

SISTEMA NAZIONALE CICLOVIE TURISTICHE CICLOVIA "TRIESTE-LIGNANO SABBIADORO-VENEZIA"

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

Gruppo di Progettazione Macrotratta Friuli Venezia Giulia



DOTT. GEOL.
UMBERTO
STEFANEL

DOTT.
ARCHEOLOGO
LUCA VILLA

DOTT.
MAURO
BORGATO

ING.
DANIELE
BERTAGNOLLI

Supporto Tecnico Macrotratta Veneto



Geologo
Maurizio
OLIVOTTO
Geologia



MACROTRATTA FRIULI VENEZIA GIULIA PARTE GENERALE

05 - GEOLOGIA E SISMICA

RELAZIONE SUGLI ASPETTI GEOLOGICI E SISMICI

Fase	Codice	Macrotratta	Tronco	Categoria	Allegato	Sub	Tipo	Revisione	Redatto	Verificato	Approvato
F	05	FVG	0	GS	001	00	F	A	C.F.	R.C.	R.C.

REGIONE CAPOFILA  REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA	COORDINAMENTO TECNICO - AMMINISTRATIVO  Veneto Strade S.p.A.
---	---

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Macrotratta Friuli-Venezia Giulia Dott. PADRINI Marco Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Macrotratta Veneto Ing. MANGINELLI Gabriella Veneto Strade	RESP. INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Arch. POLO Lorella Veneto Strade
---	---	--

A	AGOSTO 2021	EMISSIONE
REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
1.1. Premessa.....	1
1.2. Relazione Geologica ed elaborati geologici e geologico - tecnici	2
2. INQUADRAMENTO	2
2.1. Caratteri generali del territorio interessato dal tracciato	2
3. LINEAMENTI DI GEOLOGIA.....	4
3.1. Settore Valico di Rabuiese (Muggia) - Piana del Lisert (Monfalcone).....	4
3.2. Settore Piana del Lisert (Monfalcone) - Lignano Sabbiadoro	12
3.2.1. <i>Micro-Settore Piana del Lisert - Grado - Cervignano del Friuli</i>	12
3.2.2. <i>Micro-Settore Cervignano del Friuli - San Giorgio di Nogaro - Marano Lagunare - Precenico</i>	14
3.2.3. <i>Micro-Settore Precenico – Lignano</i>	16
3.3. Caratteri Geologico - Strutturali	17
3.4. Faglie Capaci.....	18
3.5. Sismicità e pericolosità sismica	21
3.6. Pericolosità per “Liquefazione dei terreni”	26
3.7. Pericolosità idraulica.....	27
3.8. Inondazione marina	28
3.9. Subsidenza.....	30
3.10. Aree a depressione assoluta	31
4. GEOLOGIA TECNICA.....	32
4.1. Terreni con scadenti proprietà geotecniche	33
4.2. Presenza di ammassi rocciosi fratturati e molto fratturati	33
4.3. Potenziali fenomeni di amplificazione sismica locale con potenziale liquefazione dei terreni.....	33
4.4. Presenza di falda freatica a debole profondità a volte coincidente con il piano campagna	34
4.5. Aree caratterizzate da difficoltà di drenaggio e/o soggette a fenomeni di esondazione.....	34
4.6. Invarianza Idraulica	34
4.7. Zone caratterizzate da opere esistenti (arginature) danneggiate e/o in precario stato di conservazione	35
4.8. Attraversamenti di opere viarie e/o corsi d’ acqua con opere di significativa importanza	35

1. INTRODUZIONE

1.1. Premessa

Il presente elaborato geologico e geologico - tecnico per il Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica della Ciclovia Trieste - Lignano Sabbiadoro - Venezia ha lo scopo di inquadrare, dal punto di vista litologico, geomorfologico, idrogeologico e di pericolosità naturali, geologiche e sismica, il territorio su cui l'opera si andrà ad inserire, per una corretta valutazione e progettazione degli interventi.

Per l'elaborazione del presente rapporto geologico - tecnico sono stati utilizzati i dati della ricca bibliografia geologica dell'area interessata dall'intervento (tra cui la Cartografia Geologico - Tecnica ufficiale della Regione Friuli Venezia Giulia) nonché i dati degli strumenti di pianificazione urbanistica dei Comuni attraversati.

Sono inoltre stati utilizzati i dati litostratigrafici e geologico - tecnici derivanti da precedenti interventi eseguiti dallo scrivente nei territori attraversati ed effettuato sopralluoghi lungo il tracciato in corrispondenza di nuove opere previste ritenute di maggiore rilevanza per le problematiche geologico - tecniche da affrontare.



Figura n° 1: tracciato della Ciclovia oggetto di intervento: tracciato Trieste (TS) – Monfalcone – Grado (GO) – Aquileia – Cervignano del Friuli – San Giorgio di Nogaro – Marano Lagunare – Palazzolo dello Stella – Lignano Sabbiadoro (UD) – Attraversamento Fiume Tagliamento.

1.2. Relazione Geologica ed elaborati geologici e geologico - tecnici

Lo studio geologico dell'intero tracciato in Progetto è strutturato nei seguenti elaborati:

- Relazione Geologica Generale;
- Carta Litologica;
- Carta Geomorfologica ed Idrogeologica;
- Carta della Pericolosità Idraulica (PAI-PAIR);
- Schede sintetiche principali nuove opere.

Nella presente relazione geologica vengono definite le caratteristiche geomorfologiche - idrogeologiche del territorio e geologiche e geologico - tecniche delle Formazioni e/o dei litotipi affioranti (e che costituiscono l'immediato sottosuolo) rimandando alla consultazione della cartografia geologica allegata per la definizione puntuale del tracciato.

Viene inoltre riportata la sismicità storica e la pericolosità sismica dei territori attraversati, fornendo una prima valutazione sugli effetti locali legati all' amplificazione ed alle instabilità cosismiche.

Nel capitolo finale vengono definite alcune problematiche geologico - tecniche presenti lungo il tracciato (soprattutto in corrispondenza di nuove opere) definendo le necessarie modalità di approfondimento geologico (indagini geologiche e geotecniche) per la corretta progettazione esecutiva.

2. INQUADRAMENTO

2.1. Caratteri generali del territorio interessato dal tracciato

Il tracciato della ciclovie Trieste – Lignano Sabbiadoro – Venezia, per la parte di pertinenza della Regione Friuli Venezia Giulia (Figura n° 1), si inserisce, per gran parte, nella Bassa Pianura Friulana (a Sud della “*Linea delle risorgive*”) attraversandola da Est verso Ovest dopo aver abbandonato i rilievi collinari modellati nel Flysch su cui sorge gran parte della città di Trieste e attraversato i rilievi calcarei che formano l' altopiano carsico triestino (e Goriziano di Monfalcone) sino alla Piana del Lisert in Comune di Monfalcone (GO).

Sotto il profilo geologico e geomorfologico il territorio interessato dal tracciato in Progetto si può dividere in n° 2 settori aventi caratteristiche litologiche, litologico – tecniche, idrogeologiche e geomorfologiche differenti:

- 1) *Settore Valico di Rabuiese (Muggia) – Piana del Lisert (Monfalcone); tale settore interessa i rilievi collinari flyschoidi di Muggia, San Dorligo della Valle e Trieste e parte del Carso Triestino – Goriziano (Duino Aurisina – Villaggio del Pescatore);*
- 2) *Settore Piana del Lisert (Monfalcone) – Lignano Sabbiadoro: il tracciato attraversa la Bassa Pianura alluvionale friulana.*

A sua volta il Settore di Bassa Pianura alluvionale viene suddiviso in n° 3 micro-settori costruiti da diversi sistemi deposizionali tardo quaternari:

- 1) *Micro-Settore Piana del Lisert – Grado – Cervignano del Friuli (Bassa Pianura costruita dai “Megafan” dell'Isonzo e del Torre-partim – sistema costiero).*
- 2) *Micro-Settore Cervignano del Friuli – San Giorgio di Nogaro – Marano Lagunare – Preceniccio (Bassa Pianura del “Megafan” del Cormor).*
- 3) *Settore Preceniccio – Lignano Sabbiadoro (“Megafan” del Tagliamento e sistema costiero e deltizio).*

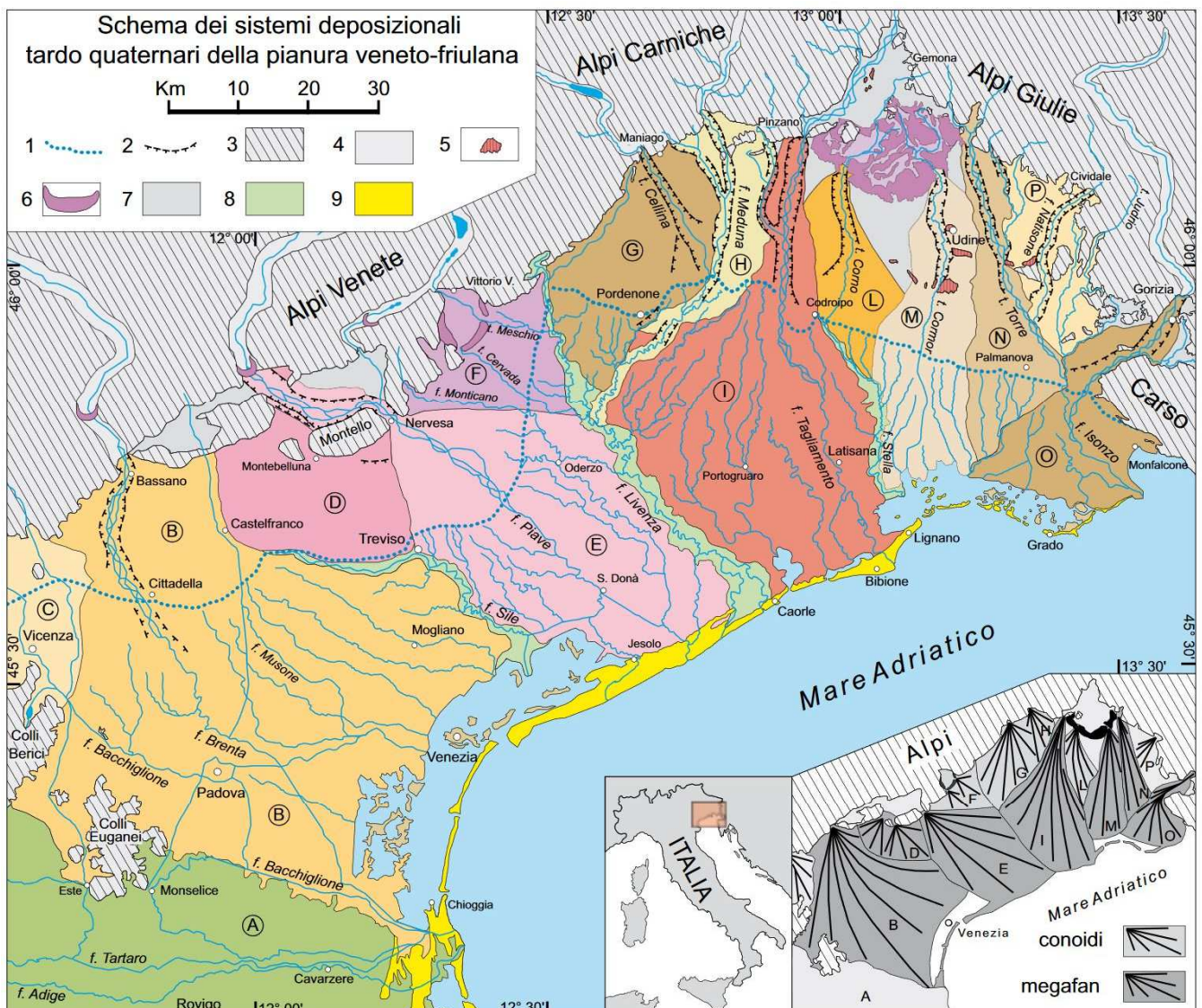


Fig. 2.2. Schema dei sistemi deposizionali tardo quaternari della pianura veneto-friulana (modificato da Fontana et al., 2008). Nel riquadro in basso a destra uno schizzo semplificato dei conoidi e megafan. Simboli: 1) limite superiore delle risorgive; 2) orlo di terrazzo fluviale; 3) aree montuose e collinari; 4) principali valli alpine; 5) terrazzi tettonici; 6) cordoni morenici; 7) depositi di interconoide e delle zone intermontane; 8) depositi dei principali fiumi di risorgiva; 9) sistemi costieri e deltizi. Lettere: (A) pianura dell'Adige, (B) megafan del Brenta, (C) conoide dell'Astico, (D) megafan di Montebelluna, (E) megafan di Nervesa, (F) conoide del Monticano-Cervada-Meschio, (G) conoide del Cellina, (H) conoide del Meduna, (I) megafan del Tagliamento, (L) conoide del Corno, (M) megafan del Cormor, (N) megafan del Torre, (O) megafan dell'Isonzo, (P) conoide del Natisone.

Figura n° 2: schema dei sistemi deposizionali tardo quaternari della pianura veneto-friulana e micro-settori (modificato da: "Atlante Geologico della Provincia di Venezia", Anno 2011, A. Fontana).

3. LINEAMENTI DI GEOLOGIA

3.1. Settore Valico di Rabuiese (Muggia) - Piana del Lisert (Monfalcone)

L' inizio del tracciato in Progetto parte dal Valico italo – sloveno di Rabuiese in Comune di Muggia (TS) per proseguire verso Nord e, dopo aver costeggiato il Rio Ospio (in sponda sinistra), si dirige verso Muggia e verso la Città di Trieste (percorrendo la SP 14), attraversando, prima di arrivare lungo le Rive di Trieste, l'ampia Zona Industriale di Zaule e Aquilina (Comune di Muggia - San Dorligo della Valle) e di Trieste.

Le Città di Muggia, Trieste e San Dorligo sorgono su rilievi collinari della successione Cenozoica (Età Paleocene - Eocene medio) pelitico arenacea (Formazione del “*Flysch di Trieste*” FT) che si estende alla base del ciglione calcareo del Carso Triestino sino al mare (altopiano carsico formato dalla Successione Mesozoica); tale area collinare si sviluppa da Barcola (dalla quota di circa 200 m.l.m.) verso Sud – Est fino alla fascia oltre la quota di 250 m.l.m. della dorsale Montebello – Cattinara e sino al confine sloveno.

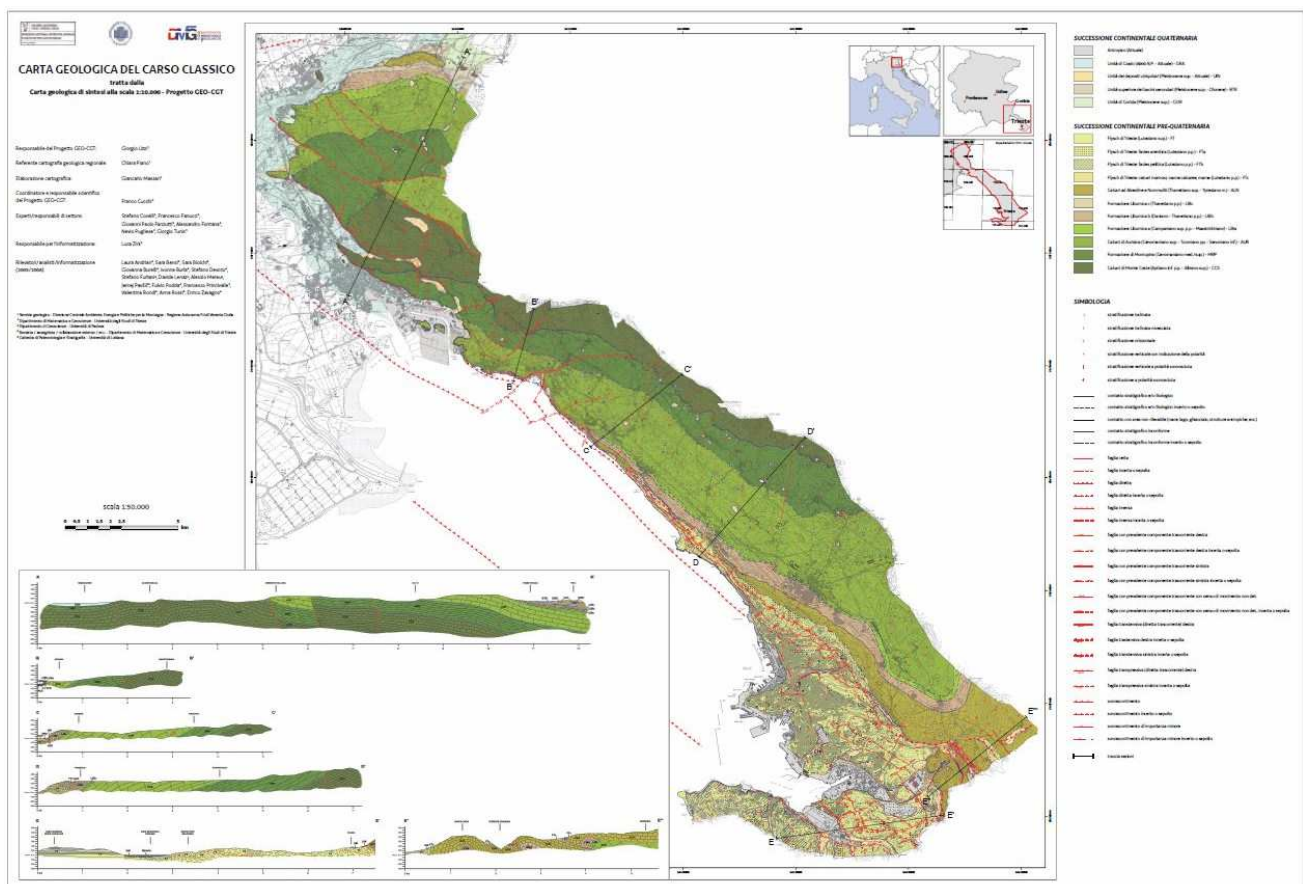


Figura n° 3: “Carta Geologica del Carso Classico” (Settore Trieste – Monfalcone).

Parte delle zone abitate e/o industriali dei territori di Muggia, San Dorligo della Valle e Trieste interessano, oltre i terreni formati da rocce marnoso arenacee del “*Flysch di Trieste*” (Figura n° 3 e Figura n° 4), depositi alluvionali di fondovalle derivanti dall' erosione della formazione marnoso arenacea mentre le porzioni cittadine situate nell' area urbana di Trieste, di pianura e prossime al mare, sono ricavate da bonifiche di antiche aree di transizione mare-terraferma, aree paludose o di saline.

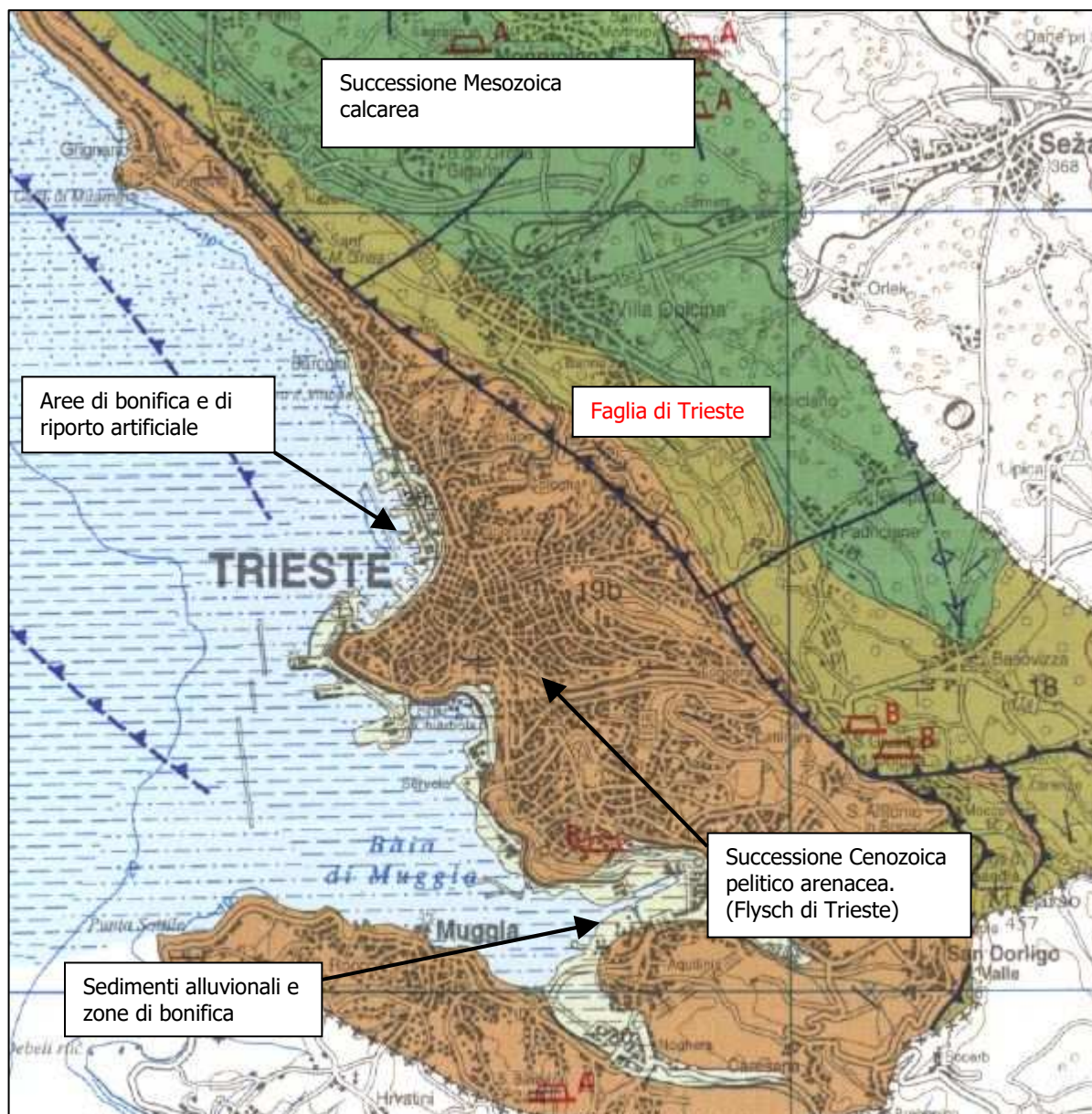


Figura n° 4: “Carta Geologica di Trieste” (da: “Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia Scala 1:150.000) Non in Scala.

Le colline flyschoidi, grazie all’ elevato grado di erodibilità, si presentano con una morfologia arrotondata, con versanti poco acclivi (15-30%) con valori più elevati nella stretta fascia tra l’Altopiano Carsico e la costa a Nord di Trieste e più in generale nelle parti basali dei rilievi interessati dai solchi torrentizi.

Nel territorio sono presenti limitate piane alluvionali comprese tra l’area collinare e lo sbocco a mare delle principali incisioni o valli percorse dai corsi d’ acqua che scendono dai rilievi (Rii Farneto, Settefontane, Roncheto, Primario, Ospò, Zaule e Rosandra). La principale piana è quella di Zaule che, costruita dagli apporti solidi del Torrente Rosandra e dei torrenti minori nonché dai depositi sedimentari marini, risulta attualmente profondamente rimaneggiata dall’ azione antropica anche con importanti operazioni di bonifica delle zone paludose.

Le zone localizzate alla base dei versanti flyschoidi od in corrispondenza dello sbocco a valle dei principali rii che solcano le colline (Rosandra, Ospò etc.), sono caratterizzate dalla presenza di depositi alluvionali e

colluviali di spessore assai variabile formati da una matrice limoso sabbiosa inglobante frammenti arenitici, calcarei e scaglie di marna; l'estensione di tali depositi è condizionata dall' andamento del substrato roccioso. Bonifiche ed interramenti (di varia natura) si sono susseguiti nel tempo riguardando soprattutto le aree di transizione tra la terraferma ed il mare modificandone profondamente la morfologia, anche per il recupero di aree da destinare alle attività portuali ed industriali.

Trattasi di riempimenti, livellamenti e bonifica effettuati con materiali assai diversi ed in tempi diversi: l'area di riporto nell' attuale Borgo Teresiano (ad esempio) è il risultato dell'azione di interrimento delle saline eseguita soprattutto nel XVIII secolo. Nel 1788 venne recuperata un'ampia zona di mare compresa tra Piazza Unità d' Italia e Campo Marzio e negli anni successivi (1868-1883) venne recuperata a mare l'area dell'attuale Porto Franco Vecchio, prelevando il materiale roccioso dal Colle di Greta e dalle cave di Sistiana.

Successivamente furono colmate l'area del Porto Franco Nuovo e successivamente le altre zone litoranee (area Ferriera di Servola etc.).

L' azione dell'uomo è intervenuta quindi in maniera decisa entro l'area cittadina di Trieste, modificando la morfologia e l'idrografia originaria, sino a renderle irriconoscibili.

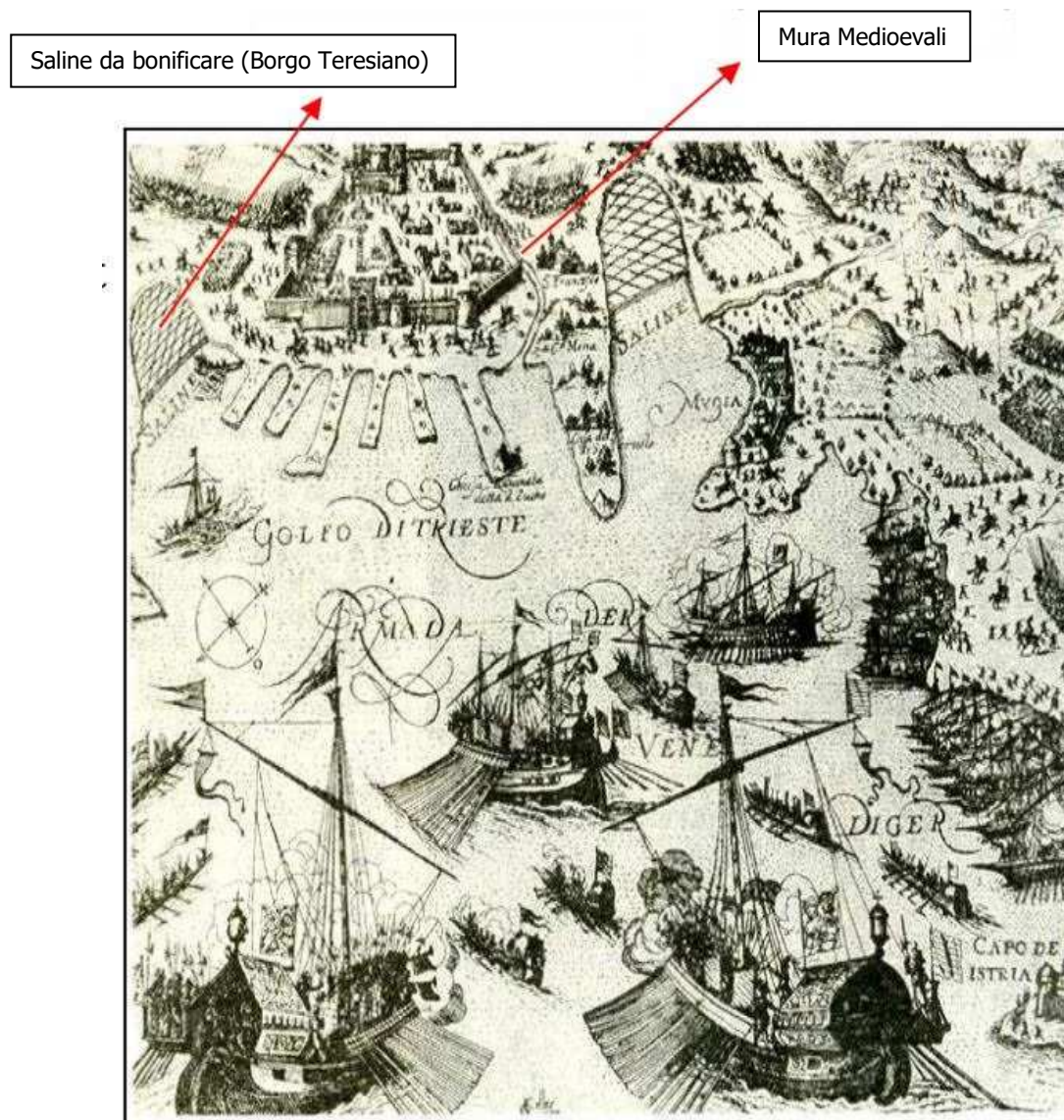


Figura n° 5: Mappa Città di Trieste (Anno 1736).

La successione torbidity che costituisce il cosiddetto “*Flysch di Trieste*” (Luteziano p.p.) è formata da una alternanza ritmica ed irregolare di rocce clastiche rappresentate da litotipi dotati di caratteristiche fisiche e proprietà geomeccaniche assai diverse: arenarie e marne.

- Le “arenarie” sono prevalentemente delle calcareniti ovvero delle rocce a matrice carbonatica che ingloba una frazione detritica costituita da granuli di calcite, quarzo ed altri silicati, talora microfossili. Sono rocce bene e nettamente stratificate, con superfici di tetto e di letto degli strati spesso molto regolari, piane e lisce, talora con rugosità accentuata da strutture (bioturbazioni, impronte di fondo etc.); sono inoltre presenti evidenti laminazioni piano parallele e strutture sedimentarie (gradazioni, stratificazioni incrociate, impronte di fondo e di corrente etc.).

Lo spessore del singolo strato risulta assai variabile da pochi centimetri sino a bancate di potenza superiore a 50-70 cm (ed oltre 1 metro).

Il colore del litotipo integro risulta generalmente grigio e grigio scuro, mentre i processi di alterazione conferiscono alla roccia una colorazione marrone oca con pigmentazioni giallastro rossastri.

La resistenza meccanica del litotipo fresco (non alterato) risulta in genere elevata, in media superiore a 30-50 Mpa (max 70-120 Mpa).

La massa rocciosa nel suo insieme è dotata di una certa permeabilità secondaria dovuta alla presenza di fratture, faglie, giunti di strato; alcune di queste discontinuità possono essere talora aperte favorendo il processo di degradazione in profondità.

- Le “marne” sono rocce prevalentemente carbonatiche argillose costituite da pacchetti di lamine sottili. Risultano, in affioramento, sovente fogliettate e sono generalmente assai friabili; la roccia sana possiede una colorazione variabile dal grigio vivo azzurrognolo o ceruleo al grigio scuro.

Sotto l'azione degli agenti atmosferici le porzioni più superficiali di questo litotipo assumono un caratteristico color ocreo.

Le marne sono rocce nel complesso impermeabili; a contatto con l'acqua esse tendono a desquamarsi e a suddividersi spontaneamente nella serie di lamine che le compongono.

La fratturazione frequente, con conseguente solubilizzazione della frazione carbonatica da parte dell'acqua, conferisce un certo grado di plasticità ai settori più alterati della massa rocciosa; il materiale argilloso, derivante dalla degradazione totale delle marne, può essere trasportato in siti lontani dal luogo di formazione, assieme anche ad elementi litoidi arenacei, oppure può andare a riempire eventuali discontinuità presenti all'interno della massa rocciosa. Il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso può essere soggetto a profonde modificazioni a causa della forte igroscopicità delle marne, con conseguente variazione delle proprietà fisico-meccaniche della massa rocciosa, scadimento delle caratteristiche di resistenza e maggiore deformabilità della massa stessa.

Il litotipo integro possiede generalmente una bassa resistenza meccanica (resistenza a compressione semplice minore di 10-20 Mpa).

Il variare delle alternanze arenaria – marna ed il variare degli spessori di un litotipo e la sua prevalenza rispetto all'altro determinano vari “Tipi” di Flysch con caratteristiche geomeccaniche significativamente diverse; nel territorio di Trieste si può infatti constatare una notevole mutevolezza da zona a zona dei vari “Tipi” di Flysch che vengono classificati in 5 categorie principali (da: “*Caratteristiche geolitologiche e geomeccaniche del Flysch nella Provincia di Trieste*”, Dott. Geol. R. Onori, Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Trieste, Anno 1982):

- **T1:** Flysch costituito prevalentemente da arenarie (in genere strati di spessore superiore a 30 cm) con interstratificati pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico; stratificazione distinta e spessore del singolo strato notevolmente costante.
- **T2:** Flysch costituito prevalentemente da arenaria (strati generalmente di spessore inferiore a 30 cm) con interstratificati poco frequenti pacchetti di lamine di marna dello spessore globale di ordine centimetrico; stratificazione distinta e spessore del singolo strato notevolmente costante.
- **T3:** Flysch costituito da circa 50% di arenaria e 50% di marna (spessore degli strati di arenaria e dei pacchetti di lamine di marna variabile generalmente da circa 1 cm a circa 20 cm); stratificazione distinta e spessore del singolo strato, o pacchetto, notevolmente costante.
- **T4:** Flysch costituito prevalentemente da marna i cui pacchetti possono avere uno spessore variabile da circa 10 cm a circa 50 cm; interstratificati rari strati di arenaria il cui spessore si aggira generalmente tra circa 1 cm e 20 cm; stratificazione abbastanza distinta e spessore del singolo pacchetto, o strato, piuttosto costante.
- **T5:** Flysch costituito prevalentemente da arenarie a buona consistenza litoide, ma che hanno subito notevoli processi deformativi (spessore degli strati non superiore a 10 cm circa); stratificazione talora poco distinta e a spessore poco costante.

La degradazione fisico chimica di un ammasso roccioso flyschoidale si manifesta con diversa intensità sia in rapporto al “Tipo” di Flysch presente che in rapporto al suo assetto strutturale, al grado di suddivisione globale e all’ esposizione del versante interessato.

Le porzioni più superficiali di un ammasso roccioso in facies di flysch, completamente alterate decomprese e disarticolate viene chiamato “Complesso C1”:

- **“Complesso C1”:** Tale terreno superficiale deriva dalla completa alterazione della formazione marnoso-arenacea: è in genere costituito dal cosiddetto terreno vegetale nelle porzioni più prossime al piano di campagna, mentre in profondità può essere costituito da materiale alterato, decompresso e disarticolato dato da una matrice terroso – limoso – argillosa che ingloba, in proporzioni molto variabili, corpi detritici di arenaria e talora scaglie di marna. Le dimensioni dei corpi detritici di arenaria sono molto mutevoli in quanto predeterminate sia dallo spessore dei singoli strati che dal grado di fratturazione dell’ammasso roccioso con frammenti che possono essere di dimensioni granulari come pure raggiungere volumi di oltre 1 mc. La litologia è data principalmente da limi argillosi e sabbiosi con frammenti litici da subangolosi ad angolosi di arenaria. Il materiale risulta da “coesivo”, per la maggior presenza in origine delle marne, ad “incoerente” (substrato prevalentemente arenaceo).

La struttura originaria della roccia non è riconoscibile; il Complesso C1 subisce talora un certo rimaneggiamento e trasporto naturale (acqua e gravità) rispetto al punto della massa rocciosa da cui ha preso origine.

Lo spessore globale del C1 può essere molto variabile da zona a zona anche in punti limitrofi di una stessa area.

Le caratteristiche di deformabilità e di resistenza possono venir inquadrare nei procedimenti di analisi propri della “Meccanica dei Suoli”; le caratteristiche geotecniche globali sono in genere piuttosto scadenti e vengono notevolmente peggiorate della presenza di acqua (che accelera al massimo i processi di instabilizzazione sui pendii o sui fronti di scavo).

Al di sotto del “Complesso C1” è generalmente presente un ammasso roccioso che ha subito una parziale degradazione ed una certa disarticolazione:

- **“Complesso C2”**: tale porzione, che rappresenta un materiale da alterato a parzialmente integro, mostra con buona evidenza l'andamento della giacitura della stratificazione del Flysch specialmente dei Tipi T1, T2 e T3. In genere lo spessore di questo secondo “Complesso” varia mediamente da 0.5 a 3.0 metri potendosi avere anche spessori superiori a 5-6 metri.

Il “Complesso C2” è dato da alternanze di marne ed arenarie di colore marrone. Il materiale è alterato, degradato, fratturato e decementato, è però ben distinguibile l'originaria struttura della roccia con evidenti intercalazioni di strati di potenza centimetrica fortemente dislocati.

Soggiacente al C2 appare gradualmente il “Complesso C3”:

- **“Complesso C3”**: Litotipo costituito da Flysch quasi integro (flysch da parzialmente alterato ad integro) anche se i litotipi che ne fanno parte possono presentare ancora tracce di una certa degradazione ed un grado di suddivisione secondaria. Le arenarie sono compatte e ben cementate, di color grigio; le marne in situ risultano integre e tenaci, color grigio azzurro e grigio piombo.

Attraversata la Città di Trieste la Pista Ciclabile prosegue lungo la Strada Costiera (S.S. 14), risalendo per poi percorrere a mezza costa il versante di Grignano – Santa Croce ancora formato dal “*Flysch di Trieste*”, sino ad intercettare i contrafforti calcarei di Aurisina, Sistiana e del Villaggio del Pescatore (Comune di Duino Aurisina) che affiorano sino alla Piana del Lisert a Monfalcone (GO).

La “*Formazione dei Calcari di Aurisina*” del Cenomaniano Sup. – Turoniano pp. – Senoniano Inf. (Ex distinzione informale “Membro di Borgo Grotta Gigante”) che affiora è caratterizzata da calcari da grigio chiari a nerastri, talora molto fossiliferi (rudiste intere e a frammenti, foraminiferi), a stratificazione per lo più massiccia (a volte indistinta), con periodo da decimetrico a metrico, frattura scheggiata.

La “Formazione” presenta frequenti variazioni verticali e laterali a calcari grigi più compatti, talora nero-lamellari. Nella parte inferiore vi sono frequenti livelli fossiliferi con ben rappresentati Hippuritidi e Radiolitidi mentre nella parte media si riscontrano anche livelli e lenti di megabrecce poligeniche, con clasti da millimetrici a metrici (“Breccia di Slivia”). Nella parte superiore sono presenti diffuse evidenze litologiche di fenomeni paleo-carsici: lenti e livelli potenti da alcuni centimetri ad alcune decine di metri di brecce calcaree a cemento rossastro (breccia bianco-rosea), depositi calcitici (pisoliti, gours e colate) collegabili ai depositi di riempimento chimico di paleo-cavità tardo-cretaciche.

L'immersione generale della stratificazione è verso il quadrante Sud-Ovest con inclinazione inferiore a 30° circa.

La roccia calcarea è generalmente ricoperta da un esiguo livello di terreno vegetale e detritico (spessore pari a 0.5-0.8 metri circa).

L'assetto stratigrafico (prevalenti bancate compatte di calcari fossiliferi) e strutturale ha favorito l'insediamento, già in epoca storica, di cave di sfruttamento della pietra; le varietà cavate nell'area sono “*Aurisina chiara*”, “*Aurisina fiorita*”, “*Aurisina granitello*” e “*Breccia di Slivia*” che si differenziano per tinta di fondo e contenuto fossilifero (brecce calcaree di origine organogena).

Trattasi di pietre per costruzioni e ornamentali (“Marmi del Carso”) caratterizzate da più che buone proprietà meccaniche (elevata resistenza alla compressione, bassa gelività, basso coefficiente di usura).

Il paesaggio di tale porzione è quello tipicamente carsico, con presenza di rocce calcaree coperte da suolo e vegetazione, con assenza pressoché totale di corsi d'acqua superficiali e caratterizzato da tutte le forme, grandi e piccole, legate alla dissoluzione dei carbonati: numerosissime sono le doline, molto diffuse le piccole forme di corrosione quali “karren”, vaschette, fori di dissoluzione etc. Sono presenti campi solcati e carreggiati, “grize”, cavità etc.

Per quanto attiene agli aspetti idrologici ed idrogeologici l'intera idrografia della zona che comprende gli abitati di Muggia, San Dorligo della Valle e Trieste, presenta un drenaggio con aste a grandi linee improntato da Nord Est a Sud Ovest, ad eccezione per l'alto corso del Torrente Farneto e per il medio corso del Torrente Settefontane che si sviluppano in valli orientate Sud Est – Nord Ovest.

Tutti i bacini idrografici hanno la linea dello spartiacque superiore nei terreni calcarei determinando una incongruenza tra lo spartiacque superficiale e quello sotterraneo.

I corsi d'acqua originari che nascono da sorgenti nel complesso flyschoidale e che solcavano la formazione arenacea marnosa per poi sfociare a mare sono stati incanalati sotto la città di Trieste per permettere lo sviluppo del Porto e delle aree urbane: ad esempio tra il Molo I ed il Molo II (Porto Vecchio) sfociava il Torrente di Roiano che raccoglieva le acque dai versanti di Scorcola-Cologna e Greta e che attualmente scorre incanalato sotto il rione cittadino di Scorcola.

Tra il Molo III ed il Molo IV (Porto Vecchio) scorre sotto la Città l'asta del Torrente Farneto (che percorre Valle San Giovanni) e parte del Torrente Settefontane che percorre la Valle di Rozzol e che sfociava a mare presso l'attuale Piazza Goldoni.

Altri rii scorrevano ed incidevano i versanti pendenti del Colle San Vito che scendeva a picco sul mare formando un promontorio (area del Porto Nuovo).

L'antica linea di costa proseguiva a scarpata (zona S. Andrea – Campi Elisi) ricevendo ancora brevi torrenti che scorrevano lungo l'insenatura a monte dell'area Arsenale-Lloyd-Cantiere San Marco; tra il promontorio di Servola ed il Monte Pantaleone scorreva il Rio Primario oggi ricoperto.

In linea di massima si possono distinguere, per l'area di Muggia – Sorgenti del Timavo, n° 3 “Complessi Idrogeologici” cioè corpi geologici caratterizzati dalla presenza di Acquiferi:

- 1) “*Complesso Idrogeologico delle rocce lapidee permeabili per carsismo*”: a tale Complesso appartengono le rocce calcaree della successione Mesozoica affiorante nel Carso Triestino e nel Carso Goriziano (limitante la Piana del Liserz) le cui rocce presentano una elevata transitabilità per porosità fissurale e carsismo.
- 2) “*Complesso Idrogeologico delle rocce lapidee permeabili per porosità fissurale*”: a tale Complesso appartengono le rocce marnose arenacee del “*Flysch di Trieste*” a ridotta o assai bassa permeabilità (transitabilità bassa e molto bassa).
- 3) “*Complesso Idrogeologico delle rocce sciolte permeabili per porosità interstiziale*”: a tale Complesso appartengono i depositi di detriti grossolani (riporto), di ghiaie, di ghiaie con sabbia e limo, di sabbie, di peliti e di argille che, con permeabilità decrescente, formano le successioni di riporto antropico, alluvionali, colluviali ed eluviali.

I “Complessi Idrogeologici” (o “Formazioni Idrogeologiche”) presenti nel territorio di Muggia – Duino Aurisina risultano (ad eccezione delle rocce calcaree fessurate e carsificate) caratterizzati da una permeabilità per lo più da bassa a molto bassa.

Il substrato flyschoidale marnoso arenaceo è per lo più impermeabile o poco permeabile (per porosità interstiziale e fissurale) potendo a volte ospitare falde idriche in seno soprattutto alle facies arenacee fessurate (tali livelli possiedono generalmente una “transitabilità” da media a bassa) mentre la sua coltre di alterazione risulta sovente dotata di una discreta permeabilità (a seconda della composizione granulometrica) potendo ospitare modeste falde più o meno superficiali, a carattere per lo più temporaneo, e con alimentazione data da piccole sorgenti di contatto a sua volta alimentate dalle precipitazioni efficaci (per infiltrazione).

I terreni alluvionali di fondovalle risultano costituiti, il più delle volte, da frammenti lapidei arenaceo marnosi in abbondante matrice limo argilloso sabbiosa; tali terreni risultano caratterizzati da permeabilità il più delle volte

piuttosto basse (ad eccezione dei depositi ghiaiosi calcarei profondi della Valle di Zaule). Tali depositi di fondovalle sono sede di acquiferi di varia estensione verticale ed orizzontale, spesso limitati alla base da depositi impermeabili argillosi o dal substrato flyschoidale, e la loro geometria ed estensione è determinata dalle condizioni strutturali e geomorfologiche del bacino.

Gli acquiferi contenuti in tale formazione idrogeologica non sono caratterizzati da elevate portate e non vengono se non raramente sfruttati; solamente nella Piana di Zaule, in cui sono presenti circa 40 metri di alluvioni ghiaioso sabbiose permeabili, sono presenti pozzi nella Zona Industriale a monte di Via Flavia. A valle di Via Flavia la circolazione idrica sotterranea risulta diminuire a causa del maggiore spessore dei livelli argillosi (depositi marini) e per la minor permeabilità degli strati acquiferi.

Lungo la costa le aree di colmata e di riporto sono caratterizzate da una elevata permeabilità per porosità interstiziale (detriti grossolani); tali depositi sono talora sede di acquiferi alimentati dalle quantità di acqua infiltrata per piovosità diretta.

Tali acquiferi, a seconda della geometria del substrato, della quota e dell'estensione, risultano in connessione con il mare.

Nella fascia di raccordo tra i promontori costituiti dal substrato arenaceo marnoso e dalla sua copertura di alterazione e l'area costiera di recente formazione antropica (riempimento a mare di materiali inerti) può essere presente un corpo idrico superficiale di tipo freatico alimentato dalle acque di origine meteorica oltre che da modeste venute d'acqua in corrispondenza dei livelli arenacei fessurati che vanno ad alimentare l'acquifero contenuto nei materiali inerti.

Una particolarità idrogeologica è costituita dal Fiume Timavo e da una serie di sorgenti di acqua dolce presenti in Località Villaggio del Pescatore in corrispondenza della baia racchiusa tra la penisola dell'acquedotto e la retrostante falesia calcarea della Cernizza e che sgorgano in corrispondenza indicativamente del livello medio mare (Figura n° 6).

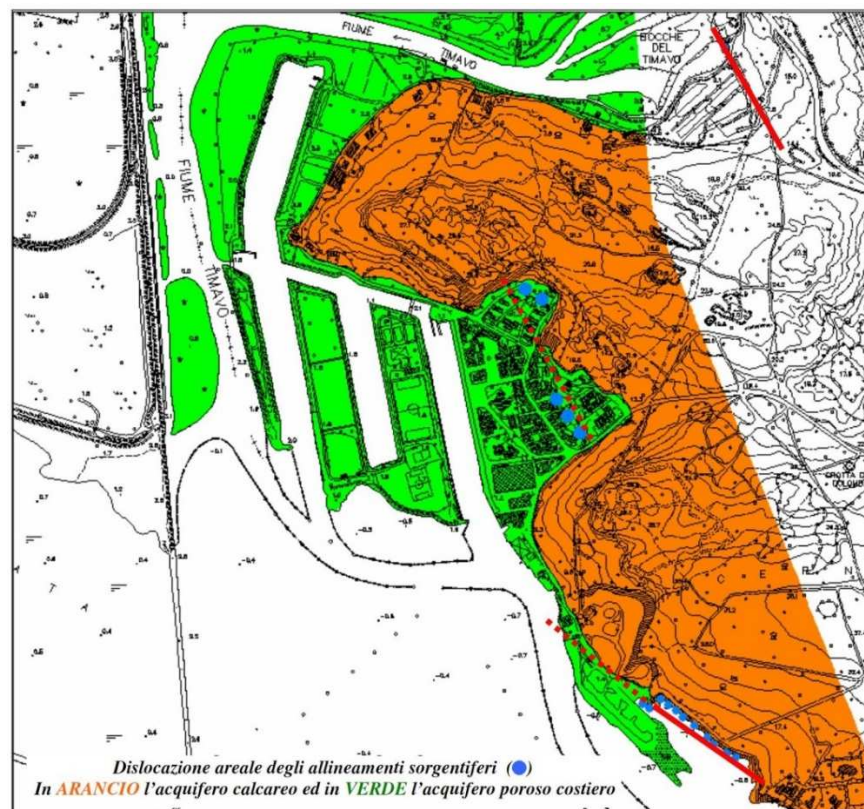


Figura n° 6: ubicazione sorgenti in località Villaggio del Pescatore (Comune di Duino Aurisina).

Tali venute seguono un allineamento sul quale ricadono le stesse risorgive del Timavo ed altri apparati sorgentiferi più a Nord rispetto a queste ultime; nel complesso l'allineamento sorgentifero segue il limite geologico tra la formazione dei calcari (sede dell'Acquifero Carsico) e la Formazione del Flysch (impermeabile). Tale limite, affiorante più a Sud già in corrispondenza dell'abitato di Duino, immerge sotto il livello marino nell'area del Villaggio del Pescatore e si ritrova inoltre sepolto sotto i materiali di riempimento della Baia (sedimenti marino fluviali e detritici con riporti).

Tali sorgenti alimentano, in concomitanza di fasi di eventi meteorici, la falda freatica ivi presente.

3.2. Settore Piana del Lisert (Monfalcone) - Lignano Sabbiadoro

3.2.1. Micro-Settore Piana del Lisert - Grado - Cervignano del Friuli

Dopo aver attraversato le Sorgenti del Timavo che sgorgano dai Calcari della "Formazione dei Calcari di Aurisina" e dopo aver costeggiato, lungo la S.S. n° 14 i rilievi calcarei di Moschenizza, appartenenti alla "Formazione dei Calcari di Monrupino" del Cenomaniano med/sup, la pista ciclabile piega verso Ovest attraversando la Piana del Lisert costituita da sedimenti palustri con, nel sottosuolo, alluvioni grossolane dell'Isonzo con intercalati livelli argilloso limosi di ingressione marina.

Tutta l'area del Lisert ha subito notevoli rimaneggiamenti antropici con bonifica delle aree palustri e riporto di materiali vari.

Anche tutta l'area della Città di Monfalcone (GO), sino a Via dei Bagni (Località Schiavetti), è caratterizzata da notevoli rimaneggiamenti antropici con opifici (Cantieri Navali) e zone industriali di Schiavetti – Brancolo; estese sono le aree caratterizzate da riporti vari (per lo più grossolani) che coprono sedimenti alluvionali sabbiosi, limosi (talora organici e palustri) e ghiaiosi di pertinenza dell'Isonzo nonché, a ridosso dei rilievi calcarei, depositi detritici.

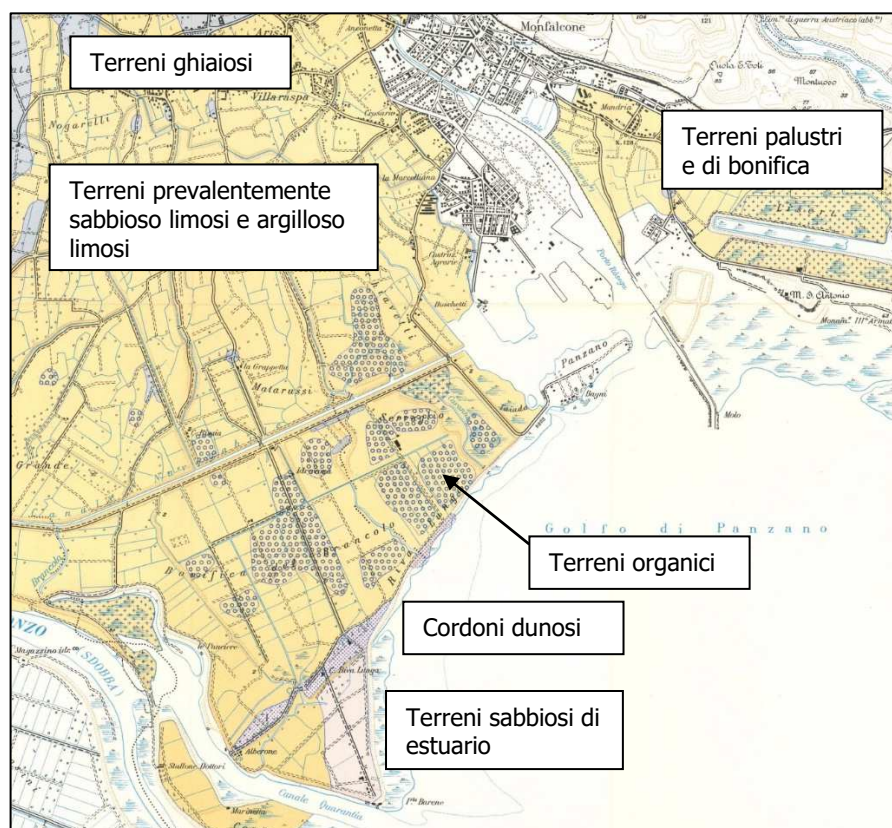


Figura n° 7: Carta Geolitologica dell'area Monfalconese (da: "I terreni del Territorio di Monfalcone", Dott. Luigi Marizza, 1956).

Procedendo verso Ovest la bassa pianura di pertinenza dell'Isonzo, formata da prevalenti depositi grossolani ghiaioso sabbiosi con ricoprimento di terreni sabbioso limosi e argilloso limosi, talora organici (Figura n° 7), possiede un assetto pianeggiante, solcato da canali di risorgiva e di bonifica (Canale Brancolo), rami dell'Isonzo, a forte vocazione agricola con colture intensive.

Percorrendo le porzioni meridionali dell'estuario dell'Isonzo sono presenti terreni sabbiosi sia appartenenti al sistema alluvionale deltizio che a ciò che rimane del cordone di dune sabbiose costiere; attraversato poi l'Isonzo in sponda destra si percorre il prisma alluvionale sabbioso e sabbioso ghiaioso di Fossalon del delta dell'Isonzo, sino alla linea di costa protetta da arginature, con quote del terreno inferiori allo 0.0 del livello medio mare per poi proseguire costeggiando una serie di specchi d'acqua alimentati da canali di risorgiva e, oltrepassata la bocca di Primero, entrare nell'ambiente di cordone litorale che separa il mare dalla Laguna di Grado e Marano retrostante; qui prevalgono terreni vari, spesso organici, generalmente argilloso limosi e talora sabbiosi e sabbioso limosi.

Percorrendo la S.P. n° 19 che corre nel cordone sabbioso che separa il mare dalla Laguna di Grado e Marano la pista ciclabile raggiunge Grado (GO) e da qui, lungo la S.R. n° 352, attraversa la Laguna sino a Belvedere di Aquileia (UD) su una striscia di strada realizzata con riporto di materiali e protetta da scogliera.

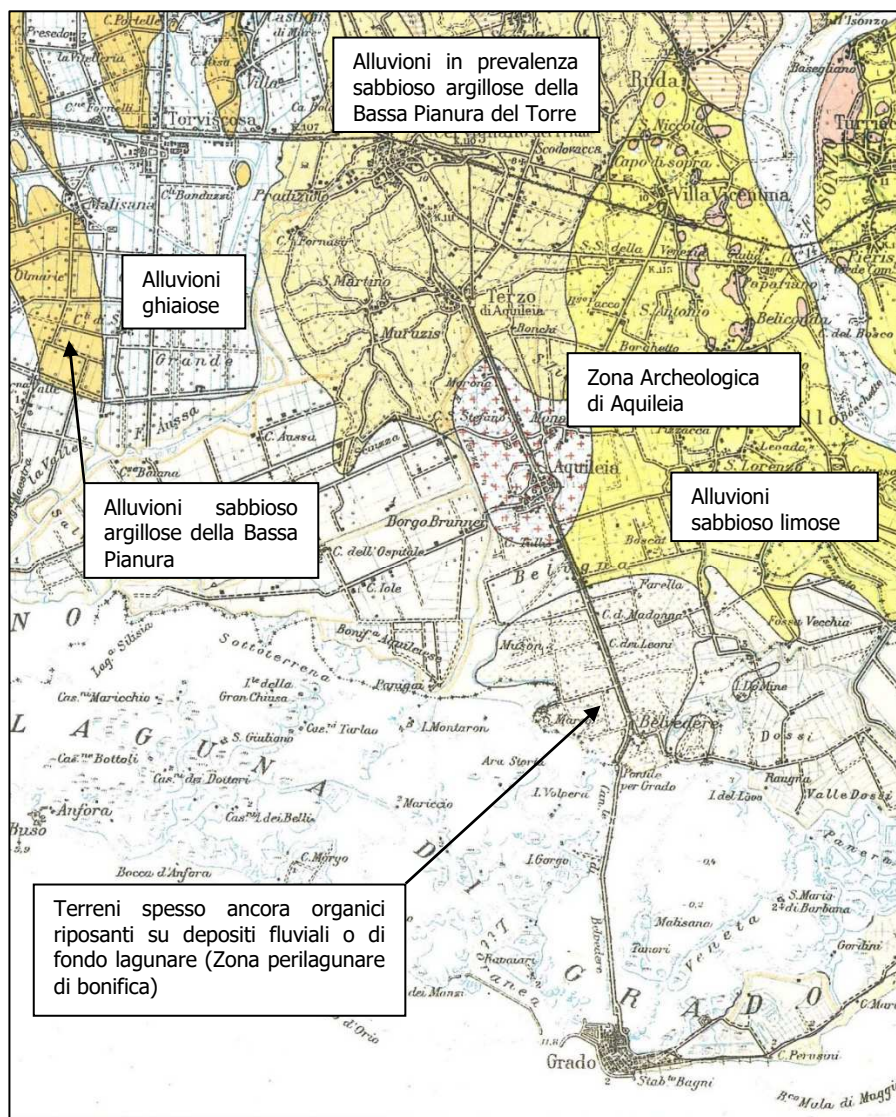


Figura n° 8: Carta Geologica delle Tre Venezie – Foglio 40 “Palmanova” (Non in Scala).

Raggiunta la terraferma la pista ciclabile si dirige verso Cervignano del Friuli (UD) attraversando l'area archeologica di Aquileia (Via Julia Augusta); i terreni affioranti, oltre al sistema di dune sabbiose di Belvedere, appartengono alle porzioni distali del "Megafan" del Torre (ed in parte dell'Isonzo) con prevalenza di terreni sabbioso argillosi e limosi (talora organici) che ricoprono, con spessori variabili, corpi alluvionali grossolani ghiaiosi e sabbiosi.

L'assetto geomorfologico del tratto di Bassa Pianura dell'Isonzo e del Torre è determinato dalle influenze dei grandi scaricatori (Isonzo e Torre) e l'ambiente marino costiero e lagunare interno; tale condizione si riflette sui caratteri geomorfologici, litologici e idrogeologici del territorio con variazioni, anche repentine, della litologia a causa della variazione laterale e verticale dei diversi ambienti deposizionali; le principali forme geomorfologiche del paesaggio sono rappresentate da zone umide, canali di bonifica e di risorgenza, bocche lagunari, cordoni litorali (con accumuli eolici e dune), meandri attivi ed abbandonati, valli da pesca, zone di delta attivo ed inattivo etc. nonché di forme legate alla difesa dell'ambiente costiero con arginature, bonifiche e zone di sollevamento acque (Idrovore per scolo meccanico).

Dal punto di vista idrogeologico la variabile permeabilità dei terreni determina la formazione di falde acquifere assai superficiali contenute principalmente in depositi sabbiosi e ghiaiosi, con una soggiacenza spesso inferiore al metro; in profondità la successione stratigrafica con livelli permeabili intercalati a livelli poco o nulla permeabili (limi e argille) determina la formazione di acquiferi confinati e pressurizzati (falde artesiane).

3.2.2. Micro-Settore Cervignano del Friuli - San Giorgio di Nogaro - Marano Lagunare - Prececnicco

Da Cervignano del Friuli (UD) la pista ciclabile in Progetto si dirige verso Ovest attraversando Torviscosa (UD) dopo aver costeggiato la Linea Ferroviaria Trieste – Venezia e il Polo Chimico per raggiungere Porto Nogaro percorrendo Via Zumello e Via Famula che costeggia il Fiume Corno alimentato da diverse risorgive a monte (Zona Gonars).

Da qui il tracciato si dirige verso Marano Lagunare attraversando la Bassa Pianura formata da alluvioni fini del "Megafan" del Cormor con affioramento dell'"Unità di Muzzana" (LGM pleniglaciale, 25.000-18.000 a.C.) con terreni prevalentemente limoso argillosi e sabbioso limosi con presenza di dossi sabbiosi dell'"Unità di Marianis" (LGM cataglaciale, 18.000-15.500 a.C.) come riportato in Figura n° 9.

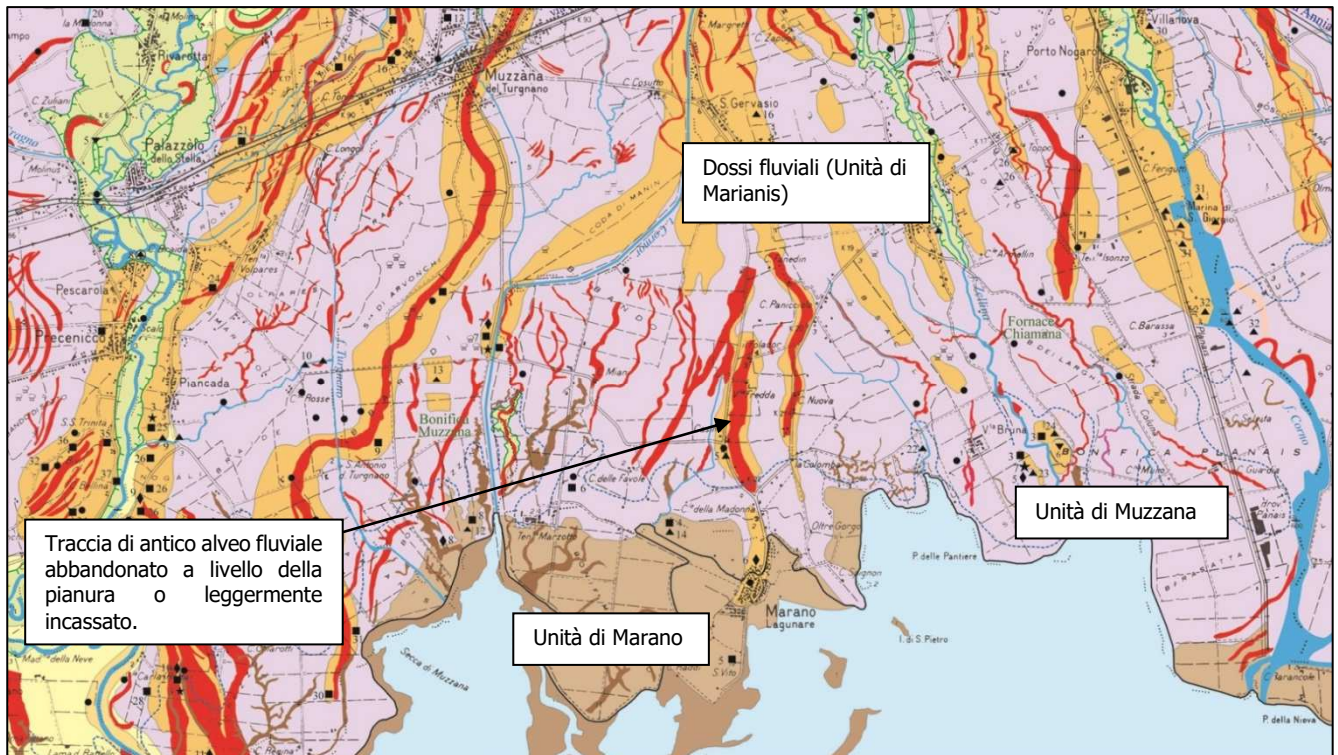


Figura n° 9: “Carta Geomorfologica della Bassa Pianura Friulana”, A. Fontana.
Tratto San Giorgio di Nogaro – Precenico (Non in Scala).

Verso Marano Lagunare sono presenti terreni lagunari (argille, torbe e terreni organici) dell’*“Unità di Marano”* (Olocene, 5.500 a.C. – Attuale), con tracce di antichi canali lagunari e barene.

Da Marano Lagunare la Pista Ciclabile si sposta verso Nord Ovest (lungo la S.P. n° 21) attraversando zone pianeggianti, a vocazione agricola intensiva, con canali di bonifica, attraversando inoltre il Cormor ed il Fiume Turgnano sino a raggiungere, a Sud di Palazzolo dello Stella, il corso del fiume di risorgiva Stella.

Anche in tale tratta i terreni superficiali sono costituiti da prevalenti sabbie, limi e argille, talora con presenza di terreni vari organici sia in corrispondenza di antichi canali lagunari (Bonifica di Muzzana) che in corrispondenza delle bassure di risorgiva (*“Unità dello Stella”*), spesso delimitate da scarpate di altezza variabile.

In corrispondenza dei dossi e degli antichi alvei fluviali riconosciuti dall’ analisi del micro-rilievo, prevalgono terreni sabbiosi, più raramente sabbioso ghiaiosi.

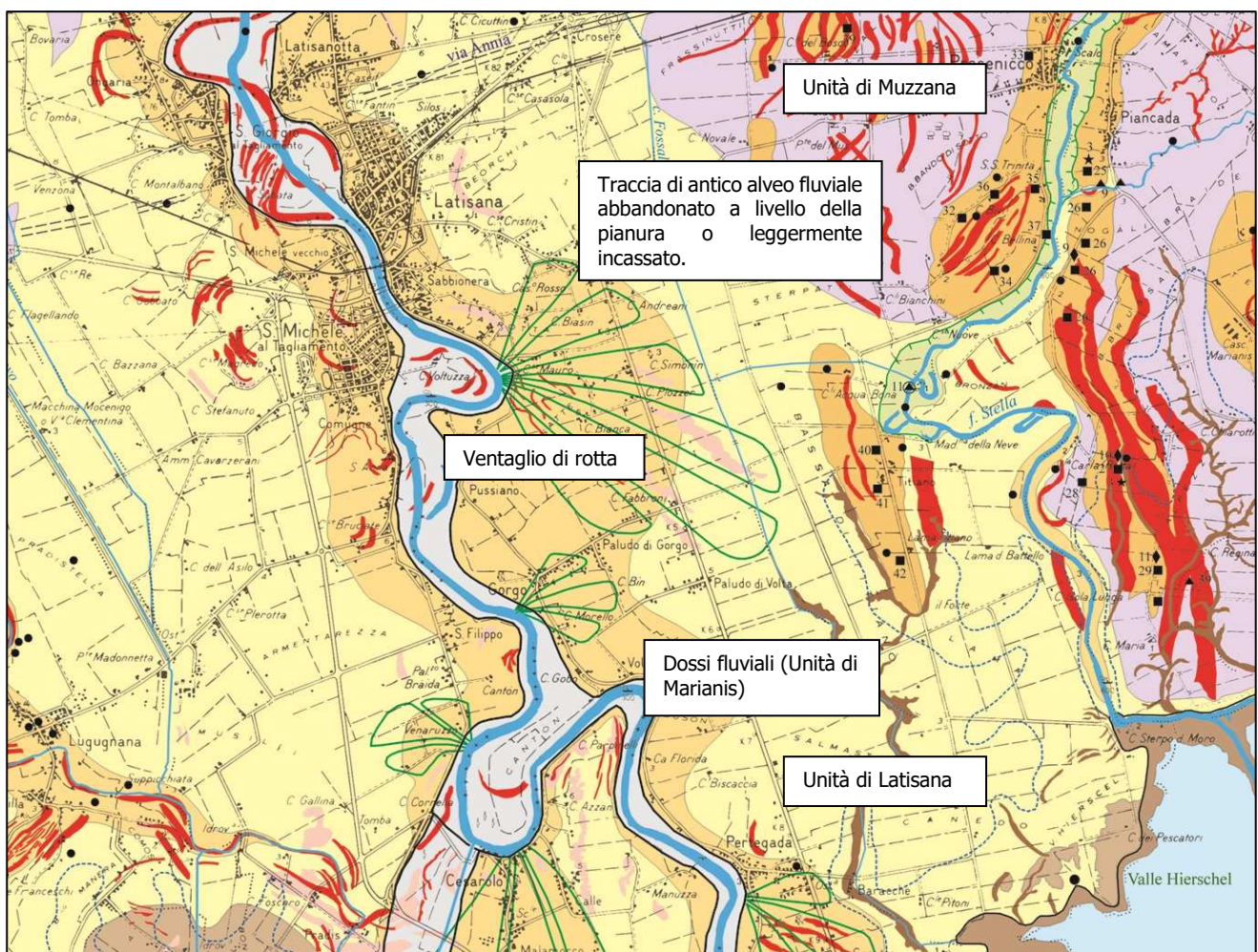
L’ assetto geomorfologico del tratto di Bassa Pianura del Cormor è determinato dalla litologia prevalente della Pianura pleniglaciale (*“Unità di Muzzana”*) su cui si sono successivamente impostati alvei fluviali poi abbandonati dalle correnti di piena cataglaciali con formazione di dossi sabbiosi rimasti in debole rilievo a causa della minore compattazione e assestamento dei depositi contrapposti ai depositi argilloso limosi più compressibili.

L’ elemento geomorfologico però più evidente nel paesaggio pianeggiante (anche localmente con quote prossime allo 0.00 Livello medio mare nella zona di Marano Lagunare) è dato dalle zone di bassura del Fiume Stella di Località Piancada e Precenico.

Le risorgive ed i fiumi da esse alimentati hanno svolto soprattutto un ruolo erosivo nei confronti della pianura, distinguendo i processi morfogenetici tipici delle aree di venuta a giorno delle acque da quelli che hanno regolato l’evoluzione degli alvei fluviali.

Le recenti sistemazioni agricole hanno profondamente modificato il territorio, con prosciugamento di zone palustri e realizzazione di scoli (Scolo Piancadello) e canali artificiali lasciando il posto ad ampie coltivazioni e sistemazioni agrarie; alcuni nomi di luogo molto indicativi sono: Palude Contesa, Palude Groatt, Palude Selvotta, Palude Corgnolo, Palude Mulino etc.

Attraversato il Fiume Stella a Precenico, la pista ciclabile prosegue verso Sud percorrendo la S.P. n° 56 costeggiando il percorso del Fiume Stella, che qui scorre formando ampi meandri, per poi raggiungere la sua foce e la Laguna (in Località Casali Sterpo di Moro) percorrendo il limite lagunare (su nuovi argini e sulla viabilità esistente) sino ad Aprilia Marittima proseguendo verso Lignano Sabbiadoro dopo aver attraversato il Canale di Bevazzana.



16

Gli elementi morfologici più evidenti sono rappresentati da zone di bassura contrapposte alle zone di argine perilagunare, nonché dossi morfologici (antichi paleoalvei), aree di meandri abbandonati, traccia di percorsi fluviali e lagunari estinti, zone umide etc.

Il settore orientale delle Alpi Meridionali è una zona con elevata sismicità da imputarsi alle caratteristiche geodinamiche dell'area, interessata da un raccorciamento crostale (con velocità stimata attorno a 2-3 mm/anno) per la convergenza tra la placca Europea e la placca Adriatica in collisione con la placca Africana.



L'architettura delle Alpi Meridionali è data da una catena a pieghe e sovrascorrimenti Sud-vergenti determinata da due fasi compressive del Terziario: la fase meso-alpina (Paleogene) e la fase neo-alpina (Neogene-Quaternario) in cui quest'ultima è responsabile di buona parte del sollevamento tuttora in atto con formazione di sovrascorrimenti; le deformazioni compressive del Messiniano-Pliocene hanno generato pieghe e sovrascorrimenti disposti NE-SO.

3.4. Faglie Capaci

Nel Catalogo ITHACA (Portale Servizio Geologico d'Italia – ISPRA Istituto superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), Figura n° 12, sono riportate le faglie capaci che interessano la zona del Carso e la Bassa Pianura Friulana oggetto di intervento.

ITHACA adotta la seguente definizione di **faglia capace**, che tiene conto del contesto geodinamico italiano.

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

Le faglie capaci, come definite sopra, possono determinare un significativo pericolo di danneggiamento di strutture antropiche. La pericolosità può essere caratterizzata in termini di Probabilistic Fault Displacement Hazard o Deterministic Fault Displacement Hazard (per un approfondimento si veda IAEA SSG-9, 8.9-8.13; Youngs et al., 2003).

Intervallo temporale di riferimento

L'età dell'ultimo evento di attivazione di una faglia (last activity) è uno degli elementi discriminanti nella valutazione della "capacità" della struttura. L'analisi considera intervalli temporali di osservazione diversi, in funzione dell'ambiente tettonico (IAEA, 2010) e dei tassi di deformazione:

- Interplacca (margini di placca)
 - 1) < 125 ka (Pleistocene Superiore) - Faglia capace.
 - 2) $125 \text{ ka} \leq$ ultimo movimento accertato $\leq 2,58$ Ma - Faglia da investigare con indagini appropriate.
- Intraplacca (aree cratoniche)
 - 1) ≤ 780 ka (Pleistocene medio) - Faglia capace
 - 2) Quaternario (2.58 Ma) - Faglia da indagare

Le definizioni sopra riportate considerano diverse finestre temporali a seconda che l'area di indagine sia in zona Interplacca o Intraplacca. L'intervallo temporale più ampio, e quindi più cautelativo, previsto per le zone Intraplacca (movimenti entro il Pleistocene medio) è applicabile, in Italia, al solo settore sardo, ritenuto un'area intraplacca (microcontinente), sebbene sia bordato da bacini in estensione (Bacini Balearico e Tirrenico) e quindi sia prossimo ad una situazione di interplacca.

Quindi, rispetto alle passate versioni di ITHACA, è stata introdotta la distinzione tra *faglia capace* e *faglia quaternaria da indagare*:

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

Si evidenzia che il nel Catalogo ITHACA l'intervallo considerato per le strutture capaci (< 125 ka *sensu* IAEA, 2010 e 2015) è più esteso di quello (40 ka) considerato negli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica* (Dipartimento Protezione Civile, 2008) redatti dal Dipartimento di Protezione Civile (DPC) e poi nelle Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC).

Nell' area indagata sono cartografate le seguenti faglie:

- 1) Faglia San Bartolomeo – Trieste;
- 2) Faglia Monfalcone;
- 3) Faglia Opicina – Sistiana;
- 4) Faglia Villa Opicina – Trieste;
- 5) Faglia Muggia – Trieste.



Figura n° 12: faglie potenzialmente "capaci" presenti nel territorio (Geoportale – ISPRA – Progetto ITHACA).

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	77501
Fault Name	San Bartolomeo-Trieste
Region Name	Friuli Venezia Giulia
Tectonic Environment	ND
System Name	Trieste
Synopsis	
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	40
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	NW
Fault Length (km)	16.6
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Pleistocene generic

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	77508
Fault Name	Monfalcone
Region Name	Friuli Venezia Giulia
Tectonic Environment	ND
System Name	Trieste - Udine
Synopsis	
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	315
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	NW
Fault Length (km)	37.3
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Reverse
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Pleistocene generic
Applied Technique	Field studies

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	77506
Fault Name	Opicina - Sistiana
Region Name	Friuli Venezia Giulia
Tectonic Environment	ND
System Name	Trieste
Synopsis	
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	130
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	SW
Fault Length (km)	15.2
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Pleistocene generic

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	77505
Fault Name	Villa Opicina-Trieste
Region Name	Friuli Venezia Giulia
Tectonic Environment	ND
System Name	Trieste
Synopsis	
Rank	Secondary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	45
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	SE
Fault Length (km)	5.2
Mapping Scale	1:0
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Pleistocene generic

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	77502
Fault Name	Muggia-Trieste
Region Name	Friuli Venezia Giulia
Tectonic Environment	ND
System Name	Trieste
Synopsis	
Rank	Secondary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	50
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	NW
Fault Length (km)	11.2
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Pleistocene generic

Figura n° 13: schede caratteristiche faglie capaci (Geoportale – ISPRA – Progetto ITHACA).

3.5. Sismicità e pericolosità sismica

La zonazione sismica del territorio nazionale, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. (2004), riporta, per il Friuli Venezia Giulia, l'appartenenza ad aree sismogenetiche identificate dai numeri 904 e 905.

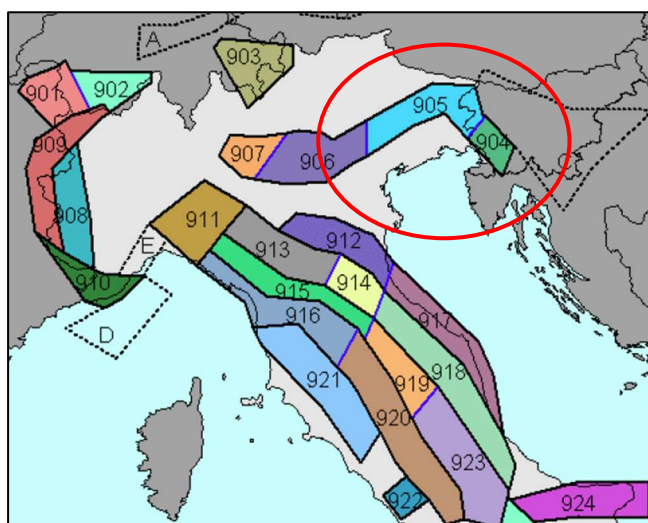


Figura n° 14: Zonazione Sismogenetica (Z29) INGV 2004.

Da: "Zonazione sismogenetica Z29-App. 2 al Rapporto conclusivo a cura di C. Meletti e G. Valensise", Anno 2004.

La zona 905 comprende tutta la fascia prealpina veneto – friulana dalla faglia “Schio – Vicenza” fino al confine italo – sloveno ed include sorgenti sismogenetiche potenzialmente responsabili di terremoti con $M > 6$. Inoltre la Zona 905 racchiude un’area nella quale la frequenza degli eventi sismici (anche per le magnitudo medio alte) è nettamente superiore a quella delle zone adiacenti. In generale la zona 905 si caratterizza per una sismicità di grado superiore sia per frequenza che per magnitudo degli eventi rispetto alle aree limitrofe del Sudalpino a causa del movimento della placca Adriatica verso NW contro la zolla Europea sotto l’effetto della spinta della zolla Africana.

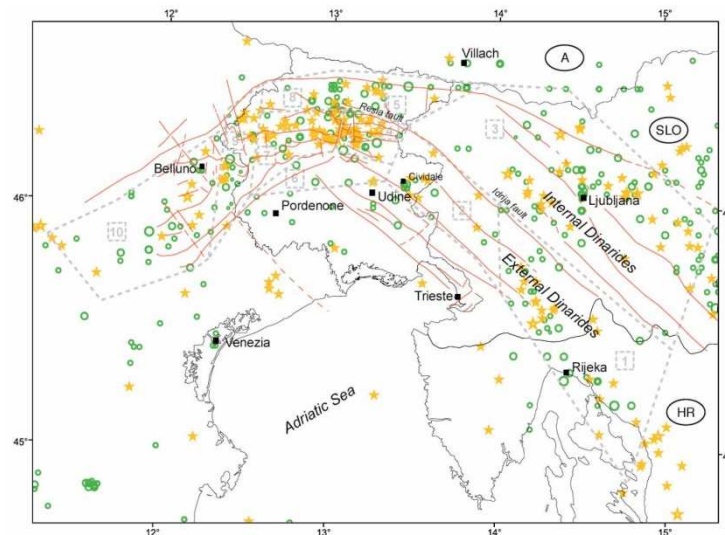


Figura n° 15: Zonazione sismogenetica; sono riportati i principali lineamenti tettonici (linee rosse continue e tratteggiate, i terremoti storici (cerchi verdi) ed i principali terremoti recenti (ML maggiore di 3.0 stelle gialle).

La Bassa Pianura Friulana non risulta appartenere ad aree sismogenetiche attive; la Magnitudo registrata (terremoti storici) risulta, per la Pianura Friulano Veneta e per l’area considerata, inferiore a 5 (Figura n° 15). Come riportato nella “Carta della Sismicità del Friuli Venezia Giulia” (da: “Gli aspetti fisici del territorio regionale” della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale della Pianificazione Territoriale, anno 1996), la zona oggetto di intervento rientra tra le zone a “Sismicità molto bassa (BB)” e “Sismicità bassa” (Figura n° 16) dove la massima intensità macrosismica osservata è:

- 1) Sismicità molto bassa (BB): massima intensità macrosismica osservata: <VII MCS.
Massima intensità attesa in 200 anni: <VII MCS (attività sismica <0.1)
- 2) Sismicità bassa (B): massima intensità macrosismica osservata: $\geq$ VII MCS, <VIII MCS.
Massima intensità attesa in 200 anni: VII MCS (attività sismica $\geq$ 0.1)

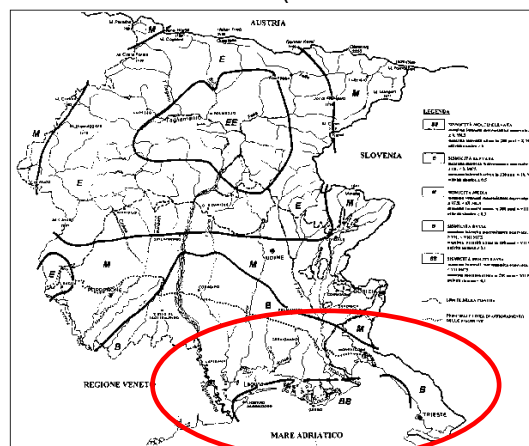


Figura n° 16: Carta della Sismicità della Regione Friuli Venezia Giulia.

La Figura n° 17 riporta la “Carta delle Zone Sismiche” riferita ai Comuni della Regione Friuli Venezia Giulia, parte integrante dell’Allegato 1 di cui alla Delibera di Giunta Regionale n. 845 del 06/05/2010 mentre la Figura n° 18 riporta l’intensità macrosismica attesa con periodo di ritorno di 475 anni (pari a 6 MCS).

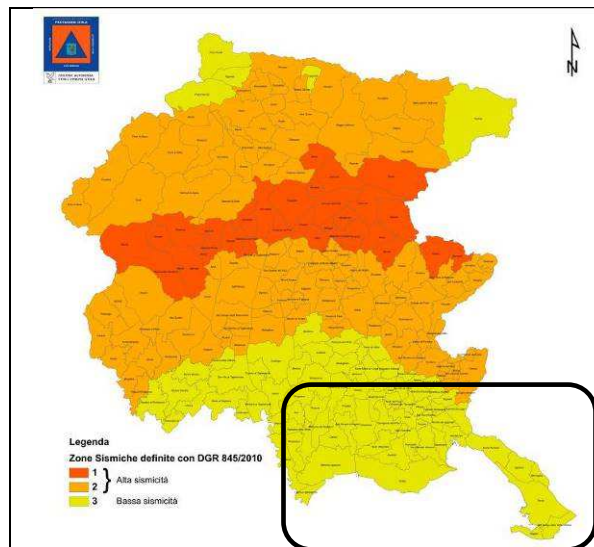


Figura n° 17: Classificazione Sismica Regione Friuli Venezia Giulia.

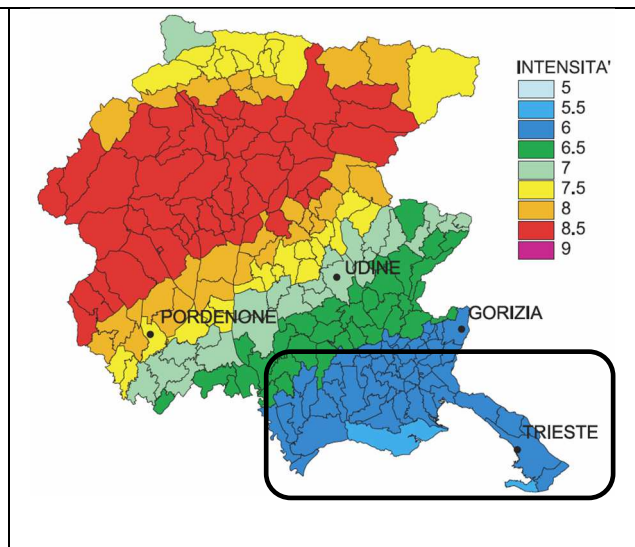


Figura n° 18: Intensità macrosismica con periodo di ritorno di 475 anni per la Regione Friuli Venezia Giulia (da: “Mappa del rischio sismico regionale ai fini della Protezione Civile” OGS, Anno 1999).

Con l’“Ordinanza” n° 3274 del 20 Marzo 2003 della “Presidenza del Consiglio dei Ministri” sono state emanate le norme che definiscono i criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche ai sensi dell’Art. n° 93, 1g) del Decreto Legislativo 112/1998 ai fini della formazione e dell’aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone da parte delle Regioni, ai sensi dell’Art. 94, 2a) del medesimo decreto.

L’ “Ordinanza Ministeriale” è stata recepita con “Deliberazione della Giunta Regionale” n° 2325 del 01/08/2003. La Classificazione Sismica del territorio del Friuli Venezia Giulia è stata definita nell’ Allegato alla Delibera della Giunta Regionale n° 845 del 06/05/2010 pubblicata sul BUR n° 20 del 19/05/2010.

Sulla base di tale Delibera i vari comuni interessati dall’ intervento sono inseriti nelle seguenti Zone Sismiche:

Codice ISTAT 2001	Denominazione:	Nuova Zona Sismica	Aree di Alta/Bassa Sismicità	Zone Sismiche previgenti (d.g.r. 2325/2003)
6032003	Muggia (TS)	3	Bassa	4
6032004	San Dorligo della Valle-Dolina (TS)	3	Bassa	4
6032006	Trieste (TS)	3	Bassa	4
6032001	Duino-Aurisina (TS)	3	Bassa	4
6031012	Monfalcone (GO)	3	Bassa	4
6031023	Staranzano (GO)	3	Bassa	4
6031018	San Canzian d’ Isonzo (GO)	3	Bassa	4
6031009	Grado (GO)	3	Bassa	4
6030004	Aquileia (UD)	3	Bassa	4
6030120	Terzo d’ Aquileia (UD)	3	Bassa	4
6030023	Cervignano del Friuli (UD)	3	Bassa	4
6030008	Bagnaria Arsa (UD)	3	Bassa	3
6030123	Torviscosa (UD)	3	Bassa	4
6030100	San Giorgio di Nogaro (UD)	3	Bassa	3

6030018	Carlino (UD)	3	Bassa	3
6030056	Marano Lagunare (UD)	3	Bassa	4
6030064	Muzzana del Turgnano (UD)	3	Bassa	3
6030069	Palazzo dello Stella (UD)	3	Bassa	3
6030082	Precenico (UD)	3	Bassa	3
6030046	Latisana (UD)	3	Bassa	3
6030049	Lignano Sabbiadoro (UD)	3	Bassa	4

Figura n° 19: Zone Sismiche dei vari Comuni interessati dal tracciato.

Come risulta dalla sopra riportata tabella (Figura n° 19) i territori comunali interessati dal tracciato in Progetto sono inclusi nella Zona Sismica 3.

Ogni “Zona sismica” è contrassegnata da valori di a_g = accelerazione orizzontale massima su suolo di Categoria A; il valore di a_g (espresso come frazione dell’accelerazione di gravità “g”) da adottare nella Zona 3 è: $0.05g < a_g \leq 0.175g$.

Per la definizione quantitativa della “*pericolosità sismica di base*”, si può fare riferimento ai valori di pericolosità sismica del territorio nazionale (Ordinanza PCM del 28.04.2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima orizzontale del suolo con diverse probabilità di superamento in 50 anni.

La mappa probabilistica della pericolosità sismica riportata in Figura n° 20 è costruita su una griglia regolare a passo 0.05° ed è riferita ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; Categoria di Suolo A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

Le zone oggetto di intervento, appartenenti ai rilievi collinari flyschoidi e calcarei del Carso (Provincia di Trieste) e alla Bassa Pianura, sono inseribili interamente nella fascia distinta da un valore di accelerazione sismica orizzontale a_g riferito a suoli rigidi sub-pianeggianti caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s compreso tra $0.075g - 0.150g$ (valori riferiti ad una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni – mappa 50° percentile).

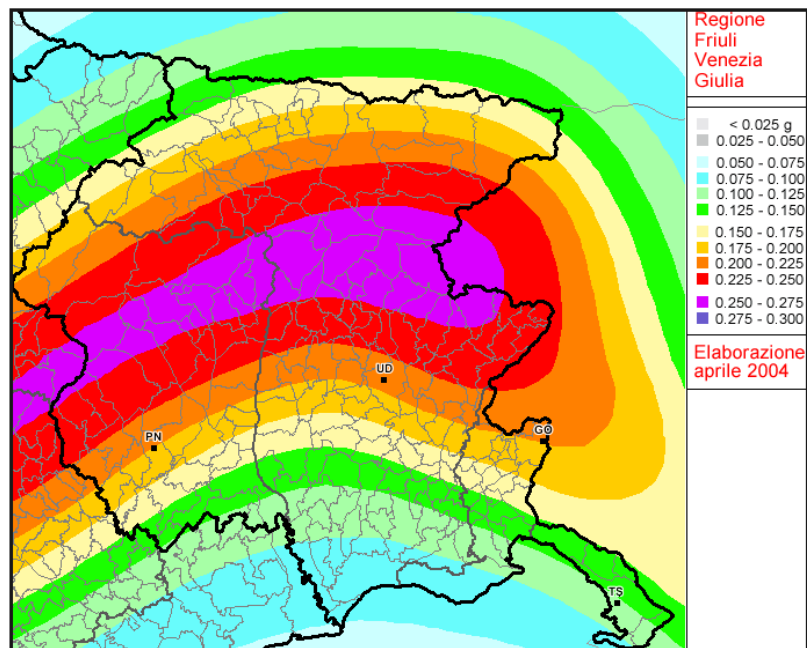


Figura n° 20: “Mappa della pericolosità sismica del Friuli Venezia Giulia espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s)”; INGV, 2004.

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove “Nuove Norme Tecniche” (D.M. 17/01/2018) si distinguono le seguenti Categorie di Suolo:

- *Categoria A: ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori V_{S30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 metri;*
- *Categoria B: rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori V_{S30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina);*
- *Categoria C: depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina);*
- *Categoria D: depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori V_{S30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina);*
- *Categoria E: terreni dei sottosuoli C o D per spessore non superiore a 20 metri, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s);*

Le Categorie Topografiche previste dalle NCT sono le seguenti:

- *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 $i > 30^\circ$.*

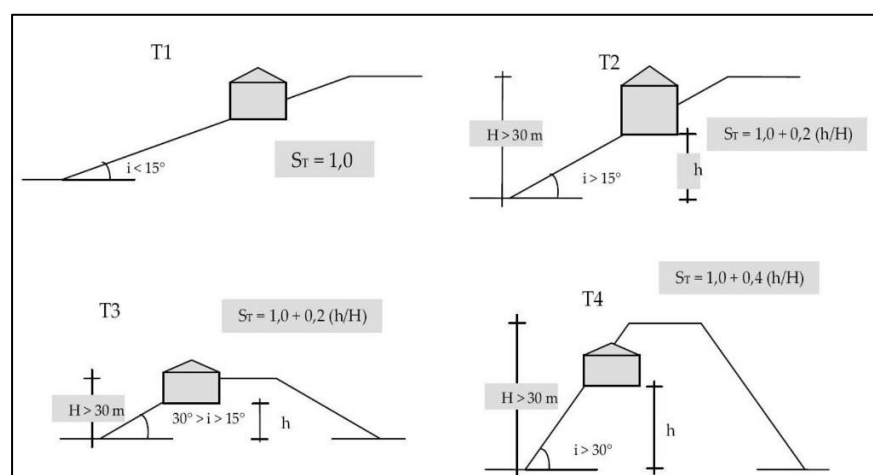


Figura n° 21: “Categorie Topografiche” (Tabella 3.2V delle NCT2018).

In linea di massima, per la definizione delle Azioni Sismiche sulle strutture, si possono adottare le seguenti Categorie di Suolo:

- 1) Zone caratterizzate dall'affioramento del "Flysch di Trieste" e/o zone caratterizzate da ricoprimenti eluvio colluviali su basamento flyschoidale: Categoria di Suolo B (il Flysch viene considerato "roccia tenera" che raramente supera velocità delle onde di taglio $V_s > 800$ m/s);
- 2) Zone caratterizzate da affioramento di rocce calcaree: Categoria di Suolo A.
- 3) Zone costiere caratterizzate da riporti e sedimenti alluvionali sciolti: Categoria di Suolo C.
- 4) Zone di Bassa Pianura alluvionale con prevalenza nel sottosuolo di depositi ghiaiosi addensati e/o basamento flyschoidale: Categoria di Suolo B.
- 5) Zone di Bassa Pianura alluvionale con prevalenza nel sottosuolo di depositi ghiaioso sabbiosi e sabbioso limosi sciolti e argillosi poco consistenti: Categoria di Suolo C.
- 6) Zone di Bassa Pianura e fascia costiera con depositi organici molto soffici: Categoria di Suolo D.

Per quanto attiene alla Magnitudo di Progetto attesa, questa, come riportato negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, può essere valutata pari a 6.60 utilizzando la Tabella 2.8-1 (Figura n° 22).

Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Figura n° 22: Valori di Magnitudo massima per le zone sismogenetiche.

Tale Tabella fa riferimento alla Zonazione Sismogenetica (Zonazione Z29 a cura di C. Meletti e G. Valensise – 2004) che suddivide il territorio nazionale in 36 Zone Sismiche; il Friuli Venezia Giulia è compreso all'interno delle Zone 905-904 alle quali corrisponde una M_{Max} pari a 6.14 (904) e 6.60 (905).

Il tracciato della ciclovie in Progetto è situato all'interno della Zona Sismogenetica 904 e ad una distanza di circa 40 Km a Sud Est della Zona 905.

3.6. Pericolosità per "Liquefazione dei terreni"

Il fenomeno della "Liquefazione dei terreni" si può verificare in concomitanza con eventi sismici in condizioni litostratigrafiche ed idrogeologiche particolari; esso consiste nell'annullamento della resistenza al taglio del terreno sino ad assumere un comportamento assimilabile ad un fluido.

Tale fenomeno riguarda principalmente terreni sabbiosi, saturi, caratterizzati da un basso grado di addensamento.

La verifica del fenomeno della "Liquefazione dei terreni" saturi in caso di sisma può essere esclusa quando si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- 1) Eventi sismici attesi di Magnitudo inferiore a 5.0;
- 2) Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.10g;
- 3) Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna;

- 4) Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa;
- 5) Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella seguente Figura n° 23, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $Uc < 3,5$ e $Uc > 3,5$.

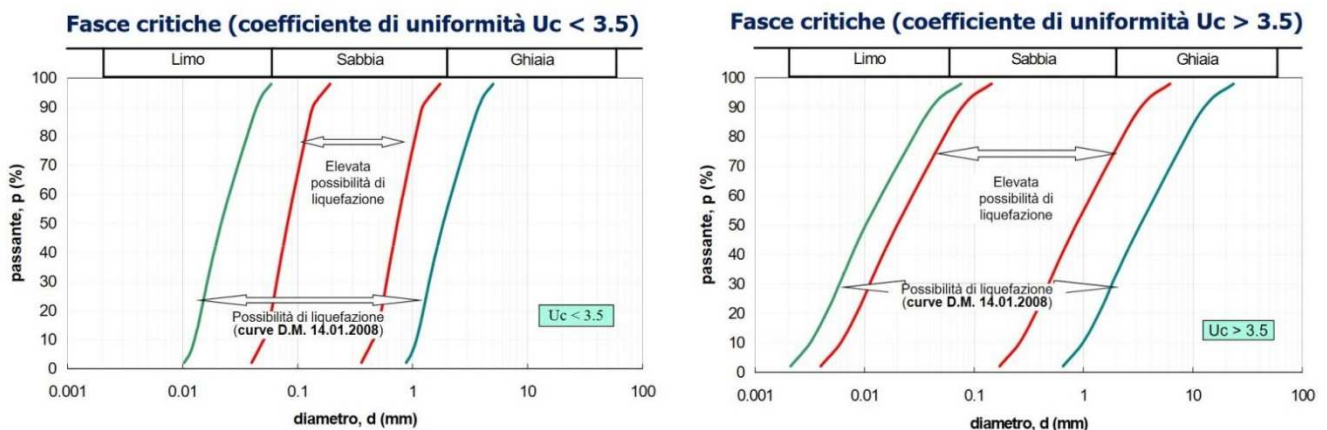


Figura n° 23: Fusi granulometrici dei terreni suscettibili di liquefazione.

Non risultano segnalati lungo il tracciato probabili fenomeni di liquefazione dei terreni avvenuti in tempi storici; l'analisi bibliografica riporta alcuni episodi probabilmente legati a tali fenomeni nel corso del terremoto dell'anno 1117 nella vicina Provincia di Venezia.

Lungo il tracciato le aree potenzialmente interessate da tali fenomeni si localizzano laddove prevalgono sedimenti sabbiosi anche e soprattutto in corrispondenza dei paleoalvei e dossi sabbiosi.

3.7. Pericolosità idraulica

La Figura n° 24, realizzata tramite i dati dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI e PAIR) rappresenta le aree interessate da dissesti idraulici (esondazioni, difficoltà di drenaggio etc.); la stessa cartografia, aggiornata, con sovrapposto il tracciato, viene riportata, a Scala adeguata, nelle allegate Tavole.

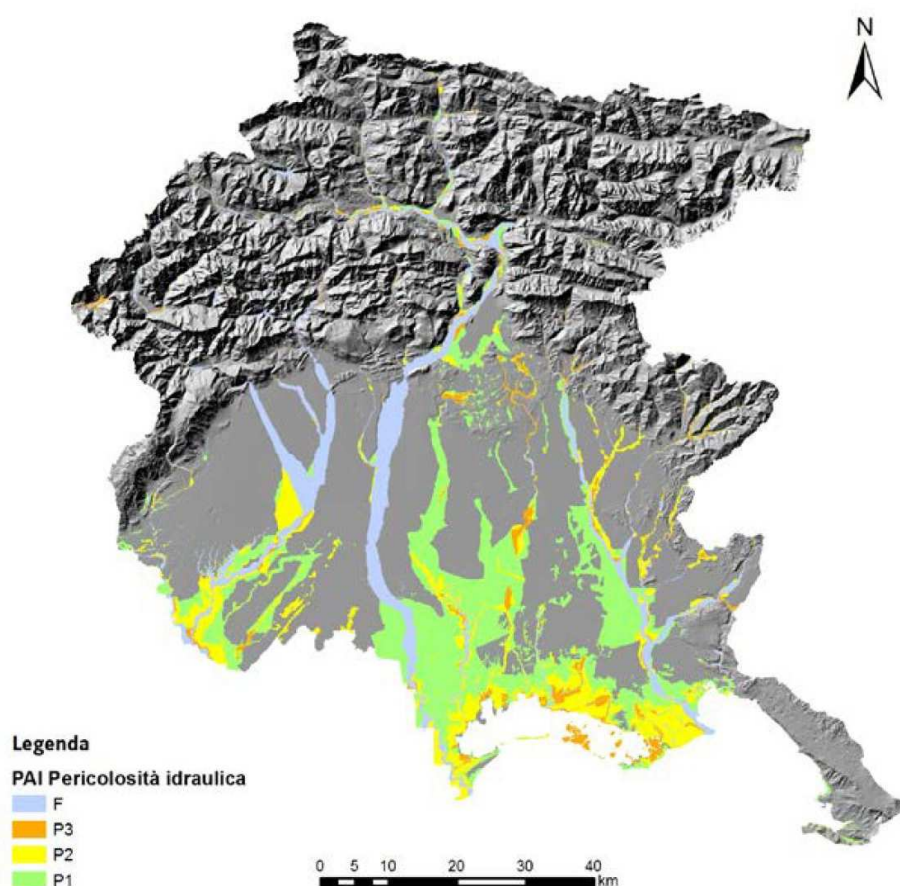


Figura n° 24: Carta del dissesto idraulico (da: “Vulnerabilità naturale del Friuli Venezia Giulia”, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente ed Energia, Anno 2015).

Il tracciato andrà ad interessare, in prima analisi e nel settore di Bassa Pianura, aree soggette a Pericolosità Idraulica da P1 (aree a Pericolosità Idraulica moderata) a P3 (Pericolosità Idraulica elevata).

3.8. Inondazione marina

I comuni costieri sono interessati da fenomeni di acqua alta e trasgressione marina (Figura n° 25).

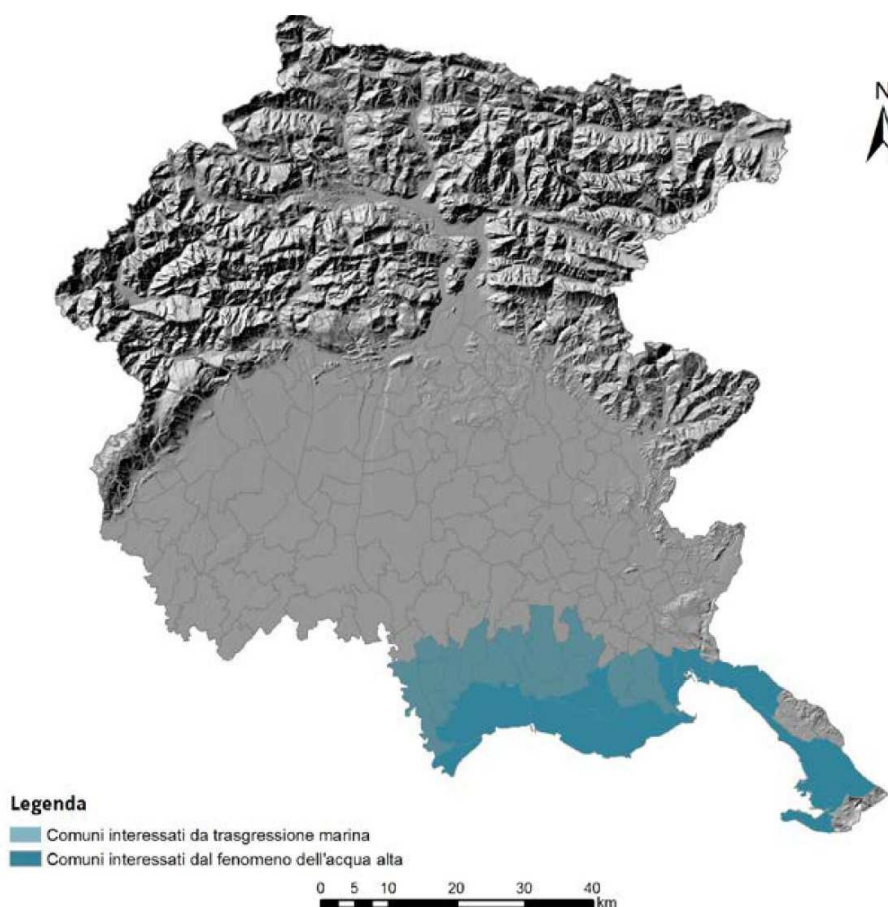


Figura n° 25: Carta dell'inondazione marina (da: "Vulnerabilità naturale del Friuli Venezia Giulia", Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente ed Energia, Anno 2015).

Lo studio di inondazione marina si è avvalso della Carta delle aree potenzialmente allagabili, considerando sia il fenomeno dell'acqua alta sia la trasgressione marina in ambito fluviale; in Regione Friuli Venezia Giulia sono stati identificati n° 9 Comuni a vulnerabilità specifica per il fenomeno dell'acqua alta e n° 11 Comuni interessati da inondazione marina.

Comuni interessati dal fenomeno dell'acqua alta	Zone interessate
Aquileia, Lignano Sabbiadoro, Grado, Marano Lagunare, Monfalcone, Staranzano, Duino Aurisina, Muggia, Trieste.	Fascia costiera
Comuni interessati da trasgressione marina	Zone interessate
Carlino, Cervignano del Friuli, Fiumicello, Latisana, Muzzana del Turgnano, Palazzolo dello Stella, Precenico, San Giorgio di Nogaro, Terzo di Aquileia, Torviscosa, San Canzian d'Isonzo	Bassa pianura friulana

Figura n° 26: Comuni interessati dal fenomeno dell' acqua alta e dalla trasgressione marina (da: "Vulnerabilità naturale del Friuli Venezia Giulia", Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente ed Energia, Anno 2015).

3.9. Subsidenza

L' area costiera e di Bassa Pianura perilagunare, per la presenza di sedimenti soffici e compressibili (argille, argille organiche e torbe) è soggetta al fenomeno della subsidenza consistente in un lento processo di abbassamento del suolo che raggiunge qualche millimetro/anno.

Le conseguenze, dovute per lo più al costipamento naturale dei sedimenti, sono relativamente ridotte manifestandosi in tempi piuttosto lunghi; se il fenomeno risulta indotto da attività antropiche (prelievo acque e gas dal sottosuolo), gli effetti si possono manifestare in tempi brevi determinando la compromissione sia delle opere, con la formazione ad esempio di fontanazzi e di cedimenti arginali, sia delle attività umane, per le conseguenze dell' erosione accelerata della zona di battigia e per l' aumento alla disposizione di alluvionamento sia dei territori costieri che interni.

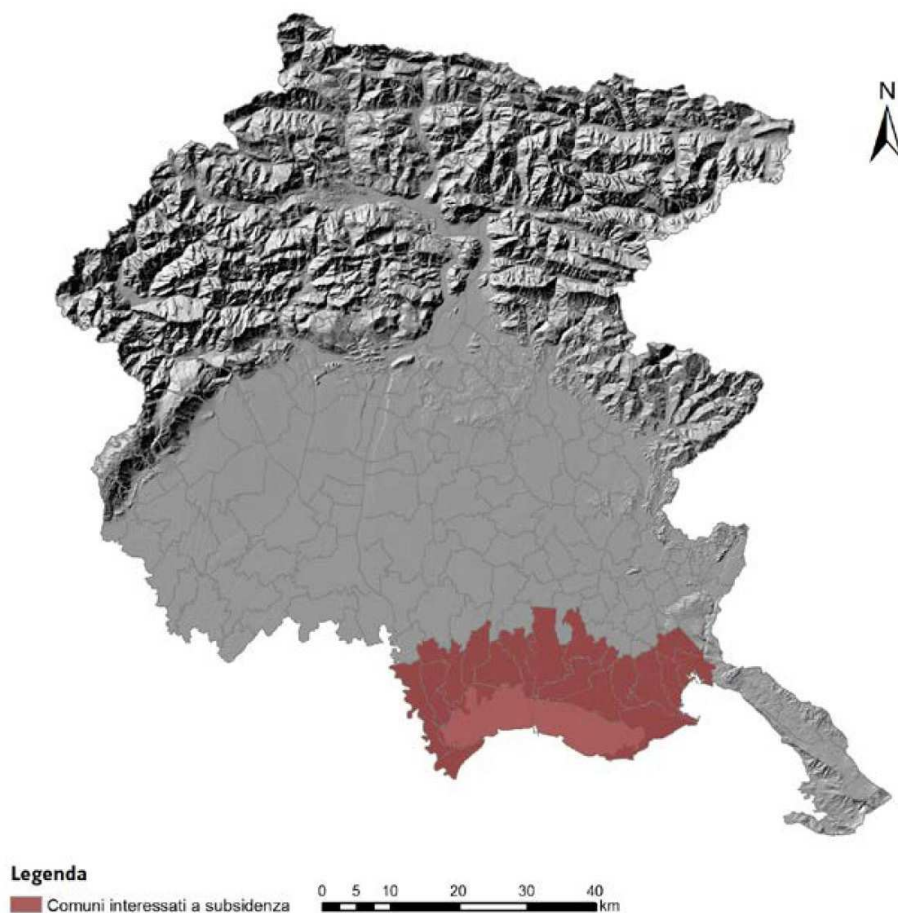


Figura n° 27: Carta della subsidenza (da: "Vulnerabilità naturale del Friuli Venezia Giulia", Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente ed Energia, Anno 2015).

Fenomeni di subsidenza interessano il territorio regionale; in particolare tutta l' area lagunare e della Bassa Pianura il fenomeno raggiunge i 4 mm/anno a Lignano e i 7 mm/anno a Grado.

L' intensità del fenomeno naturale in passato è stato aggravato dall' estrazione di fluidi dal sottosuolo che negli ultimi decenni ha accelerato i processi di costipamento dei terreni, così come le bonifiche avvenute che hanno interessato tutto l' arco lagunare.

Ciò ha comportato un abbassamento del suolo che può aver coinvolto nel tempo gli stessi argini negli anni successivi alla loro realizzazione, favorito dalla presenza di torbe e argille organiche diffuse in alcuni settori del perimetro lagunare.

Sono stati identificati n° 19 Comuni interessati dal fenomeno:

Comuni interessati	Zone interessate
Aquileia, Carlino, Cervignano del Friuli, Fiumicello, Latisana, Lignano, Marano Lagunare, Muzzana del Turgnano, Palazzolo dello Stella, Precenico, San Giorgio di Nogaro, Terzo di Aquileia, Torviscosa, Villa Vicentina, Grado, Monfalcone, Ronchi dei Legionari, San Canzian d'Isonzo, Staranzano.	Bassa Pianura friulana

Figura n° 28: Comuni interessati dal fenomeno della subsidenza (da: "Vulnerabilità naturale del Friuli Venezia Giulia", Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente ed Energia, Anno 2015).

3.10. Aree a depressione assoluta

Le aree definite a depressione assoluta sono zone che si trovano al di sotto del livello medio mare o meglio al di sotto dello zero idrometrico; sono aree per lo più interessate dalle passate bonifiche iniziate già al tempo dei romani con correzione e inalveamento dei fiumi di risorgiva e ora adattate a zone agricole o all'insediamento urbano.

Conseguenza di tale contesto è l'aumentata vulnerabilità agli allagamenti dovuti all'erosione per opera delle acque superficiali, alle esondazioni fluviali e marine ed all'innalzamento delle falde.

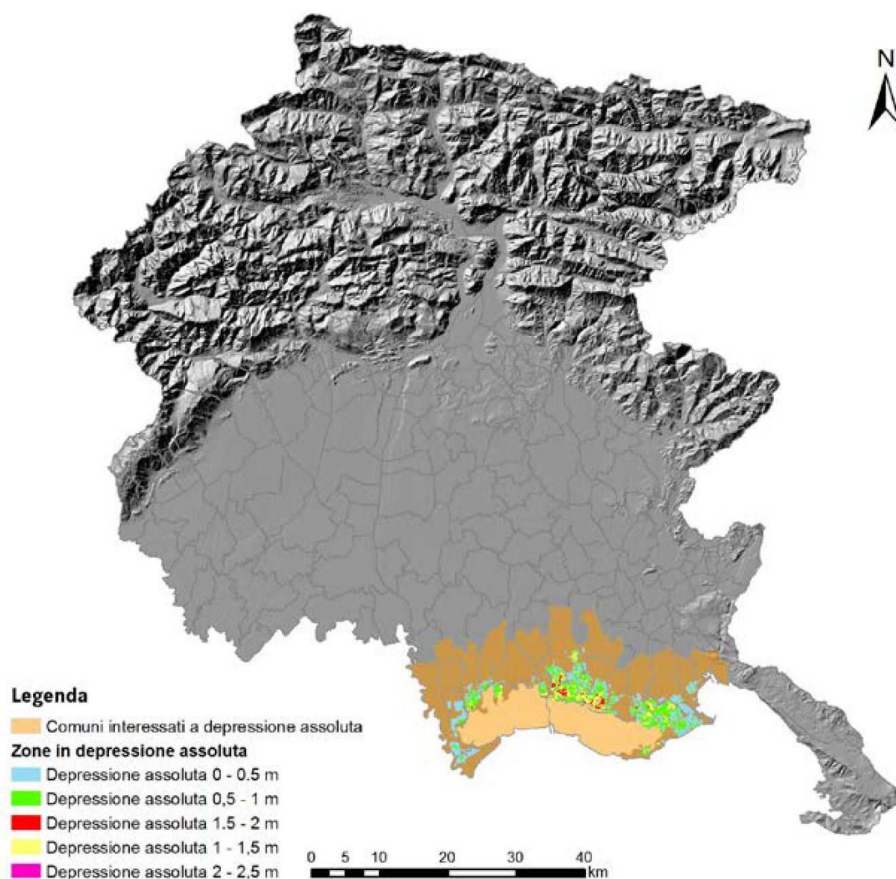


Figura n° 29: Carta delle aree a depressione assoluta (da: "Vulnerabilità naturale del Friuli Venezia Giulia", Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente ed Energia, Anno 2015).

Nella Regione Friuli Venezia Giulia sono n° 17 i Comuni con aree a depressione assoluta (dati Progetto Carta Geologico Tecnica), per lo più conseguenza delle avvenute bonifiche; le aree che si affacciano sul mare e sulla laguna sono difese da arginature che si estendono su tutto il fronte tra il Tagliamento e l'Isonzo, mentre nelle zone interne è operativo un sistema di idrovore al cui funzionamento è vincolato il mantenimento dello stato delle aree depresse più prossime alla laguna.

La vulnerabilità di questi territori è imputabile alla subsidenza, alla presenza di fenomeni erosivi localizzati anche per la presenza di popolazioni di nutrie le cui tane ipogee favoriscono fenomeni di infiltrazioni, cedimenti ed occlusione dei canali.

Effettuando l'intersezione con le aree topografiche a quote negative, ovvero al di sotto dello zero idrometrico, si identificano n° 17 Comuni che presentano zone a depressione assoluta.

Comuni interessati	Zone interessate
Aquileia, Carlino, Cervignano del Friuli, Fiumicello, Grado Latisana, Lignano, Marano Lagunare, Monfalcone, Muzzana del Turgnano, Palazzolo dello Stella, Precenico, San Giorgio di Nogaro, Terzo di Aquileia, Torviscosa, San Canzian d'Isonzo, Staranzano.	Bassa pianura friulana

Figura n° 30: Comuni interessati da aree a depressione assoluta (da: "Vulnerabilità naturale del Friuli Venezia Giulia", Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente ed Energia, Anno 2015).

Nelle allegate Tavole (Carta Geomorfologica ed Idrogeologica) sono riportate con maggiore dettaglio le aree depresse.

4. GEOLOGIA TECNICA

La descrizione delle condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e di pericolosità geologica, naturale e sismica del territorio interessato dalla nuova ciclovìa, ha portato ad evidenziare la presenza di una serie di problematiche geologico – tecniche che devono essere adeguatamente valutate nelle successive fasi progettuali.

Le criticità geologico – tecniche da approfondire, per una corretta progettazione degli interventi sono:

- 1) Presenza di terreni caratterizzati da scadenti proprietà geotecniche (argille, argille organiche compressibili etc.);
- 2) Presenza di ammassi rocciosi fratturati e molto fratturati incombenti il tracciato;
- 3) Potenziali fenomeni di amplificazione sismica locale con potenziale liquefazione dei terreni;
- 4) Presenza di falda freatica molto superficiale, a volte coincidente con il piano campagna;
- 5) Aree caratterizzate da difficoltà di drenaggio e/o soggette a fenomeni di esondazione;
- 6) Invarianza Idraulica;
- 7) Zone caratterizzate da opere esistenti (arginature) danneggiate e/o in precario stato di conservazione;
- 8) Attraversamenti di opere viarie e/o corsi d'acqua con opere di significativa importanza.

La Progettazione di nuove opere e/o la Progettazione degli interventi dovranno prendere in considerazione le condizioni geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche del sito nonché le caratteristiche geotecniche dei terreni a seguito idonee indagini geotecniche e le relative Relazioni Geologiche dovranno seguire gli Standard minimi metodologici previsti dalle Linee Guida NCT per la redazione di Relazioni Geologiche e Relazioni Geotecniche dell' Ordine dei Geologi della Regione Friuli Venezia Giulia.

4.1. Terreni con scadenti proprietà geotecniche

In tutti i casi in cui siano previsti nuovi carichi applicati e/o interventi che modificano la modalità di carico e la sua applicazione al terreno (e/o nel caso di nuove opere) dovranno essere effettuate idonee indagini geotecniche volte a definire i parametri fisico meccanici, geotecnici e di deformazione dei terreni per la progettazione delle fondazioni.

Particolare attenzione dovrà essere posta alle opere da adeguare e/o realizzare che ricadono in zone di affioramento di terreni compressibili argillosi e argilloso limo sabbiosi e di argille organiche (prevalenti nella fascia perilagunare) e/o in tutte quelle situazioni ove non sono presenti indagini pregresse in cui ci siano incertezze sull'assetto litostratigrafico dei terreni.

Le indagini dovranno essere in numero e tipologia adeguata all'importanza dell'opera e dovranno investigare un volume significativo.

Si dovrà fare riferimento al D.M. 17/01/2018 aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" ed alla Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 Gennaio 2019 n° 7 – Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”” di cui al D.M. 17 Gennaio 2018.

4.2. Presenza di ammassi rocciosi fratturati e molto fratturati

Nelle porzioni di Carso e di affioramento della Formazione Flyschoidi in cui la nuova ciclovia andrà ad interessare versanti esposti rocciosi, dovranno essere condotti rilievi geomeccanici e geomorfologici per definire le eventuali opere di protezione dei versanti per la messa in sicurezza della pista ciclabile da possibili fenomeni di caduta massi, trasporto solido lungo le incisioni etc.

4.3. Potenziali fenomeni di amplificazione sismica locale con potenziale liquefazione dei terreni

La progettazione di nuove strutture, modifiche strutturali, ampliamenti etc. dovrà adottare i criteri antisismici di cui al D.M. 17 Gennaio 2018 e alle s.m.i. relative.

Nel Paragrafo 3.2.2 del D.M. 17 Gennaio 2018 si riporta: *“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, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s 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 V_s 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, $V_{s,eq}$ (in m/s)”

Qualora le condizioni stratigrafiche non siano riconducibili, anche dopo apposite indagini, alle categorie di terreno semplificate, dovranno essere effettuate, a seconda dell'importanza dell'opera, analisi che permettano di definire la “Risposta Sismica Locale (RSL)” e la predisposizione degli spettri di accelerazione sito specifici.

In riferimento alla "Liquefazione dei terreni" dovranno essere eseguite valutazioni sulle opere e, qualora non possano essere escluse le condizioni predisponenti, si dovranno prevedere verifiche alla liquefazione tramite indagini specifiche ed elaborazioni secondo modelli e/o formulazioni riconosciute.

4.4. Presenza di falda freatica a debole profondità a volte coincidente con il piano campagna

In corrispondenza del tracciato lungo le piane alluvionali della Provincia di Trieste (piana del Rio Ospio – Rio Rosandra) in corrispondenza del Lisert (Comune di Monfalcone) e per gran parte del tracciato, la prima falda acquifera (a volte adunamenti acquiferi legati alla variabile permeabilità dei litotipi), si attesta a profondità compresa tra 0.0 e 2.0 metri circa.

Nelle aree perilagunari e nelle zone di risorgenza inoltre sono presenti terreni spesso infrigiditi, con terreni saturi a partire dal p.c.

Gli scavi necessari per la realizzazione dell'opera dovranno prevedere la presenza di acqua a fondo scavo anche con cospicue venute e quindi prevedere tutte le opere di aggettamento necessarie ("well-point" – pompe autoadescanti etc.).

Dovranno inoltre essere valutate, in sede progettuale, eventuali alterazioni che le nuove opere possono comportare sull'assetto idrogeologico dell'area con possibili alterazioni del normale deflusso, innalzamenti e/o stagnazioni di acqua sotterranea, malfunzionamento o allagamenti di aree per drenaggio non più garantito.

4.5. Aree caratterizzate da difficoltà di drenaggio e/o soggette a fenomeni di esondazione

Nelle zone depresse e/o caratterizzate da plaghe di terreni impermeabili (argille) sono possibili allagamenti per difficoltà di drenaggio come pure sono presenti zone che in occasione di eventi meteorici eccezionali e non, vengono interessate da esondazioni talora con lame d'acqua.

Il tracciato dovrà essere attentamente valutato con una adeguata progettazione degli interventi di salvaguardia dal pericolo di esondazione con realizzazione di nuove opere di drenaggio.

4.6. Invarianza Idraulica

Ai sensi del D.P.R. 27 Marzo 2018 n° 083/Pres - "Regolamento recante disposizioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica di cui all'articolo 14, comma 1, lettera k) della legge regionale 29 aprile 2015, n. 11 (Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque)" – le trasformazioni in Progetto dovranno tenere conto dell' "Invarianza Idraulica" ovvero prevedere misure compensative, tenendo inoltre presente le condizioni idrogeologiche locali (falda superficiale).

Dovranno pertanto essere prodotti Studi di Compatibilità Idraulica per tutte quante le opere che ricadano in un ambito di significatività come da Tabella allegata.

Livello di significatività della trasformazione art. 5	Trasformazioni urbanistico-territoriali			Trasformazioni fondiarie art.2, c.1 lettera e)
	Strumenti urbanistici comunali generali e loro varianti art.2, c.1 lettera a)	Piani territoriali infraregionali, piani regolatori portuali, piani regolatori particolareggiati comunali art.2, c.1 lettera b)	Interventi edilizi art.2, c.1, lettere c), d)	
NON SIGNIFICATIVO oppure TRASCURABILE art. 5, c. 3	$S \leq 500 \text{ mq}$ oppure $S > 500 \text{ mq}$ e Ψ_{medio} rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	$S \leq 500 \text{ mq}$ oppure $S > 500 \text{ mq}$ e Ψ_{medio} rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	$S \leq 500 \text{ mq}$ oppure $S > 500 \text{ mq}$ e Ψ_{medio} rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	$S \leq 1.0 \text{ ha}$ oppure $S > 1.0 \text{ ha}$ e Ψ_{medio} rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...
CONTENUTO	$500 \text{ mq} < S \leq 1000 \text{ mq}$	$500 \text{ mq} < S \leq 1000 \text{ mq}$	$500 \text{ mq} < S \leq 1000 \text{ mq}$	
MODERATO	$1000 \text{ mq} < S \leq 5000 \text{ mq}$	$1000 \text{ mq} < S \leq 5000 \text{ mq}$	$1000 \text{ mq} < S \leq 5000 \text{ mq}$	$1.0 \text{ ha} < S \leq 10 \text{ ha}$
MEDIO	$0.5 \text{ ha} < S \leq 1 \text{ ha}$	$0.5 \text{ ha} < S \leq 1 \text{ ha}$	$0.5 \text{ ha} < S \leq 1 \text{ ha}$	$10 \text{ ha} < S \leq 50 \text{ ha}$
ELEVATO	$1 \text{ ha} < S \leq 5 \text{ ha}$ oppure $S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{\text{medio}} < 0.4$	$1 \text{ ha} < S \leq 5 \text{ ha}$ oppure $S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{\text{medio}} < 0.4$	$1 \text{ ha} < S \leq 5 \text{ ha}$ oppure $S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{\text{medio}} < 0.4$	$S > 50 \text{ ha}$
MOLTO ELEVATO	$S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{\text{medio}} \geq 0.4$	$S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{\text{medio}} \geq 0.4$	$S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{\text{medio}} \geq 0.4$	

Figura n° 31: “Tabella dei livelli di significatività delle trasformazioni” allegata nell’ Allegato 1 al Regolamento recante disposizioni per l’applicazione del principio dell’invarianza idraulica.

4.7. Zone caratterizzate da opere esistenti (arginature) danneggiate e/o in precario stato di conservazione

Il percorso utilizza le sommità arginali (fluviali e/o di protezione dalle mareggiate dell’area perilagunare) che in molti casi risultano danneggiati sia per vetustà ed inadeguatezza dell’opera stessa sia per scarsa manutenzione (molti tratti sono oramai colonizzati alla base dalla vegetazione anche di alto fusto) che danneggiati da colonie di nutrie che con le loro tane hanno progressivamente indebolito la struttura con cavità e gallerie che possono indurre fenomeni di sifonamento. In tali tratti risultano necessarie verifiche sullo stato di integrità dell’argine ricorrendo ad idonee indagini e prove geotecniche; la Progettazione, di concerto con gli Enti Gestori, dovrà tenere conto della necessità di rinforzo/adequamento nuova quota degli argini.

4.8. Attraversamenti di opere viarie e/o corsi d’ acqua con opere di significativa importanza

Gli attraversamenti di opere viarie e/o dei corsi d’ acqua lungo il tracciato avverrà sia, ove possibile, utilizzando le strutture viarie esistenti, sia realizzando nuove opere per la cui Progettazione dovranno essere realizzate le indagini geognostiche e studi che permettano di definire il contesto geologico (“Modello Geologico”) e le caratteristiche geotecniche dei terreni (“Modello Geotecnico”) ai sensi del D.M. 17/01/2018 e della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21/01/2019 n° 7.

Si riportano di seguito schede sulle caratteristiche litologico – tecniche dei vari attraversamenti individuati, elaborate sulla base dei dati geologici a disposizione (derivanti dalla bibliografia, da precedenti interventi effettuati nel comprensorio e sulla base di sopralluoghi tecnici).