

Relazione geologico-geotecnica-sismica

Indice

1. PREMESSE	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	3
2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	3
2.2.1 <i>Litologia</i>	5
2.2.2 <i>Tettonica</i>	7
2.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	9
2.4 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	10
2.5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	11
3. CARATTERIZZAZIONE GEOLITOLOGICA	12
3.1 INDAGINI PREGRESSE	12
3.2 MODELLO GEOLITOLOGICO.....	12
4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E CONCLUSIONI	16
5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	17

ALLEGATI

- 1 CARTA GEOLITOLOGICA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE
- 2 CARTA GEOMORFOLOGICA
- 3 SEQUENZE STRATIGRAFICHE
- 4 PROFILI INTERPRETATIVI

1. PREMESSE

La presente relazione geologica-geotecnica-sismica riguarda il progetto di interventi nel Porto Vecchio di Trieste per la realizzazione di strutture dedicate alla nautica di diporto, oltre che l'attuazione una serie di interventi di ristrutturazione su immobili ubicati nell'area del porto vecchio.

Si rimanda agli allegati tecnici per una completa descrizione delle opere.

In questo elaborato ci si propone di valutare tutte le possibili interazioni tra le azioni di progetto e l'ambiente geologico considerando le problematiche di carattere geomeccanico e geotecnico connesse alla realizzazione delle opere.

Per quanto riguarda la normativa di riferimento si fa presente che i contenuti della relazione geotecnica sono definiti dalla legge 2 febbraio 1974 n. 64, dal D. M. 11/03/1988 e successiva Circolare LL.PP. del 24 settembre 1988 n. 30483, mentre la legge 11 febbraio 1994, n. 109 ("Legge quadro in materia di lavori pubblici") nonché il suo Regolamento di attuazione (Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999, n. 554) ne prevedono la necessità. Le recenti norme tecniche per le costruzioni approvate con DM 14 gennaio 2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30 in vigore dal 30 giugno 2009, ne dettagliano ulteriormente i contenuti soprattutto dal punto di vista della caratterizzazione sismica.

Pertanto con lo scopo di caratterizzare la natura geotecnica dei terreni interessati dalle opere di progetto sono state considerate le indagini eseguite per la progettazione di lavori in zone contermini, in particolare:

- Studio Geologico per 'Ristrutturazione del Magazzino 26 in Porto Vecchio (Trieste) – Comune di Trieste' redatto dal Dott. Mario Zini, *Settembre 2003*
- 'Adria Terminal' Bacino I: Risanamento rive e primo banchinamento Riva I – Autorità Portuale di Trieste, *Settembre 2000*
- Campagna di prove geognostiche per il progetto 'Realizzazione del Terminal Traghetti al Punto Franco Vecchio – Autorità Portuale di Trieste', *Agosto 1995*
- Relazione geologico-geotecnica per il progetto 'Adria Terminal' Interramento Bacini I e II – Ente Autonomo Porto di Trieste, redatta dal Dott. Geol. Francesco Mortillaro, *Dicembre 1984*

E' stato inoltre consultato il sito della Regione Friuli Venezia Giulia (<http://www.irdat.regione.fvg.it/Consultatore/>) da cui è stato recuperato materiale cartografico contattando il Servizio Geologico per l'acquisizione di sondaggi stratigrafici pregressi.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

2.1 Inquadramento territoriale

Trieste è il capoluogo della Regione Friuli Venezia Giulia, collocata nell'estremo Nord-Est del territorio italiano, a 6 km dal confine con la Slovenia.

Il territorio comunale ha una estensione di 84.49 km² e ospita 211.184 abitanti.

La città si affaccia sull'Adriatico, dando nome al Golfo ed è sovrastata dall'altopiano del Carso che si sviluppa alle sue spalle. La morfologia del territorio passa rapidamente da collinare a montuosa in virtù delle ripide scarpate che delimitano il Carso.

2.2 Inquadramento geologico

Il territorio di Trieste vede la presenza di formazioni carbonatiche calcaree (Cretaceo Superiore - Eocene Medio), una alternanza di marne ed arenarie (Eocene medio) e depositi alluvionali, dal Quaternario all'attuale.

Nell'estratto (Fig. 1) della Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia a scala 1: 150 000 viene evidenziata l'area interessata dalle opere in progetto.

Fig. 1: Dettaglio della Carta geologica del Friuli Venezia Giulia a scala 1: 150 000, in rosso l'area oggetto della presente relazione



Successione cenozoica

19b
 Altamaneze pelitico-arenacee ben stratificate con calcirudi e calcareniti talora in potenti banchi carbonatici (Fysch del Grivò: a - Megastro del M. Ioanaz; b - M. di Vermasso; Fysch di Clauf); alternanze di areniti e/o siltiti con marne calcareo-silicee a clasti di quarzo e selce (Fysch di Cormons, Fysch di Clauzatto, "Fysch di Trieste"); depositi di bacino. Interbedded shales and sandstones with calcirudites and calcarenites, sometimes in thick carbonatic beds (a, b); alternation of sandstones and/or siltstones with calcareous-siliceous marls with quartz and silica clasts; basinal deposits. **Paleocene p.p. - Eocene medio.**

18
 Calcarei grigi e nocciola a stratificazione metrica o indistinta molto fossiliferi (Calcarei a Mikoldi, Calcarei a Nummuliti ed Alveoline, Mb. di M.te Grisa e Opicina, Liburnico; Vieme e Cosina); breccie carbonatiche e marne debolmente arenacee con nummuliti; depositi di piattaforma. Grey and dark brown fossiliferous limestones in m-thick beds or massive; carbonate breccias and sandy marls with nummulites; platform deposits. **Paleocene - Eocene inf.**

Successione mesozoica Mesozoic sequence

17c
 Calcarei bioclastici biancastri, massicci con abbondanti rudiste, talora con intercalazioni di calcari micritici (Calcarei di M. Cavallo, Calcareni del Moissia, Calcarei di Aurisina, Fm. dei Calcarei del Carso triestino p.p., Calcarei di Monte San Michele); depositi di piattaforma aperta. Whitish bioclastic limestones, massive, with abundant rudists, sometimes with interbedded micritic limestones; carbonate platform deposits. **Cretacico sup.**

Tessiture dei domini marini e lagunari Marine and lagoonal domains textures

- Sedimenti pelitici di colore grigio scuro, grigio verde o nero, argille molto molli
Dark grey, greenish grey or black clays. Soft clay
- Sedimenti pelitico-sabbiosi di colore grigio verdastro o cenere, grigio plumbeo o nerastro
Greenish grey, grey or blackish sands and clay
- Sedimenti pelitici molto sabbiosi di colore verdastro o nerastro
Greenish or blackish very sandy clay
- Sedimenti sabbioso-pelitici di colore grigio scuro
Dark grey sands and clays
- Sedimenti sabbiosi di colore grigio chiaro-beige, a granulometria media-medio fine sottomarina (sabbie litorali) media al largo (sabbie di piattaforma)
Light grey-brownish sands; medium and medium-fine sands (litora), medium sands (shells)

- Giacitura: suborizzontale, subverticale, inclinata 10°+45°, inclinata 45°+80°, rovesciata
Bedding: subhorizontal, subvertical, inclined, overturned
- Asse di anticlinale Anticline Axial plane trace
- Asse di sinclinale Syncline Axial plane trace
- Chiusura di piega Fold closure
- Faglia diretta Normal fault
a - Sepolta o presunta Buried or inferred
- Faglia inversa Reverse fault
a - Sepolta o presunta Buried or inferred
- Faglia verticale e/o trascorrente Vertical and/or Strike-slip fault
a - Sepolta o presunta Buried or inferred
- Sovrascorrimento principale Main overthrust
a - Sepolto o presunto Buried or inferred
- Sovrascorrimento secondario o faglia inversa Minor overthrust or Reverse fault
a - Sepolto o presunto Buried or inferred

L'area è occupata nel mesozoico da una piattaforma carbonatica, in un ambiente molto protetto e a bassa energia di fondo, con frequenti emersioni e una sedimentazione controllata dalla tettonica. Successivamente l'ambiente diventa più aperto con sviluppo di depositi biohermali e biostromali culminanti in un ambiente recifale con fasi di emersione testimoniate da paleocarsismo. Contestualmente alle prime spinte orogenetiche (Senoniano superiore) si delineano l'Anticlinale del Carso Triestino e la Sinclinale Capodistria Trieste. L'ambiente torna nuovamente ad essere molto protetto, poi più aperto, litoraneo con influenze terrigene. Nell'Eocene la ripresa delle fasi orogenetiche produce materiale detritico che trasportato dai corsi d'acqua costituisce sedimenti deltizi che coprono la piattaforma (sedimenti torbiditici del Flysch). L'Oligocene è caratterizzato dalla crisi orogenetica dinarica: con la formazione delle principali strutture tettoniche si verificano il sollevamento dell'Anticlinale e il collasso dei sedimenti torbiditici. Nel Plio-Pleistocene imponenti fenomeni di erosione nel Flysch e carsismo nell'altopiano carbonatico portano alla fisionomia attuale.

Dall'analisi delle sequenze stratigrafiche appare evidente come i cicli tettonici abbiano esercitato un forte controllo sulla sedimentazione coeva: i depositi delle fasi mesozoiche sono prevalentemente carbonatiche, quelli coevi alle fasi compressionali cenozoiche sono quasi esclusivamente terrigeni.

2.2.1 Litologia

Le principali strutture presenti nell'area sono rappresentate dal bacino marno-arenaceo dell'Istria settentrionale (Sinclinale Trieste-Capodistria-Pinguente) serie molto corrugata, ripiegata arricciata e fagliata per scivolamento lungo la superficie inclinata dei calcari, che rappresentano la flessura marginale meridionale dell'Anticlinale del Carso Triestino.

L'area in studio vede la presenza di Flysch Eocenico a contatto con depositi quaternari e/o recenti (materiale di riporto).

Flysch: alternanze ritmiche, con periodi molto variabili, di pacchetti di marne generalmente carbonatiche-argillose, grigiastre, fragili, con strati e banchi di arenarie compatte calcitiche –quarzoso-feldspatiche, da grigio chiare a grigio scure (Eocene).

Le **marne** sono rocce prevalentemente carbonatiche con componente argillosa variabile, a strati di potenze variabili da 3-10dm a pochi centimetri, spesso fogliettate e

abbastanza fragili. Il colore varia da grigio ceruleo a grigio cupo. L'intensa deformazione e fratturazione inducono alla degradazione della roccia che per l'azione di agenti atmosferici si trasforma in materiale argilloso e forma uno strato friabile, il "cappellaccio". Le **arenarie** sono rocce a matrice carbonatica, inglobanti a volte frazioni detritiche, molto dure, compatte e rigide. Nettamente stratificate, con uno spessore dei singoli strati variabile da 1cm a 2m. Possono subire processi di degradazione, soprattutto per opera di acque di percolazione e ruscellamento che decalcificano la roccia provocandone il disfacimento.

In base al rapporto arenaria-marna la formazione del Flysch viene suddivisa in due facies:

- facies arenacea marnosa, con rapporto compreso tra 40/60 e 70/30;
- facies arenacea, con rapporto maggiore di 70/30

Coperture eluvio-colluviali: sedimenti costituiti prevalentemente da limi di colore bruno-marrone misti a argille con ghiaie. Sono il prodotto della degradazione superficiale del Flysch, si rinvengono nelle zone vallive e di versante dove raggiungono anche i 5m di spessore e costituiscono suoli che ricoprono buona parte degli affioramenti torbiditici.

Sedimenti marini: prevalentemente costituiti da argille limose di colore grigio scuro-nerastro, bluastro, molli, semifluidi, più o meno organici, con livelletti a maggior frazione limosa o di rado sabbiosa, post Wurmiani (Quaternario). Perforazioni hanno appurato la loro consistenza in terra e in mare con spessori fino a 10-15 m.

Riparto: materiali flyschoide, ghiaie, di bonifica, recenti o di epoca storica. Formano il sottofondo delle opere civili lungo la fascia costiera, raggiungendo anche spessori di oltre 10m.

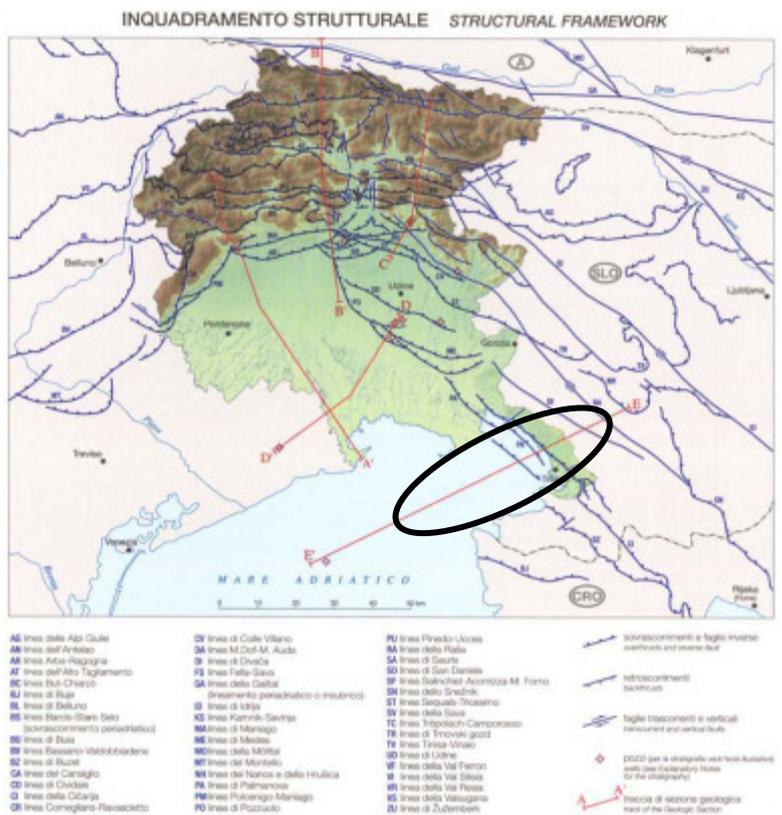
L'assetto tettonico del Flysch è piuttosto complesso sia a causa delle sue stesse modalità di formazione che degli eventi tettonici che lo hanno dislocato. La formazione mostra pieghe, pieghe-faglie microfaglie oltre che una alternanza interna formazionale: tutto ciò rende l'assetto strutturale estremamente mutevole e comporta una notevole difficoltà nell'estrapolare dati puntuali, anche a zone molto prossime tra loro.

2.2.2 Tettonica

A grande scala l’area è stata caratterizzata da una tettonica estensionale mesozoica e da una tettonica compressionale recente.

Durante il Mesozoico il territorio dell’attuale pianura friulano – veneta e dell’Adriatico settentrionale attraversa una fase estensionale ed è caratterizzato da bacini di acqua profonda o pelagici (come il Bacino Bellunese) e da piattaforme carbonatiche come la Piattaforma Friulana. Durante il Giurassico medio e il Cretaceo Inferiore la Piattaforma Friulana è soggetta ad un forte sollevamento che determina un innalzamento di circa 1200 -1500 m rispetto ai bacini circostanti, con la formazione di un margine di forma irregolare con direzioni preferenziali NW-SE e SW-NE.

Fig 2: dettaglio della Carta geologica del Friuli Venezia Giulia a scala 1: 150 000, in nero l’area oggetto della presente relazione



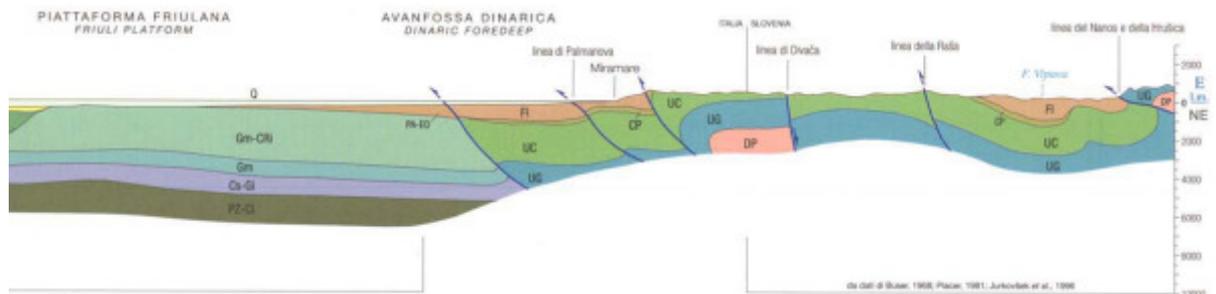
La fase Dinarica dell’orogenesi alpina innesca un regime compressivo. Già dal Cretaceo Superiore inizia la formazione delle catene che attualmente bordano la pianura veneto-friulana. Il regime tettonico compressivo induce la formazione di motivi strutturali con andamento NW-SE consistenti nella Anticlinale del Carso Triestino e la Sinclinale Capodistria - Trieste . Durante il Paleocene-Eocene l’avampase Friulano si

flette sotto la catena Dinarica costituendone l'avanfossa. Il bacino è progressivamente riempito da sedimenti torbiditici (Flysch) provenienti dallo smantellamento della stessa catena.

Una visione d'insieme degli elementi tettonici presenti nel territorio della Regione è offerta dalla figura 2.

L'area evidenziata è caratterizzata da una successione di sovrascorrimenti (PA: Linea di Palmanova) che si sviluppano con orientazione NW-SE accompagnati da faglie con orientamento opposto (NE-SW). La sezione E-E' di cui viene riportato un estratto evidenzia il passaggio dalla avanfossa dinarica alla Piattaforma Friulana, attraverso una serie di sovrascorrimenti con immersione minore passando da monte a mare.

Fig 3: Profilo E-E' estratto dalla Carta geologica del Friuli Venezia Giulia a scala 1: 150 000



La stessa carta geologica (Fig. 1) segnala un sovrascorrimento con andamento NW-SE al contatto tra il Flysch e i Calcari del Carso svincolato da faglie ortogonali.

In ambiente marino altri sovrascorrimenti sepolti o presunti sono tracciati, con lo stesso andamento.

Localmente (Allegato 1) gli strati hanno giacitura NW-SE con inclinazione che passa progressivamente da sub verticale a sub orizzontale procedendo da monte a mare, anche se frequenti ripiegamenti e numerose superfici di discontinuità che comportano una varietà di assetto.

2.3 Inquadramento geomorfologico

Il comune di Trieste è situato tra il Mar Adriatico a Ovest e le colline flyschoidi eoceniche ed rilievi carbonatici mesozoici a Nord Est che costituiscono il Carso.

Questo altopiano si sviluppa immediatamente alle spalle della città, con fianchi ripidi a cui si succedono dolci rilievi e zone pianeggianti, con quote variabili da 400 a 600 m. La morfologia è il prodotto dell'intensa e prolungata attività erosiva e corrosiva delle acque meteoriche e della differente coesione delle rocce affioranti, attività che conferisce a questo altopiano un aspetto aspro.

La zona costiera, che raccorda il Carso al mare, è di tipo alto, caratteristica per le ampie baie (di Muggia e più a Sud di Capodistria e di Pirano) che corrispondono alle vallate dei corsi d'acqua principali dell'Istria settentrionale e rappresentano le loro parti più basse invase dal mare in seguito alla trasgressione post wurmiana. Queste baie, espressioni morfologiche di un territorio a colline elevate, sono separate da prominenze peninsulari che si protendono per alcuni chilometri verso NO spingendo in mare alti e ripidi promontori marno-arenacei rimodellati dall'abrasione marina, dall'erosione di acque vaganti e da piccoli temporanei rigagnoli (Punta Sottile, Punta Grossa).

Nel Golfo di Trieste alcuni piccoli corsi d'acqua hanno dato origine a locali incisioni delle rocce flyschoidi che successivamente colmate da sedimenti prodotti da disfacimento del flysch si trovano a volte sepolte, articolando la situazione litostratigrafica sia nella zona a terra del porto, sia nell'area marina antistante. Tali elementi si rinvencono nel corso dei sondaggi geognostici che evidenziano la presenza del bedrock flyschoidi a profondità a volte differenti anche nel giro di poche decine di

metri. I fondali su cui si sono depositi sedimenti marini hanno generalmente una pendenza lieve e regolare.

L'Allegato 2 rappresenta un estratto della Carta Geomorfologica della Regione Friuli Venezia Giulia.

2.4 Inquadramento idrografico

La Regione Friuli Venezia Giulia è interessata da una complessa e fitta rete idrografica. Il sistema idrografico, determinato dalla presenza della catena delle Alpi orientali e dalla piana alluvionale friulana, è incentrato sui cinque principali corpi idrici a carattere torrentizio, e loro affluenti, sfocianti nel mar Adriatico (da Est verso Ovest: Isonzo, Cormor, Corno-Stella, Tagliamento, Cellina-Meduna,) e sulla complessa rete idrografica determinata dalle acque di risorgiva provenienti dalle falde freatiche presenti in tutta la media pianura friulana, alimentate sia dagli apporti meteorici, sia dalle infiltrazioni nel sottosuolo dei principali corsi d'acqua lungo i percorsi dell'alta e media pianura.

Alle spalle di Trieste si sviluppa un paesaggio singolare, privo di idrografia superficiale, tranne il caso del Torrente Rosandra la cui valle costituisce l'unica breccia naturale scavata nell'altopiano del Carso, una gigantesca spaccatura tra il M. Carso ed il Carso di Basovizza nella quale si imposta uno dei rarissimi casi di idrografia superficiale del Carso italiano.

Nel circondario del comune di Trieste si sviluppano corsi minori che hanno generalmente lunghezze di pochi chilometri, le cui sorgenti che sono probabilmente dovute alla emersione delle acque meteoriche che precipitano sull'altipiano carsico lungo discontinuità formazionali. Le acque percorrerebbero itinerari ipogei per raccogliersi e sgorgare in quei punti laddove lo strato argilloso e quello calcareo entrano a contatto, permettendone quindi la fuoriuscita. Una volta sgorgate in superficie, le acque di questi torrenti scendono quindi al mare incanalandosi in strette valli a natura floschoide, nelle quali ricevono il tributo di altri ruscelli minori.

La loro portata è, in gran parte dell'anno, contenuta; non mancano però, e non sono mancate in passato, piene improvvise dopo lunghi periodi di pioggia. Proprio causa le continue esondazioni, con il conseguente apporto di condizioni insalubri nell'ambiente

circostante. A partire dal 1835 venne intrapresa un'opera di canalizzazione che ha portato ad un quasi totale loro interrimento. Oggi questi torrenti restano visibili a cielo aperto solo nelle zone periferiche di Trieste.

La veloce espansione urbana che Trieste ebbe sotto l'impero Austro-ungarico, nel '700, portò al completo interrimento di due torrenti che scorrevano subito al di fuori delle mura cittadine; anche se il loro percorso è presente sulle mappe dell'epoca, è tuttavia difficile stabilire con certezza se esistono ancora o se siano del tutto mascherati causa il riassetto urbanistico.

2.5 Inquadramento idrogeologico

I complessi idrogeologici del territorio friulano sono costituiti da unità che si sviluppano in direzione EW, ben distinte da sistemi di faglie e sovrascorrimenti con trend analogo e appena dislocate da sistema di faglie trasverse (da NW-SE A NE-SW). Dal punto di vista litologico consistono in acquiferi porosi per fratturazione e carsismo, la cui età predominante è Permo-Carbonifero (Alpi Carniche) Triassico (Alpi e Prealpi di Tolmezzo) e Alpi Giulie, Giurassico-Cretaceo e talvolta Eocene nelle Prealpi Carniche di Pordenone e nelle Prealpi Giulie. I principali complessi carbonatici influenzati da carsismo rappresentano complessi separati (carso di Trieste e Gorizia, del Cansiglio-Cavallo, del Monte Canin) dove interagiscono con altre unità idrogeologiche. In generale all'interno dei depositi quaternari ricoprenti le rocce flisciodi, è presente una o più falde di scarsa importanza direttamente correlate alla potenza di questi terreni e alla stratigrafia del sottosuolo, l'impermeabile relativo a letto è costituito dai materiali flisciodi, che a volte presentano circolazione idrica significativa all'interno del cappellaccio piuttosto che all'interno della stessa formazione marnosa qualora fratturata con significativa presenza di vuoti interconnessi.

3. CARATTERIZZAZIONE GEOLITOLOGICA

3.1 Indagini pregresse

E' stata svolta una estesa ricerca bibliografica al fine di recuperare indagini geognostiche effettuate in aree prossime alla zona di intervento.

Le stratigrafie raccolte sono relative a sondaggi eseguiti per i seguenti progetti:

- Ristrutturazione del Magazzino 26 in Porto Vecchio (Trieste) – Comune di Trieste *Settembre 2003, 2 sondaggi (S12 e S13)*
- 'Adria Terminal' Bacino I: Risanamento rive e primo banchinamento Riva I – Autorità Portuale di Trieste *Settembre 2000, 6 sondaggi (da S6 a S11)*
- Realizzazione del Terminal Traghetti al Punto Franco Vecchio – Autorità Portuale di Trieste *Agosto 1995, 5 sondaggi (da S1 a S5)*
- *N° 21 sondaggi (da S14 a S34)* acquisiti dal Servizio Geologico della Regione Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale Ambiente e lavori pubblici – le cui stratigrafie sono relative ai sondaggi prossimi all'area di studio segnalati nella cartografia prodotta dallo stesso Servizio Geologico.

La localizzazione delle indagini raccolte è rappresentata nell'Allegato 1, le stratigrafie costituiscono l'Allegato 3.

I dati sono stati utilizzati per elaborare un modello geolitologico con lo scopo di studiare l'andamento del complesso flyschoidale e desumere il proseguimento dello stesso nei fondali prospicienti il Porto Vecchio.

3.2 Modello geolitologico

L'esame del materiale bibliografico recuperato e la correlazione tra le sequenze stratigrafiche dei sondaggi raccolti ha confermato il modello proposto dal Dott. Zini nella sua relazione¹. Tutta l'area portuale di Trieste è caratterizzata da una formazione marnosa-arenacea ricoperta da sedimenti costituiti da argille e limi argillosi. Nel dettaglio la successione stratigrafica risulta costituita, dal basso verso l'alto, da:

¹ Studio Geologico per 'Ristrutturazione del Magazzino 26 in Porto Vecchio (Trieste) – Comune di Trieste'

Flysch (F): roccia formata dall'alternanza di marne ed arenaria a spessori variabili. Le marne sono compatte, a grana fine e di colore grigio scuro; le arenarie, dello stesso colore, sono meno abbondanti e frequenti, spesso allentate e fratturate.

Argilla e argilla limosa (A): di colore grigio scuro, con scarsa presenza di tritume conchigliare e rari fossili intatti

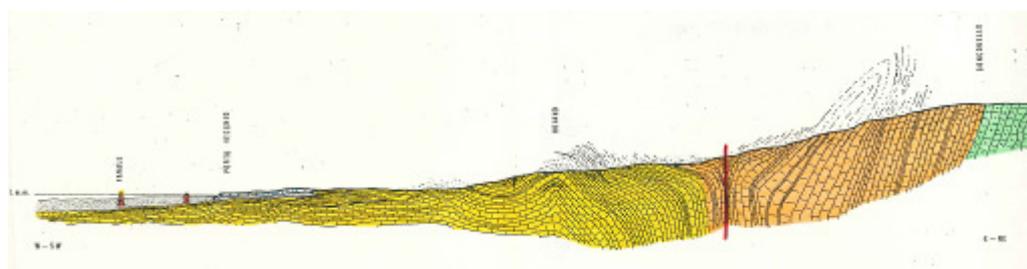
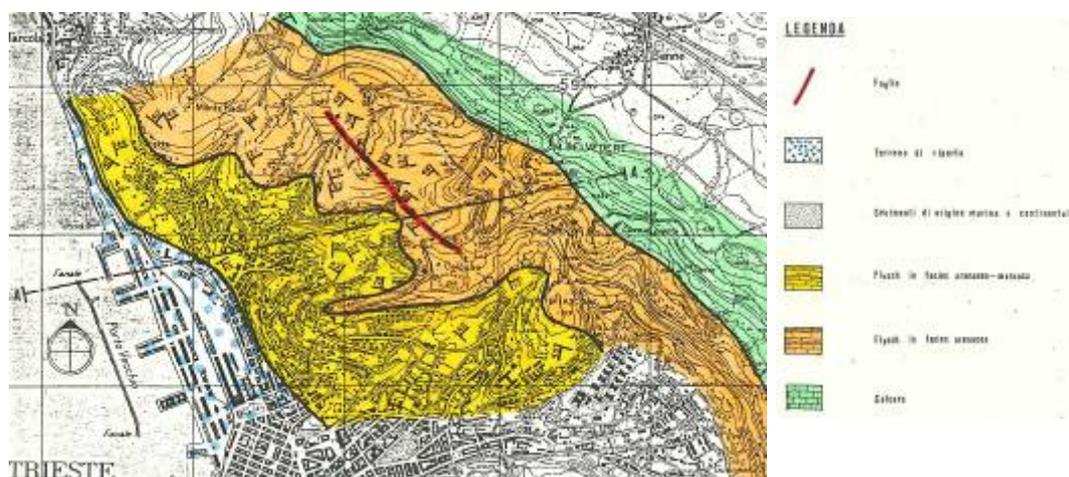
Limo ghiaioso e/o argilloso (L): di colore nocciola con clasti arenacei da spigolosi a subspigolosi.

Sabbia (S): fine, debolmente limosa

Ghiaia (G): medio fine, ad elementi di natura eterogenea, sub spigolosa, in matrice limosa o sabbiosa medio fine

Materiale di riporto (R)

Il seguente profilo stratigrafico, estratto dalla relazione geologica ²⁽²⁾ del Dott. Geol. Mortillaro, descrive l'andamento delle formazioni presenti, evidenziandone l'estrema complicità tettonica.



² 'Adria Terminal' Bacino I: Risanamento rive e primo banchinamento Riva I – Autorità Portuale di Trieste

Concentrando l'attenzione sui sondaggi più prossimi alle due marine possiamo isolare:

Marina 1: sondaggi da 6 a 13

Marina 2: sondaggi 5, 15 e 16

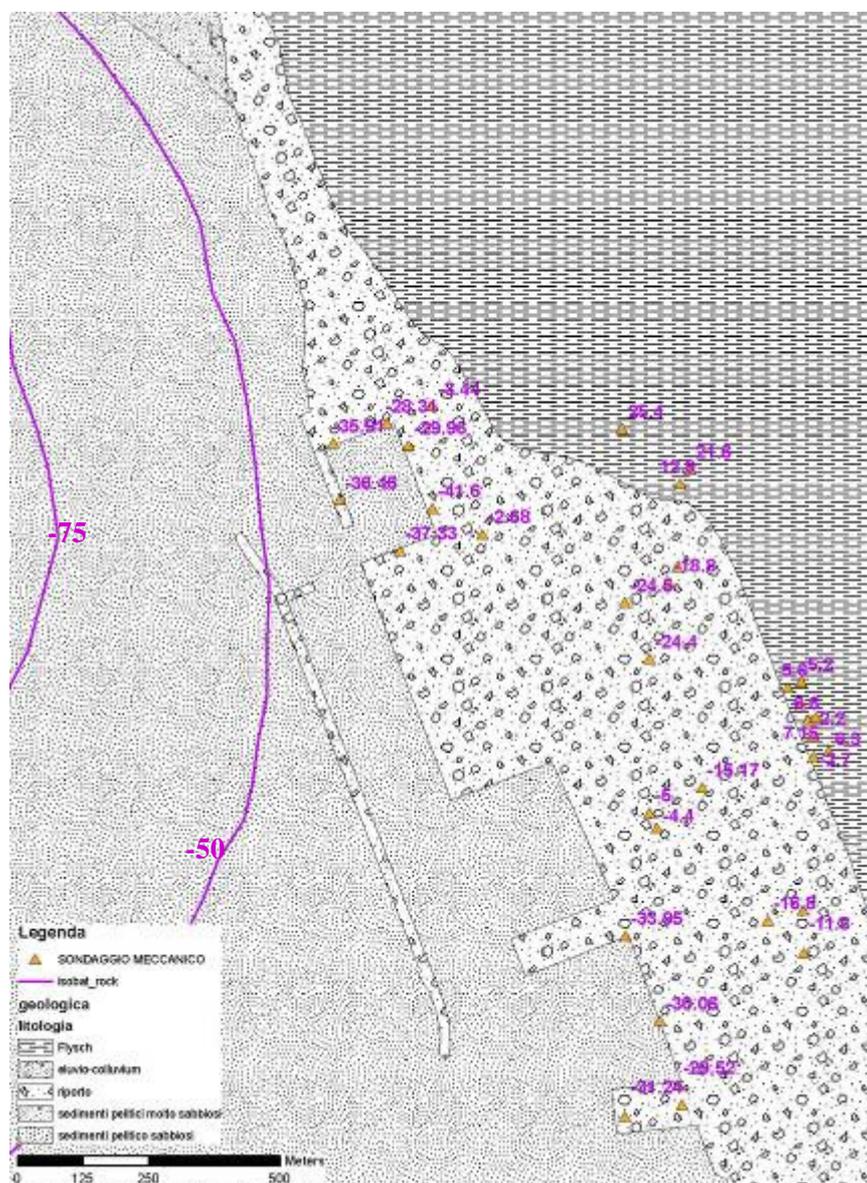
L'analisi delle sequenze stratigrafiche conferma il modello anche se, seppur a distanza di pochi metri, la profondità a cui si riscontrano i cambi litologici varia sensibilmente.

Escludendo il materiale di riporto i terreni attraversati si possono raggruppare in tre formazioni: argille limose (spessore tra 5.5 e 16m) molli o di media consistenza; argille/argille limose/limi argillo sabbiosi di consistenza da media molto compatta e sabbie dense (spessore tra 9 e 14 m); complesso marnoso arenaceo (Flysch) a facies prevalentemente marnosa con rari interstrati di arenaria di potenza variabile da 2 a 15 cm con giunti di stratificazione suborizzontali.

In prossimità delle aree oggetto degli interventi sono stati tracciati dei profili (Allegato 1) ed è stata fatta una interpretazione dell'andamento delle litologie (Allegato 3).

Il Flysch costituisce il sottofondo roccioso compatto del Golfo di Trieste e affonda progressivamente da NE verso SW con andamento a gradonata, solcato da una antica idrografia che rappresenta il proseguimento di quella attuale in ambiente sommerso. Le isobate del basamento roccioso sono state ricavate dalla carta prodotta da perforazioni eseguite al largo della costa di Trieste.

Nella stessa relazione ² viene interpretato l'andamento del tetto di flysch sotto i sedimenti del golfo di Trieste. Integrando la sua cartografia fornita dalla Regione con le informazioni estratte dai sondaggi reperiti si ottiene la seguente immagine in cui vengono indicate le quote (s.l.m.m.) di occorrenza del Flysch:



La quota del tetto del Flysch varia a distanza di pochi metri, ciò conferma l'estrema articolazione delle morfologie alluvionali sepolte e in parte l'influenza della componente tettonica evidenziando che appare azzardato estrapolare dati puntuali al di fuori delle aree interessate da sondaggi geognostici.

La falda freatica è stata riscontrata a circa 2 m dal p.c. (sondaggi 13, 15 e 16).

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA E CONCLUSIONI

In termini di parametri di resistenza fisica e meccanica le litologie si possono raggruppare³ in litofacies che presentano una omogeneità di comportamento:

Flysch	Flysch con parziale degradazione e disarticolazione ma che evidenzia ancora l'andamento della giacitura e della stratificazione	
	peso di volume coesione modulo di elasticità dinamico angolo di attrito velocità onde sismiche longitudinali	$\gamma = 2.3 - 2.4 \text{ g/cm}^3$ $c' = 1.0 - 1.5 \text{ kg/cm}^2$ $E_{\text{din}} = 8 \times 10^4 - 1.3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ $\phi'_b = 15^\circ - 25^\circ$ $V_p = 2.0 - 2.5 \text{ km/s}$
Argilla e Limi	Vengono raggruppati i termini che vanno da argilla limosa a limo argilloso, con intercalazioni di livelli sabbiosi. Sono livelli discontinui, da centimetrici a millimetrici, più frequenti in prossimità della linea di costa e nella zona a tergo delle banchine.	
	peso specifico peso di volume contenuto naturale in acqua limite di liquidità limite di plasticità indice di plasticità indice di consistenza angolo di attrito interno resistenza al taglio senza drenaggio modulo edometrico indice di compressibilità permeabilità	$G = 2.69 - 2.77 \text{ g/cm}^3$ $\gamma = 1.7 - 1.9 \text{ g/cm}^3$ $W_n = 25.0 - 70.0 \%$ $LL = 53.0 - 82.0\%$ $LP = 20.0 - 33.0\%$ $I_p = 25.0 - 60.0\%$ $I_c = 0.07 - 0.80$ $\phi = 20^\circ - 22^\circ$ $C_u < 0.1 - 0.2$ $E_{\text{ed}} = 10 - 50 \text{ kg/cm}^2$ $C_c > 0.4$ $K = 10^{-7} - 10^{-8} \text{ cm/s}$
Ghiaia e sabbia	Si presentano con percentuali variabili in strati alternati mediamente compatti. Vengono attribuiti i seguenti valori medi delle caratteristiche geotecniche	
	peso specifico peso di volume contenuto naturale in acqua angolo di attrito interno resistenza al taglio senza drenaggio modulo edometrico stimato permeabilità numero colpi SPT (N_{SPT})	$G = 2.69 - 2.77 \text{ g/cm}^3$ $\gamma = 1.95 - 2.20 \text{ g/cm}^3$ $W_n = 11.3 \%$ $\phi = 29^\circ - 35^\circ$ $C_u = 0.1$ $E_{\text{ed}} = 150 \text{ kg/cm}^2$ $K = 5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ $N > 40$
Riporto	materiale eterogeneo costituito da ciottoli, ghiaia, sabbia e materiale fino ma il cui comportamento si può assimilare a quello di un materiale granulare, con dissipazione immediata della pressione neutrale	
	peso di volume angolo di attrito interno	$\gamma = 1.90 - 1.95 \text{ g/cm}^3$ $\phi = 20^\circ - 25^\circ$

Il Flysch marnoso-arenaceo, la parte non alterata o poco alterata, costituisce un buon terreno di fondazione, in grado di sopportare anche carichi elevati. Il cappellaccio di alterazione consiste in una coltre di roccia sfatta e disarticolata che si può assimilare a materiale sciolto per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza e compressibilità, quindi molto scadente.

³ Studio Geologico per 'Ristrutturazione del Magazzino 26 in Porto Vecchio (Trieste) – Comune di Trieste'

Le proprietà dei sovrastanti sedimenti marini e continentali sono molto variabili, legate alla loro composizione, struttura e ambiente di sedimentazione e condizionate dalle vicende successive.

Limi e le argille son inadatti a sopportare carichi in virtù della loro elevata plasticità, bassissima resistenza al taglio e grande compressibilità.

Ghiaia e sabbia presentano buone caratteristiche geotecniche: terreni molto addensati, poco permeabili e parzialmente coesivi.

Si evidenzia infine che i dati disponibili hanno consentito una buona caratterizzazione della situazione litostratigrafica dell'area di studio e una parametrizzazione geotecnica che è riportata nella tabella precedente. La presenza del flysch nell'area di studio è stata individuata a profondità variabili, che dalle informazioni disponibili indicano in 35-38 m la distanza dal p.c. del substrato roccioso (si vedano a tal proposito la planimetria in allegato 1 e le sezioni A e B riportate in allegato 3). La realizzazione delle fondazioni su pali delle banchine di progetto non richiede una elevata resistenza di punta, piuttosto una resistenza a flessione del palo infisso. In tal senso per avere una fotografia maggiormente particolareggiata della situazione del sottosuolo dettagliando la presenza di terreni a media consistenza evidenziata nel paragrafo precedente, si suggerisce l'esecuzione di un'indagine a monte del progettazione esecutiva tramite sondaggi geognostici a carotaggio continuo e prove in foro oltre che prelievo di campioni per le prove geotecniche di laboratorio.

5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Infine si segnala che il comune di Trieste interessato dalle opere ricade in zona sismica 4 ai sensi della recente ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 recitante i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

Si precisa che con l'ultima O.P.C.M. n. 3333 del 23.1.2004, in attesa di nuove indicazioni normative è stata rinviata l'entrata in vigore della nuova normativa a dopo novembre 2004 anche per gli edifici strategici, successivamente un'altra Ordinanza del 04/11/2004 n. 3379 recante disposizioni urgenti in materia di protezione civile ha

prevista una ulteriore proroga di 6 mesi dell'entrata in vigore della ordinanza 3274/2003 sulla nuova normativa antisismica.

Per analizzare la storia sismica di Trieste è stato consultato il database Macrosismico Italiano DBMI04. Esso consiste nella banca dati delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04 (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004, INGV, Bologna - disponibile presso il sito <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>). Dalla interrogazione "per località" è stato possibile visionare gli eventi sismici che hanno interessato direttamente o indirettamente Trieste (n. 48 osservazioni), riassunti nella tabella seguente:

Storia sismica di Trieste [45.656, 13.784]

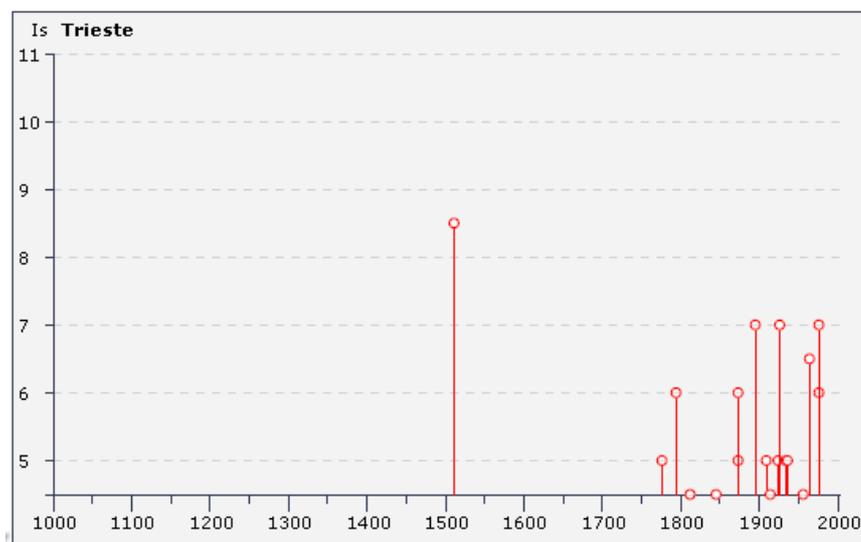
Numero di eventi: 48

Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
8-9	1511	03	26	14	40	Slovenia	66	10	6.51
5	1776	04	24			BAKAR	3	6-7	5.03
4	1776	07	10			TRAMONTI	19	8-9	5.82
4	1781	04	04			FAENTINO	78	9	5.84
3	1786	12	25	01		Riminese	91	8	5.67
6	1794	06	07			TRAMONTI	18	7-8	5.55
F	1810	12	25	00	45	NOVELLARA	33	7	5.28
4-5	1812	10	25	07		SEQUALS	34	7-8	5.70
4-5	1845	12	21	20	40	Slovenia	6	6	4.72
3	1859	01	20	07	55	COLLALTO	36	7	4.97
5	1873	03	12	20	04	Marche meridionali	196	9	5.88
6	1873	06	29	03	58	Bellunese	199	9-10	6.33
2-3	1875	03	17	23	51	Romagna sud-orient.	143	8	5.74
F	1879	06	22	04	15	TARCENTO	16	5-6	4.81
3	1881	01	24	16	04	Bolognese	30	7	5.14
3	1881	02	12			RUSSI	14	6-7	5.03
2-3	1891	06	07	01	06	Valle d'Illasi	403	9	5.71
7	1895	04	14	22	17	Slovenia	296	8	6.25
F	1895	06	10	01	47	VALDOBBIADENE	73	6-7	5.06
3-4	1897	07	15	05	57	Slovenia	53	7-8	5.13
2-3	1908	07	10	02	13	Carnia	120	7-8	5.34
5	1909	01	13	00	45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53
4-5	1914	10	27	09	22	GARFAGNANA	618	7	5.79
5	1924	12	12	03	29	CARNIA	78	7	5.53
7	1926	01	01	18	04	Slovenia	63	7-8	5.71
4	1928	03	27	08	32	CARNIA	359	9	5.75
3-4	1930	10	30	07	13	SENIGALLIA	263	8-9	5.94
3	1931	12	25	11	41	TARCENTO	45	7	5.36
3	1934	05	04	13	56	CARNIA	80	6-7	4.83
4	1934	06	08	03	16	CLAUT	21	6	5.07
5	1934	11	30	02	58	Adriatico	51	5	5.77
2-3	1935	06	05	11	48	FAENTINO	27	6	5.34
5	1936	10	18	03	10	BOSCO CANSIGLIO	267	9	5.90
RS	1937	12	15	21	25	CAPITANATA	23	5-6	4.72
RS	1943	03	25	15	40	OFFIDA	7	6	5.02
2	1943	07	24	01	44	VALDOBBIADENE	29	7	5.18
4-5	1956	01	31	02	25	VILLA DEL NEVOSO	7	5	5.10
3	1956	11	05	19	45	PALUZZA	27	6	5.13
3	1959	04	26	14	45	CARNIA	122	8	5.23
4	1962	01	23	17	31	ADRIATICO	49	6	5.03
3-4	1963	08	09	06	05	FAENTINO	16	6	5.32
6-7	1964	03	18	16	43	CARSO	2	6-7	4.97
RS	1967	12	09	03	09	ADRIATICO MER.	22	5	4.83
4	1972	10	25	21	56	PASSO CISA	198	5	4.95
6	1976	05	06	20		FRIULI	770	9-10	6.43
7	1976	09	15	09	21	Friuli	54	8-9	5.92
RS	1980	01	25	00	27	VAL VENOSTA	9	5-6	4.48

Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
2-3	1983	11	09	16	29	Parmense	835	7	5.10

In cui:**Is** Intensità al sito (MCS)**An** Tempo origine: anno**Me** Tempo origine: mese**Gi** Tempo origine: giorno**Or** Tempo origine: ora**Mi** Tempo origine: minuti**Np** Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto**Ix** Intensità massima nella scala MCS**Mw** Magnitudo momento

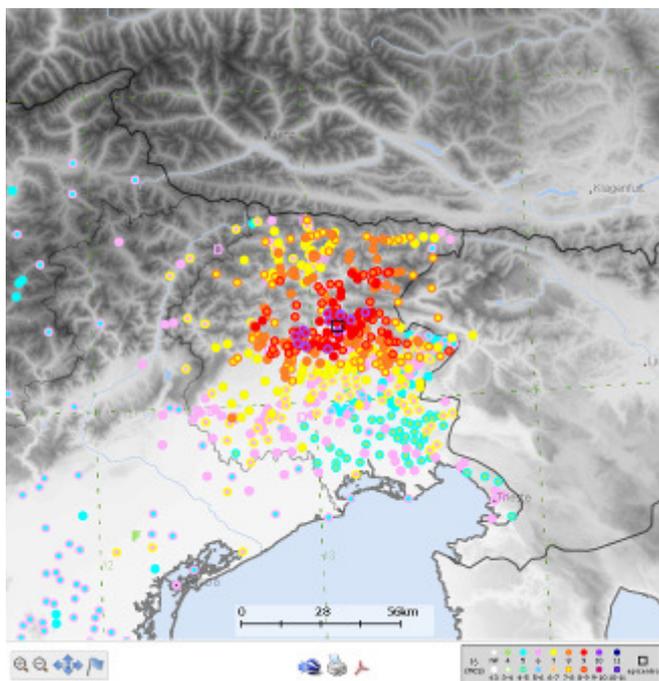
Il diagramma della storia sismica, limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4/5, è il seguente:



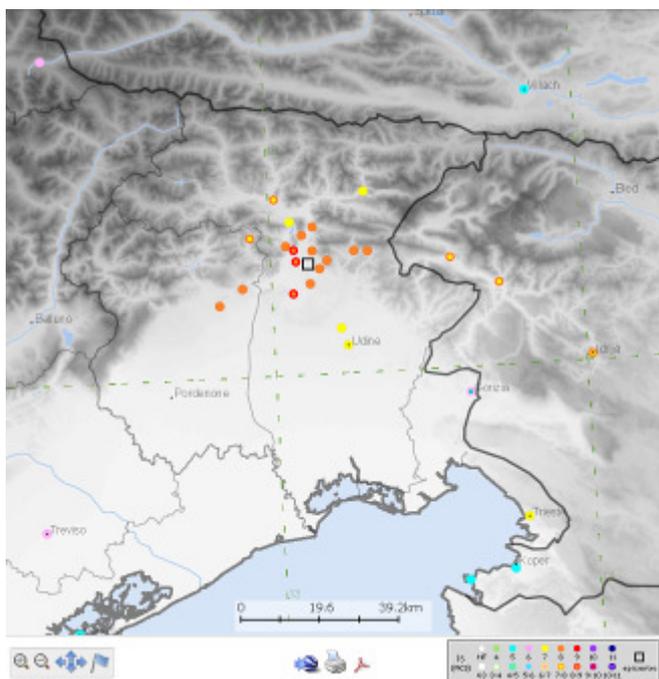
Nel diagramma gli eventi sismici di magnitudine considerevole sono successivi al 1900; in tempi recenti si sono verificati due eventi di magnitudine 7 nel 1976.

Consultazione 'per terremoto' consente di visualizzare la mappa delle intensità macrosismiche. Relativamente ai due terremoti di notevole intensità avvenuti nel 1976 le mappe sono:

6 maggio 1976

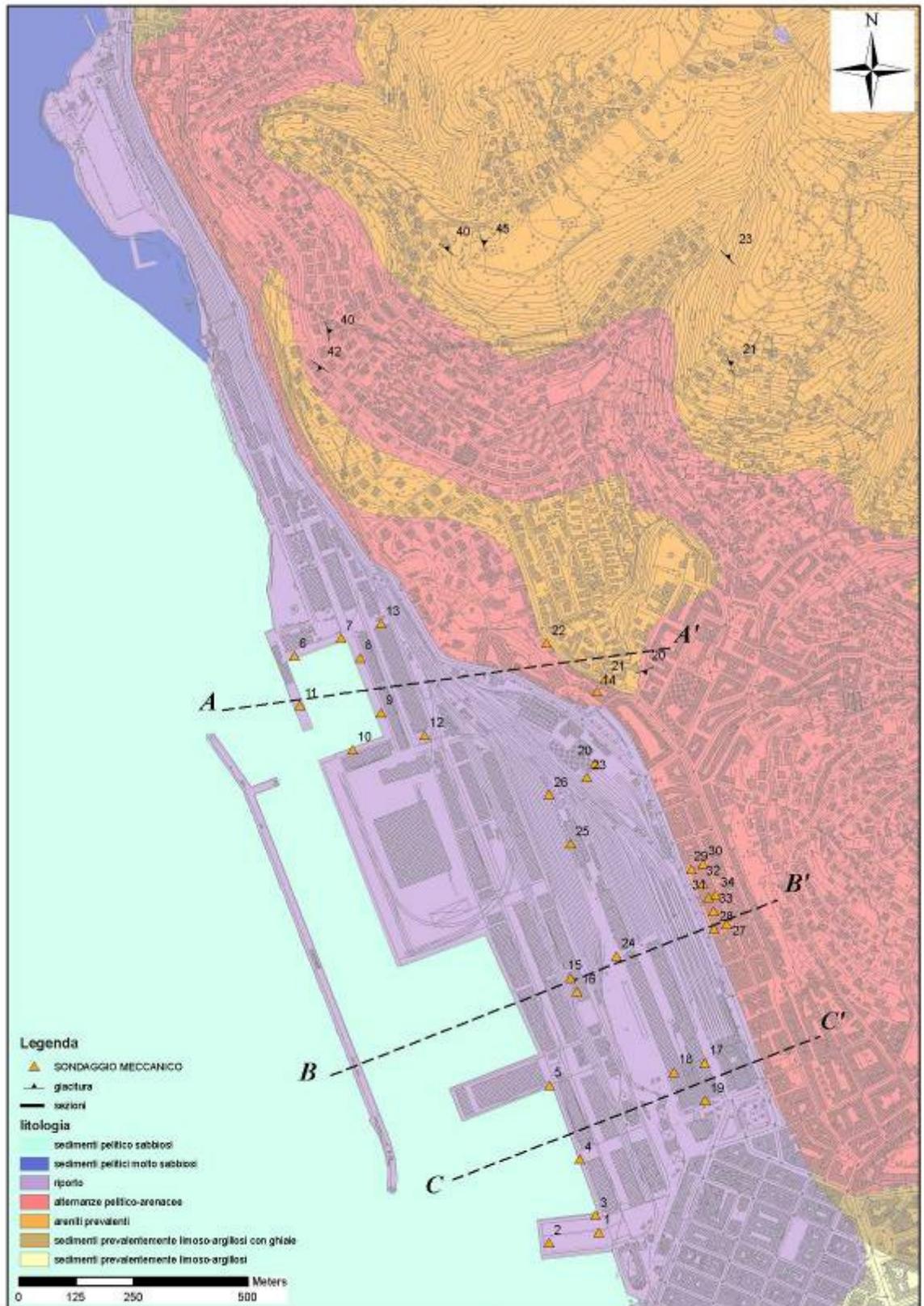


15 settembre 1976

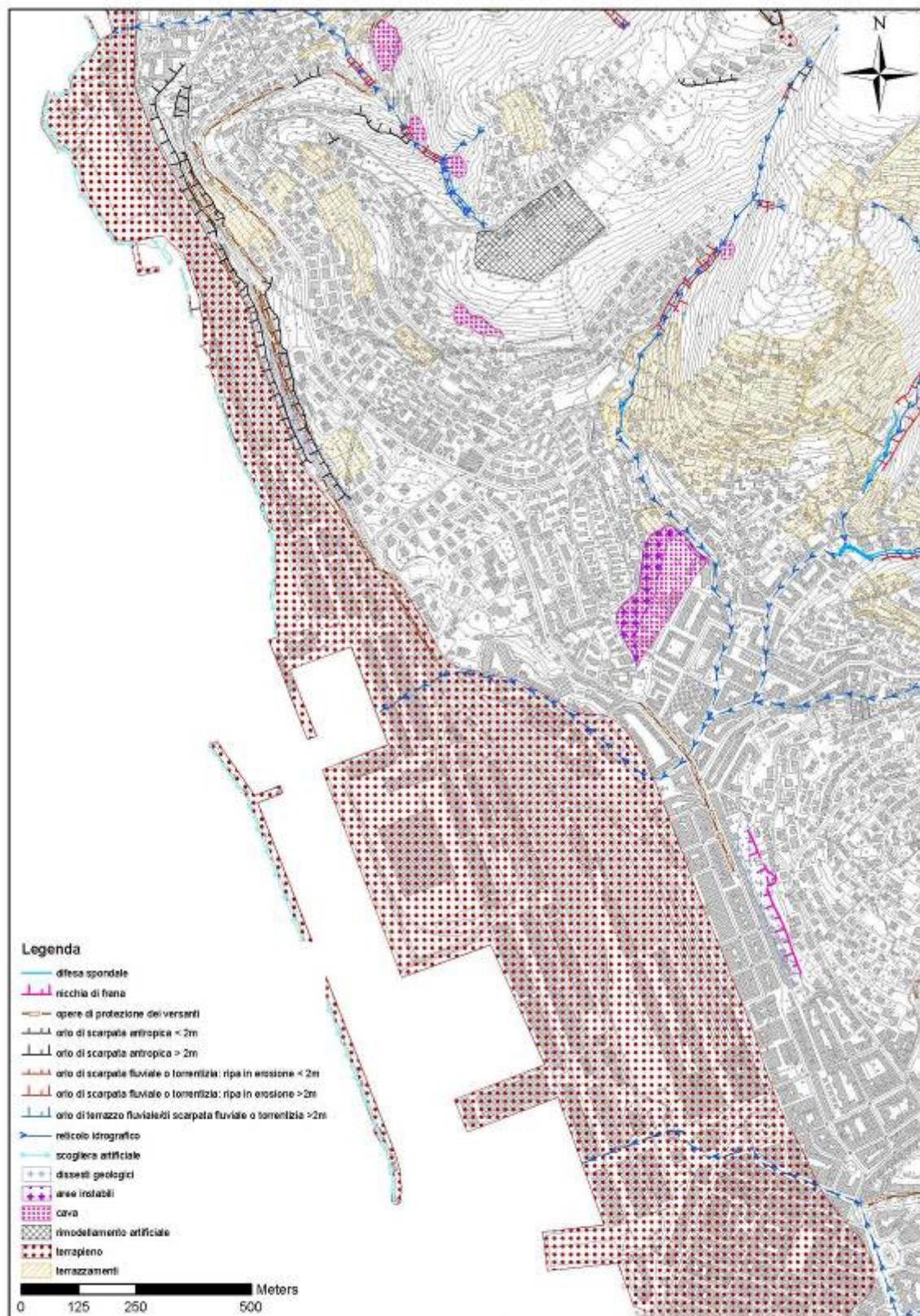


ALLEGATO 1

CARTA GEOLITOLOGICA E UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE



ALLEGATO 2
CARTA GEOMORFOLOGICA



ALLEGATO 3
SEQUENZE STRATIGRAFICHE

ALLEGATO 4
PROFILI INTERPRETATIVI