

Revisione	Data	Oggetto revisione	Redatto	Redatto	Verificato	Approvato

# COMUNE DI GENOVA



**COORDINAMENTO DELLE RISORSE TECNICO OPERATIVE  
(COORDINATORE ARCH. ROBERTO TEDESCHI)**

Direttore Generale Area Arch. Laura PETACCHI

**DIREZIONE INFRASTRUTTURE E DIFESA DEL SUOLO**

Direttore Ing. Stefano PINASCO

Committente **SETTORE ATTUAZIONE OPERE IDRAULICHE**

Progetto

CAPO PROGETTO	...	RESPONSABILE UNICO PROCEDIMENTO	<b>Dott. Ing. Stefano PINASCO</b>
Progetto Architettonico	Ing. Luca De Falco Ing. Tito Sciaccaluga	Computi metrici e Capitolati	Ing. Luca De Falco Ing. Tito Sciaccaluga
Progetto Strutturale	Ing. Luca De Falco Ing. Tito Sciaccaluga	Rilievi	Rilievi forniti dal Comune di Genova
Progetto Idraulico	Ing. Luca De Falco	Coordinatore per la Sicurezza (in fase di Progettazione)	Ing. Tito Sciaccaluga
		Studi Geologici	Studio di Geologia Balbi & Muzio
Progetto e Computi Impianti	...	Relazione Paesaggistica	...
		---	---

Intervento/Opera  
**EX CASERMA GAVOGLIO: PROGETTO DELLA DEMOLIZIONE DELL'EDIFICIO "B" E DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DI UN TRATTO TOMBINATO DEL RIO LAGACCIO**

dott. **Pietro Balbi**



*Pietro Balbi*

Oggetto della tavola  
**RELAZIONE GEOLOGICA E CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI**

dott. **Giovanni Muzio**



*Giovanni Muzio*

Municipio	CENTRO EST	I
Quartiere	LAGACCIO	-
Serie tavole	...	
N° prog. tav.		N° tot. tav. -
Scala	-	Data 09/2018

Tavola N°  
**R-13**

Livello Progettazione	<b>DEFINITIVO</b>	IDRAUL. / STRUTT. / DEMOLIZ.	
Codice GULP	----	Codice PROGETTAZIONE	---
		Codice OPERA	---
		Codice ARCHIVIO	---

## SOMMARIO

	Pag.
1. PREMESSE	2
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E STATO ATTUALE	2
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
<i>Indagine di terreno</i>	7
5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	8
6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	9
<i>6.1 Caratteristiche fisiografiche, climatiche e pluviometriche dell'area</i>	9
<i>6.2 Valutazioni sulla permeabilità dei terreni e del substrato roccioso</i>	10
7. RISPOSTA SISMICA LOCALE	11
8. INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE	
GEOTECNICA	13
<i>8.1 Indagini sismiche di sottosuolo</i>	13
<u>8.1.1 Campagna di indagini effettuata – luglio 2018</u>	13
<u>8.1.2 Indagini per il progetto di riqualificazione dell'area</u>	21
<i>8.2 Caratterizzazione geotecnica dei terreni e del substrato roccioso</i>	22
9. CONCLUSIONI	23

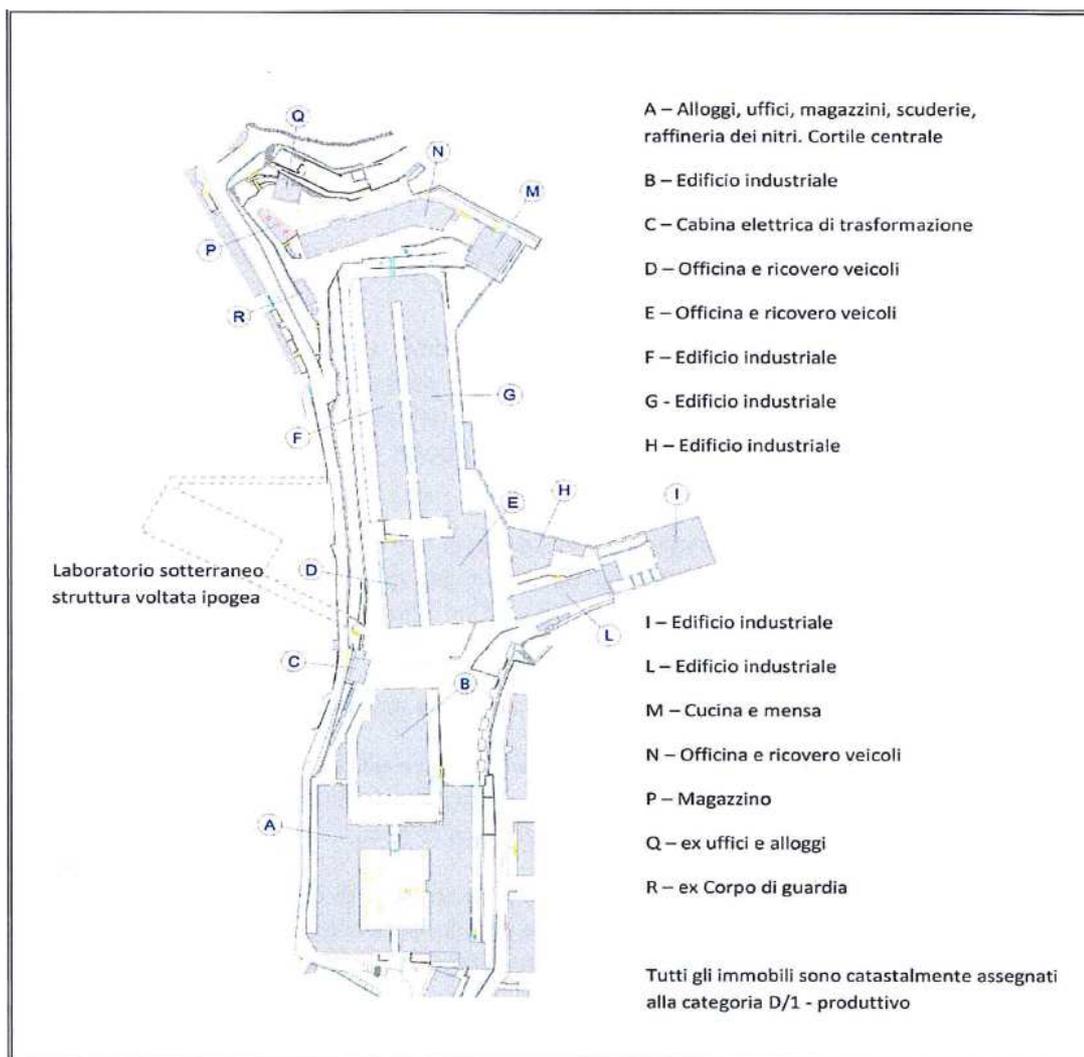
## 1. PREMESSE

In questa relazione, redatta ai sensi del D.M. 14.01.08, ci si propone di accertare le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dei terreni su cui insiste l'edificio B dell'ex caserma Gavoglio, in Via Lagaccio a Genova, e di realizzare un modello geologico del sottosuolo, in merito al progetto definitivo di demolizione dell'edificio stesso e di sistemazione idraulica del tratto tombinato del Rio Lagaccio sottostante.

La relazione è stata redatta da noi sottoscritti geologi dott. Pietro Balbi e dott. Giovanni Muzio sulla base dello studio dei dati esistenti, in seguito a rilevamenti effettuati allo scopo ed all'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche. Infine ci si è potuti avvalere dei risultati della campagna geognostica relativa al "Progetto di riqualificazione della ex Caserma Gavoglio per la realizzazione del parco urbano", a cura della dott.ssa geol. Valeria Bellini e i dati esistenti all'interno della banca dati del Comune di Genova.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E STATO ATTUALE

L'area interessata dal progetto è ubicata nel Comune a Genova, all'interno dell'area dell'ex Caserma Gavoglio, Via del Lagaccio civico 41, nel quartiere omonimo ed in particolare l'intervento di riqualificazione idraulica sarà effettuato al di sotto del sedime dell'edificio B che si trova nella parte meridionale dell'area compreso tra Salita Generale Chiodo e Salita Generale Parodi. (Figura 1)



**Figura 1: Pianta con l'ubicazione degli edifici della Caserma Gavoglio.**

Il quartiere Lagaccio prende il nome dal piccolo lago artificiale che fu realizzato nel XVI secolo per volere di Andrea Doria, sbarrando con una diga il corso del Rio S. Tomaso.

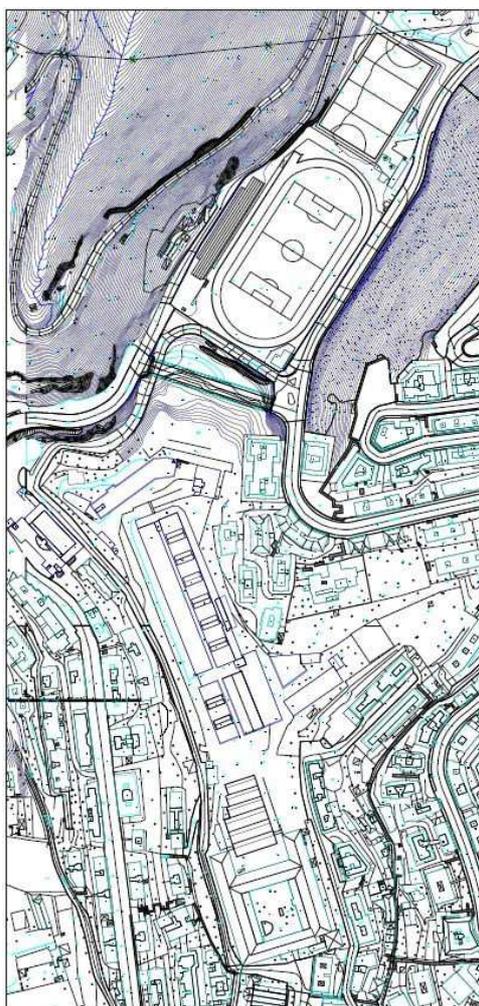
In effetti all'epoca della costruzione della sontuosa villa che si trova nei pressi dello sbocco a mare del rivo, il Principe Andrea Doria ottenne dal governo della Repubblica il diritto allo sfruttamento delle sorgenti della valle per irrigare i giardini e alimentare le fontane del parco e un lavatoio pubblico; il bacino fu pertanto realizzato intorno al 1539 e collegato al parco della villa con un acquedotto in muratura.

Altre fonti ipotizzano che il bacino sia stato realizzato nel 1652, quando nella valle fu installata una fabbrica di polveri da sparo, al fine di azionare i macchinari della stessa.

Il lago cominciò, a causa del suo aspetto tetro dovuto alle acque torbide del suo fondale, ad essere chiamato "il lagaccio", nome che con il passare del tempo prese anche il rio S. Tomaso.

In un primo momento il lago, che si estendeva per circa 500 m di lunghezza e 100 di larghezza nel punto più ampio, era molto profondo ma per il progressivo accumulo di detriti la profondità si ridusse a soli cinque metri.

Nella seconda metà del novecento venute meno le motivazioni per il suo utilizzo, per l'impossibilità di dragarne il fondale e la pericolosità delle acque che portarono all'annegamento di un ragazzo di 12 anni, Felice Ceravolo (alla cui memoria sarebbe stato poi dedicato il campo sportivo costruito sull'area del lago) il Lagaccio venne prosciugato e interrato, tombinando il rio omonimo e il suo affluente, il rio Banchette. L'opera di riempimento, che ha superato di 10-15 metri la quota dell'originario livello del lago, ha permesso la costruzione di un impianto sportivo comprendente un campo da calcio con annessa pista di atletica, e uno per l'hockey su prato.



L'edificio B della caserma Gavoglio risale agli anni '10 del novecento, quando l'area della caserma era utilizzata per fabbricare proiettili. Si tratta di un edificio in cemento armato a due piani,

piuttosto compatto, attualmente utilizzato in parte come deposito dell'archivio dei Giudici di pace, che sarà spostato prima delle attività di demolizione.

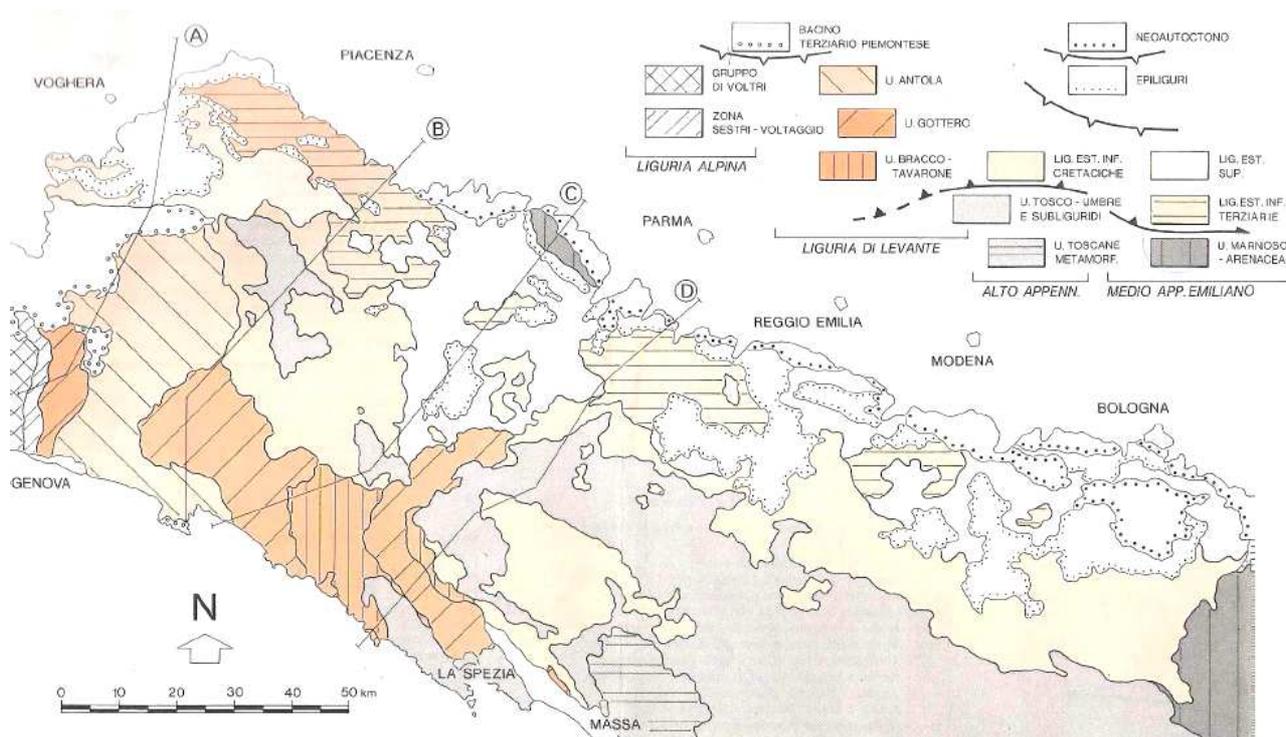
Un importante aspetto da considerare è l'ubicazione di alcuni plinti di fondazione che attualmente vanno ad interessare, attraversandola, la volta del condotto dove scorre tombinato il rio Lagaccio, ponendo una evidente criticità al potenziale rischio idrogeologico.

L'area oggetto della presente relazione si trova ad un'altezza compresa tra i 36 ed i 41 metri sul livello del mare ed ha un'acclività variabile: la porzione a quota più bassa è praticamente pianeggiante, mentre risalendo verso nordovest l'acclività aumenta progressivamente fino ad arrivare al 50%.

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le rocce che costituiscono il substrato dell'area interessata dal progetto appartengono all'Unità del Monte Antola (Campaniano – Maestrichtiano). Tale Unità è costituita da rocce sedimentarie che hanno subito una stessa vicenda di genesi, litificazione e deformazione. Queste derivano dalla deposizione di sedimenti sul fondale dell'Oceano Ligure-Piemontese, un braccio del più grande Oceano Tetideo, esistente nel periodo compreso tra il Giurassico ed il Paleogene.

Nel corso dell'Orogenesi Alpina e delle successive deformazioni legate all'evento orogenetico appenninico, l'Unità del M. Antola ha subito potenti deformazioni sia compressive che estensionali che hanno portato a definire, tra l'altro, l'attuale morfologia della Liguria centrale, occupata in gran parte dalla medesima Unità.



**Figura 2.** Unità del Monte Antola (arancione tenue – rigato diagonale) in rapporto alle altre Unità Liguridi nel contesto regionale appenninico. Da “Guida geologica Regionale – n° 6: Appennino Ligure Emiliano”, 1994; Coordinatore G. Zanzucchi.

La successione che costituisce questa Unità ha un'età attribuita al Cretaceo superiore-Paleocene (Abbate & Sagri, 1967) ed include dal basso verso l'alto:

- Formazione delle Argilliti di Montoggio (Campaniano? Marroni et Al, 1992): argilliti multicolori caratterizzate da rare intercalazioni di *layers* torbiditici fini;
- Formazione dei Calcari del Monte Antola (Campaniano - Maastrichtiano): strati alternati di spessore variabile da pochi centimetri a qualche metro, di calcari marnosi, arenarie calcaree, marne ed argilliti;
- Formazione delle Argilliti di Pagliaro (Paleocene –Eocene inferiore), caratterizzata da argilliti fini emipelagiche.

Nell'area rilevata l'unica formazione presente è quella dei Calcari del M. Antola (*allegato 2*).

Le caratteristiche dei litotipi costituenti tale Formazione sono così riassumibili: strati da centimetrici a metrici di calcareniti, calcari, calcari marnosi e marne, spesso intercalati da strati da centimetrici a decimetrici di argilliti prive di CaCO<sub>3</sub> (Abbate & Sagri, 1967, 1970; Sagri, 1974, Marini, 1981, Marroni et Al., 1999).

Nella successione stratigrafica della Formazione dei Calcari del M. Antola i litotipi predominanti sono quelli calcareo-marnoso e marnoso che si presentano in strati di spessore da decimetrico a metrico, di colorazione variabile da grigio-giallastro a grigio a causa dell'alterazione, ma che possono anche presentarsi da grigio azzurro a grigio piombo, soprattutto su superfici di fresca esposizione agli agenti atmosferici.

#### *Indagine di terreno*

Nell'area interessata dal progetto al momento non sono presenti affioramenti rocciosi. La roccia è però ben visibile immediatamente a nord est, lungo il muraglione che separa la caserma da via Ventotene. In quel settore si è verificato un crollo la notte del 1° aprile 2013, che ha determinato tra l'altro la messa a nudo della roccia esistente dietro al muro, tuttora visibile. Confrontando l'affioramento con le rocce che costituiscono i bordi della via Lagaccio appena a monte dell'ingresso superiore della Caserma Gavoglio, si evince che nell'area la successione di strati di Calcare dell'Antola è circa monoclinale, abbastanza costante, inclinata circa 50° verso est – sudest. Dal punto di vista litologico, è presente la tipica successione di Calcari dell'Antola caratterizzante la costa e l'immediato entroterra, con una elevata percentuale di strati calcareo marnosi decimetrici o più spessi, sempre annunciati da uno strato decimetrico di calcarenite fine di colore bruno alternati a straterelli centimetrici di argillite. Sono altresì presenti clivaggi e fatturazioni riferibili a svariate fasi formative fragili, per lo più accompagnate da crescita di calcite fibrosa o caotica.

Data la percentuale di affioramento nulla nell'area non è sembrato di particolare utilità effettuare un rilevamento geologico e strutturale di superficie.

Dall'analisi dei risultati delle indagini geognostiche, effettuate sia contestualmente alla presente relazione che subito prima, nel corso degli studi effettuati per IRE dalla collega dott.sa Geol. Valeria Bellini, è emersa la presenza del substrato roccioso ad una profondità variabile tra 2 ed 8 metri dal piano campagna.. Le rocce campionate dai sondaggi effettuati in precedenza sono principalmente marne calcaree e calcari marnosi, con superfici di strato inclinate intorno ai 50° talvolta anche notevolmente tettonizzate, presumibilmente interessate da faglie e zone di taglio.

Nell'area oggetto della presente relazione il substrato roccioso è sepolto al di sotto di un riporto antropico relativamente potente. E' probabilmente presente qualche contributo di coltre eluvio colluviale nella porzione più pianeggiante dell'area, ma comunque indistinguibile in sondaggio dal riporto. In seguito all'esecuzione della campagna di indagini geognostiche prevista (cfr. paragrafo 8) lo spessore della coltre (*sensu lato*) è risultato variabile da un massimo di circa 8

m in corrispondenza dell'incisione fluviale ad un minimo di circa due metri nelle zone più prossime ai lati della valle. Tale coltre risulta costituita da terreni di riporto a granulometria variabile e natura eterogenea

## 5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto della presente relazione è ubicata sul fondovalle percorso dal Rio Lagaccio, quasi ai margini dell'area urbanizzata. Come detto, poco a monte dell'area indagata esiste un ampio terrapieno sormontato da impianti sportivi, che si erge laddove fino agli anni '70 del '900 era presente il lago artificiale noto come "Lagaccio", risalente al XVI secolo.

La stretta valle del rio Lagaccio, compresa fra i colli di Oregina e Granarolo che ha alla sua sommità il forte Sperone si presenta con versanti scoscesi e ancora molto poco antropizzati, per lo meno a monte dei campi sportivi e delle strutture di uffici Telecom. Il torrente, oggi canalizzato sotto i campi, la Caserma Gavoglio e le strade del quartiere, sfocia al centro dell'insenatura del porto vecchio di Genova, nei pressi dell'attuale Stazione Marittima di Ponte dei Mille. La tombinatura non sembrerebbe essere però adeguata alle portate che il Rivo può trasportare nei momenti di massima piena.

Il sito di interesse della presente relazione è stato pesantemente antropizzato a cavallo tra fine '800 e primi del '900, quando la polveriera seicentesca esistente è stata inglobata in una struttura militare molto più ampia ed articolata, adibita a caserma e proiettificio. In quell'occasione è stato tombinato il Rio Lagaccio ed altri suoi affluenti (in particolare il Rio Cinque Santi), creando terrapieni spessi fino a 10 metri, ottenendo una serie di superfici piane, poi occupate da edifici militari. L'edificio B, oggetto di demolizione e di ritombinatura del rio nel tratto sotteso, si trova tra i 36 ed i 41 metri di quota sul livello del mare e, dal punto di vista geomorfologico, è riconducibile ad una struttura antropica unica, soprastante un tratto di fondovalle inciso a V.

Al di sopra dell'ossatura rocciosa, nell'area di interesse, sono presenti una decina di metri circa di terreni sciolti la cui natura è principalmente riconducibile a materiale di riporto eterometrico ed eterogeneo. Al di sotto di esso però è presumibile la presenza di coltre di spessore metrico, originaria sottile copertura del substrato roccioso, come è possibile osservare nei settori di Rivo ancora conservati allo stato naturale. Presumibilmente detta coltre è costituita da eluvio - colluvio, terreno di tipo unico e brandelli di roccia alterati e decalcificati ma di cui è ancora

possibile riconoscere le strutture interne, rimaneggiati fino alla profondità di qualche metro ed infiltrati da apparati radicali fino a profondità maggiori. Questi terreni, di granulometria fine, sono poggiati su un sottile cappellaccio di alterazione della roccia, poco distinguibile dal susseguente substrato roccioso calcareo marnoso.

Gli agenti geomorfologici attualmente operanti nell'area sono soprattutto costituiti dalle acque meteoriche ruscellanti e dalla gravità, che interessa soprattutto le notevoli e frequenti strutture murarie e terrapieni che circondano l'area di indagine, con picchi di attività importanti in corrispondenza di forti piogge, come nel crollo di un muro avvenuto tra via Ventotene e la Caserma.

In riferimento al Piano di Bacino Ambito 14, si sottolinea che:

**Carta del rischio idrogeologico:** L'area in esame non ricade nelle zone classificate a rischio idrogeologico, quindi si considera che tale abbia un rischio nullo.

**Carta della suscettività al dissesto (*allegato 3*):** L'area in esame ricade per intero in zona classificata "a suscettività bassa (PG1)" e "a suscettività media (PG2)". Inoltre il sito cade all'interno delle classi speciali "TIPO B2- Discariche dimesse e riporti antropici"

#### Pianificazione a scala comunale

In riferimento al Piano Urbanistico Comunale del Comune di Genova attualmente in vigore, si sottolinea che:

**Carta della zonizzazione geologica del territorio (*allegato 4*):** l'area in esame è totalmente compresa in "Zona B – area a suscettività d'uso parzialmente condizionata – urbanizzata"

#### **L'area non risulta soggetta a vincolo idrogeologico**

## 6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### *6.1 Caratteristiche fisiografiche, climatiche e pluviometriche dell'area*

Il sito in esame si trova ad un'altezza di circa 46 m s.l.m.m. ad una distanza di circa 800 m dalla linea di costa ed è inserito in un'area climatica temperata, in cui le stagioni risultano abbastanza definite: l'inverno è una stagione piovosa con temperature normalmente miti e fenomeni

di precipitazione che vanno aumentando di frequenza ed intensità nei mesi di febbraio e marzo fino a raggiungere il primo massimo annuo registrato mediamente nelle ultime settimane di marzo. Le precipitazioni diminuiscono con il trascorrere della primavera e l'avvicinarsi dell'estate; quest'ultima rappresenta il periodo più secco dell'anno con precipitazioni molto contenute, soprattutto nel mese di luglio. Durante l'autunno, ed in particolare nei mesi di ottobre e novembre, si raggiunge il secondo massimo annuo di precipitazioni, che si riferisce sia alla media annuale delle precipitazioni sia ai valori massimi annui raggiunti nel corso di singoli eventi.

In particolare sono stati analizzati a titolo indicativo i dati relativi agli anni 1961-1990 ottenuti dalla Stazione meteorologica di Genova Università", installata presso l'università di Genova, a 21 metri s.l.m. e alle coordinate geografiche 44° 24' 56.196"N 8° 55' 37.488"E, a circa 1 km verso sud est dal sito in analisi.

## *6.2 Valutazioni sulla permeabilità dei terreni e del substrato roccioso*

Il bacino idrografico del Rio Lagaccio è costituito essenzialmente da substrato roccioso afferente ai Calcari del Monte Antola affiorante o sub affiorante in buone condizioni di conservazione. Depositi detritici o riporti coprono esclusivamente il fondovalle, a partire dall'area un tempo occupata dal lago artificiale dove ora sorgono gli impianti sportivi, in cui il rio risulta tombinato.

Durante la recente campagna di indagini geognostiche non sono state eseguite analisi di permeabilità o granulometriche sui depositi che coprono le aree di fondovalle, non è quindi possibile ottenere valori puntuali di permeabilità. È tuttavia possibile ipotizzare degli intervalli di permeabilità dei livelli di terreno attraversati dalle prove in funzione dell'analisi visiva e della descrizione. In particolare i materiali attraversati dai sondaggi risultano essere materiali di risulta assimilabili a ghiaie e sabbie limose, pertanto caratterizzati da buona permeabilità compresa tra  $1^{-5}$  e  $1^{-2}$  m/s.

Il substrato roccioso dell'area, costituito da litotipi appartenenti alla Formazione dei Calcari del Monte Antola (crf. par. 4), risulta permeabile per fratturazione e fessurazione con coefficienti profondamente eterogenei, funzione dell'effettivo grado di fratturazione.

In queste condizioni si ritiene che le velocità di corrivazione sia elevata ma si può ragionevolmente considerare che la presenza dei potenti depositi antropici di riempimento nell'area di fondovalle, creino una sorta di vasca di laminazione ritardando il deflusso verso la tombinatura.

## 7. RISPOSTA SISMICA LOCALE

La normativa sismica riportata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3724 del 20.03.2003, recepita dalla Regione Liguria con D.G.R n°530 del 16.05.2003, inserisce il territorio del Comune di Genova in zona sismica 4 nella classificazione sismica dei Comuni della Liguria.

La Regione Liguria ha provveduto con D.G.R n°1308 del 24 ottobre 2008, in recepimento dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3519 del 28.04.2006, a modificare la classificazione sismica del proprio territorio inserendo il Comune di Genova nella sottozona 3B.

In seguito con D.G.R n°1362 del 19 novembre 2010 la Regione Liguria ha ulteriormente modificato la classificazione sismica suddividendo il Comune di Genova in differenti Unità Urbanistiche, inserendo l'area in esame in zona 4.

Successivamente con D.G.R. n°216 del 17/3/2017 la classificazione sismica del territorio ligure è stata nuovamente aggiornata e il Comune di Genova risulta attualmente classificato in zona 3 che prevede un valore di accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, pari a 0,150 g (dove g è l'accelerazione di gravità).

Per il calcolo dei parametri e dei coefficienti sismici si è utilizzato il software online della ditta Geostru, considerando l'opera in progetto ricadente in Classe III "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi" e una vita nominale pari a 50 anni. I parametri ottenuti sono i seguenti

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.023	2.539	0.184
Danno (SLD)	50	0.030	2.525	0.207
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.069	2.535	0.287
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.089	2.529	0.296
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima del terreno;  $F_0$  = 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

In considerazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche di Costruzione" del 17.1.2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario determinare sia la categoria di terreno presente sia analizzare le condizioni topografiche.

In base alle indagini eseguite per il progetto di riqualificazione dell'area (Relazione geologica e sismica a firma della dott. Geol. Valeria Bellini) che hanno indicato un valore di  $V_s$  equivalente pari a 1488 m/s, è possibile classificare il terreno di fondazione come appartenente alla categoria "A – Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m"

In considerazione dell'analisi delle condizioni topografiche, per il caso in questione, l'area ricade in categoria T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $\leq 15^\circ$ ".

Utilizzando tali parametri sempre con il software della ditta Geostru i coefficienti sismici ottenuti sono i seguenti:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.005	0.006	0.014	0.018
kv	0.002	0.003	0.007	0.009
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.229	0.293	0.679	0.874
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

LEGENDA: SLO: Stato Limite di operatività; SLD: Stato Limite Danno; SLV: Stato Limite salvaguardia Vita e SLC: Stato Limite prevenzione al Collasso. kh: coefficiente sismico orizzontale. Kv: coefficiente sismico verticale. Amax: accelerazione massima

## 8. INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nell'area è stata condotta una campagna di indagini geognostiche volta ad ottenere dati riguardanti il sottosuolo di carattere geologico, stratigrafico e geologico tecnico.

La campagna di indagini, svoltasi nel luglio 2018, ha previsto l'esecuzione di n° 2 stese sismiche a rifrazione con elaborazione tomografica utilizzate per l'identificazione della profondità del substrato roccioso, oltre ad una prova MASW. E' inoltre stato possibile accedere alla campagna geognostica realizzata per il concomitante progetto di riqualificazione dell'area dalla collega dott.ssa geol. Valeria Bellini e alla banca dati del Comune di Genova (*allegati 6 e7*). In particolare per quanto riguarda le indagini per il progetto di riqualificazione si sono utilizzati il sondaggio ScIRE e la stesa sismica n°1 mentre dalla banca dati del Comune di Genova sono stati utilizzati i dati derivanti dai Sondaggi S2, S3 ed S4.

### *8.1 Indagini sismiche di sottosuolo*

#### 8.1.2 Campagna di indagini effettuata – luglio 2018

Nell'area in esame sono state eseguite due indagini sismiche con la tecnica a rifrazione per definire la distribuzione in profondità delle velocità delle onde sismiche di compressione ( $V_p$ ) ed una prova con la tecnica MASW per definire l'andamento in profondità delle onde di taglio ( $V_s$ ). Le indagini sono state effettuate con un sismografo DoReMi della “Sara electronic instruments” a 16 canali digitali a 16 bit. L'interpretazione dei dati della prova a rifrazione è stata effettuata con il software “*smartTomo 2017.0b1*”, che consente di elaborare la registrazione effettuata con la tecnica tomografica. La prova MASW è stata interpretata con il software “*Surface plus*” della “Geogiga”.

#### Specifiche metodologiche:

##### *Sismica a rifrazione*

L'indagine sismica a rifrazione è un'indagine indiretta che utilizza i contrasti di velocità delle onde sismiche. La velocità delle onde sismiche dipende dalla densità e dalla rigidità del materiale attraversato ovvero da proprietà riconducibili alle caratteristiche litologiche e pedologiche del substrato indagato. Il comportamento della propagazione delle onde in profondità rispetta la legge di Snell dando origine a fenomeni di rifrazione e riflessione.

Lo svolgimento della prova consiste nel generare un'onda sismica di compressione (energizzazione) e registrarne l'arrivo a geofoni disposti in linea ad intervalli noti. L'interpretazione delle misure registrate si basa sull'analisi del tempo impiegato dall'onda generata a raggiungere ciascun geofono. Per poter ricostruire la variazione di velocità delle onde di compressione nel sottosuolo è necessario eseguire più energizzazioni in posizioni differenti. L'interpretazione della prova è basata sul metodo del reciproco globale (Palmer & Derecke. *An introduction to the generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation*. Geophysics, 1981, 46.11: 1508-1518.)

#### *Inversione tomografica*

Le misure effettuate con la tecnica a rifrazione sono state elaborate con la procedura tomografica al fine di evidenziare in dettaglio le variazioni locali di velocità.

La tecnica tomografica prevede la creazione di un modello sintetico del sottosuolo e la sua perturbazione alla ricerca del minimo scarto tra le misure effettuate sul terreno e le misure “virtuali” registrate sul modello sintetico attraverso una procedura iterativa che alterna le due seguenti fasi:

- Nella fase “diretta” vengono calcolati sul modello sintetico i tempi di arrivo dell’impulso sismico (smartTomo è basato sul lavoro di Moser, T. J. "*Shortest path calculation of seismic rays.*" *Geophysics* 56.1 (1991): 59-67 );
- Nella fase “inversa” i tempi sintetici calcolati nel passo “diretto” vengono confrontati con i tempi misurati; le differenze tra i due tempi sono usate per aggiornare il modello sintetico (smartTomo impiega un algoritmo riconducibile alla famiglia delle “*Simultaneous Iterative Reconstruction Technique*”); Questa procedura consente di ottenere un modello, con variazioni di velocità continue e non necessariamente vincolato alla presenza di rifrattori.

#### *Sondaggio MASW*

L'indagine MASW (PARK, Choon B., et al. *Multichannel analysis of surface waves* (MASW) - *active and passive methods*. *The Leading Edge*, 2007, 26.1: 60-64.) è un'indagine indiretta attiva che misura la velocità di fase delle onde sismiche di superficie. La velocità delle onde sismiche dipende dalla densità e dalla rigidità del materiale attraversato ovvero da proprietà riconducibili alle caratteristiche litologiche del substrato indagato. Il comportamento della propagazione delle onde sismiche in profondità dà origine a fenomeni di trasformazione delle stesse in base al materiale attraversato.

Lo svolgimento della prova consiste nel generare un treno di onde sismiche (energizzazione) e registrarne l'arrivo a dei geofoni disposti in linea ad intervalli noti. L'interpretazione delle misure effettuate avviene attraverso un software il quale, partendo dal campionamento dello spettro F/S e F/K del segnale registrato, ricostruisce la distribuzione delle velocità delle onde di taglio (Vs) in profondità attraverso l'applicazione di un algoritmo genetico che procede alla ricerca del modello che minimizza l'errore rispetto alle misure effettuate.

I geofoni vengono disposti equidistanti ed allineati l'uno rispetto all'altro e le energizzazioni sono eseguite in posizione esterna lungo la linea sismica. La prova è stata effettuata con un sismografo DoReMi della “Sara electronic instruments” a 16 canali digitali a 16 bit.

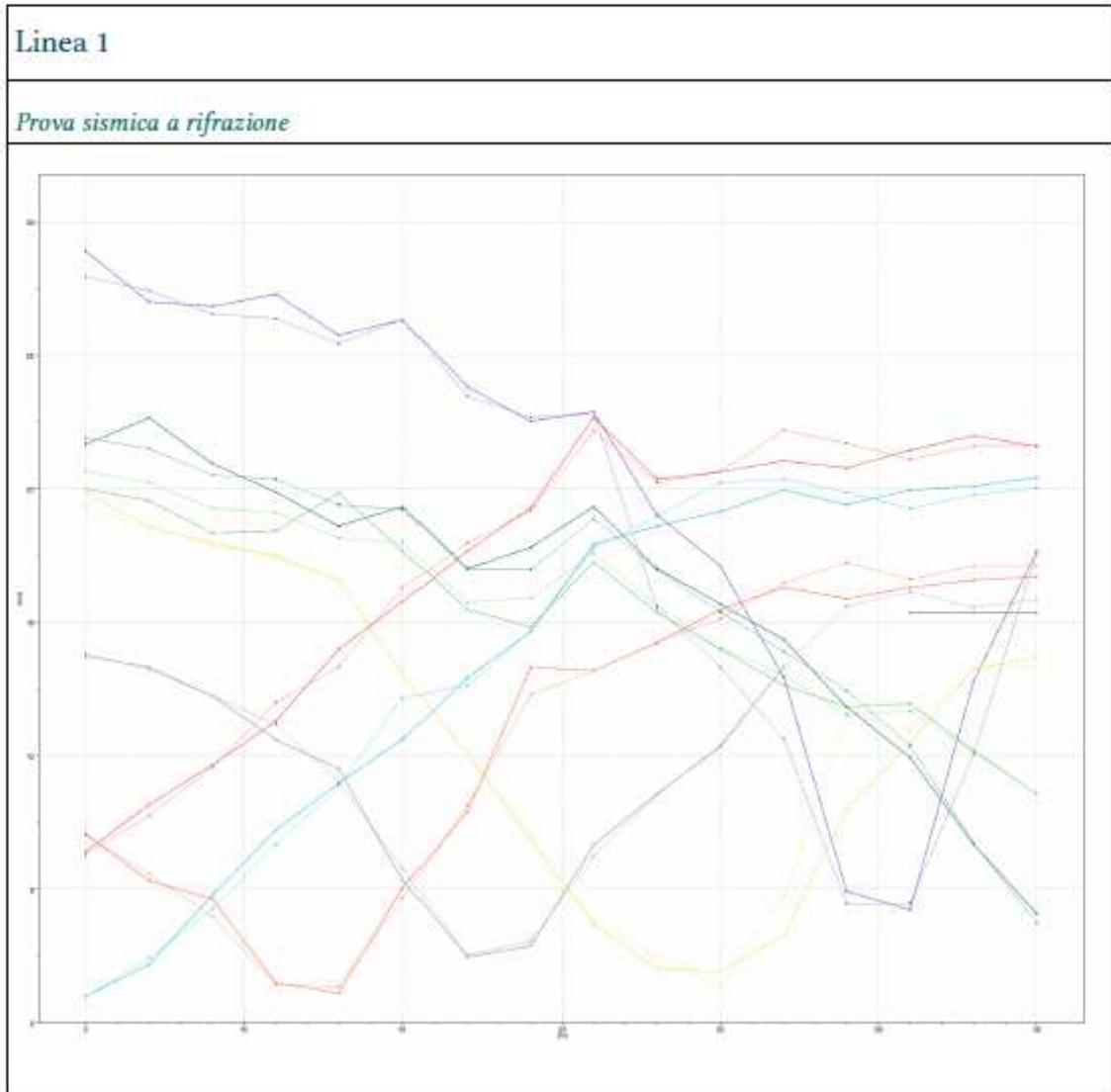
#### Geometria delle stese

Nel sito sono stati realizzati due sendimenti sismici. La linea 1 è stata realizzata con una spaziatura intergeofonica di 2 metri per una lunghezza strumentata di 30 metri. La linea 2 ha una lunghezza di 45 metri con una spaziatura di 3 metri ed energizzazioni sia esterne (+5 e +1 metro ed interne ogni 3 geofoni).

Per la prova MASW sono state eseguite 2 energizzazioni e le registrazioni successivamente interlacciate per simulare una acquisizione a 32 canali.

Di seguito sono riportate le sezioni sismiche e la sezione relativa alla prova MASW

Prova MASW	Tipologia	Lunghezza (m)	Shot offset (m)
Linea 2	1D-MASW	45	+3.5



**Figura 3:** risultati ed elaborazione della stesa sismica 1

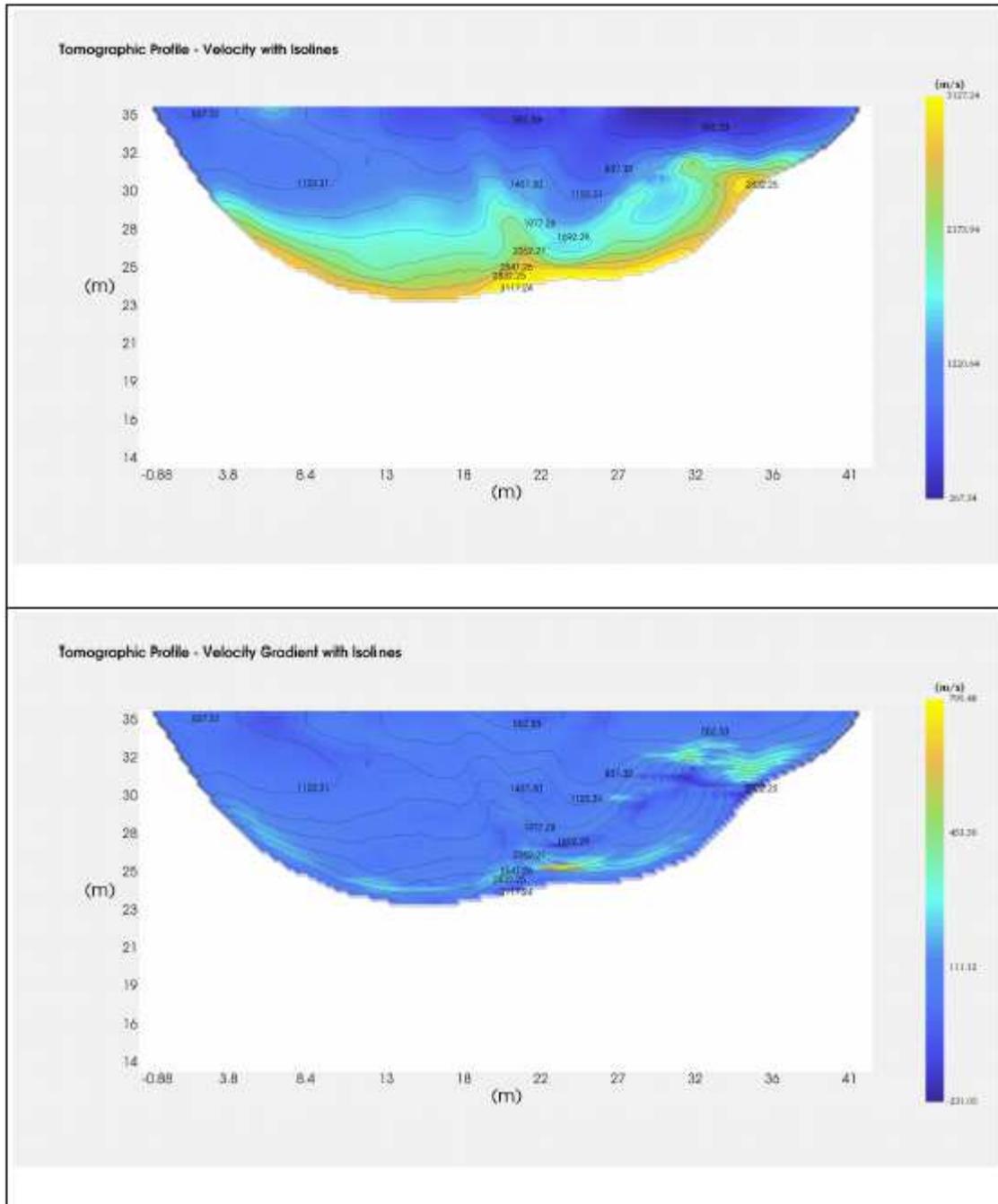
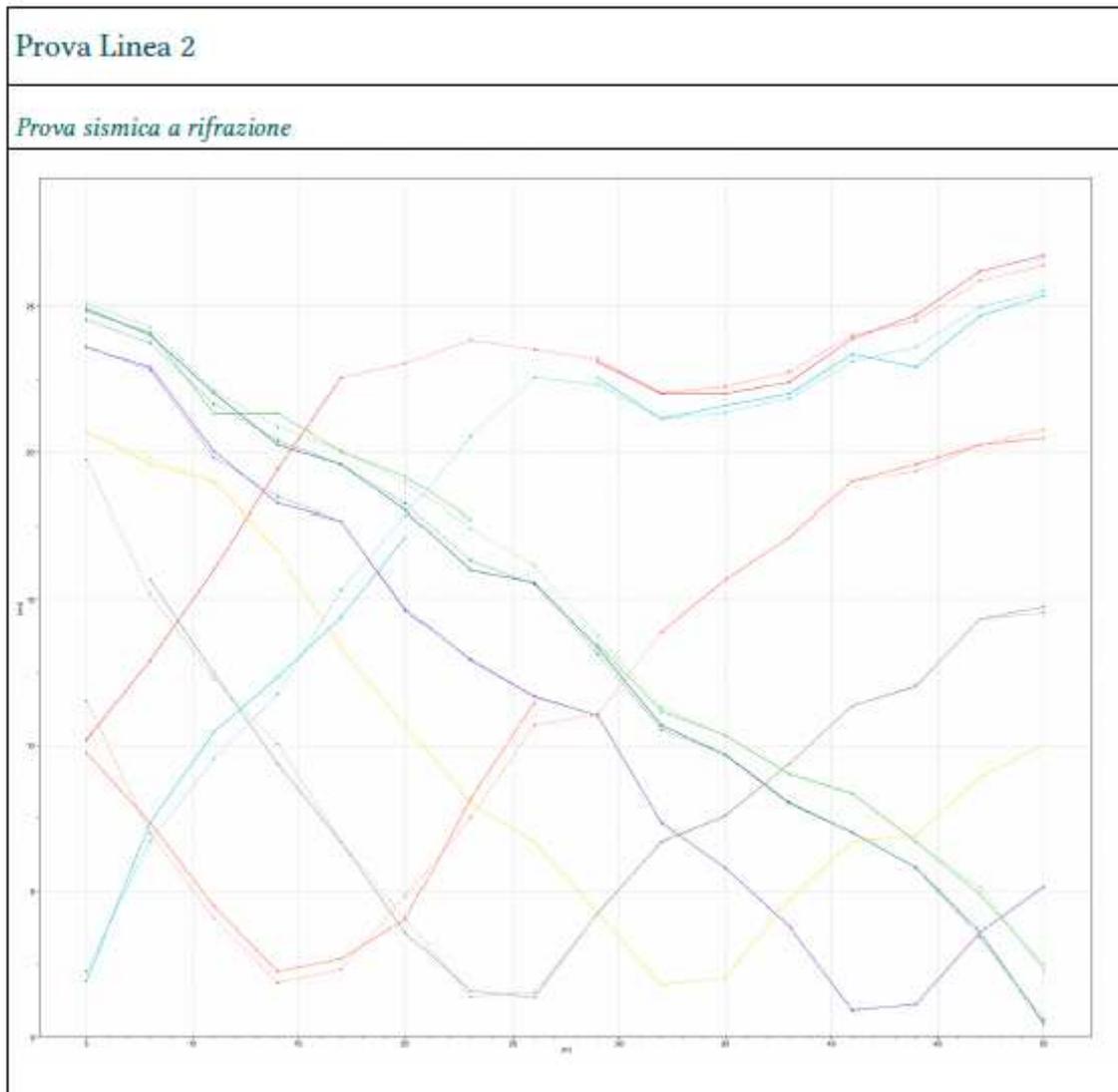


Figura 4: risultati ed elaborazione della stesa sismica 1



**Figura 5:** risultati ed elaborazione della stesa sismica 2



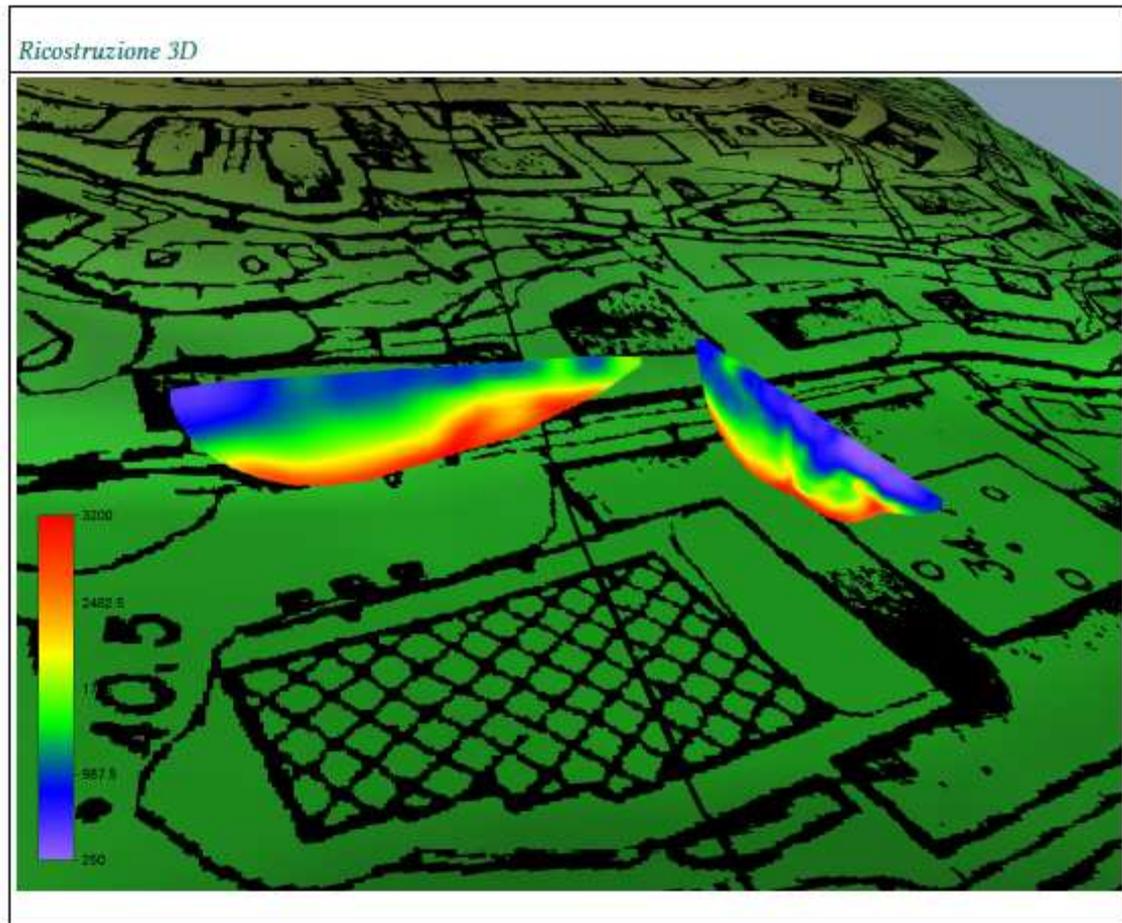


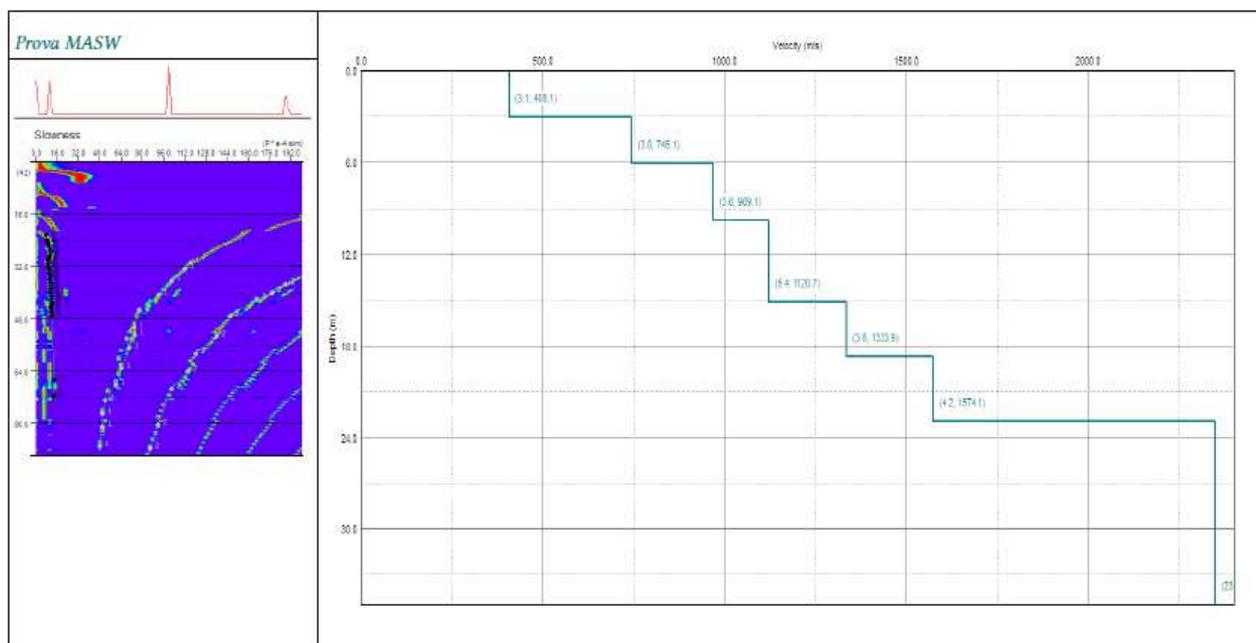
Figura 7: rappresentazione 3D

### Risultati

Le due linee sismiche elaborate con la tecnica tomografica hanno permesso di individuare il passaggio tra i riempimenti antropici ed il substrato roccioso.

Nella linea 1 è visibile la forma della valle sommersa con profondità del substrato che variano da -3 metri ai bordi fino a -8 metri nella parte centrale, in corrispondenza del rio tombinato. La medesima tombinatura è visibile tra le progressive 22 e 27 metri dove si osserva una anomalia delle Vp.

La linea 2 mette in evidenza l'incremento dello spessore dei riempimenti verso monte, con spessori compresi tra 3 e 7 metri.



**Figura 8:** risultati della prova MASW

La MASW evidenzia una situazione media con circa 3 metri di depositi sciolti sopra un materiale che migliora le sue condizioni con la profondità. L'interpretazione dell'indagine MASW ha tenuto conto del modo fondamentale e dei primi due modi superiori di vibrazione.

**La  $V_s$  equivalenti per questo modello di substrato, considerata la profondità fondazionale a 8 m dal piano campagna è di 1468 m/s.**

### 8.1.2 Indagini per il progetto di riqualificazione dell'area

L'analisi della stesa sismica 1 (figura 4) realizzata nell'ambito della riqualificazione dell'area dell'ex-Caserma Gavoglio, conferma i risultati ottenuti dall'esecuzione delle prove realizzate dagli scriventi con la presenza del substrato roccioso ad una profondità di circa 6 m nelle aree laterali della valle che si approfondisce fino a raggiungere una quota di circa 8 m dal piano campagna in corrispondenza del rio Tombinato.

L'ubicazione dei sondaggi visionati (sia quelli di realizzazione attuale sia quelli ricavati dalla banca dati del Comune) ha permesso di avere indicazioni sulle caratteristiche del substrato roccioso. Quest'ultimo si presenta molto tettonizzato data la presenza di differenti famiglie di

fratture ed è caratterizzato da alternanza di livelli sani e livelli alterati, almeno per le sue porzioni più superficiali. La presenza dei piani di fratturazione è causa di una forte circolazione idrica e ciò è confermato dalla lettura della relazione geologica a firma della dott. Bellini, nella quale si segnala come l'acqua di perforazione andasse totalmente perduta all'interno del foro.

Il posizionamento dei sondaggi è stato effettuato ai margini dell'incisione fluviale sepolta sotto i riporti; pertanto la roccia si trova a profondità massimo di 1,8 m dal piano campagna nei dati derivanti dai sondaggi, non avendo questi ultimi indagato le aree che presentano un maggior spessore di riporto. Detto spessore è chiaramente visibile dalle indagini sismiche, come riportato poc'anzi.

Nell'area della tombinatura, come indicato dall'esecuzione delle stese sismiche, il substrato roccioso si trova ad una profondità di circa 8 m e probabilmente è fratturato e alterato come osservato nei sondaggi esaminati.

### *8.3 Caratterizzazione geotecnica dei terreni e del substrato roccioso*

#### *Riporto e terreno eluvio colluviale*

Il sopralluogo effettuato e lo studio dei sondaggi effettuati ha permesso di caratterizzare il riporto e la coltre eluvio colluviale, che risultano costituiti da ghiaie e sabbie limose a comportamento granulare. L'esigua presenza di terreno all'interno dei sondaggi non ha permesso l'esecuzione di prove SPT, tuttavia l'esperienza degli scriventi unita ai risultati delle indagini sismiche porta ad indicare i seguenti parametri caratteristici:

#### *Terreni di riporto e/o coltre eluvio colluviale*

Peso specifico medio  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

Angolo di attrito  $\phi = 30^\circ$

Coesione  $C = 0 \text{ kPa}$

#### *Substrato roccioso*

L'analisi del substrato roccioso (Calcari del Monte Antola) è stata effettuata valutando i campioni di roccia ottenuti dall'esecuzione della campagna geognostica. Si è osservato come fino

alla profondità indagata, la roccia si presenti per lo più fratturata e tettonizzata, con livelli arenacei completamente alterati. L'analisi delle carote ottenute è stata confrontata con lo studio degli affioramenti maggiormente prossimi all'area e con situazioni analoghe studiate dagli scriventi sia in aree limitrofe che in altre zone all'interno del Comune di Genova.

Pertanto, in considerazione di quanto detto, e in accordo con i documenti bibliografici disponibili (Falcioni, Nosengo, Paoletti, Pedemonte: *Caratteristiche di resistenza al taglio di discontinuità naturali ed artificiali in roccia per alcuni litotipi liguri*. Professione Geologo n°37, Ordine dei Geologi della Liguria), si suggerisce di utilizzare per il substrato roccioso i seguenti parametri:

Angolo d'attrito (°)	Coesione (kPa)	Peso di volume (t/m <sup>3</sup> )
35	120	2,5

## 9. CONCLUSIONI

In seguito allo studio del materiale bibliografico e normativo a disposizione, ai sopralluoghi e rilevamenti effettuati, allo studio delle indagini eseguite nelle adiacenze per il progetto Urban Labs ed all'esecuzione della campagna di indagini geognostiche effettuata *ad hoc*, si può affermare che il sito investigato non presenta particolari problemi di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico.

Le caratteristiche dei terreni superficiali sono quelle tipiche di un riporto, con granulometria eterometrica e natura dei clasti eterogenea; detto riporto poggia su un substrato roccioso dalle buone caratteristiche geotecniche sormontato da un sottile cappellaccio di alterazione.

Il substrato roccioso è costituito da un'alternanza flyschoide calcareo marnosa fratturata ed alterata per i primi metri ma progressivamente più compatta con l'aumentare della profondità. La roccia si presenta piuttosto inclinata in successione monoclinale.

Per gli scavi in progetto si dovranno prendere tutte le precauzioni necessarie per eliminare l'acqua di falda e l'eventuale acqua meteorica e di ruscellamento superficiale.

I lavori entro i materiali terrigeni dovranno prevedere l'adozione di misure atte a mettere in sicurezza le aree di scavo, fino alla realizzazione di diaframmi di micropali, palancole e simili, o di altre soluzioni da decidersi in coordinamento con i responsabili della progettazione, qualora se ne presenti la necessità. Dovranno inoltre essere messe in opera i sistemi necessari ad allontanare l'acqua in ingresso nell'area di lavoro, quali pompe o altro.

Per quanto riguarda gli scavi in roccia, si ritiene che potranno essere eseguiti con normali mezzi meccanici. Nel caso di ammassi più resistenti sarà sufficiente l'utilizzo scavatori idraulici attrezzati con "martelloni demolitori".

Per quanto riguarda le fondazioni della paratia di sostegno dello scavo, probabilmente pali fondazionali, si sottolinea che nella roccia possano essere presenti zone di taglio e livelli alterati che peggiorino le caratteristiche geotecniche del substrato roccioso.

La lunghezza ed il diametro dei pali stessi, infine, sarà funzione delle scelte progettuali, anche in considerazione delle conclusioni della modellazione geotecnica.

Genova, 26 settembre 2018

dott. geol. Pietro Balbi



A handwritten signature in blue ink that reads "Pietro Balbi".

dott. geol. Giovanni Muzio



A handwritten signature in blue ink that reads "Giovanni Muzio".

# ALLEGATI

## 1. COROGRAFIA

Carta topografica scala 1:25.000

## 2. CARTA GEOLOGICA

Carta Geologica d'Italia, Scala 1:50.000 – Foglio Genova

## 3. CARTA DELLA SUSCETTIVITA' AL DISSESTO

Piano di Bacino Ambito 14

## 4. CARTA DELLA ZONIZZAZIONE GEOLOGICA DEL TERRITORIO

P.U.C, Comune di Genova

## 5. UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE E TRACCIA SEZIONE GEOLOGICA

Scala 1:500

## 6. INDAGINI GEOGNOSTICHE – URBAN NATURE LABS - m3d S.r.l

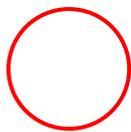
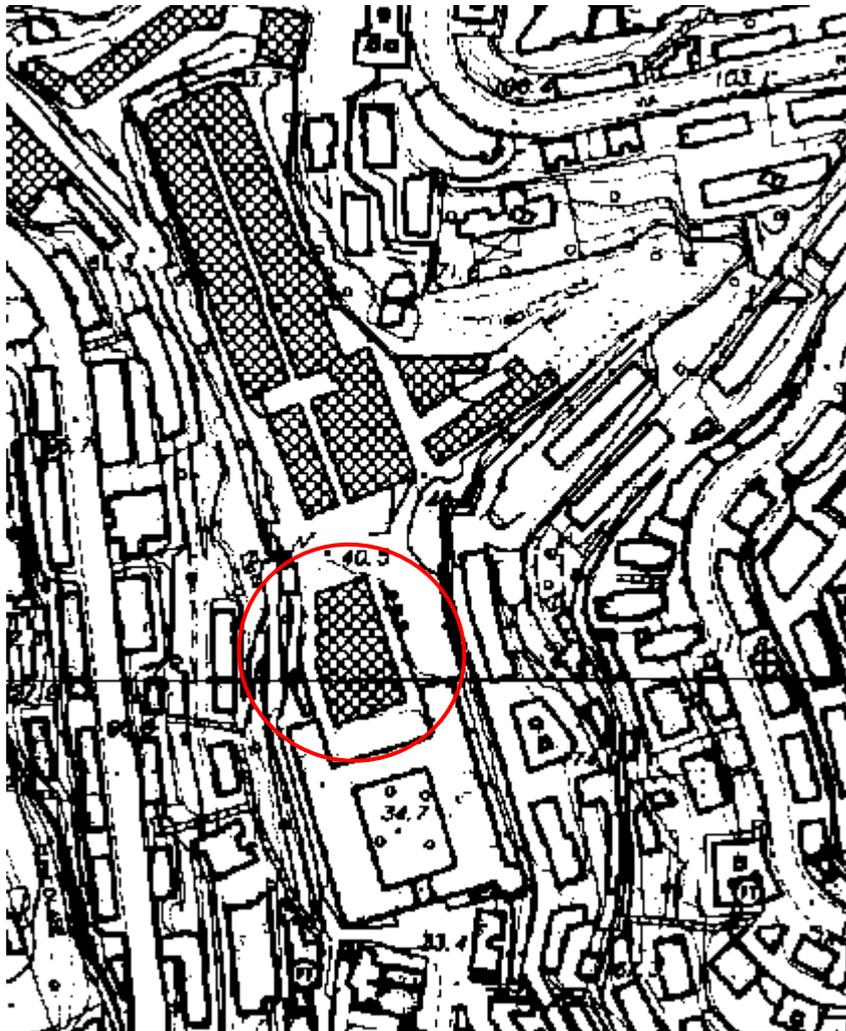
## 7. STRATIGRAFIE COMUNE DI GENOVA

## 8. SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA

Scala 1:300

# 1. COROGRAFIA

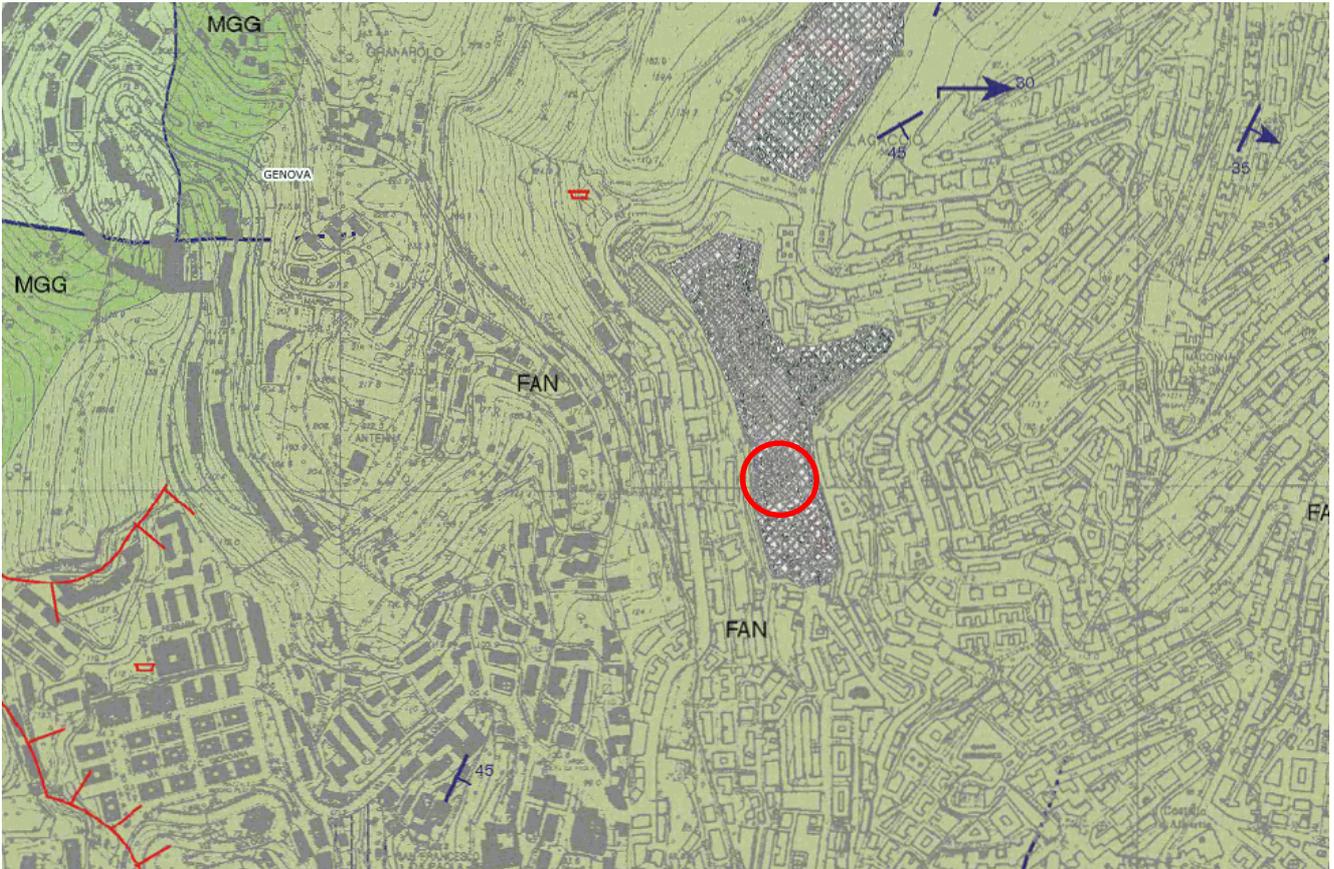
Scala 1:25.000



area in esame

## 2. CARTA GEOLOGICA

(Carta Geologica d'Italia, Scala 1:50.000 – Foglio Genova)



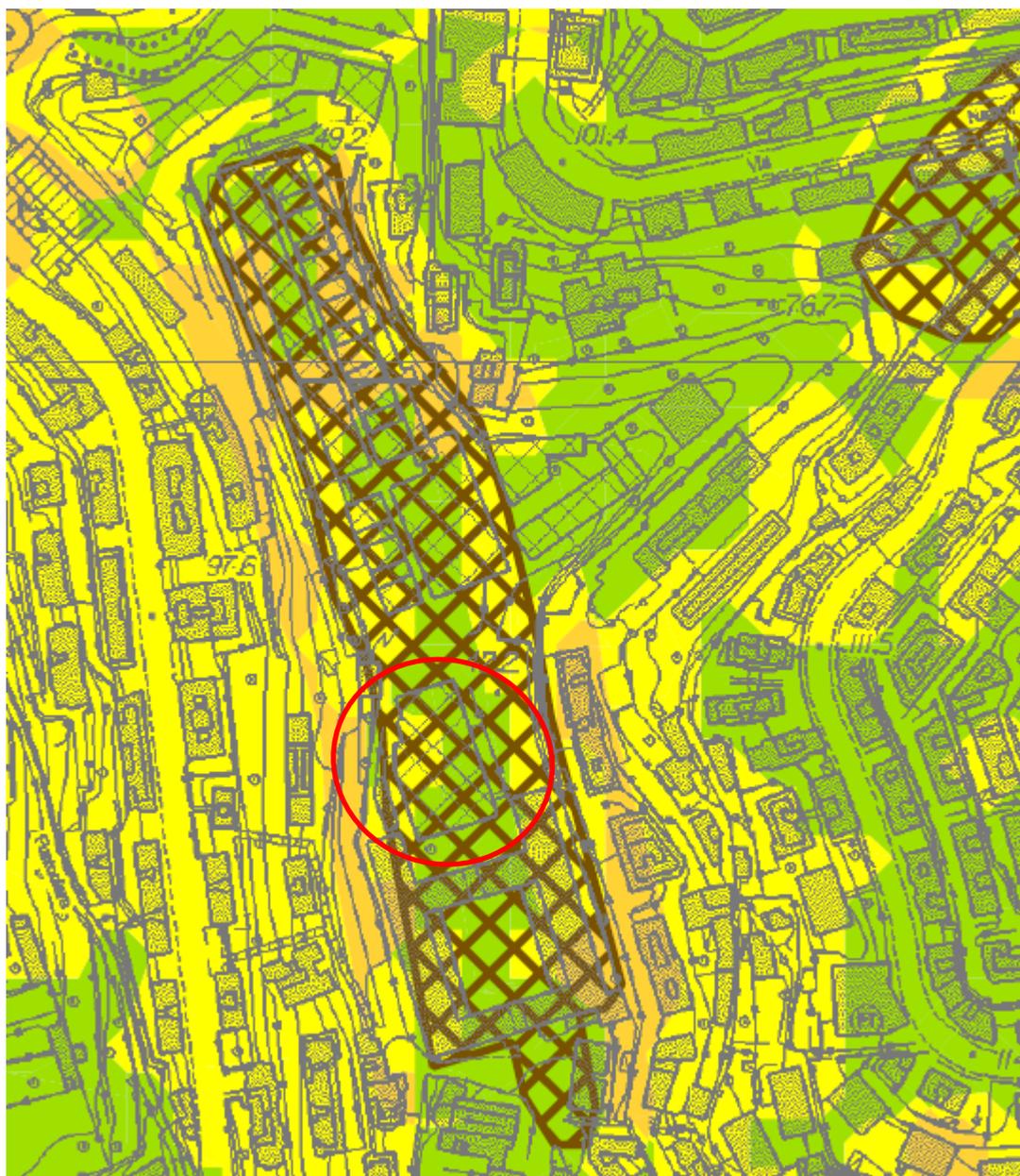
### LEGENDA

#### UNITÀ TETTONICA ANTOLA

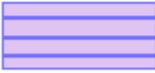
 <p>FAN</p>	<p><b>formazione del Monte Antola</b>          Torbiditi calcareo-marnose, talvolta siltose, in strati di spessore fino a metrico di calcareniti, marne e marne calcaree, alternate ad argilliti emipelagiche in strati centimetrici. Sono frequenti tracce di <i>Helminthoidea labyrinthica</i> e <i>Chondrites</i>. Oltre agli icnofossili, il contenuto paleontologico comprende foraminiferi planctonici e nannoplancton calcareo.  <b>CAMPANIANO SUP.</b></p>	
 <p>MGG</p>	<p><b>argilliti di Montoggio</b>          Argilliti emipelagiche di colore nero e verdastro, in strati da centimetrici a decimetrici. Il tetto della formazione è caratterizzato da strati policromi, spesso rosso-vinati. Il contenuto paleontologico comprende nannoplancton calcareo.  <b>CAMPANIANO</b></p>	
 <p>10</p>	<p>strato diritto</p>	 <p>struttura antropica</p>
 <p>10</p>	<p>stratificazione a polarità incerta</p>	 <p>orlo di scarpata di frana</p>
	<p>asse di piega di 1a fase</p>	  <p>cava attiva, inattiva</p>
	<p>faglia certa, incerta</p>	

### 3. CARTA DELLA SUSCETTIVITA' AL DISSESTO

(Piano di Bacino Ambito 14)

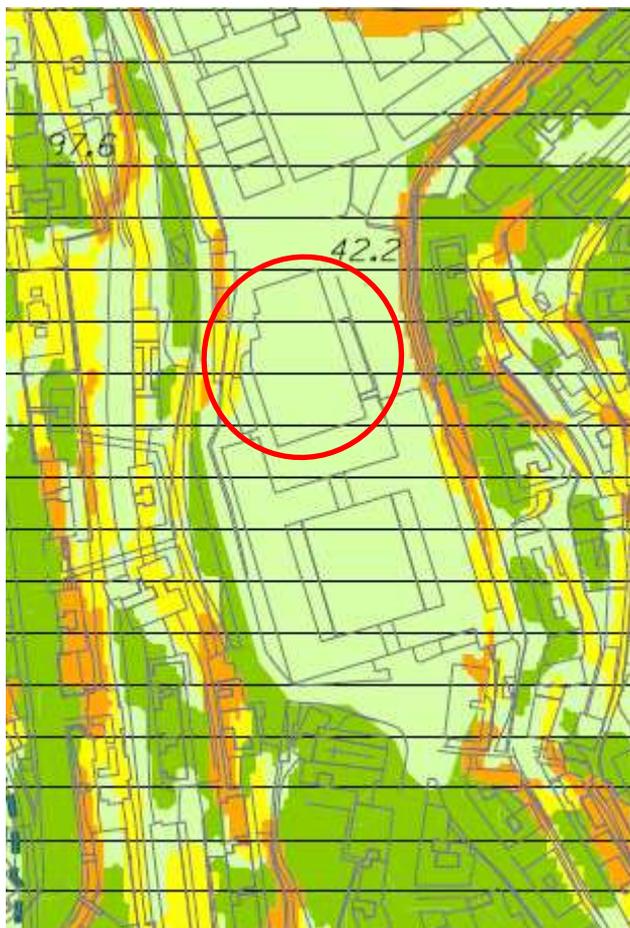


## LEGENDA

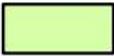
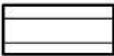
CLASSI DI SUSCETTIVITA' AL DISSESTO			NORME DI ATTUAZIONE
	MOLTO ELEVATA	Pg4	Art. 16, c. 2
	ELEVATA	Pg3a	Art. 16, c. 3
	ELEVATA	Pg3b	Art. 16, c. 3-ter
	MEDIA	Pg2	Art. 16, c. 4
	BASSA	Pg1	Art. 16, c. 4
	MOLTO BASSA	Pg0	Art. 16, c. 4
CLASSI SPECIALI			
	TIPO A - Cave attive, miniere attive e discariche in esercizio		Art. 16bis, c. 2
	TIPO B <sub>1</sub> - Cave inattive e miniere abbandonate		Art. 16bis, c. 3
	TIPO B <sub>2</sub> - Discariche dismesse e riporti antropici		Art. 16bis, c. 5
	Criticita' puntuale - lesione ai manufatti identificata dal PUC di Genova vigente		

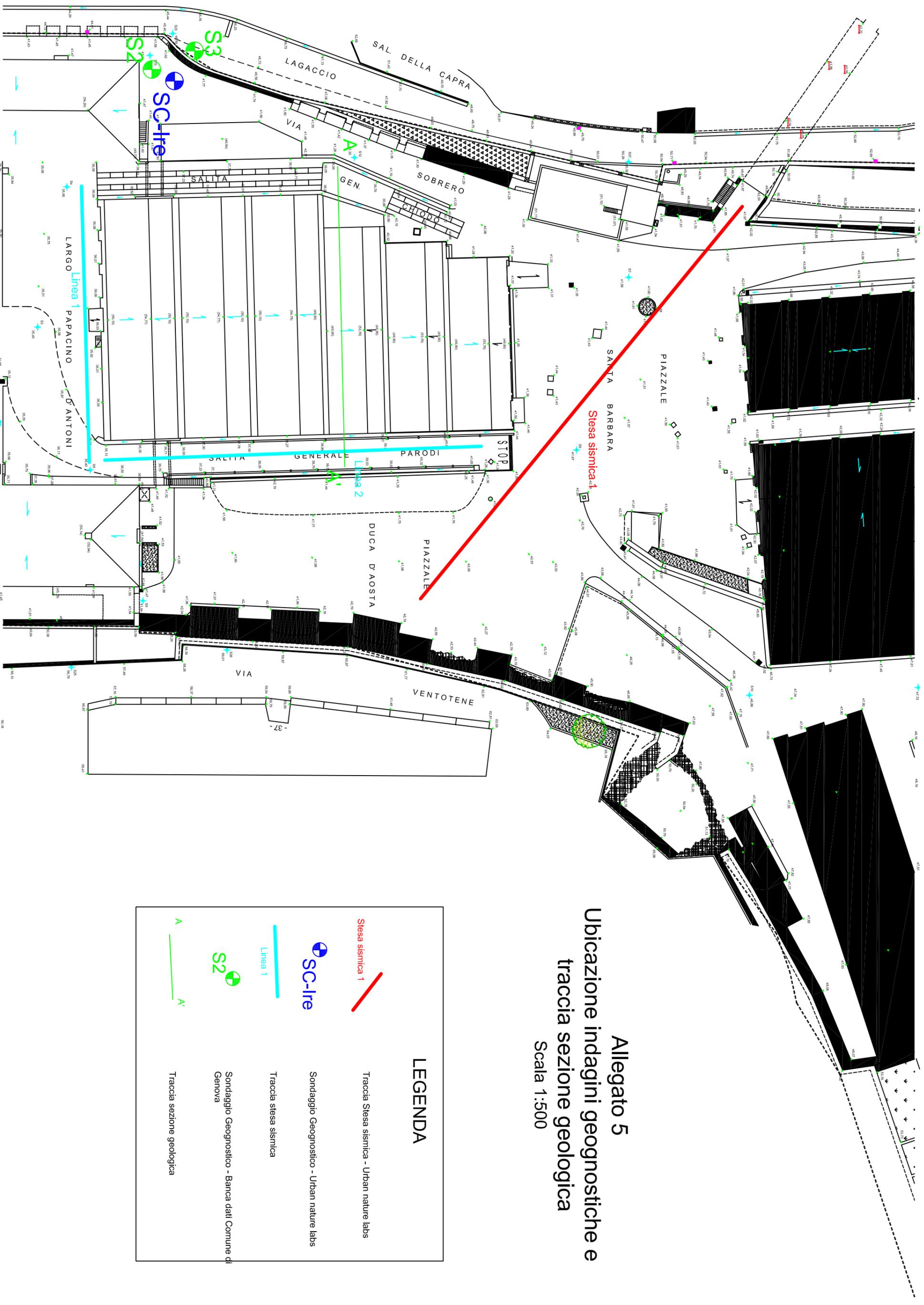
## 4. CARTA DELLA ZONIZZAZIONE GEOLOGICA DEL TERRITORIO

(P.U.C, Comune di Genova)



### LEGENDA

-  Zona A: Aree con suscettività d'uso non condizionata
-  Zona B: Aree con suscettività d'uso parzialmente condizionata
-  Zona C: Aree con suscettività d'uso limitata
-  Zona D: Aree con suscettività d'uso limitata e/o condizionata all'adozione di cautele specifiche
-  Zona E: Aree con suscettività d'uso fortemente condizionata
-  Zona urbanizzata
-  Limiti amministrativi: Comune e Municipi



**Allegato 5**  
**Ubicazione indagini geognostiche e**  
**traccia sezione geologica**  
 Scala 1:500

**LEGENDA**

-  Traccia Stesa sismica - Urban nature labs
-  Sondaggio Geognostico - Urban nature labs
-  Traccia stesa sismica
-  Sondaggio Geognostico - Banca dati Comune di Genova
-  Traccia sezione geologica

## Allegato 6

Indagini geognostiche Urban nature labs – M3d S.r.l.



M3D Costruzioni Speciali S.r.l.  
Via al Santuario di N.S. della Guardia 49A rosso  
16162 GENOVA  
tel. 010 2518889 e-mail: info@m3dsrl.com

SC

COMMITTENTE IRE Spa LOCALITA' Genova Lagaccio  
DATA INIZIO 28 maggio 2018 DATA FINE 29 maggio 2018  
REDATTO Geol. Luca Maldotti CANTIERE Progetto Parco Urbano ex Caserma Gavoglio  
PERFORAZIONE: a rotazione a carotaggio continuo DIAMETRO CAROTIERE  $\phi$  101 mm

PROFONDITA' FORO: 10.0 m

FALDA:

QUOTA:

PROFONDITA' D.A.P.C.	COLONNA STRATIGRAFICA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAROTAGGIO [%]		R.Q.D. [%]		ALLESTIMENTO	SPT	CAMPIONI- PROVE IN SITO	NOTE	
			10	30	50	70					90
1		Terreno rimaneggiato: Sabbia limosa con ghiaia e clasti eterometrici angolari (diam. max 5 cm), sciolto, asciutto, colore grigio									1
1.80											2
2		Calcere marnose da poco a mediamente fratturate di colore grigio con vene di calcite. Giunti da lisci a poco rugosi, mediamente alterati, chiusi. Presenza di livelli ridotti in frammenti ed orizzonti centimetrici argillificati.									3
3			4								
4			5								
5			6								
6			7								
7			8								
8.00			8								
9		Calcere marnose da fratturate a molto fratturate con orizzonti decimetrici ridotti in frammenti, colore grigio con vene di calcite. Giunti da lisci a poco rugosi, mediamente alterati, talora con riempimento argilloso con abbondanti patine di ossidazione.									9
10.0											10
f.p.											
11											11
12											12
13											13
14											14
15											15
16											16
17											17
18											18
19											19
20											20

br livelli ridotti in breccia  
S carotiere semplice  
T2 carotiere doppio

W corona widia  
D corona diamante  
(101) diametro perforazione

R (10 cm)

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)  
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889  
F> +39 010 2517028

Web [www.m3dsrl.com](http://www.m3dsrl.com)  
E-mail [info@m3dsrl.com](mailto:info@m3dsrl.com)

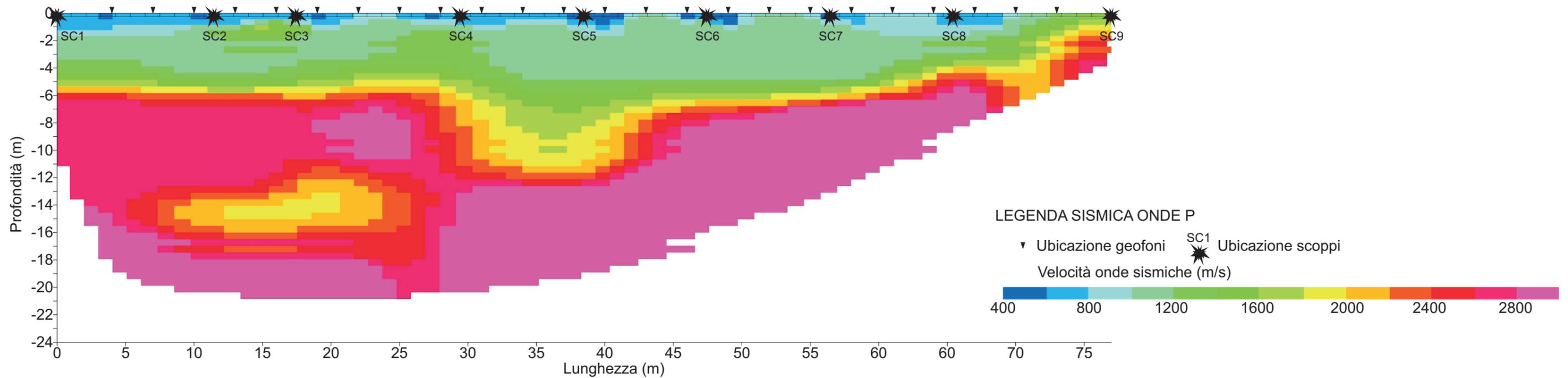


Committente: COMUNE DI GENOVA  
Sondaggio: SC-IRE - Cassetta: n°1  
Prof. da 0.00 m. a 5.00 m. →

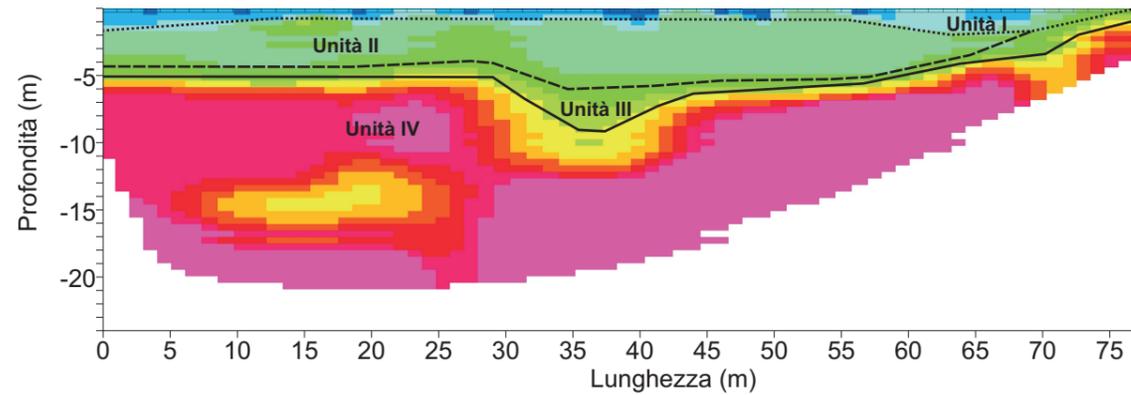


Committente: COMUNE DI GENOVA  
Sondaggio: SC-IRE - Cassetta: n°2  
Prof. da 5.00 m. a 10.00 m. →

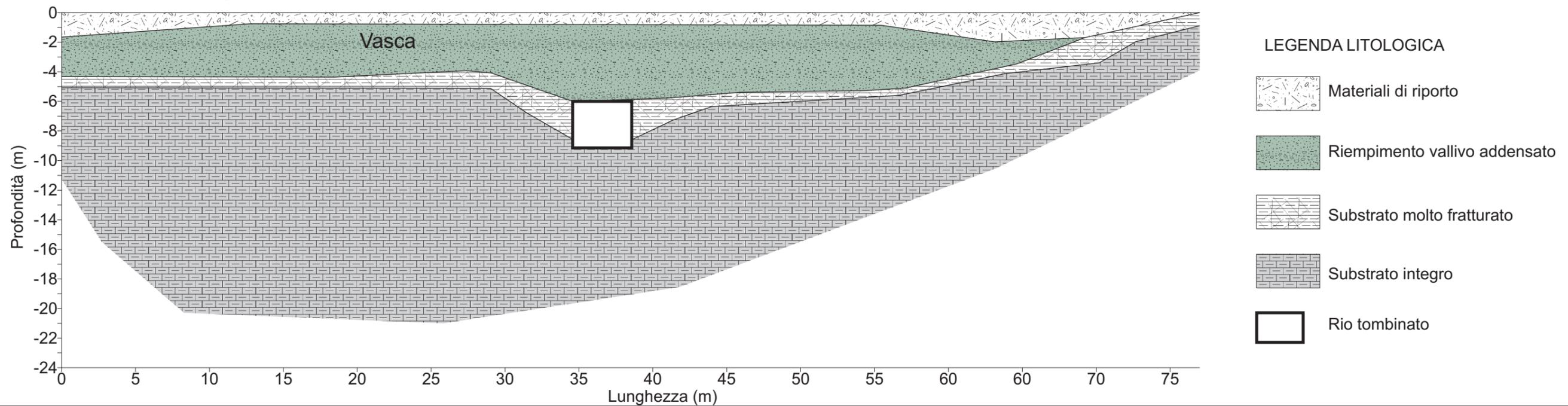
**Tomografia sismica onde P**



**Unità sismostratigrafiche**



**Interpretazione tomografia sismica**



Allegato 7  
Stratigrafie Comune di Genova



Inizio sondaggio m. 6.5

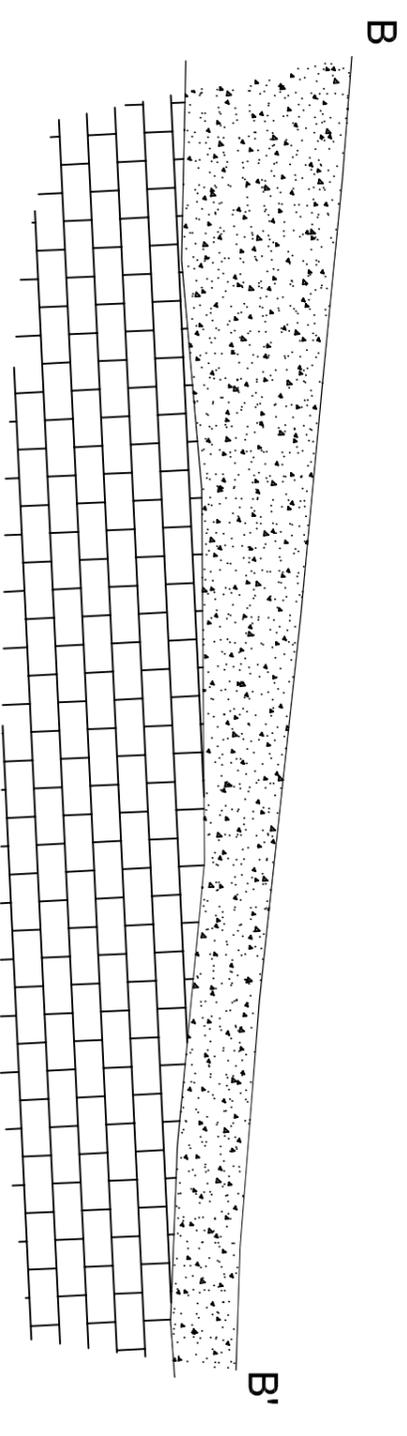
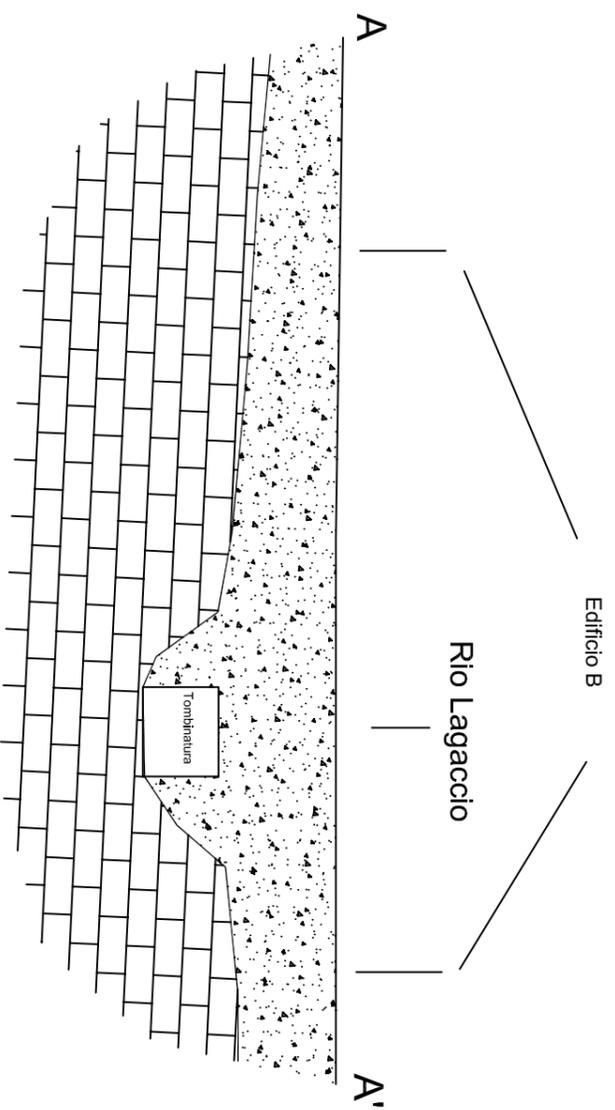
Fine sondaggio m. 12.5

Carotaggio %			R.Q.D. modificato %			Campioni	Ind Semi Ind - Rim	Prof in m	Litologia	Pocket Kg/cm²	Vanetest Kg/cm²	S.P.T. n° colpi x 15 cm	H²O m	Piezometro a tubo		
5	45	85	5	45	85											
								1								
								2								
								3								
								4								
								5								
								6								
								7	/g /o /g / INIZIO SONDAGGIO Quota +45,50 m s.l.m. Asfalto. 6.6 Sabbia fine ghiaiosa (ghiaia fine) limosa - colore: marrone.							
								8	7.0 Limo argilloso sabbioso (sabbia fine) ghiaioso (ghiaia fine) - colore: marrone.							
								9	8.8 Calcare grigio localmente fratturato con venature calcitiche. Locale presenza di interstrati marnoso/calcarei.							
								10								
								11								
								12								
								13	12.5							
								14	N.B.- Durante la esecuzione del sondaggio non e' stata rilevata la presenza di acqua sotterranea. In considerazione della litologia dei terreni indagati non si puo' escludere la possibilita' di filtrazioni di versante. Da m. -6.50 a m. -7.0 effettuato scavo a mano.							
								15								
								16								
								17								
								18								
								19								
								20								
								21								

# Allegato 8

## Sezioni geologiche interpretative

Scala 1:300



### LEGENDA



Riporti



Substrato roccioso - Calcarei del Monte Antola