



Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico Orientale
Porti di Trieste e Monfalcone

PROGETTO AdSP n. 1951

Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo nel porto di Trieste

CUP: C94E21000460001

Progetto di Fattibilità Tecnico Economica Fascicolo A– intervento PNC da autorizzare

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:		
arch. Gerardo Nappa	AdSP MAO	Responsabile dell'integrazione e Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione
arch. Sofia Dal Piva	AdSP MAO	Progettazione generale
arch. Stefano Semenic	AdSP MAO	Progettazione generale
ing. Roberto Leoni	BITECNO S.r.l.	Sistema di trazione elettrica ferroviaria
ing. Saturno Minnucci	MINNUCCI ASSOCIATI S.r.l.	Impianti speciali e segnalamenti ferroviari
ing. Dario Fedrigo	ALPE ENGINEERING S.r.l.	Progettazione strutturale oo.cc. ferrovia e strade
ing. Andrea Guidolin p.i. Furio Benci	SQS S.r.l.	Progettazione della sicurezza
ing. Sara Agnoletto	HMR Ambiente S.r.l.	Progettazione MISP e cassa di colmata
p.i. Trivellato, dott. G. Malvasi, dott. S. Bartolomei	p.i. Antonio Trivellato d.i.	Modellazione rumore, atmosfera, vibrazioni
dott. Gabriele Cailotto ing. Anca Tamasan	NEXTECO S.r.l.	Studio di impatto ambientale e piano di monitoraggio ambientale
ing. Sebastiano Cristoforetti	CRISCON S.r.l.s.	Relazione di sostenibilità
ing. Tommaso Tassi	F&M Ingegneria S.p.A.	Progettazione degli edifici pubblici nel contesto dell'ex area "a caldo"
ing. Michele Titton	ITS s.r.l.	Connessione stradale alla GVT
Prof. Andrea Borgia	Geologo	Professionista geologo
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: ing. Paolo Crescenzi		

NOME FILE: <i>IGNR_P_R_C-GEO_1GE_001_02_01</i>	SCALA: ---
TITOLO ELABORATO: Relazione geologica	ELABORATO: <i>IGNR_P_R_C-GEO_1GE_001_02_01</i>

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
00	01/02/2023	Definitivo	A.Borgia	S.Dal Piva	G.Nappa
01	30/06/2023	Recepimento osservazioni CSLPP	A.Borgia	S.Dal Piva	G.Nappa

Sommario

<i>Area di rifunionalizzazione portuale di Servola (TS)</i>	0
<i>RELAZIONE GEOLOGICA</i>	0
<i>prof. dott. geol. Andrea Borgia col supporto del dott. geol. Carlo Aberto Masoli</i>	0
<i>2023</i>	0
1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	6
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	16
3.1 ANALISI A GRANDE SCALA	21
3.1.1 <i>Carta Geologica 1:150.000</i>	21
3.1.2 <i>Carta Geologica d'Italia 1:100.000</i>	23
3.1.3 <i>Carta geologica 1:50.000</i>	26
3.2 ANALISI A SCALA DI DETTAGLIO	30
3.2.1 <i>Carta geologica 1:5.000</i>	30
3.2.2 <i>3.2.2) Carta sintesi geologica 1:10.000</i>	31
3.3 ASSETTO GEOLITOLOGICO DELL'AREA DI STUDIO	34
3.3.1 <i>3.3.1) Riporti antropici</i>	35
3.3.2 <i>3.3.2) Depositi quaternari di origine continentale e/o sedimenti marini</i>	35
3.3.3 <i>3.3.3) Flysch</i>	36
3.3.4 <i>3.3.4) Assetto giaciturale del Flysch</i>	38
4 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO	45
4.1 IDROGRAFIA	45
4.2 IDROGEOLOGIA	46
5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DI DETTAGLIO	51
5.1 LA FAGLIA DI SAN BARTOLOMEO - TRIESTE NEL CATALOGO DELLE FAGLIE CAPACI ITHACA	54
5.2 STUDIO MICROZONAZIONE SISMICA	69
6 ZONIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA P.R.G. COMUNE DI TRIESTE	74
7 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO	80
7.1 AREA A MARE	80
7.2 AREA A TERRA	80
8 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	81
8.1 AREA A MARE	81
8.2 AREA A TERRA	85
8.2.1 <i>Sintesi dei riferimenti</i>	85
8.2.2 <i>Sezioni geologiche a terra</i>	85

8.2.3	<i>Sezioni geologico interpretative</i>	88
8.2.4	<i>Sezioni tratte dal modello idrogeologico</i>	88
9	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	0
10	PARAMETRAZIONE SISMICA	23
11	VERIFICA SEMPLIFICATA ALLA LIQUEFAZIONE	36
12	CONCLUSIONI	49
13	ALLEGATO 1: SPECIFICITÀ GEOLOGICHE DELLA COLLINA DI SERVOLA	51
14	ALLEGATO 2: SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE	52

1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La relazione geologica qui esposta si riferisce al complesso degli interventi inclusi nel progetto di MISP così come a quelli facenti parte del PFTE n. 1951 di AdSPMAO, essendo peraltro la MISP uno degli ambiti tecnici di quel PFTE.

I dettagli delle verifiche geotecniche e strutturali sono necessariamente esplicitati nelle relazioni afferenti a quegli ambiti tecnici e ad esse si rimanda. Con particolare riferimento alla collina di Servola e allo sbancamento del piede funzionale alla realizzazione del rilevato della nuova stazione ferroviaria, rispetto alle condizioni geologiche e idrogeologiche riscontrate e specificatamente studiate, non si ravvisano fattori negativi rispetto ai quali considerare incompatibili le opere di che trattasi.

L'area in studio ricade all'interno del Golfo di Trieste, è afferente al comprensorio portuale triestino e, più in particolare, è ubicata a Sud-Ovest delle pendici del Colle di Servola e compresa tra l'omonimo rione cittadino e la linea di costa, prospiciente il mare rispetto le pendici meridionali del Colle di Servola e sita a Nord-Ovest del Monte S. Pantaleone. Tra i due rilievi collinari è presente l'alveo del Rio Primario, una modesta asta idrica che attualmente risulta tombata nel suo tratto terminale. Il sito in esame ricomprende lo stabilimento della Ferriera di Servola, che nella sua interezza si estende su un'area fronte mare estesa complessivamente per 552.415 m², con annessa banchina portuale. La zona dello stabilimento e delle aree afferenti lo Scalo Legnami e la Piattaforma Logistica si presenta con assetto sub-pianeggiante, disposta in direzione da NO a SE ed inserita in un contesto completamente urbanizzato. Infatti, il territorio circostante lo stabilimento è completamente antropizzato, contiguo all'area urbana del quartiere di Servola e a ridosso dell'area portuale della Piattaforma Logistica e dello Scalo Legnami, con la quale si integra.

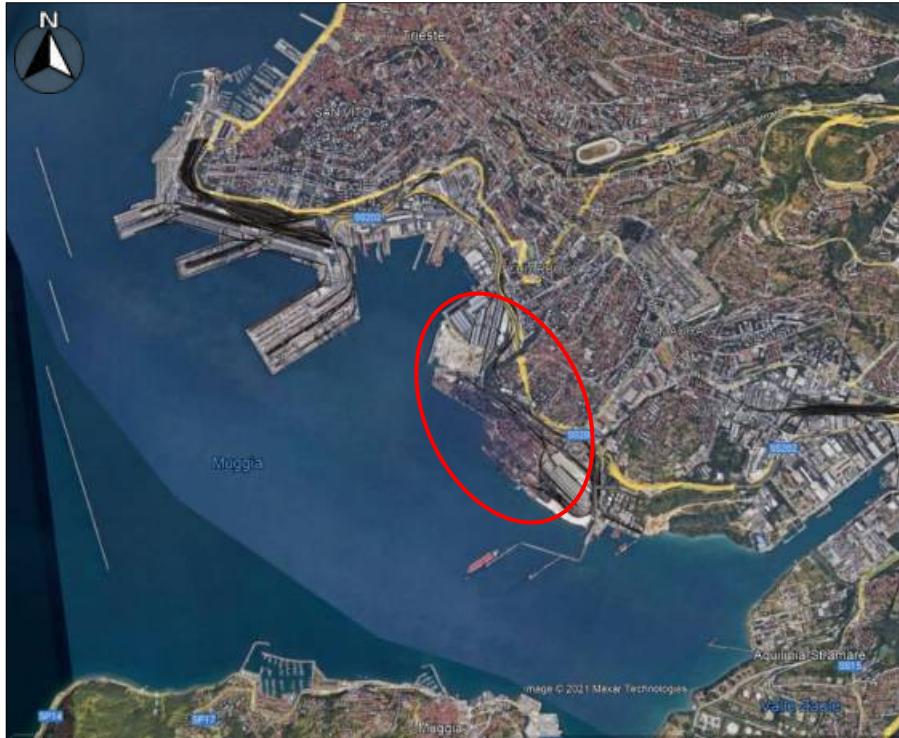


Figura 1

L'inquadramento geografico dell'area di studio è di seguito riportato, realizzato mediante l'unione dei fogli della Carta Tecnica Regionale Numerica (C.T.R.N.) a scala 1:5.000 n° 110144 "Trieste Sud-Ovest" e n° 110143 "Muggia".



Figura 2

2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista morfologico, l'areale è inserito in un contesto più ampio, sede del bacino marino evolutosi in età prequaternaria comprendente tutta l'area friulana; esso ha interessato principalmente la parte meridionale dell'area triestina, lambendo gli affioramenti miocenico-eocenici della zona. Tale assetto si è mantenuto sino all'età neozoica e, successivamente, è avvenuto un progressivo abbassamento del substrato roccioso nell'area meridionale del bacino ed una simultanea emersione dell'area più settentrionale, conseguenza del riempimento del mare pliocenico ad opera dell'intenso smantellamento fluvio-glaciale. Ciò è evidenziato dal profilo sismico continuo eseguito nel Golfo di Trieste (Morelli, C. - Mosetti, F. "Rilievo sismico continuo nel golfo di Trieste" - 1968) che ha identificato la progressiva evoluzione del bacino, mettendo in evidenza la presenza continua e regolare, nella parte più marginale del bacino, del basamento roccioso caratterizzato da marne ed arenarie.

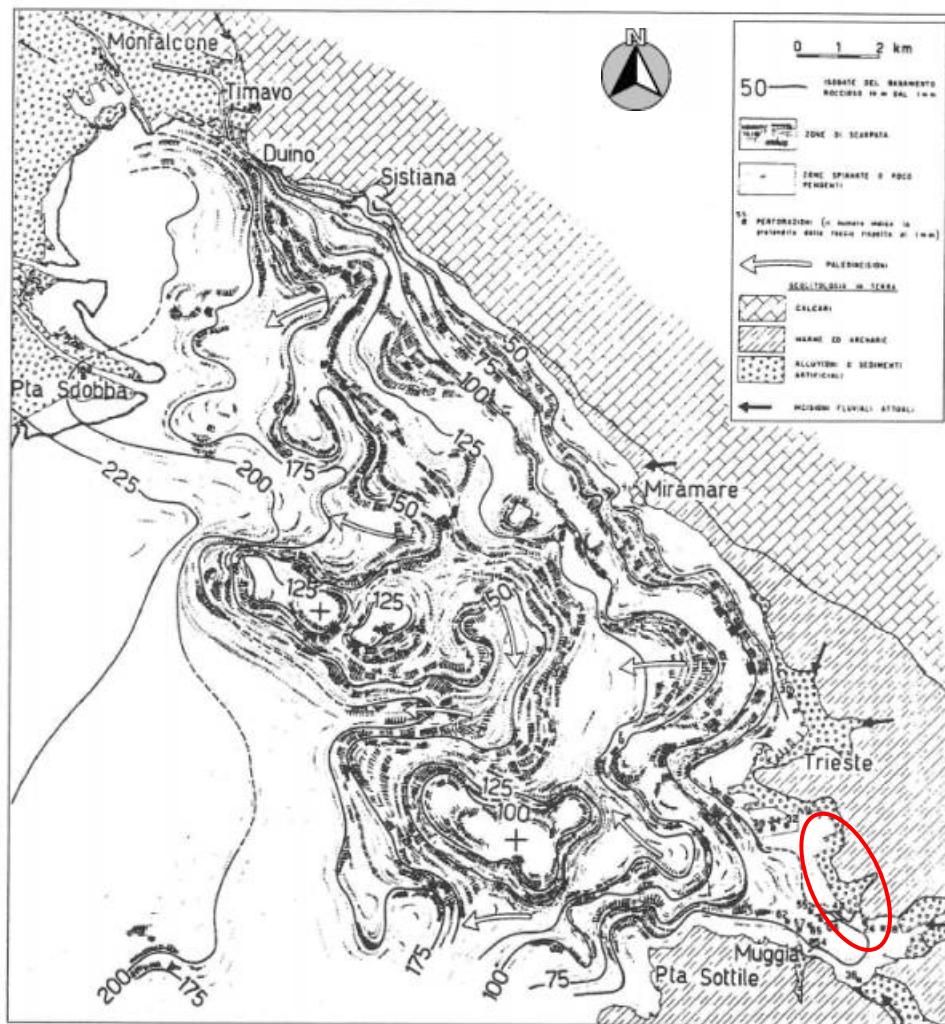


Figura 3 - Situazione della roccia di fondo sotto i sedimenti recenti nel Golfo di Trieste (Morelli Mosetti, 1968)

In generale, il basamento roccioso presenta rigidi gradini, identificabili come paleo-terrazzamenti, originatisi a seguito dell'incisione ad opera dei principali torrenti locali, quali il Rio Farneto, Settefontane, Baiamonti (o Roncheto), Primario, Ospio, Zaule e Rosandra. Tale assetto è composto da piani orizzontali che si mantengono abbastanza paralleli all'attuale linea di costa e rappresentano le antiche linee di spiaggia (Mosetti, F. "Morfologia dell'Adriatico settentrionale" - 1966).

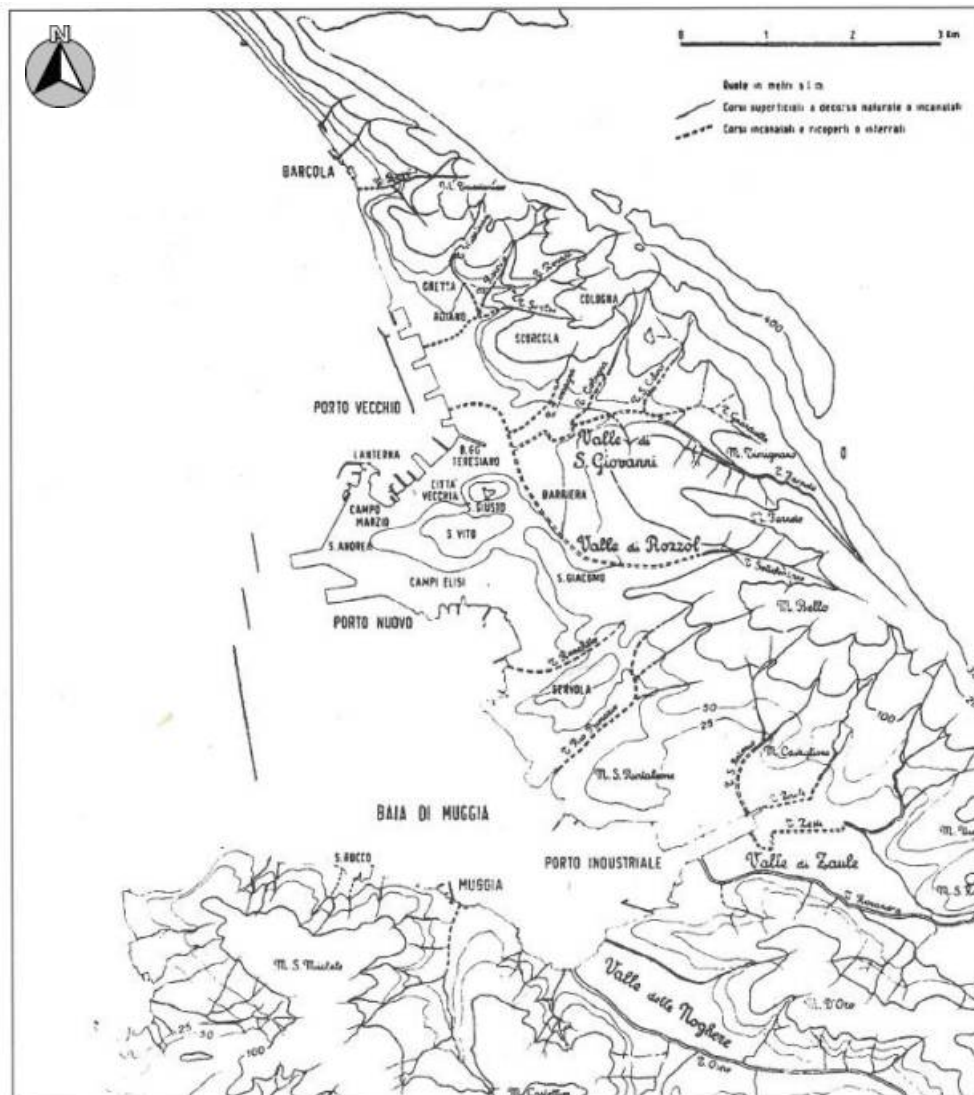


Figura 4 - Pianta della zona di Trieste al giorno d'oggi, con l'idrografia ed i corsi canalizzati coperti indicati in tratteggio (Mosetti, 1966)

I naturali processi tettonici e di erosione fluvio-marina (questi ultimi collegati alle variazioni del livello medio mare) sono i fattori che maggiormente hanno condizionato la morfologia del Golfo di Trieste e delle sue porzioni collinari che vi si affacciano e su cui sorge la Città di Trieste.

I rilievi collinari modellati nei litotipi erodibili del Flysch degradano verso la linea di costa interrotti da incisioni o valli percorse dai corsi d'acqua, che scendono dai rilievi. Lungo i versanti, a seconda delle caratteristiche del Flysch, della esposizione e dell'assetto stratigrafico, sono presenti accumuli di versante più o meno estesi e stabilizzati che si raccordano con le aree pianeggianti o subpianeggianti delle piane alluvionali (depositi di fondovalle) o delle zone di bonifica. Infatti, parte della Città di Trieste, ma soprattutto la fascia costiera, come detto, è ricavata da bonifiche di antiche aree paludose o di saline o di costa bassa spesso rocciosa. L'azione dell'uomo è quindi intervenuta in maniera decisa e determinante entro l'area cittadina modificando, nel tempo, la morfologia naturale dei luoghi e l'idrografia originaria, tanto da renderle il più delle volte irriconoscibili.

A tale morfologia si sottrae l'area ai piedi del Colle di Servola, dove, per successivi interramenti, si ha una brusca diminuzione delle pendenze causata dai vari interventi antropici riconducibili all'attività portuale e siderurgica, dove tutta l'area afferente lo Scalo Legnami ed il promontorio della Ferriera di Servola è caratterizzata da materiali antropici di riporto. Le litologie naturali e originali sono presenti a monte di tale area antropizzata e caratterizzano il rilievo del Colle di Servola, caratterizzato dal Flysch, ed è delimitato verso Sud-Est dalla presenza del Rio Primario e verso Nord-Ovest dal Rio Baiamonti, i cui paleoalvei defluivano verso la linea di costa. La sede dei paleoalvei è tuttora testimoniata dalla presenza di depositi alluvionali, principalmente caratterizzati da ghiaie calcaree, miste ad argille e limi, talora sabbiose, di età quaternaria.

Appare evidente che l'area di intervento deriva da opere di interrimento eseguite in epoche recenti ai piedi del Colle di Servola dove, originariamente, era presente la linea di costa come meglio evidenziato dalla ricostruzione della linea di costa attuale rispetto quella originaria, elaborata su carte storiche del Catasto Franceschino, che riportano la situazione dell'area negli anni 1818-1822 (vedi Figura 5).

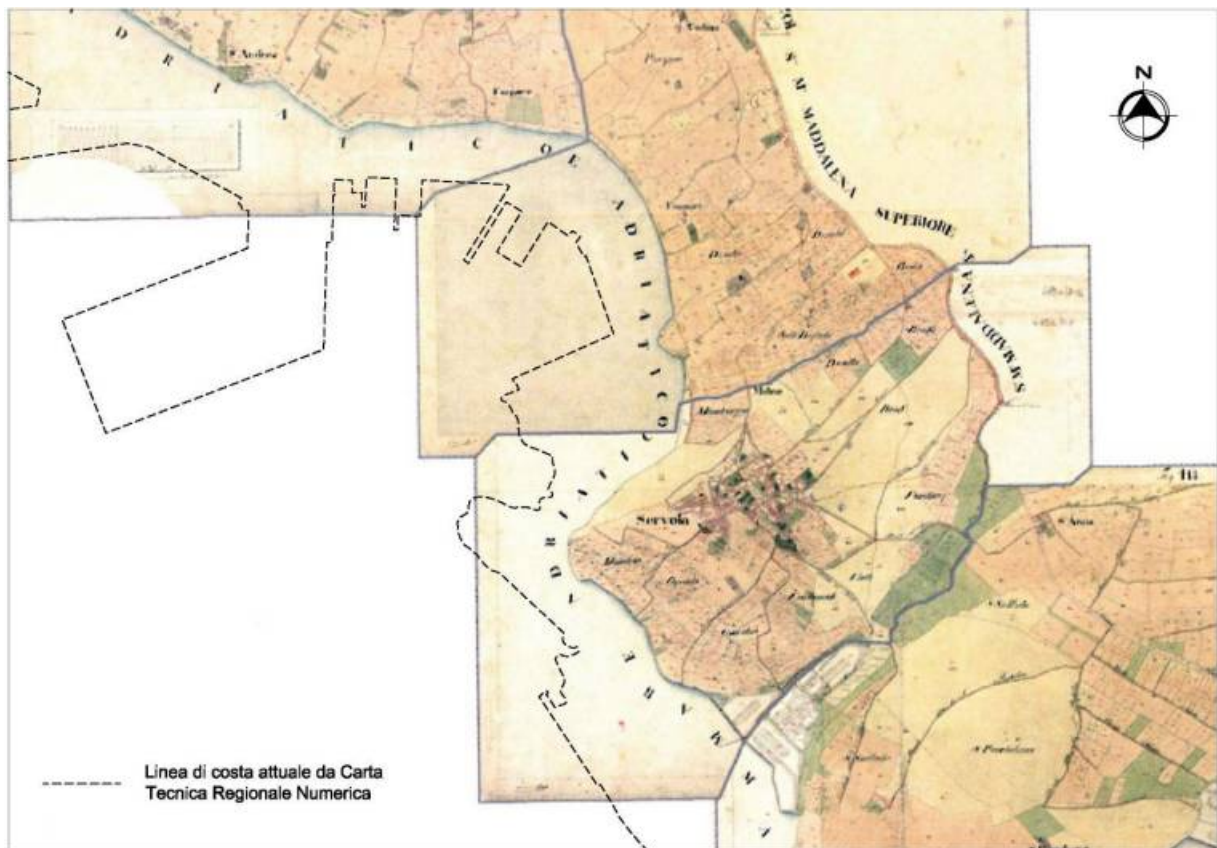


Figura 5

Il Colle di Servola, così come tutti i rilievi collinari triestini, è caratterizzato dalla presenza di un basamento roccioso afferente la *Formazione del Flysch triestino*, alternanza di marne ed arenarie di età paleogenica, in rapporto variabile tra i due litotipi ed in alternanza ritmica di sedimentazione, la cui parte superiore si presenta alterata e degradata fino a perdere la propria struttura litoide; ai suoi piedi esisteva probabilmente, in analogia con altri tratti di costa alta del comprensorio triestino, una piccola parete rocciosa seguita da una breve spiaggia formata da ciottoli e ghiaia arenacei, come meglio illustrato da Brambati, A – Catani, G: “*Le coste e i fondali del Golfo di Trieste dall’Isonzo a Punta Sottile: aspetti geologici, geomorfologici, sedimentologici e geotecnici*” - 1988, di cui alla seguente Figura 6. L’antica linea di costa è ben evidenziata dalla presenza di sedimenti marini, caratterizzati da argille limose di colore grigio-nerastro o nere, avente frazione organica e livelletti sabbiosi di età post-wurmiana, mentre nell’intorno dell’area di studio, negli ambiti più verso l’entroterra sono presenti anche coperture eluvio-colluviali, caratterizzate da ghiaie prevalentemente arenacee, miste a limi, argille e livelli di sabbia.

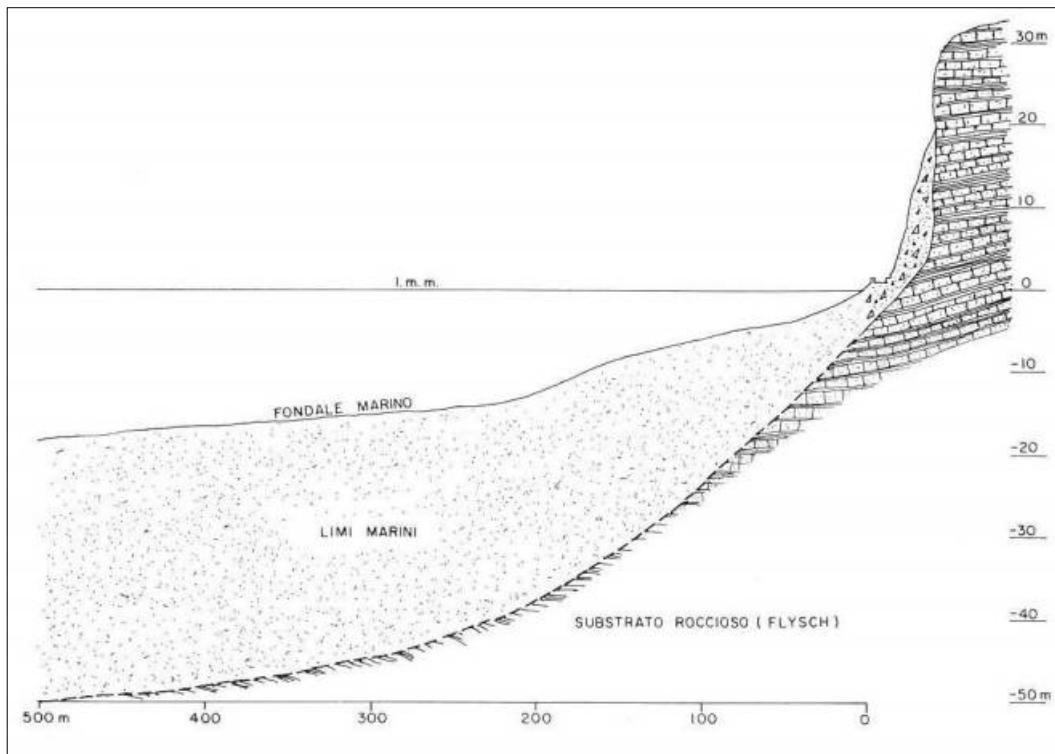


Figura 6 - Brambati, A. - Catani, G (1988) semplificata

Le piccole incisioni del Rio Baiamonti e Primario presentano nel fondovalle depositi alluvionali, costituiti da depositi eterometrici di ghiaie e ciottoli arenacei poco arrotondati, frammisti a sabbie e limi argillosi, di colore bruno. Le caratteristiche di questi depositi accumulati lungo l'alveo dei due Rii, attualmente completamente intubati, sono proprie di depositi di origine torrentizia con episodi di piena alternati a lunghi periodi di magra. Lo spessore di questi depositi, di età quaternaria, è modesto non avendo le aste torrentizie sovrainciso la valle rispetto la situazione attuale, in considerazione che la quota di base era ed è quella del livello medio mare. Pertanto, allo sbocco a mare del corso d'acqua, che corrispondeva all'originaria linea di costa, si rinvengono tali depositi continentali, non in modo netto ma interdigitati, frammisti a sedimenti marini limo-argillosi. Quest'ultimi sono i tipici sedimenti che caratterizzano il fondale marino dell'area portuale di Trieste che, a seguito della trasgressione marina postglaciale, sono costituiti da argille e limi di colore grigio, talora sottili e non continui livelli centimetrici di sabbia fine, che spesso presentano resti conchigliari e, talora, torba. Nell'area in esame questi sedimenti, che costituiscono il fondale marino, sono sovrastanti il basamento roccioso flyschoidale e soggiacenti i materiali antropici di riporto. Lo spessore di questi sedimenti aumenta rapidamente allontanandosi dalla costa dove, in breve, raggiunge potenza anche superiore a 10.0 m. Le opere antropiche di riempimento sono state eseguite in tempi differenti ed in lotti successivi e gli ultimi interventi risalgono agli anni 60-70; pertanto, i materiali antropici di riporto non

presentano caratteristiche di omogeneità. Si tratta, quindi, di materiali eterogenei con frazioni grossolane, che vanno dalla ghiaia, ai ciottoli, ai singoli blocchi frammisti a sedimenti fini di sabbia limosa ed argillosa; normalmente, i clasti sono arenacei ma si rilevano anche elementi calcarei e le percentuali delle singole componenti variano notevolmente. In generale, può essere operata una distinzione tra i materiali antropici di riporto presenti nell'area meridionale, ossia nell'area del promontorio della Ferriera di Servola, rispetto quelli della restante area; infatti, questi materiali di riporto, provenienti spesso dalle lavorazioni della Ferriera, sono caratterizzati principalmente da una frazione sabbiosa con limo, ciottoli e ghiaia non omogeneamente distribuiti.

In dettaglio, l'area di interesse risulta caratterizzata nei primi metri di sottosuolo da materiali di riporto di origine antropica utilizzati per le opere di interrimento di tratti a mare eseguiti in tutto il comprensorio portuale di Trieste dall'inizio dell'800, finalizzate all'ampliamento dell'impianto siderurgico che venne realizzato negli ultimi decenni del '800. Verso mare le quote sono pari a circa + 2 ÷ + 3 m s.l.m.m. e raggiungono circa + 5 m nelle porzioni più settentrionali dell'area della Ferriera. Spostandosi verso Nord, l'assetto morfologico si modifica progressivamente raggiungendo i circa + 20 m s.l.m.m. nella zona della palazzina uffici, sulle pendici inferiori del Colle di Servola.

In generale, l'area di intervento si colloca in un territorio la cui quota media si attesta al di sotto dei +10 m s.l.m.m.. Tuttavia, è possibile apprezzare la presenza di settori morfologici rialzati, rispetto al fronte mare, procedendo verso l'entroterra dove l'acclività del terreno aumenta in corrispondenza dei rilievi che caratterizzano l'area triestina, con valori di inclinazione anche di circa 25°÷30°, come meglio evidenziato nell'allegato stralcio della "*Carta Geomorfologica e dell'Idrografia superficiale*" e relativa legenda edita a scala 1:5.000 a corredo dello Studio Geologico del P.R.G. del Comune di Trieste (Figura 7).



Figura 7

Dall'analisi della carta geomorfologica di dettaglio sopra riportata, risulta che il sito in studio non sia apparentemente interessato da particolari elementi geomorfologici, anche in considerazione delle intense opere antropiche che ne hanno obliterato l'originario assetto. In dettaglio si rileva la presenza di alcune aree a pastini (ovvero pendii rimodellati a terrazzi) e la presenza di canali artificiali tombati, afferenti alle aste dei Rio Baiamonti e Primario.

A supporto di quanto sopra riportato, è stato fatto riferimento, inoltre, all'inventario IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia – Figura 8).

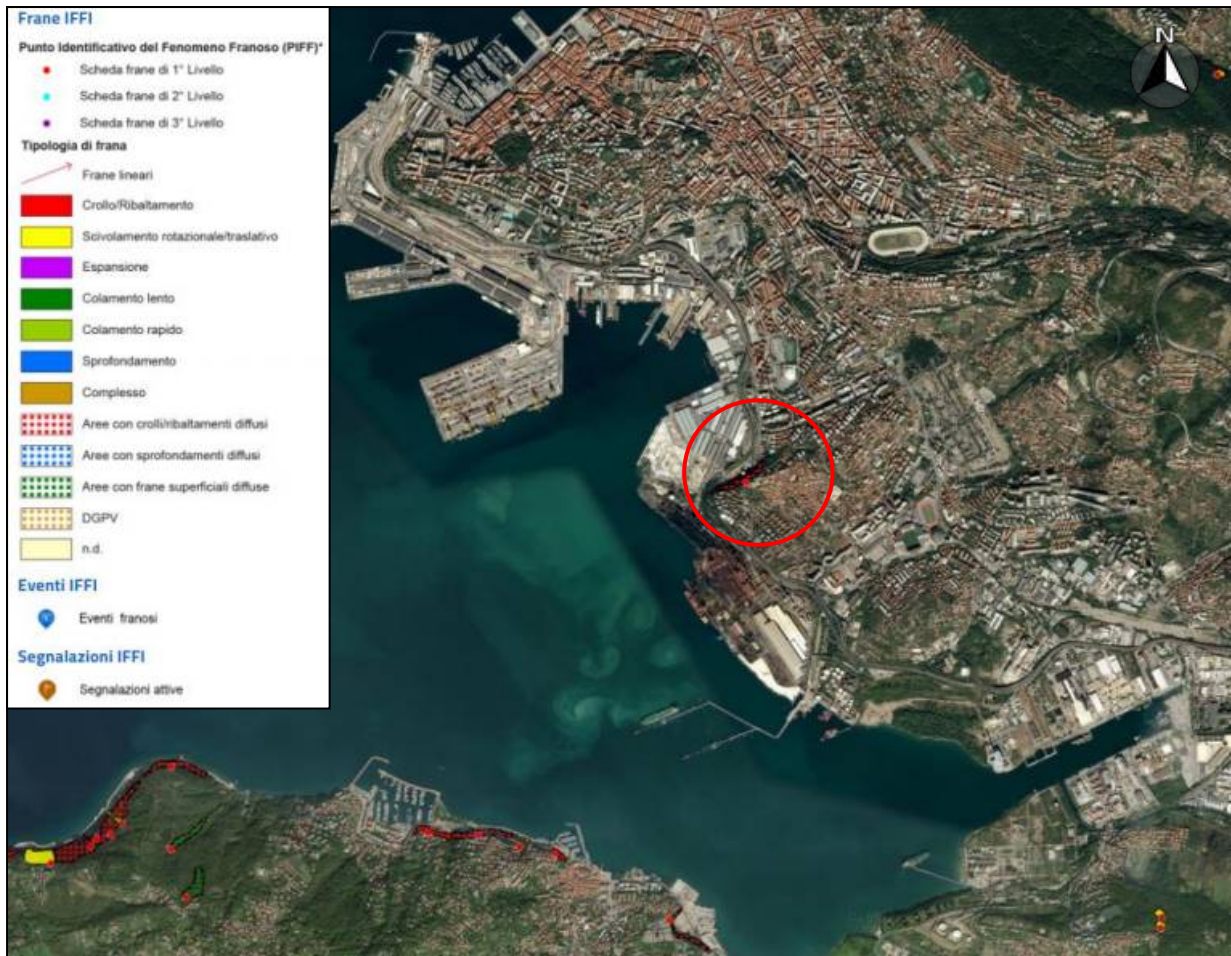


Figura 8

Dall'analisi dei dati si rileva, in prossimità dell'area di studio, la presenza di un'area soggetta a movimenti franosi (ID: 0322007900) in corrispondenza della S.S. 202. Tale area ha superficie di circa 8.760 m² ed è caratterizzata da un movimento di tipo *crollo/ribaltamento diffuso*, come riportato anche nella scheda dei fenomeni franosi della Regione Friuli Venezia Giulia, sotto riportata (Figura 9). Attualmente l'attività di questa frana viene considerata *attiva/riattivata/sospesa*.

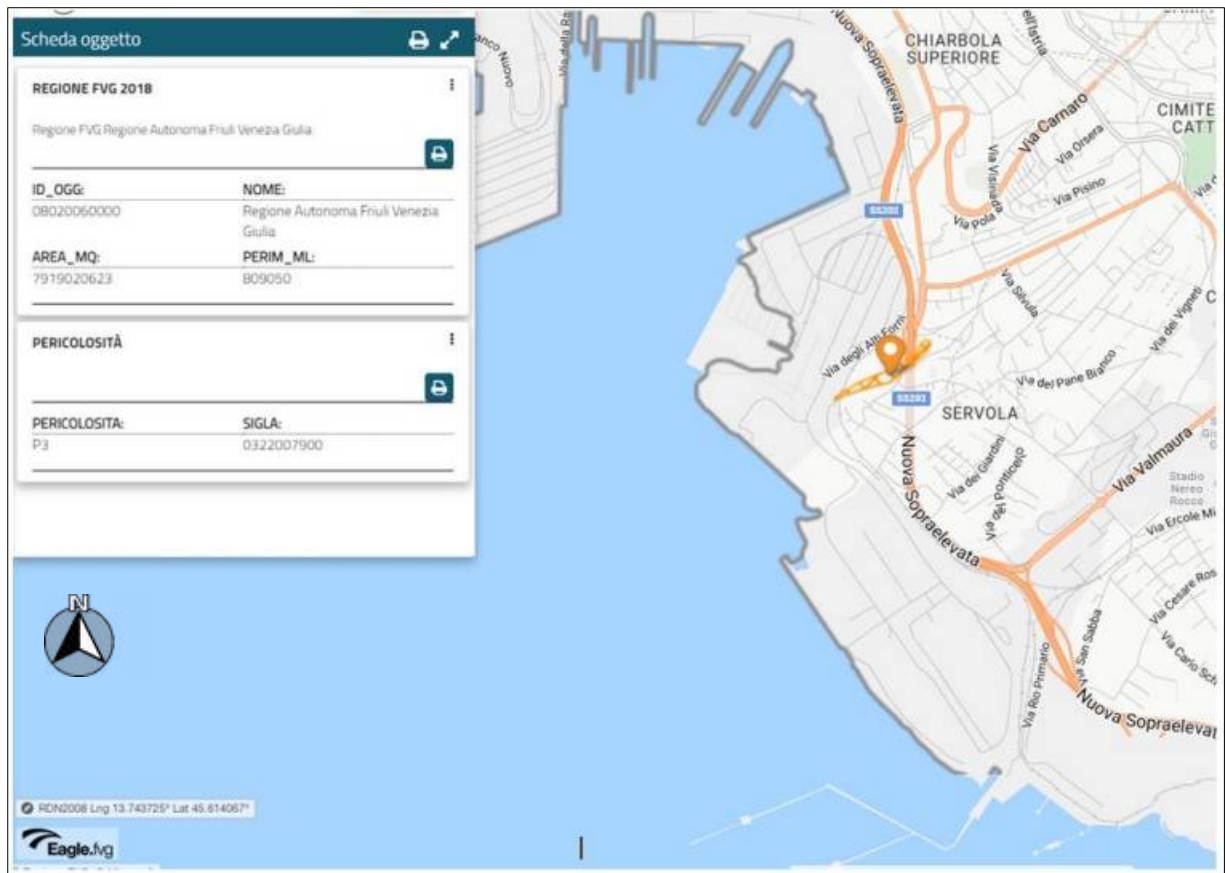






Figura 9

Come è possibile osservare da quanto sopra riportato, il fenomeno franoso risulta confinato alla suddetta area e, pertanto, si ritiene non possa interferire con l'area oggetto del presente studio.

Inoltre, dalla disamina del P.A.I.R (*Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di interesse Regionale*) lo stesso classifica, ai fini della *pericolosità geologica*, l'area di frana con *classe di pericolosità P3 - pericolosità elevata* poiché soggetta a fenomeni franosi localizzati e censito con Codice IFFI "0322007900" per movimenti di crollo/ribaltamento, come di seguito meglio illustrato (Figura 10). Si evidenzia, inoltre, che l'ambito di dissesto è stato oggetto di opere di difesa areale e di difesa lineare, disposte a protezione delle attività presenti in sito.



Classi di pericolosità

-  P1
-  P2
-  P3
-  P4



-  Opera di difesa lineare
-  Opera di difesa areale

Figura 10

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Per quanto all'assetto geologico dell'area in esame si è proceduto con l'analisi a grande scala, come può essere rappresentata dalla Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000), fino ad una scala di maggior dettaglio.

Nel complesso il Golfo di Trieste risulta formato da lembi del bacino marnoso arenaceo dell'Istria Settentrionale (sinclinale Trieste-Capodistria) e dal lembo Sud Occidentale dell'Altopiano Calcareo di Trieste e dell'Istria Montana (Carso di Trieste e dell'Alta Istria), che insieme formano una vasta anticlinale spianata percorsa da pieghe secondarie con direzione Sud/Est-Nord/Ovest; la "Faglia di Trieste" (faglia inversa) delimita il passaggio fra il complesso dei termini calcarei del Cretaceo e del Paleocene-Eocene inferiore appartenente all'Altopiano Carsico con il bacino marnoso qui rappresentato dal "Flysch di Trieste" (Età Paleocene – Eocene medio).

Il Golfo di Trieste è situato all'estremità Nord-orientale del Mare Adriatico e dal punto di vista geodinamico si trova nella zona di intersezione tra l'avampaese della Catena Dinarica Esterna e l'avampaese delle Alpi Meridionali.



Figura 11 - Schema tettonico del Friuli Venezia Giulia e aree circostanti (Dal Cin, 2018).

Durante il Mesozoico ed il Paleogene, l'area in cui ricade la zona di studio è stata interessata dallo sviluppo della Piattaforma carbonatica Dinarico Friulana, affiorante nel Carso ed in Istria, e il cui paleomargine si trova attualmente sepolto nella parte occidentale del Golfo di Trieste e della Pianura Veneto-Friulana. Durante il Cenozoico l'area è stata interessata dall'orogenesi dinarica che ha generato un sistema di sovrascorrimenti con direzione NO-SE, e la flessurazione della piattaforma carbonatica nell'avanfossa dinarica riempita durante l'Eocene dai sedimenti Flyschiodi silicoclastici torbiditici. La progressiva migrazione della deformazione dinarica verso Sud-Ovest ha causato il coinvolgimento dell'avanfossa con lo sviluppo di una serie di sovrascorrimenti, dei quali il Sovrascorrimento del Carso, ubicato in corrispondenza della costa orientale del Golfo di Trieste, rappresenta la struttura più occidentale (Busetti et al., 2010a,b; Cucchi et al., 2013; Del Ben et al., 1991; Dal Cin, 2018). Il successivo sollevamento della catena Alpina ha generato un'ulteriore flessurazione verso Nord, sviluppando un bacino di avanfossa riempito gradualmente, durante il Miocene, da depositi continentali derivanti dall'erosione della

catena stessa, e indicati con il termine di Molassa. Lo spessore di questi sedimenti supera i 3000 m alla base dell'orogene e si assottiglia rapidamente verso l'avampaese, quest'ultimo rappresentato dalla bassa Pianura Friulana e dall'Adriatico settentrionale (*Nicolich et al. 2004*).

Dal punto di vista tettonico, l'area dell'alto Adriatico presenta un assetto determinato essenzialmente da due eventi: 1) la fase di rifting mesozoica; 2) l'orogenesi dinarica cenozoica. Nella parte occidentale del Golfo di Trieste, il margine della piattaforma carbonatica ha un andamento NO-SE con strutture tettoniche legate al rift mesozoico (*Busetti et al., 2010a,b*). La strutturazione dinarica cenozoica comprende la zona di avampaese ad Ovest e la zona di catena ad Est costituita da sovrascorrimenti Sud-Ovest vergenti. Nell'ambito dell'avampaese dinarico si possono distinguere in una zona di avanfossa e una zona di rialzo periferico. La zona di avanfossa presenta la flessurazione dei carbonati meso-cenozoici che da 400 m di profondità, nella parte occidentale del golfo, si approfondiscono a più di 1600 m nei pressi della costa dell'altipiano carsico (*Busetti et al., 2010a, b; Dal Cin, 2018*). Il rialzo periferico si trova nella parte centrale del Golfo di Trieste in corrispondenza del margine della piattaforma (vedi Figure seguenti).

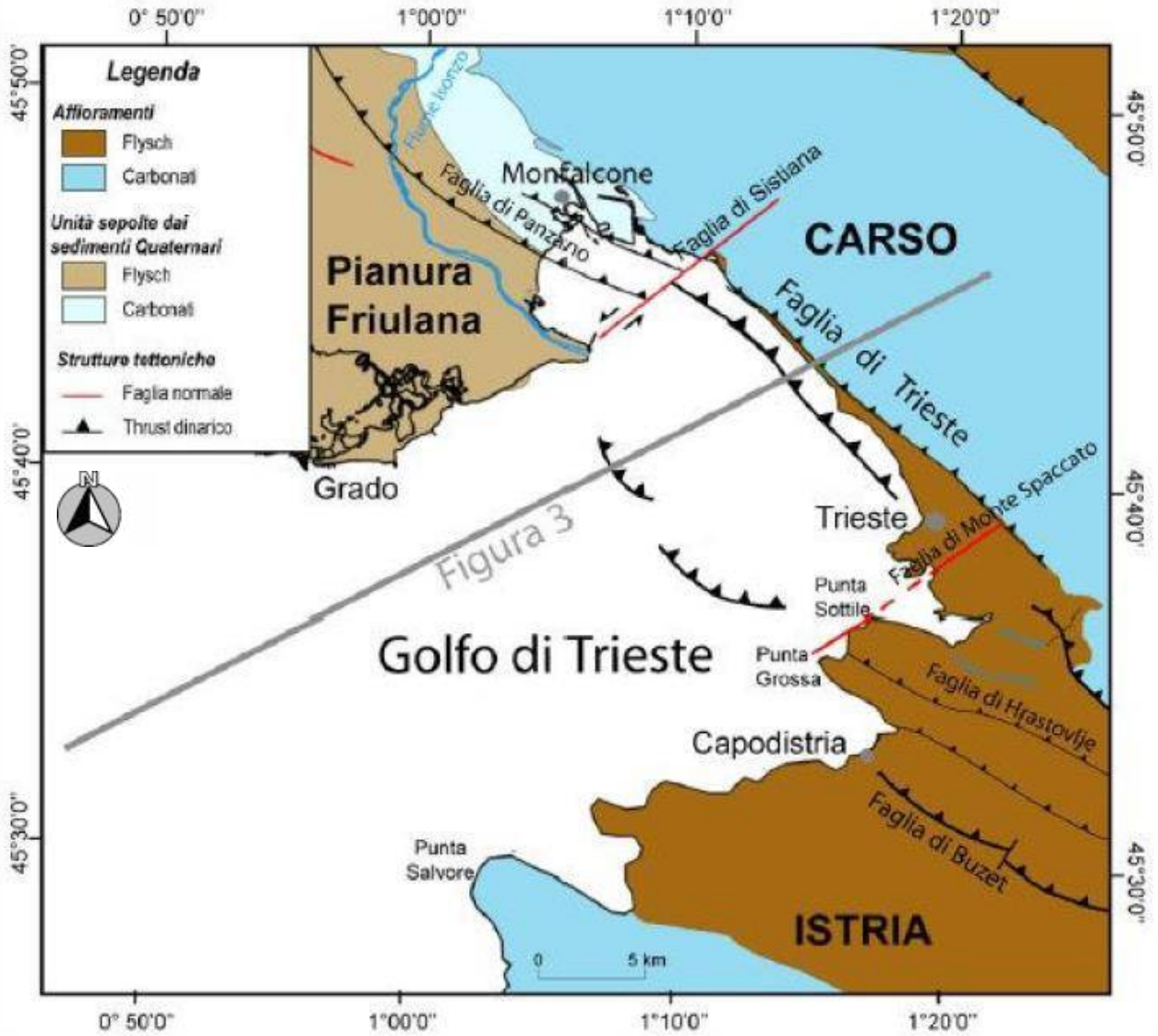


Figura 12 - Mappa Geologica del Golfo di Trieste - "Nuove evidenze geologiche nel Golfo di Trieste e lungo la sua costa: considerazioni in relazione alle proposte di insediamento di impianti strategici" (M. Busetti, 2011)

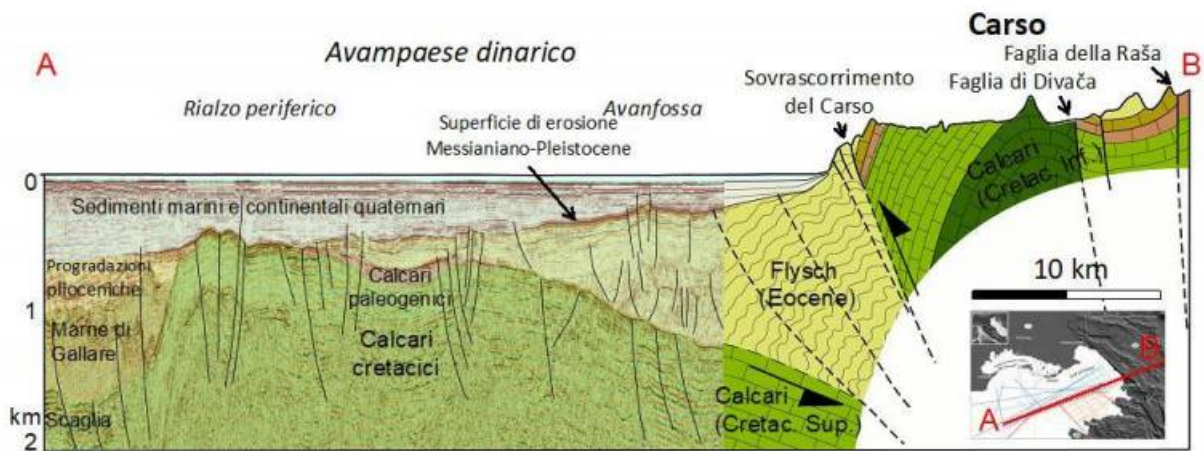


Figura 13 - Sezione attraverso il Golfo di Trieste e il Carso (Busetti et al. 2013a)

La principale struttura tettonica dell'area è il Sovrascorrimento del Carso (o Faglia di Trieste, o Thrust di Trieste), che rappresenta il fronte esterno delle Dinaridi (Figura 14).

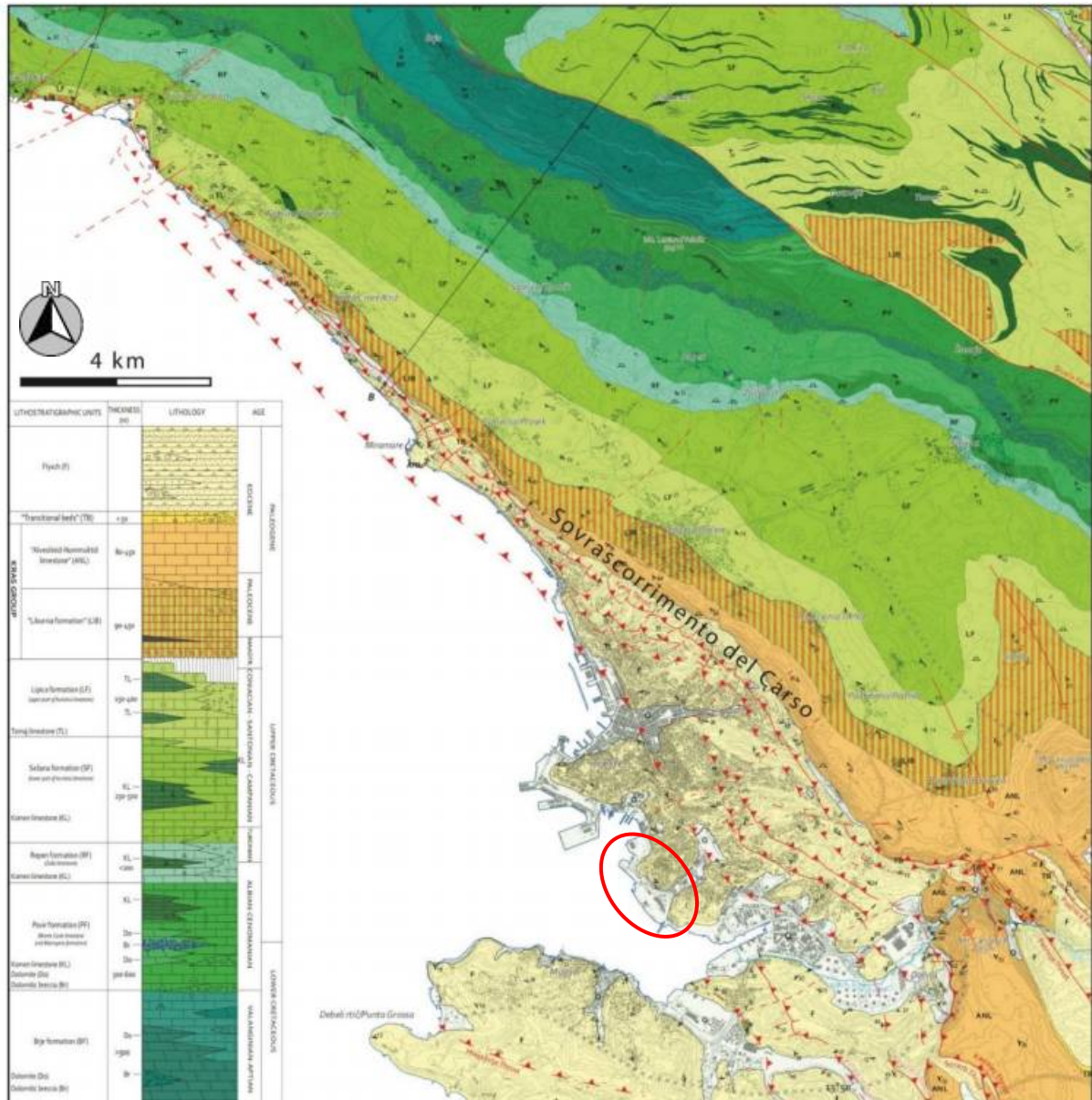


Figura 14 - Estratto dalla Carta geologica del Carso Classico (Jurkovšek et al., 2016)

Esso si estende lungo la costa triestina e presenta un rigetto verticale di circa 1600 m (Busetti et al., 2010a,b; Dal Cin, 2018). Inoltre, Del Ben et al. (1991) hanno attribuito a questa struttura una deformazione transpressiva con significativa componente destra, generatisi durante l'orogenesi Meso-Alpina (Paleogene) e riattivata durante la fase Neo-Alpina. Strutture tettoniche compressive/transpressive interessano l'area ad Ovest del Sovrascorrimento del

Carso, come ad esempio il Sovrascorrimento di Hrastovlje (*Placer et al., 2010*) che interessa la penisola di Muggia e che prosegue anche mare con direzione NO-SE (*Buseti et al., 2010a,b, 2013a,b*). Come si evince dalla sezione geologica sopra riportata, i carbonati (principalmente calcari) affiorano nell'Altopiano Carsico, mentre nel Golfo di Trieste sono presenti a profondità di circa 1200 metri dalla superficie e tale differenza rappresenta il rigetto verticale della "Faglia di Trieste".

Il Flysch, presente lungo la costa e che ricopre nel Golfo i carbonati, risulta deformato dall'attività di un sistema di faglie con andamento all'incirca parallelo alla linea di costa (Faglie dinariche con orientamento Nord/Ovest-Sud/Est); tali faglie interessano anche i sedimenti più recenti sovrastanti caratterizzati da depositi continentali e marini di età sino all'attuale, indicando una recente attività tettonica. Altri lineamenti strutturali (con direzione Nord/Est-Sud/Ovest) sono rappresentati da faglie trascorrenti tra le quali la "Faglia di Sistiana" e la "Faglia di Monte Spaccato".

3.1 Analisi a grande scala

3.1.1 Carta Geologica 1:150.000

È di seguito riportato un estratto della Carta Geologica della Regione Friuli-Venezia Giulia, a scala 1: 150.000 e relativa legenda delle litologie presenti nell'area.

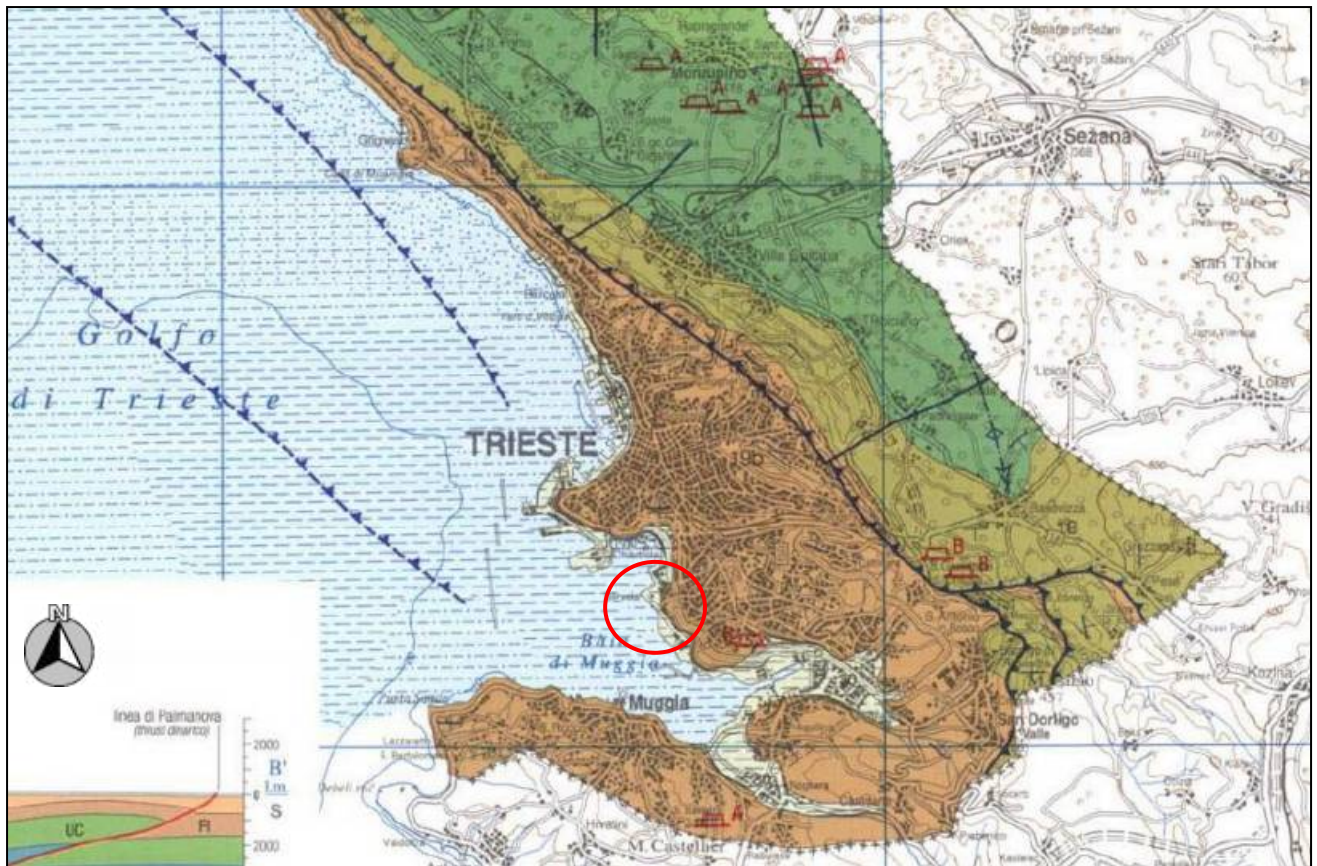


Figura 15 - Estratto della Carta Geologica regionale

Coperture quaternarie Quaternary covers

- | | |
|----|--|
| 30 | Aree di bonifica e di riporto artificiale. <i>Reclamation and antropic cover areas. Attuale</i> |
| 29 | Sedimenti del settore marino e lagunare. <i>Marine and lagoonal sediments. Attuale</i> |
| 28 | Detriti di falda recenti ed attuali. <i>Recent scree slope deposits. Olocene - Attuale</i> |
| 27 | Sedimenti palustri e lacustri, talora torbosi. <i>Swamp and lake deposits, sometimes peat. Olocene - Attuale</i> |
| 26 | Sedimenti alluvionali del settore montano, della pianura e litoranei. <i>Mountain, plain and littoral alluvial sediments. Olocene - Attuale</i> |
| 25 | Sedimenti alluvionali del settore montano. <i>Fluvioglacial and alluvial sediments of the mountains. Pleistocene sup. - Olocene</i> |
| 24 | Sedimenti fluvio-glaciali ed alluvionali dalla pianura. <i>Fluvioglacial and alluvial sediments of the alluvial plain. Pleistocene sup.</i> |
| 23 | Depositi glaciali del settore montano e dell'anfiteatro morenico del Tagliamento. <i>Mountain tills and Tagliamento terminal moraines tills. Pleistocene sup.</i> |
| 22 | Detriti di falda antichi. <i>Ancient scree slope deposits. Pleistocene l.s.</i> |
| 21 | Conglomerati alluvionali poligenici ed eterometrici ad abbondante matrice e cemento carbonatico (Conglomerato del Tagliamento ed altri depositi del Supersistema del Friuli). <i>Polygenic and heterometric alluvial conglomerates with abundant carbonate matrix and cement. Pleistocene inf. e medio</i> |

Successione cenozoica <i>Cenozoic sequence</i>	
20b	<p>Marne siltose grigie (<i>Marna di Tarzo, Marna di S. Donà</i>); alternanze di areniti e siltiti grigie (<i>Arenaria di Vittorio Veneto</i>); conglomerati poligenici ed eterometrici prevalenti, siltiti ed arenarie (<i>Conglomerato del Montello</i>); depositi molassici epibatiali, deltizi e di conoide alluvionale con episodi lacustri. <i>Grey silty marls; interbedded sandstones and grey siltstones; polygenic and heterometric conglomerates; Molasse deposited in epibathyal, deltaic and alluvial fan environments, with lacustrine episodes. Miocene medio - sup.</i></p>
20a	<p>Brecce calcaree e conglomerati (<i>Brecce di Feoris</i>); calcareniti grossolane, siltiti e arenarie grigie con resti fossili; locali livelli conglomeratici a ciottoli carbonatici, selciferi e metamorfici (<i>Arenaria di Preplans, fm. di Val Tremugna</i>); areniti glauconitiche grossolane verdastre a pettinidi (<i>Marna di Bolago, Gruppo di Cavanella</i>); alternanze di areniti glauconitiche e siltiti arenacee (<i>Arenaria di S. Gregorio</i>); peliti con resti di molluschi e coralli (<i>Marna di Montefumo</i>); areniti glauconitiche e biocalciruditi (<i>fm. del M. Baldo</i>); depositi molassici marini di piattaforma e deltizi. <i>Calcareous breccias, megabreccias and conglomerates; coarse calcarenites, siltstones and grey sandstones with plant remains; locally conglomerates with carbonate, siliceous and metamorphic pebbles coarse, green glauconitic sandstones with peactinids; interbedded glauconitic sandstones and sandy siltstones; shales with mollusks and corals; glauconitic sandstones and biocalcirudites: marine platform and deltaic Molasse. Oligocene sup. ?-Miocene medio</i></p>
19b	<p>Alternanze pelitico-arenacee ben stratificate con calciruditi e calcareniti talora in potenti banchi carbonatici (<i>Flysch del Grivo: a - Megastrato del M. Ioanaz; b - M. di Vernasso; Flysch di Clauf</i>); alternanze di areniti e/o siltiti con marne calcareo-silicee a clasti di quarzo e selce (<i>Flysch di Cormons, Flysch di Glauzetto, "Flysch di Trieste"</i>); depositi di bacino. <i>Interbedded shales and sandstones with calcirudites and calcarenites, sometimes in thick carbonate beds (a, b); alternation of sandstones and/or siltstones with calcareous-siliceous marls with quartz and silica clasts: basinal deposits. Paleocene p.p. - Eocene medio.</i></p>
19a	
18	<p>Calcarsiltiti grigio-nerastre con banchi di breccia ed areniti nella parte superiore (<i>Membro di Drenchia, Flysch di Uccœe</i>); calcareniti con brecce e calcilutiti (<i>Flysch di Clodig, Flysch di M. Brieka</i>); alternanze arenaceo-pelitiche, con spessi orizzonti di breccia (<i>Flysch dello Iudrio</i>) e peliti rossastre ad arenarie grigie intercalate (<i>Flysch di Calla</i>); arenarie con orizzonti calciclastici (<i>Flysch di Masarolis</i>); depositi di bacino. <i>Grey-blackish calcisiltites, with breccia beds and sandstones intercalations towards the top; calcarenites with breccias and mudstones; sandstone-shale alternations, with frequent breccia beds and reddish shales with interbedded grey sandstones; sandstones with calcareous clastic beds: basinal deposits. Cretacico sup. - Paleocene p.p.</i></p>
<p>Calcarei grigi e nocciola a stratificazione metrica o indistinta molto fossiliferi (<i>Calcarei a Mitofidi, Calcarei a Nummuliti ed Alveoline, Mb. di M.te Grisa e Opicina, Liburnico: Vreme e Cosina</i>); brecciole carbonatiche e marne debolmente arenacee con nummuliti; depositi di piattaforma. <i>Grey and dark brown fossiliferous limestones in m-thick beds or massive; carbonate breccias and sandy marls with nummulites: platform deposits. Paleocene - Eocene inf.</i></p>	
Successione mesozoica <i>Mesozoic sequence</i>	
17c	<p>Calcarei bioclastici biancastri, massicci con abbondanti rudiste, talora con intercalazioni di calcari micritici (<i>Calcarei di M. Cavallo, Calcareniti del Molassa, Calcarei di Aurisina, Fm. dei Calcarei del Carso triestino p.p., Calcarei di Monte San Michele</i>); depositi di piattaforma aperta. <i>Whitish bioclastic limestones, massive, with abundant rudists, sometimes with interbedded micritic limestones: carbonate platform deposits. Cretacico sup.</i></p>
17b	<p>Brecce con clasti dolomitici, compatte, di colore grigio; dolomie grigio chiare e grigio scure, con laminazioni nerastre (<i>scisti di Comeno</i>), dolomie nere saccaroidi; lenti di breccia e calcari dal rosso mattone al giallastro; calcari grigi a rudiste (<i>Fm. di Monrupino, Mb. di Rupingrande</i>); depositi di piattaforma. <i>Grey breccias with dolomitic clasts; light grey sparitic dolostones, dark grey dolostones with blackish laminations; breccia lenses and brick red-yellowish limestones: carbonate platform deposits. Cretacico inf.- sup. p.p.</i></p>
17a	<p>Marne e calcari marnosi rossastri e grigi a frattura scagliosa, debolmente nodulari, a stratificazione cm-dm; locali brecce ed olistoliti carbonatici (<i>Scaglia rossa, selcifera e varegata</i>); depositi di bacino. Talora, alla base, brecce in bancate massicce con clasti calcarei a frammenti di rudiste (<i>Brecce di Grignes, Calcare di Volzara, Calcarei del Facciaito, Calcarei di Andreis</i>); depositi di scarpata. <i>Reddish and grey marls and marly limestones, slightly nodular, in cm-dm-thick beds; locally, carbonate olistoliths and breccias are found: basinal deposits. Sometimes at the base, massive calcareous breccias with clasts of rudist-bearing limestones occur. Cretacico inf. - Eocene inf.</i></p>
16c	<p>Calcarei stratificati dm-m, biancastri, grigi e nocciola, di aspetto porcellanaceo, con frequenti strutture di emersione, talora con brecce, argille residuali e stromatoliti (<i>Calcarea del Cellina, Mb. di M.te Coste, Calcarei di S.Donà</i>); depositi di piattaforma protetta. <i>Well stratified whitish, greyish and brownish limestones, with karst features, sometimes with presence of breccias, residual clays and stromatolites: protected shallow water platform deposits. Giurassico sup. - Cretacico inf.</i></p>

3.1.2 Carta Geologica d'Italia 1:100.000

È di seguito riportato un estratto della Carta Geologica d'Italia, foglio n° 53A "Trieste" a scala 1:100.000 e relativa legenda delle litologie presenti nell'area.

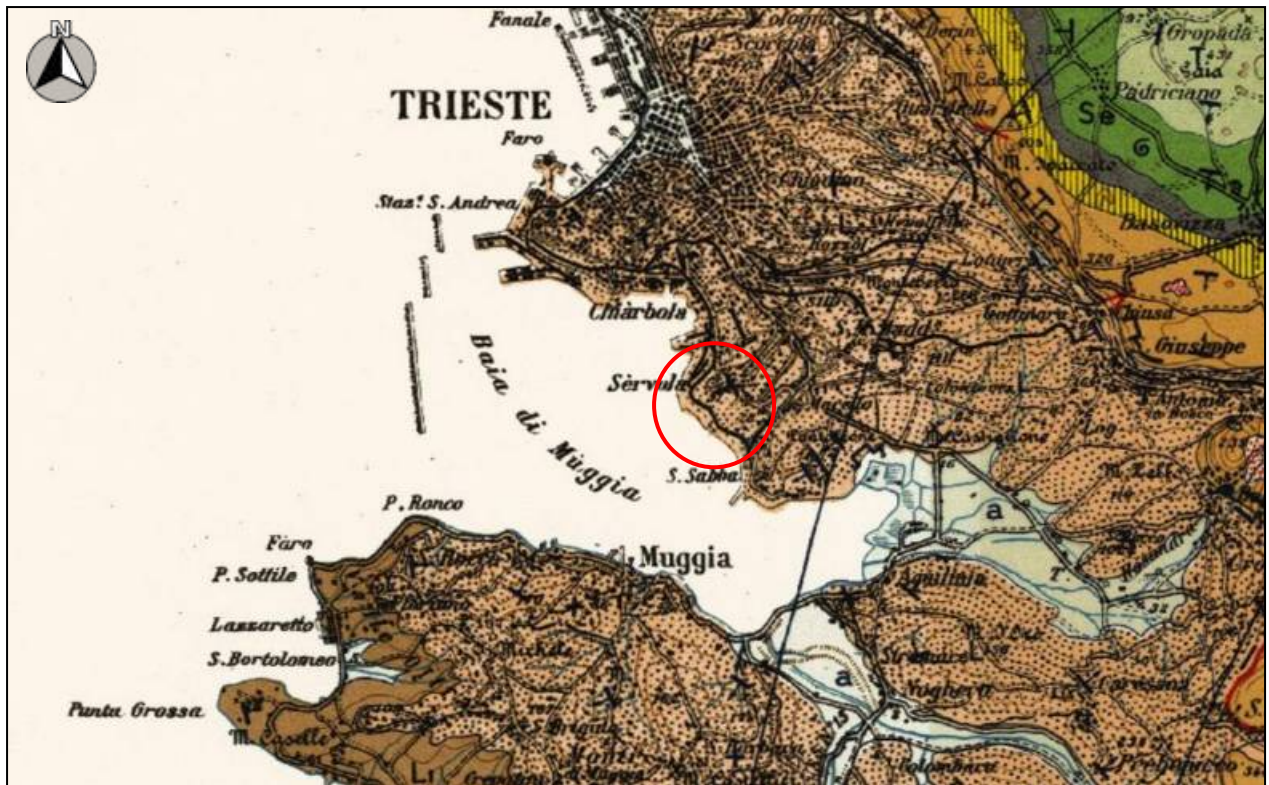
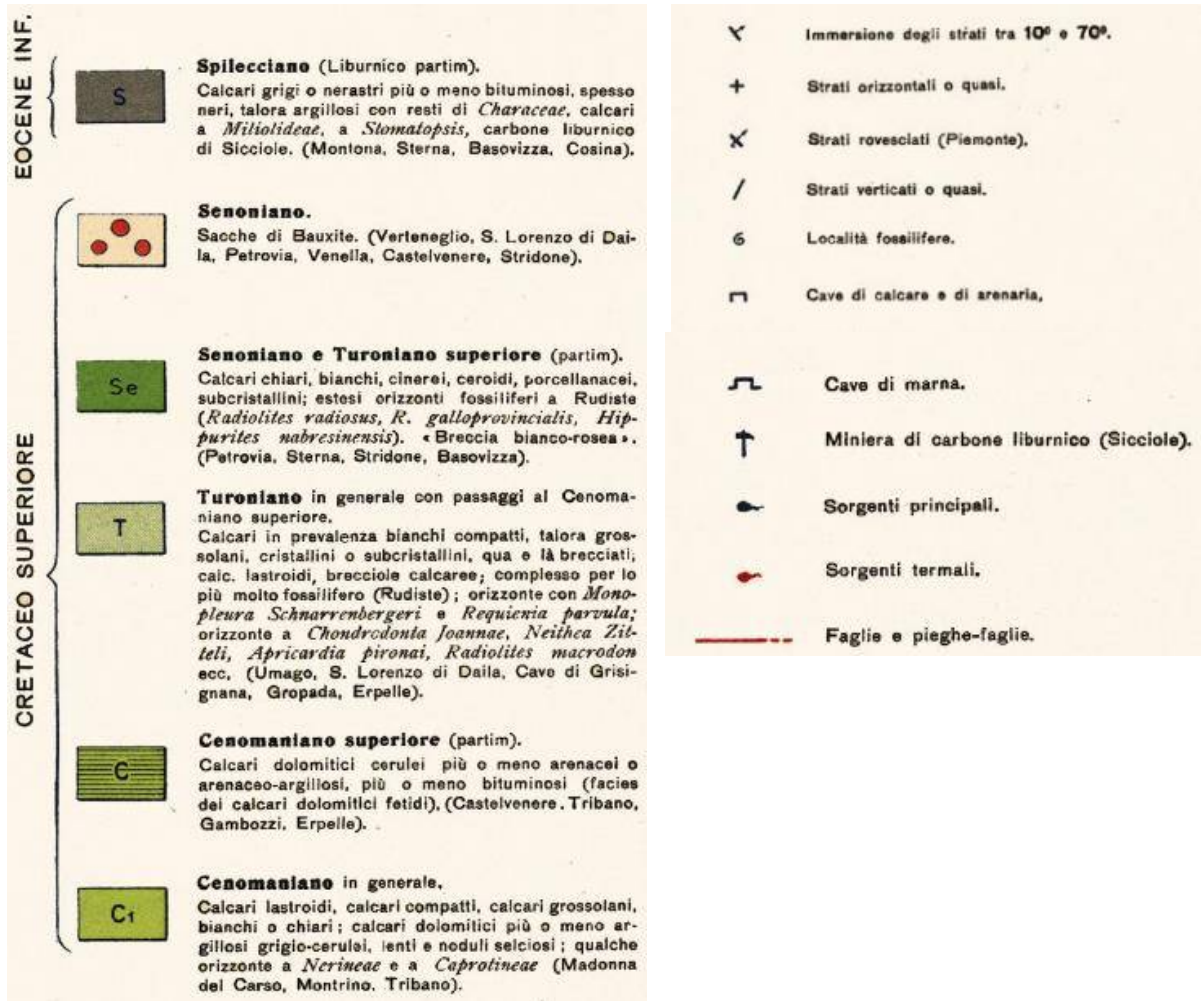


Figura 16 - Estratto della Carta Geologica d'Italia, Foglio n° 53A "Trieste"





3.1.3 Carta geologica 1:50.000

È di seguito riportato un estratto della Carta Geologica del Carso classico a scala 1: 50.000 e relativa legenda.

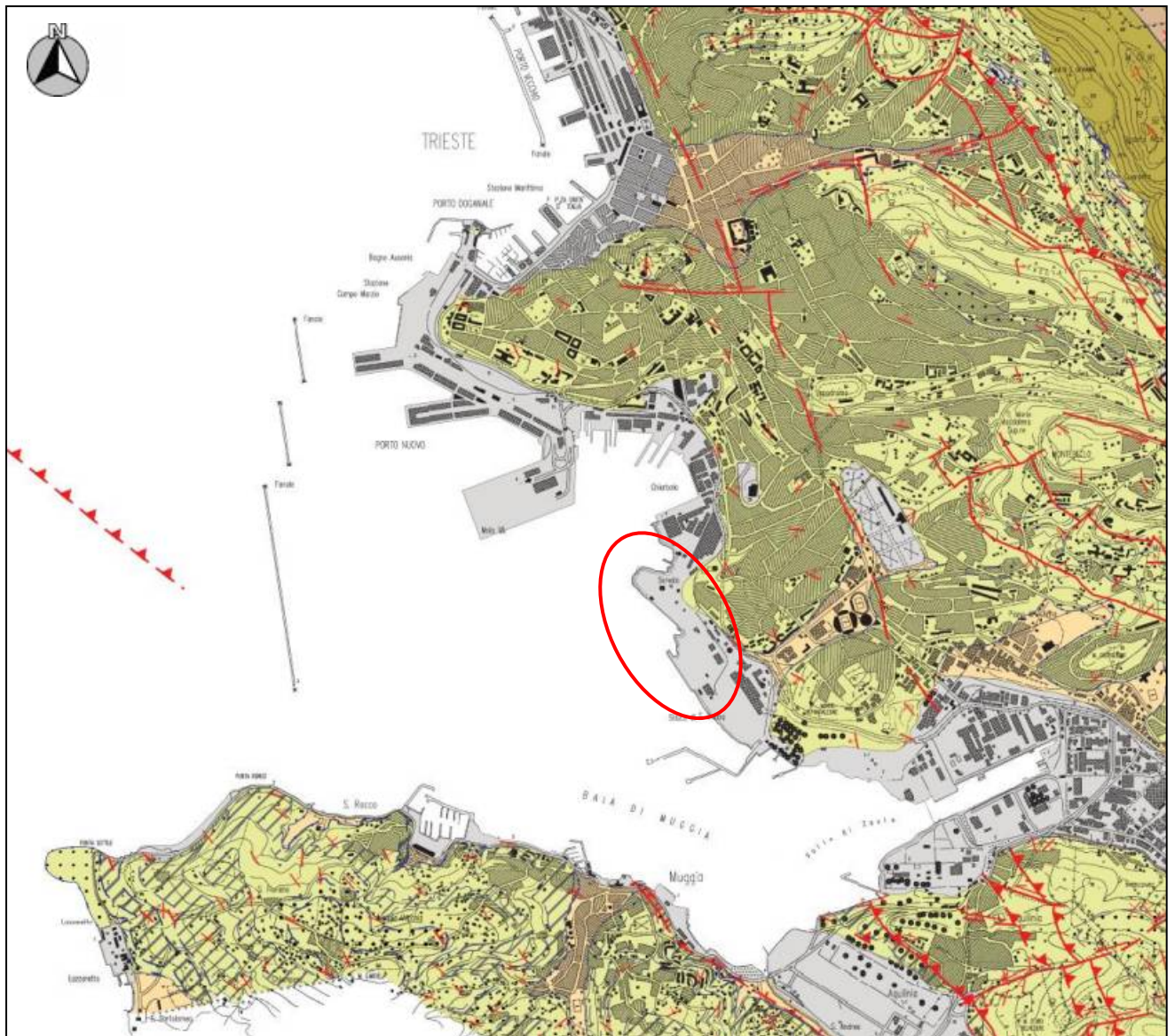













Figura 17 - Estratto della Carta Geologica del Carso classico












SUCCESSIONE CONTINENTALE QUATERNARIA

















	Antropico (Attuale)
	Unità di Grado (8000 B.P. - Attuale) - GRA
	Unità dei depositi ubiquitari (Pleistocene sup. - Attuale) - UIN
	Unità superiore dei bacini secondari (Pleistocene sup. - Olocene) - BTR
	Unità di Gorizia (Pleistocene sup.) - GOR

SUCCESSIONE CONTINENTALE PRE-QUATERNARIA

	Flysch di Trieste (Luteziano sup.) - FT
	Flysch di Trieste: facies arenitica (Luteziano p.p.) - FTa
	Flysch di Trieste: facies pelitica (Luteziano p.p.) - FTb
	Flysch di Trieste: calcari marnosi, marne calcaree, marne (Luteziano p.p.) - FTc
	Calcari ad Alveoline e Nummuliti (Thanetiano sup. - Ypresiano m.) - ALN
	Formazione Liburnica c (Thanetiano p.p.) - LIBc
	Formazione Liburnica b (Daniano - Thanetiano p.p.) - LIBb
	Formazione Liburnica a (Campaniano sup. p.p. - Maastrichtiano) - LIBa
	Calcari di Aurisina (Cenomaniano sup. - Turoniano pp. - Senoniano inf.) - AUR
	Formazione di Monrupino (Cenomaniano med./sup.) - MRP
	Calcari di Monte Coste (Aptiano inf. p.p. - Albiano sup.) - CCS

SIMBOLOGIA

	stratificazione inclinata
	stratificazione inclinata rovesciata
	stratificazione orizzontale
	stratificazione verticale con indicazione della polarità
	stratificazione verticale a polarità sconosciuta
	stratificazione a polarità sconosciuta
	contatto stratigrafico e/o litologico
	contatto stratigrafico e/o litologico incerto o sepolto
	contatto con area non rilevabile (mare, lago, ghiacciaio, strutture antropiche, ecc.)
	contatto stratigrafico inconforme
	contatto stratigrafico inconforme incerto o sepolto

	faglia certa
	faglia incerta o sepolta
	faglia diretta
	faglia diretta incerta o sepolta
	faglia inversa
	faglia inversa incerta o sepolta
	faglia con prevalente componente trascorrente destra
	faglia con prevalente componente trascorrente destra incerta o sepolta
	faglia con prevalente componente trascorrente sinistra
	faglia con prevalente componente trascorrente sinistra incerta o sepolta
	faglia con prevalente componente trascorrente con senso di movimento non det.
	faglia con prevalente componente trascorrente con senso di movimento non det., incerta o sepolta
	faglia transtensiva (diretta trascorrente) destra
	faglia transtensiva destra incerta o sepolta
	faglia transtensiva sinistra incerta o sepolta
	faglia transpressiva (diretta trascorrente) destra
	faglia transpressiva sinistra incerta o sepolta
	sovrascorrimento
	sovrascorrimento incerto o sepolto
	sovrascorrimento di importanza minore
	sovrascorrimento di importanza minore incerto o sepolto
	traccia sezioni

Dall'analisi della documentazione sopra riportata si rileva che nell'ambito triestino, a partire dal Mesozoico, è presente una piattaforma carbonatica in evoluzione, caratterizzata da una bassa energia di fondo con frequenti emersioni ed una aggradazione controllata dalla tettonica; l'ambiente si evolve con sviluppo di depositi biohermali e biostromali e di "reef", con locali fasi di emersione testimoniate da fenomeni di paleocarsismo. Le spinte orogeniche (Senoniano Sup.) cominciano a strutturare la piattaforma con la formazione dell'Anticlinale del Carso Triestino e della Sinclinale Trieste-Capodistria, con conseguente mutazione delle condizioni ambientali di mare prima protetto e poi più aperto con influenze terrigene. Nell'Eocene la ripresa delle fasi orogenetiche produce enormi quantità di detriti che, trasportati dai corsi d'acqua, danno luogo a sedimenti deltizi che coprono la piattaforma (sedimenti torbiditici in facies di Flysch).

Nell'Oligocene si assiste al sollevamento dell'Anticlinale ed il collasso dei sedimenti torbiditici, con conseguente formazione delle principali strutture tettoniche. Nel periodo Plio-Pleistocenico, con il mutare delle condizioni ambientali (batimetriche del bacino) e tettoniche di sollevamento, si instaurano fenomeni di erosione nel Flysch, nonché una decisa evoluzione dei fenomeni carsici che interessano i litotipi dell'Altopiano Carsico; tali eventi hanno portato all'attuale fisionomia strutturale-geomorfologica dell'ambito.

3.2 *Analisi a scala di dettaglio*

3.2.1 *Carta geologica 1:5.000*

È di seguito riportato un estratto della “*Carta della Litologia Superficiale*” edita a scala 1:5.000 a corredo dello Studio Geologico del P.R.G. del Comune di Trieste e relativa legenda.






Figura 18 - Estratto della Carta della Litologia superficiale

COPERTURE QUATERNARIE

	R : riporto, accumulo artificiale detritico e / o inerte
	DF : detrito di falda
	GM : sedimenti prevalentemente ghiaiosi con limi e argille
	M : sedimenti prevalentemente limoso-argillosi
	MG : sedimenti prevalentemente limoso-argillosi con ghiaie
	MS : sedimenti prevalentemente limoso-argillosi con sabbie
	MSG : sedimenti prevalentemente limoso-argillosi con ghiaie e sabbie
	SMG : sedimenti prevalentemente sabbiosi con limi, argille e ghiaie
	TR : terre rosse
	DV : detrito di versante pleistocenico: ghiaie cementate, breccie

FLYSCH DI TRIESTE
(Luteziano p.p.)

	Facies marnoso-arenacea (alternanze di marne ed arenarie con una percentuale di arenarie variabile da 30% a 70%)
	Facies arenacea (arenarie, intercalazioni marnose con netta prevalenza di arenarie)
	Facies marnosa (marne, intercalazioni marnoso-arenacee con netta prevalenza di marne)

CALCARI DEL CARSO TRIESTINO
(Cenomaniano sup - Cufisano medio)

	Calcar
---	--------

SIMBOLI

	Giactura della stratificazione
	Stratificazione orizzontale
	Stratificazione rovesciata
	Stratificazione verticale
	Faglia
	Faglia sepolta / presunta
	Sovrascorrimento
	Sovrascorrimento sepolto / presunto
	Confine comunale

3.2.2 3.2.2) Carta sintesi geologica 1:10.000

È di seguito riportato un estratto della “Carta di Sintesi Geologica GEO-CGT” e relativa legenda edita a scala 1:10.000 edita dalla Regione Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico.

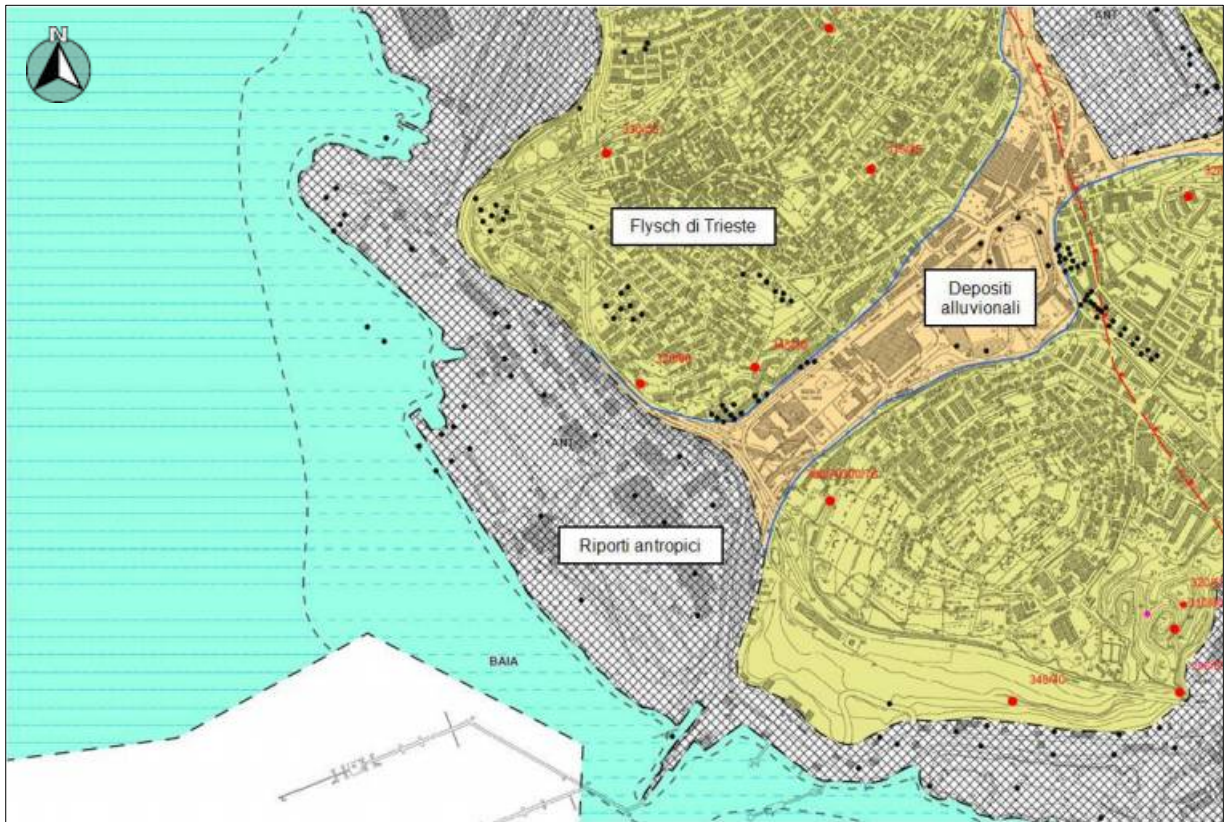
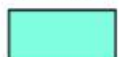



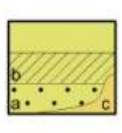
Figura 19 - Carta Geologica di Sintesi Geologica GEO-CGT

Successione quaternaria


 Unità deposizionale di Baia - UDB (Olocene)


 Unità dei depositi ubiquitari - UIN (Pleistocene sup. - attuale)

Successione torbiditica


 Flysch di Trieste - FT (Luteziano p.p.)
 a: facies arenitica - FTa
 b: facies pelitica - FTb
 c: strati transizionali (calcarei marnosi, marne calcaree, marne) - FTc


Successione di piattaforma carbonatica

 Calcarei ad Alveoline e Nummuliti - ALN (Thanetiano sup. - Cuisiano medio)

 Formazione Liburnica
 LIBb (Daniano - Thanetiano p.p.)
 LIBa (Campaniano sup. p.p. - Maastrichtiano p.p.)

 Calcarei di Aurisina - AUR (Cenomaniano sup. - Campaniano inf.)

 Formazione di Monrupino - MRP (Cenomaniano medio - sup.)

 Calcarei di Monte Coste - CCS (Aptiano p.p. - Albiano sup.)

SISTEMA DEPOSIZIONALE

Depositi marini



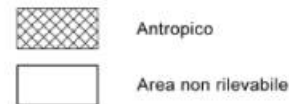
Detrito di falda



Coltre eluvio-colluviale, deposito colluviale ed eolico



Segni convenzionali



Nel complesso, il tetto del Flysch si presenta nella Baia di Muggia con una morfologia valliva con l'asse principale coincidente con l'asse longitudinale della baia, e con ulteriori valli secondarie. Inoltre, localmente sono presenti morfologie caratterizzata da scarpate metriche e pluri-metriche alternate a terrazzi sub-orizzontali estesi da decine a centinaia di metri. La morfologia complessiva della Baia di Muggia riflette l'evoluzione geologica dell'area caratterizzata da:

- a) fase di deformazione tettonica dinarica associata a strutture orientate NO-SE (Sovrascorrimento del Carso) presenti lungo il versante settentrionale della Baia di Muggia, e strutture tettoniche orientate NNO-SSE (Sovrascorrimento di Hrastovlje) nel versante meridionale della baia (*Placer, 2005*) responsabili dell'inclinazione degli orizzonti e dello sviluppo di pieghe e faglie;
- b) fase di erosione fluviale, con un sistema di drenaggio impostatosi nel Messiniano (fine Miocene) durante la crisi di salinità del Mediterraneo con un drastico abbassamento del livello del mare che, aumentando il gradiente idraulico, ha provocato una profonda erosione fluviale nelle aree circum-mediterranee; le condizioni subaeree sono perdurate nella parte orientale del Golfo di Trieste anche durante il Pleistocene;
- c) le diverse fasi di regressione e trasgressione marine del tardo Quaternario, legate ai cicli glaciali e interglaciali (ultimi 800.000 anni), hanno provocato, durante le fasi di stazionamento alto del livello marino, lo sviluppo di terrazzi e scarpate a causa dell'erosione del moto ondoso; la fase attuale di questo processo è presente a Punta Grossa e a Punta Sottile (zona all'estremo

Sud-Ovest della Baia di Muggia), dove un terrazzo marino di circa 300 metri di larghezza si sviluppa lungo la costa ai piedi di una scarpata alta diverse decine di metri (*Furlani, 2003a, b*). I processi tettonici e di erosione fluviale sono i fattori che maggiormente hanno condizionato l'assetto morfologico della Baia di Muggia e l'andamento articolato del tetto del substrato flyschoidale, mentre l'erosione marina, che ha provocato i sistemi di scarpata-terrazzi, ha influito nella formazione di morfologie a sviluppo locale. La notevole articolazione morfologica del substrato flyschoidale ed i risultati ottenuti dall'analisi dei sondaggi effettuati nell'area costiera, che hanno evidenziato la presenza al tetto del Flysch di un livello di alterazione, permettono di evidenziare che il tetto del Flysch corrisponde ad una superficie di esposizione subaerea. Inoltre, possono essere presenti depositi fluviali, posti nella parte più profonda della valle principale e di quelle secondarie, ed anche depositi costieri, anch'essi in genere grossolani, generati dall'erosione di scarpate. Al di sopra del substrato flyschoidale, la Baia di Muggia è riempita da sedimenti di origine sia marina che continentale, corrispondenti alle condizioni ambientali di ambiente subaereo dei periodi glaciali (fase di regressione marina) e di ambiente marino nei periodi interglaciali (fase di trasgressione marina) del Pleistocene medio - superiore / Olocene. Nella parte settentrionale della Baia di Muggia, i sedimenti marini del Pleistocene medio - superiore sono caratterizzati da una facies acustica caratterizzata da pacchi di riflettori ad elevata ampiezza e semitrasparenti con riflettori a bassa continuità laterale che costituiscono un cuneo progradante sviluppatosi verso mare in corrispondenza dei terrazzi marini prodotti dall'erosione del moto ondoso e attribuito alla trasgressione marina del Tirreniano (circa 125.000 anni fa), durante la quale il livello del mare era di circa 8 m più elevato dell'attuale (*Waelbroek et al., 2002*). I terrazzi marini tirreniani più superficiali sono attualmente posti ad una profondità di circa 50 ms corrispondenti a circa 36-38 m di profondità (*Zampa, 2014*). Ciò indica che l'area è stata interessata da una notevole subsidenza prodotta dal carico della catena alpina che ha flessurato l'avampaese verso Nord. La subsidenza è ancora in atto, come anche documentato nelle aree della Pianura Veneto-Friulana (*Da Lio e Tosi, 2018*).

3.3 Assetto geolitologico dell'area di studio

Dalla disamina di quanto sopra riportato è di seguito definito l'assetto geolitologico e litostratigrafico dell'area oggetto di studio:

- Riporti antropici
- Depositi quaternari di origine continentale e/o sedimenti marini

- Flysch

3.3.1 3.3.1) Riporti antropici

I riporti antropici coincidono per la gran parte con i colmamenti a mare realizzati soprattutto nel secolo scorso nella zona di Zaule, lungo il Canale navigabile, nelle aree del Porto Nuovo, nella zona del Porto Vecchio e aree limitrofe, questi ultimi di epoca più antica, principalmente del 1800. Si tratta di colmamenti finalizzati sostanzialmente all'estensione delle aree fruibili per lo sviluppo portuale ed industriale della città verso mare. I riporti più antichi sono di natura prevalentemente flyschoide e sono stati ricavati da cave di prestito prossime alle aree da ampliare. Questo modo di operare è stato assunto nella zona del Porto Vecchio, antiche stampe ed immagini fotografiche mostrano il grande sbancamento a monte della Via Udine per ricavare materiale da destinare alla bonifica a mare. Il medesimo approccio è stato seguito, solo in parte, nella zona del Canale navigabile. Qui si sono sovrapposti, in epoche diverse, interventi di riempimento di una vasta zona paludosa determinata dal Torrente Zaule, dapprima con rifiuti solidi urbani nel periodo tra le due guerre, poi, dalla fine della Seconda Guerra Mondiale, utilizzando parte delle macerie prodotte in città dai bombardamenti, infine utilizzando i materiali ottenuti dallo sbancamento del Monte S. Pantaleone. Gli altri tratti di costa, dalla Ferriera allo Scalo Legnami, dall'Arsenale del Lloyd fino alla ex Stazione di Campo Marzio, sono stati colmati secondo modalità di deposito differente, ma sostanzialmente utilizzando materiali naturali di origine flyschoide, ricavati per sbancamento dei vicini rilievi o per deposito di materiali inerti o assimilabili. Si tratta di coperture di spessore variabile, con anche potenza plurimetrica, caratterizzate da materiali molto eterogenei, poggianti per la gran parte delle aree sui sedimenti marini, geomeccanicamente molto scadenti. In vari ambiti dell'area della ex-Ferriera, tali riporti sono sprofondati all'interno dei sedimenti marini dando luogo a corrispondenti fenomeni di risalita diapirica dei sedimenti più argillosi.

3.3.2 3.3.2) Depositi quaternari di origine continentale e/o sedimenti marini

I depositi continentali sono a composizione generalmente mista, ciottoli e clasti eterodimensionali, prevalentemente arenacei, in subordine calcarei, ove il luogo sia prossimo al fianco dell'anticlinale carsica, in matrice limoso-argillosa e limoso-sabbiosa a seconda del substrato flyschoide di riferimento. In generale, gli elementi incoerenti più grossolani sono subarrotondati, a dimostrazione di una certa mobilità in alveo, in quanto è prevalentemente lungo le linee di impluvio attive che si rinvergono tali depositi. Non a caso questi depositi si rinvergono frequentemente lungo tutti i principali assi stradali del centro cittadino, che nel

tempo sono stati asfaltati, lì dove scorrevano le linee di impluvio, ora incanalate nella complessa rete idrica sotterranea di ottocentesca realizzazione. Lungo le linee di impluvio sono spesso presenti accumuli sedimentari trasportati dalle correnti torrentizie, in particolare in corrispondenza dei bacini maggiormente abbandonati, quindi periferici rispetto alla città di Trieste, ove la produzione di materiale litico si accompagna al degrado delle sponde torrentizie per effetto del dissesto idrogeologico e dell'abbandono del territorio. Tutta la zona costiera centrale e meridionale della città di Trieste è caratterizzata dalla presenza di un potente livello di “fanghi marini”, che interessa gran parte del Borgo Teresiano, gran parte delle aree portuali, sia del Porto Vecchio che del Porto Nuovo, nonché l'area industriale ai piedi del Colle di Servola e lungo il Canale navigabile; questi sedimenti, in generale, sono soggiacenti alla copertura dei riporti antropici. Sono sedimenti con proprietà geomeccaniche spesso scadenti, in special modo per l'elevata compressibilità, caratterizzati prevalentemente da argille limose, debolmente sabbiose, di colore grigio scuro, fino a nerastro, nere, grigio cenere, azzurrognole, da molli a molto molli, semifluide, spesso organiche, localmente con livelletti a maggiore frazione limosa o di rado sabbiosa. Nella zona della ex-Ferriera, tali sedimenti argillosi hanno occasionalmente dato origine a fenomeni diapirici causa il carico differenziale dei terreni di riporto.

3.3.3 3.3.3) *Flysch*

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di un substrato litoide afferente alla *Formazione del Flysch triestino* (Eocene), formazione marnoso-arenacea originatesi da fenomeni torbiditici in ambiente di sedimentazione marino di avanfossa, che presenta rapporto variabile tra i litotipi marnoso ed arenaceo tra loro variabile ed è in alternanza ritmica di sedimentazione, in cui la parte più superficiale si presenta alterata e degradata fino a perdere la propria struttura litoide; tale litologia è ben rappresentata nel territorio triestino, anche se complicata da notevoli variazioni di *facies* proprie dei diversi sottobacini di deposizione. Il Flysch è caratterizzato da un'alternanza di livelli di marne siltose ed arenarie, con caratteristiche fisiche e proprietà geomeccaniche tra loro diverse e spessori variabili. La potenza delle marne è estremamente variabile, da millimetrica a decimetrica, mentre quella delle arenarie va da centimetrica a metrica. Le arenarie sono prevalentemente delle calcareniti, caratterizzate da una matrice carbonatica con frazione detritica costituita, per lo più, da granuli di calcite, quarzo, altri silicati e resti di microfossili. Sono rocce molto dure, compatte e rigide il cui singolo provino di materiale è dotato di altissima resistenza meccanica. Le arenarie sono, in genere, nettamente stratificate con singoli strati aventi potenza variabile da centimetrica a pluridecimetrica. Le marne hanno composizione mineralogica simile alle arenarie, ma si differenziano per una

maggior percentuale di carbonati a scapito degli altri componenti mineralogici, oltre a ricchezza di resti organici fra i quali predominano i Foraminiferi. Inoltre, le marne, sovente fratturate nel tipico assetto “a cubetti”, essendosi depositate in strati sottili, subiscono facilmente una sorta di desquamazione in piccole scaglie, specialmente nei casi in cui la roccia è stata oggetto di intense deformazioni ad opera di stress tettonici. La circolazione idrica presente nelle fratture delle marne provoca un processo di solubilizzazione della frazione carbonatica, lasciando un residuo argilloso-limoso che costituisce spesso il materiale di riempimento delle fratture stesse, nonché la copertura pedologica dell’orizzonte più superficiale. Caratteristica importante delle marne è la forte igroscopicità; infatti, l’acqua d’imbibizione può giocare un ruolo fondamentale nel loro comportamento geomeccanico, con consistenti variazioni delle proprietà fisiche e delle caratteristiche di resistenza e deformabilità dell’ammasso roccioso. Le marne sono rocce nel complesso impermeabili; a contatto con l’acqua esse tendono a desquamarsi e a suddividersi spontaneamente nella serie di lamine che le compongono. La fratturazione frequente, con conseguente solubilizzazione della frazione carbonatica da parte dell’acqua, conferisce un certo grado di plasticità ai settori più alterati della massa rocciosa; il materiale argilloso, derivante dalla degradazione totale delle marne, può essere trasportato in siti lontani dal luogo di formazione, assieme anche ad elementi litoidi arenacei, oppure può andare a riempire eventuali discontinuità presenti all’ interno della massa rocciosa. I processi di degradazione delle porzioni più superficiali del Flysch determinano una completa alterazione, disgregazione e disarticolazione della massa rocciosa, che diviene un terreno costituito da una matrice limoso-sabbioso-argillosa inglobante corpi detritici di arenaria e, in percentuale minore, di scaglie di marna e identificato come *Complesso C1* (Onofri R., 1982). Questo Complesso C1, definito come argille limoso-sabbiose talora ghiaiose, segna il passaggio tra il basamento roccioso ed i sovrastanti depositi fini continentali ed hanno spessori localmente molto variabili, anche in aree poco estese. Inoltre, il Flysch nei termini più superficiali presenta una fascia di alterazione che, pur mantenendo la struttura lapidea, si presenta parzialmente degradato e disarticolato ed in genere i litotipi marnosi ed arenacei assumono colorazioni giallo-ocracee; lo spessore di questo livello, usualmente definito *Flysch alterato*, è molto variabile. Inoltre, la ripetizione ritmica di marne ed arenarie nella loro successione stratigrafica risulta molto mutevole, dovuta *in primis* alla modalità di sedimentazione, e secondariamente, alle sollecitazioni tettoniche cui sono state sottoposte. Tali numerosissime diversità possono, però, essere ricondotte a cinque “*Tipi*” principali di Flysch (Onofri R., 1982) sulla base delle variazioni percentuali delle marne rispetto alle arenarie, del periodo della stratificazione dei litotipi e della potenza dei singoli strati del materiale, come di seguito descritto.

Tipo T1 - Costituito prevalentemente da arenaria (in genere strati di spessore superiore a 30 cm) con interstratificati pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico. Stratificazione distinta e spessore del singolo strato notevolmente costante;

Tipo T2 - Costituito prevalentemente da arenaria (strati generalmente di spessore inferiore a 30 cm) con interstratificati poco frequenti pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico. Stratificazione distinta e spessore del singolo strato notevolmente costante;

Tipo T3 - Costituito da circa 50% di arenaria e 50% di marna (spessori degli strati di arenaria e dei pacchetti di lamine di marna variabili generalmente da circa 1 cm a circa 20 cm). Stratificazione distinta e spessore del singolo strato, o pacchetto, notevolmente costante;

Tipo T4 - Costituito prevalentemente da marna i cui pacchetti possono avere uno spessore variabile da circa 10 cm a circa 50 cm; interstratificati rari strati di arenaria il cui spessore si aggira generalmente tra circa 1 cm e circa 20 cm. Stratificazione abbastanza distinta e spessore del singolo pacchetto, o strato, piuttosto costante;

Tipo T5 - Costituito prevalentemente da arenarie a buona consistenza litoide ma che ha subito notevoli processi deformativi (spessore degli strati non superiori a 10 cm circa). Stratificazione talora poco distinta e spessore poco costante.

3.3.4 3.3.4) Assetto giaciturale del Flysch

Nell'area di studio è stato verificato l'assetto giaciturale del Flysch sia mediante dati editi e cartografati, sia mediante rilievo in corrispondenza degli affioramenti rocciosi ubicati lungo tutto il fronte della collina da subito a valle della palazzina uffici Arvedi all'uscita Nord della galleria ferroviaria, le cui ubicazioni sono di seguito meglio evidenziate, che mostrano un assetto del Flysch a reggipoggio con giaciture $0^{\circ}\pm 10^{\circ}/40^{\circ}\pm 10^{\circ}$, come meglio illustrato nella seguente documentazione fotografica. Il Flysch arenaceo-marnoso presenta strati arenacei da pluricentimetrici a decimetrici, molto integri, di colore grigio-azzurro e strati di marne da sub-centimetrici a centimetrici, molto fratturati, disarticolati, di colore giallo-ocraceo. Solo lungo il versante della collina che guarda a N-NE (dove in effetti si localizzano i già citati fenomeni franosi), dunque, gli strati affiorano trasversalmente allo stesso versante (Fig. 22-A).

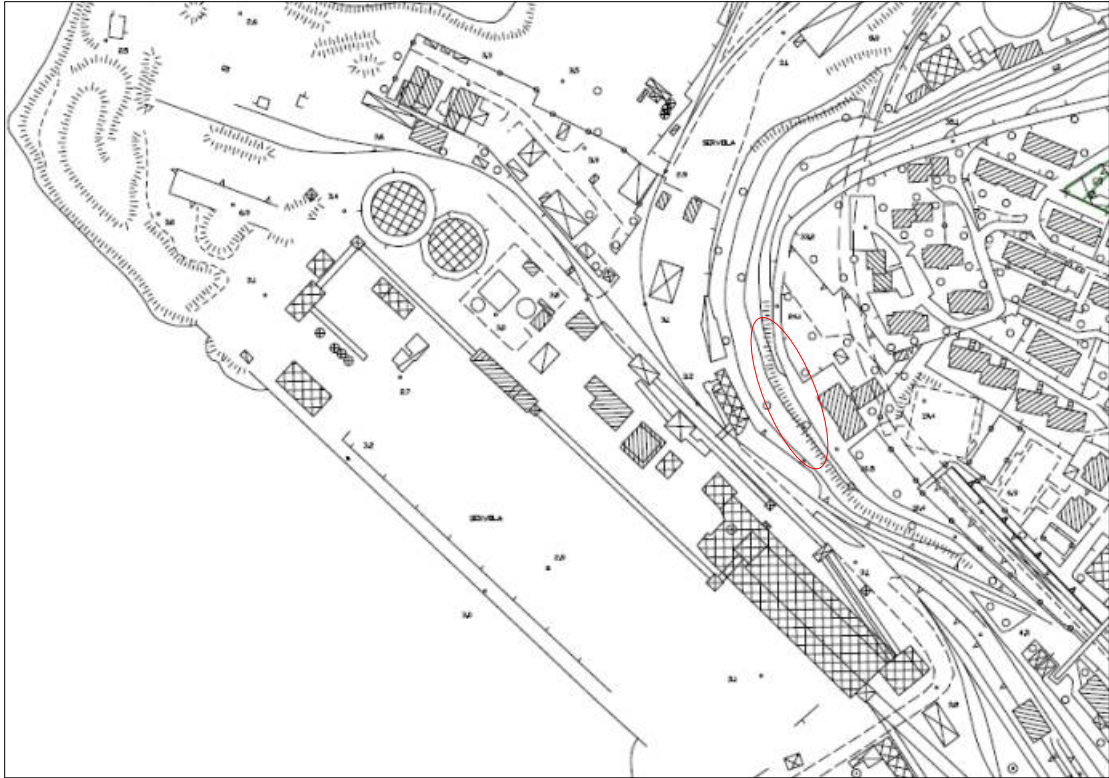


Figura 20 - Affioramento Flysch a valle palazzina Arvedi

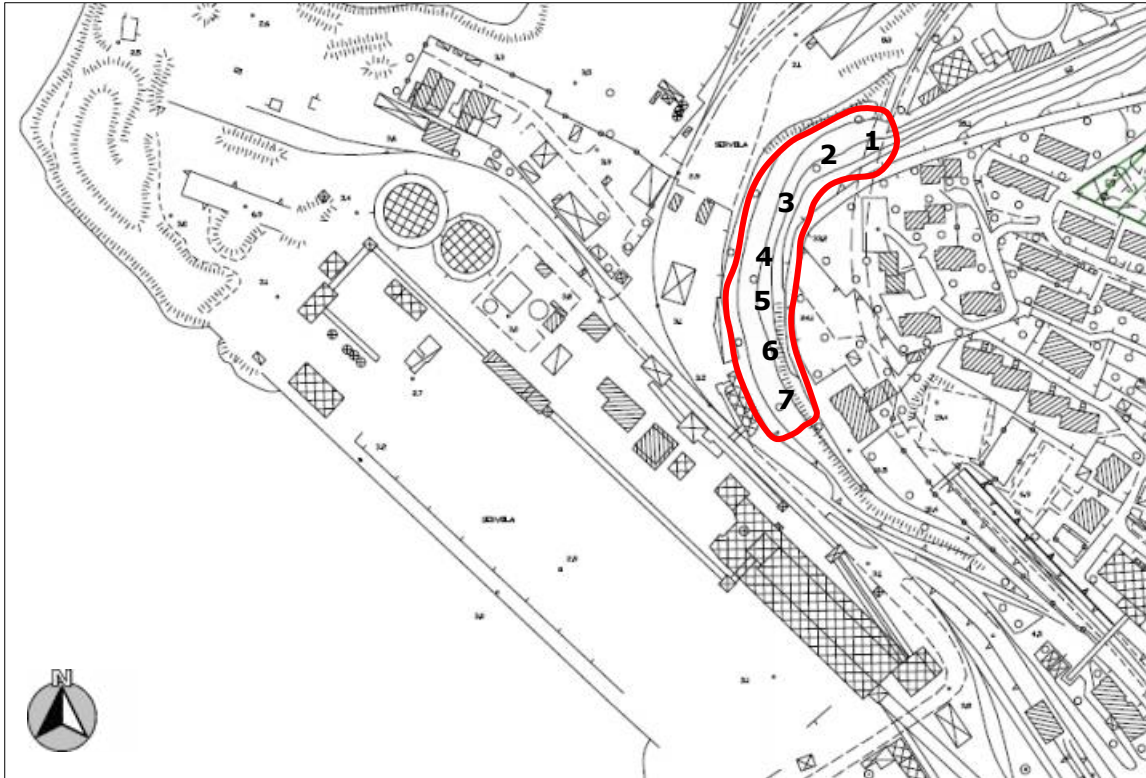
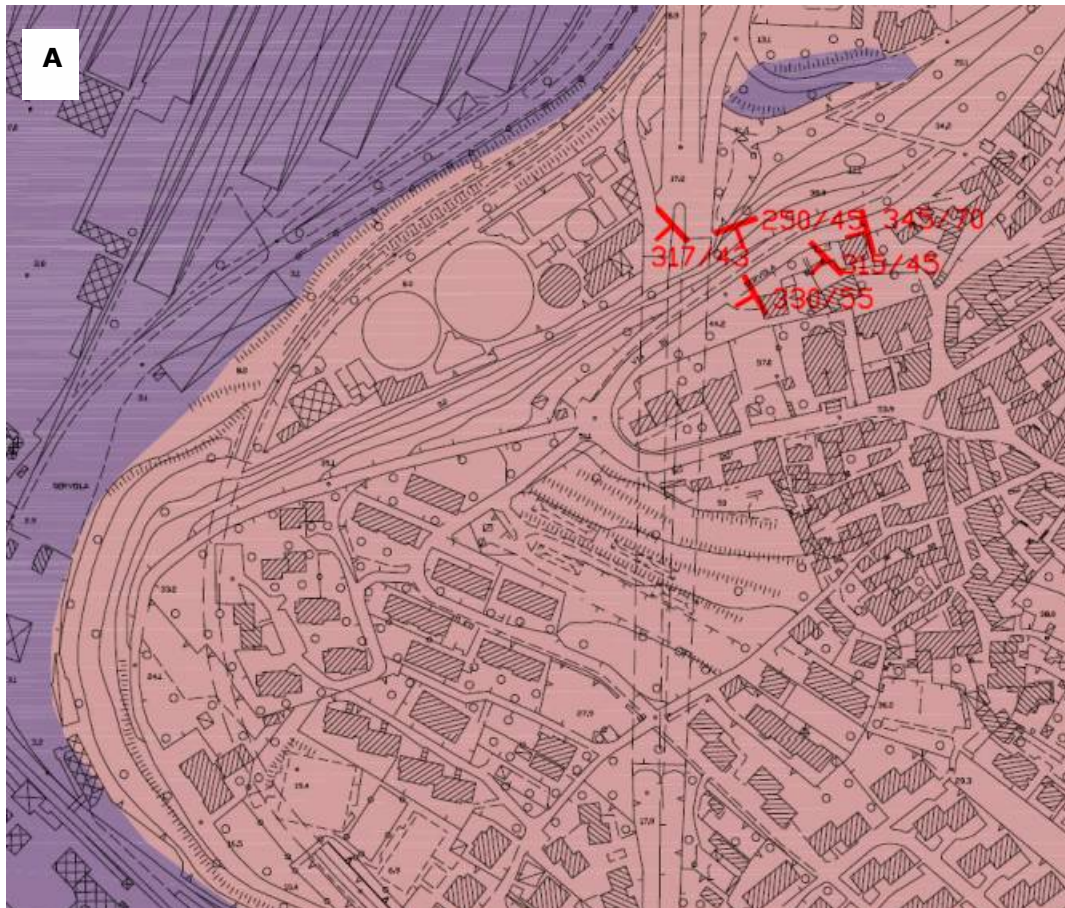


Figura 21 - Foto degli affioramenti del Flysch lungo il versante della Collina di Servola tra l'ingresso NO (punto 1) e subito a valle della palazzina Arvedi (punto 7). I numeri corrispondono alla ubicazione delle foto sottostanti.



Tale assetto giaciturale risulta difforme rispetto quanto rilevato in ulteriori affioramenti di Flysch e riportato nella “*Carta della Litologia Superficiale*” edita a scala 1:5.000 a corredo dello Studio Geologico del P.R.G. del Comune di Trieste, di seguito meglio evidenziato. Ciò ad ulteriore conferma dell’elevata variabilità nell’assetto del Flysch che, in generale, anche in aree geograficamente tra loro molto prossime, si può presentare con assetti strutturali tra loro molto diversi.



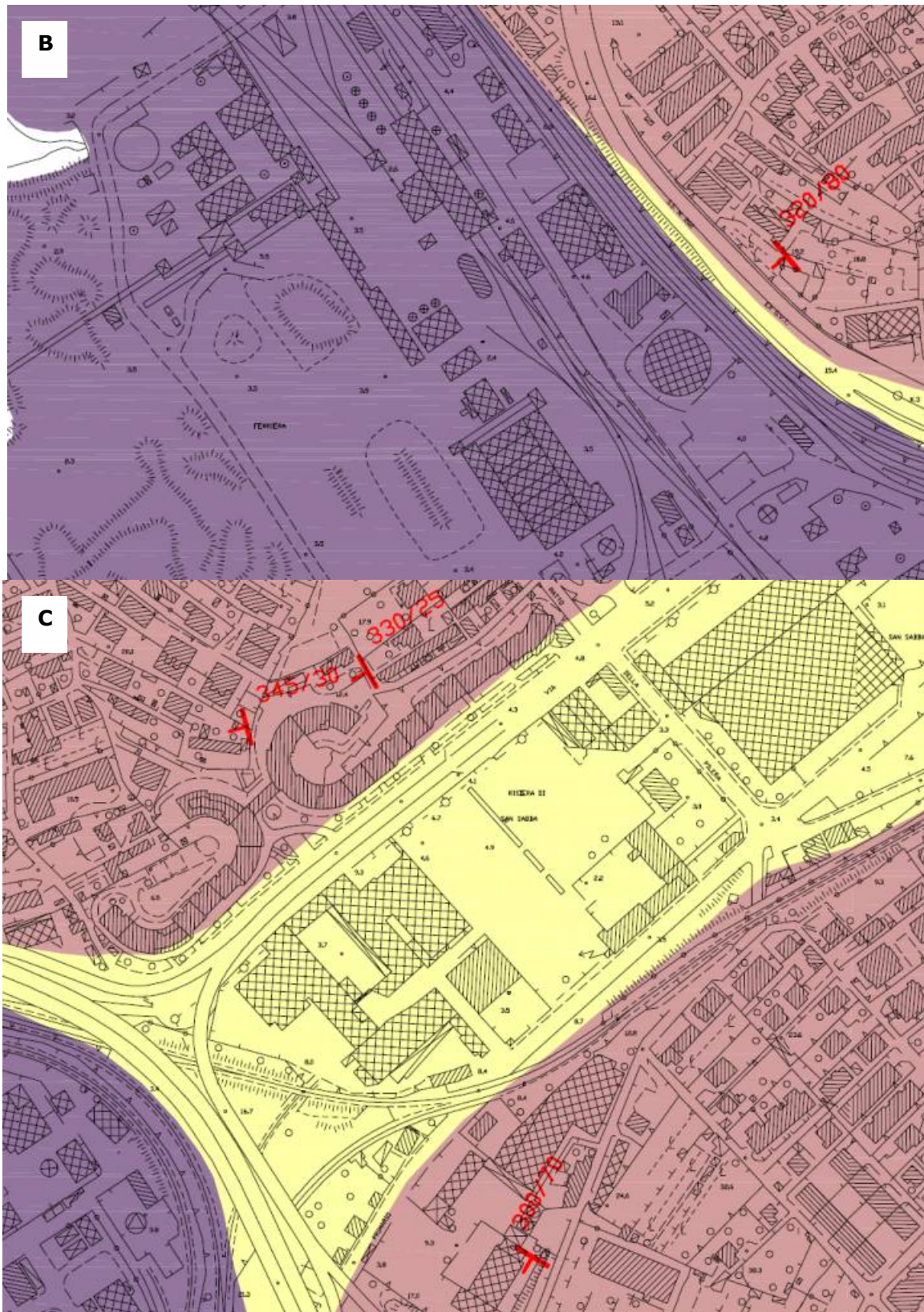


Figura 22 - "Carta della Litologia Superficiale" edita a scala 1:5.000 a corredo dello Studio Geologico del P.R.G. del Comune di Trieste. (a) Area imbocco Nord galleria Servola; (b) Area Via del Ponticello; (c) Area Via Valmaura - Via S. Sabba.

Le misure riportate nella sopra citata "Carta della Litologia Superficiale" edita a scala 1:5.000 a corredo dello Studio Geologico del P.R.G. del Comune di Trieste, mostrano invece che gli

affioramenti di Flysch a NE e SO dell'area in studio indicano generalmente giaciture immergenti verso Ovest/Sud-Ovest. Tale assetto giaciturale suggerisce la presenza di una struttura sinforme tra le gallerie dell'autostrada ed il fronte Ovest della Collina di Servola, struttura che, allo stato degli studi, non può essere meglio definita, ma che con alta probabilità potrebbe essere più complessa di una semplice sinclinale. Gli affioramenti presenti nel limitrofo Monte San Pantaleone mostrano, infatti, un'associazione complessa di strutture di piegamento e di faglia per le quali è praticamente impossibile definire un chiaro assetto complessivo.

Rispetto alla compatibilità del sedime di cui si tratta con la realizzazione del diaframma di retromarginamento e con lo scavo di sbancamento, con particolare riferimento alla rippabilità degli strati rocciosi (atteso che le arenarie hanno una resistenza di 30÷50 MPa e le marne di 10÷20 MPa), si evidenzia quanto segue:

- la tecnologia prescelta per la realizzazione dei pali (pali con camicia e utensile a elica CFA e con bucket) è con mezzi a rotazione dotato di corona dentata in vidia, in grado di attraversare orizzonti litoidi di consistenza anche sostanzialmente maggiore;
- gli stessi utensili sono stati utilizzati con efficacia nei medesimi luoghi (piattaforma logistica di Trieste e barrieramento a mare di Invitalia) anche in attraversamento di strutture in calcestruzzo armato e di trovanti scoriacei da altoforno ben più consistenti di quelli di cui si tratta;
- la relativa morbidezza degli spessori marnosi rende più efficace l'azione dei martelli demolitori installati su escavatore idraulico sugli spessori di arenarie nelle fasi dello scavo di sbancamento: si prevede che gli spessori litoidi possano facilmente essere frantumati dal momento che i sottostanti strati marnosi sono cedevoli.

In definitiva non si rilevano elementi ostativi rispetto alla fattibilità, sia del diaframma, sia dello scavo: in relazione alla durezza degli orizzonti coinvolti potrebbe sussistere una ridotta produzione, senza che ciò causi effetti esiziali di alcun genere.

Anche la stabilità del versante non ha modo di patire effetti in conseguenza delle opere, posto che la trivellazione dei pali e il loro intirantamento siano eseguiti prima dello scavo.

4 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

4.1 Idrografia

Il complesso portuale, oggetto dal presente studio, è ricompreso nel Bacino di Levante che si sviluppa ad Est del sistema idrografico del Fiume Isonzo e si estende fino al confine con la Slovenia. La superficie coperta dal suddetto bacino è stimabile in circa 380 km². Inoltre, nei pressi della città di Trieste si segnala la presenza dei due maggiori corpi idrici superficiali, quali:

- Torrente Rosandra;
- Rio Ospò.

Oltre ai corpi idrici superficiali maggiori sopra citati e quelli secondari, nell'area in oggetto defluiscono tombati il Rio Baiamonti (o Roncheto) ed il Rio Primario. Il Rio Baiamonti sembra prendere vita tra Via Carnaro e Via del Roncheto, per poi defluire nella modesta incisione tra Via Capodistria e Via Baiamonti, dal quale prende il nome, e confluire verso lo Scalo Legnami dove sfocia a mare tombato a seguito delle recenti opere di realizzazione del Primo Stralcio della Piattaforma Logistica del Porto di Trieste. Per quanto al Rio Primario, l'elemento idrico qui considerato è il tratto terminale dei contributi idrici di ulteriori canali artificiali tombati e da corsi d'acqua secondari temporanei. In particolare, i corsi d'acqua sono il Rio Primario, il Rio Corgnoletto ed il torrente denominato Rio del Cimitero Cattolico. Dai pochi dati storici che ne menzionano l'esistenza, si ha notizia che in passato, all'altezza di Via Valmaura, i tre rii confluivano in un unico corso d'acqua conosciuto come Torrente Srane. Il Torrente Srane attraversava l'attuale via Valmaura per sfociare a mare in prossimità della Ferriera di Servola. Con l'espansione della città, lo Srane venne successivamente tombato, mentre a tutt'oggi l'alto corso dei suoi "tributari" rimane parzialmente visibile sulla zona collinare che si eleva dal cimitero in direzione di Raute-Altura. Tali corsi d'acqua secondari temporanei sono di seguito descritti. Il Rio Primario si origina ad una quota di circa + 110 m s.l.m.m., a valle di Via Rio Corgnoletto, su litotipi marnoso-arenacei della formazione del Flysch e lo stesso scorre in una canalizzazione in parte coperta ed in parte a cielo aperto. Il Rio Corgnoletto si origina a quota + 210 m s.l.m.m., lungo il versante occidentale del Colle di Montebello, a monte della grande viabilità triestina su litotipi della formazione del Flysch. Il tratto di monte scorre in una incisione naturale sino alla grande viabilità, dove le opere di canalizzazione artificiale (in parte interrato) limitano il corso d'acqua stesso. Mentre il Rio del Cimitero si origina in località Poggi

Sant'Anna, a valle di Via Brigata Casale, nasce sul Colle di Montebello e defluisce sino al parcheggio del cimitero di Via Costalunga, da dove prosegue in collettore sotto al cimitero unendosi al Rio Primario e al Rio Corgnoletto.

4.2 Idrogeologia

Le formazioni litologiche più superficiali, come precedentemente illustrato, consistono nella formazione flyschoidale che caratterizza le morfologie di raccordo tra l'altopiano carsico, posto mediamente a circa + 300.0 m s.l.m.m., e la linea di costa ed i depositi di origine continentale/marina che caratterizzano gli ambiti di costa e marini antistanti. In generale, si possono distinguere, per l'area di Trieste, n° 3 "Complessi Idrogeologici" ovvero corpi geologici caratterizzati dalla presenza di Acquiferi:

- "*Complesso Idrogeologico delle rocce lapidee permeabili per carsismo*": a tale Complesso appartengono le rocce calcaree della successione Mesozoica affiorante nel Carso Triestino, le cui rocce presentano una elevata transitabilità per porosità fissurale e carsismo.
- "*Complesso Idrogeologico delle rocce lapidee permeabili per porosità fissurale*": a tale Complesso appartengono le rocce marnoso-arenacee del *Flysch* di Trieste a ridotta o assai bassa permeabilità (transitabilità bassa e molto bassa).
- "*Complesso Idrogeologico delle rocce sciolte permeabili per porosità interstiziale*": a tale Complesso appartengono i depositi di detriti grossolani (riporto), di ghiaie, di ghiaie con sabbia e limo, di sabbie, di peliti e di argille che, con permeabilità decrescente, formano le successioni di riporto antropico, alluvionali, colluviali ed eluviali, che si interdigitano con i sottostanti sedimenti di deposizione marina.

I "Complessi Idrogeologici" (o "Formazioni Idrogeologiche") presenti nel territorio di Trieste risultano (ad eccezione delle rocce calcaree fessurate e carsificate) caratterizzati da una permeabilità per lo più da bassa a molto bassa. Il substrato flyschoidale marnoso-arenaceo è per lo più impermeabile o poco permeabile (per porosità interstiziale e fissurale), essendo a volte sede di falde idriche in seno soprattutto alle facies arenacee fessurate (tali livelli possiedono generalmente una "transitabilità" da media a bassa), mentre la sua coltre di alterazione risulta sovente dotata di una discreta permeabilità (a seconda della composizione granulometrica) essendo sede di modeste falde più o meno superficiali, a carattere per lo più temporaneo e con

alimentazione prevalente proveniente dalle precipitazioni meteoriche (infiltrazione efficace) e deflusso dato da piccole sorgenti di contatto.

Infatti, la formazione del Flysch triestino è caratterizzata da una permeabilità mutevole, ma comunque relativamente bassa. La stessa formazione presenta la sua maggiore permeabilità in corrispondenza della discontinuità tra i termini più superficiali d'alterazione del Flysch con il Flysch integro stesso e, inoltre, lungo piani di deformazione fragili (faglie e fratture) con frequente dissoluzione della componente marnosa (permeabilità secondaria). Gli orizzonti maggiormente permeabili sono rappresentati dai depositi quaternari a matrice più grossolana. In generale, la circolazione idrica sotterranea è propria dell'assise rocciosa flyschoida, dove le acque defluiscono in canalicoli, laminatoi e giunti, siano essi di strato o di fratturazione, con un reticolo di deflusso particolarmente attivo nei periodi ad elevata piovosità. La presenza e circolazione dell'acqua nel Flysch è pertanto dipendente dall'assetto spaziale dello stesso e dal suo stato di fessurazione.

L'assetto idrogeologico dell'area in esame è sostanzialmente rappresentato da corpi idrici che defluiscono verso mare dai versanti collinari e che, nella maggior parte dei casi, sono ubicati al di sopra dei livelli a matrice argilloso-limosa meno permeabili ed i sovrastanti terreni di riporto. Tale assetto idrogeologico è stato riconosciuto con sondaggi geognostici eseguiti nella medesima area di studio, armati con tubi piezometrici microfessurati e monitorati in continuo mediante letture freatiche. L'analisi dei dati così acquisiti ha consentito di evidenziare che l'escursione della falda è alquanto modesta e ciò consente di affermare che l'assetto idrogeologico dell'area è caratterizzato dal raccordo della falda freatica verso la linea di costa, con apporto prevalente proveniente dall'infiltrazione nel Flysch delle acque superficiali, intercettate dai versanti collinari posti a Nord-Est dell'area di studio, che defluiscono verso valle nei terreni antropici di riporto più permeabili, con modeste portate e velocità, dove raggiungono il loro equilibrio piezometrico entrando a contatto con le acque marine salmastre.

Inoltre, dalla disamina del P.G.R.A. (*Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni*) ai fini della *pericolosità idraulica*, nell'area di studio sono presenti alcuni ambiti identificati con *classe di pericolosità P1 - pericolosità idraulica moderata* e con *un rischio idraulico moderato R1*, come meglio evidenziato negli allegati stralci cartografici. Si evidenzia che la pericolosità idraulica nella zona costiera è rappresentata soprattutto dagli eventi di mareggiata, spesso innescati dalla

concomitanza di diversi fattori climatici come intense precipitazioni, alta marea e/o venti provenienti da Sud.

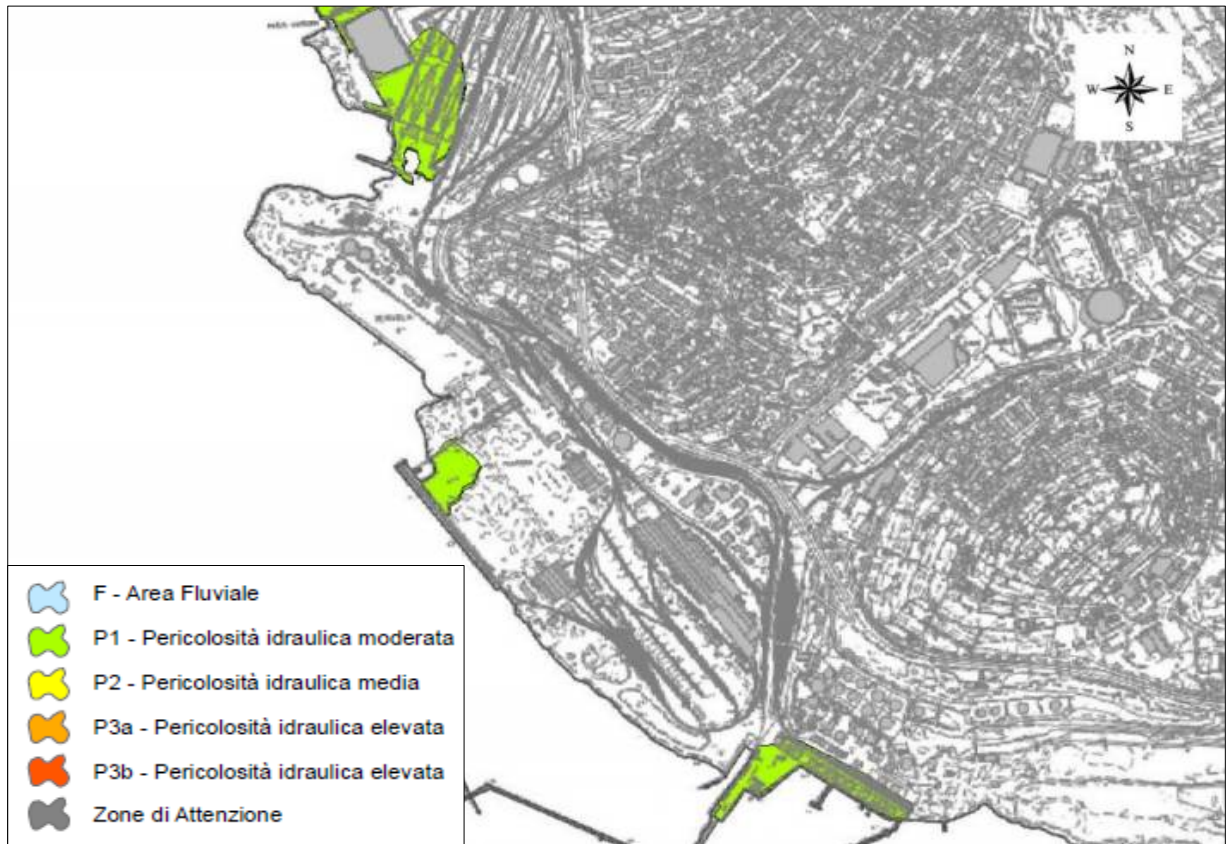


Figura 23 - P.R.G.A. - Carta della pericolosità idraulica

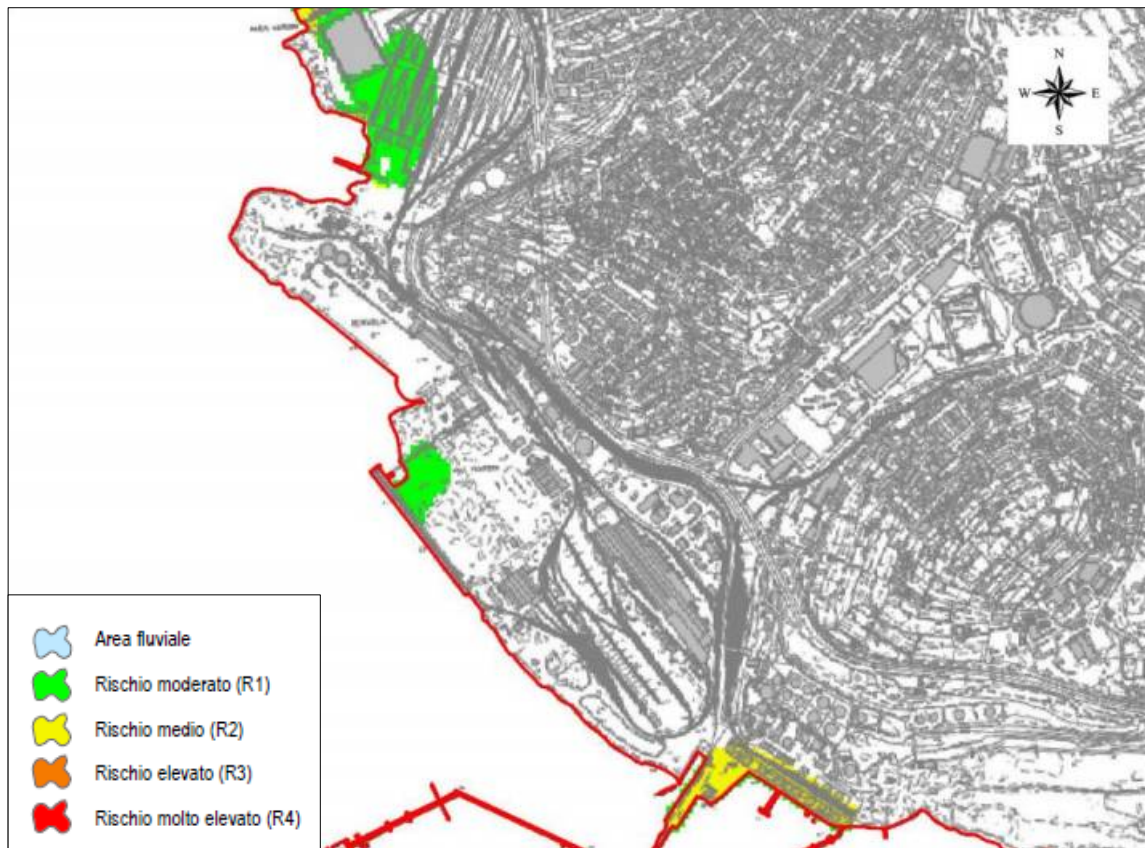


Figura 24 - P.R.G.A. - Carta del rischio idraulico

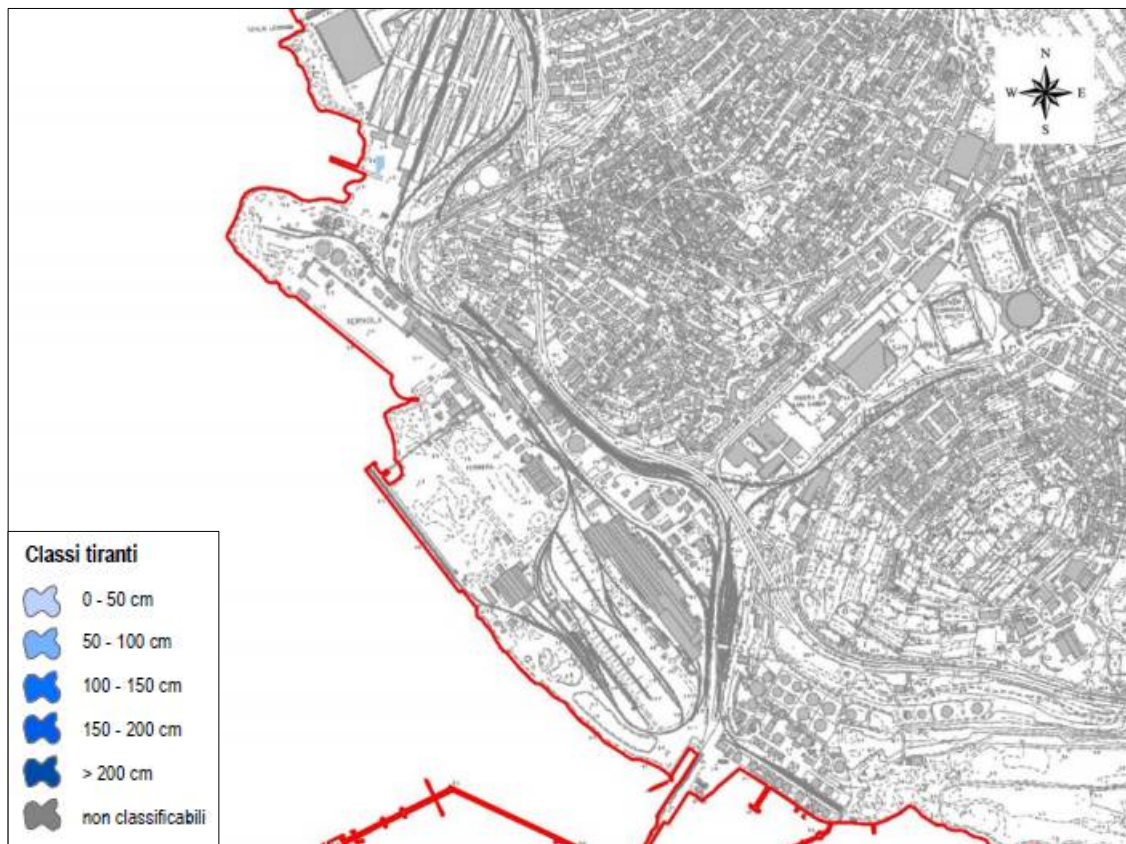


Figura 25 - P.R.G.A. - Carta delle altezze idriche scenario di alta probabilità - TR 30 anni

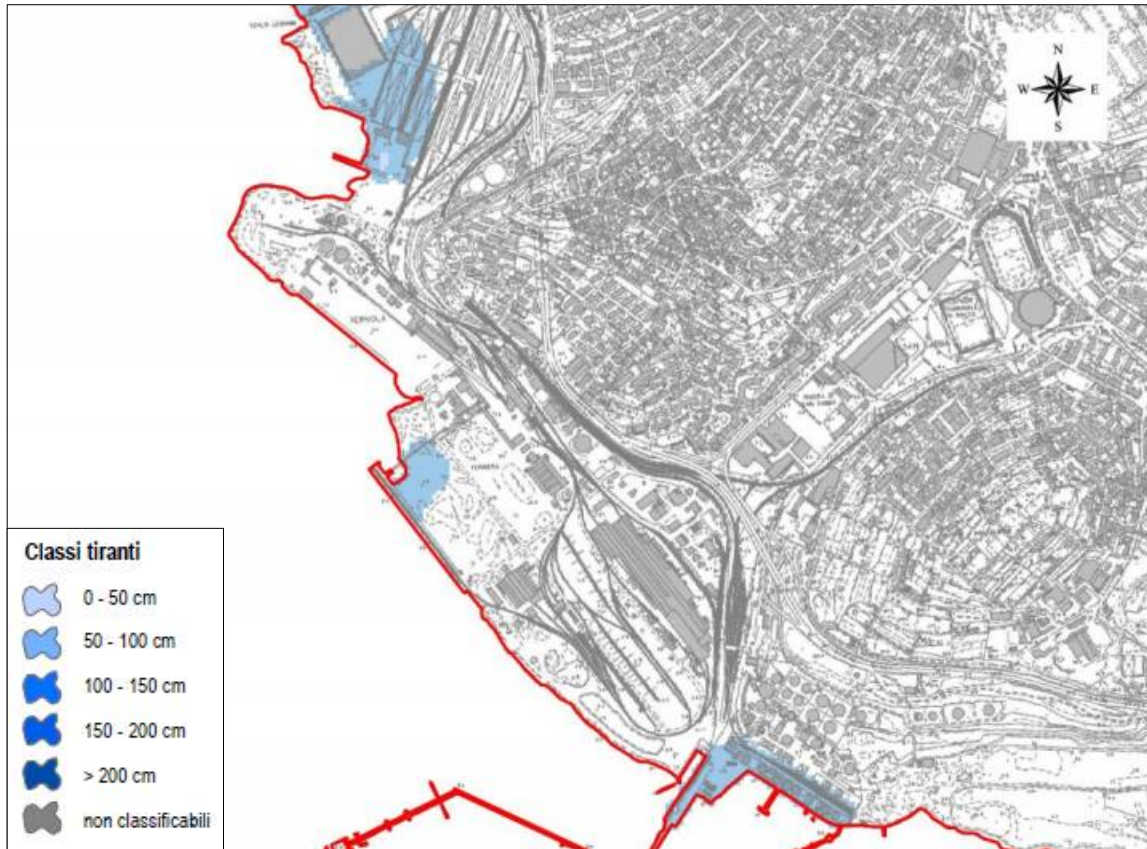


Figura 26 - P.R.G.A. - Carta delle altezze idriche scenario di media probabilità - TR 100 anni

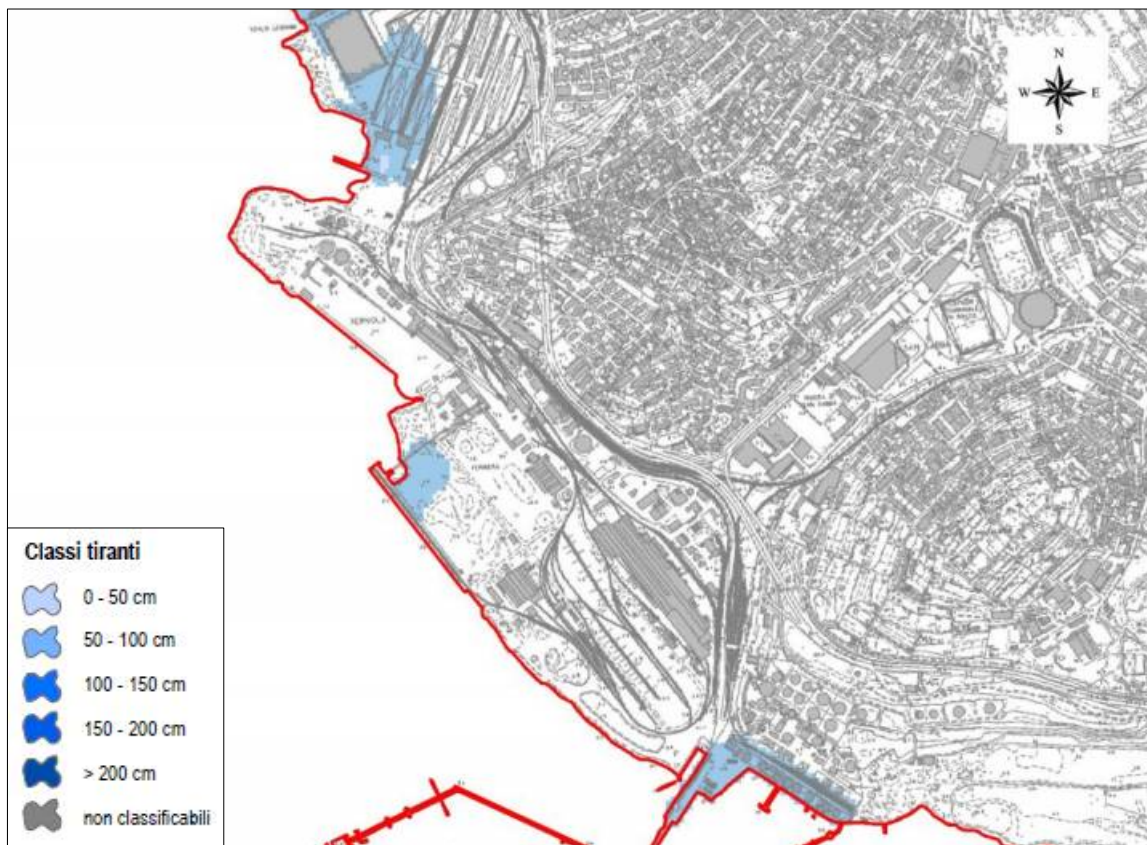


Figura 27 - P.R.G.A. - Carta delle altezze idriche scenario di bassa probabilità - TR 300 anni

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DI DETTAGLIO

L'assetto geologico-strutturale dell'area triestina è stato interpretato in maniera differente da diversi autori. Tali interpretazioni possono essere sintetizzate nei seguenti due scenari:

- Piega anticlinale passante a sinclinale lungo il fianco Sud-occidentale (D'Ambrosi, 1961 – Cavallin & Martinis, 1982).
- Sovrascorrimento in corrispondenza del margine Sud-orientale della *piattaforma di Komen* (Placer, 1981).

La genesi della suddetta struttura risulta comunque essere riconducibile all'orogenesi Alpino-Dinarica. Quest'ultima si può distinguere nei seguenti "trend" tettonici:

- Sistema Dinarico, ad andamento NO-SE.
- Sistema anti-Dinarico, ad andamento NE-SO.

Il primo dei due sistemi (quello Dinarico) sopra menzionati può essere rappresentato dalla presenza della piega-faglia denominata "Linea Golfo di Panzano-Baia di Muggia", mentre l'altro sistema (anti-Dinarico) può essere rappresentato dalla faglia del Monte Spaccato.

Per quanto riguarda l'attività sismica, la zona del Golfo di Trieste e del Carso è considerata a bassa sismicità con eventi di bassa magnitudo. Le strutture tettoniche ad Est del Carso, poste in territorio sloveno, mostrano orientazione NO-SE e una cinematica trascorrente connessa al movimento della placca Adria verso Nord. Queste strutture sono caratterizzate da attività sismica recente e magnitudo significative.

5.1) *La faglia di San Bartolomeo-Trieste*

Nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica, finanziato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) negli anni '70, sono stati realizzati degli studi che hanno permesso di descrivere

l'assetto tettonico e neotettonico (Pliocene-Quaternario) del territorio italiano distinguendo le strutture tettoniche principali in base all'età di ultima deformazione. In questo contesto, per quanto riguarda la regione Friuli Venezia Giulia, sono state pubblicate una serie di mappe tematiche relative ai diversi fogli che coprono il territorio regionale (*ad esempio Carulli et al., 1980 – Figura 28*).

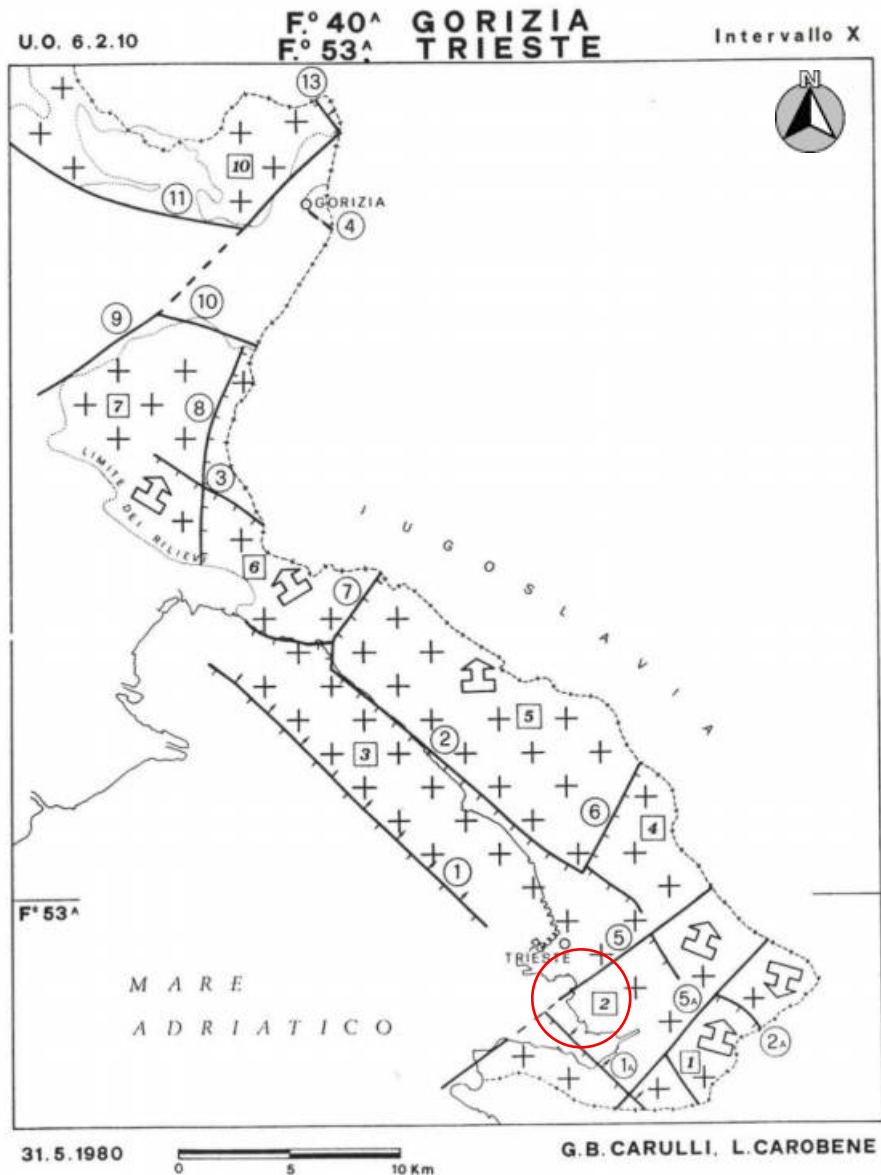


Figura 28 - Mappa delle strutture tettoniche e delle zone in sollevamento e abbassamento dei Fogli n.40 Trieste e n. 53 Gorizia. I numeri cerchiati indicano le strutture tettoniche definite come: 1) Linea di Palmanova, 2) fasci di faglie con direzione Dinarica, 5) faglie (anti-Dinariche) attraverso il costone carsico (Carulli et al., 1980)

Per quanto riguarda la Venezia Giulia, secondo Carulli et al., 1980 “il comportamento neotettonico dell’area del Foglio n. 40 Trieste e dei rilievi del Foglio n. 53 Gorizia, viene riassunto in una carta denominata “intervallo X” in quanto gli indizi, rilevati sulla base di

elementi morfologici, non sono suscettibili di una precisa collocazione cronologica". Da quanto sopra riportato, si desume che nonostante gli elementi tettonici riportati nei Fogli n. 40 Trieste e n. 53 Gorizia (Fig. 2.6) siano parte della pubblicazione relativa agli studi di neotettonica, di fatto l'attività di questi elementi non viene attribuita ad uno specifico intervallo temporale.

Alcune delle strutture riportate da Carulli et al. (1980) sono state successivamente riportate nella *Neotectonic Map of Italy* a scala 1:500.000 di Ambrosetti et al. (1987) (Figura seguente)

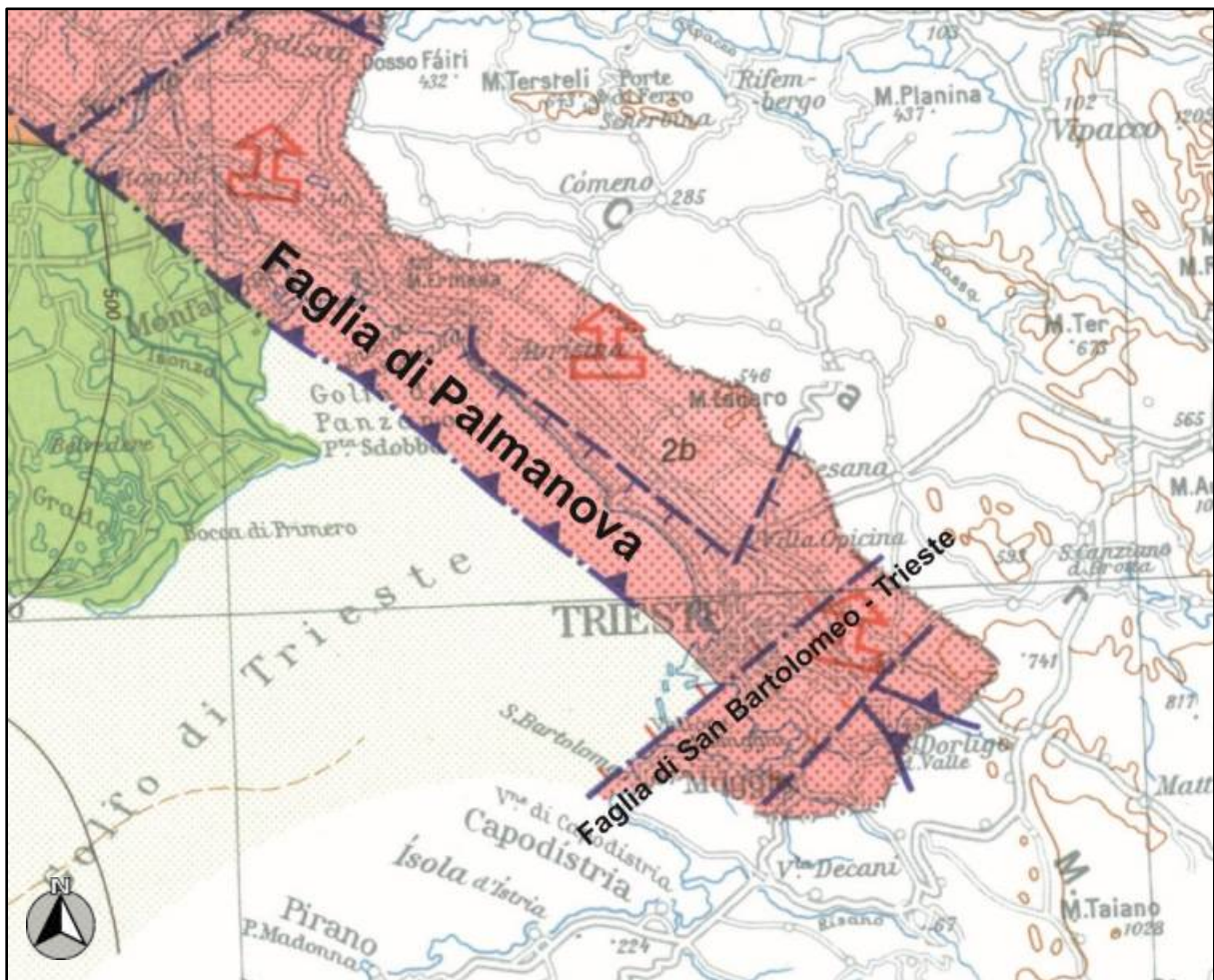


Figura 29 - Estratto dalla *Neotectonic Map of Italy* 1:500.000 di Ambrosetti et al. (1987)

e successivamente nel *Structural Model of Italy* alla scala 1:500.000 di Bigi et al. (1990), (Figura seguente), che riprendono alcuni elementi come la Faglia di Palmanova con direzione NO-SE nell'area marina e la Faglia di San Bartolomeo – Trieste a terra con direzione NE-SO.

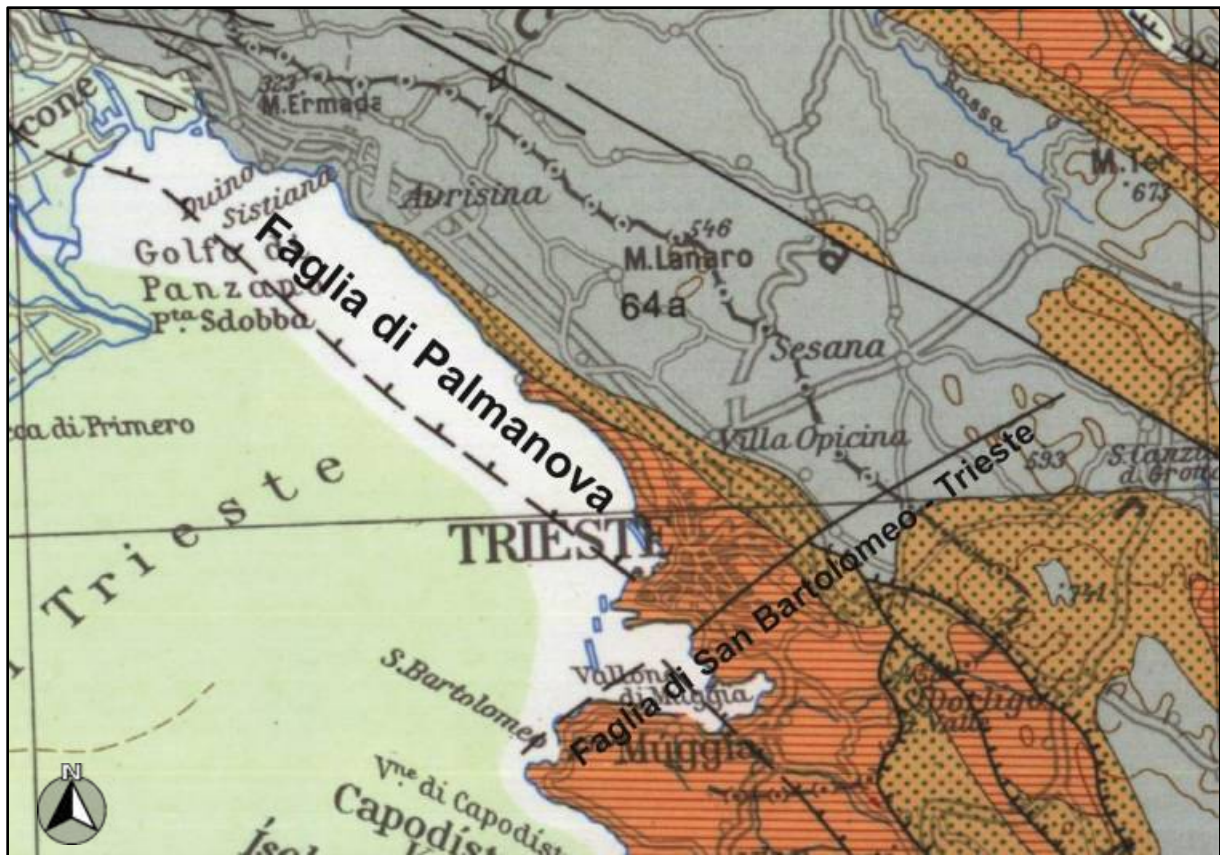


Figura 30 - Estratto dal *Structural Model of Italy* 1:500.000 (Bigi et al., 1990).

Nella *Neotectonic Map of Italy* (Ambrosetti et al., 1987) alla Faglia di San Bartolomeo – Trieste non viene associata alcuna cinematica ed inoltre viene riportata come faglia non certa (tratteggiata) di colore blu che indica una generica attività plio-quadernaria. Nello *Structural Model of Italy* alla scala 1:500.000 di Bigi et al. (1990), la Faglia di San Bartolomeo – Trieste viene riportata solo a terra senza alcuna indicazione della cinematica. Un ulteriore segmento incerto è posto lungo la costa settentrionale della Baia di Muggia. In questa carta le faglie non sono state classificate in base all'età di ultima deformazione.

5.1 La faglia di San Bartolomeo - Trieste nel Catalogo delle Faglie Capaci Ithaca

Il Servizio Geologico d'Italia dell'ISPRA ha sviluppato il Catalogo delle faglie Capaci ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults), che sintetizza le informazioni disponibili da letteratura sulle faglie ritenute capaci che interessano il territorio italiano. La Faglia di San Bartolomeo –

Trieste è stata riportata in questo catalogo come indicata nella *Neotectonic Map of Italy* (Ambrosetti et al., 1987) e nello *Structural Model of Italy* (Bigi et al., 1990). Nel catalogo ITHACA questa faglia viene descritta come una struttura a cinematica normale e con età di ultima deformazione “Pleistocene generico”, quindi non è definita come faglia attiva e capace, con qualità degli studi bassa (Figure seguenti), e con la citazione dei lavori di autori vari che hanno contribuito al progetto della Carta Neotettonica d’Italia, sintetizzato poi nella *Neotectonic Map of Italy* (Ambrosetti et al., 1987). Il catalogo ITHACA per la definizione di faglia capace fa riferimento alle guide tecniche IAEA (International Atomic Energy Agency), redatte per la caratterizzazione di siti destinati ad ospitare impianti ad alto rischio (ad esempio centrali nucleari, ecc.) ma che forniscono uno schema metodologico applicabile a qualunque struttura. Pertanto, come viene riportato sul sito dell’ISPRA, una faglia è definita capace se:

- *Ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno e/o in prossimità di essa.*
- *La deformazione attesa può essere sia una dislocazione ben definita lungo un piano di rottura che una deformazione distribuita.*
- *La riattivazione attesa viene definita in funzione del regime tettonico in atto, rispetto al quale deve essere compatibile. Elementi secondari possono però mostrare rotture “anomale”, ad esempio movimenti compressivi in un ambiente distensivo, a causa di geometrie locali delle strutture riattivate.*

Tuttavia, viene fatto presente anche che l’età dell’ultimo evento di attivazione di una faglia è uno degli elementi discriminanti nella valutazione della “capacità” della struttura. L’analisi considera intervalli temporali di osservazione diversi, in funzione dell’ambiente tettonico (IAEA, 2010) e dei tassi di deformazione:

- **Interplacca (margini di placca):**
 - 1) < 125 ka (Pleistocene Superiore) - Faglia capace.
 - 2) $125 \text{ ka} \leq$ ultimo movimento accertato $\leq 2,58$ Ma - Faglia da investigare con indagini appropriate.

- **Intraplacca (aree cratoniche)**
 - 1) ≤ 780 ka (Pleistocene medio) - Faglia capace.

2) Quaternario (2.58 Ma) - Faglia da indagare.

Le definizioni sopra riportate considerano diverse finestre temporali a seconda che l'area di indagine sia in zona Interplacca o Intraplacca. Come suggerito da ISPRA, l'intervallo temporale più ampio, e quindi più cautelativo, previsto per le zone Intraplacca (movimenti entro il Pleistocene medio) è applicabile, in Italia, al solo settore sardo, ritenuto un'area intraplacca (microcontinente), sebbene sia bordato da bacini in estensione (Bacino Balearico e Tirrenico) e quindi sia prossimo ad una situazione di interplacca. ISPRA evidenzia inoltre che il progetto ITHACA, rispetto alle precedenti versioni, distingue la faglia capace rispetto alla faglia quaternaria da indagare. Tale distinzione si può riassumere come segue:

- *Faglia capace: faglia che sicuramente ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa nell'intervallo Pleistocene superiore - Presente.*
- *Faglia quaternaria da indagare: faglia che ha causato deformazione in superficie o in prossimità di essa nel corso del Quaternario, anteriormente al Pleistocene superiore (Pleistocene medio per le aree cratoniche), per la quale non si può escludere a priori una riattivazione all'interno del contesto geodinamico attuale in assenza di ulteriori indagini specifiche.*

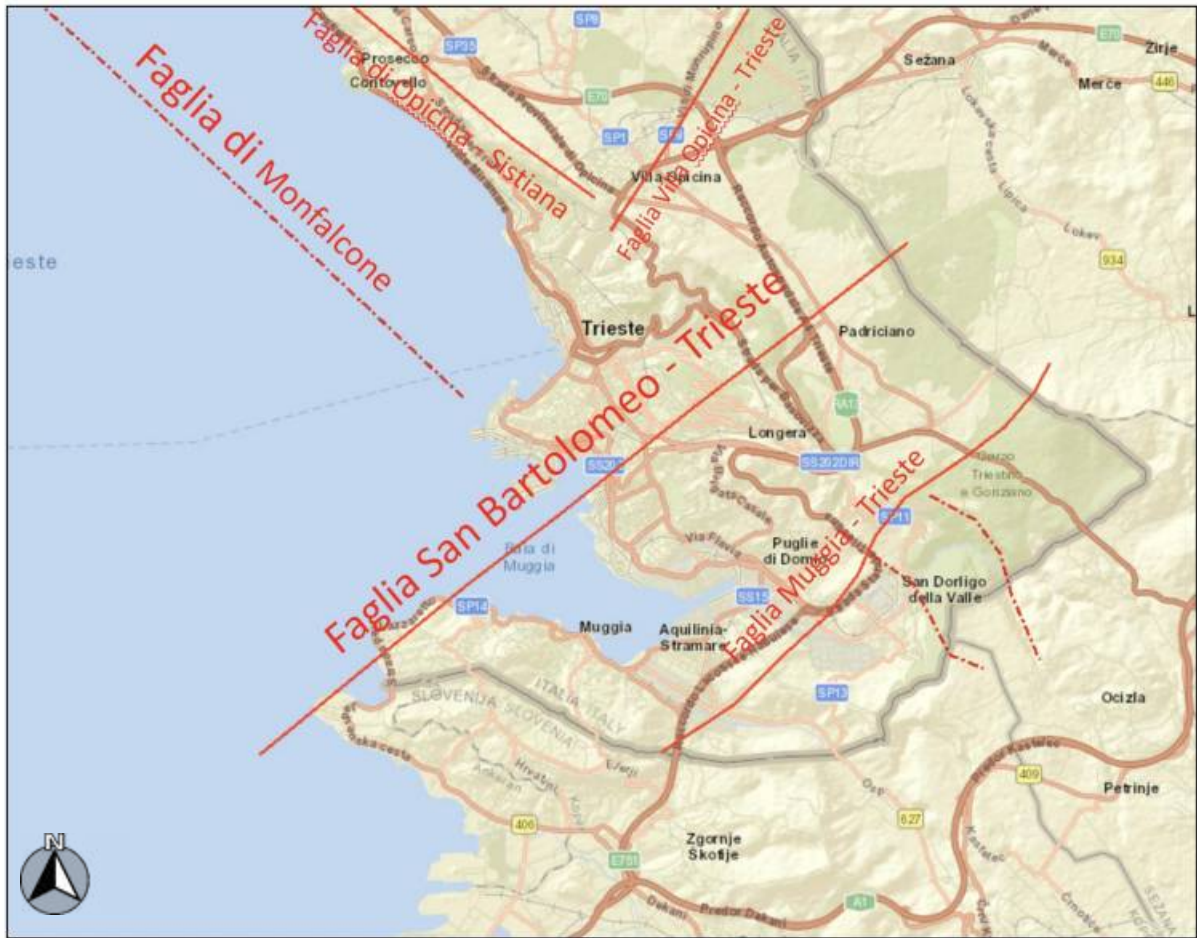


Figura 31 - Mappa estratta dal Catalogo delle Faglie Capaci di ITHACA, ISPRA

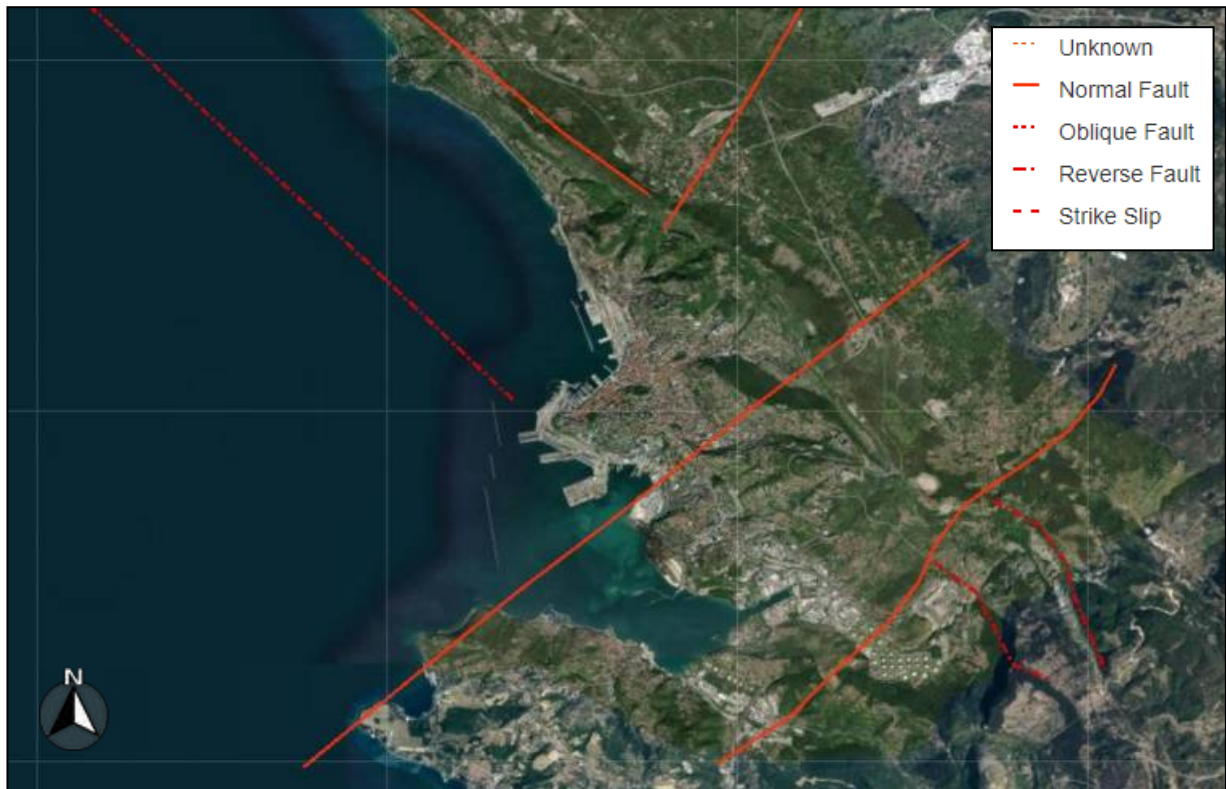


Figura 32 - Estratto delle Faglie Capaci di ITHACA, ISPRA

Fault description			
GENERAL IDENTIFICATION			
Fault Code	77501		
Fault Name	San Bartolomeo-Trieste		
Region Name	Friuli Venezia Giulia		
Tectonic Environment	ND		
System Name	Trieste		
Synopsis			
Rank	Primary		
GEOMETRY AND KINEMATICS			
Segmentation	Single Segment		
Average Strike (°)	40		
Dip (°)	Undefined		
Dip Direction	NW		
Fault Length (km)	16.6		
Mapping Scale	1:500000		
Fault Depth (m)			
Kinematics	Normal		
ACTIVITY			
Surface Evidence	ND		
Last Activity	Pleistocene generic		
SLIP PARAMETERS			
Recurrence Interval (yr)			
Slip Rate (mm/yr)			
Max Credible Rupture Length (km)			
Max Credible Slip (m)			
Time Since Last Event (yr)			
Max Known Magnitude (Mw)			
Max Known Intensity (MCS)			
Known Seismic Events			
FINAL REMARKS			
Capability Consensus	Medium reliability		
Study Quality	LOW		
Notes			
Fault Trace Reference			
Last Update			
REFERENCES			
Authors	Title	Reference	Year
AA.VV.	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	CNR (1983) - Neotectonic map of Italy, scale 1:500.000. P.F. Geodinamica, Quad. Ric. Scient., 114	1983

Figura 33 - Tavola degli attributi della Faglie di San Bartolomeo - Trieste presenti nel Catalogo delle Faglie Capaci Ithaca. Si noti come l'ultima attività della faglia viene riportata come Pleistocene generico.

Nel 2022 è stato eseguito uno studio per verificare se la Faglia di San Bartolomeo – Trieste del catalogo ITHACA, che interessa il Carso triestino e la Baia di Muggia (TS) a cura dell'O.G.S. (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica sperimentale) e del Dott. Geol. Carlo Alberto Masoli (Geosyntech srl - Trieste), fosse effettivamente attiva e capace.

Per l'identificazione della Faglia di San Bartolomeo – Trieste sono stati utilizzati i profili sismici a riflessione monocanale acquisiti dall'OGS nell'ambito di attività di ricerca e di servizio nella

Baia di Muggia, oltre ai dati di diversi sondaggi ubicati in prossimità del Molo VII (Figura seguente). In particolare, i dataset utilizzati sono:

- profili sismici ad alta risoluzione monocanale (sorgente Boomer) acquisiti da OGS nel 2013 per conto della Multiproject srl;
- profili sismici ad alta risoluzione monocanale (sorgente Boomer) acquisiti da OGS e Geosyntech srl nel 2021.

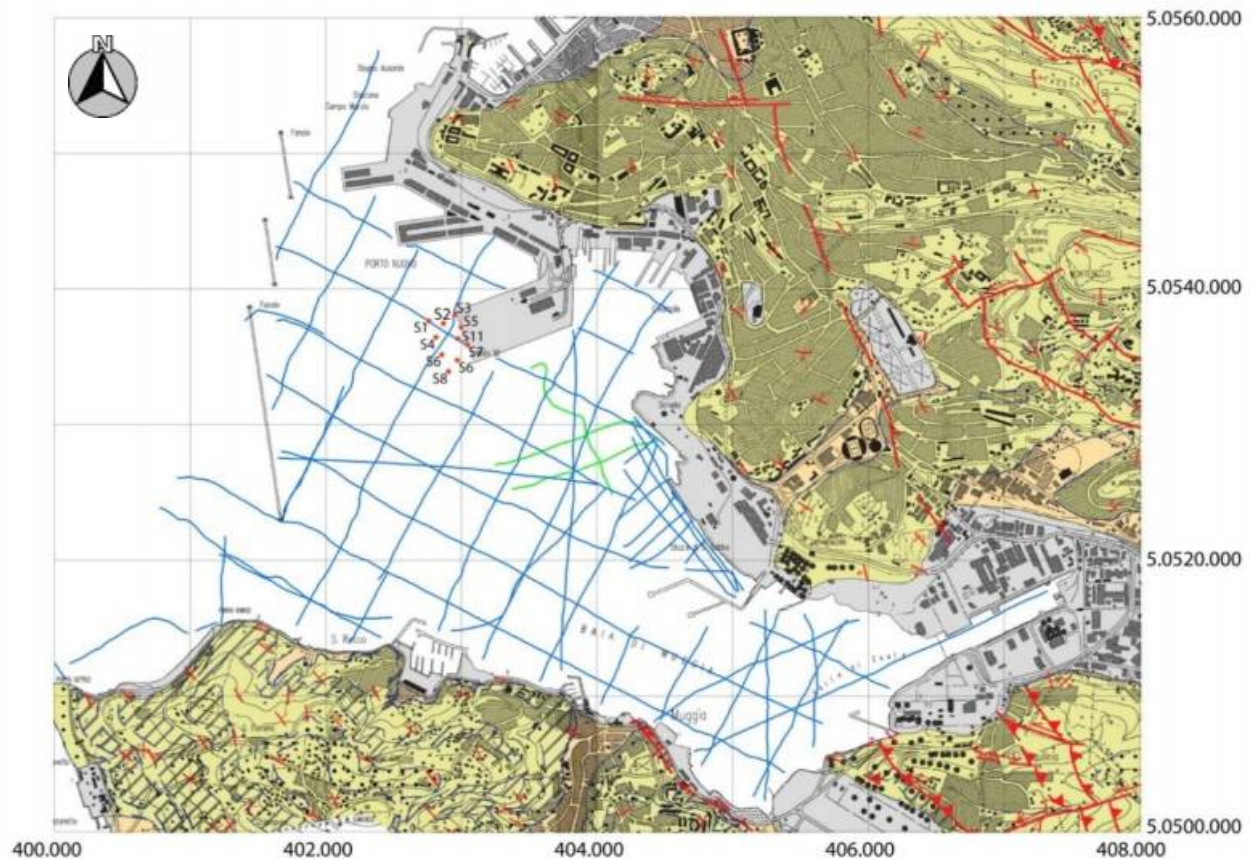


Figura 34 - Mappa dei dati utilizzati: in azzurro i profili acquisiti nel 2013, in verde i profili acquisiti nel 2021 ed i sondaggi indicati con pallini rossi

Le tecniche ad alta risoluzione permettono di investigare i primi 20 – 100 m posti al di sotto del fondale marino, a seconda della sorgente acustica e del tipo di sedimenti che caratterizzano il fondale e le successioni che vengono attraversate dalle onde sismiche. Nel caso delle acquisizioni OGS nel Golfo di Trieste, la metodologia è costituita da una sorgente Boomer, trainata a poppa da un'imbarcazione, che emette un'onda acustica ad un prefissato periodo di emissione. Il segnale acustico si propaga lungo la colonna d'acqua e successivamente viene riflesso dal fondo mare e dai diversi riflettori in profondità che costituiscono i contrasti di impedenza acustica delle discontinuità geologiche. Le riflessioni vengono registrate in

superficie da una serie di idrofoni assemblati in un cavo sismico posizionato in prossimità della sorgente. I 10 sondaggi utilizzati sono stati eseguiti in prossimità del Molo VII nel 2014 da Geosyntech srl. Dei 10 sondaggi eseguiti, solo alcuni hanno raggiunto il tetto del basamento della successione quaternaria costituito dai depositi silicoclastici torbiditici del Flysch di Trieste di età Eocene, a profondità compresa tra - 37 e - 49 m da f.m.. Al di sopra dei Flysch si trovano dei livelli di Flysch alterato, sedimenti prevalentemente limosi, con livelli con resti conchigliari relativi ad un ambiente marino e livelli torbosi relativi ad un ambiente continentale di piana fluviale. Nonostante i sondaggi disponibili non sono ubicati sui profili sismici utilizzati per il riconoscimento della Faglia di San Bartolomeo - Trieste, la stratigrafia degli stessi è stata comunque utile per caratterizzare le facies acustiche e calibrare i principali orizzonti marker.

L'interpretazione sismo-stratigrafica e strutturale delle linee sismiche è stata realizzata attraverso diverse fasi:

- analisi della letteratura esistente e dei sondaggi disponibili per produrre una stratigrafia di riferimento;
- riconoscimento di superfici marker ad alta ampiezza e notevole continuità laterale (generalmente corrispondenti a cambi litologici e/o a superfici di discordanza) che delimitano unità sismiche caratterizzate da risposte acustiche differenti e/o diversa architettura stratigrafica, spessore e profondità;
- correlazione delle diverse unità sismiche identificate e degli orizzonti marker con formazioni e superfici geologiche note sulla base della stratigrafia di riferimento elaborata;
- riconoscimento delle strutture tettoniche, tipicamente faglie in questo caso, che interessano la successione analizzata sulla base di disturbi del segnale, dislocazione dei riflettori ed eventualmente del fondo mare e di indizi morfotettonici (es. scarpate), cercando di evidenziarne la cinematica, la geometria, lo sviluppo, l'entità delle dislocazioni e l'età di deformazione; ciò sarà determinante per stabilire il potenziale in termini di attività e di capacità delle eventuali faglie presenti.

La Figura seguente illustra i profili sismici rappresentati nelle Figure successive ed utilizzati per il riconoscimento della presunta Faglia San Bartolomeo – Trieste.



Figura 35 - Mappa di ubicazione dei profili sismici monocale (Boomer), acquisiti nel 2013 e nel 2021 e dei sondaggi (pallini bianchi) utilizzati per l'individuazione della Faglia di San Bartolomeo-Trieste, la cui traccia presunta, come riportata in ITHACA, è evidenziata in rosso.

Nei profili sismici utilizzati per identificare la presenza della Faglia di San Bartolomeo - Trieste nella Baia di Muggia sono riconoscibili, in base alle caratteristiche sismo-stratigrafiche: 1) il substrato roccioso costituito dai depositi silicoclastici torbiditici del Flysch di Trieste (Luteziano-Priaboniano), affiorante nelle zone costiere; 2) i depositi marini e continentali del Pleistocene medio – superiore; 3) i sedimenti marini olocenici.

Nei profili sismici la facies acustica relativa al Flysch eocenico si presenta con orizzonti ad alta frequenza stratificati e inclinati, talora anche con inclinazioni molto elevate, e con frequenti pieghe e faglie. Il tetto del Flysch è un orizzonte ad elevata ampiezza fortemente ondulato a causa dell'erosione subaerea che tronca i riflettori sottostanti. Le geometrie della facies acustica relativa al Flysch si presentano con le stesse caratteristiche di quelle presenti a terra: strati piano paralleli costituiti da alternanze di marne e arenarie interessati da pieghe e faglie. Il Flysch è identificabile nei profili sismici principalmente nella parte settentrionale della Baia di Muggia, dove è visibile fino a circa 60-80 ms (circa 50-60 m di profondità), mentre non è visibile nella parte centrale della baia a causa della sua maggiore profondità rispetto alla capacità di penetrazione del metodo sismico ad alta risoluzione utilizzato. Il Flysch è visibile con un certo grado di incertezza, per brevi tratti ed in modo discontinuo nella parte meridionale della Baia di

Muggia. Questo indica che lungo la costa settentrionale della Baia di Muggia, il Flysch si approfondisce verso il centro con una pendenza minore rispetto al lato meridionale. Tale differenza di pendenza è probabilmente la stessa che si osserva lungo il perimetro della baia nella parte emersa.

Un orizzonte marker ad elevata ampiezza, continuo, sub-orizzontale e con micromorfologie articolate caratterizza l'area di studio (orizzonte blu nelle Figure seguenti). Questo orizzonte potrebbe essere associato alla presenza di torbe, caratteristiche dell'Adriatico Nord-orientale, e relative al periodo dell'ultimo massimo glaciale (circa 18-25.000 anni fa). Questo orizzonte è coperto da riflettori sismici continui e con notevole ampiezza, in cui si riconoscono sistemi argine-canale organizzati secondo un asse principale di drenaggio con direzione NNO-SSE, corrispondente all'asse maggiore della Baia di Muggia, e un sistema secondario di aste fluviali di drenaggio dai versanti. Questa successione è costituita da depositi continentali del Pleistocene superiore di origine fluviale. Al di sopra è presente un corpo sedimentario caratterizzato da una facies acustica semitrasparente in cui si identificano dei riflettori paralleli e si osservano strutture canalizzate. Questa parte di successione potrebbe rappresentare un ambiente di transizione di tipo salmastro. La successione si chiude verso l'alto con dei sedimenti marini olocenici caratterizzati da una facies acustica uniforme e senza strutture interne che drappeggia tutta la baia.

L'ingressione marina dell'Olocene è stata datata, in tre carote acquisite nella parte orientale del Golfo di Trieste, a circa 9000 anni fa (*Covelli et al., 2006*). L'analisi delle carote indica la presenza di ambienti costituiti da paludi salmastre e piane alluvionali, e deposizione di livelli di torba, fino a 9000 anni fa, cui sono seguiti ambienti marini in relazione alla fase di ingressione. I depositi marini olocenici drappeggiano la parte centrale del vallone per uno spessore totale di circa 7-10 metri, e di conseguenza con un tasso di sedimentazione medio di circa 1 mm/anno. Le informazioni stratigrafiche dei sondaggi indicano che questa unità è costituita da limi e argille. Nell'ambito della successione olocenica è osservabile nella parte Sud-orientale della Baia di Muggia, uno spesso corpo sedimentario caratterizzato da una facies sismica costituita da un'alternanza di riflettori ad alta frequenza e ad ampiezza variabile immergente sia a NO che a SO che formano un probabile deposito deltizio, associato alla foce del Rio Ospio. In diversi profili sismici sono identificabili dei rilievi sul fondo del mare di origine antropica, quali ad esempio i depositi antropici situati in corrispondenza dell'estremità meridionale della diga al

limite occidentale della Baia di Muggia, oppure in prossimità della costa settentrionale, sede di diverse attività industriali.

La presenza di facies acustiche trasparenti, cioè di zone in cui il segnale sismico è praticamente assente e indicate con il termine di *blanking* (sbiancamento), è molto frequente nei profili sismici analizzati. In particolare, ciò si osserva nella zona centrale della Baia di Muggia, generalmente al di sotto del riflettore posto alla base dei depositi continentali tardo pleistocenici (orizzonte blu nelle Figure seguenti). La zona di *blanking* del segnale sismico potrebbe essere dovuta alla presenza di gas nei sedimenti e/o nella parte inferiore della successione continentale. Infatti, l'assenza di riflettori sismici è causata dalla forte attenuazione delle alte frequenze contenute nel segnale acustico dovuta all'assorbimento e allo *scattering* prodotti dalle bolle di gas nei sedimenti. Come conseguenza, solo il tetto del livello a gas dà luogo ad una riflessione, mentre i sedimenti sottostanti risultano sostanzialmente trasparenti (Tóth *et al.*, 2014). Infatti, nei profili sismici sono presenti evidenze localizzate marcate da un riflettore ad elevata ampiezza con polarità invertita rispetto al fondo mare (bright-spot) al tetto di settori caratterizzati da *blanking*. La sua discontinuità laterale conferma che tale orizzonte non è originato da una discontinuità stratigrafica, ma da una disomogeneità dovuta alla distribuzione dei fluidi nella porosità dei sedimenti. La presenza di gas è un fenomeno ben noto nell'Adriatico settentrionale, incluso il Golfo di Trieste e può essere caratterizzato anche da locali fuoriuscite sul fondo del mare (Gordini *et al.*, 2012; Buseti *et al.*, 2013b, 2020; Vesnaver *et al.*, 2021a,b), che però non sembrano essere presenti nella Baia di Muggia. Inoltre il diffuso effetto *blanking* al di sotto dell'orizzonte alla base dei sistemi argini-canale (orizzonte blu nelle Figure seguenti), potrebbe essere dovuto alla presenza di un livello di torba, il cui assorbimento di energia previene il propagarsi dell'onda acustica nei sedimenti sottostanti con energia insufficiente per dare luogo a riflessioni visibili nel dato sismico. Inoltre, è possibile che la presenza di torba agisca da livello impermeabile alla risalita dei gas che si accumulano nei sedimenti sottostanti.

Dal punto di vista tettonico, è molto evidente come il basamento della successione pleistocenico-olocenica, rappresentato dai depositi silicoclastici torbiditici del Flysch di Trieste, sia interessato da una deformazione pervasiva causata principalmente da pieghe a scala metrica ed ettometrica sinclinali e anticlinali, talora rovesciate, con superfici assiali generalmente ad alto angolo. Ciò è in accordo con quanto si osserva in affioramento lungo la costa di Muggia e nella zona di Trieste. La successione pleistocenico-olocenica, a partire almeno dal Tirreniano (circa 125.000 anni fa) non presenta evidenze chiare di deformazione tettonica. Non sembrano osservabili piani

con associate dislocazioni dei riflettori o zone di concentrazione della deformazione (zone di faglia) associate a disturbi nel segnale. In particolare, in tutte le sezioni sismiche mostrate è stata riportata la posizione della presunta traccia della Faglia di San Bartolomeo-Trieste. A questa non parrebbe associato alcun piano di faglia riconoscibile distintamente nel sottosuolo, in quanto la successione di età pleistocenico-olocenica non risulterebbe interessata da dislocazioni e da zone di deformazione, ma sembrerebbe piuttosto caratterizzata da riflettori continui e sub-orizzontali. Inoltre, al fondo mare non parrebbero esserci indizi morfo-tettonici, quali scarpate o gradini, che possano far pensare alla presenza certa di faglie attive e capaci. Le Figure seguenti illustrano le sette linee sismiche più significative che attraversano la presunta traccia della Faglia di San Bartolomeo - Trieste da NE a SO.

I profili sismici interpretati sono presentati nelle Figure seguenti con la scala verticale in tempi doppi di percorrenza (TWT = Two Way Traveltime), secondo la modalità con cui vengono acquisiti e corrispondenti al tempo di andata e ritorno dell'onda sismica. Nelle Figure seguenti i tempi sono espressi in millisecondi. Per una conversione da tempi doppi espressi in millisecondi alla profondità in metri si consideri la formula

$$S = \frac{V}{T/2} * 1000$$

dove:

S = spazio (metri)

V = velocità (normalmente espressa in metri/secondo)

T = tempi doppi (devono essere dimezzati per ottenere il tempo ad una via)

Per la colonna d'acqua, che ha una velocità di circa 1500 m/s, 10 ms corrispondono a 7,5 metri, mentre per la sequenza sedimentaria, che ha una velocità di circa 1595 m/s, (Masoli et al., 2020), 10 ms corrispondono a poco meno di 8 metri.

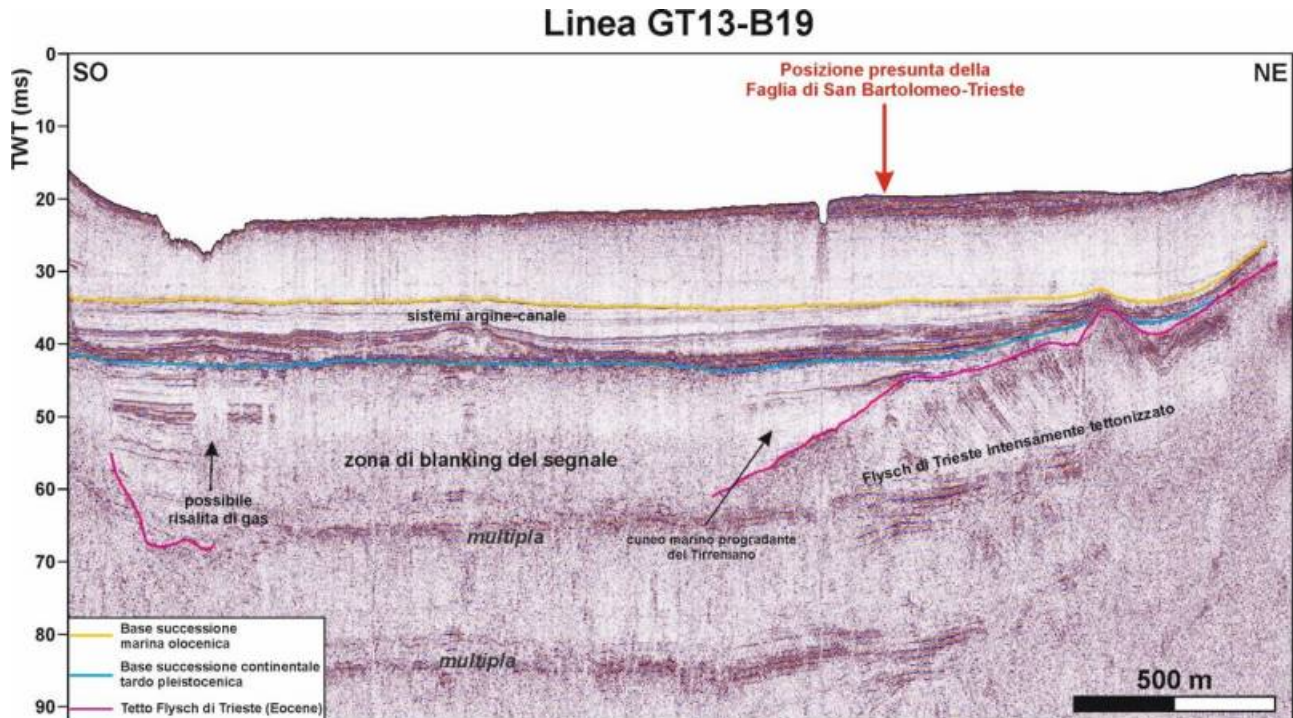


Figura 36 - Linea sismica ad alta risoluzione dove è riportata la presunta posizione della Faglia di San Bartolomeo-Trieste; il piano di faglia non è riconoscibile e la successione di età pleistocenico-olocenica non risulta interessata da dislocazioni e da zone di deformazione ma i riflettori risultano continui e sub-orizzontali.

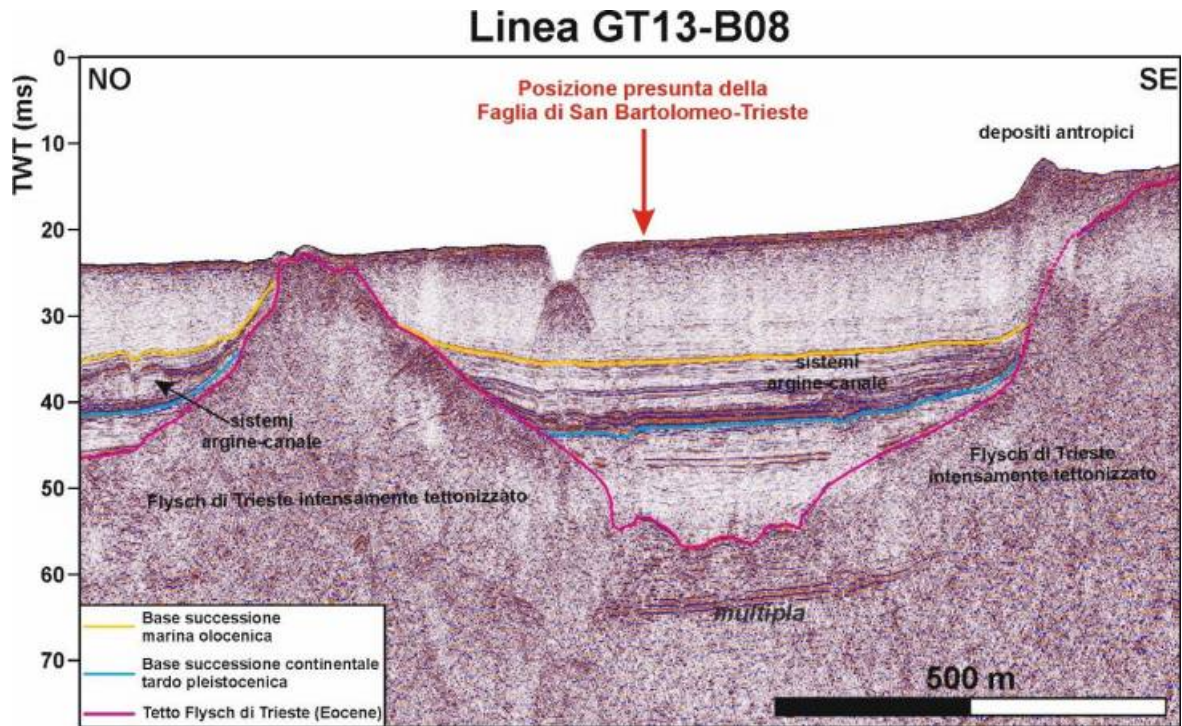
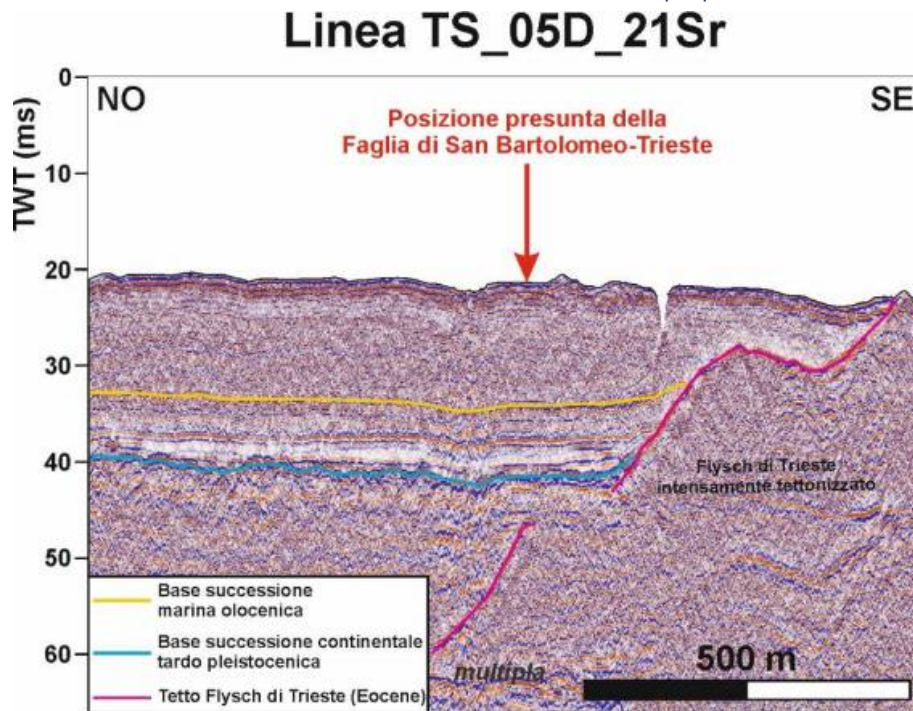


Figura 37 - Linea sismica ad alta risoluzione dove è riportata la presunta posizione della Faglia di San Bartolomeo-Trieste; il piano di faglia non è riconoscibile e la successione di età pleistocenico-olocenica non risulta interessata da dislocazioni e da zone di deformazione ma i riflettori risultano continui e sub-orizzontali.

Figura 38 - Linea sismica ad alta risoluzione che dovrebbe attraversare perpendicolarmente la parte nord-



orientale della porzione sommersa della Faglia di San Bartolomeo-Trieste, dove il piano di faglia non è riconoscibile; infatti la successione di età pleistocenico-olocenica non risulta interessata da dislocazioni e da zone di deformazione ma i pochi riflettori visibili risultano continui e sub-orizzontali.

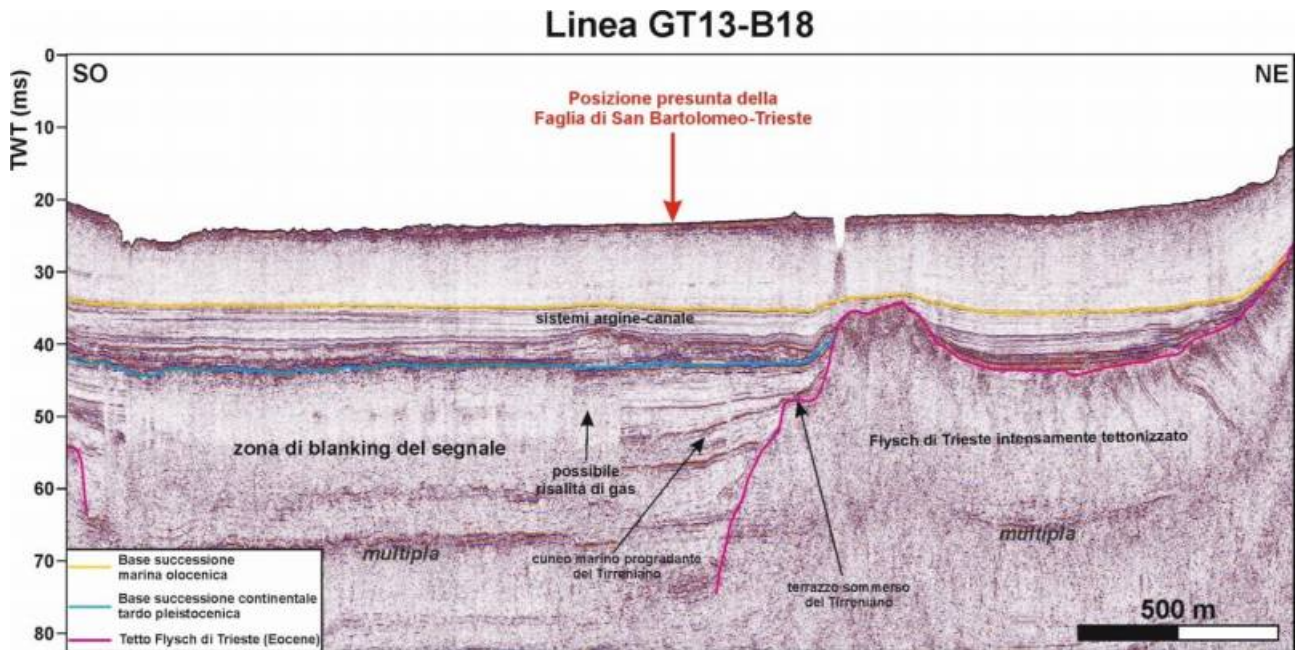


Figura 39 - Linea sismica ad alta risoluzione che dovrebbe attraversare la parte centrale della porzione sommersa della Faglia di San Bartolomeo-Trieste dove il piano di faglia non è riconoscibile; infatti la successione di età pleistocenico-olocenica non risulta interessata da dislocazioni e da zone di deformazione ma i riflettori risultano continui e sub-orizzontali.

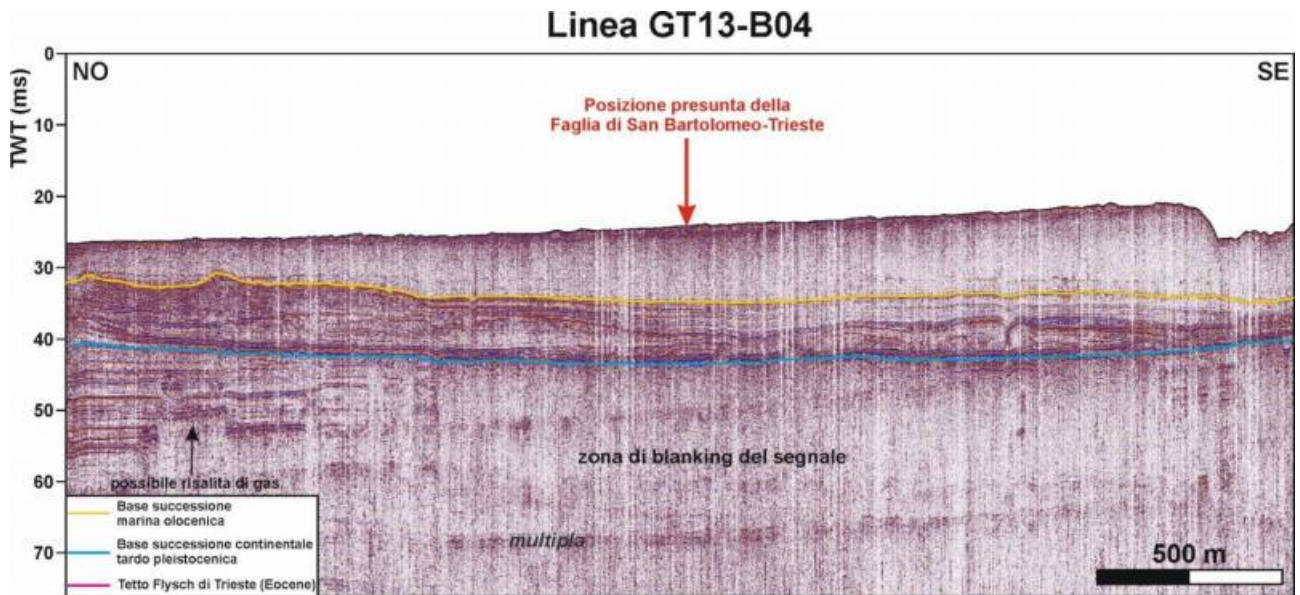


Figura 40 - Linea sismica ad alta risoluzione che dovrebbe attraversare all'incirca perpendicolarmente la parte centrale della porzione sommersa della Faglia di San Bartolomeo-Trieste dove il piano di faglia non è riconoscibile; infatti la successione di età pleistocenico-olocenica non risulta interessata da dislocazioni e da zone di deformazione ma i riflettori risultano continui e sub-orizzontali.

Linea GT13-B02

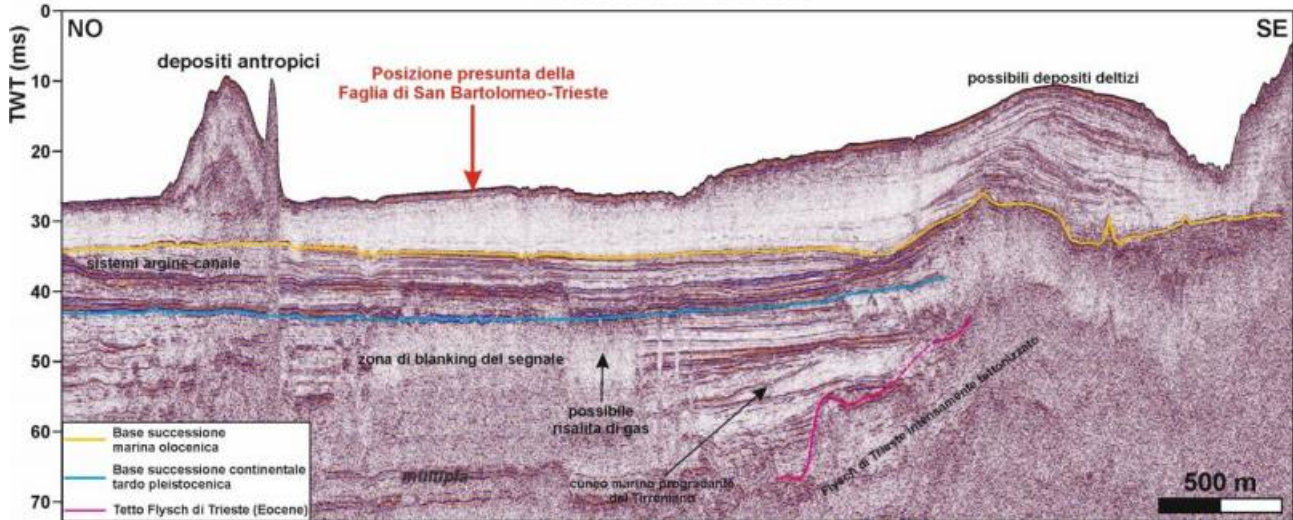


Figura 41 - Linea sismica ad alta risoluzione che dovrebbe attraversare all'incirca perpendicolarmente la parte sud-occidentale della porzione sommersa della Faglia di San Bartolomeo-Trieste dove il piano di faglia non è riconoscibile; infatti la successione di età pleistocenico-olocenica non risulta interessata da dislocazioni e da zone di deformazione ma i riflettori risultano continui e sub-orizzontali.

Linea GT13-B16

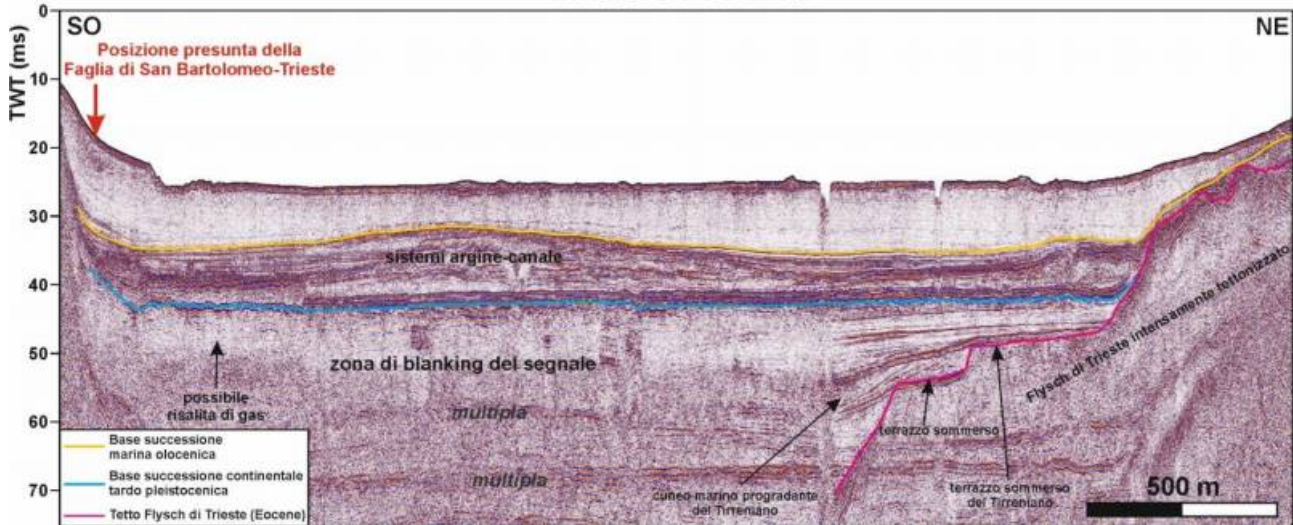


Figura 42 - Linea sismica ad alta risoluzione che dovrebbe attraversare l'estremità sud-occidentale della porzione sommersa della Faglia di San Bartolomeo-Trieste dove il piano di faglia non è riconoscibile; infatti la successione di età pleistocenico-olocenica non risulta interessata da dislocazioni e da zone di deformazione ma i riflettori risultano continui e sub-orizzontali.

In sintesi, l'analisi dei numerosi profili sismici ad alta risoluzione acquisiti nel 2013 (OGS per conto Multiprojects srl) e nel 2021 nel Golfo di Muggia (OGS e Geosyntech srl) ha evidenziato che il substrato roccioso costituito dai depositi silicoclastici del Flysch di Trieste è interessato da una intensa deformazione tettonica connessa a piegamenti e in misura minore a faglie. In particolare, si osservano pieghe da decimetriche ad ettometriche, talora rovesciate e superfici assiali sub-verticali, non correlabili tra i profili sismici (in quanto il grigliato sismico ha maglia

di circa 500 metri). Dalla interpretazione dei dati esposti nella bibliografia citata, non sembrano evidenti strutture tettoniche nella sovrastante successione sedimentaria marino-continentale di età Pleistocene superiore-Olocene. In particolare, *non è stata identificata una struttura tettonica che possa corrispondere alla presunta traccia della Faglia di San Bartolomeo – Trieste* riportata nel Catalogo ITHACA delle Faglie Attive a Capaci. Lungo il tracciato della faglia riportata in ITHACA, la successione analizzata non pare, infatti, interessata da piani strutturali con annesse dislocazioni dei riflettori sismici o da zone di deformazione che possano far pensare alla presenza di una struttura tettonica che abbia avuto attività nel Pleistocene Superiore-Olocene. Gli orizzonti che costituiscono la successione quaternaria si presentano generalmente sub-orizzontali, continui e paralleli. Anche al fondo mare non parrebbero presenti evidenze morfologiche che permettano di pensare a dislocazioni recenti.

Si ritiene, pertanto, che la presenza all'interno del catalogo ITHACA della Faglia di San Bartolomeo-Trieste sia dovuta all'utilizzo diretto, senza aver fatto i necessari approfondimenti specifici, delle interpretazioni basate sul modello geologico-strutturale degli anni '70-'80, poi effettivamente abbandonato negli anni successivi. A sostegno di quanto sopra, oltre alle risultanze dello studio eseguito (*OGS e Dott. Masoli – Geosyntech srl, 2022*), è da evidenziare l'assenza di tale struttura nella carta GEO-CGT (2013) del Carso Triestino e in Jurkovšek et al. (2016). Ad ogni buon conto, non si può escludere un'attività tettonica neogenica-quaternaria legata alla fase alpina, compatibile con la flessurazione verso Nord che ha interessato l'area, testimoniata dalla subsidenza tettonica dei terrazzi tirreniani, la quale però, nell'area di indagine, non sembra aver prodotto effetti deformativi significativi nei sedimenti del Pleistocene superiore-Olocene (ultimi 129.000 anni) depositatisi al tetto del Flysch di Trieste.

5.2 Studio Microzonazione Sismica

Ad ulteriore supporto di quanto sopra affermato, si evidenzia che nell'allegato stralcio della *Carta Geologico-Tecnica* dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Trieste e relativa legenda non viene rappresentata la suddetta faglia, come di seguito meglio illustrato.

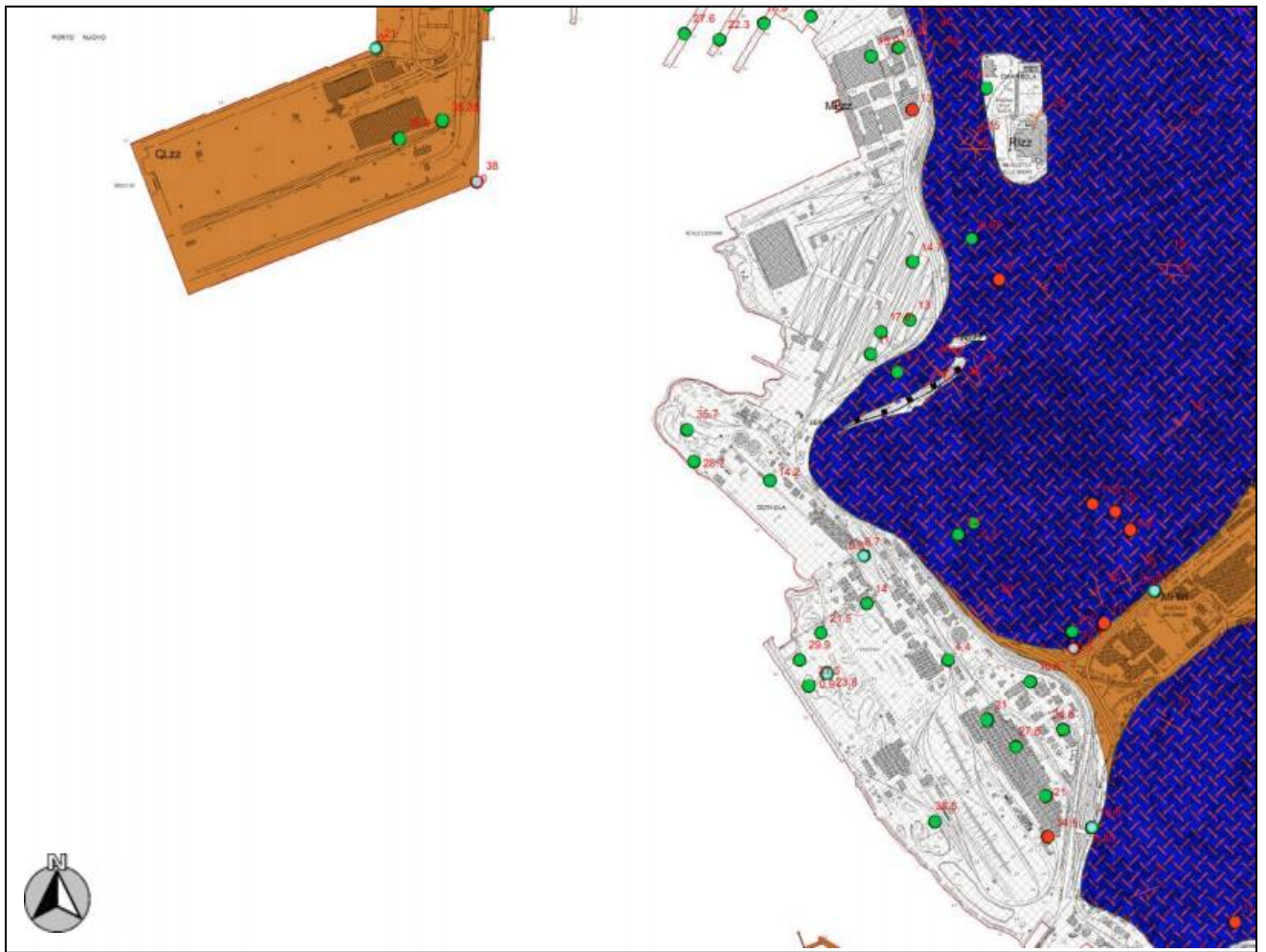


Figura 43 - Estratto della Carta Geologico-Tecnica dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Trieste

Terreni di copertura



Terreni contenenti resti di attività antropica: terreni di riporto/rifiuti (zz)



Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia - falda di detrito di versante (fd)



Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo - deposito alluvionale di piana pedemontana (pd)



Sabbie ben assortite, sabbie limose e ghiaiose - deposito alluvionale di bacino intramontano (in)



Limi inorganici, sabbie fini, limi argillosi, sabbiosi e ghiaiosi - deposito alluvionale di conoide (ca), di bacino (piana) intramontano (in) e di piana pedemontana (pd), deposito eluvio-colluviale (ec)



Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità riempimento di dolina "terre rosse" (do), deposito alluvionale di piana pedemontana (pd) e depositi alluvionali-marini di piana deltizia (dl)

Substrato geologico



Lapideo, stratificato - calcari, calcari stratificati



Ghiaie mal classate da cementate a parzialmente cementate - detrito di versante



Alternanza di marne siltose ed arenarie - flysch in facies arenacea



Alternanza di marne siltose ed arenarie - flysch in facies marnoso-arenacea ed in facies prevalentemente marnosa

Instabilità di versante



Crollo o ribaltamento - attivo (FR_A)



Scorrimento - attivo (FR_A)



Colata - attiva (FR_A)



Instabilità complessa - attiva (FR_A)



Instabilità non definita - attiva (FR_A)



Instabilità non definita - quiescente (FR_Q)



Crollo o ribaltamento - quiescente (FR_Q)



Scorrimento - quiescente (FR_Q)



Colata - quiescente (FR_Q)

Elementi tettonico strutturali



Faglia diretta potenzialmente attiva (certa)



Faglia inversa potenzialmente attiva (certa)



Faglia inversa potenzialmente attiva (presunta)



Faglia trascorrente/obliqua potenzialmente attiva (certa)



Faglia trascorrente/obliqua potenzialmente attiva (presunta)



Faglia con cinematisma non definito potenzialmente attiva (certa)



Faglia con cinematisma non definito potenzialmente attiva (presunta)

Forme di superficie e sepolte



Orlo di scarpata morfologica (10 - 20 m)



Falda detritica



Orlo di scarpata morfologica (> 20 m)



Cavità isolata/dolina/sinkhole

Elementi geologici ed idrogeologici



Profondità (m) sondaggio o pozzo che ha raggiunto il substrato



Profondità (m) della falda in area con sabbia e/o ghiaia



Traccia della sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo



Profondità (m) sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato



Giacitura strati



Limite comunale



Limite dell'area di studio



















Inoltre, l'allegato stralcio della *Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)* dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Trieste e relativa legenda, classifica parzialmente l'area in esame come "Zone suscettibili di amplificazioni locali", coincidenti con la microzona 2099 - *Substrato molto fratturato o alterato*, parzialmente con la microzona 2003 - *Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con spessori compresi tra 3 e 10 m. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CH, CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP o GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna*, con la microzona 2007 - *Limi inorganici, sabbie fini (MH) con uno spessore compreso tra 3 e 5 m. Possono poggiare su orizzonti con diverse caratteristiche litologiche come CH, CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP o GW, che a loro volta poggiano sul substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità inferiore a 20 metri dal piano campagna* e con la microzona 2010 - *Terreni contenenti resti di attività antropica (RI) con uno spessore compreso generalmente tra 3 e 10 metri ma può raggiungere anche i 27 metri. Poggiano su orizzonti con diverse caratteristiche tessiturali come CL, OH, OL, MH, ML, PT, SC, SM, SP, SW, GC, GM, GP, GW. Questi orizzonti in genere poggiano a loro volta su substrato alterato e/o fratturato (SF). Il substrato, costituito dalla formazione flyschoidale (ALS), si trova a profondità maggiore di 20 metri dal piano campagna*.

Inoltre la zona di studio è parzialmente classificata come "Zone di attenzione per instabilità", coincidenti con la Zona 3011 – *Zona di attenzione per instabilità attiva - crollo o ribaltamento* e con la Zona 3050 – *Zona di attenzione per liquefazioni di Tipo 1 - Aree per le quali sono state verificate le quattro condizioni predisponenti Tali zone sono caratterizzate dalla presenza, entro i primi 20 m di profondità, di sedimenti in cui è stata rilevata la frazione granulometrica delle sabbie nelle descrizioni stratigrafiche dei sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo prese in esame nell'ambito del presente studio. Pertanto sono stati considerati terreni potenzialmente liquefacibili quelli formati da miscele di sabbie, ghiaie e limi, coerentemente a quanto indicato dalle fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione definite negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*.







Figura 44 - Estratto della tavola delle MOPS dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Trieste

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

	2001	Zona 3		2010	Zona 12
	2002	Zona 4		2011	Zona 13
	2003	Zona 5		2012	Zona 14
	2004	Zona 6		2013	Zona 15
	2005	Zona 7		2014	Zona 16
	2006	Zona 8		2015	Zona 17
	2007	Zona 9		2016	Zona 18
	2008	Zona 10		2017	Zona 19
	2009	Zona 11			
	2099	Substrato molto fratturato o alterato			

Zone di attenzione per instabilità

	3011 - 3012 - 3013 - 3014 - 3014 - 3015
	ZA FR_A - Zona di Attenzione per instabilità di versante attiva
	3021 - 3022 - 3023 - 3025
	ZA FR_Q - Zona di Attenzione per instabilità di versante quiescente
	3080
	Cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole
	3050
	ZA LQ1 - Zona di Attenzione per liquefazioni tipo 1

6 ZONIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA P.R.G. COMUNE DI TRIESTE

Il nuovo Piano Regolatore Generale del Comune di Trieste è stato approvato con D.C. n. 48 dd. 21.12.2015, pubblicato sul BUR n. 18 del 04 maggio 2016, per estratto, l'avviso del Decreto del Presidente della Regione, n. 085/Pres. del 26 aprile 2016, che ha confermato l'esecutività della deliberazione consiliare n. 48, integrata dalla deliberazione consiliare n. 5 del 9 febbraio 2016, di approvazione del nuovo P.R.G.C., disponendo l'introduzione, nel piano stesso, delle modifiche indispensabili al totale superamento delle riserve. Il nuovo P.R.G.C. del Comune di Trieste è in vigore dal giorno 05 maggio 2016.

In dettaglio, l'allegato stralcio della "*Carta della Zonizzazione Geologico-Tecnica*" e relativa legenda redatta per lo Studio Geologico a supporto del P.R.G. del Comune di Trieste, classifica parzialmente l'area di interesse come *Zona ZG6 - "Formazione marnoso arenacea in facies di Flysch caratterizzata dalle seguenti problematiche geologiche:*

- *assetto giaciturale irregolare;*
- *elevata variabilità delle caratteristiche geomeccaniche sia per anisotropia (lungo strato e trasverso strato) che per grado di fratturazione, detensionamento ed alterazione;*
- *presenza di percolazioni di acqua di interstrato anche in pressione;*
- *possibile presenza di piccole cave talora ritombate e mascherate al di fuori delle aree estrattive storicamente note;*
- *potenziali instabilità superficiali puntuali."*

parzialmente come *Zona ZG4 - "Aree di riporto antropico caratterizzate generalmente dalle seguenti problematiche geologiche:*

- *riporti eterogenei da attività antropica, sia su terreni bonificati a mare per realizzare gli insediamenti portuali, industriali ed artigianali al servizio dell'attività produttiva, sia in corrispondenza di antiche saline per lo sviluppo del tessuto urbano, prioritariamente nel Borgo Teresiano;*
- *riporti eterogenei da attività antropica arealmente significative per opere pubbliche, infrastrutturali ed impiantistiche, realizzate utilizzando materiali eterogenei, terre e rocce da scavo, possibili riempimenti con materiali da demolizione edilizia".*

e parzialmente come Zona ZG5 - “Aree contraddistinte da sedimenti quaternari (DV - TR - SMG – MSG – MS – MG – M – GM) caratterizzate generalmente dalle seguenti problematiche geologiche:

- sono depositi a composizione generalmente mista, ciottoli e clasti eterodimensionali, prevalentemente arenacei, in subordine calcarei, in matrice limo argillosa e limo sabbiosa a seconda del substrato flyschoidi di riferimento, in genere quindi caratterizzati da eterogeneità composizionale, incertezza nella distribuzione spaziale degli orizzonti, problematica ricostruzione di un modello geologico e geotecnico attendibile;
- Riguardo alle Terre Rosse, sono depositi argillo limosi a diverso contenuto di sabbia, a prevalente comportamento coesivo; sono situati, per la gran parte, in corrispondenza delle depressioni doliniformi in area carsica, quindi dal punto di vista geologico zonizzativo già ricompresi nella classe ZG1, inedificabili”.

Inoltre, sono presenti ulteriori due Zone afferenti ad ambiti limitati e ben localizzati, di cui la prima identificata come Zona ZG1 – *Inedificabile* , sostanzialmente coincidente con l’area di frana per movimenti di crollo/ribaltamento già precedentemente descritta, nella quale nel rispetto delle Norme Tecniche Attuative del P.R.G.C. sono consentiti i seguenti interventi ed attività:

- opere di difesa, di sistemazione idraulica e dei versanti, anche attraverso la manutenzione e la ricostruzione delle opere di sostegno a pastino, opere di bonifica e di regimazione delle acque superficiali, di manutenzione idraulica e di sistemazione dei movimenti franosi, di monitoraggio o altre opere comunque volte ad eliminare, ridurre o mitigare le condizioni di pericolosità o a migliorare la sicurezza delle aree interessate;
- opere, connesse con le attività di gestione e manutenzione del patrimonio forestale, boschivo e agrario, purché non in contrasto con le esigenze di sicurezza idraulica e geologica;
- realizzazione e manutenzione di sentieri, purché non comportino l’incremento delle condizioni di pericolosità e siano segnalate le situazioni di rischio;
- interventi strettamente necessari per la tutela della pubblica incolumità e per ridurre la vulnerabilità degli edifici esistenti;
- interventi di manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;

- *realizzazione o ampliamento di infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, diverse da strade o da edifici, riferite a servizi essenziali non diversamente localizzabili o non delocalizzabili ovvero mancanti di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili, purché, se necessario, dotate di sistemi di interruzione del servizio o delle funzioni; nell'ambito di tali interventi sono anche da ricomprendersi eventuali manufatti accessori e di servizio, di modesta dimensione e, comunque, non destinati all'uso residenziale o che consentano il pernottamento;*
- *realizzazione o ampliamento di infrastrutture viarie, ferroviarie e di trasporto pubblico nonché di piste ciclopedonali, purché siano contestualmente attuati i necessari interventi di mitigazione della pericolosità o del rischio; adeguamenti alle strutture viarie esistenti sono ammissibili anche in deroga all'obbligo di contestuale realizzazione degli interventi di mitigazione solo nel caso in cui gli adeguamenti si rendano necessari per migliorare le condizioni di sicurezza della percorribilità delle stesse;*
- *interventi di demolizione senza ricostruzione;*
- *interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria riguardanti edifici ed infrastrutture purché non comportino incremento di unità abitative o del carico insediativo;*
- *interventi di adeguamento senza ampliamento degli edifici esistenti per necessità igienico sanitarie, per il rispetto della legislazione in vigore anche in materia di abbattimento delle barriere architettoniche, di sicurezza del lavoro e incremento dell'efficienza energetica;*
- *sistemazioni e manutenzioni di superfici scoperte di edifici esistenti (es. rampe di modeste dimensioni, muretti, recinzioni, opere d'ingegneria naturalistica ed opere a verde in generale);*
- *posizionamento delle strutture di carattere provvisorio, non destinate al pernottamento di persone, necessarie per la conduzione dei cantieri per la realizzazione degli interventi consentiti nelle ZG1;*
- *adeguamenti strutturali e funzionali di impianti per la lavorazione degli inerti solo nel caso in cui siano imposti dalle normative vigenti e non siano diversamente localizzabili;*
- *adeguamento strutturale e funzionale di impianti di depurazione delle acque reflue urbane imposti dalla normativa vigente;*
- *realizzazione delle opere di raccolta, regolazione, trattamento, presa e restituzione dell'acqua;*

- *interventi di riequilibrio e ricostruzione degli ambiti fluviali naturali nonché opere di irrigazione, purché non in contrasto con le esigenze di sicurezza;*
- *prelievo di materiale litoide o assimilabili solo previa verifica che questo sia compatibile con le condizioni di pericolo presenti e che non provochi un peggioramento delle stesse;*
- *adeguamento di impianti produttivi artigianali o industriali solo nel caso in cui siano imposti dalle normative vigenti;*
- *realizzazione di pertinenze di edifici o di unità immobiliari esistenti che non comportino volumetria e destinate ad arredi da giardino o terrazzo, barbecue e tutti gli interventi di ornamento dell'edificio o sue pertinenze;*
- *opere temporanee per attività di ricerca nel sottosuolo che abbiano carattere geognostico per un limite massimo di un anno”.*

mentre la seconda, ubicata a monte ed a contatto con la Zona ZG1 sopra descritta, identificata come Zona ZG3 – *“Aree caratterizzate dalle seguenti problematiche geologiche:*

- *versanti storicamente interessati da instabilità superficiali e/o da condizioni geostatiche potenzialmente sensibili ad eventuali modifiche all’equilibrio esistente tali comunque da non pregiudicarne l’edificazione;*
- *aree interessate in passato da dissesti locali, attualmente stabilizzate mediante interventi di consolidamento definitivo anche profondo;*
- *aree prossime a zone ZG1 o ZG2 per le quali si richiede una valutazione più accurata delle problematiche geologiche presenti;*
- *zone storicamente note per la presenza in passato di attività estrattiva diffusa le cui originarie morfologie di cava sono state spesso successivamente mascherate o modificate mediante ritombamenti e/o riprofilature con materiale di riporto di spessore talora anche superiore ai 10 m;*
- *cave in attività, contraddistinte da una situazione morfologica e geostatica in evoluzione e sottoposte a normative e controlli specifici del settore in particolare in merito agli aspetti geologici, geostatici e di sicurezza”.*

Infine, sono identificate le aree soggette ad allagamenti per innalzamento del livello marino e ricomprese nel “*Limite superiore della zona soggetta a verifica della quota altimetrica di sicurezza nei confronti del fenomeno di ingressione di acqua marina*”. Tale limite altimetrico è stato posto pari a + 2.5 metri s.l.m.m., “*al di sotto del quale in sede di presentazione delle proposte progettuali dovrà essere obbligatoriamente verificata la possibilità che un tale fenomeno abbia ad interessare l'area di volta in volta di studio, proponendo, in caso positivo, gli accorgimenti e le soluzioni progettuali atte ad impedire gli effetti negativi del fenomeno di acqua alta*”.



Figura 45 - Estratto dalla Carta della Zonizzazione Geologico Tecnica del P.R.G. del Comune di Trieste

 ZG1

 Dollina con diametro minore di 50 m - ZG1

 ZG2


 ZG3

 ZG4

 ZG5

 ZG6

 ZG7

 Limite superiore della zona soggetta a verifica della quota altimetrica di sicurezza nei confronti del fenomeno di Ingressione marina

 Confine comunale

7 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO

In questo capitolo vengono elencate sinteticamente le indagini geognostiche considerate, nella presente fase progettuale, per la definizione del modello geologico relativamente alle aree d'interesse.

7.1 *Area a mare*

Nel corso dell'anno 2021 la Geosyntech srl ha svolto una campagna d'indagine geognostica, oltre alle indagini di tipo ambientali, durante la quale sono state eseguite le seguenti indagini:

Geosyntech (anno 2021):

- N°4 sondaggi geognostici a distruzione di nucleo in corrispondenza dei sedimenti (TS21/42, TS21/44, TS21/49, TS21/51).
- N°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (TS21/41, TS21/52).
- N°2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo in corrispondenza dei sedimenti superficiali fino al tetto della roccia (Flysch) (TS21/43, TS21/50).
- N°3 tomografie sismiche a riflessione eseguite in mare.

7.2 *Area a terra*

Relativamente all'area a terra sono state considerate, per la definizione dell'assetto litostratigrafico e geotecnico sito-specifico, le indagini delle diverse campagne eseguite, sia geognostiche che ambientali, sotto riportate:

- 1) ***Imprefond 2003 e Geosyntech 2008***
- 2) ***Barriera Invitalia 2018***
- 3) ***Progetto Piattaforma Logistica 2015***
- 4) ***Nasone (anno 2019).***
- 5) ***CEF Grant Agreement No INEA/CEF/TRAN/M2019/2112551 (anni 2021-2022)***

8 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

8.1 Area a mare

Sulla base di quanto sopra riportato, è stato definito il modello geologico di riferimento nella successiva sequenza di formazioni litologiche:

- **Depositi di natura marina/continentale** (*complesso limoso-argilloso-sabbioso*).
- **Cappellaccio d'alterazione del Flysch triestino** (*matrice limosa-sabbiosa-argillosa con eventuali corpi arenacei, o scaglie di marna, inglobati in essa*).
- **Flysch di Trieste** (*alternanza di marne ed arenarie*).

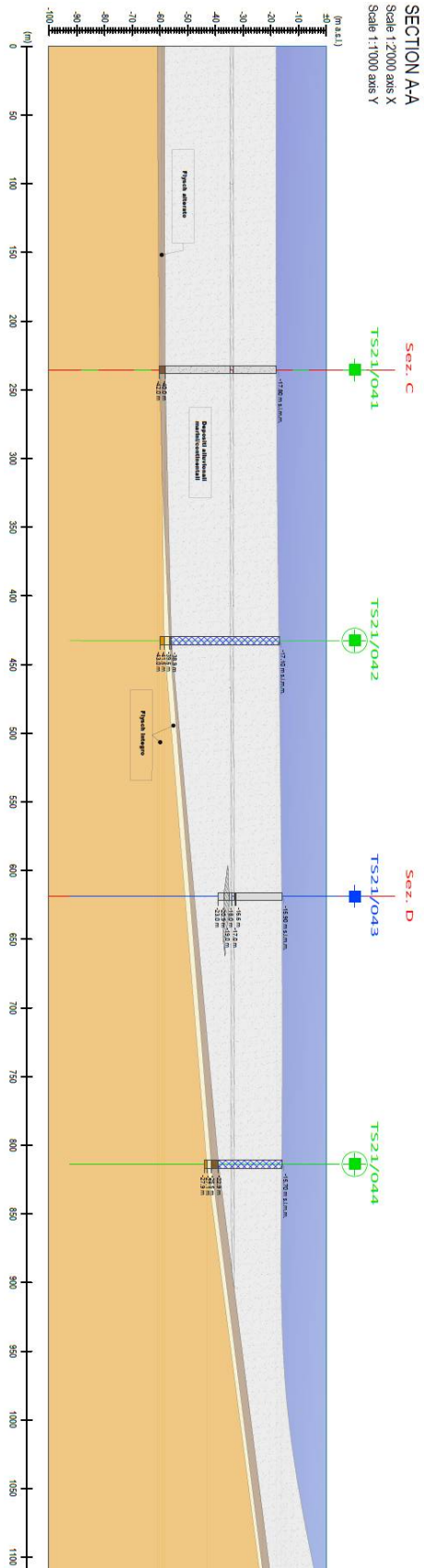
Nella Figura seguente è riportata l'ubicazione delle sezioni geologico-interpretative per l'area a mare.

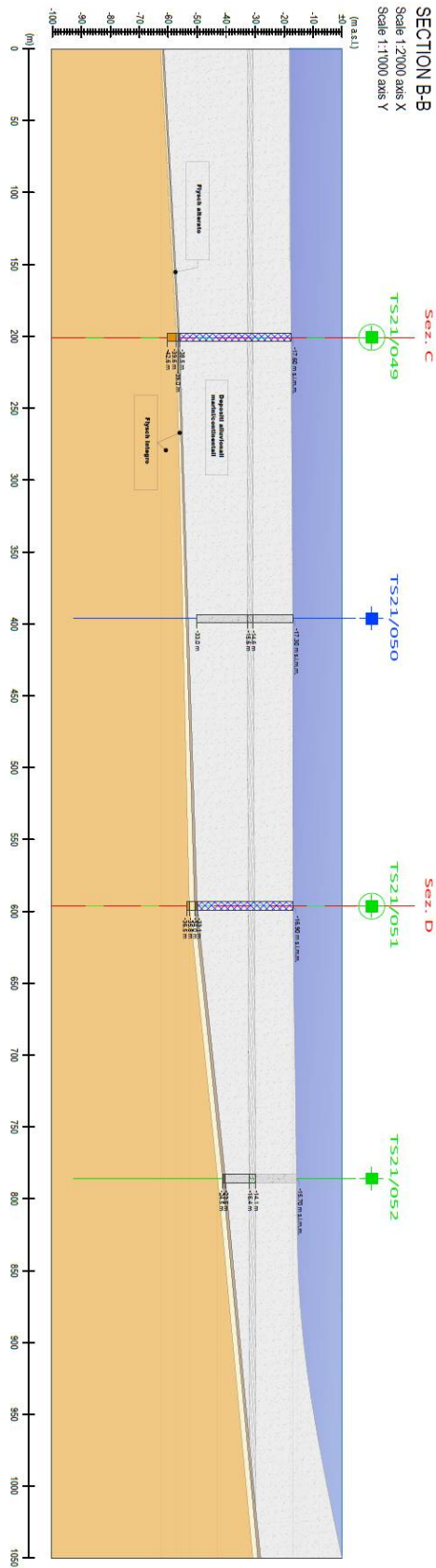


Figura 46 - Ubicazione delle sezioni geologiche di riferimento

LEGENDA FORMAZIONI:

	RIPORTO ANTROPICO
	TORBA
	LIMO ARGILLOSO TALORA SABBIOSO
	FLYSCH ARENACEO MARINOSO ALTERATO (C1)
	FLYSCH ARENACEO MARINOSO INTEGRO (T3/T4)
	FLYSCH ARENACEO MARINOSO INTEGRO (T2)

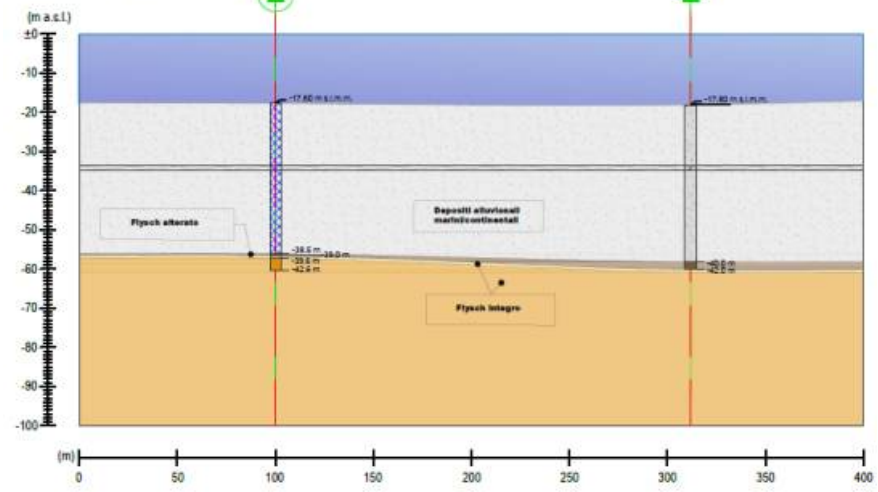




SECTION C-C

Scale 1:2'000 axis X

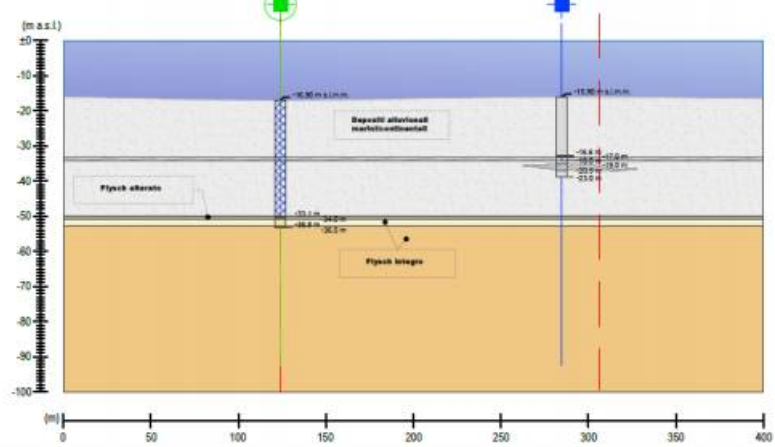
Scale 1:1'000 axis Y



SECTION D-D

Scale 1:2'000 axis X

Scale 1:1'000 axis Y



8.2 Area a terra

8.2.1 Sintesi dei riferimenti

Sulla base dei dati delle indagini eseguite per vari progetti, e correlando in prima approssimazione le diverse successioni stratigrafiche dei sondaggi svolti, l'area oggetto di studio è caratterizzata dalla presenza della formazione marnoso-arenacea del Flysch, sottostante sedimenti in generale limoso-argillosi a loro volta sottostanti a materiali di riporto. In dettaglio, la successione stratigrafica riconosciuta è di seguito sintetizzata (dall'alto verso il basso):

- **Materiali di riporto** (*ghiaia con sabbia e trovanti*).
- **Depositi di natura marina/continentale** (*complesso limoso-argilloso-sabbioso con clasti arenacei eterogenei*).
- **Cappellaccio d'alterazione del Flysch triestino** (*matrice limosa-sabbiosa-argillosa con corpi arenacei, o scaglie di marna, inglobati in essa*).
- **Flysch di Trieste** (*alternanza di marne ed arenarie di spessore variabile*).

Dai sondaggi eseguiti da Imprefond nel 2003, si deduce una debole e generale inclinazione del substrato roccioso verso Ovest/Nord-Ovest, ovvero verso mare, ad una profondità via via crescente da circa - 26 m sino a - 37 m. Relativamente ai materiali di riporto, si evidenzia un'elevata variabilità spaziale dello stesso in termini di potenza dello strato, con valori massimi riscontrati pari a circa 20 m. Tali spessori possono localmente aumentare sino a circa 25÷27 m. Al di sotto di tale livello di materiali antropici di riporto, è presente uno strato di sedimenti marino/continentali con frequente presenza di elementi ghiaiosi e ciottoli inglobati di origine antropica. Segue il livello di alterazione del Flysch caratterizzato da strati marnosi ed arenacei molto alterati di color marrone, in matrice limo-sabbiosa, passante al substrato da fratturato a molto fratturato, quest'ultimo sovrapposto al Flysch integro. Una caratterizzazione litologica con modellistica geologica di dettaglio è presentata successivamente nel modello idrogeologico. Una caratterizzazione litologica con modellistica geologica di dettaglio è presentata successivamente nel modello idrogeologico.

8.2.2 Sezioni geologiche a terra

In Figura 47 è riportata l'ubicazione delle sezioni geologico-interpretative per l'area a terra.

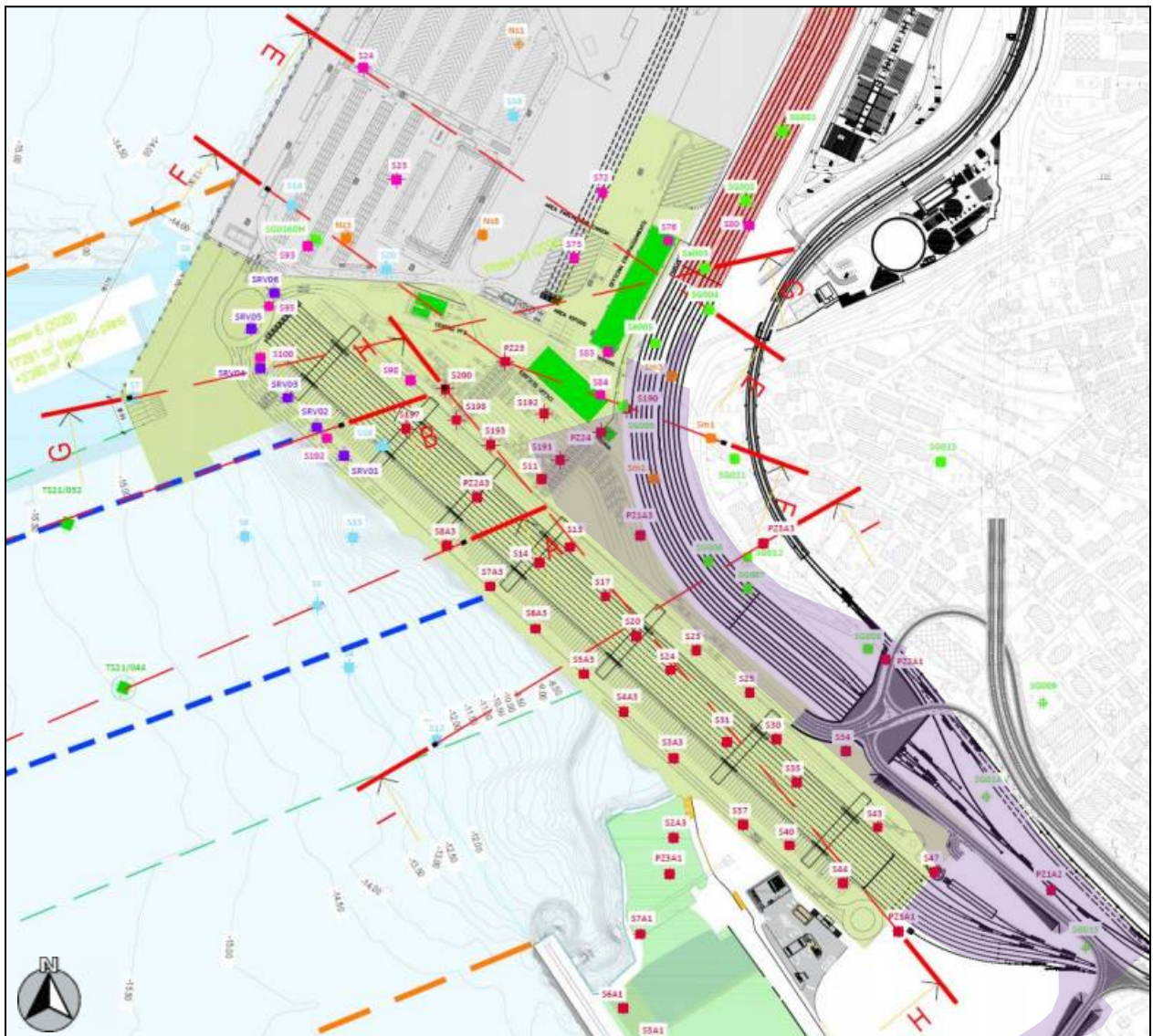



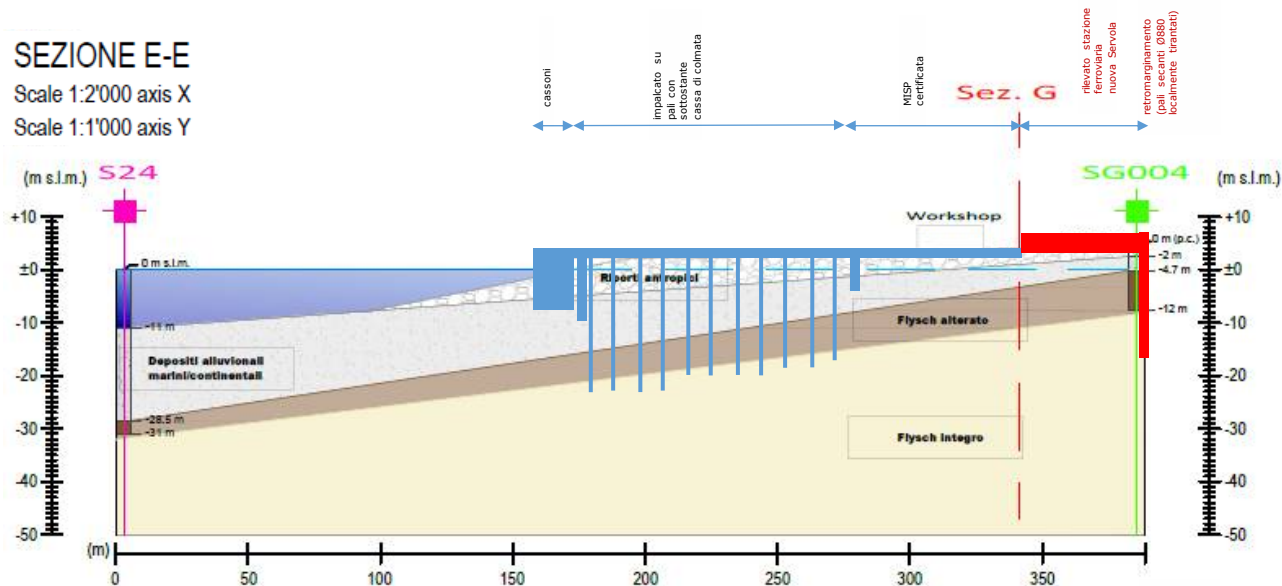
Figura 47 - Ubicazione delle sezioni geologiche di riferimento; il retino viola copre l'ambito della MISP di interesse dell'AdSPMAO a terra; la restante parte a terra riguarda la MISP curata da Logistica Giuliana; in acqua vi è l'ambito della cassa di colmata e del Molo VIII facenti capo al fascicolo B del PFTE

LEGENDA FORMAZIONI:

-  RIPOSTO ANTROPICO
-  TORBA
-  LIMO ARGILLOSO TALORA SABBIOSO
-  FLYSCH ARENACEO MARNOSO ALTERATO (C1)
-  FLYSCH ARENACEO MARNOSO INTEGRO (T3/T4)
-  FLYSCH ARENACEO MARNOSO INTEGRO (T2)

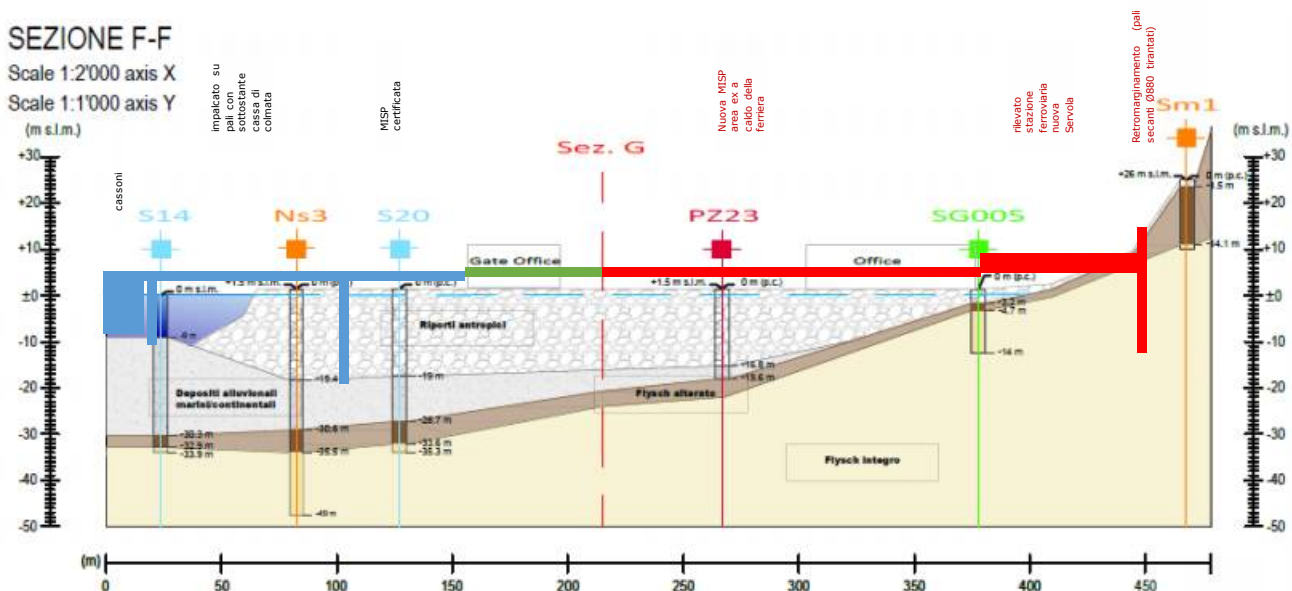
SEZIONE E-E

Scale 1:2'000 axis X
Scale 1:1'000 axis Y



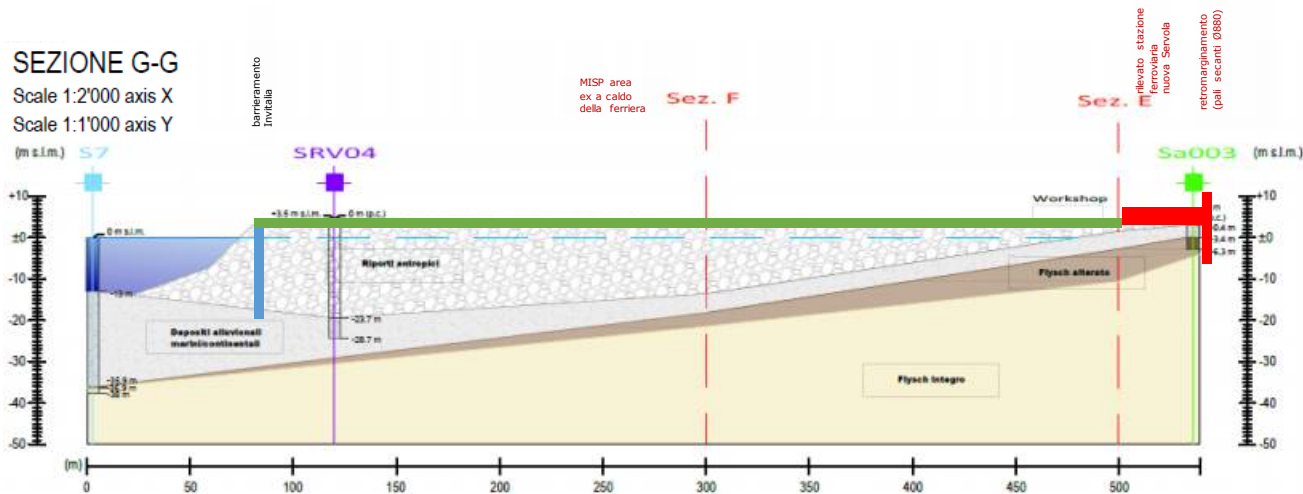
SEZIONE F-F

Scale 1:2'000 axis X
Scale 1:1'000 axis Y



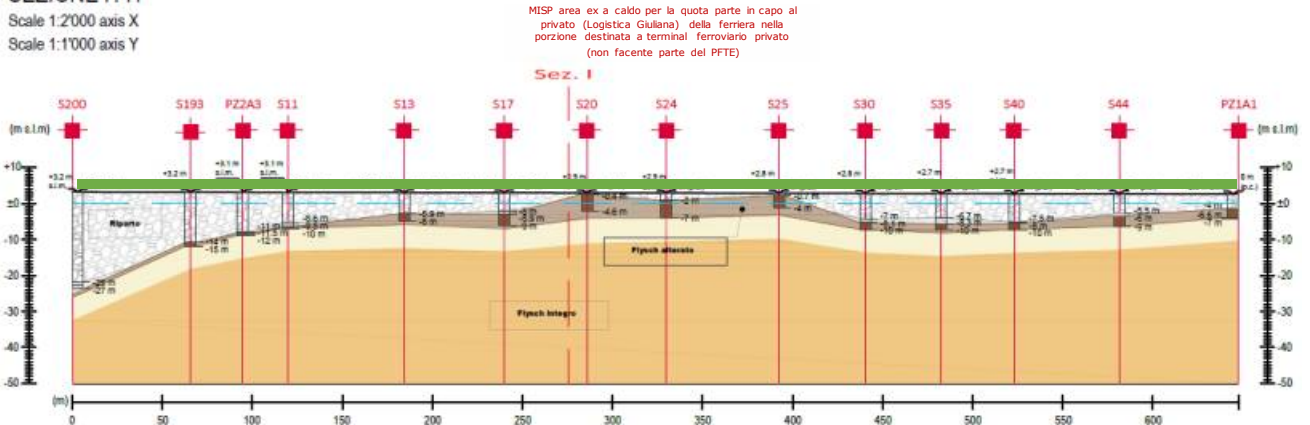
SEZIONE G-G

Scale 1:2'000 axis X
Scale 1:1'000 axis Y



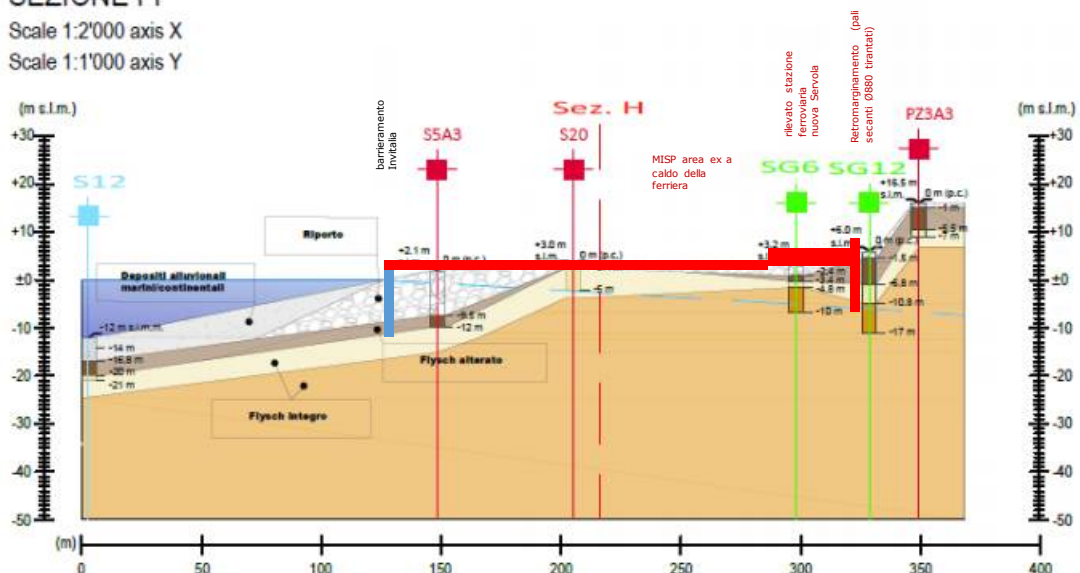
SEZIONE H-H

Scale 1:2'000 axis X
Scale 1:1'000 axis Y



SEZIONE I-I

Scale 1:2'000 axis X
Scale 1:1'000 axis Y



8.2.3 Sezioni geologico interpretative

I seguenti gruppi di sezioni riguardano le aree (da nord verso sud) de:

1. lo Scalo Legnami e il nuovo depuratore di Servola
2. la Piattaforma Logistica di Trieste
3. il Molo VIII e l'area marina antistante il parco fossili
4. la ferriera di Servola (area a freddo e a caldo, fino a via Rio Primario e molo SIOT)

Per evitare di alterare la scala delle rappresentazioni, le stesse sono contenute nell'Allegato 2 alla presente relazione nel formato originale.

8.2.4 Sezioni tratte dal modello idrogeologico

La pianta e le sezioni che seguono mostrano le opere della MISP nelle sezioni del progetto (elaborati della serie 9MISP del fascicolo A del PFTE) sovrapposte alle sezioni estratte dal modello 3D di cui si tratta nella relazione sulla modellazione idrogeologica. Si evidenzia che i litotipi raffigurati di seguito sono distinti soprattutto rispetto alla permeabilità piuttosto che alla geologia e in questo compongono e completano il quadro conoscitivo complessivo.

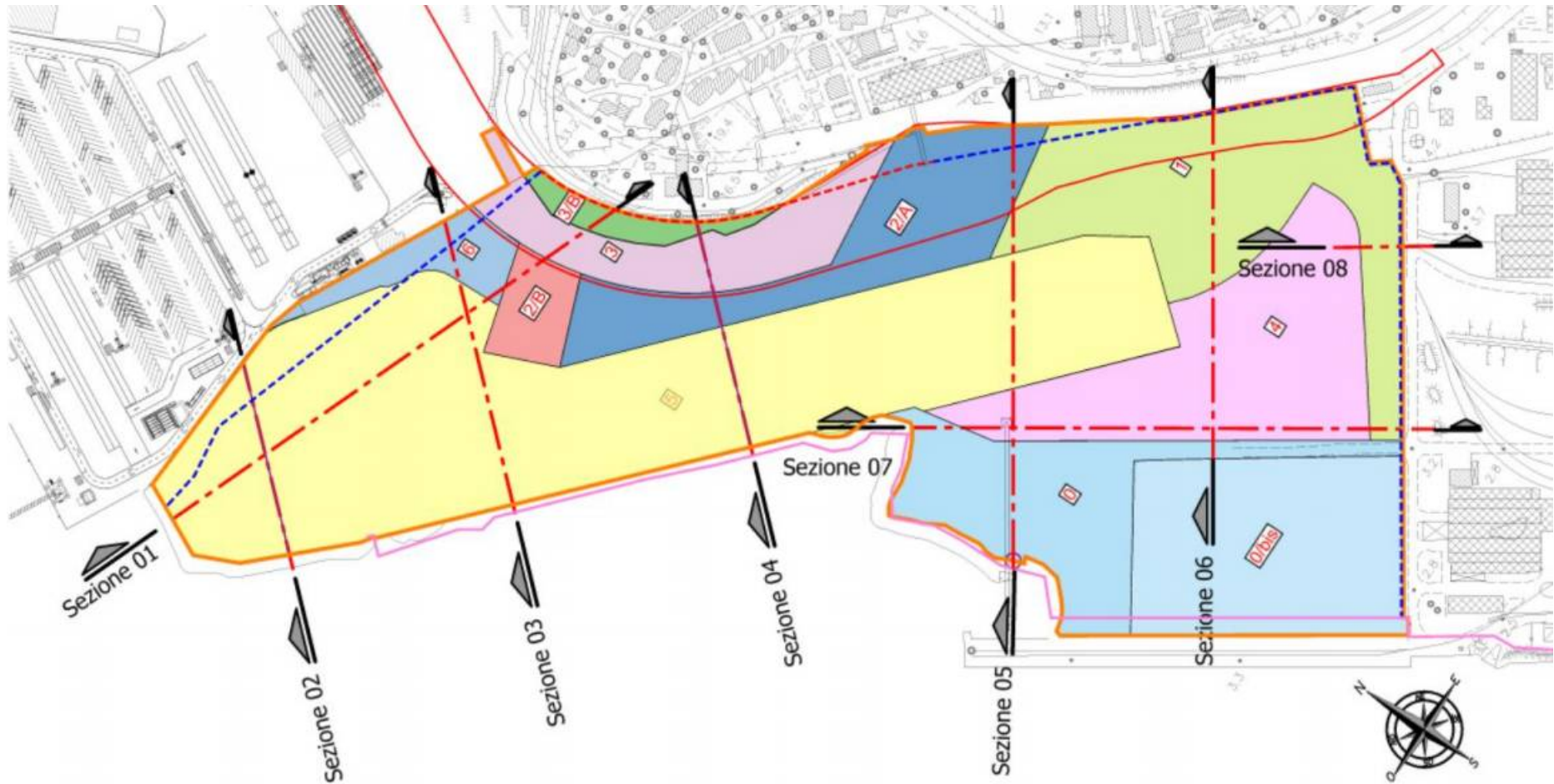
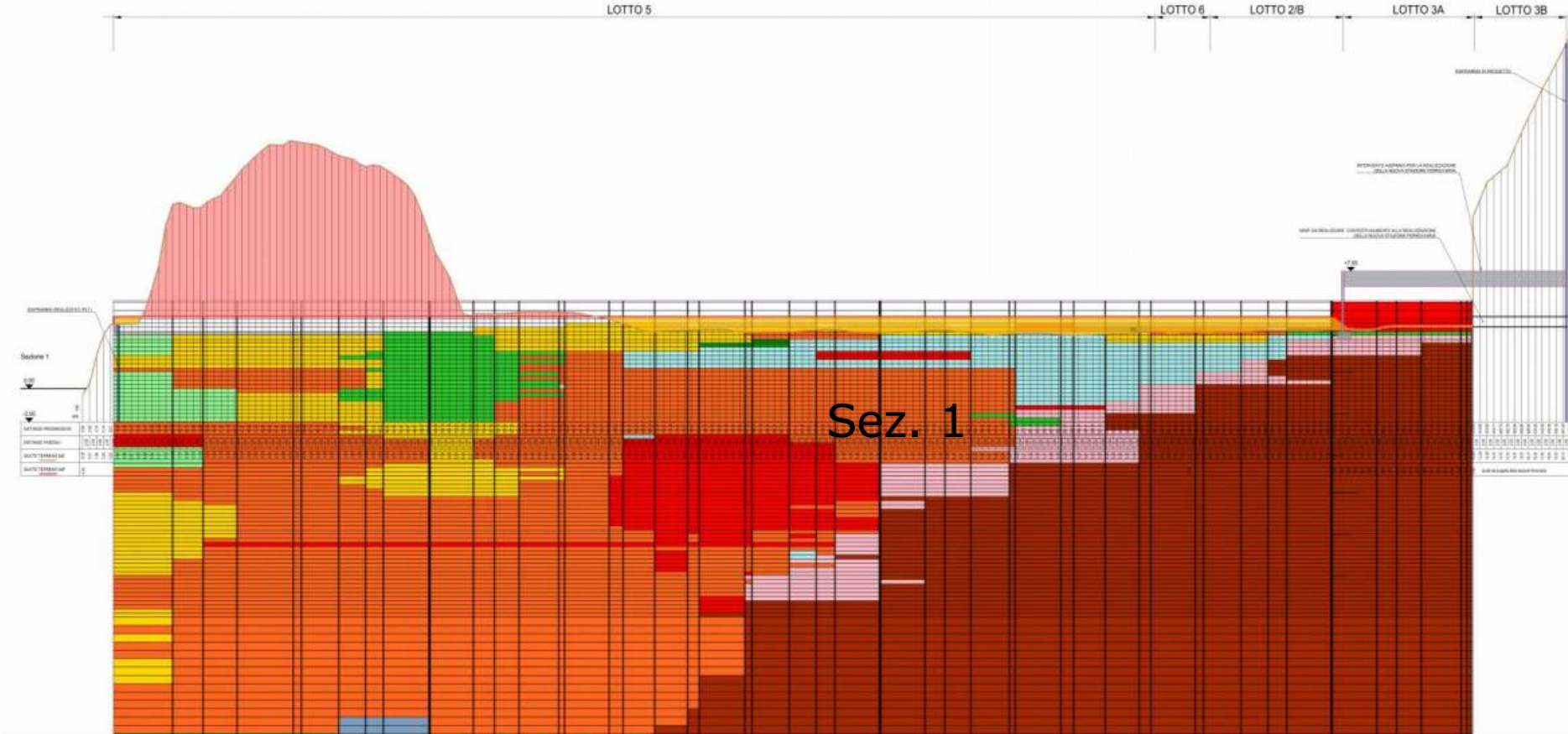
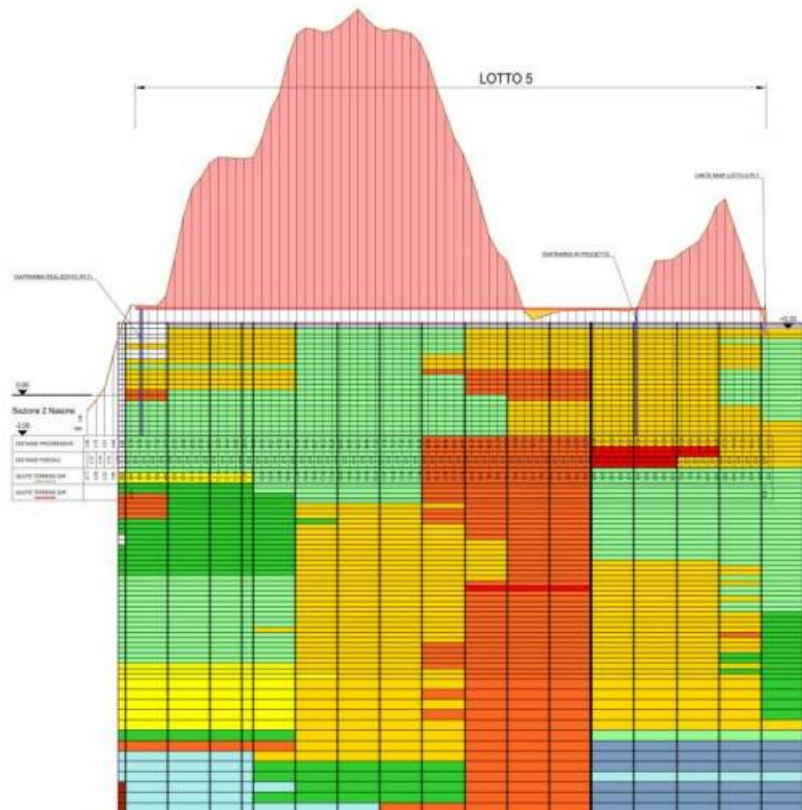


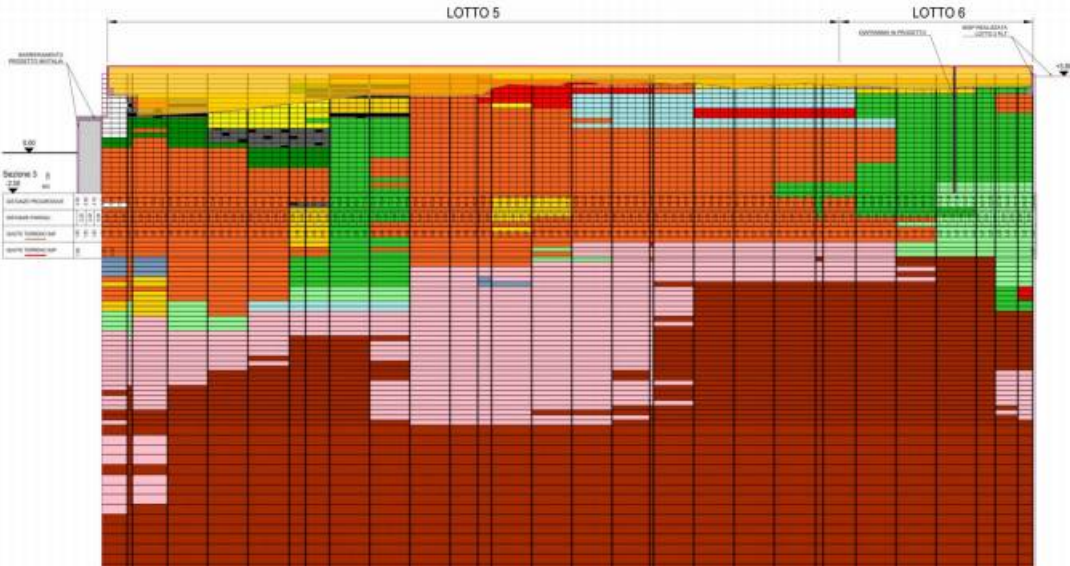
Figura 48 - Ubicazione delle sezioni nel progetto di MISP (cfr. tavole HAPDG_01_D011 e HAPDG_01_D012, in tutto coerenti con le tavole 9MISP_P_G_D-AMB_2AT_017_07 e 9MISP_P_G_D-AMB_2AT_018_07 del PFTE n. 1951 di AdSPMAO)

Relazione geologica



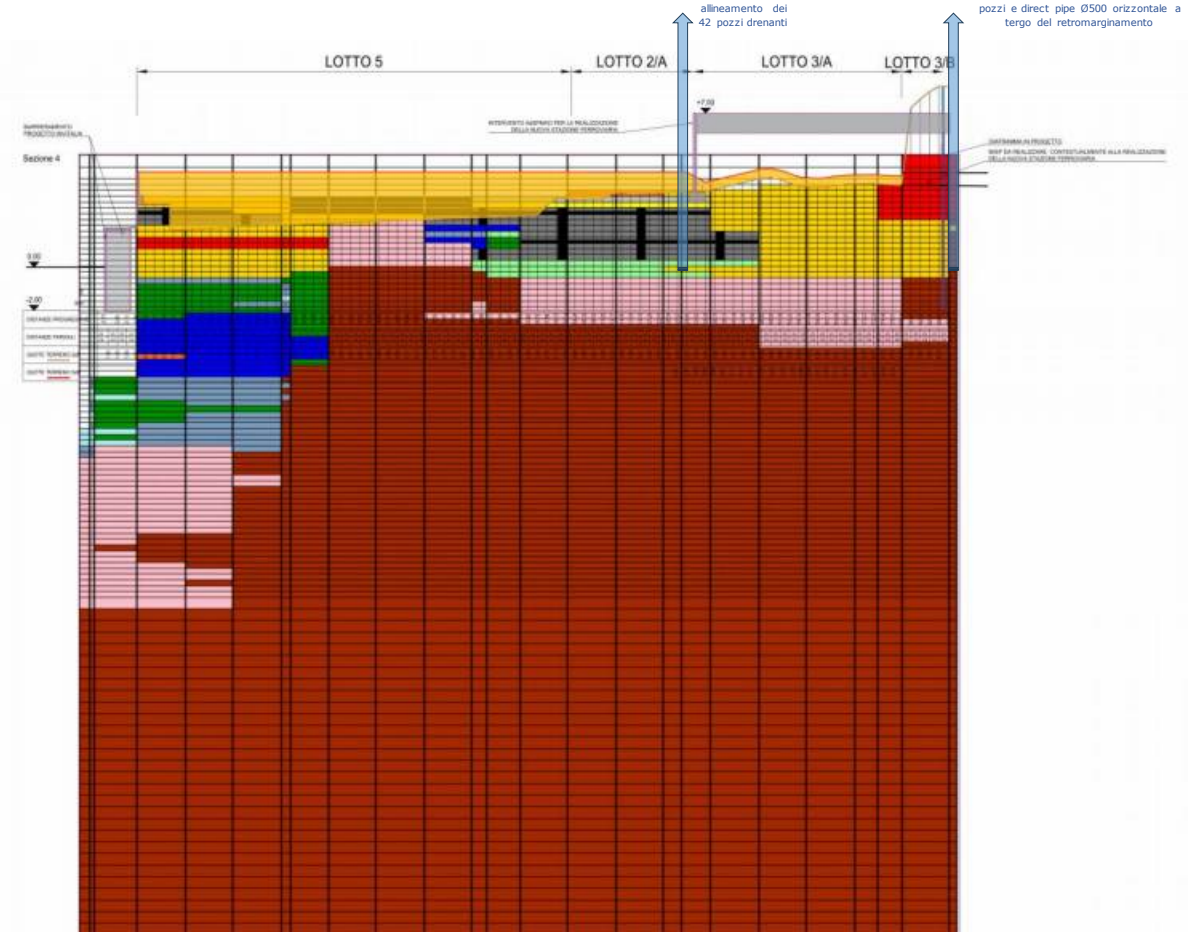


Sez. 2



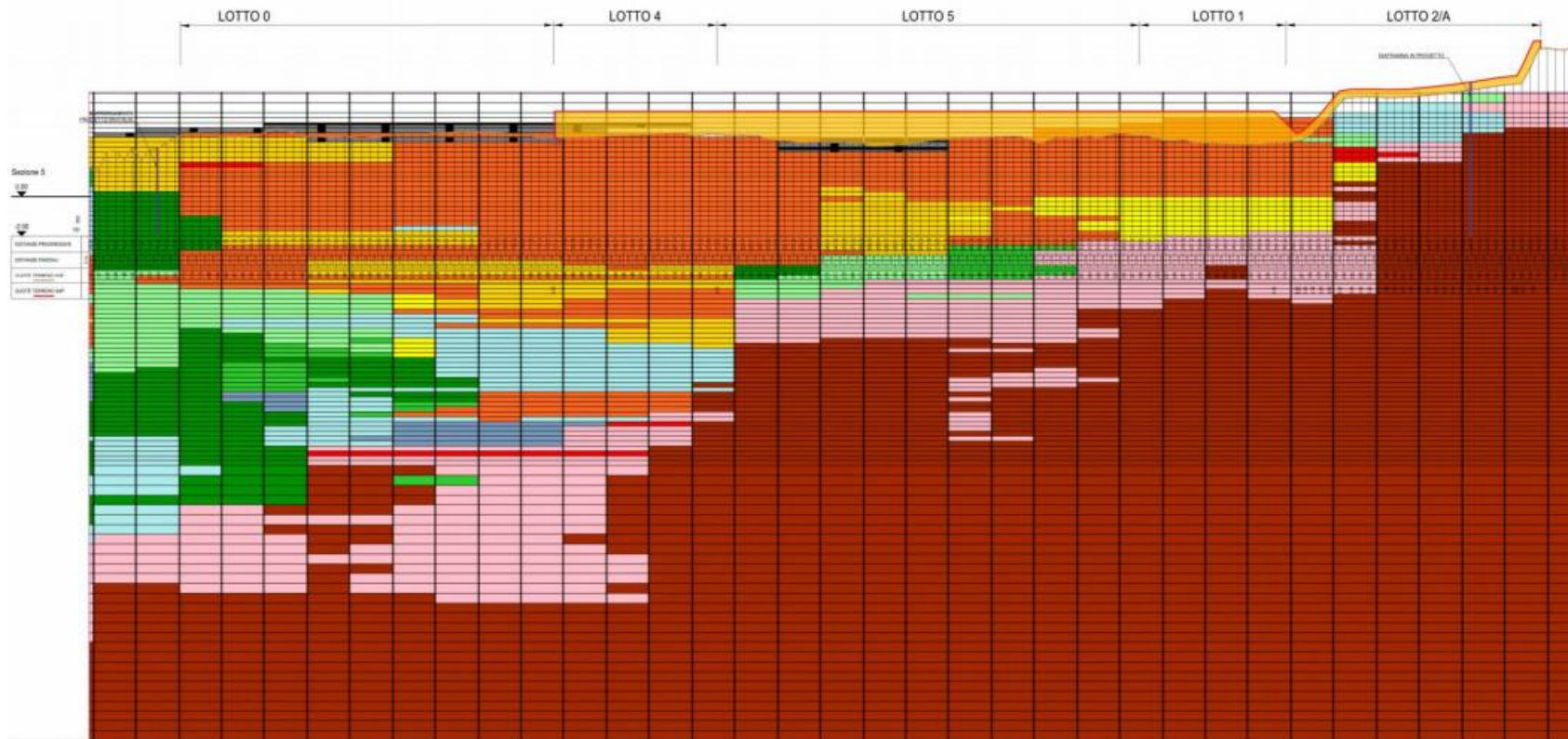
Sez. 3

Relazione geologica

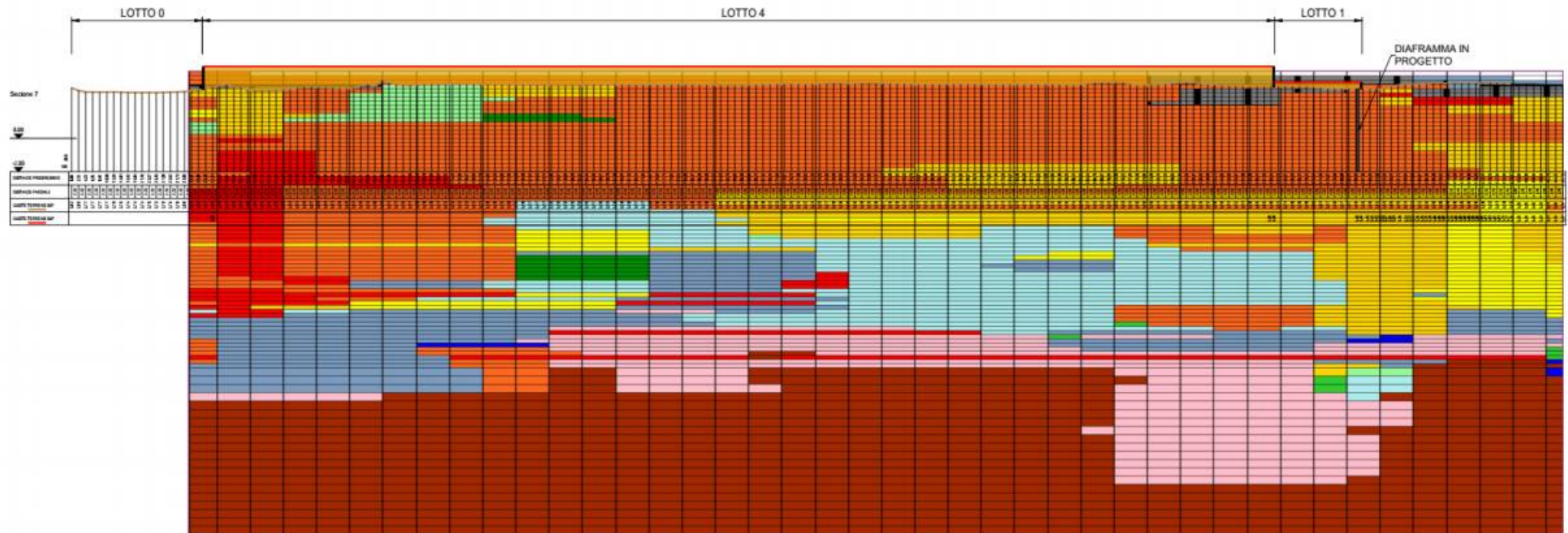


Sez. 4

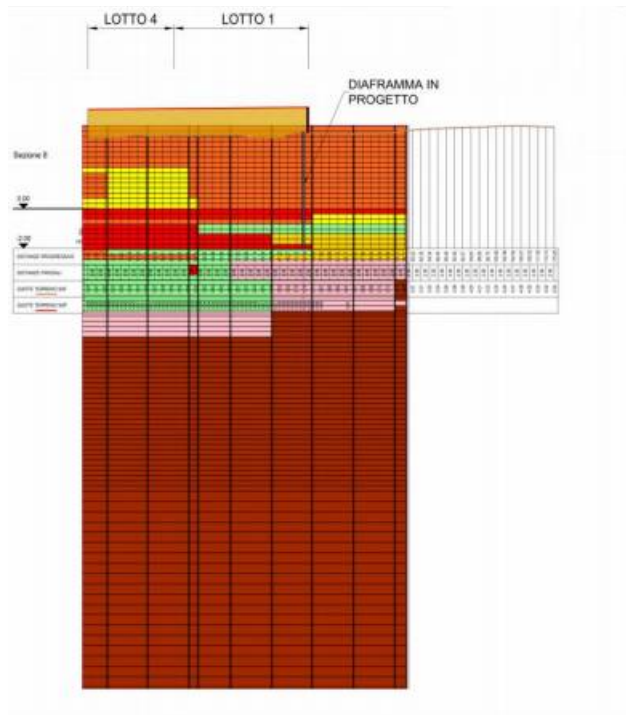
Relazione geologica



Sez. 5



Sez. 7



Sez. 8

9 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Secondo quanto disposto dalla L.R. n° 16/2009, Art. 3, Comma 2, Lett. a) - Classificazione delle zone sismiche e indicazione delle aree di alta e bassa sismicità, Delibera n° 845 dd. 06.05.2010, che definisce la nuova zonizzazione sismica, il territorio del Comune di Trieste, precedentemente definito come area non sismica, è stato classificato come *Zona 3*. Tuttavia, al fine di caratterizzare sismicamente i terreni presenti nell'area di studio, nel 2018 (*Campagna di indagini geognostiche e idrogeologiche finalizzata al Progetto di Messa in Sicurezza della Ferriera di Servola attraverso interventi di marginamento fisico dell'area demaniale in concessione e di trattamento delle acque di falda contaminate – Geosyntech srl e Geaolpina srl su incarico di Invitalia spa*) sono state eseguite delle prospezioni geofisiche con metodologia MASW, finalizzate alla definizione della velocità delle onde di taglio V_s - onde "s" - nei primi metri di sottosuolo. La tecnica MASW, come altre analoghe metodologie geofisiche, si basa sul principio che a seguito di un'energizzazione del suolo la quasi totalità dell'energia trasmessa nel terreno si propaga tramite onde "s", con velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa; tale principio, detto di dispersione, consente di caratterizzare il fenomeno attraverso la curva di dispersione che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione dell'onda. Mediante l'analisi spettrale dei sismogrammi registrati in campagna, si ottiene un grafico velocità di fase-frequenza in cui è possibile distinguere il moto fondamentale delle onde di superficie, da cui viene ricavata la curva di dispersione e, per successiva inversione, ottenere il profilo delle onde "s". La tecnica MASW, che prevede un modello stratigrafico teorico senza variazioni laterali e che non consente variazioni significative di quota fra i geofoni, fornisce per ogni profilo acquisito una stratigrafia puntuale delle onde "s".

Inoltre, laddove sono state rilevate condizioni oggettivamente non adeguate per l'ubicazione dello stendimento MASW, si è proceduto all'acquisizione delle velocità V_{seq} con tecnica di tipo HS (*Holisurface - Holystic Analysis of Surface Waves*), anch'essa finalizzata all'identificazione dei parametri delle onde di taglio; tale tipologia di indagine analizza anche la propagazione delle onde di superficie, nella sua componente verticale dell'onda di Rayleigh (Z), nella componente radiale dell'onda di Rayleigh (R) e nella componente trasversale dell'onda di Love (T) rispetto alla sorgente di energizzazione. Rispetto alle prospezioni MASW, per l'acquisizione dei dati con tecnica di tipo HS è stato utilizzato un unico geofono (geofono 3D) con 3 sensori orientati nelle diverse direzioni spaziali tra loro ortogonali che ha consentito, pertanto, una migliore e più completa definizione della velocità delle onde V_{seq} nei primi metri di sottosuolo, energizzando

il terreno a distanza di circa 30÷40 m dal geofono mediante massa battente provvista di hammer switch per la partenza automatica della registrazione, in modo del tutto analogo alla tecnica MASW. L'ubicazione delle n° 6 prospezioni MASW e n° 4 HS eseguite è riportata nella Figura seguente.

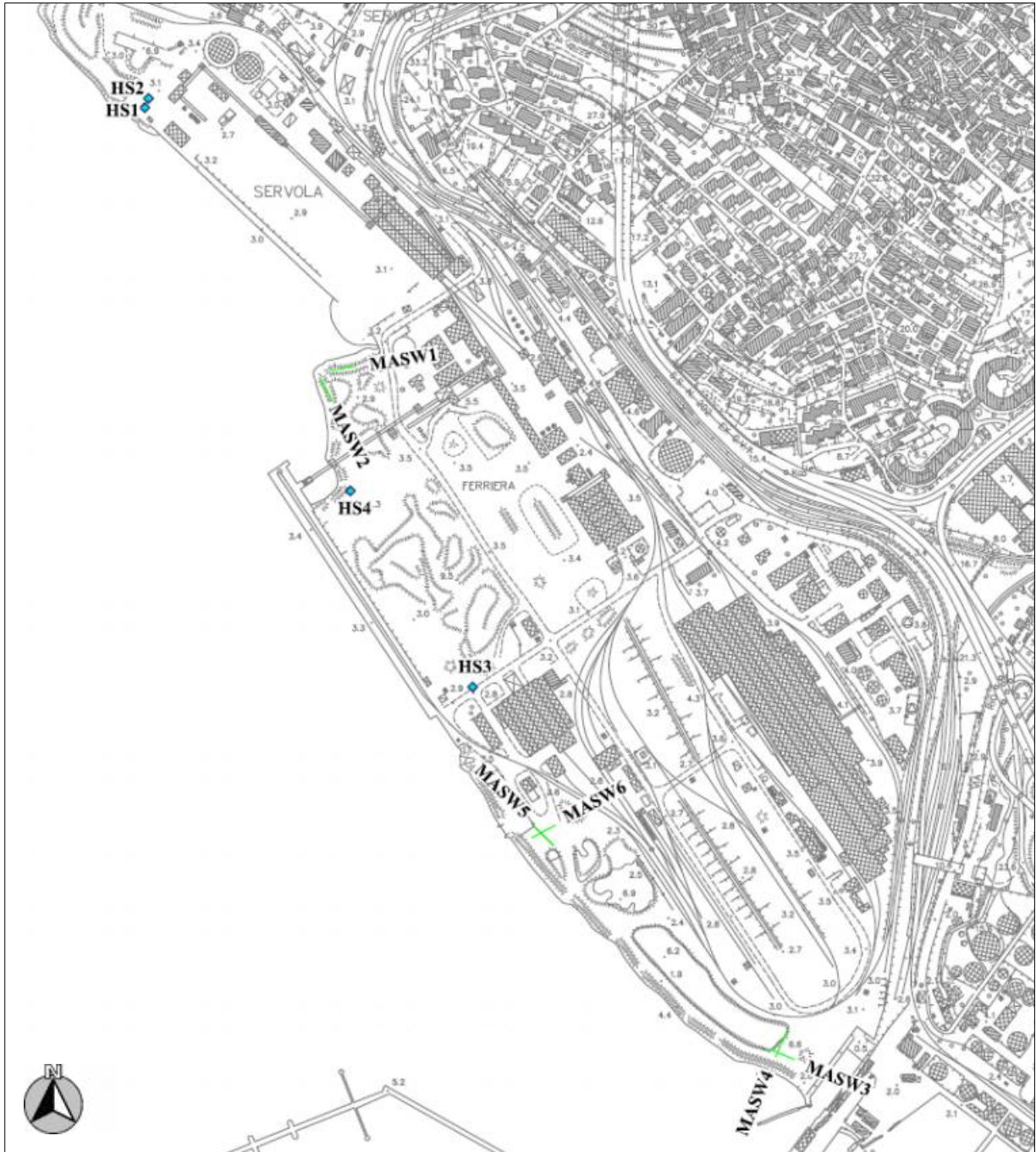


Figura 49

In generale, per le operazioni di energizzazione del terreno è stata utilizzata una massa battente del peso di circa 8 kg ed i segnali sono stati registrati mediante un sismografo MAE mod. Sysmatrack a 24 canali, con 24 bit di risoluzione, equipaggiato con memoria solida e alimentazione esterna (12 V), utilizzando n° 12 geofoni Mark Product orizzontali con frequenza propria di 4.5 Hz, 70% di smorzamento. La geometria ed i parametri di acquisizione di ogni singolo stendimento sono di seguito riassunti.

MASW 1

<i>Numero canali</i>	<i>12</i>
<i>Distanza tra i canali</i>	<i>3.0 m</i>
<i>Geofoni per canale e frequenza</i>	<i>1 - 4.5 Hz</i>
<i>Lunghezza dello stendimento</i>	<i>39.0 m</i>
<i>Numero punti di energizzazione</i>	<i>1 (- 6.0 m)</i>
<i>Intervallo di campionamento</i>	<i>1.0 ms</i>
<i>Lunghezza del record</i>	<i>2.0 s</i>

MASW 2

<i>Numero canali</i>	<i>12</i>
<i>Distanza tra i canali</i>	<i>3.0 m</i>
<i>Geofoni per canale e frequenza</i>	<i>1 - 4.5 Hz</i>
<i>Lunghezza dello stendimento</i>	<i>36.0 m</i>
<i>Numero punti di energizzazione</i>	<i>1 (- 3.0 m)</i>
<i>Intervallo di campionamento</i>	<i>1.0 ms</i>
<i>Lunghezza del record</i>	<i>2.0 s</i>

MASW 3

<i>Numero canali</i>	<i>12</i>
<i>Distanza tra i canali</i>	<i>3.0 m</i>
<i>Geofoni per canale e frequenza</i>	<i>1 - 4.5 Hz</i>
<i>Lunghezza dello stendimento</i>	<i>39.0 m</i>
<i>Numero punti di energizzazione</i>	<i>1 (- 6.0 m)</i>
<i>Intervallo di campionamento</i>	<i>1.0 ms</i>
<i>Lunghezza del record</i>	<i>2.0 s</i>

MASW 4

<i>Numero canali</i>	12
<i>Distanza tra i canali</i>	3.0 m
<i>Geofoni per canale e frequenza</i>	1 - 4.5 Hz
<i>Lunghezza dello stendimento</i>	39.0 m
<i>Numero punti di energizzazione</i>	1 (- 6.0 m)
<i>Intervallo di campionamento</i>	1.0 ms
<i>Lunghezza del record</i>	2.0 s

MASW 5

<i>Numero canali</i>	12
<i>Distanza tra i canali</i>	3.0 m
<i>Geofoni per canale e frequenza</i>	1 - 4.5 Hz
<i>Lunghezza dello stendimento</i>	39.0 m
<i>Numero punti di energizzazione</i>	1 (- 6.0 m)
<i>Intervallo di campionamento</i>	1.0 ms
<i>Lunghezza del record</i>	2.0 s

MASW 6

<i>Numero canali</i>	12
<i>Distanza tra i canali</i>	3.0 m
<i>Geofoni per canale e frequenza</i>	1 - 4.5 Hz
<i>Lunghezza dello stendimento</i>	39.0 m
<i>Numero punti di energizzazione</i>	1 (- 6.0 m)
<i>Intervallo di campionamento</i>	1.0 ms
<i>Lunghezza del record</i>	2.0 s

HS 1

<i>Numero canali</i>	3
<i>Geofoni per canale e frequenza</i>	1 - 4.5 Hz
<i>Distanza punto di energizzazione</i>	40.0 m
<i>Numero punti di energizzazione</i>	1
<i>Intervallo di campionamento</i>	1.0 ms
<i>Lunghezza del record</i>	2.0 s

HS 2

<i>Numero canali</i>	3
<i>Geofoni per canale e frequenza</i>	1 - 4.5 Hz
<i>Distanza punto di energizzazione</i>	40.0 m
<i>Numero punti di energizzazione</i>	1
<i>Intervallo di campionamento</i>	1.0 ms
<i>Lunghezza del record</i>	2.0 s

HS 3

<i>Numero canali</i>	3
<i>Geofoni per canale e frequenza</i>	1 - 4.5 Hz
<i>Distanza punto di energizzazione</i>	40.0 m
<i>Numero punti di energizzazione</i>	1
<i>Intervallo di campionamento</i>	1.0 ms
<i>Lunghezza del record</i>	2.0 s

HS 4

<i>Numero canali</i>	3
<i>Geofoni per canale e frequenza</i>	1 - 4.5 Hz
<i>Distanza punto di energizzazione</i>	40.0 m
<i>Numero punti di energizzazione</i>	1
<i>Intervallo di campionamento</i>	1.0 ms
<i>Lunghezza del record</i>	2.0 s

I dati acquisiti in campagna sono stati trasferiti su Personal Computer ed i sismogrammi delle acquisizioni sono stati singolarmente elaborati con il programma *WINMASW 7.4 Academy* mediante le seguenti attività di elaborazione ed interpretazione:

- fase di *pre-processing* per migliorare la qualità dei dati e generare, dai dati acquisiti, un unico sismogramma medio della Base;
- conversione dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK;
- estrazione della curva di dispersione sperimentale mediante interpretazione dello spettro FK;

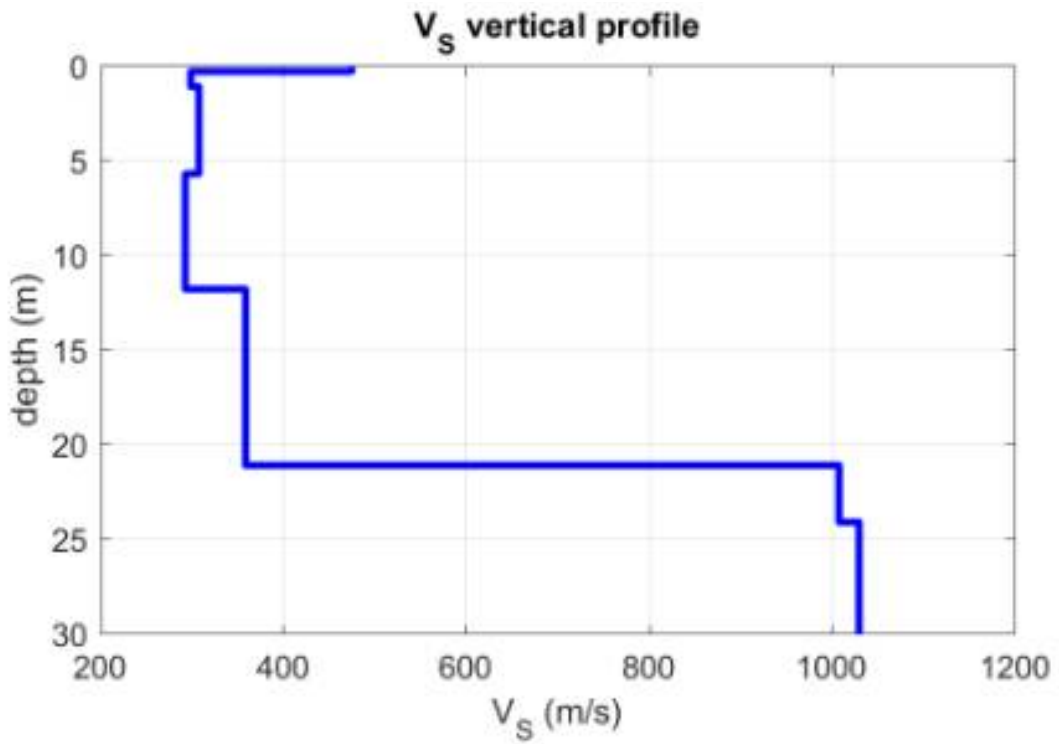
- inversione, ovvero generazione di un modello sintetico cui associare una curva di dispersione teorica, ben sovrapposta a quella sperimentale.

Nel complesso, i dati sono risultati buoni e l'elaborazione del profilo velocità delle onde "s" ha evidenziato bassi valori di velocità sin dai terreni più superficiali e, in generale, presenza di inversioni di velocità nei primi metri di sottosuolo, con deciso aumento delle velocità una volta raggiunto il bed-rock sismico. Sono di seguito riportati i diagrammi relativi ai profili di velocità calcolati per ogni stendimento così acquisito, unitamente al valore delle V_{seq} , calcolato secondo la formula seguente in accordo a quanto disposto dal D.M. 17.01.2018 (N.T.C. 2018):

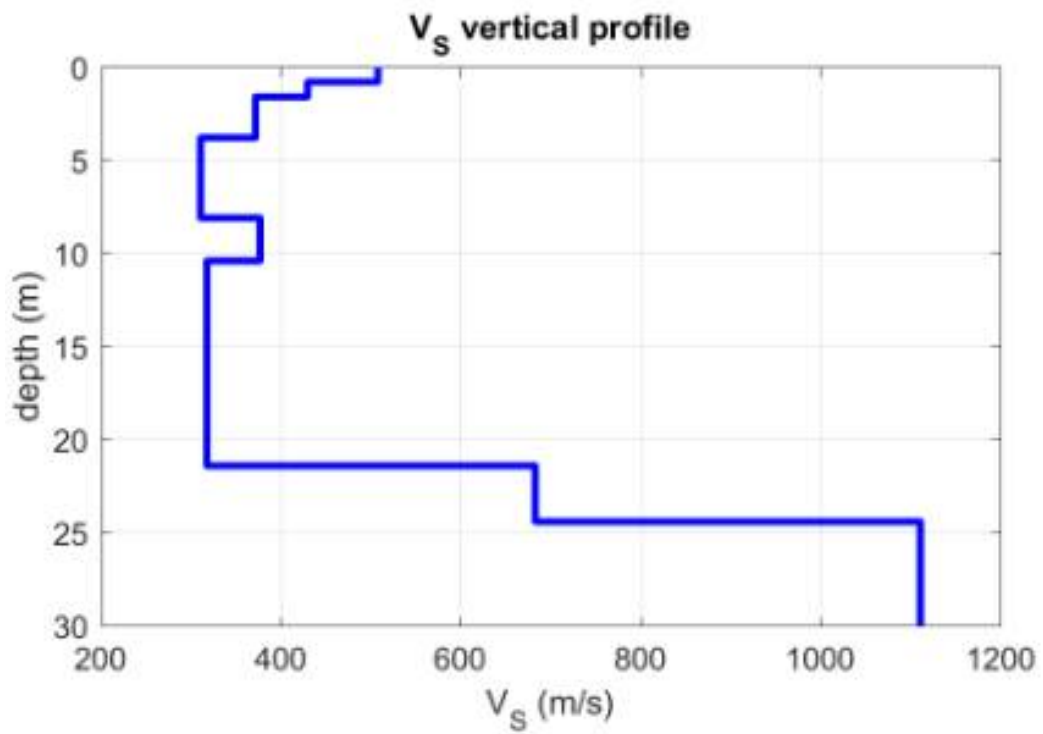
$$V_{seq} = H / \sum h_i / V_{s_i} \quad \text{con } i = 1, N$$

dove: h_i = spessore dell'*i*-esimo strato; V_{s_i} = velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato
 N = numero di strati; H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiori a 800 m/s

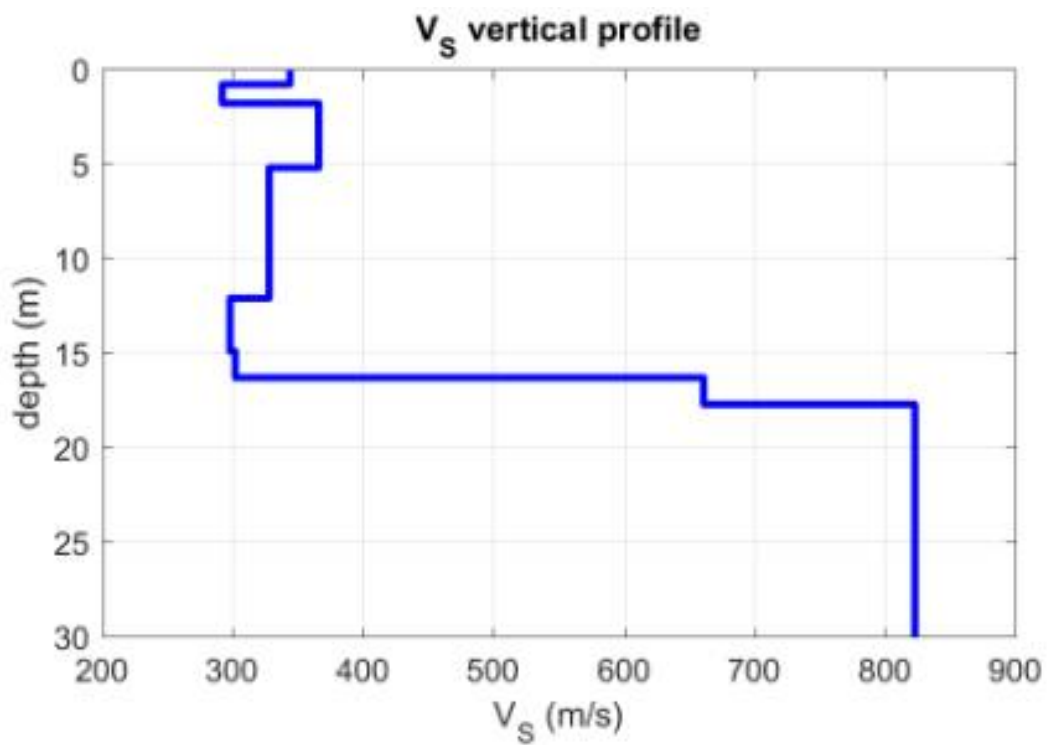
<i>MASW 1</i>			
<i>Thickness (m)</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>	<i>V_{Seq} (m/s)</i> <i>H = 21,1 m</i>
0.3	0.0	475	324
0.8	0.3	299	
4.6	1.1	308	
6.1	5.7	293	
9.3	11.8	359	
3.0	21.1	1008	
-	24.1	1030	



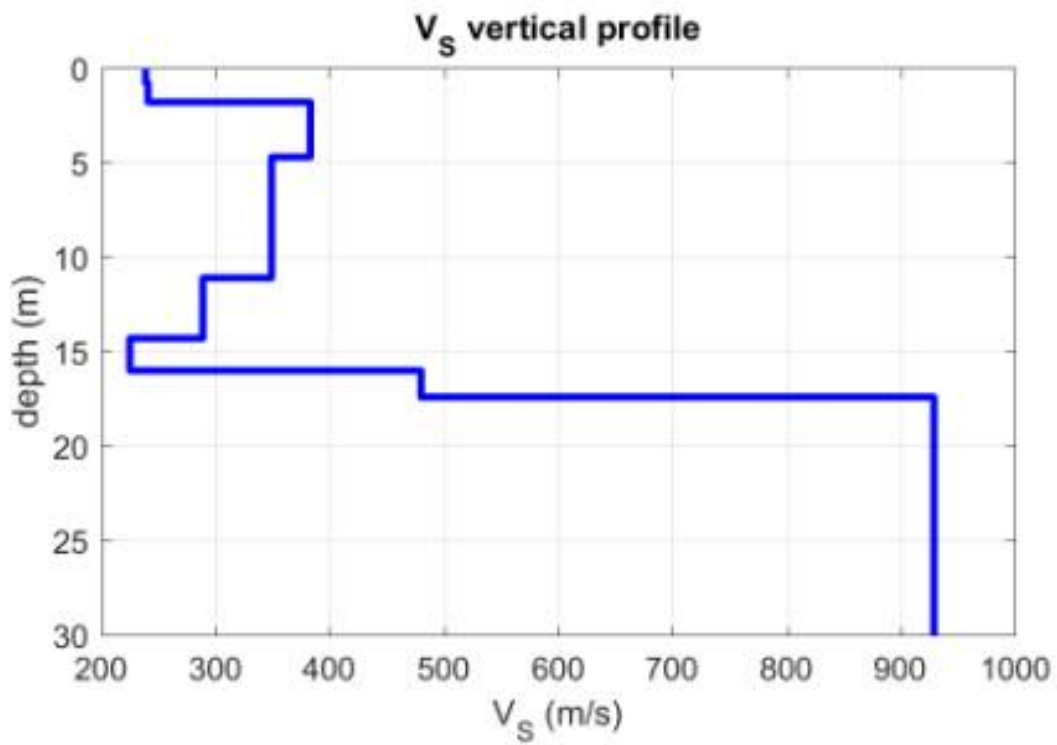
MASW 2			
Thickness (m)	Depth (m)	Vs (m/s)	V_{Seq} (m/s) H = 24,4 m
0.8	0.0	508	357
0.8	0.8	430	
2.2	1.6	372	
4.3	3.8	311	
2.3	8.1	377	
11.0	10.4	318	
3.0	21.4	683	
-	24.4	1111	



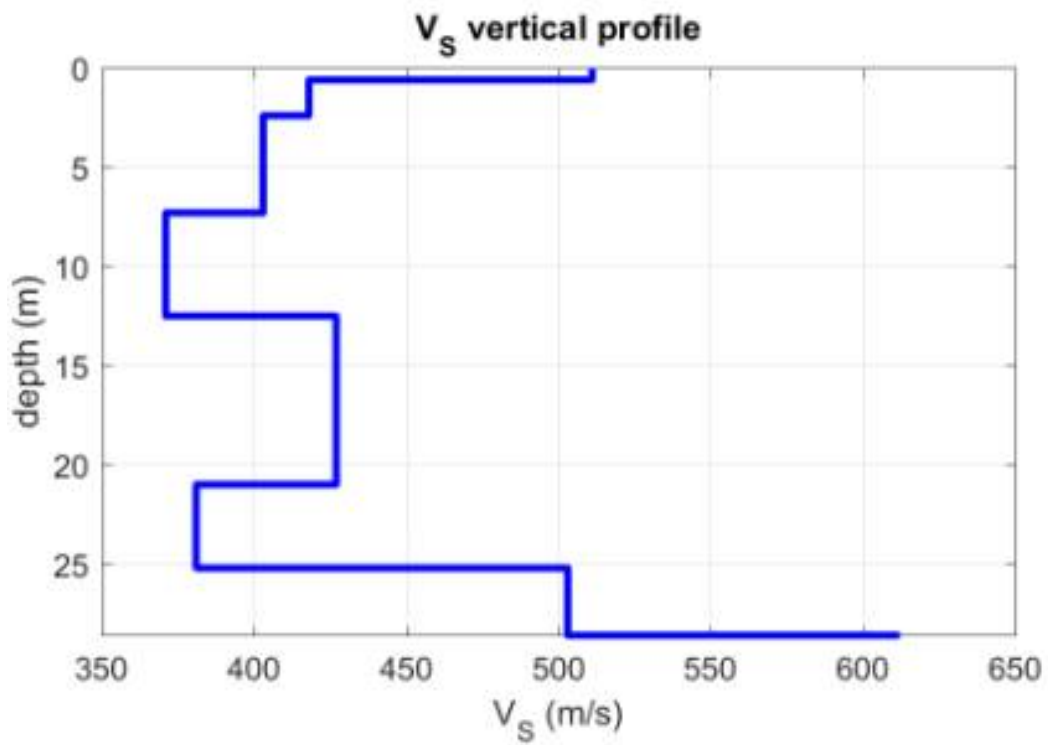
<i>MASW 3</i>			
<i>Thickness (m)</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>	<i>V_{Seq} (m/s)</i> <i>H = 17,7 m</i>
0.8	0.0	344	338
1.0	0.8	292	
3.4	1.8	366	
6.9	5.2	328	
2.8	12.1	298	
1.4	14.9	302	
1.4	16.3	661	
-	17.7	823	



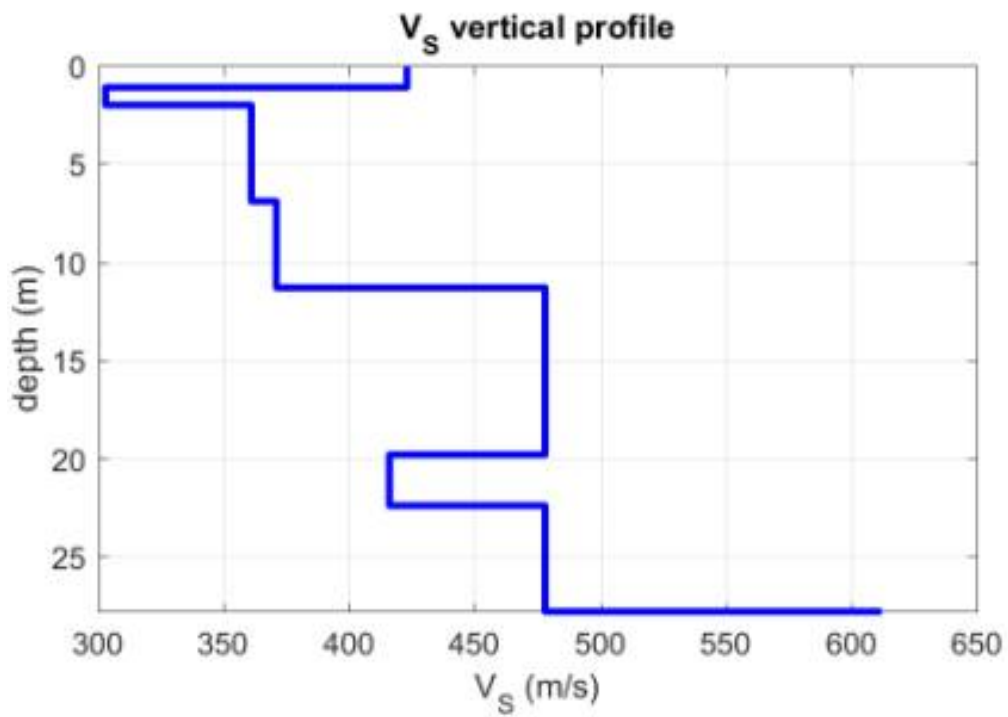
MASW 4			
Thickness (m)	Depth (m)	V_s (m/s)	V_{Seq} (m/s) H = 17,4 m
0.8	0.0	239	316
1.0	0.8	241	
2.9	1.8	383	
6.4	4.7	349	
3.2	11.1	298	
1.7	14.3	225	
1.4	16	480	
-	17.4	929	



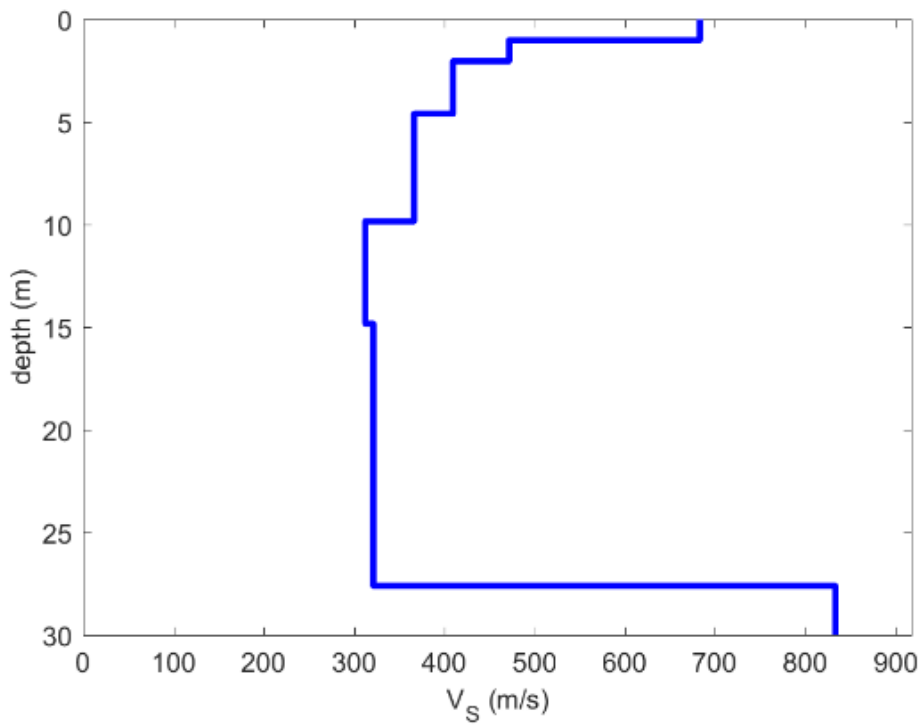
MASW 5			
<i>Thickness (m)</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>	<i>V_{Seq} (m/s)</i> <i>H = 30,0 m</i>
0.6	0.0	511	419
1.8	0.6	418	
4.9	2.4	403	
5.2	7.3	371	
8.5	12.5	427	
4.2	21.0	381	
3.4	25.2	503	
-	28.6	612	



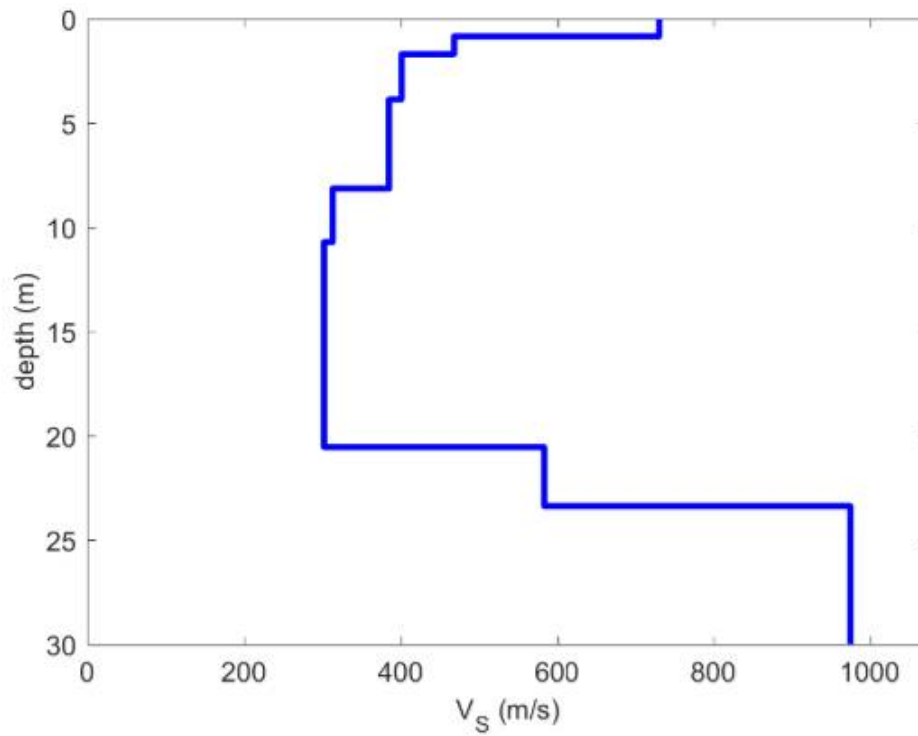
MASW 6			
Thickness (m)	Depth (m)	V_s (m/s)	V_{Seq} (m/s) H = 30,0 m
1.1	0.0	423	429
0.9	1.1	303	
4.9	2.0	361	
4.4	6.9	371	
8.5	11.3	478	
2.6	19.8	416	
5.4	22.4	478	
-	27.8	612	



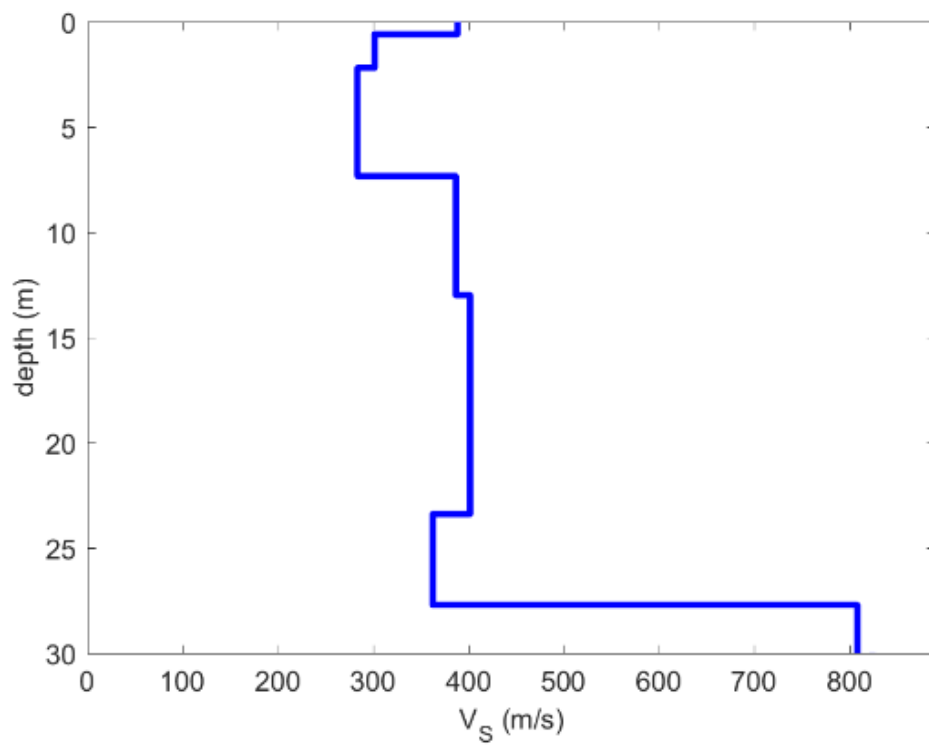
<i>HSI</i>			
<i>Thickness (m)</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>	<i>V_{Seq} (m/s)</i> <i>H = 27.6 m</i>
1.0	0.0	683	344
1.0	1.0	471	
2.6	2.0	409	
5.2	4.6	366	
5.0	9.8	312	
12.8	14.8	321	
-	27.6	833	



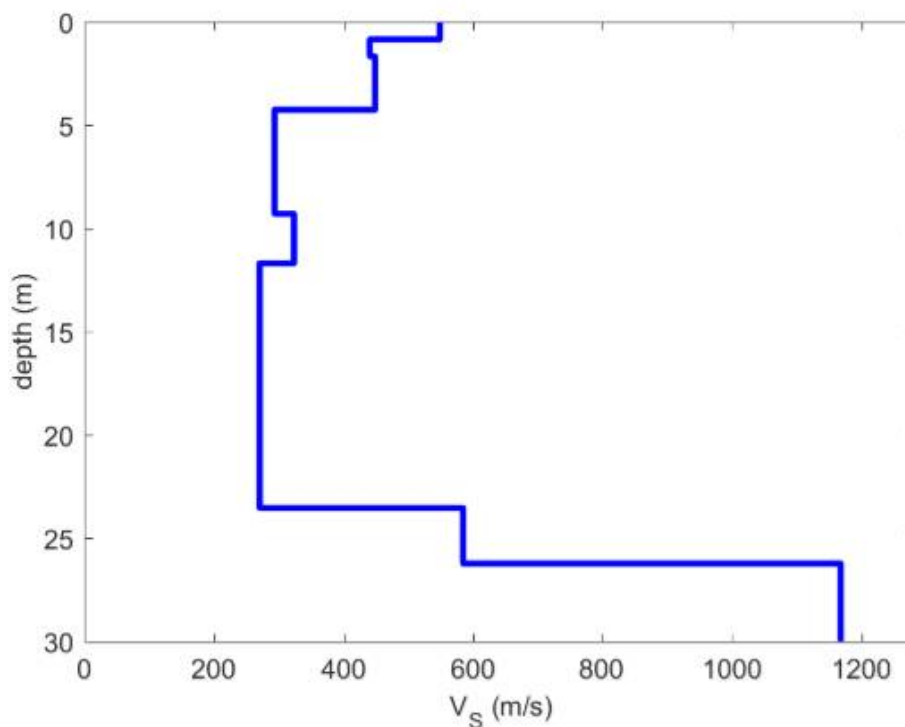
HS2			
Thickness (m)	Depth (m)	V_s (m/s)	V_{Seq} (m/s) H = 23,3 m
0.8	0.0	731	358
0.8	0.8	468	
2.2	1.6	401	
4.3	3.8	385	
2.6	8.1	313	
9.8	10.7	302	
2.8	20.5	583	
-	23.3	975	



HS3			
<i>Thickness (m)</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>	<i>V_{Seq} (m/s)</i> <i>H = 27,7 m</i>
0.6	0.0	388	357
1.6	0.6	301	
5.1	2.2	283	
5.7	7.3	386	
10.4	13.0	401	
4.3	23.4	362	
-	27.7	808	



<i>HS4</i>			
<i>Thickness (m)</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>	<i>V_{Seq} (m/s)</i> <i>H = 26,2 m</i>
0.8	0.0	548	318
0.8	0.8	440	
2.6	1.6	448	
5.0	4.2	293	
2.4	9.2	323	
11.9	11.6	270	
2.7	23.5	584	
-	26.2	1168	



Nel complesso, l'elaborazione dei profili velocità delle onde "s" ha evidenziato un *range* di valori V_{Seq} compreso tra 316 e 429 m/s, come meglio osservabile nei diagrammi relativi ai profili di velocità calcolati per il sito indagato. Pertanto, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, sulla base delle indagini svolte, i terreni in esame che presentano velocità V_{Seq} comprese tra 360 m/s e 800 m/s sono ascrivibili alla categoria di sottosuolo fondazionale di cui

al D.M. 17.01.2018 di tipo “*Categoria B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*”, mentre altri terreni che presentano velocità V_{seq} inferiori a 360 m/s sono ascrivibili alla categoria di sottosuolo fondazionale di cui al D.M. 17.01.2018 di tipo “*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*”.

Pertanto, sulla base dei dati così acquisiti, sono di seguito riassunte e schematizzate le due diverse categorie di sottosuolo fondazionale riconosciute in relazione alle diverse prospezioni eseguite.

MASW 1	V_{seq} (m/s) 324	H = 21,1 m	Categoria D.M. 17.01.2018: E
MASW 2	V_{seq} (m/s) 357	H = 24,4 m	Categoria D.M. 17.01.2018: E
MASW 3	V_{seq} (m/s) 338	H = 17,7 m	Categoria D.M. 17.01.2018: E
MASW 4	V_{seq} (m/s) 316	H = 17,4 m	Categoria D.M. 17.01.2018: E
MASW 5	V_{seq} (m/s) 419	H = 30,0 m	Categoria D.M. 17.01.2018: B
MASW 6	V_{seq} (m/s) 429	H = 30,0 m	Categoria D.M. 17.01.2018: B
HS 1	V_{seq} (m/s) 344	H = 27,6 m	Categoria D.M. 17.01.2018: E
HS 2	V_{seq} (m/s) 358	H = 23,3 m	Categoria D.M. 17.01.2018: E
HS 3	V_{seq} (m/s) 357	H = 27,7 m	Categoria D.M. 17.01.2018: E
HS 4	V_{seq} (m/s) 318	H = 26,2 m	Categoria D.M. 17.01.2018: E

Successivamente, nel 2022 (*Piano delle indagini sulle aree a terra e a mare interessate dalla progettazione delle opere ferroviarie e portuali – Geosyntech srl su incarico di HHLA-PLT Italy*) sono state eseguite ulteriori n° 3 prospezioni sismiche di tipo MASW mediante stendimenti di lunghezza 22.0 ÷ 33.0 m, con 12 geofoni verticali allineati ed equidistanti fra loro di 2.0 ÷ 3.0 m, al fine di definire la velocità delle onde V_{seq} e per la classificazione sismica del sottosuolo., la cui ubicazione è meglio evidenziata nella Figura seguente.

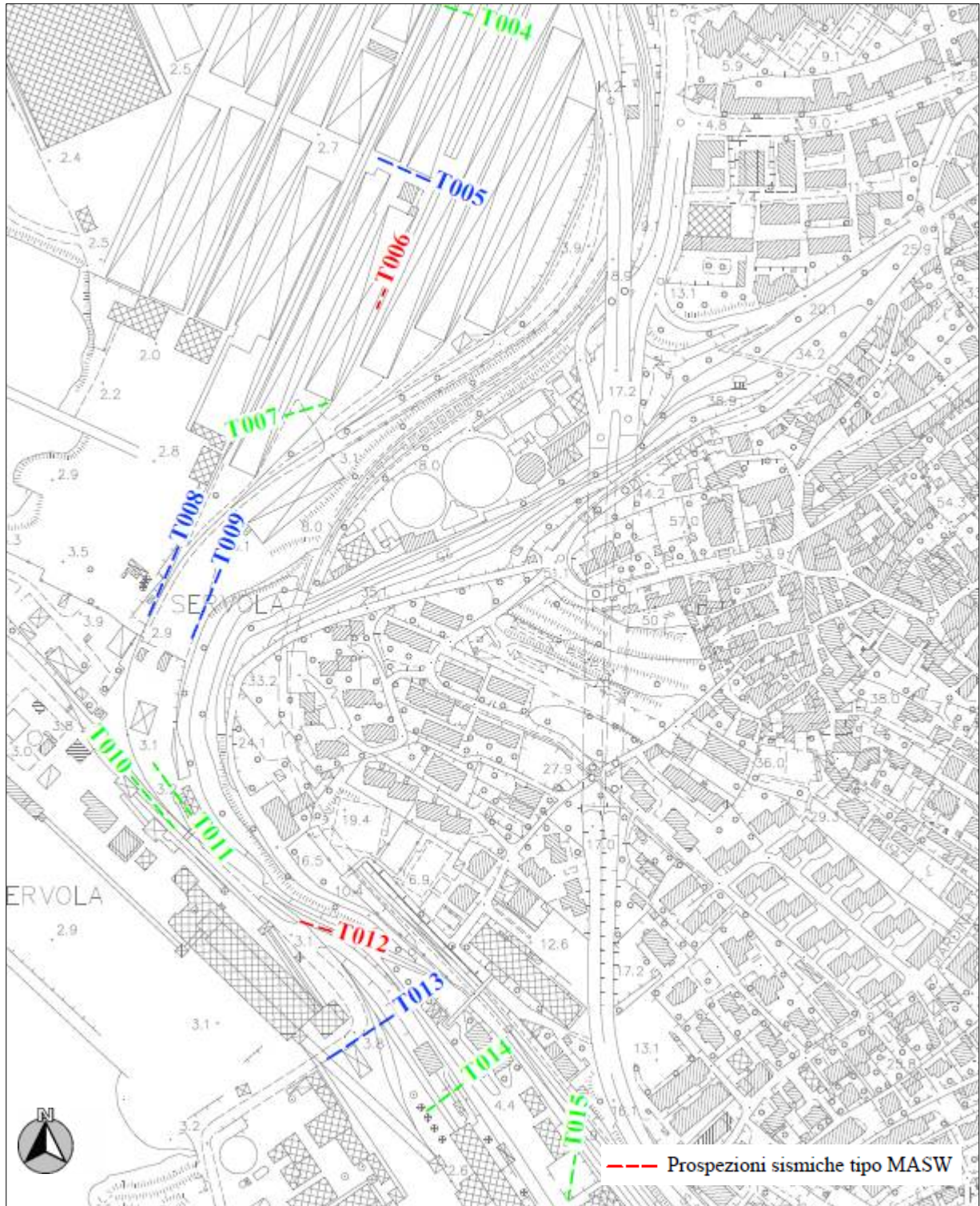


Figura 50

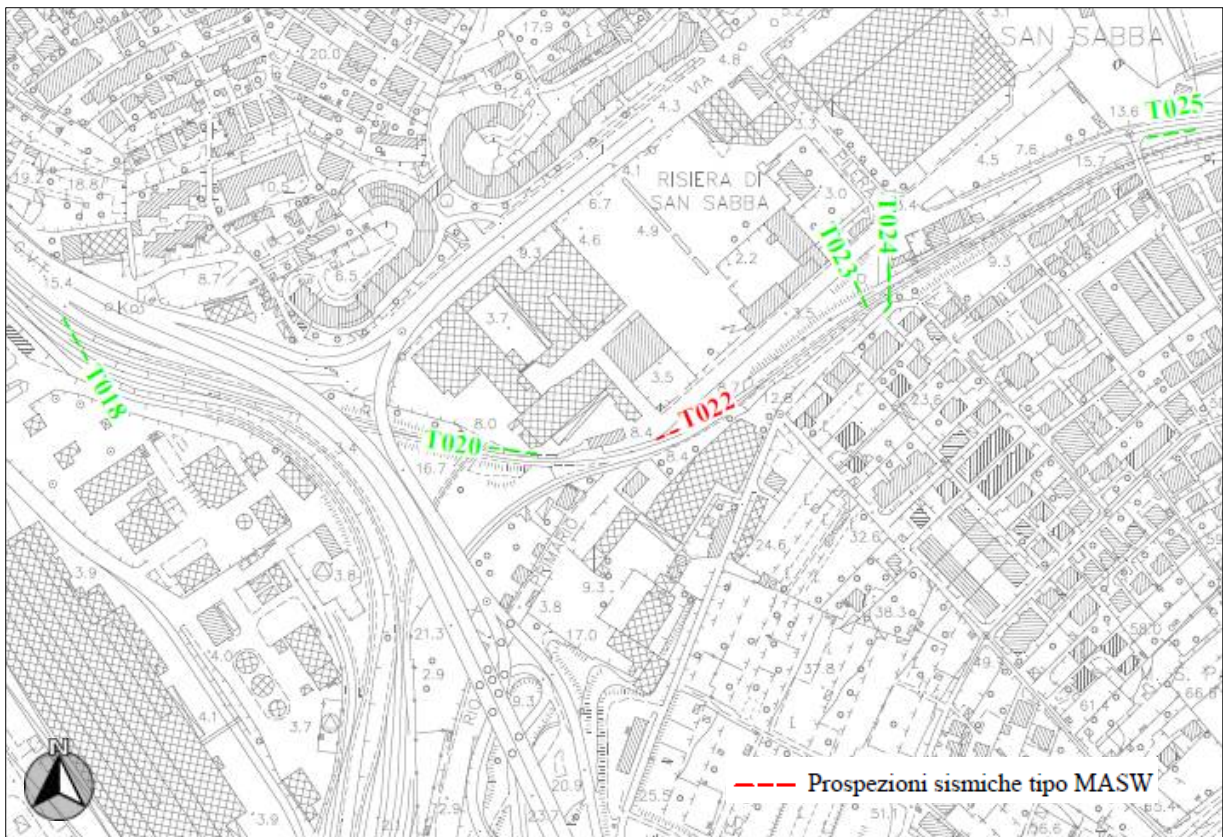


Figura 51

In dettaglio, sono stati eseguiti stendimenti sismici di lunghezza pari a 22.0 m (T06 e T22) e pari a 33.0 m (T12), con acquisizione mediante n° 12 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4.5 Hz, tra loro interdistanti 2.0 ÷ 3.0 m. Le energizzazioni sono state eseguite massa battente del peso di 8 kg, provvista di hammer switch per la partenza automatica del registratore a distanza di 5.0 m dal primo e dall'ultimo geofono, con durata di acquisizione di 1024 ms, campionamento 250.00 µs, utilizzando un sismografo Summit DMT a 24 bit di risoluzione equipaggiato con memoria solida e alimentazione esterna. È di seguito riportata la tabella riassuntiva delle velocità e degli spessori delle onde “s” elaborati, unitamente al valore delle V_{seq} calcolato secondo:

$$V_{Seq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ con } i = 1, N$$

dove: h_i = spessore dell’i-esimo strato; $V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;
 N = numero di strati; H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiori a 800 m/s.

MASW T06

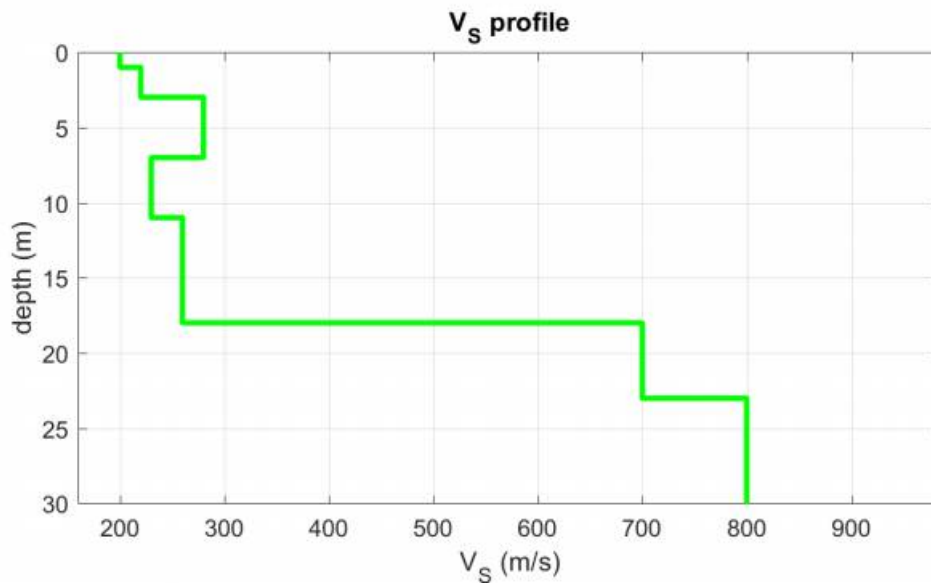


Diagramma velocità onde S

MASW T06			
<i>Thickness (m)</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>V_s (m/s)</i>	<i>V_{Seq} (m/s)</i> <i>H = 23.0 m</i>
1.0	0.0	200	288
2.0	1.0	220	
4.0	3.0	280	
4.0	7.0	230	
7.0	11.0	260	
5.0	18.0	700	
7.0	23.0	800	
/	30.0	800	

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, sulla base delle indagini svolte, in riferimento alle categorie di suoli fondazionali di cui al D.M. 17.01.2018, i terreni in esame sono ascrivibili alla "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".

MASW T12

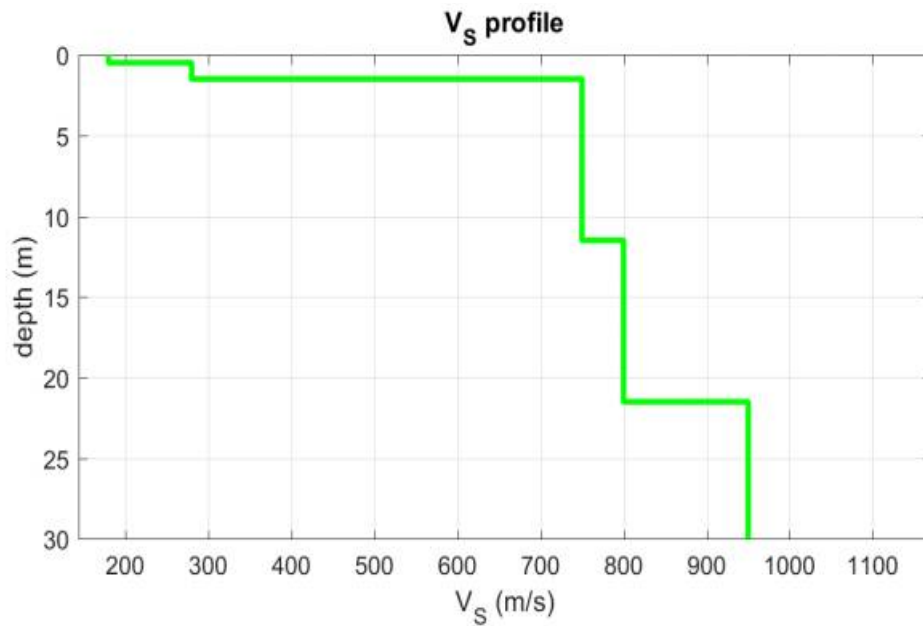


Diagramma velocità onde S

MASW T12			
<i>Thickness (m)</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>V_{Seq} (m/s)</i> <i>H = 11.5 m</i>
0.5	0.0	180	584
1.0	0.5	280	
10.0	1.5	750	
10.0	11.5	800	
8.5	21.5	950	
/	30	950	

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, sulla base delle indagini svolte, in riferimento alle categorie di suoli fondazionali di cui al D.M. 17.01.2018, i terreni in esame sono ascrivibili alla "Categoria B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà

meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.”

MASW T22

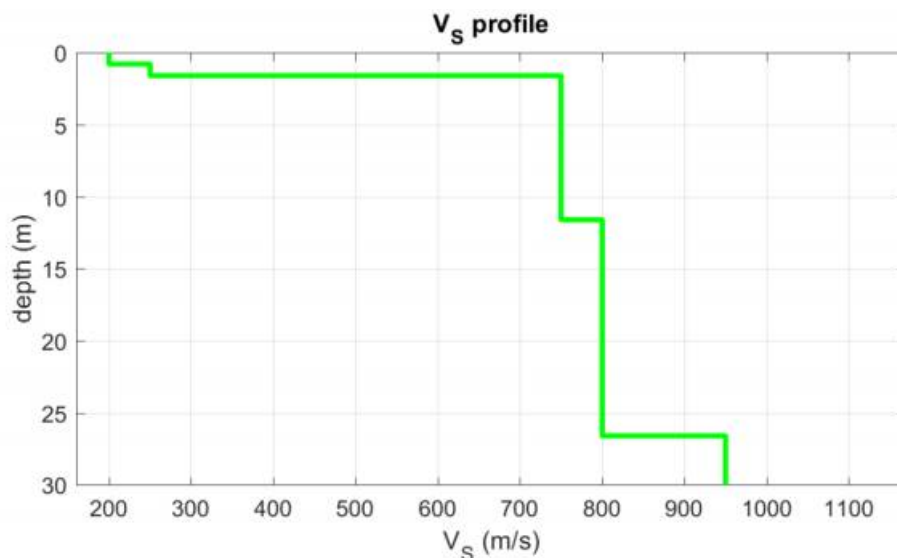


Diagramma velocità onde S

MASW T22			
<i>Thickness (m)</i>	<i>Depth (m)</i>	<i>Vs (m/s)</i>	<i>V_{Seq} (m/s)</i> <i>H = 11.6 m</i>
0.8	0.0	200	565
0.8	0.8	250	
10.0	1.6	750	
15.0	11.6	800	
3.4	26.6	950	
/	30.0	950	

Ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, sulla base delle indagini svolte, in riferimento alle categorie di suoli fondazionali di cui al D.M. 17.01.2018, i terreni in esame sono ascrivibili alla “Categoria B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.”

Pertanto, sulla base dei dati così acquisiti, sono di seguito riassunte e schematizzate le due diverse categorie di sottosuolo fondazionale riconosciute in relazione alle diverse prospezioni eseguite.

MASW T06	V_{seq} (m/s) 288	H = 23,0 m	Categoria D.M. 17.01.2018: E
MASW T122	V_{seq} (m/s) 584	H = 11,5 m	Categoria D.M. 17.01.2018: B
MASW T22	V_{seq} (m/s) 565	H = 11,6 m	Categoria D.M. 17.01.2018: B

che confermano le categorie di sottosuolo già precedentemente identificate. Inoltre, per le aree collinari dove il substrato flyschoidale è sub-affiorante, le stesse possono essere ascritte 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”*.

10 PARAMETRAZIONE SISMICA

Per definire le caratteristiche in prospettiva sismica dell'area, sono di seguito illustrati il terremoto di progetto, la Magnitudo, le forme spettrali e la risposta sismica locale. Per valutare la pericolosità sismica, sono di seguito riportati i valori di Magnitudo (M) e distanza (R) dell'area in esame dal terremoto che domina lo scenario di pericolosità, sulla base degli studi di disaggregazione della pericolosità sismica eseguiti dall'I.N.G.V.. Di seguito sono riportati i valori medi di M e R per il sito in esame:

$$M = 4.93 \quad R = 13.20 \text{ Km}$$

Sulla base delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni e dalle relative forme spettrali; quest'ultime sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

a_g: accelerazione orizzontale massima del terreno

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

Sono di seguito riportati i parametri che definiscono l'azione sismica al sito in esame, ricavati in base al reticolo di riferimento secondo il programma Spettri N.T.C., reso disponibile dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Tuttavia, ai fini della verifica di vulnerabilità sismica di un edificio con stima della pericolosità sismica basata sulla modellazione realistica di terremoti di scenario con metodo *neo-deterministico* (NDSHA), si suggerisce l'utilizzo di accelerogrammi in accordo a quanto disposto al punto 3.2.3.6 delle N.T.C. 2018.

10.1) Categoria di sottosuolo E - Vita nominale 50 anni

Sulla base dell'assetto del sito e di quanto in progetto, sono state valutate le accelerazioni e gli spettri di risposta elastica in rapporto agli Stati Limite; la vita nominale dell'opera è di 50 anni, la classe d'uso IV, cui corrisponde un coefficiente d'uso pari a 2; inoltre, la topografia è debolmente acclive e quindi $St = T1$, mentre la categoria del suolo, come precedentemente descritto, è di tipo E.

Sulla base del D.M. 17.01.2018, i parametri sismici dell'opera in progetto elaborati secondo il programma Spettri NTC sono riassunti nella tabella sottostante.

<i>STATO LIMITE</i>	<i>Probabilità [%]</i>	<i>Tr (anni)</i>	<i>ag [g]</i>	<i>Fo [-]</i>	<i>Tc [s]</i>	<i>Ss</i>	<i>Cc</i>	<i>St</i>
OPERATIVITA'	81	60	0.044	2.598	0.238	1.600	2.041	1.000
DANNO	63	101	0.056	2.595	0.261	1.600	1.968	1.000
VITA	10	949	0.134	2.582	0.338	1.600	1.775	1.000
COLLASSO	5	1950	0.169	2.603	0.351	1.517	1.747	1.000

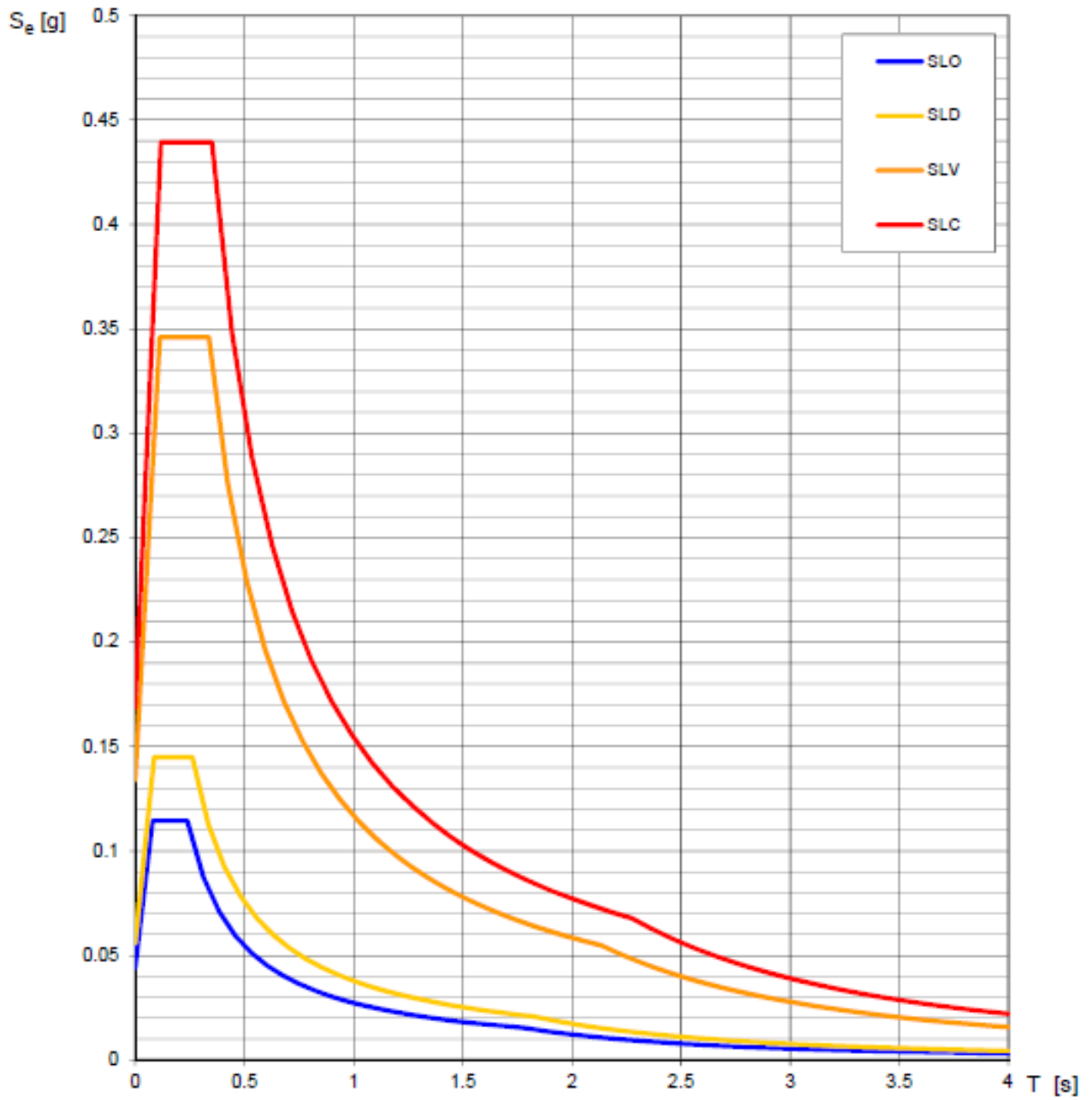
dove:

Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica

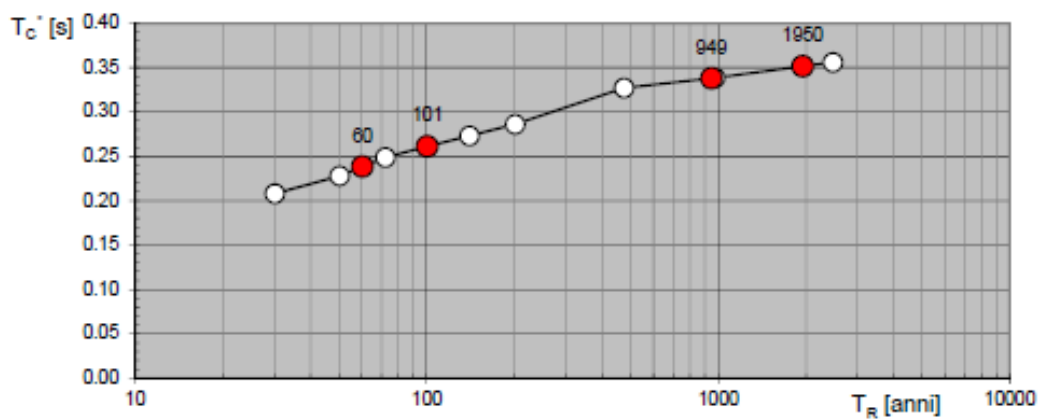
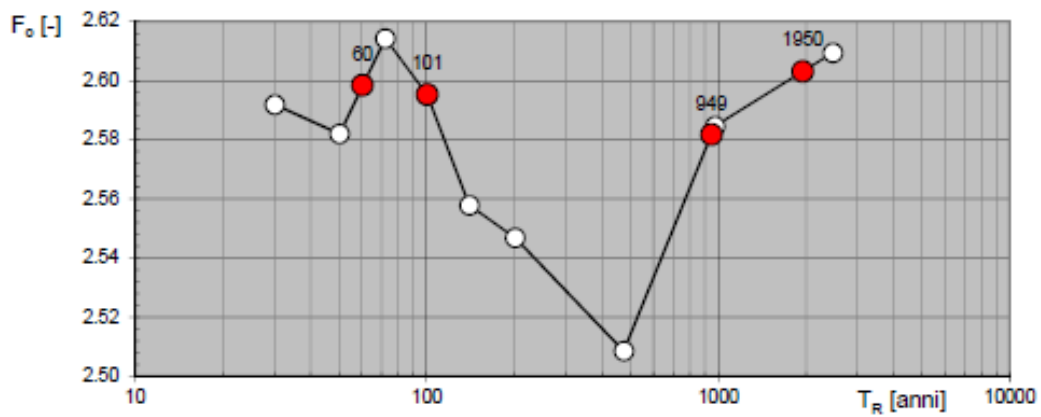
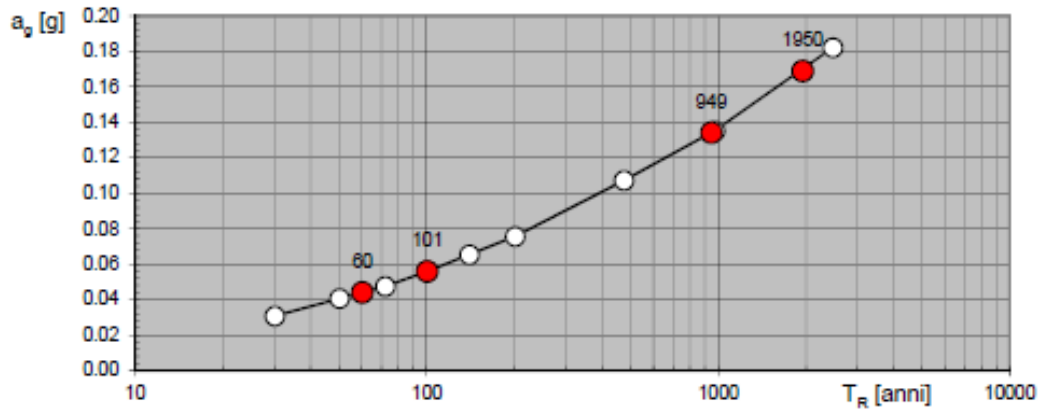
Cc = coefficiente funzione della categoria

St = coefficiente di amplificazione topografica

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R



10.2) *Categoria di sottosuolo E - Vita nominale 100 anni*

Sulla base dell'assetto del sito e di quanto in progetto, sono state valutate le accelerazioni e gli spettri di risposta elastica in rapporto agli Stati Limite; la vita nominale dell'opera è di 100 anni, la classe d'uso IV, cui corrisponde un coefficiente d'uso pari a 2; inoltre, la topografia è debolmente acclive e quindi $St = T1$, mentre la categoria del suolo, come precedentemente descritto, è di tipo E.

Sulla base del D.M. 17.01.2018, i parametri sismici dell'opera in progetto elaborati secondo il programma Spettri NTC sono riassunti nella tabella sottostante.

STATO LIMITE	Probabilità [%]	Tr (anni)	ag [g]	Fo [-]	Tc [s]	Ss	Cc	St
OPERATIVITA'	81	120	0.061	2.575	0.268	1.600	1.949	1.000
DANNO	63	201	0.076	2.547	0.286	1.600	1.897	1.000
VITA	10	1898	0.164	2.602	0.351	1.521	1.748	1.000
COLLASSO	5	2475	0.182	2.609	0.356	1.477	1.738	1.000

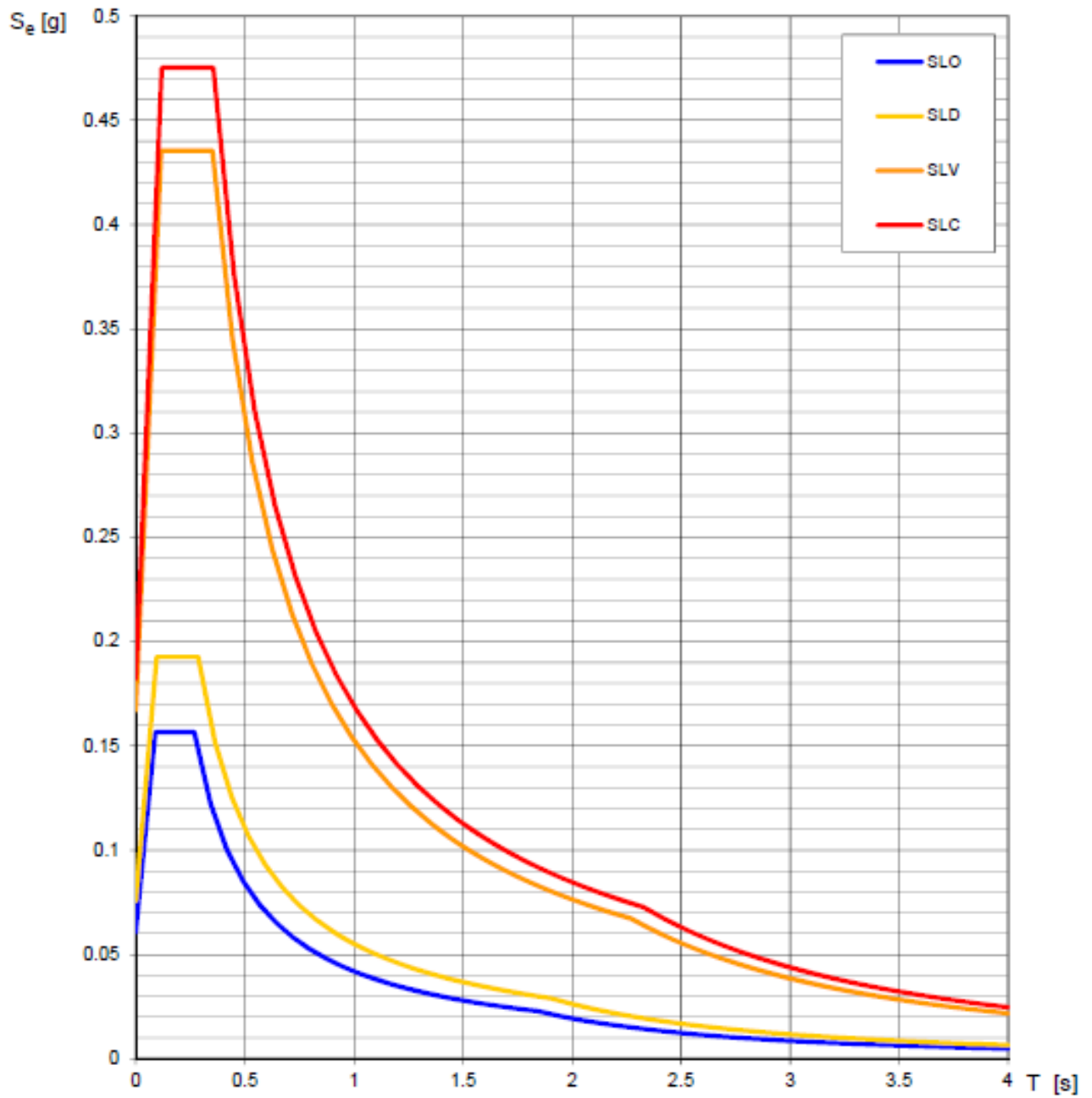
dove:

Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica

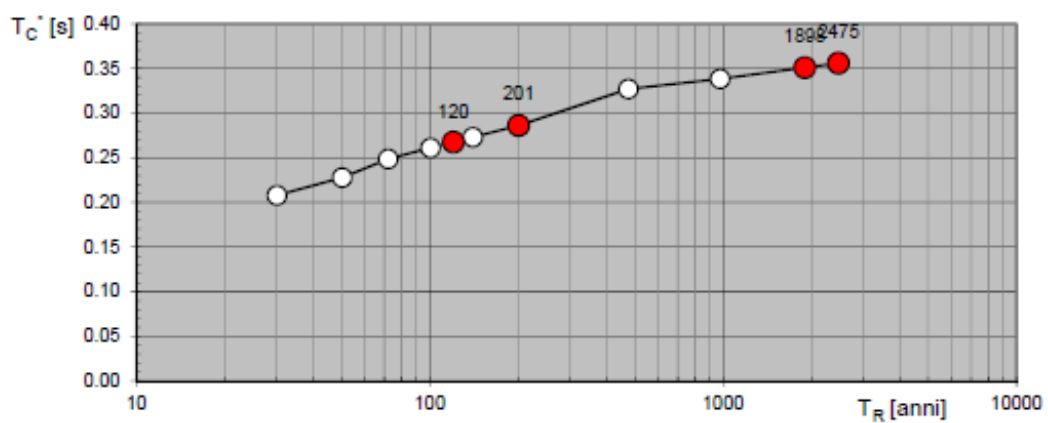
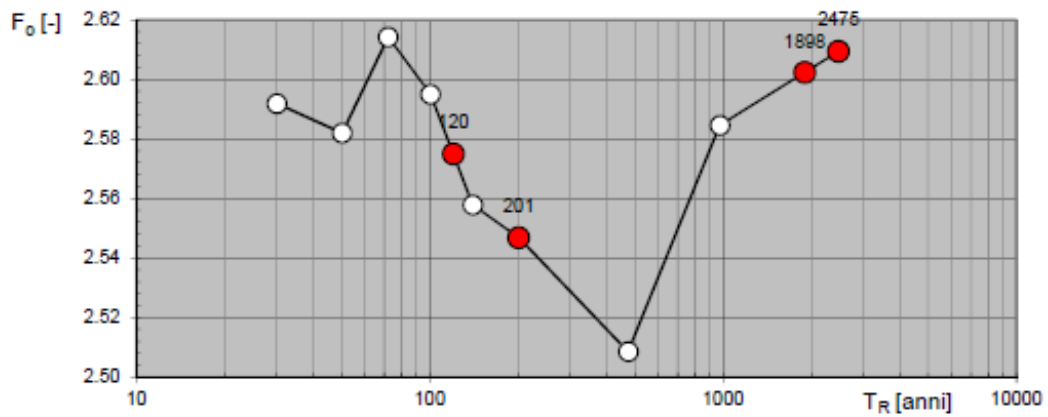
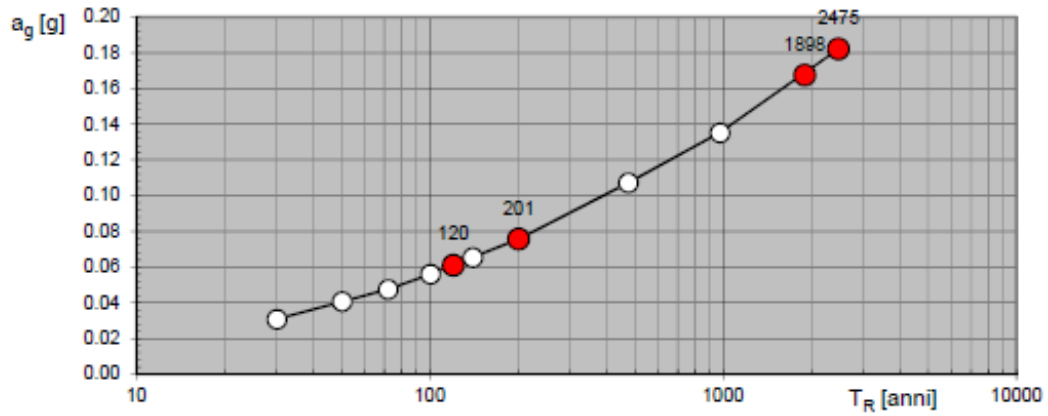
Cc = coefficiente funzione della categoria

St = coefficiente di amplificazione topografica

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



10.3) Categoria di sottosuolo B - Vita nominale 50 anni

Sulla base dell'assetto del sito e di quanto in progetto, sono state valutate le accelerazioni e gli spettri di risposta elastica in rapporto agli Stati Limite; la vita nominale dell'opera è di 50 anni, la classe d'uso IV, cui corrisponde un coefficiente d'uso pari a 1; inoltre, la topografia è debolmente acclive e quindi $St = T1$, mentre la categoria del suolo, come precedentemente descritto, è di tipo B.

Sulla base del D.M. 17.01.2018, i parametri sismici dell'opera in progetto elaborati secondo il programma Spettri NTC sono riassunti nella tabella sottostante.

<i>STATO LIMITE</i>	<i>Probabilità [%]</i>	<i>Tr (anni)</i>	<i>ag [g]</i>	<i>Fo [-]</i>	<i>Tc [s]</i>	<i>Ss</i>	<i>Cc</i>	<i>St</i>
OPERATIVITA'	81	60	0.044	2.598	0.238	1.200	1.465	1.000
DANNO	63	101	0.056	2.595	0.261	1.200	1.439	1.000
VITA	10	949	0.134	2.582	0.338	1.200	1.366	1.000
COLLASSO	5	1950	0.169	2.603	0.351	1.200	1.356	1.000

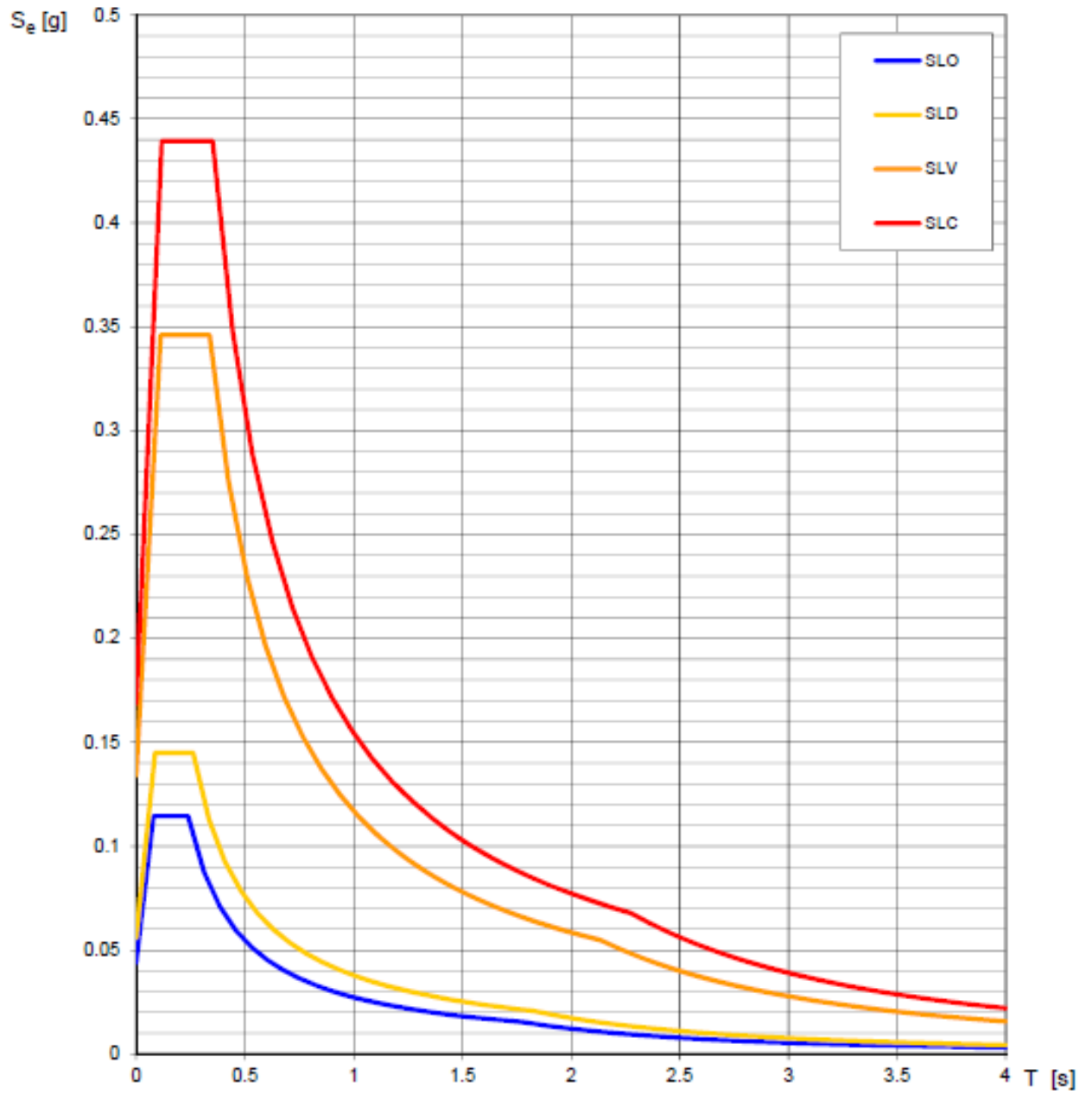
dove:

Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica

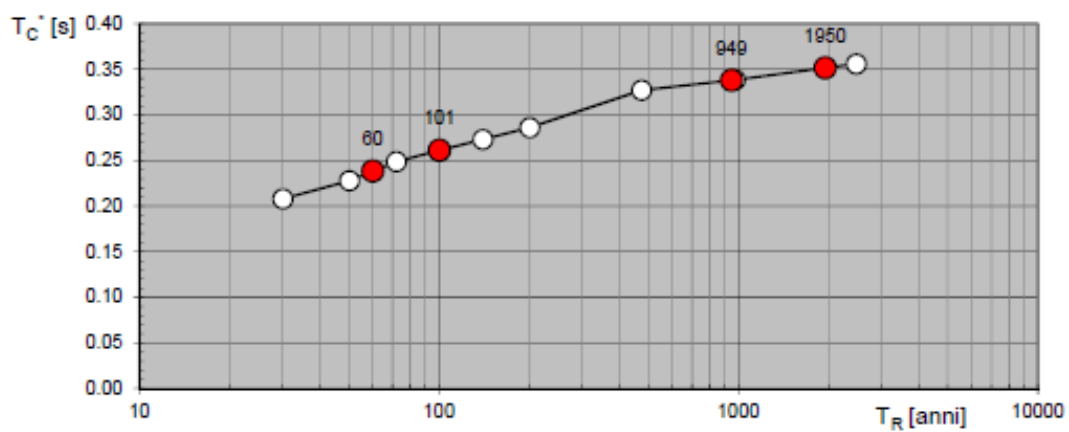
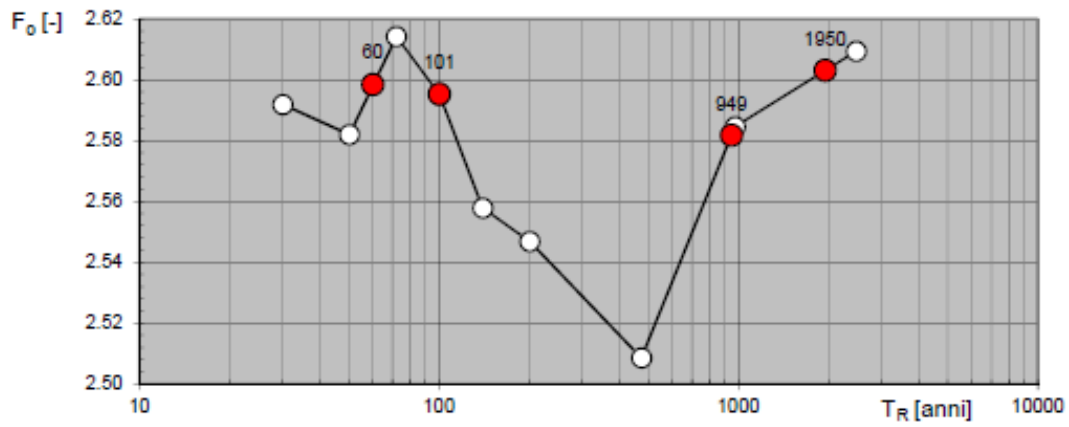
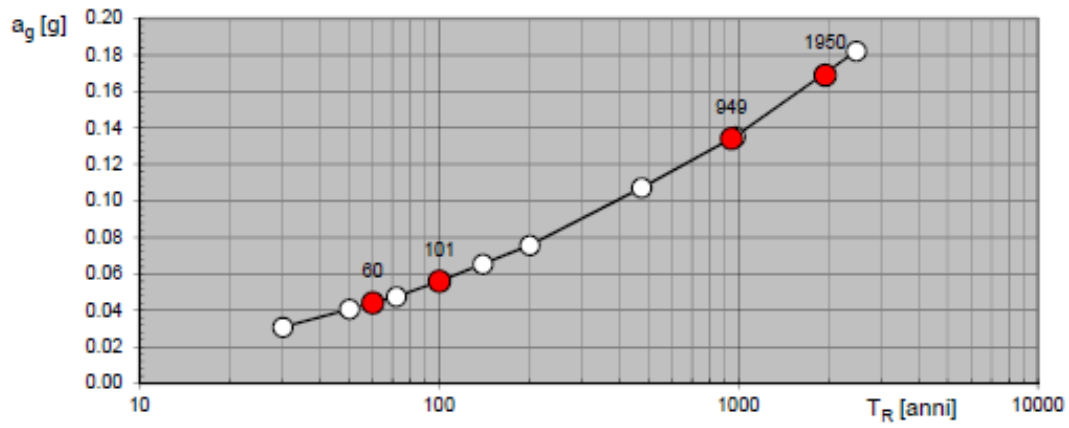
Cc = coefficiente funzione della categoria

St = coefficiente di amplificazione topografica

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



10.4) *Categoria di sottosuolo B - Vita nominale 100 anni*

Sulla base dell'assetto del sito e di quanto in progetto, sono state valutate le accelerazioni e gli spettri di risposta elastica in rapporto agli Stati Limite; la vita nominale dell'opera è di 100 anni, la classe d'uso IV, cui corrisponde un coefficiente d'uso pari a 1; inoltre, la topografia è debolmente acclive e quindi $St = T1$, mentre la categoria del suolo, come precedentemente descritto, è di tipo B.

Sulla base del D.M. 17.01.2018, i parametri sismici dell'opera in progetto elaborati secondo il programma Spettri NTC sono riassunti nella tabella sottostante.

STATO LIMITE	Probabilità [%]	Tr (anni)	ag [g]	Fo [-]	Tc [s]	Ss	Cc	St
OPERATIVITA'	81	120	0.061	2.575	0.268	1.200	1.432	1.000
DANNO	63	201	0.076	2.547	0.286	1.200	1.413	1.000
VITA	10	1898	0.164	2.602	0.351	1.200	1.356	1.000
COLLASSO	5	2475	0.182	2.609	0.356	1.200	1.352	1.000

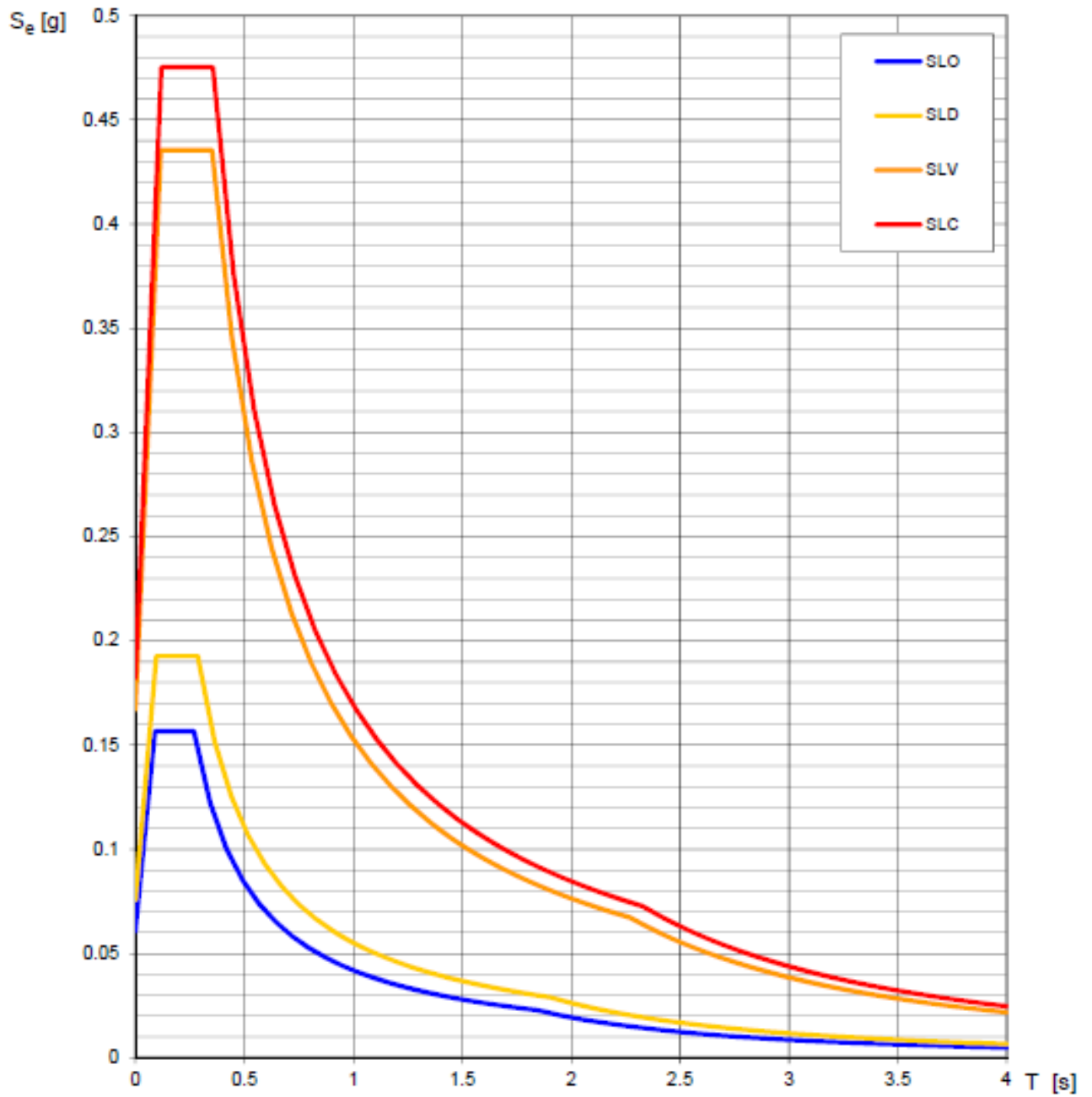
dove:

Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica

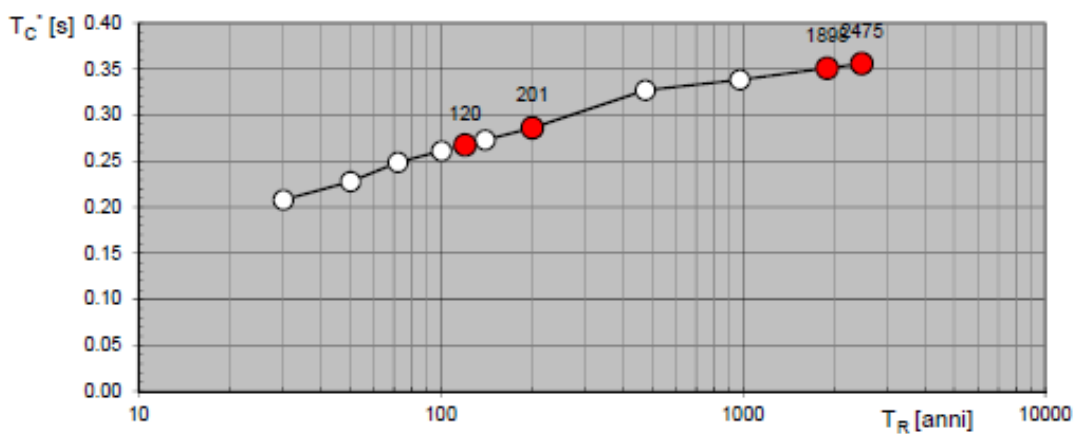
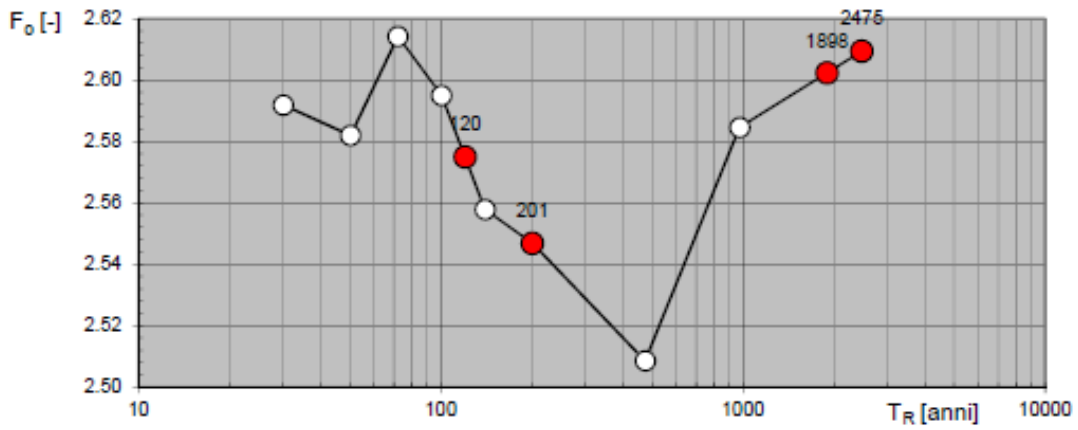
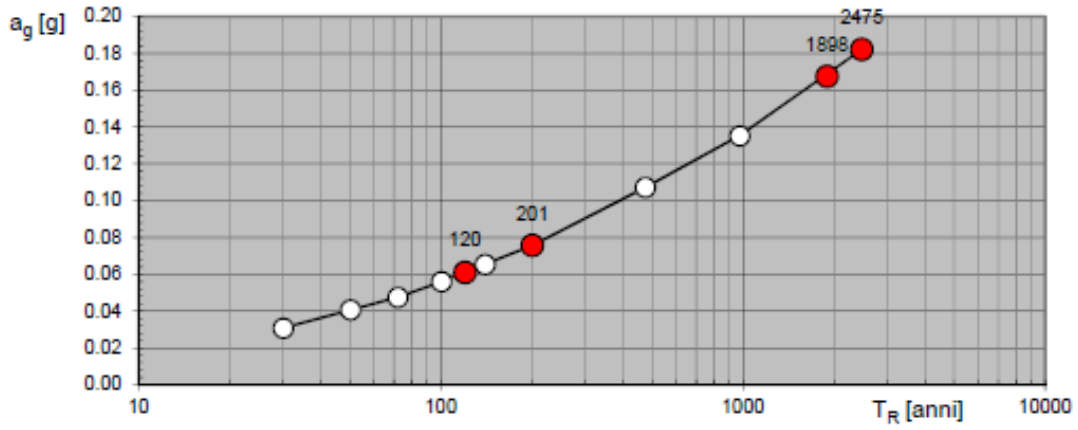
Cc = coefficiente funzione della categoria

St = coefficiente di amplificazione topografica

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



1.1 VERIFICA SEMPLIFICATA ALLA LIQUEFAZIONE

La normativa vigente (N.T.C. 2018) prevede la verifica di potenziali fenomeni di liquefazione in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sottoposti a sollecitazioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate, che determinerebbero perdita di resistenza al taglio o accumulo di deformazioni plastiche. In accordo a quanto disposto dal D.M. 17.01.2018, per gli ambiti sub-pianeggianti presenti nell'area in oggetto, ovvero per gli ambiti non collinari dove il substrato flyschoidale è sub-affiorante, sono state singolarmente verificate le quattro circostanze che consentono di omettere la verifica a liquefazione.

Da tale analisi è emerso che, per quanto alle accelerazioni massime attese al piano campagna, lo Stato Limite Vita (SLV) per *Categoria di sottosuolo E – Vita nominale 50 anni* $a_g = 0.134$, $S_s = 1.600$ e $S_t = 1.000$, da cui $a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0.214$ g che determina $a_{max} > 0.1$ g, che per Stato Limite Vita (SLV) per *Categoria di sottosuolo E – Vita nominale 100 anni* $a_g = 0.164$, $S_s = 1.521$ e $S_t = 1.000$, da cui $a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0.249$ g che determina $a_{max} > 0.1$ g, che per Stato Limite Vita (SLV) per *Categoria di sottosuolo B – Vita nominale 50 anni* $a_g = 0.134$, $S_s = 1.200$ e $S_t = 1.000$, da cui $a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0.160$ g che determina $a_{max} > 0.1$ g, che per Stato Limite Vita (SLV) per *Categoria di sottosuolo B – Vita nominale 100 anni* $a_g = 0.164$, $S_s = 1.200$ e $S_t = 1.000$, da cui $a_{max} = a_g \times S_s \times S_t = 0.196$ g che determina $a_{max} > 0.1$ g.

Per quanto alla verifica della profondità media stagionale della falda, la stessa è stata rilevata a profondità superiore a - 15.0 m dal p.c..

Per quanto alla verifica sui depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ da prove S.P.T., sono stati analizzati i dati relativi alle indagini eseguite nel 2018 (*Geosyntech srl & Gealpina srl per Invitalia*), nel 2022 (*Geosyntech srl per HHLA-PLT Italy*) e nel 2023 (*Estensione delle infrastrutture comuni per lo sviluppo del Punto Franco Nuovo del Porto di Trieste – Molo VIII - Ground Engineering srl per HHLA-PLT Italy*) nelle aree oggetto di studio, acquisendo i dati delle prove S.P.T. eseguite negli ambiti sub-orizzontali.

Per quanto alle indagini eseguite nel 2018, nel corso delle attività di perforazione sono state eseguite n° 87 prove S.P.T., con punta aperta e punta chiusa, di seguito riassunte.

Relazione geologica

<i>Sondaggio</i>	<i>N° SPT</i>	<i>Quota (m dal p.c.)</i>	<i>N° di colpi</i>	<i>N_{SPT}</i>	<i>N₆₀</i>	<i>(N₁)₆₀</i>
S1.A1	1	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	10/20/13	33	30	36
	2	-18.00 ÷ -18.45 (punta aperta)	2/1/3	4	4	3
	3	- 30.00 ÷ - 30.45 (punta chiusa)	7/12/17	29	31	18
S2.A1	1	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	2/9/4	13	12	14
	2	- 14.50 ÷ - 14.59 (punta chiusa)	RIF	/	/	/
	3	- 32.00 ÷ - 32.45 (punta chiusa)	20/29/40	69	75	42
S3.A1	1	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	11/24/18	42	39	46
	2	- 17.50 ÷ - 17.83 (punta chiusa)	15/34/RIF	/	/	/
	3	- 27.00 ÷ - 27.45 (punta chiusa)	25/34/31	65	70	43
S4.A1	1	- 4.00 ÷ - 4.45 (punta chiusa)	2/4/5	9	8	10
	2	- 16.00 ÷ - 16.19 (punta chiusa)	28/RIF	/	/	/
	3	- 28.50 ÷ - 28.70 (punta chiusa)	37/RIF	/	/	/
S5.A1	1	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	2/4/7	11	10	12
	2	-11.50 ÷ -11.95 (punta aperta)	2/3/2	5	5	5
	3	- 24.00 ÷ - 24.21 (punta chiusa)	44/RIF	/	/	/
S6.A1	1	- 10.00 ÷ - 10.45 (punta chiusa)	1/2/4	6	6	6
	2	- 17.50 ÷ - 17.69 (punta chiusa)	23/RIF	/	/	/
	3	- 21.00 ÷ - 21.45 (punta chiusa)	4/11/31	42	45	31
S7.A1	1	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	6/8/8	16	15	17
	2	- 11.50 ÷ - 11.95 (punta chiusa)	3/5/8	13	14	12
	3	- 16.00 ÷ - 16.45 (punta chiusa)	1/1/1	2	2	2
S1.A2	1	- 4.00 ÷ - 4.45 (punta chiusa)	20/1/8	9	8	11
	2	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	4/2/3	5	5	5
	3	- 8.50 ÷ - 8.58 (punta chiusa)	RIF	/	/	/
S2.A2	1	- 11.50 ÷ - 11.95 (punta chiusa)	5/10/19	29	31	28
	2	- 15.00 ÷ - 15.45 (punta chiusa)	1/1/2	3	3	3
	3	- 27.00 ÷ - 27.45 (punta chiusa)	5/7/7	14	15	9
S3.A2	1	- 8.50 ÷ - 8.95 (punta chiusa)	4/4/9	13	14	13
	2	- 19.00 ÷ - 19.45 (punta chiusa)	1/2/5	7	8	5
	3	- 20.50 ÷ - 20.95 (punta chiusa)	4/10/12	22	24	16
S4.A2	1	- 11.50 ÷ -11.95 (punta chiusa)	11/15/21	36	39	33
	2	-18.00 ÷ -18.45 (punta aperta)	1/2/1	3	3	2
	3	- 27.00 ÷ - 27.45 (punta chiusa)	12/33/39	72	78	45
S5.A2	1	- 8.50 ÷ - 8.70 (punta chiusa)	38/RIF	/	/	/
	2	-22.50 ÷ -22.95 (punta aperta)	7/10/11	21	23	15
	3	-30.00 ÷ - 30.45 (punta aperta)	7/14/19	33	36	20
S6.A2	1	- 10.00 ÷ - 10.45 (punta chiusa)	11/21/24	45	49	45
	2	-25.50 ÷ -25.95 (punta aperta)	2/4/4	8	9	5
	3	-33.00 ÷ 33.45 (punta aperta)	10/17/15	32	35	19
S7.A2	1	- 11.50 ÷ - 11.95 (punta chiusa)	10/15/18	33	36	29
	2	-28.50 ÷ -28.95 (punta aperta)	4/8/7	15	16	9
	3	- 31.50 ÷ - 31.95 (punta chiusa)	7/14/15	29	31	17

Relazione geologica

<i>Sondaggio</i>	<i>N° SPT</i>	<i>Quota (m dal p.c.)</i>	<i>N° di colpi</i>	<i>N_{SPT}</i>	<i>N₆₀</i>	<i>(N₁)₆₀</i>
S8.A2	1	- 7.00 ÷ - 7.45 (punta chiusa)	4/4/6	10	10	11
	2	-28.50 ÷ -28.95 (punta chiusa)	4/7/11	18	19	11
	3	- 34.50 ÷ - 34.95 (punta chiusa)	10/12/19	31	33	18
S9.A2	1	- 13.00 ÷ - 13.45 (punta chiusa)	10/13/7	20	22	18
	2	-28.00 ÷ -28.45 (punta aperta)	6/9/13	22	24	14
	3	- 34.00 ÷ - 34.45 (punta chiusa)	15/21/30	51	55	29
S10.A2	1	- 8.50 ÷ - 8.95 (punta chiusa)	7/10/9	19	19	20
	2	-20.50 ÷ -20.95 (punta aperta)	1/3/3	6	6	4
	3	- 32.50 ÷ - 32.95 (punta chiusa)	4/6/10	16	17	10
S11.A2	1	- 8.50 ÷ - 8.95 (punta chiusa)	5/9/16	25	26	26
	2	-21.00 ÷ -21.23 (punta aperta)	2/3/4	7	8	5
	3	- 28.50 ÷ - 28.95 (punta chiusa)	5/9/16	25	27	15
S12.A2	1	- 7.00 ÷ - 7.45 (punta chiusa)	15/24/20	44	45	52
	2	- 26.50 ÷ - 26.95 (punta chiusa)	7/11/13	24	26	16
	3	- 29.50 ÷ - 29.95 (punta chiusa)	12/17/29	46	50	29
S13.A2	1	- 10.00 ÷ - 10.45 (punta chiusa)	10/7/14	21	23	23
	2	- 17.50 ÷ - 17.95 (punta aperta)	1/2/4	6	6	5
	3	- 27.00 ÷ - 27.45 (punta chiusa)	6/13/12	25	27	17
S14.A2	1	- 7.00 ÷ - 7.30 (punta chiusa)	24/RIF	/	/	/
	2	- 27.00 ÷ - 27.45 (punta aperta)	2/1/4	5	5	3
	3	- 30.00 ÷ - 30.45 (punta chiusa)	7/14/22	36	39	23
S1.A3	1	- 13.50 ÷ - 13.95 (punta chiusa)	7/24/15	39	42	35
	2	- 19.00 ÷ - 19.22 (punta chiusa)	34/RIF	/	/	/
	3	- 28.00 ÷ - 28.45 (punta chiusa)	5/10/11	21	23	13
S2.A3	1	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta aperta)	4/4/7	11	10	10
	2	- 8.50 ÷ - 8.95 (punta chiusa)	1/2/2	4	4	4
	3	- 15.00 ÷ - 15.50 (punta aperta)	4/2/3	5	5	4
S3.A3	1	- 2.50 ÷ - 2.95 (punta chiusa)	9/4/5	9	7	12
	2	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	8/7/10	17	16	19
	3	- 13.00 ÷ - 13.07 (punta chiusa)	RIF	/	/	/
S4.A3	1	- 1.50 ÷ - 1.78 (punta chiusa)	15/RIF	/	/	/
	2	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	9/11/15	26	24	30
	3	- 10.50 ÷ - 10.63 (punta chiusa)	RIF	/	/	/
S5.A3	1	- 2.50 ÷ - 2.95 (punta chiusa)	4/3/7	10	8	13
	2	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	2/3/6	9	8	10
	3	- 7.00 ÷ - 7.45 (punta chiusa)	5/4/8	12	12	14
S6.A3	1	- 2.50 ÷ - 2.95 (punta chiusa)	10/7/14	21	17	27
	2	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	5/7/19	28	26	32
	3	- 8.50 ÷ - 8.95 (punta chiusa)	15/22/27	49	50	52
S7.A3	1	- 1.50 ÷ - 1.95 (punta chiusa)	3/5/5	10	8	16
	2	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	27/19/23	42	39	48
	3	- 8.50 ÷ - 8.71 (punta chiusa)	34/RIF	/	/	/

Sondaggio	N° SPT	Quota (m dal p.c.)	N° di colpi	N _{SPT}	N ₆₀	(N ₁) ₆₀
S8.A3	1	- 2.50 ÷ - 2.60 (punta chiusa)	RIF	/	/	/
	2	- 4.00 ÷ - 4.45 (punta chiusa)	10/12/6	18	17	22
	3	- 7.00 ÷ - 7.45 (punta chiusa)	6/12/19	31	32	36

L'ubicazione delle indagini così eseguite è meglio illustrata nelle Figure seguenti.

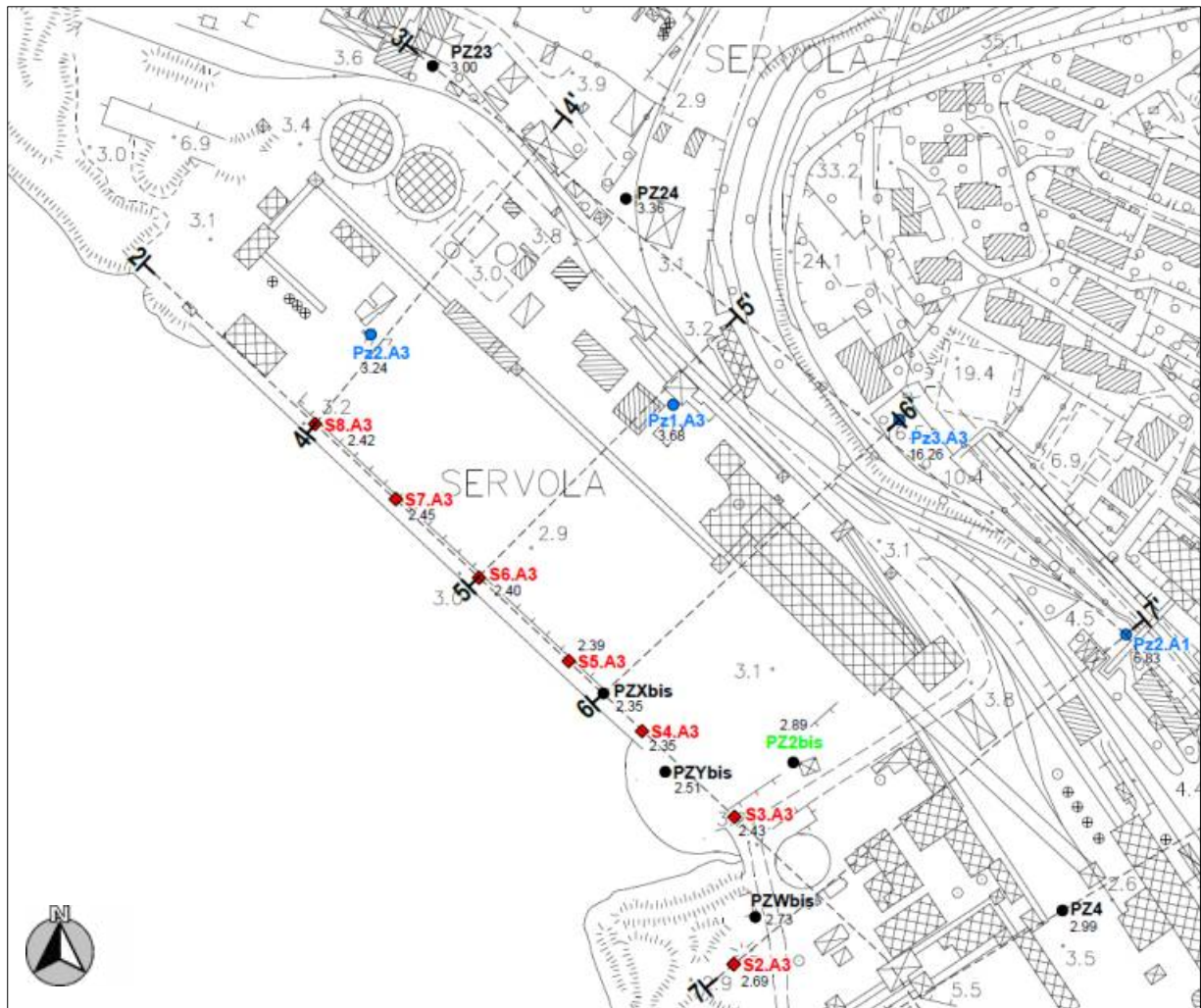


Figura 52

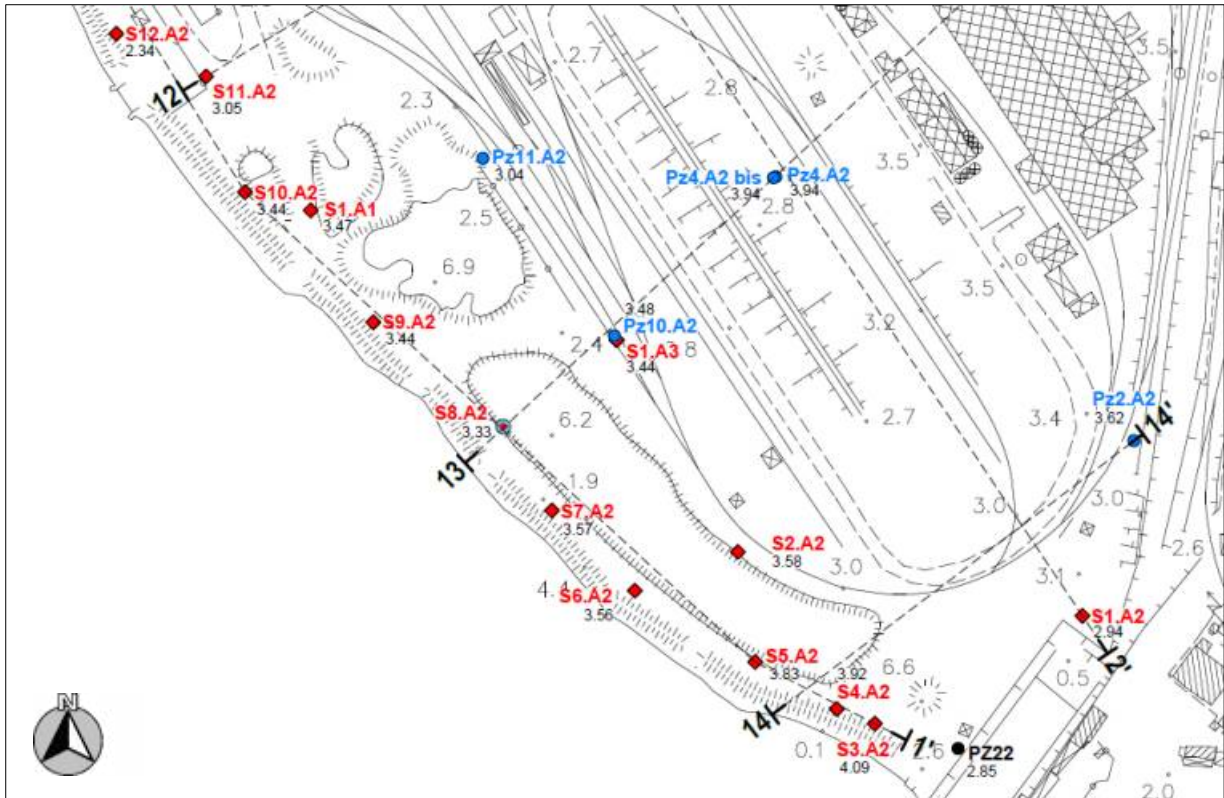


Figura 54

Dall'analisi delle stratigrafie di perforazione si rileva che non sono state eseguite prove S.P.T. in livelli francamente sabbiosi; tuttavia, sono stati analizzati i dati di tali prove nei livelli con presenza di *sabbia in matrice*, di seguito riportati.

Sondaggio	N° SPT	Quota (m dal p.c.)	N° di colpi	N _{SPT}	N ₆₀	(NI) ₆₀
S1.A1	3	- 30.00 ÷ - 30.45 (punta chiusa)	7/12/17	29	31	18
S7.A1	1	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta chiusa)	6/8/8	16	15	17
	2	- 11.50 ÷ - 11.95 (punta chiusa)	3/5/8	13	14	12
S2.A2	3	- 27.00 ÷ - 27.45 (punta chiusa)	5/7/7	14	15	9
S3.A2	1	- 8.50 ÷ - 8.95 (punta chiusa)	4/4/9	13	14	13
	2	- 19.00 ÷ - 19.45 (punta chiusa)	1/2/5	7	8	5
	3	- 20.50 ÷ - 20.95 (punta chiusa)	4/10/12	22	24	16
S5.A2	2	-22.50 ÷ -22.95 (punta aperta)	7/10/11	21	23	15
S6.A2	3	-33.00 ÷ 33.45 (punta aperta)	10/17/15	32	35	19
S8.A2	2	-28.50 ÷ -28.95 (punta chiusa)	4/7/11	18	19	11
S9.A2	2	-28.00 ÷ -28.45 (punta aperta)	6/9/13	22	24	14
S10.A2	1	- 8.50 ÷ - 8.95 (punta chiusa)	7/10/9	19	19	20
	3	- 32.50 ÷ - 32.95 (punta chiusa)	4/6/10	16	17	10
S11.A2	3	- 28.50 ÷ - 28.95 (punta chiusa)	5/9/16	25	27	15
S12.A2	3	- 29.50 ÷ - 29.95 (punta chiusa)	12/17/29	46	50	29

<i>Sondaggio</i>	<i>N° SPT</i>	<i>Quota (m dal p.c.)</i>	<i>N° di colpi</i>	<i>N_{SPT}</i>	<i>N₆₀</i>	<i>(N₁)₆₀</i>
S13.A2	3	- 27.00 ÷ - 27.45 (punta chiusa)	6/13/12	25	27	17
S14.A2	2	- 27.00 ÷ - 27.45 (punta aperta)	2/1/4	5	5	3
	3	- 30.00 ÷ - 30.45 (punta chiusa)	7/14/22	36	39	23
S2.A3	1	- 5.50 ÷ - 5.95 (punta aperta)	4/4/7	11	10	10
	2	- 8.50 ÷ - 8.95 (punta chiusa)	1/2/2	4	4	4
S5.A3	3	- 7.00 ÷ - 7.45 (punta chiusa)	5/4/8	12	12	14

L'analisi dei dati di $(N_1)_{60}$ delle prove S.P.T. eseguite evidenzia che per tutte le prove i valori sono $(N_1)_{60} < 30$.

Per quanto alle indagini eseguite nel 2022 (*Geosyntech srl per HHLA-PLT Italy*), nel corso delle attività di perforazione sono state eseguite n° 34 prove S.P.T. in foro a punta chiusa, di seguito riassunte.

<i>Sondaggio</i>	<i>SPT</i>	<i>Quota (m dal p.c.)</i>	<i>N di colpi (N₁/N₂/N₃)</i>	<i>N_{SPT}</i>	<i>N_{SPT}*</i>	<i>N₆₀</i>	<i>(N₁)₆₀</i>
SG001	1	- 1.50 ÷ - 1.95	2/4/2	6	5	3	6
	2	- 3.00 ÷ - 3.45	3/3/3	6	5	3	5
	3	- 4.50 ÷ - 4.95	3/6/7	13	10	9	11
	4	- 6.00 ÷ - 6.45	5/11/11	22	18	16	19
	5	- 7.50 ÷ - 7.54	R	/	/	/	/
	6	- 17.00 ÷ - 17.45	7/12/19	31	25	24	19
	7	- 18.50 ÷ - 18.95	13/19/24	43	34	33	25
SG002	1	- 3.00 ÷ - 3.45	4/7/13	20	16	12	16
	2	- 4.50 ÷ - 4.95	5/5/9	14	11	9	12
	3	- 6.00 ÷ - 6.45	6/8/10	18	14	13	15
	4	- 7.50 ÷ - 7.95	2/2/3	5	4	4	4
	5	- 17.00 ÷ - 17.45	4/8/14	22	18	17	14
SG003	1	- 1.50 ÷ - 1.84	R	/	/	/	/
	2	- 3.00 ÷ - 3.05	R	/	/	/	/
	3	- 4.50 ÷ - 4.95	4/4/22	26	21	17	20
	4	- 6.00 ÷ - 6.24	R	/	/	/	/
	5	- 7.50 ÷ - 7.95	3/5/6	11	9	8	8
	6	- 14.00 ÷ - 14.41	R	/	/	/	/
	7	- 15.50 ÷ - 15.56	R	/	/	/	/

<i>Sondaggio</i>	<i>SPT</i>	<i>Quota (m dal p.c.)</i>	<i>N di colpi (N₁/N₂/N₃)</i>	<i>N_{SPT}</i>	<i>N_{SPT}*</i>	<i>N₆₀</i>	<i>(N₁)₆₀</i>
SG004	1	-1.50 ÷ - 1.95	6/6/9	15	12	9	15
	2	- 3.00 ÷ - 3.45	10/16/8	24	19	14	19
	3	- 4.50 ÷ - 4.61	R	/	/	/	/
SG005	1	- 1.50 ÷ - 1.70	R	/	/	/	/
	2	- 3.00 ÷ - 3.45	24/29/27	56	45	33	43
	3	- 4.50 ÷ - 4.56	R	/	/	/	/
SG006	1	- 1.50 ÷ - 1.69	R	/	/	/	/
SG007	1	- 1.50 ÷ - 1.70	R	/	/	/	/
	2	- 3.00 ÷ - 3.11	R	/	/	/	/
SG008	1	- 1.50 ÷ - 1.95	20/24/31	55	44	32	70
	2	- 3.20 ÷ - 3.39	R	/	/	/	/
SG009	1	- 1.50 ÷ - 1.72	R	/	/	/	/
	2	- 3.00 ÷ - 3.08	R	/	/	/	/
SG010	1	- 1.50 ÷ - 1.95	4/4/4	8	6	5	8
	2	- 2.70 ÷ - 3.15	14/18/17	35	28	20	27

**valore normalizzato a N_{SPT} punta aperta mediante moltiplicazione per il coefficiente 0,8*

L'ubicazione delle indagini così eseguite è meglio illustrata nelle Figure 54, 55 e 56.

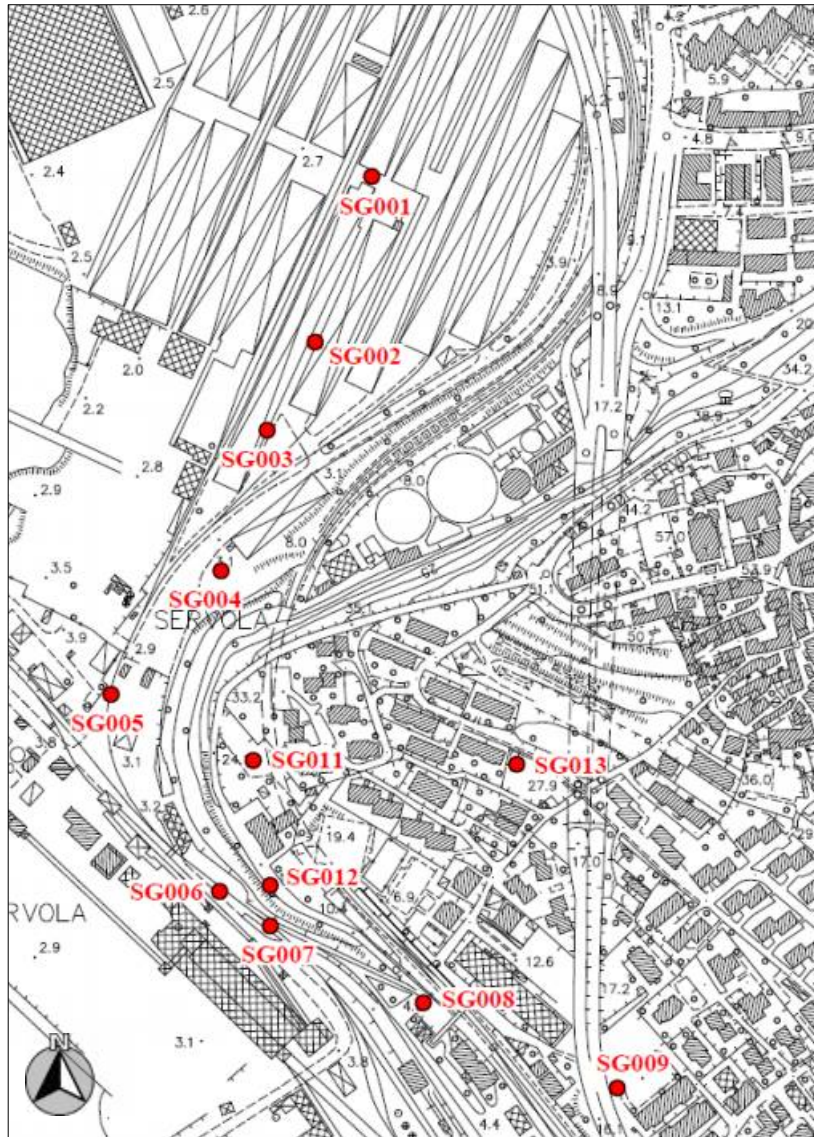


Figura 55

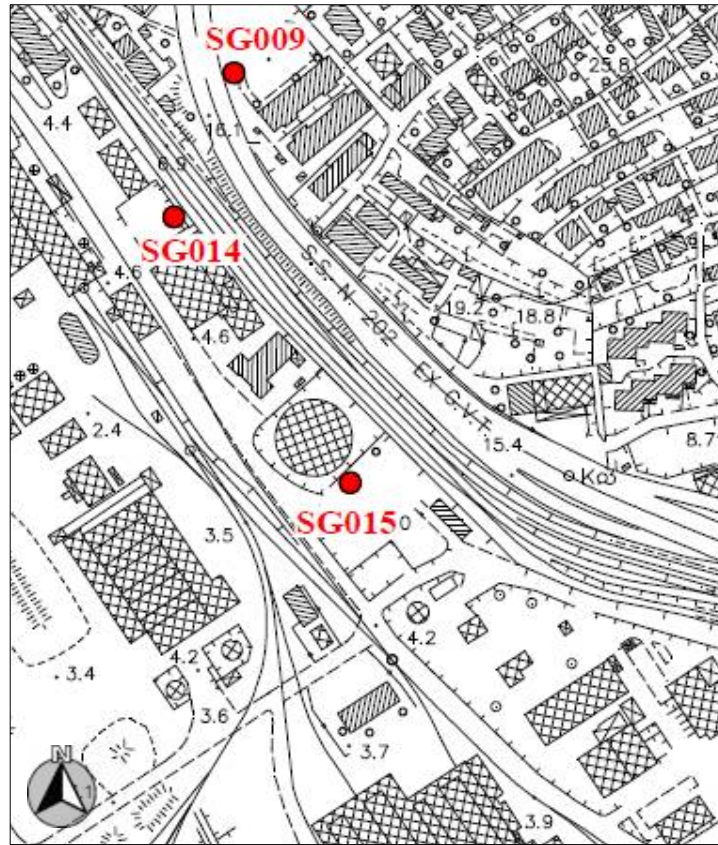


Figura 56

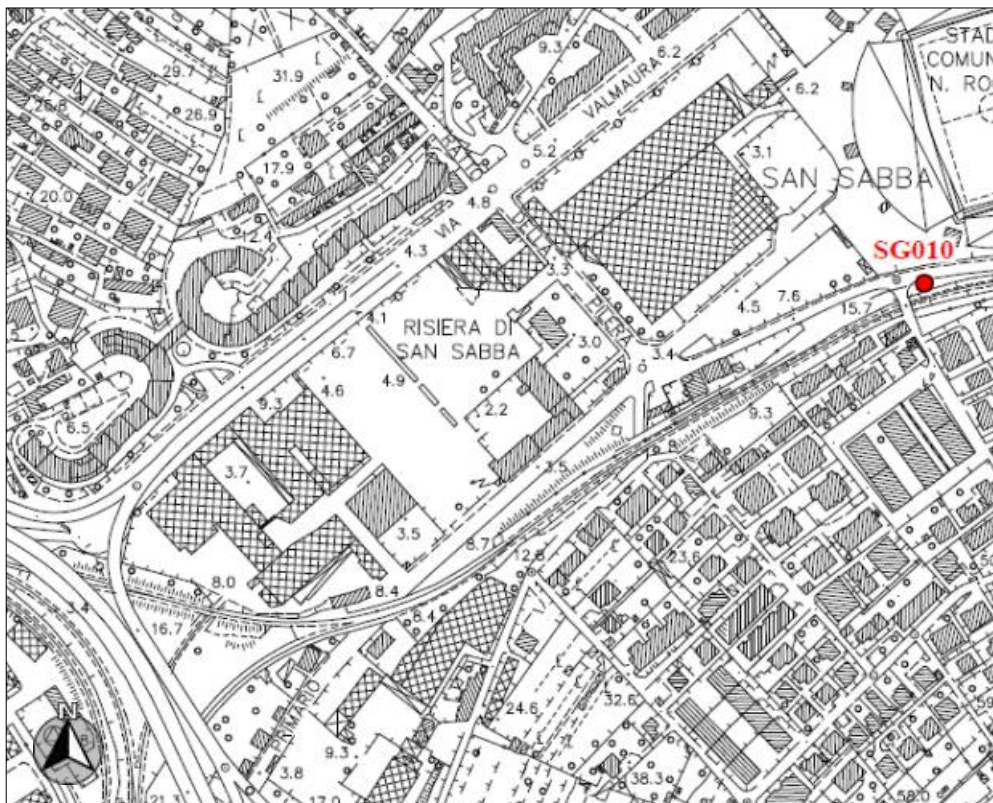


Figura 57

Dall'analisi delle stratigrafie di perforazione dei sondaggi eseguiti negli ambiti sub-orizzontali, ovvero non in corrispondenza degli ambiti collinari con substrato flyschoidale sub-affiorante, si rileva che non sono state eseguite prove S.P.T. in livelli francamente sabbiosi; tuttavia, sono stati analizzati i dati di tali prove nei livelli con presenza di *sabbia in matrice*, di seguito riportati.

<i>Sondaggio</i>	<i>SPT</i>	<i>Quota (m dal p.c.)</i>	<i>N di colpi (N₁/N₂/N₃)</i>	<i>N_{SPT}</i>	<i>N_{SPT*}</i>	<i>N₆₀</i>	<i>(N₁)₆₀</i>
SG001	1	- 1.50 ÷ - 1.95	2/4/2	6	5	3	6
	2	- 3.00 ÷ - 3.45	3/3/3	6	5	3	5
	3	- 4.50 ÷ - 4.95	3/6/7	13	10	9	11
	4	- 6.00 ÷ - 6.45	5/11/11	22	18	16	19
	6	- 17.00 ÷ - 17.45	7/12/19	31	25	24	19
SG002	1	- 3.00 ÷ - 3.45	4/7/13	20	16	12	16
	2	- 4.50 ÷ - 4.95	5/5/9	14	11	9	12
	3	- 6.00 ÷ - 6.45	6/8/10	18	14	13	15
	4	- 7.50 ÷ - 7.95	2/2/3	5	4	4	4
	5	- 17.00 ÷ - 17.45	4/8/14	22	18	17	14
SG003	3	- 4.50 ÷ - 4.95	4/4/22	26	21	17	20
	5	- 7.50 ÷ - 7.95	3/5/6	11	9	8	8
SG004	1	-1.50 ÷ - 1.95	6/6/9	15	12	9	15
	2	- 3.00 ÷ - 3.45	10/16/8	24	19	14	19
SG010	1	- 1.50 ÷ - 1.95	4/4/4	8	6	5	8

Anche in questo caso l'analisi dei dati di $(N_1)_{60}$ delle prove S.P.T. eseguite evidenzia che per tutte le prove i valori sono $(N_1)_{60} < 30$.

Per quanto alle indagini eseguite nel 2023 (*Ground Engineering srl per HHLA-PLT Italy*), la cui ubicazione è meglio evidenziata nella Figura seguente, nel corso delle attività di perforazione sono state eseguite diverse prove S.P.T. in foro a punta chiusa. Anche in questo caso, dalle stratigrafie di perforazione si rileva che non sono state eseguite prove S.P.T. in livelli francamente sabbiosi; tuttavia, sono stati analizzati i dati di tali prove nei livelli con presenza di *sabbia in matrice*, di seguito riportati.



Figura 58

<i>Sondaggio</i>	<i>SPT</i>	<i>Quota (m dal p.c.)</i>	<i>N di colpi (N₁/N₂/N₃)</i>	<i>N_{SPT}</i>	<i>N_{SPT}*</i>	<i>N₆₀</i>	<i>(N₁)₆₀</i>
S05	2	- 4.00 ÷ - 4.45	5/3/6	9	7	6	8
S07	3	- 9.00 ÷ - 9.45	22/14/13	27	21	19	19
S08	5	- 9.00 ÷ - 9.45	6/5/6	11	9	8	8
S09	4	- 12.00 ÷ - 12.45	7/8/9	17	13	13	11

*valore normalizzato a *N_{SPT}* punta aperta mediante moltiplicazione per il coefficiente 0,8

Anche in questo caso l'analisi dei dati di $(N_1)_{60}$ delle prove S.P.T. eseguite evidenzia che per tutte le prove i valori sono $(N_1)_{60} < 30$.

Per quanto alla verifica sulla distribuzione granulometrica dei terreni, sulla base dei dati delle analisi granulometriche eseguite nel 2018, nel 2022 e nel 2023, sono stati definiti i coefficienti di uniformità $U_c < 3.5$ o $U_c > 3.5$, riferiti al rapporto D_{60}/D_{10} , delle analisi granulometriche di laboratorio con presenza di sabbia o di matrice sabbiosa al fine di definire se i fusi granulometrici rientrano in quelli suscettibili di liquefazione. In dettaglio, sono state verificate 40 analisi granulometriche e per 16 analisi è stato rilevato che la curva di distribuzione granulometrica è ricompresa nei fusi granulometrici suscettibili di liquefazione indicati dalle NTC 2018.

Pertanto, sulla base delle analisi così svolte, limitatamente ai livelli con presenza di sabbia o di matrice sabbiosa, *non si può escludere la loro potenziale idoneità a subire fenomeni di liquefazione*. Rispetto a tale tema, per dovere di competenza tecnica specifica, si deve affermare il necessario rimando alle singole relazioni geotecniche in cui si terrà conto dell'aspetto di cui si tratta: in esse si valuta di caso in caso la rilevanza del fenomeno in relazione alle specificità delle opere progettate.

12 CONCLUSIONI

Il quadro geologico e idrogeologico dell'area di progetto è senz'altro adeguatamente investigato e rispondente a quanto stabilito dal paragrafo 6.2.2 delle NTC 2018; le indagini sono state programmate in funzione del tipo di intervento e, anche in relazione alle azioni sismiche, sono conformi a quanto prescritto ai paragrafi 3.2.2 e 7.11.2 delle NTC 2018. In definitiva, le indagini permettono la esaustiva definizione dei modelli geotecnici del sottosuolo necessari alla progettazione.

In questa relazione e nei fascicoli che riportano le diverse indagini effettuate sia a mare, sia nella fascia a terra dell'area dello Scalo Legnami e della ex Ferriera, sia sulla collina di Servola è data compiuta rendicontazione del lavoro svolto e delle conoscenze. Infatti, a partire dal 2005 al 2009 e poi con la serie di ulteriori e molteplici prove condotte fra il 2021 e il 2022 (anche grazie ad un finanziamento europeo CEF) e specificatamente dedicate al PFTE nell'area di progetto sono stati fatti più di 400 sondaggi, oltre a prove piezometriche e geofisiche.

Il gruppo di lavoro beneficia, inoltre, del fatto che ha direttamente seguito sia i sondaggi, sia la progettazione, sia l'esecuzione di opere importanti nella stessa area (caratterizzazione e bonifica nello Scalo Legnami, caratterizzazione e messa in sicurezza dell'area della Piattaforma Logistica, indagini a terra e a mare, barrieramento a mare di Invitalia, ecc.): da questa esperienza più che decennale scaturisce una conoscenza del sito ben più che solo documentale.

La geologia qui è caratterizzata da tre fattispecie maggiormente rilevanti rispetto alle valutazioni geologiche:

1. il flysch integro che sulla collina di Servola è affiorante e che si immerge man mano che si avanza verso il mare; esso è sovrastato dal "cappellaccio", ovvero il flysch alterato;
2. i riporti antropici della piana compresa fra la costa e la collina di Servola e che include lo Scalo Legnami;
3. i depositi quaternari di origine continentale e/o sedimenti marini olocenici con predominanza di limi e argille, molto poco consistenti nei primi 10-15m del fondale.

Nei 27 ettari della MISP dell'area ex a caldo della Ferriera i riporti antropici sono spesso riconducibili agli scarti delle lavorazioni siderurgiche; nell'area dello Scalo Legnami sono molto evidenti i riempimenti fatti con macerie e inerti; in entrambi i casi le aree interessate dalle opere del PFTE hanno sollecitato i suoli con sovraccarichi rilevanti e con vibrazioni che portano a ritenere che gli oltre 120 anni di passato industriale abbiano conferito ai suoli un grado di sovraconsolidazione rilevante, che li rende particolarmente idonei a sostenere i carichi distribuiti riferibili agli usi portuali preconizzati con minimi o trascurabili cedimenti. L'allineamento lungo Valmaura, al compluvio fra la collina di Servola e quella di Giarizzole, è caratterizzato da depositi di materiale a granulometria più fina che non sono di alcun ostacolo alla costruzione delle opere sia perché il ramo ferroviario che si diparte verso San Pantaleone per questioni altimetriche è realizzato in roccia, sia perché le rampe di connessione alla GVT hanno fondazioni profonde (pali) che superano l'interazione con gli spessori meno rigidi per appoggiarsi direttamente sul flysch.

Nella progettazione delle opere a mare e del Molo VIII si deve considerare l'esigenza che le fondazioni superino gli spessori variabili fra 10 e 25m di sedimenti poco consistenti e

inadatti a sostenere i carichi puntuali dei pali: l'appoggio di questi ultimi va cercato principalmente nel sostegno della punta all'interno del flysch integro.

Il rischio di liquefazione di alcuni orizzonti sabbiosi menzionati degli studi geologici di ampia scala in quest'area sussiste, ma è scarsamente significativo per i casi in cui le fondazioni riguardino opere puntuali o quando si tratti di opere con fondazioni direttamente appoggiate al Flysch. Nel solo caso delle strutture di sostegno della ferrovia, poiché si tratta di opere con sviluppo lineare rilevante (il che le renderebbe esposte agli effetti del comportamento geomeccanico differenziale fra le diverse porzioni e, in particolare, in condizioni sismiche) è stato necessario fare delle valutazioni specifiche in seno alla relazione geotecnica ad esse dedicata (elaborato 2FER_P_R_C-GEO_2AT_001_02) senza, tuttavia, derivarne una rilevanza significativa per il dimensionamento strutturale.

Il fronte della collina di Servola interessato sia dal retromarginamento in pali secanti Ø880mm, sia dal rilevato della nuova stazione ferroviaria di Servola interessa un flysch affiorante in reggipoggio che non configura alcun vincolo particolare o circostanza di rischio. Il fronte in franappoggio nel tratto più a nord retrostante lo Scalo Legnami, peraltro evidenziato nella cartografia e nei fatti (sono recenti gli interventi di stabilizzazione del versante con chiodature e reti in acciaio di ritenuta), non ha rilevanza diretta per le opere in progetto, poiché il sedime interessato dal vecchio e nuovo depuratore di Servola le separa di oltre 120m dal fronte instabile.

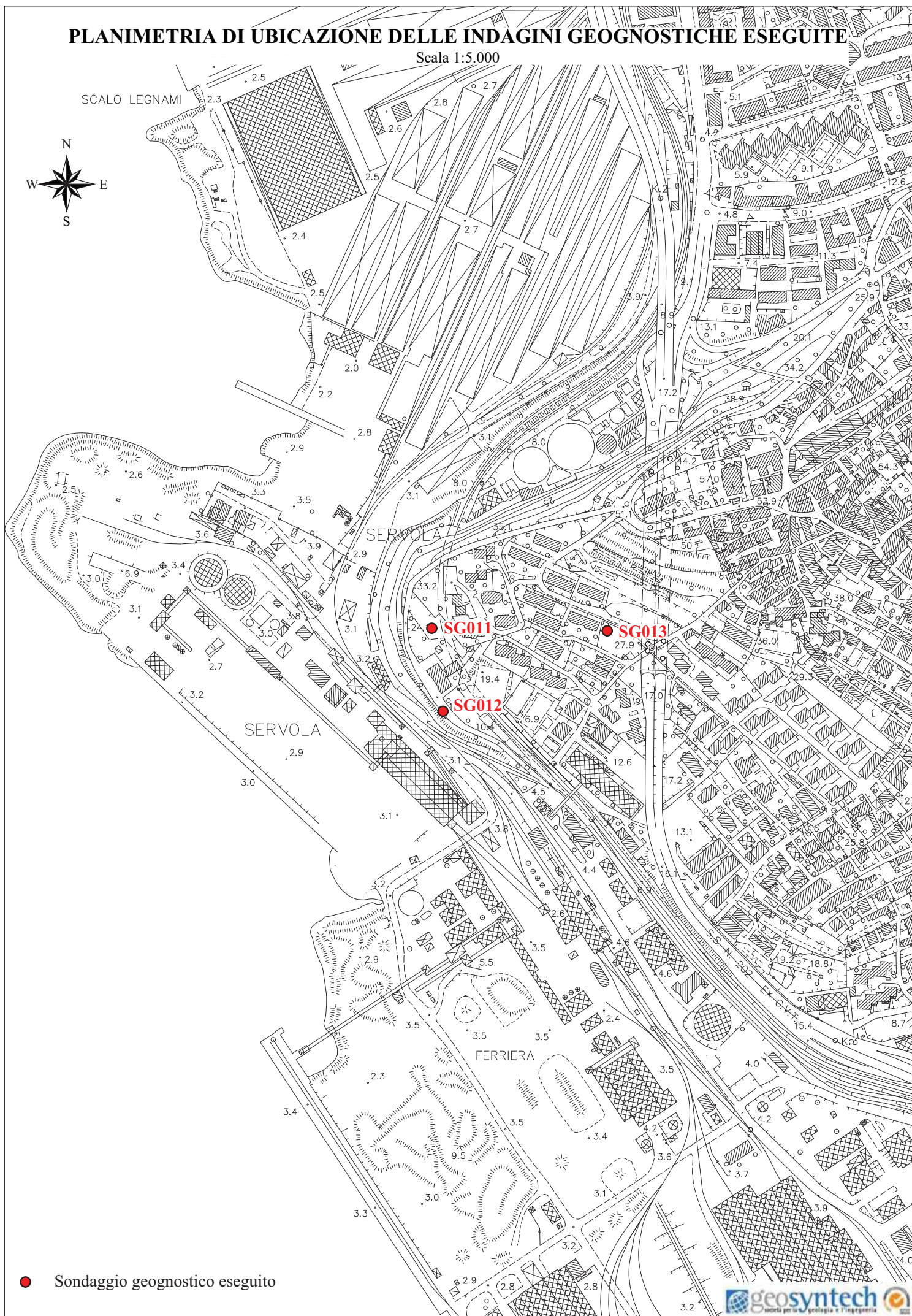
Le faglie non pongono vincoli o condizioni di rilievo per la progettazione delle opere; anche la faglia di San Bartolomeo-Trieste che, sulla base delle ricostruzioni degli anni '70 avrebbe interessato l'impronta del Molo VIII, a seguito di specifiche indagini e approfondimenti, si esclude sia attiva o capace e, quindi, che sia di alcun impedimento alla realizzazione delle opere.

13 ALLEGATO 1: SPECIFICITÀ GEOLOGICHE DELLA COLLINA DI SERVOLA

Di seguito si riportano la planimetria di ubicazione e le relative stratigrafie di perforazione di sondaggi eseguiti nell'area della collina di Servola.

PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

Scala 1:5.000



● Sondaggio geognostico eseguito



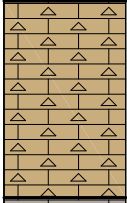
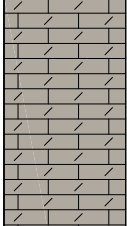
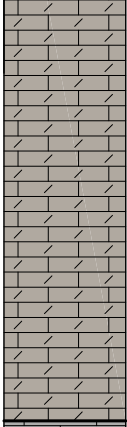
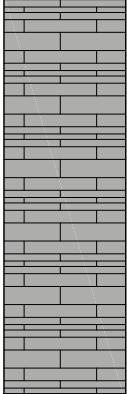
COMMITTENTE: **HHLA PLT Italy s.r.l.** - Viale Miramare, 5 - 34135 Trieste

CANTIERE: Indagini sulle aree a terra e a mare interessate dalla progettazione delle opere ferroviarie e portuali

SONDAGGIO: **SG011** Data inizio: 03.02.2022 Data ultimazione: 08.02.2022

Coordinate Gauss-Boaga: 5053061.45 N, 2424713.01 E Quota p.c. + 26.25 m s.l.m.m.

Responsabile: dott. geol. A. De Giusto Operatore: Z. Jugovac Attrezzatura: Puntel PX 600

DATA	Da m 0.00	A m 10.00	Profondità finale m 27.00	Profondità m. dal p.c.	Colonna stratigrafica	PROVE			Prove in sito			Prova SPT			Piezometro (Ø 2")	Metodo di perforazione	Utensile di perforazione	Rivestimento
	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA					Tipo	Numero	Profondità m. da p.c.	Pocket pen. kg/cm ²	Pocket vane kg/cm ²	Tipo di punta	Numero colpi per tratto (6")	Profondità					
03.02.2022	Conglomerato bituminoso.			0.10														
	Sottopavimentazione stradale.			0.70														
	Terreni di copertura eluvio-colluviali di colore marrone.			1.70														
	Flysch marnoso-arenaceo alterato, con marne di colore nocciola-ocraceo, argillificate e destrutturate, con clasti arenacei. (Complesso C1)			3.00														
Flysch marnoso-arenaceo integro, con marne di colore nocciola, molto fratturate e localmente argillificate, con subordinati livelli centimetrici arenacei. (Tipo T3/T4)			7.30															
Flysch arenaceo-marnoso integro, con strati arenacei decimetrici, di colore grigio-azzurro con venature calcitiche e strati marnosi centimetrici, di colore giallo-ocraceo. (Tipo T2)																		

○ prova SPT a punta aperta

● prova SPT a punta chiusa



prova Lefranc

COMMITTENTE: **HHLA PLT Italy s.r.l.** - Viale Miramare, 5 - 34135 Trieste

CANTIERE: Indagini sulle aree a terra e a mare interessate dalla progettazione delle opere ferroviarie e portuali

SONDAGGIO: **SG011** Data inizio: 03.02.2022 Data ultimazione: 08.02.2022

Coordinate Gauss-Boaga: 5053061.45 N, 2424713.01 E Quota p.c. + 26.25 m s.l.m.m.

Responsabile: dott. geol. A. De Giusto Operatore: Z. Jugovac Attrezzatura: Puntel PX 600

DATA	Da m 10.00	A m 20.00	Profondità finale m 27.00	Profondità m. dal p.c.	Colonna stratigrafica	PROVE		Prove in sito		Prova SPT			Piezometro (Ø 2")	Metodo di perforazione	Utensile di perforazione	Rivestimento
	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA					Tipo	Numero	Profondità m. da p.c.	Pocket pen. kg/cm ²	Pocket vane kg/cm ²	Tipo di punta	Numero colpi per tratto (6")				
03.02 2022							L1	10.00 10.50								
07.02.2022	Flysch arenaceo-marnoso integro, con strati arenacei decimetrici, di colore grigio-azzurro con venature calcitiche e strati marnosi centimetrici, di colore giallo-ocraceo. (Tipo T2)															
08.02.2022							L2	18.00 20.00								

○ prova SPT a punta aperta
● prova SPT a punta chiusa

 prova Lefranc

COMMITTENTE: **HHLA PLT Italy s.r.l.** - Viale Miramare, 5 - 34135 Trieste

CANTIERE: Indagini sulle aree a terra e a mare interessate dalla progettazione delle opere ferroviarie e portuali

SONDAGGIO: **SG011** Data inizio: 03.02.2022 Data ultimazione: 08.02.2022

Coordinate Gauss-Boaga: 5053061.45 N, 2424713.01 E Quota p.c. + 26.25 m s.l.m.m.

Responsabile: dott. geol. A. De Giusto Operatore: Z. Jugovac Attrezzatura: Puntel PX 600

DATA	Da m20.00	A m 30.00	Profondità finale m 27.00	Profondità m. dal p.c.	Colonna stratigrafica	PROVE		Prove in sito		Prova SPT			Piezometro (Ø 2")	Metodo di perforazione	Utensile di perforazione	Rivestimento
	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA					Tipo	Numero	Profondità m. da p.c.	Pocket pen. kg/cm ²	Pocket vane kg/cm ²	Tipo di punta	Numero colpi per tratto (6")				
08.02/2022	Flysch arenaceo-marnoso integro, con strati arenacei decimetrici, di colore grigio-azzurro con venature calcitiche e strati marnosi centimetrici, di colore giallo-ocraceo. (Tipo T2)			27.00								finestrato	continuo con acqua	carotiere doppio T6 Ø 101 mm		

○ prova SPT a punta aperta
● prova SPT a punta chiusa

 prova Lefranc

Sondaggio SG011



da 0.0 m a - 5.0 m dal p.c.



da - 5.0 m a - 10.0 m dal p.c.



da - 10.0 m a - 15.0 m dal p.c.



da - 15.0 m a - 20.0 m dal p.c.



da - 20.0 m a - 25.0 m dal p.c.



da - 25.0 m a - 30.0 m dal p.c.

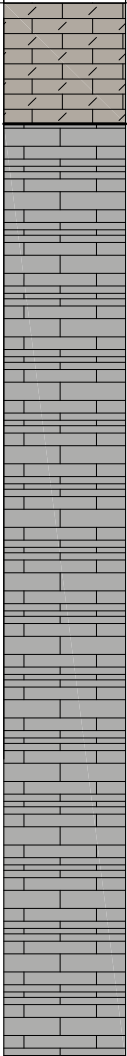
COMMITTENTE: **HHLA PLT Italy s.r.l.** - Viale Miramare, 5 - 34135 Trieste

CANTIERE: Indagini sulle aree a terra e a mare interessate dalla progettazione delle opere ferroviarie e portuali

SONDAGGIO: **SG012** Data inizio: 27.01.2022 Data ultimazione: 28.01.2022

Coordinate Gauss-Boaga: 5052971.84 N, 2424725.18 E Quota p.c. + 16.05 m s.l.m.m.

Responsabile: dott. geol. A. De Giusto Operatore: R. Li Pira Attrezzatura: Mustang 9-T1

DATA	Da m 10.00	A m 20.00	Profondità finale m 17.00	Profondità m. dal p.c.	Colonna stratigrafica	PROVE		Prove in sito		Prova SPT			Piezometro (Ø 2")	Metodo di perforazione	Utensile di perforazione	Rivestimento
	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA					Tipo	Numero	Profondità m. da p.c.	Pocket pen. kg/cm ²	Pocket vane kg/cm ²	Tipo di punta	Numero colpi per tratto (6")				
28.01.2022	Flysch marnoso-arenaceo integro, con strati marnosi centimetrici, di colore grigio-azzurro, talora giallo-ocraceo e strati arenacei centimetrici, di colore grigio-azzurro. (Tipo T3/T4)			10.80		L2	12.00 13.00						finestrato	a secco	Ø 101 mm	Ø 127 mm
	Flysch arenaceo-marnoso integro, con strati arenacei da centimetrici a pluricentimetrici, di colore grigio-azzurro con venature calcitiche e strati marnosi centimetrici, di colore grigio. (Tipo T2)			17.00										continuo con acqua	carotiere doppio T6 Ø 101 mm	

○ prova SPT a punta aperta

● prova SPT a punta chiusa



prova Lefranc

Sondaggio SG012



da 0.0 m a - 5.0 m dal p.c.



da - 5.0 m a - 10.0 m dal p.c.



da - 10.0 m a - 15.0 m dal p.c.



da - 15.0 m a - 20.0 m dal p.c.

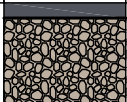

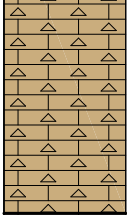
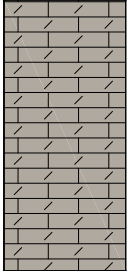
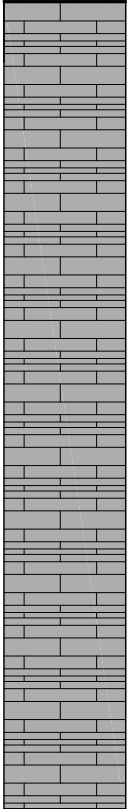
COMMITTENTE: **HHLA PLT Italy s.r.l.** - Viale Miramare, 5 - 34135 Trieste

CANTIERE: Indagini sulle aree a terra e a mare interessate dalla progettazione delle opere ferroviarie e portuali

SONDAGGIO: **SG013** Data inizio: 11.02.2022 Data ultimazione: 16.02.2022

Coordinate Gauss-Boaga: 5053058.72 N, 2424902.33 E Quota p.c. + 29.58 m s.l.m.m.

Responsabile: dott. geol. A. De Giusto Operatore: Z. Jugovac Attrezzatura: Puntel PX 600

DATA	Da m 0.00	A m 10.00	Profondità finale m 29.50	Profondità m. dal p.c.	Colonna stratigrafica	PROVE			Prove in sito			Prova SPT			Piezometro (Ø 2")	Metodo di perforazione	Utensile di perforazione	Rivestimento	
	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA					Tipo	Numero	Profondità m. da p.c.	Pocket pen. kg/cm ²	Pocket vane kg/cm ²	Tipo di punta	Numero colpi per tratto (6")	Profondità						
11.02.2022	Conglomerato bituminoso.			0.10															
	Materiali di riporto con ghiaia calcarea, da fina a grossa, subarrotondata, limoso- sabbiosa, di colore marrone-nocciola.			0.70															
	Flysch marnoso-arenaceo alterato, con strati marnosi centimetrici, di colore nocciola, disarticolati e clasti arenacei. (Complesso C1)			2.80															
	Flysch marnoso-arenaceo integro, con strati marnosi centimetrici, di colore giallo-ocraceo, e strati arenacei centimetrici, di colore marrone-nocciola. (Tipo T3/T4)			4.60															
Flysch arenaceo-marnoso integro, con strati arenacei da pluricentimetrici a decimetrici, di colore grigio-azzurro con venature calcitiche e strati marnosi centimetrici, di colore da grigio-azzurro a giallo-ocraceo. (Tipo T2)																			
																cieco	continuo a secco	carotiere semplice Ø 101 mm	
																finestrato	continuo a secco	carotiere doppio T6 Ø 101 mm	Ø 127 mm

○ prova SPT a punta aperta

● prova SPT a punta chiusa



prova Lefranc

COMMITTENTE: **HHLA PLT Italy s.r.l.** - Viale Miramare, 5 - 34135 Trieste

CANTIERE: Indagini sulle aree a terra e a mare interessate dalla progettazione delle opere ferroviarie e portuali

SONDAGGIO: **SG013** Data inizio: 11.02.2022 Data ultimazione: 16.02.2022

Coordinate Gauss-Boaga: 5053058.72 N, 2424902.33 E Quota p.c. + 29.58 m s.l.m.m.

Responsabile: dott. geol. A. De Giusto Operatore: Z. Jugovac Attrezzatura: Puntel PX 600

DATA	Da m 10.00	A m 20.00	Profondità finale m 29.50	Profondità m. dal p.c.	Colonna stratigrafica	PROVE		Prove in sito		Prova SPT			Piezometro (Ø 2")	Metodo di perforazione	Utensile di perforazione	Rivestimento
	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA					Tipo	Numero	Profondità m. da p.c.	Pocket pen. kg/cm ²	Pocket vane kg/cm ²	Tipo di punta	Numero colpi per tratto (6")				
11.02.2022							LI	10.00 10.70								
14.02.2022	Flysch arenaceo-marnoso integro, con strati arenacei da pluricentimetrici a decimetrici, di colore grigio-azzurro con venature calcitiche e strati marnosi centimetrici, di colore da grigio-azzurro a giallo-ocraceo. (Tipo T2)													continuo a secco	carotiere doppio T6 Ø 101 mm	Ø 127 mm
16.02.2022																

○ prova SPT a punta aperta
● prova SPT a punta chiusa

 prova Lefranc

COMMITTENTE: **HHLA PLT Italy s.r.l.** - Viale Miramare, 5 - 34135 Trieste

CANTIERE: Indagini sulle aree a terra e a mare interessate dalla progettazione delle opere ferroviarie e portuali

SONDAGGIO: **SG013** Data inizio: 11.02.2022 Data ultimazione: 16.02.2022

Coordinate Gauss-Boaga: 5053058.72 N, 2424902.33 E Quota p.c. + 29.58 m s.l.m.m.

Responsabile: dott. geol. A. De Giusto Operatore: Z. Jugovac Attrezzatura: Puntel PX 600

DATA	Da m20.00	A m 30.00	Profondità finale m 29.50	Profondità m. dal p.c.	Colonna stratigrafica	PROVE		Prove in sito		Prova SPT			Piezometro (Ø 2")	Metodo di perforazione	Utensile di perforazione	Rivestimento
	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA					Tipo	Numero	Profondità m. da p.c.	Pocket pen. kg/cm ²	Pocket vane kg/cm ²	Tipo di punta	Numero colpi per tratto (6")				
16.02/2022	Flysch arenaceo-marnoso integro, con strati arenacei da pluricentimetrici a decimetrici, di colore grigio-azzurro con venature calcitiche e strati marnosi centimetrici, di colore da grigio-azzurro a giallo-ocraceo. (Tipo T2)					L2	20.00 21.00						finestrato	continuo con acqua	carotiere doppio T6 Ø 101 mm	
				29.50												

○ prova SPT a punta aperta
● prova SPT a punta chiusa

 prova Lefranc

Sondaggio SG013



da 0.0 m a - 5.0 m dal p.c.



da - 5.0 m a - 10.0 m dal p.c.



da - 10.0 m a - 15.0 m dal p.c.



da - 15.0 m a - 20.0 m dal p.c.



da - 20.0 m a - 25.0 m dal p.c.

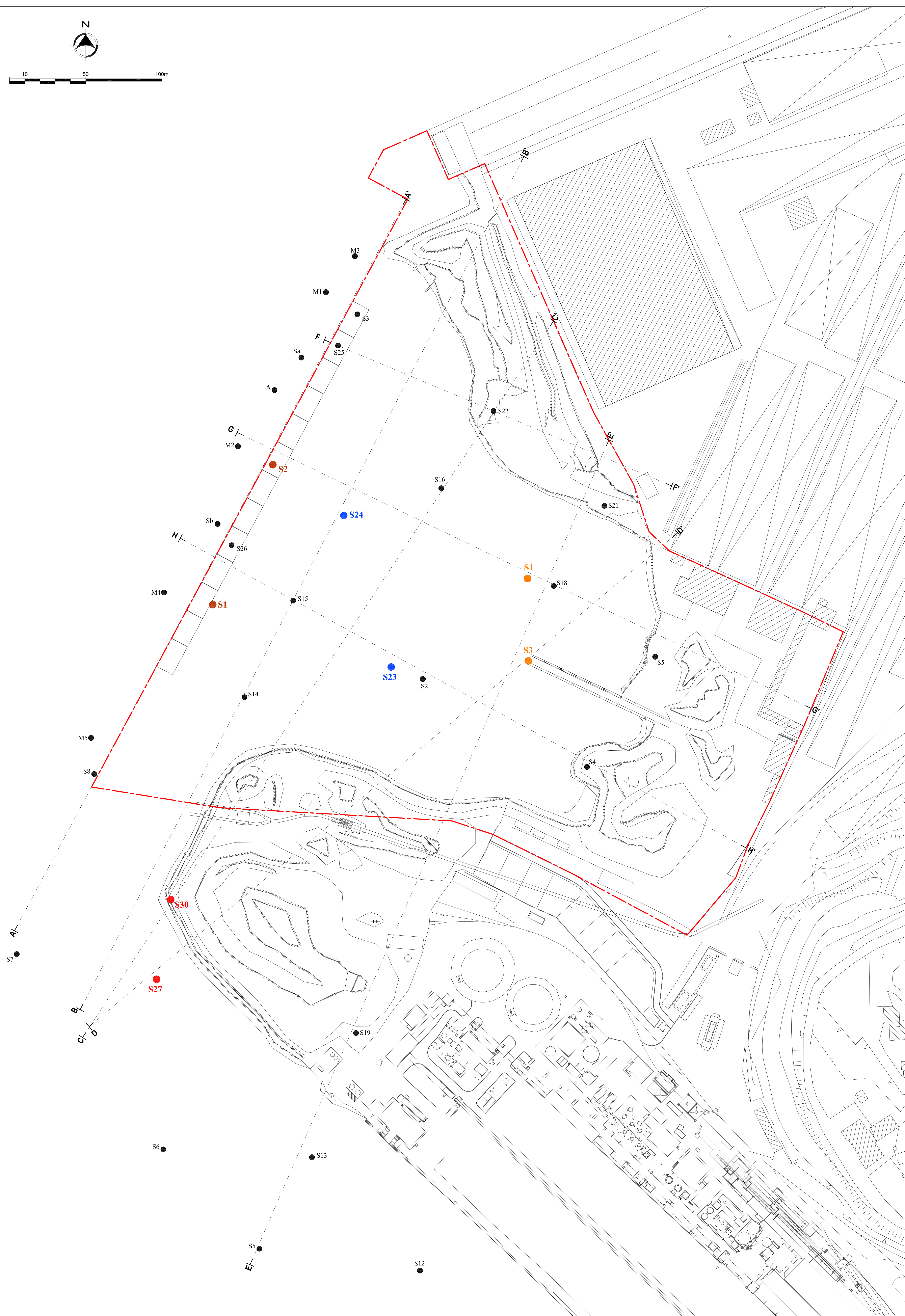
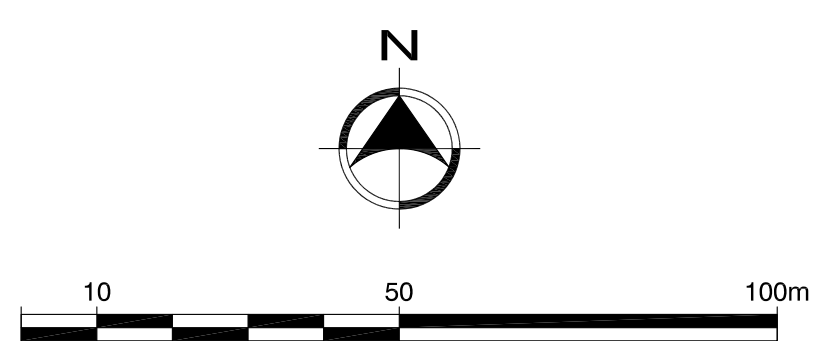


da - 25.0 m a - 30.0 m dal p.c.

14 ALLEGATO 2: SEZIONI GEOLOGICHE INTERPRETATIVE

Di seguito si riportano la planimetria di ubicazione e le derivate sezioni geologiche interpretative che sono state elaborate in occasione di precedenti indagini e progettazioni nella medesima area:

1. prog. APT 1563: *lavori di realizzazione della Piattaforma Logistica di Trieste tra lo Scalo Legnami e l'ex Italsider e conseguenti opere di collegamento* (progetto definitivo primo stralcio 2011)
2. prog. APT 1563: *lavori di realizzazione della Piattaforma Logistica di Trieste tra lo Scalo Legnami e l'ex Italsider e conseguenti opere di collegamento* (progetto definitivo secondo stralcio 2009)
3. *Servizio di rilievo topografico e campagna di indagini geognostiche e prospezioni sismiche per l'area di ampliamento del depuratore di Servola* (Geosyntech per AcegasAPS, 2011)
4. *Campagna di indagini geognostiche e idrogeologiche finalizzata al progetto di messa in sicurezza della ferriera di Servola attraverso interventi di marginamento fisico dell'area demaniale in concessione e di trattamento delle acque di falda contaminate*. CIG: 6867889949 CUP: D97B14000720001 (RTI Merieux Nutrisience, Geosyntech, Geoalpina, LGT per Invitalia, 2018)
5. Piano delle indagini sulle aree a terra e a mare interessate dalla progettazione delle opere ferroviarie e portuali (RTI Geosyntech, Italspurghi, Geoalpina, IGS per HHLA PLT Italy, 2018)



INDAGINI GEONOSTICHE ESEGUITE NELL'AREA ED UTILIZZATE PER LA DEFINIZIONE DELL'ASSETTO GEOLITOLOGICO E LITOSTRATIGRAFICO DEL PRIMO STRALCIO :
35 SONDAGGI

- LIMITE AREA PRIMO STRALCIO
- **S1** ● **S1**
SONDAGGI GEONOSTICI CON DETERMINAZIONE DEL VALORE DI PERMEABILITA' (**8 SONDAGGI**)
- **S27** ● **S23**
SONDAGGI GEONOSTICI SENZA DETERMINAZIONE DEL VALORE DI PERMEABILITA' (**27 SONDAGGI**)
- **S1**
SONDAGGI GEONOSTICI SENZA DETERMINAZIONE DEL VALORE DI PERMEABILITA' (**27 SONDAGGI**)
- |---|' **A-A'** TRACCIA DI SEZIONE GEOLOGICO-INTERPRETATIVA



AUTORITA' PORTUALE DI TRIESTE



LAVORI DI REALIZZAZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA IN AREA PORTUALE COMPRESA TRA LO SCALO LEGNAMI E L'EX-ITALSIDER E CONSEGUENTI OPERE DI COLLEGAMENTO - PROG. A.P.T. N. 1563

PROGETTO DEFINITIVO - PRIMO STRALCIO
Integrazioni progettuali di cui alle prescrizioni della
Conferenza Servizi decisoria del Ministero Ambiente dd. 07.04.2010

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO PER L'AUTORITA' PORTUALE DI TRIESTE: Dot. Ing. EMARCONI

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE TRA:		REDAZIONE DELL'ELABORATO	
 ACQUATECNO S.r.l. Marsilata	 C&T engineering s.r.l.	 D.A.M. S.p.A.	SOCIETA': Geosyntech S.r.l.
 Geosyntech S.r.l.	 Progetti e Ambiente S.p.A.	RESPONSABILE: Dot. geol. Carlo Alberto Masali	

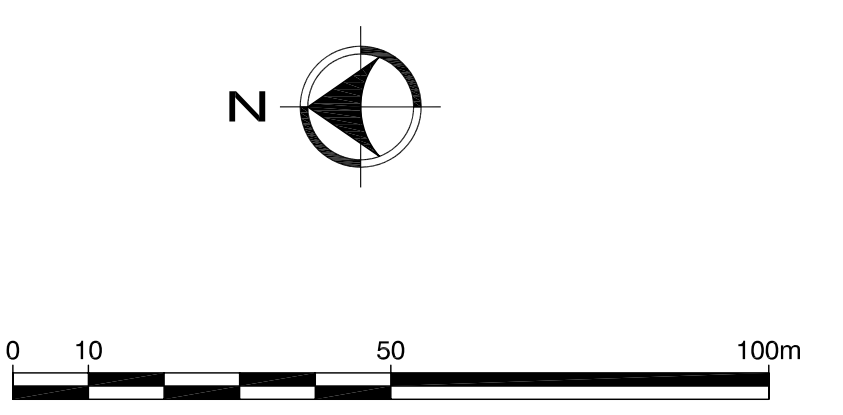
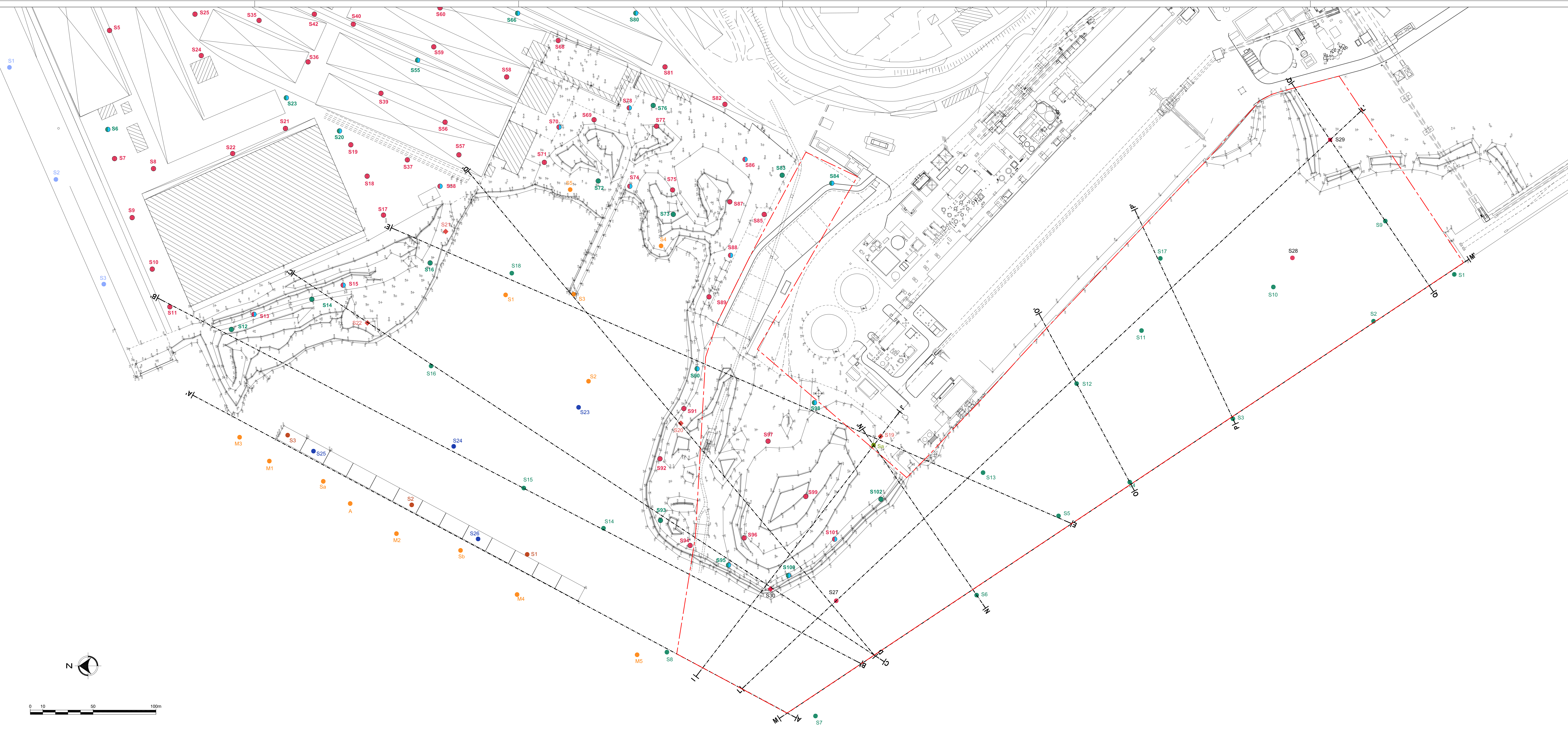
DIREZIONE DI PROGETTO PER L'ATI: ACQUATECNO S.r.l. Dot. Ing. Paolo Turboleni

TITOLO ELABORATO: PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEONOSTICHE ESEGUITE NELL'AREA	ELABORATO N°: GEO 01
---	--------------------------------

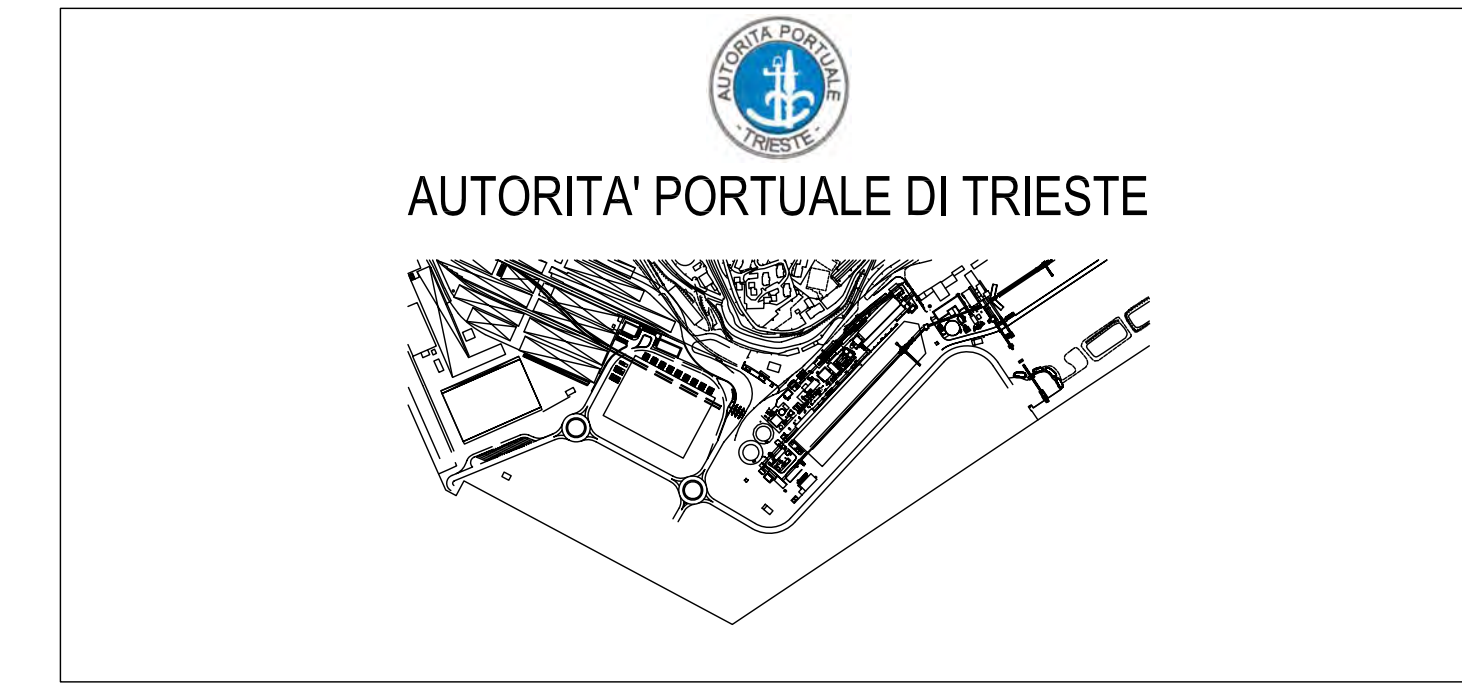
ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO	NOME FILE: GEO 01		
ES/A	L. Fazio Cirio	C. A. Masali	REG.	VER.	APP.
N.	DATA	DESCRIZIONE			

DATA: **APRILE 2011**
SCALA: **1:1.000**

*A TERMINI DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO CON DIVIETO DI RIPRODURRE, RENDENDOLO NOTO A TERZI ANCHE PARZIALMENTE SENZA NOSTRA AUTORIZZAZIONE.



- - - LIMITE AREA SECONDO STRALCIO
- Sa SONDAGGIO CON ANALISI D.M. 471/99 E ANALISI ACQUE DI FALDA (Geosyntech srl - 2002)
- S1 SONDAGGIO GEOGNOSTICO (Geosyntech srl - 2002)
- S2 SONDAGGIO GEOGNOSTICO (Imprefond srl - 2000*2001)
- S2 SONDAGGIO GEOGNOSTICO (Mecaso srl - 1999)
- S21 SONDAGGIO GEOGNOSTICO (Imprefond srl - 2003)
- S18 SONDAGGIO GEOGNOSTICO A MARE (Imprefond srl - 2003)
- S23 SONDAGGIO GEOGNOSTICO A MARE (Geosyntech srl - 2008)
- S2 SONDAGGIO GEOGNOSTICO A MARE (A.T.I. Imprefond srl - Geosyntech srl - Theolab srl - 2009)
- S21 SONDAGGIO GEOGNOSTICO (Geosyntech srl - 2009)
- S5 SONDAGGIO AMBIENTALE (Geosyntech srl - 2008)
- S4 SONDAGGIO AMBIENTALE ARMATO CON TUBO PIEZOMETRICO (Geosyntech srl - 2008)
- S14 SONDAGGIO AMBIENTALE (Geosyntech srl - 2005)
- S34 SONDAGGIO AMBIENTALE ARMATO CON TUBO PIEZOMETRICO (Geosyntech srl - 2005)
- A-A' TRACCIA DI SEZIONE GEOLOGICO-INTERPRETATIVA



LAVORI DI REALIZZAZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA IN AREA PORTUALE COMPRESA TRA LO SCALO LEGNAMI E L'EX-ITALSIDER E CONSEGUENTI OPERE DI COLLEGAMENTO - PROG. A.P.T. N. 1563

PROGETTO DEFINITIVO - SECONDO STRALCIO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO PER L'AUTORITA' PORTUALE DI TRIESTE: Dott. Ing. E. MARCONI

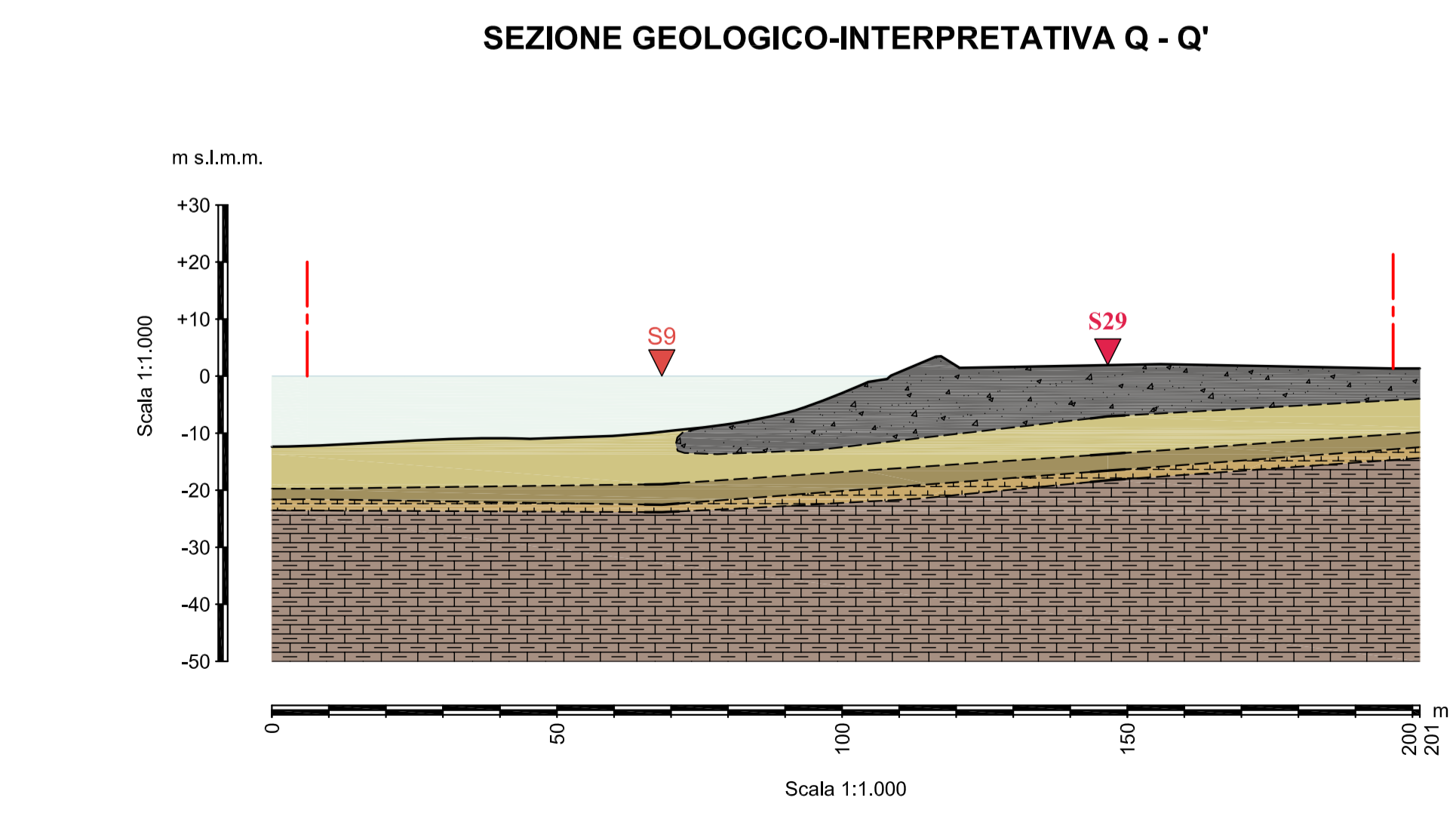
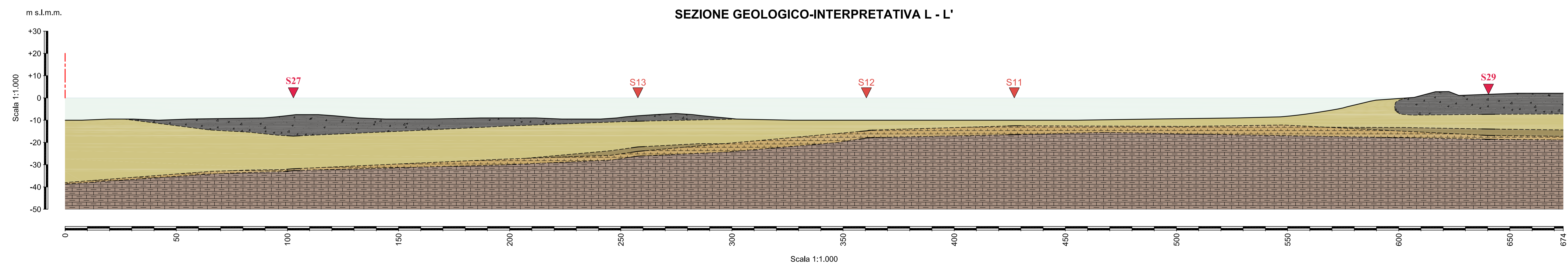
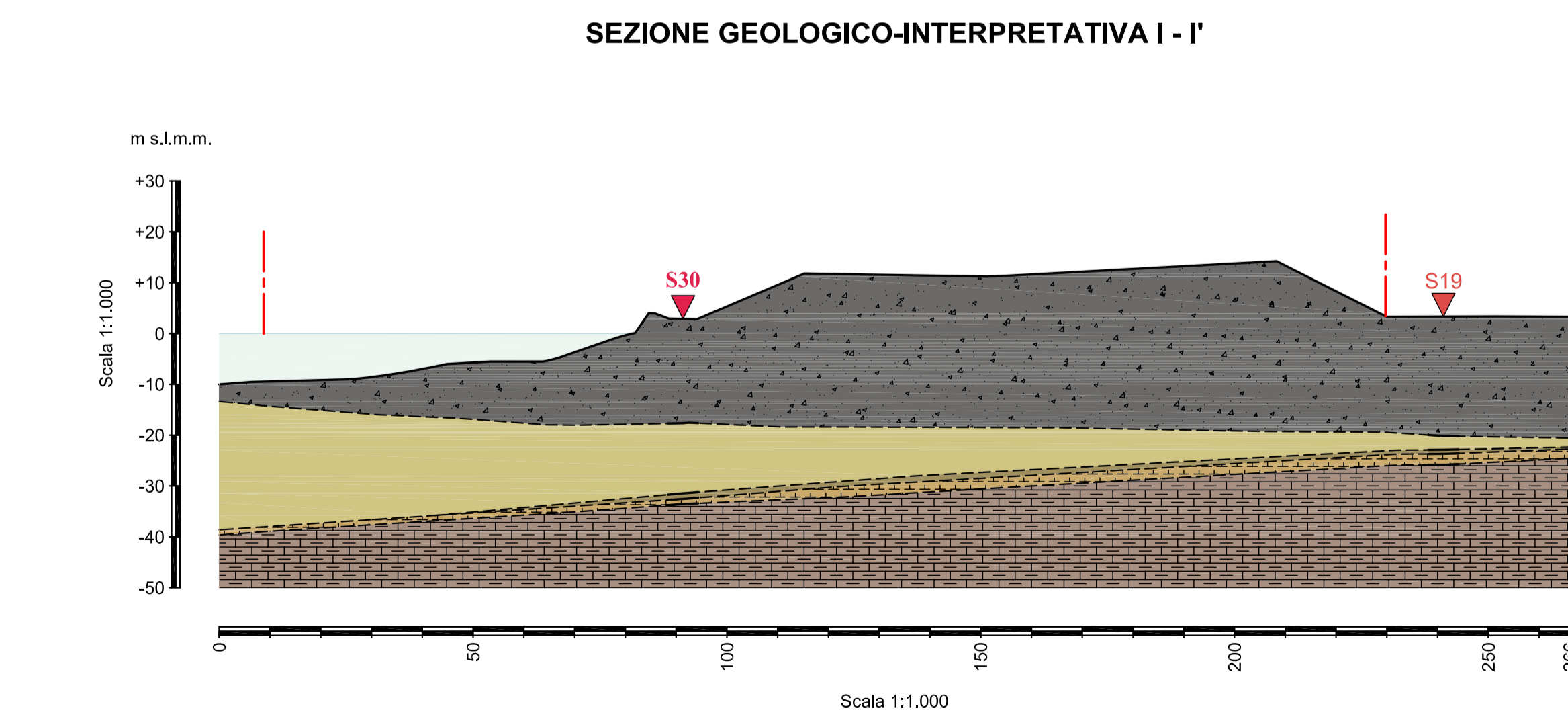
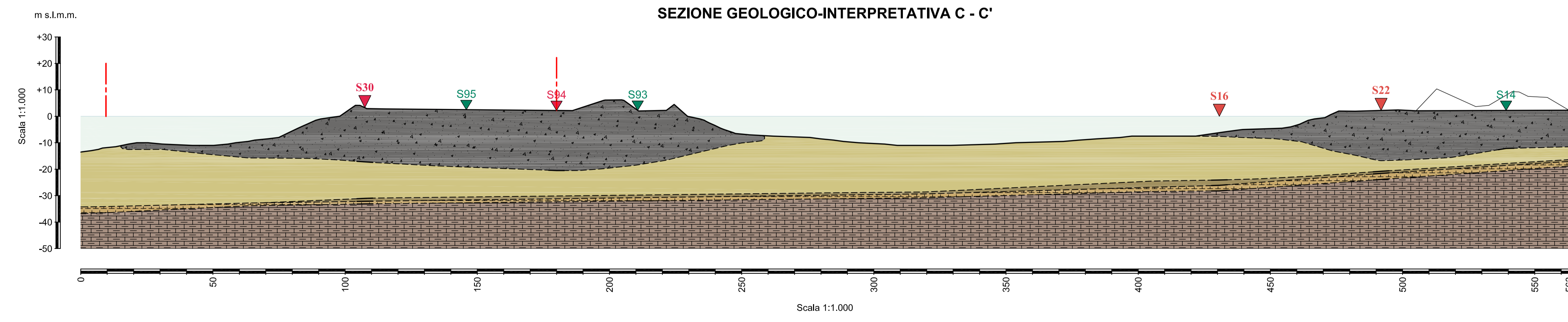
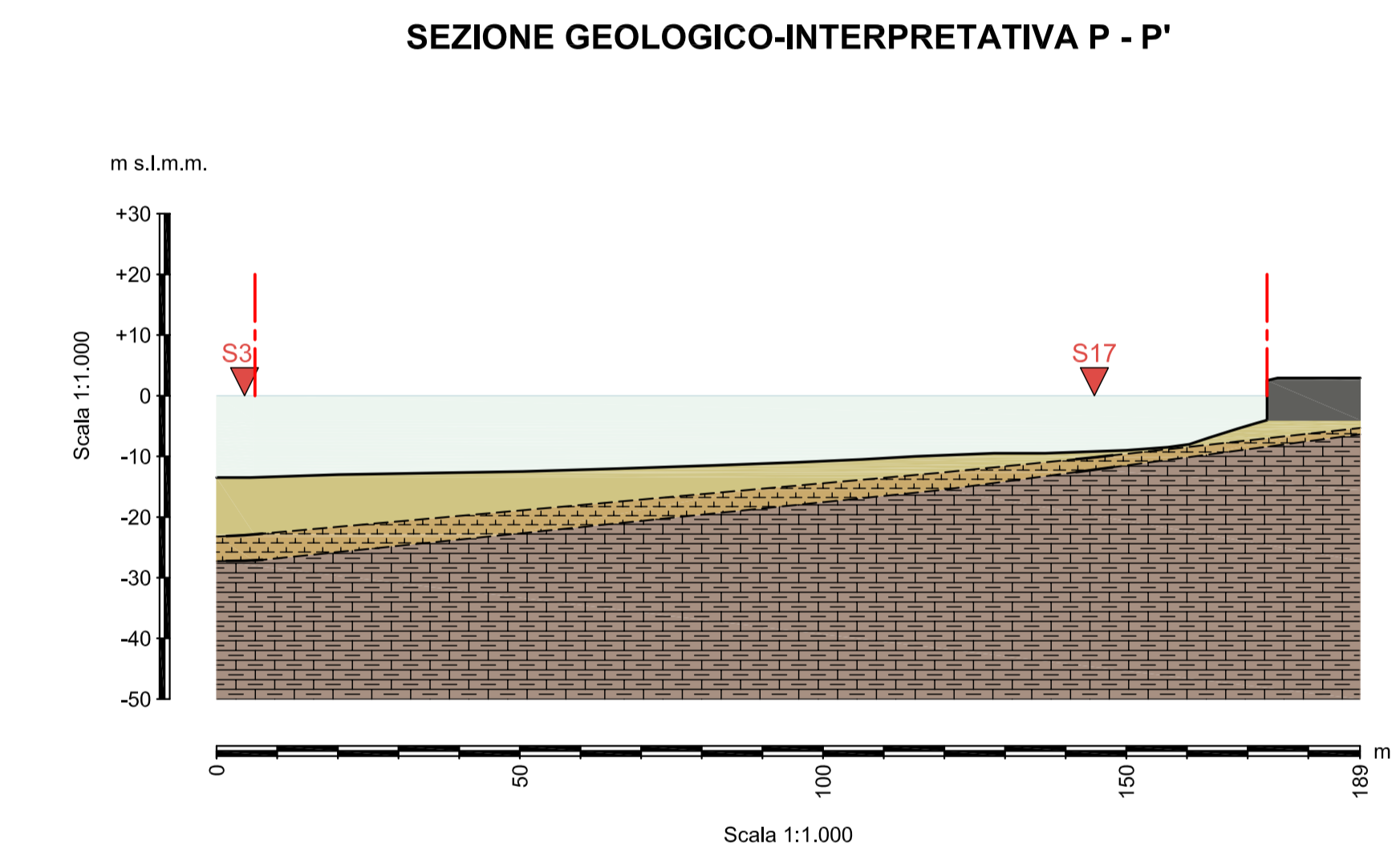
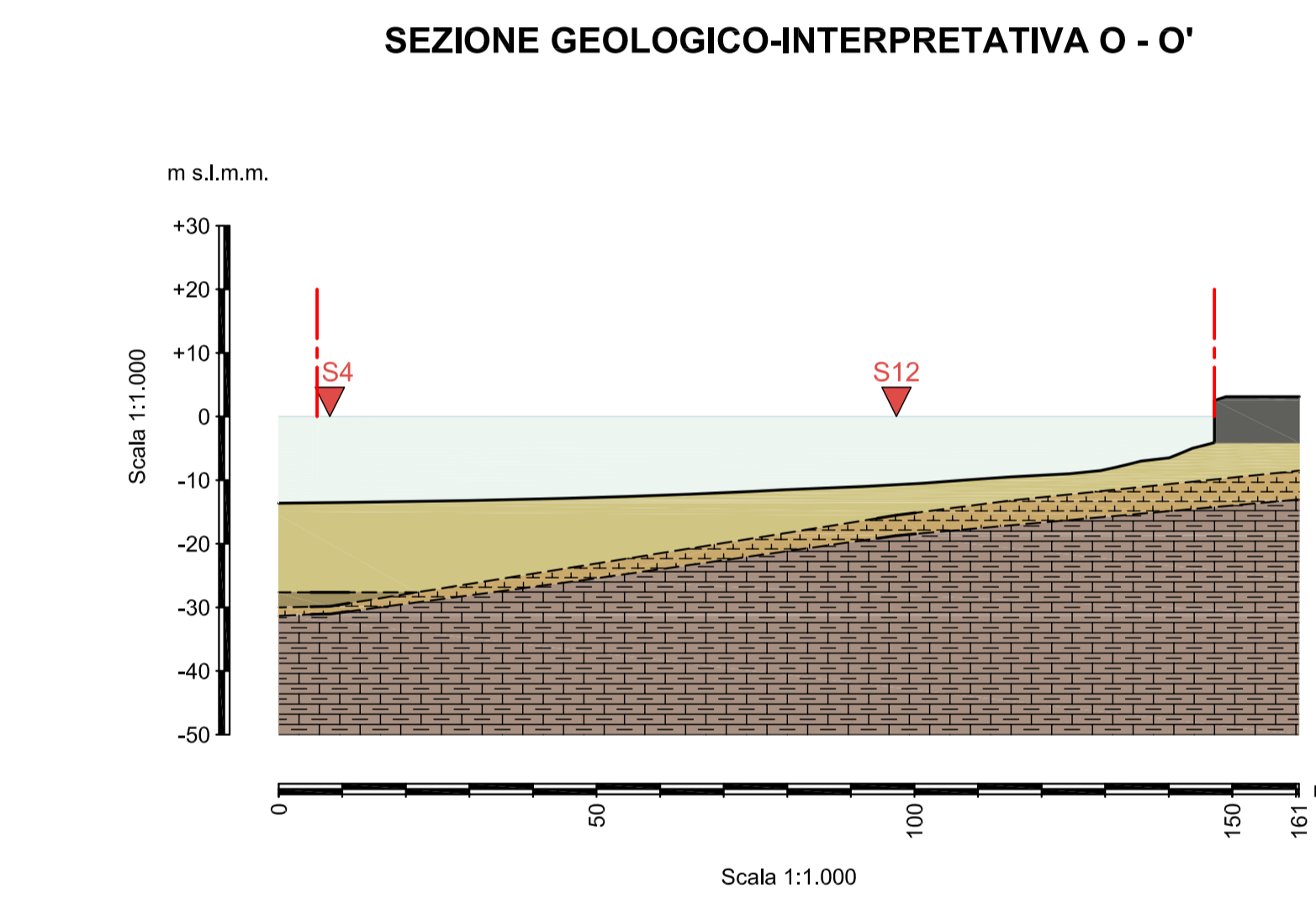
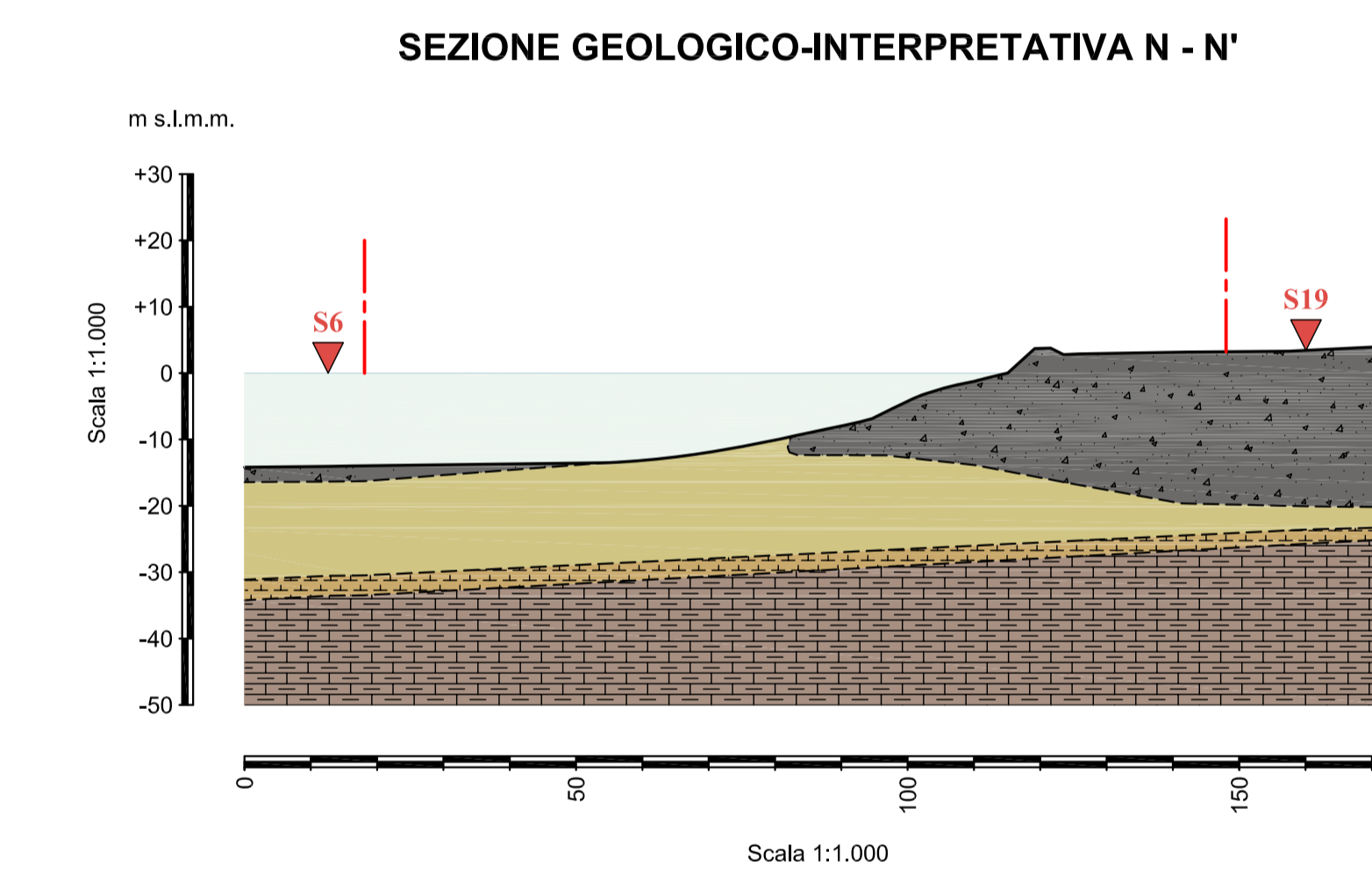
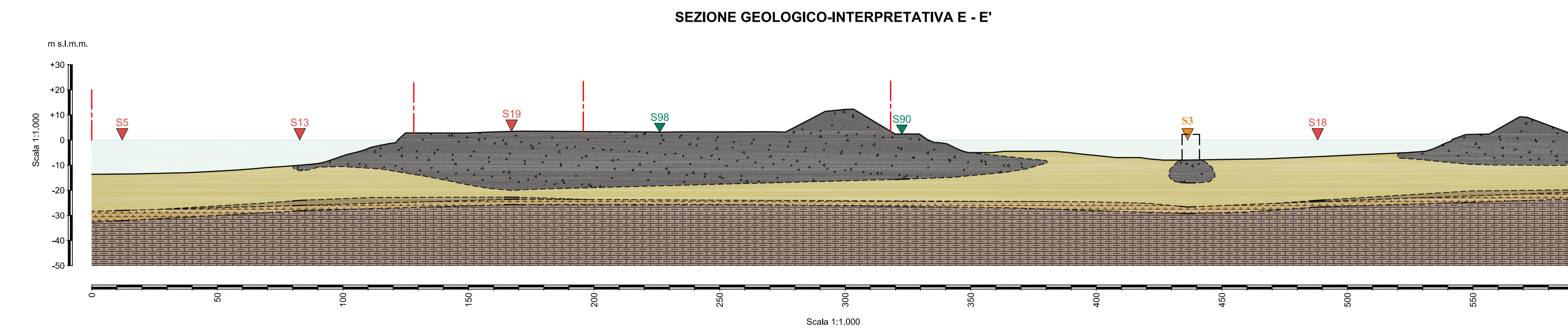
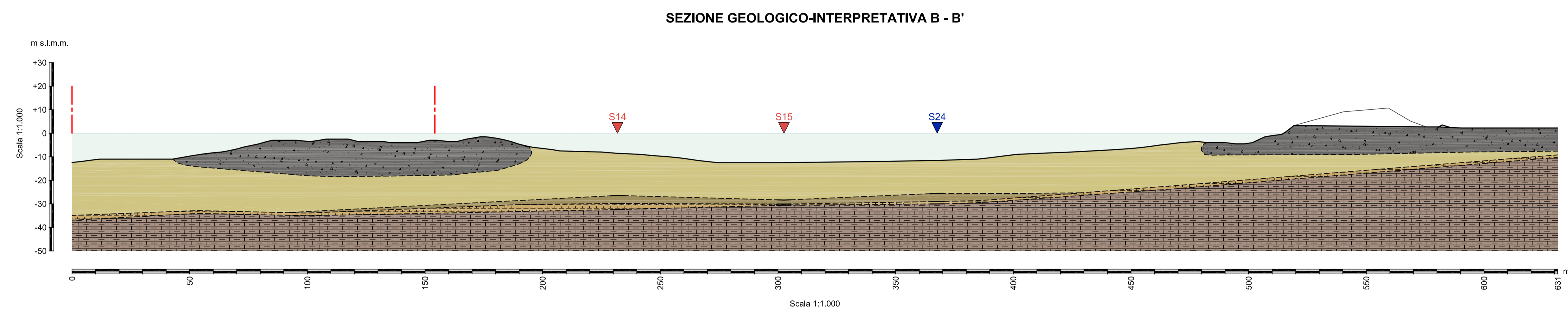
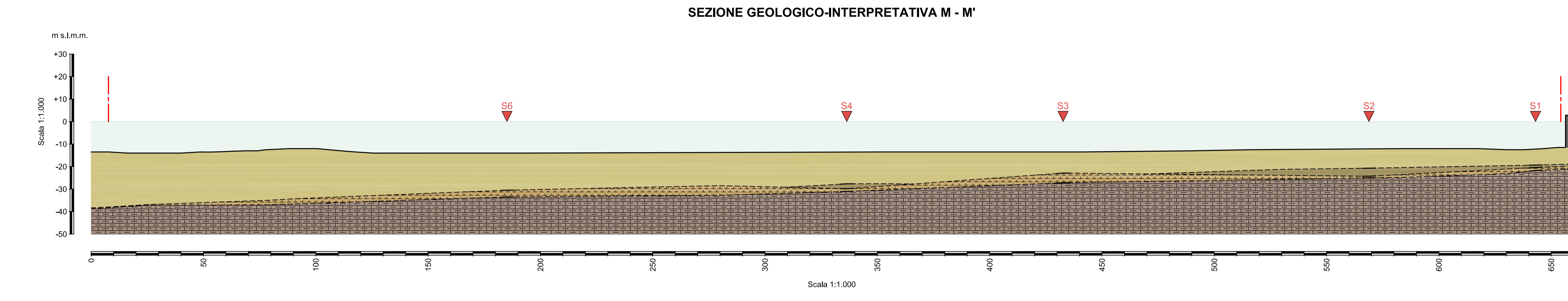
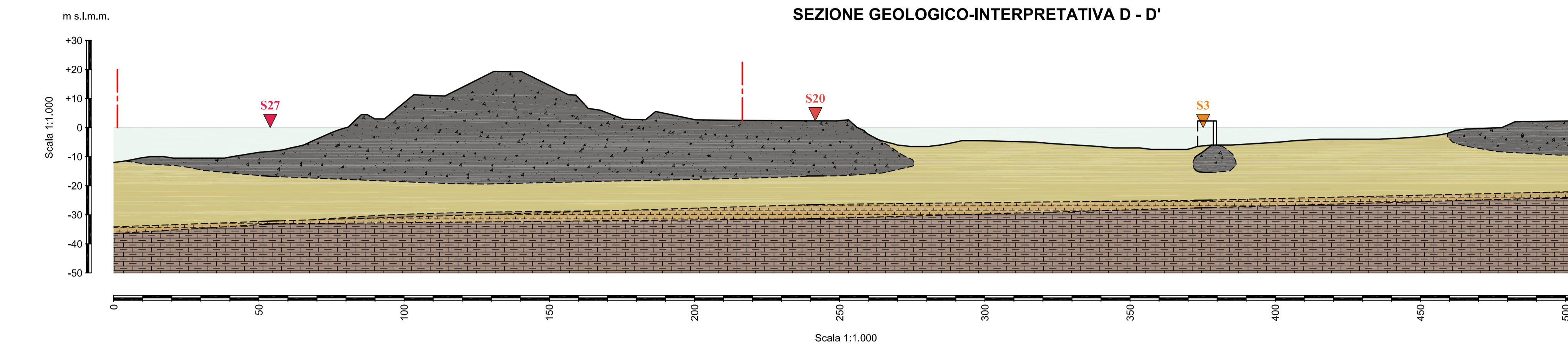
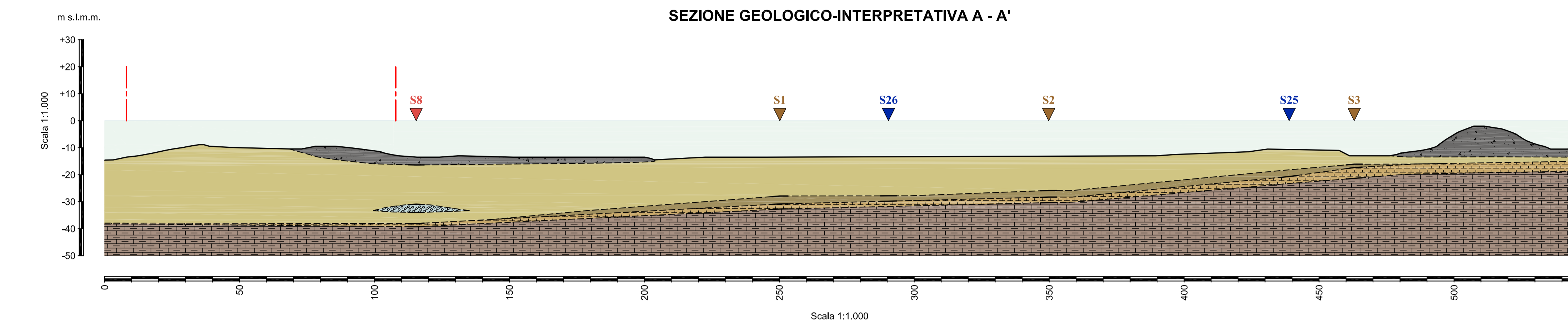
ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE TRA:		REDAZIONE DELL'ELABORATO:	
 ACQUATECNO S.r.l. <small>Mandatario</small>	 emmeceveve s.r.l.	 D.A.M. S.p.A.	SOCIETA': Geosyntech S.r.l.
 Geosyntech S.r.l.		RESPONSABILE: Dott. Geol. Carlo Alberto Masoli	

DIREZIONE DI PROGETTO PER L'ATI: ACQUATECNO S.r.l. Dott. Ing. Paolo Turbolenza

TITOLO ELABORATO: PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE	ELABORATO N°: GEO 01
---	--------------------------------

ELABORATO C. Micheli	CONTROLLATO L. Russo Cirib	APPROVATO C. A. Masoli	NOME FILE: GEO 01
N. DATA 5 luglio 2009	DESCRIZIONE EMISSIONE	RED. VER. APP. C.A. L.R.C. C.A.M.	DATA: LUGLIO 2009
SCALE: 1:1.000			

A TERMINI DI LEGGE CONSERVARE LA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO CONTINUANDO IL PROGETTO RENDENDO NOTO A TERZI ANCHE FACCENDO SENZA AUTORIZZAZIONE.



- LIMITE AREA SECONDO STRALCIO
- S3 SONDAGGIO GEONOSTICO (Imprefond srl - 2000-2001)
- S1 SONDAGGIO GEONOSTICO (Geosyntech srl - 2002)
- S25 SONDAGGIO GEONOSTICO (Geosyntech srl - 2008)
- S15 SONDAGGIO GEONOSTICO (Imprefond srl - 2003)
- S25 SONDAGGIO AMBIENTALE (Geosyntech srl - 2005)
- S24 SONDAGGIO AMBIENTALE (Geosyntech srl - 2008)
- MATERIALI ANTROPICI DI RIPORTO
- ARGILLE LIMOSE, LIMI ARGILLOSI E FANGHI
- GHIAIE CON ARGILLA
- ARGILLE LIMOSO-SABBIOSE TALORA GHIAIOSE
- FLYSCH MARNOSO-ARENACEO ALTERATO
- FLYSCH MARNOSO-ARENACEO
- LIMITE LITOLOGICO
- - - LIMITE LITOLOGICO PRESUNTO



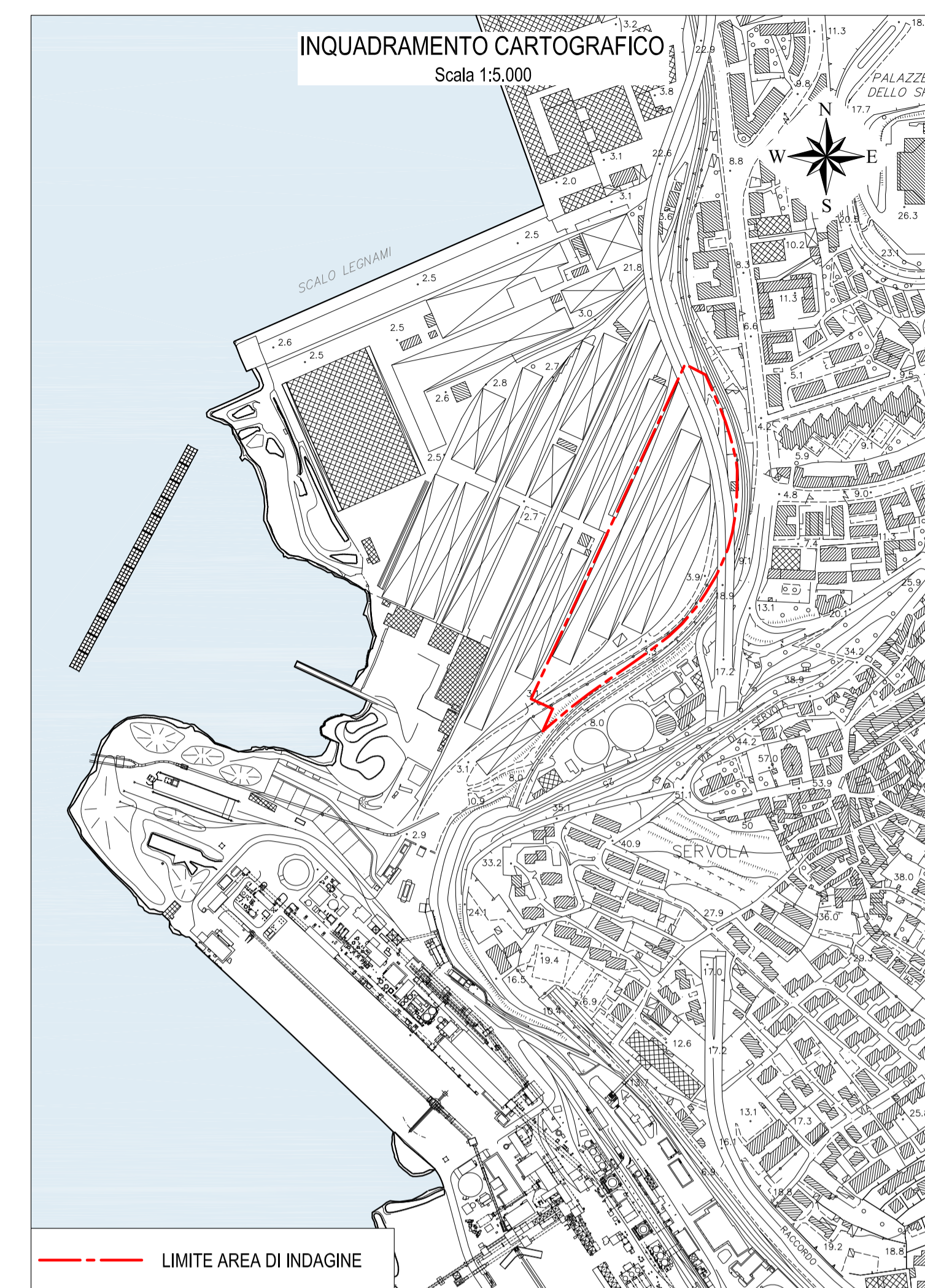
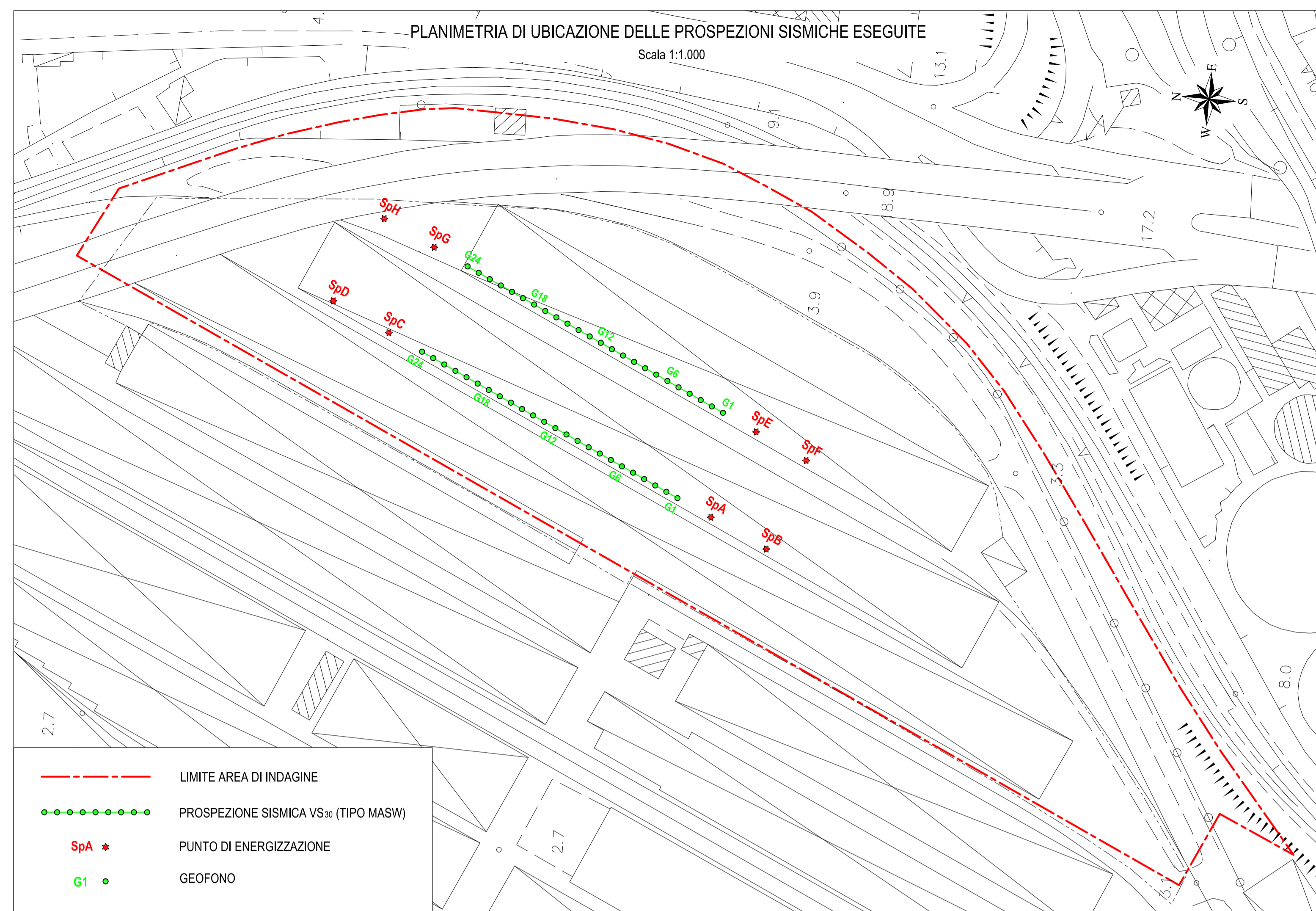
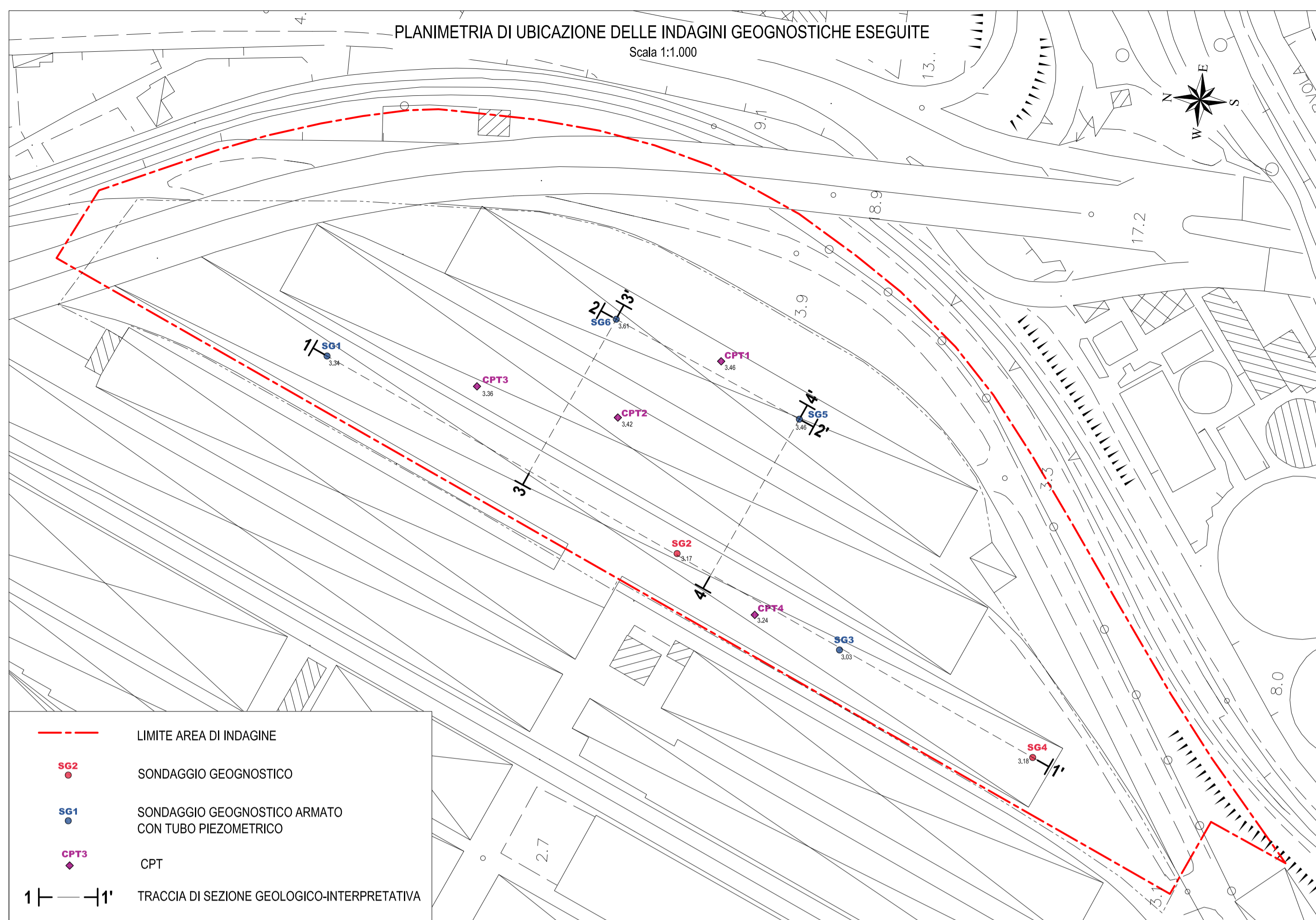
LAVORI DI REALIZZAZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA IN AREA PORTUALE COMPRESA TRA LO SCALO LEGNAMI E L'EX-ITALSIDER E CONSEGUENTI OPERE DI COLLEGAMENTO - PROG. A.P.T. N. 1563

PROGETTO DEFINITIVO - SECONDO STRALCIO

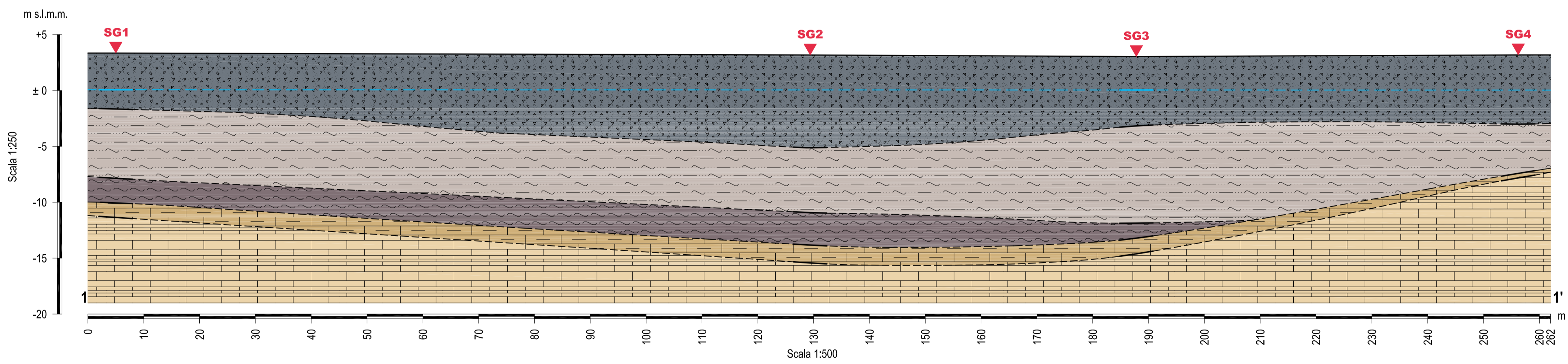
RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO PER L'AUTORITA' PORTUALE DI TRIESTE: Dot. Ing. E. MARCONI		REDAZIONE DELL'ELABORATO: Geosyntech S.r.l.
ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE TRA: TECHNO ACQUATECH S.r.l. MANTEGATE INTECH RAM S.p.A.	RESPONSABILE: Dot. Geol. Carlo Alberto Masoli	
DIREZIONE DI PROGETTO PER L'ATI: ACQUATECH S.r.l.	ELABORATO DA: Dot. Ing. Paolo Tubertini	

SEZIONI GEOLOGICO-INTERPRETATIVE		GEO 02	
ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO	NOTE FILE: GEO 02
SKA: C. Neri	L. Neri	C. A. Neri	
REVISIONE	DESIGNAZIONE	REVISIONE	DATA: LUGLIO 2009
1	1	1	SCALA: 1:1.000

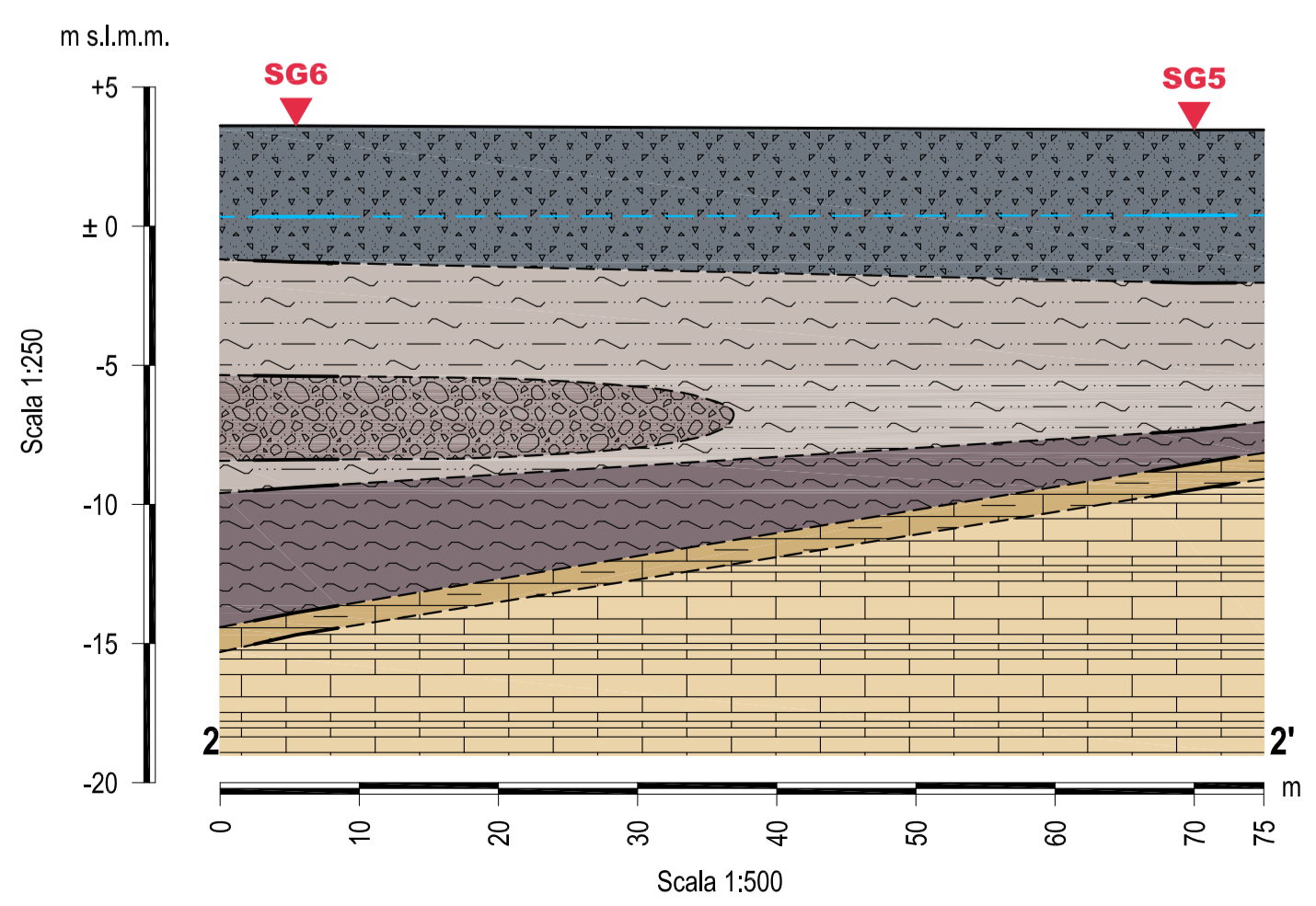
IL TITOLARE DI QUESTA PROPRIETA' HA AUTORIZZATO IL PROGETTO E LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE DESCRITTE IN QUESTO DOCUMENTO. IL TITOLARE HA AUTORIZZATO LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE DESCRITTE IN QUESTO DOCUMENTO. IL TITOLARE HA AUTORIZZATO LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE DESCRITTE IN QUESTO DOCUMENTO.



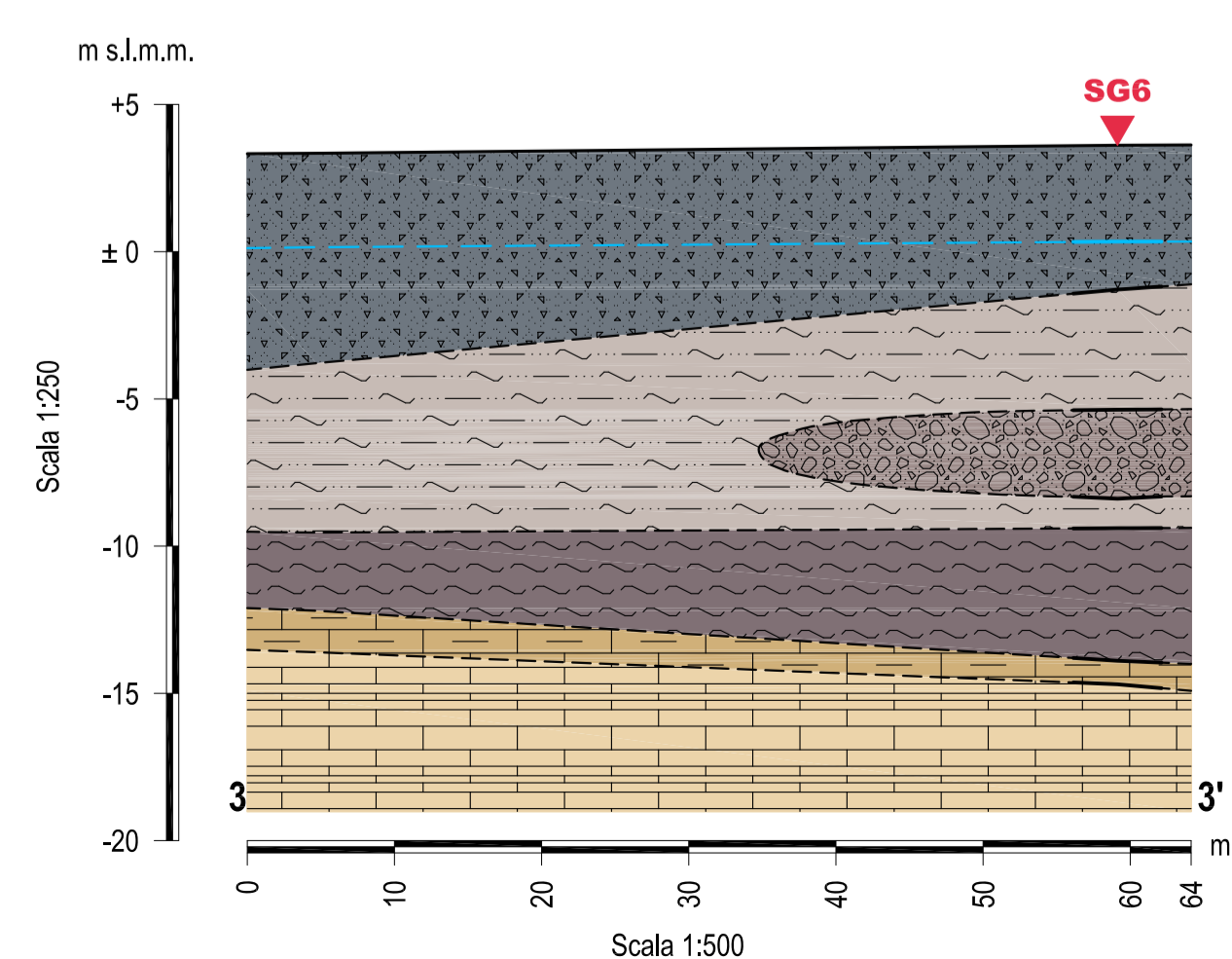
SEZIONE GEOLOGICO-INTERPRETATIVA 1 - 1'



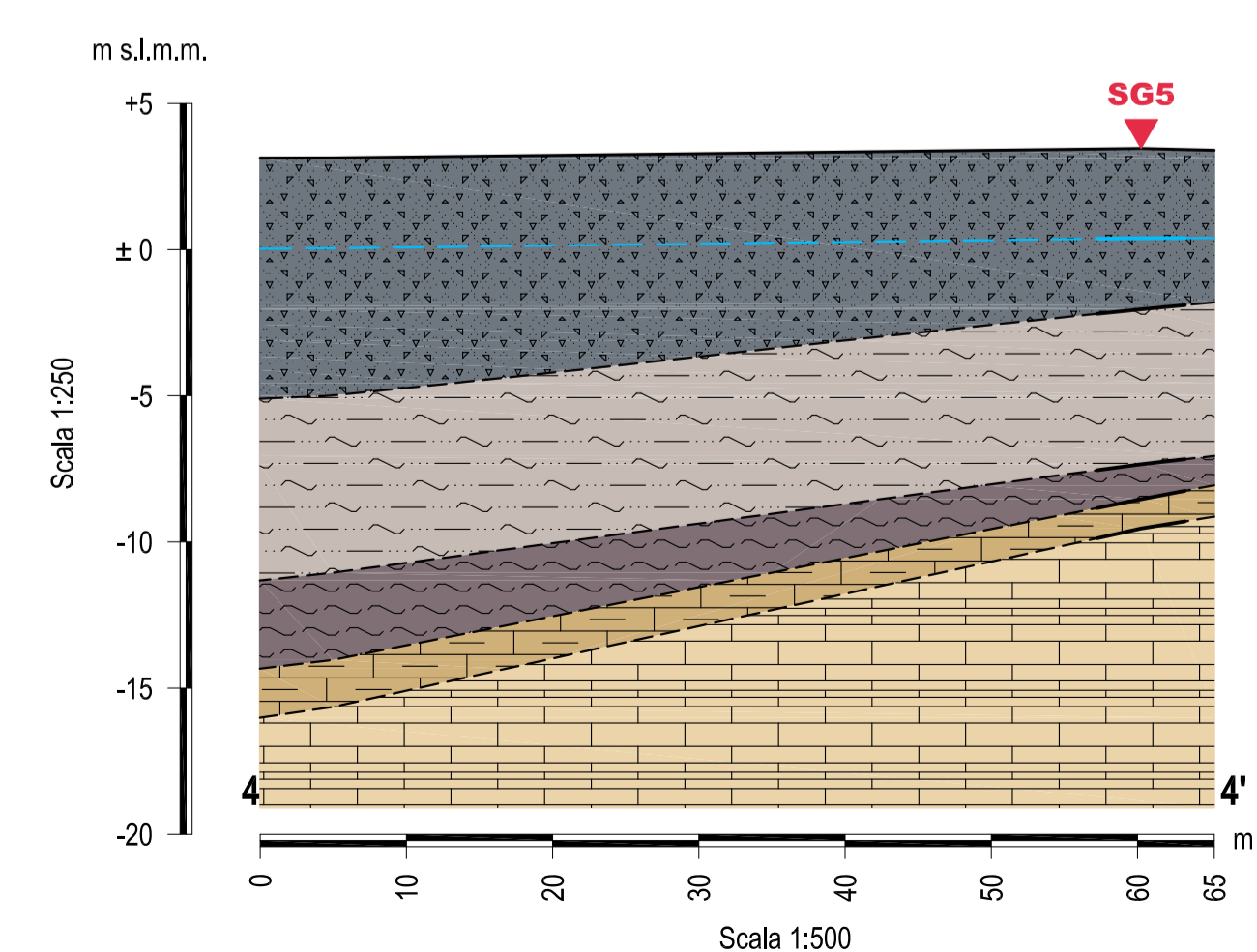
SEZIONE GEOLOGICO-INTERPRETATIVA 2 - 2'



SEZIONE GEOLOGICO-INTERPRETATIVA 3 - 3'



SEZIONE GEOLOGICO-INTERPRETATIVA 4 - 4'



PROGETTO SERVIZIO DI RILIEVO TOPOGRAFICO E CAMPAGNA DI INDAGINI
 GEOGNOSTICHE E PROSPEZIONI SISMICHE PER L'AREA DI
 AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI SERVOLA (TRIESTE)

geosyntech
 società per la geologia e l'ingegneria
 Geosyntech srl Via Cicerone, 4 - 34133 Trieste
 Tel. 040.362032 - Fax 040.364430 info@geosyntech.it - www.geosyntech.it



TITOLO PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE
 SEZIONI GEOLOGICO-INTERPRETATIVE

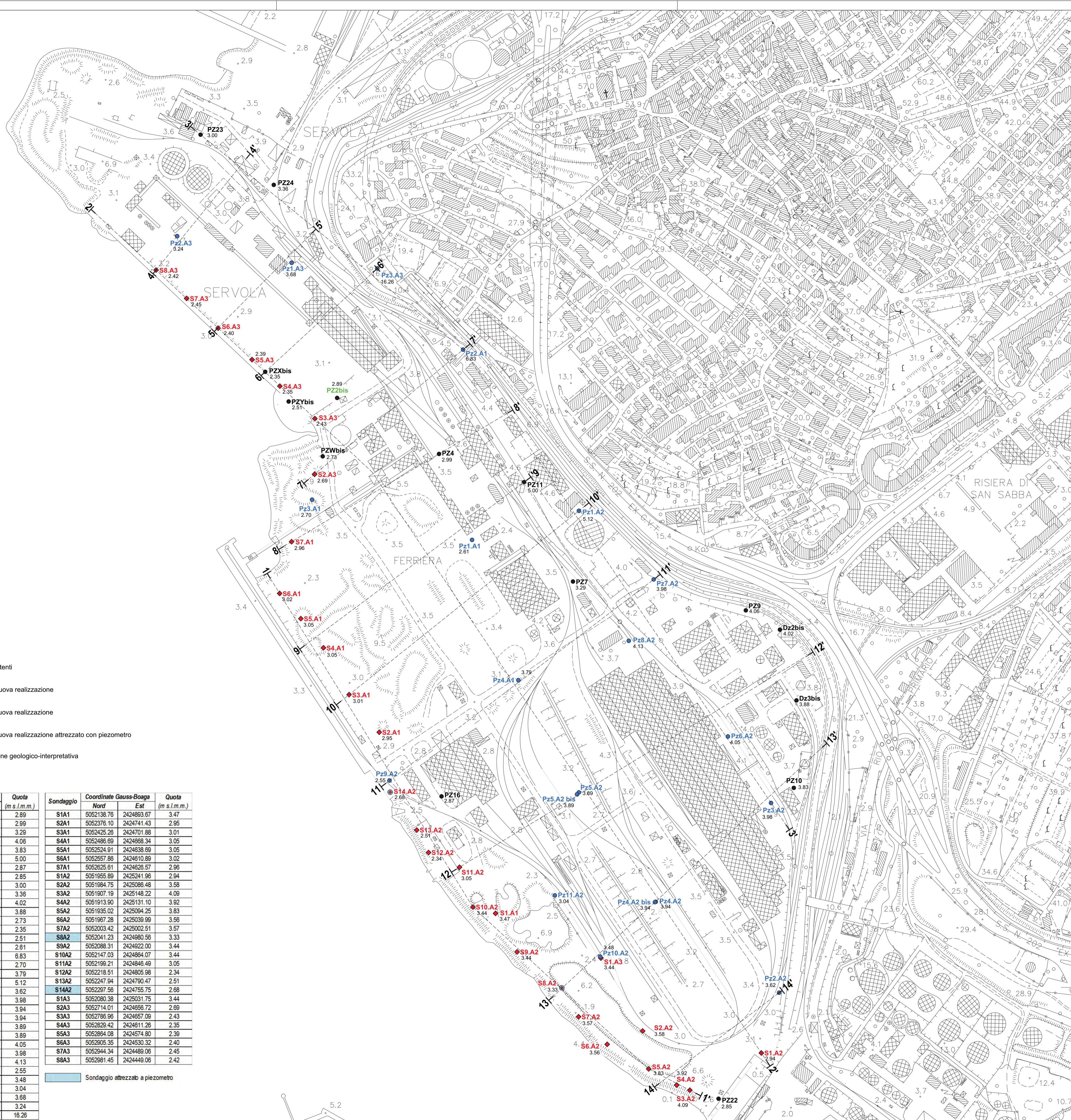
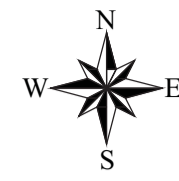
RESPONSABILE dott. geol. Carlo Alberto Masoli

COMMITTENTE AcegasAps
 Via del Teatro, 6
 34121 - TRIESTE

COLLABORATORI dott. geol. Lucio Russo Cirillo
 dott. Davide Marussich
 dott. Cristina Micheli

RIFERIMENTI
 SCALA 1 : 5.000/1.000
 DATA 12.07.2011
 COD. 0283PDI02

TAVOLA P 02



- Pz16 ● Piezometri esistenti
- Pz1.A1 ● Piezometri di nuova realizzazione
- S1.A1 ◆ Sondaggio di nuova realizzazione
- S8.A2 ● Sondaggio di nuova realizzazione attrezzato con piezometro
- 11-11' Traccia di sezione geologico-interpretativa

Piezometro	Coordinate Gauss-Boaga		Quota (m s.l.m.)	Sondaggio	Coordinate Gauss-Boaga		Quota (m s.l.m.)
	Nord	Est			Nord	Est	
PZ2bis	5052813.92	2424686.23	2.89	S1A1	5052138.76	2424693.67	3.47
PZ2	5052740.58	2424619.74	2.99	S2A1	5052376.10	2424741.43	2.95
PZ7	5052573.45	2424695.17	3.29	S3A1	5052425.26	2424701.88	3.01
PZ9	5052535.89	2425221.65	4.06	S4A1	5052486.69	2424688.34	3.05
PZ10	5052303.19	2425284.45	3.83	S5A1	5052524.91	2424638.69	3.05
PZ11	5052703.68	2424931.18	5.00	S6A1	5052657.88	2424610.89	3.02
PZ16	5052292.01	2424823.08	2.87	S7A1	5052625.61	2424628.57	2.98
PZ22	5051896.03	2425185.88	2.85	S1A2	5051965.89	2425241.96	2.94
PZ23	5053158.72	2424507.39	3.00	S2A2	5051984.75	2425086.48	3.58
PZ24	5053093.05	2424603.24	3.36	S3A2	5051907.19	2425148.22	4.09
Dz2bis	5052510.42	2425286.29	4.02	S4A2	5051913.90	2425131.10	3.92
Dz3bis	5052417.74	2425287.99	3.88	S5A2	5051935.02	2425094.25	3.83
PzWbis	5052737.35	2424687.41	2.73	S6A2	5051967.28	2425039.99	3.56
PzXBis	5052848.13	2424592.05	2.35	S7A2	5052003.42	2425002.51	3.57
PzYbis	5052809.21	2424622.74	2.51	S8A2	5052041.23	2424980.56	3.33
PZ1.A1	5052627.99	2424683.05	2.61	S9A2	5052088.31	2424822.00	3.44
PZ2.A1	5052877.24	2424851.29	6.83	S10A2	5052147.03	2424884.07	3.44
PZ3.A1	5052680.69	2424653.44	2.70	S11A2	5052199.21	2424846.49	3.05
PZ4.A1	5052444.19	2424923.70	3.79	S12A2	5052218.51	2424805.98	2.34
PZ1.A2	5052666.06	2425002.90	5.12	S13A2	5052247.94	2424790.47	2.51
PZ2.A2	5052034.91	2425265.25	3.62	S14A2	5052297.56	2424755.75	2.88
PZ3.A2	5052283.37	2425254.67	3.98	S1A3	5052080.38	2425031.75	3.44
PZ4.A2	5052153.92	2425103.60	3.94	S2A3	5052714.01	2424856.72	2.69
PZ4.A2bis	5052153.48	2425102.55	3.94	S3A3	5052786.96	2424857.09	2.43
PZ5.A2	5052297.27	2425002.90	3.89	S4A3	5052829.42	2424811.26	2.35
PZ5.A2bis	5052294.67	2425000.54	3.89	S5A3	5052884.08	2424574.80	2.39
PZ6.A2	5052370.46	2425198.14	4.05	S6A3	5052905.35	2424530.32	2.40
PZ7.A2	5052576.17	2425100.90	3.98	S7A3	5052944.34	2424489.06	2.45
PZ8.A2	5052495.82	2425068.26	4.13	S8A3	5052981.45	2424449.06	2.42
PZ9.A2	5052312.76	2424754.86	2.55				
PZ10.A2	5052082.15	2425030.73	3.48				
PZ11A2	5052162.31	2424971.43	3.04				
PZ1.A3	5052990.98	2424626.73	3.88				
PZ2.A3	5053025.84	2424478.74	3.24				
PZ3.A3	5052983.53	2424738.90	16.26				

■ Sondaggio attrezzato a piezometro

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESE



COMMITTENTE



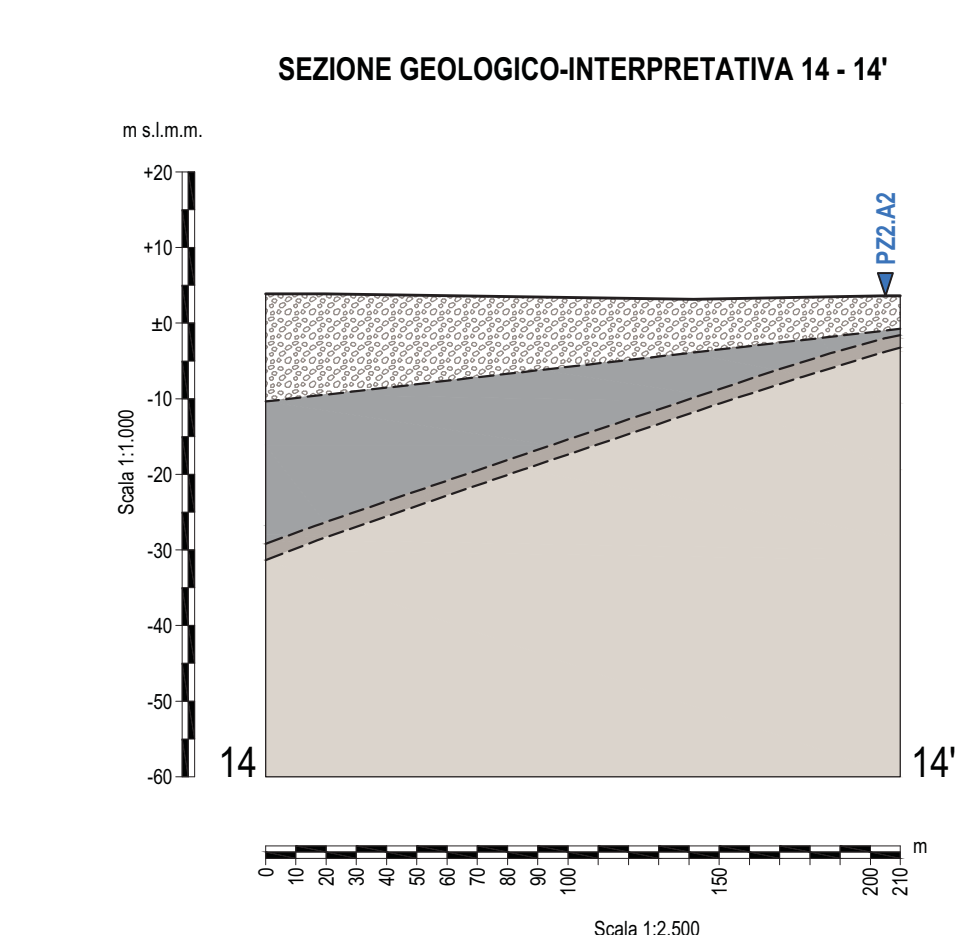
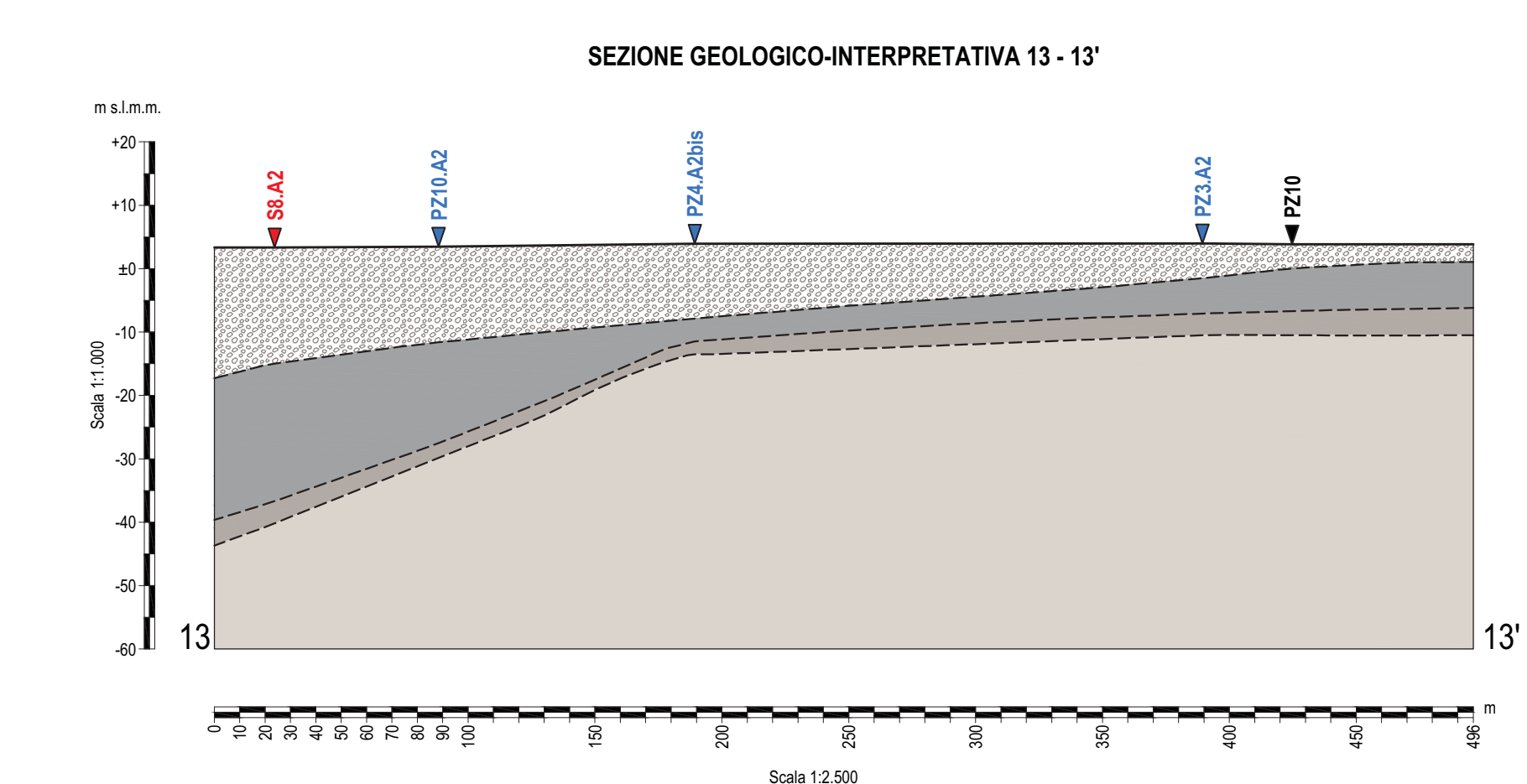
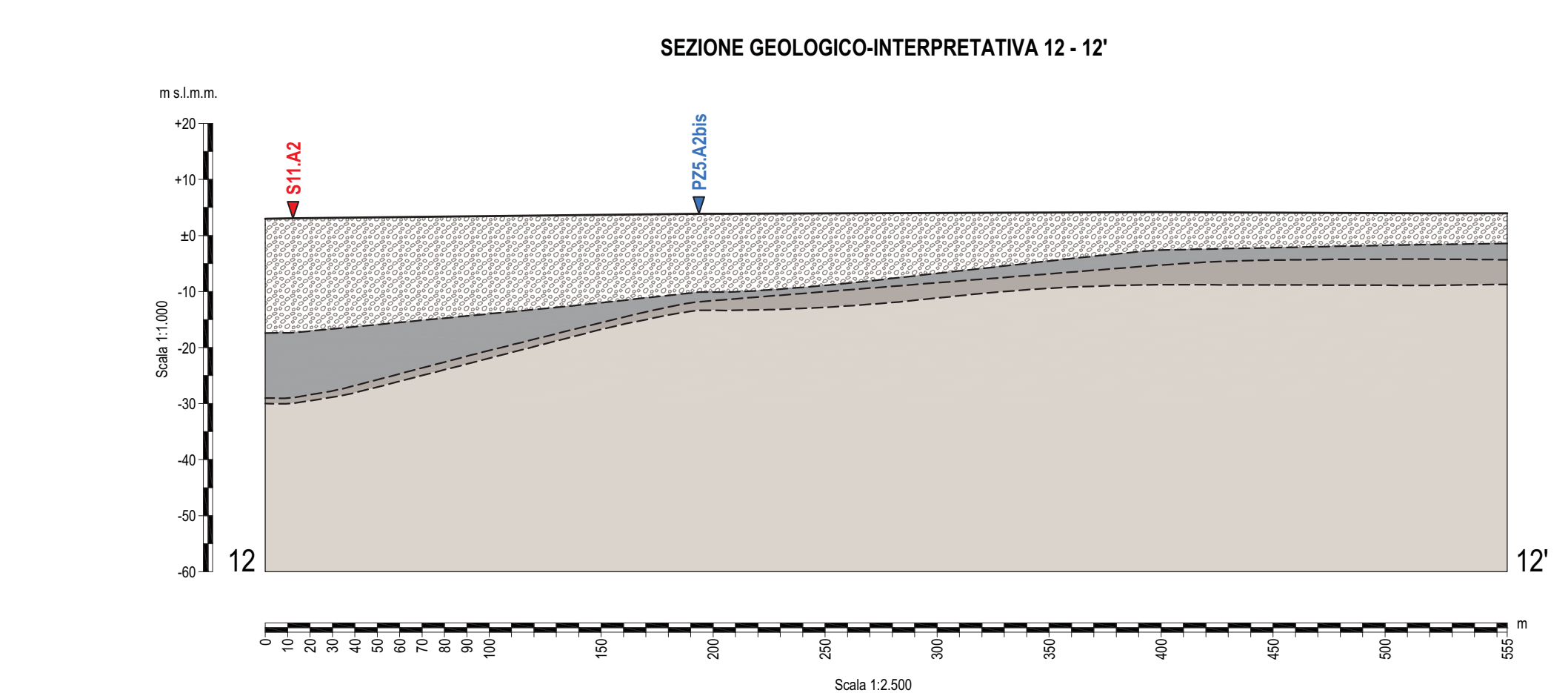
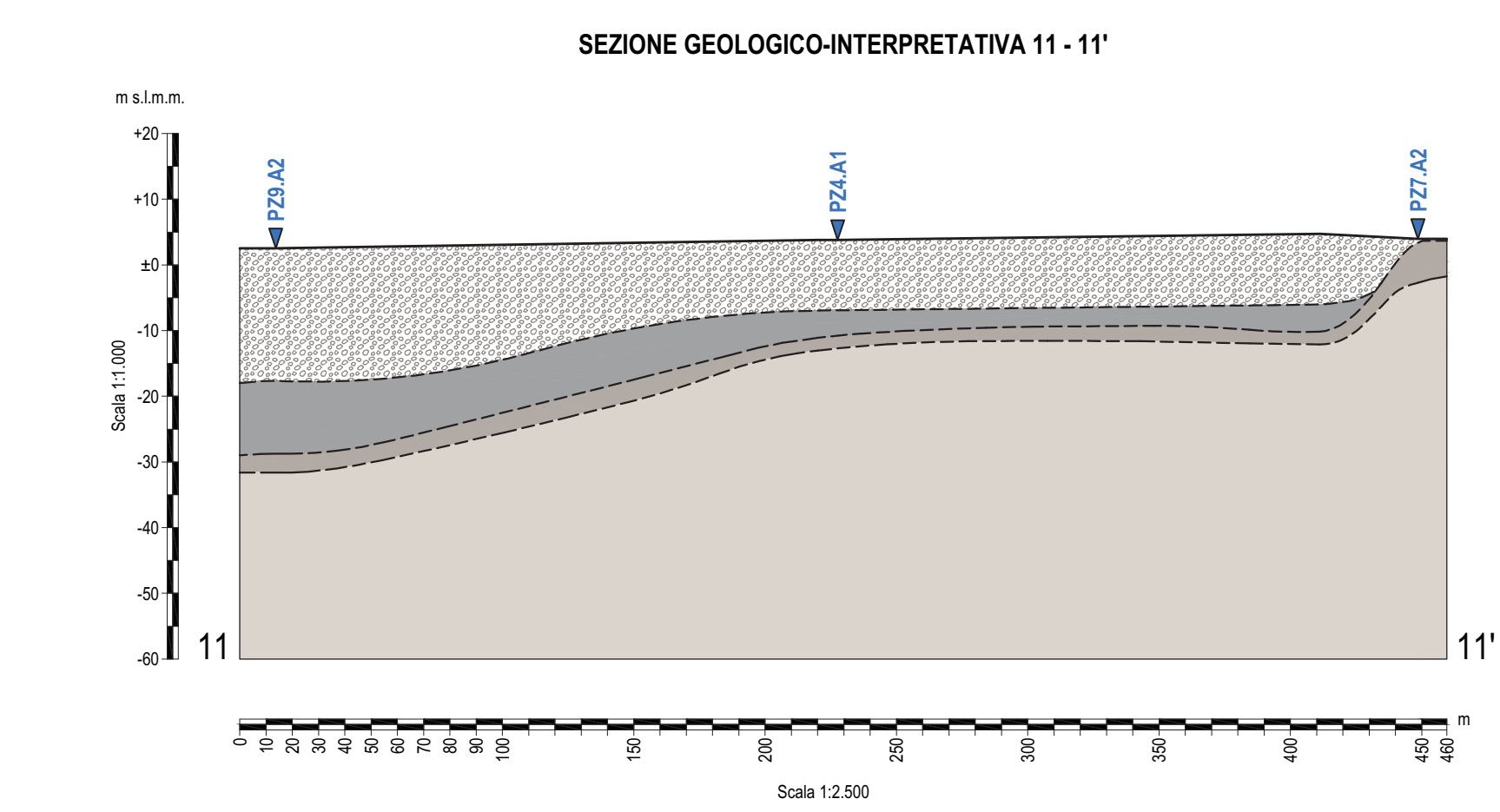
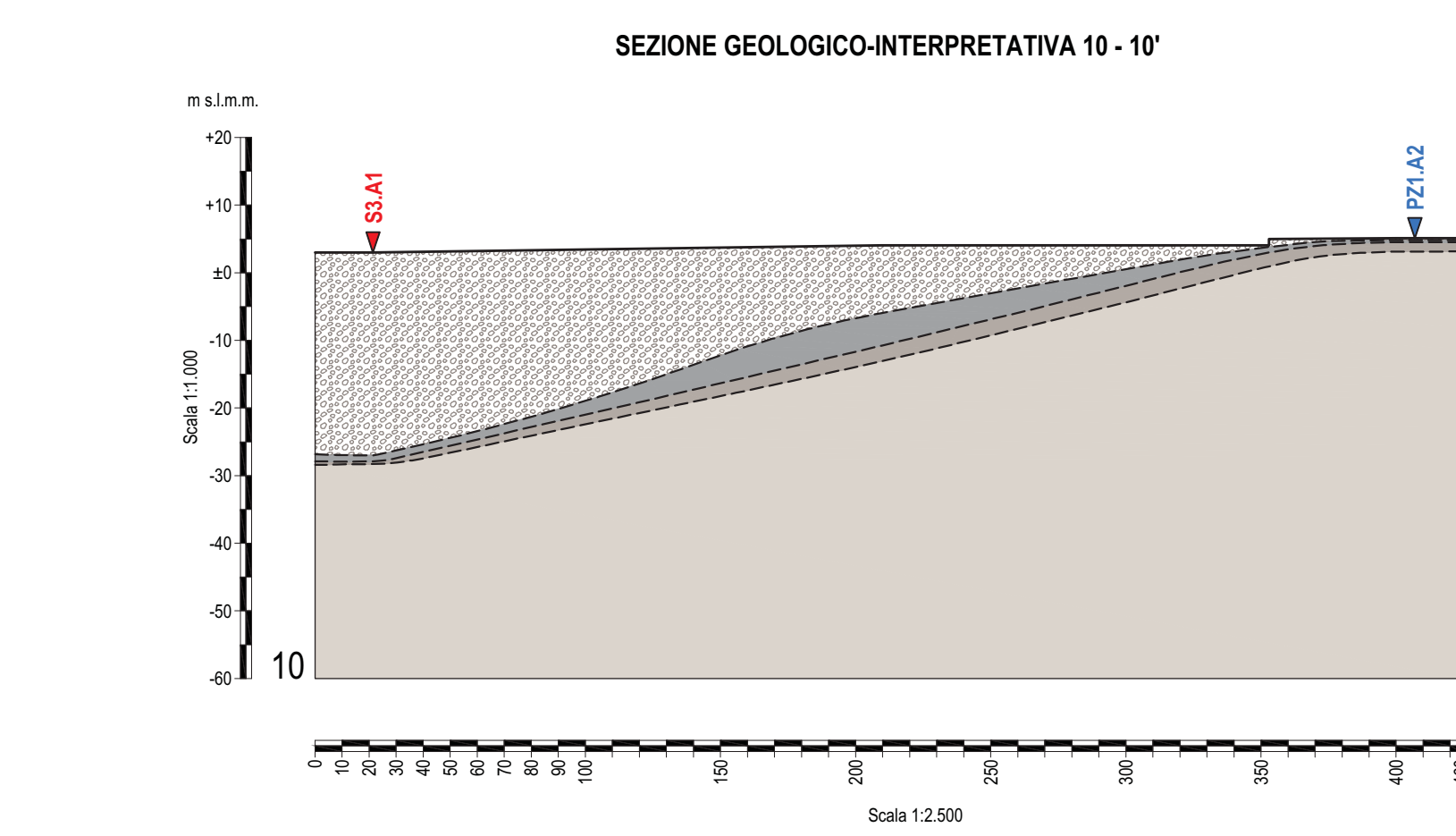
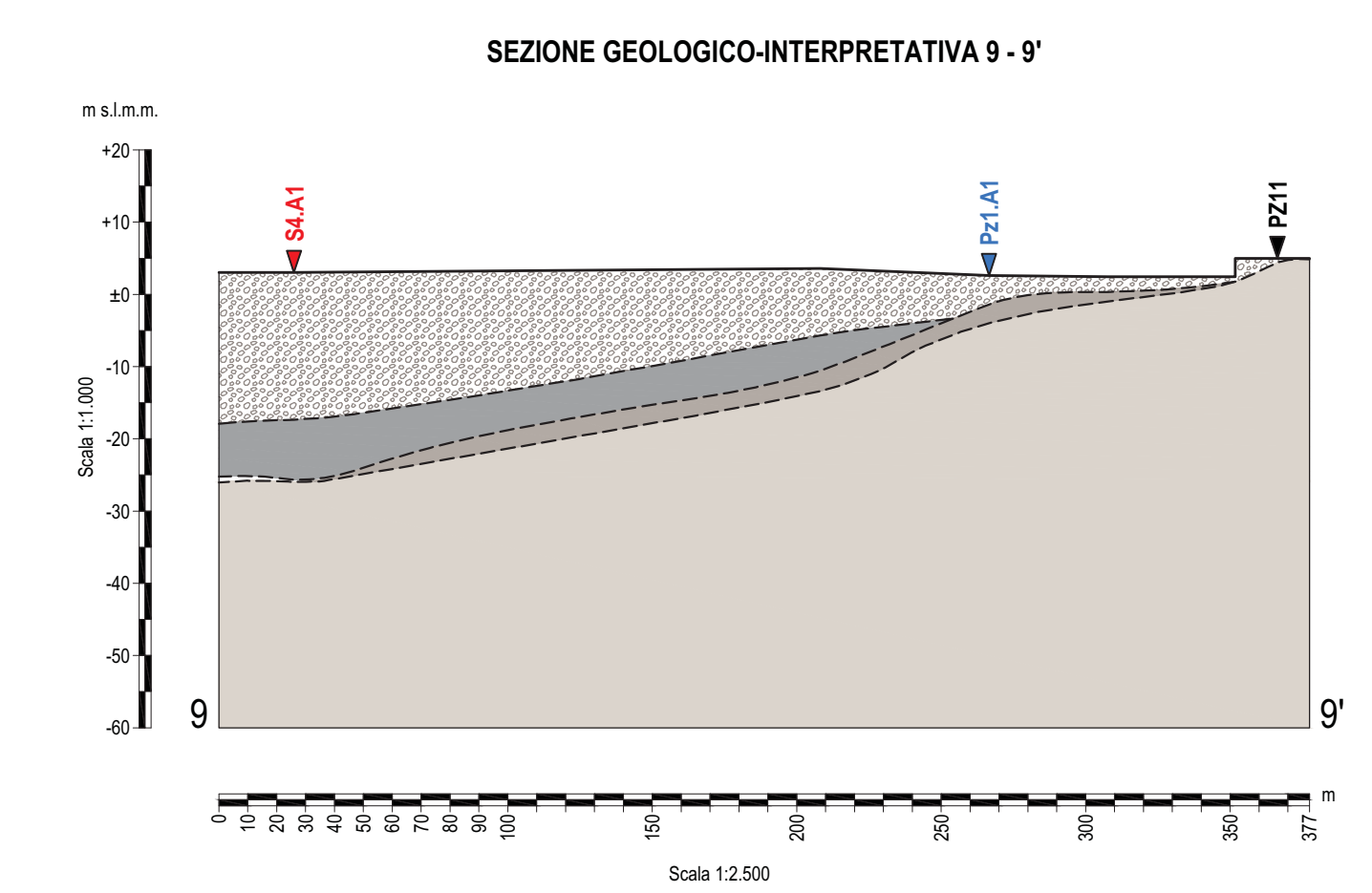
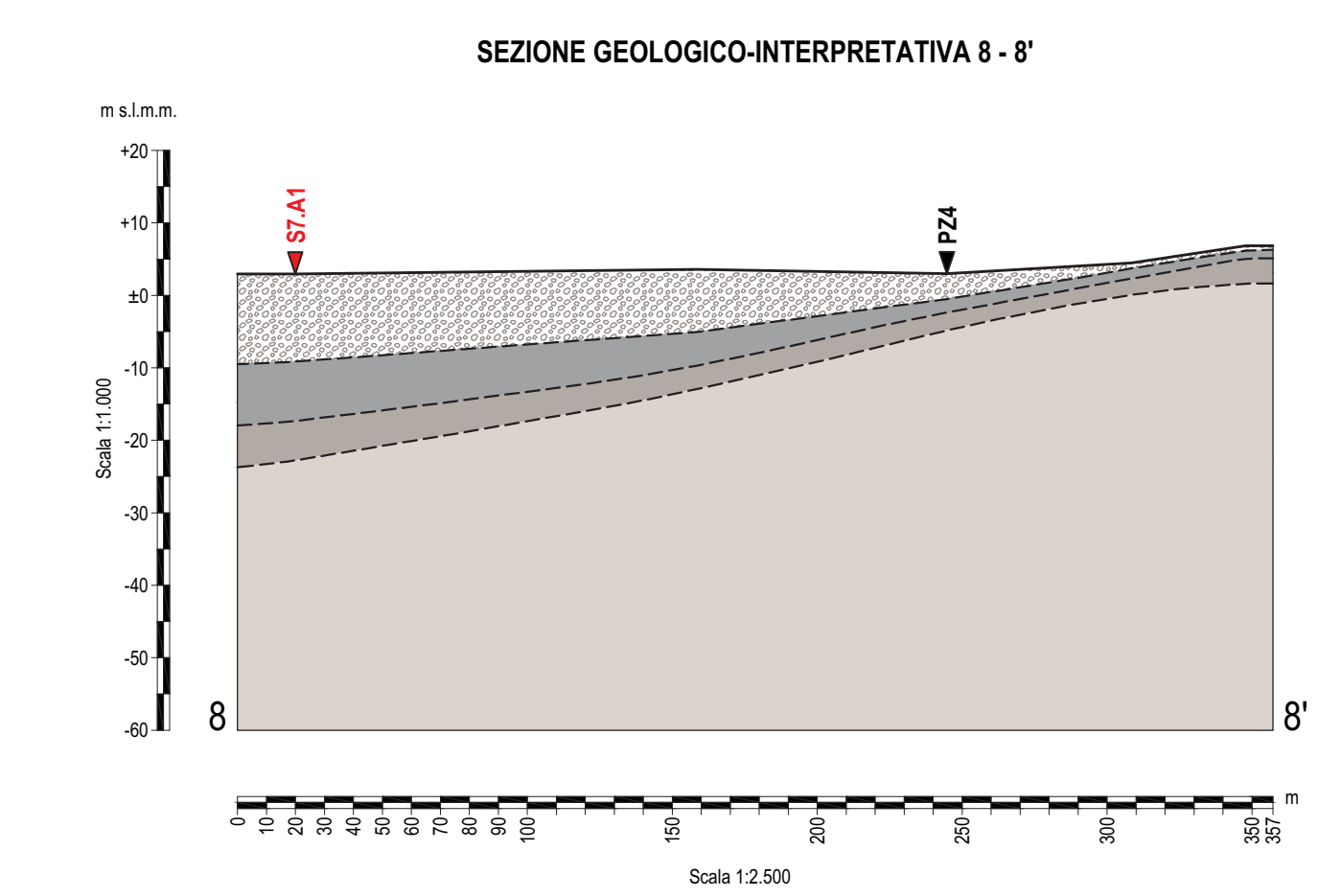
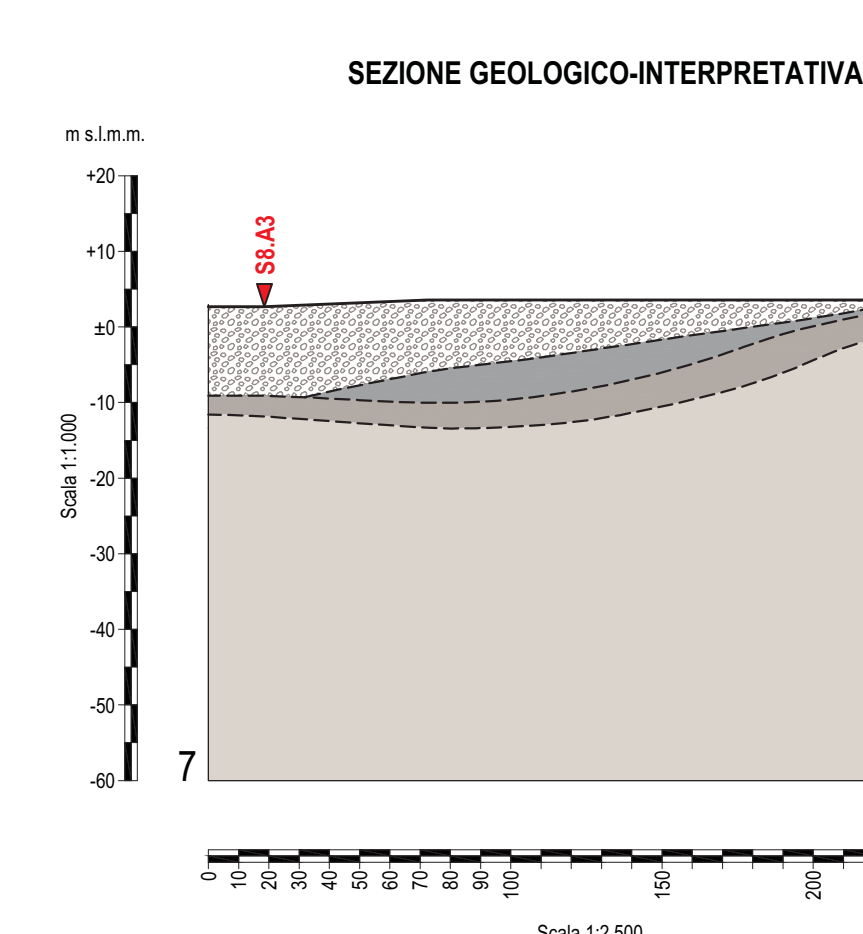
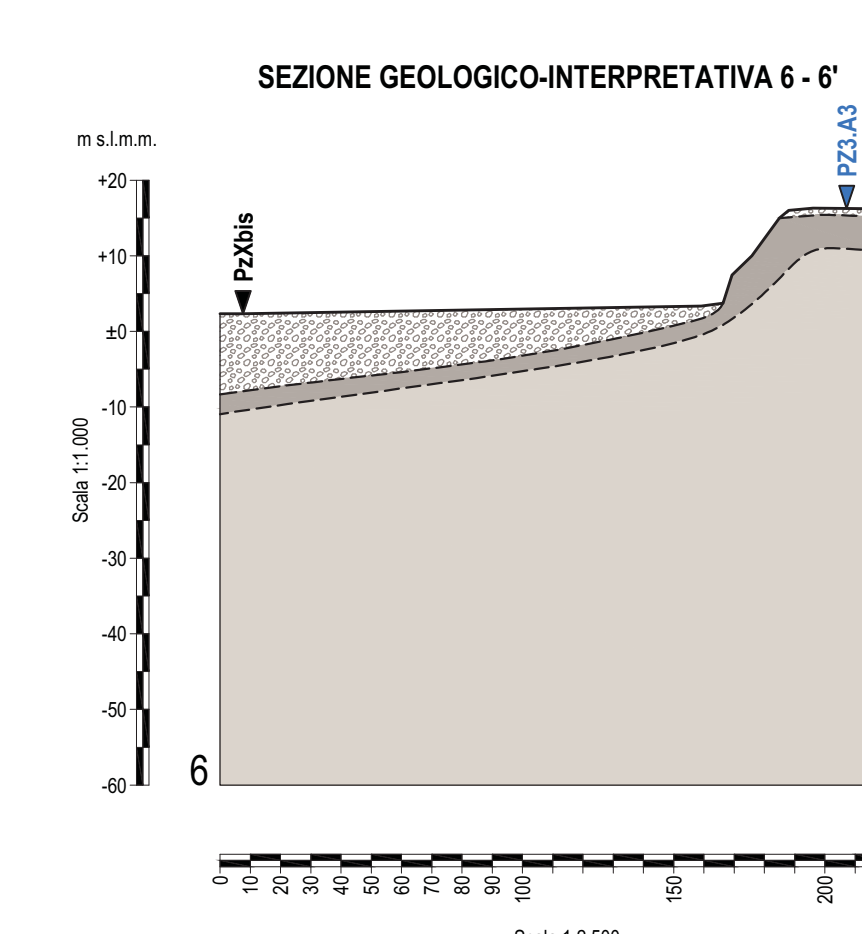
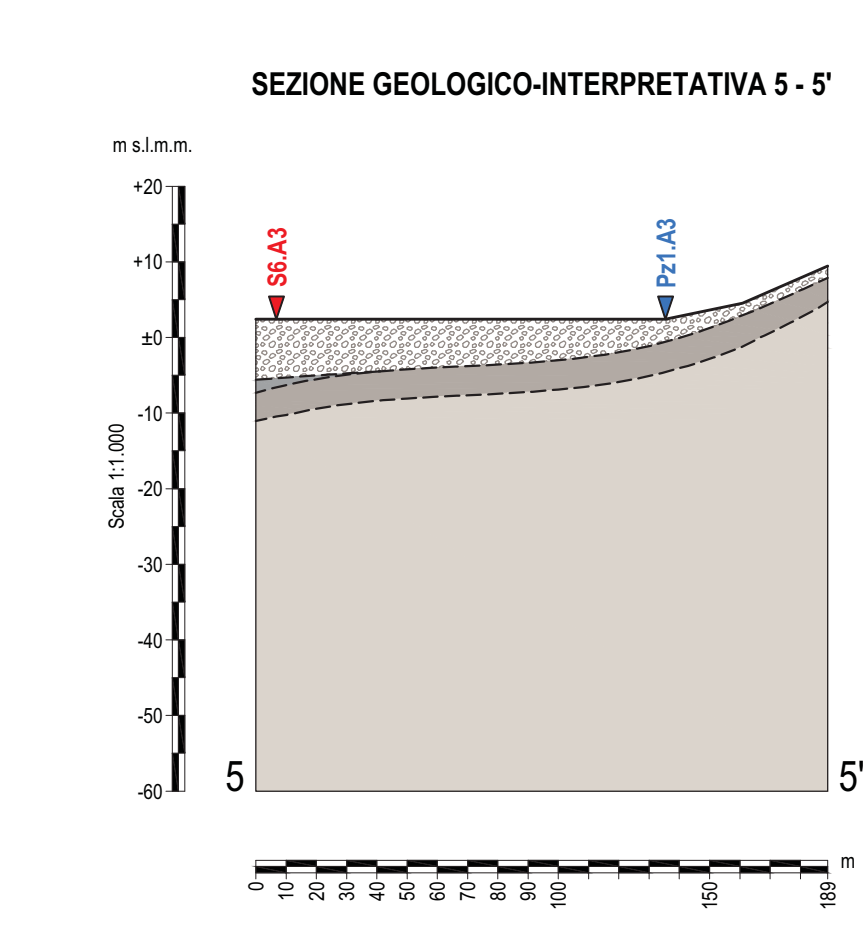
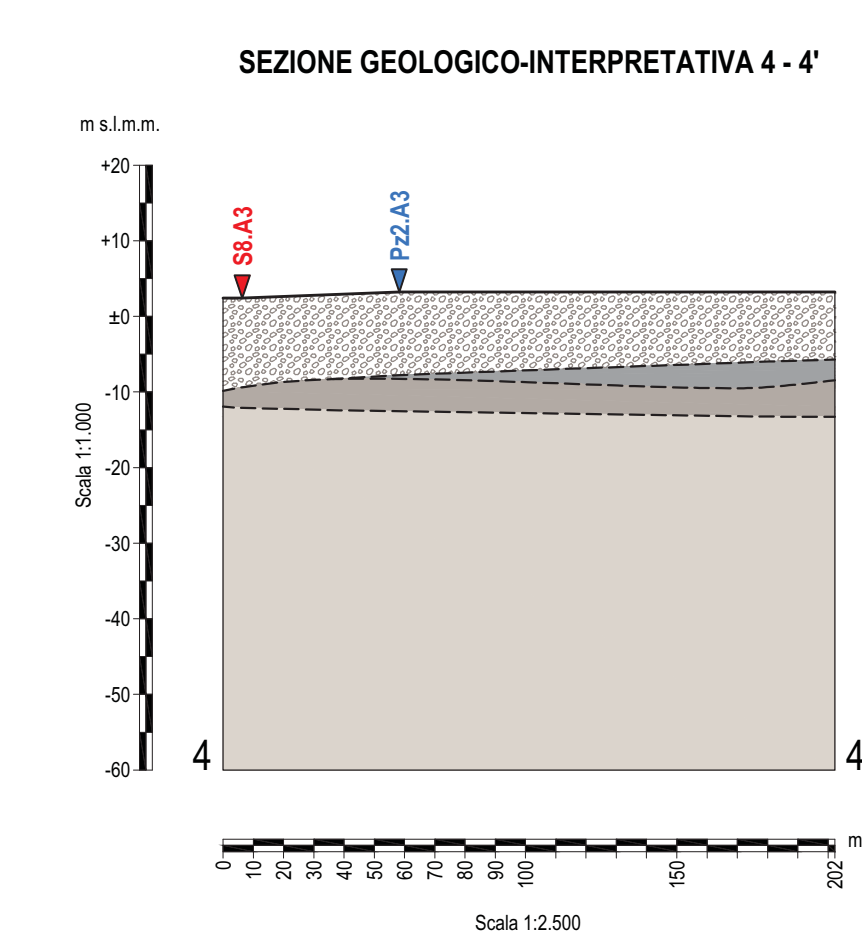
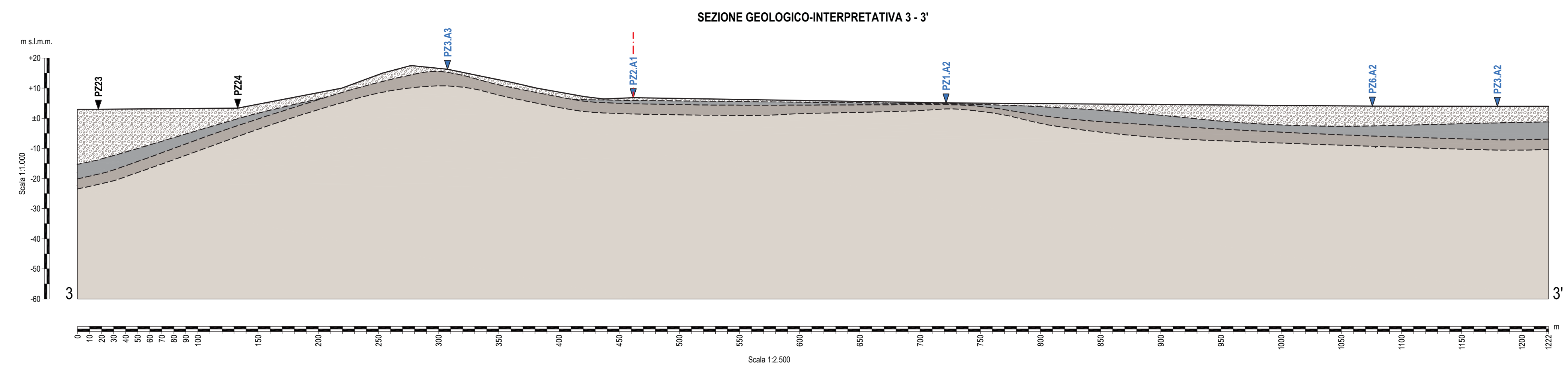
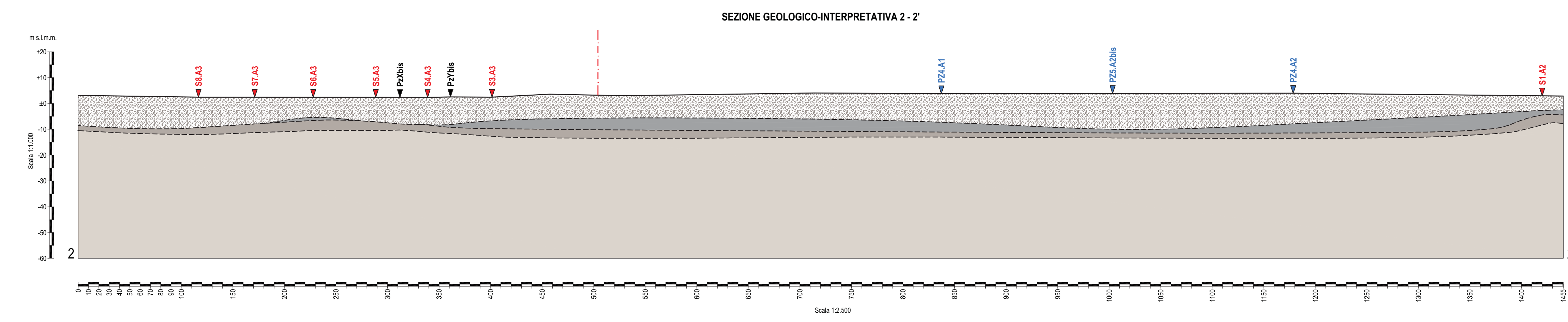
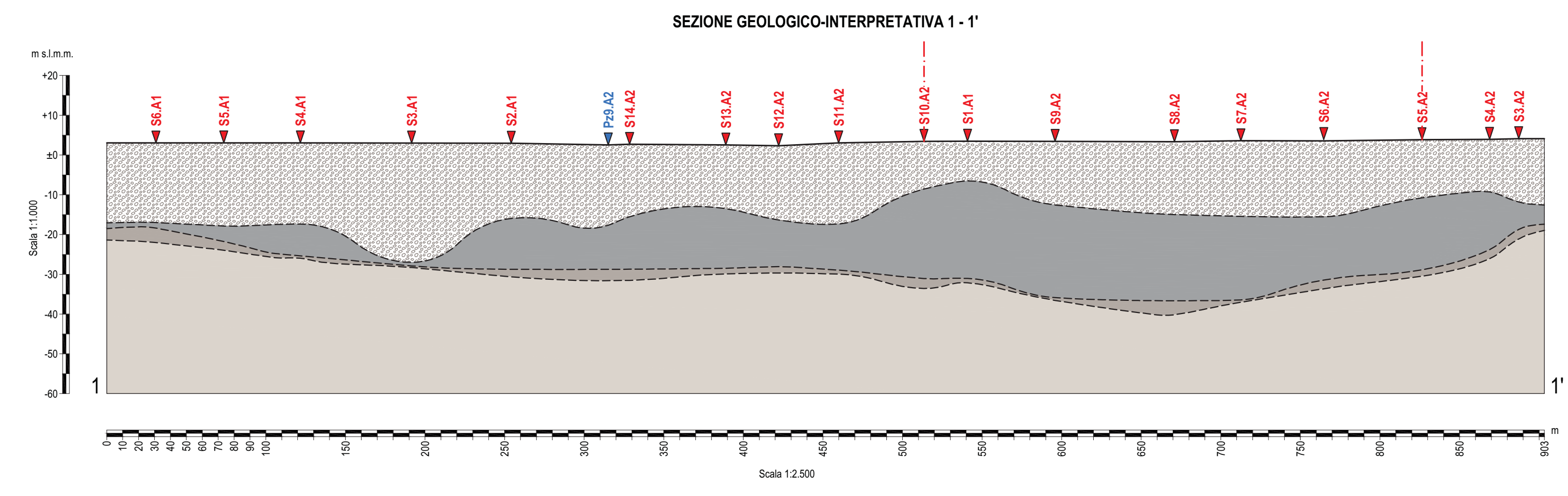
CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE E IDROGEOLOGICHE FINALIZZATA AL PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA DELLA FERRIERA DI SERVOLA ATTRAVERSO INTERVENTI DI MARGINAMENTO FISICO DELL'AREA DEMANIALE IN CONCESSIONE E DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI FALDA CONTAMINATE". CIG: 6867889949 CUP: D97B14000720001

PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

Scala 1:2.500

dicembre 2018

Dott. Geol. Carlo Alberto Masoli
Geosyntech srl



- Materiali antropici di riporto (MAR)
- Complesso limoso-sabbioso-argilloso localmente ghiaioso (CLSA)
- Flysch marmoso arenaceo alterato (Fla)
- Flysch marmoso arenaceo (FI)
- Limite litologico

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESE

MERIEUX NutriSciences CHELAB S.R.L. | geosyntech | GEOALPINA | LGT Laboratorio Geotecnico srl

COMMITTENTE

INVITALIA

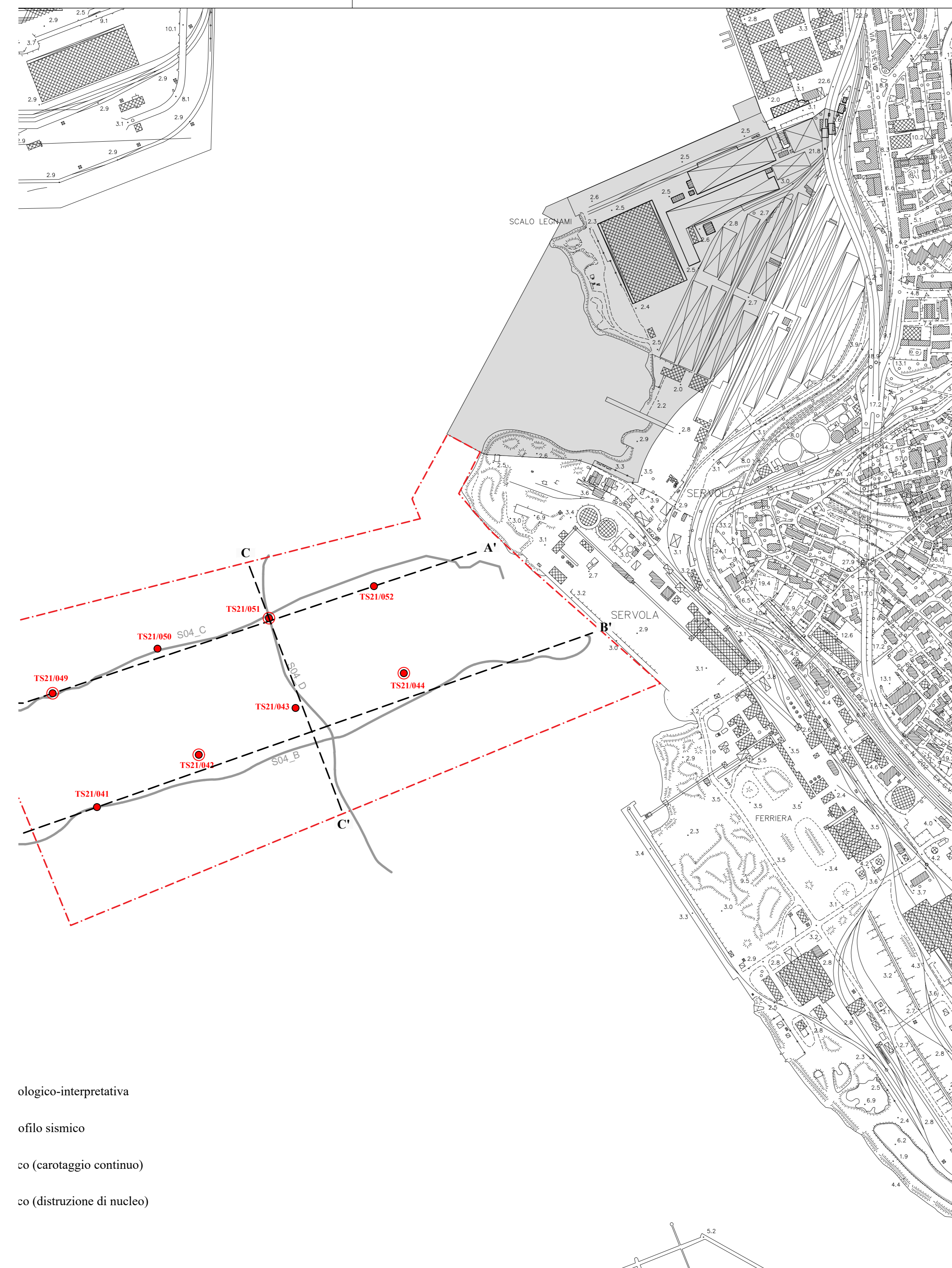
CAMPAGNA DI INDAGINI GEONOSTICHE E IDROGEOLOGICHE FINALIZZATA AL PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA DELLA FERRIERA DI SERVOLA ATTRAVERSO INTERVENTI DI MARGINAMENTO FISICO DELL'AREA DEMANIALE IN CONCESSIONE E DI TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI FALDA CONTAMINATE". CIG: 6867889949 CUP: D97B14000720001

SEZIONI GEOLOGICO-INTERPRETATIVE

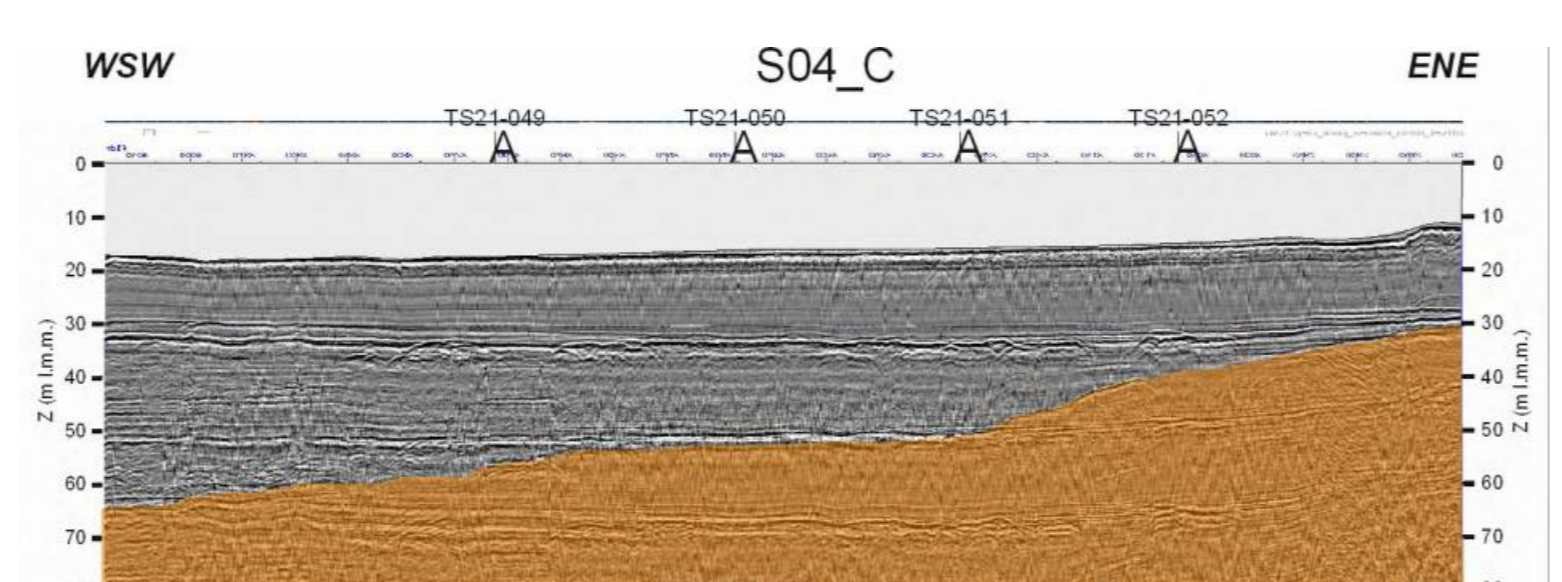
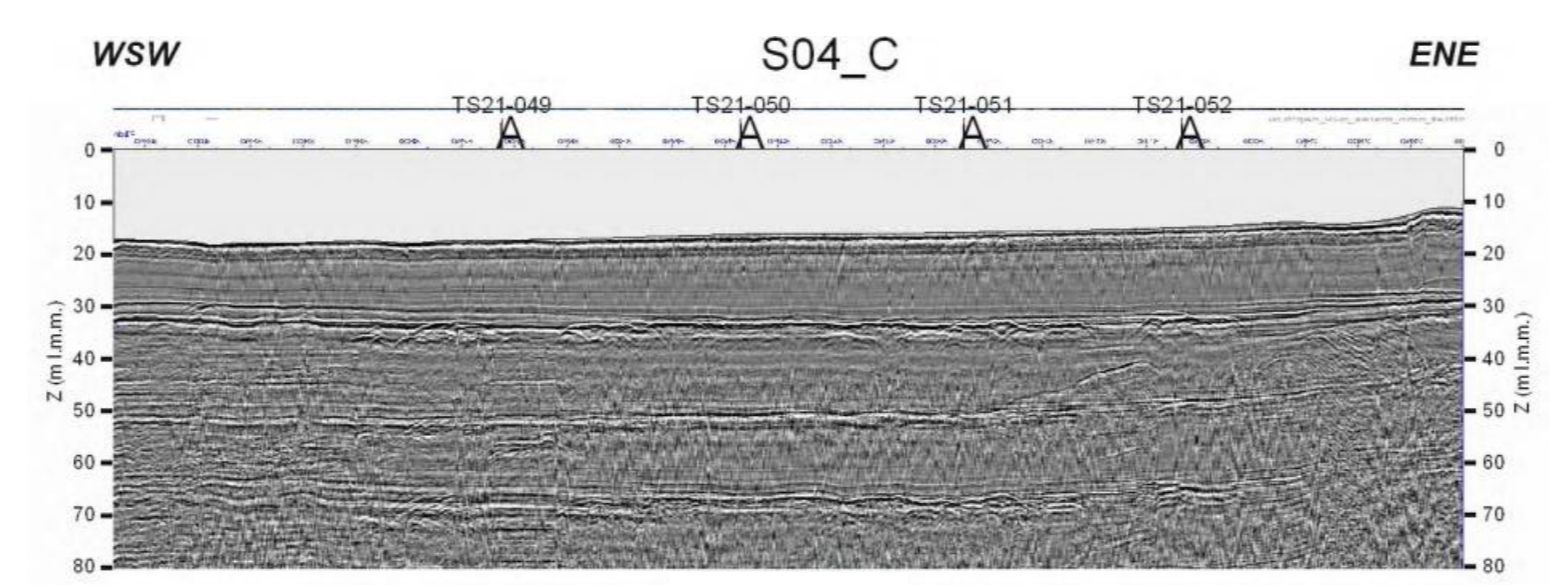
Scala 1:1.000/2.500

dicembre 2018

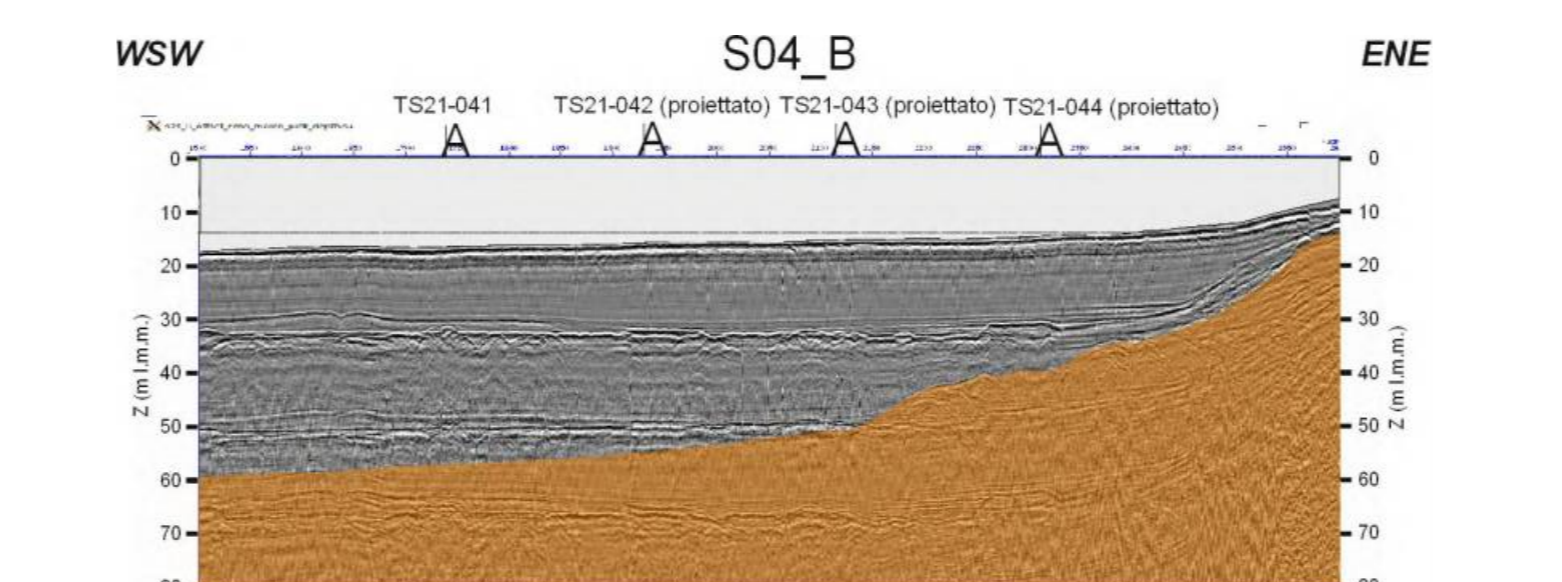
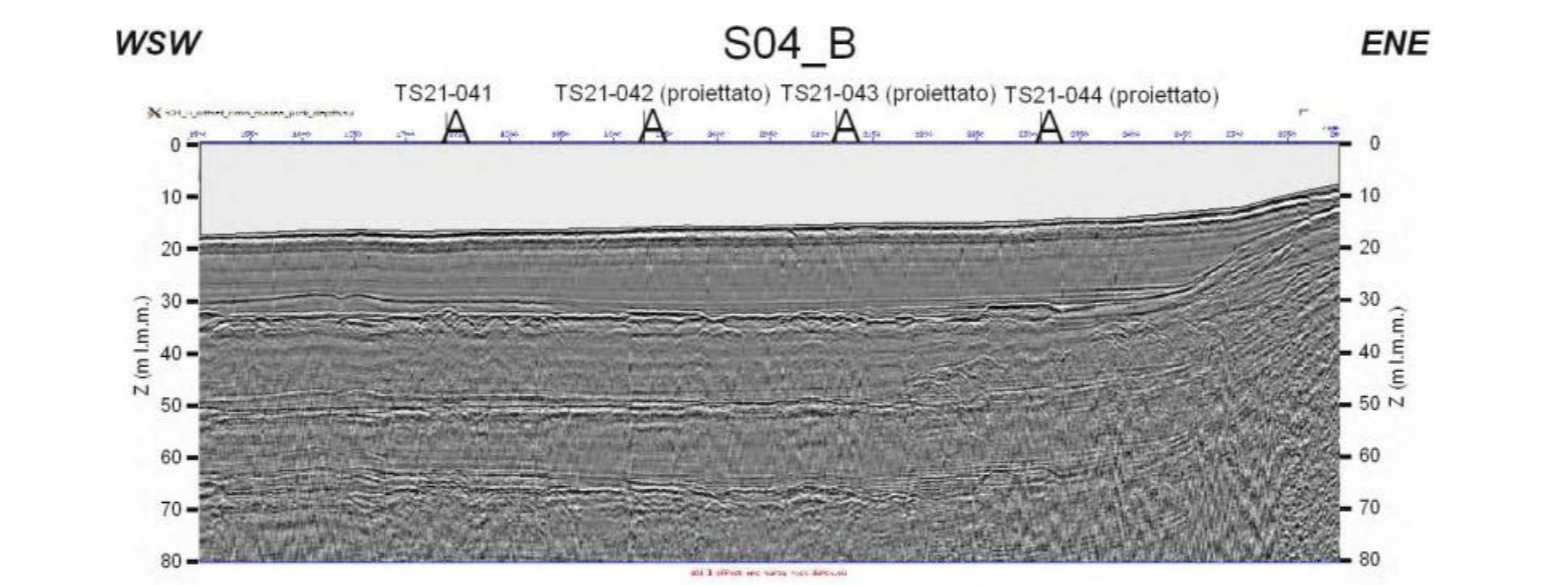
Dott. Geol. Carlo Alberto Masoli
Geosyntech srl



SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA S04_C

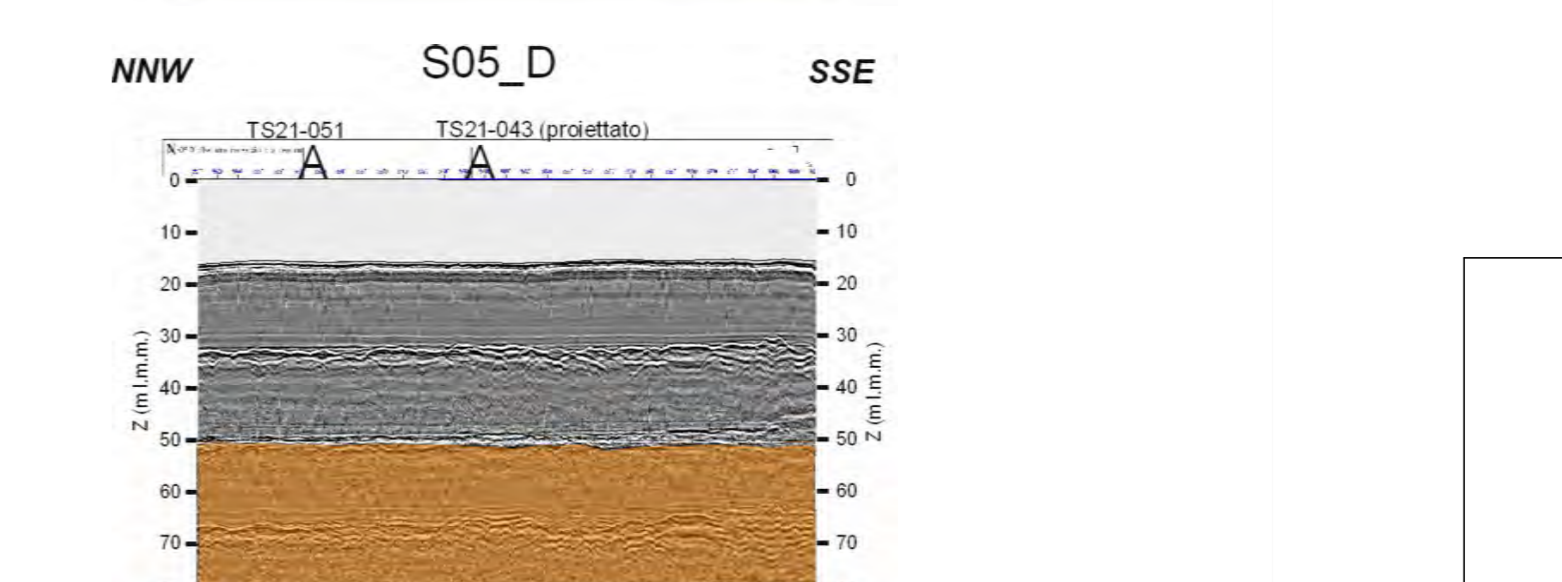
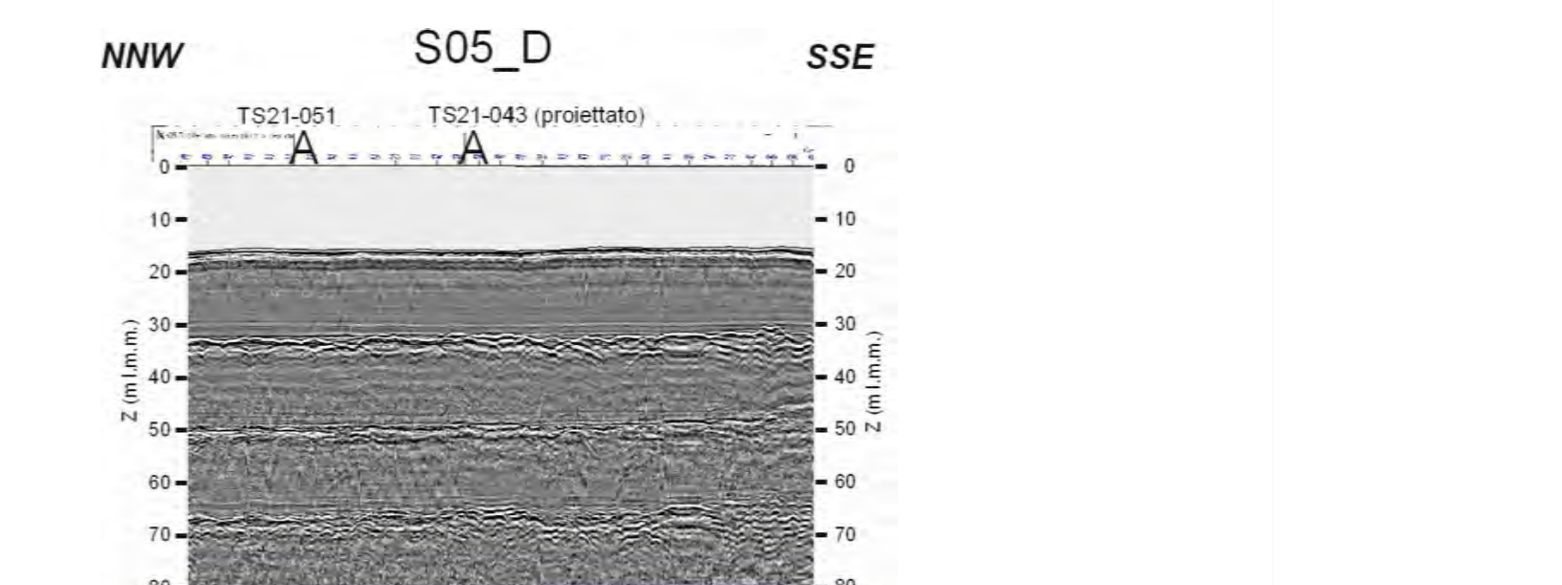


SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA S04_B



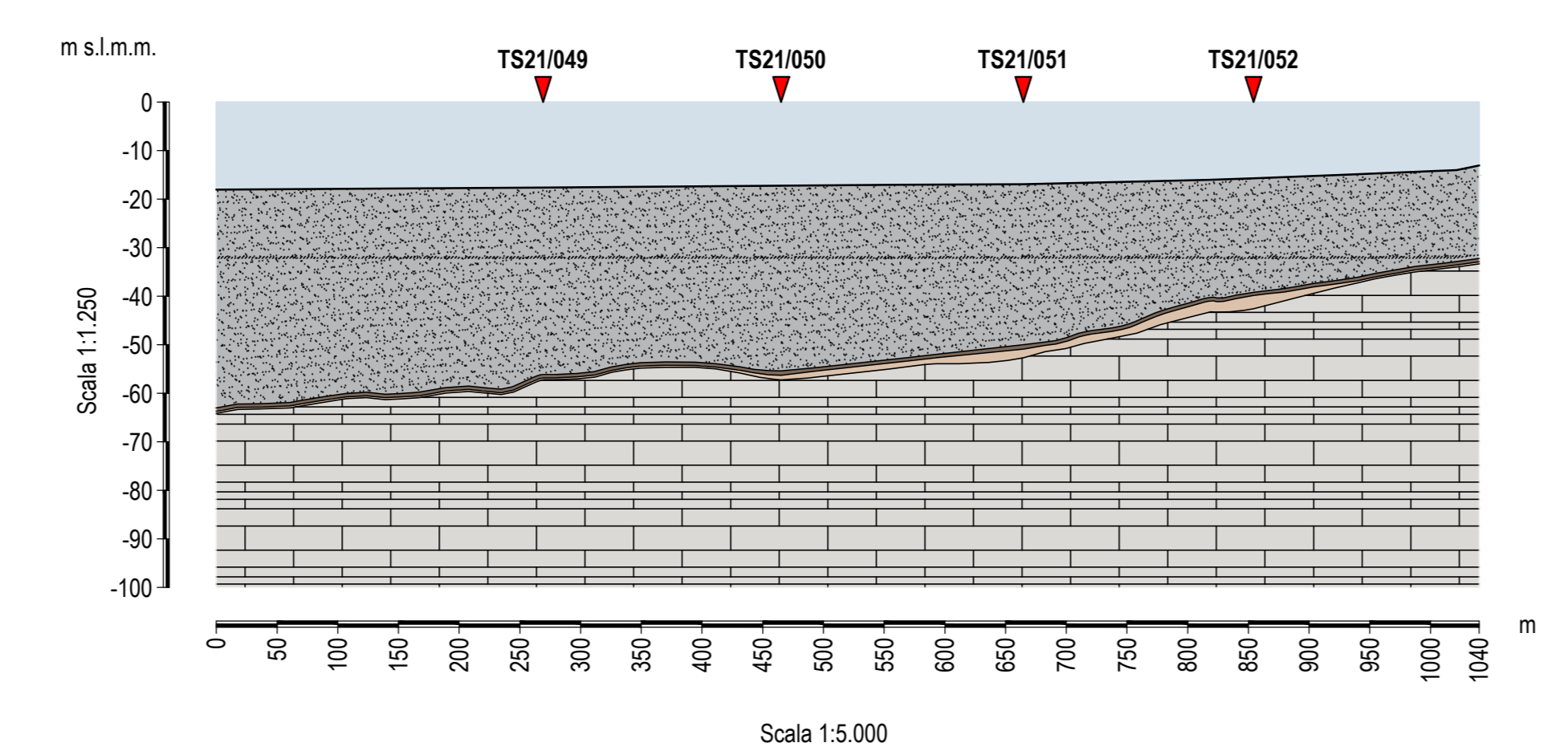
Flysch

SEZIONE SISMOSTRATIGRAFICA S04_D

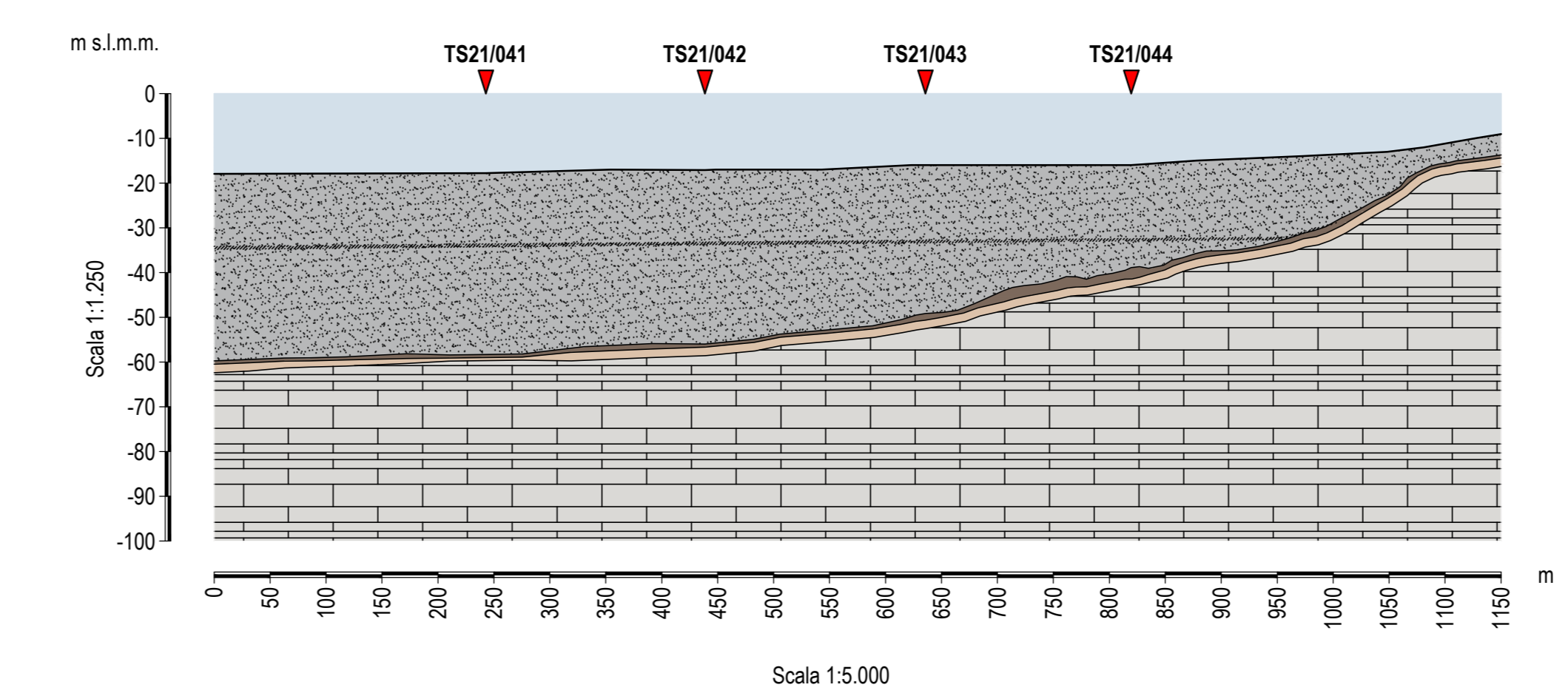


- Complesso limoso-argilloso, debolmente sabbioso
- Livello turboso
- Flysch marnoso-arenaceo alterato (Complesso C1)
- Flysch marnoso-arenaceo integro (Tipo T3/T4)
- Flysch arenaceo-marnoso integro (Tipo T2)

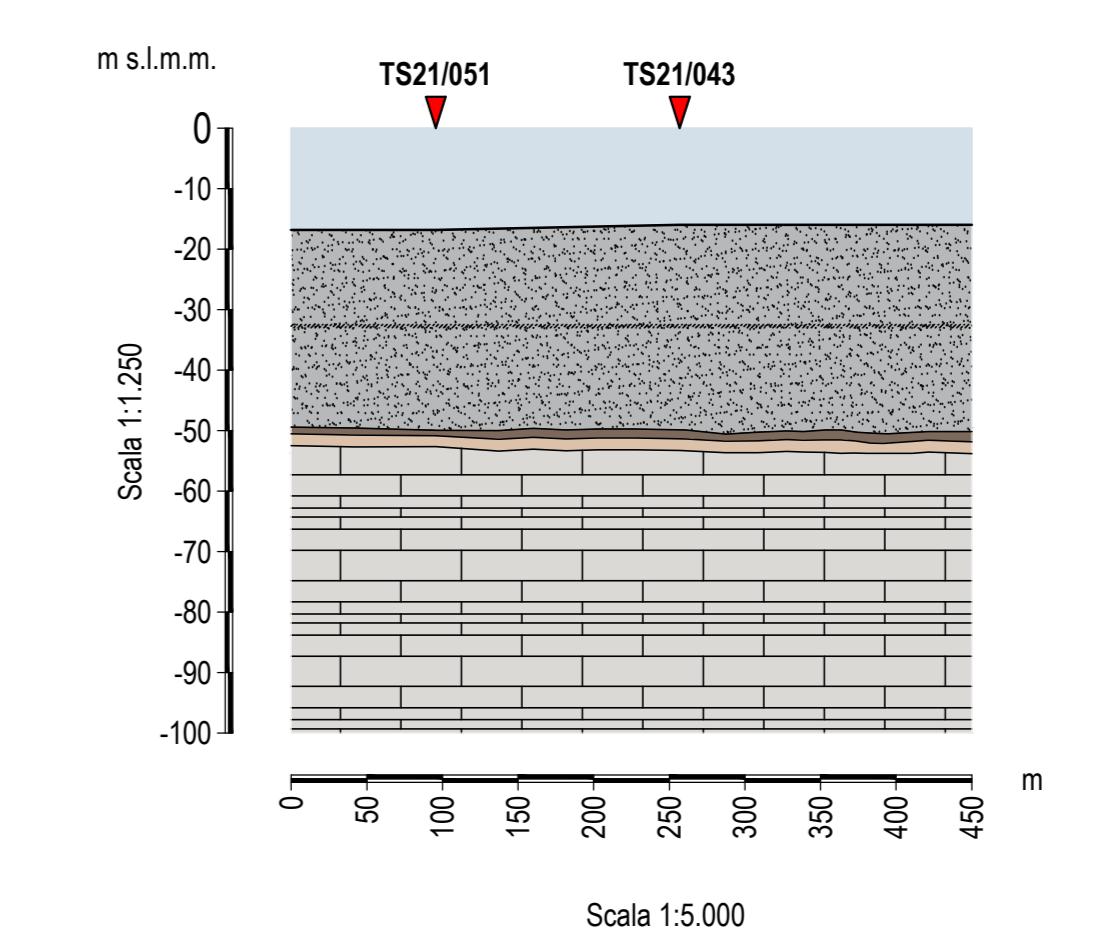
SEZIONE GEOLOGICO-INTERPRETATIVA A - A'



SEZIONE GEOLOGICO-INTERPRETATIVA B - B'



SEZIONE GEOLOGICO-INTERPRETATIVA C - C'



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESE



COMMITTENTE



PIANO DELLE INDAGINI SULLE AREE A TERRA E A MARE
INTERESSATE DALLA PROGETTAZIONE DELLE OPERE FERROVIARIE
E PORTUALI

PLANIMETRIA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE
SEZIONI SISMOSTRATIGRAFICHE
SEZIONI GEOLOGICO-INTERPRETATIVE

febbraio 2022

Dott. Geol. Carlo Alberto Masoli
Geosyntech srl