

REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA  
PROVINCIA DI TRIESTE  
COMUNE DI TRIESTE

---

COMMITTENTE  
Comune di Trieste

---

LAVORO  
Relazione geologica e di parametrizzazione geotecnica dei terreni a supporto del progetto per l'installazione di moduli prefabbricati presso area esterna della Villa Haggiconsta sita in Viale Romolo Gessi,10 a Trieste (TS).  
CIG: Z093A03ADF

---

DATA  
Marzo 2022

---

PROFESSIONISTA INCARICATO  
dott. geol. Roberto Chiappini

---



1.	GENERALITÀ.....	3
2.	UBICAZIONE AREA DI INDAGINE.....	5
3.	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	6
4.	ELEMENTI DI PROGETTO.....	8
6.	ZONIZZAZIONE GEOLOGICO-TECNICA .....	9
7.	GEOMORFOLOGIA.....	13
8.	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO LOCALE .....	14
9.	CATEGORIA TOPOGRAFICA .....	15
10.	IDROGEOLOGIA.....	16
11.	MICROZONAZIONE SISMICA.....	18
12.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE.....	20
13.	SITUAZIONE STRATIGRAFICA LOCALE – PARAMETRAZIONE GEOTECNICA.....	22
14.	PARAMETRAZIONE GEOTECNICA.....	26
15.	INQUADRAMENTO NEOTETTONICO.....	30
16.	GEODINAMICA E SISMICITÀ DELL'AREA.....	32
17.	STORIA SISMICA DELL'AREA .....	35
18.	TERREMOTO DI SCENARIO.....	39
19.	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	41
20.	PERICOLOSITÀ SISMICA.....	43
21.	SINTESI E CONSIDERAZIONI.....	45
22.	ALLEGATO 1 – INDAGINE SISMICA.....	46

Regione Friuli Venezia Giulia

Provincia di Trieste

Comune di Trieste

Comune di Trieste

Relazione geologica e di parametrizzazione geotecnica dei terreni a supporto del progetto per l'installazione di moduli prefabbricati presso area esterna della Villa Haggiconsta sita in Viale Romolo Gessi,10 a Trieste (TS).

CIG: Z093A03ADF

Marzo 2023

## 1. Generalità

Su incarico del Comune di Trieste, nel mese di marzo 2023, è stata redatta la presente relazione geologica e di parametrizzazione geotecnica dei terreni a supporto del progetto per l'installazione di moduli prefabbricati presso area esterna della Villa Haggiconsta sita in Viale Romolo Gessi,10 a Trieste (TS).

Il presente studio raccoglie gli elaborati riguardanti la valutazione delle condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche della zona in esame e delle aree adiacenti, nonché la valutazione dei parametri geotecnici dei terreni interessati dalle opere in progetto.

Per la stesura della presente relazione ci si è basati, dopo un attento sopralluogo nell'area in questione ed in quelle limitrofe, sulle evidenze di una serie di campagne di indagini geognostiche eseguite in aree immediatamente attigue a quella di progetto.

### Sono stati considerati:

- I dati ricevuti dal Servizio Geologico – Direzione Ambiente ed Energia – Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia relativi ad interventi in aree limitrofe a quelle di intervento;
- I dati, in possesso dello scrivente inerenti indagini geognostiche eseguiti in aree prossime a quelle di intervento;
- Quanto riportato nel PRGC del Comune di Trieste;
- Quanto riportato nel P.A.I.R - Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini idrografici dei tributari della Laguna di Marano - Grado, della Laguna medesima, del bacino idrografico del torrente Slizza e del bacino idrografico di Levante e corrispondenti misure di salvaguardia;
- Quanto riportato nello studio di microzonazione sismica del Comune di Trieste dd. marzo 2016
- Quanto riportato nelle Norme Tecniche e nella Cartografia del P.G.R.A. – Piano di Gestione Rischio Alluvioni del Distretto delle Alpi Orientali

### Indagini eseguite:

- Per la definizione del modello geologico del sottosuolo e per la determinazione della velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$ , così come definita nelle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 è stata eseguita una campagna di indagini sismiche.

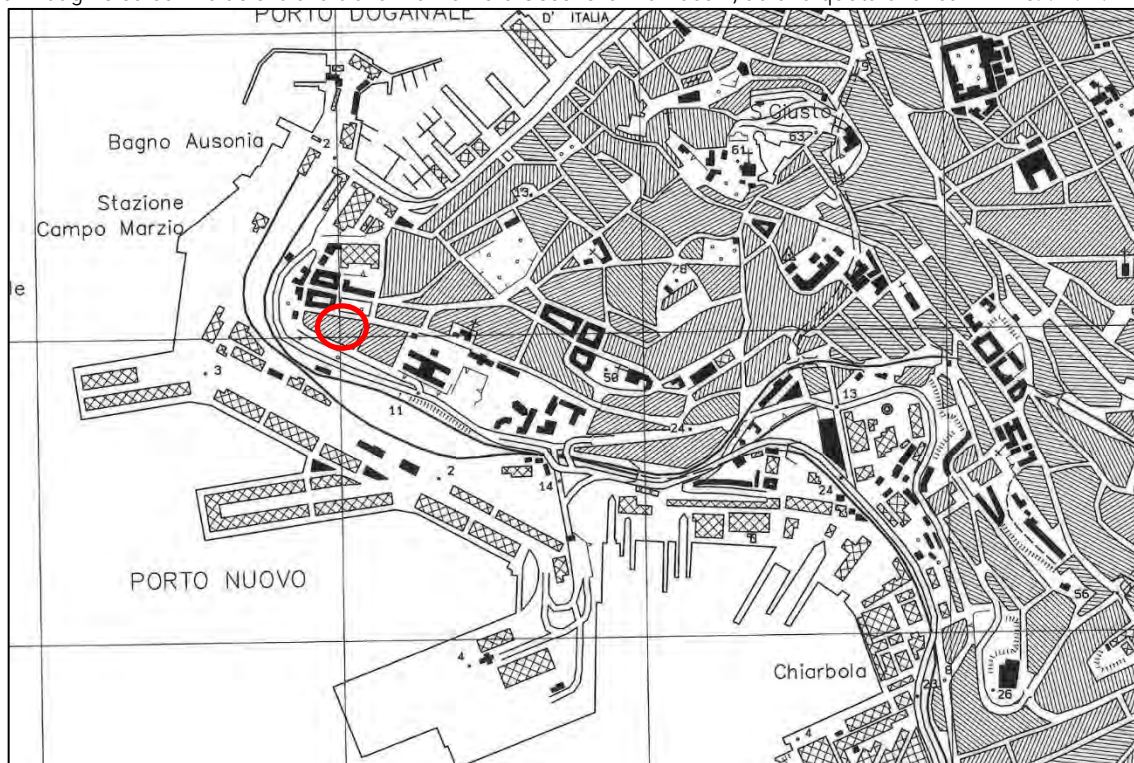
La campagna di indagine geofisica si è così sviluppata:

- n° 1 indagine sismica a rifrazione;
- n° 1 indagine sismica passiva a stazione singola H.V.S.R.;
- n° 1 indagine sismica con metodologia M.A.S.W. (multi-channel analysis of surface waves).

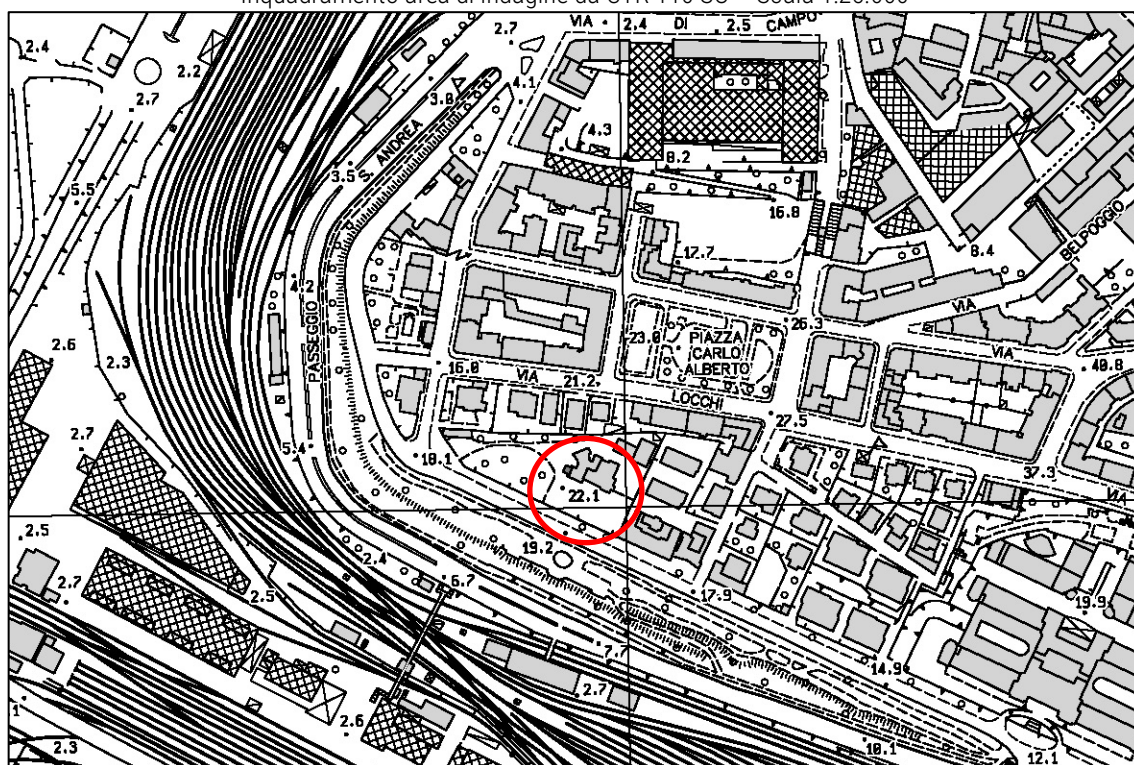
Al fine di definire infine le caratteristiche dei livelli di copertura e la quota di rinvenimento del substrato roccioso è stato eseguito un sondaggio geognostico a carotaggio continuo. Durante l'esecuzione del sondaggio sono state realizzate prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.) al fine di definire le caratteristiche fisico meccaniche dei materiali di copertura

## 2. Ubicazione area di indagine

L'area di indagine su cui incide si trova tra la Via Romolo Gessi e la Via Locchi, ad una quota di circa 22 m s.l.m.m.



Inquadramento area di indagine da CTR 110 SO – Scala 1:25.000



Ubicazione area di intervento da CTR 110144 – Scala 1:5.000

### 3. Riferimenti normativi

Il presente studio è stato redatto ai sensi delle LL.RR. 9 maggio 1988, n. 27 "Norme sull'osservanza delle disposizioni sismiche ed attuazione dell'articolo 20 della legge 10 dicembre 1981, n. 741" ed 11 agosto 2009, n. 16 "Norme per la costruzione in zona sismica e per la tutela fisica del territorio".

La L.R. 27/1988 è abrogata dall'art. 19, comma 1, lettera b) della L.R. 16/2009, ma le sue disposizioni continuano ad applicarsi fino all'adozione dei provvedimenti attuativi indicati all'art. 3, commi 2, 3 e 4 ed all'art. 17 della legge medesima.

La relazione si basa sulla normativa vigente, con particolare riferimento a:

- D.M. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e relative istruzioni applicative (Circolare LL.PP. 24 settembre 1988, n. 30483) con le relative istruzioni applicative (Circolare LL.PP. 24 settembre 1988, n. 30483);
- D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (NTC2008) e relative istruzioni applicative (Circolare LL.PP. 2 febbraio 2009, n. 617);
- Circolare 02/02/2009 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- Decreto 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"
- L.R. 23 aprile 2007, n. 9 "Norme in materia di risorse forestali";
- O.P.C.M. 28 aprile 2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".

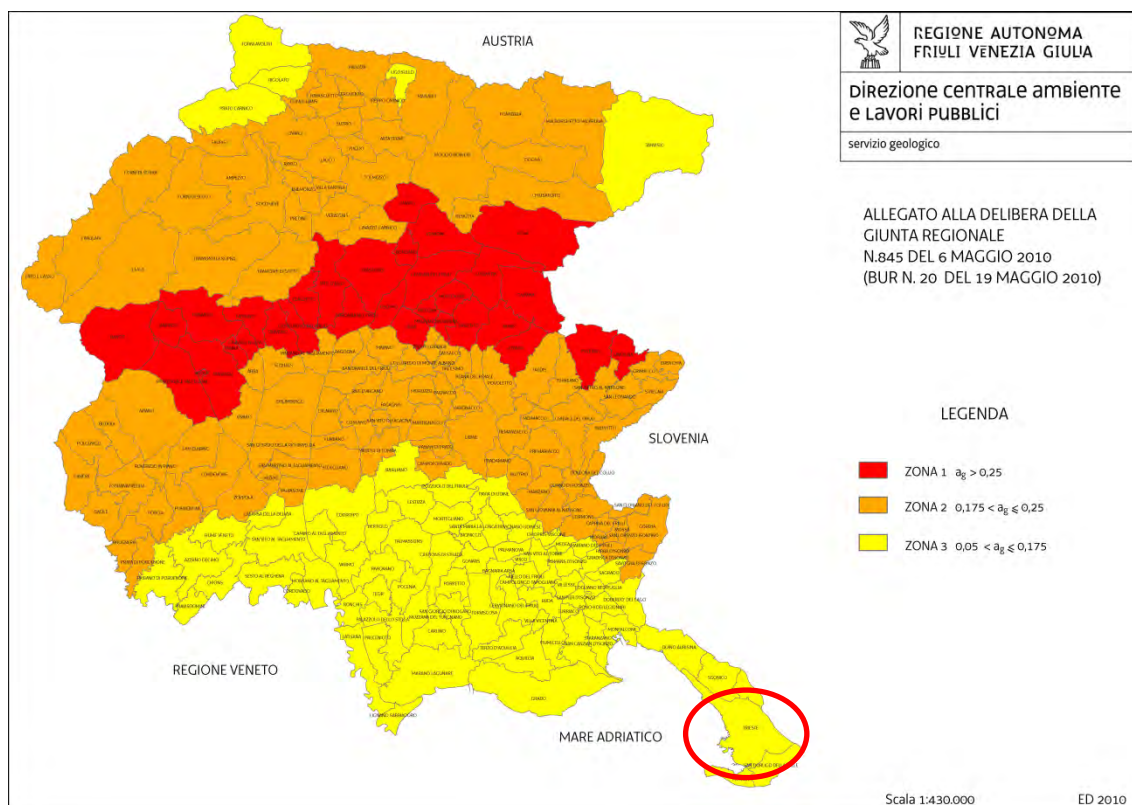
Con Deliberazione di Giunta 6 maggio 2010, n. 845, il territorio della Regione F.V.G. è classificato, ai sensi dell'art. 3, comma 2, lettera a) della L.R. 16/2009, assegnando ciascun Comune ad una zona sismica ed individuando l'area di alta/bassa sismicità di appartenenza, come riportato nell'Allegato 1 della D.G.R. stessa.

In base a tale allegato il Comune di Trieste (**Codice ISTAT 6032006**) ricade in zona sismica 3 (definita area di bassa sismicità in recepimento dei pareri del Consiglio Superiore dei LL.PP. 16 novembre 2005, n. 234 e 13 dicembre 2005, n. 264, secondo i quali le zone sismiche 3 e 4 sono da considerarsi a "bassa sismicità").

Nell'O.P.C.M. 28 aprile 2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", la zona sismica 3 è individuata dai seguenti valori di accelerazione massima del suolo  $a_g$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni riferiti a suoli orizzontali rigidi su campo libero caratterizzati da  $V_{s,eq} > 800$  m/s:  $0,05 < a_g \leq 0,175$  g.

Tale Ordinanza Ministeriale rappresenta, seppur in via transitoria ed in attesa dei criteri generali approvati ai sensi dell'art. 83, comma 2, del D.P.R. 380/2001, il riferimento nazionale per le Regioni nel provvedere alla formazione ed all'aggiornamento degli elenchi delle zone dichiarate sismiche ai sensi del comma 3 del medesimo articolo.

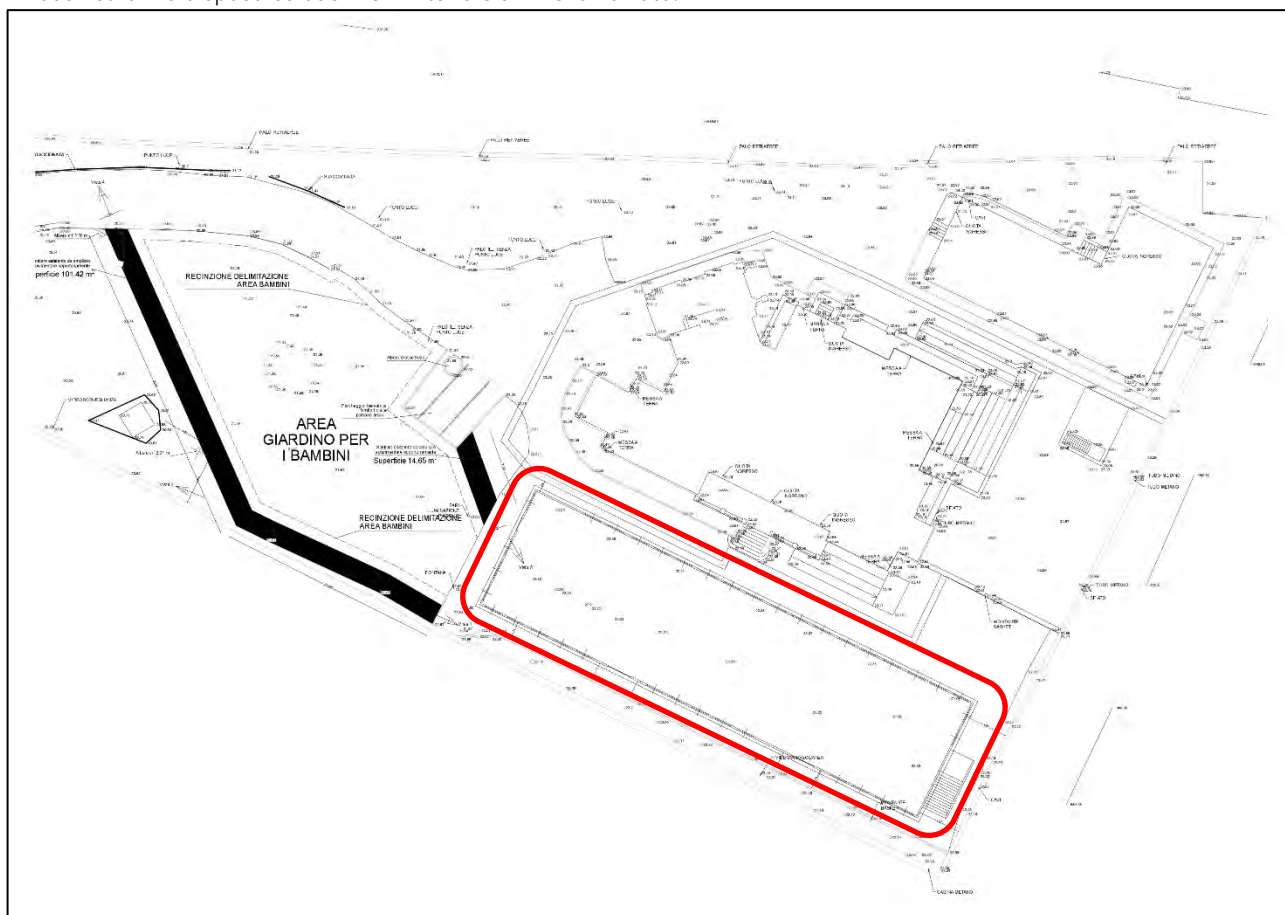




Classificazione sismica del territorio del Friuli Venezia Giulia

#### 4. Elementi di progetto

È prevista la posa di moduli prefabbricati, ad uso scolastico, sul piazzale antistante la Villa in oggetto. I moduli saranno disposti su due livelli – terra e un livello rialzato.



Ipotesi di distribuzione dei moduli prefabbricati.

Per una descrizione più dettagliata si rimanda al progetto strutturale ed architettonico che la presente accompagna. Si riportano le planimetrie relative al piano terra ed al piano interrato del comparativo stato di fatto e di progetto – fuori scala.



## 6. Zonizzazione geologico-tecnica

In riferimento al Nuovo Piano Regolatore Generale Comunale - delibera di adozione 16.04.2014 l'area in oggetto rientra in classe ZG6.

Come riporta l'articolo 119 delle norme di piano (Compatibilità degli interventi con le condizioni geologiche, idrauliche e sismiche del territorio), "Lo studio geologico costituisce parte integrante del Piano (Allegato 1) ed ha carattere cogente in quanto determina le condizioni necessarie ad assicurare la compatibilità delle previsioni urbanistiche con la situazione geologica, idraulica e sismica del territorio. Qualsiasi intervento deve essere attuato nel rispetto delle prescrizioni contenute nelle Norme geologico-tecniche relative alle Classi di appartenenza, come individuate nella Carta della zonizzazione geologico tecnica (elaborati «GZ»)".

### Art. 10.6 - Classe ZG6

In questa classe rientra la formazione marnoso arenacea in facies di Flysch caratterizzata generalmente 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.

Le aree rientranti in classe ZG6 sono edificabili nel rispetto delle norme tecniche attuative del P.R.G.C.

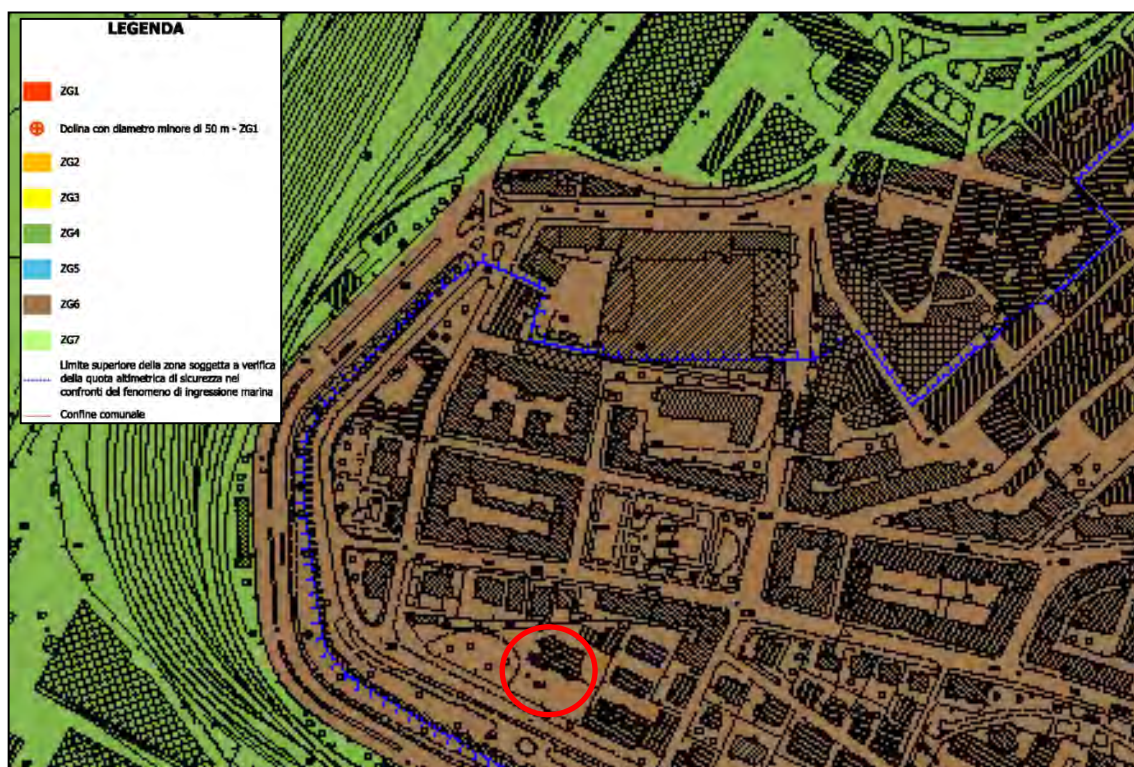
In sede di rilascio degli atti abilitativi dovranno essere acquisite, quale documentazione di progetto, le seguenti relazioni:

- relazione geologica e relazione geotecnica per nuove edificazioni, ampliamenti, incrementi di carico fondazionale anche in relazione ad adeguamento sismico, consolidamenti, sbancamenti, terrazzamenti e riporti. La relazione dovrà fare riferimento a quanto previsto all'art. 14 - Note generali sui contenuti della relazione geologica e geotecnica.

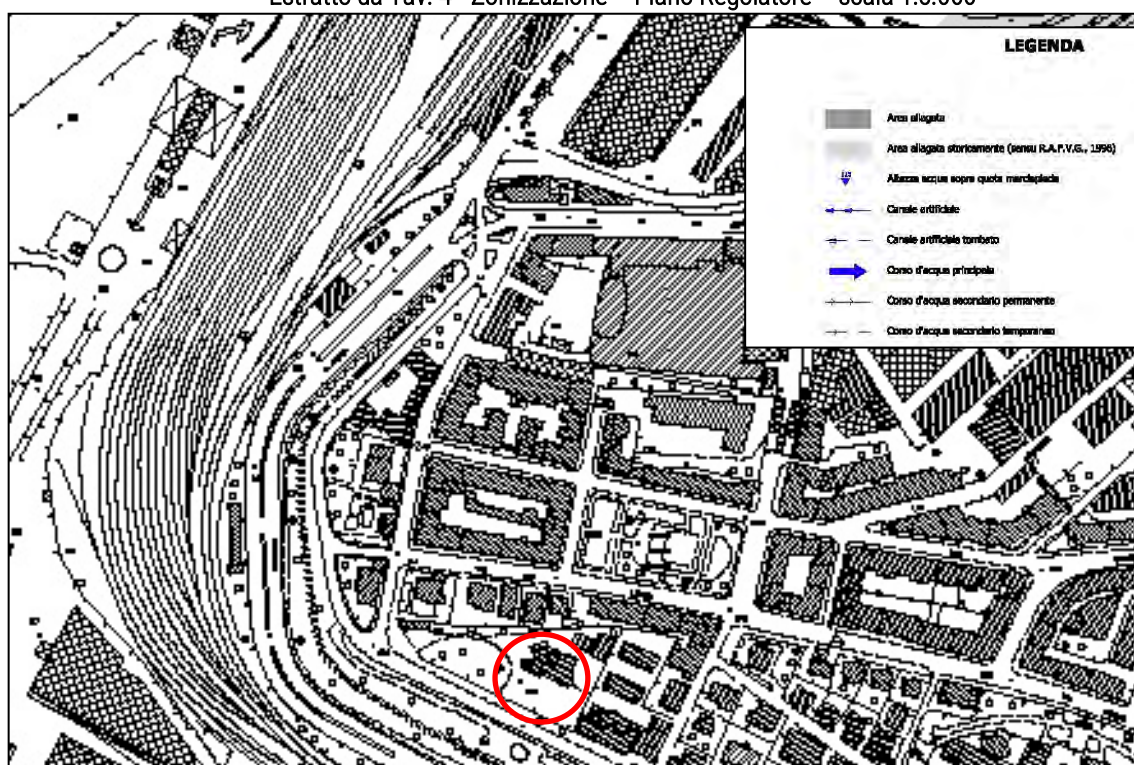
In particolare, la relazione geologica dovrà individuare, descrivere e cartografare nel dettaglio l'eventuale presenza di rischi geologici gravanti sulle aree interessate dall'intervento, indicando le soluzioni progettuali da adottare per eliminare o ridurre, in base all'opera prevista ed all'utilizzo dell'area, i rischi rilevati.

Le indicazioni contenute nella suddetta relazione dovranno essere integralmente recepite nel progetto delle opere di cui si prevede l'esecuzione. Lo stesso redattore della relazione geologica dovrà dichiarare, per quanto di competenza, la completa compatibilità degli interventi in progetto in relazione agli eventuali rischi geologici rilevati ed all'equilibrio idrogeologico e geostatico dell'area.

Fatto salvo quanto prescritto nelle norme particolari di salvaguardia (art. 15), indagini di carattere speciale dovranno essere eseguite nelle aree dove per motivate ragioni geologiche (aree carsiche – depositi di terra rossa – riporti antropici) o relative al precedente uso del territorio possano essere presenti cavità sotterranee, possano manifestarsi fenomeni di subsidenza ed altri fenomeni che condizionino il comportamento statico dei manufatti (Par. C.3 del D.M. 11.03.1988).

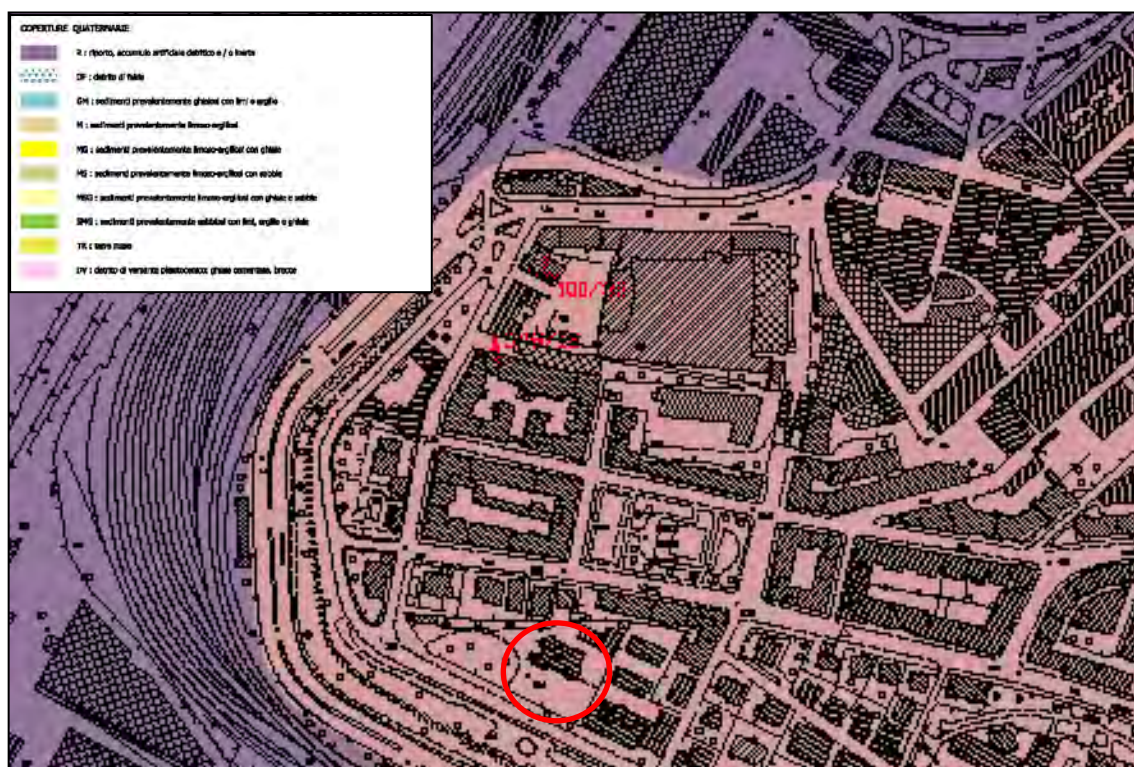


Estratto da Tav. 4 - Zonizzazione - Piano Regolatore - scala 1:5.000

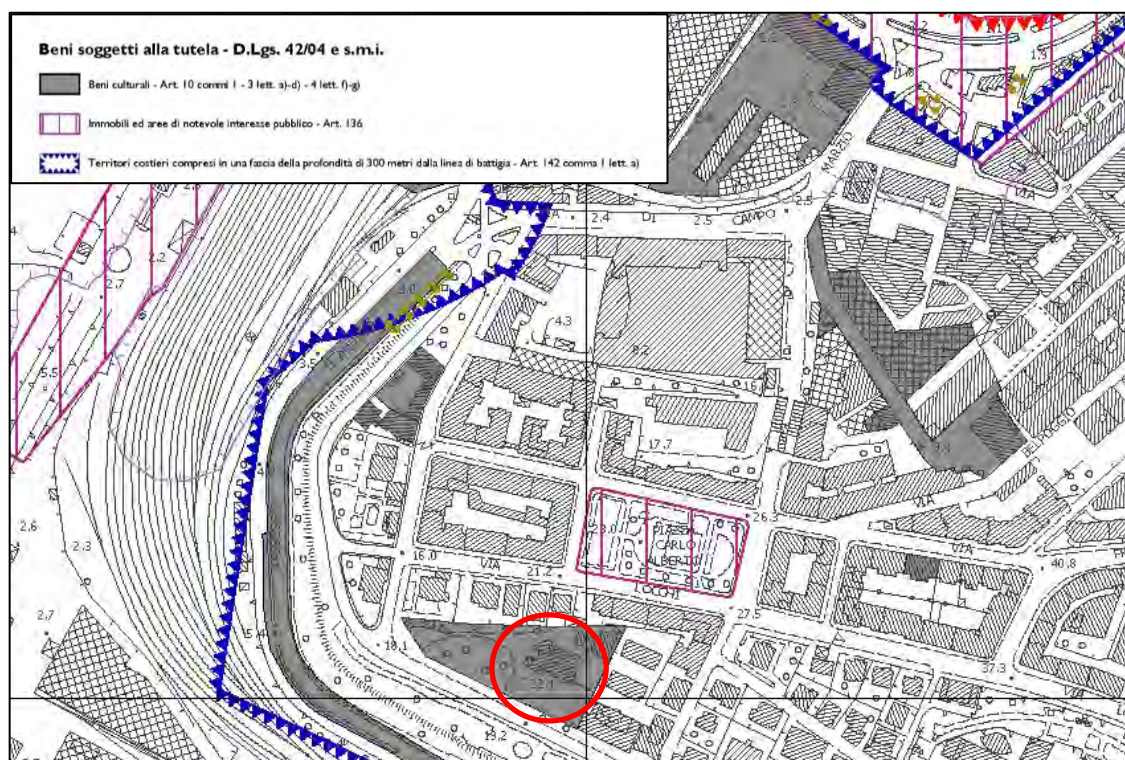


Estratto da Tav. 4 - Geomorfologia e idrografia superficiale - Piano Regolatore - scala 1: 5.000



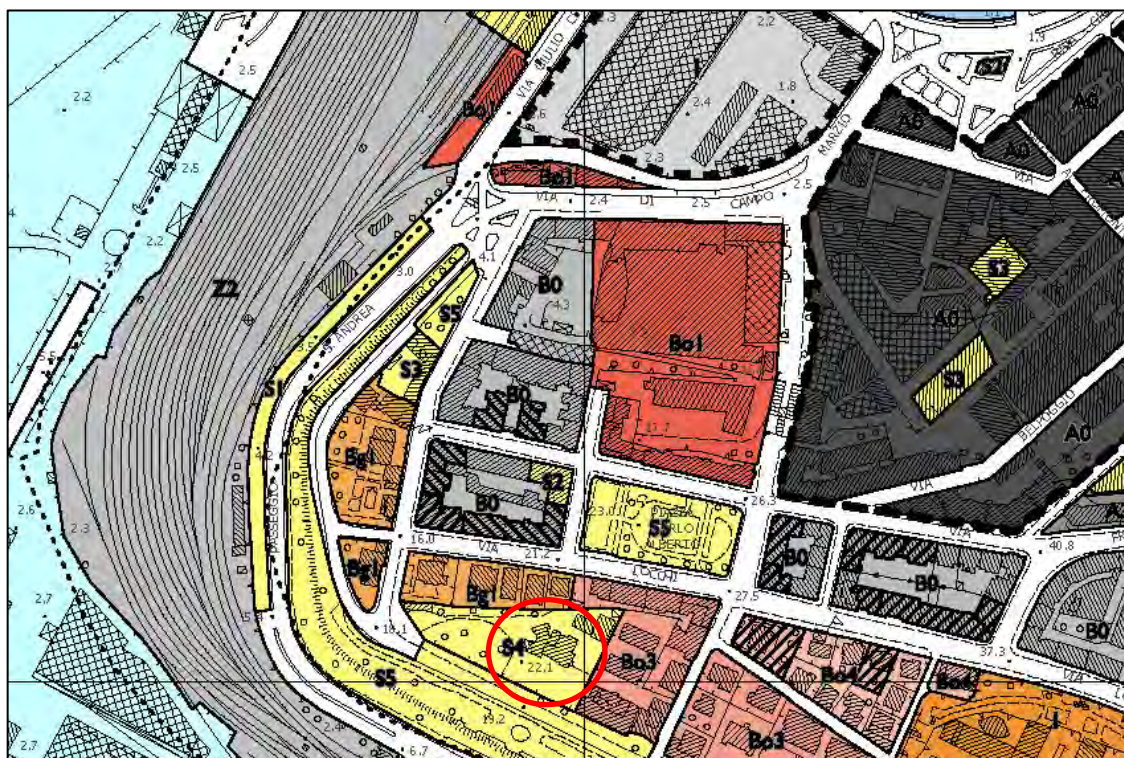


Estratto da Tav. 4- Litologia superficiale - Piano Regolatore – scala 1: 5.000



Estratto da Tav. 4 - Carta dei Vincoli - Piano Regolatore – scala 1: 5.000





Estratto da Tav. 4 – PO2 Zonizzazione - Piano Regolatore – scala 1: 5.000

## 7. Geomorfologia

L'attuale conformazione del Golfo di Trieste è dovuta ad un'attività prevalentemente marina, esplicatasi nell'Era Quaternaria, con fasi alterne di trasgressione e regressione su un'area precedentemente emersa.

L'aspetto pre-quaternario di tale zona doveva essere infatti alquanto diverso dall'attuale. Si crede che tutta l'area occupata dal Golfo di Trieste fosse ancora emersa, sicché la paleo-coste istriana proseguiva fino all'interno dell'attuale costa di Grado, mentre il mare pliocenico si estendeva sull'attuale pianura friulana, lambendo gli affioramenti eocenici e miocenici delle Prealpi. Con l'Era Neozoica, nella parte meridionale del Golfo si ebbe una progressiva sommersione della pre-esistente area costiera rocciosa, mentre nella zona settentrionale si ebbe analogamente una sommersione, ma di aree alluvionali dovuta probabilmente a riempimento del mare pliocenico ad opera di un intenso apporto fluvio-glaciale neozoico.

Ricerche sismiche a profilo continuo condotte nel Golfo di Trieste (Morelli e Mosetti, 1968) hanno chiarito la progressiva evoluzione neozoica glaciale e post-glaciale dell'area in esame. I risultati di tali ricerche mettono in risalto la presenza continua e regolare alla sommità del basamento roccioso (che per la maggior parte dell'area è costituito da marne e arenarie) di ripidi gradini alternati a pianori sub-orizzontali. Trattasi di antiche linee di spiaggia che si trovano principalmente in corrispondenza delle isobate -45 m., -86 m., -130 m. e localmente -180 m.

Tali paleo-linee di spiaggia seguono piuttosto fedelmente l'attuale linea di costa fino all'isobata -125 m. e mettono in luce la generale prosecuzione verso Ovest dei principali solchi della formazione marnoso-arenacea eocenica, impostati lungo zone soggette in origine a disturbi tettonici e originati a seguito di una notevole incisione operata dai principali torrenti locali quali ad es.: Farneto, Settefontane, Rio Primario, Rosandra, Ospio.

La più recente linea di spiaggia, messa in evidenza col metodo sismico, si trova a 45 m. sotto il l.m.m. Non è detto però che questa sia stata l'ultima a caratterizzare il Golfo di Trieste prima della linea attuale. Recenti sondaggi al largo della baia di Muggia, per la costruzione di infrastrutture portuali (Mosetti, 1965) hanno messo in evidenza livelli di argille grigio-nerastre, con frammenti di breccie arenacee e calcaree e di argille torbose fetide, con resti vegetali, a batimetrie oscillanti fra i -28 e -32 m. dal l.m.m. Le prime sono caratteristiche di ambiente deltizio, le seconde di ambiente di transizione. Allo stesso modo, sondaggi al largo di Roiano, di S. Andrea e S. Sabba, hanno accertato una certa continuità dell'arenaria attorno ai 30-35 m. sotto il l.m.m.

Tali osservazioni lasciano intendere l'esistenza di un'antica linea di spiaggia, che recenti studi paleontologici basati sulla microfauna (Masoli e Zucchi, 1968) attribuiscono alla fine del Pleistocene.

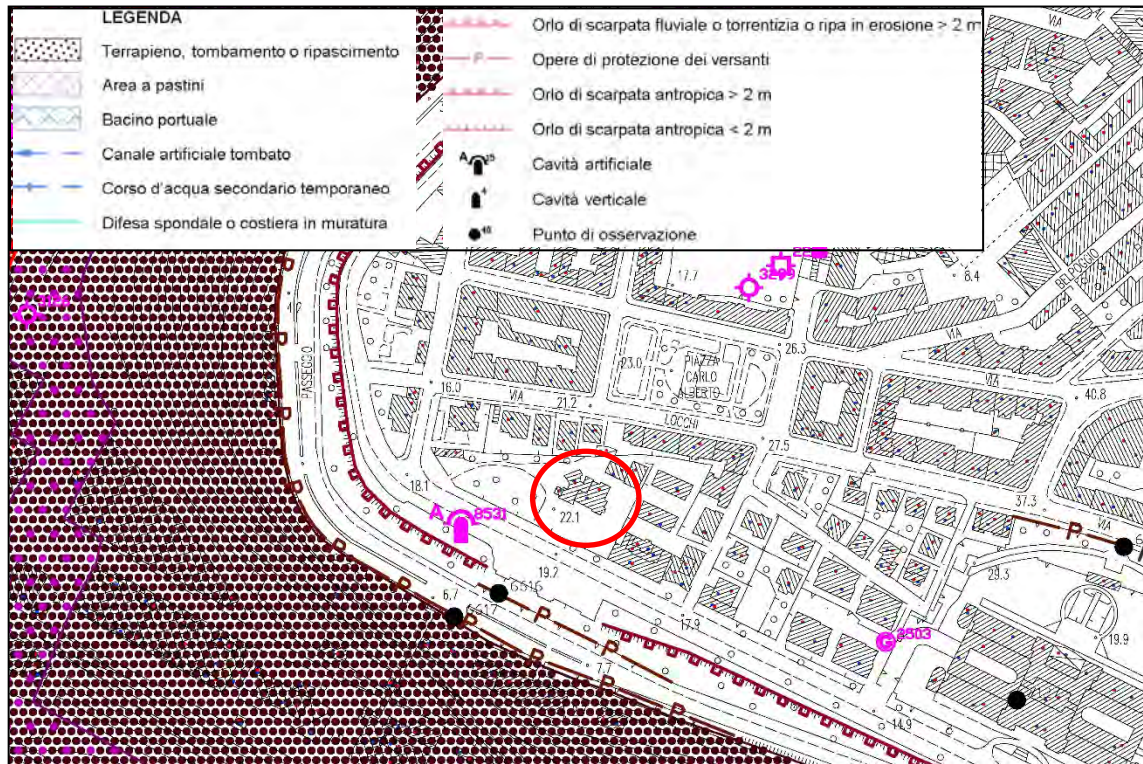
A batimetrie inferiori, cioè comprese fra -10 e +/- 0.00 s.l.m.m., si ha una brusca diminuzione delle pendenze. Ciò sta ad indicare il piano della recente ed attuale linea di spiaggia. Caratteristico in tal senso è il vasto plateau antistante, (lato Nord) la punta più occidentale della città e comprendente lo scoglio Zucco, ora completamente inglobato nell'area portuale. Similmente, da perforazioni eseguite al largo della baia di Muggia e da studi di microfauna (Masoli e Zucchi, o.c.), si sono trovati a batimetrie oscillanti attorno a -10,00 m. dal l.m.m. livelli di argille fetide con resti vegetali e con microfaune salmastre e malacofaune continentali. A questa fase lagunare salmastra è seguita una cospicua trasgressione che ha permesso la sedimentazione di quasi 8 m. di argille limose e di limi sabbiosi, ricchi di resti organici di ambiente prettamente marino. Gli ultimi tre metri di sedimenti testimoniano anch'essi un ambiente marino, intervallato da episodi salmastri, evidenziati da modesti livelli di torbe e da una caratteristica micro e macro-fauna.

All'inizio dell'epoca storica l'attuale zona urbana del Borgo Teresiano e le zone limitrofe erano caratterizzate da un ambiente lagunare salmastro. I torrenti Farneto e Settefontane infatti raggiungevano il mare divagando nei tratti terminali delle zone paludose. In particolare il Settefontane lambiva il colle di S. Giusto e si gettava in mare all'altezza dell'attuale Piazza della Borsa. Il torrente Farneto, originariamente diretto lungo l'asse dell'attuale Canale, mutò il suo antico percorso e fu spostato dai suoi stessi depositi alluvionali sempre più verso Nord.

L'idrografia originaria venne modificata un po' alla volta dall'uomo: difatti i suddetti torrenti furono incanalati per proteggere dallo straripamento le saline (unica fonte importante dell'economia triestina) costruite già in epoca romana in parecchie zone della città (Borgo Teresiano, valle di Roiano, Campo Marzio, insenatura di Servola, foci del Rio Primario). Nel XVIII secolo le saline, che occupavano l'attuale area nota come Borgo Teresiano, furono bonificate per permettere lo sviluppo urbano della città e i tratti terminali dei due torrenti Farneto e Settefontane vennero definitivamente incanalati lungo il percorso corrispondente alle attuali via Carducci e via Ghega, e fatti sfociare in mare nei pressi della stazione delle autocorriere. Nel secolo scorso infine, tutti i tratti degli alvei di torrenti compresi entro la zona urbana vennero ricoperti. La linea di costa esistente prima della urbanizzazione della parte bassa del centro storico correva pressappoco lungo la direttrice via Carducci - piazza Goldoni. È qui, infatti, che i depositi alluvionali dei torrenti Farneto e Settefontane confinano con quelli marini considerati precedentemente.



Di seguito viene riportato il "layout geomorfologico" della Carta di sintesi geologico-tecnica del territorio regionale, realizzata dal Servizio Geologico della Direzione centrale ambientale e lavori pubblici della Regione Autonoma FVG.



Carta geologico tecnica del Friuli Venezia Giulia – layout morfologico - scala 1:5.000

## 8. Inquadramento morfologico locale

Nell'area non sono più riscontrabili gli originali elementi morfologici ormai mascherati dalle opere di antropizzazione.

Dall'analisi dei dati cartografici disponibili, risulta che nel sito non sussistono processi morfologici in atto o potenziali, né sono da prevedersi fenomenologie di versante in ragione dei previsti interventi progettuali.

L'elevato grado di antropizzazione di tutto il settore, comportando modifiche nell'assetto morfologico, ha determinato una «sistemazione» delle direttive di deflusso delle acque piovane al fine di facilitarne un ordinato allontanamento in occasione di precipitazioni particolarmente intense (presenza in prossimità della rete viaria, opere di captazione e deflusso nell'ordinaria rete fognaria) e sicuramente questa sistemazione non subirà modifiche sostanziali con l'esecuzione delle opere in progetto. Nel sito e nelle aree circostanti non sono stati rilevati elementi morfologici di un qualche significato.

In particolare, non sono stati rilevati elementi morfologici che possano far pensare alla sussistenza di fenomeni di dislocazione superficiale conseguenti ad eventi sismici od al verificarsi di fenomeni di liquefazione dei terreni.

Nel sito in esame non si osservano fenomeni destabilizzanti di tipo gravitativo o erosivo attivi in tempi geologici recenti né è ipotizzabile una loro attivazione in tempi geologicamente brevi.

Analogamente nullo è il rischio che il sito venga interessato da fenomeni di dissesto aventi origine in aree limitrofe.

Nel sito in oggetto non sono state identificate morfologie associate a processi morfogenetici attivi.

In particolare, non sono state identificate morfologie, sedimentarie od erosive, associate a processi morfogenetici di versante o fluviale attivi.

Per quanto concerne la stabilità del pendio e dei fronti di scavo, l'area mostra pendenze modeste in relazione alle caratteristiche meccaniche dei terreni e pertanto non sussistono le condizioni geomorfologiche per il verificarsi di fenomeni di instabilità di tipo gravitativo od erosivo; il rischio che fenomeni franosi possano interessare il sito in esame in tempi geologicamente brevi è nullo.



## 9. Categoria topografica

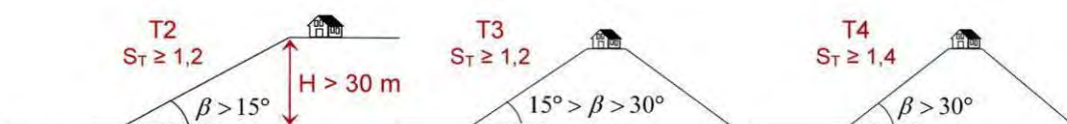
La conformazione del terreno è importante nella definizione dell'azione sismica in quanto, a seguito di fenomeni di riflessione e all'interazione tra campo d'onda incidente e campo diffratto, le onde elastiche si concentrano in corrispondenza di creste e rilievi.

In base alle NTC2018 per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale (RSL), mentre per configurazioni superficiali semplici si può ricorrere alla sottostante tabella.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tale suddivisione in categorie recepisce lo schema proposto nell'Eurocodice 8-5 (2002), che introduce il coefficiente di amplificazione topografica per opere e/o strutture di una certa importanza realizzate in prossimità o sopra pendii con  $\beta > 15^\circ$  ed  $H > 30$  m.



Coefficienti di amplificazione topografica  $S_T$  secondo l'EC8 per pendii e rilievi isolati (T2) e rilievi con larghezza in cresta molto inferiore di quella alla base (T3 e T4);  $S_T$  decresce linearmente dalla sommità verso la base del pendio, dove assume valore unitario.

Una situazione morfologica che si presenta con una certa frequenza è quella dei "Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ ".

È opportuno evidenziare che un pendio inclinato non è di per sé un elemento sufficiente per focalizzare le onde sismiche; un valore medio di  $15^\circ$  non andrebbe quindi considerato in termini assoluti, ma valutato nel contesto con una tolleranza di circa  $\pm 2^\circ$ , che sperimentalmente si rivela adeguata nella maggior parte dei casi.

Gli elementi morfologici posti a valle di un'opera e/o struttura in grado di produrre un'amplificazione sismica sono infatti i cigli di scarpata, in corrispondenza dei quali è consigliabile valutare anche altezze comprese tra 10 e 30 m (vedi "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" del Dipartimento della Protezione Civile, settembre 2008).

cigli di scarpata	naturali →	orli di terrazzo, nicchie di distacco di fenomeni franosi importanti, orli di scarpata di degradazione e rotture di pendenza generiche;
	artificiali →	pendii scoscesi che delimitano dighe in terra, terrazzi in terreni di riporto, cave di inerti ed altre morfologie acclivi.

Nel caso in oggetto l'edificio è collocato lungo un modesto pendio, sbancato a seguito della sistemazione urbanistica attuale, a cui segue una situazione topografica a pendenza molto bassa.

La struttura in oggetto si trova ad una quota di circa 22 m s.l.m.m. in un'area moderatamente acclive; considerando comunque un dislivello dal piede del versante inferiore ai 30 m, al sito viene comunque assegnato un coefficiente di **amplificazione topografica  $S_T = 1$**  secondo le NTC2018, valore corrispondente ad una categoria topografica T1.

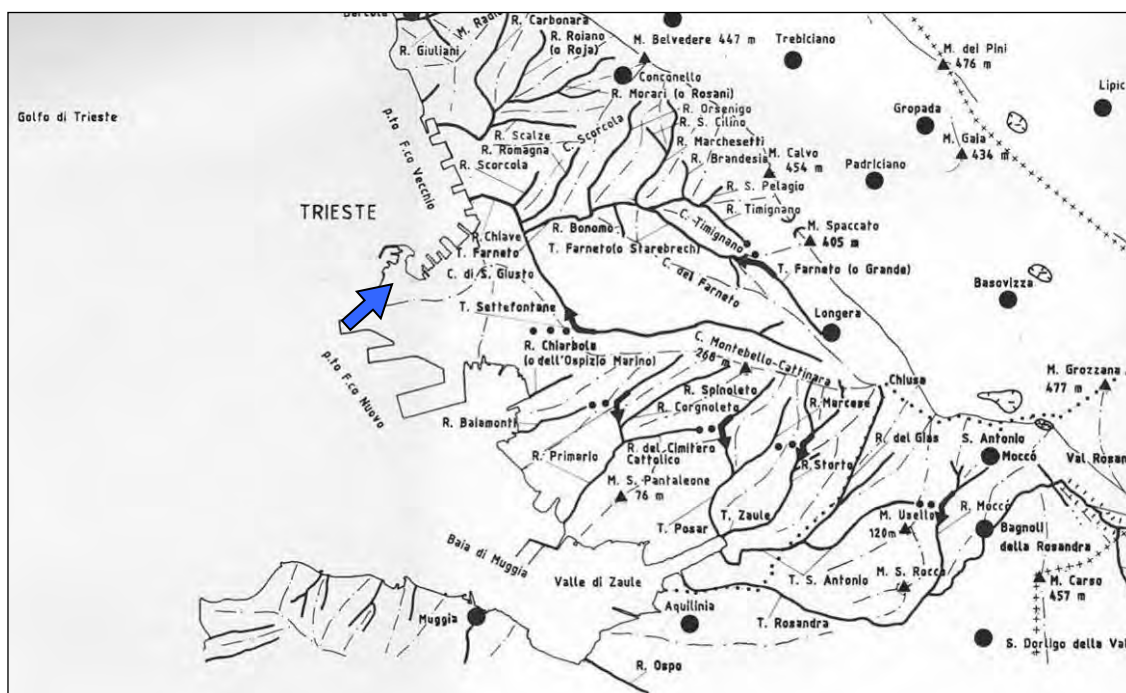
## 10. Idrogeologia

All'interno dell'area di intervento e nell'immediato circondario non esistono emergenze idriche epigee o ipogee.

Il grado di antropizzazione di tutto il settore, comportando modifiche nell'assetto morfologico, ha determinato una "sistemazione" delle direttive di deflusso delle acque piovane e sotterranee, al fine di facilitarne un ordinato allontanamento in occasione di precipitazioni particolarmente intense (canalizzazioni, opere di captazione e deflusso nell'ordinaria rete fognaria). Non sono, allo stato attuale, presenti fenomeni erosivi o di deposito all'interno dell'area di specifico interesse, né tantomeno sono da prevedersi mutamenti al quadro idrologico legati all'intervento in oggetto, fermo restando il mantenimento delle attuali opere di canalizzazione e drenaggio presenti.

Considerate le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nell'area, nel sottosuolo è probabile la presenza di venute d'acqua, sotto forma di vene, lungo gli interstrati della formazione marnoso-arenacea di base; la presenza di acqua, sotto questa forma nel substrato flyschoidale, è estremamente normale; la formazione marnoso-arenacea (Flysch) infatti è scarsamente permeabile e la poca acqua che penetra al suo interno segue fratture e fessurazioni insinuandosi lungo gli interstrati, più facilmente alterabili ed erodibili dall'azione meccanica dell'acqua in movimento.

Le vene idriche caratterizzano con maggior o minor frequenza tutti i versanti marnoso-arenacei del territorio provinciale, dove di solito si instaurano in prossimità del contatto fra roccia e terreno di copertura (alcuni autori parlano di ruscellamento idrico ipogeo o di falda collinare), ed hanno quasi sempre carattere temporaneo.



Per quanto riguarda il PAIR "Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini idrografici dei tributari della Laguna di Marano - Grado, della Laguna medesima, del bacino idrografico del torrente Slizza e del bacino idrografico di Levante e corrispondenti misure di salvaguardia" (D.P.Reg. 1 febbraio 2017, n. 28/Pres.), nel comprensorio la cartografia allegata alle norme di Piano non individua condizioni di pericolosità geologica (assenza di "elementi a rischio" e "zone di attenzione").

Per quanto invece concerne il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni l'area non ricade in quelle censite come potenzialmente soggette a rischio idraulico, pericolosità idraulica o potenzialmente allagabili.

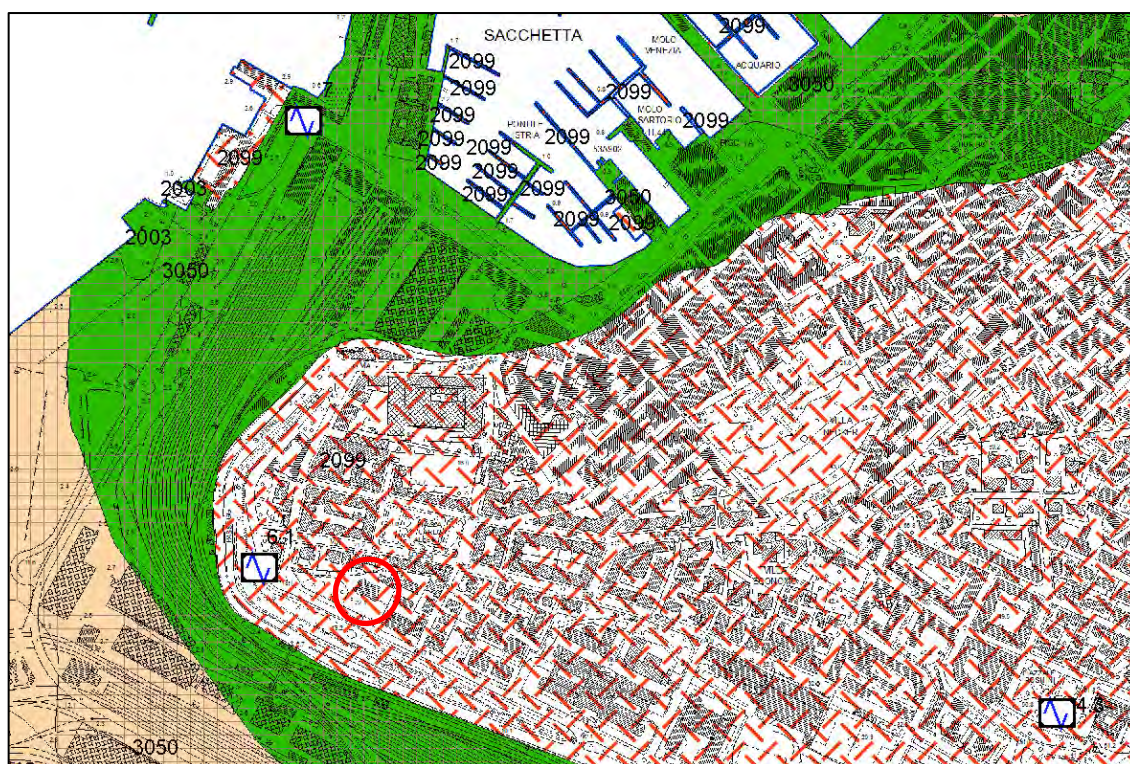


Pericolosità idraulica P.G.R.A. – Fuori scala



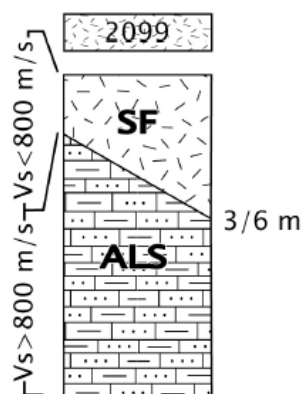
## 11. Microzonazione Sismica

In base allo Studio di Microzonazione Sismica del Comune, realizzato dal dott. geol. Paolo Marsich e dal dott. geol. Enrico Zavagno (marzo 2016) l'area risulta ascritta alla zona stabile suscettibile di amplificazioni locali 2099 – Substrato molto fratturato e/o alterato (SF). Si tratta dell'alterazione superficiale della formazione flyschoidale, chiamata anche "cappellaccio di alterazione". Tipicamente ha spessori compresi tra 3 e 6 m. Il substrato è costituito dalla formazione flyschoidale (ALS) in facies marnoso-arenacea o in facies prevalentemente marnosa - Substrato molto fratturato e/o alterato (SF). Si tratta di breccie quaternarie alterate con spessori compresi tra i 3 e i 5 metri. Il substrato è costituito dalla formazione flyschoidale (ALS) o da formazioni carbonatiche (LPS).

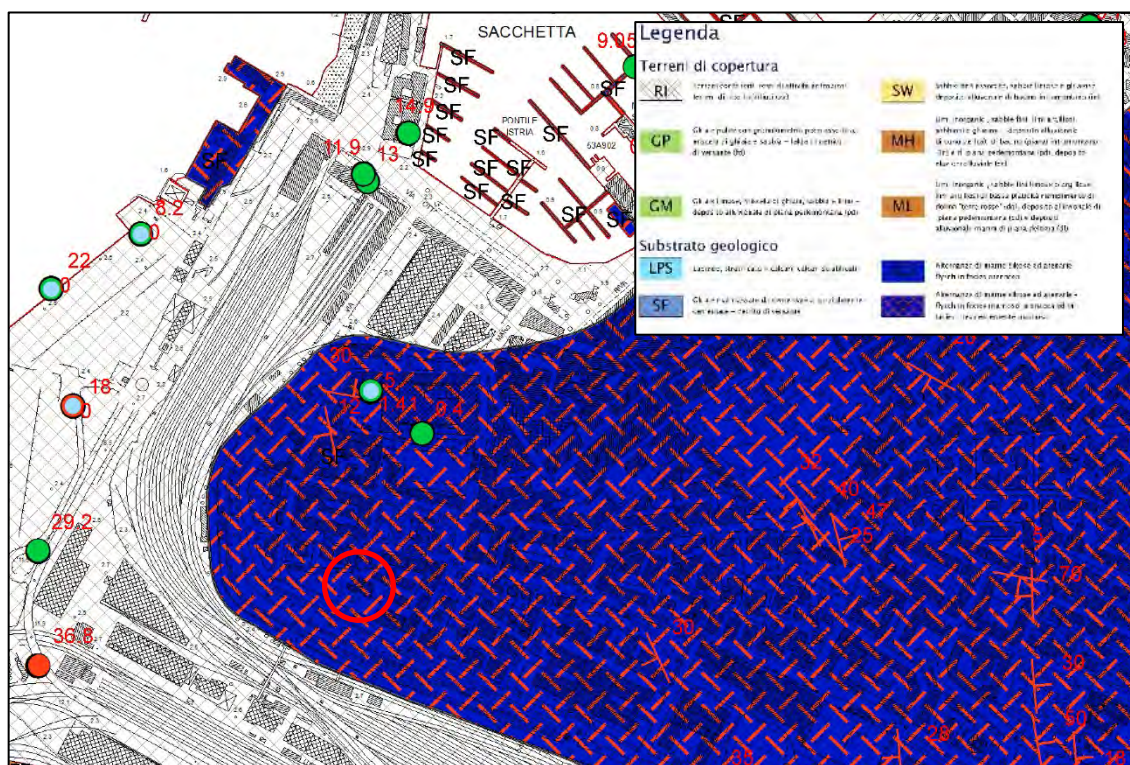


Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Tav.3

scala 1:10.000

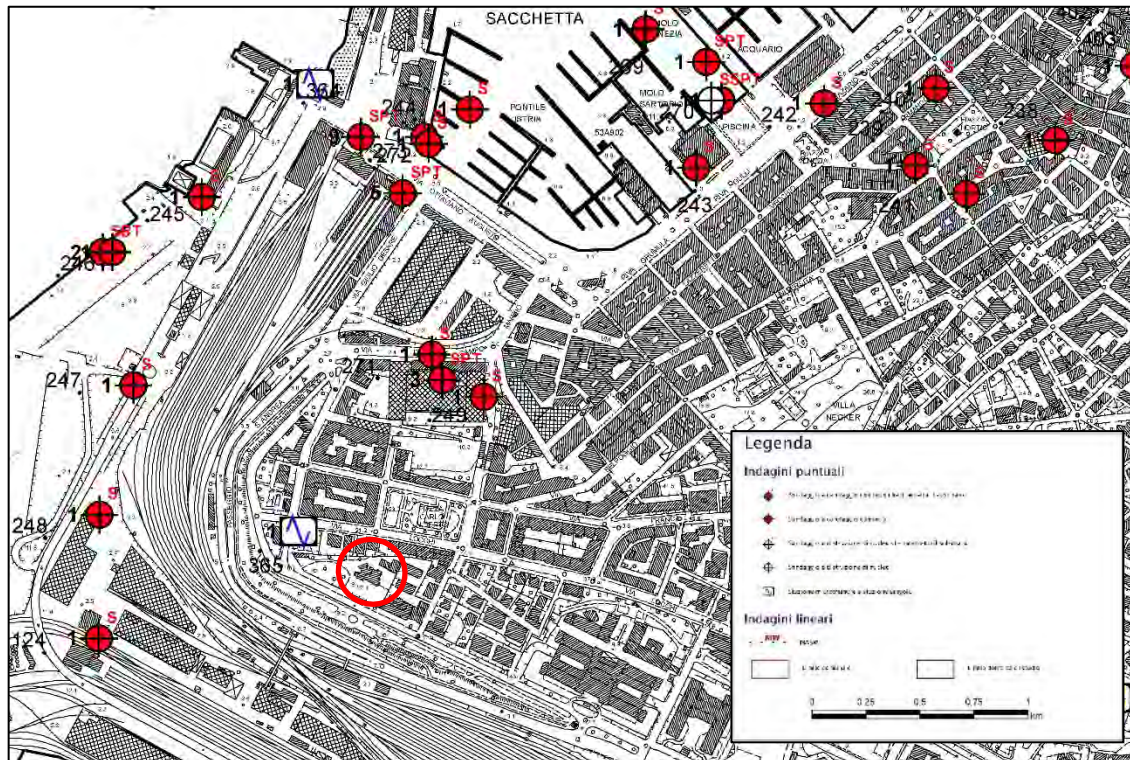






Carta geologico - tecnica - Tav. 3

1:10.000



Carta delle indagini - Tav.3

1:10.000

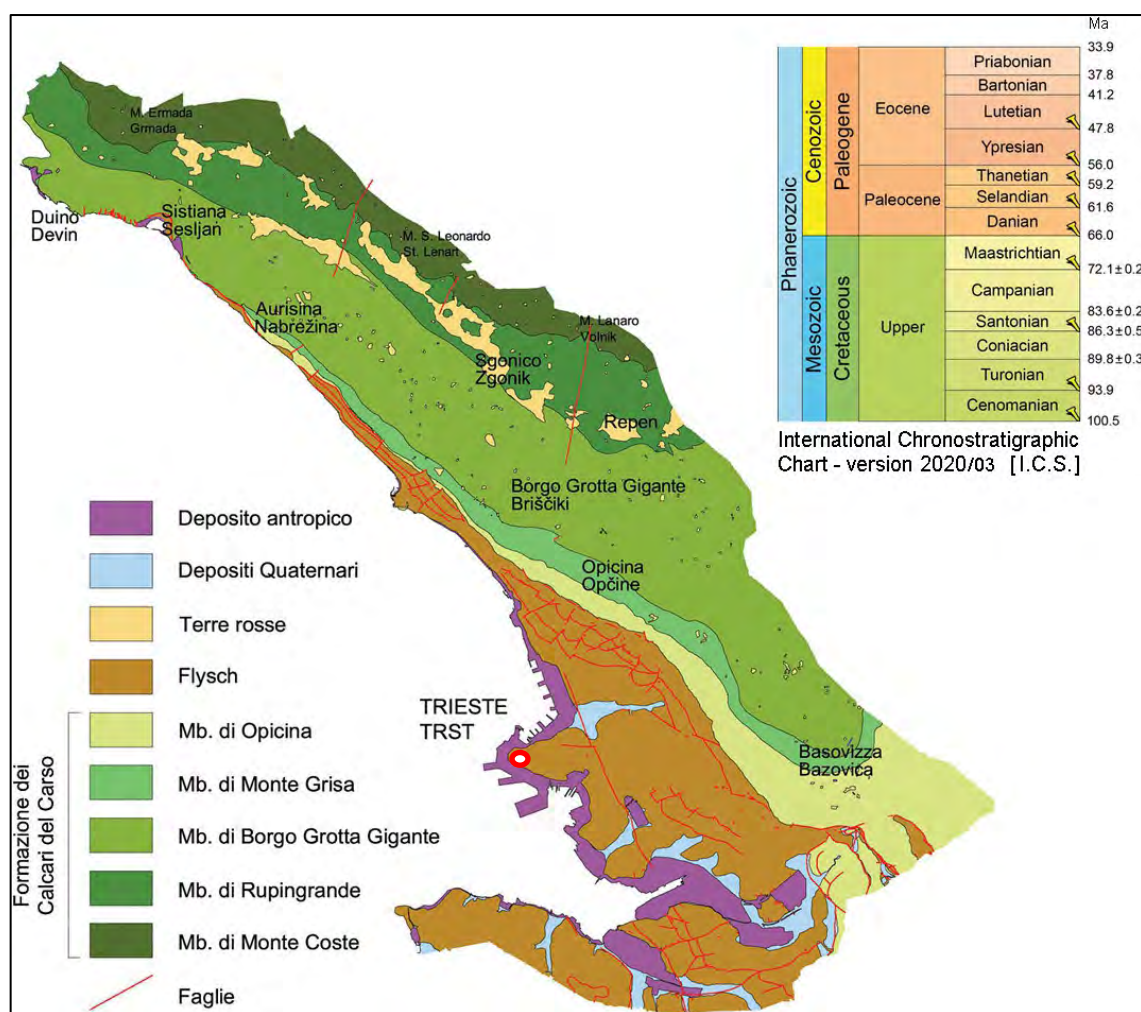


## 12. Inquadramento geologico generale

### Substrato roccioso

Nell'area il substrato litoide è caratterizzato dalla successione sedimentaria del Flysch; si tratta di una sequenza clastica tipica e costitutiva dei rilievi compresi tra il Golfo di Trieste e le formazioni carbonatiche del Carso Triestino.

Con il termine Flysch si fa riferimento ad una alternanza ritmica di arenaria e marna, variabile nelle diverse località sia per quanto riguarda le potenze individuali dei due litotipi, sia per il rapporto percentuale di un litotipo sull'altro; ciò è riscontrabile anche in porzioni di territorio molto prossime tra loro.



Le arenarie che caratterizzano il Flysch della Provincia di Trieste sono delle grovacche quarzoso-feldspatiche a cemento calcareo, molto compatte e discretamente classate.

Risultano mediamente composte per il 50% almeno da quarzo e selce e per il resto da feldspati (20% in media) fra cui predominano i plagioclasti, carbonati (20% in media) e da una serie di minerali accessori in minima quantità (ossidi di ferro, glauconite, tormalina, granati). Sono praticamente sterili, se si escludono frammenti di resti organici rimaneggiati. Dotate solitamente di altissima resistenza meccanica, presentano un colore alla rottura da grigio a grigio-scuro, mentre i processi di alterazione conferiscono loro una pigmentazione ocrea; tessitualmente evidenziano una struttura granulare medio-fine, talvolta laminata secondo piani suborizzontali.

Le superfici di discontinuità sono spesso riempite da calcite bianca.

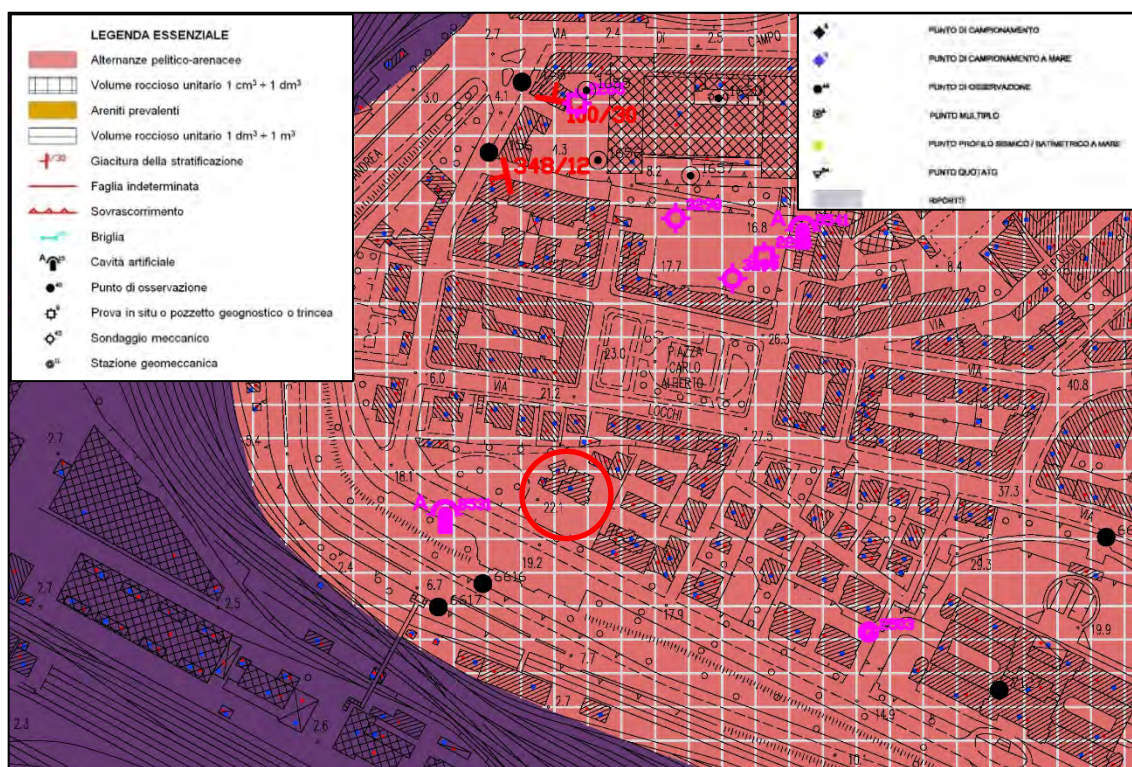


Le marne hanno una composizione mineralogica praticamente simile, fatta salva una maggior percentuale di carbonati a spese degli altri componenti, e sono scarsamente fossilifere (predominano i foraminiferi dei generi globigerina e globorotalia). Presentano una struttura compatta e laminata con piani di scistosità suborizzontali, e sono sovente fogliettate ed abbastanza fragili; la roccia sana ha un colore da grigio ceruleo a grigio cupo, mentre assume un colore ocraceo nelle porzioni alterate. Le superfici di discontinuità sono per lo più rappresentate da fratture secondo i piani di laminazione e secondo dei piani ad essi ortogonali.

La massa rocciosa nel suo insieme è da considerarsi semi-impermeabile e di ottima portanza, anche se, date le sue caratteristiche petrografiche e fisico-meccaniche, in volumi particolarmente tettonizzati la buona qualità geotecnica generale può scadere anche notevolmente.

Il materiale argilloso derivante dalla degradazione totale della marna può venir trasportato in punti più o meno lontani dal luogo di origine (spesso inglobando al suo interno elementi litoidi arenacei), oppure può riempire eventuali discontinuità presenti nella massa rocciosa; soprattutto in questo secondo caso il comportamento meccanico del Flysch può essere profondamente modificato e scadere di molto a causa della forte igroscopicità della marna.

L'inquadramento viene completato dal "layout sottosuolo" e "layout strutturale" della Carta di sintesi geologico-tecnica del territorio regionale realizzata dal Servizio Geologico della Direzione centrale ambientale e lavori pubblici della Regione Autonoma FVG.



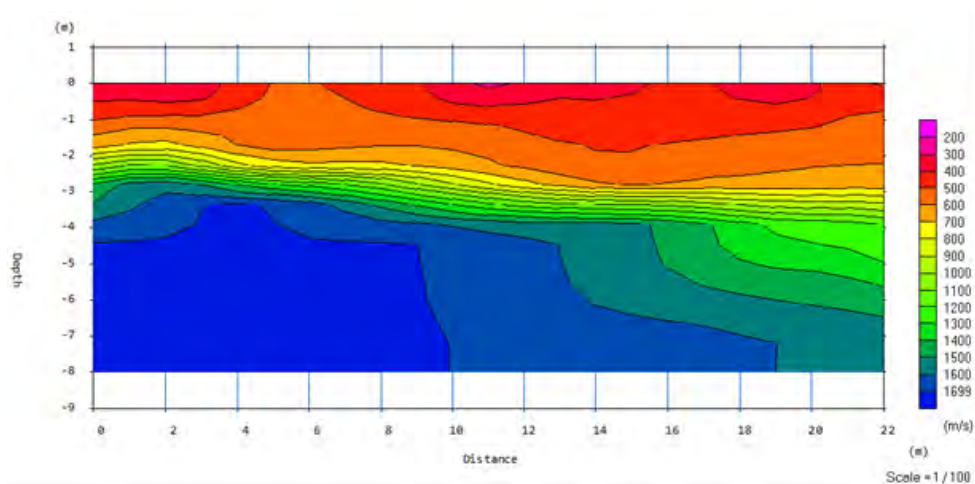
### 13. Situazione stratigrafica locale – parametrizzazione geotecnica

La situazione stratigrafica è stata ricostruita sulla base dei sondaggi descritti al paragrafo 1 della presente e sulla base delle indagini geognostiche e sismiche realizzate.



Il profilo sismico TS 1 ha evidenziato la presenza di un orizzonte superficiale, contraddistinto da velocità di propagazione delle onde elastiche comprese tra 200 e 700 m/s. Tali velocità sono ascrivibili, nel caso in esame, alla presenza di un terreno sciolto o assimilabile a sciolto. Per tale sismostrato è stato rilevato uno spessore variabile approssimativamente tra 1.8 m e 3 m. Al di sotto di tale sismostrato sono state rilevate velocità di propagazione delle onde comprese tra 1000 e 1700 m/s, ascrivibili al substrato roccioso da alterato a parzialmente alterato.





I numerosi sondaggi eseguiti dal sottoscritto e da altre imprese presso il sottostante complesso Verdemare, confermano che il substrato roccioso nell'area è prossimo al piano di campagna.



Sulla base del sondaggio eseguito in sito, la situazione stratigrafica locale può essere così schematizzata:

- **Da 0.00 a 1.00 / 1.50 m dal p.c.** Materiali di riporto e cappellaccio di alterazione e depositi eluvio colluviali costituiti da ghiaie in matrice limo sabbiosa parzialmente alterati dal rimaneggiamento per l'azione antropica (C1)
- **Da 1.00 / 1,50 a 5.00 m dal p.c.** Substrato roccioso litoide parzialmente alterato (C2).

La porzione più superficiale (fino a 3 metri dal p.c. – in corrispondenza del muro di contenimento del giardino) risulta intensamente fratturata ma scarsamente alterata (argillificata)

- Il substrato roccioso scarsamente alterato (C3) è stato rinvenuto **a 5.00 metri** di profondità dal p.c.  
Sulla base dei sondaggi eseguiti in sito ed in aree limitrofe il substrato roccioso è in facies marnosa (Tipo T2) con banchetti di potenza centimetrica e pluricentrica e stratificazione suborizzontale.  
La stratificazione risulta suborizzontale

(T2 e C1 – C2 – C3 secondo R. Onofri Caratteristiche geolitologiche e geomeccaniche del Flysch nella Provincia di Trieste).

Per quanto riguarda la stabilità nei confronti della liquefazione dei terreni superficiali sciolti (NTC2018, § 7.11.3.4), questi materiali non possono essere suscettibili a tale fenomeno in ragione del loro fuso granulometrico.

L'acqua presente nel sottosuolo tende a defluire sia lungo il tetto del basamento roccioso (al "contatto" terreno detritico-formazione flyschoidale) sia lungo gli interstrati dell'ammasso roccioso stesso (seguendo fratture e fessurazioni, senza generare pertanto una falda "classica" ma defluendo "per vena").

Si riporta di seguito log stratigrafico e sezione geologica di riferimento.





## 14. Parametrazione Geotecnica

Secondo R. Onofri (Caratteristiche geolitologiche e geomeccaniche del Flysch nella Provincia di Trieste, Studi Trentini di Scienze Naturali, Vol. 59, Acta Geologica, Trento 1982), il Flysch locale può essere suddiviso in 5 categorie («tipi» T1, T2, T3, T4 e T5) in funzione del periodo, della costanza di stratificazione e del rapporto marna/ arenaria.

- T1:** Flysch costituito in prevalenza da strati di arenaria di potenza > 30 cm, alternati a pacchetti di lamine di marna dallo spessore globale di ordine centimetrico; stratificazione distinta e spessore del singolo strato notevolmente costante.
- T2:** Flysch costituito in prevalenza da strati di arenaria di potenza < 30 cm, alternati in modo a volte discontinuo a pacchetti di lamine di marna dallo spessore globale di ordine centimetrico; stratificazione distinta e spessore del singolo strato notevolmente costante.
- T3:** Flysch costituito da un'alternanza ritmica di marne ed arenarie in strati di ugual spessore, variabile di solito tra 1 e 20 cm; stratificazione distinta e spessore del singolo strato, o pacchetto, notevolmente costante.
- T4:** Flysch costituito in prevalenza da marna in pacchetti di spessore variabile tra 10 e 50 cm, alternati in modo a volte discontinuo a strati di arenaria con potenza compresa tra 1 e 20 cm; stratificazione abbastanza distinta e spessore del singolo pacchetto, o strato, notevolmente costante.
- T5:** Flysch costituito prevalentemente da strati di arenaria a buona consistenza litoide, ma che hanno subito notevoli processi deformativi; stratificazione talora poco distinta e periodo di stratificazione poco costante, di solito < 10 cm circa.

In ciascun tipo di Flysch sono inoltre riconoscibili 3 livelli («complessi» C1, C2 e C3) a seconda del grado di alterazione della roccia, che diminuisce più o meno regolarmente con la profondità; più in particolare il livello di alterazione varia anche in rapporto all'assetto strutturale ed al grado di suddivisione dell'ammasso litoide.

- C1:** complesso che nelle porzioni più prossime al piano di campagna è costituito per lo più da terreno vegetale, a cui in profondità si sostituisce una matrice limoso-argillosa che ingloba, in proporzioni molto variabili, corpi detritici arenacei.
- C2:** complesso che caratterizza un Flysch solo in parte degradato e disarticolato in cui risulta solitamente riconoscibile l'assetto originario della stratificazione, anche se talora sono presenti livelli caotici e/o plastici.
- C3:** complesso costituito da Flysch che, nonostante possa ancora presentare tracce di degrado, da un punto di vista geotecnico può essere definito quasi integro.

In base alla classificazione proposta da Roberto Onofri (Caratteristiche geolitologiche e geomeccaniche del Flysch nella Provincia di Trieste, Studi Trentini di Scienze Naturali, Vol.59, Acta Geologica, pp. 77÷103, Trento 1982), nella formazione marnoso-arenacea si possono individuare 3 livelli di alterazione, denominati «complessi» C1, C2 e C3.

Tali «complessi» risultano sufficientemente omogenei da poter essere caratterizzati da parametri fisico-meccanici con valori ricadenti entro ben definiti limiti.

Nell'area di progetto la formazione arenacea risulta in facies prevalentemente marnosa con livelli arenacei decimetrici

### **R +C1→ Materiali eluvio colluviali e cappellaccio di alterazione della formazione marnoso arenacea**

Materiali superficiali sciolti derivanti dalla totale degradazione della massa rocciosa.

Sono sedimenti prevalentemente coesivi costituiti da limi sabbioso-argillosi di colore nocciola che inglobano una frazione più o meno abbondante di clasti arenacei.

La porzione corticale di questi depositi ha subito un naturale trasporto con successiva risedimentazione ad opera di agenti gravitativi (colluvium) e ha una consistenza minore del prodotto di alterazione in posto (eluvium), soprattutto se raffrontata a quella del livello duro prossimo alla roccia facente parte del "cappellaccio" di alterazione.

Valori medi dei parametri geotecnici	Simbolo	Unità	Valore
Angolo di attrito efficace	$\varphi'$	°	25 ÷ 30
Coesione efficace	$c'$	kPa	20 - 0
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	18 ÷ 20



**C2 → Flysch litoide parzialmente alterato**

Roccia flyschoide parzialmente alterata di colore marrone ocraceo, talora decementata, disarticolata e decompressa, in cui è comunque riconoscibile la struttura originaria ed in particolare l'andamento della stratificazione.

Parametri	Simbolo	Unità	Valore
Angolo di attrito efficace	$\varphi'$	°	30 ÷ 35
Coesione efficace	$c'$	kPa	10 ÷ 30
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	20 ÷ 22

**C3 → Flysch litoide sano**

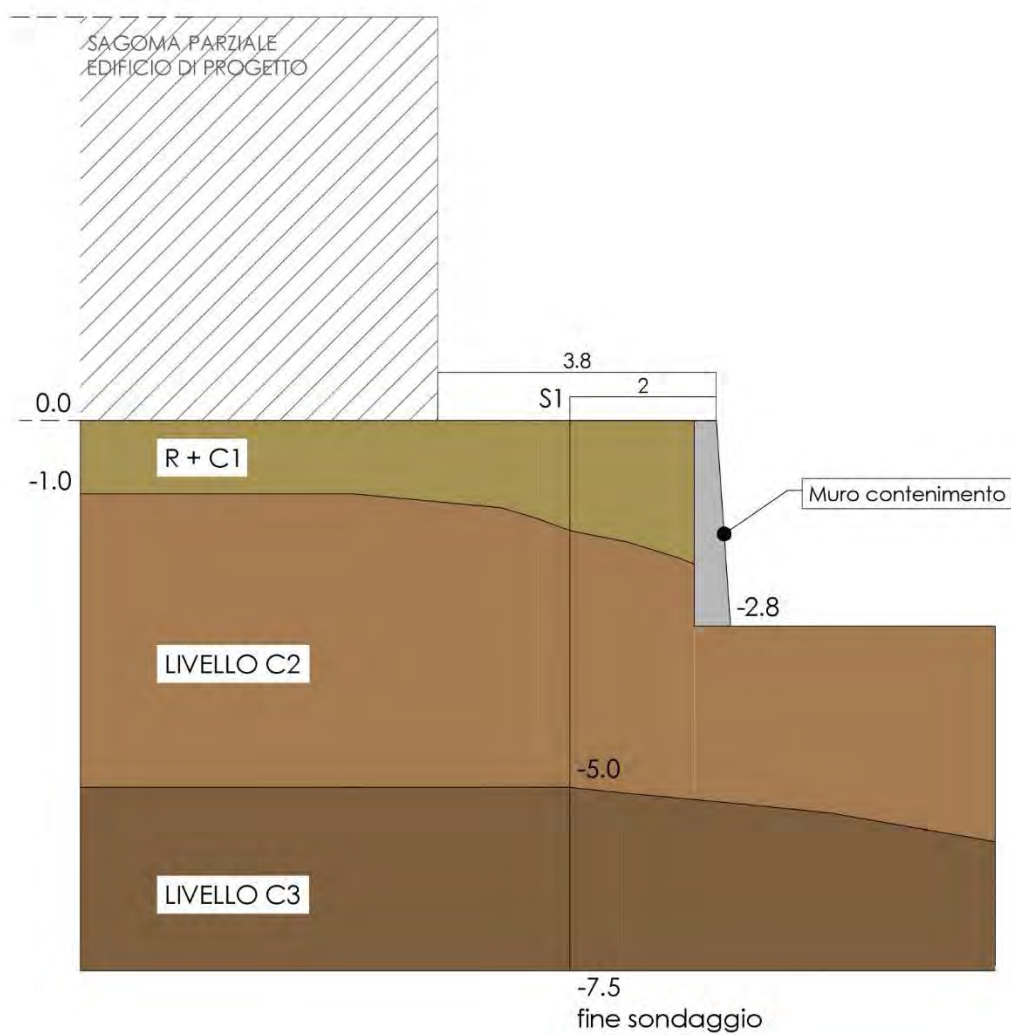
Il substrato roccioso è composto dalla formazione del Flysch, costituita da marne ed arenarie regolarmente alternate, nettamente stratificate con potenze e ritmi variabili.

Roccia flyschoide che da un punto di vista geotecnico può essere definita quasi integra, di colore tipicamente grigio che a volte in profondità diventa azzurro-blu; le arenarie si presenteranno compatte e ben cementate, le marne integre e tenaci.

Parametri	Simbolo	Unità	Valore
Angolo di attrito efficace	$\varphi'$	°	35 ÷ 40
Coesione efficace	$c'$	kPa	50 ÷ 150
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	22 ÷ 24

Pagina 28 di 53

SEZIONE GEOLOGICA A-A' SCALA 1:100



Sezione geologica – scala 1:100

## 15. Inquadramento Neotettonico

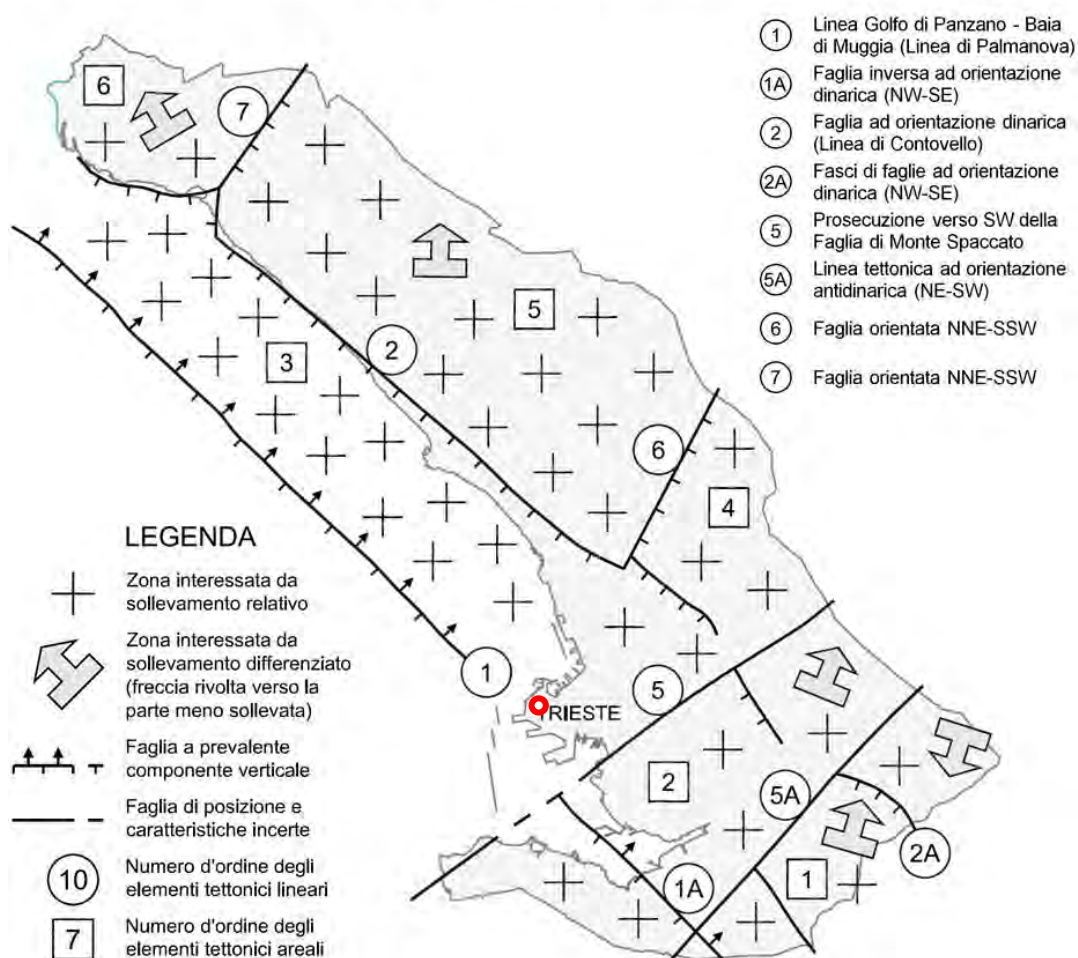
Da un punto di vista strutturale sia le aree marnoso-arenacee della provincia di Trieste che il Carso Triestino fanno parte di una vasta unità che, in accordo con le definizioni date da Ladislav Placer (1981), viene definita "Piattaforma di Comeno". Insieme ad altre due unità allungate in senso dinarico (la "Piattaforma di Capodistria" e la "Struttura embriciata della Ciceria"), la "Piattaforma di Comeno" compone un complesso parautoctono che risulta sovrascorso sull'autoctono istriano. Nella Struttura embriciata della Ciceria va inserita anche la Val Rosandra, sebbene non sia ancora ben noto il ruolo delle linee tettoniche che interessano questa valle fluviocarsica.

### Lineamenti Strutturali Attivi

Secondo studi condotti da G.B. Carulli e L. Carobene (1980), a scala regionale il sito è compreso in una zona interessata da un sistema di dislocazioni all'incirca ortogonali tra loro (1), (2) e (5) che delimitano un'area di sollevamento relativo accertato [3].

Le linee di dislocazione riportate in figura sono elementi strutturali plio-quaternari attivi riconosciuti in base ad analisi di carattere geofisico e compendiate in "Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia - Pubblicazione n. 356 del Progetto Finalizzato Geodinamica (C.N.R.) - Sottoprogetto Neotettonica".

### EVOLUZIONE PLIO-QUATERNARIA DELLA PROVINCIA DI TRIESTE



[da Giovanni Battista Carulli e Luigi Carobene (1980), ridisegnata]

**Elemento strutturale (1)**

Linea Golfo di Panzano - Baia di Muggia: faglia inversa ad asse dinarico (NW-SE) ed immersione NE, con marcato carattere di sovrascorrimento, la cui ubicazione in mare è stata dedotta dalla morfologia della roccia flyschoidale sottostante alla coltre dei sedimenti marini recenti. Questo elemento sembra costituire la prosecuzione verso SE della cosiddetta «Linea di Palmanova».

**Elemento strutturale (2)**

Faglia a direzione dinarica (NW-SE), nota anche col nome di «Linea di Contovello», che segna il contatto tra calcari eocenici e flysch eocenico. Morfologicamente questo elemento si manifesta con una tipica e marcata contropendenza, che verso SE (Longera) assume le caratteristiche di una valle stretta e parallela al ciglione carsico.

**Elemento strutturale (5)**

Prosecuzione verso SW della faglia di Monte Spaccato, a probabile scorrimento orizzontale destrorso; questa linea presenta direzione antidinarica (NE-SW) ed è individuabile in base ad alcune evidenze morfologiche fra le quali i bruschi angoli nel corso del Torrente Longera e la netta sella fra il Monte Spaccato ed il Monte Calvo.

Le succitate linee tettoniche profonde, pur risultando attive, non influiscono sulla sismicità dell'area in quanto non attualmente interessate da sufficienti accumuli di energia elastica, come invece accade, ad esempio, nella parte più settentrionale del Friuli. Recentemente D. Slejko, G.B. Carulli, J. Garcia ed M. Santulin hanno effettuato una Analisi Probabilistica della Pericolosità Sismica (PSHA) a Trieste applicando il metodo SSHAC (1997) riferito ad un periodo di ritorno  $T_R$  maggiore di 2475 anni, in modo da poter ipotizzare l'attivazione di tutte le sorgenti sismogenetiche (Considerations on the seismic design of critical facility in Trieste, NGTTS 2008).

Dalla pubblicazione emerge che agli elementi strutturali ⑤ "Monte Spaccato line" e ⑦ "Sistiana line", se considerati continui e nel presupposto che in loro corrispondenza si verifichi una rottura di lunghezza pari ad 1/3 della loro estensione, sono associabili eventi sismici di magnitudo 6,4. All'elemento strutturale ① "Palmanova line", tagliato dalle due linee precedenti, sono invece associabili eventi sismici di magnitudo 6,6.

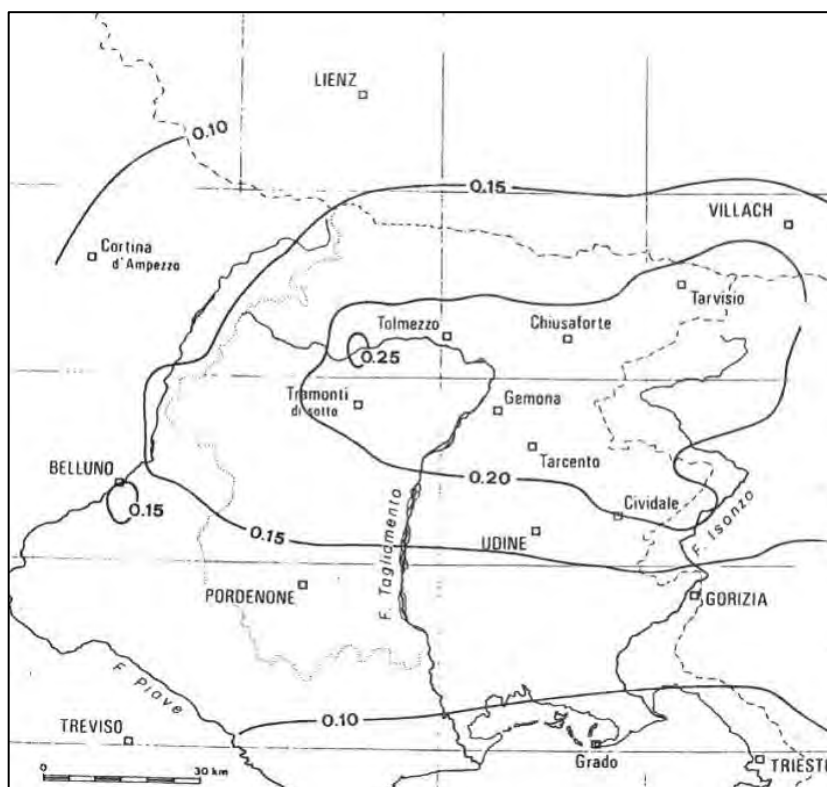
## 16. Geodinamica e sismicità dell'area

Profondi processi dislocativi della crosta terrestre hanno interessato l'intera area, prevalentemente nel periodo Pliocenico inferiore.

Il principale episodio sismico riferibile ad epoche attuali è quello del 1348 avente come epicentro Villaco con un'intensità XI (M.C.S.); in seguito si verificò nel 1511 un sisma che colpì le città di Idria e Gemona con intensità X (M.C.S.), Cividale con intensità IX (M.C.S.); nuovamente Villaco nel 1690 con intensità IX (M.C.S.), Tolmezzo nel 1794 con intensità IX (M.C.S.), Belluno con intensità X (M.C.S.), Verzegnis nel 1928 con intensità IX (M.C.S.), il Cansiglio nel 1936 con intensità IX (M.C.S.); da registrare infine gli eventi del 1976 che ebbero Gemona come epicentro ed aventi un'intensità pari a X (M.C.S.).

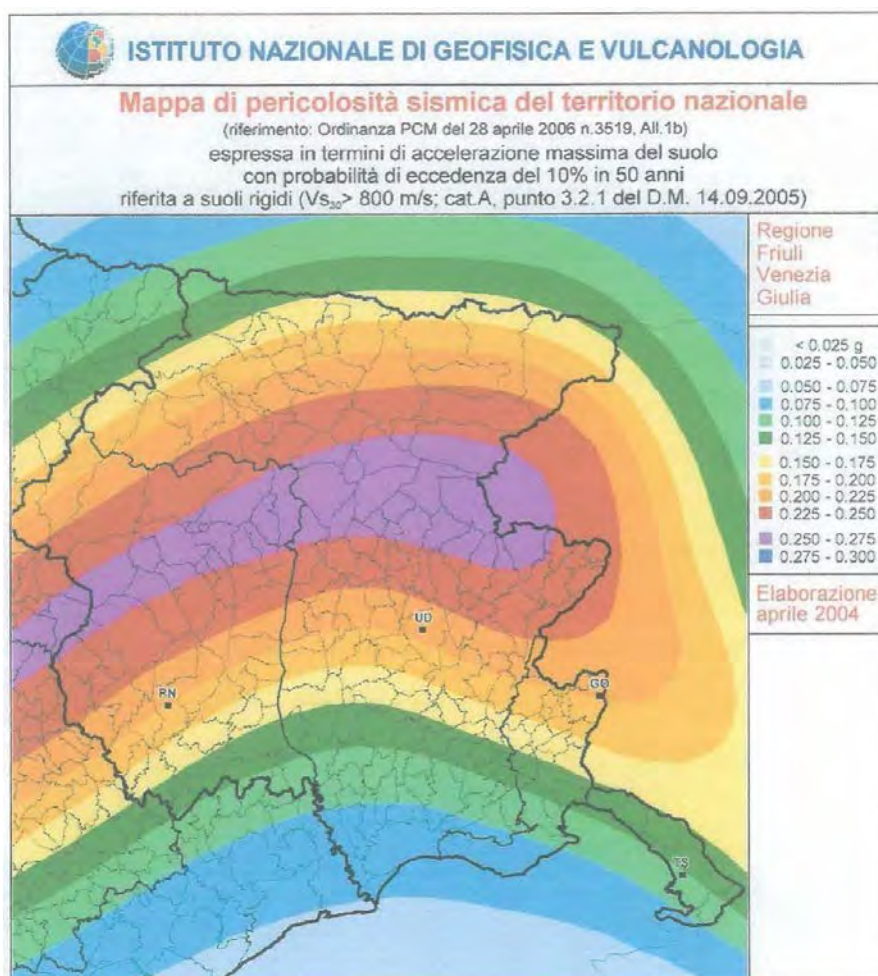
La prima delle mappe sotto riportate mostra le isolinee dei valori di accelerazione orizzontale massima con probabilità di non superamento del 70% in 100 anni ottenute con i programmi GRISK e successivi, mentre la seconda, elaborata nel 2004 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, mostra la mappa di pericolosità sismica del territorio espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi. Secondo la prima delle due mappe, sarebbe corretto assumere valori per accelerazioni orizzontali di inferiori a 0,10g, mentre con riferimento alla seconda mappa l'area è inserita in una fascia compresa tra 0,100 e 0,125g.

Il territorio comunale di Trieste, in base alla delibera Numero 845 del 6 maggio 2010, è classificato in zona 3 (Zona a bassa sismicità)



Mappa dell'accelerazione orizzontale massima (in g) prevista con probabilità di non superamento del 70% in 100 anni.



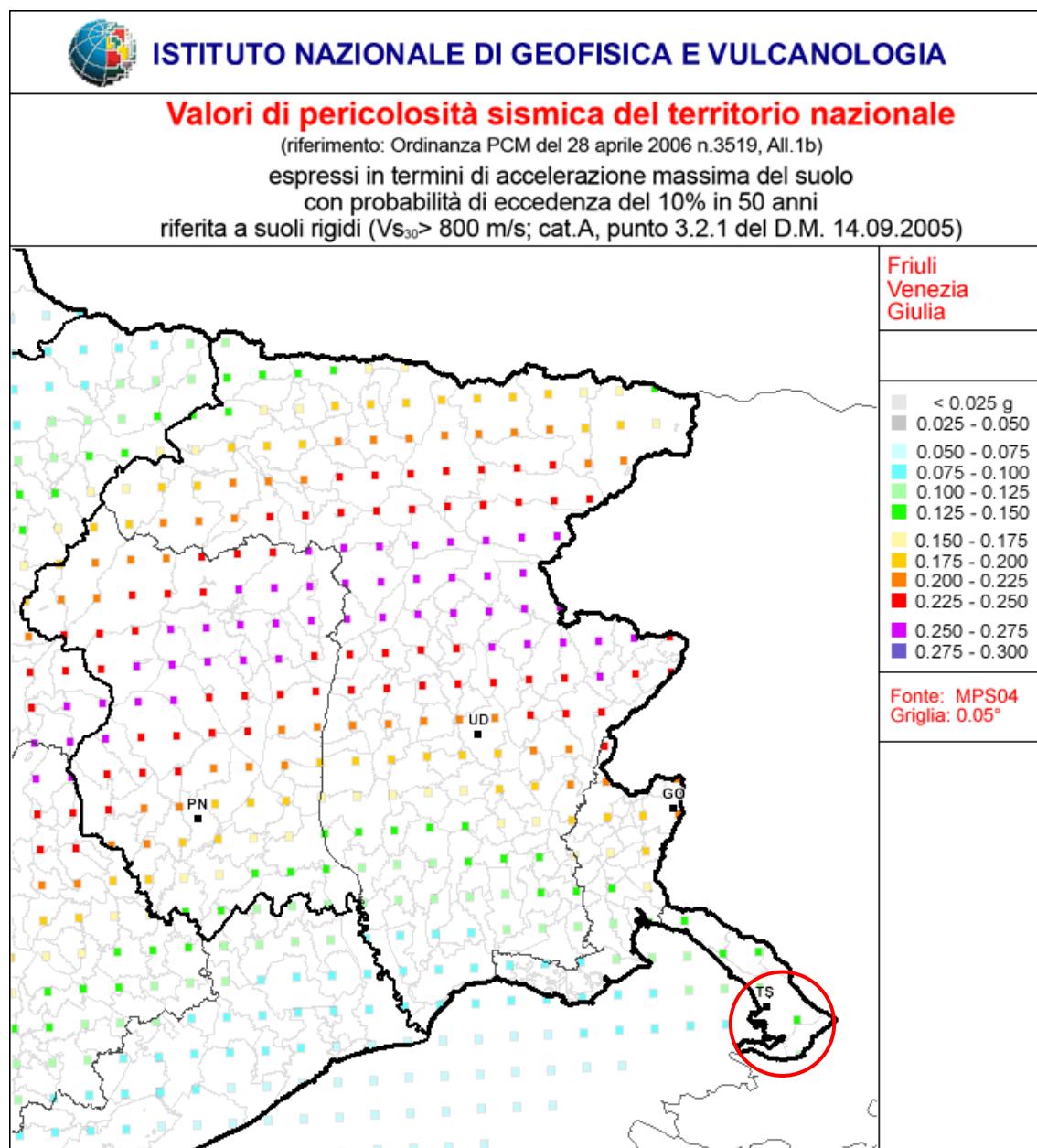


Ai sensi dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche ed integrazioni), alle aree classificate in zona 3 compete un valore di accelerazione orizzontale pari a 0,15 g (vedi tabella)

- b) Ciascuna zona sarà individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo lo schema seguente:

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

Di seguito si riporta la mappa dei valori di pericolosità sismica del territorio nazionale relativa alla Regione Friuli Venezia Giulia ai sensi dell'ordinanza PCM n° 3519 del 28/04/2006. Per la zona in oggetto i nodi sismici mostrano valori di accelerazione massima del suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi) pari a 0,100 – 0.125g.





## 17. Storia Sismica dell'Area

Per quanto riguarda gli eventi pregressi, la storia sismica nell'area può essere desunta dal Database Macrosismico Italiano (DBMI) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), che, a seguito del Progetto INGV-DPC S1, fornisce in rete i dati della pericolosità sismica in Italia.

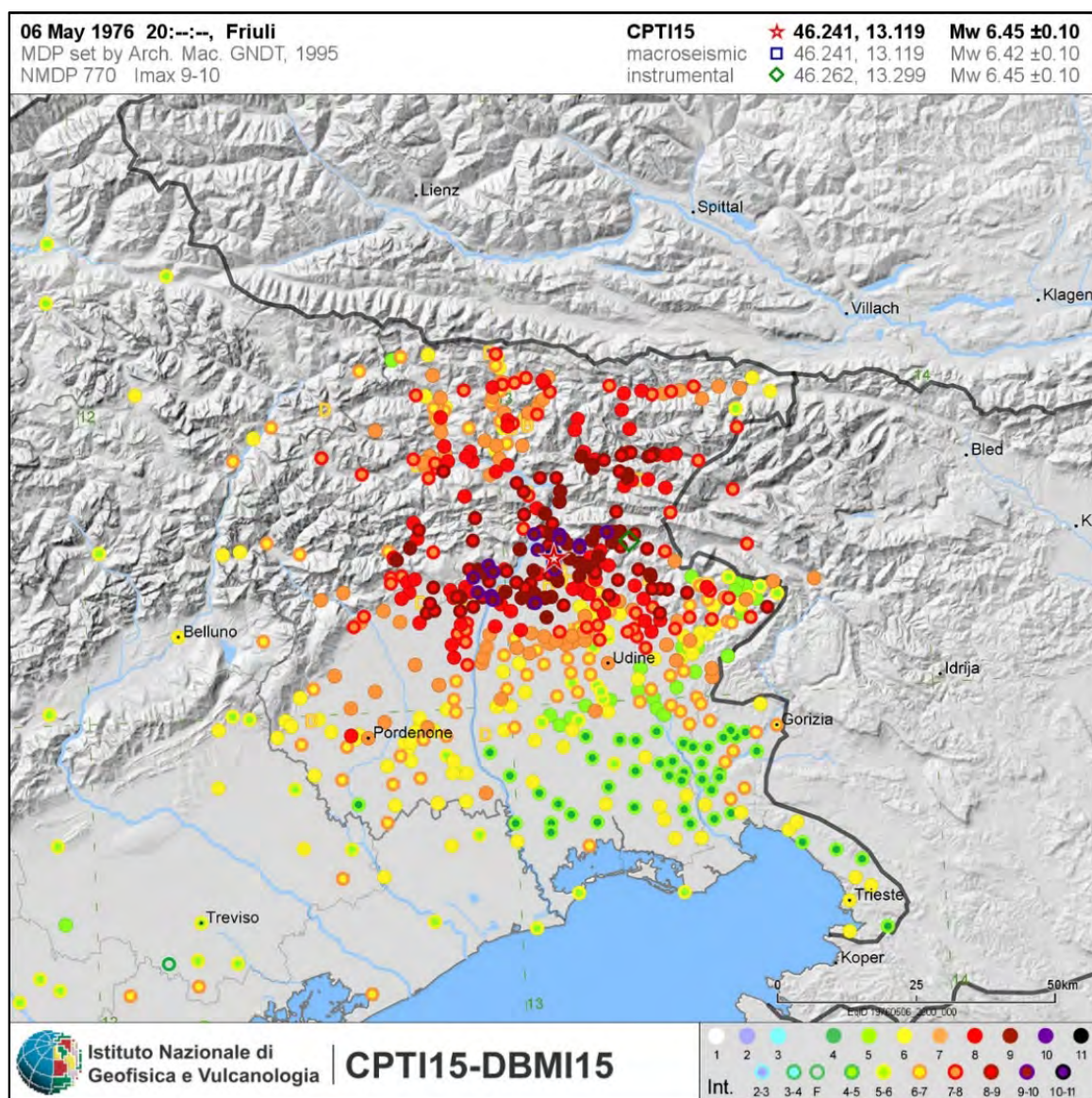
È disponibile su web all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15> la 4ª versione pubblica di questo database (DBMI15), che copre la finestra temporale 1000 ÷ 2014 e può essere liberamente utilizzata per scopi scientifici e tassativamente non a fini di lucro, citando la fonte di origine (come sopra indicato).

Il precedente DBMI11 conteneva 8607 MDP (Macroseismic Data Points), relativi a 1684 terremoti il cui epicentro ricade all'interno della area CPTI (CPTI11); i dati erano riferiti a 15416 località, di cui 14150 in territorio italiano.

Il DBMI15 risulta quindi contenere 1192 terremoti in più rispetto a CPTI11.

Gran parte di questa differenza è sicuramente dovuta all'abbassamento delle soglie energetiche a intensità 5 e Mw 4.0, che ha causato l'ingresso di 757 terremoti non presenti in CPTI11.

A titolo di esempio, la figura sottostante è il plot del terremoto riportato nel DBMI15 del 06.05.1976 con i valori rilevati.





In Provincia di Trieste sono presenti le località IT\_32009 Duino-Aurisina (Aurisina), IT\_32026 Monrupino (Zolla), IT\_32032 Muggia, IT\_32054 San Dorligo della Valle ed IT\_32084 Trieste.

Il database **IT\_32084** di Trieste viene riportato nelle pagine seguenti:

File downloaded from CPTI15 - DBMI15					
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015					
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia					
Seismic history of	Trieste				
PlaceID	IT_32084				
Coordinates (lat, lon)	45.650, 13.772				
Municipality (ISTAT 2015)	Trieste				
Province	Trieste				
Region	Friuli-Venezia Giulia				
No. of reported earthquakes	78				
<b>Intensity</b>	<b>Year Mo Da Ho Mi Se</b>	<b>Epicentral area</b>	<b>NMDP</b>	<b>Io</b>	<b>Mw</b>
7	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	120	9	6,32
6	1690 12 04 14	Carinthia, Villach	60	8-9	6,16
5	1776 04 24 16 36	Costa croata settentrionale	3	7	5,1
4	1776 07 10	Prealpi Friulane	19	8-9	5,82
F	1781 04 04 21 20	Faentino	96	9-10	6,12
3	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5,66
NF	1788 10 20 21 10	Carnia	9	7-8	5,19
6	1794 06 07 00 45	Prealpi Friulane	19	8-9	5,96
F	1802 01 04	Slovenia	8		
F	1810 12 25 00 45	Pianura emiliana	33	6	5,06
4-5	1812 10 25 07	Pordenonese	34	7-8	5,62
4-5	1828 04 11 22 25	Appennino umbro-marchigiano	22	5-6	4,93
3-4	1840 08 27 12 05	Tuhinj Valley	49	7	5,28
4-5	1845 12 21 20 40	Ljubljana	5	5	4,16
F	1850 07 10 02 30	Slovenia nord-occidentale	9	5	4,64
4-5	1857 03 07	Stiria	13	6-7	5,21
3	1859 01 20 07 55	Prealpi Trevigiane	36	6	4,8
3	1860 07 19	Prealpi Trevigiane	10	6-7	4,92
3	1870 02 28 11 20	Rijeka	8	5	4,56
5	1870 03 01 20	Costa croata settentrionale	29	8	5,62
5	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5,85
6	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10	6,29
2-3	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5,74
F	1879 06 22 04 15	Friuli	16	5-6	4,74
3	1881 01 24 16 14	Bolognese	38	7	5,22
3	1881 02 12	Russi	13	5-6	4,69

2	1885 12 29	Alpago Cansiglio	47	6	4,96
2-3	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Ilasi	403	8-9	5,87
F	1892 06 23 23 20	Dolomiti Friulane	71	5-6	4,58
3	1893 10 27 16 31	Bellunese	54	5	4,42
5-6	1895 04 14 20 17 30.00	Ljubljana	810	8-9	5,98
F	1895 06 10 01 47	Prealpi Trevigiane	73	6	4,85
2-3	1895 08 09 17 38 20.00	Adriatico centrale	103	6	5,11
4	1897 07 15 05 53	Ljubljana	325	6-7	4,99
4	1898 02 20 04 57 26.00	Valli del Natisone	155	7	5,12
NF	1898 11 16	Garda occidentale	43	6	4,63
4	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5,44
2-3	1908 07 10 02 13 35.00	Carnia	119	7-8	5,31
5	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5,36
4-5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5,63
5	1924 12 12 03 29	Carnia	78	7	5,42
7	1926 01 01 18 04 03.00	Carniola interna	63	7-8	5,72
4	1928 03 27 08 32	Carnia	359	9	6,02
3-4	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5,83
3	1931 12 25 11 41	Friuli	45	7	5,25
3	1934 05 04 13 56	Carnia	80	6	4,69
4	1934 06 08 03 16	Dolomiti Friulane	21	5-6	4,93
5	1934 11 30 02 58 23.00	Adriatico settentrionale	51	5	5,3
2-3	1935 06 05 11 48	Faentino	27	6	5,23
5	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6,06
2-3	1939 07 10 16 27 53.00	Pordenonese	8	5	4,75
2	1943 07 24 01 44	Feltrino	29	7	5,07
3-4	1954 10 11 16 45 25.00	Friuli	36	6	4,76
4-5	1956 01 31 02 25 33.80	Carniola interna	7		5,03
3	1956 11 05 19 45	Carnia	27	6	5,04
3	1959 04 26 14 45	Carnia	122	7-8	5,21
4	1962 01 23 17 31	Costa pesarese	49	5	4,35
3-4	1963 08 09 06 05	Romagna	16	5	5,23
6-7	1964 03 18 16 43 20.79	Carso	2		4,36
NF	1967 12 09 03 09 56.00	Adriatico centrale	22		4,36
2	1968 06 22 12 21 37.00	Val Lagarina	27	6-7	4,74
4	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	198	5	4,87
3	1975 03 24 02 33 32.00	Carnia	24	5-6	4,51
6	1976 05 06 20	Friuli	770	9-10	6,45
6	1976 09 11 16 35 02.44	Friuli	40	7-8	5,6
7	1976 09 15 09 21 19.01	Friuli	54	8-9	5,95
4	1977 04 03 03 18 14.07	Friuli	25	5	4,51

4-5	1977 09 16 23 48 07.64	Friuli	94	6-7	5,26
3	1978 12 05 15 39 04.00	Romagna	34	4-5	4,61
3-4	1978 12 12 15 14 49.22	Dolomiti Friulane	56	5-6	4,35
3-4	1979 04 18 15 19 19.28	Friuli	72	6-7	4,66
F	1980 12 23 12 01 06.00	Piacentino	69	6-7	4,57
2-3	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
4	1990 11 11 22 16 25.00	Slovenia occidentale	101	5-6	4,59
3	1992 02 21 20 50 32.40	Costa croata settentrionale	29	5-6	4,31
2-3	1998 03 13 15 14 56.40	Carniola interna	46		4,25
3	1998 08 31 02 32 05.00	Slovenia centrale	77		4,31
3-4	2004 07 12 13 04 06.00	Slovenia nord-occidentale	353		5,12

### Glossario dei record DBMI15

**I (MCS)** : Intensità registrata al sito (scala Mercalli-Cancani-Sieberg)

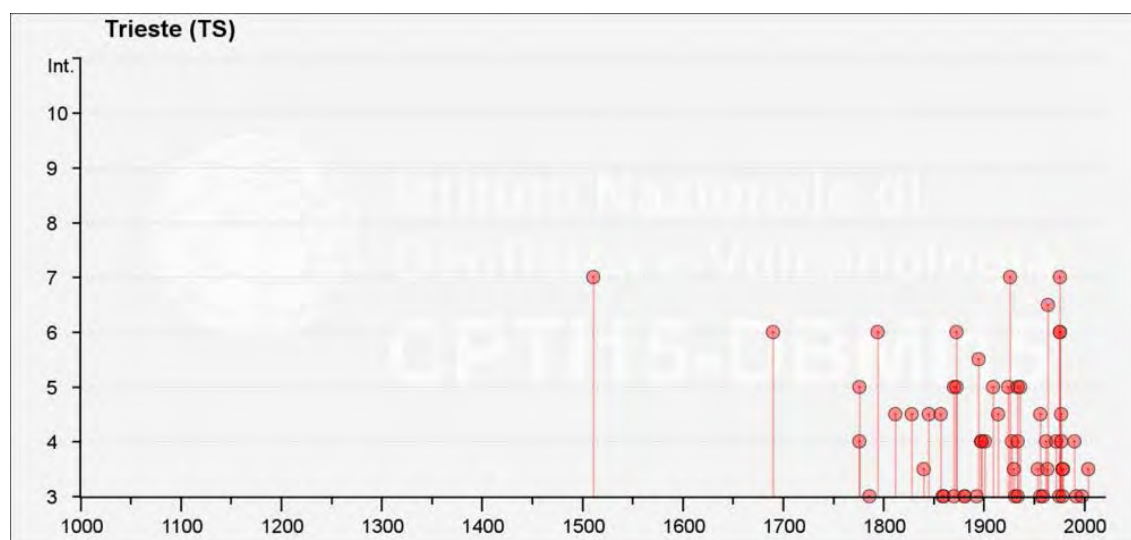
**Data** : data e ora della registrazione

**AX** : denominazione dell'area epicentrale

**NP** : numero di osservazioni macrosismiche

**IO** : Intensità epicentrale (scala Mercalli-Cancani-Sieberg)

**MW** : Magnitudo momento





## 18. Terremoto di scenario

Lo studio dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia fornisce anche informazioni riguardanti la disaggregazione della pericolosità in termini di peak ground acceleration (PGA) riferita a substrati rigidi; tutti i dati sono accessibili e visualizzabili mediante mappe interattive di pericolosità sismica al sito web dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

La disaggregazione (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito.

La disaggregazione bidimensionale in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario), inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito in oggetto che contribuisce maggiormente al seismic hazard del sito stesso.

Analogamente è possibile definire la disaggregazione tridimensionale in M-R- $\epsilon$ , dove  $\epsilon$  rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

Nel nostro caso il nodo del reticolo di riferimento più vicino alle aree di intervento è quello con **ID11881**, che dista 1.743 m dalle coordinate ED50 considerate.

La disaggregazione del valore dell'accelerazione orizzontale di picco viene eseguita per una probabilità di superamento del 5% in 50 anni ( $TR = 975$  anni).

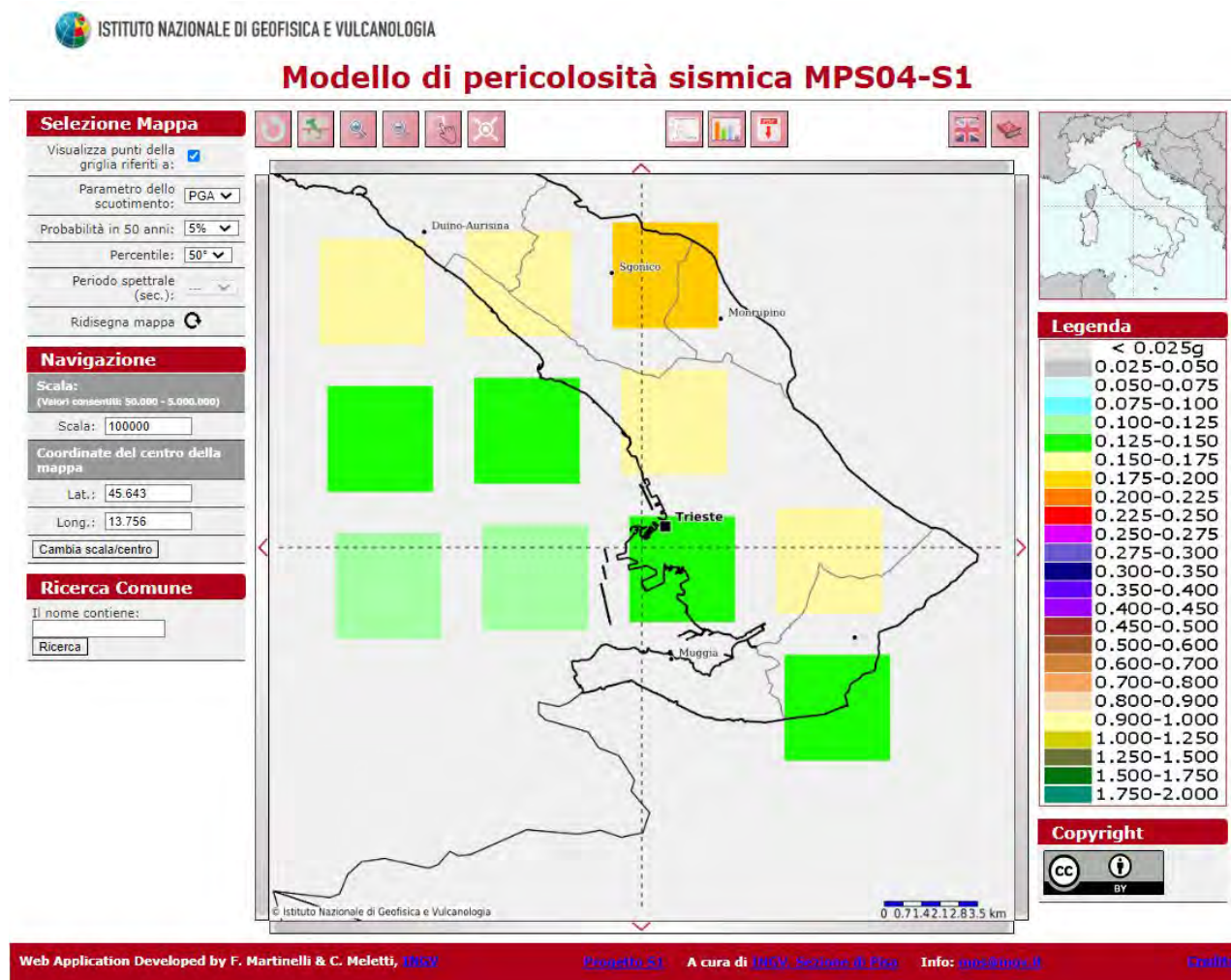


Grafico della disaggregazione dei valori di ag ossia la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di magnitudo (M) e distanza (D) con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni riferita al nodo ID:11881 più vicino all'area in studio.

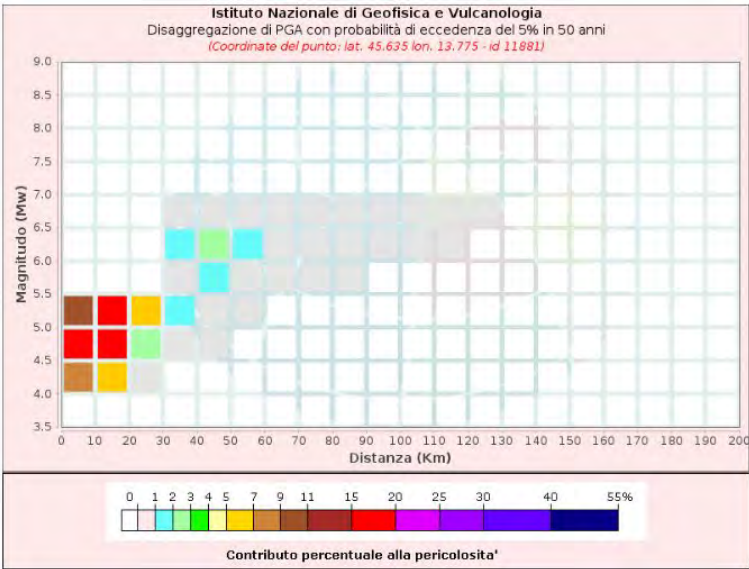


Tabella della disaggregazione dei valori di ag ossia la valutazione del contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di magnitudo (M) e distanza (D) con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni riferita al nodo ID:11881 più vicino all'area.

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 45.635 lon. 13.775 - id 11881)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0- 4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	7.0000	15.3000	10.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	6.2900	18.7000	18.8000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.2410	2.9200	6.0800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.1410	1.6900	0.9560	1.1300	0.2210	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0044	0.5330	1.4600	2.0800	0.4470	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0663	0.7870	1.5200	0.3630	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.2370	0.8160	0.2190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0432	0.4490	0.1410	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.2700	0.1120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1120	0.0723	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0254	0.0327	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0104	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Di seguito vengono riportati i **PARAMETRI DEL TERREMOTO DI SCENARIO**, ossia i valori medi della coppia Magnitudo (M) - Distanza (R) e relativa deviazione standard ( $\epsilon$ ) della sorgente che maggiormente contribuisce alla pericolosità sismica del sito ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità.

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.05	17.7	1.51

## 19. Categoria di sottosuolo

### Da NTC 2018:

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, sotto riportata, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

hi spessore dell'i-esimo strato;

VS,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 VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.
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.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
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.

### Norme Tecniche per le Costruzioni" - D.M. del 17/01/2018

Sulla base dell'indagine sismica eseguita ed allegata al termine del presente rapporto, il substrato (bedrock sismico), caratterizzato da VS≥800 m/s, così come indicato al § 3.2.2. delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018, è stato individuato alla profondità di 6.4 m dal piano campagna ed alla profondità di 4.4 m dalla quota alla quale è stato



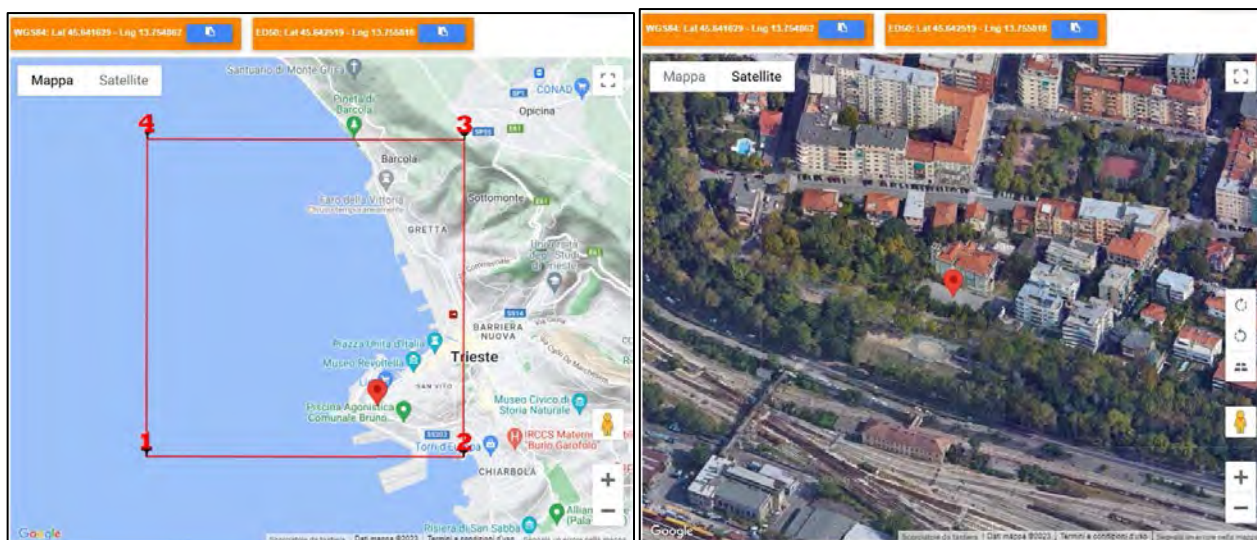
individuato il substrato roccioso alterato ( $V_s=500$  m/s). Fino alla profondità di 6.4 m i terreni sono caratterizzati da una velocità equivalente delle onde S  $V_{s,eq}=367$  m/s;

Per quanto sopra esposto, per fondazioni superficiali (edifici) poggianti sul substrato roccioso alterato, al sito in oggetto compete la categoria di sottosuolo di **tipo 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,  $V_{s,eq}$ , compresi tra 360 m/s e 800 m/s), così come definita dalle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 gennaio 2018.

L'elaborazione dei dati acquisiti con l'indagine HVSR ha evidenziato un picco significativo di natura stratigrafica nella curva del rapporto spettrale alla frequenza di 17.5 Hz.

## 20. Pericolosità sismica

Allo stato attuale la pericolosità sismica di base su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito internet dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://esse1.mi.ingv.it>). Siccome è alquanto improbabile che un generico sito d'indagine ricada su uno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p = f(a_g, F_o, T^*_c)$  d'interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto devono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici. In tal senso sono disponibili diversi software online che effettuano tutte le operazioni di interpolazione geografica per la valutazione dell'azione sismica. Di seguito si riporta l'elaborazione ottenuta con il software Geostru-PS. ([http://www.geostru.com/geoapp/Parametri\\_Sismici.aspx](http://www.geostru.com/geoapp/Parametri_Sismici.aspx)).



Sito in esame.

latitudine: 45,642519  
longitudine: 13,755818

Siti di riferimento

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	ID: 11880	Lat: 45,6348	Lon: 13,7038	Distanza: 4135,231
<b>Sito 2</b>	<b>ID: 11881</b>	<b>Lat: 45,6346</b>	<b>Lon: 13,7752</b>	<b>Distanza: 1743,042</b>
Sito 3	ID: 11659	Lat: 45,6846	Lon: 13,7754	Distanza: 4925,370
Sito 4	ID: 11658	Lat: 45,6848	Lon: 13,7040	Distanza: 6190,038

Da NTC 2018

**Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni**

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

### 2.4.2. CLASSI D'USO

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

### 2.4.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad [2.4.1]$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Il periodo di riferimento per le azioni sismiche  $V_R = V_N \times C_U = 75$  anni

#### Stati limite

Classe Edificio

III. Affollamento significativo...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

**$C_U = 1.5$**

Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	45	0.040	2.581	0.227
Danno (SLD)	75	0.051	2.596	0.252
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.127	2.550	0.334
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.160	2.595	0.347

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 75

#### Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,48	1,45	1,37	1,36
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.010	0.012	0.036	0.046
kv	0.005	0.006	0.018	0.023
Amax [m/s²]	0.467	0.594	1.490	1.879
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240



## 21. Sintesi e considerazioni

- È prevista la posa in opera di moduli prefabbricati, ad uso scolastico nel piazzale antistante la Villa Haggiconsta sita in Viale Romolo Gessi, 10 a Trieste (TS).
- Sulla base del PRGC vigente le aree in progetto, dal punto di vista geologico, rientrano in classe ZG6.
- Tipo di costruzione 2 opere ordinarie (VN = 50 anni); Classe d'uso III (CU = 1,5).
- Periodo di riferimento per le azioni sismiche VR = VN × CU = 75 anni.
- Il fondo ricade in un'area la cui morfologia è completamente obliterata dall'intervento antropico.
- Non sono presenti corsi d'acqua o emergenze idriche superficiali nell'area di intervento o in quelle immediatamente contermini.
- Nel sito e nelle aree circostanti non sono stati rilevati elementi morfologici di un qualche significato.
- In particolare, non sono stati rilevati elementi morfologici che possano far pensare alla sussistenza di fenomeni di dislocazione superficiale conseguenti ad eventi sismici od al verificarsi di fenomeni di liquefazione dei terreni.
- Nel sito in esame non si osservano fenomeni destabilizzanti di tipo gravitativo o erosivo attivi in tempi geologici recenti né è ipotizzabile una loro attivazione in tempi geologicamente brevi.
- Analogamente nullo è il rischio che il sito venga interessato da fenomeni di dissesto aventi origine in aree limitrofe.
- Nel sito in oggetto non sono state identificate morfologie associate a processi morfogenetici attivi.
- In particolare, non sono state identificate morfologie, sedimentarie od erosive, associate a processi morfogenetici di versante o fluviale attivi.
- Per quanto concerne la stabilità del pendio e dei fronti di scavo, l'area mostra pendenze modeste in relazione alle caratteristiche meccaniche dei terreni e pertanto non sussistono le condizioni geomorfologiche per il verificarsi di fenomeni di instabilità di tipo gravitativo od erosivo; il rischio che fenomeni franosi possano interessare il sito in esame in tempi geologicamente brevi è nullo.
- Categoria topografica T1 - pendii con inclinazione media  $i < 15^\circ$ .
- La categoria di sottosuolo accertata con l'indagine sismica è la B.
- La stabilità dei materiali di copertura nei confronti della liquefazione (NTC2018, § 7.11.3.4.2) è avvalorata dal fatto che questi terreni non possono essere suscettibili a tale fenomeno in ragione del loro fuso granulometrico.
- La stratigrafia del sito può essere così sintetizzata:
  - Da 0.00 a 1.00 / 1.50 m dal p.c. materiali di riporto e cappellaccio di alterazione e depositi eluvio colluviali costituiti da ghiaie in matrice limo sabbiosa parzialmente alterati dal rimaneggiamento per l'azione antropica (C1).
  - Da 1.00 / 1,50 a 5.00 m dal p.c. Substrato roccioso litoide parzialmente alterato (C2).
  - La porzione più superficiale (fino a 3 metri dal p.c. – in corrispondenza del muro di contenimento del giardino) risulta intensamente fratturata ma scarsamente alterata (argillificata)
  - Il substrato roccioso scarsamente alterato (C3) è stato rinvenuto a 5.00 metri di profondità dal p.c.
  - Sulla base dei sondaggi eseguiti in sito ed in aree limitrofe il substrato roccioso è in facies marnosa (Tipo T2) con banchetti di potenza centimetrica e pluricentrica e stratificazione suborizzontale.
- In considerazione del rinvenimento della roccia a quote poco profonde, si raccomanda l'adozione di fondazioni di tipo diretto (travi rovesce) con eventuali approfondimenti della quota di imposta del piano di fondazione fino al raggiungimento del substrato litoide flyschoidale (C2).
- Il raggiungimento del substrato roccioso litoide consentirà di evitare possibili (seppur minimi) cedimenti differenziali indotti da assestamenti della pavimentazione esistente e/o dalla presenza di materiali di riporto eterogenei frammentati a terreni eluvio colluviali.
- I container saranno fissati al suolo a mezzo, viti e tasselli ancorati alle fondazioni della struttura al fine di evitare possibili spostamenti per l'azione del vento.
- È previsto l'allacciamento degli impianti idrici e fognari alla rete fognaria esistente.
- Alla luce di quanto esposto, si ritiene di poter dichiarare la compatibilità del progetto con le caratteristiche geologiche e geotecniche del sito d'intervento; non sono infatti emersi fattori ostativi o criticità che possano relazionarsi con il contesto paesistico-ambientale, vincoli normativi, pericolosità sismica locale, peculiarità fisico-meccaniche dei terreni in posto, assetto geostrutturale o aspetti morfologici, idrologici ed idrogeologici del territorio.
- Si raccomanda ad ogni modo di interpellare lo scrivente qualora in fase esecutiva venisse evidenziata una situazione stratigrafica o giaciturale dell'ammasso roccioso che si discosti significativamente da quella descritta e/o aggravi il modello geologico previsto.

## 22. Allegato 1 – Indagine sismica

In data 16/03/2023 è stata eseguita un'indagine geofisica per la definizione del modello sismostratigrafico e della velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ , così come definita al § 3.2.2. delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018, presso Viale Romolo Gessi a Trieste.

La campagna di indagine geofisica si è così sviluppata:

- n° 1 indagine sismica a rifrazione;
- n° 1 indagine sismica passiva a stazione singola H.V.S.R.;
- n° 1 indagine sismica con metodologia M.A.S.W. (multi-channel analysis of surface waves).

### Indagine sismica a rifrazione

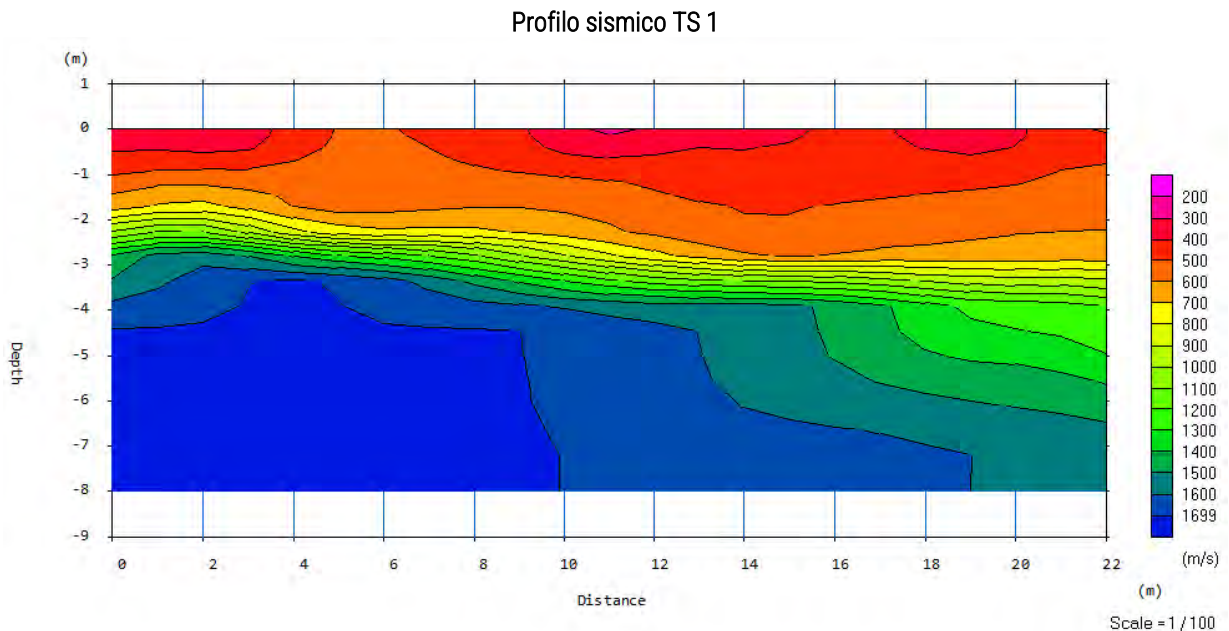
Per definire il modello sismostratigrafico del sottosuolo e per stabilire la profondità del substrato roccioso è stata eseguita un'indagine sismica a rifrazione. Tale metodologia di indagine geofisica si basa sulla produzione di una perturbazione elastica (onda sismica), generalmente mediante percussione di una massa battente o un'esplosione, in un punto al suolo e sulla rilevazione e registrazione, in più punti generalmente equispaziati lungo un profilo, dei tempi di propagazione dell'onda generata. Tale onda subisce il fenomeno della rifrazione nel propagarsi attraverso le superfici di discontinuità costituite dalle interfacce tra sismostrati contraddistinti da diverse velocità di propagazione della perturbazione elastica. Il metodo della sismica a rifrazione è applicabile se la velocità di propagazione aumenta con la profondità poiché con questa condizione le onde generate in superficie e rifratte dalle interfacce tra i sismostrati si propagano nuovamente verso la superficie e possono così essere rilevate. Dalla misurazione dei tempi di percorso dalla stazione energizzante ad una successione di stazioni riceventi, rappresentate ciascuna da un geofono, si deduce la velocità di propagazione della perturbazione sismica e gli spessori degli orizzonti in cui si propaga la stessa e quindi si ottengono informazioni sulla natura e sulla struttura del sottosuolo. I tempi di percorso vengono dedotti dall'analisi dei sismogrammi registrati in campagna, individuando il primo arrivo dell'onda diretta o rifratta. I tempi così ricavati vengono diagrammati in un grafico tempi – distanze dei geofoni (dromocrone), consentendo di individuare le velocità di propagazione della perturbazione sismica ed i parametri necessari per il calcolo delle profondità dei rifrattori (discontinuità sismostratigrafiche). Le interfacce individuate, che sono quindi caratterizzate da variazione della velocità di propagazione delle onde elastiche, non coincidono necessariamente con un cambio litologico, ma con una variazione dei parametri elastici dinamici, funzione della natura litologica o granulometrica del terreno e del suo stato di addensamento/consistenza, nel caso di terreni sciolti, o dello stato di suddivisione della massa rocciosa, nel caso di terreni litoidi.

Per l'esecuzione dell'indagine sono state impiegate onde sismiche di compressione (tipo "P").

Sono stati utilizzati, per la registrazione dei sismogrammi in campagna, un sismografo PASI GEA 24 a 24 canali e geofoni verticali PASI a frequenza naturale di 4.5 Hz. Per l'energizzazione del terreno è stata impiegata una mazza da 5 Kg ed un piattello di battuta di alluminio. Per la presente indagine è stato eseguito un profilo a 12 geofoni con spaziatura pari a 2 m e 8 punti di energizzazione.

L'elaborazione dei sismogrammi acquisiti è stata eseguita con il software SeisImager 2D, che permette di processare dati di sondaggi sismici a rifrazione con il metodo tomografico, che prevede la suddivisione del sottosuolo in celle, di forma generalmente rettangolare, e la creazione di un modello iniziale di velocità. Mediante un processo iterativo viene calcolato il percorso dei raggi sismici delle onde dirette e rifratte attraverso il modello ipotizzato e vengono comparate le dromocrone calcolate sulla base del modello ipotizzato con quelle dedotte dai sismogrammi registrati in campagna. Ad ogni iterazione viene così modificato il modello di velocità e viene ripetuto il processo iterativo al fine di minimizzare le differenze tra i tempi di percorso calcolati e misurati. Si ottiene così lo schema della distribuzione di velocità di propagazione delle onde elastiche il più realistico possibile. Tale modello, costituito da una distribuzione discreta di celle a velocità costante, viene rappresentato mediante linee di uguale velocità. Questa rappresentazione consente di definire dei sismostrati (strati caratterizzati da una sostanziale omogeneità della velocità di propagazione delle onde sismiche) individuando le zone a maggior gradiente di velocità, che costituiscono le discontinuità tra i sismostrati stessi.

I risultati dell'elaborazione tomografica vengono presentati mediante una sezione sismostratigrafica, di seguito allegata, nella quale è rappresentata in ordinata la profondità ed in ascissa la distanza progressiva dal primo geofono.

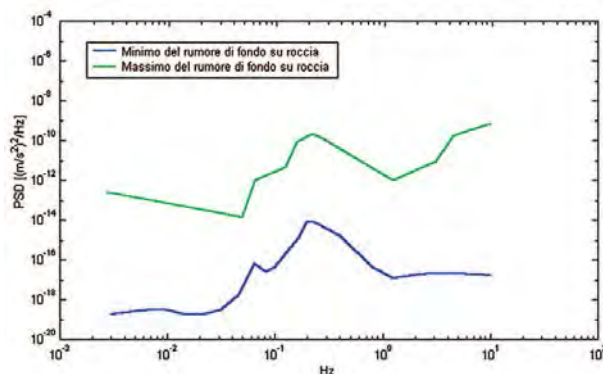


Il profilo sismico TS 1 ha evidenziato la presenza di un orizzonte superficiale, contraddistinto da velocità di propagazione delle onde elastiche comprese tra 200 e 700 m/s. Tali velocità sono ascrivibili, nel caso in esame, alla presenza di un terreno sciolto o assimilabile a sciolto. Per tale sismostrato è stato rilevato uno spessore variabile approssimativamente tra 1.8 m e 3 m. Al di sotto di tale sismostrato sono state rilevate velocità di propagazione delle onde comprese tra 1000 e 1700 m/s, ascrivibili al substrato roccioso da alterato a parzialmente alterato.

#### Indagine sismica H.V.S.R.

L'indagine sismica passiva denominata H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) utilizza il rumore sismico di fondo come funzione di eccitazione per misurare la risposta del sottosuolo in termini di rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale al fine di determinare la frequenza di risonanza del sito.

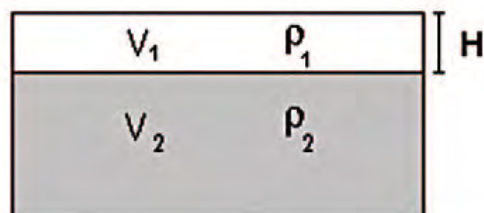
Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato nella figura di seguito allegata, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo 'minimo' di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.



Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo



fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S (vedi ad es. Lachet e Bard, 1994), il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime. Diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente da Nakamura negli anni '80. La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema illustrato in figura in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le diverse velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ).



Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $H$  del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4H} \quad [1]$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. (Tratto da "Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica Mulargia, Castellaro e Rossi).

Per l'esecuzione dell'indagine sismica passiva a stazione singola è stato impiegato un geofono tridimensionale da superficie modello GEMINI-2 della PASI, le cui specifiche tecniche sono:

- Freq. naturale di risonanza: 2 Hz +/-10%
- Sensibilità: 2 V/cm•S-1 +/- 5%
- Resistenza interna: 5.8kΩ +/-5%
- Damping: 0.7 +/-10%
- Distorsione armonica: ≤ 0.2%
- Resistenza d'isolamento: ≥ 10 MΩ
- Temp. funzionamento: da -25°C a + 55°C

L'acquisizione è stata eseguita con una frequenza di campionamento di 200 Hz per una lunghezza di acquisizione di 20 minuti. I dati acquisiti sono stati elaborati con il software winMASW 2018 Academy, ricampionandoli a 128 Hz ed utilizzando una finestra temporale di 20 s per il calcolo del rapporto spettrale H/V.

L'indagine ha evidenziato un picco significativo di natura stratigrafica nella curva del rapporto spettrale alla frequenza di 17.5 Hz. Di seguito sono elencati i criteri previsti dal progetto SESAME per la verifica dei risultati dell'indagine, gli spettri delle tre componenti ed il rapporto spettrale H/V.

#### Criteri dal progetto SESAME

**Peak frequency (Hz): 17.5 (±6.3)**

**Peak HVSR value: 2.5 (±0.2)**

=== Criteria for a reliable H/V curve ===

#1. [ $f_0 > 10/L_w$ ]: 17.477 > 0.5 (OK)

#2. [ $n_c > 200$ ]: 40198 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

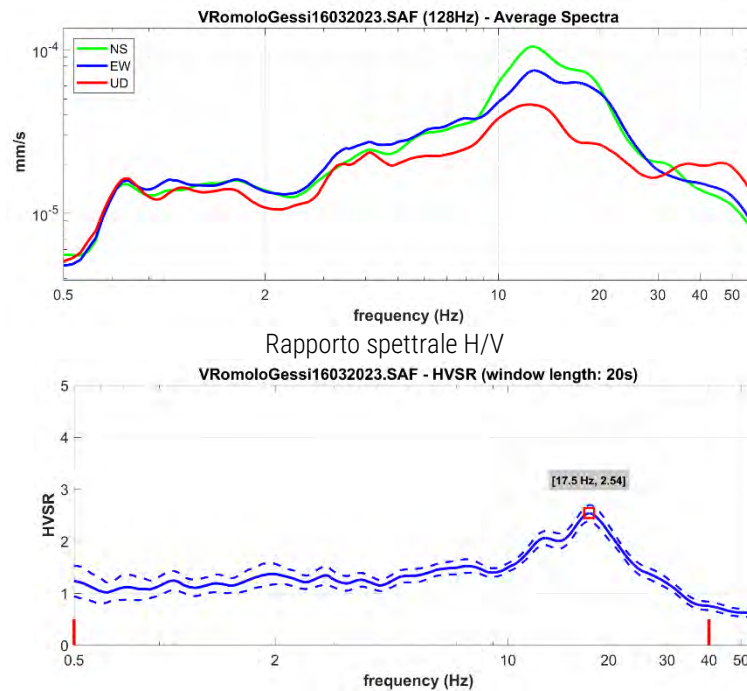
=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ===

#1. [exists  $f^-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f^-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 4.4Hz (OK)

#2. [exists  $f^+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f^+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 28.6Hz (OK)

- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.5 > 2$  (OK)  
 #4.  $[f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (OK)  
 #5.  $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$ :  $6.307 > 0.874$  (NO)  
 #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.288 < 1.58$  (OK)

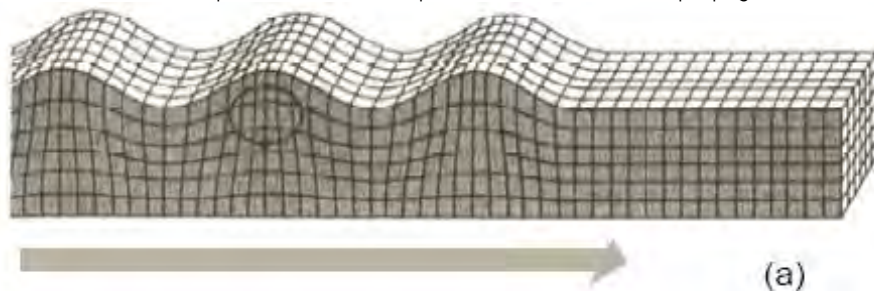
Spettri delle tre componenti



#### Indagine sismica M.A.S.W.

La metodologia chiamata M.A.S.W. si basa sull'analisi della propagazione, lungo un profilo, delle onde superficiali denominate onde di Rayleigh e prevede che tali onde vengano generate artificialmente mediante una percussione al suolo di una massa. Questo tipo di onde superficiali è contraddistinto da una velocità di propagazione che è funzione di quella delle onde S proprie dei terreni al di sotto del profilo investigato.

Le onde di Rayleigh si propagano in corrispondenza di una superficie libera e causano un movimento ellittico retrogrado delle particelle del mezzo attraversato su un piano verticale comprendente la direzione di propagazione.



Schema illustrante movimento delle particelle in un'onda di Rayleigh

L'ampiezza dello spostamento indotto alle particelle del terreno decresce con la profondità ed è maggiore per lunghezze d'onda più grandi (frequenze più basse). Pertanto lunghezze d'onda maggiori interferiscono con porzioni più profonde del sottosuolo.

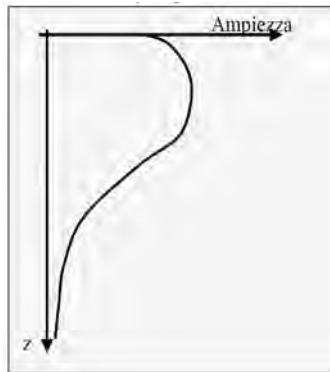


Grafico illustrante l'ampiezza del movimento delle particelle con la profondità in un'onda di Rayleigh

Le onde superficiali in esame possono essere trasmesse sulla superficie di un semispazio uniforme o di un mezzo in cui la velocità di propagazione cambia con la profondità. In questo ultimo caso le onde sono dispersive, cioè le varie componenti a lunghezza d'onda diversa viaggiano con velocità differenti. Questo fenomeno è determinato dal fatto che le varie lunghezze d'onda interessano profondità diverse e quindi interferiscono con materiali contraddistinti da caratteristiche di rigidità e velocità di propagazione delle onde S differenti. Pertanto ogni frequenza contenuta nel treno d'onde si propagerà con una propria velocità (velocità di fase). Il fenomeno appena descritto viene analizzato mediante lo spettro di velocità che riporta la velocità di fase e la frequenza. Su tale grafico viene calcolata la curva di dispersione relativa al modello monodimensionale di velocità di propagazione delle onde S ipotizzato che viene ottimizzato fino a quando la curva di dispersione si sovrappone allo spettro di velocità.

Lo studio delle caratteristiche di dispersione delle onde superficiali costituisce quindi un metodo per la determinazione della velocità di propagazione delle onde S ( $V_s$ ) nelle porzioni più superficiali del sottosuolo.

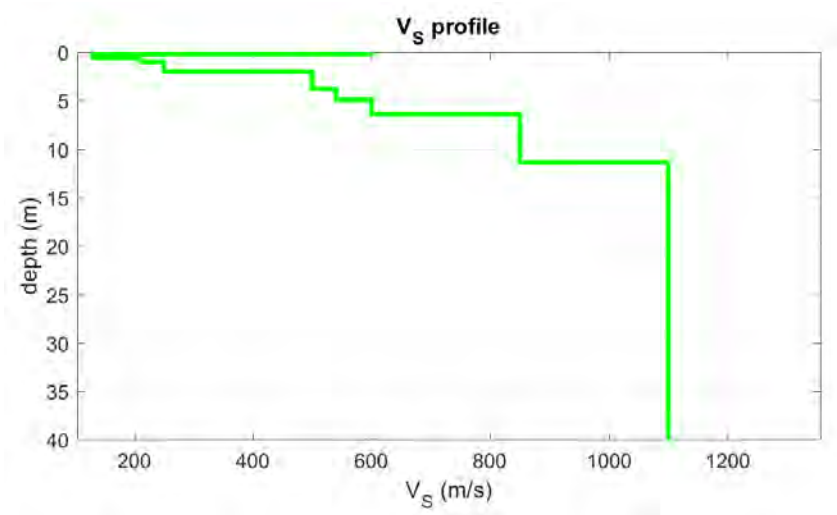
Per la registrazione dei sismogrammi in campagna sono stati utilizzati un sismografo PASI GEA24 a 24 canali e geofoni PASI verticali a frequenza naturale di 4.5 Hz. Per l'energizzazione del terreno è stata impiegata una mazza da 9 Kg ed un piattello di battuta di alluminio. Per la presente indagine è stato utilizzato lo stesso profilo impiegato per l'indagine sismica a rifrazione. I sismogrammi acquisiti sono stati elaborati con il software winMASW 2018 Academy, con il quale è stato calcolato lo spettro di velocità.

La modellazione delle velocità delle onde S è stata effettuata con un'elaborazione congiunta del grafico del rapporto spettrale, determinato con l'indagine HVSr, e dello spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh, ottenuto con il profilo MASW. È stata infatti sovrapposta alla curva del rapporto spettrale la curva teorica calcolata con il modello ipotizzato, considerando le onde superficiali, ed allo spettro di velocità calcolato con i sismogrammi acquisiti le curve di dispersione modali, per vari modi (fondamentale e superiori), nonché lo spettro di velocità (contour) calcolato con sismogrammi sintetici, generati sulla base del modello secondo il metodo della "Modal Summation" (Herrmann, 2003). Di seguito vengono riportati il sismogramma acquisito con l'indagine MASW, il modello di velocità delle onde S risultante dall'elaborazione congiunta e lo spettro di velocità sul quale sono evidenziati, nella prima immagine, modo fondamentale e modi superiori corrispondenti al modello ipotizzato e, nella seconda immagine, lo spettro di velocità (contour) calcolato con sismogrammi sintetici, generati sulla base del modello assunto secondo il metodo della "Modal Summation" (Herrmann, 2003). L'ultima immagine rappresenta la curva del rapporto spettrale (curva verde) con la curva teorica calcolata con lo stesso modello, considerando le onde superficiali (curva magenta).

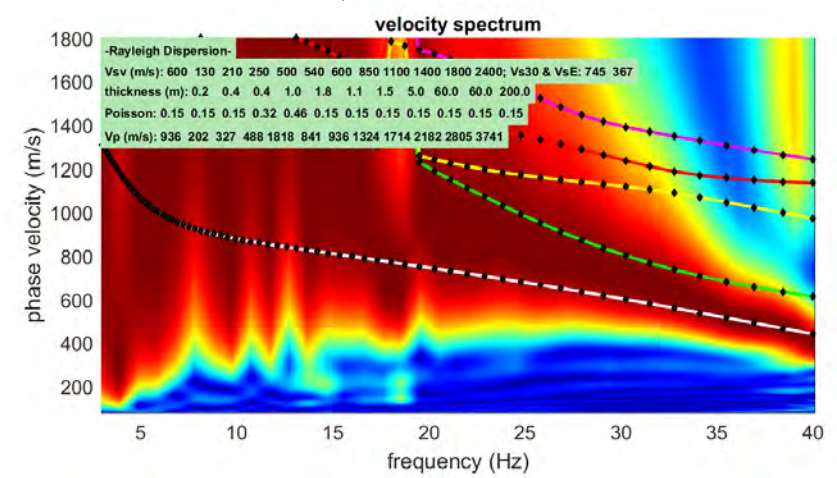


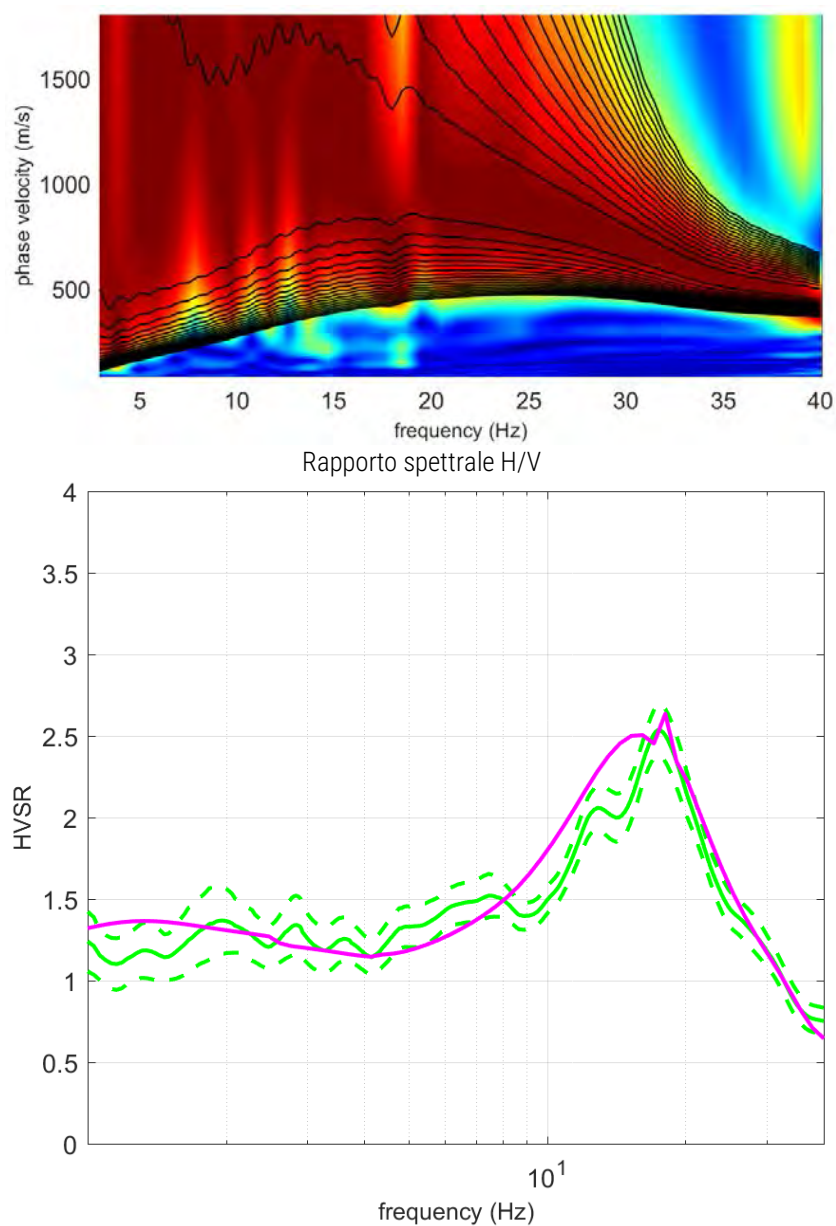
Sismogramma

Modello di distribuzione della velocità delle onde S



Spettro di velocità





La distribuzione della velocità delle onde S, derivante dalla modellazione sopra descritta e che risulta compatibile con i dati geofisici acquisiti, è stata schematizzata nel modello di seguito sintetizzato fino alla profondità di interesse:

Spessore	Prof,		Vs (m/s)
	da (m)	a (m)	
0,20	0,00	0,20	600
0,40	0,20	0,60	130
0,40	0,60	1,00	210
1,00	1,00	2,00	250
1,80	2,00	3,80	500
1,10	3,80	4,90	540
1,50	4,90	6,40	600
5,00	6,40	11,40	850
	11,40		1100

Il substrato (bedrock sismico), caratterizzato da  $V_s \geq 800$  m/s, così come indicato al § 3.2.2. delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018, è stato individuato alla profondità di 6.4 m dal piano campagna ed alla profondità di 4.4 m dalla quota alla quale è stato individuato il substrato roccioso alterato ( $V_s=500$  m/s). Fino alla profondità di 6.4 m i terreni sono caratterizzati da una velocità equivalente delle onde S  $V_{s,eq}=367$  m/s;