COMUNE DI BORDIGHERA

Provincia di Imperia

RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA PER IL "PROGETTO DI SPOSTAMENTO DI VOLUME RESIDENZIALE AI SENSI DELLA L.R. 49 / 2009 S.M.I. CON REALIZZAZIONE DI ANNESSI AGRICOLI" IN COMUNE DI BORDIGHERA (IM).

RELAZIONE GEOLOGICA
MODELLAZIONE SISMICA

Data:	Febbr. 2014
Rif. n.:	509 - 2014
Timbro	

committente:

SELMONT AGRO APS
Legale Rappresentante
Christina ROTHMANN JOHANSEN

a cura di:

Geo G.A.R.P.
P.zza San Benedetto - Taggia (IM)

coll./p.v.:

coll./p.v.:

INDICE

1 – PREMESSA.....2
2 – INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....4
2.1 Geografia
2.2 P.T.C.P.
3 – INDAGINE GEOGNOSTICA.....5
4 – INDAGINE GEOFISICA.....6
4.1 Attrezzatura utilizzata
4.2 Interpretazione dei risultati
5 – DETERMINAZIONE ONDE P.....7
5.1 Rappresentazione dei dati sismici
5.2 Interpretazione dei dati
6 – DETERMINAZIONE DELLE ONDE S.....9
6.1 Determinazione delle onde di taglio (onde S)
6.2 Modalità interpretativa
6.3 Interpretazione dei dati
6.4 Ricostruzione del sottosuolo mediante le onde S
6.5 Verifica delle caratteristiche litologiche a mezzo di metodologia sismica passiva
7 - GEOLOGIA.....17
7.1 Domini paleogeografici e gruppi di Unità tettoniche
7.2 Formazioni geologiche
8 – GEOMORFOLOGIA ED IDROGEOLOGIA 22
8.1 Geomorfologia
8.2 Idrogeologia
9 - PIANO DI BACINO.....24
10 – MODELLAZIONE SISMICA E CONSIDERAZIONI GEO-TECNICHE.....25
10.1 Formazioni geologiche
10.2.1 Sismicità storica
10.2.2 Pericolosità sismica di base
10.2.3 Sismicità
10.3 Stabilità di pendio preliminare
11 – CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI.....30

1 – PREMESSA

Il tecnico scrivente dello Studio GeoGARP di Taggia (IM), a seguito dell'incarico ricevuto dalla committenza, la SELMONT AGRO APS, con legale rappresentante in Chistina Rotmann Johansen e sede al 7100 Vejle in Danimarca, ed in base alle indicazioni della progettista Arch. MAIGA Micol, con Studio Tecnico in Via F.lli Asquasciati n. 28 a Sanremo (IM), in merito al *"Progetto di spostamento di volume residenziale ai sensi della L.R. 49/2009 s.m.i. con realizzazione di annessi agricoli"* nel Comune censuario di Bordighera (IM), hanno provveduto ad effettuare dei rilievi geologici-geomorfologici, a far scavare una trincea ed a svolgere delle indagini geofisiche, al fine di valutare le eventuali interferenze che vi possano essere sia fra gli interventi in esame ed i terreni di fondazione, che fra questi ed il pendio.

Fig.1: vista generale del sito.

Si è provveduto, quindi, alla raccolta di significativi dati bibliografici, ovvero la Carta Geologica F. 102 Sanremo, la cartografia geologica del Progetto CARG (Legge 226/99 - scala 1:25.000) ed il Piano di Bacino denominato "Torrenti Vallecrosia e Borghetto–Ambito n. 2 – Nervia" approvato dal Consiglio Provinciale con D.C.P. n.86 in data 15.10.2002, con adeguamento a parere vincolante C.T.R. approvato con D.G.P. n.92 del 16.02.2004 e ss.mm.ii., sino alla recente Variante al Piano approvata con D.G.P. n.13 dell'11.01.2012.

Si precisa che l'indagine geologica è stata eseguita anche ai sensi del **D.M. 14.01.2008**, che discende e racchiude le precedenti **O.P.C.M. n.3274/2003** e ss.mm. ed il **D.M. 14.09.2005**, e viene denominato *"Norme tecniche per le Costruzioni"*, o più semplicemente NTC 2008, il testo definisce i principi per il progetto, l'esecuzione ed il collaudo di tutti i tipi di costruzione rispetto alle prestazioni richieste in termini di sicurezza, regolare utilizzo e durabilità; della **Circolare n.617** del 02.02.2009 *"Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008"*; e della **Circolare** del 05.08.2009 *"Cessazione del regime transitorio …"*.

Inoltre, il sito ricade all'esterno delle aree sottoposte al **R.D. 3267** del 30.12.1923 "*Riordinamento e riforma della Legislazione in materia di boschi e di terreni montani*" ovvero del cosiddetto *Vincolo Idrogeologico* (vd anche **L.R.24** del **22.01.1999**).

Il progetto prevede, nel suo complesso, la volontà di fare ordine nel terreno, anche in virtù dell'idea di destinare gran parte della proprietà alla coltivazione dell'olivo, ed in parte destinarla alla rimessa e pascolo degli animali. A questo proposito è intenzione della committenza demolire il fabbricato abitativo condonato (vd mappale 1320), ad oggi fatiscente, e realizzare una nuova struttura con caratteristiche morfologiche e architettoniche più simili ed adeguate agli altri edifici presenti sul territorio. Tale nuova costruzione sarà disposta su due piani, di cui quello sottostante interrato su tre alti, con destinazione ricovero animali e magazzino; mentre il livello superiore sarà adibito ad alloggio dell'operatore agricolo.

Per un maggior dettaglio descrittivo di tali interventi si rimanda, comunque, alla relazione dettagliata ed alle tavole della progettista suesposta.

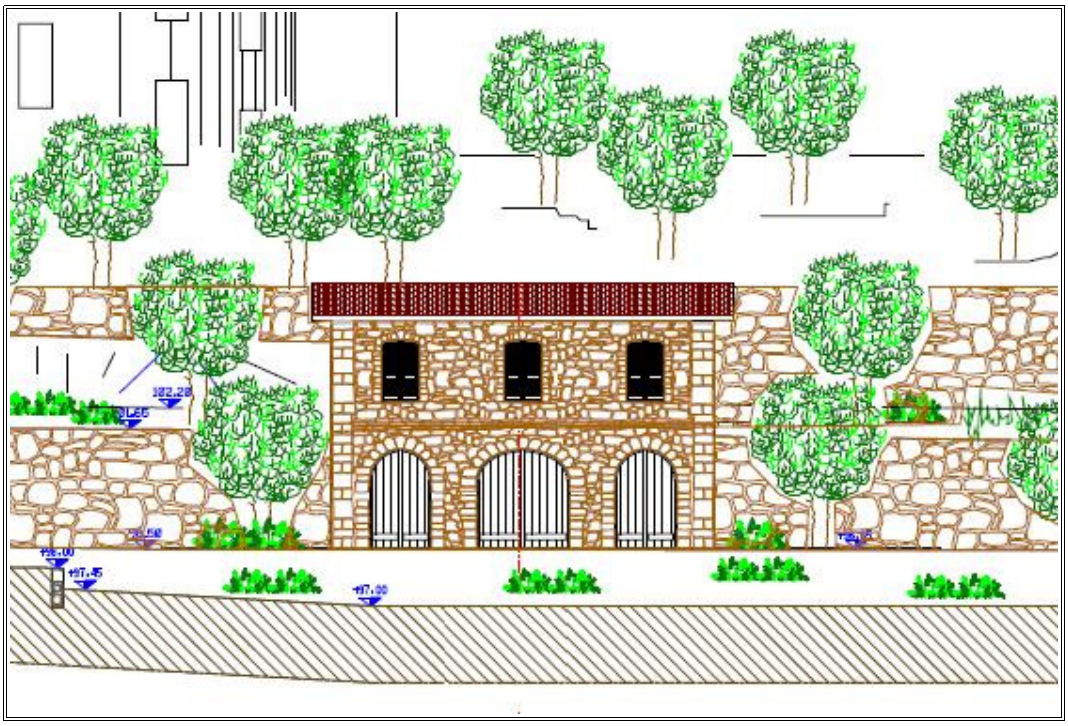


Fig. 2: Prospetto di progetto.

2 – INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 Geografia

L'area interessata da questo studio è posizionata tra il crinale della Località Torre dei Mostaccini ed il letto di scorrimento del Rio Cà Bianca, ovvero su un modesto versante all'interno di una grande proprietà da cui si gode una panoramica vista sulla città e sul mare. Nell'intorno sono presenti soprattutto terreni agricoli, talora in stato di totale abbandono e molti affioramenti delle formazioni rocciose che caratterizzano questi siti. L'accessibilità è garantita dalla viabilità privata di accesso che immette sulle strade comunali a breve distanza dal casello autostradale. Le quote altimetriche di riferimento si aggirano intorno ai 90 – 105 m. circa s.l.m.; mentre le coordinate di riferimento della zona di interesse risultano:

Coordinate WGS84	Lat. 43,788271	Long. 7,663066
Coordinate ED50	Lat. 43,789260	Long. 7,664128

Il sito è individuabile nella cartografia esistente, tra le altre, in:

- Foglio V	Catasto del Comune	Scala 1: 2.000;
- CTR 270 041		Scala 1: 5.000;
- CTR 270 040		Scala 1: 10.000;
- Cartografia del PdB		Scala 1: 10.000;
- Foglio 102	Carta Geologica d'Italia (Foglio San Remo)	Scala 1: 100.000.

2.2 P.T.C.P.

Il Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico inserisce tale area in:

- Assetto Vegetazionale:	COL-ISS	Colture – Insed. sparsi serre
- Assetto Geomorfologico:	MO-B	Modificabilità di tipo B

Per quanto riguarda l'assetto geomorfologico *"l'indirizzo generale di Modificabilità si applica nelle situazioni in cui l'ambiente, in assenza di valori emergenti, presenta una modesta vulnerabilità sotto il profilo geomorfologico, talché non si manifesta l'esigenza di specifiche azioni di tutela dell'attuale configurazione, ferme restando le normali cautele relative alla corretta gestione del territorio."*

3 – INDAGINE GEOGNOSTICA

Il giorno 13.02.2014 lo scrivente ha fatto scavare dalla committenza una trincea di indagine al fine di vedere direttamente il primo sottosuolo e per meglio tarare le indagini sismiche che si volevano eseguire.

All'interno dello scavo con profondità massima di circa – 3,20 metri dal p.c. (piano campagna) del momento in cui si sono svolte le misure, si è osservato:

da 0,00 m	a - 0,80 m	Terreno superficiale marrone-beige con scarsa consistenza e presenza di materiale organico (radici);
da - 0,80 m	a - 2,20 m	Terreno e coltre color nocciola maggiormente compatto e con consistenza più significativa del precedente;
da – 2,20 m	a - 3,20 m	Cappellaccio di alterazione dell'ammasso flyschoide rinvenuto in affioramento nei terrazzamenti agricoli sottostanti (regolite molto degradato). Piccole pozze d'acqua sul fondo scavo, ma a seguito di un intenso periodo piovoso che ha colpito severamente questo tratto di territorio.

Fig. 3: Foto della trincea di indagine.

4 – INDAGINE GEOFISICA

Si è ritenuto opportuno, per una maggior conoscenza dei luoghi, far eseguire anche un'indagine geofisica di tipo sismico per la determinazione della stratigrafia tramite l'analisi delle onde p (longitudinali). Questa indagine è consistita nella realizzazione di una base sismica a rifrazione direttamente nel terreno di interesse; più nel dettaglio la base sismica è stata attrezzata mediante geofoni da 4,5 Hz, con distanza intergeofonica di 2,0 metri ed ha permesso, tramite l'interpretazione dei tempi di propagazione delle onde sismiche, la definizione delle caratteristiche dei litotipi presenti nel primo sottosuolo.

Le indagini geofisiche (sismiche) si occupano dell'esplorazione del sottosuolo attraverso l'analisi della propagazione di onde elastiche generate in superficie o all'interno di perfori. Le onde sismiche si generano dal moto vibratorio delle particelle di un corpo, che si innesca a causa della sollecitazione indotta da uno sforzo di tipo impulsivo.

4.1 Attrezzatura utilizzata

L'attrezzatura utilizzata in campagna, dal Geol. D'ADAMO Francesco con Studio Tecnico in Strada Rivaira snc a Bordighera, è costituita da un sismografo a 12 canali, cavi di collegamento tra i sensori ed il sismografo, 12 geofoni verticali da 4,5 Hz per la registrazione delle onde P, mazza per l'energizzazione. Il sismografo ha possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno verticale del segnale (in ampiezza) con sensibilità tra 1 e 100 decibel. La registrazione dei dati in digitale, con formato in uscita pari a 16 bit, viene effettuato su PC sul quale vengono successivamente elaborati i dati.

4.2 Interpretazione dei risultati

E' necessario sottolineare che le interpretazioni delle indagini geofisiche vengono eseguite nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano-parallele. Nell'area indagata le condizioni sopra riportate non sono sempre rispettate, pertanto l'interpretazione, sia delle profondità, che delle velocità, viene effettuata con un margine di incertezza che si assomma all'errore insito proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-20 %.

5 – DETERMINAZIONE ONDE P

5.1 Rappresentazione dei dati sismici

Dai segnali sismici ottenuti in campagna vengono estrapolati i dati di tempo e velocità che l'onda, creata dalla fonte energizzante, impiega a raggiungere ogni singolo geofono.

I valori così ottenuti vengono inseriti in un apposito programma (software Intersism della Geo&Soft) ed elaborati ottenendo in questo modo sia le velocità delle singole formazioni attraversate, che gli spessori dei livelli.

5.2 Interpretazione dei dati

I dati ottenuti dall'analisi delle velocità di propagazione delle onde sismiche (onde p) e delle "distanze critiche" hanno consentito di definire, che nel primo sottosuolo, sono presenti almeno tre orizzonti che suddividono le Unità riscontrate, ovvero:

Unità superficiale: Rappresenta l'orizzonte superficiale del terreno (probabilmente riferibile al terreno agrario ed alle sistemazioni antropiche) ed è stato intercettato sino ad una profondità massima di circa -1,20/-1,30 metri. Tutte le quote sono riferite al p.c. (piano campagna) del momento in cui si sono svolte le misure.

Unità intermedia: Questo orizzonte, che giunge sino ad una profondità massima di circa - 4,50 metri dal p.c., possiede velocità delle onde longitudinali di circa 383,2 m/sec. Confrontando tali risultati con la trincea scavata in adiacenza risulta probabilmente possibile riferire quest'unità con la coltre compatta nella porzione superiore e con il cappellaccio nella porzione inferiore.

Unità basale: Tale livello, basale tra quelli rinvenuti in questa analisi (Vp), possiede velocità delle onde P di circa 1541,2 m/sec.; risulta, anche in funzione di precedenti analisi, associabile presumibilmente all'ammasso roccioso flyschoide che caratterizza l'area ed appare in affioramento nei terrazzamenti sottostanti.

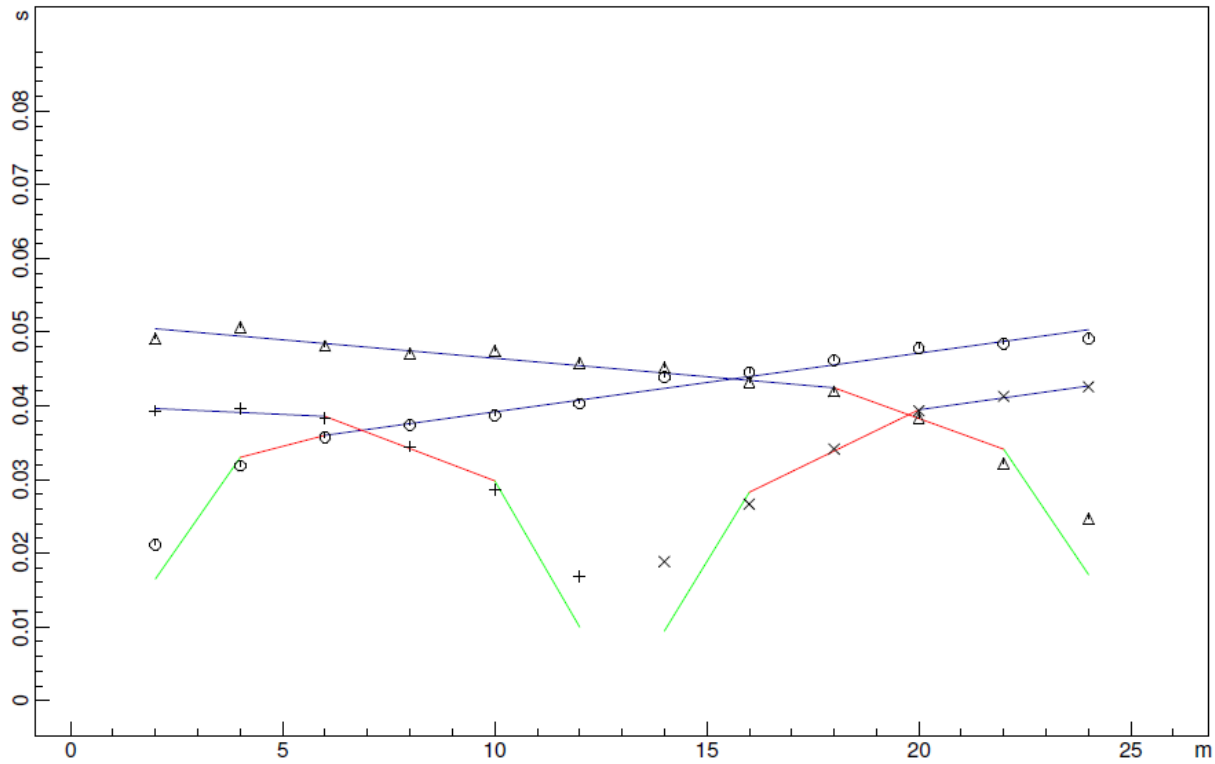


Fig. 4: Dromocrone Linea 1.

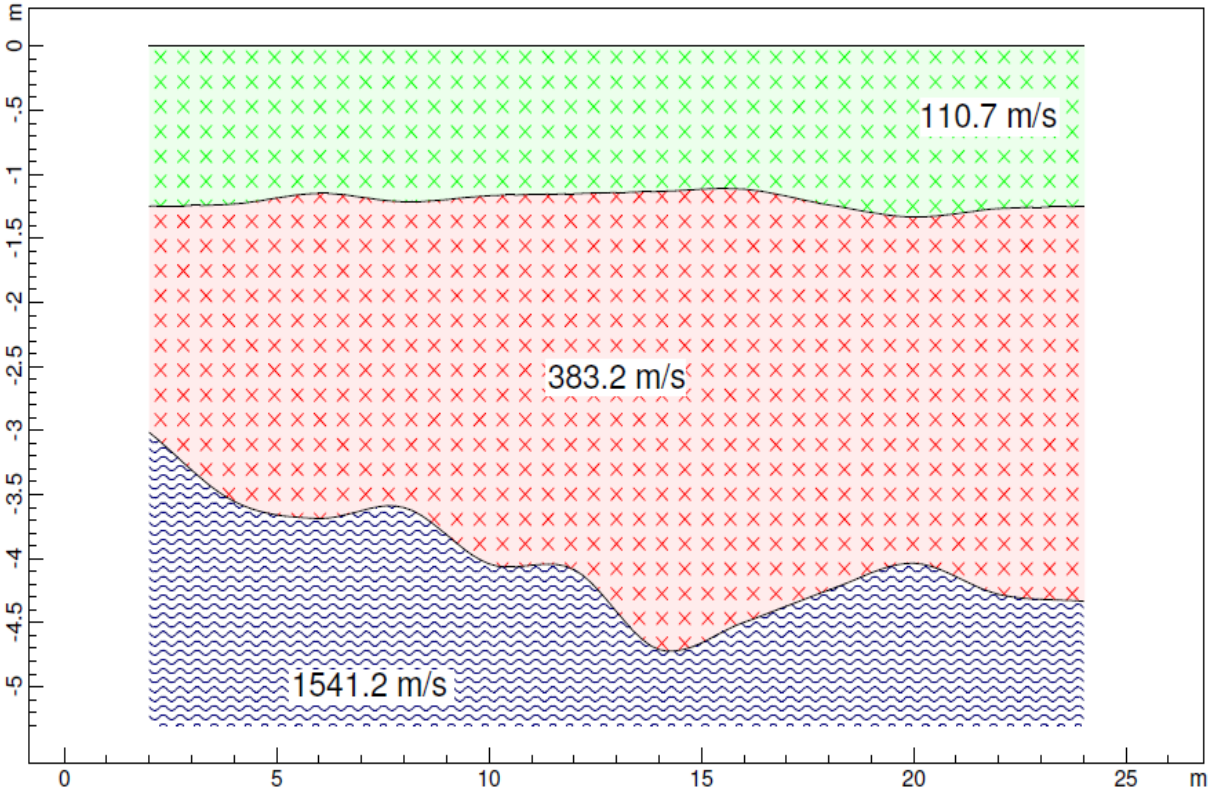


Fig. 5: Sismostrati (Onde P) della Linea 1.

6 – DETERMINAZIONE DELLE ONDE S

6.1 Determinazione delle onde di taglio (onde S)

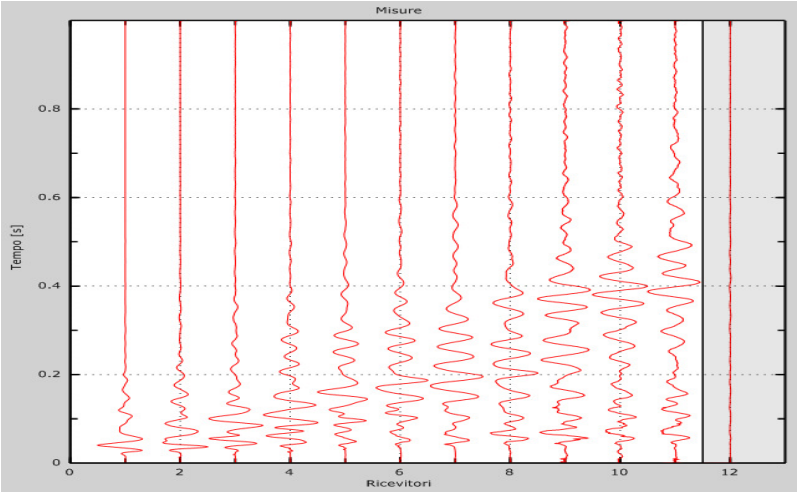
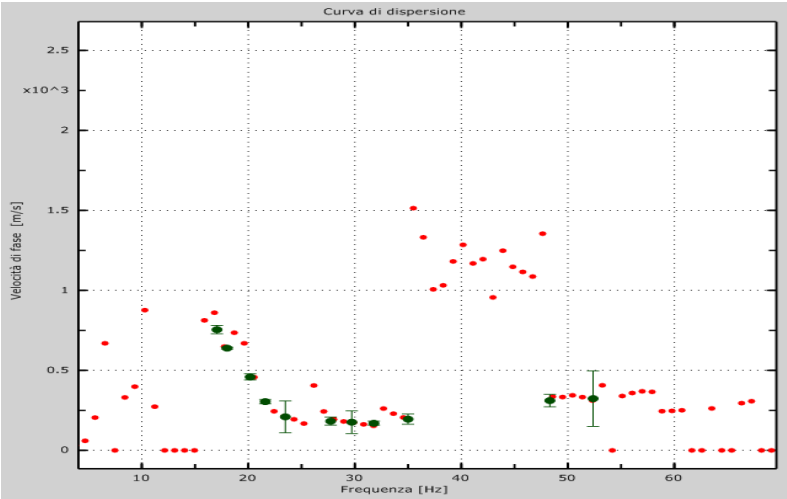
L'indagine sismica effettuata per estrapolare le Vs (velocità delle onde di taglio) è avvenuta mediante la tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*). Quest'ultima viene svolta mediante la trattazione spettrale del sismogramma, cioè a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale, come onde P, propagazione in aria, ecc.. La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda.

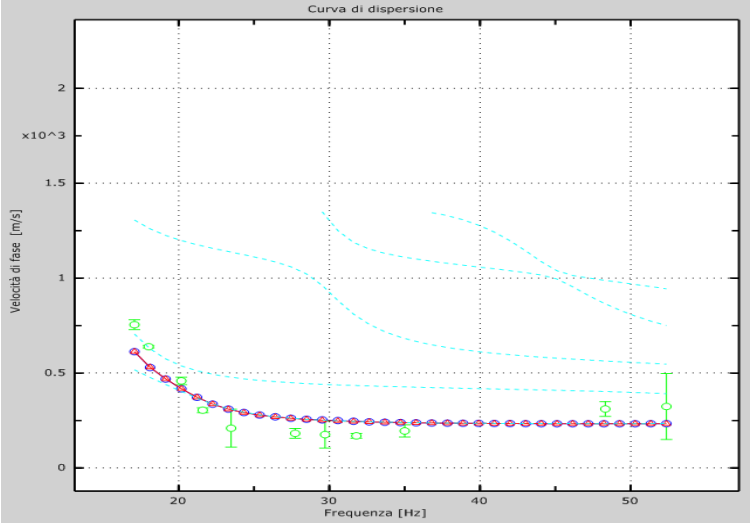
6.2 Modalità interpretativa

Per l'indagine geofisica MASW è stato, quindi, necessario energizzare il terreno (sorgente di energia), per la lettura dei tempi di arrivo delle onde Superficiali (Rayleigh), impiegando una mazza battente in senso verticale su di una piastra aderente al suolo. Le acquisizioni sono state eseguita effettuando ripetute energizzazioni e acquisizioni con un tempo di registrazione di 1,0 secondi. I sismogrammi sono stati elaborati mediante il software MASW, sia in corrispondenza dell'andata, sia in corrispondenza del ritorno al fine di ottenere un ulteriore controllo dei dati. Di seguito si riporta l'elaborazione delle acquisizioni in ritorno effettuate con il software sopra indicato.

6.3 Interpretazione dei dati

L'elaborazione dei sismogrammi mediante un programma ha consentito di estrapolare le trasformate di Fourier da cui sono state poi tratte le curve di dispersione.

Linea 1 – Tracce sperimentali	
Linea 1 – Acquisizione di andata Curva di dispersione	



Linea 1

(vel. numeriche – punti sperimentali (verde), modi Rayleigth (ciano), curva app. (blu) e curva numerica (rosso).

6.4 Ricostruzione del sottosuolo mediante le onde S

Dalle elaborazioni di cui sopra è stato possibile ricavare i diversi orizzonti aventi valori propri di velocità delle onde S, e si è provveduto a ricostruire il diagramma velocità/profondità.

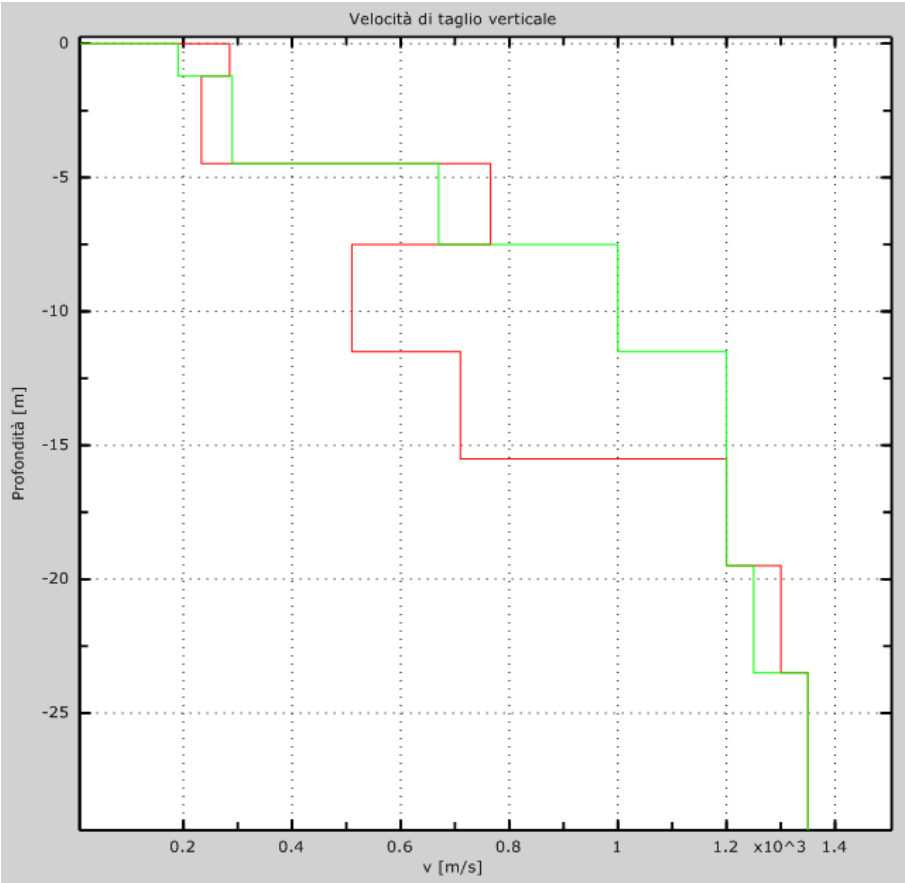
Si ricorda, poi, che i suoli di fondazione sono suddivisi in cinque classi (A, B, C, D, E) più due speciali (S1 e S2), in base alle loro caratteristiche stratigrafiche ed alla velocità media delle onde sismiche di taglio (trasversali) entro 30 metri di profondità (vd paragrafo 10.2.3), ovvero alle Vs_{30}:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo

Vi = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati



Piano di riferimento z=0 [m].....0
Vs30 [m/s].....639

6.5 Verifica delle caratteristiche litologiche a mezzo di metodologia sismica passiva

E' stata condotta, inoltre, anche un'indagine con metodologia *"sismica passiva"*, finalizzata all'estensione in profondità dello studio ed alla verifica della congruità litologica complessiva.

Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate in tabella.

Tabella caratteristiche strumento:

PRINCIPALI NOTE TECNICHE DEL TROMINO	
Numero di canali	3+1 analogici
Amplificatori	tutti canali con input differenziali
Rumore	< 0.5 µV r.m.s. @128 Hz sampling
Impedenza dell'input	10^6 Ohm
Range di frequenze	DC - 360 Hz
Frequenza di campionamento	16384 Hz per canale
Frequenze di sovracampionamento	32x, 64x, 128x
Conversione A/D	equivalente a 24 bit
Massimo input analogico	51.2 mV (781 nV/digit)
Registrazione dati	memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
Accoppiamento col terreno	su punte e cuscinetto reologico
Condizioni operative	temperatura - 10 / +70°C umidità 0-90% senza condensa
Sensori	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccaggio quando non in acquisizione

Tale strumento consente di effettuare misurazioni sismiche con tecnica passiva. L'indagine geofisica proposta si avvale della tecnica di Nakamura e del rapporto spettrale H/V; ovvero si misura il microtremore sismico ambientale (rumore sismico).

Il rumore convenzionalmente viene suddiviso in microsisma (freq. < 1 Hz) e microtremore (freq. > 1 Hz) ed è costituito sia da onde di volume, sia da onde superficiali in proporzioni variabili; in particolare il microsisma è costituito soprattutto da onde di Rayleigh, mentre il microtremore oltre alle onde di volume contiene anche onde di Love e onde di Rayleigh in proporzioni variabile.

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizzontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque; in particolare si sfruttano i microtremori sismici sempre presenti in natura e la cui

fonte o sorgente può essere sia di origine antropica-umana (attività agricola o industriale, traffico, ecc.), che di origine naturale (vento, masse d'aria, moto ondoso, ecc.).

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono: *la frequenza caratteristica di risonanza del sito, la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, la velocità media delle onde di taglio V_S, la stratigrafia del sottosuolo*.

Nello specifico è stata utilizzata tale tecnica per verificare la stratigrafia del sottosuolo. Dal diagramma H/V è stato possibile osservare come la ***frequenza caratteristica di risonanza del sito*** sia registrata in corrispondenza di alcuni picchi di frequenza dai valori medio-elevati, indice di una certa superficialità del rifrattore sismico principale. Solitamente l'attribuzione di un valore di spessore viene fornito mediante l'utilizzo dell'equazione della frequenza fondamentale di risonanza, come di seguito rappresentata:

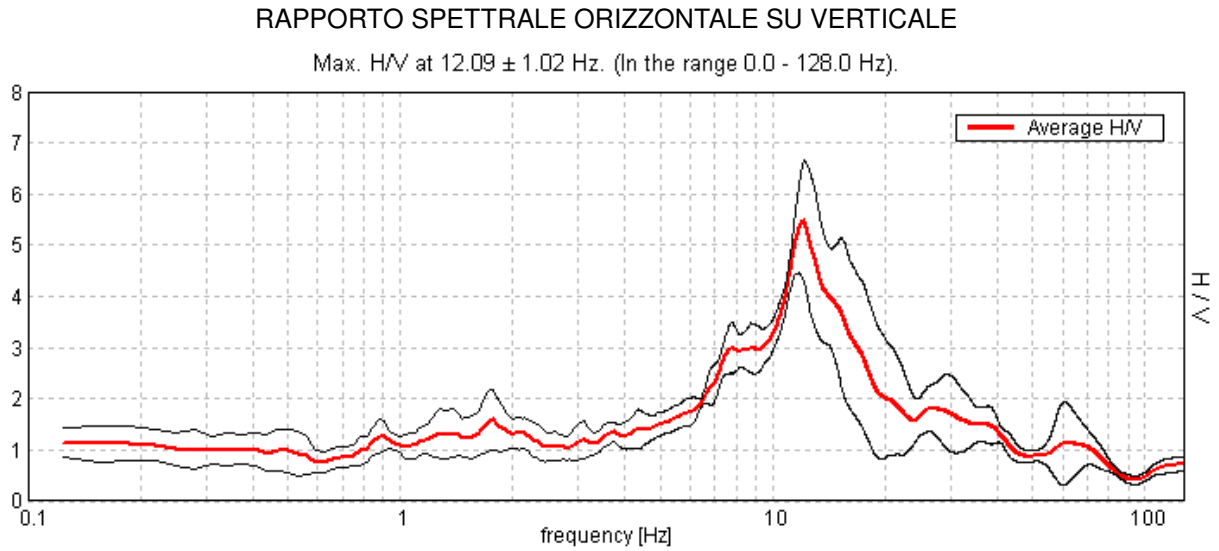
$$f = \frac{V_S}{4 * H}$$

ove: f = frequenza;

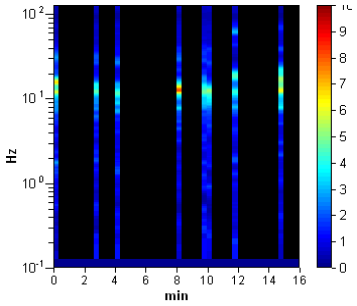
V_S = velocità delle onde trasversali (S); H = profondità del livello.

Si riportano ora i diagrammi ottenuti dalle misurazioni svolte in sito.

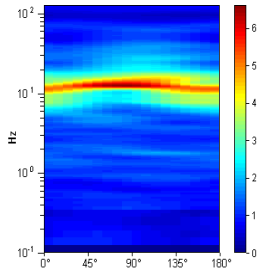
S_p (1)



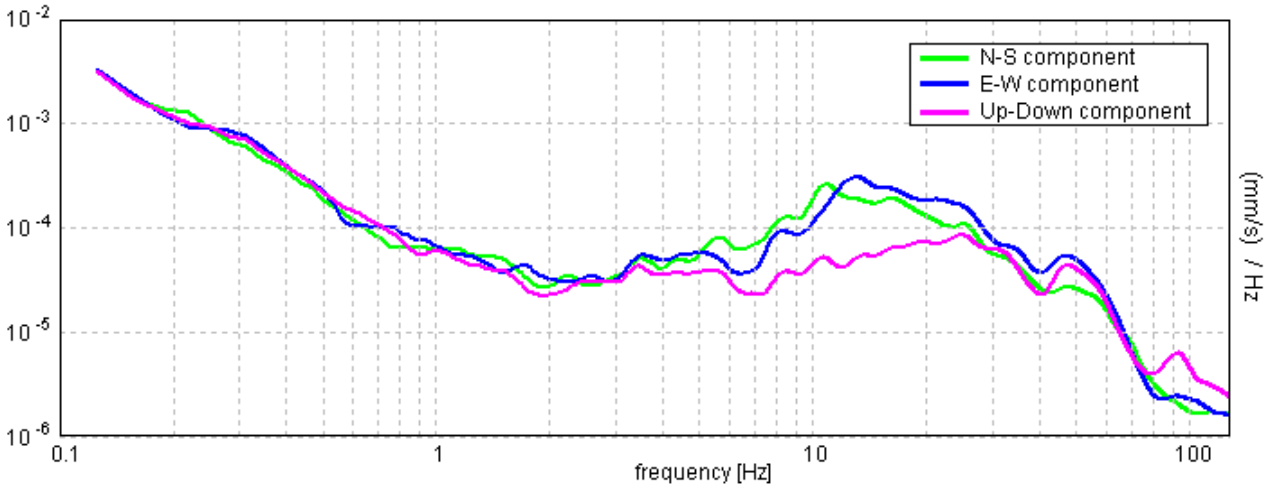
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



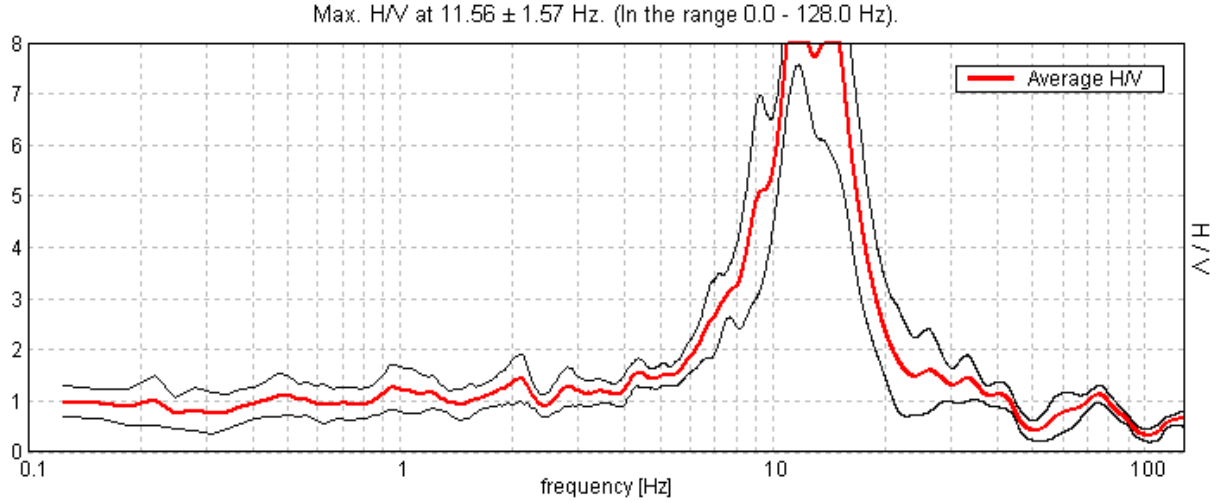
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



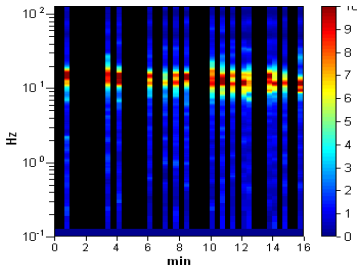
Picco H/V a 12.09 ± 1.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	12.09 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1935.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz	Superato 0 volte su 582	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	7.344 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	17.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.47 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.03351| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.40523 < 0.60469	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.462 < 1.58	OK	

S_p (2)

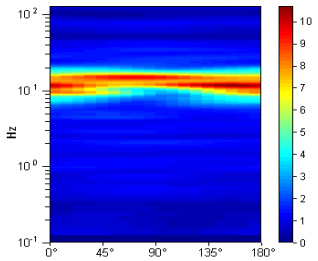
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



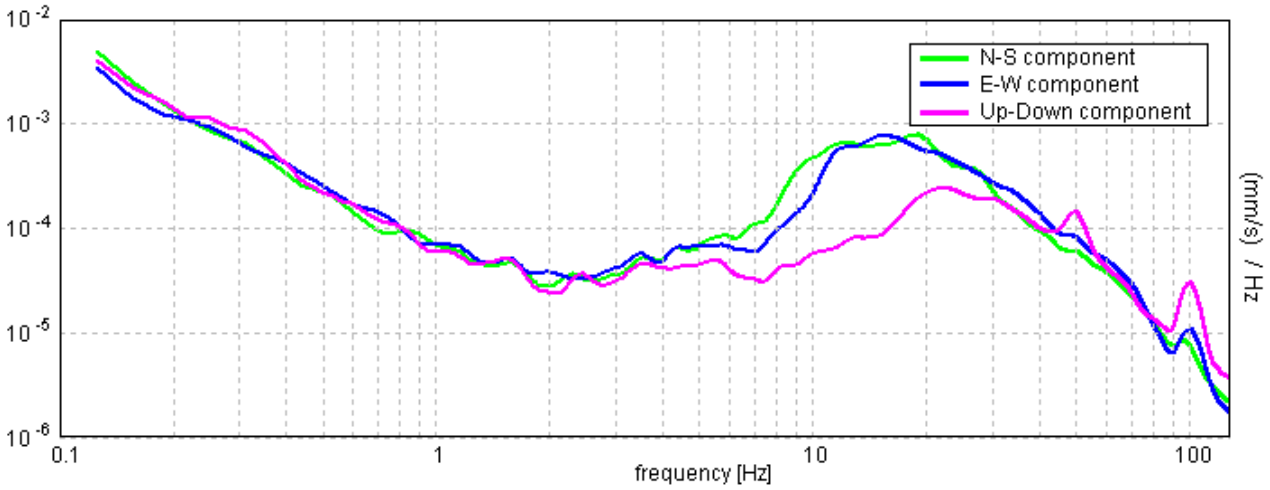
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



PETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Picco H/V a 11.56 ± 1.57 Hz (nell'intervallo 0.0 - 128.0 Hz).			
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	11.56 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3700.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 70 volte su 556		NO
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	8.813 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	17.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	9.03 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.06174| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.71382 < 0.57813		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6763 < 1.58	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

7 - GEOLOGIA

7.1 Domini paleogeografici e gruppi di Unità tettoniche

Le Alpi in generale, e quindi anche il settore ligure, mostrano un'attuale catena montuosa formata da enormi masse rocciose denominate solitamente *Falde* o *Unità Tettoniche*, che a seguito delle deformazioni litosferiche durante l'orogenesi, sono state dislocate dalla loro posizione di origine ed appilate una sull'altra. Le fasi fondamentali dell'orogenesi alpina nel settore ligure si sono compiute all'incirca tra i 90 ed i 40 milioni di anni fa, attraverso l'avvicinamento e la successiva collisione di due paleocontinenti, la Paleoeuropa e l'Insubria. Ciò produsse l'intensa deformazione sia dei materiali oceanici interposti, sia di quelli continentali. Le Unità Tettoniche presenti nella Provincia di Imperia si riconducono principalmente a due dei grandi Domini paleogeografici-strutturali alpini, il Dominio Delfinese-Provenzale ed il Dominio Piemontese-Ligure. In questo contesto l'estremo ponente ligure viene a costituire un fondamentale anello per la conoscenza e lo studio del segmento meridionale delle Alpi Marittime, in cui sono presenti, procedendo da W verso E, sia zone di "avampaese" europeo, sia il fronte delle suddette falde alpine.

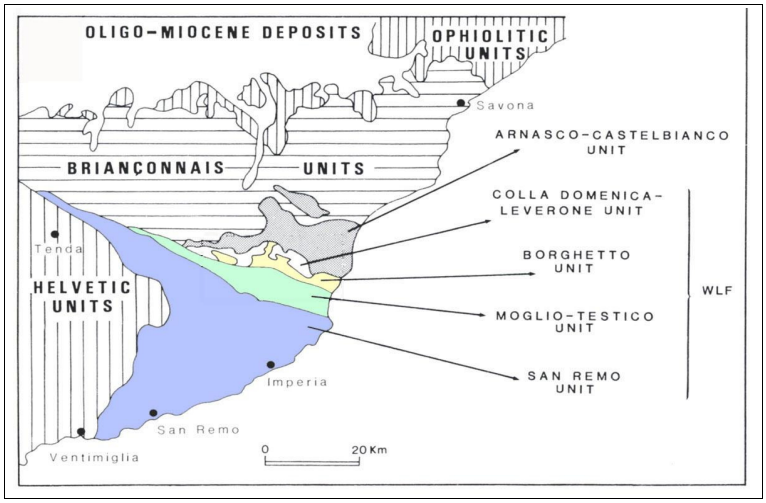


Fig. 18: Schema geologico delle Alpi Liguri da A. Di Giulio (PV).

7.2 Formazioni geologiche

Nell'area di più stretta pertinenza possiamo ritenere il sottosuolo formato da un terreno superficiale che sovrasta prima una coltre, poi il "regolite", ed infine riscontriamo un ammasso roccioso flyschoide, base della successione litostratigrafica locale.

Terreno superficiale

Il terreno superficiale, di origine eluvio-colluviale, riscontrato in sito è costituito da deboli depositi terrigeni di origine complessa; si possono, infatti, assommare varie componenti, come i materiali derivanti dalla disgregazione dell'ammasso sottostante (*eluvium*) e le sistemazioni agricolo-antropiche svolte nel corso dei secoli, che hanno messo in opera terrazzamenti in pietra e deboli riporti a tergo.

La parte più superficiale risente del vecchio utilizzo coltivo di questa parte del parco, con la presenza di sostanze vegetali come radici e foglie, che alterano il colore del terreno per il loro degrado nel corso del tempo e delimitano la *strato vivo* in cui vive la flora microbica.

Coltre

Sottostante il terreno superficiale si riscontra un livello di terreno maggiormente compatto e consistente, dal color nocciola, talora difficilmente distinguibile dal cappellaccio. Risulta costituito da materiali terrigeni e frammenti di ammasso roccioso, il tutto in una matrice limoso-argillosa.

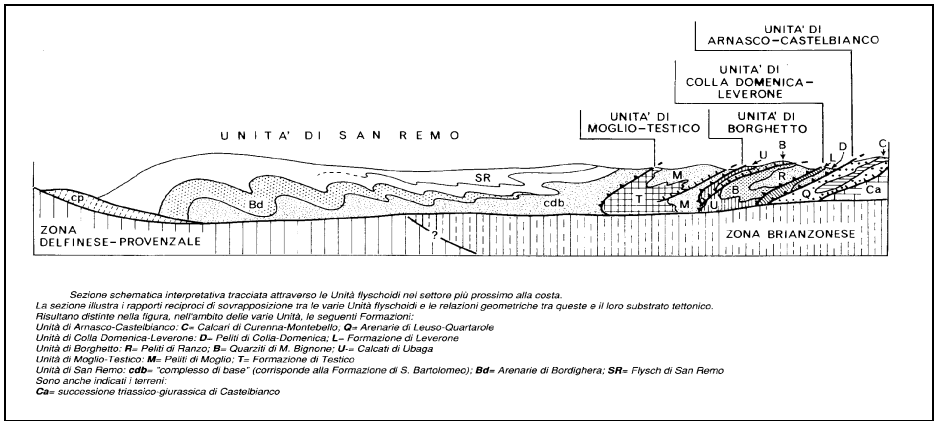
Cappellaccio o "regolite"

Il regolite è la parte più superficiale ed alterata dei depositi sottostanti e rappresenta, per sua natura, il termine di passaggio o la zona di transizione, tra il terreno superficiale/coltre e la roccia. Solitamente è composto da parti di roccia fratturata e da depositi di materiali sciolti, e possiede caratteristiche tecniche intermedie tra i due litotipi che lo racchiudono.

Ammasso roccioso

La formazione rocciosa posta come base stratigrafica, e rinvenuta in diversi affioramenti nelle vicinanze, è quella del Flysch di Sanremo; essa appartiene all'Unità di Sanremo-M. Saccarello, datata Cretaceo superiore – Paleocene/Eocene, che, insieme all'Unità di Moglio-Testico, di Borghetto d'Arroscia-Alassio e di Colla Domenica-Leverone, forma la zona dei "Flysch ad Elmintoidi" della Liguria occidentale (*vd Fig.19*).

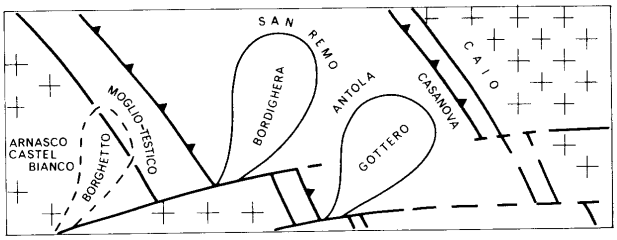
Tutti questi sedimenti sono attribuiti ad una fossa bacinale che in seguito alla chiusura dell'oceano di deposizione, oceano esistente tra il Continente Paleoeuropeo e la Zolla Insubrica, sono state scollate dall'originale substrato e sono state trasportate verso l'esterno fino a raggiungere la posizione odierna (*vd Fig. 20*).



Sezione schematica interpretativa tracciata attraverso le Unità flyschoidi nel settore più prossimo alla costa.
La sezione illustra i rapporti reciproci di sovrapposizione tra le varie Unità flyschoidi e le relazioni geometriche tra queste e il loro substrato tettonico.
Risultano distinte nella figura, nell'ambito delle varie Unità, le seguenti Formazioni:
*Unità di Arnasco-Castelbianco: **C**= Calcari di Curenna-Montebello; **Q**= Arenarie di Leuso-Quartarole*
*Unità di Colla Domenica-Leverone: **D**= Peliti di Colla-Domenica; **L**= Formazione di Leverone*
*Unità di Borghetto: **R**= Peliti di Ranzo; **B**= Quarziti di M. Bignone; **U**= Calcati di Ubaga*
*Unità di Moglio-Testico: **M**= Peliti di Moglio; **T**= Formazione di Testico*
*Unità di San Remo: **cdb**= "complesso di base" (corrisponde alla Formazione di S. Bartolomeo); **Bd**= Arenarie di Bordighera; **SR**= Flysch di San Remo*
Sono anche indicati i terreni:
***Ca**= successione triassico-giurassica di Castelbianco*

Fig. 18 : sezione Unità Flyschoidi da Guide Geologiche Regionali (Vol. 2)

L'Unità di Sanremo-M. Saccarello in particolare consta di quattro termini principali, dal basso all'alto stratigrafico abbiamo: Argille a Palombini (non presenti nelle vicinanze dell'area esaminata, ma che rappresentano il termine litostratigrafico più antico conosciuto dei Flysch ad Elmintoidi delle Alpi Liguri); Complesso di Base; Arenarie di Bordighera ed infine il Flysch di Sanremo.



Schema paleogeografico dell'oceano piemontese-ligure durante il Cretaceo. *L'area oceanica è indicata al centro ed è compresa tra i due margini continentali europeo (a sn.) ed africano (a ds.), entrambi raffigurati con crocette. Sono indicate le aree deposizionali di diverse successioni costituite da flysch, e sono distinte le principali conoidi arenacee (Gottero, Bordighera, Borghetto). Alcune successioni hanno destinazione appennninica (Antola, Gottero, Casanova, Caio), le altre alpina. Tra queste ultime non è indicata, per ragioni di spazio, la successione di Colla Domenica-Leverone che occupa una posizione intermedia tra la successione di Arnasco-Castelbianco e di Borghetto.*

Fig. 20: schema paleogeografico da Guide Geologiche Regionali (Vol. 2).

Come in altri flysch analoghi delle Alpi e dell'Appennino si riconoscono (Abbate & Sagri, 1970; Hesse, 1975; Sagri, 1979), quattro litotipi predominanti, rappresentati da:

- arenarie calcaree, arenarie e siltiti che presentano ben sviluppati gli intervalli della sequenza di Bouma (1962); sono di colore grigio scuro, alterate in bruno o giallo rossastro;

- marne siltose grigie alterate in grigio o giallo chiaro, contenenti dal 15 al 50 % di $CaCO_3$; rappresentano l'intervallo E di strati torbiditici marnoso-arenacei.;

- calcilutiti contenenti il 50-70 % di $CaCO_3$ di colore giallo avana alterate in giallo ocra; si tratta di fanghi calcarei pelagici risedimentati che costituiscono strati nei quali è presente solo l'intervallo E;

- argilliti pelagiche verdi e grigie contenenti bassi tenori di $CaCO_3$ (circa 0-5 %), che costituiscono l'intervallo F (Hesse, 1975) al tetto degli strati torbiditici.

L'associazione dei quattro litotipi dà luogo a tre tipi di strato che presentano le seguenti caratteristiche:

tipo 1) consta di grandi banchi (1-10 m) di torbiditi marnose con alla base una porzione di arenarie calcaree costituenti circa 1/4 dell'intero strato. Le marne, in genere massicce o a frattura concoide, passano rapidamente, ma con gradualità, ad un sottile livello (2-5 cm) di argilliti pelagiche verdi o grigie. Le arenarie calcaree presentano ben sviluppati gli intervalli "bcd" o "cd" con il "c" sempre molto evidente. Il rapporto sabbia/argilla è sempre minore di uno, di conseguenza questi strati sono ascrivibili alla subfacies D2 di Mutti & Ricci Lucchi (1975), o meglio alle megatorbiditi a grana fine di piana bacinale (Mutti et alii, 1984);

tipo 2) è formato da strati spessi e variabili da 5 a 100 cm di calcilutiti passanti verso l'alto, con un contatto netto, ad un velo di pelagiti argillose. Talvolta, alla base dello strato, si nota un sottile livello (1-5 mm) di arenarie calcaree molto fini con laminazione piano-parallela. Questi strati calcilutitici rappresentano la subfacies D3;

tipo 3) è rappresentato da strati torbiditici medio-sottili (5-50 cm) di arenarie fini, contenenti bassi tenori di $CaCO_3$, passanti verso l'alto a siltiti ed argilliti siltose che sfumano gradatamente nelle argilliti pelagiche. La porzione arenacea presenta sempre ben evidenti gli intervalli di Bouma "c, d", con il "c" sempre molto sviluppato. Anche questi strati, avendo un rapporto sabbia/argilla inferiore ad uno, corrispondono alla facies D2.

Le percentuali dei litotipi, così come quelle degli strati citati, sono molto variabili, sia in senso verticale che laterale, così Sagri (1984) ha suddiviso l'ammasso roccioso in quattro membri che presentano litofacies distinte.

Litofacies A (Capo Mele): tipica della porzione basale e prossimale, è caratterizzata da una netta prevalenza di calcari marnosi ed arenarie calcaree costituenti spessi strati torbiditici del tipo

1). Questi banchi sono frequentemente organizzati in sequenze positive, spesse 10-30 m, con la porzione terminale costituita da calcilutiti (strati del tipo 2). Molto scarsi sono gli strati arenaceo-argillitici del tipo 3).

Litofacies B (Villa Faraldi): anche in questo caso prevalgono le marne e le arenarie calcaree costituenti strati di tipo 1), ma con spessori inferiori (1-5 m) rispetto alla precedente litofacies. Si trovano anche le calcilutiti e le torbiditi arenaceo-argillitiche. Sono presenti, talvolta, sequenze negative (con aumento cioè dello spessore verso l'alto), spesse 5-10 m. Questa litofacies è tipica della porzione basale distale.

Litofacies C (San Michele): costituisce la porzione intermedia della formazione ed è caratterizzata da pacchi di strati arenaceo-argillitici di tipo 3) e calcilutitici di tipo 2), nei quali si intercalano ad intervalli regolari (ogni 10-15 m) delle megatorbiditi marnoso-arenacee spesse 5-7 m, che conferiscono alla successione una tipica ritmicità.

Litofacies D (San Lorenzo al Mare): è una litofacies già distinta nella Carta Geologica d'Italia (foglio n. 102, Sanremo) con la sigla H_2 e come "*complesso a* ovvero scisti arenaceo-marnoso-argillosi" da Boni & Vanossi (1960). Vi prevalgono nettamente gli strati arenaceo-argillitici con intercalazioni di calcilutiti (rispettivamente di tipo 3 e 2) e rari banchi marnoso-arenacei spessi al massimo 1-2 m. Questa litofacies costituisce il tetto stratigrafico del Flysch di Sanremo ed affiora estesamente sulla costa.

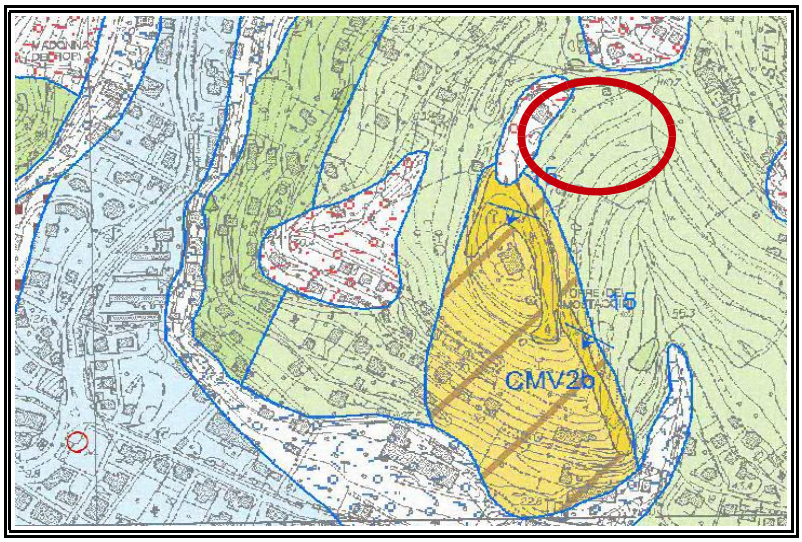


Fig. 21: stralcio della Carta Geologica del Progetto C.A.R.G.

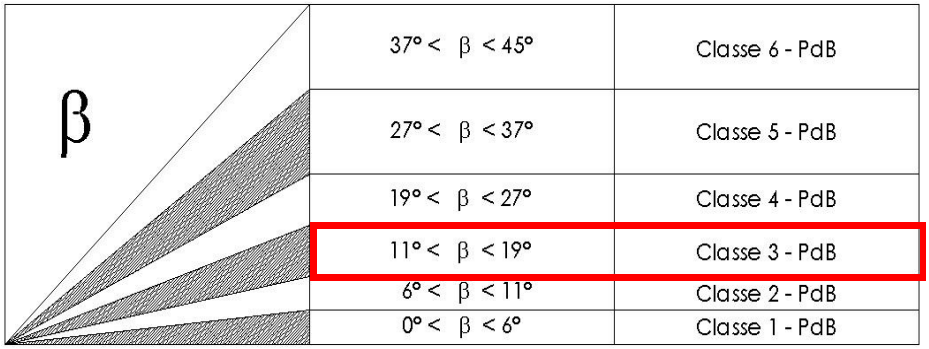
8 – GEOMORFOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

8.1 Geomorfologia

Il territorio di interesse, complessivamente ben conservato, risulta ubicato sul versante orientale del promontorio della "Torre dei Mostaccini", ed all'interno di un esteso parco facente parte un tempo del comprensorio di "Villa Frezzini".

Questo parco possiede terrazzamenti in pietra a secco ed una folta vegetazione, che è in via di pulizia e nuova piantumazione (olivo); inoltre si riscontrano assai sovente gli affioramenti degli ammassi rocciosi. E' presente anche una modesta viabilità interna che conduce sia alla villa suddetta, che ad una abitazione posta in vicinanza dell'area qui in esame.

L'acclività dell'area di maggior interesse è del 20-35% (classe 3 su PdB). Infine si ricorda che nell'intorno non sono stati censiti fenomeni di cedimenti differenziali in atto o situazioni gravi di versante che possano interagire col progetto.



8.2 Idrogeologia

Il terreno in oggetto, posto in destra idrografica del Rio Cà Bianca, risulta all'esterno delle fasce perifluviali inondabili e della fascia di riassetto fluviale evidenziate sul vigente PdB della Provincia di Imperia; non si segnalano, inoltre, pozzi e/o emergenze idropotabili nelle vicinanze.

In generale possiamo ricordare che la permeabilità del terreno superficiale e della coltre è del tipo *per porosità*, mentre quella dell'ammasso sottostante è del tipo *per fessurazione*.

Si fa presente, comunque, che a seguito di intensi piovaschi si potrebbero eventualmente creare delle falde effimere legate a differenti gradi di permeabilità (k) degli ammassi (o litozone), e si consiglia, quindi, di verificare le condizioni idriche del sottosuolo. Infatti in questo contesto il ponding time, ovvero il tempo che intercorre tra l'inizio della pioggia e l'incrocio della curva

rappresentativa dell'intensità di pioggia e quella rappresentativa della capacità di infiltrazione, potrebbe risultare essere limitato, con il conseguente instaurarsi di fenomeni di ristagno e/o ruscellamento superficiale, in funzione dell'acclività.

Per tale motivo si prescrive sin d'ora di prevedere la realizzazione di adeguate opere di drenaggio, soprattutto a tergo dei muri del livello interrato, al fine di raccogliere e canalizzare opportunamente le acque sino al vicino rio. A titolo di esempio si potrebbe utilizzare una soluzione con geocompositi drenanti (tipo SpeeDrain a posa verticale, tipo Isostud Geo-P, ecc.) o materiali similari.

9 - PIANO DI BACINO

Il piano di bacino "Torrenti Vallecrosia e Borghetto–Ambito n. 2 – Nervia" inserisce l'area di più stretta pertinenza in:

- Carta dell'acclività: classe **3** (dal 20 al 35 %);
- Carta del Rischio Geomorfologico: **R1** a rischio moderato;
- Carta delle fasce fluviali: **esterna** alle aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T= 50, 200 e 500 anni;
- Carta dei Regimi Normativi: **VI-MO** versante insed. – modif.

Il Piano di Bacino per tali ultime aree definisce: … *b)* ***VI -"versanti insediati":*** *parti di territorio ove, con differenti gradi di copertura, sono presenti insediamenti, anche di tipo agricolo specializzato, e le relative infrastrutture …*

Fig. 23: affioramento roccioso nei pressi del sito.

10 – MODELLAZIONE SISMICA E CONSIDERAZIONI GEO-TECNICHE

10.1 Formazioni geologiche

I dati sulle caratteristiche geotecniche del suolo e del sottosuolo sono da intendersi come ***valori medi*** e derivano da precedenti esperienze, da valori bibliografici e/o da prove eseguite in aree analoghe opportunamente valutate.

Terreno sup. e Riporti	
γ = 14,2– 18,6 kN/m^3	(peso di volume)
φ = 20 – 30°	(angolo di attrito)
c = 0 KPa	(coesione)
Cappellaccio (Regolite) e Coltre compatta	
γ = 17,5 – 20,5 kN/m^3	(peso di volume)
φ = 28 - 33°	(angolo di attrito)
c = 2 – 30 KPa	(coesione)
Ammasso roccioso flyschoide	
γ = 23,5 – 26,5 kN/m^3	(peso di volume)
φ = 30 - 35°	(angolo di attrito)
c = 25 - 230 KPa	(coesione)
Vp = 1500 m/sec ca	(velocità onde longitudinale da sismica in sito)

10.2.1 Sismicità storica

La Liguria di ponente è costantemente interessata da una modesta sismicità, anche se sono stati rari gli eventi che hanno raggiunto l'VIII-IX° di intensità. I fenomeni più significativi possono essere considerati il terremoto delle Alpi Marittime del 1564 (M_s = 5.9), di cui in verità non si conosce ancora molto e quello ben studiato del 23 febbraio 1887 (M_s = 6.4) con probabile epicentro in area marina; è poi da ricordare la sequenza del luglio 1963 con due eventi di M_s = 5.9.

Tra i terremoti minori possiamo ricordare l'evento del 1831, che interessò l'area più occidentale della Provincia di Imperia con intensità dell'VIII° MCS.

Al di fuori di quest'ultimo fenomeno, con epicentro sicuramente in terra, la maggior parte degli eventi risentiti sono da ascriversi a strutture sismogenetiche localizzate nel Mar Ligure.

10.2.2 Pericolosità sismica di base

Lo studio e l'analisi sulla *Pericolosità sismica di base* dell'intero territorio nazionale trae le sue origini dalla Carta delle Zone Sismogenetiche (ZS9), che venne elaborata dal Gruppo di Lavoro (anno 2004), nella quale sono individuate le zone caratterizzate da diversi valori di *Magnitudo momento massima Mwmax*.

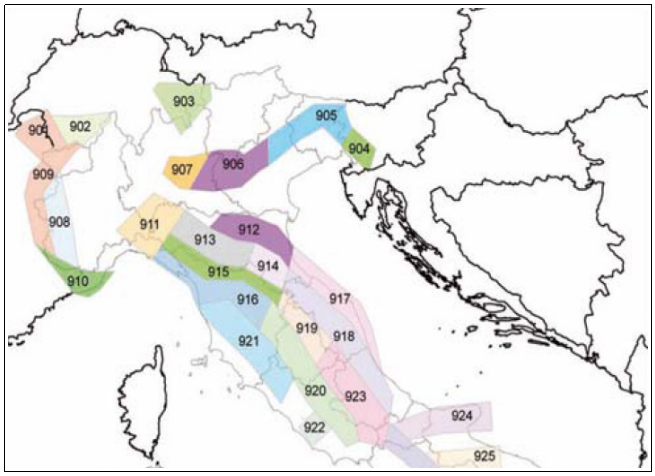


Fig. 24: stralcio da Carta delle Zone Sismogenetiche ZS9.

Valori di M_{WMAX} per le zone sismogenetiche ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)		
Nome zona ZS	***Numero zona ZS***	***M_{WMAX}***
Medio-Marchigiana / Abruzzese, Apennino Umbro / Nizza-Sanremo	918, 919, 910	**6,37**

Successivamente, grazie all'entrata in vigore delle recenti NTC '08, la *Pericolosità sismica di base*, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido affiorante (caratterizzato, quindi, da velocità delle onde sismiche trasversali Vs>800 m/s) viene definita mediante un approccio *"sito dipendente"* e non *"zona dipendente"*. Ovvero una volta trovate le coordinate del sito interessato dal progetto (coordinate nel sistema ED50), questo risulterà compreso tra quattro punti appartenenti alla griglia di accelerazioni indicate nelle Mappe di Pericolosità Sismica Nazionale, e grazie alla media pesata, ad esso competeranno valori specifici di accelerazione di base ag e dei parametri (Fo, Tc* etc.) che consentono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC '08.

10.2.3 Sismicità

In riferimento alla classificazione sismica si ricorda che per il Comune di Bordighera (IM), per quanto indicato in Allegato A della "Classificazione sismica dei comuni italiani" delle O.P.C.M. di riferimento, ovvero l'**O.P.C.M. 3274/2003** e s.m., si ha che:

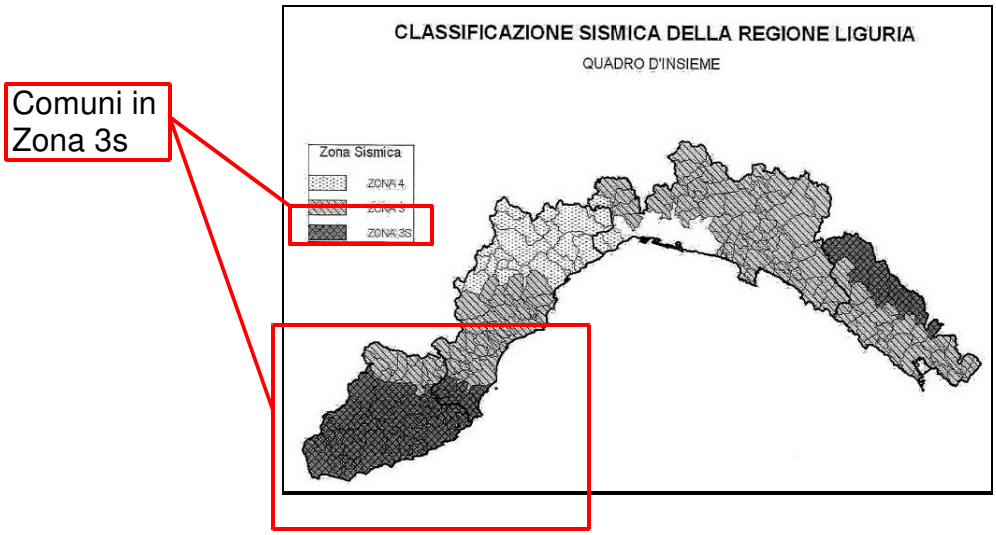
- Codice Istat 2001 **07008008**
- Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti sino al 1984) **4**
- Categoria secondo la proposta del G.d.L. del 1998 **3**
- Zona ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 **3**

Il Comune di Bordighera, quindi, in base all'**O.P.C.M. n.3274/2003**, che riconsidera la normativa sismica, con l'attribuzione alle diverse località del territorio nazionale di un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento dell'accelerazione di picco orizzontale al suolo (ag), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, viene ad essere inserito in Zona 3:

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

Secondo quanto riportato nella precedente **D.G.R. 1308** del **24.10.2008** della Regione Liguria, in riferimento ad una nuova classificazione sismica regionale in funzione dell'**O.P.C.M. 3519/2006,** ma soprattutto in riferimento dell'attuale **D.G.R. 1362** del **19.11.2010,** denominato *"D.M. 14.01.2008 Norme Tecniche per le costruzioni, aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria"* risulta una diversa classificazione. La delibera di cui sopra ridefinisce la zonizzazione sismica del territorio regionale accorpando le precedenti zone 3A e 3B (vd **D.G.R. 1308** del **24.10.2008)** in un'unica zona 3. In base a questa classificazione per il Comune di Bordighera risulta il seguente quadro:

Comune:	**Num. Identific.:**	**Num. Progress.**	**Zona sismica:**
Bordighera	8	6	3S



Infine in merito al citato **D.M. 14.01.2008** (di cui alle tabelle **3.2.II** e **3.2.III**) ed in base alle risultanze delle prove geofisiche in tipologia sismica eseguite in sito, si può preliminarmente inserire il sito di interesse, tra i suoli di **categoria B**, ovvero *"Rocce tenere e depositi a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m., caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT >50 nei terreni a grana grossa e* c_u30 *> 250 kPa nei terreni a grana fina)"*.

A ciascuna categoria di sottosuolo tra cui quella sopra, infine, è associato uno spettro di risposta (Se / T) che mostra la variazione in ampiezza dell'accelerazione al suolo in funzione del periodo delle vibrazioni del terreno.

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,540	1,200	0,007	0,004	0,350	0,200
SLD	1,200	1,510	1,200	0,010	0,005	0,510	0,200
SLV	1,200	1,410	1,200	0,045	0,022	1,834	0,240
SLC	1,200	1,400	1,200	0,061	0,030	2,472	0,240

10.3 Stabilità di pendio preliminare

Per quanto riguarda la *stabilità di pendio* si precisa sin d'ora che il presente studio rappresenta solamente un calcolo preliminare che dovrà essere nuovamente prodotto, con l'inserimento dei parametri e dimensionamenti adeguati, scelti dal progettista, in sede di redazione di relazione geotecnica.

La verifica è stata svolta sia allo *stato di fatto,* che nelle *condizioni di progetto ipotetiche*, sulle porzioni di terreno interessate dal progetto, in particolare nelle *condizioni di assenza di falda*, con il metodo di Jambu (1967). Le sezioni in esame derivano direttamente dal materiale fornito dalla progettista suesposta (Sez.BB). Nell'allegato 2 sono riportati i calcoli e le figure inerenti le verifiche di stabilità svolte tramite il software Geostru – Slope 2011; si precisa che in tutti i casi (sup. circolare) il programma ha ricercato automaticamente il cerchio critico più cautelativo. Allo stato di fatto il coefficiente di sicurezza risulta Fs= 1,17, mentre nelle condizioni di progetto risulta di Fs= 1,15.

Si ricorda, infine, che le verifiche di stabilità si devono ritenere valide per i valori qui riportati e che variazioni degli stessi, potranno apportare cambiamenti sia in senso migliorativo che peggiorativo; eventuali varianti al progetto dovranno, quindi, essere sempre supportate da nuove verifiche di stabilità.

11 – CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

In conclusione si considera, dal punto di vista geologico-geomorfologico ed allo stato attuale, realizzabile il *"Progetto di spostamento di volume residenziale ai sensi della L.R. 49/2009 s.m.i. con realizzazione di annessi agricoli"* nel Comune censuario di Bordighera. Per l'esecuzione delle varie opere dovranno, comunque, esser tenute ben presenti alcune necessarie prescrizioni generali riportate sotto:

- occorre rispettare le indicazioni contenute all'interno della presente relazione;
- realizzare almeno una serie di prove penetrometriche medio-leggere, il tutto preliminarmente all'inizio dei lavori e con l'ausilio delle **D.L. geologica**, per verificare, ulteriormente, le caratteristiche geologiche e litostratigrafiche del sito;
- si consiglia di verificare l'omogeneità di tutto il piano fondazionale ed il suo stato fisico durante lo scavo per la realizzazione delle nuove fondazioni;
- si raccomanda di attestare le nuove fondazioni, che dovranno essere di tipo continuo, sempre al di sotto dello strato superficiale ed alterato del terreno. Si suggerisce inoltre di prevedere un setto, dal lato valle, più profondo di almeno 1 metro, per un miglioramento geotecnico dei materiali presenti;
- si ricorda di evitare di produrre sbancamenti non opportunamente contrastati, ed attenersi, comunque, alle norme del **DPR 164/56** (al **capo III**);
- realizzare gli scavi ed i muri di contenimento con la metodologia *a campioni* (4-5 metri) e verificare la necessità di opere di sostegno (es: micropali, ecc.);
- prevedere un'eventuale porzioni di scavo con l'utilizzo del mezzo meccanico (martellone) in virtù delle velocità di Vp riscontrate;
- nella costruzione del piano interrato si consiglia di sigillare i giunti orizzontali e le "riprese di getto" del calcestruzzo, ad esempio utilizzando dei sigillanti di giunto idroespansivi, come i miscelati a base di bentonite sodica o altri materiali idonei;
- proteggersi sempre dalle acque superficiali, sub-superficiali e di capillarità;
- smaltire correttamente le acque bianche e le acque nere;

- data la natura del terreno non si esclude la presenza di eventuali falde, effimere e non, legate ad intense precipitazioni e si prescrive, quindi, di verificare l'assenza d'acqua durante tutte le operazioni, in caso contrario provvedere al suo completo allontanamento;
- trasportare in discarica autorizzata il materiale scavato e non riutilizzato in sito (il materiale litoide potrebbe essere utilizzato anche per la manutenzione e la ristrutturazione di alcune murature). Si ritiene, allo stato odierno, che l'area interessata dal progetto non ricade, per quanto possibile desumere da osservazioni visive ed olfattive, all'interno di siti di produzione con potenziale inquinamento del suolo superficiale, di siti di produzione interessati da attività potenzialmente contaminanti o affioramenti delle Pietre verdi. Si ricorda che per *"Terre e rocce da scavo"* provenienti da opere soggette a VIA o ad AIA si devono applicare i riferimenti del **D.M. 161/2012**; mentre per *"Terre e rocce da scavo"* provenienti da cantieri di piccole dimensioni la cui produzione non superi i 6000 m^3 di materiale si applicano su tutto il territorio nazionale le disposizione dell'**art. 186** del **D.lgs. 152/06** e s.m.i.;
- avvalersi della presenza del geologo (**D.L. Geologica-incarico scritto**) durante tutti i lavori per la verifica dello stato del terreno (anche per il controllo del materiale di scavo, in rapporto a quanto attualmente visibile e determinabile dalla superficie), delle strutture e per eventuali interventi di varianti che si dovessero rendere necessarie.

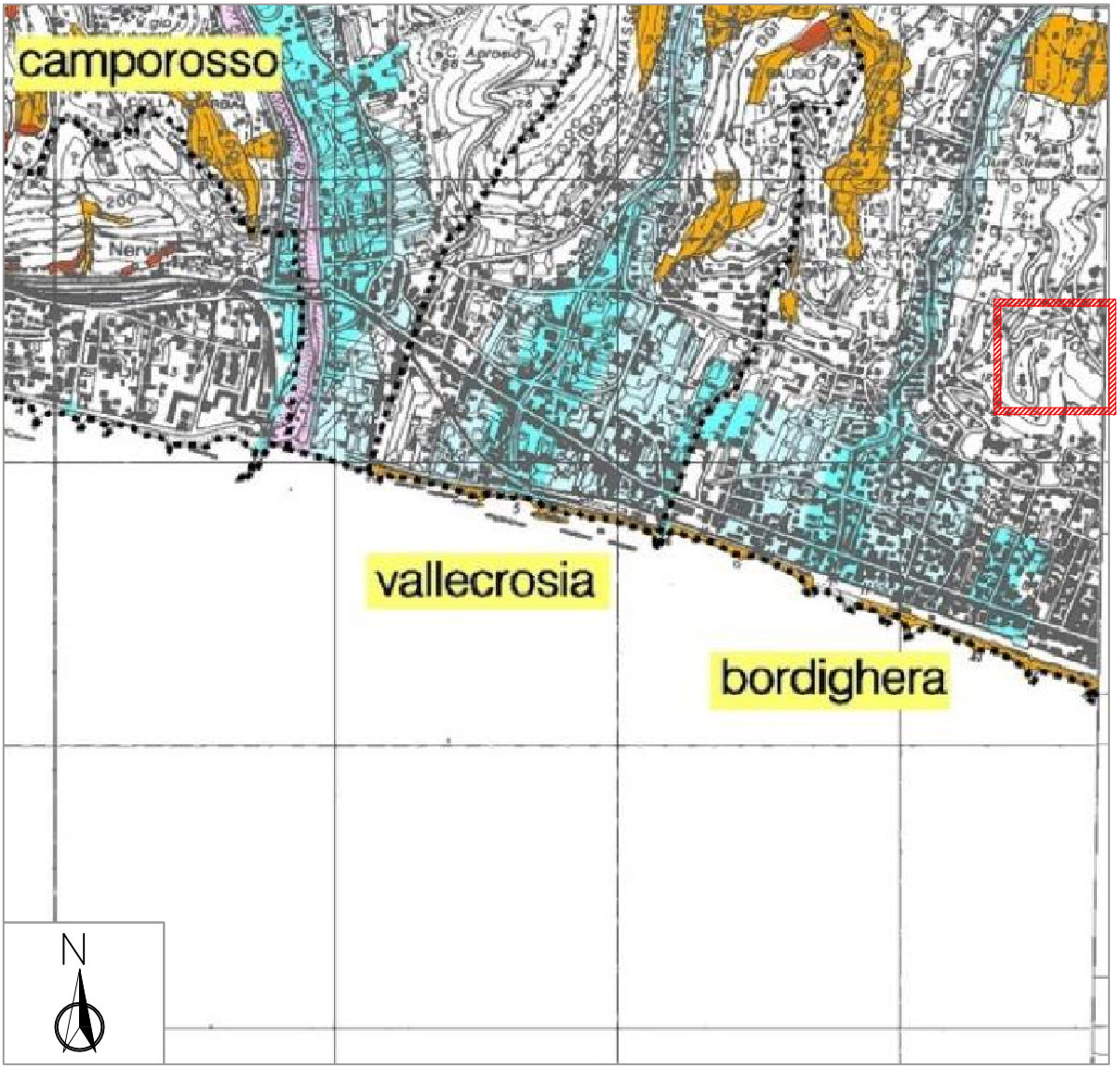
Taggia, lì febbraio 2014

Geol. A. GUARDIANI

_____

BIBLIOGRAFIA

- Foglio 102 Carta Geologica d'Italia;
- Guide Geologiche regionali – Vol. 2;
- Manuale del Geologo – Casadio/Elmi;
- Il dissesto idrogeologico – Gisotti;
- Piano di Bacino "Torrenti Vallecrosia e Borghetto–Ambito n. 2 – Nervia";
- "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. – Nakamura" (1989);
- Manuali e Software Geostru.



Legenda

Area di interesse su *"Carta delle Criticità ad uso di Protezione Civile"* della Regione Liguria .

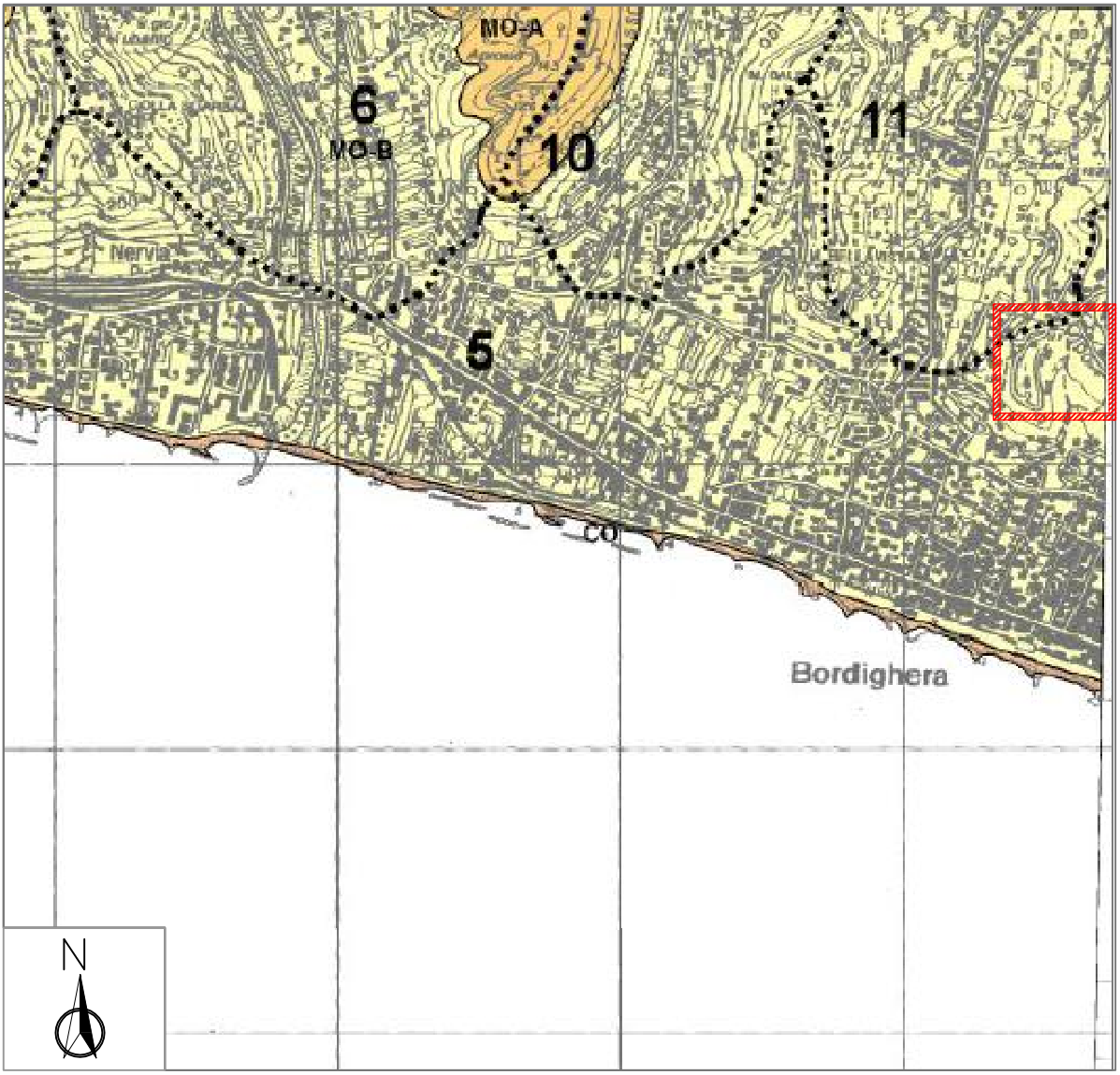
Titolo Tavola:

COROGRAFIA GENERALE

Lavoro:

RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA PER IL "PROGETTO DI SPOSTAMENTO DI VOLUME RESIDENZIALE AI SENSI DELLA L.R. 49 / 2009 S.M.I. CON REALIZZAZIONE DI ANNESSI AGRICOLI" IN COMUNE DI BORDIGHERA (IM).

Committente:	a cura di:	Scala:	
SELMONT AGRO APS Legale Rappresentante Christina ROTHMANN JOHANSEN	Geo G.A.R.P. P.zza San Benedetto - Taggia (IM)	1: 25.000 Rif: 509-2014	TAV. 1A



Legenda

Area di interesse su *"Carta dell'assetto geomorfologico"* da P.T.C.P. della Regione Liguria .

Titolo Tavola:

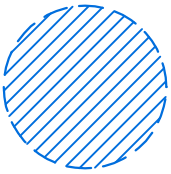
COROGRAFIA GENERALE

Lavoro:

RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA PER IL "PROGETTO DI SPOSTAMENTO DI VOLUME RESIDENZIALE AI SENSI DELLA L.R. 49 / 2009 S.M.I. CON REALIZZAZIONE DI ANNESSI AGRICOLI" IN COMUNE DI BORDIGHERA (IM).

Committente:	a cura di:	Scala:	
SELMONT AGRO APS Legale Rappresentante Christina ROTHMANN JOHANSEN	Geo G.A.R.P. P.zza San Benedetto - Taggia (IM)	1: 25.000 Rif: 509-2014	TAV. 1B

Legenda



Area del Foglio V - (Sezione Bordighera),
di più stretto interesse per il presente progetto.

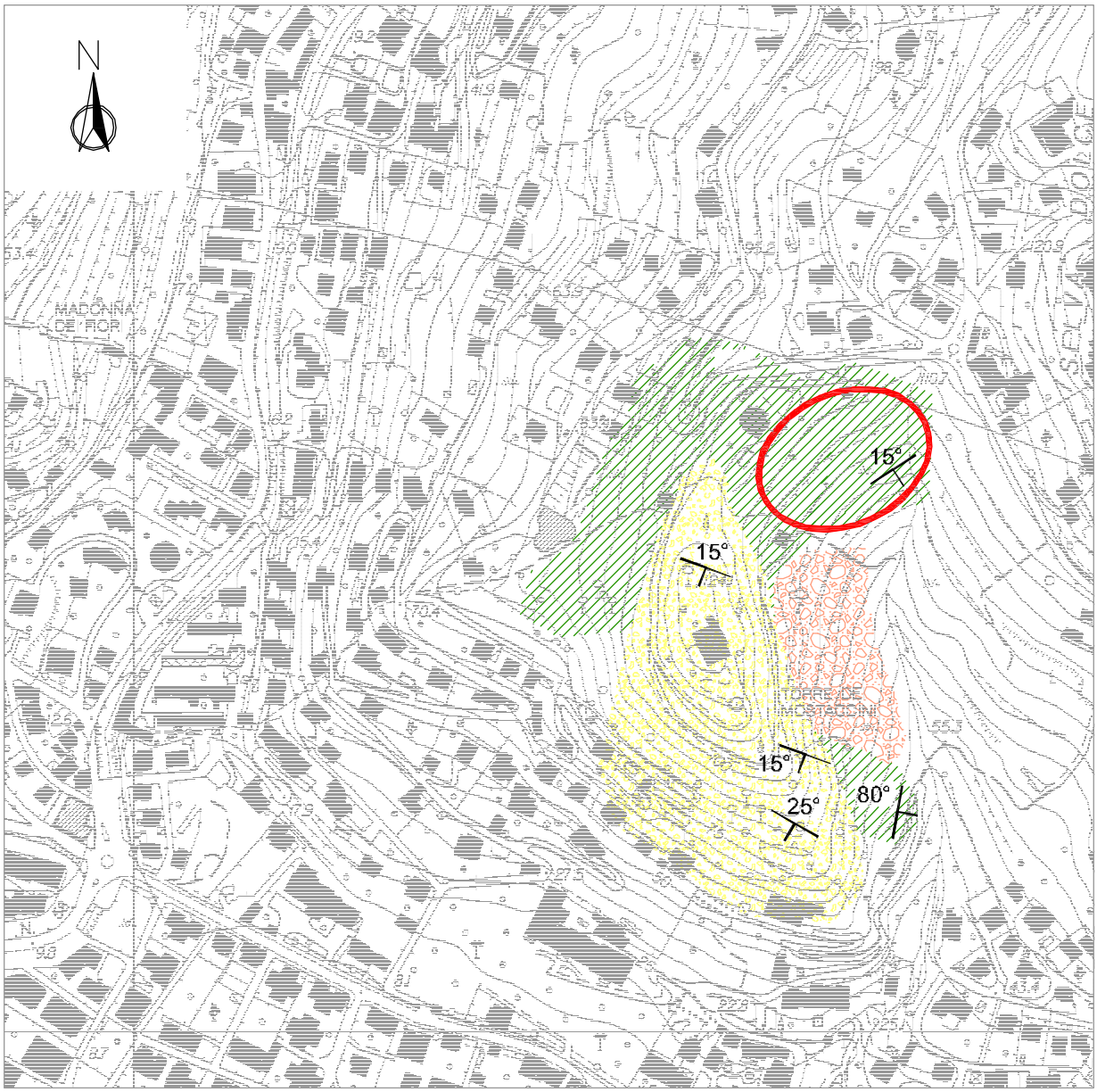
Titolo Tavola:

STRALCIO CATASTALE

Lavoro:

RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA PER IL "PROGETTO DI SPOSTAMENTO DI VOLUME RESIDENZIALE AI SENSI DELLA L.R. 49 / 2009 S.M.I. CON REALIZZAZIONE DI ANNESSI AGRICOLI" IN COMUNE DI BORDIGHERA (IM).

Committente:	a cura di:	Scala:	
SELMONT AGRO APS Legale Rappresentante Christina ROTHMANN JOHANSEN	Geo G.A.R.P. P.zza San Benedetto - Taggia (IM)	/ Rif: 509-2014	TAV. 2



Legenda

- Area in oggetto.
- Depositi Pliocenici "Conglomerati del M.te Villa".
- Probabile coltre detritica di versante con potenza > 3 m.
- Ammasso roccioso flyschoide affiorante e/o sub-affiorante.

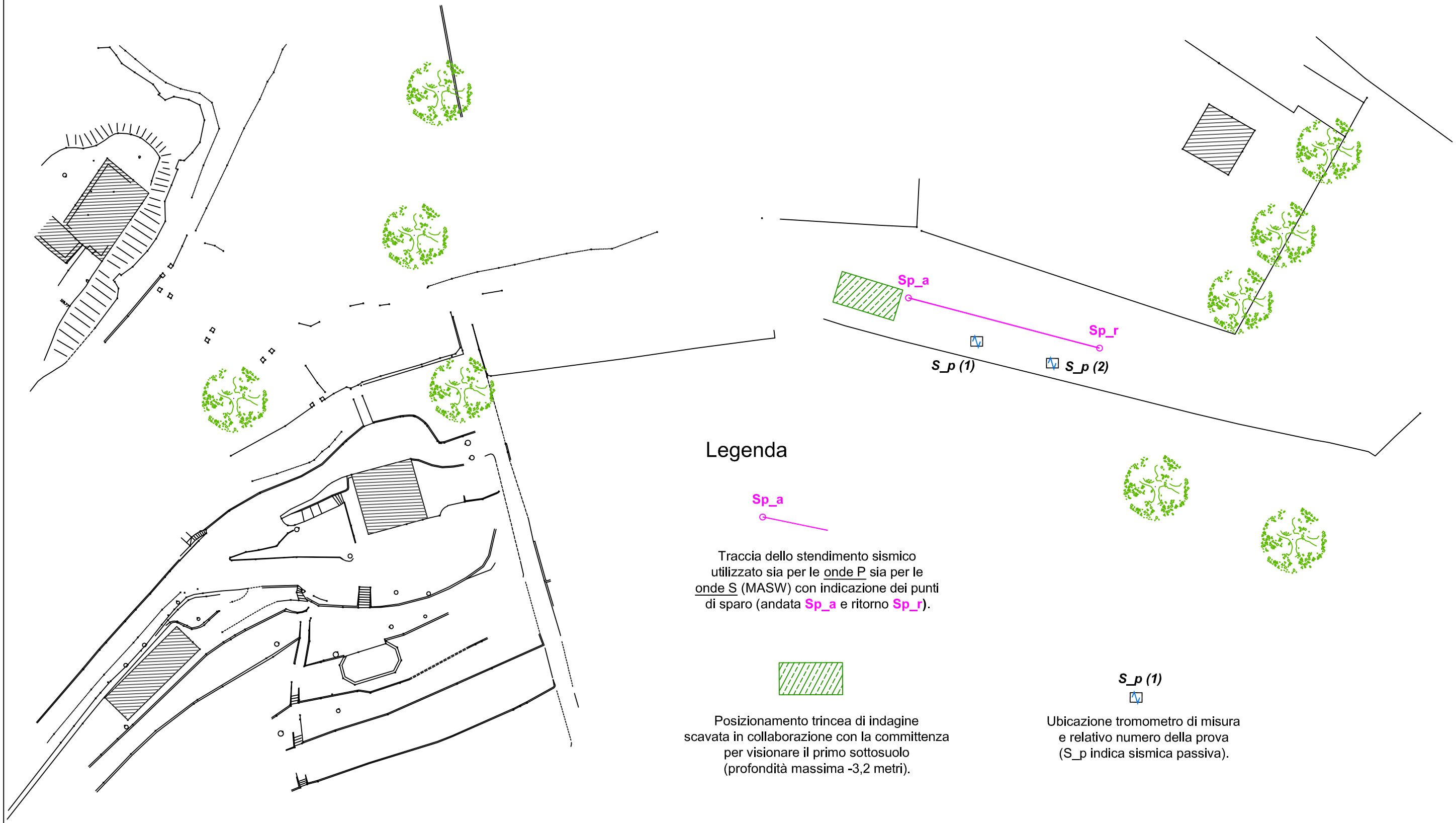
Titolo Tavola:

CARTA GEOLOGICA STRALCIO

Lavoro:

RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA PER IL "PROGETTO DI SPOSTAMENTO DI VOLUME RESIDENZIALE AI SENSI DELLA L.R. 49 / 2009 S.M.I. CON REALIZZAZIONE DI ANNESSI AGRICOLI" IN COMUNE DI BORDIGHERA (IM).

Committente:	a cura di:	Scala:	
SELMONT AGRO APS Legale Rappresentante Christina ROTHMANN JOHANSEN	G.A.R.P. P.zza San Benedetto - Taggia (IM)	1: 5.000 Rif: 509-2014	TAV. 3



Legenda

Sp_a

Traccia dello stendimento sismico utilizzato sia per le onde P sia per le onde S (MASW) con indicazione dei punti di sparo (andata **Sp_a** e ritorno **Sp_r**).

Posizionamento trincea di indagine scavata in collaborazione con la committenza per visionare il primo sottosuolo (profondità massima -3,2 metri).

S_p (1)

Ubicazione tromometro di misura e relativo numero della prova (S_p indica sismica passiva).

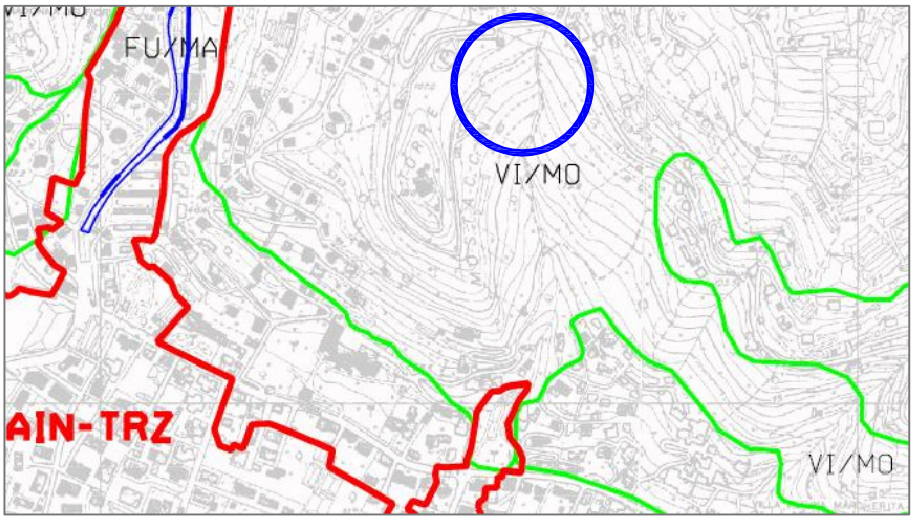
Titolo Tavola:

UBICAZIONE INDAGINI

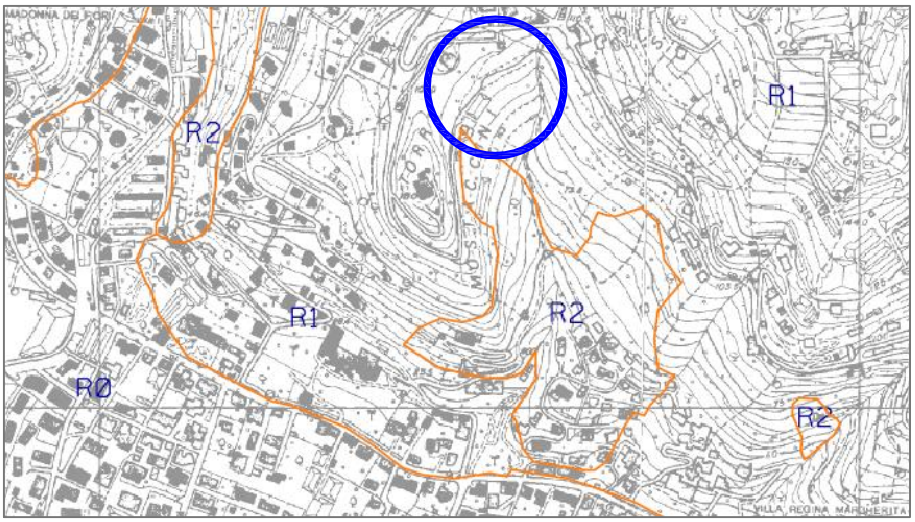
Lavoro:

RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA PER IL "PROGETTO DI SPOSTAMENTO DI VOLUME RESIDENZIALE AI SENSI DELLA L.R. 49 / 2009 S.M.I. CON REALIZZAZIONE DI ANNESSI AGRICOLI" IN COMUNE DI BORDIGHERA (IM).

Committente:	a cura di:	Scala:	
SELMONT AGRO APS Legale Rappresentante Christina ROTHMANN JOHANSEN	Geo G.A.R.P. P.zza San Benedetto - Taggia (IM)	1: 500 Rif: 509-2014	TAV. 4



Stralcio da Carta dei Regimi Normativi: **VI - MO**



Stralcio da Carta del Rischio Geomorfologico: **Rg 1**

Titolo Tavola:

STRALCI DA PIANO DI BACINO

Lavoro:

RELAZIONE GEOLOGICA - MODELLAZIONE SISMICA PER IL "PROGETTO DI SPOSTAMENTO DI VOLUME RESIDENZIALE AI SENSI DELLA L.R. 49 / 2009 S.M.I. CON REALIZZAZIONE DI ANNESSI AGRICOLI" IN COMUNE DI BORDIGHERA (IM).

Committente:	a cura di:	Scala:	
SELMONT AGRO APS Legale Rappresentante Christina ROTHMANN JOHANSEN	Geo G.A.R.P. P.zza San Benedetto - Taggia (IM)	1: 10.000 Rif: 509-2014	TAV. 5

Foto 1: vista della linea sismica e del "tromino" S_p (2).

Foto 2: linea sismica e trincea.

Committente:	a cura di:	Scala:	
SELMONT AGRO APS Legale Rappresentante Christina ROTHMANN JOHANSEN	Geo G.A.R.P. P.zza San Benedetto - Taggia (IM)	/ Rif: 509-2014	**REPORT FOTOGRAFICO**

Committente:	a cura di:	Scala:	
SELMONT AGRO APS Legale Rappresentante Christina ROTHMANN JOHANSEN	Geo G.A.R.P. P.zza San Benedetto - Taggia (IM)	/ Rif: 509-2014	**ALLEGATI**

RISULTANZE INDAGINE GEOFISICA

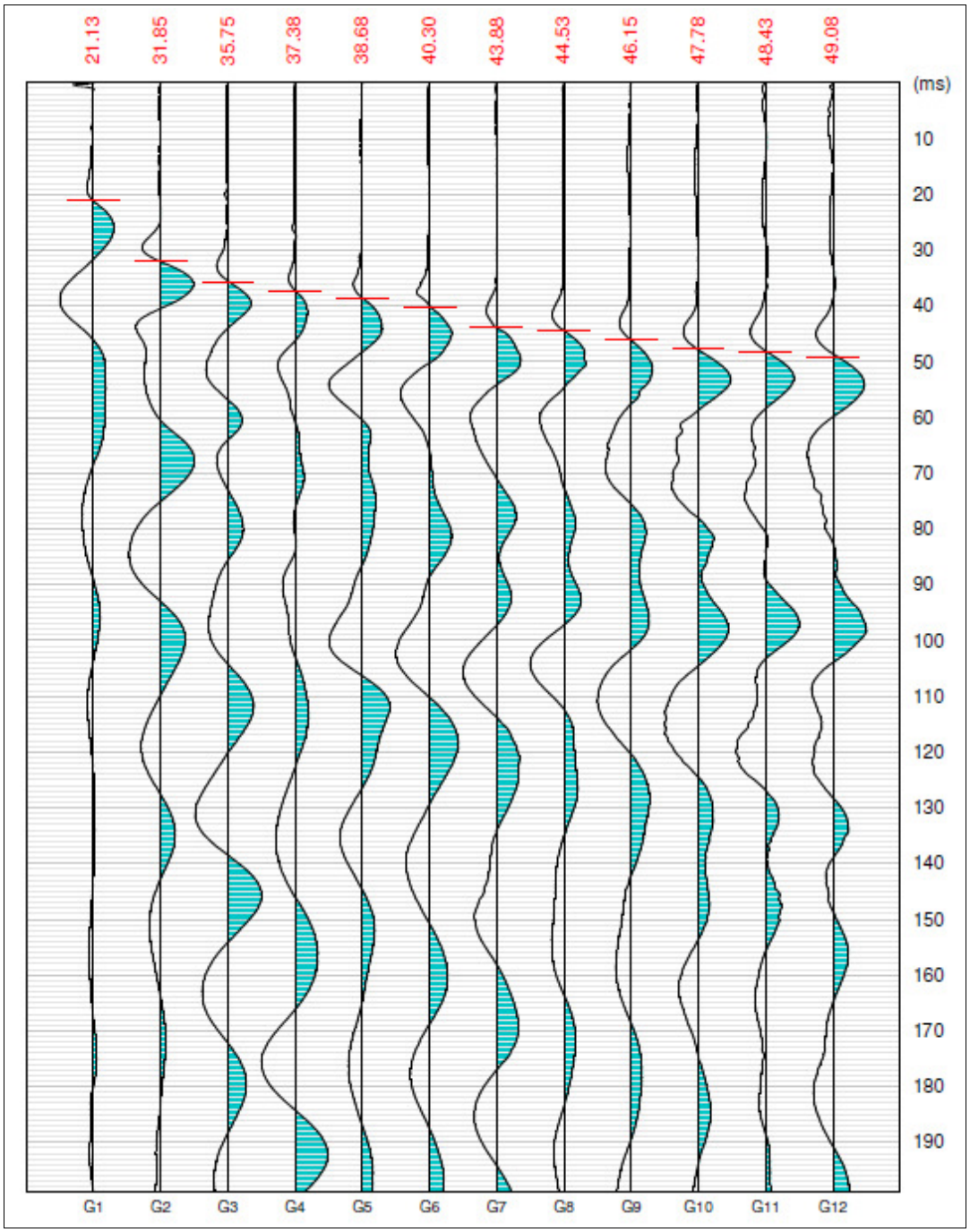


Diagramma - andata

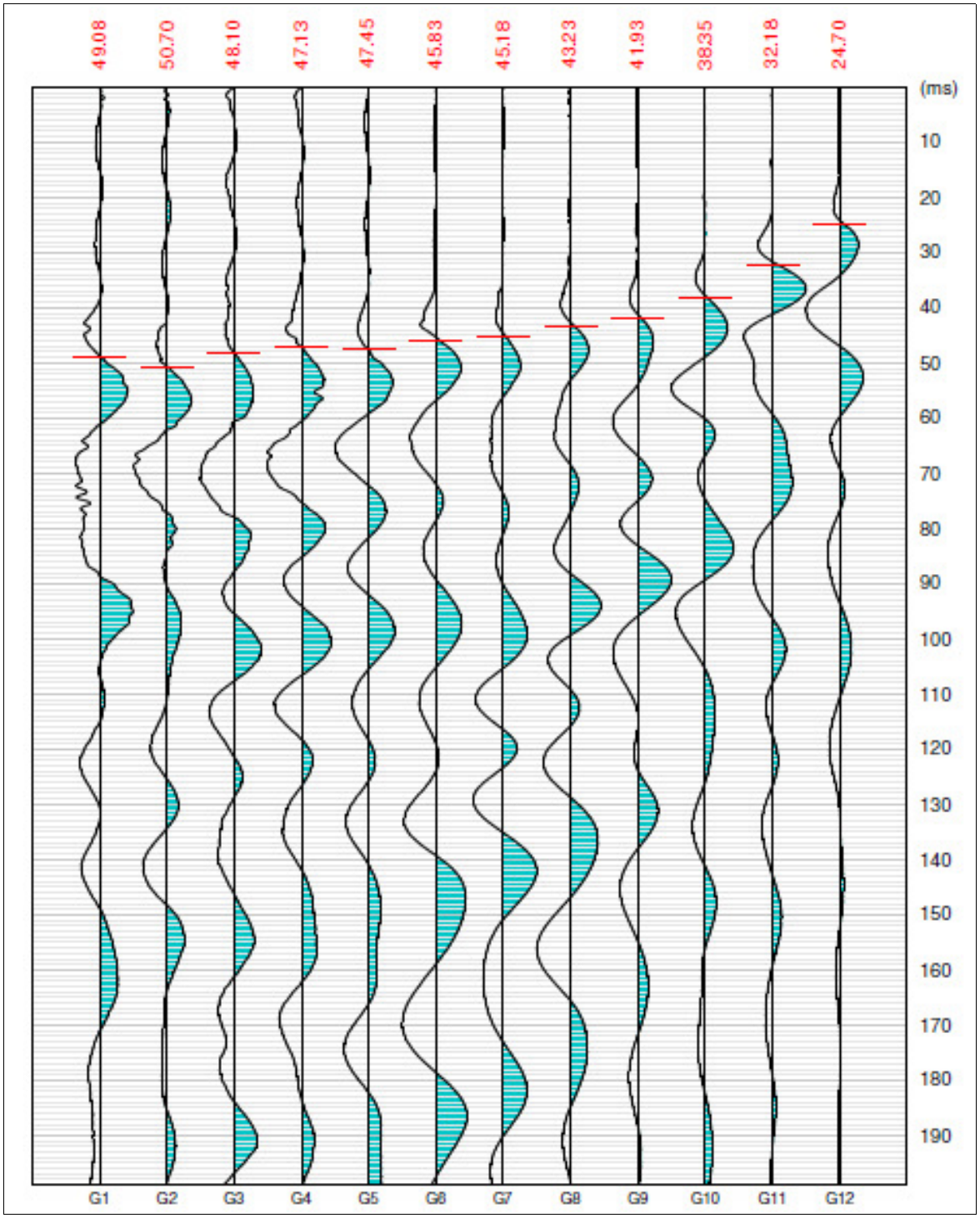


Diagramma – ritorno

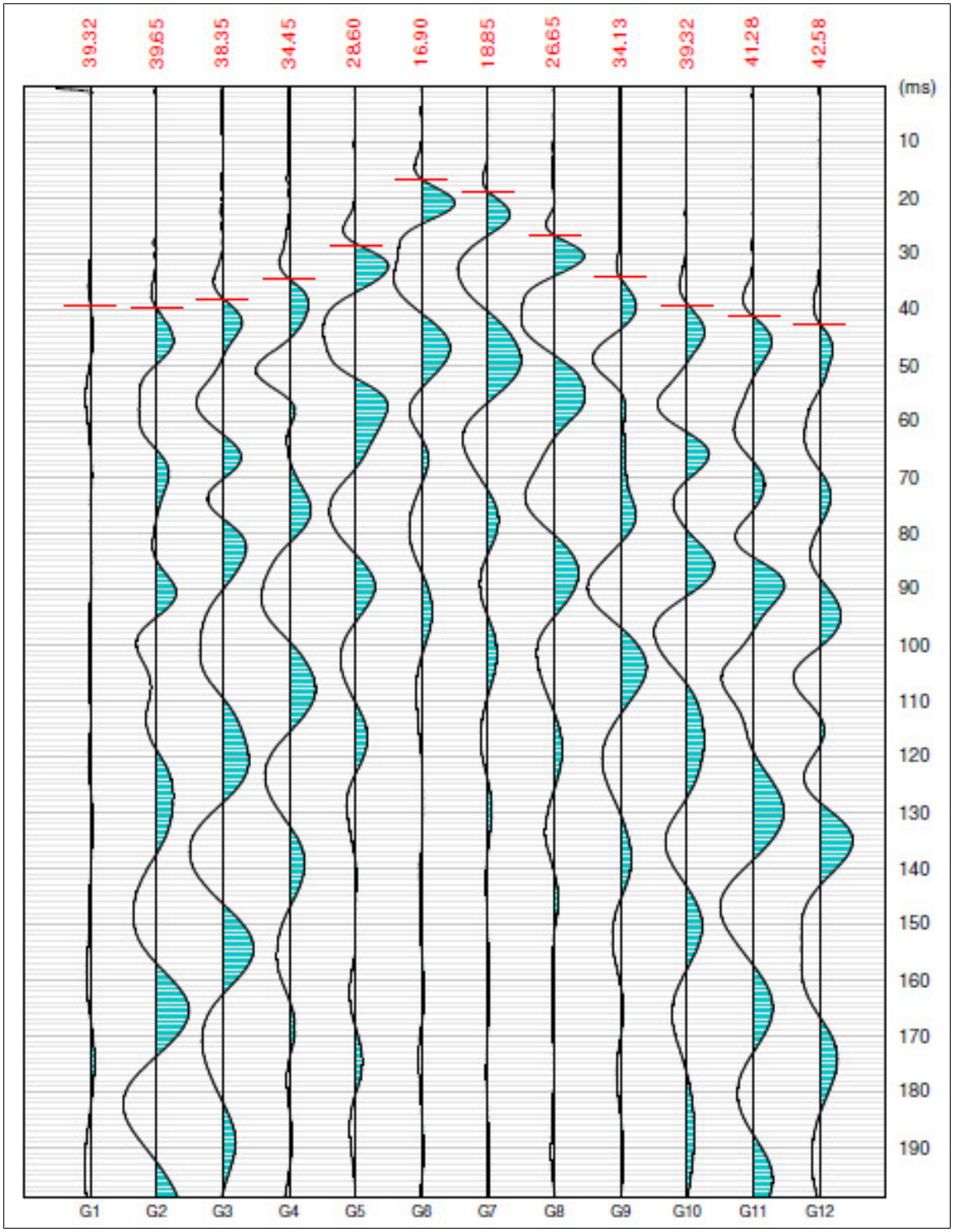


Diagramma – “centrale”

RELAZIONE DI CALCOLO
(SOFTWARE GEOSTRU – SLOPE vers. 2011)

Definizione
Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

Introduzione all'analisi di stabilità
La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.
Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:
(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

Metodo equilibrio limite (LEM)
Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.
Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).
Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

Metodo dei conci
La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n, il problema presenta le seguenti incognite:

n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i
$(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
$(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i;
$(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i;
una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.

Complessivamente le incognite sono *(6n-2)*.
mentre le equazioni a disposizione sono:
Equazioni di equilibrio dei momenti *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale *n*
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale *n*
Equazioni relative al criterio di rottura *n*
Totale numero di equazioni *4n*

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a *(n-2)* in quando si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le *(n-2)* indeterminazioni.

Metodo di FELLENIUS (1927)
Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:
n valori delle forze normali N_i;
n valori delle forze da taglio T_i;
1 fattore di sicurezza.
Incognite (2n+1)

Le equazioni a disposizione sono:
n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
n equazioni relative al criterio di rottura;
1 equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\Sigma\{\ c_i \times l_i + (W_i \times \cos\alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan\varphi_i\}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

Metodo di BISHOP (1955)
Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.
Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_V = 0$, $\Sigma M_0 = 0$, Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma\{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\ \} \times \dfrac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

I valori di *F* e di *ΔX* per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre *ΔX= 0* ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di ***Bishop ordinario,*** gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Metodo di JANBU (1967)

Janbu estese il metodo di *Bishop* a superfici si scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma\left\{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\right\} \times \dfrac{\sec^2\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan\alpha_i}$$

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$F_{corretto} = f_O\, F$

dove f_O è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

Metodo di BELL (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, *W*, le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali $K_X W$ e $K_Z W$, le forze orizzontali e verticali *X* e *Z* applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio σ e τ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori *u* che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da *Taylor*.

In accordo con la legge della resistenza di *Mohr-Coulomb* in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell'i-esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + \left(N_i - u_{ci} L_i\right)\tan\phi_i}{F}$$

in cui

F = il fattore di sicurezza; c_i = la coesione efficace (o totale) alla base dell'i-esimo concio;

ϕ_i = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell'i-esimo concio;

L_i = la lunghezza della base dell'i-esimo concio;

u_{ci} = la pressione dei pori al centro della base dell'i-esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1\left(1 - K_z\right)\frac{W_i \cos\alpha_i}{L_i}\right] + C_2 f\left(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci}\right)$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos\alpha_i / L_i$ = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove x_0 ed x_n sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre x_{ci} rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.
Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno K_z g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore (1 - K_z).
Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F, sostituendo l'espressione di N_i e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario C_3.
Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza *F*. Il corretto valore di F può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left(\frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) \left(F(2) - F(1) \right)$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri F e C_3.
Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.
Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

Metodo di SARMA (1973)
Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica *Kc*) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.
Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in *n* strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:
L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$
$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = KW_i + \Delta E_i$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\Sigma \Delta E_i = 0 \qquad \Sigma \Delta X_i = 0$$

dove *Eì* e *Xi* rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i-esima del concio generico *i*.
L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$*\sum \Delta X_i \cdot tg\left(\psi_i^{'} - \alpha_i\right) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$**\sum \Delta X_i \cdot \left[\left(y_{mi} - y_G\right) \cdot tg\left(\psi_i^{'} - \alpha^{'}\right) + \left(x_i^{'} - x_G\right)\right] = \sum W_i \cdot \left(x_{mi} - x_G\right) + \sum \Delta_i \cdot \left(y_{mi} - y_G\right)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di *K* (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione *K* corrispondente al fattore di sicurezza F = 1 , ossia l'*accelerazione critica*.
Si ha pertanto:

K = Kc *accelerazione critica* se F = 1
F = Fs *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se K = 0

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne *Xi* ed *Ei* tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.
E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze *Xi*:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot \left(Q_{i+1} - Q_i\right)$$

dove *Qi* è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla *i*-esima faccia del concio *i*, e λ rappresenta un'incognita.
La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di *Kc*, λ e *F*, che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

Metodo di SPENCER
Il metodo è basato sull'assunzione:
Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ. tutti i momenti sono nulli $M_i = 0 \quad i = 1 \ldots n$
Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione f(x) = 1.
Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s}\left(W \cos\alpha - \gamma_w hl \sec\alpha\right)\frac{tg\alpha}{F_s} - Wsen\alpha}{\cos(\alpha - \theta)\left[\frac{F_s + tg\varphi tg(\alpha - \theta)}{F_s}\right]}$$

forza d'interazione fra i conci;
R = raggio dell'arco di cerchio;
θ = angolo d'inclinazione della forza Qi rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum(Q_i \cos\theta) = 0 \quad \sum(Q_i sen\theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze Qi parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ, considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia $F_{sm} = F_{sf}$.

Metodo di MORGENSTERN e PRICE

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo X = λ f(x)E, dove λ è un fattore di scala e f(x), funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione f(x) è scelta arbitrariamente (costante, sinusoide, semisinusoide, trapezia, spezzata…) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.
La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza F_S, il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU.

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c'\sec^2\frac{\alpha}{F_s} + tg\varphi'\left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg\alpha\frac{dE}{dx} - \sec\alpha\frac{dU}{dx}\right) = \qquad = \frac{dE}{dx} - tg\alpha\left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx}\right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

$$X = \frac{d(E_\gamma)}{dx} - \gamma\frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.
Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$
$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:
F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
W: peso concio K_o: Coefficiente sismico orizzontale K_V: Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici
Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti K_o e K_V in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta s \times (a_{max}/g)$$

$$K_V = \pm 0{,}5 \times K_o$$

Con: **βs** coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S \, S_T \, a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq Ss \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).
S_T (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

T1$(S_T = 1.0)$ ***T2***$(S_T = 1.20)$ ***T3***$(S_T = 1.20)$ ***T4***$(S_T = 1.40)$.

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$T_R = -V_R/\ln(1-PVR)$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Ricerca della superficie di scorrimento critica
In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici. Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi di stabilità dei pendii con JAMBU – Stato di Fatto

==========

Lat./Long.	43.788271/7.663066
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	4.0
Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	96.88 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	109.55 m
Ascissa vertice destro superiore xs	125.08 m
Ordinata vertice destro superiore ys	126.79 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

==========

Coefficienti sismici [N.T.C.]

==========

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie — Classe d'uso: Classe II

Vita nominale: 50.0 [anni] — Vita di riferimento: 50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B — Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.25	2.53	0.18
S.L.D.	50.0	0.35	2.6	0.2
S.L.V.	475.0	1.27	2.45	0.29
S.L.C.	975.0	1.72	2.49	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.36	0.2	0.0073	0.0037
S.L.D.	0.504	0.2	0.0103	0.0051
S.L.V.	1.8288	0.24	0.0448	0.0224
S.L.C.	2.4768	0.24	0.0606	0.0303

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0103 — Coefficiente azione sismica verticale 0.0051

Vertici profilo

N	X - (m)	Y - (m)
1	100.0	103.5
2	111.99	103.81
3	112.38	108.1

4	122.46	108.94
5	125.77	109.26
6	125.79	111.95
7	131.37	112.59
8	140.53	113.79
9	140.86	115.78
10	149.21	115.85
11	150.51	116.0 5

Vertici strato 1

N	X - (m)	Y - (m)
1	100.0	102.5
2	105.48	102.5
3	112.3	103.14
4	114.41	105.41
5	120.89	107.48
6	126.06	108.85
7	127.39	110.85
8	131.37	111.59
9	135.75	112.22
10	138.39	112.84
11	141.18	113.49
12	150.51	115.0 5

Vertici strato 2

N	X - (m)	Y - (m)
1	100.0	101.3
2	111.59	101.88
3	116.38	104.17
4	124.49	107.15
5	128.54	109.6
6	131.37	110.39
7	141.67	112.6
8	150.51	113.8 5

Vertici strato 3

N	X - (m)	Y - (m)
1	100.0	100.0
2	109.21	100.78
3	115.51	102.12
4	124.5	105.43
5	131.37	109.09
6	150.51	112.55

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

==========

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

========== =

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo

Strato	c (kN/m²)	cu (kN/m²)	Fi (°)	G (kN/m³)	Gs (kN/m³)	Litologia
1	0		28	16.5	17.5	Terreno sup.
2	2		29	17.5	18.4	Coltre
3	8		30	19.2	19.8	Cappellaccio
4	25		30	24.5	24.5	Amm. rocc. flyschoide

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (kN/m³)
1	112.4028	103.3301	0	0	4.8	0.35	0.6	20.59
2	126.085	108.957	0	0	3	0.35	0.6	20.59
3	141.0702	113.3993	0	0	2.5	0.35	0.6	20.59

Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

==========

Fs minimo individuato	***1.17***
Ascissa centro superficie	123.67 m
Ordinata centro superficie	113.0 m
Raggio superficie	4.76 m

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Analisi dei conci. Superficie...xc = 123.669 yc = 112.997 Rc = 4.756 Fs=1.1683

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.35	-26.9	0.39	64.28	0.66	0.33	0.0	23.0	0.0	90.3	40.2
2	0.35	-22.3	0.38	176.78	1.82	0.9	0.0	23.0	0.0	228.2	97.9
3	0.42	-17.3	0.44	331.29	3.41	1.69	0.0	23.0	0.0	396.2	164.7
4	0.28	-13.0	0.29	284.67	2.93	1.45	0.0	23.0	0.0	321.4	130.9
5	0.35	-9.1	0.36	407.02	4.19	2.08	0.0	23.0	0.0	440.1	176.9
6	0.35	-4.8	0.35	452.19	4.66	2.31	0.0	23.0	0.0	469.4	187.0
7	0.35	-0.6	0.35	481.88	4.96	2.46	0.0	23.0	0.0	483.8	192.0
8	0.35	3.7	0.35	497.92	5.13	2.54	1.6	23.9	0.0	482.6	253.8
9	0.35	7.9	0.35	498.83	5.14	2.54	1.6	23.9	0.0	469.1	250.5
10	0.35	12.2	0.36	483.03	4.98	2.46	1.6	23.9	0.0	442.7	243.4
11	0.35	16.6	0.37	449.69	4.63	2.29	1.6	23.9	0.0	402.9	232.2
12	0.35	21.1	0.38	397.88	4.1	2.03	1.6	23.9	0.0	348.7	216.1
13	0.22	24.8	0.24	209.41	2.16	1.07	1.6	23.9	0.0	179.6	121.7
14	0.02	26.2	0.02	68.17	0.7	0.35	1.6	23.9	0.0	61.6	32.5
15	0.82	32.3	0.97	7154.4	73.69	36.49	1.6	23.9	0.0	6636.3	3424.3
16	0.35	41.0	0.47	1589.72	16.37	8.11	1.6	23.9	0.0	1503.7	917.9
17	0.35	46.9	0.51	1420.99	14.64	7.25	1.6	23.9	0.0	1383.9	952.2
18	0.35	53.5	0.59	1196.08	12.32	6.1	1.6	23.9	0.0	1212.1	995.2
19	0.35	61.5	0.74	879.27	9.06	4.48	1.6	23.9	0.0	929.0	1042.3
20	0.35	73.4	1.23	416.57	4.29	2.12	0.0	23.0	0.0	625.9	871.1

Analisi di stabilità dei pendii con JAMBU – Stato di Progetto

==========

Lat./Long.	43.788271/7.663066
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	4.0

Numero dei conci	20.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata

Superficie di forma circolare

==========

Maglia dei Centri

==========

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	96.88 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	109.55 m
Ascissa vertice destro superiore xs	125.08 m
Ordinata vertice destro superiore ys	126.79 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

==========

Coefficienti sismici [N.T.C.]

==========

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie — Classe d'uso: Classe II

Vita nominale: 50.0 [anni] — Vita di riferimento: 50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B — Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.25	2.53	0.18
S.L.D.	50.0	0.35	2.6	0.2
S.L.V.	475.0	1.27	2.45	0.29
S.L.C.	975.0	1.72	2.49	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.36	0.2	0.0073	0.0037
S.L.D.	0.504	0.2	0.0103	0.0051
S.L.V.	1.8288	0.24	0.0448	0.0224
S.L.C.	2.4768	0.24	0.0606	0.0303

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0448 — Coefficiente azione sismica verticale 0.0224

Vertici profilo

N	X - (m)	Y - (m)
1	100.0	103.5
2	111.99	103.81
3	112.38	108.1
4	122.72	108.64
5	126.06	108.85
6	126.06	108.43
7	138.39	108.43
8	138.39	112.84
9	140.53	113.79

10	140.86	115.78
11	149.21	115.85
12	150.51	116.0 5

Vertici strato 1

N	X - (m)	Y - (m)
1	100.0	102.5
2	105.48	102.5
3	112.3	103.14
4	114.41	105.41
5	120.89	107.48
6	126.06	108.85
7	126.06	108.43
8	138.39	108.43
9	138.39	112.84
10	141.18	113.49
11	150.51	115.0 5

Vertici strato 2

N	X - (m)	Y - (m)
1	100.0	101.3
2	111.59	101.88
3	116.38	104.17
4	124.49	107.15
5	126.6	108.43
6	138.39	108.43
7	138.39	111.89
8	141.67	112.6
9	150.51	113.8 5

Vertici strato 3

N	X - (m)	Y - (m)
1	100.0	100.0
2	109.21	100.78
3	115.51	102.12
4	124.5	105.43
5	130.13	108.43
6	138.39	108.43
7	138.39	110.36
8	150.51	112.55

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

==========

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

========== =

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo

Strato	c (kN/m²)	cu (kN/m²)	Fi (°)	G (kN/m³)	Gs (kN/m³)	Litologia
1	0		28	16.5	17.5	Terreno sup.
2	2		29	17.5	18.4	Coltre
3	8		30	19.2	19.8	Cappellaccio
4	25		30	24.5	24.5	Amm. rocc. flyschoide

Muri di sostegno - Caratteristiche geometriche

N°	x (m)	y (m)	Base mensola a valle (m)	Base mensola a monte (m)	Altezza muro (m)	Spessore testa (m)	Spessore base (m)	Peso specifico (kN/m³)
1	126.3219	108.5424	0	0.4	0.5	0.3	0.3	24.51
2	138.6418	108.5424	1.5	0.2	4.45	0.35	0.4	24.51
3	141.0702	113.3993	0	0	2.5	0.35	0.6	20.59
4	126.5588	107.417	0	0	1	0.5	0.5	24.51
5	112.5805	103.7447	1	0.8	4.4	0.3	0.35	24.51

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kN/m²)
1	126.26	108.36	138.26	108.36	25

Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

==========

Fs minimo individuato ***1.15***

Ascissa centro superficie 110.28 m

Ordinata centro superficie 109.98 m

Raggio superficie 7.35 m

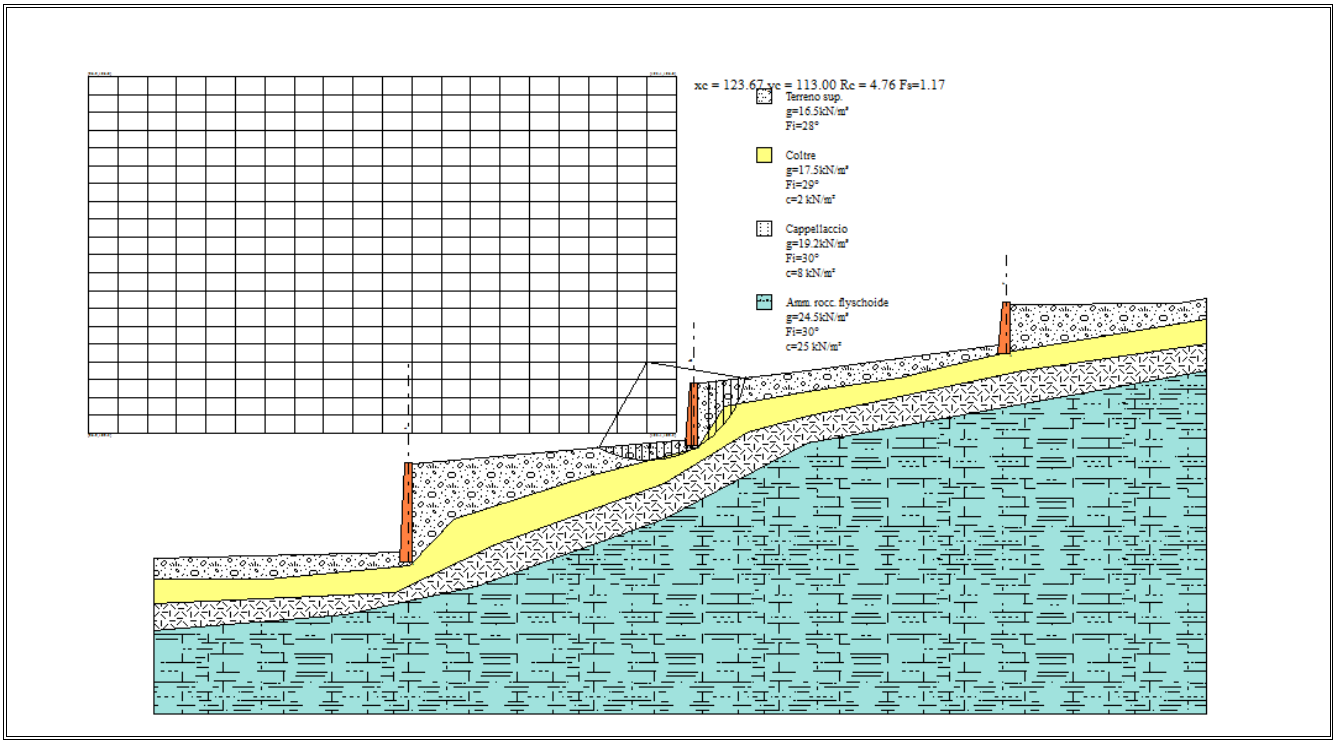
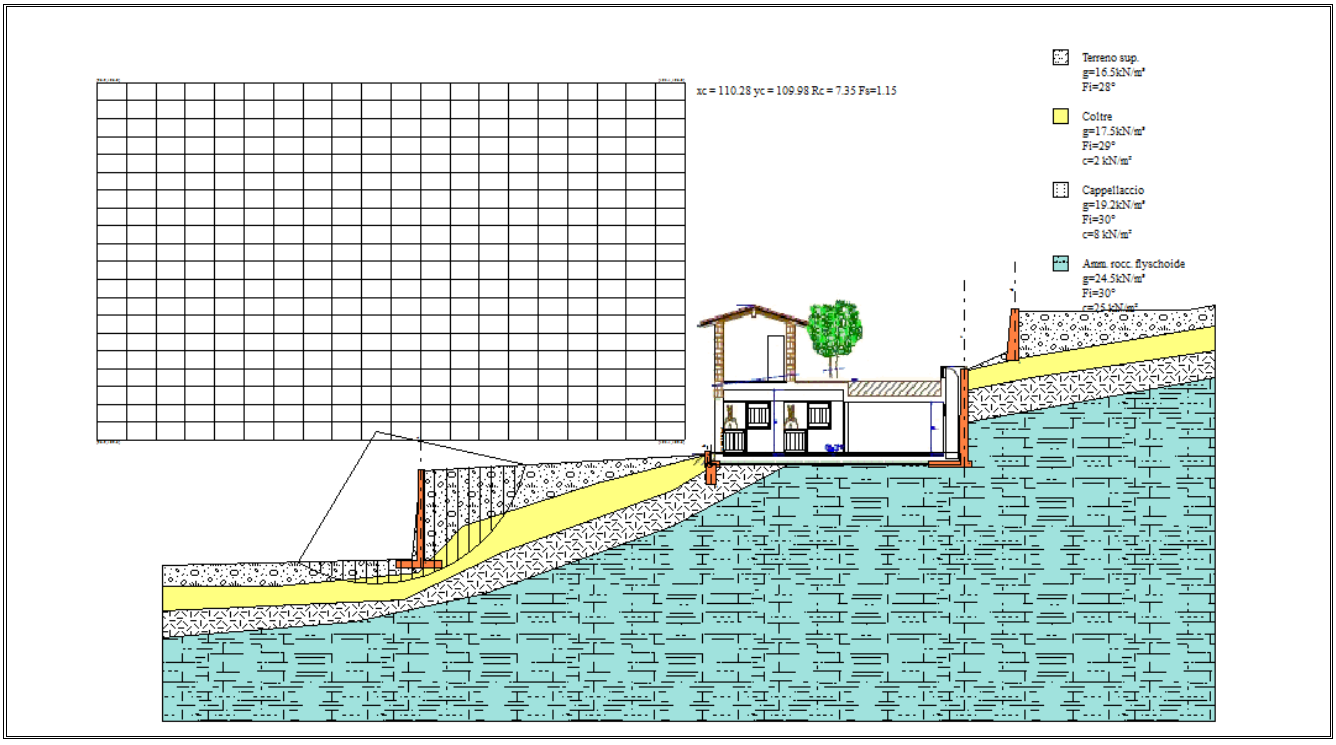
==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Analisi dei conci. Superficie...xc = 110.275 yc = 109.981 Rc = 7.349 Fs=1.1504

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.55	-28.4	0.62	149.23	6.69	3.34	0.0	23.0	0.0	216.9	99.4
2	0.55	-23.6	0.6	407.28	18.25	9.12	0.0	23.0	0.0	539.8	237.6
3	0.55	-19.1	0.58	616.57	27.62	13.81	0.0	23.0	0.0	758.0	323.4
4	0.55	-14.6	0.56	781.5	35.01	17.51	0.0	23.0	0.0	902.3	376.0
5	0.55	-10.2	0.56	909.65	40.75	20.38	1.6	23.9	0.0	1017.0	521.8
6	0.55	-5.9	0.55	1001.07	44.85	22.42	1.6	23.9	0.0	1061.5	534.1
7	0.55	-1.6	0.55	1052.13	47.14	23.57	1.6	23.9	0.0	1067.9	533.7
8	0.55	2.6	0.55	1063.51	47.65	23.82	1.6	23.9	0.0	1040.7	522.7
9	0.55	6.9	0.55	1035.03	46.37	23.18	1.6	23.9	0.0	982.3	501.7
10	0.56	11.3	0.57	984.94	44.13	22.06	1.6	23.9	0.0	910.5	480.0
11	0.54	15.7	0.56	8933.06	400.2	200.1	1.6	23.9	0.0	8277.8	3703.4
12	0.55	20.1	0.58	4667.17	209.09	104.54	1.6	23.9	0.0	4278.7	2011.2
13	0.55	24.7	0.6	4507.03	201.92	100.96	1.6	23.9	0.0	4121.2	2009.5
14	0.55	29.5	0.63	4293.78	192.36	96.18	1.6	23.9	0.0	3941.1	2015.3
15	0.55	34.5	0.66	4018.79	180.04	90.02	1.6	23.9	0.0	3728.9	2027.3
16	0.55	39.9	0.71	3650.92	163.56	81.78	1.6	23.9	0.0	3453.1	2036.0
17	0.55	45.7	0.78	3194.41	143.11	71.55	1.6	23.9	0.0	3110.7	2047.2
18	0.55	52.3	0.89	2619.6	117.36	58.68	1.6	23.9	0.0	2658.2	2052.3
19	0.55	60.0	1.09	1876.2	84.05	42.03	0.0	23.0	0.0	2210.2	1784.3
20	0.55	70.8	1.66	836.39	37.47	18.74	0.0	23.0	0.0	1178.4	1444.5

Stato di Fatto



Stato di Progetto