

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO DEFINITIVO**

VAR0031 – SSE BIVIO CORVI

PIAZZOLE TECNOLOGICHE

PIAZZOLA CORVI (BORZOLI)

Piazzola a tre livelli – Relazione geologica-geotecnica, geomorfologica e idrogeologica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. F. Poma	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A 3 0 1	0 X	D	C V	R O	I N 2 1 0 X	0 0 2	A

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	PRIMA EMISSIONE	IC 	20/07/2020	COCIV 	22/07/2020	A.Mancarella 	24/07/2020	
A01	Revisione per nome direttore COCIV	COCIV	08/09/21	COCIV	08/09/21	P. Costa Medich 	08/09/21	

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



A301-0X-D-CV-RO-IN21-0X-002-A01.DOC

Foglio
2 di 41

INDICE

1.	PREMESSE	4
1.1.	Oggetto e scopo	4
1.2.	Descrizione dell'intervento.....	4
1.3.	Normativa di riferimento	6
1.4.	Classificazione dell'opera e vita attesa	6
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
3.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	9
4.	UBICAZIONE INDAGINI	12
5.	CATASTO FRANE IFFI	21
6.	INQUADRAMENTO SISMICO	22
6.1.	Sismicità del sito	22
6.2.	Tempo di ritorno dell'evento sismico	23
6.3.	Accelerazione massima su suolo roccioso.....	25
6.4.	Effetti di sito – Generalità.....	26
6.5.	Effetti di sito – Amplificazione topografica.....	26
6.6.	Effetti di sito – Amplificazione stratigrafica.....	27
6.7.	Accelerazione massima al sito	28
7.	INQUADRAMENTO GEOMECCANICO E GEOTECNICO	29
7.1.	Indagini geognostiche di riferimento.....	29
7.2.	Inquadramento stratigrafico.....	30
7.3.	Inquadramento geomeccanico – Roccia intatta	30
7.4.	Inquadramento geomeccanico – Ammasso roccioso	31
7.5.	Inquadramento geotecnico – Materiali di riporto e di riempimento.....	38
8.	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO	39
9.	INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO	40
10.	CONCLUSIONI	40

1.3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione viene redatta in accordo alla Normativa vigente di seguito richiamata:

- **Circolare 21 gennaio 2019, n.7** del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Istruzioni per l'applicazione dell'«*Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Gazzetta Ufficiale del 11.02.2019 n. 5, supplemento ordinario n.35.
- **D.M. 17/01/2018** «*Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*» - GU n°8 del 17/2/2018

1.4. CLASSIFICAZIONE DELL'OPERA E VITA ATTESA

Ai sensi della Normativa vigente ed in accordo con la citata «*Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica*», per l'intervento in progetto si può considerare una vita nominale (definita con riferimento alla tabella n.1.1) pari a **100 anni** (grandi opere).

Opera	Tipo	V _N
Parti d'opera provvisoriale con V _N ≤ 2anni	1	≤ 2
Parti d'opera provvisoriale con 2anni < V _N ≤ 10anni	1	≤ 10
Opere ordinarie	2	≥ 50
Grandi opere	3	≥ 100

Tabella n.1.1– tipo e vita nominale dell'opera (NTC-2018 – tabella 2.4.I)

In relazione alle conseguenze di una interruzione di funzionalità o collasso in caso di sisma l'opera in esame (cfr. tabella n.2.4.II – NTC) è stata, invece, classificata in classe d'uso III cui è associato un coefficiente d'uso (C_u) pari a 1.5 (cfr. tabella n.1.2).

Classe d'uso	I	II	III	IV
C_u	0.7	1.0	1.5	2.0

Tabella n.1.2 – Classi e coefficienti d'uso (NTC-2018 – tabella 2.4.II)

Il periodo di riferimento (V_R) dell'evento sismico viene pertanto definito (cfr. paragrafo n.2.4.3 – NTC) come prodotto tra la vita nominale (V_N) ed il coefficiente d'uso (C_u) ottenendo:

$$V_R = V_N \times C_u = 100 \text{ anni} \times 1.5 = 150 \text{ anni}$$

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

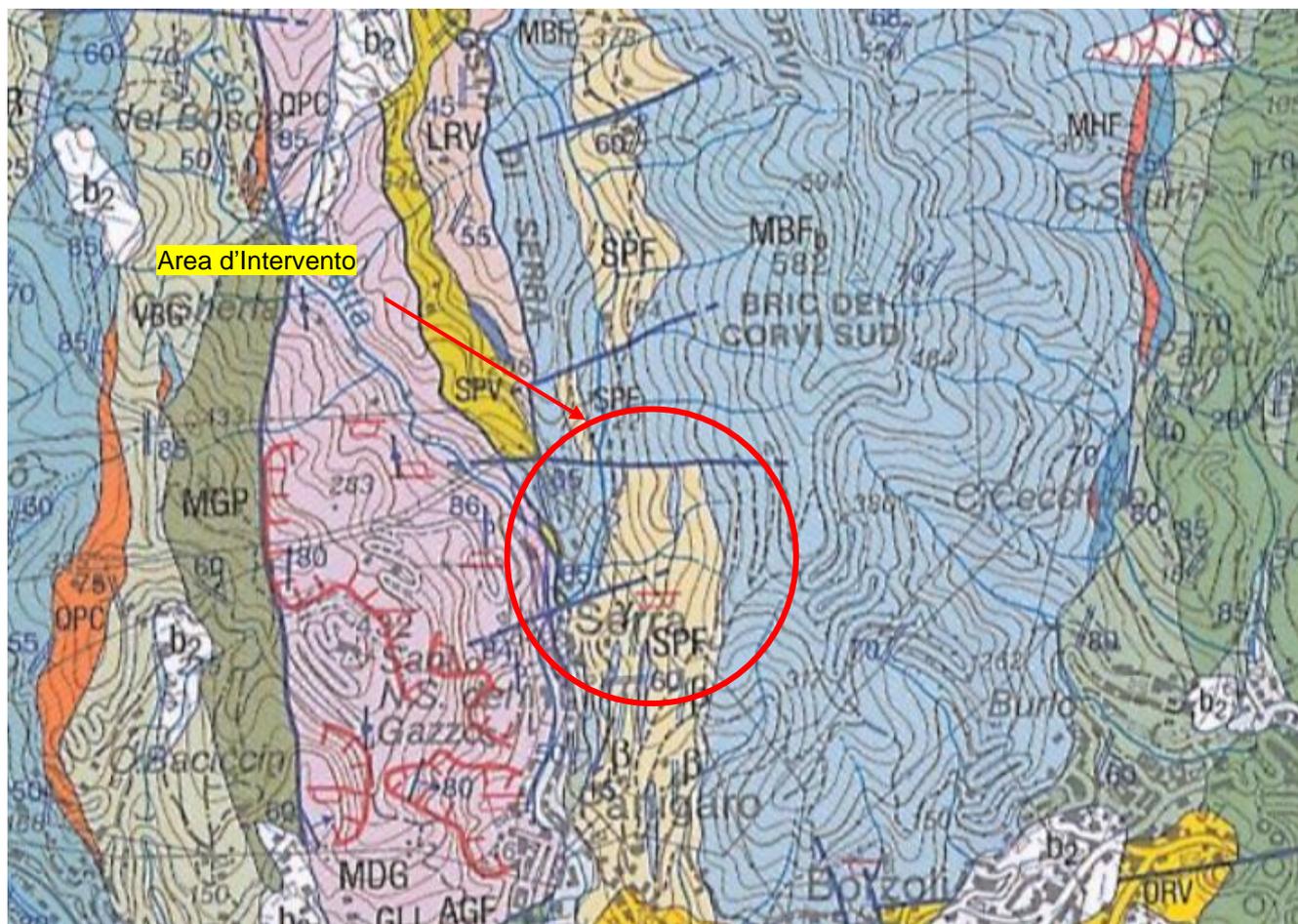


Figura 2-Stralcio carta geologica scala 1:50000

metabasalti del Monte Figogna

MBF

Metabasalti in cuscini, più raramente massicci e in filoni a tessitura doleritica. Sono talvolta caratterizzati da una scistosità penetrativa.

*MALM?*MBF_b

Litofacies a tessitura breccioide, nell'area a sud di Cassinelle (MBF_b).

MBF_c

Litofacies a ialoclastiti, a sud del Bric del Teiolo (MBF_c).

Metadioriti in filoni, di spessore da decimetrico a metrico, a tessitura granulare, con fenomeni di autoclastesi ai bordi. La tessitura granulare è evidenziata da cristalli di plagioclasio e clinopirosseno (γ).

metaoficalciti di Pietralavezzara

PLV

Brecce tettoniche di fondo oceanico, talvolta rimaneggiate, a clasti prevalentemente serpentinitici e a cemento carbonatico, più raramente con ematite. Affiorano in corpi di dimensioni da decametriche a chilometriche, principalmente a nord di Pietralavezzara.

*DOGGER? - MALM?***metagabbri di Gherzi**

MRF

Metagabbri a pumpellyite + actinolite, con tessitura magmatica preservata e grana media. Sono presenti in un unico affioramento vicino a Pietralavezzara, dove sono associati a oficalciti e metabasalti.

*DOGGER? - MALM?***serpentiniti del Bric dei Corvi**

SPF

Serpentiniti a crisotilo e lizardite, frequentemente a relitti mineralogici e tessiture di lherzolite.

DOGGER? - MALM?

Metabasalti in filoni, a tessitura doleritica, con bordi raffreddati. Talvolta sono presenti fenomeni di parziale rodingitizzazione con orli di reazione a nefrite (β).

Metadioriti in filoni, di spessore da decimetrico a metrico, a tessitura granulare, con fenomeni di autoclastesi ai bordi, talvolta parzialmente rodingitizzati. La tessitura granulare è evidenziata da cristalli di plagioclasio e clinopirosseno (γ).

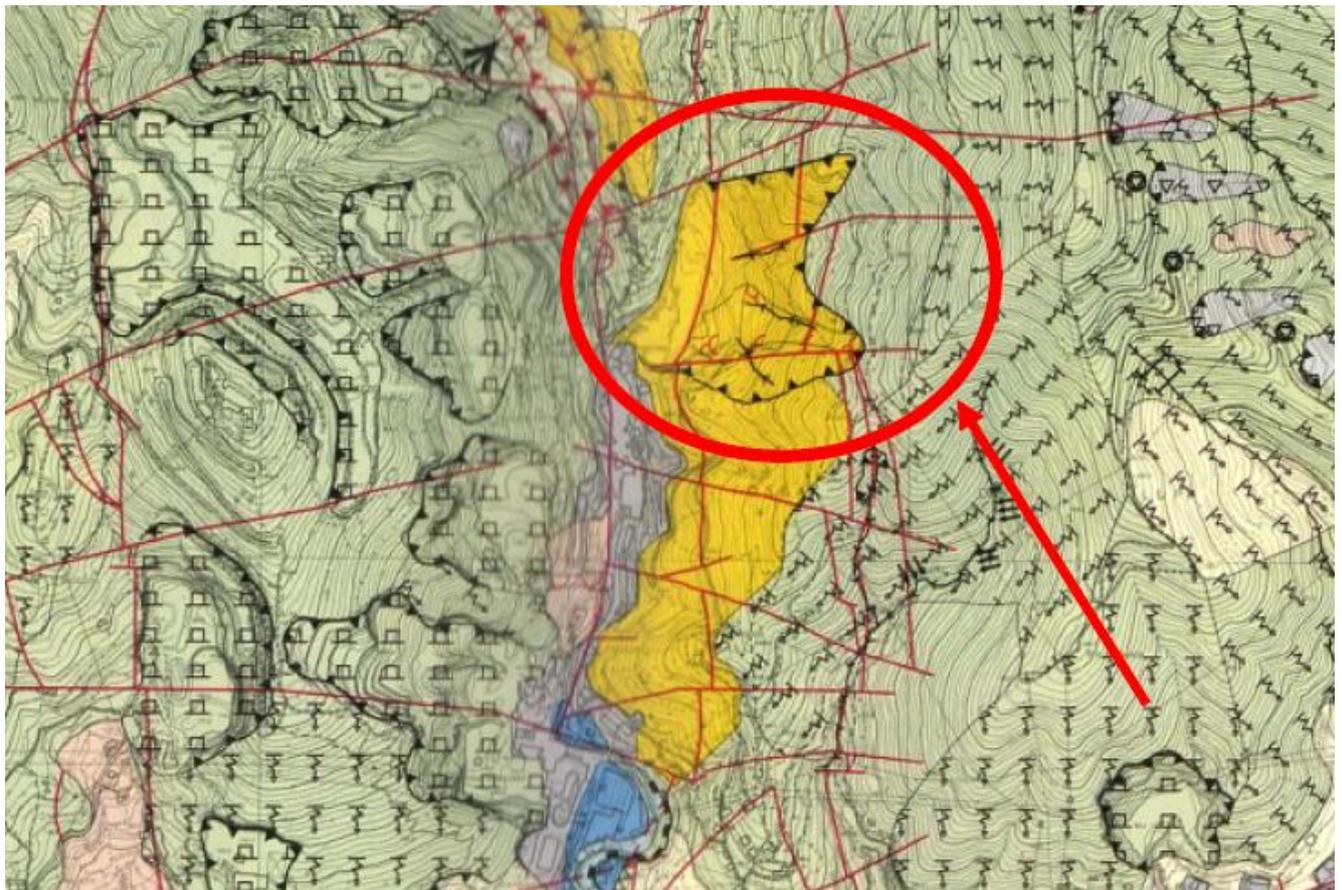
Figura 3-Legenda Carta geologica

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A301-0X-D-CV-RO-IN21-0X-002-A01.DOC	Foglio 9 di 41

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Rimandando alla “*Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica*” (cfr. elaborato IG51-04-E-CV-RO-IN21-00-001-B00) per i dettagli circa l’assetto geologico e geomorfologico dell’area di intervento, ai fini della presente si evidenzia quanto segue (cfr. figura n.2.1).

- L’area della piazzola tecnologica Borzoli è rappresentata da una cava abbandonata, ubicata nella stretta valle del Torrente Chiaravagna con orientamento medio N-S e caratterizzata da versanti acclivi;
- L’elemento geomorfologico principale è costituito dal fronte di cava, esteso per circa 350 m di larghezza ed alto circa 100 m. Tutto il fronte è caratterizzato dalla presenza di affioramenti rocciosi fratturati e da depositi detritici di spessore variabile, legati in parte all’attività estrattiva e in parte a locali distacchi di materiale dagli affioramenti;
- Nell’area indagata è presente un reticolo idrografico a prevalente direzione est-ovest, costituito da corsi d’acqua incisi nel versante; in particolare durante il rilevamento effettuato nel maggio del 2019 è stata riscontrata sul versante anche la presenza di una sorgente perenne che porta a non escludere la riattivazione di sorgenti stagionali all’interno del versante stesso;
- Le caratteristiche granulometriche del materiale detritico sono estremamente eterogenee, passando da blocchi di pezzatura plurimetrica alle frazioni più fini;
- Nella parte alta del versante sono osservabili alcune nicchie di distacco legate a crolli di detrito: tali fenomeni di crollo possono localmente incanalarsi, come testimoniato dai numerosi canali di versante con direzione est-ovest rispetto all’opera in progetto, dando luogo a processi tipo “debris flow”;
- I canali ad oggi esistenti non risultano attivi o chiaramente cartografabili dalla consultazione del foglio CARG Genova ,ove non si segnalano particolari criticità ne nell’atlante cartografico del Comune di Genova(datato 1996) ove paiono evidenti solo piccole porzioni di versante in frana



LE FORME E PROCESSI DOVUTI ALL'AZIONE DELLA GRAVITA'



Frane attive e paleofrane riattivate in rocce



Frane quiescenti e paleofrane in rocce



Frane attive e paleofrane riattivate in materiali sciolti



Frane quiescenti e paleofrane in materiali sciolti



Frane di dimensioni non cartografabili a) attive b) quiescenti



Direzione di mobilitazione o di adunamento particolare dei materiali sciolti



Lesioni ai manufatti

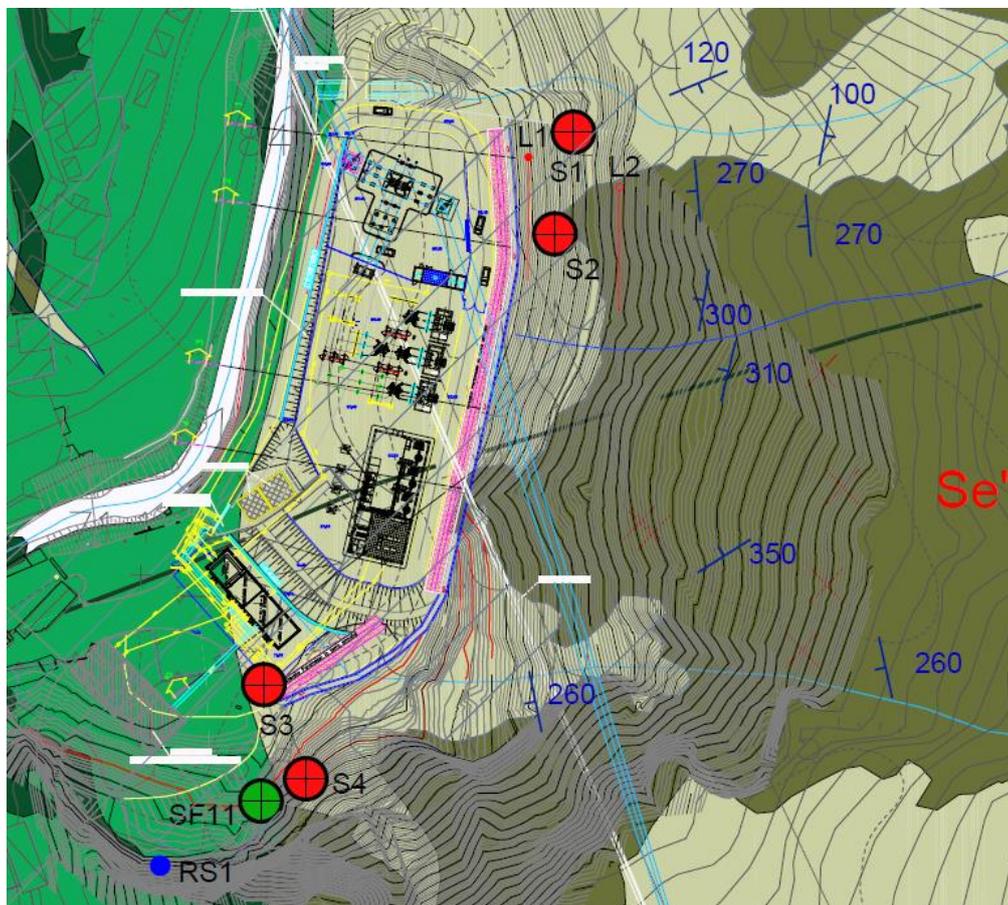
3) VERSANTI IN ROCCIA

	Rocce affioranti e/o subaffioranti in buone condizioni di conservazione (e/o con disposizione favorevole della propria struttura rispetto al pendio)
	Idem c.s. con disposizione sfavorevole
	Rocce affioranti e/o subaffioranti, in scadenti condizioni di conservazione, alterate e particolarmente fratturate e/o con ricomente variabile/ giacitura

Figura 4 Atlante Cartografico Comune di Genova 1996

- Queste incisioni vallive ripide sul versante, di profondità da 1m a 2-3m, sono di tipo evolutivo regressivo. L'evoluzione dei versanti è dipendente dai fenomeni di dilavamento causati dagli eventi pluviometrici più o meno intensi, la progressiva esposizione degli affioramenti rocciosi interessati da discontinuità disposte a franapoggio;
- La litologia degli ammassi è di tipo serpentinitico e cambia a valle vecchio impianto di frantumazione in metabasalti. Il contatto è di tipo tettonico è segnalato dalla presenza di una faglia che ha originato fasce milonitiche lungo gli affioramenti di versante;
- Alla base dei canali di versante, sono presenti degli apparati conoidali di potenza da metrica a plurimetrica, costituiti da materiali di origine mista e eterometrici; spesso è stata rilevata la presenza di blocchi plurimetrici trasportati sino ai piedi del versante;
- Tutti i settori sono stati interessati dal distacco di blocchi di dimensione plurimetrica, riposizionatosi sul versante e a valle del versante stesso, ostruendo in parte i canali di scolo ai piedi del versante.
- Attualmente nell'area d'indagine c'è una piazzola costituita prevalentemente da materiale detritico di riporto di potenza compresa tra i 4m e 5m di spessore.

4. UBICAZIONE INDAGINI



METABASALTI DEL MONTE FIGOGNA (Giurassico sup.?)



Metabasalti da massicci a scistosi, talora con tessiture a pillow, e fratturazione generalmente intensa. Localmente sono presenti rilievi di tessiture brecciate. a) affioranti

SERPENTINITI, SERPENTINOSISTI (SERPENTINITI DEL BRIC DEI CORVI) (Giurassico medio?-Giurassico sup.?)



Serpentiniti, talora massiccie, fortemente fratturate, passanti a serpentiniti scistose, localmente con filoni basaltici preservati. a) affioranti

● SF11 Sondaggio geognostico campagna d'indagine 2004

● S3 Sondaggio ambientale campagna d'indagine 2018

300 Giacitura

RS1 ● Giacitura campagna di rilevamento 2016

● L1 Stendimento MASW campagna d'indagine 2019

Faglia

Figura n.5.1- Litologia affioramenti, ubicazione indagini e rilievi geomorfologici

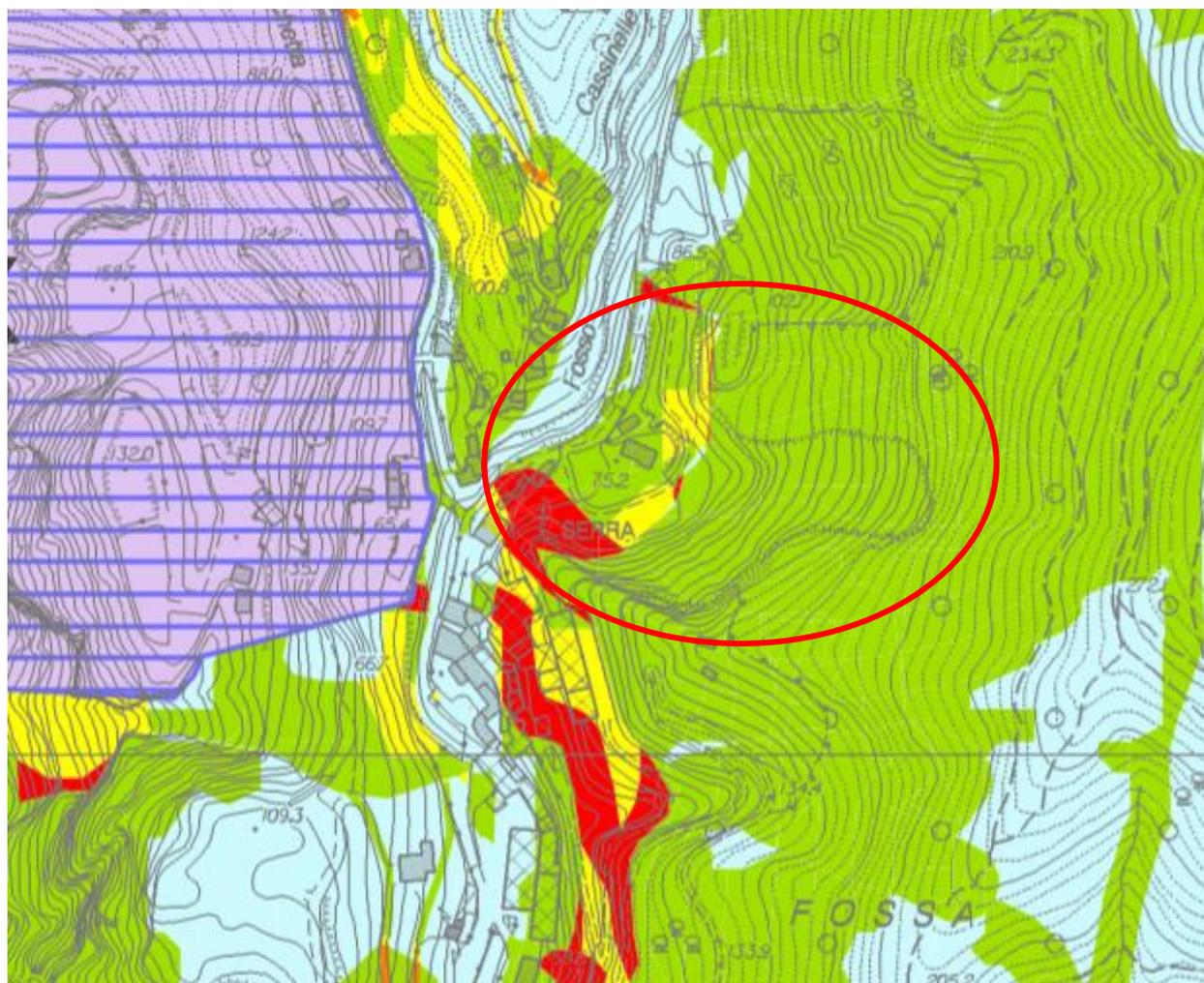
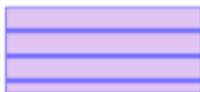


Figura 5.2 Area di Intervento-Rischio Moderato(Cartografia Piano di bacino Torrente Chiaravagna)-Cerchio Rosso

CLASSI DI RISCHIO GEOLOGICO

	RISCHIO MOLTO ELEVATO	R4
	RISCHIO ELEVATO	R3
	RISCHIO MEDIO	R2
	RISCHIO MODERATO	R1
	RISCHIO LIEVE O TRASCURABILE	R0

CLASSI SPECIALI

	TIPO A – Cave attive, miniere attive e discariche in esercizio
	Area oggetto di accordo di programma approvato cpn D.G.R. n. 1047 del 7/8/2012

CARTA DEL RISCHIO GEOLOGICO

PRIMA APPROVAZIONE	Delibera del Consiglio Regionale n. 31 del 29/09/1998	SCALA 1:10.000	TAVOLA UNICA
ULTIMA MODIFICA DELL'ELABORATO	Delibera della Giunta Regionale n. 97 del 08/02/2017		
ENTRATA IN VIGORE	BURL n. 10 del 08/03/2017 - parte II		

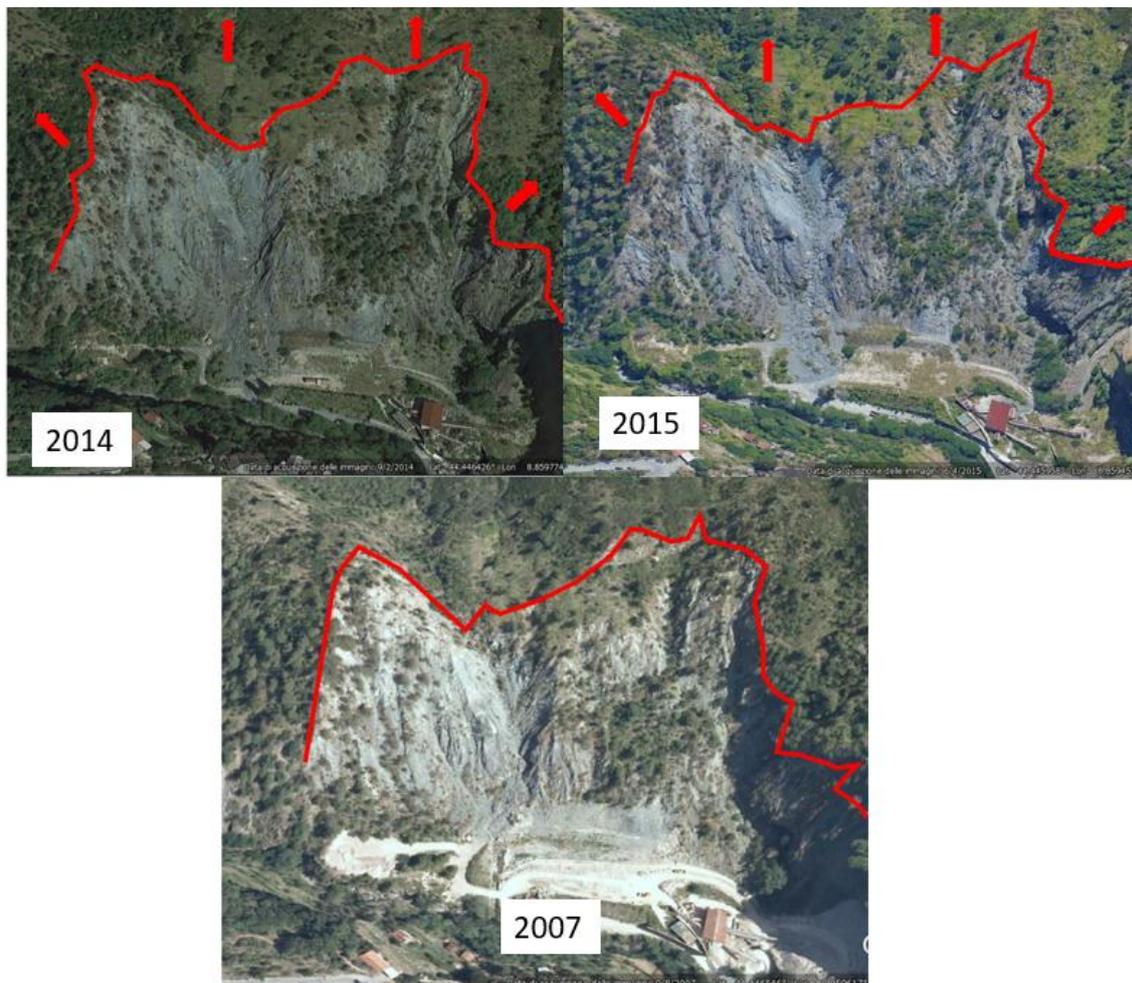


Figura n. 5.3 – Evoluzione del versante dall'anno 2007 agli anni 2014-2015

Durante il rilevamento effettuato nel maggio del 2019 è stata riscontrata sul versante anche la presenza di una sorgente perenne che porta a non escludere la riattivazione di sorgenti stagionali all'interno del versante stesso.



Figura n.5.4 – Rilievi in sito della presenza di una sorgente perenne

Attualmente nell'area d'indagine c'è una piazzola costituita prevalentemente da materiale detritico di riporto di potenza compresa tra i 4m e 5m di spessore. Nell'immagine seguente viene riportata la delimitazione dell'area costituita dai depositi antropici.



Figura n.5.5 – Delimitazione area costituita da materiali di riporto

Un rilevamento geomorfologico e geologico esteso, eseguito nel 2019, dell'area in oggetto, nella quale andrà ad insistere l'opera, ha permesso di mettere in evidenza nuovi aspetti geomorfologici, di seguito elencati:

- Nella parte alta del versante sono osservabili alcune nicchie di distacco legate a crolli di detrito: tali fenomeni di crollo possono localmente incanalarsi, come testimoniato dai numerosi canali di versante con direzione est-ovest rispetto all'opera in progetto, dando luogo a processi tipo "debris flow".
- Queste incisioni vallive ripide sul versante, di profondità da 1m a 2-3m, sono di tipo evolutivo regressivo. L'evoluzione dei versanti è dipendente dai fenomeni di dilavamento causati dagli eventi pluviometrici più o meno intensi, la progressiva esposizione degli affioramenti rocciosi interessati da discontinuità disposte a franapoggio.
- Alla base dei canali di versante, sono presenti degli apparati conoidali di potenza da metrica a plurimetrica, costituiti da materiali di origine mista e eterometrici; spesso è stata rilevata la presenza di blocchi plurimetrici trasportati sino ai piedi del versante.
- Durante il rilevamento è stata individuata una sorgente perenne che porta a non escludere la riattivazione di sorgenti stagionali all'interno del versante stesso.

Nelle seguenti immagini è riportata la documentazione fotografica d'interesse geomorfologico, avente come oggetto il rilevamento di alcuni importanti conoidi presenti in sito e di blocchi di distacco presenti.



Figura n.5.6 – Conoide di detrito di versante e tipologia di substrato affiorante nel settore più a sud

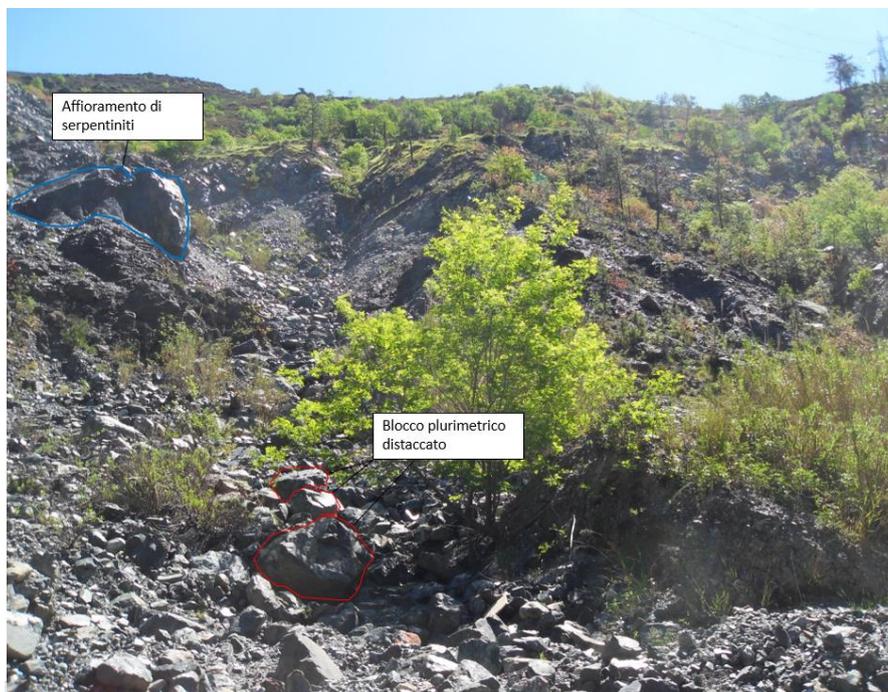


Figura n.5.7 – Vista dal basso del settore nord in cui sono evidenziati alcuni blocchi visibili plurimetrici distaccati e un affioramento di serpentiniti



Figura n.5.8 – Vista dai piedi del versante del settore centrale in cui sono evidenziati alcuni blocchi visibili plurimetrici distaccati di natura serpentinitica o metabasaltica

Il rilievo geomorfologico in sito ha messo in evidenza la presenza di potenziali fenomeni d'instabilità. Di seguito si riassumono in:

- Lungo il versante si possono osservare locali accumuli di detrito, denominati conoidi, generalmente di dimensioni da metriche a plurimetriche; in alcuni casi parzialmente vegetati, i conoidi sono legati a fenomeni di crollo dagli affioramenti rocciosi che incanalandosi nei canali di versante, hanno facilitato il trasporto a valle di materiale eterogeneo eluvio-colluviale (depositi di coltre) e blocchi;
- Localmente sono presenti scarpate rimodellate, connesse a fenomeni superficiali;
- Non si osservano invece evidenze di superfici di scivolamento profonde
- Tutti i settori sono stati interessati dal distacco di blocchi di dimensione plurimetrica, riposizionatosi sul versante e a valle del versante stesso, ostruendo in parte i canali di scolo ai piedi del versante.

Si può pertanto affermare che l'instabilità presente lungo il fronte di cava, legata a locali fenomeni di crollo di materiale roccioso e di detrito, è da mettere in relazione alla precedente attività estrattiva e non risulta legata a fenomeni di instabilità coinvolgenti tutto il versante.

Di seguito è riportata la documentazione fotografica afferente ai vari blocchi di detrito plurimetrici rilevati durante la campagna di rilevamento geologico 2019.



Figura n.5.9 – Blocco di distacco posizionato all'estremità del canale di scolo, parzialmente ostruito da detriti, ai piedi del versante

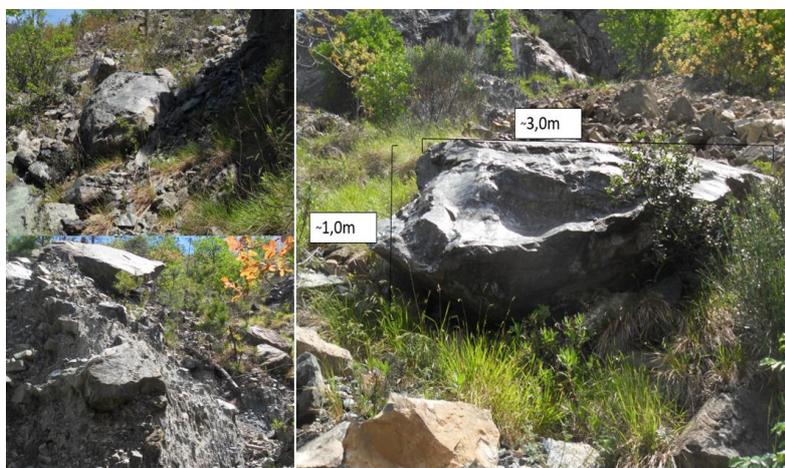


Figura n.5.10– Alcuni blocchi di distacco rilevati nel settore centrale



Figura n.5.11 – Alcuni blocchi di distacco rilevati nel settore meridionale



Figura n.5.12 – Blocco di distacco di grande dimensione rilevato nel settore a nord

5. CATASTO FRANE IFFI

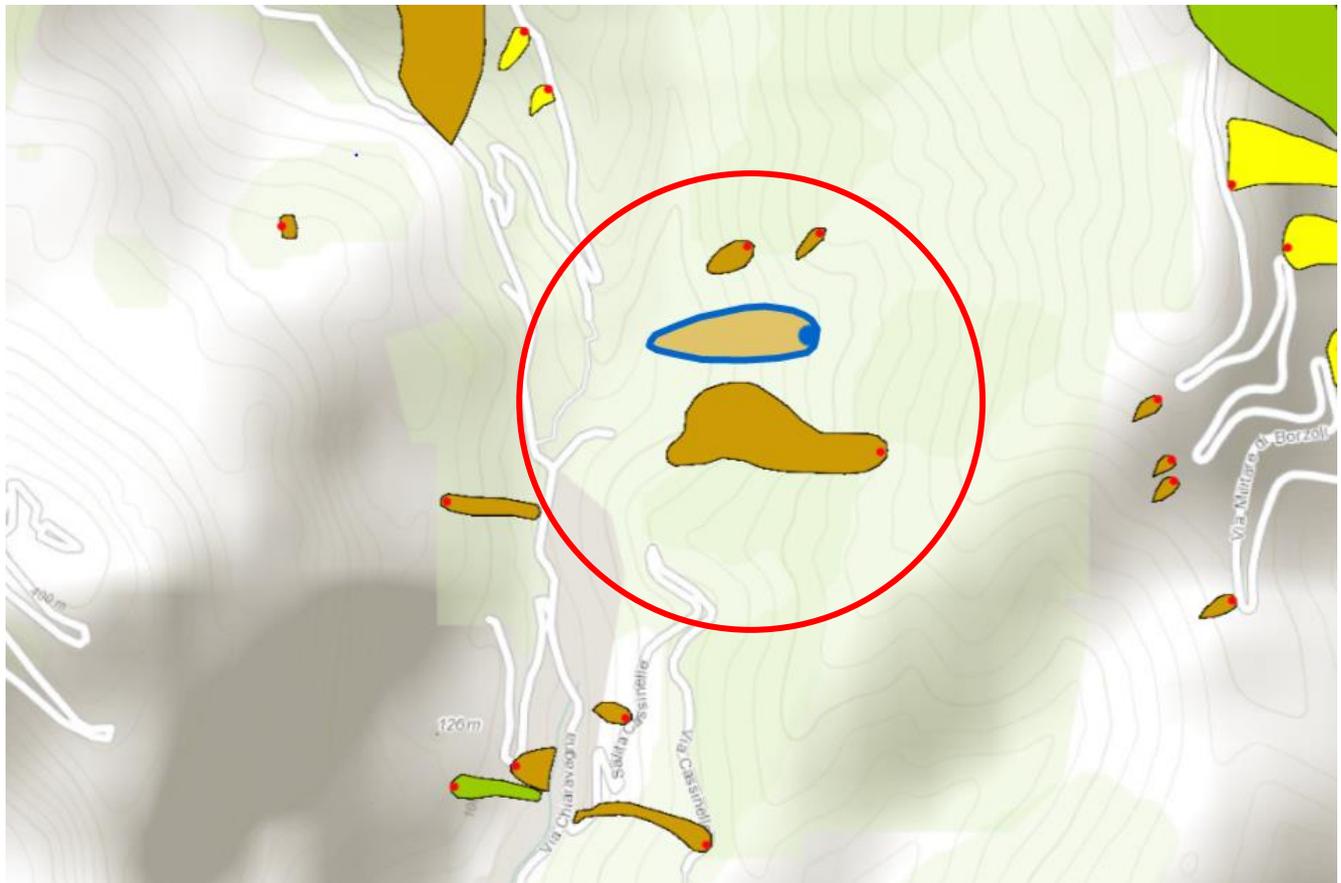


Figura 6 Catasto frane



Figura 6.1 Legenda catasto frane

6. INQUADRAMENTO SISMICO

6.1. SISMICITÀ DEL SITO

L'area in studio è classificata, in base alla recente classificazione sismica della Regione Liguria (anno 2017), in zona 3, come evidenziato nella seguente figura n.7.1.

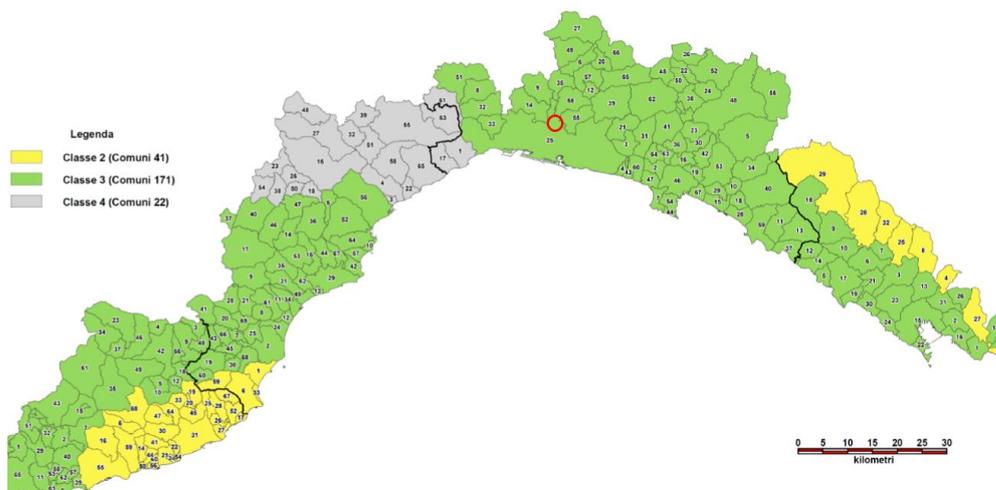


Figura n.7.1 – L'area in studio, evidenziata con un cerchio rosso, classificata in base alla recente classificazione sismica della Regione Liguria.

La figura seguente mostra la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, successivamente è riportata l'immagine dell'area di interesse e l'accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni del comune di Genova pari a **PGA = 0.05 – 0.075**, valore caratteristico della zona sismica di tipo 3.

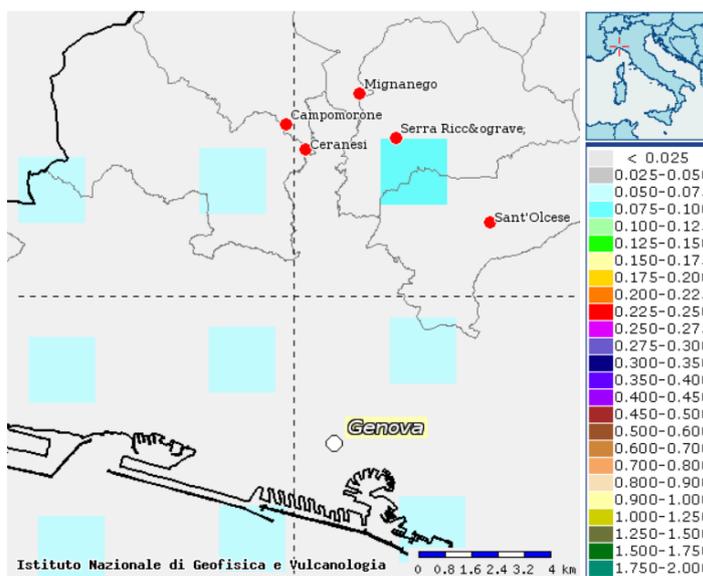


Figura n.7.2 – INGV - Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale – Comune di Genova

6.2. TEMPO DI RITORNO DELL'EVENTO SISMICO

Il valore di progetto degli indicatori di pericolosità viene definito in funzione della "probabilità di superamento" in un dato "tempo di ritorno" (tipicamente si considera una soglia di non superamento nel 90% dei casi in 50 anni ovvero una probabilità di superamento del 10% in 50 anni).

E' noto che il "tempo di ritorno" e la "probabilità di superamento" sono due grandezza tra loro correlate come segue:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Dove:

T_R = tempo di ritorno

V_R = vita di riferimento dell'opera = 150 anni (vedere capitolo 1 della presente)

P_{VR} = probabilità di superamento nella vita dell'opera

La probabilità di superamento dipende, a sua volta, dallo stato limite di verifica. Con riferimento alle NTC (tabella n.3.2.1) si definiscono i valori di cui alla tabella n.3.1.

STATI LIMITE		P_{VR}
Stati limite di servizio	SLO (operatività)	81%
	SLD (danno)	63%
Stati limite ultimi	SLV (salvaguardia della vita)	10%
	SLC (collasso)	5%

Tabella n.3.1– Probabilità di superamento

La scelta dello stato limite di verifica dipende dalla classe d'uso della struttura e dal tipo di verifica come suggerito in tabella n.3.2. Ai fini della presente si considera come stato limite caratteristico lo stato di salvaguardia della vita (**SLV**).

SL	Descrizione della prestazione	Riferimento Norme	Classe d'uso			
			I	II	III	IV
SLO	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	§ 7.3.7.2			x	x
	Funzionalità degli impianti	§ 7.3.7.3			x	x
SLD	Resistenza degli elementi strutturali	§ 7.3.7.1			x	x
	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	§ 7.3.7.2	x	x		
	Contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno	§ 7.11.5.3	x	x	x	x
	Contenimento degli spostamenti permanenti dei muri di sostegno	§ 7.11.6.2.2	x	x	x	x
SLV	Assenza di martellamento tra strutture contigue	§ 7.2.2	x	x	x	x
	Resistenza delle strutture	§ 7.3.6.1	x	x	x	x
	Duttilità delle strutture	§ 7.3.6.2	x	x	x	x
	Assenza di collasso fragile ed espulsione di elementi non strutturali	§ 7.3.6.3	x	x	x	x
	Resistenza dei sostegni e collegamenti degli impianti	§ 7.3.6.3	x	x	x	x
	Stabilità del sito	§ 7.11.3	x	x	x	x
	Stabilità dei fronti di scavo e dei rilevati	§ 7.11.4	x	x	x	x
	Resistenza del sistema fondazione-terreno	§ 7.11.5.3	x	x	x	x
	Stabilità dei muri di sostegno	§ 7.11.6.2.2	x	x	x	x
	Stabilità delle paratie	§ 7.11.6.3.2	x	x	x	x
Resistenza e stabilità dei sistemi di contrasto e degli ancoraggi	§ 7.11.6.4.2	x	x	x	x	
SLC	Resistenza dei dispositivi di vincolo temporaneo tra costruzioni isolate	§ 7.2.1	x	x	x	x
	Capacità di spostamento degli isolatori	§ 7.10.6.2.2	x	x	x	x

Tabella n.3.2 – Criteri di scelta dello stato limite di riferimento

In tabella n.3.3 è riportato il valore del tempo di ritorno per lo stato limite considerato in funzione della vita di riferimento ($V_R=150$ anni).

STATI LIMITE		$T_R = T_R(V_R)$
SLU	SLV	$T_R = 9.5 V_R = 1'424\text{anni}$

Tabella n.3.3 – Tempo di ritorno in funzione della vita di riferimento (tab. C.3.2.I Istruzioni)

6.3. ACCELERAZIONE MASSIMA SU SUOLO ROCCIOSO

Il valore di accelerazione orizzontale massima nello specifico sito di interesse va determinato con riferimento ai valori puntuali già definiti per un'apposita griglia (10x10km) da uno studio dell'INGV e riassunti nelle tabelle di cui all'allegato B delle NTC cui si rimanda.

In particolare il valore al sito viene definito mediando (in funzione della distanza) l'entità dell'accelerazione caratteristica dei 4 nodi più prossimi al sito stesso come di seguito indicato (analogo procedimento può essere adottato per gli altri parametri sismici [F_0 e T^*_{Cj}):

$$a_g = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{a_{g,i}}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Dove:

a_g = accelerazione massima suolo tipo A nel sito

$a_{g,i}$ = accelerazione massima suolo tipo A nell'i-esimo punto

d_i = distanza del sito da i-esimo punto

Qualora, poi, il citato reticolo non riporti il valore di accelerazione per il tempo di ritorno voluto, questo potrà essere ottenuto interpolando i dati relativi ai tempi di ritorno più prossimi come di seguito indicato (analogo procedimento può essere adottato per gli altri parametri sismici [F_0 e T^*_{Cj}):

$$\log(a_g) = \log(a_{g1}) + \log\left(\frac{a_{g1}}{a_{g2}}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

Dove:

a_g = accelerazione massima suolo tipo A nel sito per T_R

$a_{g1} - a_{g2}$ = accelerazione massima suolo tipo A nell'i-esimo relative ai tempi di ritorno più prossimi

$T_{R1} - T_{R2}$ = tempi di ritorno più prossimi

In tabella n.3.4 è riportato il numero identificativo dei nodi considerati per il sito in esame (Lat. **44,44477** – Long. **8,857378**) con relative coordinate geografiche nonché la distanza dai nodi del reticolo dal sito stesso.

Sito 1	ID: 16694	Lat: 44,4422	Lon: 8,7986	Distanza: 4677,196
Sito 2	ID: 16695	Lat: 44,4450	Lon: 8,8684	Distanza: 878,674
Sito 3	ID: 16473	Lat: 44,4949	Lon: 8,8647	Distanza: 5604,022
Sito 4	ID: 16472	Lat: 44,4922	Lon: 8,7947	Distanza: 7244,584

Tabella n.3.4 – Reticolo di riferimento – Coordinate

Ne derivano i parametri sismici di cui alla tabella n.3.5 relativi allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	1424	[anni]
ag:	0,100	g
Fo:	2,518	
Tc*:	0,297	[s]

Tabella n.3.5 – Parametri sismici al sito – suolo tipo A affiorante

6.4. EFFETTI DI SITO – GENERALITA'

Gli effetti di amplificazione locale dovuti alla stratigrafia ed alla conformazione topografica vengono messi in conto mediante i seguenti parametri (vedere anche figura n.7.3):

- Parametro S_s : Effetti stratigrafici
- Parametro S_T : Effetti topografici

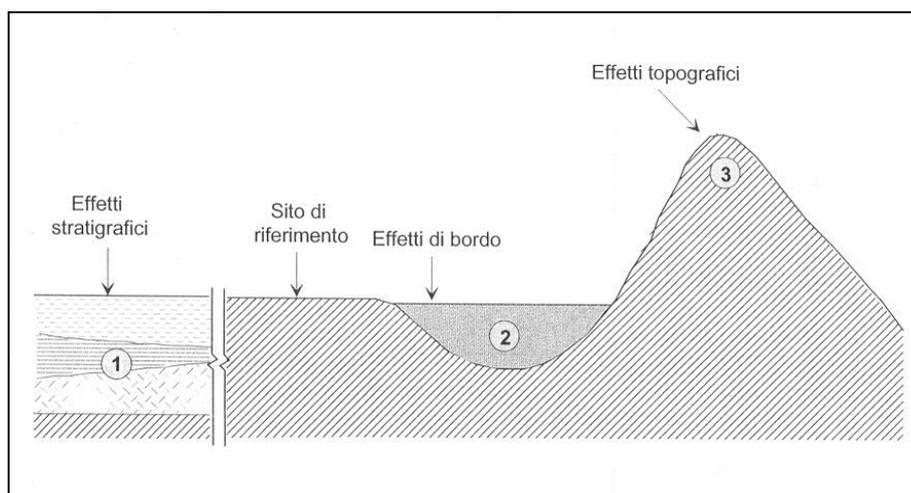


Figura n.7.3 – Possibili effetti di amplificazione

6.5. EFFETTI DI SITO – AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per quanto concerne gli effetti di amplificazione dovuti alla topografia del sito si fa riferimento alla tabella n.3.6 ed alla figura n.7.4 di cui al seguito.

Categoria	Descrizione del pendio	Ubicazione struttura	S_T
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media superiore a 30°	In corrispondenza della cresta	1.4
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media compresa tra 15° e 30°	In corrispondenza della cresta	1.2
T2	Pendii con inclinazione media superiore a 15°	In corrispondenza della sommità	1.2
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media inferiore a 15°	--	1.0

Tabella n.3.6 – Coefficiente di amplificazione topografica (NTC-2018 – tabella 3.2.IV)

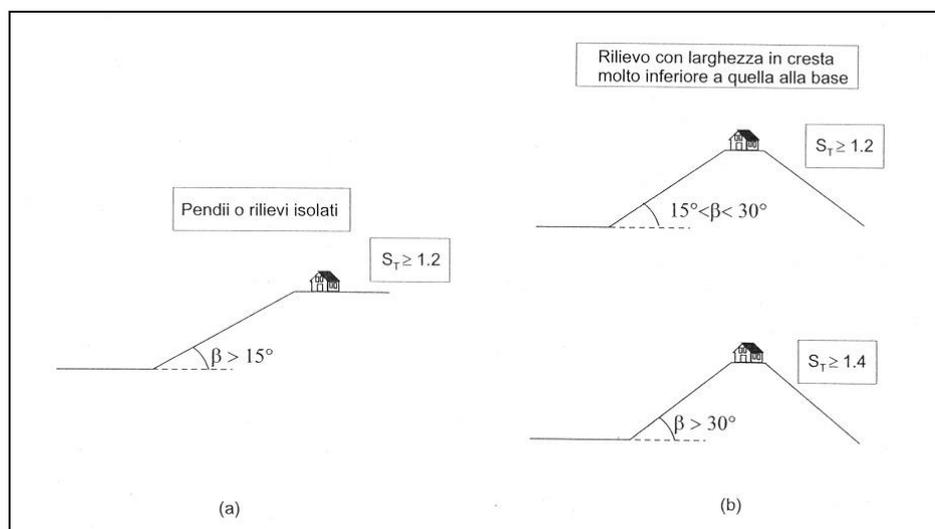


Figura n.7.4 – Coefficiente di amplificazione topografica

Nel caso particolare in esame si assume:

Categoria T2 $\rightarrow S_T = 1.2$

6.6. EFFETTI DI SITO – AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Gli effetti di amplificazione stratigrafica locale possono essere messi in conto in accordo con la procedura "semplificata" prevista dalla Norma vigente (NTC_2018) che comporta la stima di un "coefficiente di amplificazione stratigrafica" (S_S) da definirsi sulla base dei valori di velocità delle onde di taglio nei primi 30m di terreno dalla quota di imposta delle fondazioni (V_{S30}).

Si osserva che la velocità V_{S30} rappresenta la media delle velocità dei primi 30m di profondità e viene calcolata con la seguente espressione:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-0X-D-CV-RO-IN21-0X-002-A01.DOC Foglio 28 di 41

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

V_i = velocità dello strato i-esimo

h_i = spessore dello strato i-esimo

V_{s30} = media delle velocità dei primi 30m di profondità [m]

Rimandando alla “Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica” (cfr. elaborato IG51-04-E-CV-RO-IN21-00-001-B00) si verifica che nel caso specifico in studio vale quanto segue (risultati stendi menti sismici MASW):

- **Stendimento L1:** a partire da -19.5m i valori di V_s superano gli **800 m/s** e la velocità $V_{s, eq} = V_{s,19.5}$ risulta di **397 m/s** pertanto il terreno è classificabile di **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”.
- **Stendimento L2:** a partire da -12.3m i valori di V_s superano gli **800 m/s** e la velocità $V_{s, eq} = V_{s,12.3}$ risulta di **408 m/s** pertanto il terreno è classificabile di **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”.

Si assume pertanto quanto segue:

Categoria B → $S_s = 1.2$

6.7. ACCELERAZIONE MASSIMA AL SITO

L'accelerazione massima orizzontale al sito (a_{max}) è calcolata come prodotto dell'accelerazione al substrato (a_g) e dei fattori di amplificazione (S_s ed S_T). Si ottiene pertanto:

$$a_{max} = a_g \times S = a_g \times S_T \times S_s$$

Da cui:

$$a_{max} = 0.100 \times 1.2 \times 1.2 = \mathbf{0.144g}$$

7. INQUADRAMENTO GEOMECCANICO E GEOTECNICO

7.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO

Con riferimento alla già richiamata figura n.5.1, l'area di intervento è stata oggetto di successive campagne di indagine geognostiche eseguite tra il 2004 ed il 2018, e consiste nell'esecuzione di:

- N.1 sondaggio geotecnico a carotaggio a continuo di profondità L=36,7m;
- N.4 sondaggi ambientali a carotaggio continuo di profondità L=10m
- N.2 prove di permeabilità del tipo Lugeon, in foro di sondaggio
- N.2 prove dilatometriche in foro di sondaggio
- N.2 indagini sismiche MASW

Per i dettagli circa le prove effettuate ed i risultati ottenuti si rimanda all'elaborato IG51-04-E-CV-RO-IN21-00-001-B00 – "Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica".

A titolo di esempio si riporta nella seguente figura n.8.1 il log stratigrafico del sondaggio ambientale S2 eseguito nel giugno 2018.

Quote		Risultato dei sondaggi				Idrogeologia		Geotecnica			Strumentazione			Perforazione		Annotazioni			
Quota assoluta (m)	Profondità (m)	Stratigrafia	Completamento	Permeabilità di carotaggio	Rock Quality Designation	Descrizione dei litotipi	LUGEON	LEFRANC	Standard Penetration Test	Prova di Permeabilità	Indicatore	Tubo in PVC	Pluviometro	Assensimento	Estensimetro	Rivestimento	Metodo di misura	Thermiti	Completamento
100	1.00					Terreno argilla arenigineo ed arenoso, colore beige chiaro.													
100	1.00					Materia di ripieno costituito da ghiaia e sabbia, con ciottoli sabbiosi, che si ripresenta, presenza di alcuni fessure di profondità, colore grigio.													
100	1.00					Terreno costituito da arginelle e sabbie, completamente desaturate ed alluvie, spessore di 10-15 cm, colore grigio.													
100	1.00																		
100	1.00																		

Figura n.8.1– Sondaggio ambientale S2

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-0X-D-CV-RO-IN21-0X-002-A01.DOC Foglio 30 di 41

7.2. INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO

Con riferimento ai sondaggi ambientali eseguiti nel giugno 2018 è possibile definire la seguente stratigrafia di riferimento (con "z" si indica la profondità dal p.c. locale):

Settore Nord e centrale del piazzale (sondaggi S1 – S2)

z ≈ 0.0÷4.0m: Riporto (ghiaia eterometrica sabbioso-limosa con clasti e laterizi)

z > 4.0m: Substrato roccioso - Eluvio (serpentinociti completamente alterati e destrutturati)

Settore Sud del piazzale (sondaggi S3 – S4)

z ≈ 0.0÷4.0m: Riporto (ghiaia eterometrica sabbioso-limosa con clasti e laterizi)

z > 4.0m: Substrato roccioso (serpentinociti sani poco fratturati)

Durante l'esecuzione dei sondaggi non è stata rilevata la presenza di acqua di falda.

7.3. INQUADRAMENTO GEOMECCANICO – ROCCIA INTATTA

Le caratteristiche della roccia intatta possono essere così sinteticamente riassunte (prove di laboratorio e dati di letteratura):

γ = peso di volume =	28kN/m ³	(da letteratura)
σ' _{ci} = resistenza a compressione =	50MPa	(da prove di laboratorio)
E = modulo elastico =	3÷10GPa	(serpentine massiva)
	1.0÷1.5GPa	(serpentine fratturata)

Facendo riferimento al criterio di rottura di Hoek-Brown per roccia intatta si può genericamente scrivere:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_i \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + 1 \right)^{0.5}$$

dove:

σ'₁ e σ'₃ = sforzi efficaci principali rispettivamente massimo e minimo a rottura;

σ'_{ci} = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;

m_i = valore della costante m del criterio di Hoek-Brown per la roccia intatta;

Il valore della costante caratteristica (m_i) può essere definito sulla base della seguente tabella n.4.1.

TIPO DI ROCCIA	CLASSE	GRUPPO	TESSITURA			
			GROSSOLANA	MEDIA	FINE	MOLTO FINE
SEDIMENTARIE	Clastiche		Conglomerato (22)	Arenaria 19	Siltite 9	Argillite 4
				Grovacche (18)		
	Non clastiche	Organogene		Calcare bianco (7)		
		Carbonatiche	Breccia(20)	Calcare Sparitico (10)	Calcare Micritico 8	
	Chimiche		Gesso 16	Anidride 13		
METAMORFICHE	Non foliate		Marmo 9	Hornfels (19)	Quarzite 24	
	Leggermente foliate		Migmatite (30)	Anfibolite 25-31	Miloniti (6)	
	Foliate*		Gneiss 33	Scisti 4-8	Filliti (10)	Scisti argillosi 9
IGNEE	Chiare		Granito 33		Riolite (16)	Ossidiana (19)
			Granodiorite (30)		Dacite (17)	
	Scure		Diorite (28)		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalto (17)	
			Norite 22			
Effusive piroclastiche		Agglomerato (20)	Breccia (18)	Tufo (15)		

Questi valori sono validi per campioni di roccia intatta portati a rottura applicando il carico normale alla stratificazione o scistosità. Il valore di m_i sarà sensibilmente inferiore se la rottura avviene lungo un piano di debolezza

Tabella n.4.1 – Valori della costante m_i per diversi tipi di roccia

Nel caso specifico si può assumere:

$$m_i = 10$$

Segue un esempio di un tipico andamento del criterio di rottura (non lineare) per la roccia intatta (figura n.4.2).

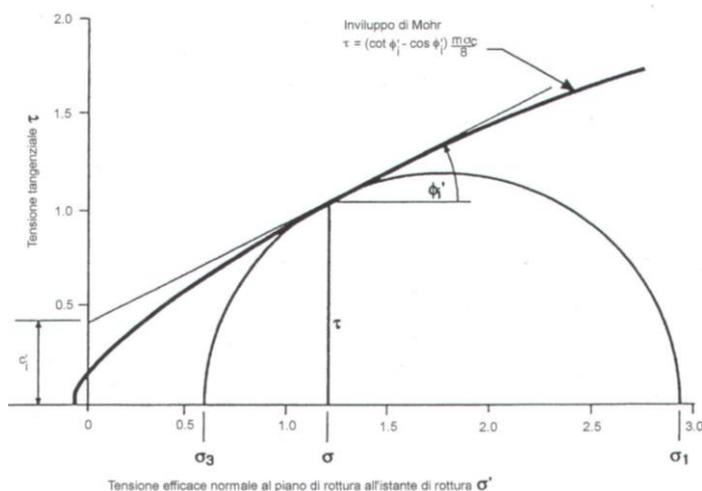


Figura n.8.2 – Tipico involuppo di rottura non lineare definito dalla teoria di Hoek&Brown

7.4. INQUADRAMENTO GEOMECCANICO – AMMASSO ROCCIOSO

Un ammasso roccioso è una struttura composta da una matrice rocciosa intatta separata da zone di discontinuità, cioè da zone di minore resistenza, aventi due dimensioni nettamente prevalenti sulla terza. A volte all'interno di queste discontinuità è possibile la presenza di materiale di riempimento il quale è spesso dotato di scadenti caratteristiche meccaniche.

Tali discontinuità condizionano evidentemente il comportamento dell'ammasso roccioso il quale, dal punto di vista ingegneristico, può essere pensato come un'insieme di blocchi, aventi caratteristiche meccaniche simili o

derivabili da quelle della roccia sana, separati fra loro da superfici o zone di debolezza costituite dalle discontinuità.

Lo scopo della caratterizzazione geomeccanica, è quello di sviluppare un modello dell'ammasso roccioso in sito, attraverso la definizione di parametri geometrici e geomeccanici, ed individuare eventuali dettagli geostrutturali che possano influenzare il comportamento dell'ammasso pensato come insieme di blocchi e di discontinuità.

In tal senso la caratterizzazione geomeccanica può essere fatta seguendo due vie differenti: trattando l'ammasso come un mezzo "discontinuo" a comportamento strettamente anisotropo, oppure facendo ricorso alla modellazione dell'ammasso come mezzo "continuo" a comportamento ragionevolmente assimilabile a quello di un mezzo isotropo.

La validità di un tipo di caratterizzazione rispetto all'altra, nella generalità dei casi, è funzione essenzialmente di due fattori interconnessi che sono:

- l'intensità della fratturazione e lo stato di alterazione dell'ammasso roccioso;
- la scala del problema trattato, ovvero il volume di roccia che viene interessato dall'effetto del "disturbo esterno".

Il concetto sopraesposto è meglio chiarito dall'esame della figura n.8.3 nella quale è messo in evidenza, in funzione della scala dell'intervento da effettuare nell'ammasso in cui è presente una serie di famiglie di discontinuità, il comportamento meccanico dell'ammasso stesso passa da strettamente isotropo (roccia intatta) a strettamente anisotropo (roccia giuntata) ad un comportamento assimilabile, con discreta approssimazione, nuovamente a quello di un mezzo isotropo (ammasso roccioso intensamente fratturato).

Tale considerazione implica che nel primo e nell'ultimo caso (mezzo isotropo) la reazione dell'ammasso ad un qualsiasi disturbo esterno non sarà influenzata dalla direzione dalla quale proviene il "disturbo" mentre nel caso intermedio (mezzo anisotropo) essa è una funzione strettamente legata proprio alla direzione di provenienza del "disturbo" esterno.

Questa affermazione vale sia per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza al taglio che per quelle di deformabilità dell'ammasso.

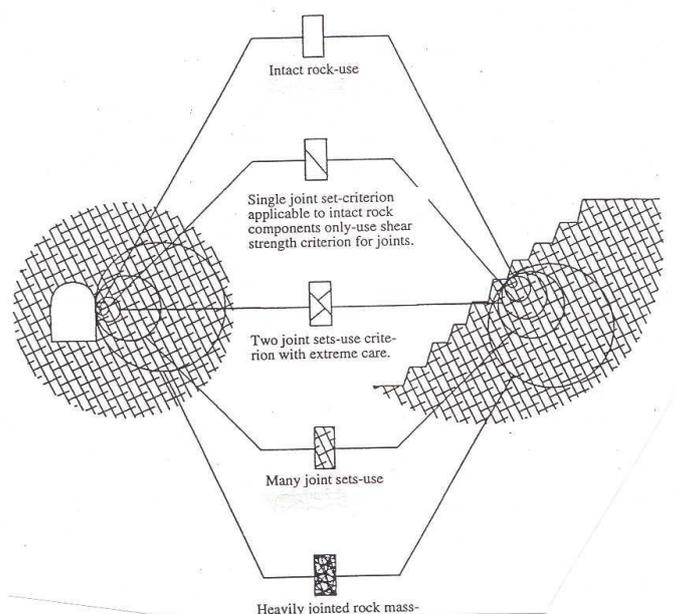


Figura n.8.3 – Condizioni dell'ammasso roccioso ed effetto scala

Un altro aspetto di fondamentale importanza da tenere presente nella caratterizzazione geotecnica dei materiali in oggetto è il comportamento non lineare dei materiali ed il comportamento meccanico caratterizzato dalla resistenza di picco e dalla resistenza residua.

Il legame costitutivo sforzi–deformazioni del materiale è tipicamente non lineare e, conseguentemente, il modulo di deformabilità dipende dal livello di deformazione causato dalla costruzione dell'opera geotecnica, come indicato qualitativamente nella figura n.8.4.

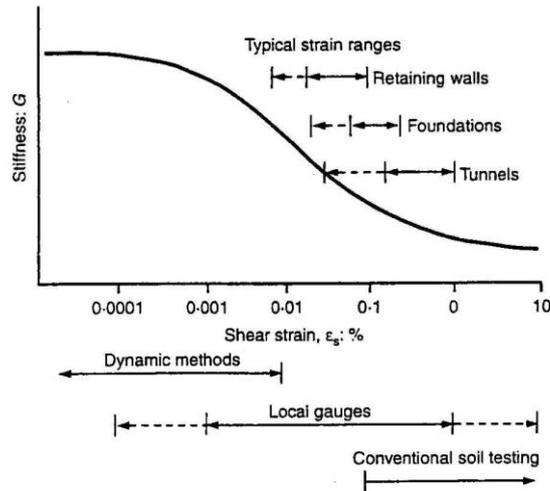


Figura n.8.4 – Andamento del modulo di deformabilità in funzione del livello di deformazione

Nel caso dell'ammasso roccioso la formulazione del criterio di rottura può essere così generalizzata:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

dove:

σ'_1 e σ'_3 = sforzi efficaci principali rispettivamente massimo e minimo a rottura;

m_b = valore della costante m del criterio di Hoek-Brown per l'ammasso;

s ed a = costanti che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso;

σ'_{ci} = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

Al fine di definire i parametri di ammasso (s, a e m_b) Hoek (1994) e Hoek, Kaiser e Bawden (1995) hanno introdotto l'indice GSI (*Geological Strength Index*) sulla base dello schema di cui alla figura n.8.5.

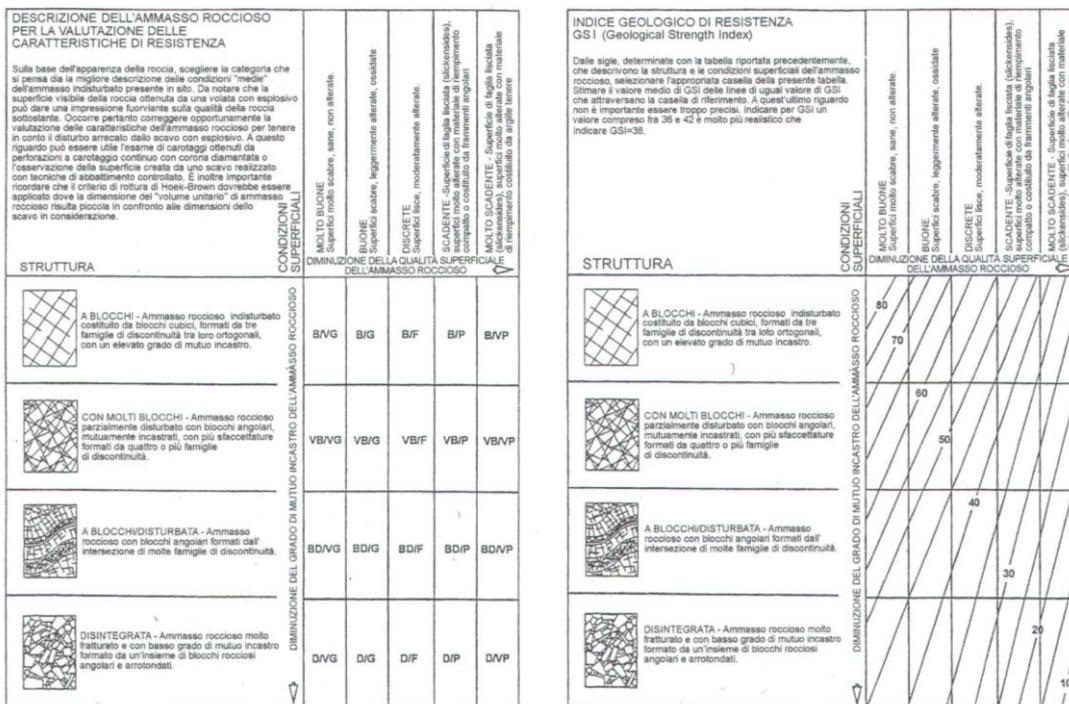


Figura n.8.5 – Stima dell'indice GSI (Geological Strength Index) sulla base della descrizione geologica dell'ammasso roccioso

Una volta determinato il valore di GSI è possibile stimare i parametri che descrivono la resistenza dell'ammasso roccioso sulla base delle seguenti espressioni (Hoek, 2002):

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/15} \right)$$

L'entità del parametro "D" risulta funzione del grado di disturbo dell'ammasso roccioso essendo variabile da 0 per rocce indisturbate ad 1 per rocce molto disturbate.

L'indice GSI può essere definito anche in correlazione con altri indici tipici degli ammassi rocciosi ed in particolare con gli indici del sistema di classificazione di Bieniawski del 1976 (vedere figura n.8.6).

Indicando con RMR_{76} il valore dell'indice RMR ottenuto assumendo per le condizioni idrauliche dei giunti l'ipotesi di giunti umidi con un valore dell'indice pari a 10 e non applicando alcuna correzione per effetto dell'orientamento dei giunti si può considerare:

- per $RMR_{76} > 18$ → GSI = RMR_{76}
- per $RMR_{76} < 18$ → Non applicabile

PARAMETRI		CAMPO VALORI							
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 8 MPa	4-8 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniaassiale	> 200 MPa	100-200 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		> 3 m	1-3 m	0.3-1 m	50-300 mm	< 50 mm		
	INDICE		30	25	20	10	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI		Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		25	20	12	6	0		

Figura n.8.6 – Sistema di classificazione di Bieniawski, versione 1976

Ne caso specifico in studio, in accordo con quanto riportato nella “Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica” (cfr. elaborato IG51-04-E-CV-RO-IN21-00-001-B00) si assume quanto segue:

Serpentiniti e metabasalti: $RMR_{76} = GSI = 69$

Serpentinocisti: $RMR_{76} = GSI = 49$

Il criterio di rottura dell’ammasso roccioso può essere espresso anche in termini di parametri di Mohr-Coulomb equivalenti nel piano degli sforzi principali mediante l’equazione (con ovvio significato dei simboli):

$$\sigma_1' = \sigma_{cm} + k \cdot \sigma_3'$$

Ne deriva che i valori della coesione e dell’angolo di attrito possono essere anche definiti nei seguenti termini:

$$\sin \phi' = \frac{k-1}{k+1}$$

$$c' = \frac{\sigma_{cm}(1 - \sin \phi')}{2 \cos \phi'}$$

I parametri di Mohr-Coulomb vengono definiti imponendo l’equivalenza fra le aree al di sopra e al di sotto dell’equazione di rottura lineare. Si ottiene pertanto:

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma_{3n}'] (s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1})} / ((1+a)(2+a))}$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A301-0X-D-CV-RO-IN21-0X-002-A01.DOC	Foglio 36 di 41

dove:

$$\sigma'_{3n} = \sigma'_{3\max} / \sigma'_{ci}$$

Gli autori hanno pertanto suggerito una empirica iterativa per definire i parametri “*equivalenti*” di Mohr-Coulomb di cui si tralasciano i dettagli rimandando al testo della pubblicazione. Si vuole solo osservare che:

1. La fase più critica in tale processo è rappresentata dalla scelta del campo di valori da considerare per σ'_3 . A tale proposito i risultati più corretti sembrano essere ottenuti con valori di σ'_3 compresi fra 0 e 0.25 σ'_{ci} .
2. Il valore di coesione “*equivalente*” ricavato mediante la procedura proposta è un valore limite superiore e per applicazioni pratiche è più prudente assumere il 75% del valore teorico.
3. la procedura proposta deve essere adottata con particolare prudenza per la soluzione di problemi dove le tensioni normali efficaci agenti lungo la superficie di rottura possono essere particolarmente basse (si pensi ad esempio ai problemi di stabilità dei fronti rocciosi). In questo caso è più prudente utilizzare valori di coesione e di angolo di attrito basati sulla tangente all'involuppo di rottura curvilineo nel campo dei valori di σ'_n effettivamente presenti.

Con riferimento ai criteri ed alle considerazioni di cui ai paragrafi precedenti si riportano nelle seguenti figure n.8.7 e n.8.8 i parametri geomeccanici che definiscono il criterio di Hoek&Brown e gli equivalenti parametri riferiti al criterio di rottura di Mohr-Coulomb rispettivamente per la serpentinite massiva e per quella fratturata (si assume un indice di disturbo D=1.0).

Si osserva che, in buon accordo con quanto riportato nella “*Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica*” (cfr. elaborato IG51-04-E-CV-RO-IN21-00-001-B00) i parametri equivalenti riferiti al criterio di rottura di Mohr-Coulomb risultano:

Serpentinite fratturata

$$\phi_{mc} = \text{angolo di attrito } \textit{equivalente} = 28\div 30^\circ$$

$$c_{mc} = \text{coesione efficace } \textit{equivalente} = 300\div 400\text{kPa}$$

Serpentinite massiva

$$\phi_{mc} = \text{angolo di attrito } \textit{equivalente} = 38\div 40^\circ$$

$$c_{mc} = \text{coesione efficace } \textit{equivalente} = 800\div 900\text{kPa}$$

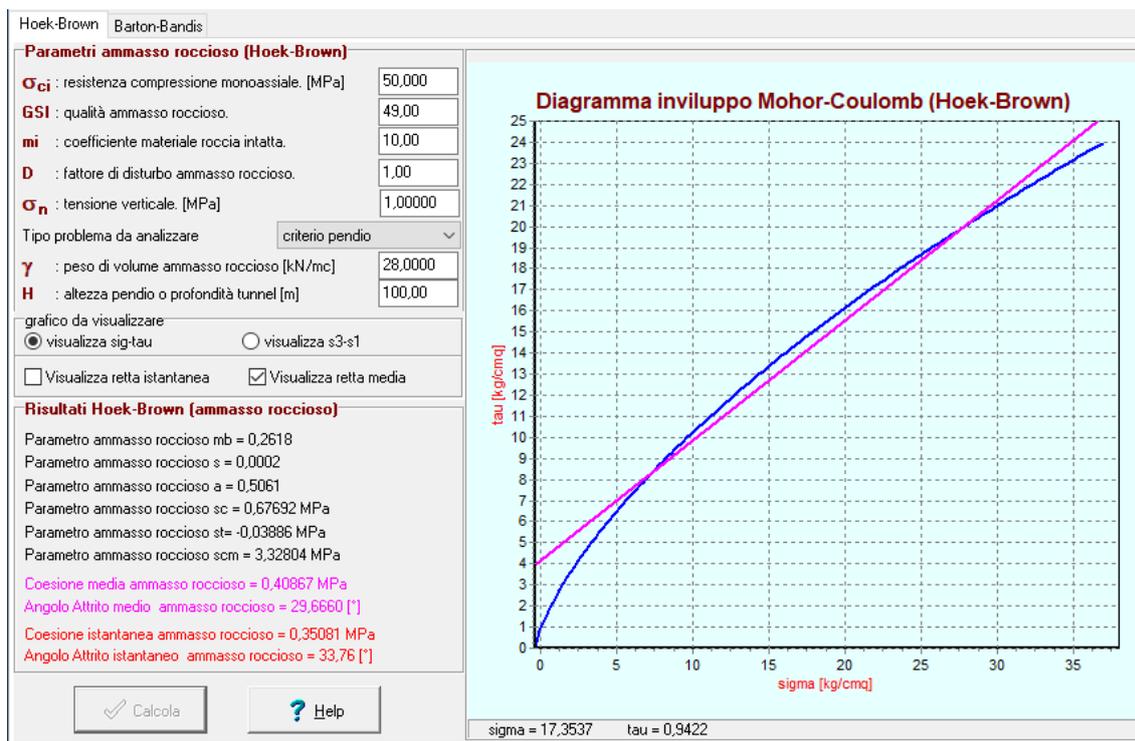


Figura n.8.7 – Parametri di Hoek & Brown e Mohr – Coulomb equivalenti – Serpentinite fratturata

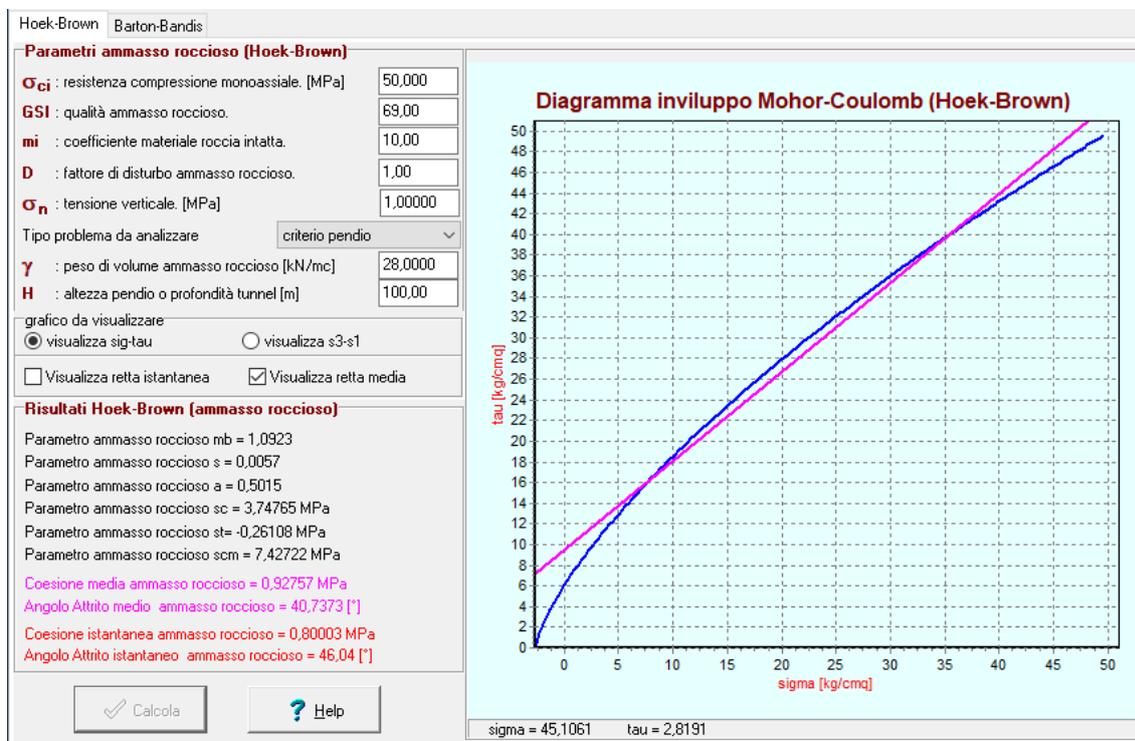


Figura n.8.8 – Parametri di Hoek & Brown e Mohr – Coulomb equivalenti – Serpentinite massiva

7.5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO – MATERIALI DI RIPORTO E DI RIEMPIENTO

In assenza di specifiche prove in sito e/o di laboratorio sui materiali di riporto presenti in sito, si fa riferimento in via cautelativa al seguente set di parametri di resistenza al taglio “caratteristici” (pedice k):

$$\gamma = \text{peso di volume} = 20\text{kN/m}^3$$

$$c'_k = \text{coesione efficace} = 0\text{kPa}$$

$$\phi'_k = \text{angolo d'attrito} = 34^\circ$$

Per quanto concerne invece il materiale di riempimento a tergo delle opere di sostegno, si fa riferimento al seguente set di parametri di resistenza al taglio “caratteristici” (pedice k) in uso nella prassi progettuale:

$$\gamma = \text{peso di volume} = 19\text{kN/m}^3$$

$$c'_k = \text{coesione efficace} = 0\text{kPa}$$

$$\phi'_k = \text{angolo d'attrito} = 36^\circ$$

8. SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO

Con riferimento a quanto riportato al capitolo n.3, ai fini dell'analisi e della verifica delle opere di sostegno in progetto, si fa riferimento al set di parametri geotecnici "caratteristici" riportato nella tabella n.5.1 di cui al seguito.

Parametro		Materiale di riporto	Substrato roccioso alterato	Materiale di riempimento
Peso naturale di volume sat.	γ_{sat} (kN/m ³)	20	28	19
Angolo di attrito	φ' (°)	34	28-30	36
Coesione efficace	c' (kPa)	0	300	0
Angolo di attrito terra/muro	δ (°)	0.67 φ	0.67 φ	--

Tabella n.5.1 – Parametri caratteristici di resistenza al taglio

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	A301-0X-D-CV-RO-IN21-0X-002-A01.DOC Foglio 40 di 41

9. INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO

Rimandando alla specifica relazione per i dettagli, ai fini della presente si evidenzia quanto segue:

- Per la stima dell'altezza di pioggia si fa riferimento a quanto riportato nel *"Piano Di Bacino Stralcio Per La Tutela Del Rischio Idrogeologico Del Torrente Chiaravagna"* Allegato B – Studio di approfondimento idraulico del T. Chiaravagna: analisi idrologica e idraulica (2014), redatto dall'Autorità di Bacino Regionale, che riporta il metodo di calcolo per la stima delle curve di possibilità pluviometrica ottenute in base al Progetto VAPI (tabella 3.3). Per lo studio in esame si considerano i valori relativi alla stazione pluviometrica Madonna della Guardia e un tempo di ritorno di 100 anni, dai quali si ricavano i seguenti parametri della curva di possibilità pluviometrica:

$$a = 27.099$$

$$n = 0.399$$

- Per quanto riguarda invece la modellazione idraulica sul Rio Casinelle è stata effettuata la simulazione in regime di moto permanente del tratto di alveo adiacente l'area di intervento, considerando la portata con tempo di ritorno 200 anni (Q_{200}), in accordo a quanto riportato nella Relazione Generale del *"Piano di Bacino Stralcio per la tutela del Rischio Idrogeologico, Torrente Chiaravagna"*, redatto dall'Autorità di Bacino Regionale.

In particolare, sul documento di piano (paragrafo 3.3.4.2), si fa riferimento al seguente valore di portata in corrispondenza della sezione di confluenza Bianchetta-Cassinelle:

$$Q_{200} = 98.5 \text{ m}^3/\text{s}.$$

10. CONCLUSIONI

Sulla base di quanto sopra esposto si conclude quanto segue:

- Al fine di definire le caratteristiche geomorfologiche dell'area sono state eseguite diverse campagne di rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio, descritte nei capitoli successivi.
- L'area della piazzola tecnologica Borzoli è rappresentata da una cava abbandonata, ubicata nella stretta valle del Torrente Chiaravagna con orientamento medio N-S e caratterizzata da versanti acclivi.
- L'elemento geomorfologico principale è costituito dal fronte di cava, esteso per circa 350 m di larghezza ed alto circa 100 m. Tutto il fronte è caratterizzato dalla presenza di affioramenti rocciosi fratturati e da depositi detritici di spessore variabile, legati in parte all'attività estrattiva e in parte a locali distacchi di materiale dagli affioramenti.
- Nell'area situata a nord dell'area d'intervento è stata rilevata la presenza, anche in questo caso, di una maggiore quantità di detriti rispetto alle rocce affioranti. Le coltre eluvio-colluviali, i conoidi misti, sono forme indicative di un gran numero di crolli di materiale dal ciglio del fronte di cava. Il substrato è affiorante ed è costituito da serpentiniti molto fratturate. Le caratteristiche granulometriche del materiale detritico sono estremamente eterogenee, passando da blocchi di pezzatura plurimetrica alle frazioni più fini.
- Il più significativo accumulo è stato individuato, nelle diverse campagne di rilevamento sul terreno, nel settore centrale della ex cava immediatamente ad est dell'opera in progetto ed è costituito da un accumulo di potenza stimata pari a circa 25-30 m, legato presumibilmente ad un unico fenomeno di crollo verificatosi a seguito dell'abbandono dell'attività estrattiva. In questo settore è stata rilevata la

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	A301-0X-D-CV-RO-IN21-0X-002-A01.DOC	Foglio 41 di 41

presenza di pochi affioramenti rocciosi e l'abbondanza di materiale detritico di natura eterogenea a copertura dei versanti, che passa da blocchi plurimetrici a frazioni più fini.

- Il settore a S e a SSE è caratterizzato dalla presenza maggiore di substrato affiorante: In questo settore, a causa della diffusa fratturazione delle rocce, si verificano locali crolli e si sono osservati alcuni massi instabili.
- Nell'area indagata è presente un reticolo idrografico a prevalente direzione est-ovest, costituito da corsi d'acqua incisi nel versante.
- L'evoluzione del versante attraverso le incisioni vallive appare evidente anche dalle foto aree che si sono susseguite a partire dal 2007. Dalle analisi delle stesse risulta evidente una continua regressione della linea di cresta, che porta ad una riattivazione dei fenomeni di crollo e scivolamento degli ammassi lapidei disposti a franapoggio rispetto all'inclinazione del versante.
- Tali fenomeni di distacco ,dovuti a scalzamenti ed a fenomeni di erosione accelerata sono stati acuiti a seguito degli eventi alluvionali avvenuti nel 2010,2014 e 2019 in concomitanza di piogge inetese di breve entità ma ad alta energia impattante sul suolo.
- L'area era stata autorizzata in passato per l'espletamento di una attività estrattiva e di lavorazione inerti in quanto il versante sembrava stabile dal punto di vista morfologico ed era presente un solo canale di protezione a monte in seguito occluso.
- Dai dati storici a partire dalla carta Geologica del progetto CARG fino all'Atlante del Comune di Genova datato 1996, non risultano evidenti fenomeni evolutivi del versante se non in misura modesta e parziale.
- Lo stesso piano piano di Bacino del Torrente Chiaravagna, nella sua ultima versione indica un rischio moderato e non in evoluzione del versante prospiciente la futura piazzola.
- L'innesco del dissesto è sicuramente avvenuto in anni successivi all'insediamento della cava pur non risultando chiaro se l'attività estrattiva ne abbia accelerato l'evoluzione.