sensori sensibili alle componenti del moto lungo tre direzioni: una verticale e due orizzontali ortogonali fra loro. Il sensore, munito di un sistema teleguidato di orientazione e di ancoraggio meccanico, viene calato all'interno del foro di sondaggio, preventivamente attrezzato con un tubo inclinometrico, e ad intervalli determinati vengono registrati i treni d'onda prodotti dalle energizzazioni poste in superficie. L'orientazione è garantita da una bussola posta all'interno del sensore che posiziona la terna di geofoni con il sensore longitudinale disposto secondo il Nord; posizionando in un punto cardinale la sorgente di energizzazione in superficie, si può così avere un completo controllo nell'analisi del treno d'onda che attraversa i terreni da investigare.

Energizzando su una piastra posta a diretto contatto con il terreno vengono generate predominanti onde P di compressione, mentre per le onde di taglio SH si utilizza una tavola di legno posta a diretto contatto col terreno, che viene battuta lateralmente dopo averla opportunamente caricata di un peso adeguato. Viene inoltre posizionato un quarto geofono esterno in prossimità del boccaforo, che rimane fisso per tutta la fase di acquisizione dati: ciò al fine di correlare i tempi di arrivo registrati dal geofono nel pozzo correggere così eventuali differenze di tempo dovute al sistema di trigger posizionato sulla sorgente di energizzazione. (Figura 8).

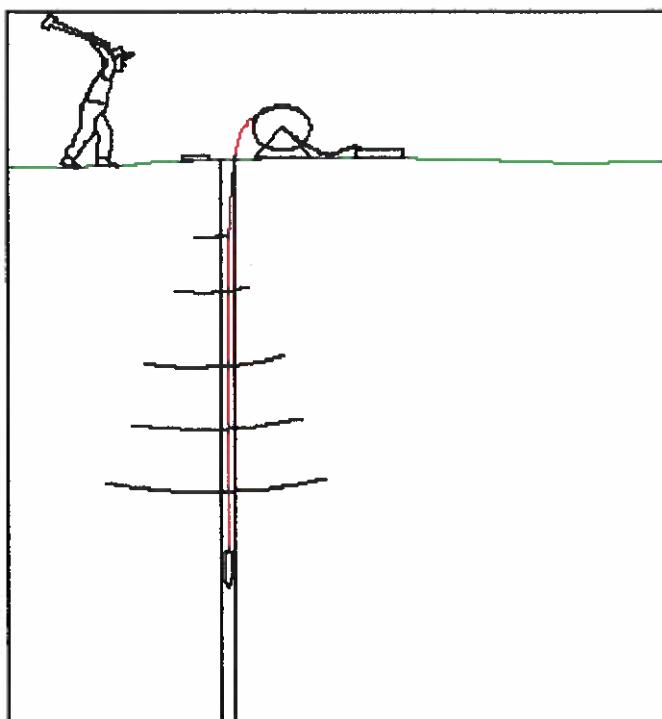


Figura 8– Schema del sistema d'acquisizione

Una unità esterna di controllo gestisce le fasi di ancoraggio, orientazione e registrazione del geofono da pozzo, mentre le tracce sismiche relative ad ogni intervallo di profondità e la quarta traccia di correzione, vengono registrate mediante il sismografo digitale per la loro successiva elaborazione.

#### 7.8.3 Metodo di elaborazione dati

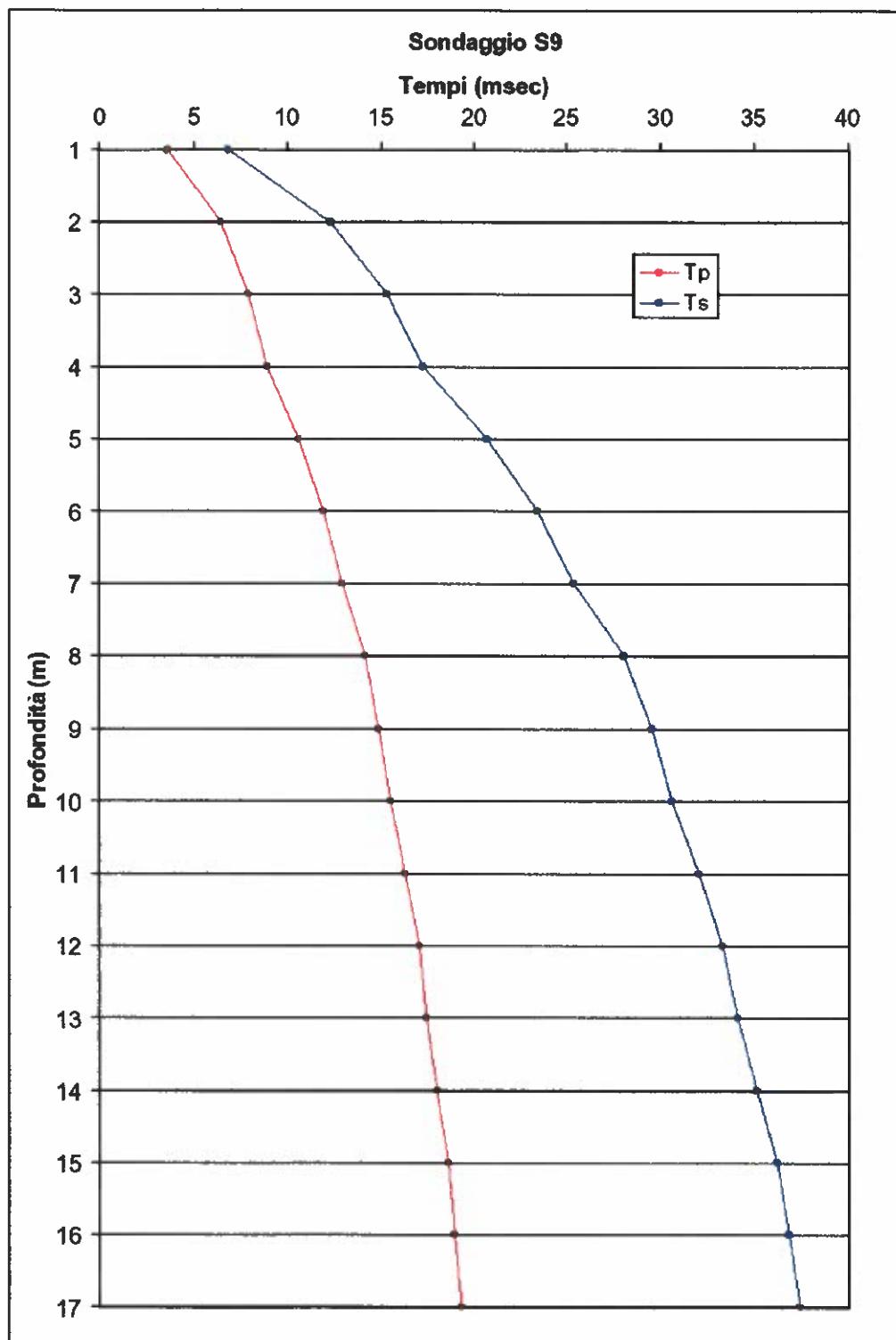
Questa tecnica di prospezione sismica prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione P e di taglio S tra il punto di energizzazione posto in superficie ed il punto di ricezione situato in profondità nel foro di sondaggio. Vengono quindi calcolati gli incrementi di tempo per ogni singola registrazione sottraendo i due successivi tempi di arrivo sia per le onde di compressione che di taglio, in modo da risalire alla velocità delle onde P e delle onde S per ogni intervallo di registrazione.

Tali valori di velocità vengono quindi diagrammati per visualizzare le variazioni di velocità con la profondità, ed utilizzati per ricavare i moduli dinamici, secondo le formule di paragrafo 6.8.1.

Dalla variazione delle velocità e dei parametri elastici con la profondità si risale al tipo di materiale in cui sta passando il treno d'onda a quella profondità, (Tabella XI).

Materiale	V <sub>p</sub> m/sec.	V <sub>s</sub> m/sec.	ρ t / m <sup>3</sup>	ν —	G MPa	E MPa	K MPa
Suolo	450	180	1.9	0.40	62	173	303
Argille	2120	1470	2.67	0.04	5770	11966	4307
Siltiti	2300	1500	2.5	0.13	5625	12712	5725
Calcarei	3600	2300	2.71	0.16	14336	33120	16007
Quarzite	4900	3200	2.66	0.13	27238	61459	27549
Arenaria	2500	1700	2.28	0.07	6589	14100	5464
Argilliti	4336	2860	2.67	0.11	21840	48700	21079
Scisti	4600	2900	2.7	0.17	22707	53143	26856
Gneiss	3189	2053	2.64	0.15	11127	25506	12012
Marmo	5587	3136	2.87	0.27	28225	71692	51952
Granito	3900	2700	2.66	0.04	19391	40325	14603
Gabbro	5000	3200	3.05	0.15	31232	72028	34607
Diabase	6500	3600	2.96	0.28	38362	98111	73911
Basalto	5124	3070	2.74	0.22	25824	63011	37507
Andesite	4800	3000	2.57	0.18	23130	54563	28373
Tufo	1000	660	1.45	0.11	632	1407	608
Calcestruzzo	4000	2500	2.6	0.18	16250	38333	19933

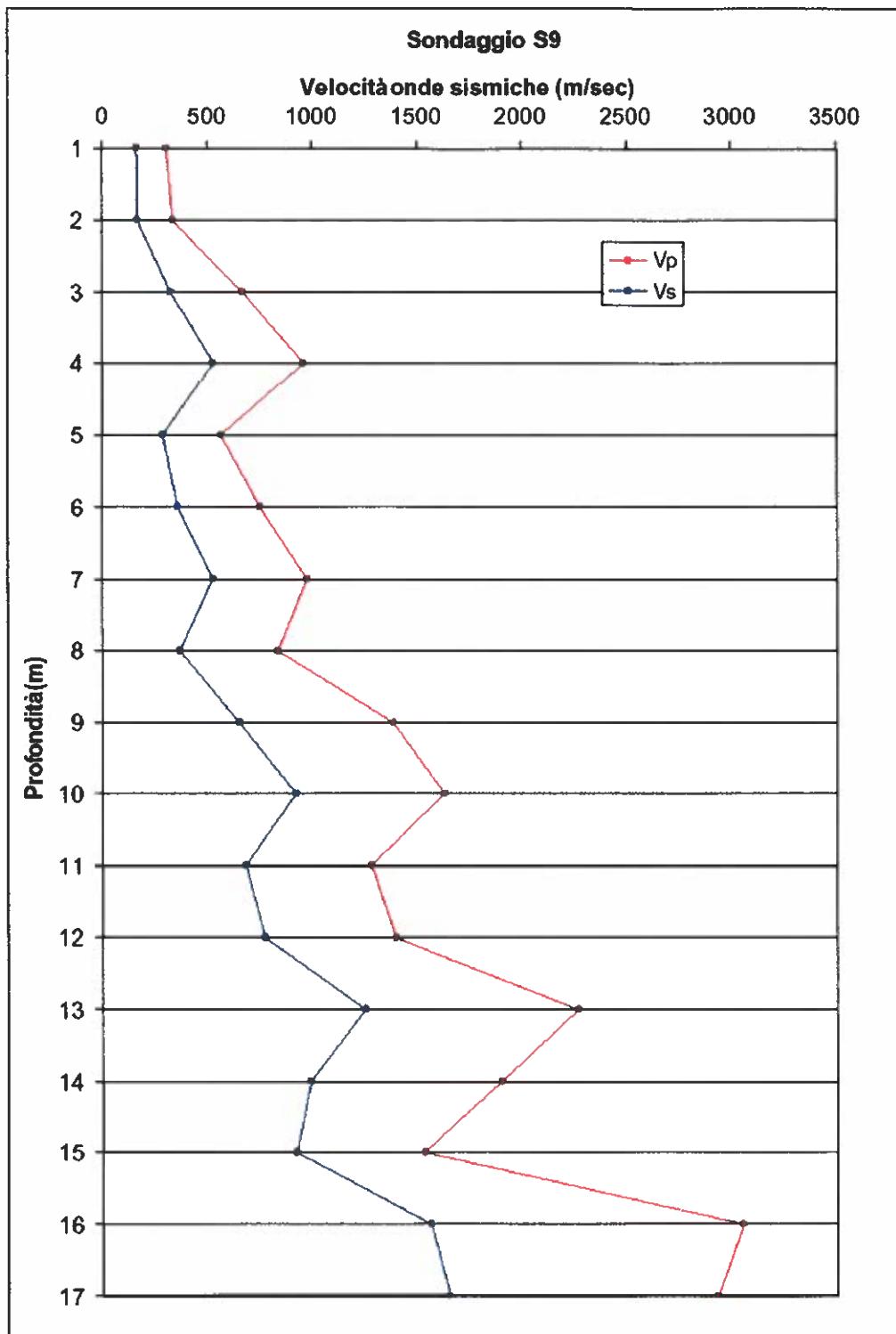
Tabella XI – Caratteristiche dei principali materiali (da Press 1966, pp. 97-173)

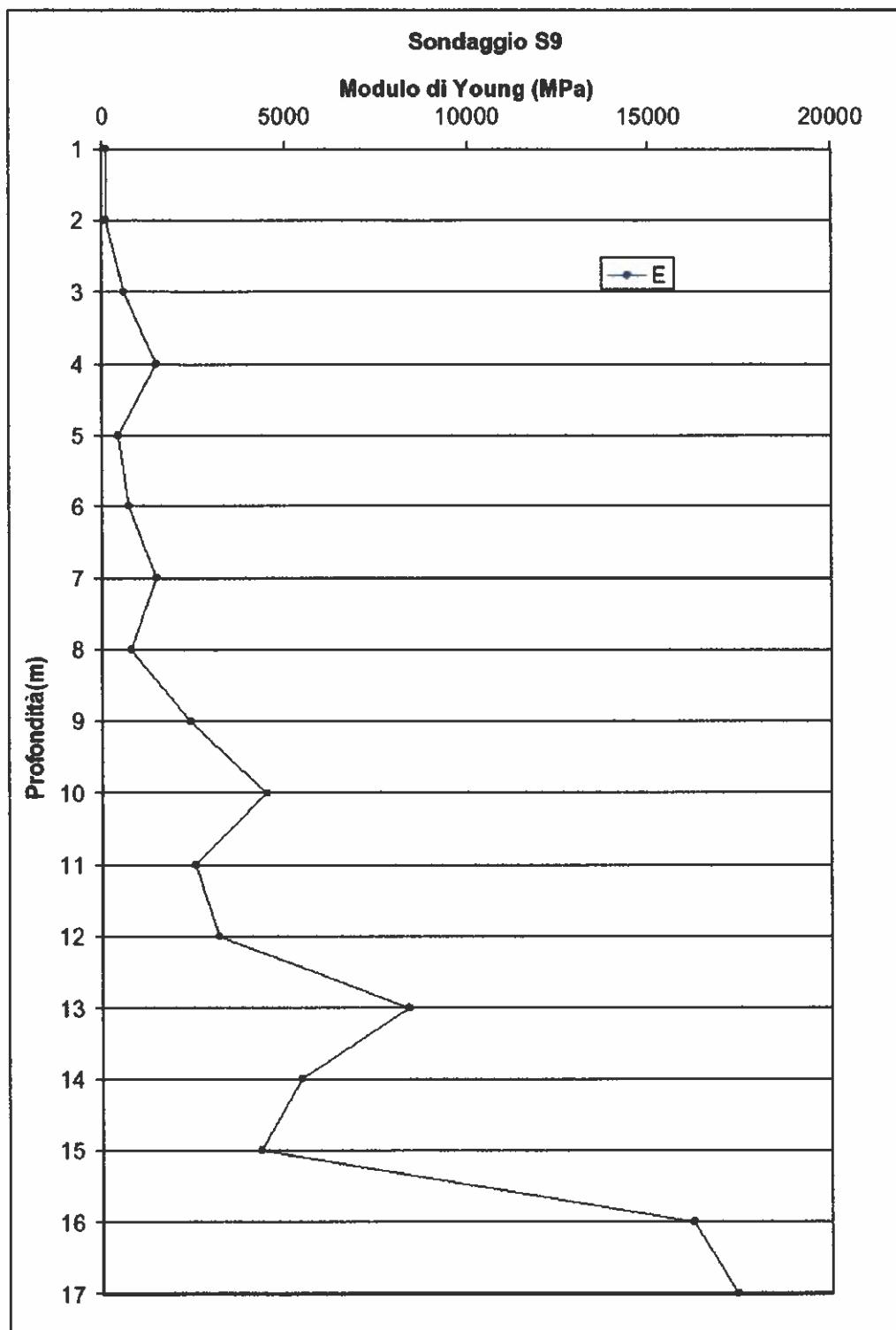


### Sondaggio S9

Z m	Tp ms	Ts ms	Vp m/sec.	Vs m/sec.	r t/m^3	v -	G MPa	E MPa	K MPa
1	3.64	6.82	307	164	1.8	0.30	48	126	105
2	6.44	12.37	337	170	1.8	0.33	52	138	135
3	7.90	15.36	672	327	2.1	0.34	225	604	649
4	8.93	17.23	958	531	2.1	0.28	592	1513	1138
5	10.68	20.70	569	286	2.1	0.33	172	457	451
6	11.99	23.46	759	362	2.1	0.35	275	743	843
7	13.02	25.33	974	532	2.1	0.29	594	1531	1201
8	14.20	28.03	840	370	2.1	0.38	287	793	1100
9	14.92	29.55	1390	658	2.1	0.36	909	2465	2847
10	15.53	30.63	1635	924	2.1	0.27	1793	4537	3223
11	16.31	32.08	1284	686	2.1	0.30	988	2570	2146
12	17.02	33.37	1400	777	2.1	0.28	1268	3239	2425
13	17.46	34.17	2269	1251	2.1	0.28	3287	8425	6434
14	17.99	35.17	1908	994	2.1	0.31	2074	5451	4881
15	18.64	36.25	1540	924	2.1	0.22	1793	4370	2590
16	18.96	36.89	3052	1568	2.5	0.32	6147	16235	15091
17	19.30	37.49	2936	1660	2.5	0.27	6889	17430	12365

Z	Profondità	r	Densità
Tp	Tempo di arrivo onde di compressione	v	Modulo di Poisson
Ts	Tempo di arrivo onde di taglio	G	Modulo taglio
Vp	Velocità onde di compressione	E	Modulo di Young
Vs	Velocità onde di taglio	K	Modulo di rigidità volumetrica

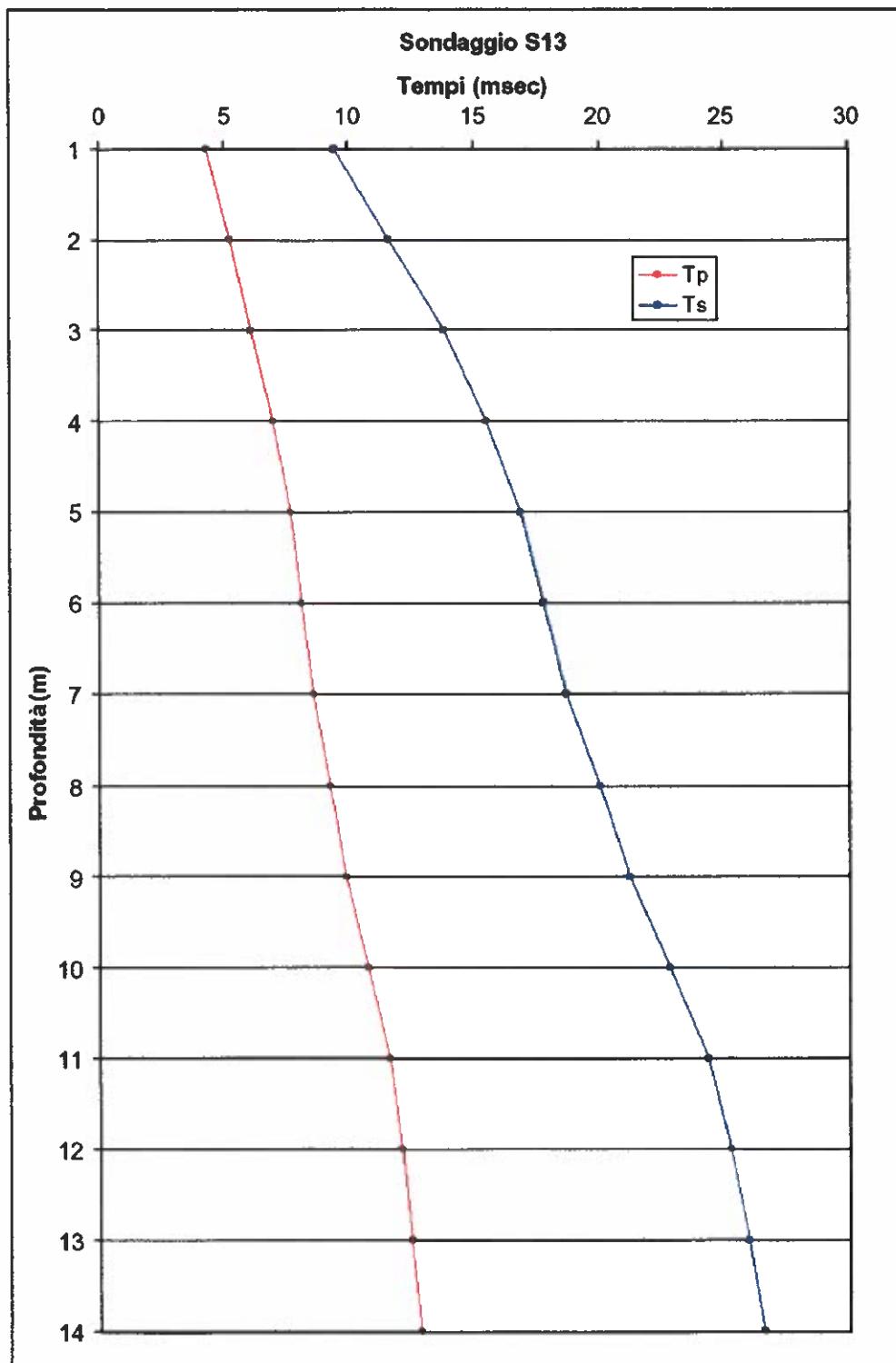


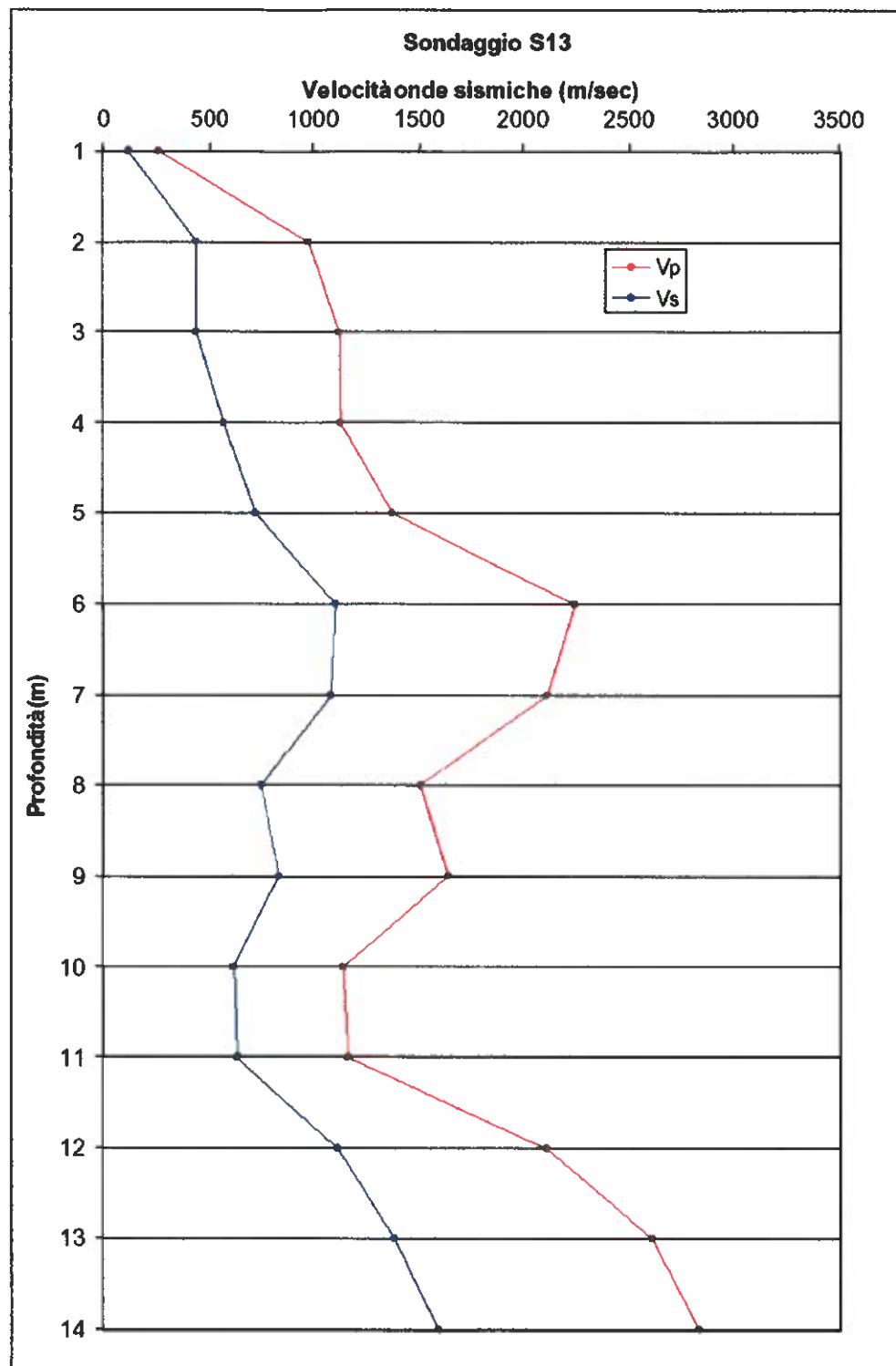


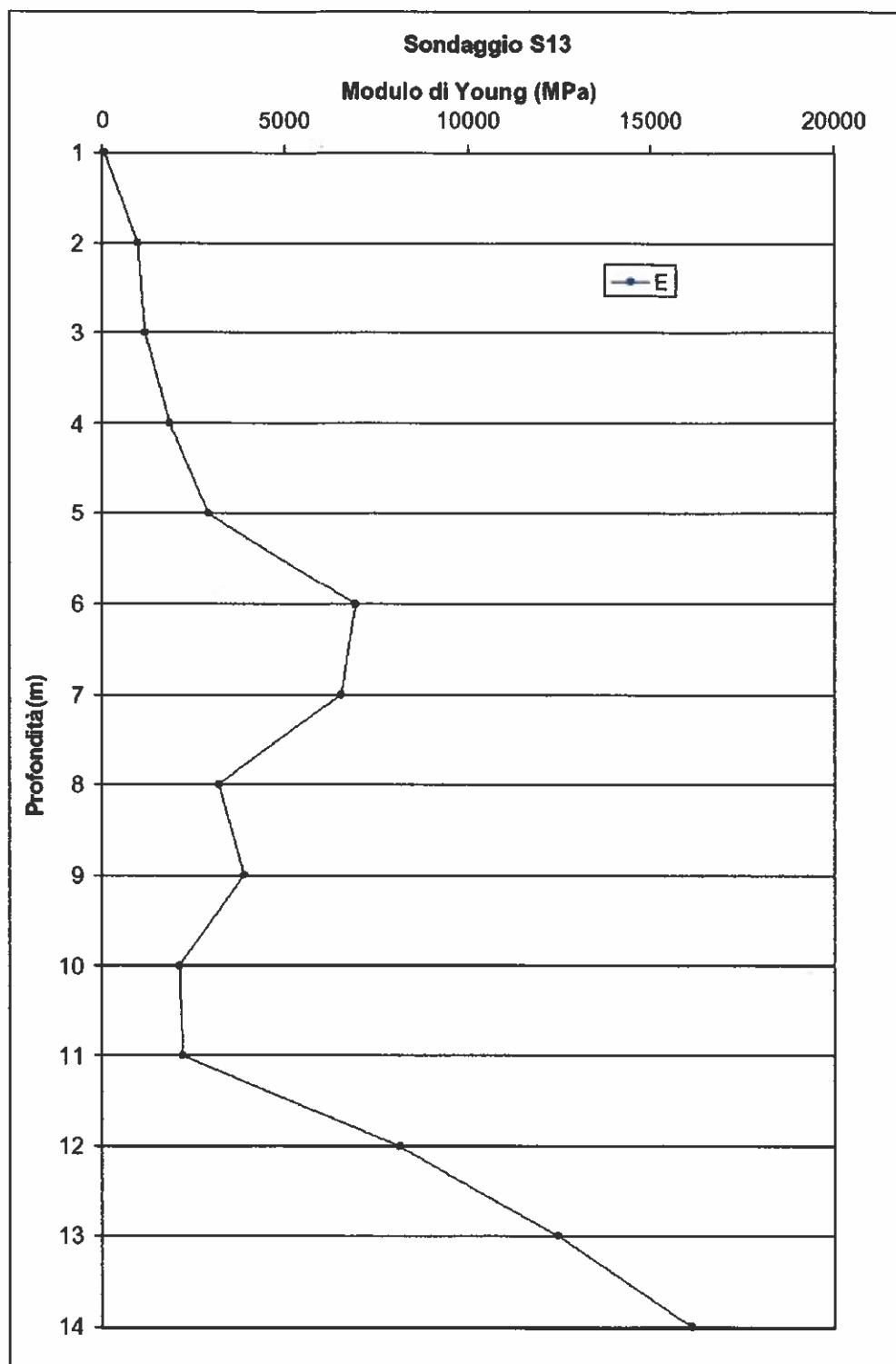
### Sondaggio S13

Z m	Tp ms	Ts ms	Vp m/sec.	Vs m/sec.	r t/m^3	v -	G MPa	E MPa	K MPa
1	4.27	9.47	262	118	1.8	0.37	25	69	90
2	5.23	11.62	982	440	1.8	0.37	348	958	1271
3	6.10	13.84	1125	440	2.1	0.41	407	1148	2115
4	6.97	15.57	1132	574	2.1	0.33	691	1834	1769
5	7.70	16.94	1374	728	2.1	0.30	1113	2905	2481
6	8.14	17.83	2243	1109	2.1	0.34	2581	6909	7124
7	8.61	18.75	2114	1086	2.1	0.32	2477	6542	6083
8	9.27	20.07	1508	754	2.1	0.33	1195	3186	3186
9	9.88	21.26	1641	840	2.1	0.32	1482	3919	3681
10	10.76	22.87	1141	623	2.1	0.29	815	2099	1647
11	11.62	24.43	1162	638	2.1	0.28	855	2195	1696
12	12.09	25.33	2110	1116	2.5	0.31	3114	8131	6976
13	12.47	26.05	2613	1382	2.5	0.31	4775	12470	10700
14	12.82	26.68	2840	1596	2.5	0.27	6368	16164	11668

<b>Z</b>	<b>Profondità</b>	<b>r</b>	<b>Densità</b>
<b>Tp</b>	<b>Tempo di arrivo onde di compressione</b>	<b>v</b>	<b>Modulo di Poisson</b>
<b>Ts</b>	<b>Tempo di arrivo onde di taglio</b>	<b>G</b>	<b>Modulo taglio</b>
<b>Vp</b>	<b>Velocità onde di compressione</b>	<b>E</b>	<b>Modulo di Young</b>
<b>Vs</b>	<b>Velocità onde di taglio</b>	<b>K</b>	<b>Modulo di rigidità volumetrica</b>







#### 7.8.4 Analisi dei risultati

##### Sondaggio S9

I primi due metri del sondaggio sono caratterizzati da basse velocità Vp e Vs tipiche di materiali sciolti; da 3 a 8 m dal p.c. vi è un aumento delle velocità sia Vp che Vs, che si fa più marcato da 9 a 13 m da p.c., con valori di Vp che aumentano da 840 a 2269 m/sec e Vs da 370 a 1251 m/sec; da 13 a 15 m da p.c. è presente un'inversione di velocità a 1540 e 924 m/sec di Vp e Vs rispettivamente; in base alle stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti, le variazioni di velocità di questi materiali (brecce poligeniche in matrice limo-sabbiosa) sono indice delle variazioni locali dei materiali. Oltre 15 m di profondità da p.c. le velocità Vp e Vs risalgono fortemente a ca. 3000 e 1600 m/sec rispettivamente, indice di un passaggio al substrato dell'area, composto da alternanze rocciose poligeniche in assetto caotico.

##### Sondaggio S13

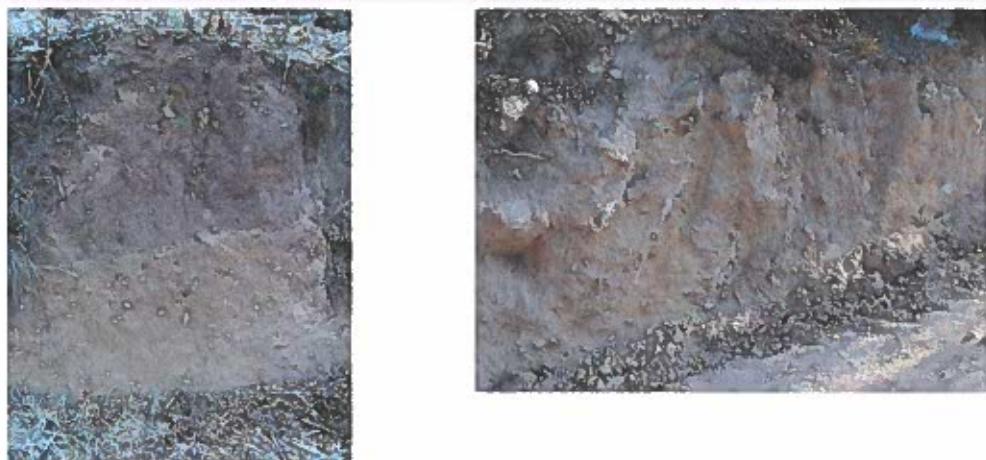
Il primo metro del sondaggio è caratterizzato da basse velocità Vp e Vs tipiche di materiali sciolti; da 2 a 11 m di profondità dal p.c. le velocità Vp mostrano valori medi di 1000-1500 m/sec. con una zona caratterizzata da alte velocità (2100 -2200 m/sec) situata da 6 a 7 m di profondità; anche le Vs mostrano un innalzamento dei valori a questa quota, ma meno marcato; queste variazioni di velocità testimoniano le variazioni del grado di addensamento delle brecce poligeniche presenti. Oltre 11 m di profondità dal p.c. si ha il passaggio al substrato litoide, costituito in questo punto da un livello roccioso estremamente fratturato, con un progressivo aumento dei valori delle velocità Vp e Vs intorno a valori di 2100-2800 e 1100-1600 m/sec.

Le variazioni di velocità all'interno del substrato sono da riferirsi a diverso grado di alterazione e fatturazione dello stesso o alla alternanza fra i diversi litotipi che lo compongono.

## 8 ANALISI ED INTERPRETAZIONE DEI DATI

L'analisi dei dati derivanti dalle singole prove porta a ritenere che l'area è interessata generalmente da una coltre di alterazione colluviale della potenza di alcuni metri (valutabile fra 8/10 metri ).

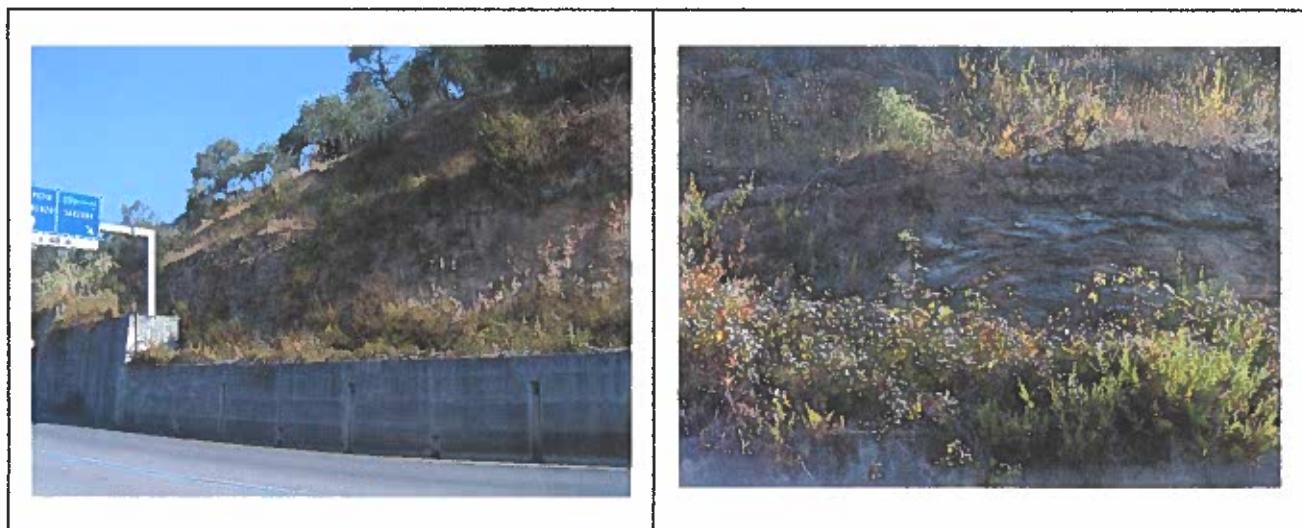
Tale coltre giace su un substrato roccioso caratterizzato da Quarziti e Calcari in alternanza con buone caratteristiche geomecaniche. Le foto seguenti vogliono dare un esempio di come il detrito si presenta nei spaccati artificiali realizzati durante le operazioni di realizzazione delle piste di accesso.



**Figura 9 – Spessore della coltre detritica**

Allo stato attuale delle indagini e dello sviluppo del progetto abbiamo reputato opportuno non introdurre la suddivisione che emerge dall'indagine sismica relativamente al primo strato in quanto trattandosi di uno strato di modesto spessore (circa 1 metro) e comunque con caratteristiche meccaniche assimilabile al secondo strato (derivato dalla indagine sismica) è stato inglobato nella proposta di modello geomecanico del terreno nel 1° strato derivato dai sondaggi geognostici. (Figura 9)

L'insieme dei dati derivati dai sondaggi geognostici, e dalle indagini sismiche ha permesso di ricostruire in maniera soddisfacente l'andamento del substrato roccioso dell'area in esame, e viene qui di seguito proposta la sintesi finale della elaborazione dei dati eseguita con la realizzazione della Carta delle Isopache.



**Figura 10 - Caratteristiche generali dell'ammasso roccioso (substrato)**

In questo caso le due foto vogliono dare una rappresentazione della qualità e delle caratteristiche generali dell'ammasso roccioso (substrato) riscontrato durante le operazioni di sondaggio (Figura 10).

### **8.1 Carta delle isopache**

In Tabella XII sono riportati i dati di spessore delle coltri di detrito sia in profondità dal P.C. sia in m sul livello del mare.

Tali dati sono stati ulteriormente verificati con i dati derivanti dalle indagini sismiche al fine di derivare un possibile andamento del substrato roccioso (Figura 11) dove le isoline, definite isopache, rappresentano l'andamento del substrato roccioso in metri sul livello del mare. Da queste si possono estrapolare facilmente le differenze di quota che intercorrono fra le curve di livello e le isopache stesse.

Sondaggio n°	Quota substrato in m s.l.m.	Quota substrato in m (profondità dal p.c.)	Quota sondaggio in m sim
S01	27.5	9.5	37
S02	33.5	4	37.5
S03	20.5	6.5	27
S04	20	6.1	26.1
S05	22	7	29
S06	17.5	8.5	26
S07	9	12	21
S08	23.2	7.3	30.5
S09	4.9	16.1	21
S10	21	6	27
S11	15.2	7.1	22.3
S12	16.2	7.3	23.5
S13	7.5	10.8	18.3
S14	24.9	10.1	35
S15	28	8	36

Tabella XII - spessore delle coltri di detrito

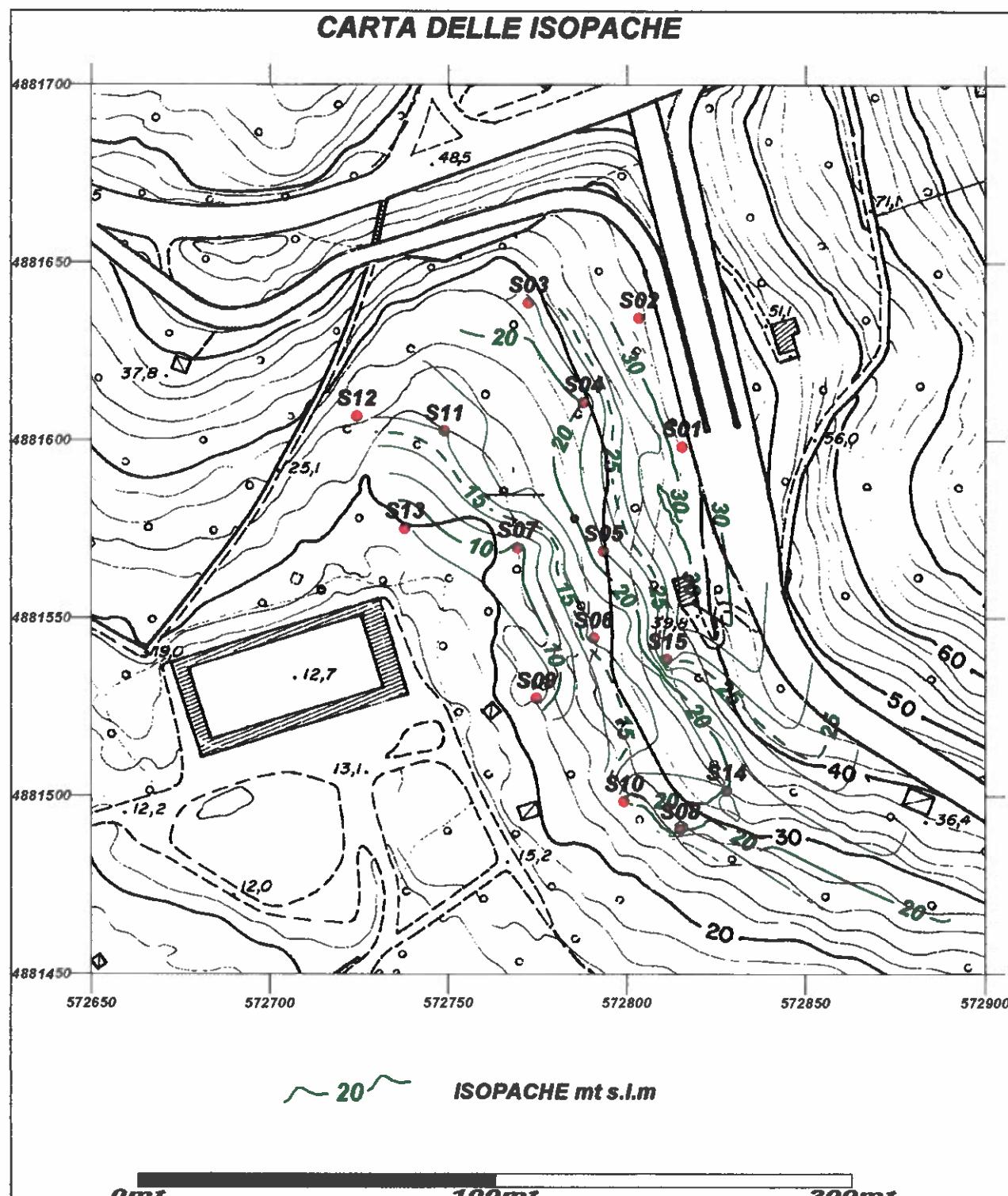


Figura 11 - Carta delle isopache

## 8.2 Caratterizzazione geomeccanica della coltre detritica

Le caratteristiche meccaniche delle terre investigate portano a reputare questi terreni come sabbie e ghiaie più o meno argillose e limose con variazioni locali soprattutto in corrispondenza della zona di base. Inoltre è opportuno notare come nella fascia a maggior pendenza lo spessore del detrito si mantiene abbastanza costante (compreso fra 6 e 8 metri), e tende ad aumentare verso valle nelle zone più vicine alla piscina S13- S14 ed S09.

Per quanto riguarda i parametri geomeccanici, gli stessi sono derivati sia dalle analisi di laboratorio che dalle prove SPT eseguite in foro

Per quanto riguarda le prove di laboratorio, viene qui proposto il certificato sintetico delle varie prove eseguite sui campioni prelevati durante la campagna geognostica e relativi alla coltre detritica superficiale (Tabella XIII).

CAMPIONE	S7C1	S7C2	S8Crl	S9Crl
<b>Profondità metri</b>	<b>3.0 - 3.4</b>	<b>7.0 - 7.5</b>	<b>5.8 - 6.0</b>	<b>2.7 - 3.0</b>
<b>Prova E.L.L.</b>				
Cu (kg/cmq)	1.22	0.73	0.66	0.41
Eti (kg/cmq)	393.7	29.4	14.8	8.0
<b>Prova edometrica</b>				
RR (rapporto di ricompressione)	0.01856	0.02414	0.02745	
CR (rapporto di compressione)	0.08691	0.09319	0.06756	
SR (rapporto di rigonfiamento)	0.01332	0.01832	0.01910	
<b>Prova di taglio C.D.</b>				
C (Kg/cmq)	<b>0.15</b>	<b>0.06</b>		
Phi'°	<b>30.3</b>	<b>28.1</b>		
<b>Parametri fisici</b>				
Peso vol. nat. (gr/cmc)	2.09 - 2.16	2.08	2.06 - 2.23	2.18
Peso vol. secco (gr/cmc)	1.88 - 1.94	1.78	1.75 - 1.92	1.86
<b>Limiti di Atterberg</b>				
Umidità naturale (%)	10.94	13.30	13.63	17.92
Limite liquido (%)	35.9	33.4	28.9	26.9
Limite plastico (%)	17.8	22.1	19.1	20.8
Indice plastico (%)	18.1	11.3	9.8	6.1
Indice di consistenza	1.38	1.78	1.56	1.47
Indice di attività	0.99	1.56	2.11	0.62
<b>Classificaz. Casagrande</b>	<b>CL</b>	<b>CL</b>	<b>CL</b>	<b>ML-CL</b>
<b>Granulometria</b>				
Ghiaia (%)	14.2	18.8	13.0	20.1
Sabbia (%)	44.0	42.1	44.0	42.1
Limo (%)	23.6	31.9	38.4	28.0
Argilla (%)	18.2	7.2	4.6	9.8
<b>CAMPIONE</b>	<b>S3Cl</b>	<b>SSCrI</b>	<b>S6Crl</b>	<b>S6Cr2</b>
<b>Profondità metri</b>	<b>2.5 - 2.9</b>	<b>3.40 - 3.75</b>	<b>3.6 - 4.0</b>	<b>6.5 - 7.0</b>
<b>Prova E.L.L.</b>				
Cu (kg/cmq)	0.51	0.90	0.63	0.47
Eti (kg/cmq)	16.4	35.0	20.4	15.6

<b>Prova edometrica</b>				
RR (rapporto di ricompressione)	0.02031			
CR (rapporto di compressione)	0.08351			
SR (rapporto di rigonfiamento)	0.01656			
<b>Prova di taglio C.D.</b>				
C (Kg/cmq)	0.03			0.01
Phi'	31.6			30.2
<b>Parametri fisici</b>				
Peso vol. nat. (gr/cmc)	2.05 - 2.22	1.99	2.00	2.09
Peso vol. secco (gr/cmc)	1.75 - 1.93	1.65	1.69	1.79
<b>Limiti di Atterberg</b>				
Umidità naturale (%)	16.59	22.01	18.15	16.30
Limite liquido (%)	32.2	45.8	42.9	34.2
Limite plastico (%)	22.6	25.6	21.8	20.8
Indice plastico (%)	9.6	20.2	21.0	13.4
Indice di consistenza	1.62	1.18	1.18	1.34
Indice di attività	0.81	0.98	0.88	0.97
Classificaz. Casagrande	CL	CL	CL	CL
<b>Granulometria</b>				
Ghiaia (%)	15.6	12.0	10.4	11.2
Sabbia (%)	35.8	23.4	31.4	45.3
Limo (%)	36.7	44.0	34.4	29.6
Argilla (%)	12.0	20.7	23.9	13.8
<b>CAMPIONE</b>				
	S9Cr2	SiOCrl	SiICl	SiICr2
Profondità metri	6.5 - 7.0	4.7 - 5.0	2.0 - 2.5	6.0 - 6.4
<b>Prova E.L.L.</b>				
Cu (kg/cmq)	0.59	0.35	0.43	0.51
Eti (kg/cmq)	20.1	5.7	13.6	41.2
<b>Prova edometrica</b>				
RR (rapporto di ricompressione)			0.01964	
CR (rapporto di compressione)			0.09076	
SR (rapporto di rigonfiamento)			0.01954	
<b>Prova di taglio C.D.</b>				
C (Kg/cmq)			0.08	
Phi'			29.3	
<b>Parametri fisici</b>				
Peso vol. nat. (gr/cmc)	2.09	2.16	1.99-2.10	2.19
Peso vol. secco (gr/cmc)	1.81	1.85	1.63 - 1.77	1.94
<b>Limiti di Atterberg</b>				
Umidità naturale (%)	15.18	16.01	21.48	12.56
Limite liquido (%)	32.65	33.2	42.9	33.28
Limite plastico (%)	21.83	21.4	26.2	23.97
Indice plastico (%)	10.81	11.7	16.7	9.30
Indice di consistenza	1.61	1.46	1.28	2.23
Indice di attività	0.69	1.70	0.81	0.81
Classificaz. Casagrande	CL	CL	ML-OL	ML-OL
<b>Granulometria</b>				
Ghiaia (%)	12.9	10.0	14.7	16.8
Sabbia (%)	28.3	43.1	31.2	26.3
Limo (%)	43.2	40.0	33.4	40.5
Argilla (%)	15.6	6.9	20.6	6.3

CAMPIONE	S12CrI	S13CrI	S13Cr2	S14CrI
<b>Profondità metri</b>	<b>3.0 - 3.4</b>	<b>3.6 - 4.0</b>	<b>6.4 - 6.7</b>	<b>2.0 - 2.2</b>
<b>Prova E.L.L.</b>				
Cu (kg/cmq)	0.64	0.68	0.84	1.42
Eti (kg/cmq)	33.0	19.9	27.6	80.0
<b>Prova edometrica</b>				
RR (rapporto di ricompressione)	0.01705		0.01316	
CR (rapporto di compressione)	0.11492		0.08706	
SR (rapporto di rigonfiamento)	0.02393		0.02159	
<b>Prova di taglio C.D.</b>				
C (Kg/cmq)			<b>0.12</b>	
Phi'			<b>30.2</b>	
<b>Parametri fisici</b>				
Peso vol. nat. (gr/cmc)	<b>2.02 - 2.11</b>	<b>2.13</b>	<b>2.12-2.16</b>	<b>1.98</b>
Peso vol. secco (gr/cmc)	<b>1.67 - 1.77</b>	<b>1.77</b>	<b>1.78 - 1.81</b>	<b>1.56</b>
<b>Limiti di Atterberg</b>				
Umidità naturale (%)	20.86	19.09	20.66	22.81
Limite liquido (%)	40.4	39.3	44.6	74.3
Limite plastico (%)	21.6	22.3	24.2	33.1
Indice plastico (%)	18.8	17.0	20.4	41.3
Indice di consistenza	1.04	1.19	1.18	1.25
Indice di attività	0.81	0.80	0.69	0.87
<b>Classificaz. Casagrande</b>	<b>CL</b>	<b>CL</b>	<b>CL</b>	<b>CH</b>
<b>Granulometria</b>				
Ghiaia (%)	6.9	15.5	4.3	12.3
Sabbia (%)	26.5	25.3	24.3	22.5
Limo (%)	43.2	38.0	41.8	17.6
Argilla (%)	23.3	21.2	29.6	47.6

Tabella XIII - tabella riassuntiva certificato di prova n.390/2003

I parametri di resistenza al taglio relativamente all'angolo di attrito interno sono stati ulteriormente derivati applicando le seguenti formule utilizzate rispettivamente da Royal Bridge Specification e da Japanese National Railway.

$$\Phi = \sqrt{15Nspt} + 15$$

$$\Phi = 0.3Nspt + 27$$

Tali valori, successivamente confrontati con i diagrammi proposti da DE MELLO  $\varphi = f(Nspt, \sigma)$  e con le tabelle proposte da COLOMBO, risultarono fra i più bassi e furono quindi stati successivamente utilizzati nelle verifiche di stabilità in quanto particolarmente gravosi.

Sondaggio	Profondità (m)	Numero di colpi	Angolo di Attrito $\Phi'$
S1	3.00-3.45	34 / rifiuto	> 45°
S1	6.00-6.45	27 / 39 / rifiuto	> 45°
S2	2.50-2.95	21 / rifiuto	> 45°

<b>S2</b>	<b>4.00-4.45</b>	rifiuto	> 45°
<b>S3</b>	<b>3.30-3.75</b>	<b>18 / 27 / 27</b>	> 45°
<b>S4</b>	<b>3.00-3.45</b>	<b>6/8/9</b>	<b>32.1°</b>
<b>S4</b>	<b>5.00-5.45</b>	<b>17 / 24 / 29</b>	> 45°
<b>S5</b>	<b>4.00-4.45</b>	<b>39 / rifiuto</b>	> 45°
<b>S5</b>	<b>6.00-6.45</b>	<b>44 / rifiuto</b>	> 45°
<b>S6</b>	<b>5.50-5.95</b>	<b>9 / 11 / 16</b>	<b>35.1°</b>
<b>S7</b>	<b>5.00-5.45</b>	<b>16 / 14 / 17</b>	<b>36.3°</b>
<b>S7</b>	<b>9.00-9.45</b>	<b>39 / rifiuto</b>	> 45°
<b>S8</b>	<b>3.20-3.65</b>	<b>12 / 31 / 43</b>	> 45°
<b>S9</b>	<b>5.20-5.65</b>	<b>14 / 24 / 16</b>	<b>39°</b>
<b>S10</b>	<b>3.00-3.45</b>	<b>12 / 13 / 16</b>	<b>35.7°</b>
<b>S11</b>	<b>3.30-3.75</b>	<b>20 / 15 / 17</b>	<b>36.6°</b>
<b>S11</b>	<b>7.00-7.45</b>	<b>40 / rifiuto</b>	> 45°
<b>S12</b>	<b>7.00-7.45</b>	<b>38 / rifiuto</b>	> 45°
<b>S13</b>	<b>5.20-5.65</b>	<b>14 / 13 / 14</b>	<b>35.1°</b>
<b>S13</b>	<b>8.00-8.45</b>	<b>16 / 15 / 15</b>	<b>36°</b>
<b>S14</b>	<b>4.00-4.45</b>	<b>40 / rifiuto</b>	> 45°
<b>S14</b>	<b>8.00-8.45</b>	<b>15 / 18 / 22</b>	<b>39°</b>
<b>S15</b>	<b>4.00-4.45</b>	<b>17 / 12 / 11</b>	<b>33.9°</b>

In tale situazione, alla luce delle indagini in situ eseguite vennero proposti i seguenti parametri:

### 1° Strato = Coltre di detrito/alterazione

*Peso di volume = 20.59 kN/mc*

*φ =Angolo di attrito interno= 28.1°* (risulta il valore in assoluto più basso riscontrato. Si è però dell'opinione che tali terre abbiano valori medi decisamente più elevati e cautelativamente intorno ai 30/35°)

*C' = Coesione drenata = 0.00098/0.00784 MPa*

### 2° Strato = Brecce Calc caree e Quarziti:

*Peso di volume = 22.00 kN/mc*

*C' = Coesione drenata = 0.135244 Mpa*

*φ=Angolo di attrito interno= 45.16°*

si tratta di alternanze molto fratturate con buone caratteristiche meccaniche.

In questo caso la definizione dei parametri geomeccanici, trattandosi di roccia in posto, appare abbastanza difficoltosa ragione per la quale ci siamo rifatti alla classificazione delle rocce proposta da HOEK & BROWN (1998).

### 8.3 Caratterizzazione geomeccanica del substrato roccioso

#### 8.3.1 Analisi di rottura: applicazione del metodo di Hoek & Brown

La definizione delle caratteristiche degli ammassi rocciosi ha sempre presentato delle grandi difficoltà in quanto specialmente su rocce in alternanza le problematiche legate alle diverse caratteristiche geomeccaniche dei livelli litologici competenti che entrano in gioco rendono piuttosto complessa la loro caratterizzazione.

In particolare, questo problema si presenta su strutture lapidee di tipo flyschioide o in presenza di rocce in alternanza. Ossia la difficoltà a considerare la complessità geologica dell'ammasso, il suo grado di fatturazione, porta a essere molto conservativi nella definizione dei parametri in modo particolare nelle applicazioni relativamente alla stabilità dei versanti.

Alla luce di recenti sviluppi nel campo della meccanica delle rocce, ho reputato opportuno impostare il ragionamento in termini di ammasso roccioso che ha insite le considerazioni relative alla complessità ed al grado di alterazione e fessurazione del materiali (Formazioni Complesse – Rocce Tenere) basando tale tipo di approccio seguendo il criterio proposto da HOEK & BROWN (1998) che reputo più aderente alla descrizione delle caratteristiche meccaniche di un materiale roccioso complesso.

L'applicazione del metodo di Hoek & Brown permette di ricostruire l'inviluppo di rottura per l'intero ammasso roccioso e derivarne quindi i valori di Coesione e Angolo di Attrito equivalenti per lo specifico stato tensionale a cui si sta lavorando (tale metodo, sviluppato a partire dal 1998 è stato completato nel 2002) precedentemente si utilizzavano classificazioni tipo ISRM e metodi quale quello di BIENIAWSKI (1997).

#### Classificazione di Hoek & Brown

Non avendo disponibili prove di Point Load sui campioni di Roccia per determinarne il valore di "resistenza alla compressione monoassiale", sono state alle indicazioni fornite dalle pubblicazioni dei succitati autori.

I parametri di input e che definiscono l'ammasso roccioso sono i seguenti:

**Sigci** = Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta (Viene derivato dalla stima in campagna dei valori di rottura della roccia in MPa)

**GSI** = Indice geologico di resistenza dell'ammasso roccioso (Indice che rappresenta il grado di qualità della roccia sia come ammasso generale che come formazione Flyschioide – tiene ovviamente in considerazione il grado di complessità geologica e strutturale)

**Mi** = Costante di Hoek-Brown per roccia intatta

**D** = Definizione del fattore di disturbo dell'ammasso

#### **Hoek Brown Classification**

sigci 50 MPa

GSI 20

mi 12

D 0.2

#### **Hoek Brown Criterion**

mb 0.501728

s 7.30907\*e-005

a 0.543721

**Failure Envelope Range**

Application Slopes  
sig3max 0.447443 MPa  
Unit Weight 0.026 MN/m<sup>3</sup>  
Slope Height 20 m



**Mohr-Coulomb Fit**

c 0.135244 MPa  
phi 45.1617 degrees

**Rock Mass Parameters**

sigt -0.00728389 MPa  
sigc 0.281881 MPa  
sigcm 3.76721 MPa  
Em 1131.69 MPa

Qui di seguito vengono proposti i grafici relativi alla analisi di rottura dei materiali utilizzando il metodo di Hoek-Brown (Figura 12 a, b).

I parametri di seguito evidenziati sono stati utilizzati per la determinazione dei fattori di sicurezza dei versanti in condizioni naturali.

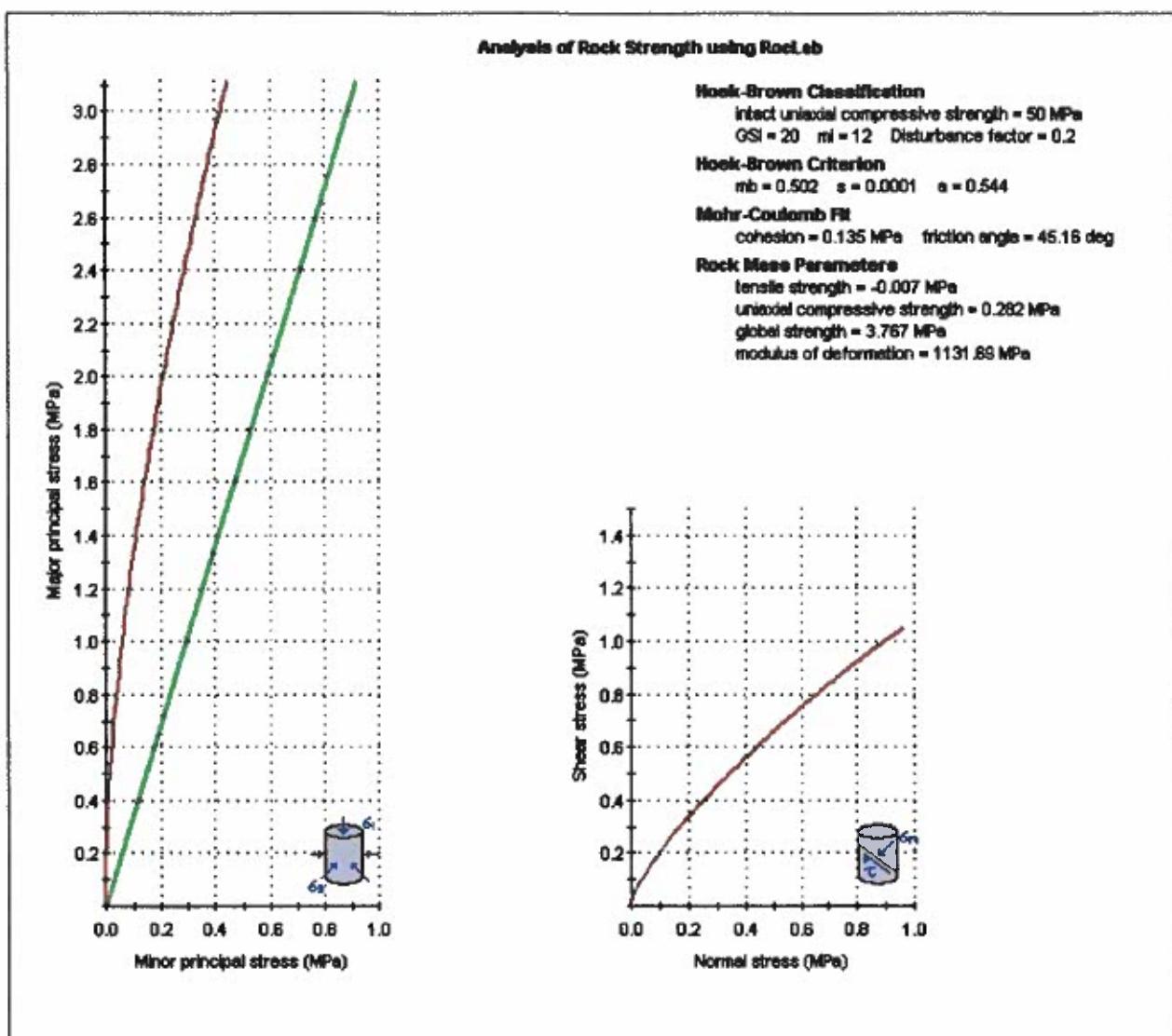


Figura 12 a - analisi di rottura dei materiali secondo il metodo di Hoek & Brown

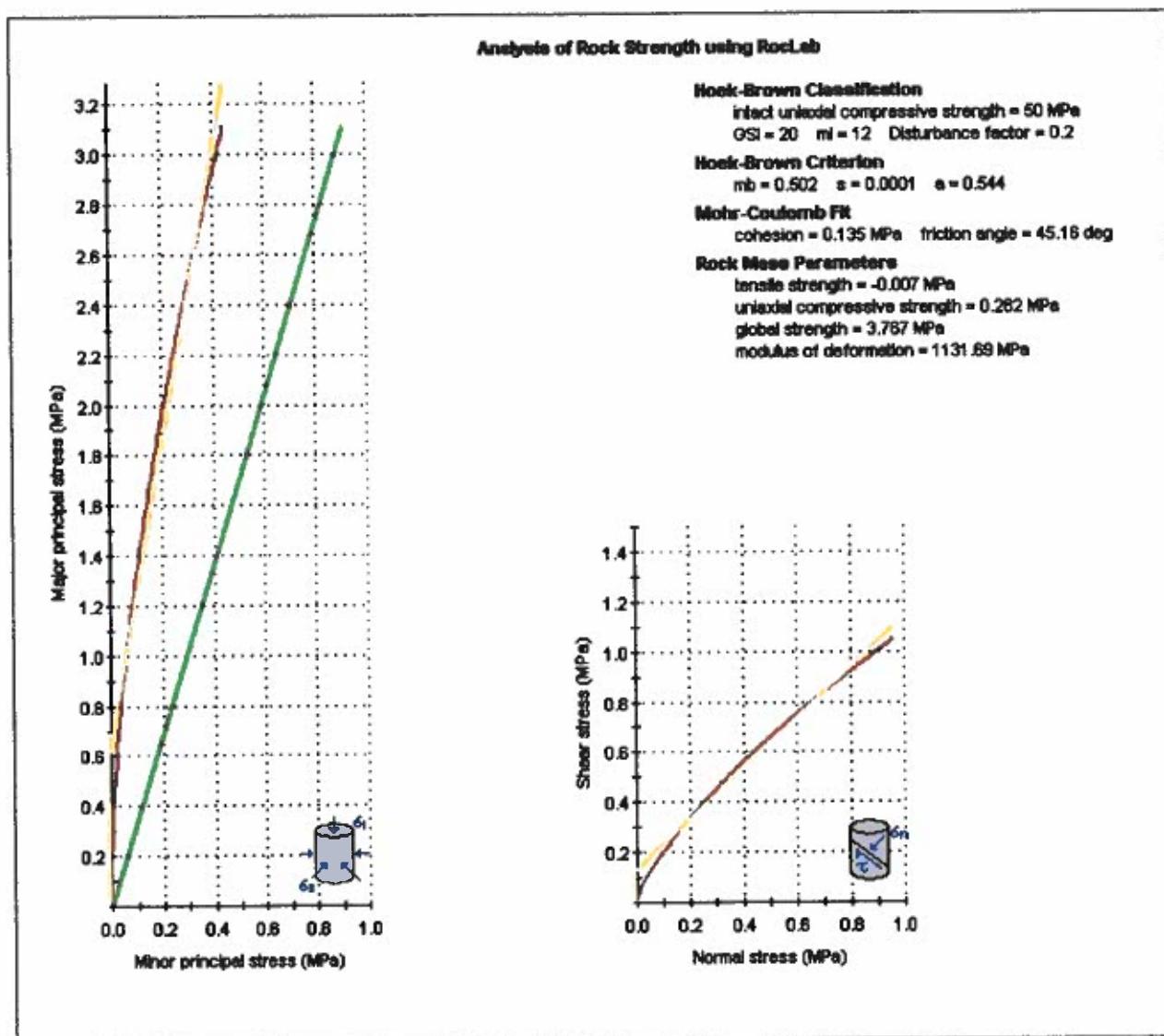


Figura 13 b - analisi di rottura dei materiali secondo il metodo di Hoek & Brown

## 9 SEZIONI GEOLOGICO - STRATIGRAFICHE ED ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI

Le analisi ed elaborazioni eseguite relativamente alle quote riscontrate dai sondaggi eseguiti, indagini sismiche, e misurazione dei livelli di falda, hanno permesso la ricostruzione dell'andamento delle isofreatiche e delle isopache del substrato; le analisi di laboratorio e le considerazioni sviluppate sugli ammassi rocciosi hanno permesso la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni esaminati.

Qui di seguito vengono proposte 5 sezioni Geologiche interpretative che evidenziano il rapporto intercorrente fra copertura detritica e substrato roccioso nonché l'andamento della falda lungo le stesse sezioni (Figura 13 a,b,c).

E' necessario fare una premessa relativamente alle sezioni morfologiche del versante in quanto le stesse sono derivate dalle informazioni sui rilievi topografici effettuati in zona e dalla cartografia.

In entrambi i casi non emerge un elemento morfologico molto importante e cioè la terrazzatura dell'area che conferisce, al di là dell'assetto ambientale, condizioni di stabilità superficiali piuttosto buone, in quanto non si sono rilevati movimenti superficiali che possano interessare la coltre detritica stessa.

Conseguenza di tale fatto è che le sezioni derivate dalla cartografia non rispettano fedelmente l'andamento morfologico del versante, ma in questa fase abbiamo reputato sufficiente spingere l'analisi in tal senso.

Sulle prime tre sezioni sono state inoltre eseguite verifiche di stabilità al fine di definire compiutamente le problematiche di ordine geoambientale che caratterizzano l'area in esame.

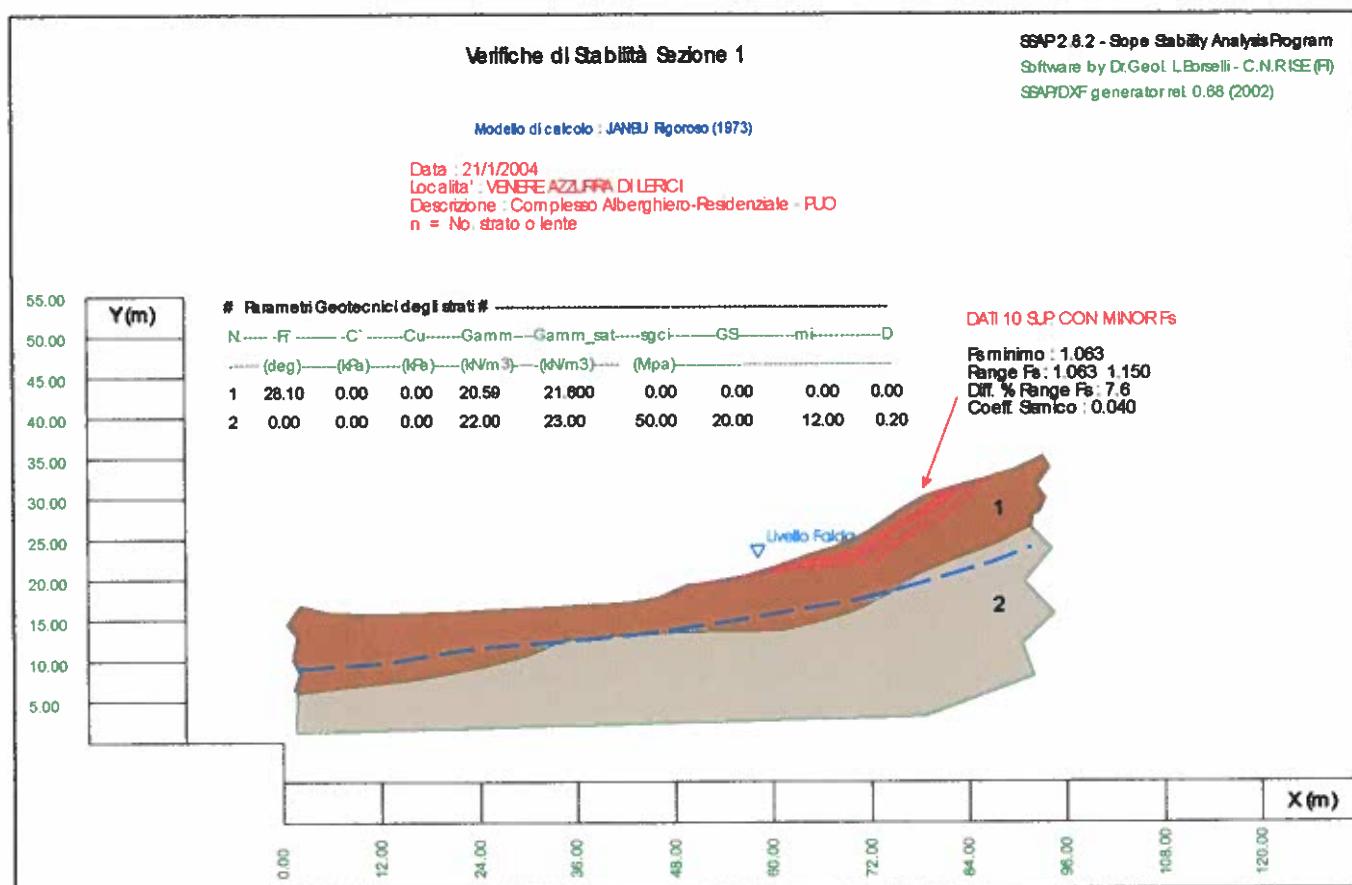


Figura 13 a - verifiche di stabilità eseguite sulla sezione n° 1.

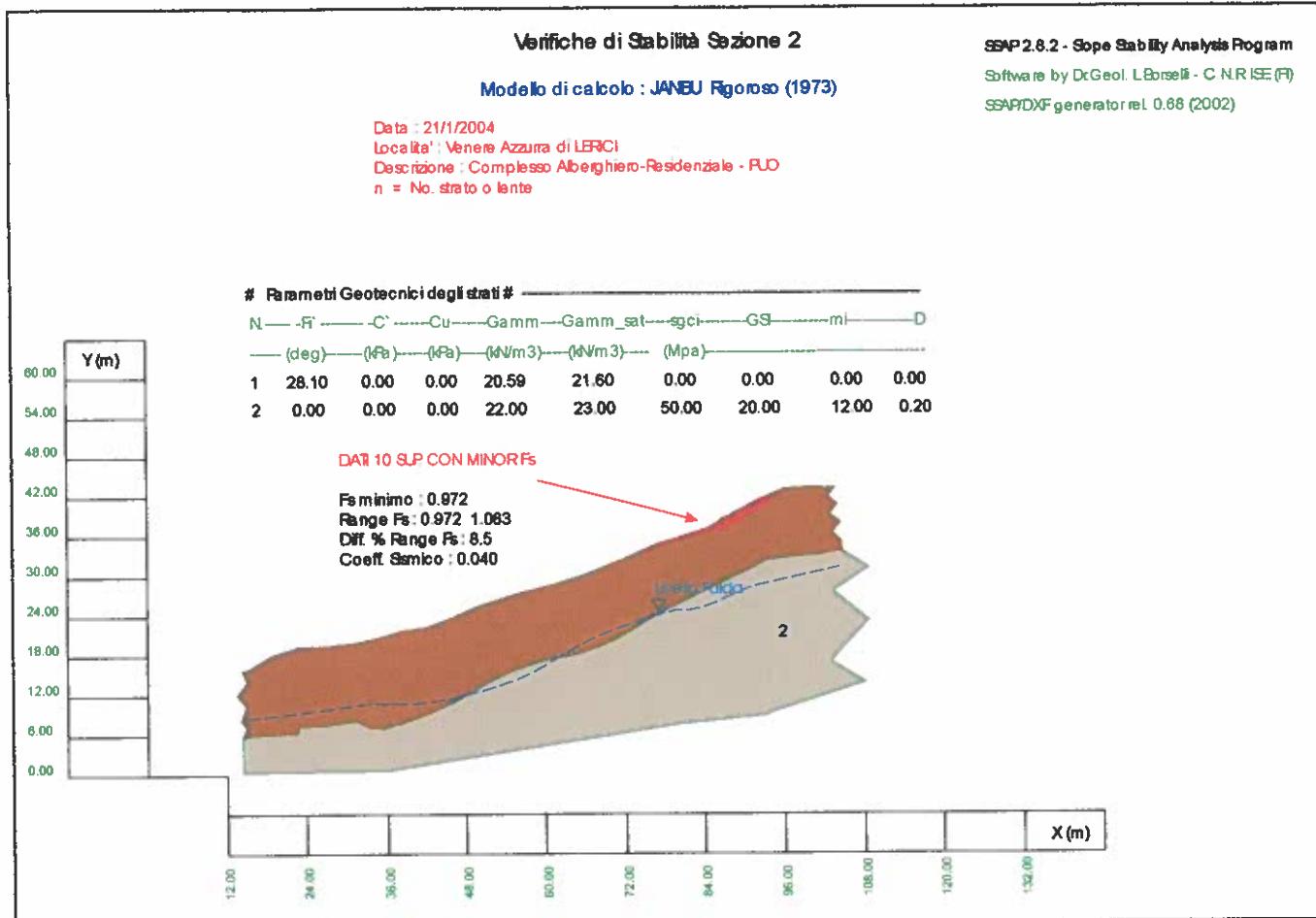


Figura 14 b – verifiche di stabilità eseguite sulla sezione n° 2.

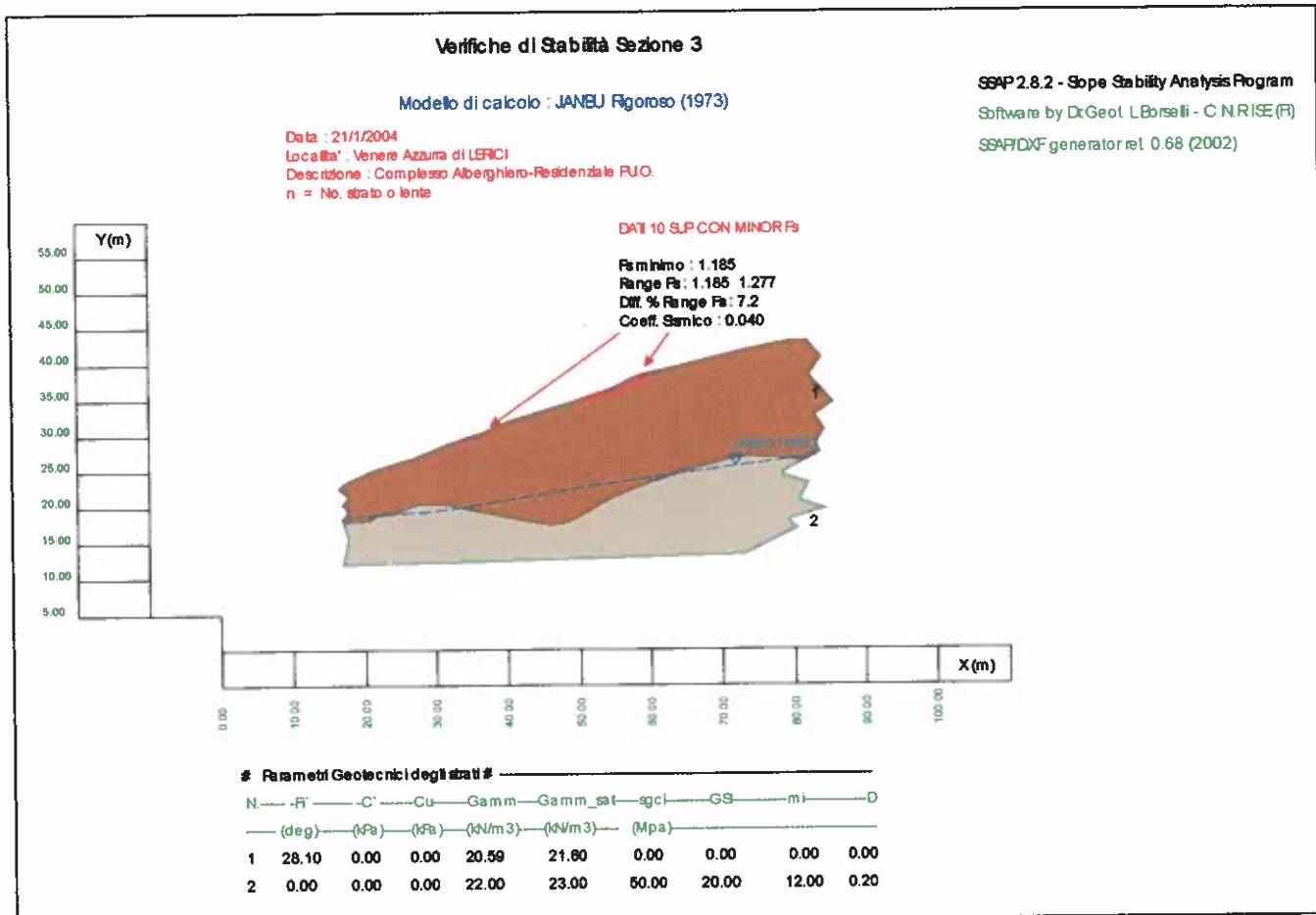


Figura 14 c – verifiche di stabilità eseguite sulla sezione n° 3.

La valutazione del grado di stabilità del pendio naturale è stata condotta tenendo conto delle condizioni attuali.

Per le verifiche di stabilità globale in condizioni sismiche è stato utilizzato il codice di calcolo SSAP 2.7 che permette di ottenere una ottimale modellizzazione della configurazione geomecanica e litostratigrafica dei pendii sia in terreni sciolti. Infatti, una volta che sia stata realizzata una corretta caratterizzazione geolitologica della scarpata, è necessario, per valutare correttamente il grado di stabilità, anche tenere di conto delle eventuali disomogeneità nella massa del pendio soprattutto nei casi di marcata variabilità delle caratteristiche del terreno.

Le disomogeneità presenti sono generalmente costituite da strati e lenti di materiali aventi diverse caratteristiche geomecaniche, livelli di falda variabili, topografie irregolari, elementi stabilizzanti (muri, palificate ecc.). Ogni codice di calcolo per la verifica di stabilità dei pendii deve agire contemporaneamente in diverse direzioni per assicurare operazioni di verifica affidabili e capaci di tenere conto di tutti i possibili elementi di discontinuità.

Da un punto di vista geologico tutti gli elementi di discontinuità costituiscono parte caratterizzante di ogni pendio e come tali non possono venire trascurati a priori da operazioni di eccessiva generalizzazione del profilo stratigrafico e geomecanico ricavato da campagne

geognostiche. Talvolta invece per defezioni insite nei codici di calcolo esistenti o a causa di tempi di calcolo, gli elementi di discontinuità rilevati vengono trascurati o semplificati eccessivamente, con conseguenze sulla attendibilità finale del processo di verifica.

## 9.1 Condizioni di stabilità

Il grado di stabilità di un pendio, in condizioni statiche o dinamiche (per azioni sismiche), nei confronti di movimenti gravitativi, viene valutato attraverso la determinazione del cosiddetto "FATTORE o COEFFICIENTE DI SICUREZZA" indicato con il simbolo  $F_s$ .

Tale coefficiente è un indice della stabilità del pendio in oggetto ed è definito come il rapporto tra la somma delle forze (o dei momenti) risultanti che tendono a opporsi al movimento della massa, e la somma delle forze risultanti destabilizzanti che tendono a provocarlo, cioè:

$$F_s = \frac{\text{Forze resistenti}}{\text{Forze agenti}}$$

Valori di  $F_s$  minori od uguali ad 1 sono indicativi di condizioni di instabilità, mentre per valori maggiori di 1 le condizioni sono a favore della stabilità. Questo è il concetto di base di tutti i modelli per la verifica di stabilità che si rifanno al concetto dell' EQUILIBRIO LIMITE, secondo uno schema come il seguente derivato da SLOPE DESIGN (Tabella XIV).

FACTOR OF SAFETY	DETAILS OF SLOPE
<1.0	<i>Unsafe</i>
1.0-1.25	<i>Questionable safety</i>
1.25-1.4	<i>Satisfactory for routine cuts and fills, Questionable for dams, or where failure would be catastrophic</i>
>1.4	<i>Satisfactory for dams</i>

Tabella XIV – Fattore di sicurezza e relativa stabilità del versante

Ossia da un lato la normativa nazionale prevede che per le nuove opere il valore del Fattore di sicurezza di un pendio deve essere uguale o superiore ad 1.3, e dall'altro lo studio dei pendii naturali (ossia dei pendii nello stato in cui si trovano) la valutazione del fattore di sicurezza  $F_s$  ha un range di variazione che fa identificare i pendii instabili (in frana) con  $F_s$  inferiore a 1 e incerti con  $F_s$  superiore ad 1 ed inferiore ad 1.25/1.3.

In base a ciò, nelle verifiche effettuate si è cercato di capire se il pendio in esame è in frana (instabile), Incerto, o stabile.

### 9.1.1 Assunzioni tecniche per la definizione delle condizioni di analisi di stabilità

Sulla base di quanto sopra descritto e dei parametri derivati dalle indagini in situ, i calcoli sui fattori di sicurezza sono stati sviluppati ponendo le seguenti condizioni (Tabella XV). Si tratta dunque di verifiche eseguite in termini di sforzi efficaci ed in condizioni drenate (verifiche a lungo termine).

Sezione n°	Range Fs
1	1.068 – 1.160
2	0.972 – 1.063
3	1.188 – 1.277

Tabella XV – valori di Fs utilizzati

Tale criterio è particolarmente gravoso in quanto nei parametri di calcolo non viene considerato il contributo della Coesione efficace e viene considerato solo il parametro di Angolo di attrito interno C' per quanto riguarda il primo strato che ipoteticamente potrebbero essere interessato da eventuali movimenti secondo lo schema riportato al capitolo precedente.

Le verifiche sono state eseguite in condizioni sismiche con coefficiente pari a 0.04 e la falda è stata posta nella condizione peggiore finora riscontrata.

Nelle condizioni date il versante manifesta caratteristiche di stabilità incerta, anche se è opportuno notare che non si sono mai generate superfici di scivolamento profonde superiori ai 3 metri di potenza.

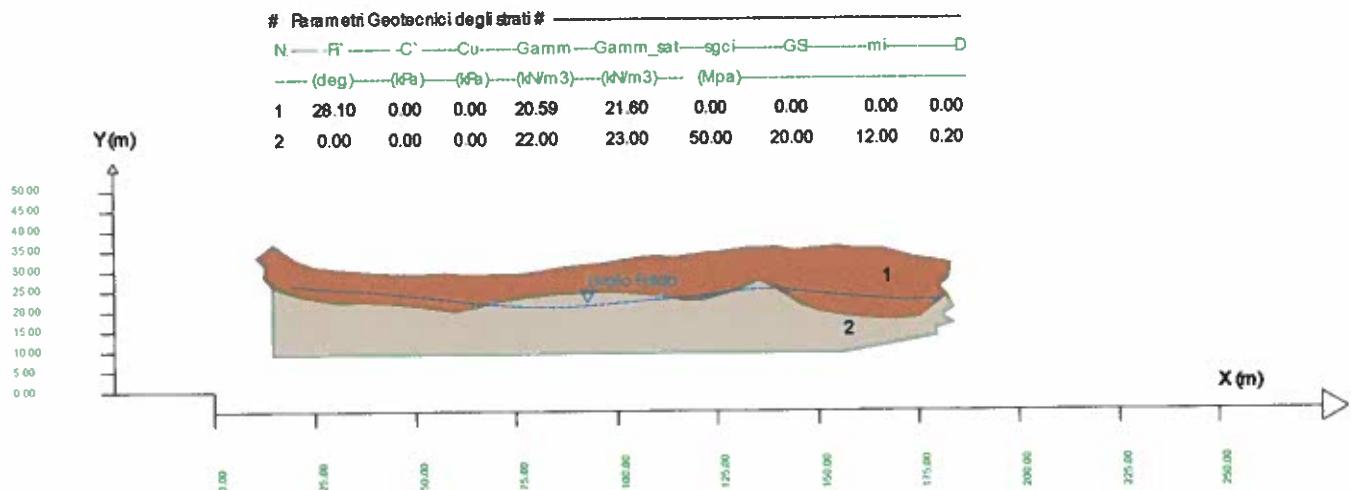
La definizione di Stabilità Incerta non deve trarre in inganno in quanto le superfici che generano tale risultato sono superfici molto modeste e con potenze inferiori ai tre metri. Sono superfici che il codice di calcolo evidenzia nella coltre di terreno areato superficiale e che non compromettono comunque la stabilità globale del versante.

Tale fenomeno risulta inoltre molto ben controllato dall'attuale assetto geomorfologico (terrazzature) che conferiscono un assetto stabile a tutta l'area, in quanto anche gli stessi muretti non presentano fenomeni di movimenti o dissesto in atto, nonostante l'area sia abbandonata da anni dalle pratiche agricole.

Qui di seguito vengono ulteriormente proposte due sezioni longitudinali al versante al fine di evidenziare l'assetto geometrico fra coltre di copertura detritica e substrato roccioso (Figura 14).

**Sezione\_4**

Data : 21/1/2004  
 Località : VENERE AZZURRA DI LERICI  
 Descrizione : Complesso Alberghiero-Residenziale - PUO  
 n = No. strato o lente



**Sezione\_5**

Data : 21/1/2004  
 Località : VENERE AZZURRA DI LERICI  
 Descrizione : Complesso Alberghiero-Residenziale - PUO  
 n = No. strato o lente

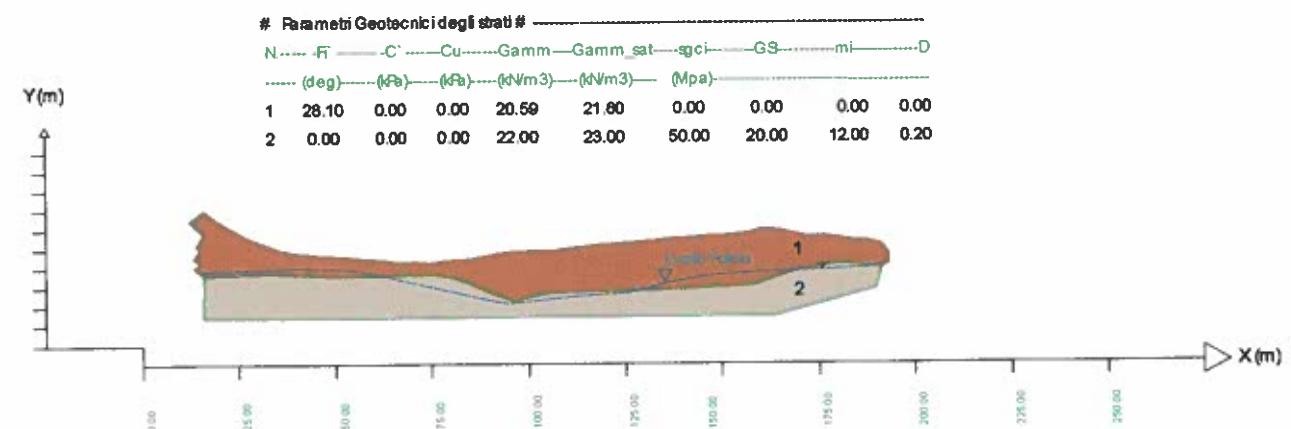


Figura 14 – verifiche di stabilità eseguite sulla sezione n° 3.

## **10 ZONIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA (ART. 3 L.R. 21 LUGLIO 1983 N° 29)**

La legge regionale n° 29/83, richiede all'art. 3, che le risultanze delle indagini vengano esplicitate in una carta di zonizzazione che evidenzi le problematiche connesse con la sismicità dell'area.

Nel nostro caso, vista la quantità e qualità dei dati disponibili, si è optato, per la zonizzazione dell'area di estendere i concetti espressi dal OPCM 3274/2003 affrontando la problematica essenzialmente in termini di analisi della distribuzione areale del Valore VS30.

Analizzando sia la cartografia geolitologica che geomorfologica, nonché le indagini in sito eseguite, si verifica una grande omogeneità dell'area, che risulta caratterizzata da una spessa coltre di alterazione (variabile da 8 a 10 metri circa) appoggiata su un substrato litoide a buone caratteristiche geomeccaniche e sismiche.

Dalle indagini sismiche effettuate, risulta che il valore di Vs30 (Velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio) risulta di categoria B. Si presenta un solo caso dove il valore di Vs30 scende sotto il valore di 360 m/s attestandosi a 358 m/s (profilo sismico a rifrazione Ps8) ma pare che una tale variazione (2 m/s), anche in considerazione comunque dei livelli di confidenza dei metodi utilizzati, NON giustifichi l'inserimento di una categoria diversa (ossia C), tale dato evidenzia comunque una certa variabilità del sottosuolo come emerge anche dai sondaggi S9 ed S13 variabilità che dovrà essere tenuta in conto nella fase di progettazione esecutiva.

È pur vero che l'ordinanza parla di suoli di fondazione quindi da intendersi al netto degli sbancamenti, ma crediamo che proprio per il rapporto che dovrebbe intercorrere fra momento di pianificazione (PUO) e momento progettuale, l'approccio suggerito permette di individuare immediatamente le problematiche poste, rimandando comunque alle norme tecniche l'evidenziazione di una serie di problematiche connesse con la tipologia di opera da realizzare, fermo restando la classificazione dell'area investigata.

Infatti, l'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 aggiorna la normativa sismica in vigore, con l'attribuzione alle diverse località del territorio nazionale un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo.

Inoltre, tale Ordinanza propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque (A - B - C - D - E) tipologie di suoli (più altri due speciali: S1 e S2), da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno (VS30).

Le elaborazioni da effettuarsi possono richiamarsi essenzialmente a quattro diverse metodologie e cioè:

1. Misure indirette di VS (mediante la VP di indagini sismiche di superficie, previa conoscenza del Modulo di Poisson per gli strati investigati, ciò al fine di determinare la VS);
2. Misure dirette di VS (da prove down hole per es.);
3. Indagini SPT o comunque prove penetrometriche correlabili alle SPT, mediante la correlazione di Ohta e Goto (1978) tra NSPT e VS;
4. Indagini SPT o comunque prove penetrometriche correlabili alle SPT, mediante la correlazione di Motonori e Yoshida (1988) tra NSPT e VS.

Nel nostro caso, vista la disponibilità dei dati, si è optato per una analisi generalizzata mediante misure dirette di  $V_p$  e  $V_s$ , è stata inoltre eseguita una verifica con le prove Nspt(60), oltre che i valori derivati da due prove Down Hole, i cui risultati comunque confermano quanto ottenuto con i metodi 1 e 2 ma è opinione dello scrivente che, soprattutto derivare i parametri dalle prove SPT, essendo dei metodi empirici lascino spazio ad grande aleatorietà nella definizione delle categorie dei suoli pur essendo ammissibili a livello normativo, inoltre rappresentando dati di tipo puntuale rischiano di essere non rappresentabili dell'area nel suo complesso, mentre le indagini sismiche eseguite, proprio per la loro generalizzazione offrono un quadro armonico e complessivo dell'area investigata.

## 10.1 Comparazione metodi di calcolo Vs30

Al fine della caratterizzazione dell'area di intervento secondo le categorie dei suoli proposti al OPCM 3274 (Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica), si è proceduto ad eseguire una serie di calcoli per giungere alla definizione delle categorie dei suoli secondo la citata normativa

**A – Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi** caratterizzati da valori di Vs30 >800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri

**B – Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti**, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi fra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica Nspt (60) > 50, o coesione non drenata  $C_u > 250 \text{ Kpa}$ ):

**C – Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza**, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs 30 Compresi fra 180 m/s e 360 m/s ( $15 < \text{Nspt}(60) < 70$ ,  $70 < C_u < 250 \text{ Kpa}$ )

**D – Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti**, caratterizzati da valori di Vs30 <180 m/s ( $\text{Nspt}(60) < 15$ ,  $C_u < 70 \text{ Kpa}$ )

**E – profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali**, con valori di Vs30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20metri, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con Vs30 > 800 m/s;

**S1 – Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m. di argille/limi di bassa consistenza**, con elevato indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di Vs30 < 100 m/s ( $10 < C_u < 20 \text{ Kpa}$ );

**S2 – Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti;**

Qui di seguito vengono presentati i risultati di tali elaborazioni da cui emerge la proposta di classificazione dell'area nella categoria B.

### Profilo sismico a rifrazione Ps1

Litotipo	Spessore strati in metri	N <sub>SPR</sub>	V <sub>p</sub> In situ (m/s)	V <sub>s</sub> In situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Poisson (m/s)	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motonori (m/s)
strato 1	3	15	333.00	153.00	151.27	191.18	121.14
strato 2	10	30	954.00	496.00	500.61	286.04	180.07
strato 3	50	100	2550.00	1429.00	1431.34	477.71	343.84
<b>Profondità minima raggiunta</b>	<b>63</b>						
Metodi di calcolo delle V <sub>s30</sub>	Valori in metri al secondo				Alluvioni spesse tra 5 e 20 metri su substrato rigido (V <sub>s30</sub> >800m/s)?	Categoria suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003	
V <sub>s30</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	401.29		No	No		B	
V <sub>s30</sub> (Desunto mediante V <sub>p</sub> e modulo di Poisson)	401.39		No	No		B	

### Profilo sismico a rifrazione Ps2

Litotipo	Spessore strati in metri	N <sub>SPR</sub>	V <sub>p</sub> In situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata in situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Poisson (m/s)	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motonori (m/s)
strato 1	3	31	373.00	171.00	169.44	216.76	145.24
strato 2	6	100	1025.00	512.00	516.31	328.14	230.58
strato 3	50	100	3137.00	1689.00	1676.80	471.70	340.80
<b>Profondità minima raggiunta</b>	<b>59</b>				Alluvioni spesse tra 5 e 20 metri su substrato rigido (V <sub>s30</sub> >800m/s)?	Categoria suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003	
Metodi di calcolo delle V <sub>s30</sub>	Valori in metri al secondo					B	
V <sub>s30</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	506.58		No	No		B	
V <sub>s30</sub> (Desunto mediante V <sub>p</sub> e modulo di Poisson)	507.23		No	No		B	

### Profilo sismico a rifrazione Ps3

Litotipo	Spessore strati In metri	N <sub>SPT</sub>	V <sub>P</sub> In situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata In situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Polsson (m/s)	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motanori (m/s)
strato 1	2	0	342.00	136.00	133.57	0.00	0.00
strato 2	7	30	725.00	387.00	387.53	266.44	171.06
strato 3	50	100	2784.00	1535.00	1538.91	471.70	340.92
Profondità minima raggiunta	<b>59</b>						
<b>Metodi di calcolo delle V<sub>s30</sub></b>							
V <sub>s30</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	<b>458.95</b>		No	No			
V <sub>s30</sub> (Desunto mediante V <sub>P</sub> e modulo di Polsson)	<b>457.83</b>		No	No			

			Alluvioni spesse tra 5 e 20 metri su substrato rigido (V <sub>s30</sub> >800m/s)?	Categoria suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003

### Profilo sismico a rifrazione Ps4

Litotipo	Spessore strati In metri	N <sub>SPT</sub>	V <sub>P</sub> In situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata In situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Polsson (m/s)	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motanori (m/s)
strato 1	3	0	418.00	180.00	177.50	0.00	0.00
strato 2	9	70	903.00	449.00	444.61	326.12	219.98
strato 3	50	100	2334.00	1265.00	1269.35	476.24	343.10
Profondità minima raggiunta	<b>62</b>						
<b>Metodi di calcolo delle V<sub>s30</sub></b>							
V <sub>s30</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	<b>393.51</b>		No	No			
V <sub>s30</sub> (Desunto mediante V <sub>P</sub> e modulo di Polsson)	<b>391.98</b>		No	No			

			Alluvioni spesse tra 5 e 20 metri su substrato rigido (V <sub>s30</sub> >800m/s)?	Categoria suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003

### Profilo sismico a rifrazione Ps5

Litotipo	Spessore strati in metri	N <sub>SPT</sub>	V <sub>P</sub> in situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata in situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Polsson (m/s)	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motomori (m/s)
strato 1	2	0	343.00	118.00	120.20	0.00	0.00
strato 2	6	100	905.00	450.00	445.59	320.77	227.22
strato 3	50	100	3037.00	1650.00	1651.68	470.15	340.13
<b>Profondità minima raggiunta</b>	<b>58</b>						
<b>Metodi di calcolo delle V<sub>s50</sub></b>		Alluvioni spesse tra 5 e 20 metri su substrato rigido ( $V_{s50} > 800 \text{ m/s}$ )?		Terreno liquefabile?		Categoria suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n.3/274 del 20 marzo 2003	
V <sub>s50</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	<b>495.17</b>	No	No	B			
V <sub>s50</sub> (Decunto mediante V <sub>P</sub> e modulo di Polsson)	<b>495.88</b>	No	No	B			

### Profilo sismico a rifrazione Ps6

Litotipo	Spessore strati in metri	N <sub>SPT</sub>	V <sub>P</sub> in situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata in situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Polson (m/s)	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motomori (m/s)
strato 1	2	0	339.00	122.00	118.80	0.00	0.00
strato 2	6	0	929.00	468.00	467.95	0.00	0.00
strato 3	50	0	2692.00	1423.00	1412.63	0.00	0.00
<b>Profondità minima raggiunta</b>	<b>58</b>						
<b>Metodi di calcolo delle V<sub>s50</sub></b>		Alluvioni spesse tra 5 e 20 metri su substrato rigido ( $V_{s50} > 800 \text{ m/s}$ )?		Terreno liquefabile?		Categoria suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n.3/274 del 20 marzo 2003	
V <sub>s50</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	<b>466.19</b>	No	No	B			
V <sub>s50</sub> (Decunto mediante V <sub>P</sub> e modulo di Polsson)	<b>461.17</b>	No	No	B			

### Profilo sismico a rifrazione Ps7

Litotipo	Spessore strati in metri	N <sub>SPR</sub>	V <sub>p</sub> in situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata in situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Poisson (m/s)	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motonori (m/s)
strato 1	2	0	265.00	96.00	98.42	0.00	0.00
strato 2	4	0	825.00	416.00	415.57	0.00	0.00
strato 3	50	0	2562.00	1422.00	1416.20	0.00	0.00
<b>Profondità minima raggiunta</b>	<b>56</b>						
<b>Metodi di calcolo delle V<sub>s30</sub></b>	<b>Valori in metri al secondo</b>		<b>Terraneo liquefacibile?</b>	Alluvioni spesse tra 5 e 20 metri su substrato rigido ( $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$ )?	Categoria suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003		
V <sub>s30</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	457.24	No	No	No	B		
V <sub>s30</sub> (Desunto mediante V <sub>p</sub> e modulo di Poisson)	459.75	No	No	No	B		

### Profilo sismico a rifrazione Ps8

Litotipo	Spessore strati in metri	N <sub>SPR</sub>	V <sub>p</sub> in situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata in situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Poisson (m/s)	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motonori (m/s)
strato 1	4	0	390.00	136.00	136.67	0.00	0.00
strato 2	10	40	828.00	426.00	426.00	304.97	195.28
strato 3	50	0	3033.00	1619.00	1619.21	0.00	0.00
<b>Profondità minima raggiunta</b>	<b>64</b>						
<b>Metodi di calcolo delle V<sub>s30</sub></b>	<b>Valori in metri al secondo</b>		<b>Terraneo liquefacibile?</b>	Alluvioni spesse tra 5 e 20 metri su substrato rigido ( $V_{s30} > 800 \text{ m/s}$ )?	Categoria suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003		
V <sub>s30</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	358.13	No	No	No	C		
V <sub>s30</sub> (Desunto mediante V <sub>p</sub> e modulo di Poisson)	358.93	No	No	No	C		

### Profilo sismico a rifrazione Ps9

Litotipo	Spessore strati in metri	N <sub>sPT</sub>	V <sub>p</sub> in situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata in situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Poisson Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motonari (m/s)
strato 1	2	0	389.00	143.00	144.47	0.00	0.00
strato 2	6	50	1102.00	544.00	542.59	284.52	191.07
strato 3	50	0	2451.00	1527.00	1531.13	0.00	0.00
<b>Profondità minima raggiunta</b>	<b>58</b>						
Metodi di calcolo delle V <sub>s30</sub>							
Valori in metri al secondo							
V <sub>s30</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	519.40			No	No	B	
V <sub>s30</sub> (Desunto mediante V <sub>p</sub> e modulo di Poisson)	521.22			No	No	B	

### Profilo sismico a rifrazione Ps10

Litotipo	Spessore strati in metri	N <sub>sPT</sub>	V <sub>p</sub> in situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata in situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Poisson Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motonari (m/s)
strato 1	2	50	443.00	172.00	173.02	217.73	154.65
strato 2	10	50	814.00	409.00	410.03	307.68	202.60
strato 3	50	100	2358.00	1068.00	1071.14	476.24	343.21
<b>Profondità minima raggiunta</b>	<b>62</b>						
Metodi di calcolo delle V <sub>s30</sub>							
Valori in metri al secondo							
V <sub>s30</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	361.91			No	No	B	
V <sub>s30</sub> (Desunto mediante V <sub>p</sub> e modulo di Poisson)	363.08			No	No	B	

### Profilo sismico a rifrazione Ps11

Litotipo	Spessore strati in metri	N <sub>SPR</sub>	V <sub>p</sub> in situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata in situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Poiason	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motomori (m/s)
strato 1	2	0	422.00	194.00	191.70	0.00	0.00
strato 2	6	0	1087.00	536.00	535.20	0.00	0.00
strato 3	50	0	1958.00	1048.00	1046.60	0.00	0.00
<b>Profondità minima raggiunta</b>	<b>58</b>						

<b>Metodi di calcolo delle V<sub>s30</sub></b>	<b>Valori in metri al secondo</b>	<b>Terreno liquefacibile?</b>	<b>Alluvioni sparse tra 5 e 20 metri su substrato rigido (V<sub>s30</sub>&gt;800m/s)?</b>	<b>Categoria suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003</b>
V <sub>s30</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	433.44	No	No	B
V <sub>s30</sub> (Desunto mediante V <sub>p</sub> e modulo di Poiason)	432.17	No	No	B

### Profilo sismico a rifrazione Ps12

Litotipo	Spessore strati in metri	N <sub>SPR</sub>	V <sub>p</sub> in situ (m/s)	V <sub>s</sub> misurata in situ (m/s)	V <sub>s</sub> con Poiason	V <sub>s</sub> con Ohta e Goto (m/s)	V <sub>s</sub> con Yoshida e Motomori (m/s)
strato 1	2	0	362.00	142.00	141.39	0.00	0.00
strato 2	6	54	983.00	501.00	505.75	288.33	194.78
strato 3	50	0	2649.00	1454.00	1464.29	0.00	0.00
<b>Profondità minima raggiunta</b>	<b>58</b>						

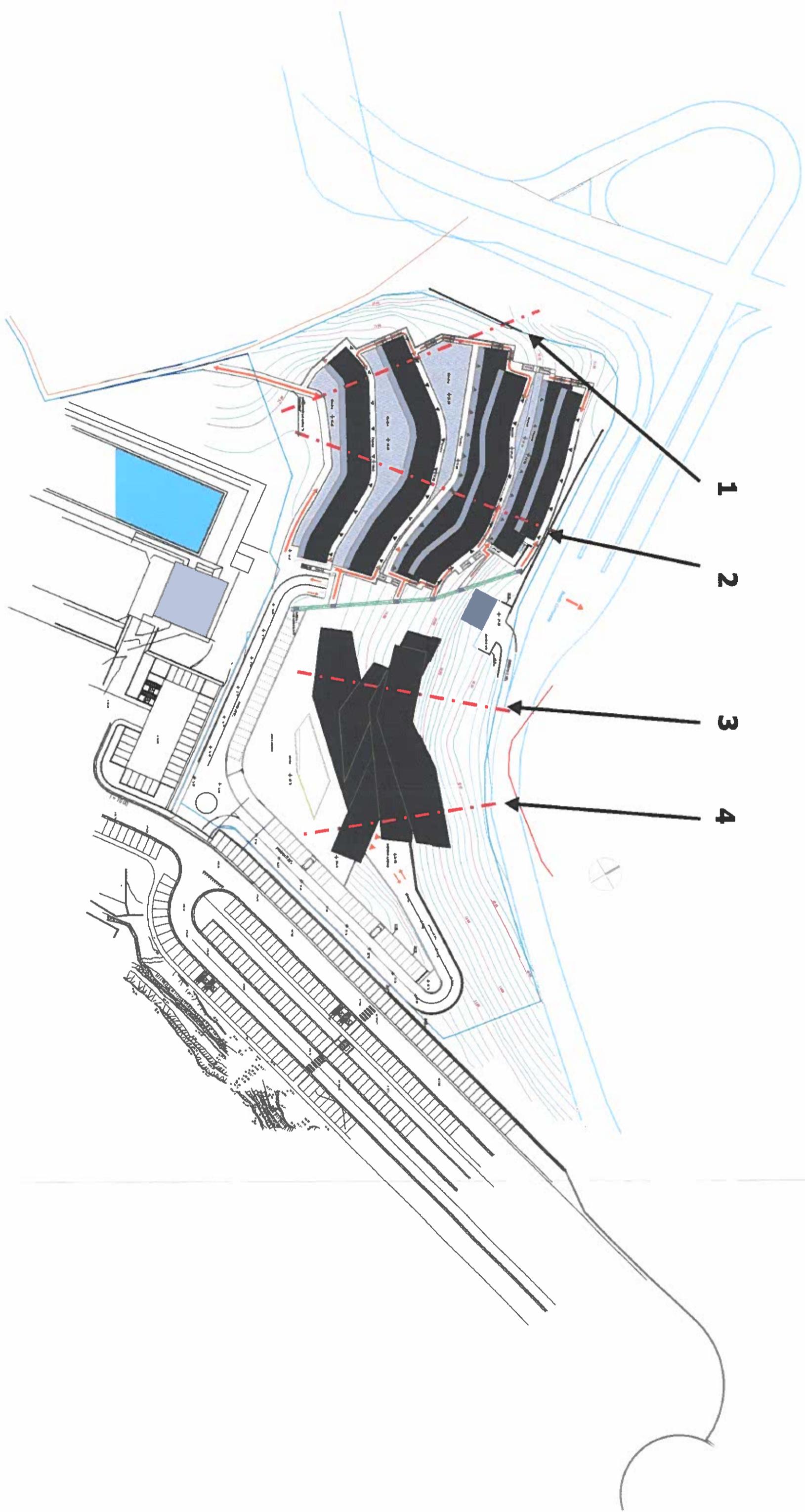
  

<b>Metodi di calcolo delle V<sub>s30</sub></b>	<b>Valori in metri al secondo</b>	<b>Terreno liquefacibile?</b>	<b>Alluvioni sparse tra 5 e 20 metri su substrato rigido (V<sub>s30</sub>&gt;800m/s)?</b>	<b>Categoria suolo di fondazione secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20 marzo 2003</b>
V <sub>s30</sub> (misurato in situ con indagini dirette)	496.29	No	No	B
V <sub>s30</sub> (Desunto mediante V <sub>p</sub> e modulo di Poiason)	498.71	No	No	B

**Allegato n° 2**

**Carta Ubicazione Sezioni Geologico Interpretative**

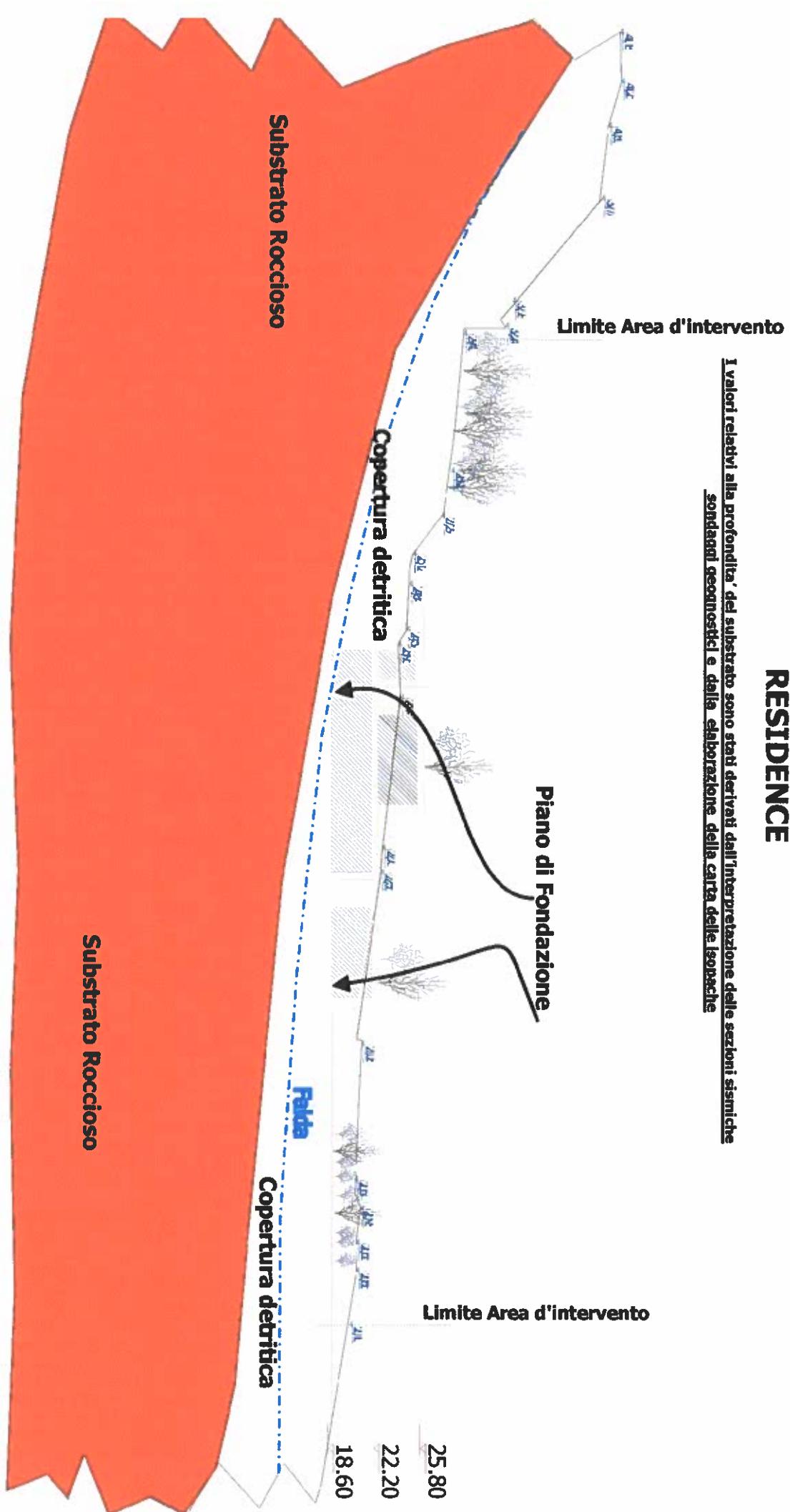
**Sezioni Geologico Interpretative**



## Allegato n° 3

### SEZIONE GEOLITOLOGICA INTERPRETATIVA N° 1 RESIDENCE

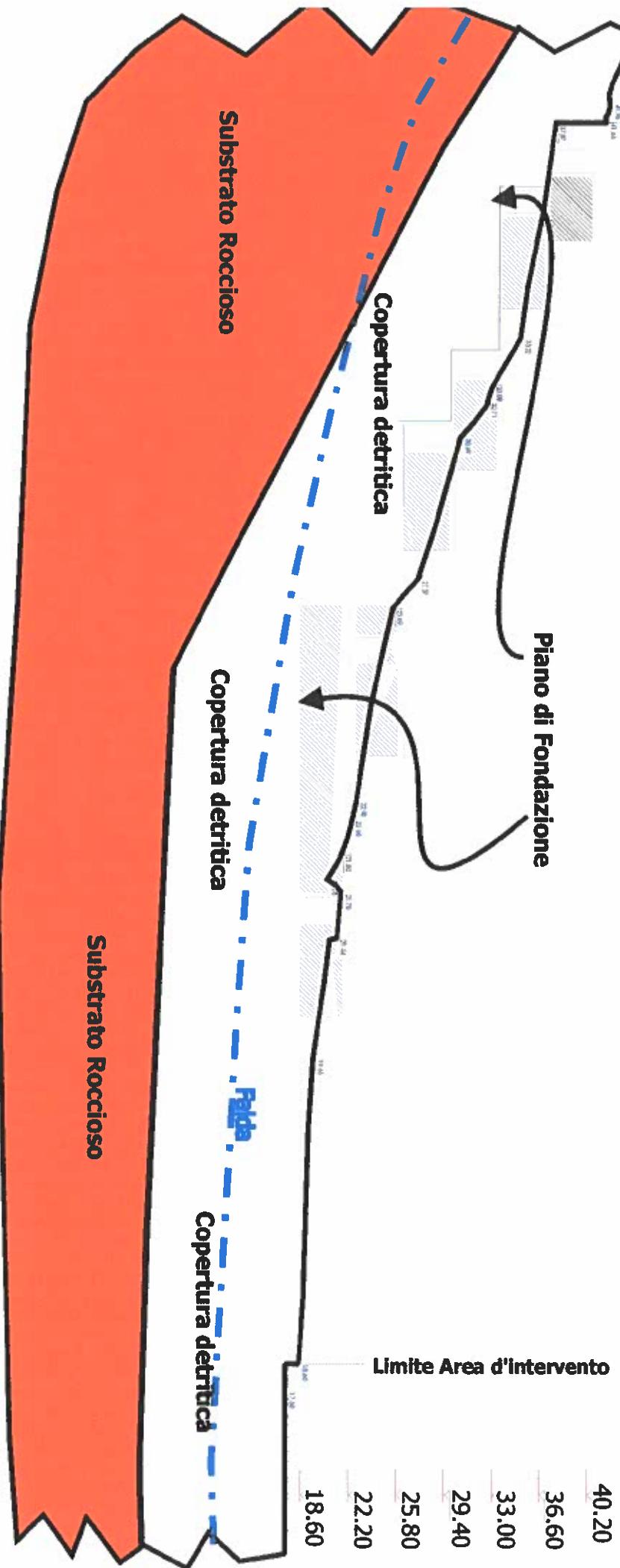
I valori relativi alla profondità del substrato sono stati derivati dall'interpretazione delle sezioni sismiche sondaggi geognostici e dalla elaborazione della carta delle isopache.



## **Allegato n° 4**

# SEZIONE GEOLITOLOGICA INTERPRETATIVA N° 2 RESIDENCE

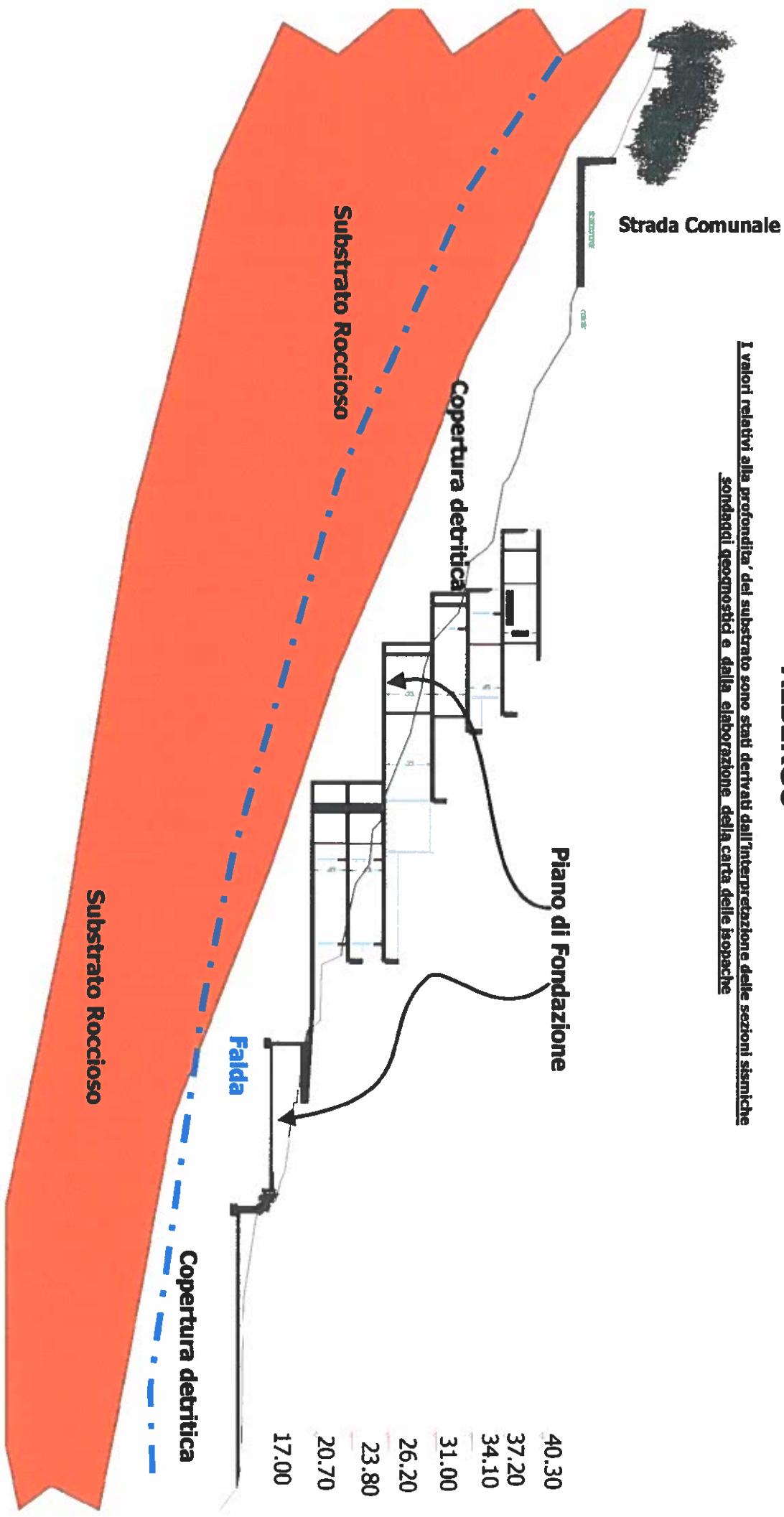
I valori relativi alla profondità del substrato sono stati derivati dall'interpretazione delle sezioni sismiche sonda-gli geopostici e dalla elaborazione della carta della isoschere



## Allegato n° 5

### SEZIONE GEOLITOLOGICA INTERPRETATIVA N° 3 ALBERGO

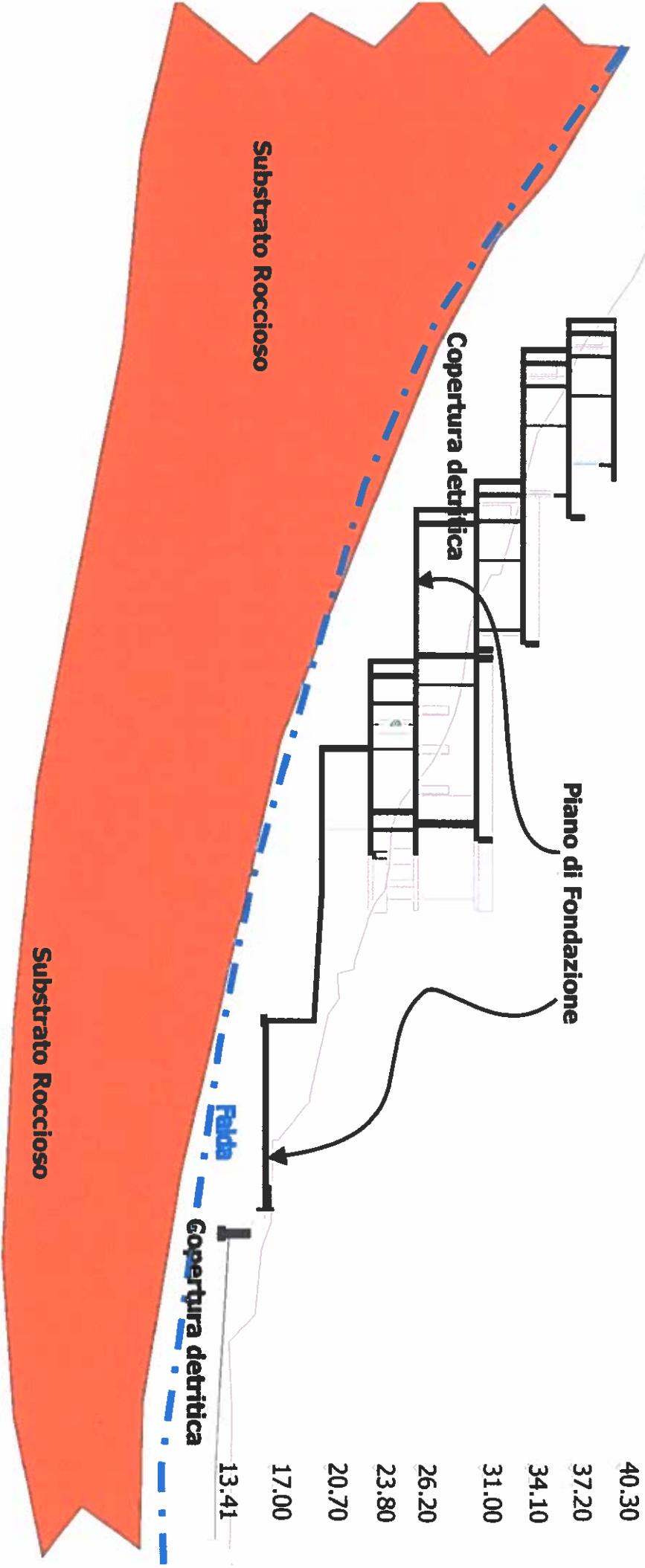
I valori relativi alla profondità del substrato sono stati derivati dall'interpretazione delle sezioni sismiche sondaggi geognostici e dalla elaborazione della carta delle isopache



## Allegato n° 6

### SEZIONE GEOLITOLOGICA INTERPRETATIVA N° 4 ALBERGO

I valori relativi alla profondità del substrato sono stati derivati dall'interpretazione delle sezioni sismiche sondaie geotecnici e dalla elaborazione della carta delle isopache.



## Allegato n° 7

### Carta di Zonizzazione in prospettiva sismica

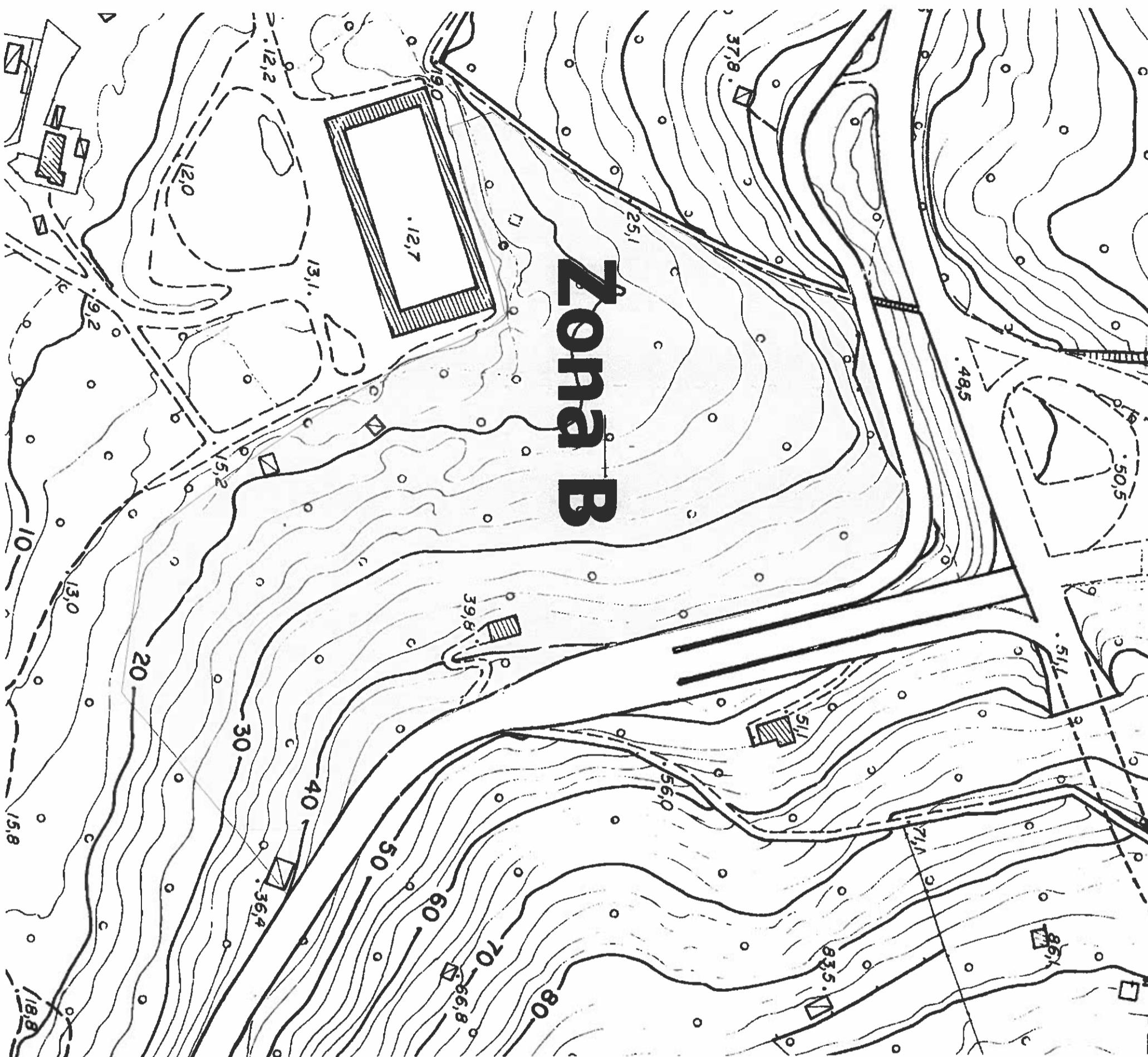
(Categoria dei suoli di fondazione OPCM 2347/2003)



Zona B

**Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate**  
o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzate da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{S30}$  compresi fra 360m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{sp(60)} > 50$ , o coesione non drenata  $C_u > 250$  kPa).

**Rischio Sismico:** Non sono state riscontrate situazioni che possono dare adito ad incrementi di natura sismica dovuti a:  
- caratteristiche litologico-strutturali suscettibili di amplificare l'intensità dei fenomeni sismici;  
- presenza di allineamenti tettonici;  
- fagliazioni e/o fratturazione locale;  
- frane in atto, stabilizzate o quiescenti;  
- terreni liquefacenti o comunque terreni mobilizzabili in condizioni naturali.



## 11 CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO TECNICO

Al fine di soddisfare quanto previsto dalla L.U.R. 4.09.1997 n. 36, punto 2, lettera d, art. 50, nonché quanto previsto alla Legge Regionale n° 29/83, alla luce della classificazione sismica del Comune di Lerici, vengono di seguito esposte le prescrizioni di carattere geologico e geotecnico da osservarsi in fase operativa.

Lo studio sviluppato sull'area in esame ha evidenziato una serie di aspetti di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico e di sostenibilità ambientale che evidenziano come tale area abbia ottime caratteristiche per lo sviluppo dell'intervento progettato sulla base del D.M. 11.03.1988 e dalla succitata L.U.R. 36/97.

In base alla normativa vigente relativa alla classificazione in zone a rischio (D.L. 183/98), l'area in esame, come emerge dalla lettura del Piano di bacino Provinciale, è catalogabile in:

- ⇒ **R0 - "Rischio da basso a nullo"** che corrisponde a **"situazioni geologico-tecniche apparentemente stabili sulle quali però permangono dubbi che potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica a supporto della progettazione edilizia"**.

Dallo studio di sostenibilità ambientale condotto (ai sensi L.U.R. 4.09.1997 n. 36) è emerso quanto segue:

- ⇒ **L'area è ad alta compatibilità ambientale e insediativa (trasformabilità incondizionata)**

In sintesi, sulla base delle indagini svolte e dei dati esaminati, si evidenzia quanto segue:

- ⇒ la congruenza del P.U.O. con il vigente P.U.C. del Comune di Lerici dal punto di vista geologico, geotecnico e geomorfologico  
⇒ l'intervento fattibile senza limitazioni particolari sotto il profilo morfologico, geologico-tecnico ed idrogeologico  
⇒ l'area oggetto di intervento ad alta compatibilità ambientale e insediativa (trasformabilità incondizionata).  
⇒ Dall'esame delle classificazioni dei suoli così come richiesto al OPCM 3274, l'area risulta ascrivibile nella sua totalità alle zone "B";

Dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e geologico tecnico è emerso quanto segue:

- ⇒ Non sono state riscontrate all'interno dell'area emergenze né di natura geomorfologica né idrogeologica e non vi sono segni di movimenti franosi recenti o passati e non vi è segno di attività erosiva.  
⇒ L'area è caratterizzata da terrazzature che hanno conferito un assetto geomorfologico complessivamente stabile anche se siamo in presenza di importanti coltri detritiche.  
⇒ Sul piano geologico e geomeccanico si è riscontrata la presenza di una coltre detritica di potenza variabile che appoggia su un substrato lapideo con buone caratteristiche geotecniche.

- ⇒ Il substrato è interessato dalla presenza di una falda idrica che con le sue oscillazioni stagionali può interessare la stessa coltre detritica;
- ⇒ Dal punto di vista della stabilità dell'area in condizioni naturali i calcoli eseguiti sulla stabilità del versante in condizioni sismiche ha dimostrato che i valori dei fattori di sicurezza sono sempre tendenti alla stabilità;

**Sotto il profilo del Rischio Sismico è emerso quanto segue:**

Non sono state riscontrate situazioni che possano dare adito ad incrementi di natura sismica dovuti a:

- ⇒ Caratteristiche litologico-strutturali suscettibili di amplificare l'intensità dei fenomeni sismici;
- ⇒ Presenza di allineamenti tettonici, fagliazioni e/o fatturazione locale;
- ⇒ Frane in atto, stabilizzate o quiescenti;
- ⇒ Terreni liquefacenti o comunque mobilizzabili in condizioni naturali.

### **11.1 Prescrizioni di carattere geologico e geologico tecnico da osservare**

Alla luce delle argomentazioni esposte circa l'analisi geologico-tecnica, di sostenibilità ambientale e delle risultanze per gli aspetti di carattere sismico, condotte, si evidenziano i seguenti aspetti significativi L'esame delle sezioni geologico-tecniche con inserita l'opera in progetto manifestano alcune criticità riferite al piano di appoggio delle fondazioni da verificare in fase esecutiva che vengono qui di seguito evidenziate:

- a. Il piano di appoggio delle fondazioni parrebbe in genere attestarsi sulla coltre detritica che a sua volta appoggia su un piano inclinato che rappresenta il substrato roccioso;
- b. Questo fatto crea delle diverse distribuzione delle tensioni di carico in profondità che il progettista deve tenere in conto soprattutto in prospettiva sismica;
- c. In alcuni casi non si può ragionevolmente escludere che il piano di posa delle fondazioni possa interferire direttamente per una porzione sulla roccia e per la porzione restante sulla coltre detritica creando una disparità di reazione elastica dei tipi di suoli interessati;
- d.

sul piano operativo, si suggerisce di attenersi alle seguenti prescrizioni:

1. Si prescrive di sviluppare una attenta disamina del piano di fondazione al fine di decidere la tipologia di opere fondazionali non escludendo a priori né la possibilità di ricorrere a travi rovesce, o a platee (dipende dalla zona di interesse) come di ricorrere al trasferimento dei carichi al substrato roccioso mediante pali o micropali al fine di garantire una omogeneità di comportamento statico e dinamico alla struttura edilizia. La verifica delle quote di sbancamento è necessaria in quanto la presenza di terrazzature e della più volte citata coltre di alterazione/detrito potrà portare a situazioni dove il fabbricato potrebbe appoggiare in maniera differenziata da valle a monte ossia trovarsi appoggiato sul substrato roccioso a monte e sulla copertura (ancorché avente buone caratteristiche geomecaniche) a valle creando di fatto una condizione di diversa risposta dei terreni in condizioni sismiche, qualora si ricada in un caso simile sarà da valutare l'opportunità di trasferire i carichi in profondità sul substrato roccioso, in modo da trasmettere al terreno nel modo più uniforme possibile le azioni localizzate ricevute dalla sovrastruttura;

2. Verificare in fase di progetto esecutivo della stabilità del pendio prima ed a seguito della realizzazione dei fabbricati mediante utilizzo di metodi pseudo-statici; tali verifiche vanno estese a monte ed a valle in maniera significativa al fine della garanzia della stabilità del complesso opera terreno, ed in particolare eseguire almeno cinque sezioni morfologiche del pendio lungo le linee di massima pendenza, in modo da individuare:
  - a. l'andamento altimetrico delle fasce terrazzate per le verifiche di stabilità in condizioni naturali;
  - b. i piani di sbancamento per la valutazione del piano di posa delle fondazioni dei fabbricati in rapporto al substrato roccioso/coltre detritica;
  - c. la scelta delle soluzioni fondazionali;
  - d. le verifiche di stabilità in condizioni di progetto
3. condurre in fase di progetto esecutivo una attenta analisi dei sistemi di drenaggio, in modo da evitare un innalzamento della falda e garantire il deflusso delle acque;
4. verificare tramite opportuno monitoraggio la possibilità di realizzare un pozzo di approvvigionamento idrico evitando il possibile rischio di intrusione di acque salate nella falda;
5. sulla base dell'esito della realizzazione del succitato pozzo e del suo monitoraggio, utilizzare tali acque preliminarmente nelle fasi di cantiere e di realizzazione dell'opera e successivamente per uso irriguo (in modo tale da diminuire l'utilizzo di acque potabili);
6. verificare la possibilità di riutilizzo di materiali di risulta degli sbancamenti per la costruzione di opere di contenimento in terre rinforzate.

Dott. Geol. Paolo PETRI ORGL n° 94

## Allegato n° 8

### Carta di Zonizzazione Geologico-Tecnica ai fini fondazionali

Zona B (Categoria dei suoli di fondazione OPCM 2347/2003)



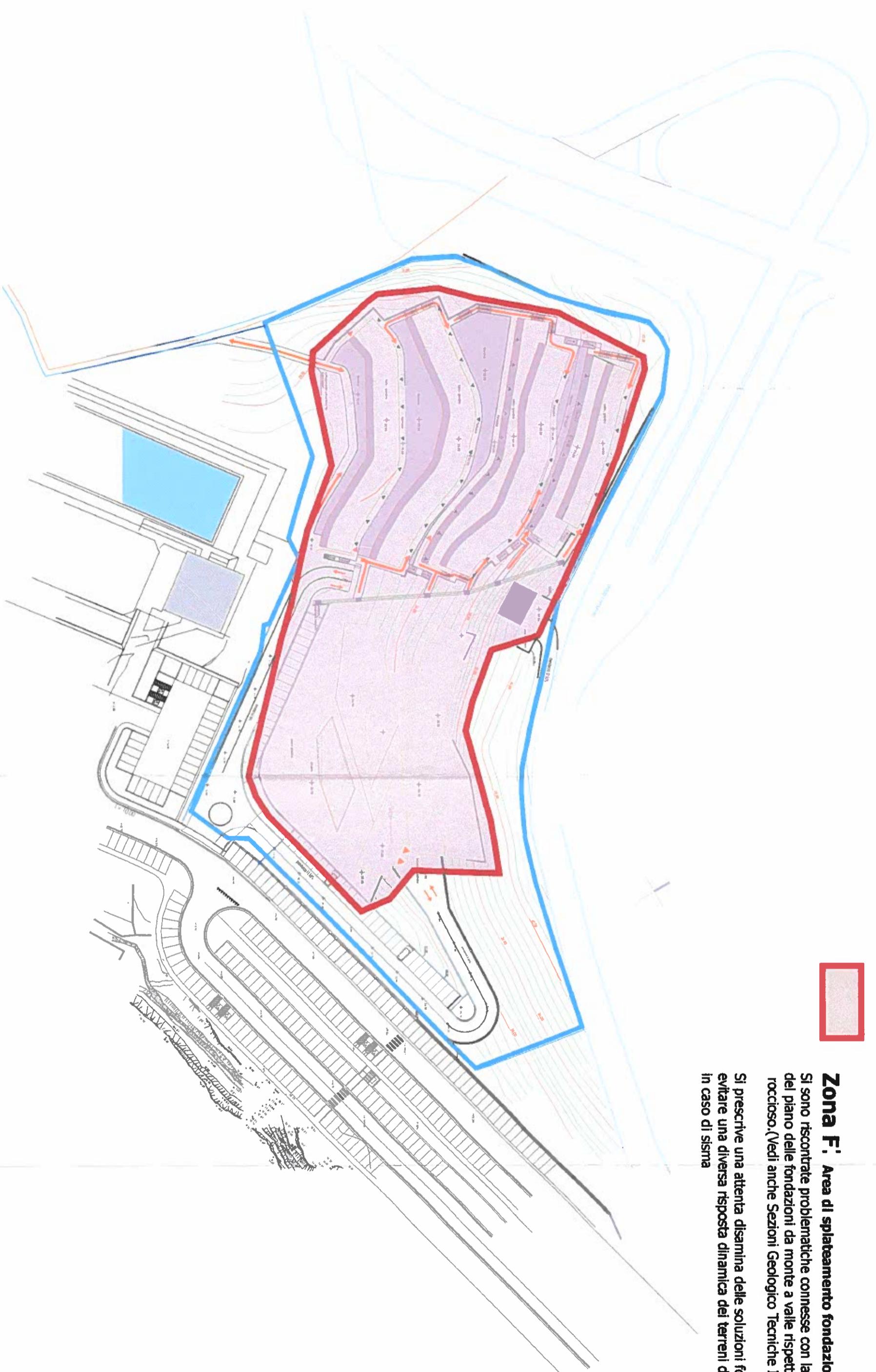
**Zona F:** Area di spalzamento fondazionale.

Si sono riscontrate problematiche connesse con la diversa distanza del piano delle fondazioni da monte a valle rispetto al substrato roccioso. (Vedi anche Sezioni Geologico-Tecniche Interpretative).

Si prescrive una attenta disamina delle soluzioni fondazionali al fine di evitare una diversa risposta dinamica dei terreni di fondazione in caso di sisma



**Limito area di intervento**



## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ⇒ DALLAN NARDI L. & NARDI R. (1972) - *Schema stratigrafico e strutturale dell'Appennino Settentrionale*. Mem. Acc. Lunig. Sc., 42, 212pp.
- ⇒ BALDACCI F., ELTER P., GIANNINI E., GIGLIA G., LAZZAROTTO A., NARDI R. & TONGIORGI M. (1967) - *Nuove osservazioni sul problema della Falda Toscana e sulla interpretazione dei Flysch arenacei di tipo "Macigno" dell'Appennino Settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., 6, 213-244.
- ⇒ BIENIAWSKI Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In *Exploration for Rock Engineering*, Proc. of the Symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town, Balkema.
- ⇒ D.M. 11.03.1988 - *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*.
- ⇒ GIAMMARINO S. & GIGLIA G. (1990) - *Gli elementi strutturali della piega di La Spezia nel contesto geodinamico dell'Appennino Settentrionale*. Boll. Soc. Geol. It., 109(4), 683-692.
- ⇒ HOEK, E. & BROWN, E.T. (1980). Empirical strength criterion for rock masses. J. Geotech. Engng Div., ASCE 106 (GT9), 1013-1035.
- ⇒ HOEK, E. AND BROWN, E.T. (1988). The Hoek-Brown failure criterion - a 1988 update. Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp. (ed. J.C. Curran), 31-38. Toronto, Dept. Civil Engineering, University of Toronto.
- ⇒ HOEK E. & BROWN ET (1998) Practical estimates of rock mass strength. Int J Rock Mech Min Sci 34: 1165–1186.
- ⇒ PROVINCIA DELLA SPEZIA - Area 06 – Urbanistica, Pianificazione Territoriale (2002). *"Manuale per le verifiche di sostenibilità ambientale delle previsioni dei P.U.C. ai sensi della L.R. 4 Settembre 1997 n. 36 - Volume I"*



---

## **INTERVENTO TURISTICO RICETTIVO COMPLESSO ALBERGHIERO RESIDENZIALE LOCALITA' VENERE AZZURRA DI LERICI (SP)**

**PUO – Piano Urbanistico Operativo (ex L.R. n.36/97)**

**Integrazione relazione Geologica, Geomorfologica e Geotecnica**

**Marzo 2022**

### **1 Premessa.**

La presente integrazione viene proposta per rispondere alle esigenze legate alle normative attuali con riferimento all'applicazione delle NTC 2018 con particolare riguardo al capitolo C6 e C7 (rispettivamente progettazione geotecnica e progettazione per azioni sismiche) delle citate norme.

Risulta opportuno evidenziare che la metodologia adottata a suo tempo ha seguito le seguenti normative (tratta da cap. 2 relazione-2005).

L'articolazione formale della presente integrazione, nonché la metodologia adottata sono strutturate ed ispirate ai criteri delle seguenti normative:

- ⇒ Legge Regionale 21 Luglio 1983, n° 29 – Costruzioni in zone sismiche –Deleghe e Norme Urbanistiche particolari;
- ⇒ D.M. 11.03.1988 relativo a: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", e relative circolari applicative.
- ⇒ D.M. 16 Gennaio 1996 – Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- ⇒ O.P.C.M. 3274 – 20 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.);  
in particolar modo si è cercato grazie ai dati già a disposizione di giungere ad una lettura delle problematiche territoriali rifacendosi ai criteri e dettami indicati al O.P.C.M 3274/2003 in rapporto a quanto richiesto dalla Legge Regionale n° 29/83

---

I dati Geologici, Geomorfologici e Geomeccanici a cui si fa riferimento sono tutti riportati nella relazione generale dell'Ottobre del 2005 e vengono qui riletti alla luce dell'applicazione delle NTC 2018 .



## **2 Progettazione geo-tecnica**

La fase della progettazione geotecnica così come indicato alle NTC 2018-Capitolo 6 si riferisce nella fase di articolazione del progetto (C6.2) alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito, secondo quanto previsto al paragrafo C.6.2.1 e tiene conto dei seguenti aspetti:

- caratteristiche geologiche e successione stratigrafica locale (assetto litostrutturali e stratigrafici, stato di alterazione e fessurazione, distribuzione spaziale e rapporti tra i vari corpi geologici);
- caratteristiche geostrutturali dell'area di studio e principali elementi tettonici presenti;
- processi morfoevolutivi e principali fenomeni geomorfologici presenti, con particolare riferimento a quelli di frana, individuandone stato e tipo di attività, di erosione e di alluvionamento;
- caratteristiche idrogeologiche del sito e schema di circolazione idrica superficiale e sotterranea; risultati dello studio sismotettonico; assetti geologici finalizzati alla valutazione degli effetti di sito sismoindotti.

La relazione geologica è stata corredata dai relativi elaborati grafici, quali: carte geologiche, idrogeologiche (con schema di circolazione idrica sotterranea) e geomorfologiche; nonché sezioni geologiche, planimetrie e profili utili a rappresentare in dettaglio aspetti significativi, schema geologico di dettaglio alla scala dell'opera, carte dei vincoli geologico ambientali e rapporto tecnico sulle indagini eseguite, corredate da relativa planimetria con la loro ubicazione.

Il piano delle indagini nell'area di interesse è stato a suo tempo definito ed attuato sulla base dell'inquadramento geologico della zona e in funzione dei dati che era necessario acquisire per pervenire ad una ricostruzione geologica adeguata ed utile per la caratterizzazione e la modellazione geotecnica del sottosuolo.

Gli studi svolti hanno permesso quindi di suggerire al progettista una valutazione delle pericolosità geologiche presenti e sono stati finalizzati alla definizione della compatibilità geologica con le peculiarità dell'opera da realizzare.

Lo studio è stato sviluppato quindi mediante indagini in situ per giungere ad una proposta di caratterizzazione geomeccanica e modellazione geotecnica prendendo in considerazione il volume significativo dell'opera nel suo complesso rispondendo di fatto a quanto definito nel § 6.2.2 delle NTC, l'obiettivo delle indagini è stato quello di giungere alla definizione del modello geotecnico ovvero a uno schema rappresentativo del volume significativo stesso, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico.

A tal fine sono state definite le successioni stratigrafiche, il regime delle pressioni interstiziali e gli altri elementi significativi del sottosuolo. Per quanto concerne la proposta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici, sono stati valutati con stime cautelative dei singoli parametri derivando i valori da indagini in situ e di laboratorio e per quanto riguarda l'ammasso roccioso si è applicato il metodo di Hoek&Brown per derivare i parametri geomeccanici del substrato.

Inoltre Il pendio in esame è stato modellato come richiesto al capitolo C6.3.2 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL PENDIO ossia: Lo studio geologico del pendio naturale, finalizzato alla valutazione delle condizioni di stabilità, è consistito nella definizione dell'assetto lito-strutturale, geomorfologico e idrogeologico del versante al fine di identificare i meccanismi e i cinematismi di rottura attuali o potenziali, nonché le possibili cause.

Con tali riferimenti è stato definito l'ambito geomorfologico significativo che corrisponde a quella porzione di territorio, identificabile cartograficamente sul terreno e delimitabile anche in profondità, nella quale sussistano assetti predisponenti ad una specifica tipologia di movimento franoso ed in cui i processi morfo-



evolutivi di versante/fondovalle possano interferire direttamente o indirettamente con l'area d'interesse. L'obiettivo dello studio geologico di un versante è stato pertanto, quello di costruire un modello geologico finalizzato, oltre che alla illustrazione dei predetti assetti, anche alla conoscenza delle condizioni evolutive che hanno prodotto l'attuale assetto litostrutturale, idrogeologico e geomorfologico, con connessa analisi dettagliata dello stato e tipo di attività delle eventuali instabilità presenti.

La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e strutturale del versante è stata integrata, in una specifica modellazione, sia con rilievi di superficie sia mediante indagini specifiche del sottosuolo e relative prove di laboratorio geotecnico. L'evoluzione di un versante naturale, e di conseguenza anche la sua stabilità, può essere condizionata da situazioni geologiche locali non riportate nella cartografia geologica o non visibili in superficie, che richiedono, quindi, una caratterizzazione geologica di dettaglio che è stata conseguentemente esplicata.

Pertanto, è stata posta particolare attenzione:

- alla presenza di specifici assetti che inducono condizioni di suscettibilità a movimenti franosi;
- alla presenza e alla giacitura di intercalazioni anche sottili di litotipi a minore resistenza;
- alla sovrapposizione stratigrafica o tettonica di litotipi con differenti caratteristiche litologiche, idrogeologiche e geostrutturali;
- al grado di alterazione degli ammassi rocciosi;
- all'esistenza di discontinuità ad elevata persistenza ed all'eventuale materiale di riempimento.

Tenendo conto del modello geologico di riferimento, lo studio geotecnico del pendio è stato finalizzato all'identificazione del suo modello geotecnico e ha implicato:

- la definizione dei caratteri geometrici e cinematici dell'eventuale corpo di frana;
- l'acquisizione dei dati necessari alle analisi, quali le caratteristiche meccaniche e idrauliche dei terreni o delle rocce presenti;
- la valutazione del comportamento delle discontinuità e del regime delle pressioni interstiziali.

Ricostruito il modello geotecnico del pendio, lo studio geotecnico è stato completato con la valutazione delle condizioni di stabilità attuali e future, in relazione alla realizzazione di nuovi manufatti come peraltro richiesto al capitolo C6.3.2 e C6.3.3 MODELLAZIONE GEOLOGICA e GEOTECNICA DEL PENDIO nelle NTC 2018

### **3 Classificazione sismica del sito.**

Sulla base dei dati disponibili e derivabili dalla citata relazione del 2005 è possibile ricostruire la classificazione sismica del sito in esame in quanto sono state eseguite n° 2 prove Down Hole nei fori di sondaggio S9 ed S13 e gli altri parametri sono facilmente ricavabili dalla ubicazione stessa dell'opera in progetto:

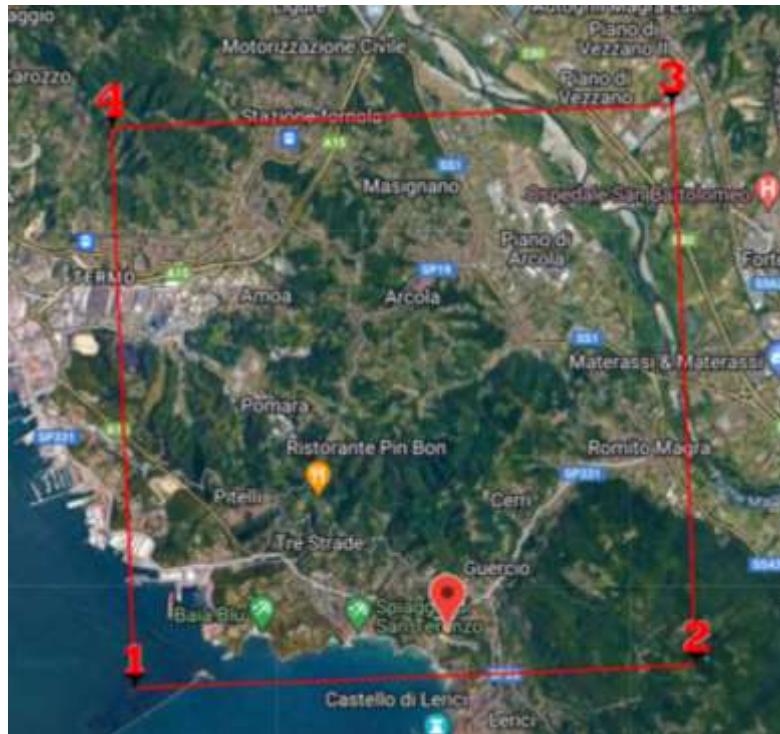


Fig. 1 - Vertici maglia di appartenenza

#### Parametri sismici

##### Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18485	Lat: 44,0794	Lon: 9,8712	Distanza: 3130,898
Sito 2	ID: 18486	Lat: 44,0815	Lon: 9,9408	Distanza: 2506,824
Sito 3	ID: 18264	Lat: 44,1314	Lon: 9,9379	Distanza: 5659,605
Sito 4	ID: 18263	Lat: 44,1293	Lon: 9,8683	Distanza: 5961,027

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 44.083771

longitudine: 9.908695

Per la definizione della categoria di sottosuolo e condizioni topografiche sono state eseguite specifiche prove e la stima della pendenza del versante è stata eseguita su base cartografica.

Il pendio è stato considerato con una inclinazione  $i > 15^\circ$ , mentre la categoria del sottosuolo è stata definita mediante la rielaborazione delle prove Down Hole a suo tempo eseguite.

Nella fig. 2 seguente il diagramma di flusso per la definizione della categoria dei suoli

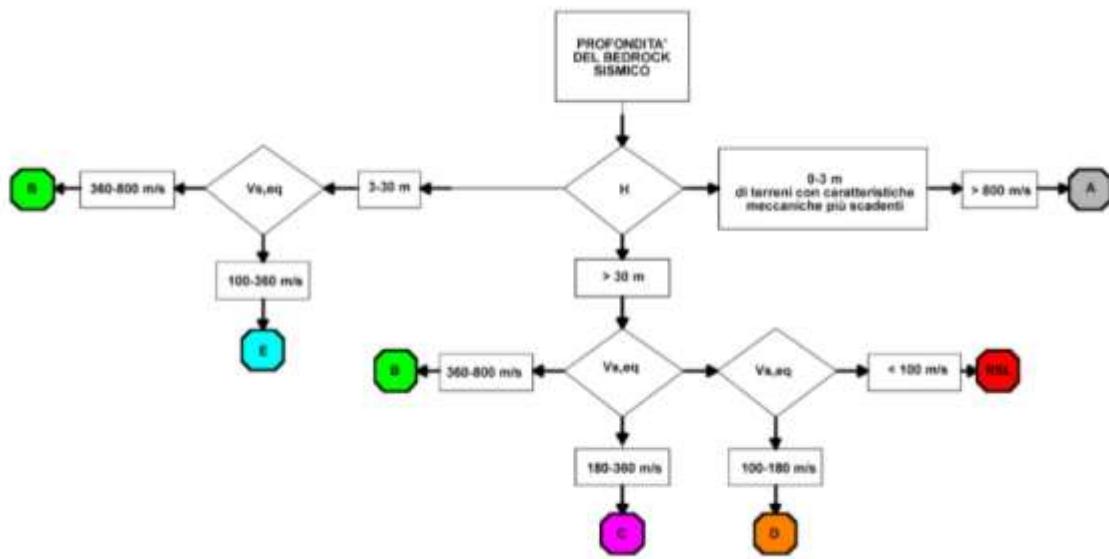


Fig. 2 - Diagramma di flusso per la determinazione della categoria di suolo (NTC 2018)

In particolare il valore della  $V_s$  eq è stato derivato da due prove Down Hole eseguite sui Sondaggi S9 e S13, appositamente attrezzati e si evidenzia che siamo in presenza di terreni appartenenti alla categoria dei suoli B, anche se si riscontra una certa variabilità della profondità del Bedrock sismico  $V_s > 800$ m/s che si evidenzia anche dall'analisi delle due prove Down Hole (S9 e S13) variabilità che dovrà essere tenuta presente in fase di progettazione definitiva ed esecutiva (vedi pag. 58 e 59 delle Relazione geologica generale del 2005).

Le analisi effettuate confermano che siamo in presenza di terreni appartenenti alla categoria B di Sottosuolo.

L'elaborazione è stata eseguita sia considerando le velocità delle onde S registrate ogni metro di profondità (S9 = 17 Metri; S13= 14 Metri), ma anche considerando il trend in profondità che permette di integrare le variazioni in livelli più ampi per evidenziare le caratteristiche dinamiche del sottosuolo.

Questo lo si può riscontrare dall'analisi delle prove Down Hole dove la linea magenta rappresenta il trend caratteristico delle velocità.

In tutte e due i casi mi sono spinto anche sotto i livelli in cui appare una  $V_s > 800$ : decimo livello per l'S9 e sesto-settimo e nono per l'S13 perché al disotto di questi ricompare una  $V_s < 800$ , che possono rappresentare livelli più compatti in mezzo a terreni non ascrivibili a bedrock sismico e in tal caso vengono conteggiati come copertura.

Nei due casi si ottengono i seguenti risultati:

#### Dati Down Hole (S 9)

Numero di strati 17  
Profondità piano di posa 1 m

Nr	Spessore	Velocità
1	1.00	164
2	1.00	170
3	1.00	327
4	1.00	531
5	1.00	286
6	1.00	362
7	1.00	532
8	1.00	370
9	1.00	658
10	1.00	924
11	1.00	686
12	1.00	777
13	1.00	1251
14	1.00	994
15	1.00	924
16	1.00	1568
17	1.00	1660

Profondità complessiva 17 m  
Vs, eq 491.20 m/s  
Categoria del suolo B

#### Dati Down Hole (S 13)

Numero di strati 15  
Profondità piano di posa 1 m

Nr	Spessore	Velocità
1	1.00	118
2	1.00	440
3	1.00	440
4	1.00	574
5	1.00	728
6	1.00	1109
7	1.00	1086
8	1.00	754
9	1.00	840
10	1.00	623
11	1.00	638
12	1.00	1168
13	1.00	1382
14	1.00	1596
15	1.00	924



Profondità complessiva 15 m  
 Vs, eq 748.01 m/s  
 Categoria del suolo B

Totale misure S9 Vs equ = 491.20 m/s

Totale Misure S13 Vs equ= 748.01 m/s

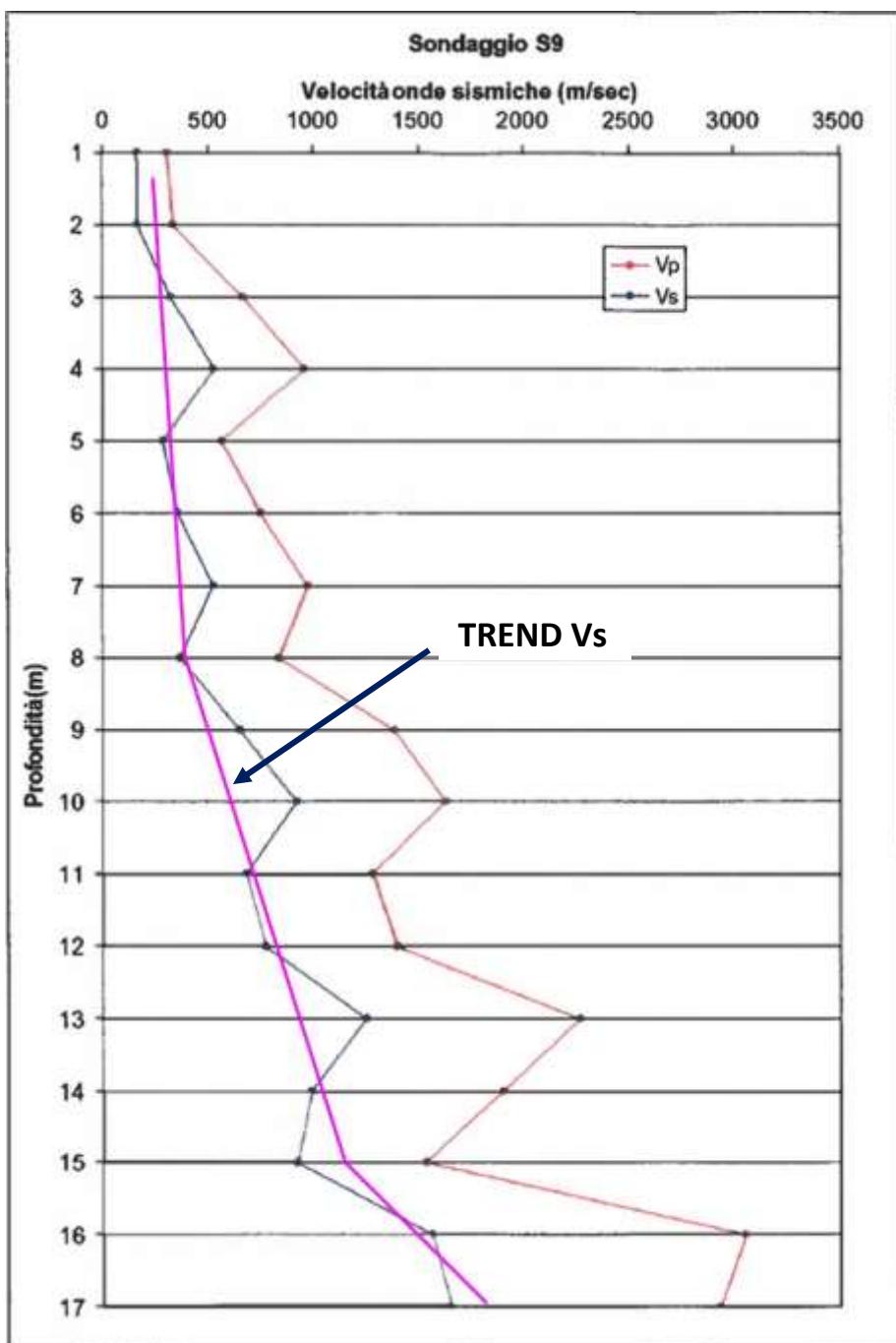


Fig. 3 - Misure Down Hole S09

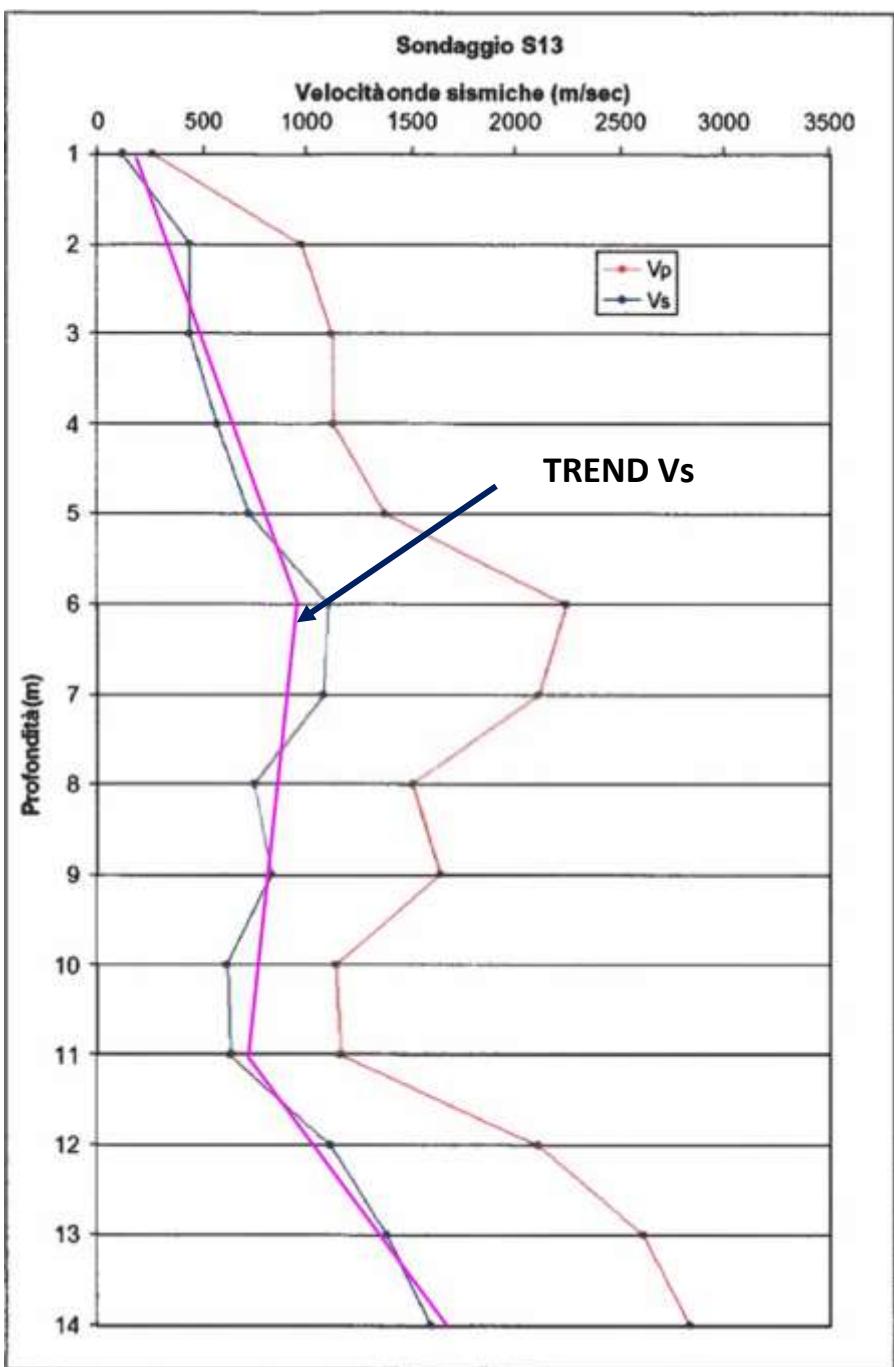


Fig. 4 - Misure Down Hole S13

In tutte e due i casi sono stati analizzati anche i livelli in cui appare una  $v_s > 800$  (decimo livelletto per l'S9) e (sesto-settimo e nono per l'S13) perchè al disotto di questi ricompare una  $v_s < 800$ , quindi - a mio avviso - rappresentano livelli più compatti in mezzo a terreni non ascrivibili a bedrock sismico e sono da conteggiare come copertura. Per questi motivi ho reputato opportuno ricalcolare la  $v_s$  raggruppandola in livelli più ampi; anche perchè si perde il senso generale delle caratteristiche dinamiche del sottosuolo. Questo lo vede molto bene con le linee tracciate sui diagrammi velocità/profondità dei due propriamente perché sono stati raggruppati i trend delle velocità.

Trend S9 Vs equ= 362 m/sec

Trend S 13 Vs equ= 465 m/sec

In tutti e due i casi rientriamo nelle categorie di sottosuolo "B"

## Categorie di sottosuolo

### Decreto del 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni

#### Categoria A

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

#### Categoria B

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

#### Categoria C

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

#### Categoria D

Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.

#### Categoria E

Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30m.

Il Tecnico Dott. Geol. Paolo PETRI

