



REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA  
COMUNE DI TRIESTE



# NUOVA STRADA DI COLLEGAMENTO TRA LA SS202 "TRIESTINA" EX GVT E IL NUOVO POLO OSPEDALIERO DI CATTINARA-BURLO

COD. OPERA 09122-09123

## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Codice elaborato

PF R 2

scala

Emissione

Data 25.03.2019

Redatto StN

Controllato A.N.

Approvato A.N.

Titolo elaborato

Relazione geologico/geotecnica

Codice progetto

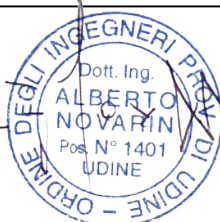
520

Nome file

520-Cartigli relazioni.dwg

Firme

PROGETTISTA:  
dott. ing. Alberto Novarin



COMMITTENTE:  
Comune di Trieste

rev.	data	redatto	controllato	approvato	oggetto revisione
01					
02					
03					
04					
05					



Studio Novarin s.a.s.

via Daniele Manin, 10 - 33100 Udine - Tel. 0432 421013 - Fax 0432 1840008 - E-mail: studio@novarin.net

## COMUNE DI TRIESTE



### INDAGINI DI CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

#### NUOVA VIABILITÀ DI ACCESSO AL COMPENSO OSPEDALIERO DI CATTINARA

#### STUDIO DI FATTIBILITÀ

#### 1. PREMESSA

In data 29.8.2018 (Reg. Det. Dir. n° 2058/2018 – Prot. Corr. n° N-OP.09123-71-2018/11362) il Comune di Trieste ha affidato al sottoscritto l'incarico per l'esecuzione delle indagini di caratterizzazione geologico-geotecnica e sismica necessaria alla progettazione di fattibilità tecnica economica della nuova strada di collegamento tra la SS 202 "Triestina" ex GVT e il nuovo Polo Ospedaliero di Cattinara-Burlo (Figg. 1.1 e 1.2).

Il suddetto incarico prevede anche:

- la redazione di una relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica e sismica dell'area (in accordo a quanto disposto dal D.M. 17.01.2018 e della L.R. n. 16/2009);
- la redazione di una relazione geologica illustrativa delle attività svolte, descrittiva ed interpretativa dei dati geognostici, sismici e del laboratorio geotecnico acquisiti;

-la redazione di una planimetria con l'ubicazione delle indagini e delle sezioni geologico-interpretative.

A conclusione delle indagini sono state messe a disposizione dello scrivente i risultati di una campagna geognostica eseguita dalla ditta In Situ srl per conto della Azienda Sanitaria Universitaria Integrata (ASUITS) di Trieste nel novembre 2018. I dati più significativi per le finalità di questo lavoro sono stati riportati nel paragrafo 7 e ripresi nei paragrafi conclusivi 8 e 9.

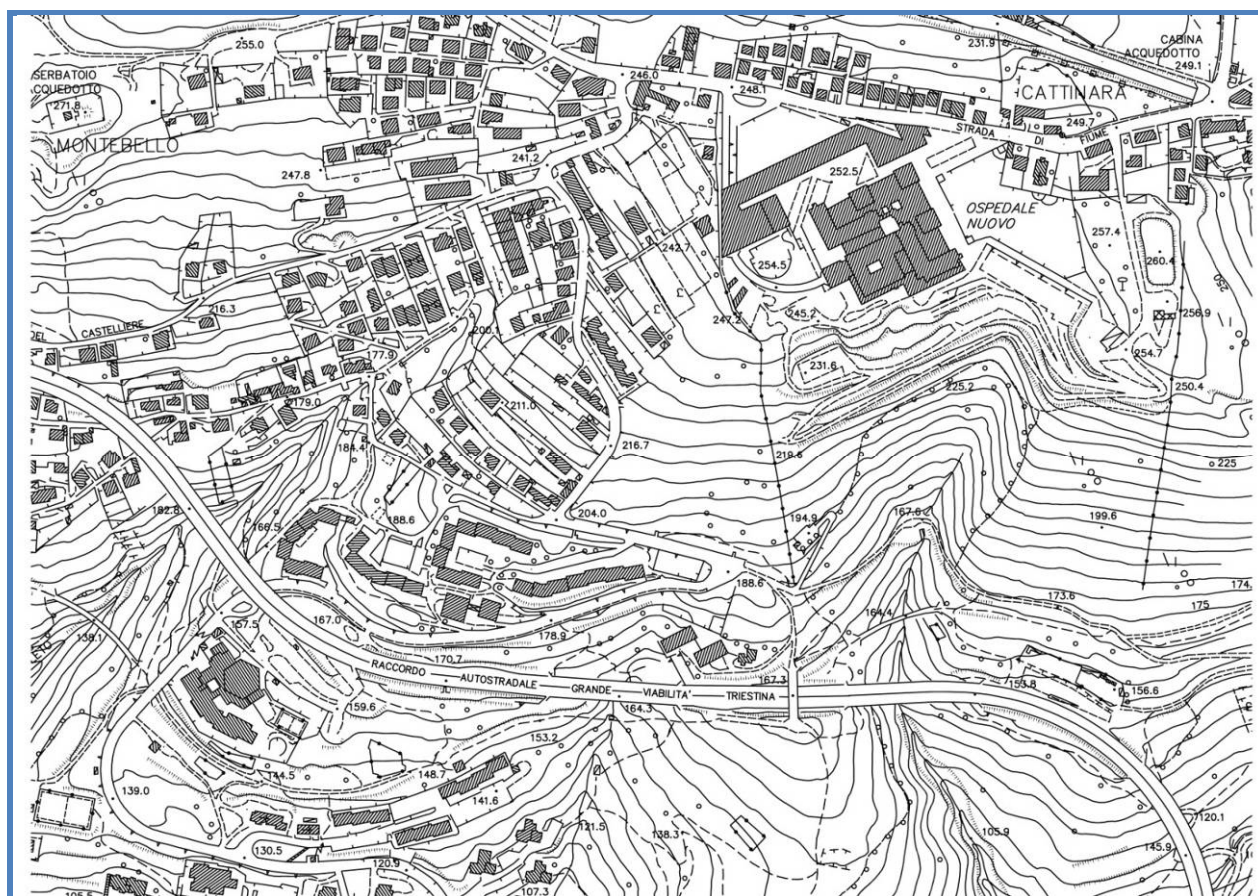


Fig. 1.1 – L'attuale area del Polo Ospedaliero di Cattinara-Burlo

### 1.1 BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto, a firma dell'ing. Novarin, consiste nella realizzazione di una strada (pendenza massima del 5%) di collegamento tra la SS 202 (Grande Viabilità Triestina) e il nuovo Polo Ospedaliero di Cattinara-Burlo (Fig. 1.2).

In particolare, è prevista la costruzione di 3 nuove rotatorie (R1, R2 e R3). La prima è ubicata in via delle Alpi Giulie, in prossimità della Scuola Elementare/Media e della palestra Don

Milani. La R2 è prevista poco più a monte, in corrispondenza del tornante nel quale la via delle Alpi Giulie prende il nome di via Rio Storto. La posizione della R3 si trova a ridosso, sotto il Polo Cardiologico dell’Ospedale di Cattinara.

Dalla rotatoria R1 sarà realizzata una strada corredata da una serie di rampe per ottenere un collegamento completo tra la Grande Viabilità Triestina e la via delle Alpi Giulie. Dalla R2 (quota di 190 m circa) un altro tratto della nuova strada raggiungerà la rotatoria R3 (quota 233 m circa). La lunghezza di questo tratto, caratterizzato dalla presenza di due tornanti, sarà di 840 m circa (Fig. 1.2).

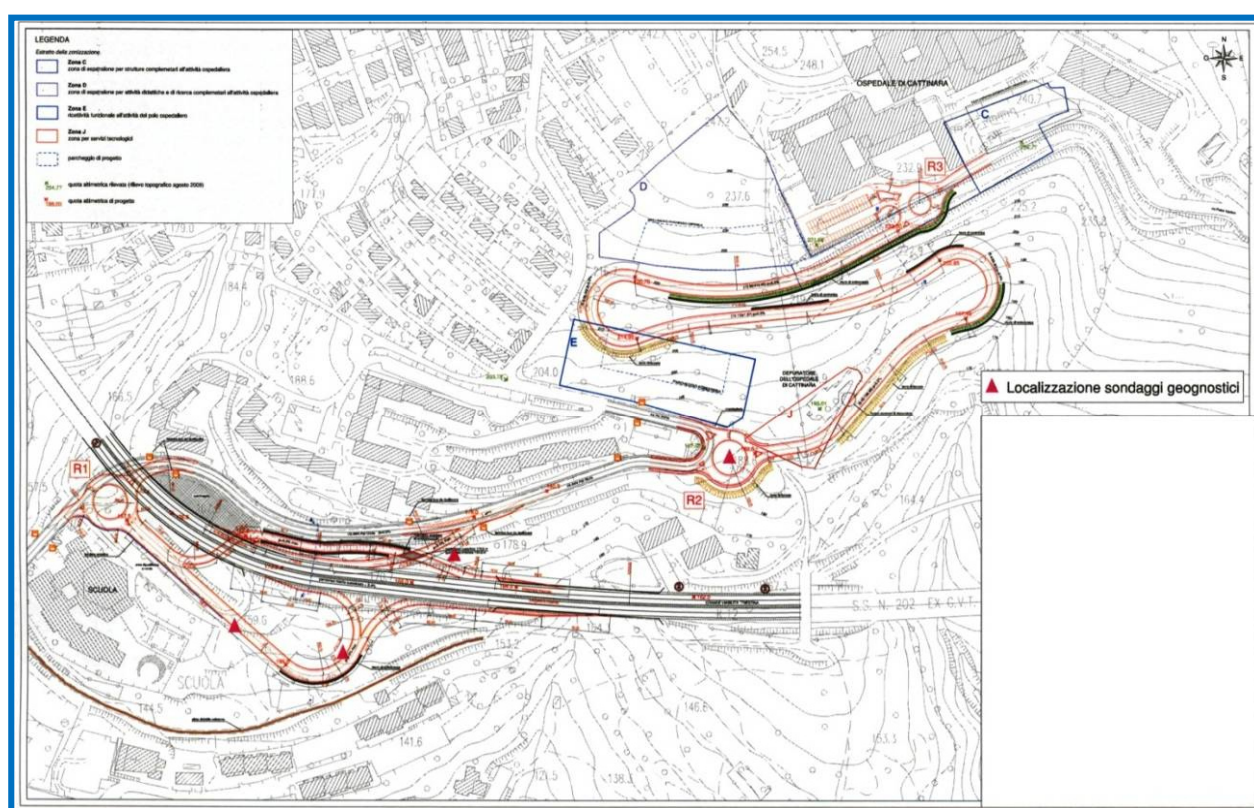


Fig. 1.2 – Tracciato della nuova strada con le ubicazioni dei punti dei sondaggi (triangoli rossi) indicati dalla Committenza

Si fa presente che, nel corso del lavoro, da parte del progettista ing. Novarin è pervenuta una pianta con un tracciato alternativo del tratto a monte della rotatoria R3, rispetto a quello indicato nella Fig. 1.2. Questa nuova soluzione, presentata in Fig. 11.3, è discussa nel par. 11.

## 2. INDAGINI PREVISTE DALL'INCARICO

Lungo il tracciato della nuova strada (Fig. 1.2), l'incarico per lo studio di caratterizzazione geologica prevede la programmazione, l'esecuzione e l'interpretazione di una serie di indagini geognostiche, geotecniche e sismiche di seguito così precisate.

### 2.1 Sondaggi meccanici

Per la definizione dell'assetto litostratigrafico e geolitologico dell'area è stata programmata l'esecuzione di n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti sino alla profondità di 15 m circa dal p.c. Le prospezioni sono integrate da prove geotecniche in foro S.P.T. (Standard Penetration Test) e dal prelievo di campioni indisturbati, destinati alle analisi di laboratorio geotecnico. Le posizioni dei sondaggi originariamente indicate sono evidenziate in Fig. 1.2. Tuttavia, a causa di varie difficoltà per raggiungere i punti prescelti, in accordo con la Committenza, alcuni dei siti sono stati, seppur di poco spostati; le ubicazioni definitive e le coordinate GPS sono descritte nel successivo paragrafo 6.1.

Inoltre, l'incarico ha richiesto anche la posa in opera di un tubo piezometrico microfessurato per la verifica della quota della falda.

In dettaglio, sono state programmate le seguenti operazioni:

- Approntamento e trasporto A/R dell'attrezzatura di perforazione, compreso il personale addetto, l'allestimento e il disallestimento del cantiere.
- Installazione dell'attrezzatura di perforazione in corrispondenza di ciascun punto di indagine.
- Perforazione a carotaggio continuo in terreni incoerenti grossolani e/o coesivi ad andamento verticale, con carotiere diametro 101 mm, compreso l'onere di rivestimento del foro di diametro 127 mm, per le profondità da 0.0 a - 20.0 m dal p.c.
  - Perforazione a carotaggio con l'utilizzo di doppio carotiere.
  - Perforazione a carotaggio con l'utilizzo di corona diamantata.
  - Fornitura di cassette catalogatrici atte a contenere 5.0 m di terreni di perforazione.
  - Esecuzione di una prova S.P.T. (Standard Penetration Test) in foro nel corso delle attività di perforazione.
  - Acquisizione dei parametri speditivi mediante Pocket Penetrometer e Tore Vane Test e redazione della relativa stratigrafia di perforazione da parte di Geologo abilitato, con riconoscimento litostratigrafico e geolitologico, formazione della relativa documentazione fotografica a colori; esecuzione di rilievo topografico di dettaglio del punto di sondaggio mediante strumentazione GPS per la sua georeferenziazione.
- Prelievo di campioni indisturbati nel corso delle attività di perforazione mediante campionatore tipo Osterberg o Shelby, compresa la fornitura della fustella; refertazione, confezionamento ed avviamento al laboratorio geotecnico dei campioni così formati.
  - Fornitura e posa in opera di n. 1 tubo piezometrico microfessurato diametro 3" nel foro di un sondaggio, comprensivo dei dreni e tappi impermeabili.
  - Fornitura e posa in opera di n. 1 chiusino metallico protettivo in ABS in corrispondenza del sondaggio armato con tubo piezometrico.

## 2.2 Laboratorio geotecnico

Nel laboratorio geotecnico sono state programmate le seguenti operazioni:

- Apertura del campione indisturbato
- Fotografia a colori del campione
- Determinazione del contenuto d'acqua allo stato naturale
- Determinazione della massa volumica naturale con fustella tarata
- Analisi granulometrica per via umida per vagliatura
- Analisi granulometrica mediante sedimentazione con aerometro
- Determinazione congiunta limite liquidità e plasticità (Atterberg)
- Determinazione del peso specifico dei grani
- Prova di compressione espansione laterale libera E.L.L.
- Prova triassiale consolidata - non drenata (CU)
- Rapporti di prova
- Smaltimento materiali

## 2.3 Prospezioni sismiche

Per quanto riguarda le prospezioni sismiche, sono stati programmati ed effettuati i seguenti interventi:

- Esecuzione di 2 prospezioni geofisiche di tipo sismico HVSR, con acquisizione mediante geofono triassiale del rumore sismico naturale, definito microtremore, con identificazione del rapporto tra le frequenze della componente verticale (V) ed orizzontale (H) per stimare l'effetto dell'assetto geologico locale sull'amplificazione di un evento sismico, ovvero quali siano le frequenze di sito amplificabili da un sisma.

- Esecuzione di 2 prospezioni geofisiche di tipo sismico MASW/HS (HoliSurface) per la verifica dei valori di velocità delle onde "s" finalizzata all'identificazione dei parametri delle onde di taglio  $V_{seq}$  sino alla profondità di 30 m dal p.c. e alla caratterizzazione sismica dell'area, conforme a quanto disposto dal D.M. 17.01.2018

### 3. UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME E VINCOLI

L'area scelta per la realizzazione delle rampe di collegamento con la sopraelevata, delle rotatorie e del tratto stradale che permetterà di raggiungere il comprensorio ospedaliero di Cattinara comprende un settore del pendio posto tra la scuola Elementare/Media di Altura (quota 160 m circa) e il crinale del colle di Montebello (quota 255 m circa), le cui pendici meridionali si estendono verso la zona industriale di Trieste (Fig. 1.1).

Per quanto riguarda lo Studio Geologico del P.R.G.C. di Trieste, risulta che nella Carta della Zonizzazione Geologico-Tecnica (GZ-Tavv. 6 e 7), allegata a questo strumento urbanistico, tutta l'area è inserita nella Zona ZG6 ed è edificabile. Tuttavia, particolare attenzione dovrà essere posta per evitare che la parte alta del tracciato, sotto il polo ospedaliero, vada ad interferire con le zone ZG1 (non edificabili), segnalate in corrispondenza degli alvei (Fig. 3.1).

Nella classe GZ6 rientrano le aree in facies di flysch marnoso-arenaceo, nelle quali sono segnalate alcune problematiche geologiche, quali tra l'altro:

- assetto giaciturale irregolare;
- elevata variabilità delle caratteristiche geomeccaniche sia per anisotropia che per grado di fratturazione, detensionamento e alterazione;
- presenza di percolazioni di acqua anche in pressione;
- potenziali instabilità superficiali puntuali.

Le aree della classe GZ1 sono caratterizzate da alcune criticità geologiche, tra l'altro:

- alvei dei principali corsi d'acqua;
- principali linee d'impluvio.



Fig. 3.1 – Stralcio della Carta della Zonizzazione geologico-tecnica (GZ-Tav. 7). In rosso sono evidenziate le zone non edificabili ZG1, in corrispondenza degli alvei dei rii (da W a E) Spinoletto, Marcese e Storto; le altre zone sono ZG6, edificabili. Le linee blu corrispondono al tracciato indicativo della strada.

Dalla Carta dei Vincoli (A5 - Tavv. 6 e 7), risulta che tutta l'area d'interesse è sottoposta a Vincolo idrogeologico R.D.L. 3267/23. Alcuni settori sono ricoperti da vegetazione boschiva (Art. 142 comma I lett. g), altri sono inclusi nelle fasce di 150 m di pertinenza dei corsi d'acqua (Art. 142 lett. c) rii Spinoletto e Marcese. Infine, per quanto riguarda i Vincoli Particolari si segnala la presenza di due zone definite come "Aree percorse dal fuoco" – L. 353/00 e s.m.i. (Fig. 3.2).

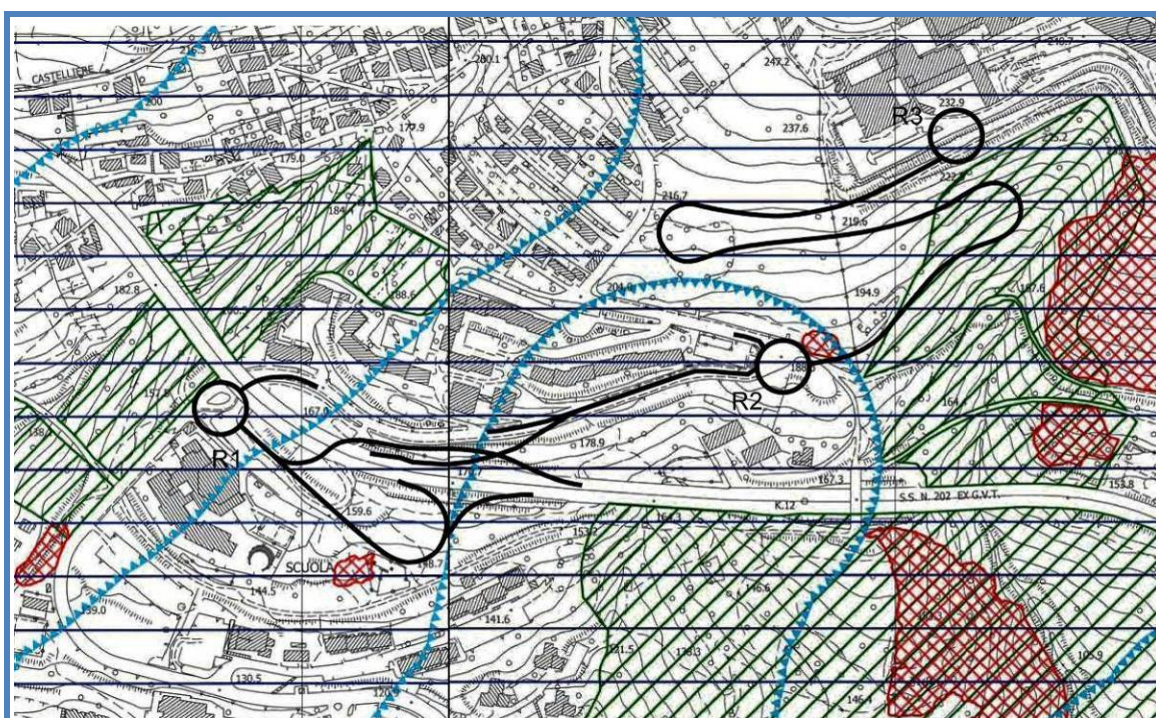


Fig. 3.2 – Stralcio della Carta dei Vincoli (A5 - Tavv. 6 e 7) con gli ambiti riconosciuti nell'area in esame. Le linee in colore nero indicano il tracciato indicativo della strada.

Nella Carta della Zonizzazione (PO2 - Tavv. 6 e 7) nell'area in esame sono stati individuati i seguenti ambiti (Fig. 3.3):

- S1 - Attrezzature per la viabilità e i trasporti.
- S4 - Attrezzature per assistenza e sanità all'interno di un sito riproduttivo e corridoio ecologico (questo evidenziato da una linea azzurra).
- S5 - Attrezzature per il verde, lo sport e gli spettacoli all'aperto.
- E3 - Aree agricole forestali in ambiti silvo-zootecnici.
- F2 - Aree di tutela ambientale di ambiti boschivi.



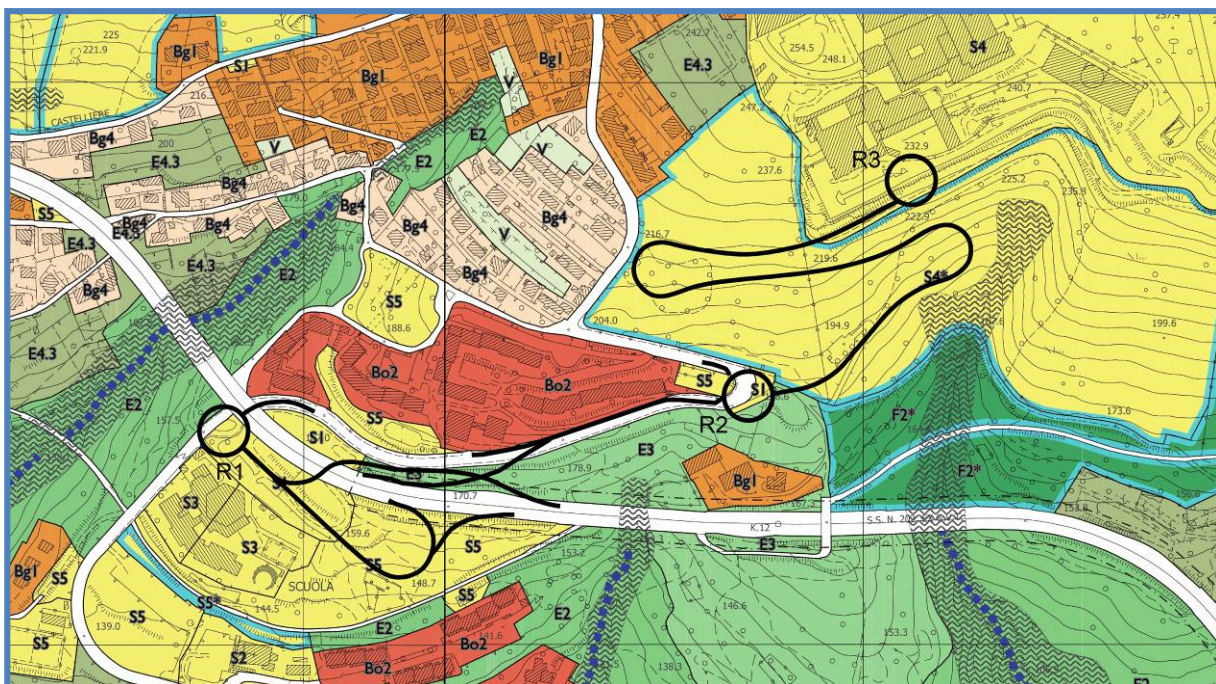


Fig. 3.3 – Stralcio della Carta della Zonizzazione (PO2 - Tavv. 6 e 7) con gli ambiti riconosciuti nell'area in esame. Le linee in colore nero indicano il tracciato indicativo della strada.

#### 4. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

Per l'inquadramento geologico dell'area sono stati utilizzati i risultati dei vari sopralluoghi (rilevamento geologico e morfologico) effettuati nella zona. Ma si è fatto anche ampio riferimento alle relazioni eseguite nell'ambito dello studio "Allegati tecnici all'accordo di programma per il Comprensorio dell'Ospedale di Cattinara" (2008), coordinato dall'arch. Cordara. Questi rapporti sono stati redatti dai dott. geol. Marassi e Pascutti (Relazione Geologica) e Pilat (Indagine Geofisica).

Altre valutazioni generali sull'area derivano dalla "Relazione Geologica" realizzata dal sottoscritto nel 2013 per la gara per la "Riquilificazione dell'ospedale di Cattinara e realizzazione della nuova sede del Burlo Garofolo".

##### 4.1 SISMICITÀ DELLA ZONA

In base al D.G.R. n. 845 del 6 maggio 2010 (B.U.R. 19/05/2010 n. 20) - Classificazione delle zone sismiche e indicazione delle aree di alta e bassa sismicità ai sensi dell'art 3, comma 2, lett. a della Legge Regionale del Friuli Venezia Giulia n. 16/2009, il Comune di Trieste è inserito in zona sismica 3, area a bassa sismicità, con valori di accelerazione  $0,05 < a_g < 0,175$  (Fig. 4.1).

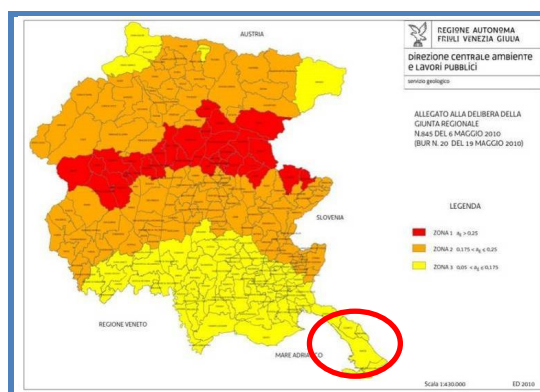


Fig. 4.1

##### 4.2 MORFOLOGIA

La morfologia originale del colle di Montebello è stata molto modificata dall'intensa azione antropica. In particolare, nella parte sommitale le variazioni sono dovute dapprima agli insediamenti abitativi e alle linee di comunicazione, successivamente alla realizzazione del

complesso ospedaliero. Sui versanti le modifiche più rilevanti sono quelle apportate dalla Grande Viabilità.

A causa di tutti questi interventi attualmente allo stato naturale rimane, in parte, solo il versante meridionale del colle, sino all'altezza della dismessa linea ferroviaria Trieste Campo Marzio-Erpelle (pista ciclabile).

Venendo alla fascia di versante interessata dalla strada in progetto, questa è rappresentata da un vasto territorio delimitato a W dalla via Alpi Giulie, a N dal Dipartimento di Cardiologia dell'Ospedale di Cattinara, ad E dall'impluvio del Rio Storto e a S dalla pista ciclabile sopra citata. In questa area insistono numerose importanti strutture (scuola elementare e media di Altura, palestra Don Milani, case di civile abitazione, depuratore, ecc.), collegate tra loro da sentieri o da strade, alcune delle quali (vie Alpi Giulie, Rio Storto e Botro) permettono di raggiungere l'ospedale di Cattinara da S. Inoltre, rimanendo sulla rete viaria della zona, va citata la presenza di una rilevante infrastruttura rappresentata dalla strada sopraelevata della Grande Viabilità Triestina, che attraversa quest'area del versante in direzione E-W.

Come già accennato, per la realizzazione di queste opere la morfologia di alcuni settori dei versanti è stata notevolmente modificata, mentre le zone rimaste integre sono caratterizzate da una vegetazione arbustiva e boschiva rigogliosa e in continua espansione.

In particolare, l'area in studio può essere distinta in due parti: quella sud-occidentale sede della scuola e della sopraelevata, che sarà interessata da una rotatoria e dai raccordi, e quella settentrionale, a sud del complesso ospedaliero, in cui sarà realizzata la strada e le rotatorie.

**L'area sud-occidentale** si sviluppa in senso trasversale al pendio, a valle della via Alpi Giulie, e al di sotto della citata sopraelevata tra le quote di 180 e 145 m circa. La morfologia originale, caratterizzata da ampi pastini destinati all'agricoltura, è stata notevolmente modificata per la costruzione della scuola e della palestra, nonché per la realizzazione dei piloni della sopraelevata.

Le pendenze del versante, fino alla sottostante pista ciclabile, sono moderate (6° circa). Gli interventi per l'inserimento del complesso scuola-palestra e della citata viabilità sono evidenziati dai rilevanti sversamenti di materiali di riporto, anche molto grossolano (pietrame e blocchi di calcestruzzo). Questi movimenti terra hanno creato una modesta scarpata e aree pianeggianti (una è usata come posteggio), poste nelle immediate vicinanze dell'ampia curva della via Alpi Giulie.

A SE del sito scolastico, fino alle sottostanti case di Altura, il pendio è ricoperto da una fitta vegetazione boschiva, tipica della zona (robinie, roverelle, rovi, etc.). È contraddistinto da un susseguirsi di modesti avvallamenti e piccole radure, quest'ultime interrotte da una bassa scarpata lungo la pista ciclabile.

Non sono evidenti solchi significativi causati da fenomeni di ruscellamento.

Il terreno superficiale, di natura limoso-sabbiosa e localmente commisto a riporti, ingloba frammenti litoidi per lo più arenacei, ad indicare che il substrato flyschoidale si trova ad una profondità ridotta, ma non permette alcuna osservazione diretta delle caratteristiche del flysch.

Il **settore settentrionale** è situato a S del complesso ospedaliero di Cattinara.

La morfologia, nella sua parte orientale, è condizionata dalla presenza di un ramo del rio Storto la cui sorgente è ubicata in prossimità dell'ospedale. In questo settore le pendenze sono piuttosto accentuate, dell'ordine di 20°-25°.

Il versante compreso tra la via del Botro e la via Rio Storto, posto tra le quote 247 e 188 m circa, è caratterizzato da una topografia piuttosto regolare con pochi avvallamenti e priva di significativi impluvi; la pendenza media è di 14° circa. In quest'area, a quota 216 m circa, alcuni lavori di spianamento effettuati da poco, hanno ridotto la pendenza e, nel contempo, eliminato alcune alberature che, tuttavia, si ritrovano rigogliose e a macchia più a valle.

Nelle immediate adiacenze del Centro Cardiologico la morfologia del pendio ha risentito dell'intervento antropico. Infatti, è evidente la presenza di un ampio spianamento realizzato lungo il piede del muro di contenimento della strada, costruito in terra armata. Alla base di quest'area spianata, una ripida scarpata si correla al sottostante versante che, con regolare pendenza (15°-20° circa) e senza evidenti tracce di ruscellamento, raggiunge il sito del depuratore dell'ospedale (quota 195 m circa) e poco più a valle il settore interessato dalla futura rotatoria (curva della via Alpi Giulie). Va ricordato che in questa parte del versante è stato eseguito uno scavo, ripristinato con riporti, per la posa in opera del metanodotto, la cui posizione è evidenziata nella CTR di Fig. 1.1.

**Più ad E dell'area appena descritta, la morfologia del pendio si fa più aspra ed acclive, con forti pendenze in corrispondenza dell'impluvio del rio Storto.**

**Infatti, in conseguenza dei fenomeni erosivi in atto, questo corso d'acqua è caratterizzato da un'evidente incisione del suo alveo e da rive scoscese.**

Cionondimeno, in base alla Carta della Zonizzazione geologico-tecnica (Fig. 3.1), va segnalato che la fascia di versante interessata dal suo corso, classificata come zona ZG1 (non edificabile), non interferisce con il nuovo collegamento viario.

#### 4.3 IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA

Il crinale del colle di Montebello costituisce lo spartiacque tra il torrente Settefontane (posto a N) e i rii Spinoletto, Marcese e Storto (posti a S) e, per tale ragione, alla sommità non sono segnalate morfologie caratterizzate da elevata energia, mentre poco più a valle, verso S, le incisioni dovute ai corsi d'acqua tendono ad accentuarsi.

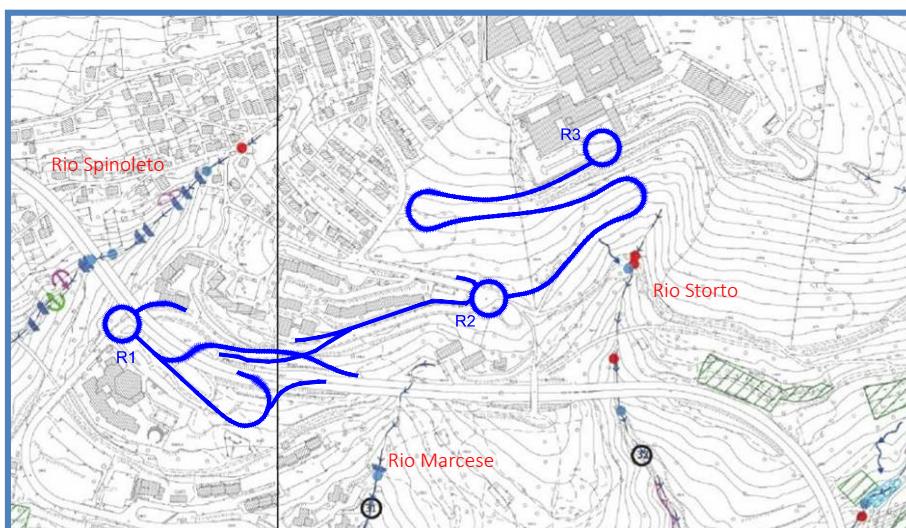


Fig. 4.2 – I corsi d'acqua della zona (stralcio della Carta Geomorfologica e dell'idrografia superficiale Tavv. 6 e 7). In blu il tracciato orientativo della strada in progetto.

Nell'area il corso d'acqua più importante è il rio Storto (Fig. 4.2). Probabilmente impostato su una linea di discontinuità tettonica, nasce a metà del versante meridionale del rilievo di Montebello e presenta un regime torrentizio occasionale, evidenziato da un alveo inciso, solitamente asciutto che si attiva solamente in occasione di precipitazioni intense e prolungate. Più a SW ai margini dell'area in studio si sviluppano con le stesse caratteristiche altri due rii (Marcese e Spinoletto).

L'acqua di pioggia confluisce in parte in queste aste principali, ma soprattutto scorre in superficie, mentre l'infiltrazione è piuttosto limitata, sia per la granulometria fine del terreno di copertura (prodotto dalla degradazione delle marne del complesso flyschoido), sia per l'acclività.

Per tale ragione, una caratteristica importante dell'idrologia di tutto il versante è data dal deflusso superficiale diffuso (*runoff*).

**Questa problematica richiederà l'adozione di validi sistemi di captazione delle acque di ruscellamento a monte dei vari manufatti in progetto (presumibilmente costituiti in buona parte da rilevati) e di smaltimento più a valle.**

La ridotta permeabilità riscontrata nel versante si ritrova anche nelle zone pianeggianti più elevate dell'area (zona ospedale), infatti i sopralluoghi effettuati hanno messo in evidenza una stentata infiltrazione dell'acqua piovana, con la formazione di pozze di ristagno. Questa condizione è stata confermata anche dalla difficoltosa infiltrazione e, quindi, dalla permanenza dell'acqua di perforazione sul piano campagna, osservata nel corso della nostra campagna geognostica.

Sulla base di queste osservazioni e tenendo conto delle caratteristiche dei riporti superficiali, talvolta commisti a significative percentuali di sedimenti fini, si può ritenere che il **valore di "k" sia, orientativamente, compreso tra  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  m/s (permeabilità bassa).**

Per quanto riguarda la situazione idrogeologica, la documentazione acquisita, ed in particolare le indagini geofisiche, hanno messo in evidenza l'assenza di livelli acquiferi in profondità. Queste condizioni sono state confermate anche dai sondaggi meccanici, effettuati nel corso del presente studio, che non hanno rilevato la presenza di acqua nei terreni attraversati. Tuttavia, a questo proposito si deve tener presente che le prospezioni sono state effettuate dopo un periodo di siccità piuttosto prolungato.

Tenendo conto che l'assetto strutturale è caratterizzato da una monoclinale con immersione verso levante, questa situazione presuppone che il bacino di alimentazione delle acque profonde sia localizzato principalmente sul crinale del colle di Montebello. La limitata estensione di questo settore sembra far escludere l'esistenza di una quantità significativa di acque nel sottosuolo in termini di falde freatiche.

Tuttavia, possono essere presenti livelli più imbibiti, soprattutto al contatto tra il terreno sciolto ed il cappellaccio di alterazione. Infatti, di norma, nei terreni flyschoidi l'acqua infiltrandosi nel sottosuolo, raggiunta la roccia, segue le discontinuità litologiche, insinuandosi lungo gli interstrati e i giunti di fratturazione, senza generare una vera e propria falda, ma defluendo verso valle sotto forma di vena. Secondo Pellicciari (1981) il coefficiente di permeabilità del flysch ( $k$ ) è compreso tra  $10^{-5}$  e  $10^{-6}$  m/s.

Indicazioni riguardanti la presenza e le oscillazioni delle acque sotterranee nella zona sono state ricavate dalle misure freatiche eseguite nel piezometro installato nel sondaggio SM1 (cfr. successivo par. 6.1).

Si fa presente che le letture, riportate in Tabella 4.1, sono state eseguite in un periodo inizialmente caratterizzato da una scarsa piovosità. Tuttavia, si può notare che a seguito di alcuni giorni piovosi si è verificato un sensibile innalzamento del livello dell'acqua. Quello maggiore è stato rilevato il giorno 31/10/2018, con la tavola d'acqua posta a 6,43 m dal p.c.

Le altre letture evidenziano modeste oscillazioni, raggiungendo una profondità massima di 7,70 m; si può indicare la profondità di 7,30 m come livello medio in cui si può riscontrare la presenza di vene d'acqua in zona. Tale profondità corrisponde a quella in cui sono state individuate delle alternanze di livelli di arenaria con intrusioni calcitiche e marne nere plasticizzate (cfr. stratigrafia sond. SM1 in All. 1).

TABELLA 4.1

LETTURE CON FREATIMETRO NEL PIEZOMETRO DEL SONDAGGIO SM1 (quota 188,6 m)			
data	ora	profondità (m) rispetto al p.c.	quota (m) rispetto al l.m.m.
20/09/2018	13.00	7,40	181,20
24/09/2018	13.10	7,55	181,05
28/09/2018	12.52	7,42	181,18
08/10/2018	15.50	7.05	181.55
12/10/2018	9.50	7.51	181.09
17/10/2018	8.24	7.58	181.02
22/10/2018	15.10	7.63	180.97
26/10/2018	15.48	7.70	180.90
31/10/2018	12.45	6.43	182.17
08/11/2018	13.15	6.68	181.92
19/11/2018	15.25	7.42	181.18

#### 4.4 GEOLOGIA

Il quadro geologico della zona di Cattinara è presentato nella Fig. 4.3, ridisegnata e integrata in base alla Carta della Geolitologia superficiale del PRGC 2014 del Comune di Trieste.

Il colle di Montebello, ed in particolare il versante che sottende il comprensorio ospedaliero di Cattinara, è caratterizzato dalla presenza di terreni flyschoidi (alternanze arenaceo-marnose di potenza variabile) di età eocenica, sottostanti a coperture di riporti e materiali eluviali di spessore molto variabile.

La formazione flyschoidale, che copre buona parte del territorio urbano di Trieste, costituisce il substrato roccioso della quasi totalità dei depositi eluviali e dei riporti.

Nel versante interessato dalla nuova viabilità il flysch si presenta con una leggera predominanza, negli strati più profondi, del litotipo arenaceo su quello marnoso, con un assetto a traverpoggio nei settori più elevati, e a reggipoggio nella fascia più a valle. Le immersioni sono orientate verso NE e N, con pendenze comprese tra 15° e 45° (Fig. 4.3). L'alta variabilità delle giaciture, anche entro spazi brevi, è quella tipica del flysch triestino.

Per quanto concerne l'assetto giaciturale in corrispondenza dei punti previsti per la costruzione delle nuove rotatorie, si segnala che il settore più occidentale (area scuola di Altura) è quello privo di affioramenti significativi. Questa situazione è la conseguenza dei copiosi sversamenti di materiali di riporto legati agli interventi per la realizzazione della sopraelevata e di altre opere edilizie. Anche i nostri sopralluoghi non hanno evidenziato la presenza del substrato roccioso in superficie. Al contrario, le indagini geologiche effettuate per gli sbancamenti e la costruzione del Polo Cardiologico, hanno permesso di valutare la facies flyschoidale in situ individuandone profondità, giaciture e assetti.

Il litotipo arenaceo, dal tipico colore scuro, è presente in strati di potenza decimetrica (20-30 cm), caratterizzato da una fratturazione concoide, da un'alterazione superficiale e da un fitto reticolo fessurativo. Talora le fessurazioni risultano riempite da calcite spatica.

Il litotipo marnoso, intercalato a quello arenaceo, è presente sotto forma di livelletti brunastri, con spessori centimetrici molto alterati, fittamente fessurati e talora anche plasticizzati.

I depositi di copertura sono costituiti prevalentemente da riporti e da apporti eluviali fini di colore brunastro od ocraceo. Nella parte più elevata del rilievo gli spessori complessivi di questi depositi sono molto variabili, variano da 5 a 8 m circa nei pressi del Polo Cardiologico e sono dell'ordine di 3-4,5 m circa nella fascia di pendio più a valle, ed in particolare nei pressi della scuola e della palestra.



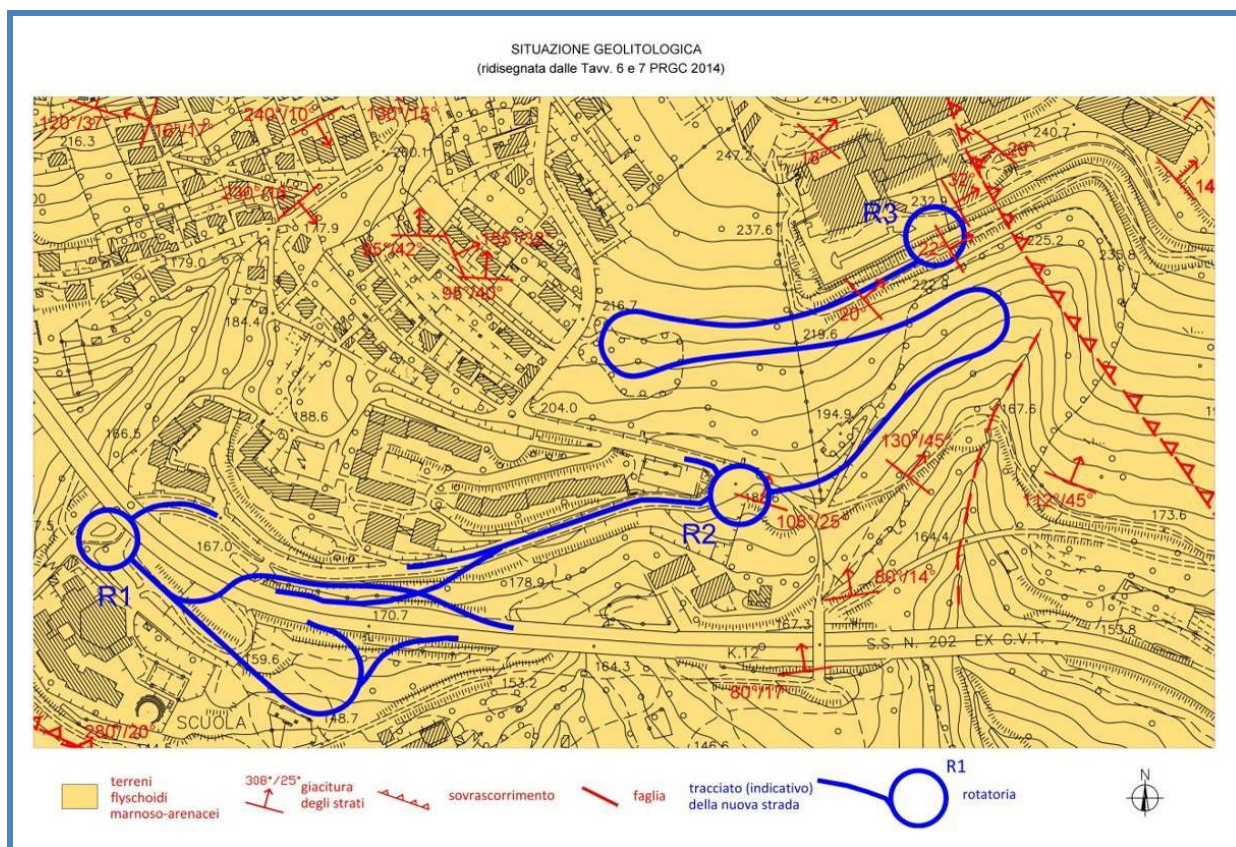


Fig. 4.3 - Carta geologica dell'area di interesse ridisegnata sulla base della Carta della Geolitologia superficiale del PRGC 2014 del Comune di Trieste. In colore ocra è rappresentata la facies flyschoida, in colore rosso sono indicate le giaciture ed i sovrascorrimenti. In colore blu è riportato il tracciato della nuova strada.

Per quanto riguarda il quadro tettonico dell'area (Fig. 4.3), in base alla bibliografia, risulta che una faglia trascorrente sinistra, orientata WNW-ESE, è impostata lungo la strada di Fiume, prossima all'attuale ingresso dell'ospedale (di poco fuori figura). Oltre a questa dislocazione, sono segnalati altri sovrascorrimenti con immersione verso NE, uno dei quali interessa l'area ospedaliera. Nel rapporto del dott. Marassi viene riportata la presenza di altre due modeste dislocazioni: la prima nel settore ad E dell'ospedale, in prossimità dell'eliporto (fuori figura), la seconda (presunta) a valle dell'ospedale, proprio in corrispondenza dell'impluvio del Rio Storto (Fig. 4.3).

La presenza delle faglie e dei sovrascorrimenti riscontrati, a carattere prevalentemente locale, è da collegarsi molto probabilmente a fenomeni di stress tettonico, tipici della formazione flyschoida triestina ma, non essendo attivi, non influenzano significativamente l'area in esame.

#### 4.5 GEOSTATICA

In generale, nel versante meridionale del colle di Cattinara non sono segnalate particolari criticità in termini di stabilità, ciò grazie alle caratteristiche fisiche del substrato, nonché al suo assetto nel complesso favorevole alla stabilità (reggipoggio e traverpoggio).

Alcune verifiche di stabilità (riportate nel successivo par. 5), eseguite dal dott. Marassi nel 2004 in prossimità del complesso ospedaliero, hanno evidenziato una sostanziale stabilità della pendice.

Tuttavia, processi erosivi localizzati e modesti settori instabili sono stati rilevati a valle del complesso ospedaliero, in corrispondenza di alcune incisioni che caratterizzano il versante più ad E, al di fuori dell'area in esame. In particolare, il dott. Marassi rileva, in base all'inclinazione degli alberi, la presenza di un lento *creeping* a lato dell'impluvio del rio Storto. Questo fenomeno coinvolge il terreno sciolto superficiale e, molto probabilmente, parte del cappellaccio di alterazione del flysch.

Durante i sopralluoghi, che hanno riguardato prevalentemente le aree interessate dal progetto stradale, non sono stati osservati dissesti significativi in corrispondenza degli edifici esistenti, dei muri di contenimento e dei pilastri d'appoggio della sopraelevata. Gli stessi versanti (a valle del comprensorio ospedaliero e zona scuola), favoriti anche dalla loro moderata acclività, non presentano tracce di instabilità delle coperture, seppur particolarmente consistenti. Infatti, nel settore non sono stati rilevati nicchie di distacco attive o luoghi in cui possono verificarsi rilasci di blocchi rocciosi né evidenti tracce di ruscellamento attivo.

## 5. INDAGINI GEOLOGICHE PREGRESSE

Per quanto riguarda gli studi geologici eseguiti precedentemente nell'area, questi interessano principalmente il complesso ospedaliero e, quindi, le zone più elevate del versante oggetto di questo studio.

Come già detto, per l'analisi di questo settore sono state utilizzate parti delle relazioni del dott. Ferrati (stratigrafie di sondaggi ambientali), nonché quelle già citate del dott. Pilat (indagini geofisiche) e del dott. Marassi (analisi di stabilità del versante e prove di laboratorio).

### 5.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE AMBIENTALI

Nella sua "Relazione ambientale per utilizzo terreni di scavo" il dott. Ferrati si è avvalso dei risultati di una campagna geognostica effettuata nel 2017 e consistita, tra l'altro, in 14 carotaggi ambientali spinti fino a 3-10 m di profondità dal p.c. Si fa presente che la copertura individuata (sabbie e limi) corrisponde ai materiali rimaneggiati dalle rilevanti opere di urbanizzazione che hanno interessato l'area ospedaliera.

Le ubicazioni delle 2 prospezioni utili per il nostro studio (SA12 e SA13) sono riportate nella Fig. 5.1.

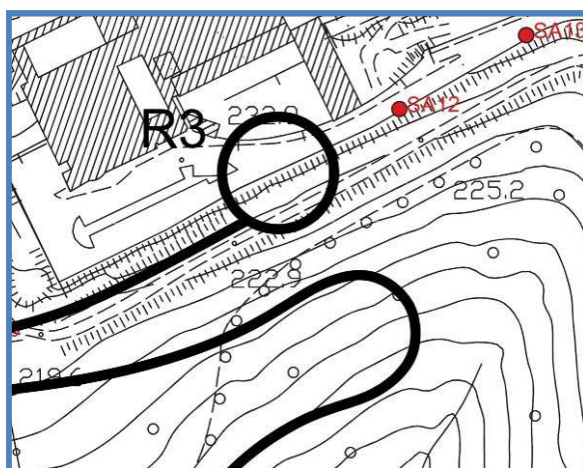


Fig. 5.1- Ubicazione dei sondaggi meccanici eseguiti dal dott. Ferrati (cerchi di colore rosso). In colore nero è riportato il tracciato della nuova strada.

Nella Fig. 5.2 è presentato il log stratigrafico del sondaggio ambientale SA12. I terreni di copertura sono costituiti da riporti, con uno strato superficiale di 2,5 m di sabbia grigia, con ghiaia ad elementi sub angolari e, più in superficie, rari frammenti di laterizio.

Al di sotto, fino a 4,9 m di profondità, segue un livello di limo argilloso con ghiaia, con alla base un trovante o una soletta di calcestruzzo di 0,5 m di spessore. Oltre la profondità di 5,4 m è presente dapprima, per un metro circa, il flysch marnoso-arenaceo molto alterato e degradato e, da - 6,4 m, il flysch sano.

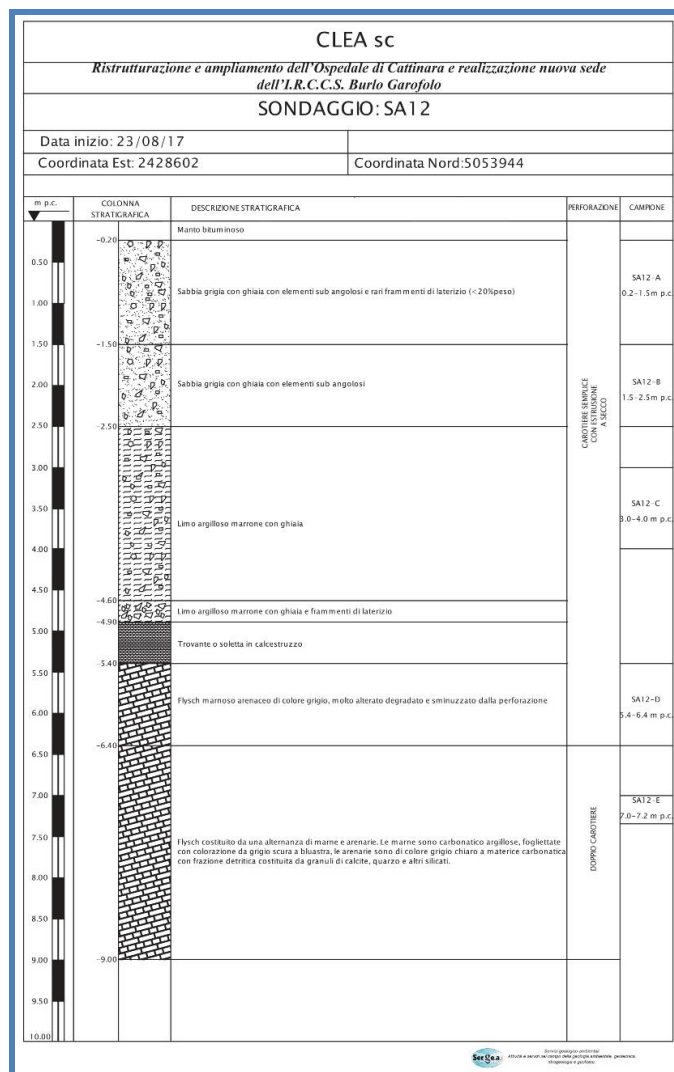


Fig. 5.2 – Stratigrafia del sondaggio meccanico SA12.

Nella Fig. 5.3 è presentato il log stratigrafico del sondaggio ambientale SA13. I terreni di copertura sono costituiti da uno strato superficiale di 1 m di sabbia grigia, con ghiaia ad elementi sub angolari. Al di sotto, fino a 5 m di profondità, segue un livello di limo argilloso con ghiaia, con interposto un trovante o una soletta di calcestruzzo di 0,7 m di spessore. Oltre la profondità di 5

m è presente uno strato di 2 m di sabbia limosa, con ghiaia sub angolosa. Tra -7 e -7,9 m segue il flysch marnoso-arenaceo molto alterato e degradato e, al di sotto, il substrato sano.

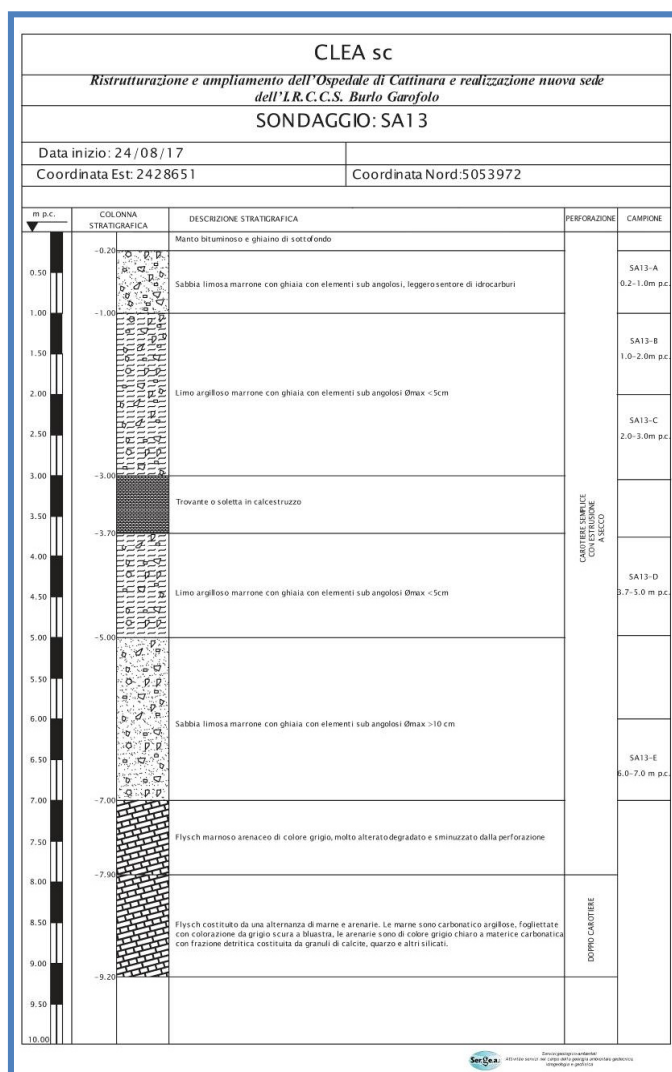


Fig. 5.3 – Stratigrafia del sondaggio meccanico SA13.

## 5.2 INDAGINI GEOFISICHE

Per definire le principali caratteristiche litologiche del sottosuolo sono state effettuate indagini geofisiche mediante metodologie geoelettrica e sismica. In particolare, sono stati eseguiti alcuni profili di geoelettrica con tomografia e linee sismiche.

Le ubicazioni di queste prospezioni più vicine alla nostra area di interesse sono presentate nella Fig. 5.4. Gli stendimenti di 2 prove geofisiche (PTE-3 e SIS-3) intersecano il tracciato della nuova strada nelle parti più elevate, prossime al complesso ospedaliero, mentre lo stendimento

della SIS-2, nello stesso settore, si trova in corrispondenza della rotatoria R3 e coincide con il tratto finale della strada (Fig. 5.4).

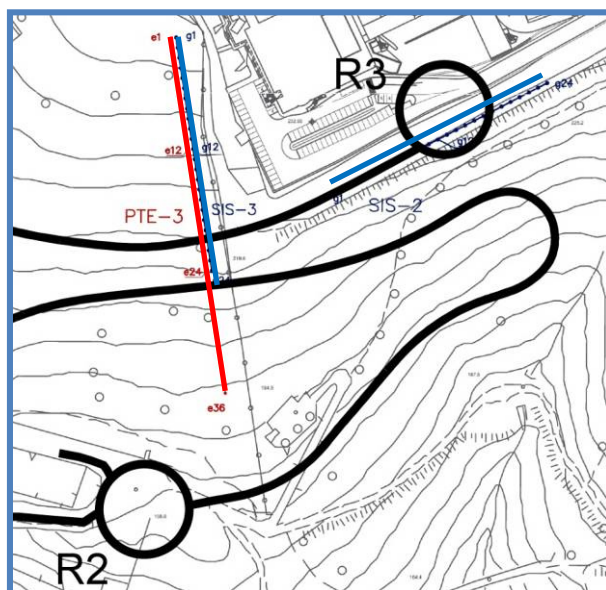


Fig. 5.4 – Ubicazione delle prospezioni geofisiche: geoelettrica (in colore rosso) e sismica (in colore blu). In colore nero è riportata parte del tracciato della strada. Si notano i punti di intersezione dei rilievi geofisici PTE-3 e SIS-3 con la strada, mentre lo stendimento SIS-2 è parallelo al suo tratto finale, in corrispondenza della rotatoria R3.

L'indagine elettrica permette di norma di individuare, tramite i valori di resistività, la natura litologica dei terreni e delle rocce, mentre l'indagine sismica, con l'acquisizione dei valori di velocità, può fornire indicazioni sulle caratteristiche geomeccaniche e strutturali del sottosuolo.

La sezione di Fig. 5.5 è il risultato delle prospezioni geofisiche PTE-3 (geoelettrica) e SIS-3 (sismica). L'interpretazione si basa, in parte, sulla classificazione dei terreni della formazione marnoso-arenacea proposta da Onofri (1982).

Venendo più in particolare alle caratteristiche dei terreni di appoggio della strada, la successione litostratigrafica, dal p.c. verso il basso, evidenziata nella Fig. 5.5, è la seguente:

-**Copertura e riporto** (C1) dal p.c. fino a -5 m circa, corrisponde ai livelli presenti e riconosciuti in superficie, attribuibili a terreni di copertura (terreni di riporto e di riempimento prevalentemente grossolani e/o detriti).

-**Strato di alterazione del Flysch** (C2) da -5 m a -8 m circa, corrisponde allo strato intermedio di parziale e graduale degradazione della parte superiore del Flysch, posto tra i terreni superficiali (talvolta parzialmente mescolati) ed i termini rocciosi più profondi.

-Substrato flyschoido (C3), a -8 m circa, corrisponde al substrato flyschoido pressoché “integro”, con i livelli arenacei prevalenti su quelli marnosi.

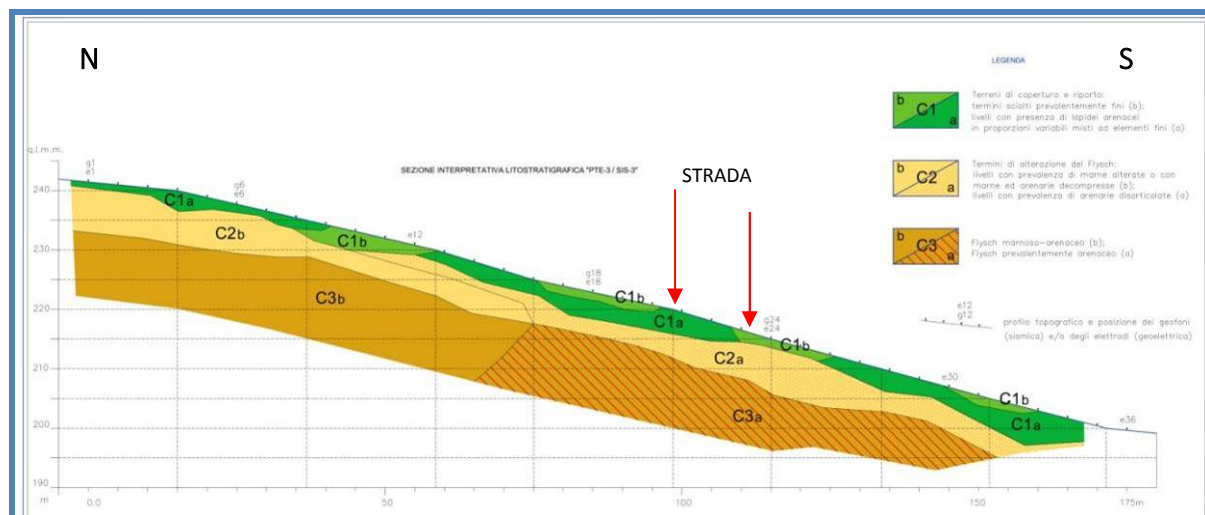


Fig. 5.5 – Sezione litostratigrafica risultante dall'interpretazione delle prospezioni geofisiche PTE-3 (geoelettrica) e SIS-3 (sismica). In legenda la simbologia delle campiture dei terreni. La sezione interseca il tracciato della strada in 2 punti indicati dalle frecce rosse.

Questi termini litologici sono evidenziati anche nella sezione interpretativa della prospezione SIS-2 (Fig. 5.6), la cui posizione è rappresentata nella Fig. 5.4.

La successione litostratigrafica dei terreni nel tratto finale alto della strada è caratterizzata dal substrato flyschoido (C3) alla profondità di 5 m circa dal p.c., sottostante alla copertura costituita dai livelli di alterazione (C2) e da quelli di copertura (C1) (Fig. 5.6).

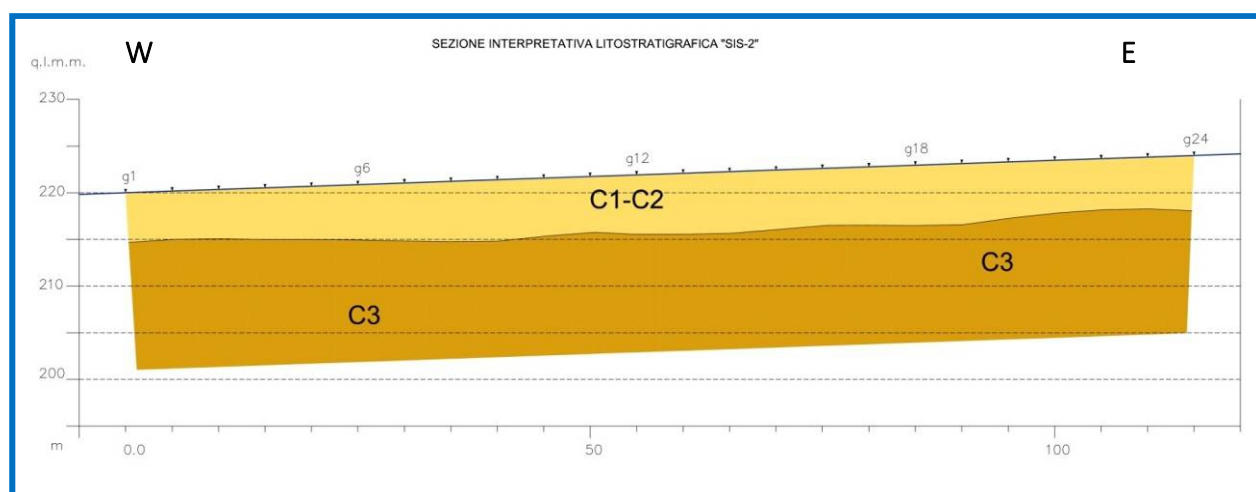


Fig. 5.6 – Sezione interpretativa della prospezione SIS-2 che mostra la successione litostratigrafica nei terreni in corrispondenza del tratto finale della strada.

### 5.3 ANALISI DI STABILITÀ DEL VERSANTE

Nel citato studio del dott. Marassi sono state eseguite, mediante la metodologia di Bishop, alcune analisi di stabilità, che in particolare, hanno riguardato alcuni settori del versante meridionale del colle di Cattinara (Fig. 5.7). Questo lavoro è stato realizzato antecedentemente all'uscita delle N.T.C. 2008, per cui non potevano essere applicate le ultime disposizioni.

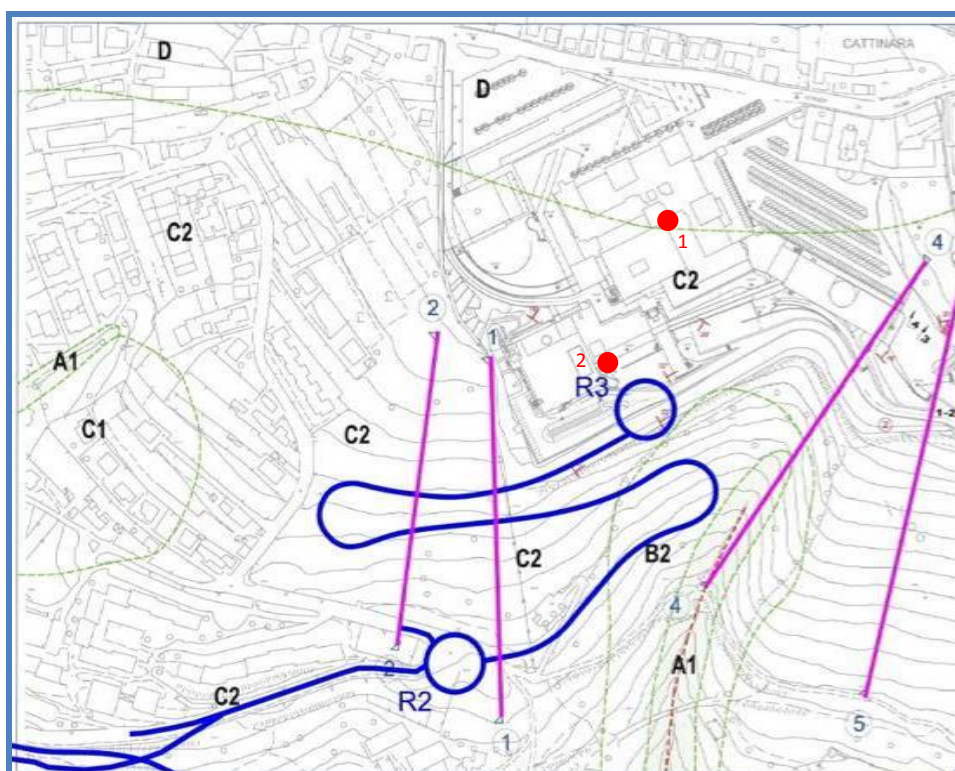


Fig. 5.7 – In viola le tracce delle sezioni di verifica della stabilità eseguite dal dott. Marassi nel settore meridionale del colle di Cattinara. I cerchi rossi indicano i punti di prelievo dei campioni per il laboratorio geotecnico (cfr. par. 5.4).

Nelle verifiche, cautelativamente, è stato considerato un certo grado di sismicità del luogo, e sono state distinte le caratteristiche geomeccaniche del flysch e del cappellaccio di alterazione.

Le sezioni 1 e 2 in Fig. 5.7 in cui sono state determinate la condizione di stabilità della pendice riguardano, in particolare, la fascia di pendio che sarà interessato dal tracciato alto della nuova strada in progetto.

Per il substrato flyschoidale sono stati utilizzati i parametri geomeccanici acquisiti con il metodo di Bieniawski (cfr. il seguente par. 5.4), mentre per la copertura (riporto e cappellaccio di alterazione), a detta dell'autore, sono stati applicati parametri meccanici cautelativi: peso di volume di  $25 \text{ kN/m}^3$ , angolo di attrito interno di  $26^\circ$  e coesione di  $40 \text{ kPa}$ .



Nelle due verifiche non è stata considerata la presenza di acqua, ma nel tratto a monte, è stato applicato un soprappeso indotto da possibili edifici.

I fattori di sicurezza ottenuti (2,68 e 2,45) sono largamente superiori a 1,3 (valore minimo imposto allora dalla normativa).

#### 5.4 PROVE DI LABORATORIO DEI TERRENI E PARAMETRI MECCANICI DEL FLYSCH

Per analizzare le caratteristiche geomeccaniche del terreno sciolto, nell'ambito delle indagini condotte dal dott. Marassi, sono stati prelevati due campioni rimaneggiati di terreno (Fig. 5.7), da destinare al laboratorio per una prova di taglio CD, mediante scatola di Casagrande.

Tenendo conto della maggiore vicinanza alla strada, di seguito verrà preso in considerazione il solo campione n° 2.

I risultati indicano che il peso di volume medio è di 20 kN/m<sup>3</sup>, con un contenuto medio di acqua poco inferiore al 18%; la prova di taglio ha determinato una coesione geotecnica pari a 30 kPa, con un angolo di attrito interno pari a 28°.

Per quanto concerne il substrato litoide, non essendo stati effettuati prelievi di singoli campioni di roccia, il dott. Marassi determina i parametri meccanici del flysch, considerandolo come una massa rocciosa unitaria, applicando il metodo proposto da Bieniawski.

Ne risulta che l'indice RMR può essere stimato in 45, ossia di classe III (Mediocre), con un angolo di attrito interno di 27°, una coesione efficace di 227 kPa ed un modulo di deformazione  $E_d$  di 7700 MPa. Per il coefficiente di Poisson propone un valore di 0,25, tipico degli ammassi rocciosi flyschoidi.

## 6. INDAGINI GEOLOGICHE ESEGUITE IN QUESTO STUDIO

Per la caratterizzazione geologica dei terreni interessati dalla strada sono state programmate ed effettuata una serie di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche, focalizzate al nuovo tracciato. I risultati ottenuti integrano le conoscenze acquisite negli studi pregressi che sono state descritte nei paragrafi precedenti.

### 6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nei punti, concordati anche con il progettista ing. Novarin, sono stati eseguiti 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti fino a 15 m di profondità dal p.c. (Fig. 6.1).



Fig. 6.1 – Ubicazione dei 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo eseguiti in questo lavoro (da Google Maps).

Nei livelli superficiali di ciascun foro sono state effettuate 2 prove geotecniche S.P.T. (Standard Penetration Test) e, quando le condizioni dei terreni lo hanno consentito, sono stati prelevati campioni rimaneggiati destinati alle analisi di laboratorio geotecnico. Infatti, la presenza nei terreni di copertura di sedimenti con frammenti arenacei, anche molto grossolani, non ha permesso di eseguire prelievi di campioni indisturbati utilizzando il campionatore Shelby. I tentativi di effettuare ugualmente un prelievo hanno danneggiato il campionatore (Foto 6.1).



Foto 6.1 – Il campionatore Shelby danneggiato per i tentativi di prelevare un campione di terreno.

Inoltre, come previsto dall'incarico, nel punto del sondaggio posizionato più a monte (SM1) è stato posto in opera un tubo piezometrico microfessurato, corredato dal relativo tombino, per la verifica della quota piezometrica della falda.

I 4 sondaggi meccanici sono stati eseguiti dal 4/09/18 al 14/09/18 dalla ditta SON.GEO. srl di Erto e Casso (PN), mediante una sonda Puntel 600 px 534, con carotiere semplice  $\varnothing$  131 mm e rivestimento  $\varnothing$  152 mm, il materiale prelevato è stato raccolto in cassette catalogatrici e fotografato.

Sulle carote di roccia è stata applicata la classificazione geotecnica delle rocce (Rock Quality Designation RQD), basata in ogni manovra di carotaggio sulla percentuale di frammenti di lunghezza  $> 10$  cm recuperati su una carota lunga 1 m. Operazione che ha permesso di ricavare la qualità della roccia in funzione dell'indice RQD secondo i seguenti valori:

Ottima=100-90%, buona=90-75%, discreta=75-50%, scadente=50-25%, molto scadente=25-0%.

Per quanto attiene alle stratigrafie dei sondaggi e alle caratteristiche tecniche della sonda e dello strumento utilizzato per l'esecuzione delle prove S.P.T. si rimanda alla relazione tecnica fornita dalla ditta esecutrice e presentata in Allegato 1.

Tuttavia, per praticità di lettura, qui di seguito sono presentate le interpretazioni sintetiche delle stratigrafie.

### **Sondaggio SM1**

Questa prospezione, spinta fino a -15 m dal p.c., è posta in corrispondenza della parte alta della via delle Alpi Giulie, sul tornante dove la strada cambia nome in via del Rio Storto. Come da programmazione del lavoro nel foro di perforazione è stato installato un tubo

piezometrico microfessurato di diametro 3", difeso da un chiusino in metallo allo scopo di verificare la profondità dell'acqua sotterranea.

Le coordinate GPS del punto di sondaggio sono: 45°37.849' N - 13°49.496' E; la quota ricavata dal rilievo topografico è 233 m s.l.m.

Al di sotto di un livello di 0,40 m di terreno vegetale e fino alla profondità di 2,80 m troviamo un riporto sabbioso-limoso, con abbondanti frammenti spigolosi di arenaria e di laterizi (1-10 cm). Il colore passa dal rossastro al grigio.

Più sotto fino alla profondità di 4,60 m il sedimento, di colore nocciola, è di natura flyschoidale. Si tratta di abbondanti resti arenacei pluridimensionali in matrice limoso-sabbiosa (cappellaccio di alterazione).

Tra -4,60 e -6,00 m dal p.c. troviamo il crostello del flysch caratterizzato da alternanze di livelletti di 2-6 cm di marne e arenarie. I due litotipi sono molto fratturati e alterati, inoltre le marne appaiono plasticizzate.

Superati i 6 m di profondità le caratteristiche del flysch si mantengono costanti fino a fondo foro: i livelli di arenaria, il cui spessore massimo raggiunge i 18 cm, presentano fratture, anche beanti, riempite di materiale plastico o sono sature da calcite spatica.

Gli interstrati marnosi sono fratturati e a scaglie, a volte fogliettati e plasticizzati. In alcuni tratti i livelli arenacei appaiono compressi e uniti al litotipo marnoso.

Nel complesso prevale la facies marnosa, ma soprattutto una generale fratturazione causata, forse, dalla vicinanza di un disturbo tettonico.

La pendenza della stratificazione è di 20° circa.

Va segnalato che tra le profondità di 3,20 e 3,40 m circa è stato prelevato un campione rimaneggiato di terreno per le analisi di laboratorio.

Le due prove SPT eseguite alle profondità di 1,50 e 3,30 m hanno fornito rispettivamente i seguenti elevati valori di  $N_{SPT}$  42 e 81.

I valori di RQD sono di seguito riassunti:

profondità (m)	spezzoni > 0,10 m	RQD (%)	Qualità della roccia
5	0	0	Molto scadente
6	0.12	12	Molto scadente
7	0.30	30	Scadente
8	0	0	Molto scadente
9	0	0	Molto scadente
10	0.48	48	Scadente
11	0	0	Molto scadente
12	0.10	10	Molto scadente
13	0.10	10	Molto scadente
14	0.18	18	Molto scadente

Non è stata rilevata la presenza di acqua, né perdita della stessa durante la perforazione. Tuttavia, vanno segnalate le misure eseguite mediante freatimetro dal sottoscritto nei giorni successivi all'esecuzione della terebrazione che hanno evidenziato la presenza dell'acqua ad una profondità media di 7,30 m circa dal p.c. I risultati sono presentati nel par. 4.3.

### Sondaggio SM2

Questo sondaggio che ha raggiunto la profondità di 15 m è posizionato lungo la via delle Alpi Giulie. Le coordinate GPS del punto sono: 45°37,816' N - 13°49,346' E; la quota è 224 m s.l.m.

Il terreno vegetale di copertura ha uno spessore di 0,40 m. Tra le profondità di 0,40 e 2,50 m circa il riporto osservato è costituito da numerosi frammenti arenacei pluridimensionali (1-10 cm), immersi in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore nocciola. Segue, fino a -4,00 m dal p.c., un livello con caratteristiche argilloso-limose inglobante frammenti litoidi arenacei con livelletti marnosi fratturati e plasticizzati, e ancora fino alla profondità di 5,80 m livelli arenacei centimetrici, alternati a livelli di marna alterata in abbondante matrice argillosa. Superata questa profondità, fino a -11 m circa dal p.c., segue la formazione flyschoidale con livelli arenacei grigi di 20 cm circa intercalati da livelletti marnosi di 2-4 cm fratturati e plasticizzati. Più in profondità, fino a fondo foro il flysch è in facies arenacea con spessori fino a 30 cm. I livelli marnosi d'interstrato sono sempre sottili e molto alterati. Nelle carote di arenaria è ben visibile la presenza di calcite spatica. La pendenza degli strati varia da 10° a 15° circa. Non è stata

rilevata la presenza di acqua. Le due prove SPT eseguite alle profondità di 1,50 e 3,00 m hanno dato rifiuto. I valori di RQD rilevati sono riassunti di seguito:

profondità (m)	spezzoni > 0,10 m	RQD (%)	Qualità della roccia
5	0	0	Molto scadente
6	0.42	42	Scadente
7	0.37	37	Scadente
8	0.55	55	Mediocre
9	0.57	57	Mediocre
10	0.64	64	Mediocre
11	0.65	65	Mediocre
12	0.66	66	Mediocre
13	0.47	47	Scadente
14	0.62	62	Mediocre

### Sondaggio SM3

Questo sondaggio, spinto fino a -15 m dal p.c., è ubicato in corrispondenza della pista ciclabile, il cui percorso si trova poco a valle della scuola e della Palestra Don Milani. Le coordinate GPS del punto di sondaggio sono: 45°37.746' N - 13°49.255' E; la quota è 195 m s.l.m.

Al di sotto di un livello di 0,20 m di terreno superficiale di colore nocciola, è stata rilevata la presenza di un riporto sabbioso-limoso con abbondanti frammenti spigolosi di arenaria e di laterizi (2-10 cm) di colore grigio, avente lo spessore di 1,30 m circa. Fino alla profondità di 3,20 m, il sedimento mediamente addensato, di colore marrone, è di natura limoso-sabbiosa e ingloba alcuni frammenti arenacei spigolosi (cappellaccio del flysch). Al di sotto della profondità di 3,20 m, fino a -7,00 m dal p.c., la formazione flyschoidale è caratterizzata da sottili alternanze di arenarie grigie e marne scure a scaglie, molto fratturate e ossidate. Alcuni giunti di fratturazione presentano patine di ossidazione o calcite spatica. Segue fino a -9,10 m dal p.c. un livello prevalentemente marnoso alterato e argillificato di colore nerastro, inglobante frammenti arenacei di 3-10 cm. Tra le profondità di 9,10 m e 11,80 si riscontrano livelli spessi 2-10 cm di marna grigia con intercalazioni di arenaria grigia di 2-4 cm fittamente fratturate. I giunti di fratturazione sono sub-verticali saturati da calcite spatica. Seguono fino a fondo foro, livelli da 2 a 18 cm circa di arenaria marnosa grigia con interstrati di marna scagliettata e argillificata. Tra i 14 m e 15 m la marna si presenta dapprima triturrata e successivamente plasticizzata.

Non è stata rilevata la presenza di acqua. Le due prove SPT eseguite alle profondità di 1,50 e 3,00 m hanno fornito rispettivamente i valori di  $N_{SPT}42$  e rifiuto.

I valori di RQD sono riassunti di seguito:

profondità (m)	spezzoni > 0,10 m	RQD (%)	Qualità della roccia
4	0	0	Molto scadente
5	0	0	Molto scadente
6	0	0	Molto scadente
7	0	0	Molto scadente
8	0	0	Molto scadente
9	0.10	10	Molto scadente
10	0.13	13	Molto scadente
11	0	0	Molto scadente
12	0.15	15	Molto scadente
13	0.18	18	Molto scadente
14	0.10	10	Molto scadente

#### Sondaggio SM4

Questa prospezione è stata spinta fino alla profondità di 15 m ed è stata posizionata alla fine della strada che permette l'accesso alla Palestra Don Milani e alla Scuola Media di Altura. Le coordinate GPS del punto sono: 45°37.776' N - 13°49.195' E; la quota è 206 m s.l.m.

Al di sotto di un terreno superficiale di 0,20 m e fino alla profondità di 2,00 m troviamo materiali di riporto con, al top, clasti e laterizi di 3-10 cm in matrice limo argillosa. Più sotto, con una potenza di 2,80 m circa, si riscontrano clasti pluridimensionali in matrice dapprima sabbioso-limosa e successivamente limosa ad indicare il passaggio verso il cappellaccio di alterazione del flysch.

Tra le profondità di 4,80 e 5,10 m è presente il cappellaccio di alterazione del flysch. Si tratta di un deposito argilloso marrone con clasti arenacei di 3-5 cm.

Al di sotto di 5,10 m fino a fondo foro è presente il flysch. Il crostello superficiale di circa 0,50 cm è rappresentato da livelletti arenacei molto alterati e fratturati di 2-3 cm circa. Poco visibile la componente marnosa. Seguono livelli di flysch arenaceo grigio, piuttosto fratturato e con intrusioni calcitiche, con spessori di 5-6 cm fino a 20 cm. L'interstrato marnoso è grigio scuro e raggiunge localmente i 10 cm. Alle profondità di 7,40; 8,40 e 8,70 m questo litotipo si presenta intensamente fratturato e plasticizzato. Al di sotto di 10,50 m circa si scorgono livelli

arenacei integri alternati a marne sottili e scarsa presenza di calcite spatica. La stratificazione è attorno a 20° e non è stata riscontrata la presenza di acqua. Inoltre, va riferito che tra le profondità di 2,75 e 3,00 m circa è stato prelevato un campione rimaneggiato di terreno per le analisi di laboratorio.

Le due prove SPT eseguite alle profondità di 1,50 e 3,00 m hanno dato rifiuto.

I valori di RQD sono riassunti di seguito:

profondità (m)	spezzoni > 0,10 m	RQD (%)	Qualità della roccia
5	0	0	Molto scadente
6	0.29	29	Scadente
7	0	0	Molto scadente
8	0.12	12	Molto scadente
9	0.51	51	Mediocre
10	0.85	85	Buona
11	0.68	68	Mediocre
12	0.28	28	Scadente
13	0.49	49	Scadente
14	0.69	69	Mediocre

## 6.2 PROVE SPT

Durante l'esecuzione delle 4 perforazioni sono state eseguite nel foro di ogni singolo sondaggio due prove SPT.

La ditta che ha eseguito le perforazioni non ha fornito nessun elemento riguardante l'attrezzatura utilizzata per le prove SPT, utile per la traduzione dei risultati in  $N_{60}$ . Pertanto, in mancanza di questi dati, i numeri dei colpi registrati, senza alcuna correzione, sono stati inseriti nell'abaco proposto da Peck, Hanson e Thorburn (adattato da Meyerhof per materiali aventi percentuali superiori a 5% di sabbia fine e limo) e, per via grafica, sono stati ricavati i valori di  $D_r$  e di " $\Phi$ ".

Inoltre, per la valutazione del modulo di deformabilità (E) dei depositi grossolani (riporto), è stato applicato il metodo D'Appolonia et al. (1970), che per sabbie e ghiaie NC, propone la seguente equazione:

$$E = 0,756 * N_{SPT} + 18,75$$

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella, corredata anche dal litotipo corrispondente e dal valore di angolo d'attrito ricavato empiricamente.



sondaggio	profondità	N <sub>SPT</sub>	litotipo	$\Phi^\circ$	E (MPa)
SM1	1,50	42	riporto	36°	50,5
	3,30	R	cappellaccio	37°	
SM2	1,50	R	riporto	37.5°	56,5
	3,00	R	cappellaccio	37.5°	
SM3	1,50	42	riporto	36°	50,5
	3,00	R	cappellaccio	37.5°	
SM4	1,50	R	riporto	37.5°	56,5
	3,00	R	riporto	37.5°	56,5

### 6.3 PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Nel corso dei sondaggi era previsto il prelievo, con campionatore Shelby, di uno o più campioni indisturbati, destinati alle analisi di laboratorio geotecnico. Ma le caratteristiche dei terreni attraversati hanno impedito un corretto prelievo: il campionatore Shelby non ha potuto prendere e conservare il materiale, anzi nei vari tentativi effettuati, a causa della presenza di elementi litoidi grossolani nella matrice, l'utensile ha subito danni nelle sue parti taglienti del coronamento (Foto 6.1).

Quindi, in sostituzione dei campioni indisturbati, per avere una conoscenza, anche se indicativa, delle caratteristiche granulometriche e meccaniche dei terreni, nei sondaggi SM1 e SM3, rispettivamente alle profondità di 3,30 m e 2,90 m circa), sono stati prelevati due campioni rimaneggiati. I due campioni (SM1 CR1 e SM3 CR1) sono stati inviati in laboratorio geotecnico Georicerche di F. Bosso e S. Rota per essere sottoposti ad alcune prove geotecniche specifiche.

A seguito dell'apertura dei campioni con relativa descrizione litologica sono state eseguite le seguenti prove:

- peso specifico dei grani;
- peso di volume e contenuto in acqua;
- analisi granulometrica;
- limiti di Atterberg;
- prova di taglio diretto.

Peso specifico dei grani

La prova è stata eseguita con l'utilizzo del picnometro, che di norma si utilizza per campioni di roccia di piccola granulometria. I valori medi di peso specifico dei grani "G" ottenuti per i due campioni sono:

$$SM1 \text{ CR1} = 27,5 \text{ kN/m}^3$$

$$SM3 \text{ CR1} = 27,2 \text{ kN/m}^3$$

Peso di volume e contenuto in acqua

La prova ha permesso di determinare il peso di volume "γ" e il contenuto in acqua "w" dei due campioni dopo aver ricostruito gli stessi campioni sciolti rimaneggiati ed effettuato la media di tre provini. I valori ottenuti sono i seguenti:

<b>campioni</b>	<b>peso di volume "γ"</b>	<b>contenuto in acqua "w"</b>
SM1 CR1	20,4 kN/m <sup>3</sup>	21%
SM3 CR1	20,2 kN/m <sup>3</sup>	23%

Analisi granulometrica

Le analisi granulometriche sono state effettuate per via umida per le frazioni più grossolane e per quelle inferiori a 0,06 mm mediante densimetro. I risultati per le varie classi granulometriche sono i seguenti.

<b>campioni</b>	<b>Ghiaia (%)</b>	<b>Sabbia (%)</b>	<b>Limo (%)</b>	<b>Argilla (%)</b>
SM1 CR1	29	26	29	16
SM3 CR1	36	19	27	18

I sedimenti di ambedue i campioni possono essere definiti come *limi argillosi ghiaiosi con sabbia*.

Limiti di Atterberg

Per ogni campione rimaneggiato, in base al contenuto in acqua e al numero di colpi dati ai tre provini, la prova ha permesso di determinare il limite liquido ( $W_L$ ), il limite plastico (LP) e l'indice di plasticità (IP). I risultati sono i seguenti:

campioni	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	IP
SM1 CR1	35	21	13
SM3 CR1	40	23	18

In base alla Carta della plasticità (Fig. 6.2) è stato possibile individuare il gruppo al quale i nostri due campioni appartengono, è noto che al di sopra della “Linea A” ricadono le argille inorganiche. Infatti, i due campioni ricadono nel campo delle “Argille inorganiche di media plasticità”.

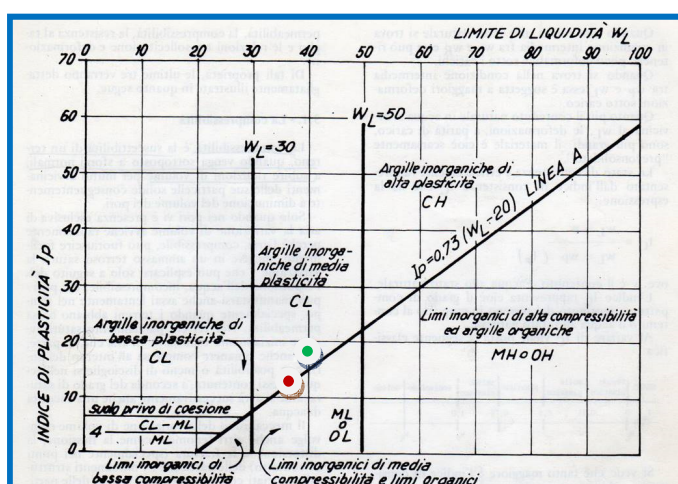


Fig. 6.2 – Carta della plasticità in cui è riportata la posizione dei due campioni SM1 CR1 (cerchio rosso) e SM3 CR1 (cerchio verde).

### Prova di taglio diretto

La prova è stata eseguita utilizzando l'“apparecchio di Casagrande” a sezione circolare, operando su tre provini dello stesso materiale sottoponendoli ad un diverso carico normale. Sono stati determinati i valori di angolo d'attrito ( $\Phi'$ ) e di coesione ( $c$ ) dei due campioni rimaneggiati. I risultati sono i seguenti:

campioni	angolo d'attrito " $\Phi'$ "	coesione " $c$ "
SM1 CR1	25°	16 kPa
SM3 CR1	31°	23 kPa

## 6.4 INDAGINI GEOFISICHE

A completamento delle indagini geologiche e geognostiche è stata programmata ed effettuata una serie di indagini geofisiche: due misure MASW per la caratterizzazione sismica dei terreni di appoggio della nuova strada e due HVSr per l'analisi delle amplificazioni elastico-lineari del moto del suolo atteso in occasione di eventi sismici. Le ubicazioni di queste prove sono presentate in Fig. 6.3.

In dettaglio i risultati di queste prospezioni sono riportati nel rapporto tecnico della GeA di Monfalcone, a firma del dott. geol. Giampaolo Gazzano (Allegato 2).



Fig. 6.3 - Ubicazioni delle prove geofisiche MASW e HVSr eseguite in questo lavoro. I quadrati in colore rosso rappresentano i punti delle 2 prospezioni.

### 6.4.1 INDAGINI MASW

Le indagini sismiche con tecnica MASW, consentono di determinare le velocità delle onde di taglio nel sottosuolo dei punti esaminati, velocità che sono state utilizzate anche ad integrazione e verifica dell'elaborazione dei dati delle prove HVSr.

I due rilievi MASW 1 e MASW 2 (per la loro ubicazione cfr. la Fig. 6.3), effettuati mediante le onde di Rayleigh e di Love, hanno permesso di ottenere la sequenza sismo-stratigrafica nei punti esaminati.

Di seguito, nelle Figg. 6.4 e 6.5, sono presentate le sequenze sismo-stratigrafiche registrate nei 2 siti.

#### **MASW 1** (Coordinate: N 45°37.747; E 13°49.259 - quota 173 m)

Questo rilievo è stato eseguito in un'area sub-pianeggiante posta nelle immediate vicinanze della strada sopraelevata, a valle della via Alpi Giulie (Fig. 6.3). In Allegato 2, nella sua relazione il dott. geol. Gazzano sottolinea che nella fascia di sottosuolo investigata (30 m) è stato rilevato un graduale aumento delle velocità con la profondità raggiungendo valori tipici di un substrato sano, di poco inferiori a 1500 m/s, indice anche di un progressivo miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni.

**Il substrato è stato individuato ad una profondità di 3,60 m circa;** pertanto, in base alle nuove disposizioni della normativa (NTC 2018), ha dovuto effettuare il calcolo della  $V_{s3,6}$  equivalente dei suoli posti al di sopra del *bed-rock* (Fig. 6.4), che è risultato pari a 516 m/s. Sulla base di questo dato di velocità i terreni di quest'area vengono inseriti nella “Categoria di sottosuolo B”.

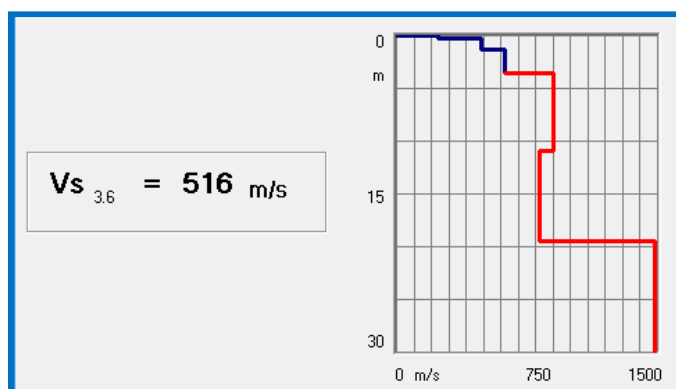


Fig. 6.4 - La sequenza sismo-stratigrafica acquisita dalla MASW1, ed il valore della  $V_{s3,6}$

#### **MASW 2** (Coordinate: N 45°37.939; E 13°49.497- quota 226 m)

Questa prova è stata eseguita sul versante del rilievo del Montebello, ad W del comprensorio ospedaliero, lungo una fascia di versante resa sub-pianeggiante posta trasversalmente al pendio (Fig. 6.3).

Anche questa indagine sismica ha rilevato la presenza del substrato flyschoidale ad una **profondità maggiore di 3 m**. Perciò, come nel caso precedente, il dott. Gazzano ha dovuto operare calcolando la  $V_s$  equivalente nei 5,10 m di terreno superficiali (Fig. 6.5) ottenendo un valore di  $V_{S5,1} = 487$  m/s, inserendo anche questi terreni nella “Categoria di sottosuolo B”.

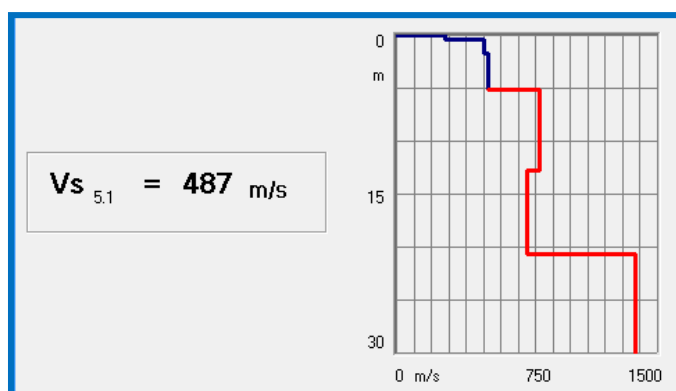


Fig. 6.5 - La sequenza sismo-stratigrafica acquisita dalla MASW1, ed il valore della  $V_{s5,1}$

Infine, va osservato che la sequenza sismo-stratigrafica di Fig. 6.5 mette in risalto la presenza di un substrato sano dopo la profondità di 20 m circa dal p.c. (valori di  $V_s$  attorno a 1500 m/s).

#### 6.4.2 INDAGINI HVSR

Le misure di analisi spettrale, effettuate secondo la tecnica di Nakamura (1989), si basano sulla registrazione di microtremori e sono volte alla valutazione delle amplificazioni elastico-lineari del moto del suolo atteso in occasione di eventi sismici. Inoltre, consentono la stima degli spessori dei terreni di copertura presenti nel sito.

Questa metodologia utilizza i *rumori* ambientali normalmente presenti nel terreno. Le registrazioni sono state utilizzate per individuare la frequenza di risonanza di sito “ $f_0$ ”, generata dalla presenza, nel sottosuolo, dei sismostrati che costituiscono la sequenza stratigrafica. Si fa presente che la frequenza propria di un sito è misurabile anche in assenza di terremoti, in quanto un determinato sito risuona con maggiore ampiezza sempre alla stessa frequenza.

Per i rilievi è stato utilizzato un sismografo della Pasi srl, posto in un unico contenitore waterproof, con integrati una terna di geofoni accuratamente calibrati a bassa frequenza da 2Hz, accoppiati e un acquirente dati da 24 bit reali (Fig. 6.6).

Ciascuna registrazione è stata effettuata per un tempo di almeno 20 minuti e i dati raccolti sono stati elaborati mediante un software dedicato. Per la localizzazione del punto di misura lo strumento è accoppiato a un ricevitore GPS. L’analisi ha permesso di definire per ciascun sito gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e verticali), e di acquisire il valore della frequenza di sito ( $f_0$ ).

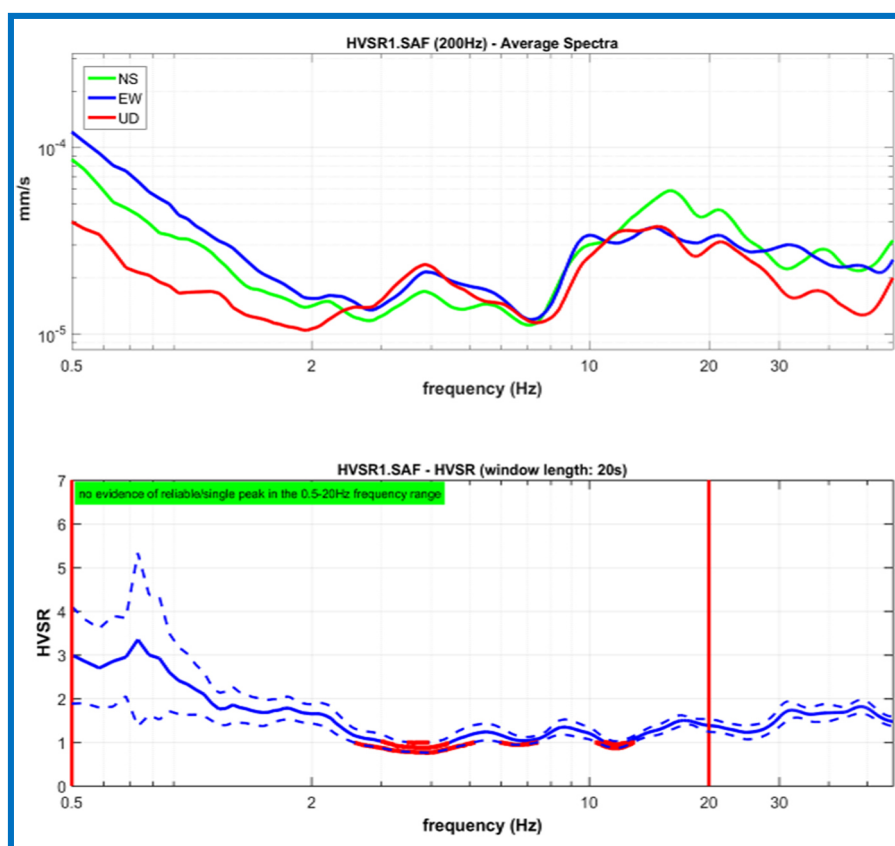


Fig. 6.6 - Geofono triassiale Gemini 2 utilizzato per le misure

### HVSR 1 (Coordinate N 45°37.747; E 13°49.259 - quota 173 m)

La prova è stata eseguita nel medesimo punto in cui è stata svolta la MASW 1. I 2 spettri ricavati dall'indagine sono riportati in Fig. 6.7. In quello relativo alla frequenza di sito ( $f_0$ ), la curva non mette in risalto alcun picco significativo nel range di frequenza tipico dei terremoti, ciò è dovuto alla scarsa profondità in cui si trova il substrato sismico flyschoid.

Tuttavia, come valore di frequenza di sito in quest'area può essere assunto un valore di " $f_0$ " molto elevato, superiore a 20 Hz, il che fa escludere fenomeni di risonanza nell'area.

Fig. 6.7 - Sopra gli spettri acquisiti dalla prova HVSR 1; sotto il picco relativo alla frequenza di sito ( $f_0$ )

**HVSR 2** (Coordinate N 45°37.939; E 13°49.497 - quota 226 m)

La prova è stata eseguita sul versante di Montebello nello stesso punto in cui è stata svolta la MASW 2; i 2 spettri ricavati dall'indagine sono riportati in Fig. 6.8.

Anche in questo caso, a causa della modesta profondità in cui è stato rilevato il substrato sismico flyschoide, la curva non mette in risalto alcun picco significativo. Il valore di frequenza di sito " $f_0$ " è molto elevato, superiore a 20 Hz, il che, come detto in precedenza, fa escludere fenomeni di risonanza nell'area.

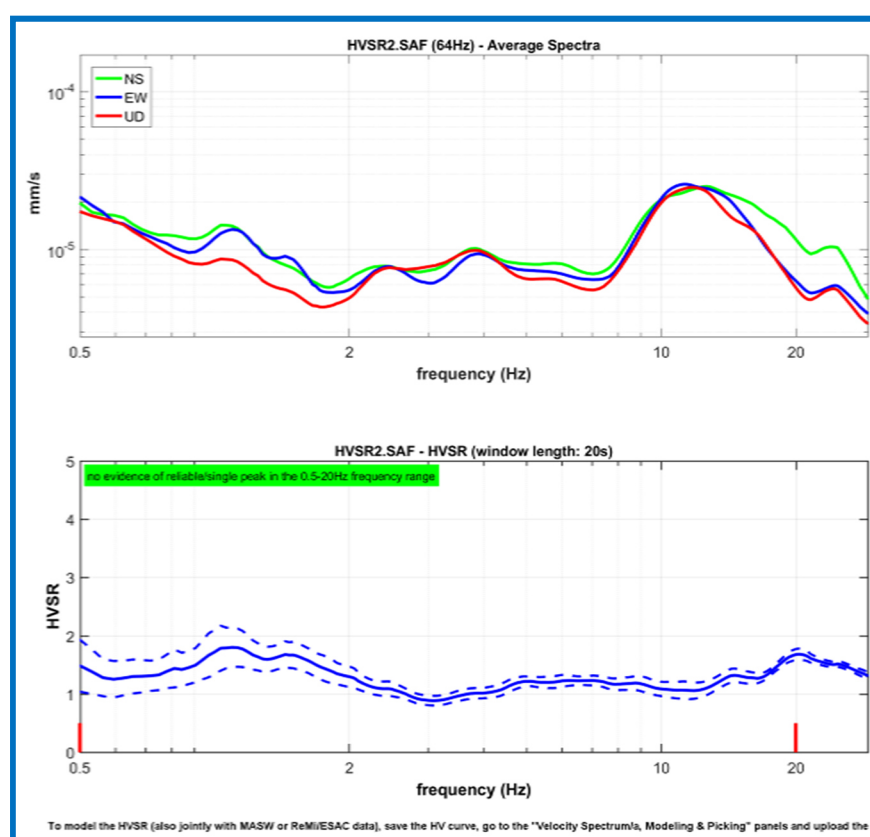


Fig. 6.8 - Sopra gli spettri acquisiti dalla prova HVSR 2; sotto il picco relativo alla frequenza di sito ( $f_0$ )



## 7. NUOVI SONDAGGI ESEGUITI PER CONTO DELLA ASUITS

Nell'ambito della progettazione per la fattibilità tecnico-economica della nuova strada di collegamento tra via Valdoni e via Alpi Giulie, per la riqualificazione di Cattinara e la realizzazione della nuova sede dell'IRCCS Burlo Garofolo, L'Azienda Sanitaria Universitaria Integrata di Trieste ha fatto eseguire un'indagine geognostica tramite sondaggi meccanici a carotaggio continuo e prove in sito per la caratterizzazione geologica, geotecnica e sismica dei terreni interessati dalle opere di progetto. La campagna, eseguita tra il 30 ottobre ed il 13 novembre 2018, è consistita in 3 sondaggi, spinti fino a 15 m di profondità dal p.c., corredati da 9 prove SPT e dal prelievo di 1 campione per il laboratorio geotecnico. Inoltre, in uno dei sondaggi è stato installato un tubo piezometrico. L'ubicazione dei sondaggi è riportata in Fig. 7.1, mentre i *logs* stratigrafici sono presentati in Allegato.

Per quanto riguarda le prove SPT, non è stato possibile correggere nello standard  $N_{60}$  i risultati ottenuti, poiché anche la ditta di sondaggi In Situ srl non ha fornito le caratteristiche dell'attrezzatura utilizzata. Pertanto, per uniformare questi risultati delle prove SPT a quelli eseguiti dalla ditta SON.GEO. e riportati nel par. 6.2, è stato applicato lo stesso abaco di correlazione. (cfr. par. 6.2)

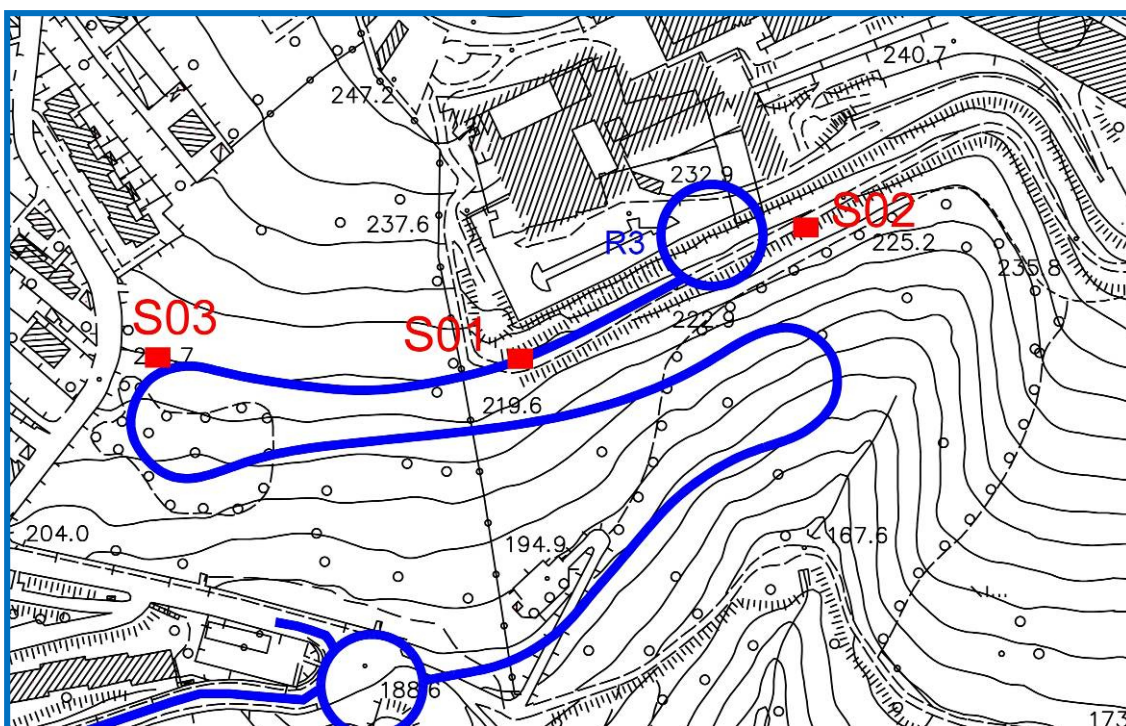


Fig. 7.1 – Ubicazione dei punti dei 3 sondaggi ASUITS e il tracciato della strada in progetto.

### SONDAGGIO S01

Il sondaggio S01, ubicato in posizione centrale rispetto agli altri due, si trova alla quota di 219 m. La successione stratigrafica rilevata è sinteticamente la seguente:

profondità (m)	stratigrafia
0,00 – 0,30	Terreno vegetale
0,30 – 0,80	riporto costituito da sabbia limosa con clasti arenacei centimetrici e decimetrici subspigolosi e rari laterizi
0,80 – 3,60	Cappellaccio di alterazione del Flysch costituito da sabbia con limo, con clasti arenacei, da centimetrici a decimetrici, subspigolosi.
3,60 - 9,70	Flysch marnoso-arenaceo parzialmente alterato in facies marnosa. Banchetti marnosi alterati ed argillificati alternati a livelli arenacei fratturati e decementati. La potenza dei livelli è decimetrica.
9,70 – 15,00	Flysch marnoso arenaceo in facies marnoso poco alterato, ma molto fratturato. Gli strati sono decimetrici. Sono presenti fratture secondarie con riempimenti di calcite spatica secondaria. La stratificazione è suborizzontale.

L'acqua è stata trovata a 10 m di profondità.

Nel corso della prospezione, all'interno del complesso incoerente costituito dal cappellaccio di alterazione, sono stati eseguiti 2 SPT alle profondità di 1,5 e 2,5 m. I colpi

registrati sono stati rispettivamente 39 e rifiuto. Tali valori indicano terreni addensati, con una densità relativa  $D_r > 0,6$  e un angolo di attrito  $\phi$  superiore a  $36^\circ$ .

### SONDAGGIO S02

Il sondaggio S02, ubicato poco ad E rispetto alla rotatoria R3 che collega la nuova strada con la viabilità del complesso ospedaliero, si trova alla quota di 224 m. La successione stratigrafica rilevata è sinteticamente la seguente:

profondità (m)	stratigrafia
0,00 – 0,40	Terreno vegetale
0,40 – 8,20	Cappellaccio di alterazione del Flysch costituito da ghiaia con sabbia e limo, rimaneggiato nei livelli più elevati. I clasti arenacei sono di dimensioni centimetriche e decimetriche, spigolosi o sub-spigolosi. Tra 4.40 e 5.00 m dal. pc. prevale la frazione fina limo-argillosa.
8,20 – 12,50	Formazione marnoso-arenacea parzialmente alterata in facies prevalentemente marnosa. Banchetti marnosi parzialmente alterati ed argillificati alternati a livelli arenacei fratturati e parzialmente decementati. La potenza dei livelli è decimetrica.
12,50 – 15,00	Formazione marnoso-arenacea in facies marnosa scarsamente alterata, ma fratturata. Gli strati hanno potenza decimetrica. Sono presenti fratture con riempimenti di calcite secondaria. La stratificazione ha una pendenza di $10^\circ$ circa.
Non è stata trovata l'acqua.	

Nel corso della prospezione, nel cappellaccio di alterazione, sono stati eseguiti 5 SPT alle profondità di 1,5, 2,5, 4, 5,5 e 7 m. I colpi registrati sono stati rispettivamente 37, 70, 11, 14 e 31. Questi valori permettono di classificare i materiali incoerenti, presenti nel sito alle varie profondità esaminate, nei seguenti termini:

profondità (m)	numero di colpi	grado di addensamento	densità relativa $D_r$	angolo di attrito $\phi$	Mod. di deform. E (MPa)
1,5	37	addensato	0,7	$34^\circ$	46.7
2,5	70	molto addensato	$>0,8$	$37.5^\circ$	71.6
4	9	sciolto	0,3	$29^\circ$	25.7
5,5	14	sciolto	0,4	$31.5^\circ$	29.3
7	31	mod. addensato	0,6	$34.5^\circ$	42.2

**SONDAGGIO S03**

Il sondaggio S03, ubicato ad W rispetto agli altri due, in corrispondenza dell'ultimo tornante della nuova strada, si trova alla quota di 220 m. La successione stratigrafica rilevata è sinteticamente la seguente:

profondità (m)	stratigrafia
0,00 – 0,40	Terreno vegetale
0,40 – 1,0	Materiale di riporto costituito da ghiaia con sabbia limosa; clasti arenacei fino a decimetrici, subspigolosi e rari laterizi.
1,0 – 2,50	Cappellaccio di alterazione del Flysch. Ghiaia con sabbia e limo; clasti arenacei, parzialmente decementati, da centimetrici a decimetrici, subspigolosi.
2,50 – 4,50	Formazione marnoso-arenacea intensamente fratturata e parzialmente alterata in facies prevalentemente marnosa. Banchetti marnosi alterati ed argillificati alternati a livelli arenacei fratturati e parzialmente decementati. La potenza dei singoli livelli è decimetrica.
4,50-15,0	Formazione marnoso-arenacea in facies marnosa scarsamente alterata, ma intensamente fratturata fino a 7 m circa. Gli strati hanno potenza decimetrica. Sono presenti fratture secondarie con riempimenti di calcite spatica secondaria. La stratificazione è sub-orizzontale.
L'acqua è stata trovata alla profondità di 8 m.	

Nel corso della prospezione, nel riporto e nel cappellaccio di alterazione, sono stati eseguiti 2 SPT alle profondità di 0,5 e 1,5 m. I colpi registrati sono stati rispettivamente 27 e rifiuto. Questi valori permettono di classificare i materiali incoerenti, presenti nel sito alle varie profondità esaminate, nei seguenti termini:

profondità (m)	numero di colpi	grado di addensamento	densità relativa Dr	angolo di attrito $\phi$	Mod. di deform. E (MPa)
0,5	27	mod. addensato	0,6	34°	39.2
1,5	rifiuto	molto addensato	>0,8	>37.5°	-

Inoltre, nel sondaggio S02 alla profondità di 4,5-5,0 m, per le stesse ragioni indicate nel par. 6.1 (cfr. anche Foto 6.1) è stato prelevato un campione rimaneggiato per le analisi di laboratorio geotecnico.

In sintesi, le analisi di laboratorio indicano che si tratta di un sedimento costituito da sabbia, ghiaia e limo, commisto a clasti arenacei alterati, da sub-arrotondati ad angolari.

L'analisi del peso specifico dei grani "G" ha fornito un valore medio pari a  $24,6 \text{ kN/m}^3$ .

La prova relativa ai limiti di Atterberg ha fornito i seguenti risultati:

- limite liquido Wl: 60%
- limite plastico Wp: 29%
- indice di plasticità IP: 20% (plastico)

L'analisi granulometrica ha dato i seguenti risultati:

- ghiaia = 30%
- sabbia = 35%
- limo = 35%

La prova del taglio diretto ha fornito i seguenti risultati:

- angolo di attrito interno =  $25^\circ$
- coesione = 6 kPa

Confrontando le analisi di laboratorio in possesso, tutte eseguite su campioni rimaneggiati, si può affermare che:

- Si tratta di materiali che nel complesso assumono caratteristiche plastiche (IP varia da 13 a 20).
- Il valore di peso di volume, pari a  $20 \text{ kN/m}^3$ , risulta pressoché costante in tutta l'area esaminata.
- L'angolo d'attrito medio è di  $25^\circ$  circa.
- La coesione, piuttosto variabile nei dati di laboratorio, è mediamente di 15 kPa.

## 8. CARATTERISTICHE GEOLOGICO-TECNICHE DEI TERRENI

L'indagine geognostica effettuata nell'ambito di questo lavoro, quella eseguita per conto della ASUITS (sondaggi, prove SPT, prove di laboratorio, etc.) e i dati ottenuti da indagini pregresse hanno permesso di definire le caratteristiche geomeccaniche sia dei terreni di copertura, sia del substrato flyschoidale, sede del tracciato della strada.

### Terreni di copertura

I dati ricavati dai sondaggi meccanici e quelli acquisiti durante il rilevamento geologico hanno messo in risalto che superficialmente le coperture dei settori interessati dalla rete viaria in progetto, ad esclusione del terreno vegetale, sono costituite da **riporti** e da sedimenti di origine flyschoidale (**cappellaccio di alterazione del flysch**).

I **riporti** sono risultati particolarmente estesi nel settore delle scuole e lungo la via Alpi Giulie, dove saranno realizzate le rotatorie (R1 e R2) e i collegamenti con la sopraelevata. Si tratta di terreni che possono inglobare resti di calcestruzzo scaricati, anche di notevoli dimensioni, o frammenti di laterizi; cionondimeno, di norma si ritrovano clasti arenacei accompagnati a frammenti calcarei pluridimensionali, immersi in abbondante matrice sabbiosa o sabbioso-limosa. Sono materiali granulari grossolani consolidati, classificabili come "molto compatti" (i dati  $N_{SPT}$  sono elevati o raggiungono il rifiuto in ogni sondaggio eseguito) e con spessori variabili di ordine metrico: nel settore della rotatoria R1 e dei raccordi con la sopraelevata raggiungono una potenza di 4-5 m circa, in quelli della via Alpi Giulie e nel sito della rotatoria R2 di 3 m circa.

Nel versante in cui si svilupperà il tratto a monte della rotatoria R2 di collegamento con l'ospedale le osservazioni di campagna e i sondaggi eseguiti per conto dell'ASUITS hanno evidenziato caratteristiche dei riporti dissimili da quelle dell'area della scuola, con spessori minori, ma localmente variabili.

Essi, risultano per lo più commisti con i sottostanti sedimenti del cappellaccio (Cfr. Sond. SA13 in par. 5.1 e sondaggi S01, S02 e S03 in par. 7) che, in generale, abbassano i valori di attrito, oppure costituiti da ghiaia con sabbia limosa e da clasti arenacei, anche grossolani, ma rari laterizi.

Dal punto di vista meccanico, come già detto, anche per l'elevata presenza di frazioni fini, presentano scadenti caratteristiche, anche se una prova SPT, eseguita nei livelli più superficiali nel sondaggio S03, classifica questi materiali come "moderatamente addensati".

Sulla base delle prove effettuate (SPT) nell'area d'interesse, dei diversi spessori, e del diverso comportamento meccanico emerso nei due settori, si possono distinguere i parametri geotecnici di pertinenza dei riporti nelle due zone interessate dalla nuova viabilità.

#### **area sud-occidentale**

peso di volume: 18 - 20 kN/m<sup>3</sup>  
coesione: 0 kN/m<sup>2</sup>  
angolo d'attrito: 35°-40°  
modulo edometrico: 50 -55 MPa

#### **area settentrionale**

peso di volume: 19 - 20 kN/m<sup>3</sup>  
coesione: 0 - 6 kN/m<sup>2</sup>  
angolo d'attrito: 34°-36°  
modulo edometrico: 25 - 45 MPa

Il sottostante **cappellaccio di alterazione del flysch** presenta caratteristiche limoso-sabbiose e limoso-argillose, con il classico colore marrone. Deriva dalla degradazione del sottostante substrato ed ingloba frammenti pluridimensionali di natura arenacea.

A tal proposito va detto che in tutta l'area interessata dalla nuova viabilità questo litotipo, di prevalente natura coesiva o pseudocoesiva, è commisto ad una notevole quantità di materiali litoidi, provenienti dal sottostante substrato o dal sovrastante riporto per operazioni di rimaneggiamento (cfr. SM2, S02 e S03). Questa presenza di elementi grossolani spigolosi, aventi dimensioni da centimetriche a decimetriche, ha determinato durante le prove *in situ* (SPT) valori molto elevati del numero di colpi fino a far registrare rifiuto. Per tale motivo questo cappellaccio di alterazione, pur dimostrando durante le perforazioni una certa "durezza", nelle precedenti tabelle riassuntive il valore di densità relativa e di attrito risulta sovrastimato.

Per quanto riguarda il suo spessore si è visto che nei punti in cui sono stati eseguiti i sondaggi la sua potenza, di norma, è di 2-3 m, ma in corrispondenza del sondaggio S02 (Fig. 7.1) raggiunge gli 8 m circa.

Come già detto le prove SPT hanno evidenziato elevati valori del numero di colpi a causa dell'abbondante presenza di frammenti litoidi. Cionondimeno, dati bibliografici indicano che questi sedimenti hanno proprietà meccaniche molto scadenti, a causa delle loro caratteristiche espansive e di plasticità, condizione questa confermata dai risultati delle prove di laboratorio su campioni sulle parti più fini del sedimento (cfr. camp. SM1 CR1, SM3 CR1 e S02 CR1 IP = 13, 18 e 20).

A riprova di quanto detto, per definire i parametri meccanici di pertinenza di questo livello prevalentemente coesivo, si rimanda ai risultati delle prove di laboratorio (peso di volume, limiti di Atterberg, Prova di taglio diretto, etc.) eseguite su 2 campioni rimaneggiati di questo sedimento e prelevati nei sondaggi SM1 e SM3 (cfr. par. 6.3) e su un campione rimaneggiato prelevato nel sondaggio S02 (cfr. par. 7). Analizzando i dati delle tre prove, non molto discordanti tra loro, è stato possibile fornire il seguente *range* di valori:

peso di volume: 20 - 20,5 kN/m<sup>3</sup>  
 coesione: 5 - 20 kN/m<sup>2</sup>  
 angolo d'attrito: 22°- 25°

Si fa presente che questi dati risultano in linea con i risultati di laboratorio, eseguiti su campioni di cappellaccio di alterazione del flysch, riportati nella relazione del dott. Marassi (par. 5.4).

#### Substrato flyschoid

Normalmente per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche della Formazione eocenica del flysch Triestino, in mancanza di specifiche prove “ad hoc”, viene fatto riferimento alle analisi eseguite in laboratorio ed in situ e riportate in Baldovin (1968) e in altre bibliografie.

In particolare, Baldovin (1968), sulla base di prove di taglio e considerando le alternanze arenaceo-marnose come un ammasso roccioso omogeneo, consiglia l'utilizzo dei seguenti parametri:

$\Phi$  (angolo d'attrito) = 15°- 23°  
 c (coesione) = 100 - 150 kN/m<sup>2</sup>  
 $\gamma$  (peso di volume) = 23 - 24 kN/m<sup>3</sup>  
 Ed (modulo deformazione) = 3400 – 4000 MPa



Al momento, questi valori ritenuti prudenziali per attrito e coesione, ben si adattano alle caratteristiche meccaniche delle carote di flysch prelevate nei sondaggi eseguiti. Infatti, particolarmente evidente è risultata la fratturazione e l'alterazione della roccia accompagnata da livelli di marna plasticizzata. A conferma di ciò si ricorda che nel sondaggio SM3 sono stati registrati indici RQD prossimi allo zero.

Altri autori ed in particolare Pellicciari (1981), attribuiscono a questa facies valori di attrito superiori (25°-35°), un peso specifico attorno a 25-26 kN/m<sup>3</sup>, accompagnati da valori di coesione molto elevati (150-350 kN/m<sup>2</sup>).

Tuttavia, va riferito che le effettive condizioni di giacitura, al momento non del tutto note all'interno dell'area in esame, condizionano i valori dei parametri geotecnici da adottare in fase progettuale: dalla bibliografia consultata risulta che per pressioni parallele ai giunti di strato è opportuno utilizzare un " $\Phi$ " attorno a 12°-15°, mentre per pressioni normali ai giunti il valore dell'angolo d'attrito può superare anche i 35°-40°.

Da quanto osservato nei 4 sondaggi, eseguiti in questo lavoro, risulta che le caratteristiche generali dell'ammasso flyschoidale indagato sono, nel complesso, molto scadenti, ascrivibili alla Classe 5 nella classificazione di Bieniawski. I migliori indici di RQD (Mediocre e Scadente) sono quelli relativi al sondaggio eseguito in corrispondenza della via Alpi Giulie (SM2).

Queste condizioni di degrado del substrato roccioso non corrispondono alle discrete qualità rilevate dal dott. Marassi nella sua relazione (Cfr. par. 5.4), anche se occorre precisare che le sue indagini sono piuttosto lontane dalla nostra area d'interesse, in quanto poste in un settore molto vicino al Polo Ospedaliero.

Infine, per quanto attiene ai parametri meccanici del substrato, tenendo conto di quanto indicato dalla bibliografia e, soprattutto, dall'esito delle osservazioni visive delle stratigrafie dei sondaggi, al flysch considerato come un ammasso roccioso unitario, possono competere i valori riportati nella seguente Tabella.

LITOTIPI	PESO DI VOLUME (g) (kN/m <sup>3</sup> )	COESIONE (C) (kN/m <sup>2</sup> )	ANGOLO D'ATTRITO	MODULO DI DEFORMAZIONE (MPa)
fascia di alteraz. flysch crostello	22-23	80-120	15°-23°	3400 - 4000
flysch	23-24	100 - 230	25°- 35°	7000-8000

## **9. SEZIONE GEOLOGICA**

La sezione geologica, di norma, rappresenta schematicamente le caratteristiche dei terreni interessati dai nuovi interventi lungo profili significativi ai fini dell'interpretazione.

Nel caso in oggetto, trattandosi di una strada che si sviluppa su un areale piuttosto esteso, con cambi di direzione e dislivelli anche importanti, in alternativa alla sezione geologica tradizionale, si è preferito presentare sinteticamente le singole situazioni litostratigrafiche messe in luce dai sondaggi eseguiti in loco, permettendo così di avere una visione complessiva dell'area.

Il quadro geologico risultante è quello riportato nella Fig. 11.2, inserita nel successivo par. 11, nella quale gli spessori dei livelli di copertura e la profondità del substrato flyschoidale sono rappresentati mediante box e valori numerici.

## 10. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Allo scopo di definire le azioni sismiche del progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, viene fornita la modellazione sismica dei terreni fondazionali, come indicato dalle NTC 2018 (cfr. 3.2.2).

La caratterizzazione sismica viene presentata sia per il settore occidentale dell'area studiata (Tabella 1), dove saranno realizzati i collegamenti con la Grande Viabilità sopraelevata (Zona scuola e palestra Don Milani), sia per la parte di versante interessata dalle rotatorie R2 e R3 e dalla strada di collegamento con il Polo Cardiologico (Tabella 2).

La struttura viaria da progettare rientra nella "Classe d'uso III", con una vita Nominale ( $V_n$ ) pari o superiore 50 anni che corrisponde al numero di anni di utilizzo, purché soggette alla manutenzione ordinaria.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, per individuare la categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche, è stato fatto riferimento ai risultati delle due indagini sismiche MASW 1 e 2 e alle Tabelle 3.2.II e 3.2.III della normativa (par. 3.2.2 N.T.C. 2018).

In particolare, per la determinazione della categoria di sottosuolo, sono stati considerati i seguenti punti:

- i) in caso di fondazioni superficiali la profondità di riferimento inizia dal piano d'imposta della fondazione, mentre per fondazioni profonde ci si riferisce alla testa dei pali.
- ii) La copertura al di sopra del substrato roccioso flyschoidale presenta uno spessore >3 m.

### Area sud-occidentale (scuola e palestra Don Milani)

In quest'area l'indagine sismica MASW1 ha individuato, nei suoli posti al di sopra del *bed-rock*, una velocità delle onde di taglio ( $V_{s3,6}$ ) pari a 516 m/s; questo dato permette di inserire i terreni di questo settore nella "**Categoria di sottosuolo B**" (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti...*).

Per quanto attiene alle condizioni topografiche il versante, caratterizzato da una pendenza media di 10°, rientra nella **Categoria "T1"** (*"Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ "*).

Di seguito, in Tabella 1, vengono riassunti i parametri sismici dell'area in oggetto.

## TABELLA 1

## Parametri sismici

Sito in esame (Zona scuola e palestra Don Milani - Trieste)

latitudine:	45,631264 (ED50)	45.630375 (WGS84)
longitudine:	13,819693	13.818739
Classe:	3	
Vita nominale:	50	

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 11881	Lat: 45,6346	Lon: 13,7752	Distanza: 3479,786
Sito 2	ID: 11882	Lat: 45,6345	Lon: 13,8466	Distanza: 2119,014
Sito 3	ID: 12104	Lat: 45,5845	Lon: 13,8463	Distanza: 5598,633
Sito 4	ID: 12103	Lat: 45,5846	Lon: 13,7749	Distanza: 6245,158

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	75 anni
Coefficiente cu:	1,5

Stato limite	Probabilità di superamento: %	Tr Tempo ritorno (anni)	ag (m/s <sup>2</sup> )	Fo	Tc* s
Operatività (SLO)	81	45	0,039 g	2,565	0,224
Danno (SLD)	63	75	0,050 g	2,587	0,248
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,130 g	2,525	0,326
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1462	0,164 g	2,568	0,338

Coefficienti Sismici

Stato limite	Ss (ampl. strat.)	Cc (Coeff. Funz. Cat.)	St (Ampl. Topo.)	Kh	Kv	Amax (m/s <sup>2</sup> )	beta
SLO	1,200	1,480	1,000	0,009	0,005	0,459	0,200
SLD	1,200	1,450	1,000	0,012	0,006	0,593	0,200
SLV	1,200	1,380	1,000	0,037	0,019	1,525	0,240
SLC	1,200	1,370	1,000	0,047	0,024	1,935	0,240

Area settentrionale a S del Polo Cardiologico

L'indagine sismica MASW2 ha individuato, nei suoli posti al di sopra del *bed-rock*, una velocità delle onde di taglio ( $V_{s5.1}$ ) pari a 487 m/s; questo dato permette di inserire i terreni di questo settore nella "**Categoria di sottosuolo B**" (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti...*).

Per quanto attiene alle condizioni topografiche il versante, caratterizzato da una pendenza media  $> 15^\circ$ , rientra nella **Categoria "T2"** (*"Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ "*).

Di seguito, in Tabella 2, vengono riassunti i parametri sismici dell'area in oggetto.

## TABELLA 2

## Parametri sismici

Sito in esame (Versante a S del Polo Cardiologico - Trieste)

latitudine: 45,632983 (ED50) 45.632094 (WGS84)  
 longitudine: 13,827081 13.826127  
 Classe: III  
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 11881	Lat: 45,6346	Lon: 13,7752	Distanza: 4038,063
Sito 2	ID: 11882	Lat: 45,6345	Lon: 13,8466	Distanza: 1523,415
Sito 3	ID: 12104	Lat: 45,5845	Lon: 13,8463	Distanza: 5596,895
Sito 4	ID: 12103	Lat: 45,5846	Lon: 13,7749	Distanza: 6734,422

Categoria sottosuolo: B  
 Categoria topografica: T2  
 Periodo di riferimento: 75  
 Coefficiente cu: 1,5

Stato limite	Probabilità di superamento: %	Tr Tempo ritorno (anni)	ag (m/s <sup>2</sup> )	Fo	Tc* s
Operatività (SLO)	81	45	0,039 g	2,563	0,224
Danno (SLD)	63	75	0,051 g	2,580	0,247
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,132 g	2,519	0,324
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1462	0,168 g	2,561	0,336

Coefficienti Sismici

Stato limite	Ss (ampl. strat.)	Cc (Coeff. Funz. Cat.)	St (Ampl. Topo.)	Kh	Kv	Amax (m/s <sup>2</sup> )	beta
SLO	1,200	1,480	1,200	0,011	0,006	0,556	0,200
SLD	1,200	1,450	1,200	0,015	0,007	0,722	0,200
SLV	1,200	1,380	1,200	0,046	0,023	1,866	0,240
SLC	1,200	1,370	1,200	0,058	0,029	2,371	0,240

## 11. COMPATIBILITÀ GEOLOGICA DEL PROGETTO DELLA NUOVA STRADA E CONCLUSIONI

In base ai risultati ottenuti dalle indagini (rilevamento di campagna, prospezioni geognostiche, prove geofisiche, etc.), integrati dai dati della nuova campagna geognostica e di quelli degli studi precedenti, è possibile delineare le caratteristiche geologiche e geotecniche dei terreni presenti lungo il tracciato della nuova strada e le principali problematiche che possono interferire con il progetto, al fine di verificare la compatibilità.

Qui di seguito, per le varie tematiche, vengono indicati gli aspetti più significativi, positivi e negativi, che possono interessare il versante.

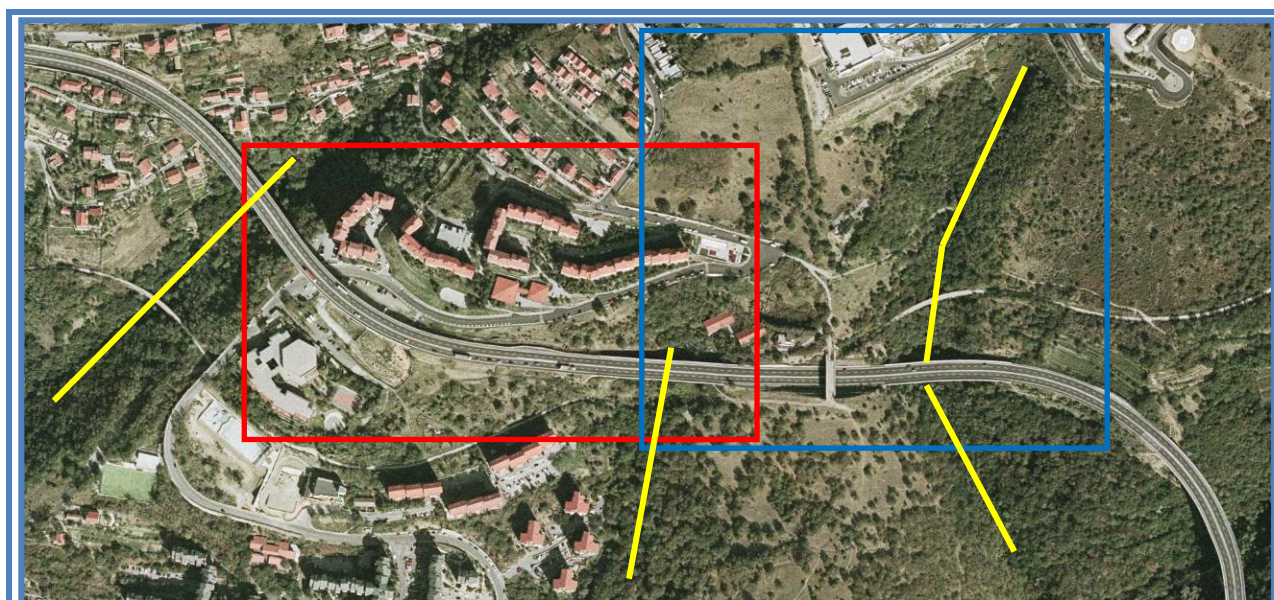


Fig. 11.1 – Foto aerea della zona di interesse. I riquadri colorati indicano l'area settentrionale e l'area sud-occidentale (colori blu e rosso) descritte nel testo. Le linee gialle delineano i principali impluvi.

Allo scopo di facilitare la lettura, come è stato fatto nel paragrafo della morfologia (cfr. par. 4.2), per la descrizione del versante di interesse questo è stato diviso in due settori (Fig. 11.1):

-area sud-occidentale: situata in prossimità della scuola e della palestra, è caratterizzata dalla rotatoria R1 e da una serie di raccordi della nuova strada con la Grande Viabilità Triestina e la via Alpi Giulie;

-area settentrionale: corrisponde ai tratti della nuova strada che congiungono la rotatoria R2 alla R3, fino al Polo Cardiologico.

- GEOMORFOLOGIA

Numerosi sono i fattori geologici e morfologici del versante che possono interferire negativamente o positivamente sulla fattibilità della strada e delle sue rampe d'accesso. In particolare, un elemento sicuramente favorevole per la stabilità è costituito dall'assetto delle giaciture a reggipoggio o a traverpoggio dei livelli marnoso-arenacei del Flysch che interessa tutto il versante in esame. Anche per quanto attiene ai disturbi tettonici questi, dovuti agli stress tettonici tipici del flysch triestino, sono limitati a una sola faglia (presunta) posta a valle del complesso ospedaliero, in corrispondenza dell'incisione del Rio Storto.

Un quadro schematico delle caratteristiche dei terreni interessati dai nuovi interventi è fornito dalla Fig. 11.2 che, analogamente a una sezione geologica (cfr. par. 9), mette in evidenza, nei vari punti monitorati dai sondaggi, gli spessori dei materiali di copertura (riporti e cappellaccio), del flysch alterato e la profondità del substrato flyschoido sano.

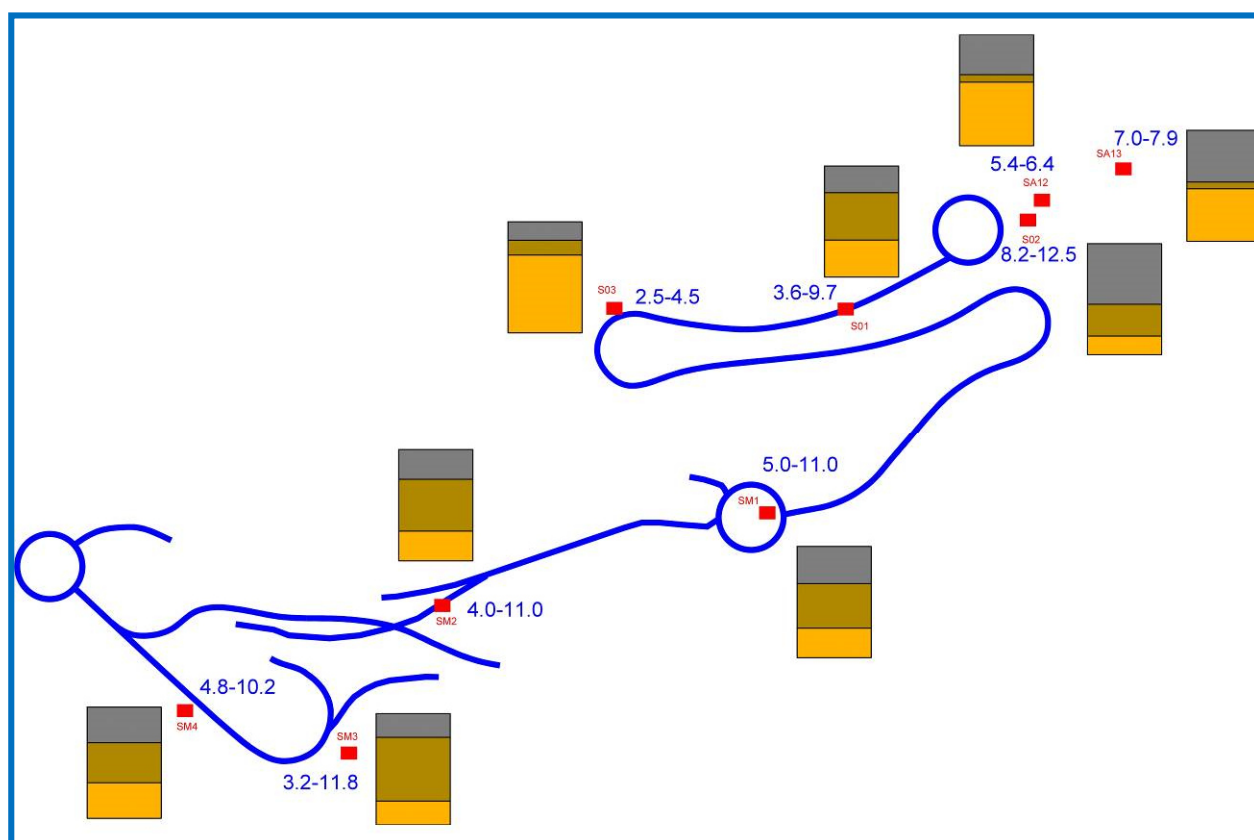


Fig. 11.2 – Sezione geologica dell'area con i punti dei sondaggi e, in forma numerica e grafica, le profondità dei riporti e del cappellaccio (box grigio), del flysch alterato (box marrone) e del flysch sano (box marrone chiaro). In colore blu il tracciato orientativo della strada.



### Area sud-occidentale

Situata in prossimità della scuola e della palestra (Fig. 1.1), è caratterizzata dalla presenza della rotatoria R1 e da una serie di rampe di collegamento con la sopraelevata e la via Alpi Giulie.

Questo settore è stato oggetto di numerosi interventi antropici che nel tempo hanno modificato la morfologia, attenuando le pendenze rendendo così più stabile il pendio.

I lavori di sterro e di riporto risulteranno facilitati dalla morfologia del luogo, senza particolari rischi.

Gli interventi interesseranno prevalentemente i terreni di copertura (spessori fino a 5 m circa), ma potranno coinvolgere anche i terreni più profondi, intaccando i modesti spessori del cappellaccio di alterazione del flysch e lo stesso *bed-rock*. Quest'ultimo, seppur con numerose discontinuità, superati i 10 m circa di profondità, si presenta sano e con un assetto giaciturale favorevole (reggipoggio).

I due ampi terrazzi artificiali sub-pianeggianti vicini alla rotonda R1, attualmente utilizzati come posteggio e come deposito, rappresentano uno spazio adeguato e sicuro sia per la rotatoria che per le rampe d'accesso. Anche le curvature dei vari tratti previste dal progetto risultano funzionali agli spazi disponibili.

Spostandoci verso SE, dove è prevista la costruzione dell'altra rampa, il pendio presenta una maggiore pendenza (11° circa). È contraddistinto sotto la sopraelevata da una scarpata artificiale poco scoscesa e da una superficie topografica molto irregolare che si estende fino alla pista ciclabile.

Gli spazi ridotti e l'acclività del luogo permetteranno a malapena l'inserimento delle previste curvature del tracciato. In queste condizioni, sarà necessario eseguire importanti operazioni di scavo e riporto e, conseguentemente, la realizzazione di adeguate opere di contenimento.

In quest'area i terreni di copertura di origine flyschoidi prevalgono sui sovrastanti riporti aventi spessori fino a 2 m. Gli scavi, quindi, riguarderanno depositi prevalentemente coesivi o pseudocoesivi di scadente qualità, con frammenti, localmente anche importanti, di roccia arenacea e/o marnosa.

Il sottostante flysch, pur mantenendo un assetto favorevole, è in facies marnosa, con livelli degradati di marna a scaglie o plasticizzati, che si alternano ad arenarie marnose più resistenti,

ma di ordine centimetrico. Queste condizioni sembrano quasi risentire del vicino passaggio ad un flysch di tipo "T4" o addirittura "T5" che, in particolare, caratterizza le fondazioni delle case di Altura poco più a valle.

Le proprietà meccaniche del substrato tendono a migliorare al di sotto dei 12-13 m dal p.c.

L'altra rampa d'accesso occuperà un ristretto territorio, parzialmente in scarpata, compreso tra l'attuale sopraelevata e la via Alpi Giulie sulla quale dovrà raccordarsi.

I sopralluoghi non hanno rilevato alcun dissesto significativo, né solchi causati da fenomeni di ruscellamento superficiale. La stessa vegetazione arborea che la ricopre non presenta inclinazioni dei fusti.

Anche in questo caso la morfologia attuale sarà modificata dai nuovi interventi con variazioni delle pendenze. Le operazioni di cantiere riguarderanno i riporti superficiali, i cui spessori sono di ordine metrico (2-3 m circa) e, più sotto dapprima i depositi coesivi, successivamente i livelli del flysch, la cui facies arenacea (a -10 m circa di profondità), sempre con assetto a reggipoggio, può garantire stabilità e buone capacità d'appoggio.

In base ai sopralluoghi eseguiti, confermati dai dati bibliografici non risultano presenti nell'area disturbi tettonici significativi.

Infine, l'impluvio costituito dal R. Marcese, presente a S della strada sopraelevata, non comporterà problemi particolari trovandosi, anche se di poco, al di fuori dell'area degli interventi in progetto.

### **Area settentrionale**

È caratterizzata dal tratto della nuova strada, lungo 840 m, che collega, con due tornanti la rotatoria R2 (quota 188 m circa) alla R3 (quota 233 m circa) all'ospedale.

Il versante di questo settore, meno antropizzato rispetto a quello sud-occidentale (Fig. 1.1), si presenta in buone condizioni di naturalità e con acclività limitate. Infatti, dalla base dello spianamento antropico adiacente al muro armato del Polo Cardiologico, una breve ma ripida scarpata (>30° circa), si correla al sottostante versante che, con pendenze comprese tra 15°-20° circa, raggiunge l'area dell'impianto di depurazione dell'ospedale.

Quest'ultima, con la condotta del metano che taglia trasversalmente il declivio, sono le uniche infrastrutture presenti in questo settore. L'impianto (a quota 195 m) è ubicato vicino alla rotatoria R2, mentre il tracciato del metanodotto parte da quota 190 m, poco a valle del

depuratore, per risalire in direzione S-N fino all'ospedale. Inoltre, si segnalano i rilevanti movimenti terra che hanno interessato, in tempi più recenti, il settore posto ad W del Polo Cardiologico che comprende la fascia di terreno ubicato in adiacenza della via del Botro. Qui, da quanto è stato appurato, nel settore destinato ai nuovi parcheggi, è stato eseguito un disboscamento con una riprofilatura del pendio che ha ridotto l'originale pendenza del versante (cfr. par. 4.2).

La parte più acclive della strada è quella immediatamente a monte della rotatoria R2; oltre, il tracciato prosegue in salita, ma con minore pendenza, in quanto segue l'andamento delle isoipse. Queste pendenze moderate continuano fino all'ospedale, intervallate dalle rampe dei due tornanti.

La possibile soluzione alternativa del tracciato della strada (Fig. 11.3), inserito immediatamente a W del depuratore (invece che ad E, come nel progetto in esame), comporterebbe una maggiore pendenza subito a monte della rotatoria R2, ma una più moderata nel tratto successivo, fino al primo tornante. Inoltre, i due segmenti più elevati del percorso risulterebbero ravvicinati e disposti il primo in aderenza al muro di contenimento in terre armate, mentre il secondo potrà innestarsi sulla viabilità esistente.

Con questa soluzione si potrà sfruttare la situazione sub-pianeggiante del posto limitando possibili interventi più complessi (trincee, consolidazioni, opere di contenimento, etc.) sul versante più acclive. Inoltre, un altro aspetto positivo di questa variazione del progetto potrebbe essere la realizzazione del tracciato della strada il più possibile lontano dall'impluvio del R. Storto (cfr. par. 3, 4.3 e 4.5).

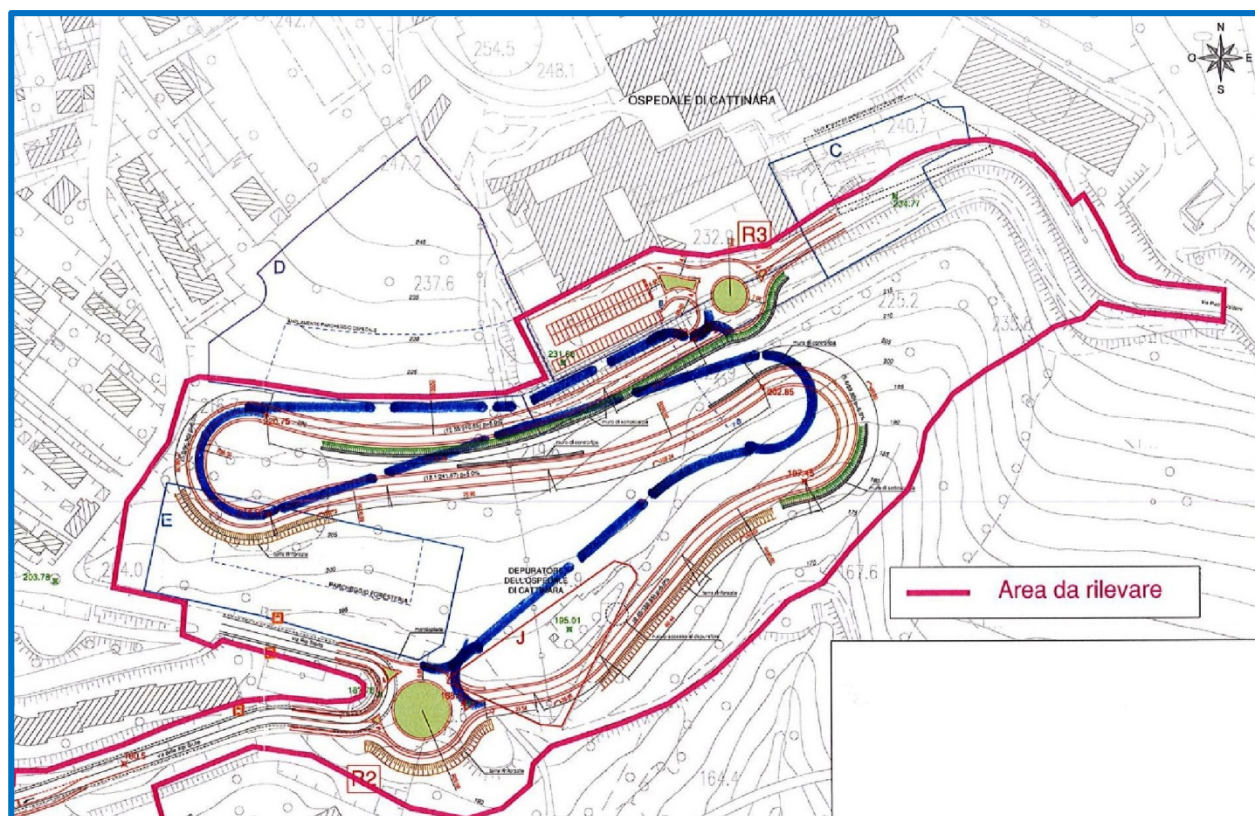


Fig. 11.3 - Soluzione del tracciato, proposta dal progettista ing. Novarin, alternativa rispetto a quella iniziale di Fig. 1.2.

Come è stato detto per il settore sud-occidentale, gli interventi previsti, consistenti nella realizzazione di rilevati, interesseranno i terreni di copertura di minor spessore (1 m circa), ma anche il cappellaccio di alterazione del flysch e lo stesso *bed-rock*. Pertanto, particolare attenzione dovrà essere posta alle pressioni indotte dal sovraccarico sul terreno di fondazione che potrebbero comportare fenomeni di cedimento legati alla natura dei materiali d'appoggio.

Nei tratti in pendenza la stabilità della strada sarà affidata alla costruzione di adeguate opere di contenimento, quali i muri di sottoscarpa, le fondazioni dei quali dovranno essere impostate nella sottostante roccia stabile, sana e non deformata. Questi interventi dovranno essere corredati da idonei drenaggi per le acque superficiali, magari smaltendole nei vicini rii. In tal modo si eviteranno pericolosi fenomeni di ruscellamento mantenendo inalterato l'equilibrio idrogeologico esistente (cfr. par. 4.3). Per di più potranno essere smaltiti i cospicui volumi di acqua superficiale che lo stesso piano stradale intercetterà, convogliandoli nel versante sottostante. Per quanto attiene all'aspetto idrogeologico, la presenza di vene d'acqua rilevate a profondità piuttosto elevate (>7 m dal p.c.), con escursioni massime di 1 m circa, escludono possibili interferenze con l'opera in progetto.

In quest'area i terreni di copertura di origine flyschoidi risultano commisti ai riporti ed assumono spessori anche consistenti specialmente nella parte più orientale (fino a 8 m).

Anche in questo settore gli eventuali scavi (che presumibilmente non raggiungeranno il substrato flyschoidi sano posto a profondità superiori a 5 m circa) riguarderanno depositi di natura mista di scadente qualità, con frammenti anche molto grossolani di roccia arenacea e/o marnosa, senza particolari difficoltà riguardo alla loro scavabilità. Pertanto, se si eseguiranno locali scavi sarà necessario valutare la scelta della tecnica e salvaguardare le pareti con adeguate sbadacchiature provvisorie.

Al di sotto, il sottostante flysch può garantire stabilità e buone capacità d'appoggio, in quanto è disposto con un assetto favorevole (stratificazione sub-orizzontale) e denota una facies marnosa, scarsamente alterata, seppur intensamente fratturata con strati di marna di potenza decimetrica, alternati ad arenarie marnose, ma di ordine centimetrico.

Infine, come indicato in premessa, in bibliografia è segnalato un disturbo tettonico locale sul quale si è impostato l'impianto del R. Storto. **Questa faglia, non essendo attiva e distante dal nuovo tracciato, non comporterà problemi alle nuove opere.**

- IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA

Per quanto riguarda queste tematiche, in fase progettuale sarà vincolante il rispetto del principio dell'invarianza idraulica, secondo il quale le portate di deflusso meteorico scaricate da monte a valle non devono essere maggiori di quelle preesistenti alla costruzione delle infrastrutture, anche in assenza di aree di pericolosità idraulica.

In altre parole, le nuove opere non dovranno ostacolare il regime delle acque, ma si dovrà trovare una compensazione, con adeguate opere di drenaggio e smaltimento, alla riduzione dell'infiltrazione e all'aumento dei deflussi, effetti della trasformazione urbanistica.

Per questi interventi sarà necessario prevedere uno studio idrogeologico *ad hoc* che dovrà tener conto tra l'altro della piovosità e della bassa permeabilità riscontrata nei terreni superficiali dell'area in studio.

### **Area sud-occidentale**

In questo settore le infrastrutture (via Alpi Giulie e sopraelevata) e gli edifici esistenti (complesso scuola-palestra e case), dotati di efficienti sistemi di captazione e smaltimento delle acque piovane, attenuano il deflusso superficiale. Infatti, le limitate aree di terreno non urbanizzato non hanno evidenziato tracce di ruscellamento concentrato delle acque superficiali.

Le acque intercettate in questo settore dalla nuova viabilità potranno essere agevolmente smaltite nel vicino alveo del Rio Corgnoletto che fungerà da collettore naturale.

Un'altra incisione che potrà essere utilizzata, in caso di necessità per lo smaltimento delle acque, è il rio Marcese che nasce a SE della rotatoria R2 e defluisce al di sotto della sopraelevata verso S. smorzano

Per quanto attiene all'idrogeologia, si segnala che durante la campagna geognostica, fino alla profondità di 7 m circa dal p.c., non è stata rilevata acqua. Cionondimeno, sulla base dell'esperienza personale, si ritiene probabile la presenza di locali, ma modeste vene d'acqua a profondità minori, che potrebbero essere intercettate nelle operazioni di scavo durante la fase esecutiva. Questa situazione è comprovata, in occasione di prolungate precipitazioni, dalla locale presenza di acqua che viene a giorno in piccole quantità sul fronte delle scarpate lungo la via Alpi Giulie, a SE della scuola.

### **Area settentrionale**

È il settore in cui il versante è maggiormente acclive, con pendenze variabili attorno a 20° e non essendo stato riscontrate tracce di ruscellamento concentrato è sicuramente condizionato, in occasione di intense e durature precipitazioni, dal fenomeno del "deflusso superficiale diffuso" (*runoff*), già descritto nel par. 4.3.

Il tracciato della strada si svilupperà in maniera trasversale al pendio, per cui il fenomeno del *runoff* richiederà a monte dei vari manufatti l'adozione di validi sistemi di captazione e di smaltimento delle acque.

Nel complesso, tenendo conto anche della presenza della strada, sarà necessario che i sopra citati sistemi di captazione siano costituiti da efficienti sistemi di drenaggio (dreni, canalette e doccioni, etc.) per raccogliere e convogliare le acque nei previsti pozzetti di smaltimento.

Questi interventi eviteranno interferenze negative lungo il versante, salvaguardando le zone più a valle da pericolose deviazioni dei flussi idrici, causate dall'eventuale sbarramento delle nuove opere.

Le acque, così intercettate, potrebbero essere smaltite nella vicina incisione del R. Storto, via naturale di deflusso.

Sulla base delle esperienze personali e della bibliografia relativa all'idrogeologia nel flysch, si può confermare che il movimento delle acque sotterranee avviene per vene attraverso le discontinuità della roccia (permeabilità secondaria) e, quindi, non si tratta di una falda freatica.

Tuttavia, nel periodo di esecuzione delle misure freatimetriche (cfr. par. 4.3), il piezometro inserito nel foro del sondaggio SM1 ha evidenziato all'interno del substrato flyschoidale la presenza di acqua mediamente a -7,3 m dal p.c., con un'escursione di 1 m circa.

Più a monte nel corso dei sondaggi più recenti l'acqua è stata segnalata a profondità di 8-10 m dal p.c. (cfr. sond. S03 e S01).

In fase esecutiva queste acque profonde risulteranno poco significative per il nuovo progetto, tuttavia potranno essere intercettate in eventuali tratti in trincea della strada o, in caso di una soluzione su piloni, in corrispondenza delle loro fondazioni.

Le opere di captazione dovranno essere costituite da efficienti sistemi di drenaggio (dreni, canalette e doccioni, etc.) per convogliare le acque nei pozzetti di smaltimento.

Per evitare interferenze negative lungo il versante e salvaguardare le zone più a valle da pericolose deviazioni dei flussi idrici causate dall'eventuale sbarramento delle nuove opere, le acque, intercettate tramite i sopra citati sistemi di captazione, potrebbero essere smaltite nella vicina incisione del R. Storto, via naturale di deflusso.

- GEOSTATICA

I due settori interessati dalla realizzazione della futura strada non presentano significativi indizi di instabilità geostatica né a monte, né a valle del tracciato.

La buona condizione generale di stabilità del versante, confermata dalle due verifiche eseguite a S del polo ospedaliero, è dovuta anche alle giaciture favorevoli (a reggipoggio o traverpoggio) del substrato flyschoidale.

### **Area sud-occidentale**

Come è già stato delineato nella geomorfologia, in quest'area i numerosi interventi degli anni passati hanno modificato in modo sostanziale la morfologia originale, consentendo così l'inserimento di importanti infrastrutture, quali il complesso scuola-palestra e la sopraelevata. La conseguente riduzione generale delle pendenze ha portato, così, alla stabilizzazione della pendice.

Questa situazione, nel complesso positiva, in cui si svilupperà il tracciato stradale caratterizzato dalla rotatoria R1 e dalle diverse rampe di collegamento, sarà agevolata dalla presenza di ampie aree pianeggianti o di moderata pendenza. Queste buone condizioni ridurranno al minimo i potenziali rischi per l'inserimento delle rampe, con limitati interventi di scavo.

Per quanto attiene ai terreni di fondazione, quelli più superficiali (molto compatti in base ai valori di  $N_{SPT}$ ), e soprattutto, il sottostante substrato flyschoidale, sono in grado di supportare i sovraccarichi causati da una tipologia di strada in rilevato, senza generare apprezzabili cedimenti differenziali.

Al contrario, eventuali tratti in trincea potrebbero provocare sfavorevoli situazioni locali favorendo, nei fronti di scavo più prossimi alla superficie, l'innescare di movimenti franosi nella copertura, essendo tali depositi prevalentemente di natura granulare, con valori di coesione prossimi allo zero. Tuttavia, a questa situazione, in fase esecutiva si potrà rimediare, dapprima, con opere di contenimento provvisoriale e, successivamente, con opere murarie.

### **Area settentrionale**

Il tracciato che unirà le rotatorie R2 e R3 occuperà quasi totalmente il versante del colle di Montebello tra l'area ospedaliera e il depuratore.

Le pendenze più accentuate si trovano in corrispondenza del Rio Storto con valori tra 18° e 20° che diminuiscono fino a 14° circa nel settore compreso tra il sito dell'ospedale e la via del Botro.

Da precedenti indagini geologiche che hanno riguardato il Rio Storto, è risultato che in corrispondenza del fianco occidentale dell'alveo, in base all'anomala inclinazione degli alberi, è stata rilevata l'attività di lenti movimenti di *creeping*. Questo fenomeno franoso coinvolge il terreno sciolto superficiale e, molto probabilmente, parte del cappellaccio di alterazione del



flysch. Per di più va considerato che in alcuni punti delle sue sponde sono evidenti gli effetti di fenomeni erosivi localizzati.

Questa situazione geostatica di potenziale instabilità potrebbe condizionare sfavorevolmente la sede stradale e le previste opere di contenimento (tratto in curva), se posizionate in prossimità di questa zona. Per ovviare a questa problematica, mettendo in sicurezza il muro di sottoscarpa e la strada, sarà necessario approfondire i piani di appoggio fondazionali fino al flysch sano.

La rimanente parte del pendio di acclività moderata, comprese alcune zone destinate al posteggio dell'ospedale e della foresteria, non presentano instabilità significative, e ciò anche a seguito di evidenti movimenti terra, eseguiti poco tempo fa e non ancora ultimati.

In questo settore, l'andamento del tracciato attraverserà in due tratti il metanodotto interrato. Qui nelle parti più acclive, mediante l'inserimento di opere di contenimento (muri di sottoscarpa, terre rinforzate, etc.), potranno essere realizzati i previsti raggi di curvatura e le pendenze della strada (5% circa) fino al raccordo con la rotatoria R3.

Infine, tenendo conto che le soluzioni costruttive della strada potranno essere sia in rilevato, sia a mezzacosta, sia in trincea, occorrerà, al fine di definire l'altezza e l'inclinazione della scarpata, conoscere le caratteristiche di resistenza al taglio dei materiali utilizzati per i rilevati e quelle che costituiscono il versante. Al momento, non avendo alcun dato sulla tipologia e granulometria del materiale di riporto che potrebbe essere utilizzato per i rilevati, si può fornire solamente qualche indicazione sulle pendenze di eventuali scarpate, tenendo conto che i terreni naturali sono risultati nel complesso addensati. Fonti bibliografiche (Serafini, 1994) per materiali naturali addensati propongono una pendenza della scarpata compresa tra 30 ° e 45°.

- RIPPABILITÀ DEI TERRENI

Per quanto riguarda la maggior o minore facilità di scavabilità dei terreni, tenendo conto della buona omogeneità dei materiali di copertura che caratterizzano il versante sia nel settore sud-occidentale che in quello settentrionale, si può fare riferimento orientativamente alle relazioni esistenti tra la velocità delle onde sismiche P e il grado di rippabilità, come indicato nella Fig. 11.3.

**TABELLA 9.3**

**Criterio generale di rippabilità basato sulla velocità delle onde sismiche**

Velocità sismica (m/s)	Scavabilità
< 1.500	Rocce escavabili con scarificatrici ed escavatori. Non necessitano esplosivi.
1.500-2.000	Rippabile. Scavo a strati senza uso di esplosivi, qualche difficoltà per escavatori.
2.000-2.500	Rippabilità moderatamente difficile. Locali volate leggere (spaziatura rada, bassi consumi specifici).
2.500-3.000	Necessità di volate leggere. Talora necessità di prevolate.
> 3.000	Volate pesanti (perforazioni ravvicinate, alti consumi specifici).

Fig. 11.3 - Grado di rippabilità in base alla velocità delle onde P

I risultati delle indagini sismiche, eseguite a S del complesso ospedaliero (cfr. par. 5.2), hanno individuato i seguenti valori di velocità sismica per i vari tipi di terreno:

-C1 corrisponde ai livelli di copertura (terreni di riporto e di riempimento prevalentemente grossolani e/o detriti); i valori di velocità delle onde P sono 350-600 m/s.

-C2 corrisponde allo strato intermedio di parziale e graduale degradazione della parte superiore del Flysch, sono caratterizzati generalmente da valori di velocità medio-basse fino a 1200 m/s.

-C3 corrisponde al substrato flyschoido pressoché "integro", con i livelli arenacei paritetici rispetto a quelli marnosi; i valori di velocità sono piuttosto elevati tra 2300 e 2800 m/s.

Quindi, sulla base di questi valori si può prevedere una buona scavabilità nei terreni superficiali e in quelli del cappellaccio, mentre nei livelli flyschoidi la rippabilità risulta, anche se moderatamente, più difficoltosa.

Un altro dato utile per valutare il grado di rippabilità nel flysch è quello degli indici RQD rilevati nei nostri sondaggi (cfr. par. 6.1), che hanno permesso di caratterizzare, anche se in via preliminare, la qualità delle rocce. In particolare, si segnalano i valori molto bassi (prossimi allo 0 "molto scadenti") registrati nei livelli più superficiali (primi 5 m) del substrato, in corrispondenza dei sondaggi SM1 (rotatoria R2) e SM3 (rampe di collegamento vicine alla ciclabile); nel sondaggio SM2, invece, i valori di qualità della roccia sono moderatamente migliori, "scadenti" fino a -7 m e "mediocri" alle profondità superiori.

Per le considerazioni sopra citate si ritiene che queste condizioni generali del *bed-rock* siano favorevoli all'escavazione senza esplosivi, ma con metodi meno costosi quali gli scarificatori (rippers).

- UTILIZZO DEI MATERIALI DI SCAVO E LORO MOVIMENTAZIONE

In base ai risultati delle indagini i litotipi potenzialmente utilizzabili per la costruzione di rilevati e terre armate della nuova strada sono: il riporto superficiale, il cappellaccio e il substrato flyschoidale.

In particolare, il riporto superficiale è fortemente rimaneggiato e presenta caratteristiche granulometriche grossolane, essendo costituito da frammenti pluridimensionali di arenarie, calcestruzzo e laterizi, in una matrice sabbiosa, ma con percentuali di fino molto elevate.

Il sottostante cappellaccio, contraddistinto da diffusi fenomeni di alterazione nel litotipo marnoso, è prevalentemente coesivo, essendo costituito da limi sabbiosi e limi argillosi, ma commisto a frammenti di arenaria di varie dimensioni.

Il substrato flyschoidale, in facies in prevalenza marnosa, è caratterizzato nei suoi primi metri da elevata fratturazione ed alterazione; al di sotto, permanendo la fratturazione, gli interstrati marnosi sono argillificati o a scaglie sottili; più in profondità il flysch diviene via via più sano e meno fessurato, con maggiore presenza della componente arenacea.

Oltre a questi aspetti negativi va messo in rilievo la forte diminuzione delle qualità meccaniche generali dell'ammasso flyschoidale, dovuta alla predominanza della frazione marnosa su quella arenacea.

Tenendo conto di tutte queste caratteristiche fisiche non favorevoli, ne consegue che questi materiali non sarebbero i più idonei per un riutilizzo ingegneristico in loco (rilevati, terre armate, etc.), anche se va segnalato il largo impiego di materiali analoghi per la costruzione di "terre armate" (o rinforzate), nella Grande Viabilità Triestina e nel Comprensorio di Cattinara.

Ancora, per quanto attiene ai materiali escavati, si ricorda che per il loro riutilizzo si dovranno seguire le indicazioni della normativa "Terre e Rocce da scavo" (DPR 120 /2017), in cui è prevista una campagna di campionature e di analisi chimiche per la caratterizzazione dei terreni.

In conclusione, in previsione degli interventi per la realizzazione della nuova viabilità di accesso al comprensorio ospedaliero di Cattinara, sulla base dei rilevamenti effettuati che hanno escluso la presenza di faglie e di processi franosi in atto nei versanti interessati dal tracciato

stradale, nonché dei risultati delle prospezioni geognostiche e geofisiche che hanno permesso di definire il quadro geologico e idrogeologico dell'area, **si esprime un parere favorevole riguardo alla compatibilità del progetto di fattibilità tecnica economica della strada con le caratteristiche geologiche dei terreni.**

Geoanalysis Studio di Geologia

dott. geol. Fulvio Medeot

(O.G. FVG n° 67)

## INDICE

1.	PREMESSA .....	<b>1</b>
1.1	BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO .....	2
2.	INDAGINI PREVISTE DALL'INCARICO .....	<b>4</b>
2.1	SONDAGGI MECCANICI.....	4
2.2	LABORATORIO GEOTECNICO .....	5
2.3	PROSPEZIONI SISMICHE .....	5
3.	UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME E VINCOLI .....	6
4.	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA .....	9
4.1	SISMICITÀ DELLA ZONA.....	9
4.2	MORFOLOGIA.....	9
4.3	IDROLOGIA E IDROGEOLOGIA.....	12
4.4	GEOLOGIA .....	14
4.5	GEOSTATICA.....	17
5.	INDAGINI GEOLOGICHE PREGRESSE .....	18
5.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE AMBIENTALI .....	18
5.2	INDAGINI GEOFISICHE .....	20
5.3	ANALISI DI STABILITÀ DEL VERSANTE.....	23
5.4	PROVE DI LABORATORIO DEI TERRENI E PARAMETRI MECCANICI DEL FLYSCH.....	24
6.	INDAGINI GEOLOGICHE ESEGUITE IN QUESTO STUDIO.....	<b>25</b>
6.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	25
6.2	PROVE SPT.....	31
6.3	PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO.....	32
6.4	INDAGINI GEOFISICHE .....	35
6.4.1	INDAGINI MASW .....	35

6.4.2 INDAGINI HVSR.....	37
7. NUOVI SONDAGGI ESEGUITI PER CONTO DELLA ASUITS .....	40
8. CARATTERISTICHE GEOLOGICO-TECNICHE DEI TERRENI .....	45
9. SEZIONE GEOLOGICA.....	49
10. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE .....	50
11. COMPATIBILITÀ GEOLOGICA DEL PROGETTO DELLA NUOVA STRADA E CONCLUSIONI .....	54