

# COMUNE DI ROCCAFORTE LIGURE

## Lavori di:

COMPLETAMENTO MESSA IN SICUREZZA ABITATO FRAZIONE  
BORASSI

## Oggetto

EL 3:  
RELAZIONE GEOLOGICA

## Committente:

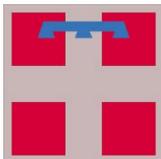
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Progettista:

Ing. Alberto Andrea, Phd.  
Corso Roma n°40  
Savigliano (CN)

## Costruttore carpenteria metallica:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



DATA	CODICE	PROGETTO	ESEGUITO DA	CONTROLLATO APPROVATO
REVISIONE	DATA	OGGETTO		
0_Emissione	-	Relazione geologica		

REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DI ALESSANDRIA  
COMUNE DI ROCCAFORTE LIGURE

INDAGINI GEOLOGICHE PER LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
MOVIMENTI FRANOSI IN FRAZIONE BORASSI – COMPLETAMENTO  
CUP: D24H200009200001 - CIG: 87572718A3



**RELAZIONE GEOLOGICA  
E GEOTECNICA DI CARATTERIZZAZIONE  
ILLUSTRATIVA DELLE INDAGINI ESEGUITE**



**INGEGNERIA & CONTROLLI ITALIA SRL**  
Via Donati, 14 - 10121 Torino (TO)  
C.F. e P.IVA: 10259240017  
Tel: 011/3975311 Fax 011/3493790  
Posta elettronica: info@jecitalia.it  
PEC: jecitalia@legalmail.it

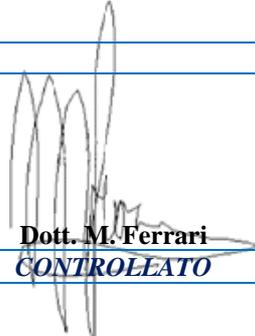
**21010 IG-GL – Luglio 2021**

**Committente**



COMUNE DI ROCCAFORTE LIGURE

  
Dott. Geol. M. Eavezzo  
**REDATTO**

  
Dott. M. Ferrari  
**CONTROLLATO**

**APPROVATO**

*REGIONE PIEMONTE  
PROVINCIA DI ALESSANDRIA  
COMUNE DI ROCCAFORTE LIGURE*

**INDAGINI GEOLOGICHE PER LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA  
MOVIMENTI FRANOSI IN FRAZIONE BORASSI – COMPLETAMENTO**

*RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DI CARATTERIZZAZIONE  
Illustrativa delle indagini eseguite*

*Luglio 2021*

---

**SOMMARIO**

---

PREMESSA.....	3
<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	
1.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
1.1.1 Contesto dell'intervento.....	4
1.1.2 Inquadramento litostratigrafico, geomorfologico e idrogeologico.....	4
1.2 RISULTATI DELLE INDAGINI.....	7
1.2.1 Indagini geognostiche.....	7
1.2.2 Assetto litostratigrafico locale.....	11
1.2.3 Condizioni idrogeologiche.....	14
1.2.4 Assetto morfologico locale e condizioni di pericolosità geomorfologica.....	14
1.3 MODELLO GEOLOGICO.....	16
1.3.1 Profilo litostratigrafico del terreno indagato.....	16
<b>RELAZIONE GEOTECNICA DI CARATTERIZZAZIONE E SISMICA</b>	
2.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI LITOTIPI.....	17
2.1.1 Profilo geomeccanico del terreno indagato.....	17
2.1.2 Determinazione delle proprietà indice.....	17
2.1.3 Caratterizzazione delle unità geotecniche omogenee.....	20
2.1.4 Caratterizzazione dell'ammasso roccioso (Hoek-Brown).....	21
2.2 INQUADRAMENTO SISMICO.....	23
2.2.1 Inquadramento sismico regionale.....	23
2.2.2 Sismicità storica.....	24
2.2.3 Sismicità locale.....	24
2.2.4 Pericolosità sismica di base.....	26
2.3 RISULTATI DELLE INDAGINI E MODELLAZIONE SISMICA LOCALE.....	30
2.3.1 Pericolosità sismica locale.....	30
2.3.2 Accelerazione massima attesa in superficie.....	31
2.3.3 Valutazione della magnitudo massima attesa.....	32
2.4 INSTABILITA' INDIRETTA.....	34
2.4.1 Esclusione della verifica a liquefazione.....	34
2.4.2 Rischi secondari sismoindotti.....	34
PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI.....	36

## PREMESSA

La Frazione Borassi del Comune di Roccaforte Ligure si colloca in area affetta da instabilità gravitativa diffusa e progressiva ed è stata oggetto di diversi interventi di messa in sicurezza. La presente relazione Geologica e Geotecnica, comprendente la relazione Sismica, è redatta su incarico del Comune di Roccaforte Ligure (AL) con determinazione n. 23 del 17/07/2021 a commento delle indagini eseguite per il progetto di completamento degli interventi di consolidamento della frana di Frazione Borassi.

La relazione è redatta in ottemperanza alla vigente normativa, con particolare riguardo a:

- *D.M. 11.03.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";*
- *Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/18 S.O. n. 8 alla G.U. n. 42 del 20/02/2018) - nel seguito denominato anche NTC18;*
- *Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (S.O. n. 5 alla G.U. n. 35 del 11/02/2019).*
- *O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici" e s.m.i.;*

La caratterizzazione si basa sulla campagna di indagini geognostiche appositamente realizzata nei giorni 20 e 21 Luglio 2021 mediante due sondaggi a carotaggio continuo ad andamento verticale con prove geotecniche in foro tipo S.P.T..

Il presente lavoro si prefigge di fornire, ai sensi dei §§ 6.2.1 e 6.2.2 del D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" (nel seguito indicate come NTC18), l'inquadramento geologico e la caratterizzazione geotecnica e sismica delle aree oggetto di consolidamento a commento delle indagini eseguite.

Non sono fornite le verifiche ai sensi dei §§ 6.2.4 e 6.3 e sqq. né la caratterizzazione ambientale per la gestione di eventuali terre da scavo, che esulano dall'incarico conferito.



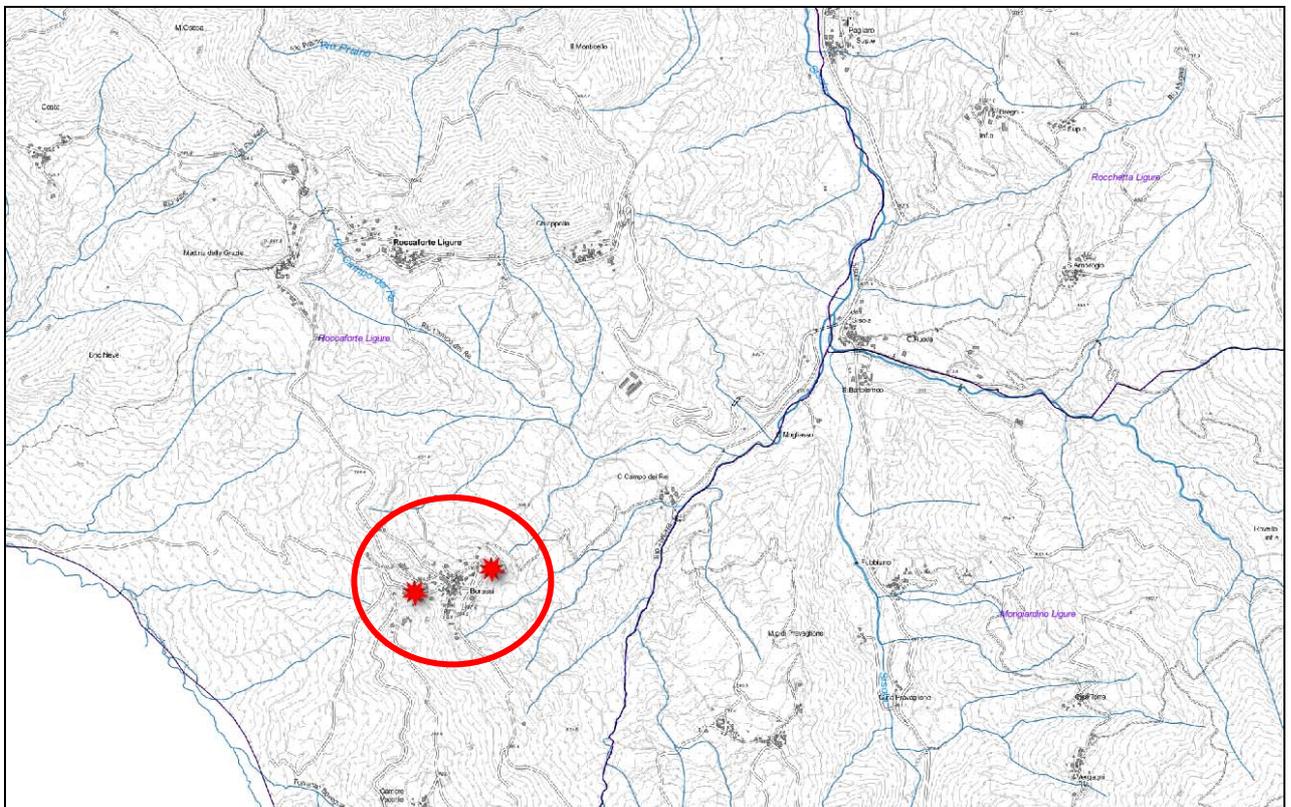
# 1 RELAZIONE GEOLOGICA

## 1.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 1.1.1 Contesto dell'intervento

La Frazione Borassi del Comune di Roccaforte Ligure si colloca alla testata di aste di primo ordine del versante sinistro del Rio Torbara, affluente di sinistra del Torrente Sisola a sua volta tributario di sinistra del Torrente Borbera, sui rilievi della media Val Borbera quasi allo spartiacque con la valle del Torrente Bovegna, che confluisce nel Torrente Scrivia con il nome di T. Spinti.

La corografia seguente (estratto CTR sez. 196090) evidenzia la località in oggetto.



*Figura 1 – Inquadramento geografico (CTR sez. 196090)*

### 1.1.2 Inquadramento litostratigrafico, geomorfologico e idrogeologico

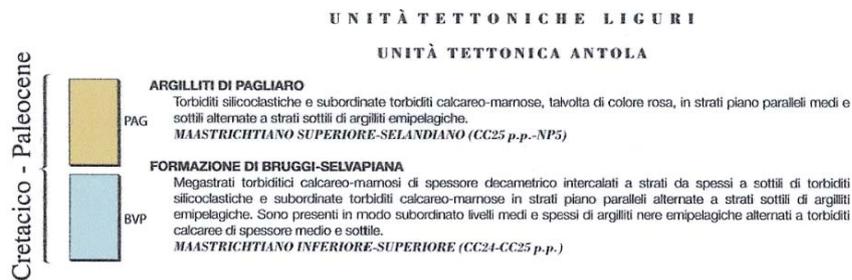
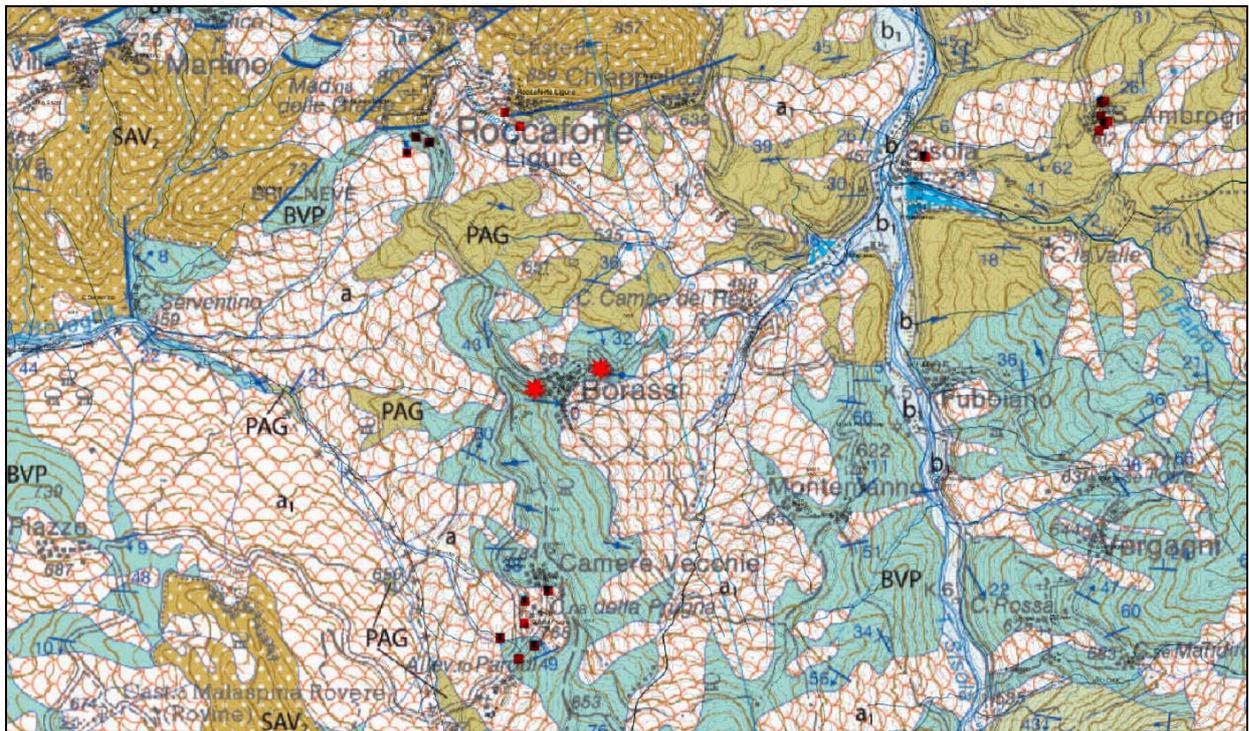
Dal punto di vista geologico, l'area è inquadrata nel foglio n° 83 – Rapallo della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, al limite con il Foglio n. 71 - Voghera.

Geologicamente, il territorio di Roccaforte Ligure si colloca all'estremità nord-occidentale dell'Appennino settentrionale, nei pressi della sua terminazione, essenzialmente costituita dalle Falde Liguri, che rappresentano un livello caratterizzato da assenza di metamorfismo alpino.



Figura 2 – Estratto Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000 – Fogli n° 71 – Voghera e n. 83 – Rapallo

L'area è attraversata dal contatto stratigrafico tra la Formazione dei Calcari di Monte Antola, formata da: "Alternanze ritmiche di strati calcareo-marnosi, calcarenitici e arenacei, con più esigui strati marno-argillosi; alla sommità aumentano la potenza e la frequenza delle marne argillose (Membro di Selvapiana della Formazione dell'Albirola); presenza di fucoidi ed elmintoidi", e le Argilliti di Pagliaro: alternanza di strati calcarei, calcareo-marnosi, arenacei ed argillosi. I materiali di superficie sono però rappresentati da accumuli gravitativi di versante.



**Figura 3 – Schema geologico dell'area oggetto di indagini**  
 Estratto dalla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio n. 196 Cabella Ligure

Secondo la più recente cartografica geologica alla scala 1:50.000 (Foglio n. 196 Cabella Ligure) del progetto CARG, i terreni appartengono all'Unità tettonica dell'Antola, dove la formazione identificata

dalla cartografia al 100.000 viene suddivisa nei membri di Bruggi-Selvapiana, prevalentemente calcareo-marnoso, e delle Argilliti di Pagliaro, entrambi comunque di natura torbiditica della fine del Cretaceo.

La tettonica dell'area (che si trova in prossimità della lineazione Villalvernia-Varzi-Levanto, che segna il limite geologico Alpi-Appennini) è caratterizzata da alcune faglie e soprattutto da un susseguirsi di anticlinali e sinclinali, che determinano la formazione di alcune “rughe” a scala regionale. Anche a scala locale le formazioni litologiche sono intensamente affette da deformazione plastica con frequenti pieghe e fratturazione pervasiva di clivaggio.

Dal punto di vista idrogeologico, i termini calcareo-marnosi sono poco permeabili e rappresentano degli acquicludi a scala regionale. Modeste circolazioni idriche, a carattere stagionale e/o effimero, sono da attendersi all'interfaccia copertura-substrato, in ragione del regime meteo-climatico locale.

## **1.2 RISULTATI DELLE INDAGINI**

### **1.2.1 Indagini geognostiche**

Per la ricostruzione stratigrafica dell'area, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche consistente in n° 2 sondaggi a carotaggio continuo con prove geotecniche in foro tipo SPT (figg. 6), ubicati nei pressi delle opere in progetto (fig. 5).

La terebrazione è stata eseguita impiegando una sonda idraulica Geomarc G600 montata su carro cingolato (foto 1), di cui nella tabella a seguire vengono presentate le principali caratteristiche:



**Foto 1** – Sonda Geomarc GM600 sul punto di perforazione S2

<b>SONDA PERFORATRICE IDRAULICA</b>		
Modello: <b>GEOMARC – GM 600 C Matricola 11/2005</b>		
Coppia max.	kgm	600
Velocità di rotazione	rpm	75-550
Spinta	kg	2600
Tiro	kg	2000
Velocità rapida risalita	m/min	22
Velocità rapida discesa (min.-max.)	m/min	32
Tiro max. argano	kg	2000
Motore diesel Deutz	KW	56
<i>Dimensioni</i>		
<i>Lunghezza</i>	m	5.60
<i>Larghezza</i>	m	2.00
<i>Altezza</i>	m	2.20
<i>Peso</i>	kg	6230
<b>Pompa a pistoni Triplex 200 per fanghi</b>		
Portata max.	l/min	200
Pressione max. esercizio	bar	40

La **perforazione** è stata condotta con rotazione a carotaggio continuo del terreno attraversato utilizzando carotieri semplici di diametro 131 mm e 101 mm, tali da rendere minimo il disturbo dei materiali attraversati e da consentire il prelievo dei campioni rappresentativi (carote).

La perforazione di carotaggio per il recupero dei campioni realizzata con carotiere semplice, è stata eseguita, compatibilmente con la natura dei terreni attraversati, senza l'uso di fluido di circolazione (carotaggio a secco). Per l'attraversamento dei materiali litoidi si è reso necessario l'impiego di carotieri doppi tipo NT2 diam. 101 mm, per il cui funzionamento si è fatto ricorso a circolazione diretta di acqua chiara.

La natura del terreno e la finalità dell'intervento hanno determinato la necessità di rivestire i fori per il sostegno delle pareti: a tal scopo sono stati impiegati rivestimenti provvisori consistenti in tubi di acciaio speciale filettati, della lunghezza di 1.5 m e del diametro di 127 mm alle profondità indicate in stratigrafia. Durante le operazioni di posa del rivestimento provvisorio si è reso necessario l'impiego di fluidi di perforazione per il raffreddamento del tagliente (scarpa) e l'asportazione del detrito: a tale scopo si è impiegata circolazione diretta di acqua chiara.

Nelle foto 2 e 3 si riportano le riprese fotografiche delle cassette con i campioni prelevati.



**Foto 2** – Casette catalogatrici con le carote prelevate in S1

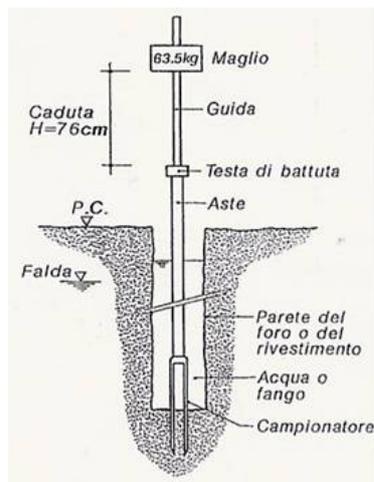


**Foto 3** – Casette catalogatrici con le carote prelevate in S2

Nei fori di sondaggio sono state eseguite complessivamente n. 5 **prove S.P.T.** (“**Standard Penetration Test**”), alle profondità indicate in stratigrafia.

La prova è di tipo discontinuo e viene eseguita nel corso della perforazione a carotaggio continuo, interrompendo l’avanzamento del sondaggio a intervalli regolari o prestabiliti; essa consente di ottenere dati sulla consistenza e sul grado di addensamento dei terreni attraversati.

Le prove S.P.T. si effettuano tramite l’infissione, a partire dal fondo foro raggiunto, di un campionatore a parete grossa tipo Raymond (diam. 51 mm, lunghezza utile 562 mm), collegato alla sonda da una batteria di aste di dimensioni standardizzate (diam. 51 mm, peso 7.5 kg/m), per mezzo di un’apparecchiatura a percussione del peso standard di 63.5 kg con sganciamento automatico del maglio (Trip Monkey tipo Pilcon) dall’altezza prefissata di 760 mm. Il dispositivo di sollevamento è fornito dall’organo oleodinamico della sonda perforatrice.



**Figura 4** – Schema prova S.P.T.

Il campionatore viene fatto penetrare nel terreno per una profondità di 45 cm, a partire dalla quota di fondo foro (eventualmente ripulito tramite apposita manovra), rilevando il numero di colpi (N) necessari per la penetrazione di ciascun intervallo di 15 cm. Il valore di  $N_{SPT}$  è ottenuto sommando i colpi necessari per il 2° e 3° tratto. La prova viene sospesa ogni qualvolta il numero di colpi N, per un tratto di 15 cm, supera il valore di 50, annotando in tal caso il rifiuto alla penetrazione e registrando l’infissione in centimetri ottenuta con 50 colpi.

Nei casi in cui non vi è pericolo di repentino collasso del foro, la prova viene eseguita immediatamente dopo la manovra di carotaggio e prima della manovra di rivestimento, per evitare disturbi al terreno, previa verifica della quota del fondo foro.

In accordo con le Raccomandazioni AGI (1977), per l'esecuzione delle prove SPT nei terreni clastici grossolani si è utilizzato il campionatore Raymond corredato di una scarpa a punta chiusa con angolo di apertura standard di 60°.

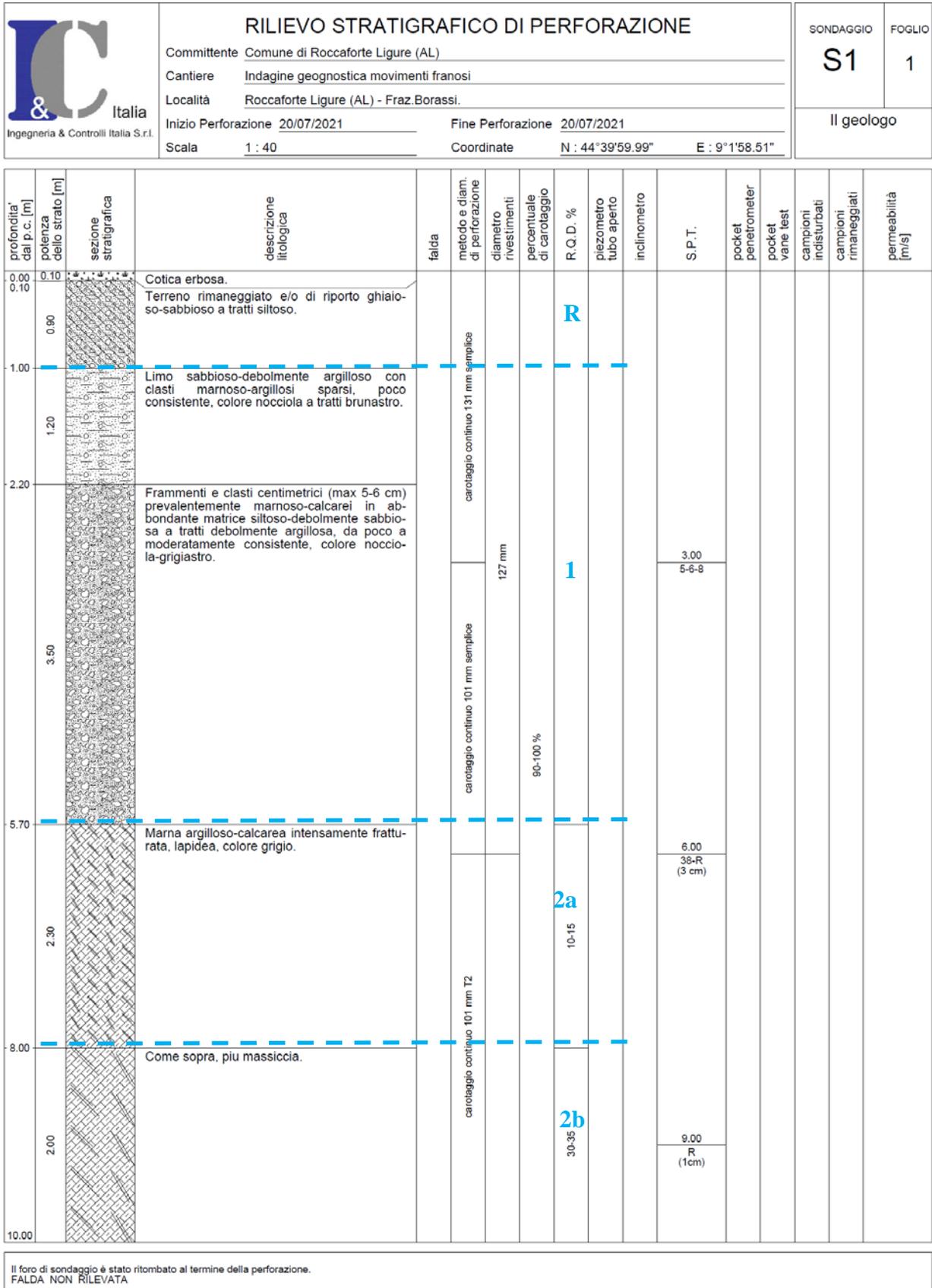
### **1.2.2 Assetto litostratigrafico locale**

Le indagini dirette, eseguite a partire dal piano di campagna, hanno evidenziato, al di sotto di una coltre di riporto antropico (circa 1 m in S1, nel settore Est, e 1.60 m in S2, nel settore Ovest dell'abitato), la presenza di materiali clastici di copertura riconducibili a depositi gravitativi e di versante: si tratta di limo sabbioso-argilloso con clasti marnosi sparsi, di origine eluvio-colluviale che, in S1 ricopre un livello di frammenti e clasti rocciosi in matrice limoso-argillosa a tratti abbondante e/o prevalente, di moderata o scarsa consistenza, di colore nocciola-grigiastro screziato per fenomeni di ossidazione.

A partire da - 5.70 m in S1 (zona Est) e a -3.50 m in S2 (Zona Ovest) si rinvennero argilliti marnose e marne argilloso-calcaree delle formazioni marine mesozoiche, costituenti il substrato; nel tratto iniziale il materiale è alterato e intensamente fratturato, per evidenti fenomeni di detensionamento e rammollimento, di scarsa o moderata consistenza. Le proprietà geomeccaniche del litotipo crescono al crescere della profondità. Tali sedimenti sono ascrivibili alle torbiditi della formazione di Bruggi-Selvapiana del Maastrichtiano.



**Figura 5 – Ubicazione dei sondaggi geognostici**



**Figura 6a** – Certificato stratigrafico dell'indagine eseguita a Est del concentrico

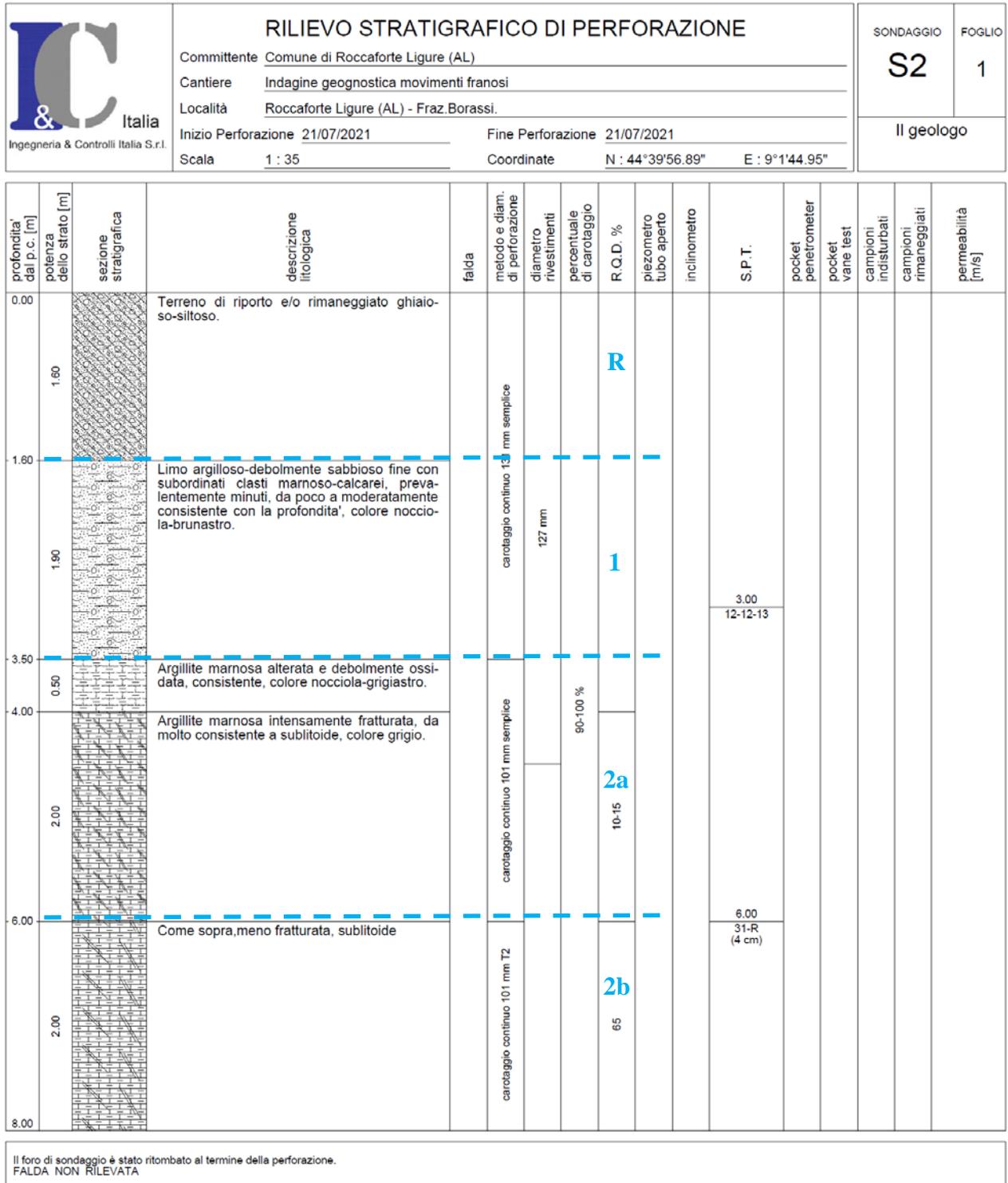


Figura 6b – Certificato stratigrafico dell'indagine eseguita a Ovest del concentrico

### **1.2.3 Condizioni idrogeologiche**

Dal punto di vista idrogeologico, le condizioni granulometriche delle coperture recenti inducono a considerare la presenza di falde idriche di tipo freatico. Le caratteristiche stratigrafiche dei litotipi sono favorevoli ad una bassa conducibilità idraulica dei terreni.

Le indagini non hanno rilevato presenza di falda idrica, in assenza di strumentazione piezometrica. Trattandosi di un completamento di indagini, si può far riferimento a campagne geognostiche pregresse, che avevano rilevato presenza di falda idrica all'interno della coltre alterata del substrato o alla base della coltre detritica.

In ragione della natura dell'acquifero, è ragionevole ritenere si tratti di una falda freatica effimera, soggetta a presenza e a variazioni di soggiacenza piezometrica in funzione delle condizioni meteo-climatiche e stagionali. La potenza dell'acquifero è comunque assai modesta, dell'ordine di pochi metri, in quanto il substrato argillo-marnoso costituisce un acquiclude regionale. Non sono stati riscontrati fenomeni di risalita o di artesianesimo né evidenze di circolazione idrica secondaria nelle fratture dei litotipi del substrato.

### **1.2.4 Assetto morfologico locale e condizioni di pericolosità geomorfologica**

La Frazione Borassi si colloca in area affetta da diffusa franosità pregressa e in atto. Nel passato sono già stati realizzati diversi interventi di consolidamento e messa in sicurezza. Con il presente progetto si intende completare e intervenire su nuove aree affette da dissesto gravitativo.

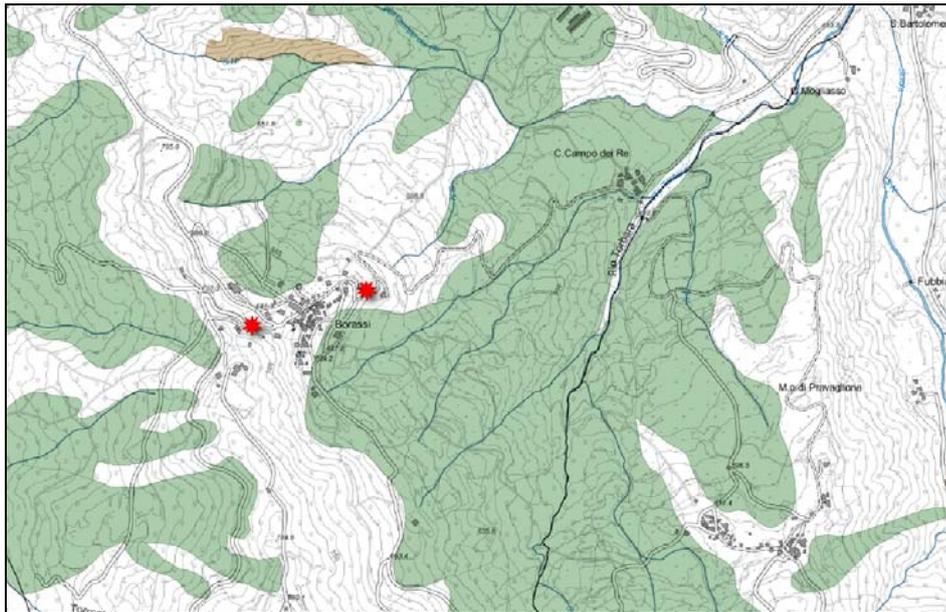
Le evidenze di dissesto si esplicano con fratture e rotazioni delle strutture esistenti, accompagnate dalla deformazione della sede stradale e da lesioni dei muro di sostegno. Il dissesto è con ogni probabilità dovuto a fenomeni di colamento lento (soil-creep) a carico dei terreni di copertura, con andamento anche pulsante in ragione delle condizioni di umidità dei materiali, la cui variabilità è legata alla periodicità stagionale e alle condizioni meteo-climatiche locali.

La presenza di una coltre alterata all'interfaccia copertura-substrato, costituita da materiali argillosi saturi e plastici, favorisce l'instaurarsi di movimenti e dissesti, anche di tipo verticale per potenziali fenomeni di rigonfiamento in funzione dell'andamento della soggiacenza piezometrica della falda idrica e delle conseguenti condizioni di saturazione dei litotipi.

Arpa Piemonte non gestisce gli strumenti inclinometrici installati in località Borassi. Le prime misure strumentali, risalenti al 2004, non rilevano movimenti degni di nota, se si esclude un accenno di

movimento a carico di una verticale, a profondità compatibile con l'interfaccia copertura-substrato, a conferma dell'ipotesi di meccanismo di colamento lento per creep superficiale.

L'area indagata a E dell'abitato (S1), dove peraltro è presente materiale detritico grossolano ascrivibile ad accumulo di versante, ricade in area di frana attiva censita dal PAI, mentre non risultano frane censite dal Sifrap nei punti di indagine (figg 7).



**Figura 7a - Schema dei dissesti**  
*Il retino verde indica i colamenti lenti del SIFRAP*



**Figura 7b - Schema dei dissesti**  
*Il tratteggio obliquo indica le frane attive censite dal PAI. Il retino rosso indica le aree a pericolosità elevata.*

## 1.3 MODELLO GEOLOGICO

### 1.3.1 Profilo litostratigrafico del terreno indagato

Le indagini appositamente eseguite e le indicazioni bibliografiche consentono la ricostruzione del modello geologico del terreno di fondazione delle aree in oggetto.

La successione stratigrafica è costituita da sedimenti terrigeni di origine continentale legati a depositi gravitativi di versante che poggiano sui sedimenti mesozoici marini di natura prevalentemente marnoso-argillosa.

- Livello litologico “R” – Nel primo metro (S1) e 1.60 m (S2) di carotaggio è presente una coltre di terreno di riporto ghiaioso-sabbioso.
- Livello litologico n. 1 – Il terreno naturale in posto è costituito da un iniziale orizzonte clastico detritico formato da limo sabbioso-argilloso con clasti marnoso-argillosi, poco consistente, di colore nocciola-brunastro, di origine eluvio-colluviale; in S1 (settore E, a valle dell’abitato) segue un orizzonte clastico dato da frammenti rocciosi di marna calcarea in abbondante matrice siltosa, da poco a moderatamente consistente, in genere ossidata, ascrivibile a depositi di versante. La potenza è variabile da circa 2 m in S2 (zona Ovest) a – 4.7 m in S1 (zona Est).
- Livello litologico n. 2 - A partire da -5.70 m da p.c. in S1 e da -3.50 m da p.c. in S2 si rinviene il substrato marino mesozoico, costituito da argillite marnosa e marna argilloso-calcarea, in genere alterata, fogliettata e fratturata nella parte corticale, di colore grigio (nocciola nella parte ossidata superficiale). Il substrato litoide e relativamente meno fratturato si rinviene a partire da – 8 m in S1 (zona E, a valle dell’abitato) e da – 6 m in S2 (zona W, a monte dell’abitato).

Le indagini non hanno intercettato manifestazioni idriche sotterranee. Tuttavia è lecito attendersi presenza di falda idrica, probabilmente di tipo effimero a regine stagionale e/o in funzione delle condizioni meteorologiche, all’interfaccia copertura/substrato con oscillazioni al massimo di qualche metro. Ai fini del presente lavoro si assume cautelativamente una soggiacenza pari a -2 m da p.c.. Non risultano falde in pressione o circolazione idrica secondaria nelle fratture del substrato.

Il modello geologico qui ricostruito e schematizzato direttamente sui certificati stratigrafici di figg. 6 potrà servire per le verifiche progettuali. Il modello è limitato alla ricostruzione stratigrafica del sedime di fondazione.

## 2. RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

### 2.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI LITOTIPI

La modellazione geotecnica corrisponde in buona sostanza alla modellazione geologica, rappresentata in figg. 6. Oltre alla coltre di riporto, si distinguono pertanto n. 2 unità geotecniche. In ragione del diverso comportamento geomeccanico, in sede geotecnica il livello 2 del substrato verrà suddiviso in 2 sottounità.

#### 2.1.1 Profilo geomeccanico del terreno indagato

Il profilo geomeccanico è ricavato dalla distribuzione dei valori normalizzati di  $N_{SPT}$  e dalla descrizione stratigrafica; esso risulta coincidere sostanzialmente con il modello geologico.

In accordo con la letteratura tecnica, i valori di  $N_{SPT}$  sono stati normalizzati, al fine di tenere conto dell'influenza della pressione del terreno sovrastante, tramite le correlazioni di Skempton (1985) e quella di Jamiolkowski (1985), applicando la più conservativa in funzione della profondità.

Profondità prova [m]		$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_{SPT}$	$N_{(1),60}$
S1 (Est)	3.00	5	6	8	<b>14</b>	<b>14</b>
	6.00	38	Rif.		<b>88</b>	<b>87</b>
	9.00	Rif.			<b>100</b>	<b>95</b>
S2 (Ovest)	3.00	12	12	13	<b>25</b>	<b>24</b>
	6.00	31	Rif.		<b>81</b>	<b>80</b>

#### 2.1.2 Determinazione delle proprietà indice

In considerazione della natura e consistenza e delle condizioni idrogeologiche dei materiali presenti, di natura clastica grossolana, la caratterizzazione prevede la stima dei parametri geotecnici in condizioni drenate (in termini di tensioni efficaci, secondo Terzaghi, 1936), nell'ipotesi questa che i tempi di dissipazione delle pressioni interstiziali indotte dall'applicazione dei carichi siano brevi, nel qual caso si assume nullo il valore della coesione drenata ( $c' = 0$  kPa). In presenza di terreni coesivi, si procede anche alla stima dei parametri in condizioni non drenate (in termini di tensioni totali, secondo Terzaghi, 1936), particolarmente validi per il substrato.

**Nota preliminare:** Ai sensi delle NTC - D.M. 17 gennaio 2018, i parametri geotecnici nel seguito individuati sono da ritenersi come valori intrinseci caratteristici e verranno pertanto identificati con il pedice "k".

In accordo alle NTC18 (§ 6.2.2), “per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato”. Secondo il codice europeo (EC7, punto 2.4.5.2) “il valore caratteristico dovrebbe essere ricavato in maniera tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%”. Pertanto nel presente lavoro, per i valori caratteristici nel seguito indicati, la stima cautelativa consiste nel 5° o nel 95° percentile del valore medio o della mediana del campione. Infatti, a seconda delle verifiche, ciascun parametro riveste un ruolo a favore o a sfavore di sicurezza e dovrà essere impiegato il valore cautelativo probabilistico più opportuno.

Sotto il profilo procedurale, per ciascun parametro si è provveduto a ricavare i valori tramite le correlazioni indicate nei successivi paragrafi, utilizzando qualora possibile più metodi proposti da autori diversi. Dopo aver criticamente escluso eventuali valori anomali, i dati di ciascuna unità geotecnica sono stati trattati con metodi statistici al fine di ottenere il parametro caratteristico rappresentativo nel seguito riportato. Nel caso in esame, il trattamento statistico è stato condotto in termini di assenza di compensazione strutturale, vale a dire per deformazioni del terreno su piccoli volumi, valido per fondazioni isolate dirette e per fondazioni indirette.

Alcune normative, quali la norvegese (NORSOK standard N001), esplicitano le differenze tra grandi e piccoli volumi significativi: il valore caratteristico deve essere scelto in modo che la probabilità di incidenza del valore meno favorevole sia bassa. Quando uno stato limite è governato da un grande volume di terreno, l’incidenza è minore e viceversa. Secondo la teoria dei campi aleatori, i parametri geomeccanici presentano fluttuazioni periodiche nei loro valori, nel verso verticale e nel verso orizzontale. Più sono grandi le dimensioni entro le quali i parametri sono mediati, più le fluttuazioni attorno al trend tendono a cancellarsi nel calcolo della media spaziale (Nadim e Lacasse, 1996). Pertanto, il trattamento statistico per piccoli volumi di deformazione risulta maggiormente conservativo.

Per completezza di informazione, si fornisce anche il valore nominale, che corrisponde al valore medio o medio ponderato dei dati ricavati mediante le diverse correlazioni.

### ***Parametri fisici caratteristici***

Il peso dell’unità di volume totale del terreno  $g$  è stimato indirettamente utilizzando la carta di classificazione proposta dal NAVFAC DM-7 (1971) e le correlazioni di Brinkgreve et al. (2010) e di Terzaghi e Peck (1948).

La densità relativa  $DR$  è stata calcolata a partire dalle prove SPT con le correlazioni di Gibbs & Holtz (1957) e di Meyerhof (1957), mediando poi i risultati.

### ***Parametri di resistenza***

L'angolo di resistenza a taglio di picco  $\varphi'_p$  delle sabbie e delle ghiaie è stato stimato a partire dai valori normalizzati di NSPT applicando diverse correlazioni: NAVFAC DM-7 (1971), Schmertmann (1978), Wolff (1989), Kleven et al (1986), Hatanaka & Uchida (1996), Kulhawy e Mayne (1990), Puech e Foray (2002), Roccaforte e Cucinotta (2015), del JRA - Japan Road Association (1996) e della Road Bridge Specification, mediando infine i risultati. Al fine della determinazione, si sono scartati i valori che si discostano maggiormente dalla media.

Per la valutazione dell'angolo di resistenza a taglio residuo  $\varphi'_{cv}$  si è fatto ricorso alla correlazione di Bolton (1986) sulla base del valore adottato di  $\varphi'_p$ .

La coesione drenata  $c'$  in termini di tensioni efficaci, per quanto precedentemente espresso, quando non determinata direttamente in laboratorio, è sempre assunta pari a zero.

La coesione non drenata  $c_u$  viene stimata indirettamente da  $N_{SPT}$  tramite le formule di Terzaghi e Peck (1948), di Stroud (1974), di Bruschi (2004), di Sivrikaya e Togrol (2006) e di Roccaforte e Cucinotta (2015), mediando i risultati.

### ***Parametri di deformabilità***

Il modulo di Young  $E'$  in condizioni drenate viene stimato indirettamente dal valore corrispondente di NSPT mediante le correlazioni proposte da Denver (1982).

$$E' = s_1 \cdot N_{SPT} + s_2$$

Per la determinazione di  $s_1$  e  $s_2$  si ricorre alle indicazioni bibliografiche: Webb (1970) propone nel caso di sabbia argillosa  $s_1 = 0.316$  MPa e  $s_2 = 1.58$ .

Il modulo elastico di Young  $E_u$  in condizioni non drenate viene stimato indirettamente dal valore di  $c_u$  mediante le correlazioni proposte da Duncan e Buchigani 1976, da Ladd et al. (1977), Ohya et al. (1982) e da Stroud (1989), mediando poi criticamente i risultati.

Per i moduli di deformazione, utili per la stima dei cedimenti differenziali, si procede alla determinazione statistica del 5° e del 95° percentile, al fine di fornire il *range* di variabilità massima in termini cautelativi ai sensi delle NTC18. Il valore normalizzato di  $N_{SPT}$  corrispondente, assunto come valore indice massimo e minimo per ciascuna UG, viene nel seguito indicato come valore caratteristico derivato dai metodi statistici precedentemente illustrati.

Il coefficiente di Poisson  $\nu$  è stato stimato in riferimento alle indicazioni disponibili in letteratura tecnica (Cestelli-Guidi, Bowles), in funzione della litologia e dell'angolo di resistenza a taglio di picco.

Il modulo di Winkler  $K_s$  viene stimato in via preliminare ed approssimata in funzione del valore di resistenza penetrometrica  $N_{SPT}$  tramite l'abaco di Terzaghi (1955) per le sabbie umide.

### 2.1.3 Caratterizzazione delle unità geotecniche omogenee

#### *Valori nominali*

LIVELLO GEOTECNICO	Profondità letto del livello [m]	Tensioni efficaci								Tensioni totali			Costante di Winkler orizzontale [kg/cm <sup>3</sup> ]
		Indice SPT [colpi/ piede]	Peso dell'unità di volume totale [kN/m <sup>3</sup> ]		Coefficiente di Poisson $\nu$	Densità relativa $D_R$	Angolo di resistenza a taglio di picco $\varphi'$	Angolo di resistenza a volume costante $\varphi'_{cv}$	Coesione drenata $c'$	Modulo di Young in condizioni drenate $E'$	Coesione non drenata $C_u$	Modulo di Young in condizioni non drenate $E_u$	
			secco $\gamma$	saturo $\gamma_{sat}$									
<b>1</b>	6	19	15	20	0.30	80	35	26	0	8.2	114	11.8	2.7
<b>2a</b>	9	84	19	22	0.20	100	48	32	0	30.3	475	514	>40

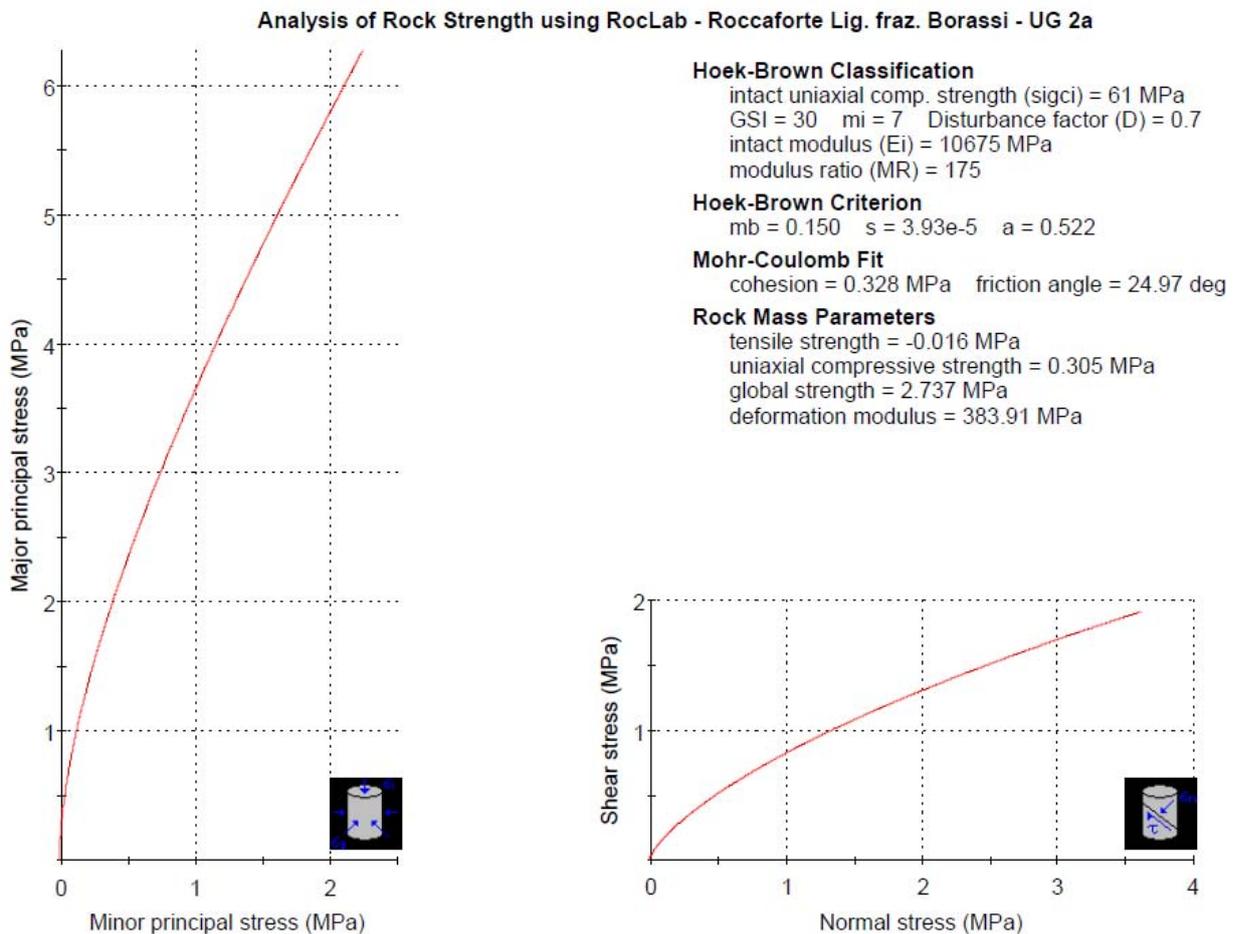
#### *Valori caratteristici*

LIVELLO GEOTECNICO	Profondità letto del livello [m]	Tensioni efficaci								Tensioni totali			Costante di Winkler orizzontale [kg/cm <sup>3</sup> ]	
		Indice SPT [colpi/ piede]		Coefficiente di Poisson $\nu^{(k)}$	Densità relativa $D_R^{(k)}$	Angolo di resistenza a taglio di picco $\varphi'^{(k)}$	Angolo di resistenza a volume costante $\varphi'_{cv}{}^{(k)}$	Coesione drenata $c'^{(k)}$	Modulo di Young in condizioni drenate $E'^{(k)}$ max min	Coesione non drenata $C_u^{(k)}$	Modulo di Young in condizioni non drenate $E_u^{(k)}$ max min			
		$N_{(1),60}$ max	$N_{(1),60}$ min											
<b>1</b>	6	22	16	0.34	63	29	22	0	12.8	4.9	60	184	70	2.6
<b>2a</b>	9	97	70	0.24	100	43	28	0	47.1	17.9	325	798	304	37.3

## 2.1.4 Caratterizzazione dell'ammasso roccioso (Hoek-Brown)

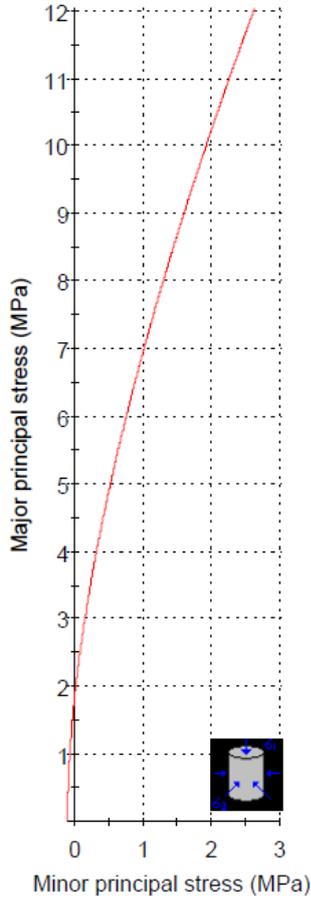
Per completezza di informazione, si riporta la caratterizzazione del substrato calcareo-marnoso in termini di ammasso roccioso utilizzando il criterio di rottura di Hoek-Brown, evidenziando che si tratta di una rappresentazione media indicativa valida per la UG2 estesa al volume indagato. Come da modellazione, si distingueranno le porzioni superficiali fratturate e alterate da quelle più massive poste in profondità.

### UG2a: substrato litoide alterato e fratturato



**UG2a: substrato litoide alterato e fratturato**

**Analysis of Rock Strength using RocLab - Roccaforte Lig. fraz. Borassi - UG 2b**



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 75 MPa  
 GSI = 50  $m_i$  = 7 Disturbance factor (D) = 0.7  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 13125 MPa  
 modulus ratio (MR) = 175

**Hoek-Brown Criterion**

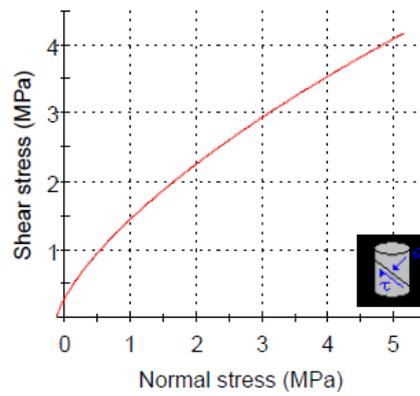
$m_b$  = 0.449  $s$  = 0.0007  $a$  = 0.506

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.721 MPa friction angle = 35.35 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.119 MPa  
 uniaxial compressive strength = 1.921 MPa  
 global strength = 6.647 MPa  
 deformation modulus = 1408.07 MPa



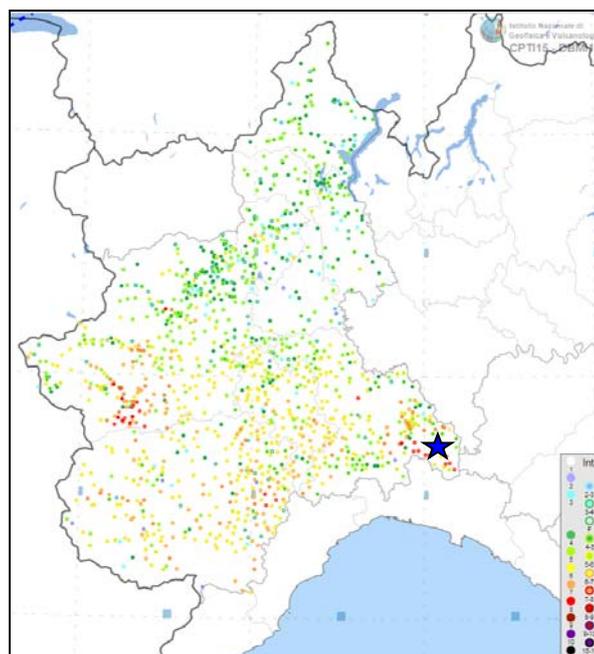
## 2.2 INQUADRAMENTO SISMICO

### 2.2.1 Inquadramento sismico regionale

Il territorio piemontese è circondato lungo i confini settentrionali, occidentali e meridionali dai rilievi montuosi del sistema alpino occidentale, catena collisionale originatasi a partire dal Cretaceo per lo scontro fra le placche Europea ed Adriatica. Il contesto tettonico e i regimi geodinamici attivi portano la regione ad essere sede di attività sismica, generalmente modesta dal punto di vista energetico ma notevole. Una diffusa sismicità è presente lungo i rilievi a sud del Piemonte e in particolare nell'Appennino settentrionale, nelle zone sud-orientali della regione.

I terremoti che interessano il territorio piemontese avvengono generalmente a profondità superficiali, prevalentemente entro 20 km dalla superficie, sebbene si rilevino alcuni eventi con maggiori profondità ipocentrali, in relazione a porzioni litosferiche in subduzione.

Dai dati del Catalogo Parametrico dei Terremoti in Italia (CPT15) emerge che i due massimi eventi registrati in regione sono quello del 9 ottobre 1828 tra Val Curone e Valle Staffora e quello del 2 aprile 1808 nel Pinerolese, con rispettiva magnitudo stimata pari a circa 5.8 e 5.7  $M_w$ . Sismi di magnitudo maggiore sono avvenuti a relativamente breve distanza dai confini regionali, tali da produrre effetti apprezzabili anche in Piemonte: si ricorda in particolare l'evento del 23 febbraio del 1887 nei pressi della costa ligure occidentale, a meno di 50 km dai confini piemontesi, di magnitudo stimata pari a 7.0  $M_w$ .



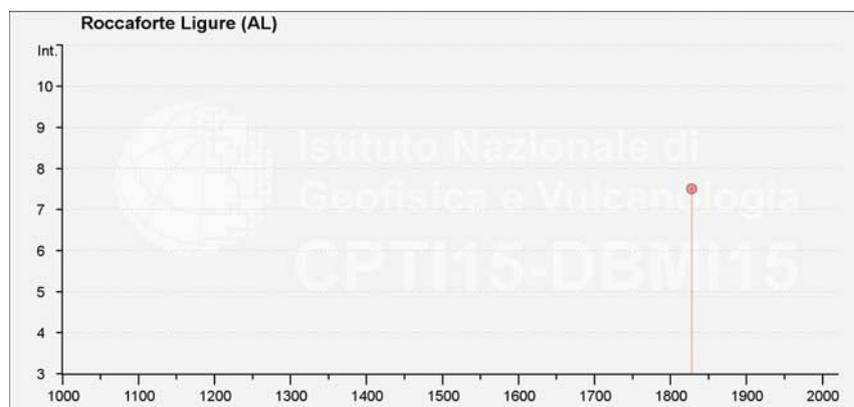
**Figura 8** – Sismicità storica del Piemonte (dal catalogo parametrico CPT15)

### 2.2.2 Sismicità storica

Il Comune di Roccaforte Ligure si colloca in una zona a sismicità bassa. La sismicità storica è desumibile dal DBMI15 (Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPT15), pubblicato dall'INGV. Nella fig. 8 sono evidenziati gli epicentri dei terremoti più significativi.

La tabella seguente riporta gli eventi sismici più significativi (dal Database Macrosismico Italiano dell'INGV, versione DBMI15, Luglio 2016), dove Is è l'intensità al sito (MCS), Io è l'intensità epicentrale (MCS) e Mw è la magnitudo momento del terremoto.

File downloaded from CPT15 - DBMI15					
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015					
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia					
Seismic history of		Roccaforte Ligure			
No. of reported earthquakes		4			
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7-8	1828 10 09 02 20	Oltrepò Pavese	110	8	5,72
NF	2002 11 13 10 48 03.19	Franciacorta	768	5	4,21
NF	2005 04 13 18 46 07.69	Valle del Trebbia	163	4	3,68
NF	2005 04 18 10 59 18.56	Valle del Trebbia	284	4	3,97

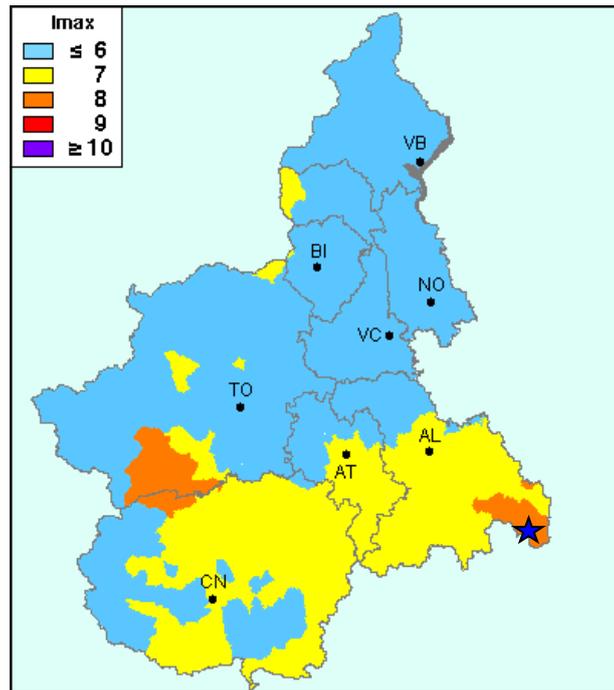


**Figura 9** – Sismicità storica di Roccaforte Ligure (da INGV CPT15 e DBMI15)

### 2.2.3 Sismicità locale

#### **Massima intensità macrosismica**

La massima intensità macrosismica per il Comune di Roccaforte Ligure, secondo le tabelle pubblicate dall'INGV, è uguale al grado 8 MCS (fig. 10).



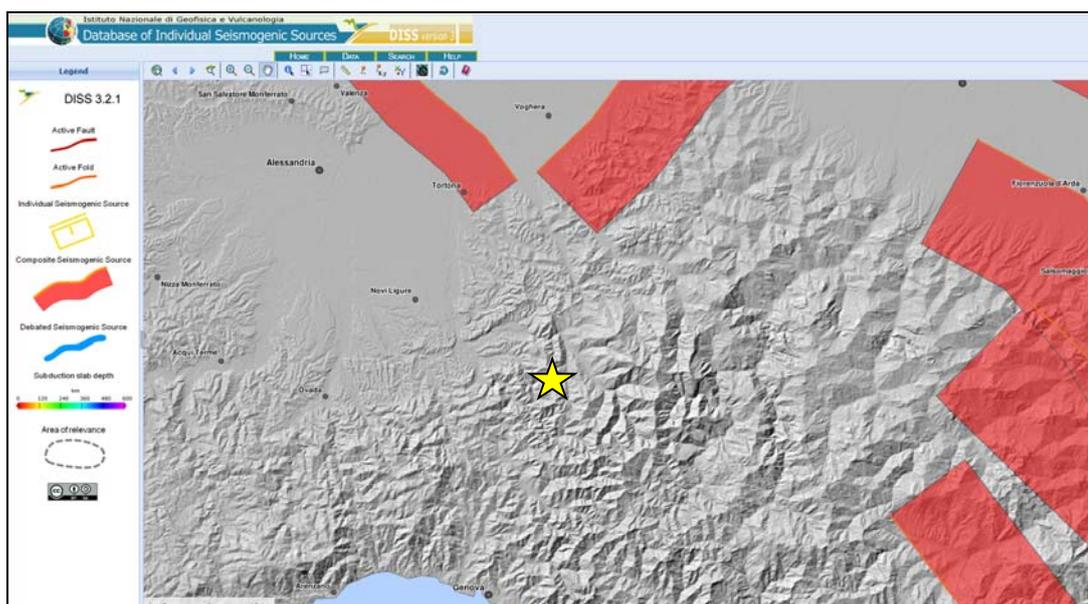
**Figura 10** – Massima intensità macrosismica per il Piemonte (Da INGV)

### Zonazione sismogenetica

Secondo la Zonazione Sismogenetica S9 dell’INGV, ogni zona sorgente è definita come possibile sorgente di terremoti di magnitudo maggiore di 5. Il Comune di Roccaforte Ligure si colloca in area esterna alla zone sismogenetiche individuate.

Anche in riferimento al database DISS, versione 3.2.1 pubblicato dall’INGV il 28/04/2018, la Frazione Borassi in esame si trova in area esterna a zone sismogeniche attive, ponendosi a distanza di circa 25 km a SE della sorgente sismogenica ITCS180 – Eastern Monferrato (corrispondente alla estrema porzione occidentale della struttura nota come “Arco del Monferrato”) e a circa 21 km a S della sorgente sismogenica ITCS018 – Rivanazzano-Stradella, caratterizzate dai seguenti parametri:

DISS 3.2.1		
Seismogenic Source	ITCS180 Eastern Monferrato	ITCS018 Rivanazzano- Stradella
	Parameter	Parameter
Min Depth (km)	1.0	2.0
Max Depth (km)	8.0	8.0
Strike (deg)	115 - 150	30 – 50
Dip (deg)	40 – 50	20 – 45
Rake (deg)	80 – 120	60 – 90
Slip Rate (mm/y)	0.1 – 0.5	0.2 – 20.54
Max Magnitude (Mw)	5.5	5.5



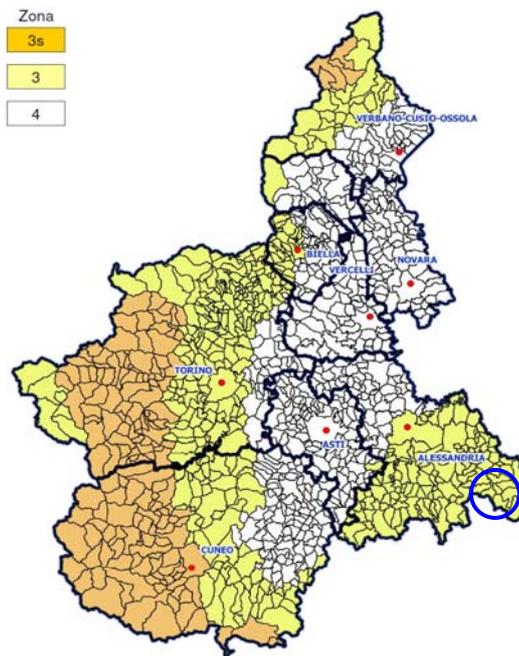
**Figura 11** – Estratto del DISS, zone sismogeniche (l’asterisco giallo indica il sito in oggetto)

Infine, dalla consultazione del database delle faglie capaci del progetto ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults), riportato sul portale cartografico SGI di ISPRA, nell’intorno significativo del sito in oggetto non risulta la presenza di faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.

### **2.2.4 Pericolosità sismica di base**

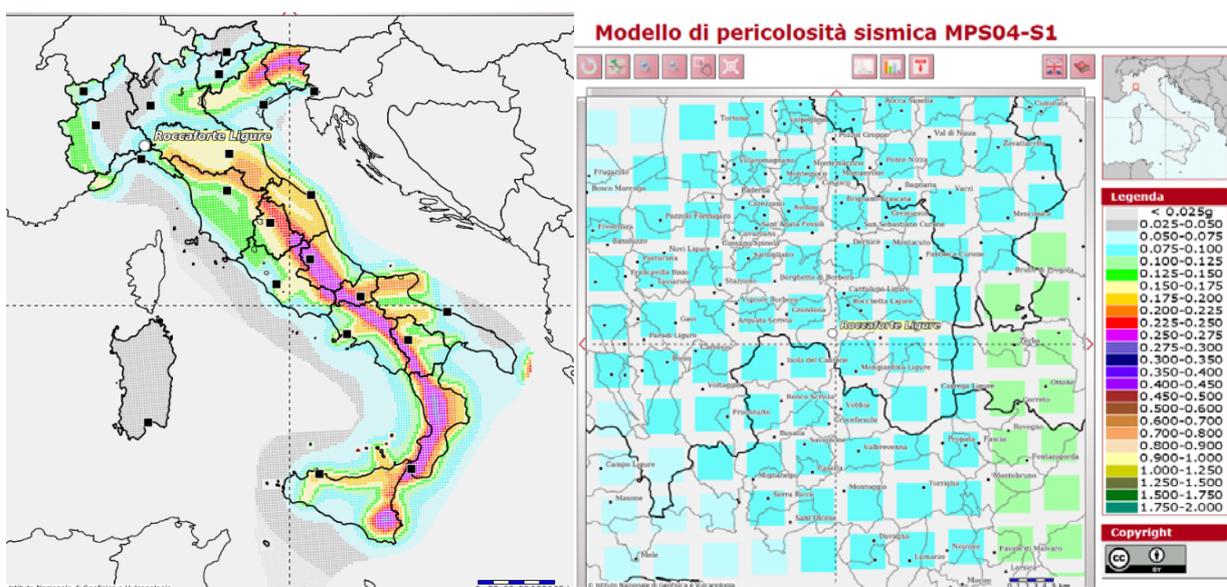
Ai sensi dell’O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i., il territorio del Comune di Roccaforte Ligure era stato classificato in zona 4, caratterizzata da valori di accelerazione orizzontale massima su suolo rigido  $a_{g(max)} = 0.15$  g. A seguito della riclassificazione sismica con D.G.R. 19 gennaio 2010, n. 11-13058 e relativi aggiornamenti di cui alle D.G.R. n. 4-3084 del 12 dicembre 2011 e D.G.R. n. 65-7656 del 21 maggio 2014, il Comune di Roccaforte Ligure ha mantenuto la medesima assegnazione. Sulla base della nuova classificazione, di cui alla D.G.R. n. 6-887 del 30/12/2019, il Comune di Roccaforte Ligure ha conservato l’attribuzione alla zona 3 (fig. 12).

Ai sensi delle vigenti NTC18, la stima della pericolosità sismica (intesa in termini di azione sismica di riferimento per la progettazione - paragrafo 3.2.3) viene definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dal progetto S1-INGV ai sensi dell’OPCM n. 3519 del 28 Aprile 2006. Viene pertanto superato il concetto di sismicità di area in favore della sismicità di sito, intesa come risposta sismica locale, che verrà pertanto nel seguito analizzata.



**Figura 12** – Classificazione sismica (fonte: Regione Piemonte)

La stima del rischio sismico, infatti, tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espressa in termini probabilistici. La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90% di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni (fig. 13).



**Figura 13** - Carta di pericolosità sismica espressa in accelerazione orizzontale di picco PGA con periodo di ritorno di 475 anni (pari alla probabilità di non eccedenza del 90% in 50 anni)

Come definito dal § 3.2.3 NTC18 le accelerazioni di riferimento su suolo rigido (intensità dell'azione sismica, intesa come stato limite sismico probabilistico per determinati periodi di riferimento  $T_R$ ), sono calcolate sulla base della carta di rischio dell'INGV e variano secondo le coordinate del sito, in funzione di punti di ancoraggio nodali costituenti un reticolo di riferimento (cfr. fig. 14), i cui valori sono riportati nella tabella 1 allegata alle NTC08 e richiamata dalle NTC18.

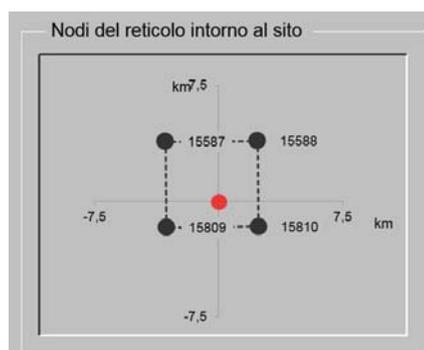
Assumendo le coordinate medie di Frazione Borassi, valide per entrambi i siti (coordinate ED50 – conforme al sistema adottato dall'INGV):

Longitudine: E 9,032; Latitudine: N 44.667

da cui si ricavano gli spettri di risposta riportati nella figura 15. Per comodità di lettura, si riportano nella seguente tabella i parametri sismici per i vari  $T_R$  assegnati (tempi di ritorno, funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento), dove:

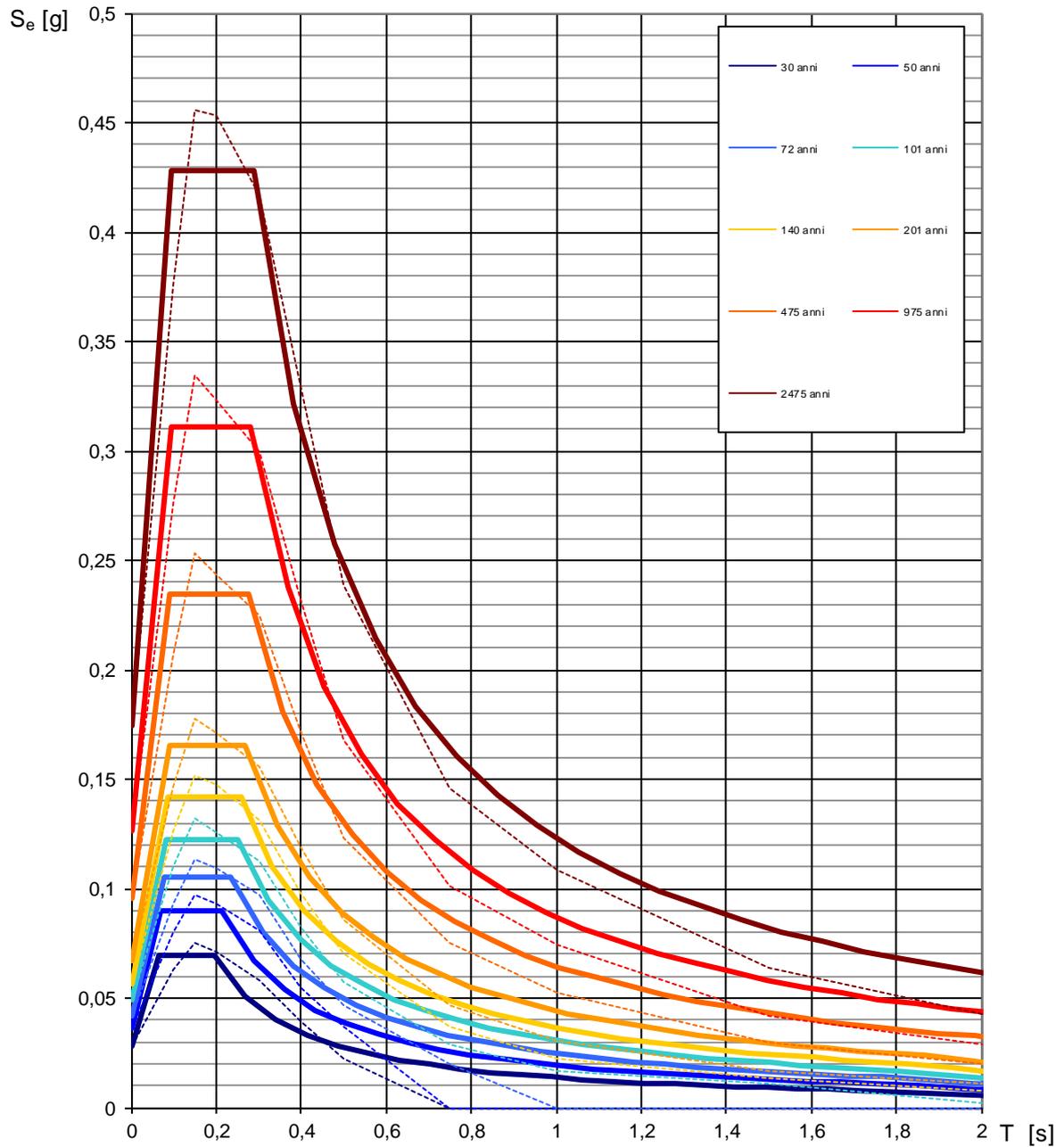
- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito, equivalente al valore dello spettro elastico corrispondente al periodo zero, ossia  $Se[g]$  con  $T=0$ , e rappresenta la pericolosità sismica di base ai sensi della normativa vigente;
- $F_o$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,028	2,475	0,197
50	0,036	2,513	0,215
72	0,042	2,510	0,236
101	0,050	2,472	0,250
140	0,057	2,491	0,258
201	0,067	2,472	0,268
475	0,096	2,448	0,276
975	0,127	2,460	0,280
2475	0,174	2,461	0,287



**Figura 14** – Nodi del reticolo NTC08 attorno al sito

## Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**Figura 15** – Spettri elastici di riferimento su suolo rigido per il sito in esame

## 2.3 RISULTATI DELLE INDAGINI E MODELLAZIONE SISMICA LOCALE

### 2.3.1 Pericolosità sismica locale

#### *Definizione della categoria di sottosuolo*

Con riferimento agli effetti locali, ai sensi del paragrafo 3.2.2 delle NTC18, la definizione dell'azione sismica di progetto si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II delle NTC18, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

La classificazione del sottosuolo si effettua pertanto in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), in funzione profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto assumendo la profondità del substrato pari a 30 m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Facendo riferimento a pregresse indagini, ricorrendo all'approccio semplificato di analisi di risposta sismica locale, ai sensi della tabella 3.2.II delle NTC18, per il **sito Est** a valle dell'abitato si può ragionevolmente assumere la **categoria E**:

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

Invece per il **sito Ovest** a monte dell'abitato è possibile attribuire il terreno nella **categoria B**:

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

#### *Definizione dell'amplificazione topografica*

Borassi si colloca in un'area montana. La pendenza media del versante è dell'ordine del 20-22%, cui corrisponde un'inclinazione di circa 12°. A livello locale, i siti si pongono in corrispondenza di un modesto cambio di pendenza e l'acclività è anche minore. Si può dunque ragionevolmente assumere la

categoria topografica T1: “Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ” (Tab. 3.2.III delle NTC18).

### **2.3.2 Accelerazione massima attesa in superficie**

Ai fini della valutazione del potenziale di instabilità, oltre alla stima della magnitudo occorre anche determinare il valore di  $a_{g (max)}$  (accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field*, equivalente al valore dello spettro elastico corrispondente al periodo zero, ossia  $S_e[g]$  con  $T=0$ :  $a_{g (max)} = S \cdot a_g = S_T \cdot S_s \cdot a_g$ ). Verranno quindi applicati i coefficienti  $S_s$  e  $S_T$  sulla base di quanto sopra definito:

- per un sottosuolo di riferimento di categoria B si assume cautelativamente un valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1.20$  (cfr. tabella 3.2.IV delle NTC18);
- per un sottosuolo di riferimento di categoria E si assume cautelativamente un valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s = 1.60$  (cfr. tabella 3.2.IV delle NTC18);
- per la categoria topografica T1 (Tab. 3.2.V delle NTC18), si assume il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1.0$ .

Per la valutazione delle azioni ai diversi stati limite occorre individuare il  $V_R$  sulla base della Vita di riferimento dell’opera (§ 2.4 delle NTC18). Per opere di consolidamento di versante e strutture ordinarie, si valuteranno le azioni nelle condizioni di una costruzione rientrante nella Classe d’uso II (§ 2.4.2 delle NTC18) e per un tempo  $\geq 50$  anni di vita nominale, per la quale si assume un valore del coefficiente d’uso  $C_U$  pari a 1.0 (cfr. tabella 2.4.II delle NTC18).

Nel caso in esame si ricava:

sito Zona Est	STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_{g (max)}$ [g]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]	$a_{gv}$ [g]	$F_v$ [-]
	SLO	30	0,045	0,028	2,475	0,197	0,006	0,561
	SLD	50	0,057	0,036	2,513	0,215	0,009	0,643
	SLV	475	0,153	0,096	2,448	0,276	0,040	1,023
	SLC	975	0,202	0,127	2,460	0,280	0,061	1,181

sito Zona Ovest	STATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ (max) [g]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]	$a_{gv}$ [g]	$F_v$ [-]
	SLO	30	0,034	0,028	2,475	0,197	0,006	0,561
	SLD	50	0,043	0,036	2,513	0,215	0,009	0,643
	SLV	475	0,115	0,096	2,448	0,276	0,040	1,023
	SLC	975	0,152	0,127	2,460	0,280	0,061	1,181

dove  $a_{gv}$  è l'accelerazione al suolo (in condizioni *free-field*) della componente verticale e  $F_v$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale (§ 3.2.3.2.2 NTC18).

Il § 3.2.3.3 delle NTC18 fornisce le espressioni per calcolare i valori dello spostamento orizzontale  $d_g$  e la velocità orizzontale  $v_g$  massimi del terreno, applicando le quali si ottiene (per gli SLV):

$$\text{Zona Est} \quad \begin{aligned} d_g &= 0,040 \text{ m} \\ v_g &= 0,128 \text{ m/s} \end{aligned}$$

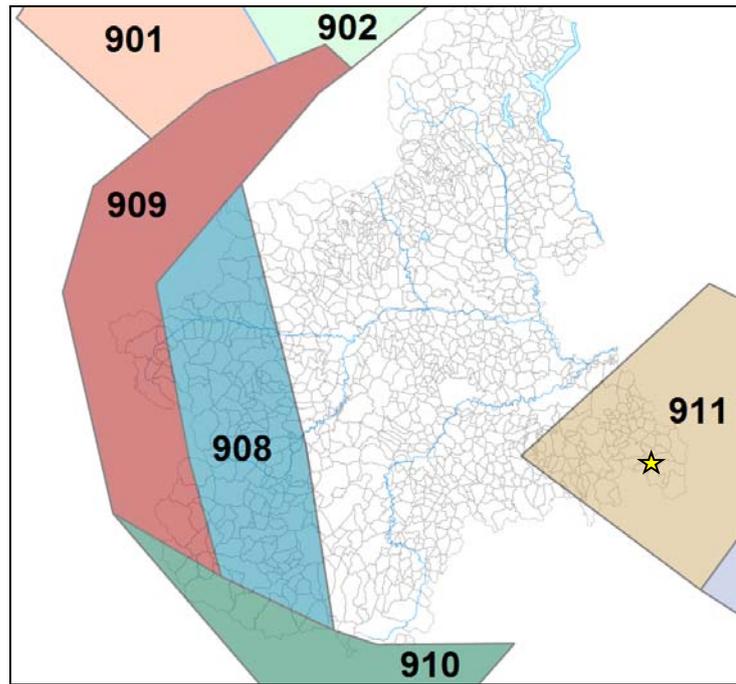
$$\text{Zona Ovest} \quad \begin{aligned} d_g &= 0,022 \text{ m} \\ v_g &= 0,071 \text{ m/s} \end{aligned}$$

### 2.3.3 Valutazione della magnitudo massima attesa

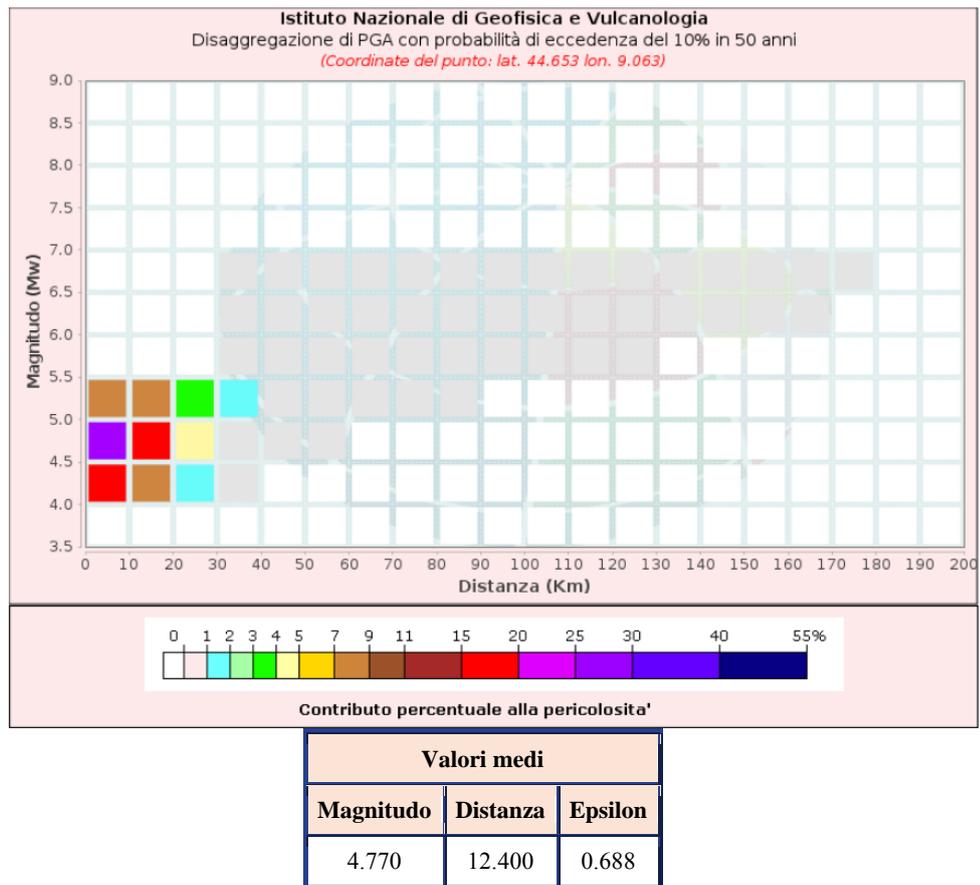
In accordo con gli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (IMCS), verrà valutata la magnitudo sulla base della zonazione sismogenetica ZS9.

Poiché il sito in esame si colloca in area interna alla zona sismogenetica ZS911 "Tortona-Bobbio" (fig. 16), caratterizzata da  $M_w(i)_{(max2)} = 6.11$ , si assume tale valore. Pertanto, applicando la procedura ICMS, si ricava che il valore di Magnitudo da applicare per le verifiche di suscettibilità alla liquefazione è pari a 6.11.

Per contro, applicando il metodo della disaggregazione, calcolata nel sito dell'INGV (fig. 17), si ricava  $M_w = 4.77$ .



**Figura 16** – Zonazione sismogenetica ZS9 per il Piemonte



**Figura 17** – Grafico di disaggregazione valido per il sito in oggetto

## 2.4 INSTABILITA' INDIRETTA

### 2.4.1 Esclusione della verifica a liquefazione

Con riferimento al p.to 7.11.3.4.2 delle NTC18 l'analisi del rischio liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze ivi previste.

- 1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;*
- 2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
- 3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
- 4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .*

Pur in assenza di prove di classificazione granulometrica in laboratorio geotecnico, la presenza di litotipi coesivi non sabbiosi induce a ritenere che sia verificata la condizione n. 4 e pertanto il terreno non è potenzialmente liquefacibile.

### 2.4.2 Rischi secondari sismoindotti

Per quanto riguarda la presenza di rischi secondari, quali ad esempio quelli derivanti da frane sismoindotte, si può far riferimento ai grafici pubblicati dal Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (TC4, 1993), che si rifanno tra gli altri agli studi condotti da Yasuda e Sugitani (1988), che correlano la franosità alla distanza e alla magnitudo dell'evento. Secondo tali studi, l'appartenenza del sito ad una zona sorgente (nella fattispecie, la zona sorgente appenninica ZS911 "Tortona-Bobbio") avente  $M=6.11$  non esclude la possibilità di innesco di frane sismoindotte. Analogamente, la combinazione  $M=5.5$  per una distanza di 21-25 km dalle zone sismogenetiche "Rivanazzano-Stradella" e "Western Piemonte" del DISS, non esclude tale rischio. Tali conclusioni sono confermate dagli studi di D'Elia (1998), che ha esaminato

le frane indotte dal terremoto umbro-marchigiano del 26/09/1997. Del resto, la letteratura tecnica tende ad escludere la possibilità di innesco di frane solo per terremoti con  $M < 5$ .

Gli interventi in progetto, che prevedono idonei sostegni e/o forme di stabilizzazione per le scarpate e di consolidamento del versante, sono finalizzati anche alla messa in sicurezza per prevenire tali fenomeni: la progettazione geotecnico-strutturale dovrà pertanto tenere in debito conto anche le sollecitazioni indotte dal sisma.



## PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

- D.M. 11.03.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Circ. Min. LL.PP. n° 97/81-30483, 24.09.88, (Presidenza Consiglio Superiore, Servizio Tecnico Centrale) Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e scarpate ...", di cui al D.M. 11.03.88.
- D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (S.O. n. 30 alla G.U. n. 29 del 04/02/2008).
- D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (S.O. n. 8 alla G.U. n. 42 del 20/02/2018).
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (S.O. n. 5 alla G.U. n. 35 del 11/02/2019).
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", (G.U. del 08/05/2003, n. 105) e s.m.i.
- O.P.C.M. n. 3431 del 03/05/05 "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici".
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", (G.U. del 11/05/06, n. 108).
- D.G.R. REGIONE PIEMONTE 19 gennaio 2010, n. 11-13058 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)", (B. U. n. 7 del 18/02/10).
- D.G.R. REGIONE PIEMONTE 12 dicembre 2011, n. 4-3084 "D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010. Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese", (B. U. n. 50 del 15/12/11).
- D.G.R. REGIONE PIEMONTE 3 febbraio 2012, n. 7-3340 "Modifiche e integrazioni alle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. n. 4-3084 del 12/12/2011".
- D.G.R. REGIONE PIEMONTE 21 maggio 2014, n. 65-7656 "Individuazione dell'ufficio tecnico regionale ai sensi del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e ulteriori modifiche e integrazioni alle procedure attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084."
- D.G.R. REGIONE PIEMONTE 30 dicembre 2019 n. 6 – 887 "OPCM 3519/2006. Presa d'atto ed approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte"
- Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E., "2011". "Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code." Bull. Seismol. Soc. Am. 101(4), 1885-1911. DOI: 10.1785/0120100130.
- Meletti, C., Montaldo, V., Stucchi, M., Martinelli, F. (2006). "Database della pericolosità sismica MPS04". Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). DOI: 10.13127/SH/MPS04/DB
- Gruppo di lavoro MS (2008). "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2020. The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics
- DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.

- *ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>*
- *Albarelo D. (2014) "Una procedura per la valutazione della magnitudo di riferimento per lo studio della liquefazione", NGTGS 2014, Sessione 2.2*
- *Legge Regionale REGIONE PIEMONTE 5 dicembre 1977, n. 56. "Tutela ed uso del suolo" (B.U. 24 dicembre 1977, n. 53) e s.m.i..*
- *Bellinzona G., Boni A., Braga G., Marchetti G.: "Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 71 Voghera", Nuova Tecnica Grafica, Roma 1971.*
- *Boni A. et al.: "Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Fogli 83 Rapallo – 94 Chiavari", Ercolano 1969.*
- *Marroni M., Ottria G., Pandolfi L.: "Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 196 Cabella Ligure" – Progetto CARG – ISPRA/ARPA Piemonte.*
- *AGI (1977) "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".*
- *Lancellotta R. (1993) "Geotecnica", II Edizione, Zanichelli - Bologna.*
- *Cestari F. (1996) "Prove geotecniche in situ", Editrice GEO-GRAPH s.n.c. – Segrate.*
- *Madiati C. (1999): "Il manuale internazionale TC4 per la zonazione dei rischi geotecnici: un esempio di applicazione al contesto italiano" In: Crespellani T. "Problemi di ingegneria geotecnica nelle aree sismiche".*
- *Tanzini M. (2002) "L'indagine geotecnica", Dario Flaccovio Editore.*
- *Corrao M, Coco G (2006) "Geofisica applicata – Elementi di geosismica e geoelettrica", Dario Flaccovio Editore.*
- *RocLab (2007) "Rock mass strength analysis using the Hoek-Brown failure criterion, User's Guide", Rocscience Inc., Toronto.*
- *J. Facciorusso, C. Madiati, G. Vannucchi (2007) "Dispense di Geotecnica" - Dipartimento di Ingegneria Civile – Sezione Geotecnica, Università degli Studi di Firenze.*
- *Nori L. (2009) "Caratterizzazione geotecnica e parametri di progetto secondo l'EC7 e il D.M. 14/01/08" 8a revisione – dispensa inedita a cura O.R.G.P..*
- *Bruschi A. (2010) "Prove geotecniche in situ", Dario Flaccovio Editore.*
- *Aiello E. (2010) "Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008): Teoria ed applicazioni nella progettazione geologica e geotecnica" - dispensa inedita a cura O.R.G.P..*
- *Madiati C. (2013) "Corso di Ingegneria Geotecnica Sismica" – dispensa inedita, Università degli Studi di Firenze*
- *Aiello E. (2014) "La verifica a liquefazione secondo le NTC 2008" – Atti del Convegno nazionale "La salvaguardia del territorio e della popolazione dal rischio sismico", San Benedetto del Tronto, a cura di Consiglio Nazionale Geologi e del Centro di GeoTecnologie dell'Università di Siena.*

#### Risorse internet webgis e WMS

- *Regione Piemonte, Settore Direzione Opere pubbliche, difesa del suolo, economia montana e foreste: WEB-GIS Difesa del Suolo – DISUW*
  - <http://www.regione.piemonte.it/disuw/main.php>
  - <http://geomap.reteunitaria.piemonte.it/>
- *ARPA Piemonte: Sistema Informatico Geografico On Line – Servizi Informativi WebGIS.*
  - [http://webgis.arpa.piemonte.it/ags101free/services/geologia\\_e\\_dissesto/SIFRAP\\_SI\\_Frane\\_Piemonte/](http://webgis.arpa.piemonte.it/ags101free/services/geologia_e_dissesto/SIFRAP_SI_Frane_Piemonte/)
- *ISPRA: "Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo (ReNDiS)" - interfaccia di navigazione ReNDiS-web*
  - <http://www.rendis.isprambiente.it/rendisweb/>
  - [http://www.geoservices.isprambiente.it/arcgis/services/IFFI/Progetto\\_IFFI\\_WMS\\_public/MapServer/](http://www.geoservices.isprambiente.it/arcgis/services/IFFI/Progetto_IFFI_WMS_public/MapServer/)
- *Ministero dell'Ambiente: "Geoportale Nazionale WMS": <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-wms/>*