CITTA' DI TERMINI IMERESE

PROVINCIA DI PALERMO

URBANIZZAZIONE DELLA FASCIA A MARE DEL CENTRO STORICO:
PROGETTAZIONE DELLA STRADA DI COLLEGAMENTO PORTO - SS. 113

PROGETTO ESECUTIVO

ataengineering

via Alto Adige, 160 38121 Trento - Italy
tel. +39 0461. 1731000 - fax +39 0461 1731052
www.ataengineeringspa.com - info@ataengineeringspa.com
c.fiscale, p.iva e R.I. Trento 01307610228

ISO 9001

CAPOGRUPPO MANDATARIA

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
dott. ing. ERINO BOMBARDELLI
ISCRIZIONE ALBO N. 1098

SGI Studio Galli Ingegneria S.p.A.

SEDE: Padova - 35030 Sarmeola di Rubano - Via della Provvidenza, 13 - tel. +39 049 8976844 - fax +39 049 8976784
FILIALE: Belluno 32100 - Via degli Agricoltori, 13 - tel. +39 0437 355411 - fax +39 0437 355412
UFFICI IN ITALIA: Milano - Napoli - Ancona - Sassari
UFFICI ALL'ESTERO: Pechino (Cina) - Cairo (Egitto) - Podgorica (Montenegro) - Sulaymaniya (Iraq)
www.sgi-spa.it - info@sgi-spa.it

SGI life. first

MANDANTE

ORDINE DEGLI INGEGNERI Dott. Ing. GALLI Francesco 589 della Prov. di Belluno

Dott. Ing. Fiorella Scalia

STUDIO TECNICO
PIAZZA S. ANTONIO N.16
90018 TERMINI IMERESE (PA)
TEL. 091 8115583 FAX 091 8110748
E-Mail: fiorella.scalia@tin.it
P. IVA 04315120826

MANDANTE

ORDINE DEGLI INGEGNERI PROV. DI PALERMO Dott. Ing. FIORELLA SCALIA n. 4774

Dott. Ing. Filippo Carcara

STUDIO TECNICO
VIA SAFFO 2b
90151 PALERMO
TEL. 329.9820063 E-Mail filicar@libero.it
P.IVA 0052316810

MANDANTE

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PALERMO Ing. CARCARA FILIPPO n. 852

Dott. Geol. Giuseppe Franzò

STUDIO
90010 ISNELLO (PA) c.da PONTICELLO
TEL./FAX 0921 662849 E-Mail peppefranzo@libero.it
P.IVA 02948160821

MANDANTE

ORD. REG. DEI GEOLOGI Dott. Giuseppe Franzò N.370

DATA: NOVEMBRE 2015

N.ro allegato 1.2.1.1

TAVOLA:

RELAZIONE GEOLOGICO - TECNICA

REV.	DISEGNATO	CONTROLLATO	APPROVATO	AUTORIZZATO	DESCRIZIONE REVISIONE	DATA

INDICE DEI CONTENUTI

1. PREMESSA

2. AMBIENTE FISICO E GEOMORFOLOGIA
   2.1.- Analisi del tracciato stradale da realizzare

3. GEOLOGIA
   3.1.- Inquadramento geologico generale
   3.2.- Tettonica
   3.3.- Considerazioni litostratigrafiche
   3.4.- La serie dei terreni lungo il tracciato stradale

4. IDROGEOLOGIA.

5. CONSIDERAZIONI GEOLOGICO - TECNICHE

6. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE
   6.1.- Indagini sismiche eseguite
   6.2.- Tecnica MASW
   6.3. Classificazione del suolo di fondazione con il metodo MASW
   6.4 Risultati delle analisi

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

ALLEGATI

- Carta geologico geomorfologia in scala 1:5.000 (TAV. 1.2.1.2.);
- Carta delle indagini eseguite in scala 1:2.000;
- Carta geologica in scala 1:500 dell'intorno del sottopasso da realizzare;
- Profili geologici in scala 1:200;
- Relazione geofisica a firma della D.ssa Patrizia Capizzi;
- Colonne litostratigrafiche sondaggi eseguiti:
- Documentazione fotografica.

1. PREMESSA

Il Comune di Termini Imerese, nel corso dell'anno 2002 ha pubblicato il bando di gara per l'affidamento della progettazione di massima ed esecutiva, coordinamento per la sicurezza in fase di progettazione ex decreto legislativo n°494/96, ecc. per la realizzazione della *"Strada di collegamento Porto - SS. 113"*. Tale incarico è stato assegnato all'A.T.I. firmataria del presente progetto del quale il sottoscritto Dott. Geol. Giuseppe Franzò ne fa parte.

Per una esatta conoscenza geologica dell'area in studio si è effettuato, preliminarmente, un rilevamento geologico dell'area ed una ricerca bibliografica sulla letteratura geologica del comprensorio noto geologicamente come *"i Monti di Termini Imerese"*.

Avendo focalizzato così le tematiche geologiche inerenti la struttura litologica dell'area, è stata eseguita una campagna di indagini a mezzo n° 5 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, finalizzati all'individuazione della stratigrafia dei terreni presenti sia in superficie che nel bedrock.

Su alcuni campioni è stato possibile eseguire qualche prova di laboratorio in modo tale da avere elementi utili di valutazione sulle caratteristiche delle rocce interessate dalle opere.

Successivamente e ad integrazione dei dati ottenuti, visti i nuovi dettami progettuali relativi al sottopasso ferroviario, si è resa necessaria una campagna geognostica suppletiva per affinare la conoscenza dei terreni che saranno interessati dal manufatto in oggetto. In dettaglio sono stati realizzati due scavi a pozzo con l'ausilio di un mini escavatore meccanico, per evidenziare la successione litostratigrafica dell'area compresa tra il tracciato ferroviario esistente e la *Rocca del Castello* posta a monte.

Successivamente e ad ulteriore integrazione dei dati ottenuti, è stata eseguita una prospezione geoelettrica SEV e multielettrodo con 48 elettrodi, onde definire, il contatto tra i calcari ed i depositi alluvionali in prossimità della linea ferroviaria che sarà interessata dal sottopasso.

Si è inoltre effettuato uno studio tettonico dell'area con particolare riguardo ai processi neotettonici che in un recente passato abbiano potuto interessarla.

E' stato condotto inoltre uno studio idrogeologico dell'area tramite il censimento di alcuni pozzi per uso irriguo, che ha permesso di localizzare la posizione della falda idrica nel sottosuolo della piana S. Leonardo e di quella costiera.

L'elaborazione dei dati acquisiti viene rappresentata nelle allegate cartografie tematiche (carta geologica - geomorfologica), e nelle sezioni geologiche trasversali che mostrano con chiarezza i lineamenti geologici del sottosuolo dell'area in studio.

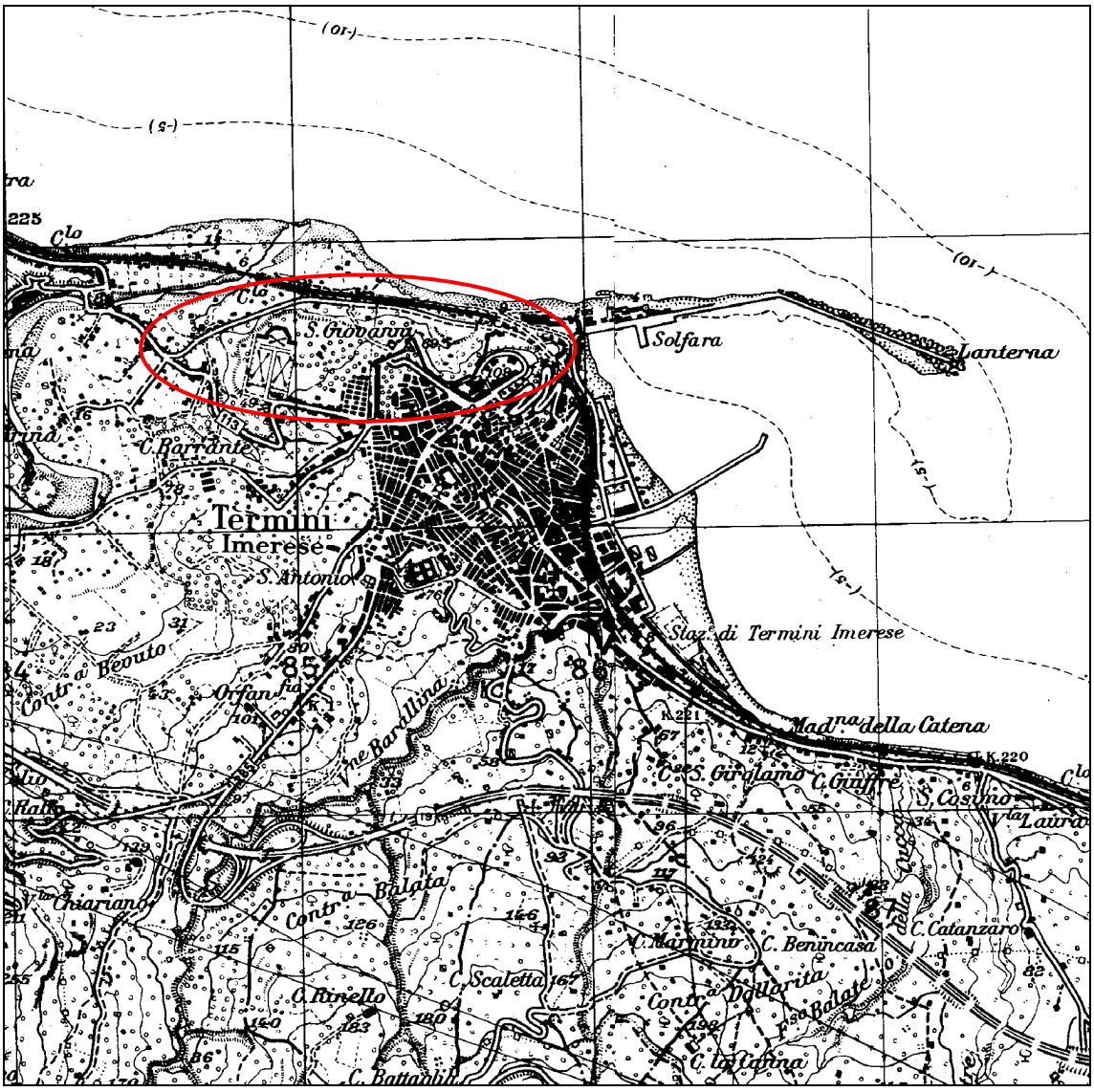
Inoltre, è stato preso in esame il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) relativo al piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del fiume San Leonardo, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 29.09.2004, sulla G.U.R.S. n° 53 del 10.12.2004.

Inoltre in ottemperanza all'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003, *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e successive modifiche ed integrazioni, è stata eseguita un'indagine geofisica con sismica a rifrazione applicando il metodo *"MASW"*, al fine di approfondire le conoscenze sui terreni oggetto di studio, ed in particolare per la definizione della categoria di suolo di fondazione.

Infatti sull'area interessata dal progetto, in tempi differenti, sono state eseguite due stese sismiche a rifrazione, ubicate la prima sul piazzale in prossimità del sottopasso, per la redazione del progetto definitivo, e la seconda in occasione del progetto esecutivo per il rafforzamento corticale nel 2014, sul tracciato stradale esistente posto a valle del cimitero comunale .

2. AMBIENTE FISICO E GEOMORFOLOGIA

Topograficamente, l'area rientra nella Tavoletta "*Termini Imerese*", Foglio n° 259, quadrante IV, orientamento N.E., redatta dall'I.G.M.I. in scala 1:25.000.



Stralcio topografico in scala 1:25.000

Essa comprende il tratto di fascia costiera tirrenica siciliana compresa fra la Piana del San Leonardo a W e l'area portuale di Termini Imerese a E.

Si estende, con orientazione approssimativa NNW-SSE, per una lunghezza di circa 2 km.

Stralcio aerofotogrammetrico in scala 1:10.000

Dal punto di vista morfologico si presenta come una piana costiera leggermente degradante verso il mare, cinta alle spalle, dal complesso mesozoico - paleogenico derivante dalla deformazione dei domini paleogeografici Imerese e Sicilide, su cui si estende l'abitato di Termini Imerese.

Tale spianata, verso monte, raggiunge quote che raramente superano i 25 m s.l.m., per poi innalzarsi sui terrazzi morfologici a quote comprese fra i 70 e 100 m s.l.m.

La piana costiera in esame fa parte, infatti, sotto gli aspetti geomorfologici, di un sistema di terrazzi marini appartenenti a tre differenti ordini.

Lo studio di tali terrazzi è stato effettuato con l'ausilio delle foto aeree e mediante rilievo di superficie.

Il terrazzo marino, cui noi facciamo riferimento, è il più esteso di tutti ed occupa tutta la Piana del Fiume San Leonardo oltre che la piana costiera, che comprende pure l'area del porto. Si sviluppa dal livello del mare, fino alla quota di circa 25 m s.l.m. nell'entroterra, ed è costituito da depositi sabbioso - ghiaiosi provenienti principalmente dal Fiume S. Leonardo e solo in parte rimaneggiati dal mare.

Tale terrazzo, a causa della sua estensione e morfologia, è stato oggetto di un'intensa attività agricola e recentemente di insediamenti civili e industriali.

Il terrazzo di II ordine, che si sviluppa intorno alla quota di 50 m s.l.m., comprende l'area del cimitero ed è stato in parte eroso dallo stesso Fiume S. Leonardo.

L'ultimo terrazzo, quello di I ordine, compreso fra le quote 75 m ed oltre 100 m., interessa tutte le colline che si affacciano sulla piana costiera e ne costituisce spesso la sommità.

Tale terrazzo raggiunge la massima estensione nel piano su cui si estende l'abitato di Termini Imerese.

La continuità dei terrazzi marini viene interrotta, nella sua estensione areale, ad opera dell'idrografia superficiale o dalla presenza di particolari strutture geologiche.

In tal senso assume un particolare significato la presenza della rupe del castello, nota nella letteratura specifica come "*Rocca del Castello di Termini*", che separa fisicamente la piana alluvionale del Fiume, da quella di Termini bassa.

Un comprensorio quindi, in cui gli unici elementi di trasformazione del territorio o di evoluzione morfologica sono stati dettati più da vicende tettoniche che da fattori morfogenetici veri e propri.

2.1.- Analisi del tracciato stradale da realizzare

Il presente progetto si riferisce, come più volte accennato, al collegamento tra la S.S. 113 ed il Porto di Termini Imerese.

Il tracciato in progetto, oltre ad avere la funzione, una volta completato, di asse di collegamento tra Area Industriale, Porto e viabilità a valenza nazionale (S.S.

113), assume il ruolo di traversa interna pur assimilabile ad una tangenziale nord all'abitato di Termini Imerese.

Il tracciato stradale si sviluppa su terreni in giacitura sub-pianeggiante, in parte su depositi alluvionali recenti del Fiume S. Leonardo, in altre su depositi fluvio-marini e nel tratto sottostante alla rocca su terreni lapidei.

L'area di stretto interesse, dove si prevede di realizzare il tracciato stradale non è interessata direttamente da fenomeni morfogenetici attivi, tranne che per un breve tratto, dove si potrebbe verificare scalzamento al piede del rilevato stradale ad opera del moto ondoso. Si tratta dell'arretramento della linea di spiaggia in seguito ad erosione marina. Il fenomeno è stato attenzionato solo da qualche tempo e la causa sembra debba essere attribuita ai mancati apporti detritico - alluvionali del Fiume S. Leonardo per effetto dello sbarramento della diga Rosamarina.

Tale problematica verrà risolta, con la realizzazione preventiva, con un altro progetto già finanziato, di una scogliera soffolta da realizzare sotto il livello del mare (tra le batimentriche - 4,0 e -5,0) per la protezione dal moto ondoso avente una lunghezza complessiva di 220 metri lineari e una larghezza alla base di 12 metri. La scogliera soffolta che sarà realizzata con massi ciclopici presente una sezione trapezia con scarpate 3/2 e piano superiore posizionato a circa -1,30 metri di profondità.

Tutte le altre problematiche geomorfologiche presenti, sono riconducibili a fenomeni di crollo, di tratti del costone roccioso posto a monte del tracciato stradale da realizzare.

In particolare tale fenomenologia si riferisce a porzioni del versante costituito da ghiaie e ciottoli in matrice limo sabbiosa, posti a valle dell'area cimiteriale ove in caso di fenomeni meteorici eccezionali, è possibile il distacco di blocchi isolati e /o di porzioni del versante. Tale problematica verrà risolta con un rafforzamento corticale delle pendici, dalla sezione 18 alla sezione 38, per una lunghezza di circa 315,00 metri e per una larghezza lungo le scarpate esistenti variabile da 15 a 50 metri.

L'intervento di rafforzamento corticale armato sarà eseguito con la posa in opera su pareti rocciose di rete metallica zincata a doppia torsione fissata con chiodature di acciaio in barre cave riempite con boiacca cementizia; a completamento dell'intervento verrà posta in opera una fune metallica (diametro mm.

16) in sommità, al piede ed in diagonale di rettangoli con dimensioni metri 1,90 x 1,90 (Intervento tipo B) e metri 2,40 x 2,40 (Intervento tipo A). L'intervento tipo B è stato infine rafforzato, in una fascia particolare del pendio, a mezzo barre d'acciaio ad alta resistenza (tipo Diwidag) di lunghezza m. 12,00 poste a quinconce ad un interasse di circa 80 cm, complete di piastra di ripartizione, contropiastra e fune di collegamento di diametro mm. 16.

Quanto detto è stato in parte considerato nel P.A.I. relativo al piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del fiume San Leonardo, redatto dall'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 29.09.2004, sulla G.U.R.S. n° 53 del 10.12.2004, aggiornato con Decreto presidenziale del 21.03.2011, sulla G.U.R.S. n° 23 del 27.05.2011

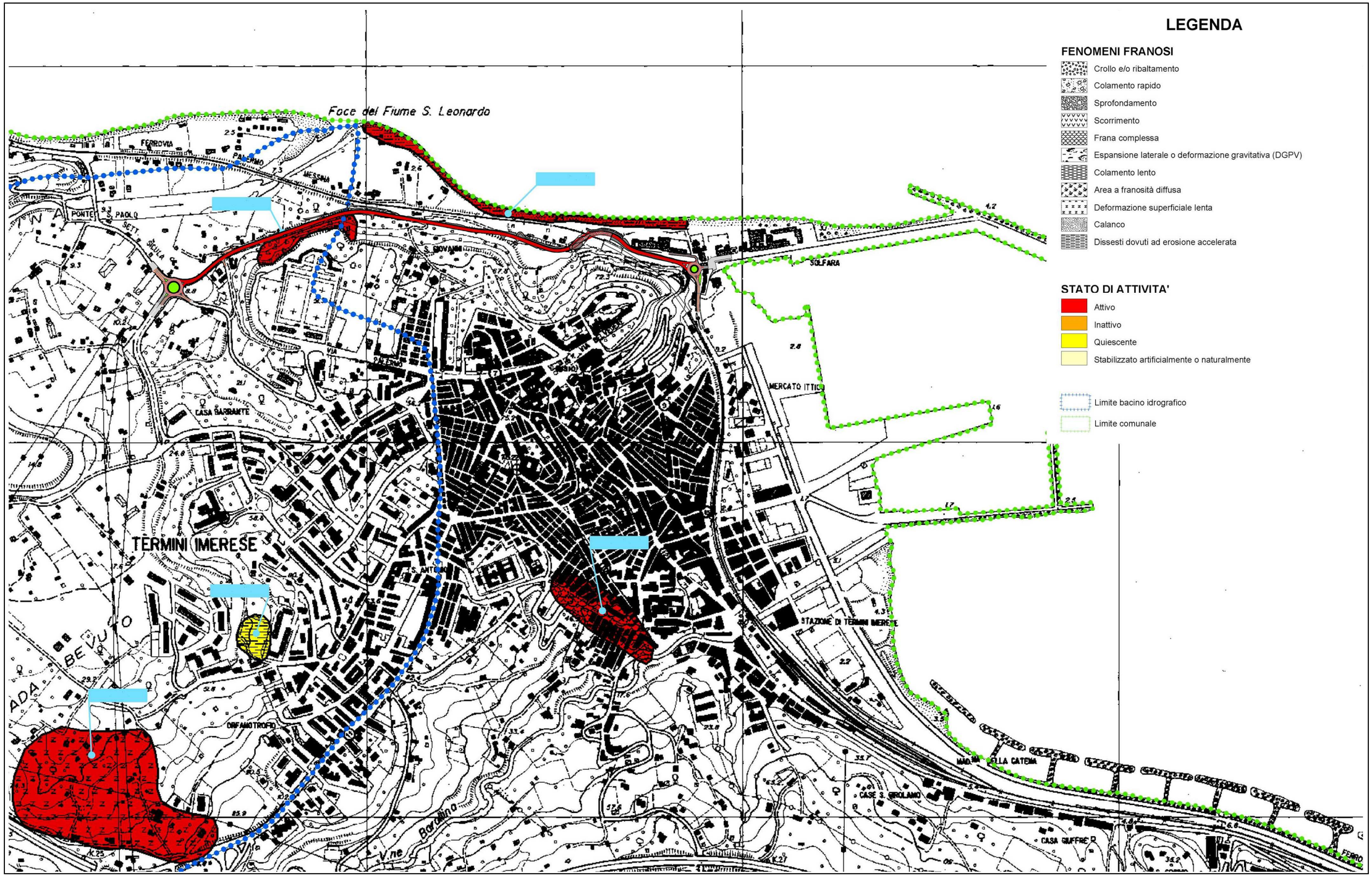
Nella Carta dei dissesti del PAI, sono state censite due differenti aree con i seguenti codici: 033-6TI-004 e 033-6TI-013 individuando aree a rischio crollo e aree sottoposte ad erosione accelerata.

Nella Carta della pericolosità del PAI, l'area 033-6TI-004 è definita con un livello di pericolosità P4 (molto elevato); mentre l'area 033-6TI-013 è definita con un livello di pericolosità P2 (medio).

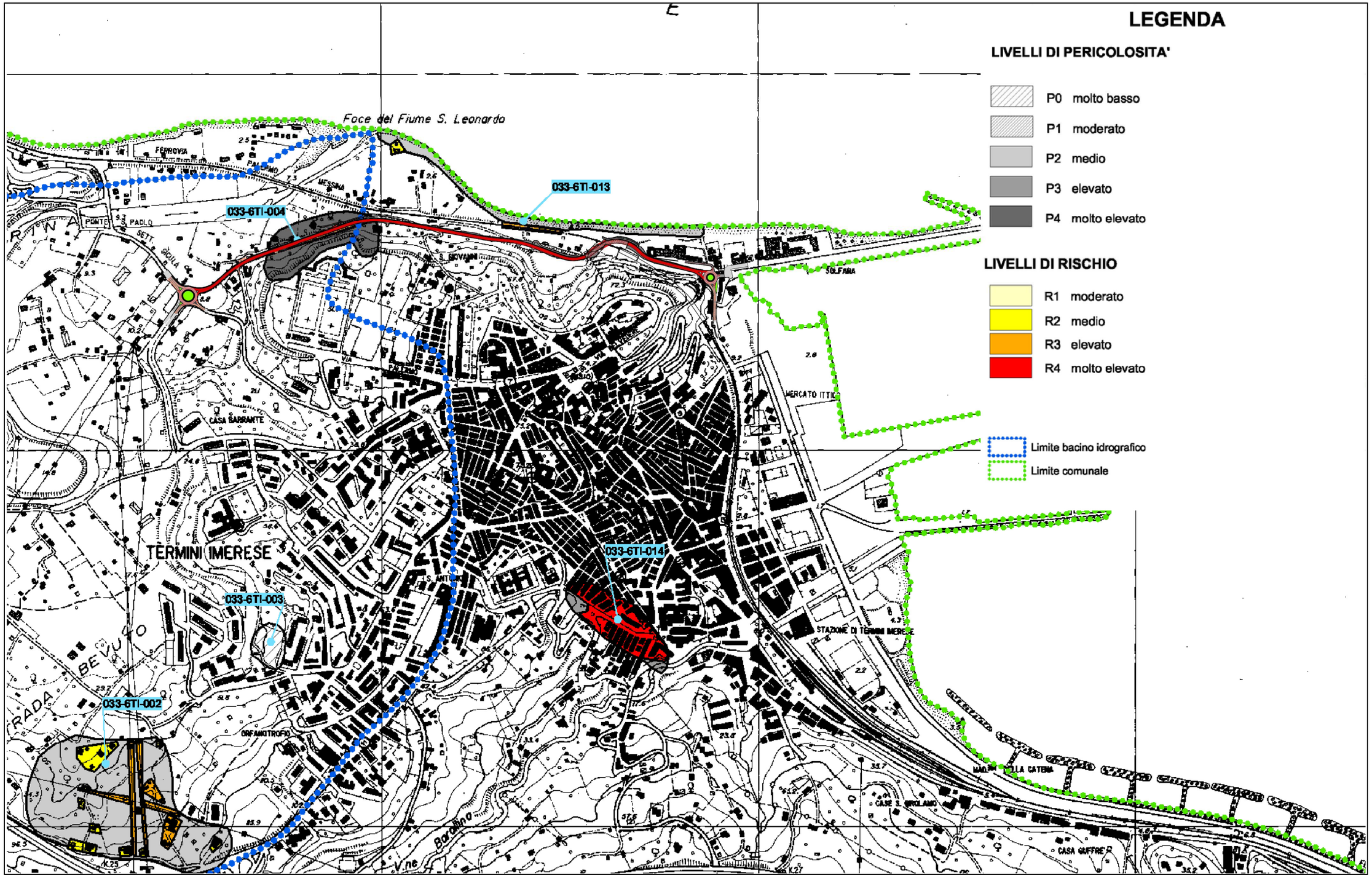
Nella Carta dell'esondazione del P.A.I., il tratto di tracciato stradale compreso tra l'innesto con la S.S. 113 e l'area posta a valle del cimitero comunale, rientra nell'Ipotesi A ed in parte nell'Ipotesi B. Tali aree nel Carta del pericolo da esondazione del P.A.I., vengono definite a pericolosità P1 e P2.

La mitigazione del rischio da crollo nelle aree poste a valle del cimitero, verrà eseguita realizzando interventi sul versante consistenti nella pulizia ed il disgaggio di elementi in equilibrio precario e la successiva posa in opera di rete e di barriere paramassi.

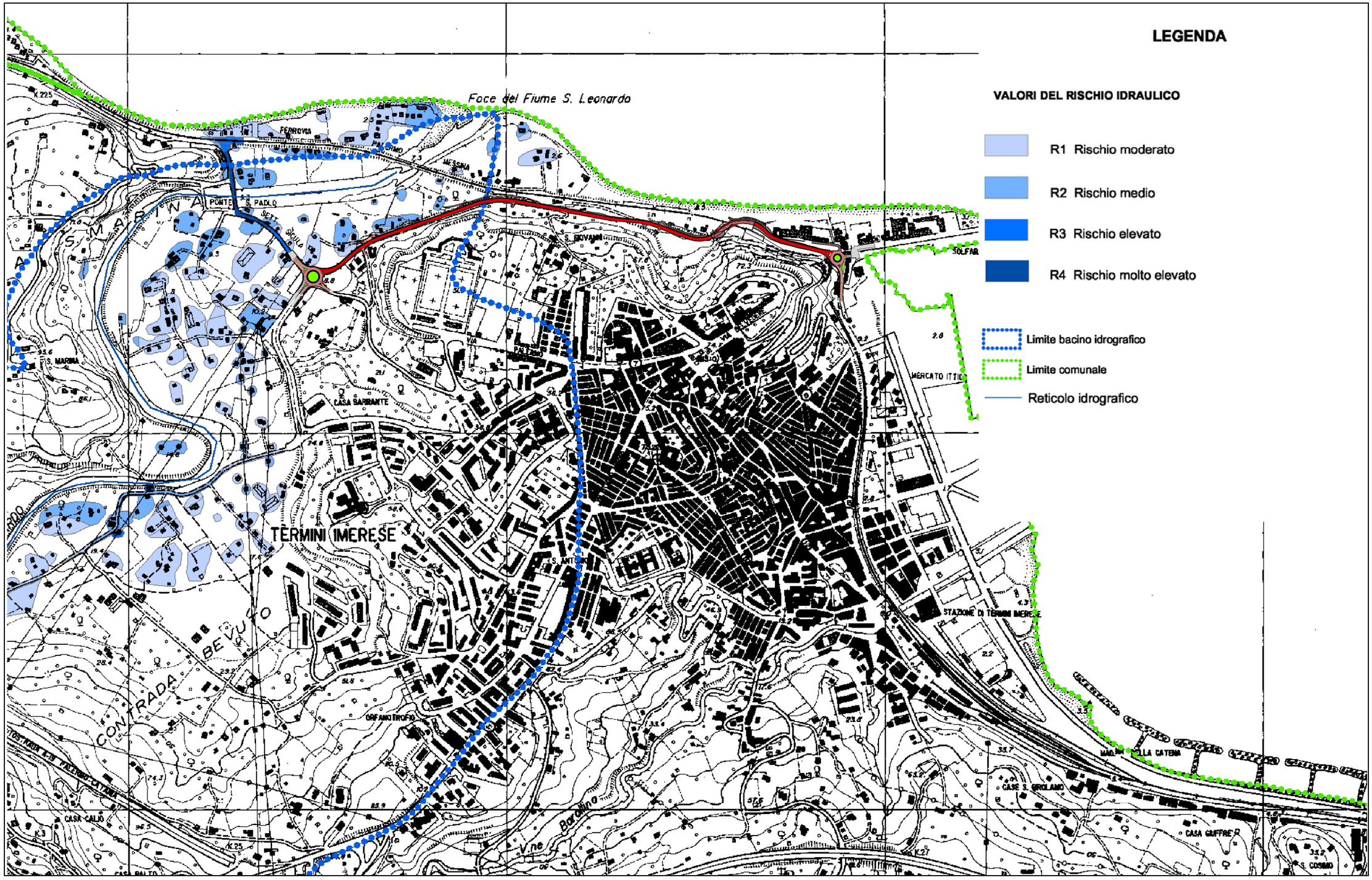
Di seguito si allegano stralci delle carte tematiche del PAI con ubicata l'area d'intervento.



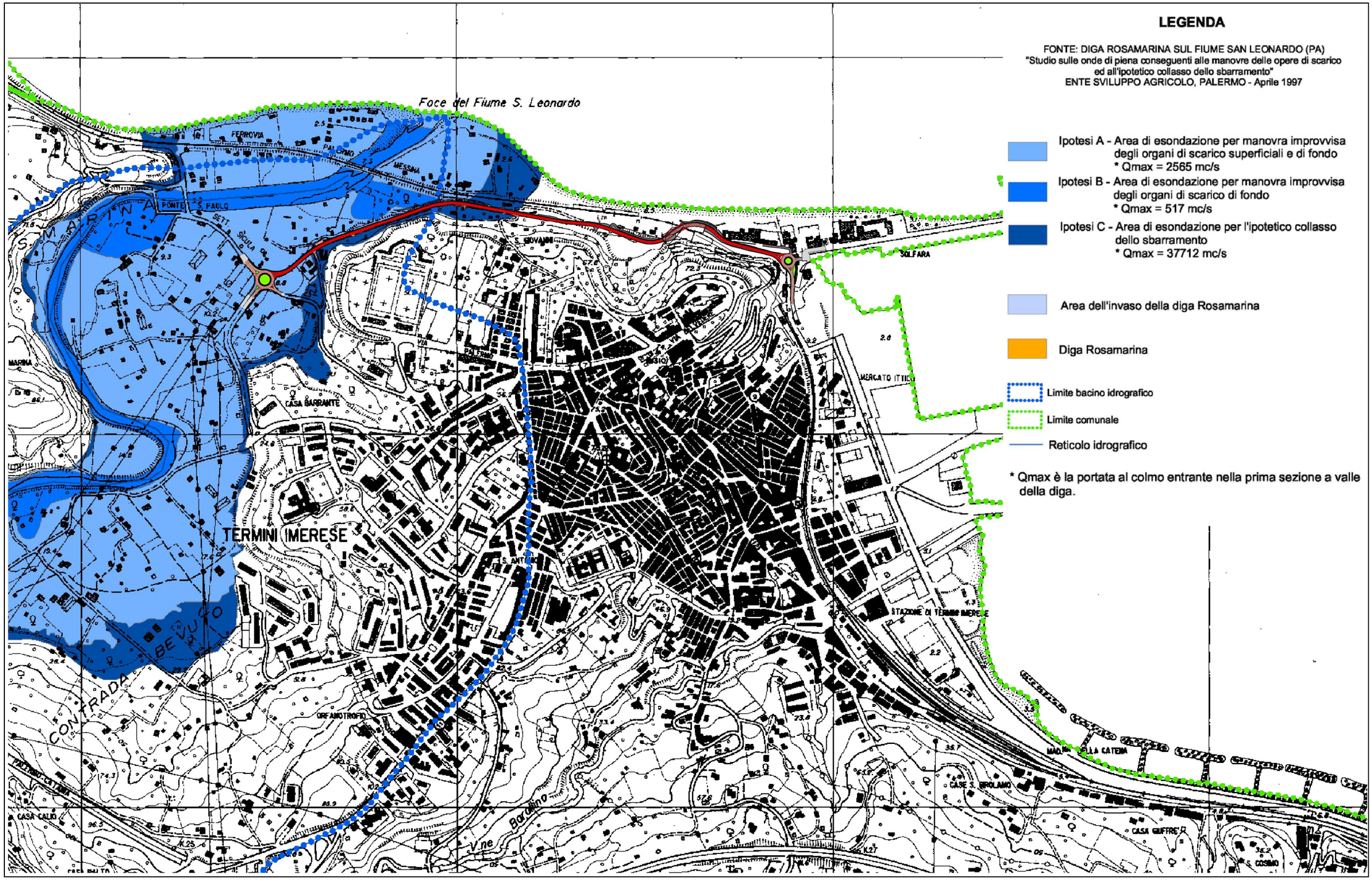
Stralcio carta dei dissesti n°2



Stralcio carta della pericolosità e del rischio geomorfologico n°2



Stralcio carta del rischio idraulico per fenomeni di esondazione n°2



Stralcio carta **di esondazione per manovre delle opere di scarico e per collasso dell'invaso Rosamarina n° 02**

3.- GEOLOGIA

3.1.- Inquadramento geologico generale

Dal rilevamento geologico di superficie, e da quanto riportato nella letteratura tecnica specializzata e più precisamente *"Carta geologica dei monti di Termini Imerese e delle Madonie Occidentali"* (B. Abate, P. Renda e M. Tramutoli), redatta in scala 1:50.000, dal dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo, si può affermare che il sito dove sorge l'abitato di Termini Imerese, si inserisce nel quadro geologico noto in letteratura come *"Monti di Termini Imerese".*

Nell'inquadramento geologico del comprensorio si è evidenziato come questi derivassero dalla deformazione e successiva sovrapposizione di unità carbonatiche e carbonatico silico-clastiche di età Mesozoico - Paleogenica, derivanti dai domini paleogeografici Imerese e Sicilidi.

In particolare, i terreni che costituiscono il substrato sul quale si è sviluppato l'abitato di Termini Imerese, appartengono sia al *"Dominio Imerese"* sia al *"Dominio Sicilide".*

La successione dei terreni appartenenti al *"Dominio Imerese",* è costituita dal basso verso l'alto, come è possibile rilevare nella sezione della *"Rocca del Castello di Termini"*, dalle seguenti litofacies:

a) *doloareniti e doloruditi,* mal stratificate in basso, di colore grigio biancastro fino rosato, ben stratificate in alto e con intercalazioni centi-decimetriche di marne siltose verdastre ricche in aggregati di pirite. L'età di tale formazione, nota in letteratura geologica come *"Fm. Fanusi"*, a causa degli intensi processi di dolomitizzazione è definibile solo in base alla sua posizione stratigrafica; poiché soggiace a rocce del Lias medio - superiore, è da ipotizzare una età Lias inf.;

b) in discordanza, seguono *calcari grigio chiari*, costituiti in gran parte da articoli e piastrine di crinoidi e subordinatamente da aculei di echinodermi, valve disarticolate di lamellibranchi e brachiopodi. Tali livelli si alternano con marne giallo-verdastre o rosso mattone. L'età di detto intervallo è ascrivibile al Lias medio-sup.;

c) segue una monotona successione di *argilliti silicee e radiolariti* variegate di età Lias sup.-Dogger;

d) in discordanza si possono osservare dei *calcari brecciati* costituiti da frammenti di organismi di scogliera, risidimentati, immersi in scarsa matrice pelagica, caratteristica risulta essere la presenza di "Ellipsactinia". L'età di detta litofacies è ascrivibile al Titonico-Neocomiano;

e) a questi fanno seguito *calcari brecciformi* a rudiste ed orbitoline del Cretaceo inf. e medio;

Gli intervalli siglati dalla b) fino alla e) appartengono alla *"Fm. Crisanti"*. La prosecuzione della successione non è visibile nella sezione del Castello di Termini, in quanto questa si immerge verso mare.

f) segue la *"Fm. Flysch Numidico"*, la cui base affiora in alcuni siti dell'abitato, ed è nota soltanto attraverso sondaggi meccanici e sezioni di sbancamenti. Questa è costituita da argilliti di colore tabacco se alterate e grigio scure in profondità, con intercalazioni, più o meno potenti, talvolta lenticolari di arenarie quarzose giallastre e/o rossastre, localmente, possono essere rinvenute intercalazioni arenaceo-conglomeratiche con granuli di quarzo grossolano.L'età è ascrivibile all'Oligocene sup.-Miocene inf.

In contatto tettonico sui terreni precedentemente descritti, si rinvengono i litotipi appartenenti alle "*Unità Sicilidi"*.

Questi, sono costituiti dalle *"Argille e marne argillose variegate"*, alquanto tettonizzate, a luoghi caotiche, con intercalazioni di calcari micritici verdastri, arenarie quarzose simili a quelle del Flysch Numidico, e brecce a macroforaminiferi. L'età è compresa tra il Cretaceo sup. e l'Eocene.

In contatto tettonico di II° ordine ("scollamento"), si rileva un'alternanza di marne e calcari marnosi (*Fm. Polizzi*) con intercalazioni di brecciole a macroforaminiferi. Tali terreni costituiscono l'ossatura dei quartieri di S. Francesco di Paola, San Giovanni, Santa Lucia, Gancia, Cappuccini e dell'ospedale Cimino.

In discordanza su tutti i terreni precedentemente descritti, seguono dei depositi fluvio-marini terrazzati costituiti da sabbie e conglomerati interdigitatisi reciprocamente, ascrivibili al pleistocene sup.

I terreni più recenti sono costituiti da depositi alluvionali attuali, più o meno terrazzati, e da depositi di spiaggia; si tratta di ghiaie e ciottoli interdigitati rispettivamente con sabbie più o meno fini.

I rapporti giaciturali ed i confini tra le diverse formazioni presenti verranno rappresentati nella carta geologica di seguito allegata (c.f.r.: TAV. 1.2.1.2. Carta geologica in scala 1:5.000 e carta geologica di dettaglio in scala 1:500, relativa all'intorno dell'area del sottopasso).

3.2.- Tettonica

Per quanto riguarda gli aspetti tettonici la Piana del F. S. Leonardo e la fascia costiera, costituendo una limitata porzione della catena Appenninico – Magrhebide, viene coinvolta nella fase tettogenica in cui ha luogo la formazione dell'edificio strutturale di tale Catena.

La tettogenesi avviene nell'area in oggetto durante il Miocene con diverse fasi che hanno dato luogo alle strutture di ricoprimento con una tettonica di tipo traslativo e plicativo.

Contemporaneamente alle fasi di sollevamento della Catena si ha sui terreni di questa la messa in posto del Complesso Sicilide con le Argille Varicolori.

Nel Tortoniano sup.- Messiniano inf., in seguito al sollevamento progressivo della catena, si ha la deposizione della Fm. Terravecchia che ricopre le unità della Catena con la soprastante falda Sicilide. Successivamente, durante il Messiniano, si ha un progressivo abbassamento del livello del mare che culmina con l'evento legato alla crisi di salinità ed alla deposizione della serie evaporitica.

A partire dal Pliocene inf. Inizia la tettonica recente o Neotettonica tutt'ora in atto.

La tettonica recente è caratterizzata, in generale, da una fase plicativa che dà origine a grandi sistemi di pieghe noti nelle dorsali dei Monti di Termini Imerese e da una fase distensiva responsabile del sollevamento differenziale dell'area.

Lo studio della successione sedimentaria del Pliocene e Pleistocene inf. Permette di ricostruire i movimenti verticali rispetto al livello marino di questo intervallo considerato.

L'attuale assetto dell'area è stato caratterizzato da un sollevamento discontinuo interrotto da episodi di abbassamento durante il Pleistocene sup.

Il sollevamento a scatti, caratteristico di questo periodo, determina la formazione di una gradinata di terrazzi marini distribuiti tra l'attuale livello del mare e quote massime di 100m. circa.

In generale, nonostante la complessa tettonica che ha interessato tutta la Piana e l'area costiera limitrofa, non si riscontrano fenomeni rilevanti nell'area interessata dal tracciato stradale in quanto questo trova sede, per buona parte, nell'area pianeggiante corrispondente al terrazzo marino di III ordine che non ha risentito della tettonica orogenetica della Catena ed, essendo il terrazzo di più recente formazione, ha risentito minimamente dei fenomeni neotettonici.

3.3.- Considerazioni litostratigrafiche.

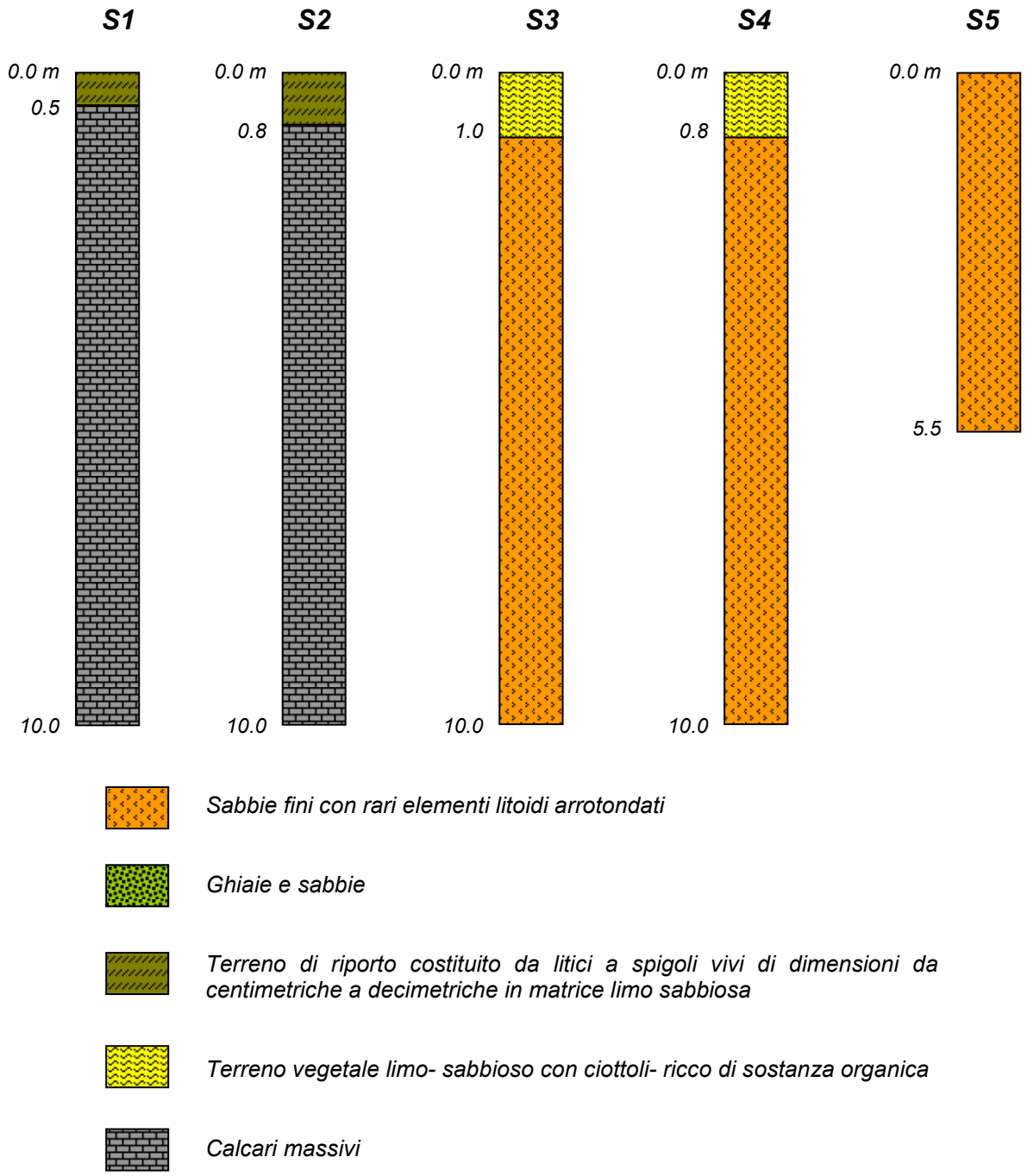
Durante la redazione del progetto definitivo prima, e del progetto esecutivo dopo, sono state eseguite diverse campagne geognostiche, dirette ed indirette, al fine di definire con esattezza le diverse successioni litostratigrafiche che interesseranno il tracciato in esame.

In dettaglio sono state eseguite le seguenti campagne:

1. una prima campagna geognostica che ha visto l'esecuzione di n° 5 sondaggi a carotaggio continuo, lungo l'intero tracciato da realizzare;
2. una seconda campagna geognostica che ha visto la realizzazione di due scavi a pozzo con l'ausilio di un escavatore meccanico, eseguiti in prossimità del sottopasso;
3. una prospezione geoelettrica SEV e multielettrodo con 48 elettrodi, onde definire, il contatto tra i calcari ed i depositi alluvionali in prossimità della linea ferroviaria che sarà interessata dal sottopasso.

Relativamente alla prima campagna geognostica sono stati eseguiti n° 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo lungo il tracciato da realizzare e di seguito si riportano le successioni litostratigrafiche rinvenute.

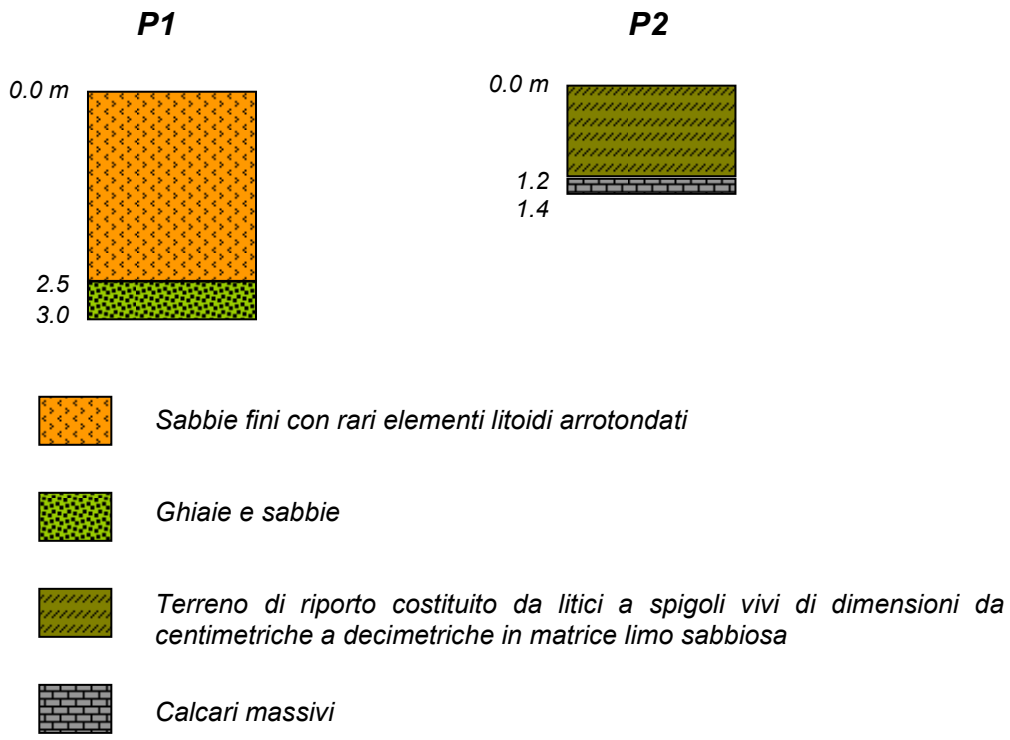
Nel sondaggio meccanico S5 è stata rinvenuta la falda ad una quota di circa – 4.50 dal p.c..



Relativamente alla seconda campagna geognostica, sono stati realizzati due scavi a pozzo con l'ausilio di un mini escavatore meccanico, così come riportato nella planimetria allegata, e tali da evidenziare la successione litostratigrafica dell'area compresa tra il tracciato ferroviario esistente e la *Rocca del Castello* posta a monte.

Nello scavo a pozzo P1 è stata rinvenuta la falda ad una quota di circa – 2.50 dal p.c..

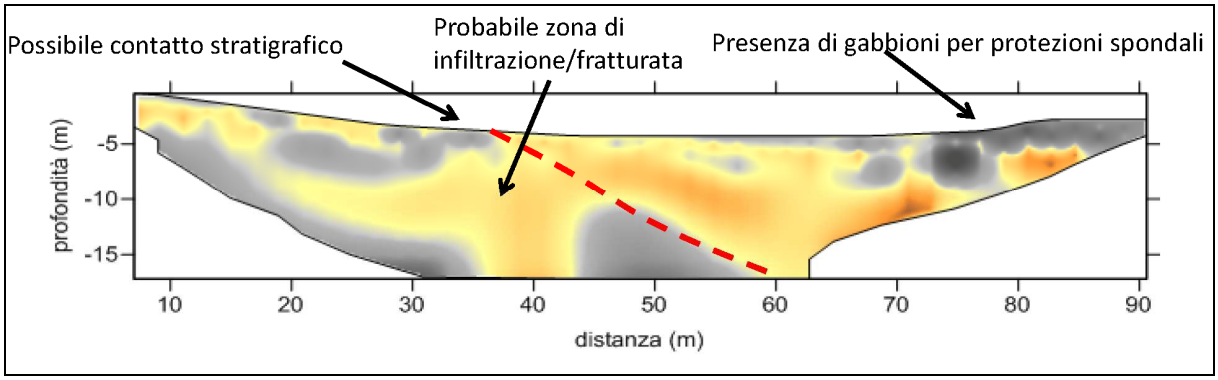
Di seguito si riportano le successioni litostratigrafiche rinvenute:



Relativamente alla terza campagna di indagini, è stata eseguita una prospezione geoelettrica SEV e multielettrodo, onde definire, il contatto tra i calcari ed i depositi alluvionali in prossimità della linea ferroviaria che sarà interessata dal sottopasso.

La tomografia elettrica ERT1 è stata eseguita utilizzando 48 elettrodi con spaziatura di 2 metri, per una lunghezza totale di 94 metri. Il numero di livelli indagato ha permesso di raggiungere una profondità d'indagine di circa 17 metri. Il modello mostra bassi valori di resistività (inferiori a 50), interpretabili con la presenza di sabbie siltose e ghiaie, insieme a terreni di copertura di varia natura. Questi poggiano lateralmente su terreni caratterizzati da alti valori di resistività (oltre i 100 Ω·m), interpretabili con la presenza di rocce calcaree derivanti dalla deformazione del

dominio Imerese. Questi si presentano con una inclinazione di circa 30° nella parte iniziale del profilo. Valori di resistività alti, dovuti alla presenza di gabbioni per protezioni spondali, sono evidenti nella parte finale del profilo, in superficie. Una possibile interpretazione dei rapporti stratigrafici tra le sabbie e le rocce calcaree è riportata di seguito.



Elaborato grafico interpretazione ERT1

È bene infine precisare che, a causa della variazione di parametri fisico - elettrici (porosità, contenuto d'acqua, grado di fatturazione, presenza di materiali polarizzabili ecc.), non sempre gli spessori elettrostratigrafici coincidono con gli spessori litologici.

Per un maggior dettaglio e comprensione si rimanda alla relazione geofisica redatta nel maggio 2015 dalla Dottoressa Patrizia Capizzi che di seguito si allega.

3.4.- La serie dei terreni lungo il tracciato stradale.

E' stata condotta, nell'area in cui si localizza il tracciato stradale, una dettagliata indagine geologica con l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo e con l'ausilio di dati provenienti da altri lavori e stratigrafie di pozzi.

L'esame delle stratigrafie dei sondaggi, di scavi e sbancamenti, confortati da un attento rilievo di superficie, hanno evidenziato che il tracciato stradale poggia per quasi la sua interezza su un substrato alluvionale sabbioso - ghiaioso ricoperto a tratti da terreno vegetale o di riporto. Questa situazione la si può riscontrare già

nell'area dell'innesto con la S.S. 113 e fino al contatto con la Rocca del Castello, in prossimità della vecchia galleria ferroviaria.

Successivamente la strada sarà interessata dalla realizzazione di un sottopasso della linea ferroviaria che interesserà, nella prima parte rocce lapidee stratificate, dallo sperone roccioso e fino al rilevato ferroviario, successivamente interesserà deposi recenti costituiti da sabbie, ghiaie e ciottoli ed elementi grossolani.

Da qui in poi, terminato il sottopasso, i terreni in substrato sono costituiti da rocce calcareo dolomitiche abbastanza consistenti, fino all'area della dogana.

a) Terreno vegetale

La genesi del terreno vegetale è predeterminata primariamente, come è noto, dal fattore climatico e dalla roccia madre da cui ne eredita in gran parte i caratteri e secondariamente dall'uso. Nell'area in studio è evidente che tale tipo di terreno si sia formato per alterazione di depositi alluvionali limoso - sabbiosi.

Nell'area in oggetto il terreno vegetale è costituito, nella sua generalità, da limi bruni sabbiosi e sabbie limose con abbondante sostanza organica, frustoli carboniosi e frammenti di radici. Contengono spesso elementi di ghiaia a spigoli arrotondati, e talora appiattiti, di natura variabile tra i calcari e le quarzareniti.

Lo spessore di detti terreni va da un minimo di 0,50 m. ad un massimo di 1,50 m. La variabilità dello spessore è funzione della morfologia del substrato alluvionale su cui poggia.

b) Depositi alluvionali

I depositi alluvionali presenti nell'area si distinguono in alluvioni terrazzate di sedimenti fluviali e solo in parte rielaborate dal mare, ed alluvioni recenti ed attuali. Le alluvioni terrazzate di sedimenti fluviali costituiscono il pendio che dal cimitero scende ripidamente verso la costa e corrisponde ad una vecchia area di foce dove abbondanti si depositavano le alluvioni del Fiume.

I vari abbassamenti eustatici del livello marino oltre che dei movimenti orogenetici hanno portato all'emersione, in tempi successivi, di tali depositi.

c) Serie della Rocca del Castello

La successione nota in letteratura col termine “serie del Castello di Termini”, comprende nella parte bassa dei termini doloarenitici e doloruditici a stratificazione indistinta e piuttosto compatti. Verso l’alto si distingue una stratificazione decimetrica con strati a franapoggio a ruditi e calcareniti a rudistidi.

4. IDROGEOLOGIA

Dal punto di vista della *"permeabilità"*, cioè dell'attitudine che hanno le rocce nel lasciarsi attraversare dalle acque di infiltrazione efficace, si possono distinguere vari tipi di rocce:

- *rocce impermeabili*, nelle quali non hanno luogo percettibili movimenti d'acqua per mancanza di meati sufficientemente ampi attraverso i quali possono passare, in condizioni naturali di pressione, le acque di infiltrazione;
- *rocce permeabili*, nelle quali l'acqua di infiltrazione può muoversi o attraverso i meati esistenti fra i granuli che compongono la struttura della roccia (permeabilità per porosità e/o primaria), o attraverso le fessure e fratture che interrompono la compagine della roccia (permeabilità per fessurazione e fratturazione e/o secondaria).

Inoltre, in alcuni litotipi si manifesta una permeabilità "mista", dovuta al fatto che rocce aventi una permeabilità primaria, sottoposte a particolari genesi, acquistano anche quella secondaria.

I complessi litologici che interessano il tracciato stradale sono:

a. complesso alluvionale della piana e del litorale (attuale): costituito da un deposito sabbioso con frequenti livelli e lenti di ghiaia poligenica a spigoli e/o arrotondati e con la presenza di lenti limose di colore grigiastro;
b. complesso alluvionale (recente): costituente il deposito alluvionale fluvio-marino dei terrazzi di II e I ordine che si estendono in tutta l'area del cimitero e ricoprono i pendii a valle di questo fino alla sede stradale in questione, ed in cui sono presenti alternanze di:
   - sabbia e sabbia limosa con talora elementi di ghiaia;
   - ghiaia poligenica da fine a grossa, a spigoli arrotondati, in matrice sabbiosa e/o limosa;
   - limo e limo debolmente sabbioso di colore grigio, con frequenti passaggi talora laterali, graduali e non, da un tipo all'altro.
c. complesso della *Rocca del Castello*, costituito doloarenitici e doloruditici a stratificazione indistinta, da calcari grigi da massivi a stratificati ed argille variegate, radiolariti e brecce calcaree, tutti afferenti alla Fm. Crisanti;

I depositi fluviali e marini presentano permeabilità primaria estremamente variabile da un punto all'altro in funzione della distribuzione dei livelle o lenti a diversa granulometria, passando dalle ghiaie a permeabilità elevata alle sabbie limose e limi con permeabilità molto bassa.

I litotipi della Fm. Crisanti presentano un grado di permeabilità differente in funzione delle diverse caratteristiche che hanno le radiolariti rispetto ai calcari. In generale la formazione è caratterizzata da permeabilità secondaria per fessurazione e/o fratturazione elevata.

Dall'esame di alcuni pozzi, si è desunto, che nella Piana e nell'area costiera, ha sede una falda idrica alquanto sfruttata dai numerosi pozzi per uso irriguo presenti.

La circolazione idrica in tale acquifero è limitata al deposito alluvionale presente nella Piana ed è limitato sia in profondità che lateralmente dalla presenza delle argilliti fliscioidi.

Da rilievi effettuati in vari pozzi si evince che il livello della falda è molto superficiale (0,50 - 4,00 m.) man mano ci si avvicina al mare mentre tende ad approfondirsi all'interno della Piana (25 - 30 m.).

In prossimità della costa i pozzi sono tutti di scarsa profondità. Ciò è dovuto al fatto che ivi la falda riposa su acqua di ingressione marina.

Ciò rende estremamente precario l'equilibrio dinamico della falda medesima che in alcuni casi anzi è già stato rotto, con conseguente irruzione di acqua salmastra nei pozzi.

Inoltre durante la campagna geognostica eseguita, si è rinvenuta la presenza della falda nel sondaggio denominato S.M. 5 di circa 4,50 metri dal p.c., e nello scavo a pozzo P1 a circa -2.50 metri dal p.c..

5. CONSIDERAZIONI GEOLOGICO - TECNICHE

I terreni interessati dal percorso stradale sono limitati ai termini alluvionali sia attuali che recenti e ai litotipi rigidi della serie della *Rocca del Castello di Termini*.

I terreni alluvionali, sono costituiti da conglomerati, areniti quarzose, sabbie siltose e/o silts sabbiosi giallastri e ghiaie (depositi marini litoranei e di spiaggia sommersa). In subordine, depositi alluvionali fluviali sabbioso-ciottolosi, passanti lateralmente a fanglomerati, in matrice siltoso-argillosa giallo ocra, ritagliati superiormente da superfici di abrasione.

La caratterizzazione geotecnica dell'area è stata effettuata con una comparazione tra i dati ottenuti dall'interpretazione delle prove in sito eseguite in aree limitrofe (prove penetrometriche), dati in possesso dello scrivente su litotipi appartenenti alla stessa facies petrografica, e quanto riportato in letteratura tecnica specializzata.

Di seguito, al fine di potere definire un modello geotecnico univoco per l'intera area indagata, si procederà analizzando i dati riportati in letteratura tecnica specializzata e quelli ottenuti dalle indagini in sito.

I *depositi pleistocenici* presenti nell'area in esame sono caratterizzati da una serie di lenti e/o livelli aventi caratteristiche granulometriche differenti le une dalle altre.

Inoltre, la struttura e la giacitura dei sedimenti alluvionali che caratterizzano l'area oggetto del lavoro possono essere ben osservabili in una sezione naturale affiorante nei pressi della strada di collegamento tra la S.S. 113 ed il centro urbano.

Dall'osservazione di tali elementi e dalle risultanze dei sondaggi eseguiti si rivela che si è in presenza di ciottoli di varia pezzatura più o meno arrotondati di natura prevalentemente quarzarenitica con livelli sabbiosi e/o limosi.

I fusi granulometrici nel settore in oggetto non appaiono uniformi. Tale variabilità è legata alla genesi deposizionale dei sedimenti in oggetto, denotata delle eteropie di facies tra elementi più grossolani ed elementi meno grossolani, diversificando così sia le fasi deposizionali, sia il deposito fluvio-marino.

In generale, i materiali che costituiscono tale deposito vengono classificate da un punto di vista geotecnico come "incoerenti" o "sciolte" e sono costituite, nel loro insieme, da ciottoli, ghiaie, e sabbie misti a silt.

Trattasi di rocce esogene (sedimentarie) di natura meccanica (rocce clastiche), provenienti dal disfacimento di formazioni calcaree, dolomitiche, arenacee ed in parte da formazioni argillose fortemente preconsolidate.

Studi effettuati su tali materiali (A. Pellegrini *"Proprietà geotecniche dei materiali a grana grossa"* e R. Jappelli *" Proprietà geotecniche di tipiche rocce sciolte a grana media e grossa della Sicilia"*), dimostrano che dal punto di vista granulometrico, la frazione d < 0.2 mm è presente in percentuale assai modesta e che all'interno di ciascun deposito è stata riscontrata una elevata variabilità della granulometria sia in senso verticale che orizzontale.

L'arrotondamento delle particelle non è uniforme, ciò è dovuto alla composizione mineralogica della roccia dalla quale il materiale ha tratto origine, ed ai successivi processi di trasporto e deposito.

Pertanto, l'arrotondamento risulta strettamente legato alla durata e alla modalità con le quali i materiali in questione sono stati trasportati dal punto di origine al luogo in cui si trovano attualmente.

Inoltre dall'osservazione del versante in esame si rileva come tali sedimenti, sono mediamente addensati e presentano qualche livello cementato.

Per avere utili indicazioni sul comportamento meccanico di tali materiali si è fatto riferimento ai risultati delle sperimentazioni eseguite in materiali simili, riportati nella letteratura tecnica.

Le ricerche effettuate si riferiscono all'esecuzione di prove di laboratorio su campioni ricostituiti ed a prove e misure in sito su rocce sciolte a grana grossa di varia origine (depositi fluviali, glaciali, conglomeratici ecc.).

Da tali studi risulta che il comportamento meccanico di tali materiali dipende principalmente dalla loro composizione granulometrica, dalla forma e natura dei grani, dalla tessitura del deposito, "dall'indice di addensamento" D_r e dal "contenuto d'acqua".

In particolare le prove di rottura per compressione triassiale hanno fornito valori dell'angolo di attrito che hanno raggiunto anche i 45° in funzione del grado di addensamento D_r, mentre la coesione è risultata praticamente nulla.

I parametri geotecnici caratteristici di tali materiali possono così essere riassunti:

- $\gamma = 1.92 - 2.19\ t/m^3$ peso dell'unità di volume
- $c' = 0 - 1\ t/m^2$ coesione
- $\phi' = 28° – 44°$ peso dell'unità di volume

La successione della Rocca del Castello *di Termini* è costituita da un complesso litologico caratterizzato da rocce carbonatiche a predominante taglia lutitica.

Tali complessi sono rappresentati da rocce lapidee stratificate e sovente fratturate e fessurate, dotate singolarmente di buone caratteristiche meccaniche (resistenza al taglio elevata e compressibilità praticamente nulla). Però a causa dell'intensa fratturazione, specialmente nelle porzioni più prossime alla superficie, le caratteristiche tecniche di tali litotipi possono decadere tanto da poter essere assimilati, prevalentemente, a quelle di un terreno dotato di attrito interno elevato e, subordinatamente, un valore di coesione molto contenuto. Appare quindi evidente che, il valore dell'angolo d'attrito interno risulta legato anche alle discontinuità presenti nella roccia (fessure e fratture). Skempton e Petley (1967) hanno mostrato come la resistenza lungo le fratture e fessure si avvicina molto alla resistenza al taglio; in effetti, come prima detto, le discontinuità privano tali materiali dell'elemento di coesione, mentre per quanto attiene l'angolo di resistenza al taglio rimane pressoché inalterato rispetto alla formazione delle discontinuità.

Prove meccaniche di compressione semplice a carico puntuale fanno rientrare tali materiali come rocce dalla resistenza molto bassa, bassa e media. Il carico unitario di rottura si attesta per la massima parte tra *83.00 e 92.00 N/mm²*.

L'irregolare distribuzione, la particolare giacitura e la struttura intrinseca di tali materiali, non consente di formulare elementi geotecnici di dettaglio estendibili a tutta la formazione, pertanto, volendo operare ai fini della sicurezza, per la caratterizzazione geomeccanica di tali litotipi è possibile stimare i seguenti valori:

- γ = *2.40 - 2.70 t/m^3* peso dell'unità di volume
- *c' = 0 - 1 t/m^2* coesione
- ϕ' = *36° – 45°* peso dell'unità di volume
- ρ = *70.40 - 116.10 N/mm^2* *carico unitario di rottura*

Pertanto, per quanto sopra detto, si sono attribuiti, cautelativamente, i seguenti valori di coesione (*c'*) ed angolo d'attrito interno (ϕ') per i diversi spessori di terreno rilevati, potendo così ricostruire la seguente colonna geotecnica:

Litotipo	***Caratteristiche fisico / meccaniche***	***Valori***
(5) *Ruditi e calcareniti a Rudistidi ed Orbitolinidi*	*peso dell'unità di volume* *coesione* *angolo di attrito interno*	***2.50 t/m^3*** ***0.50 t/m^2*** ***45°***
(10) *Conglomerati, areniti quarzose, sabbie siltose e/o silts sabbiosi giallastri e ghiaie*	*peso dell'unità di volume* *coesione* *angolo di attrito interno*	***2.10 t/m^3*** ***1.00 t/m^2*** ***35°***
(13) *Sabbie siltose, silts sabbiosi e ghiaie; alluvioni fluviali, depositi di rotta fluviale, fanglomerati clinostratificati*	*peso dell'unità di volume* *coesione* *angolo di attrito interno*	***1.95 t/m^3*** ***0.10 t/m^2*** ***30°***

Colonna geotecnica riepilogativa

Inoltre onde poter definire e computare le classi di scavo, di seguito si riporta una tabella riepilogativa con in tipi di roccia che saranno interessati dagli scavi.

		Terreno	Roccia
A) ROTATORIA OVEST		100%	0%
B) STRADA PRINCIPALE SEZ 1-70	**da 1 a 37**	100%	0%
	da 38 a 39	0%	100%
	da 40 a 46	100%	0%
	da 47 a 48	0%	100%
	da 49 a 70	100%	0%
C) ASTA PRINCIPALE SEZ. 70-79		98%	2%
D) SOTTOPASSO FERROVIARIO SEZ. 79-90	**80**	0%	100%
	81	20%	80%
	82	30%	70%
	83	80%	20%
	84	95%	5%
	85	100%	0%
	86	95%	5%
	da 87 a 90	100%	0%
E) ASTA PRINCIPALE SEZ. 90-109		95%	5%
F) ROTATORIA EST		100%	0%
G) ASTA A-A'		100%	0%

6. PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

La pericolosità sismica di un territorio va intesa come la stima dello scuotimento del suolo previsto in un certo sito durante un certo periodo di tempo a causa dei terremoti.

La progettazione di strutture in zona sismica, a parità di criteri progettuali e metodi di verifica, assume, per una stessa costruzione, una forte differenziazione a seconda del sito dove viene edificata. Appare evidente infatti che la progettazione sia influenzata in maniera determinante dalla probabilità che ha il sito, in un determinato periodo di tempo, di essere soggetto ad eventi sismici di una certa magnitudo. Per poter eseguire una corretta progettazione strutturale è allora necessario conoscere questo livello di pericolosità sismica della zona dove si andrà ad edificare la struttura. Operativamente le informazioni che quantificano le probabilità che i terremoti di una certa magnitudo, con specifico periodo di ritorno, colpiscano le varie zone di un territorio, costituiscono la classificazione sismica. Per essa si intende appunto una suddivisione del territorio nazionale in zone alle quali vengono attribuiti valori differenziali del grado di sismicità, atti a definire il livello di rischio sismico per le costruzioni che in esse sono edificate. Per questo motivo la classificazione sismica viene anche chiamata mappa della pericolosità sismica.

In Italia la normativa in merito è stata aggiornata con l'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

L'aspetto di maggiore rilievo introdotto dall'Ordinanza 3274 è costituito senza dubbio dai nuovi criteri di classificazione sismica del territorio nazionale, necessari proprio per coprire questa grave lacuna lasciata irrisolta dalla normativa precedente. L'Ordinanza suddivide a tal fine l'intero territorio nazionale in quattro zone di sismicità, individuate in base a valori decrescenti di "accelerazioni massime" al suolo (Figura 1).

Per queste zone le norme indicano quattro valori di accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico.

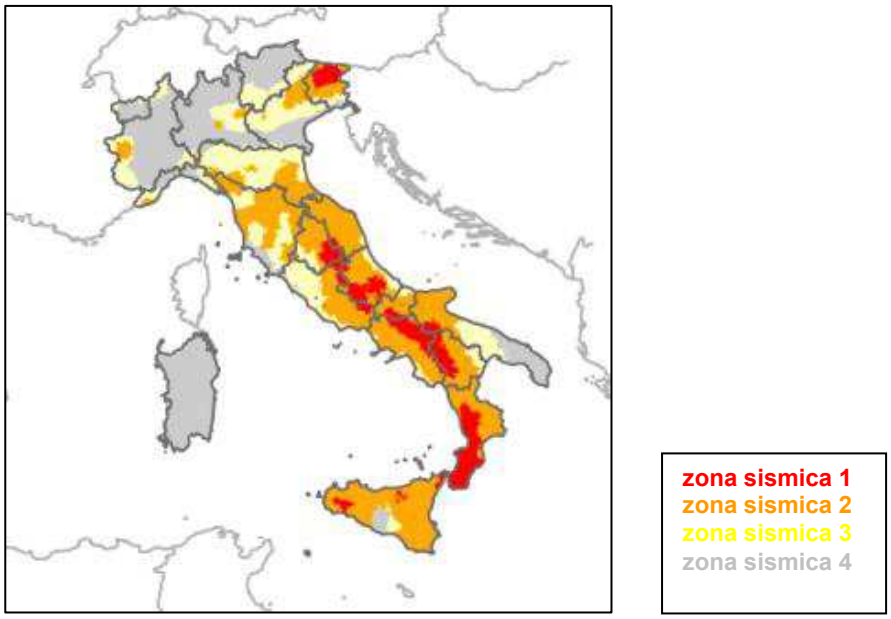
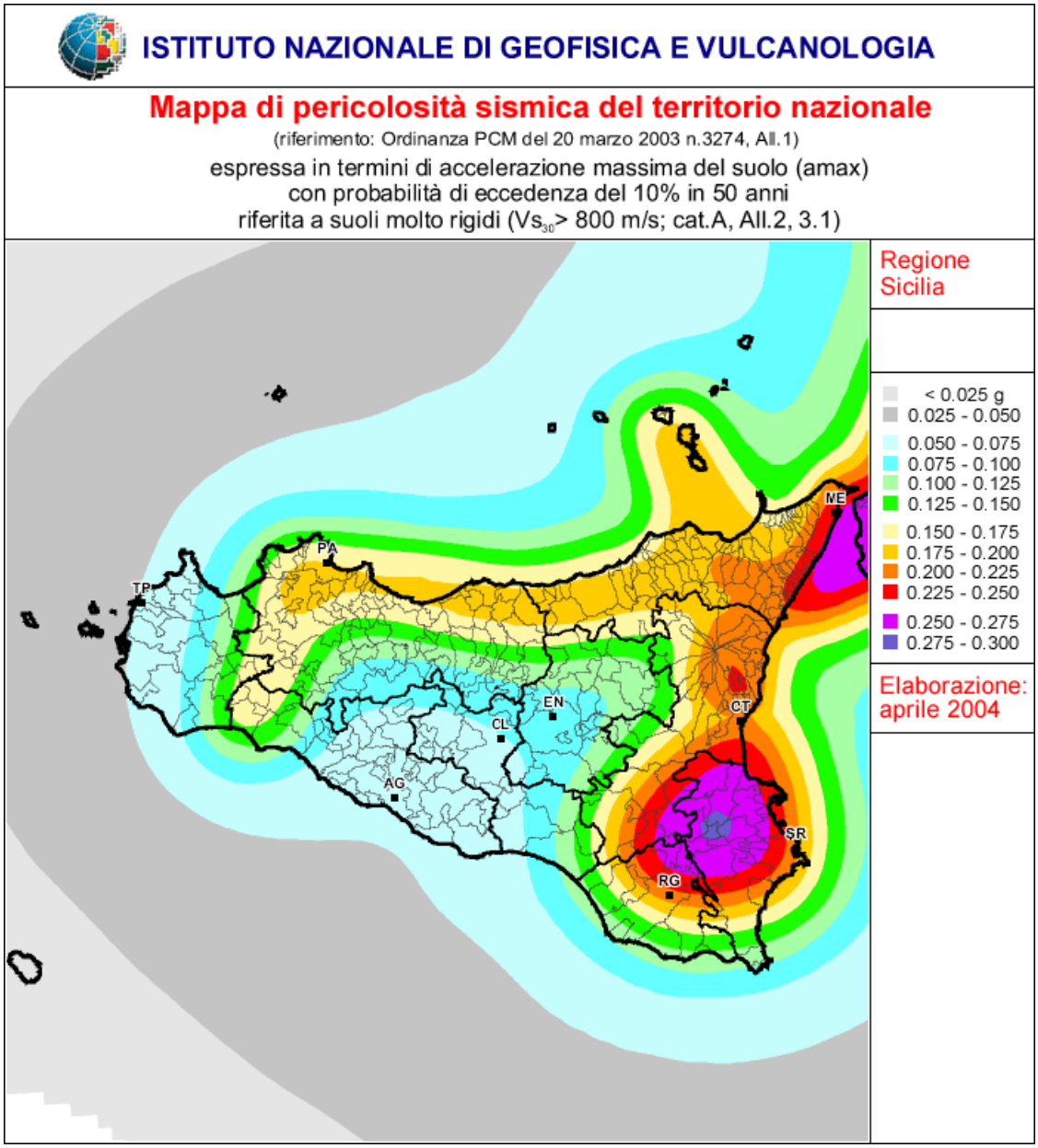


Figura 1

In particolare ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo le tabella seguente:

Zona Sismica	*Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]*	*Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]*
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

L'assegnazione di un territorio ad una delle quattro zone suddette avviene mediante le valutazioni di a_g (con tolleranza 0,025g) rappresentate in termini di curve di livello con passo 0,025g.



L'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003 disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azione sismica, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni. L'obiettivo fondamentale della norma è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni e rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi della Protezione Civile. Rispetto alla normativa nazionale precedente, basata su concetti di carattere convenzionale e puramente prescrittivi, l'Ordinanza 3274 punta a favore di una impostazione esplicitamente prestazionale, nella quale gli obiettivi della progettazione che la norma

si prefigge vengono dichiarati, ed i metodi utilizzati allo scopo (procedure di analisi strutturale e di dimensionamento degli elementi) vengono singolarmente giustificati. A tal fine, novità di assoluto rilievo, è l'adozione di un solo e unico metodo per le procedure di calcolo e verifica strutturale, il "metodo agli stati limite", con il conseguente abbandono definitivo del "metodo delle tensioni ammissibili".

Il territorio di *Termini Imerese*, da quanto riportato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica n. 105 del 08.05.2003 - supplemento ordinario n. 72, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" è stato definito di classe "II".

6.1.- Indagini sismiche eseguite

In dettaglio, nel corso degli anni sono state eseguite due differenti indagini geofisiche con sismica a rifrazione applicando il metodo "MASW", al fine di approfondire le conoscenze sui terreni oggetto di studio, ed in particolare per la definizione della categoria di suolo di fondazione ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri, ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006.

In dettaglio, la prima indagine denominata MASW_MT1 è stata eseguita, in occasione della stesura del progetto definitivo, sul piazzale antistante il vecchio stabilimento OLIS ed in prossimità dell'area ove si prevede di realizzare il sottopasso, su litotipi rigidi (calcari a rudiste e dolomie). La seconda indagine denominata MASW_MT2, è stata effettuata in occasione della redazione del progetto esecutivo del rafforzamento corticale ed è stata eseguita, sulla strada esistente, ed in adiacenza alla parete da consolidare su terreni quaternari (depositi fluvio - marini).

L'ubicazione delle due indagini è stata riportata sugli stralci cartografici di seguito rappresentati.

Ubicazione stesa sismica MASW MT_1

La stesa sismica MT_1 è stata eseguita utilizzando un array di n. 16 geofoni con interasse di 2 m, mentre la stesa sismica MT_2 è stata eseguita utilizzando un array di n. 20 geofoni con interasse di 2 m. L'apparecchiatura di rilievo è un sismografo, avente le seguenti caratteristiche:

- Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica
- Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipoint
- Numero di canali: 16
- Memoria: 64 kByte (>30000 campioni)

- Frequenze in Hz: 200, 300, 400, 500, 800, 1000, 2000, 3000, 4000, 8000, 10000, 20000;
- Intervalli in ms di: 5, 3.33, 2.5, 2, 1,25, 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.125, 0.1, 0.05;
- Geofoni: tipo verticale a 4,5 Hz

L'energizzazione è stata ottenuta tramite una mazza di 10 kg, battente su un piattello in alluminio, vicino il quale si è disposto il geofono starter.

Ubicazione stesa sismica MASW MT_2

6.2.- Tecnica MASW

La sismica a rifrazione classica considera i tempi di propagazione delle onde elastiche generate al suolo da impatti con una mazza battente su un piatto rigido. Le onde generate si rifrangono su superfici di discontinuità, condizione necessaria affinchè se ne abbia la rifrazione lungo tali superfici, incrementando la velocità di propagazione con l'aumentare della profondità. Dalla misura dei tempi di percorso esistenti tra la stazione energizzante ed una successione di stazioni riceventi (geofoni) è possibile dedurre la velocità delle Onde Sismiche Primarie (V_P) e/o le Secondarie (V_S) e gli spessori degli orizzonti in cui si propagano le onde elastiche generate e quindi ottenere informazioni sulla natura e sulla struttura del sottosuolo. Le velocità delle onde sismiche possono essere correlate a parametri geologici e petrofisici quali tipo di roccia, porosità, fessurazioni ed elasticità, per ottenere tramite formule empiriche grandezze utili.

Nel caso in questione, per risalire alle velocità delle onde orizzontali o di taglio Vs nei primi trenta metri dal p.c., si è invece finalizzata l'indagine per l'applicazione del metodo "MASW" (Multichannel Analisys of Surface Waves) che è una tecnica non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs basandosi sulla misura delle onde superficiali in termini di onde di Rayleigh. Queste onde viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh hanno la caratteristica di essere "dispersive", cioè si propagano con diverse velocità di fase e di gruppo in dipendenza alla frequenza di propagazione. In base alla necessità d'indagine abbiamo usato la configurazione del metodo masw "attivo", che sfrutta l'alta frequenza (5 hz – 70 hz) delle onde propagate che, con lunghezza d'onda corta, sono adatte a studi entro i primi 30-50 m dal p.c.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

1. l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll) con sismografo e sensori adatti e nella configurazione corretta;
2. la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) che si ottiene con programmi di sviluppo;
3. l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi, ma questa è giudicata quanto di meglio utilizzabile per l'attendibilità del risultato, i costi limitati e la tecnica non invasiva.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

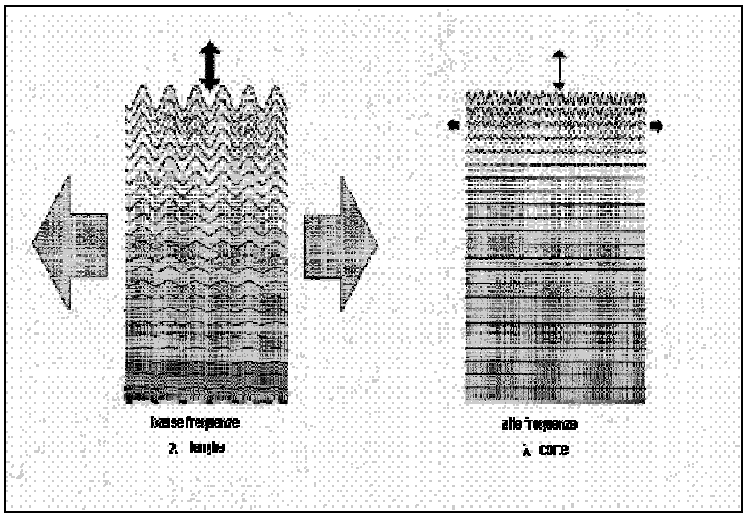
Il valore del rapporto di Poisson e la stima della densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a

frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzazare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo Vs di inversione.



Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW

sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione.

L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

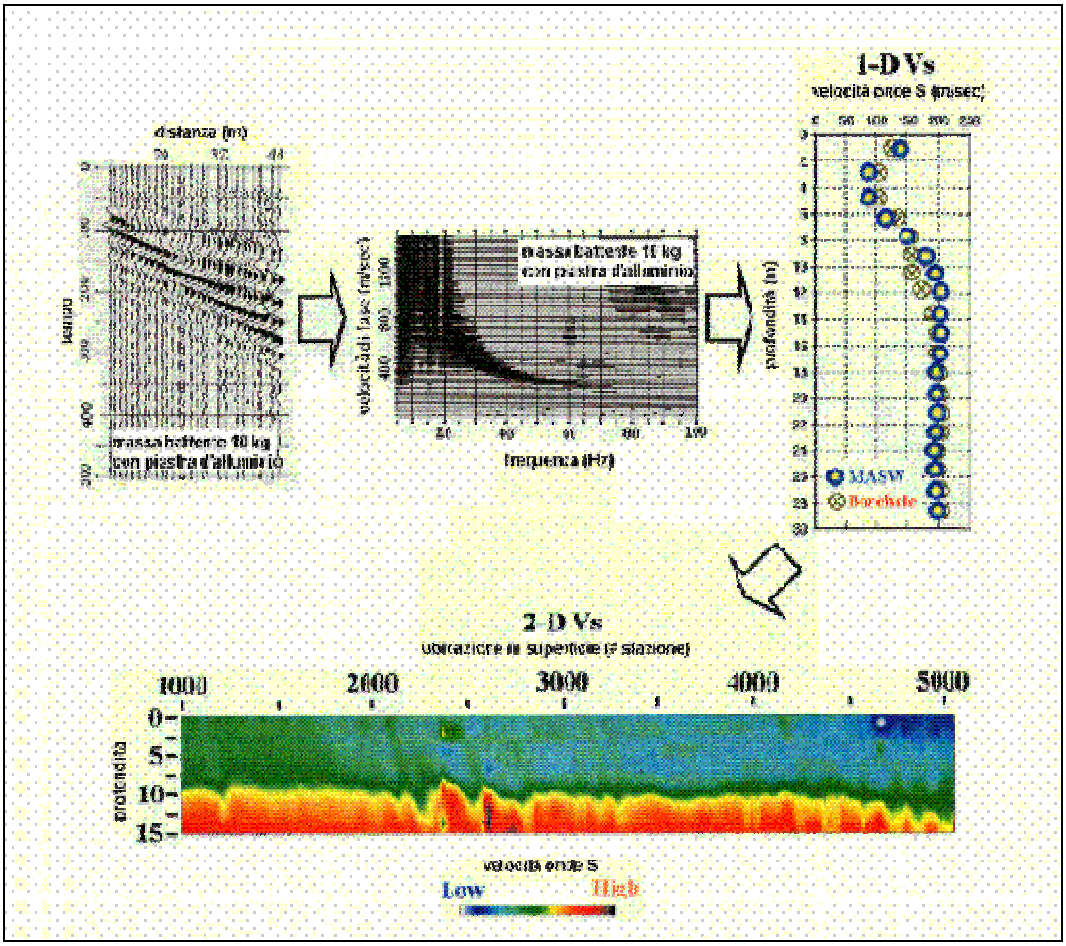
- acquisizione dei dati di campo;
- estrazione della curva di dispersione;
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi ed utilizzando un contouring software.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

Con le apparecchiature usate è stato possibile ottenere i primi impulsi sufficientemente netti anche quando i rumori di fondo erano elevati. Questo si é potuto realizzare in quanto la registrazione veniva immagazzinata da una memoria elettronica e successivamente tracciata su un display con la possibilità di discernere i segnali veri da quelli spuri.

Le misure rilevate hanno consentito di costruire le curve tempi/distanze (Dromocrone) relative allo scoppio di andata, di ritorno e di determinare gli spessori dei vari rifrattori elaborando colonne sismostratigrafiche.



Descrizione generale della procedura MASW

Per l'interpretazione dei sondaggi, si è riportato sulle ordinate di un diagramma cartesiano i tempi di percorrenza impiegati dai fronti d'onda generati dalla massa battente, mentre sulle ascisse si sono disposte le distanze tra il punto in cui é avvenuto lo scoppio e la posizione in cui si trovano i geofoni che hanno rilevato le onde sismiche.

6.3. Classificazione del suolo di fondazione con il metodo MASW

L'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la OPCM n. 3519/2006, ha introdotto la nuova normativa tecnica in

materia di progettazione antisismica, che ci adegua allo standard europeo (Eurocodice 8). Oltre alle importanti novità relative alle metodologie di calcolo ingegneristico è stata introdotta la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto in 5 categorie principali (dalla A alla E) a cui ne sono aggiunte altre 2 (S1 ed S2) per le quali sono richiesti studi speciali per definire l'azione sismica da considerare, sulla base del parametro Vs_{30}. Questo parametro rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S o onde di taglio o onde orizzontali entro 30 m di profondità (al di sotto del piano di fondazione) ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$\mathbf{Vs_{30} = 30/_{\Sigma i=1,N}\ h_1/V_1}$$

dove h_1 e V_1 indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma<10^{-6}$) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

La proposta della nuova normativa conclude che il sito verrà classificato sulla base del valore di Vs_{30} o altri parametri come N_{spt} o C_u.

Viene comunque enfatizzata l'importanza del parametro Vs , che com'è noto è il parametro geofisico che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo, poiché riferito ad un vasto intervallo più che ad un fatto puntuale come può essere il valore di C_u o N_{spt}.

Una precisa valutazione delle velocità delle onde S negli strati di copertura può essere effettuata attraverso stendimenti di sismica a rifrazione. Dall'interpretazione dell'indagine sismica si ottengono i valori delle velocità delle onde P, dalle quali, noto il coefficiente di Poisson e la densità del materiale, si ricavano i corrispondenti valori delle velocità delle onde S con la relazione:

$$\mathbf{Vs\ (m/s) = Vp \sqrt{1-2\sigma\ /\ 2-2\sigma}}$$

dove σ è il coefficiente di Poisson dello strato, mediamente uguale a 0,25 nelle rocce e 0,35 nei terreni sciolti (media rappresentativa = 0,33).

La Normativa Italiana (Ordinanza nn.3274 e 3519), coerentemente con quanto indicato nell'Eurocodice 8, prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura che dello spessore della stessa.

Vengono identificate 5 classi, A, B, C, D e E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	***Descrizione***
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs_{30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30}, compresi fra 360 m/s e 800 m/s (Nspt>50 o coesione non drenata >250 kPa)
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs_{30} compresi fra 180 e 360 m/s (15<Nspt<50, 70<cu<250 kPa).
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti caratterizzati da valori di Vs_{30}<180 m/s (Nsp<15, cu<70 kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali non litoidi (granulari o coesivi), con valori di Vs_{30} simili a quelli delle classi C o D e spessore compreso fra 5 e 20 m, giacenti su un substrato più rigido con Vs_{30}>800 m/s

Per Vs_{30} s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

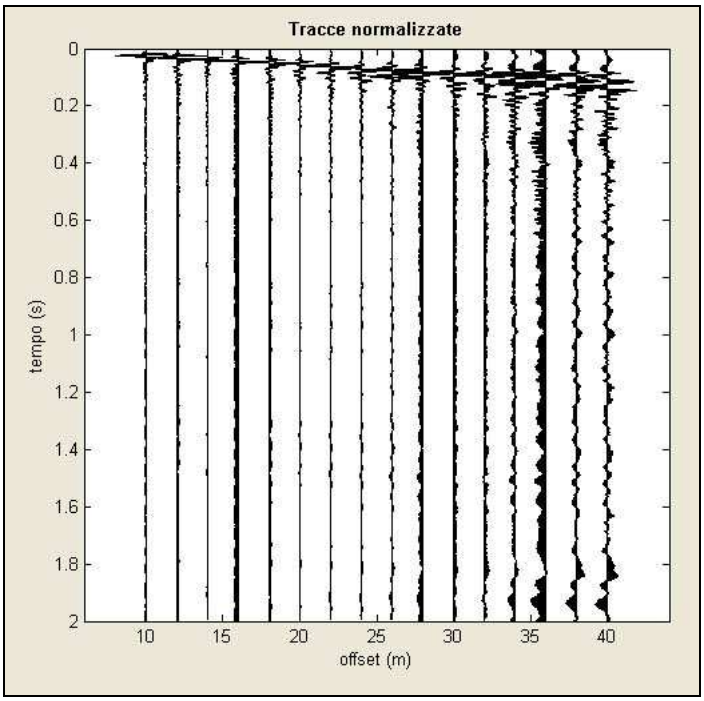
$$\mathbf{Vs_{30} = 30 / (\Sigma_{i=1,N}\ h_i/V_{si})}$$

In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E.

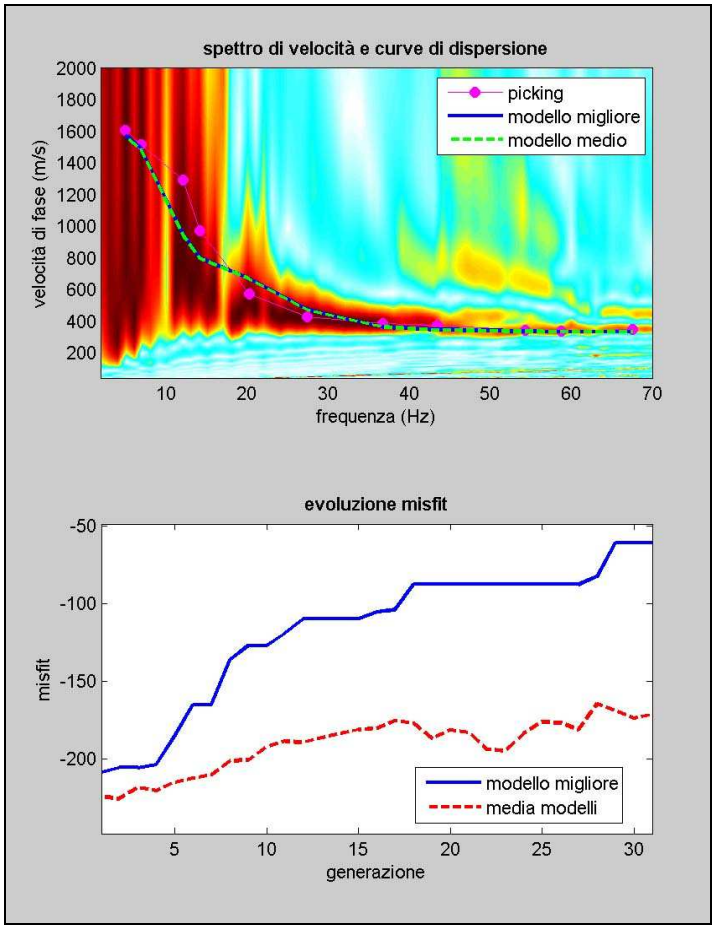
6.4 Risultati delle analisi

Dati sperimentali *MASW MT_1*

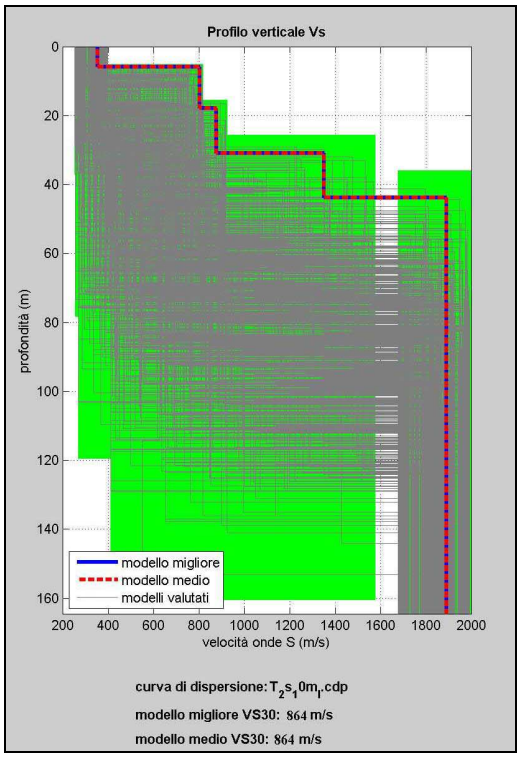
Numero di ricevitori	16
Latitudine sito:	37° 59' 24" N
Longitudine sito:	13° 41' 56" E



Tracce sperimentali



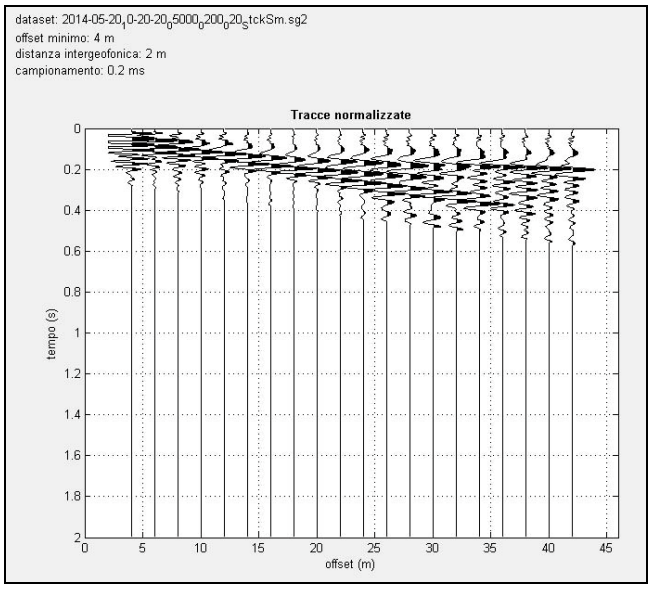
Curva di dispersione



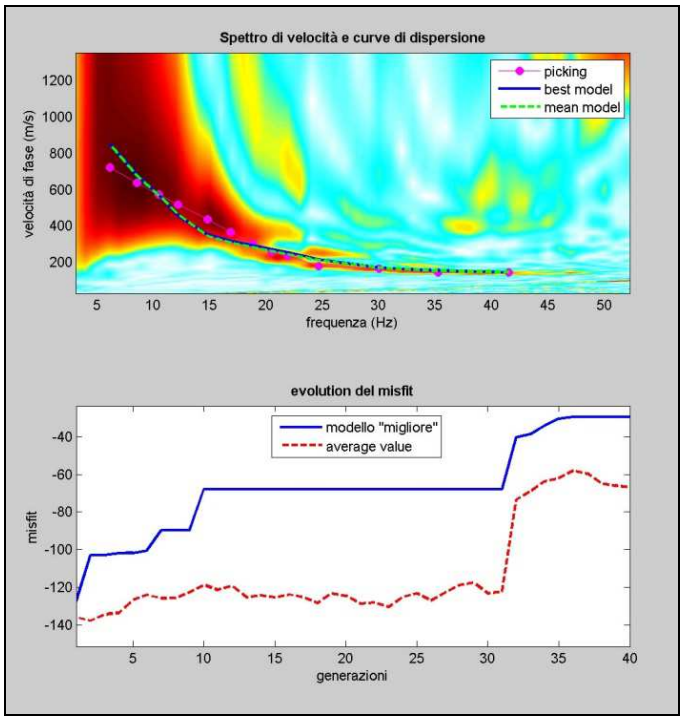
Elaborazione modelli equivalenti

Dati sperimentali *MASW MT_2*

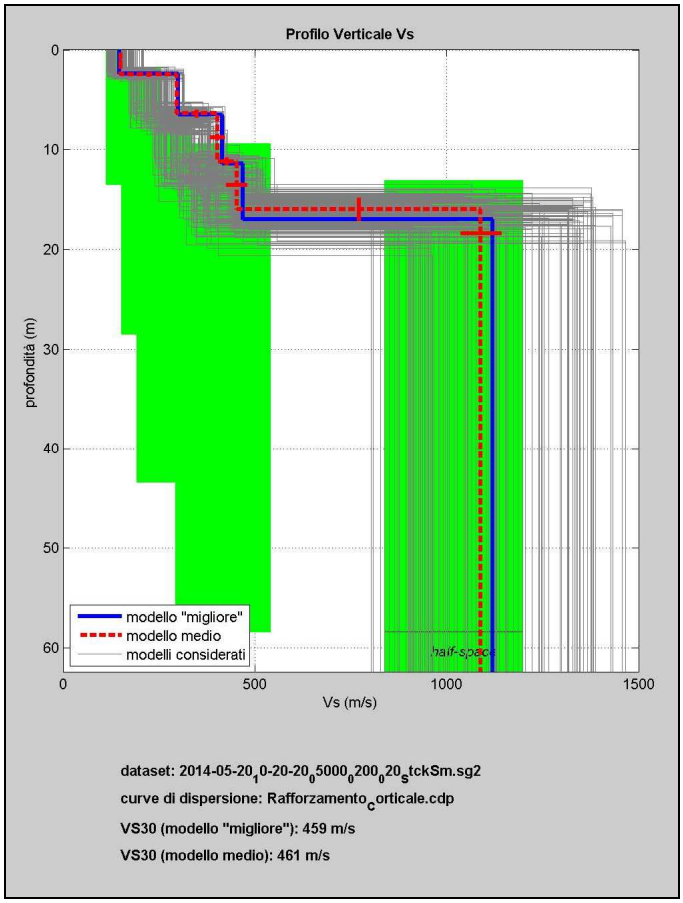
Dataset	2014-05-20_10-20-20_05000_0200_020_StckSm.sg2
Numero di ricevitori	20
Latitudine sito:	37° 59' 24" N
Longitudine sito:	13° 41' 56" E



Tracce sperimentali



Curva di dispersione



Elaborazione modelli equivalenti

L'elaborazione MASW della stesa sismica MT_1 ha definito un valore della velocità Vs_{30} dei terreni pari a **864 m/s** mentre l'elaborazione MASW della stesa sismica MT_2 ha definito un valore della velocità Vs_{30} dei terreni pari a **459 m/s**.

Pertanto, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e successivamente con il D.M. 14.01.2008, i terreni caratterizzati dalla presenza di litotipi litoidi (calcari a rudiste e dolomie) ove si prevede di realizzare il sottopasso rientrano nel tipo di suolo ***A*** *(Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di* Vs_{30} *superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m),* mentre i terreni caratterizzati dalla presenza di depositi quaternari (depositi fluvio - marini) rientrano nel tipo di suolo ***B*** *(Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30, compresi fra 360 m/s e 800 m/s (Nspt>50 o coesione non drenata >250 kPa).*

7.- CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Alla luce di quanto considerato si evince che l'opera in progetto ricade in un contesto geologico in lenta evoluzione sia per fattori geologici in senso stretto (tettonica) e sia per la trasformazione morfogenetica ad opera degli agenti modificatori ed antropica.

Le caratteristiche salienti dell'area sono state determinate dalle ultime vicende tettoniche che hanno visto, a seguito di movimenti eustatici, il lento sollevamento di una serie di terrazzi fluvio marini composti per lo più da sedimenti alluvionali.

Tale meccanismo ha determinato la formazione di tre terrazzi di ordine III – II - I partendo dal più basso.

Il percorso stradale coincide, per buona parte del tracciato, con il terrazzo marino di III ordine allorquando si sviluppa nella Piana del Fiume S. Leonardo, dove è presente un deposito alluvionale attuale che si sviluppa fino alla linea di spiaggia.

All'altezza dell'area cimiteriale il percorso taglia le alluvioni terrazzate che sono caratterizzate da un deposito conglomeratico poligenico con ciottoli e ghiaie abbastanza grossolane. Il tutto con una giacitura dei terreni sub-pianeggiante e senza particolari problematiche di assetto idro-geomorfologico.

All'altezza della vecchia galleria ferroviaria il percorso stradale interseca la rupe del Castello di Termini.

Da questo punto in avanti, i terreni che costituiscono il substrato sono attribuibili alla successione della *"Rocca del castello di Termini"*. Si tratta di una successione definita in letteratura geologica col termine di *Fm. Crisanti* e caratterizzata da una successione di calcari brecciati e argilliti silicee.

La successione è ben visibile sul promontorio che dal belvedere si affaccia sull'OLIS e nella salita della Serpentina.

Sono state evidenziate le particolari problematiche di assetto idrogeologico prendendo anche in considerazione il P.A.I. relativo al piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del fiume San Leonardo, redatto a cura dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente e pubblicato con Decreto presidenziale del 29.09.2004, sulla G.U.R.S. n° 53 del 10.12.2004.

Si sono evidenziate inoltre, in un tratto di versante posto a valle dell'area cimiteriale, distacchi e crolli di elementi ciottolosi. La mitigazione del rischio da crollo in quest'area, verrà eseguita realizzando interventi sul versante consistenti nella pulizia ed il disgaggio di elementi in equilibrio precario e la successiva posa in opera di rete e di barriere paramassi.

Dal rilievo di campagna, da alcuni saggi effettuati lungo il tracciato, si è desunto un profilo geologico e delle sezioni che sono allegati alla presente.

Dall'esame di tali sezioni e profilo si evince che i terreni interessati dal percorso stradale sono limitati ai termini alluvionali sia attuali che recenti e alle ruditi e calcareniti a rudistidi ed orbitolinidi.

L'opera di progetto ricade in un contesto geologico alquanto stabile sia per aspetti di evoluzione tettonica che geomorfologica. Le caratteristiche giaciturali e meccaniche dei litotipi concorrono a migliorare l'assetto globale.

Inoltre sono state eseguite due differenti stese sismiche e l'elaborazione delle stesse ha definito un valore della velocità Vs_{30} dei terreni pari a **864 m/s** per MT_1 e **459 m/s** per MT_2. Pertanto, ai sensi dell'Ordinanza n. 3274/2005 del Presidente del Consiglio dei Ministri ripresa e completata con la O.P.C.M. n. 3519/2006 e successivamente con il D.M. 14.01.2008, i terreni caratterizzati dalla presenza di litotipi litoidi (calcari a rudiste e dolomie) ove si prevede di realizzare il sottopasso rientrano nel tipo di suolo ***A*** *(Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs_{30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m),* mentre i terreni caratterizzati dalla presenza di depositi quaternari (depositi fluvio - marini) rientrano nel tipo di suolo ***B*** *(Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30, compresi fra 360 m/s e 800 m/s (Nspt>50 o coesione non drenata >250 kPa).*

Termini Imerese, novembre 2015

geologo

COLONNE STRATIGRAFICHE

FOTO n°1- POSIZIONE TRIVELLA – SONDAGGIO S1

FOTO n°2- SONDAGGIO S1

FOTO n°3 - POSIZIONE TRIVELLA – SONDAGGIO S2

FOTO n°4 - SONDAGGIO S2

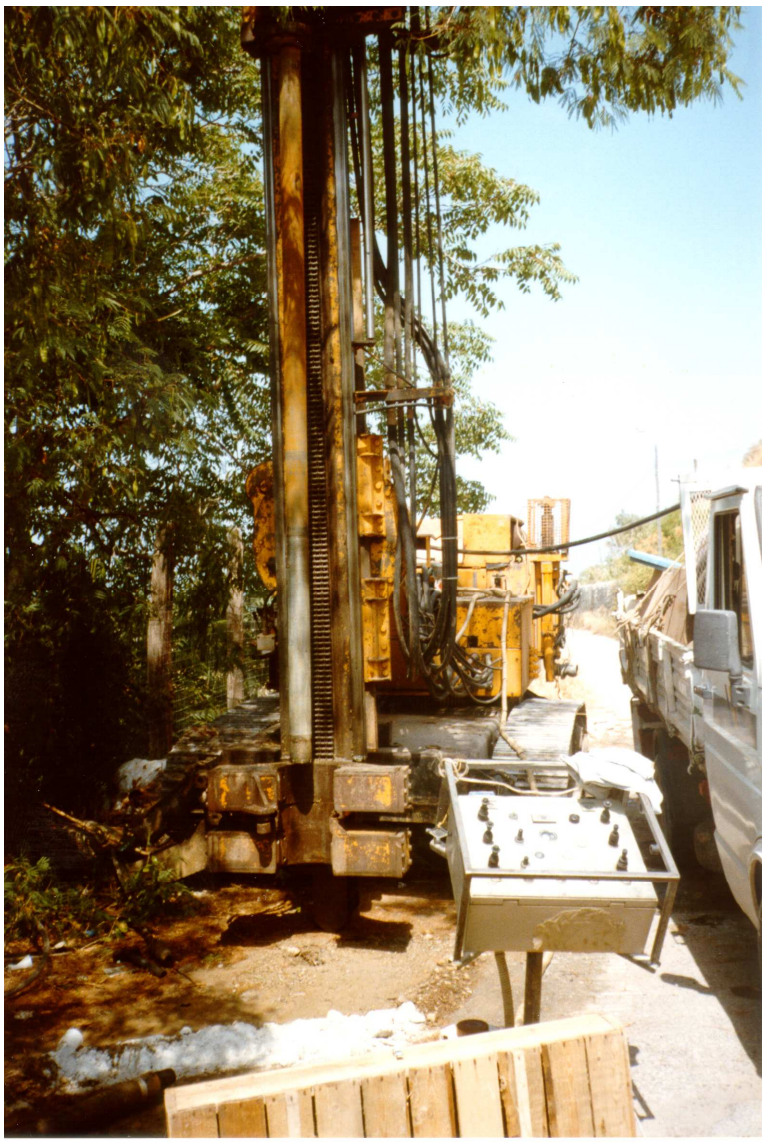


FOTO n°5 - POSIZIONE TRIVELLA – SONDAGGIO S3

FOTO n°6 - SONDAGGIO S3

FOTO n°7 - POSIZIONE TRIVELLA – SONDAGGIO S4

Colonna stratigrafica
S.M. 03

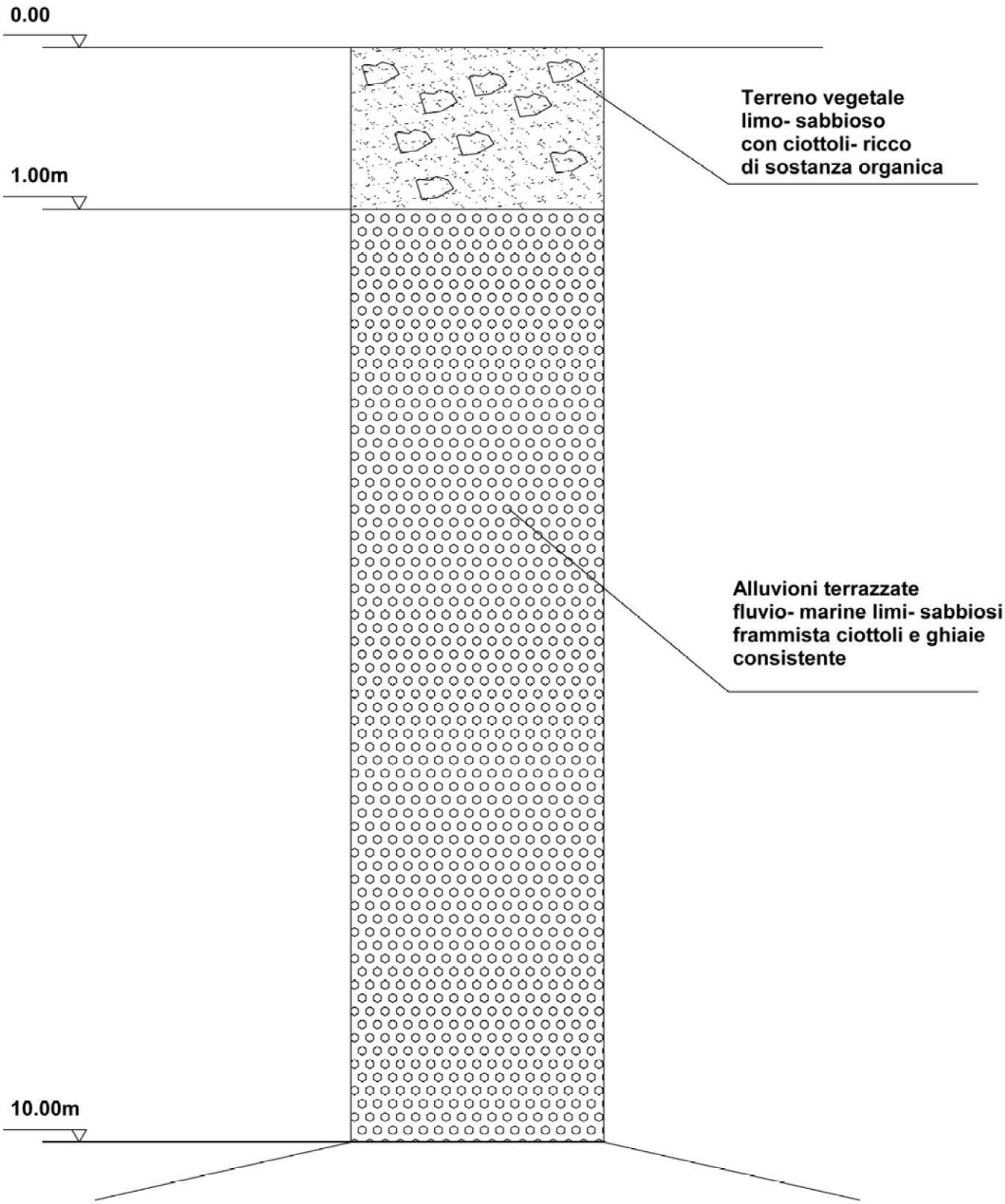
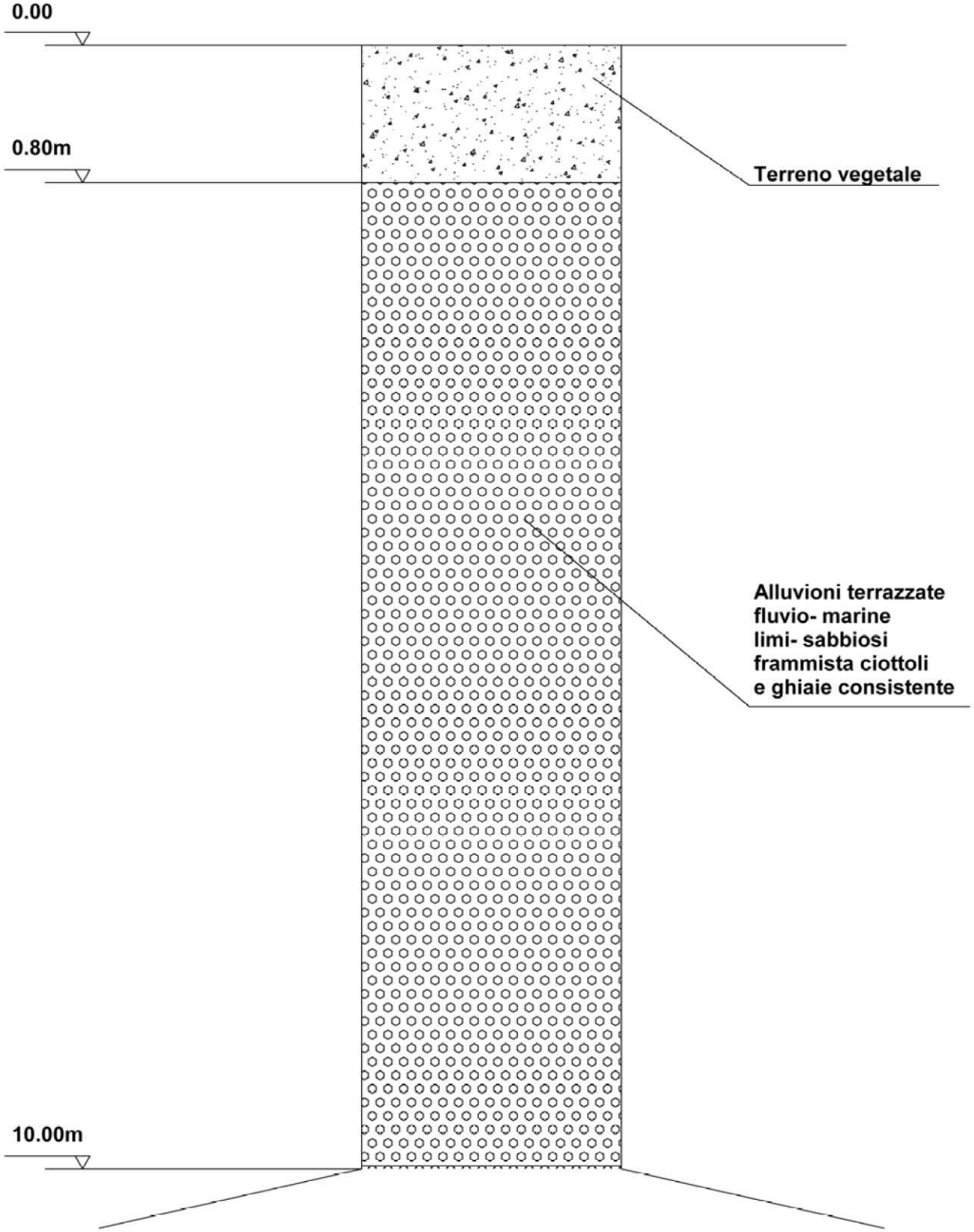
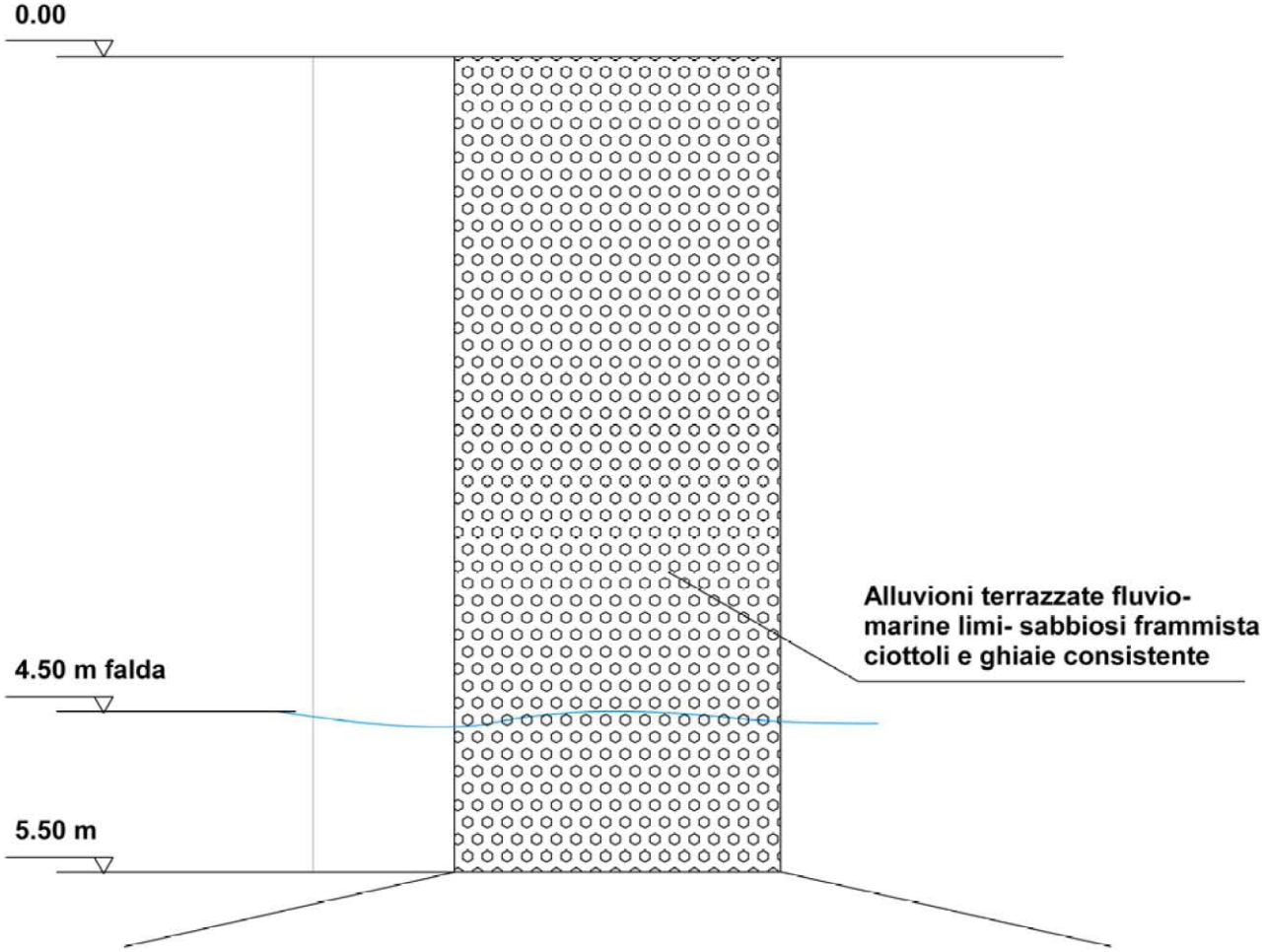


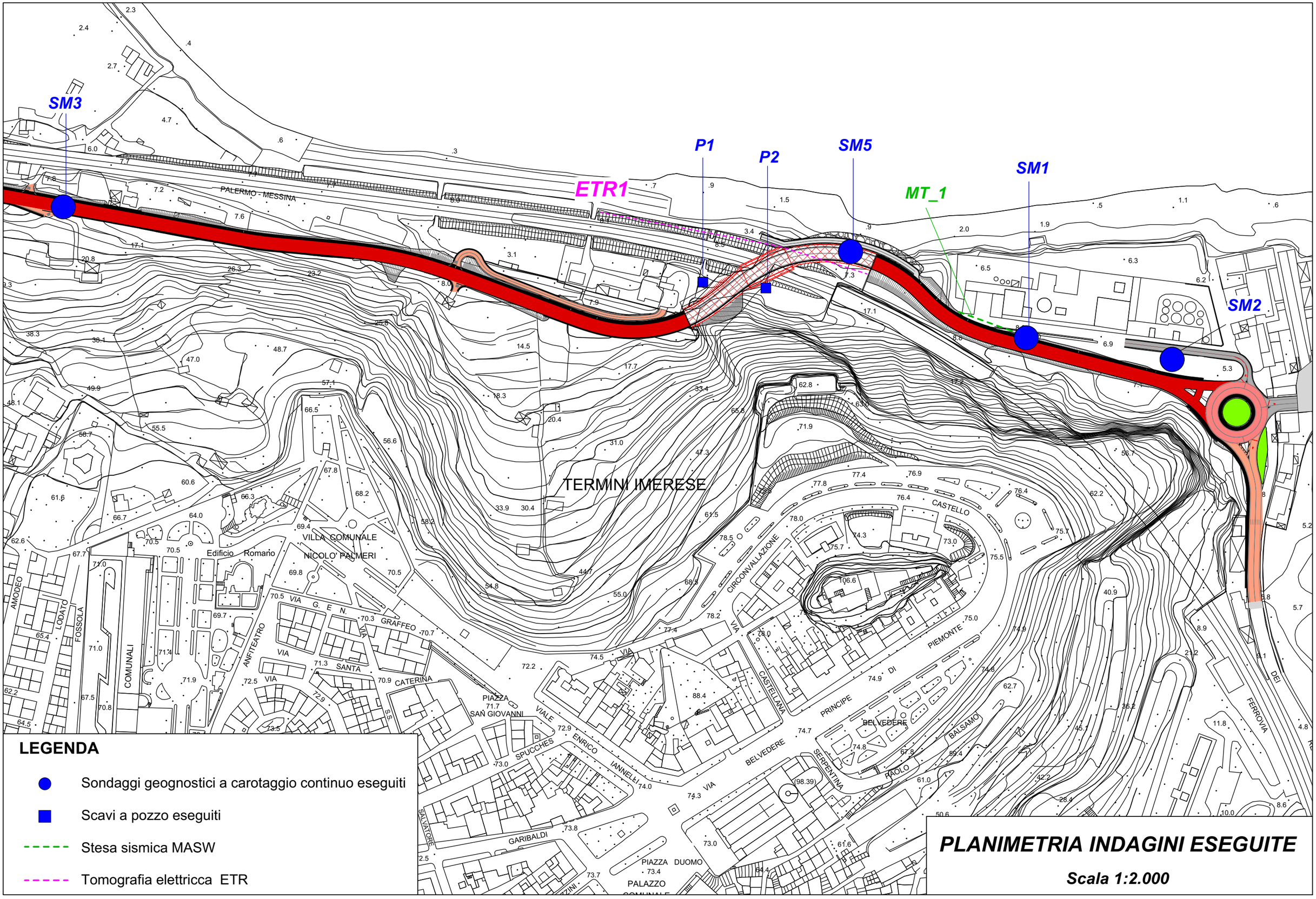
FOTO n°7 - POSIZIONE TRIVELLA – SONDAGGIO S4

Colonna stratigrafica
S.M. 04



Colonna stratigrafica
S.M. 05



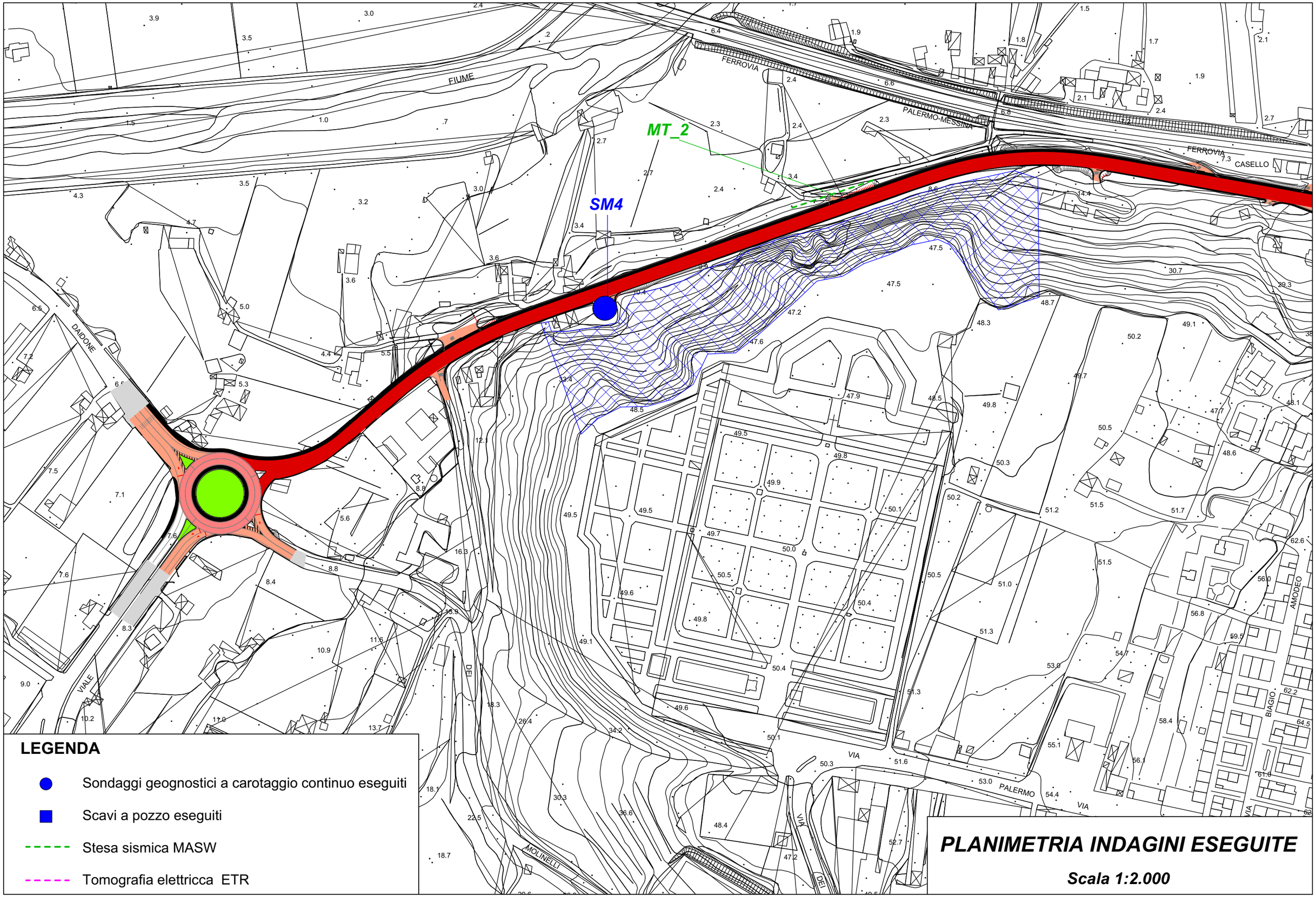


LEGENDA

- Sondaggi geognostici a carotaggio continuo eseguiti
- Scavi a pozzo eseguiti
- Stesa sismica MASW
- Tomografia elettricca ETR

PLANIMETRIA INDAGINI ESEGUITE

Scala 1:2.000

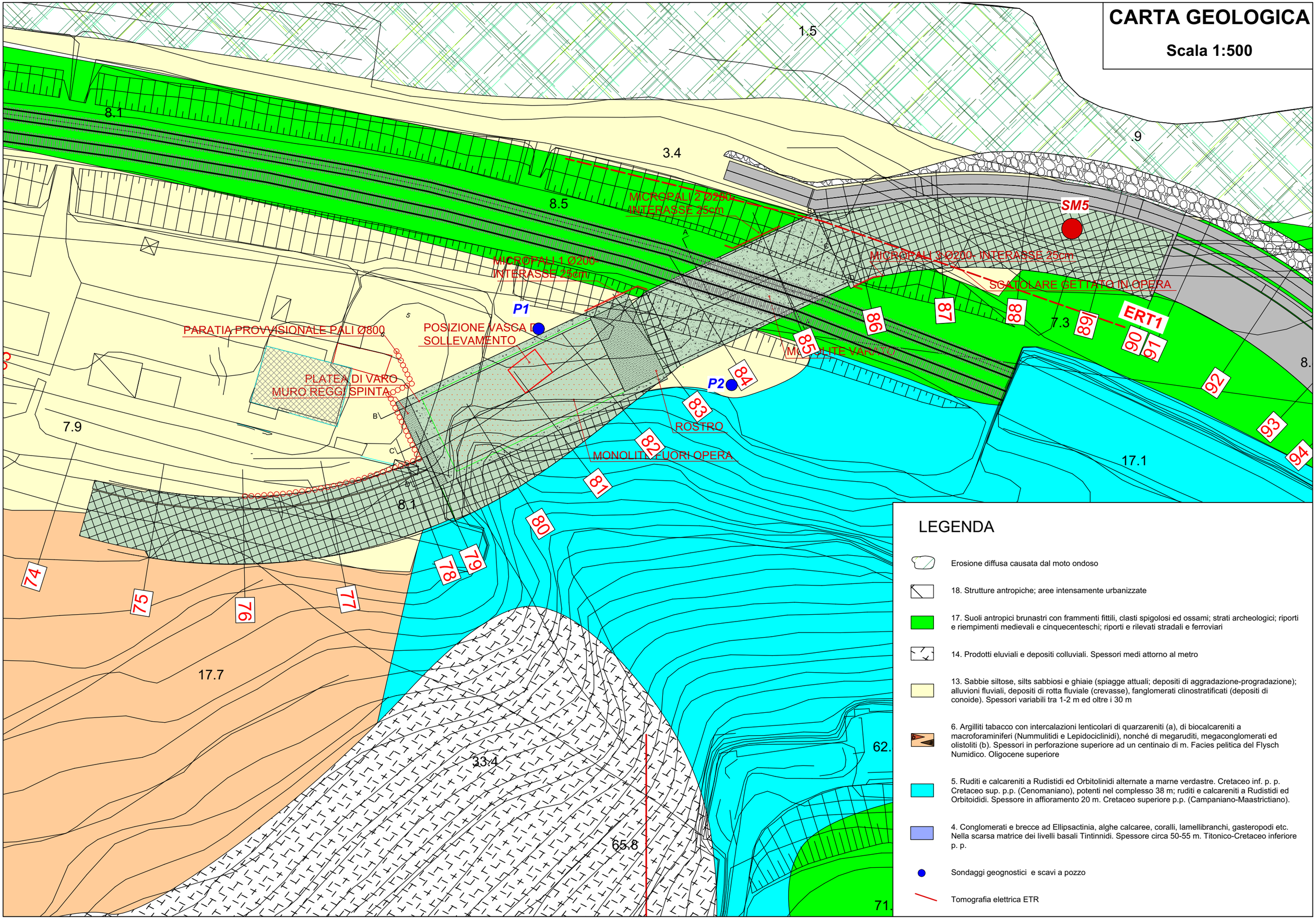


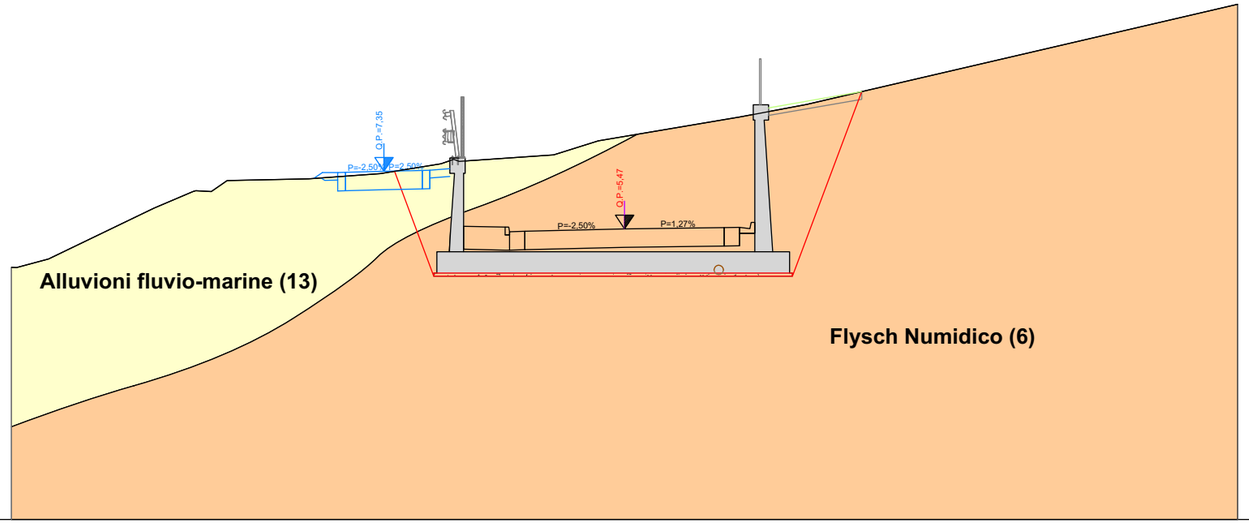
PLANIMETRIA INDAGINI ESEGUITE

Scala 1:2.000

CARTA GEOLOGICA

Scala 1:500





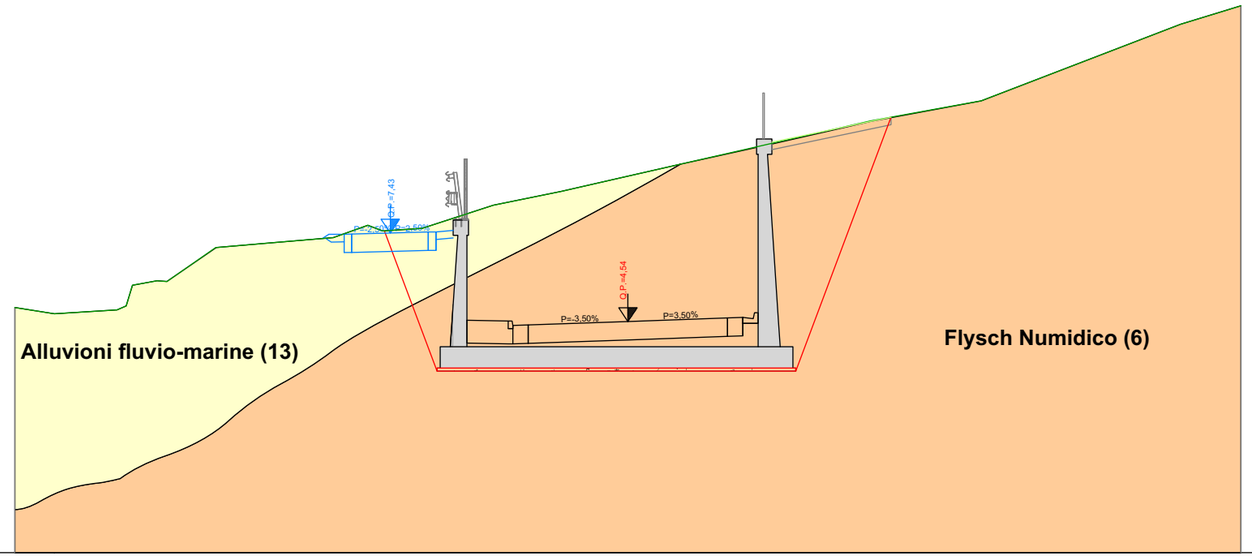
SCALA 1:200

QT.RIF. -4.000

QUOTE TERRENO	4.22	4.21	4.49		6.15	6.69	6.69	7.05	7.10	7.27	7.59	7.67	7.89	8.34	8.49	9.12	9.53	12.80							
DIST.PARZIALI TERRENO		1.04	3.44		1.28	0.50	0.52	2.66	2.33	1.98	0.42	3.08	1.46	0.86	3.77	2.16	14.07								
QUOTE PROGETTO									7.11	7.35	7.38	7.44	5.53	5.47		5.52	9.42	9.95							
DIST.PARZIALI PROGETTO									0.50	1.26	1.25	0.65	1.35	0.50	3.25	3.25	0.95	3.04							

Sezione Geologica n° 74

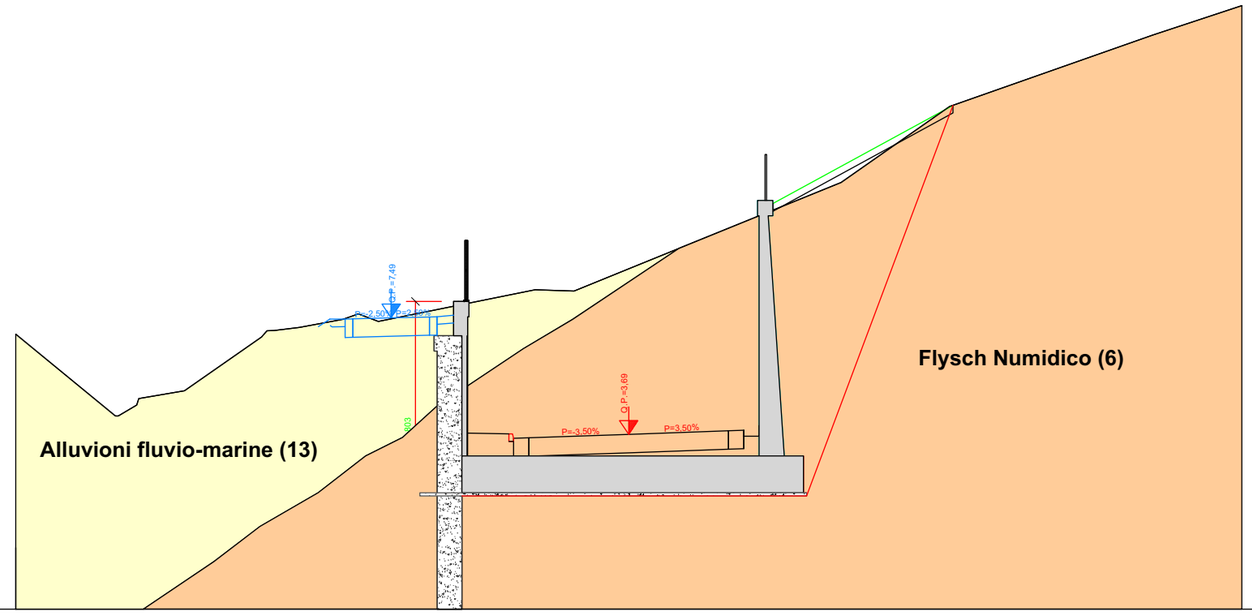
Scala 1:200



SCALA 1:200

QT.RIF. -3.000

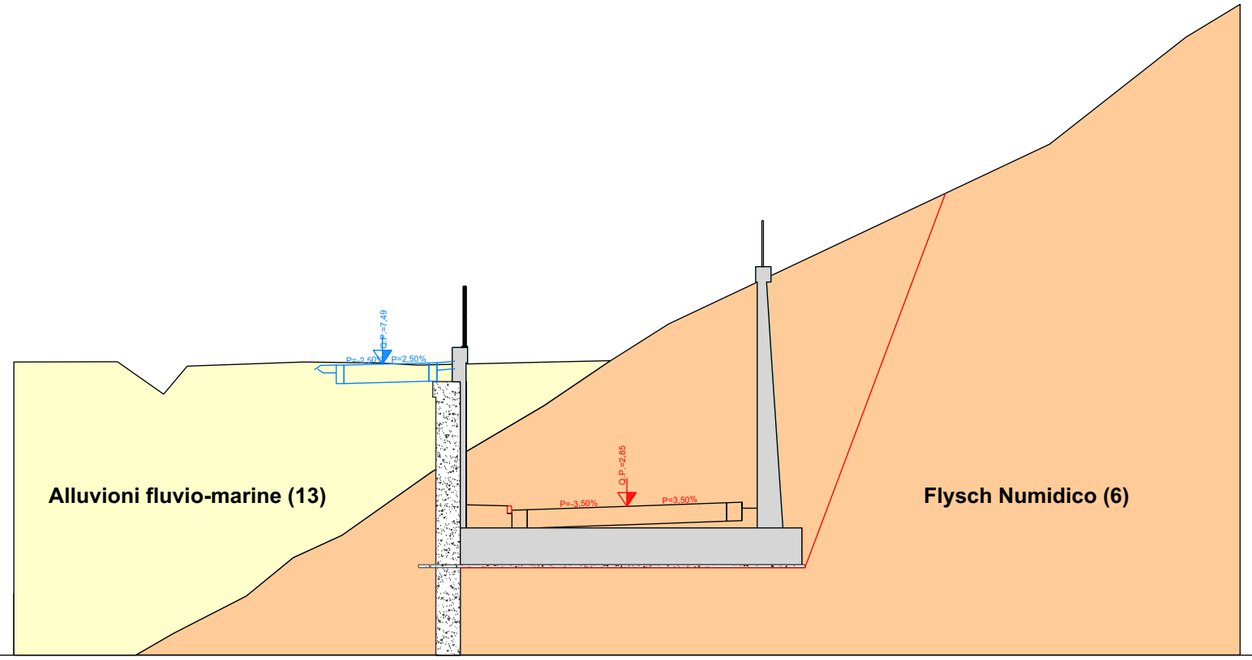
| | | |



SCALA 1:200

QT.RIF. -2.000

| | | |



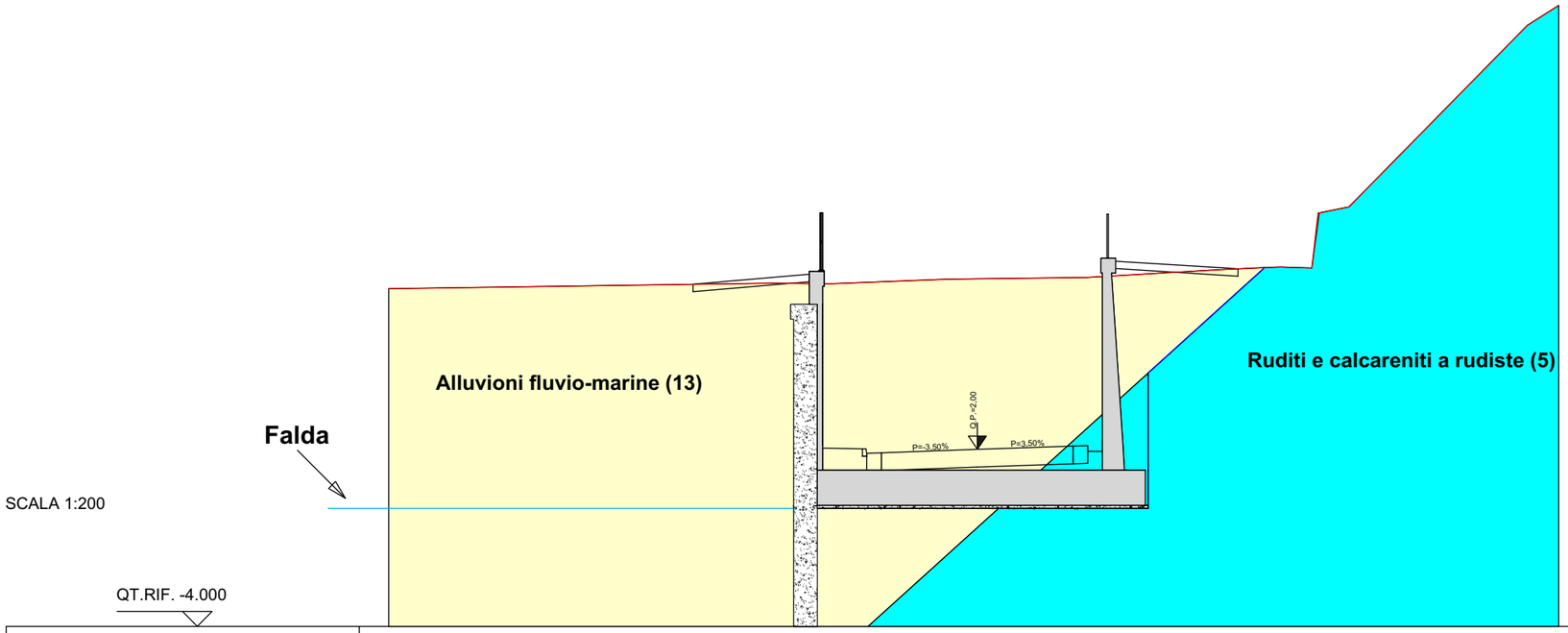
SCALA 1:200

QT.RIF. -2.000

QUOTE TERRENO	7.55		7.56	6.50	7.42		7.56	7.52	7.45		7.57	7.60	7.94	8.80		14.66		18.15	19.22
DIST.PARZIALI TERRENO		3.38	1.50	0.77	3.80	2.51		1.22	4.70		1.59	0.54	1.36		12.43		4.45	1.76	
QUOTE PROGETTO						7.31	7.45 7.46	7.49	7.52 7.53 7.58 7.90		2.87 2.14 2.74		2.85		2.96 2.98 2.38				
DIST.PARZIALI PROGETTO						0.50	1.26	1.52	0.50	1.35	0.50	3.25		3.25	0.50				

Sezione Geologica n° 77

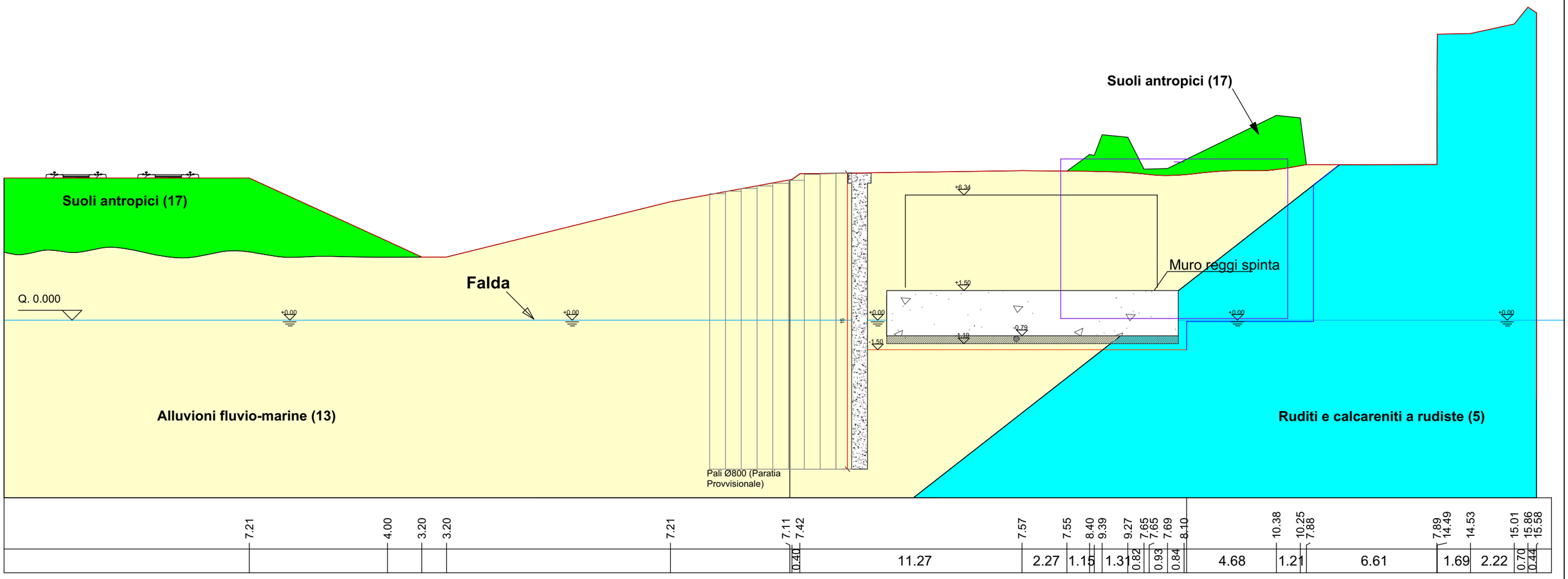
Scala 1:200



QUOTE TERRENO	7.46					7.65	7.63		7.78	7.80		7.84		8.11	8.20	8.16	10.03	10.23		16.40	17.08
DIST.PARZIALI TERRENO		13.00				2.05	3.89		1.06	3.71		4.47		2.11	1.07	1.05		6.06		1.06	
QUOTE PROGETTO					7.61		7.95	2.05	1.77	1.89	1.29		2.00		2.12	2.14	1.54	8.39	8.14		
DIST.PARZIALI PROGETTO						3.95	0.45	1.35	0.50		3.26	3.25		0.50		0.95		4.15			

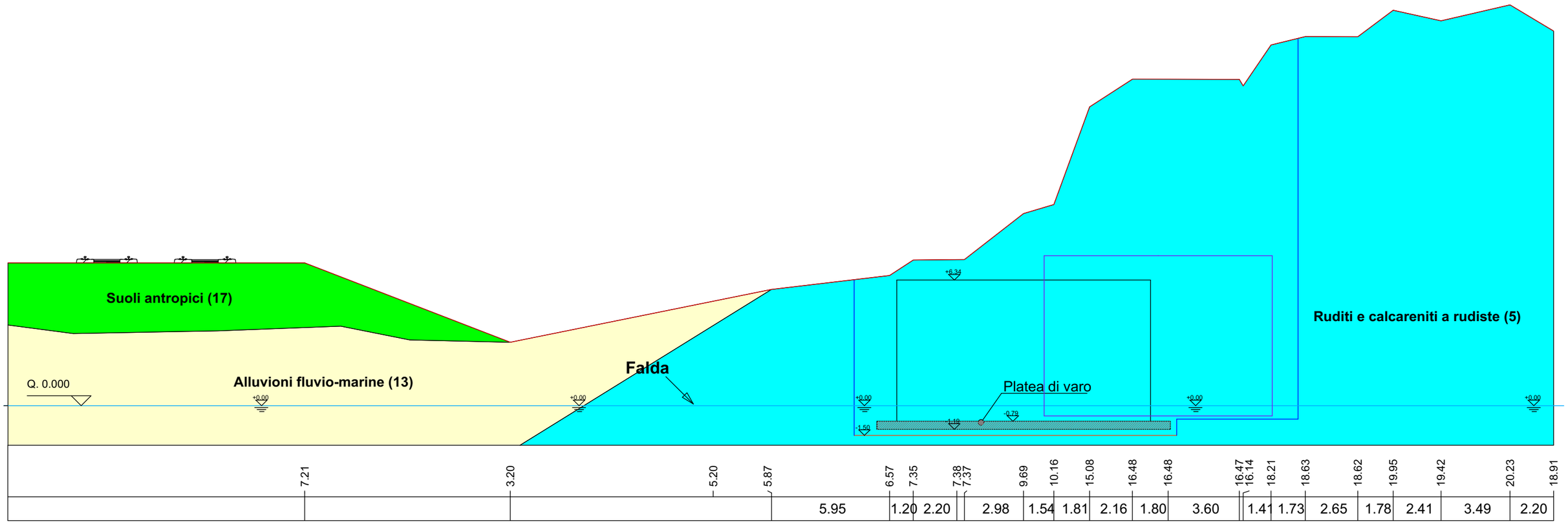
Sezione Geologica n° 78

Scala 1:200



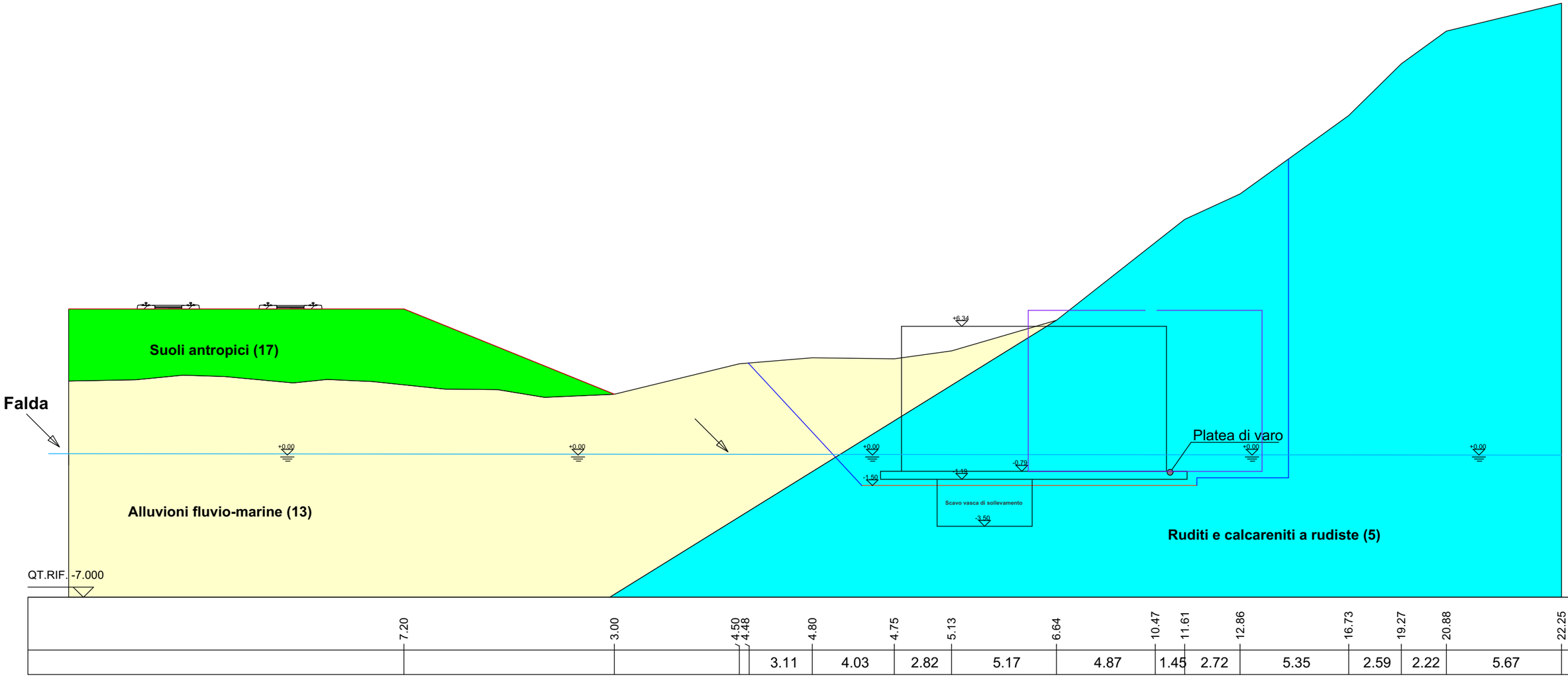
Sezione Geologica n° 79

Scala 1:200



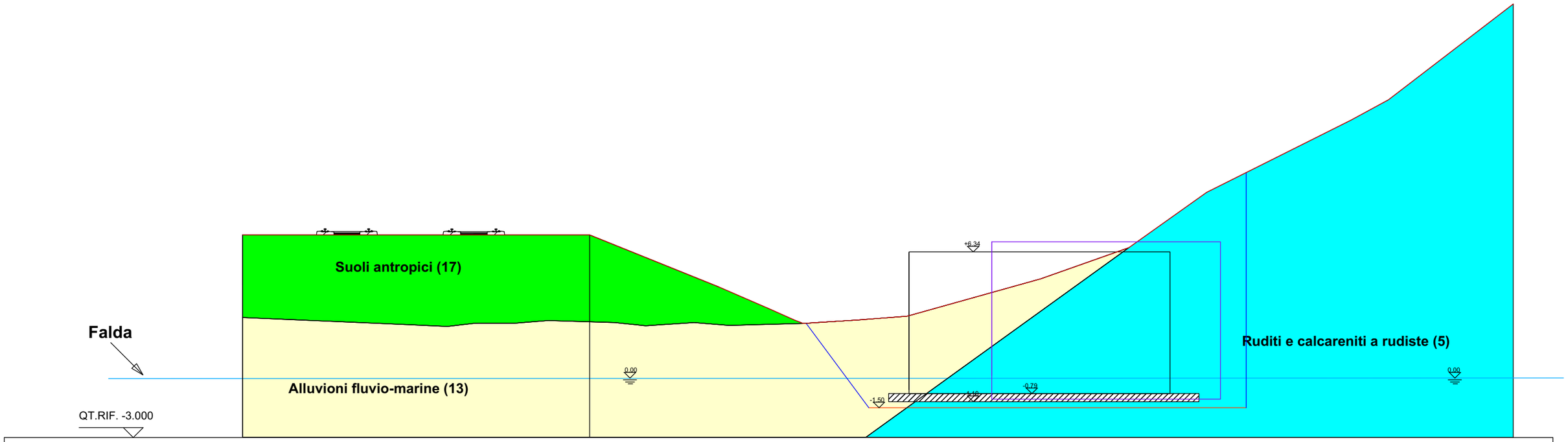
Sezione Geologica n° 80

Scala 1:200



Sezione Geologica n° 81

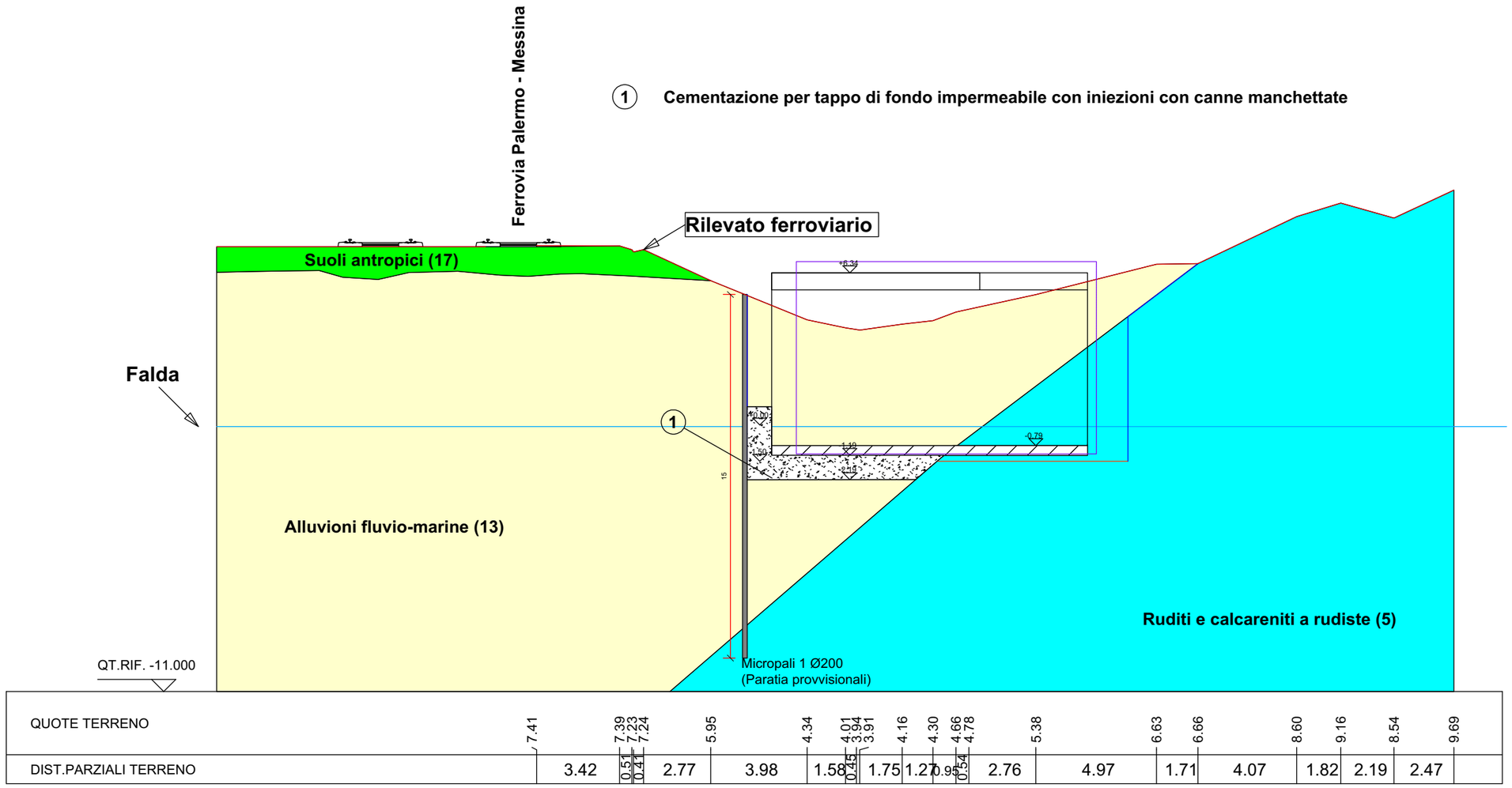
Scala 1:200



QUOTE TERRENO	4.59	3.48	2.92	2.74	2.89	2.92	3.11	4.99	6.33	6.55	9.34	12.97	14.00	18.82
DIST.PARZIALI TERRENO	2.54	1.20	0.12	0.15	2.70	2.42	6.72	3.79	0.65	3.92	7.27	1.88	6.28	

Sezione Geologica n° 82

Scala 1:200



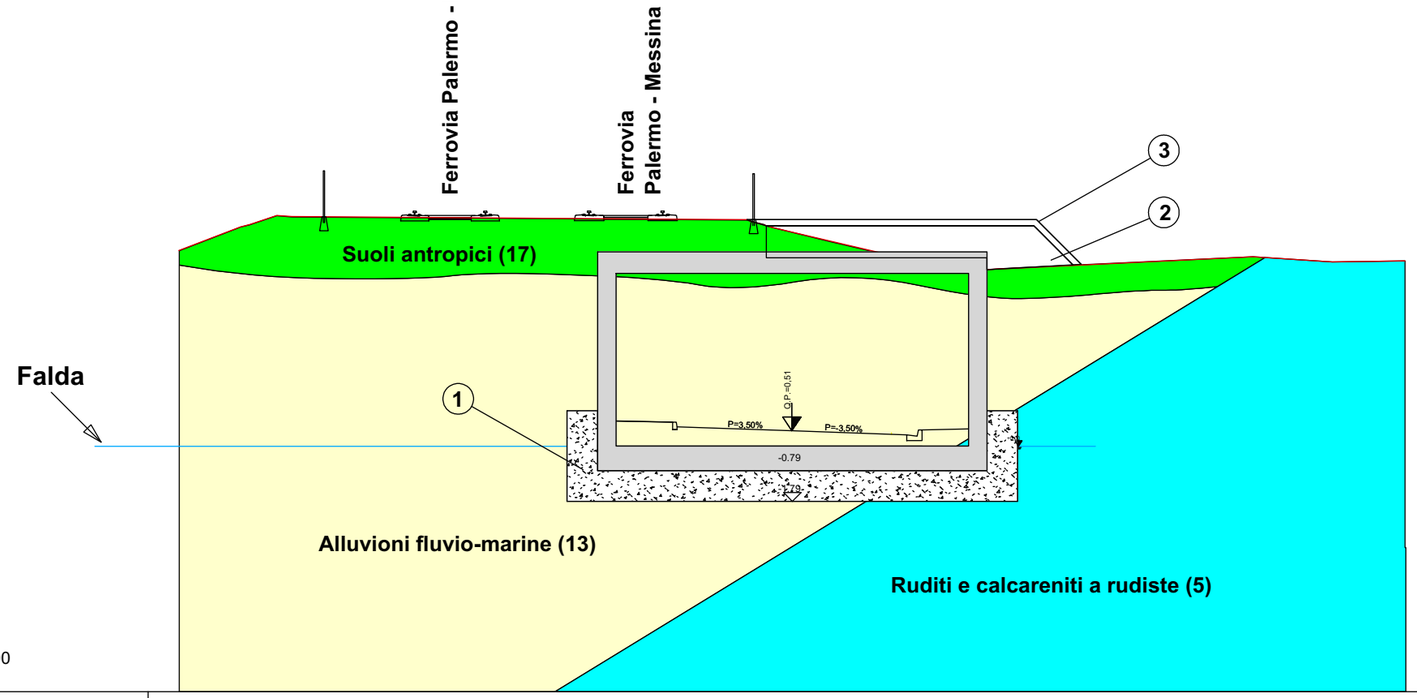
Sezione Geologica n° 83

Scala 1:200

1 Cementazione per tappo di fondo impermeabile con iniezioni con canne manchettate

2 Ritombamento porzione manufatto scatolare con materiale proveniente dagli scavi

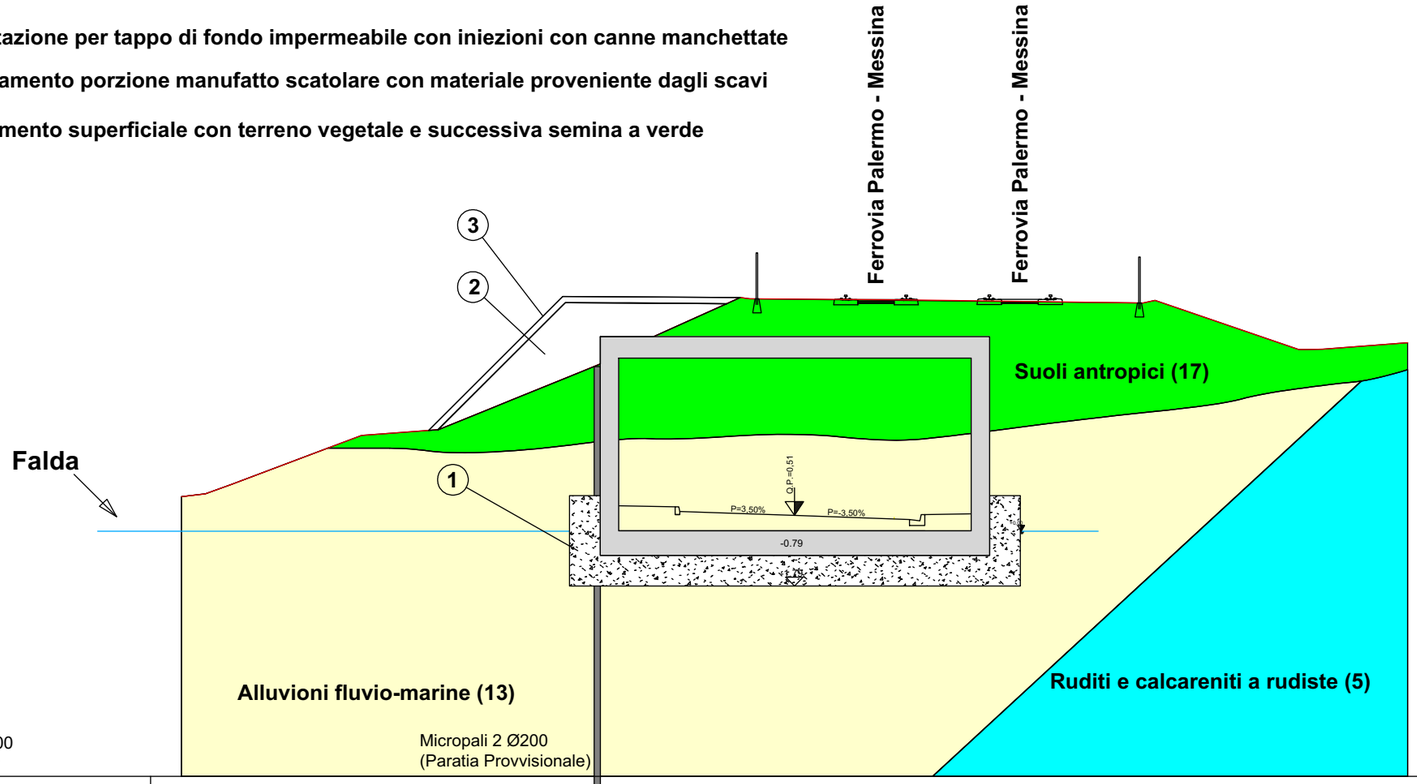
3 Ricoprimento superficiale con terreno vegetale e successiva semina a verde



QT.RIF. -8.000

| | | |

1. Cementazione per tappo di fondo impermeabile con iniezioni con canne manchettate
2. Ritombamento porzione manufatto scatolare con materiale proveniente dagli scavi
3. Ricoprimento superficiale con terreno vegetale e successiva semina a verde



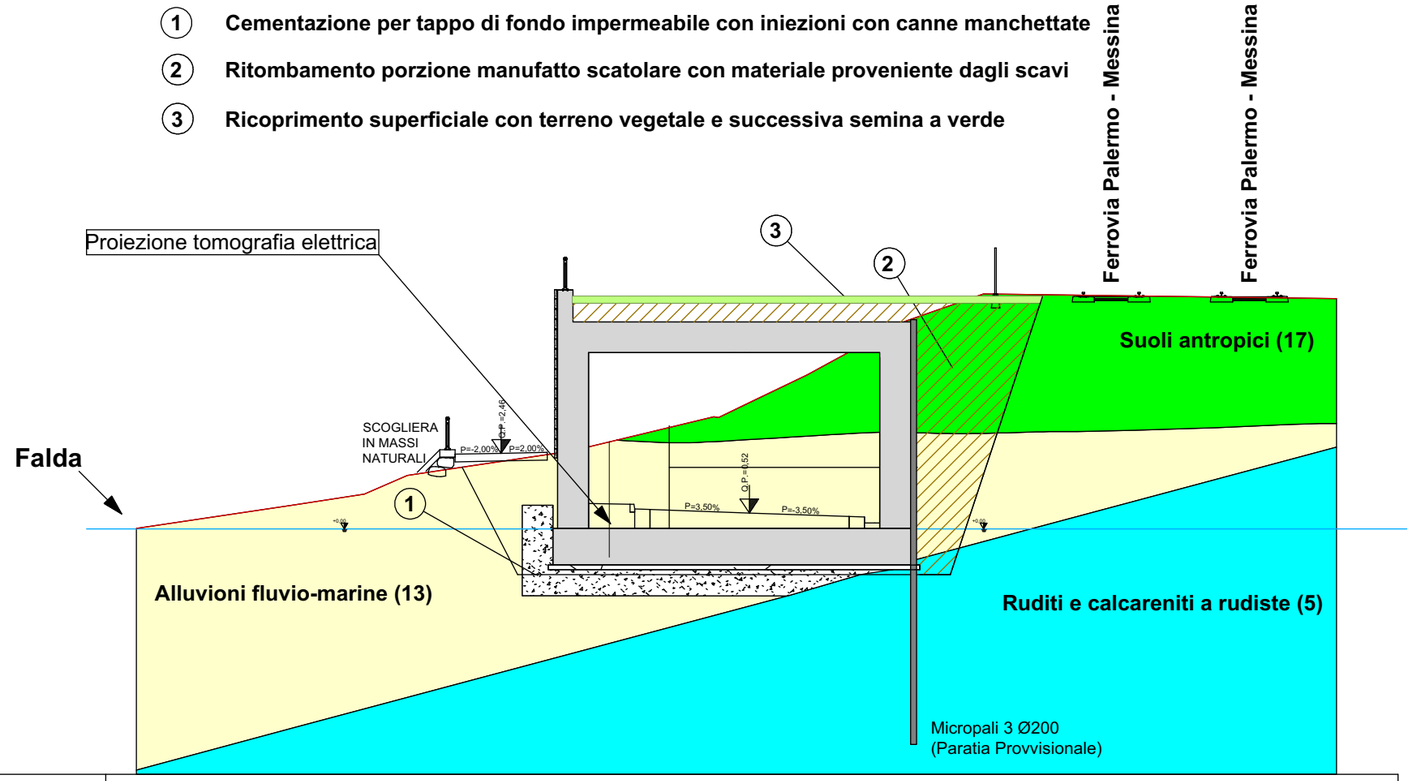
QT.RIF. -8.000

QUOTE TERRENO	1.12	1.22	1.52		3.12	3.30		5.49	6.14		7.61	7.63	7.56	7.54		7.43	7.32		5.92	5.93	6.14
DIST.PARZIALI TERRENO		0.79	0.84	4.25	2.51	5.38		1.18	3.29		1.45	3.60		7.78			0.60	4.08		0.54	2.77
QUOTE PROGETTO						3.28		7.65	0.82	0.54	0.62	0.01	7.65	0.51		0.39	0.38	0.01			
DIST.PARZIALI PROGETTO							4.38		2.20	1.46	0.50	1.48	1.76	3.25			0.50				

Sezione Geologica n° 85

Scala 1:200

1. Cementazione per tappo di fondo impermeabile con iniezioni con canne manchettate
2. Ritombamento porzione manufatto scatolare con materiale proveniente dagli scavi
3. Ricoprimento superficiale con terreno vegetale e successiva semina a verde



SCALA 1:200

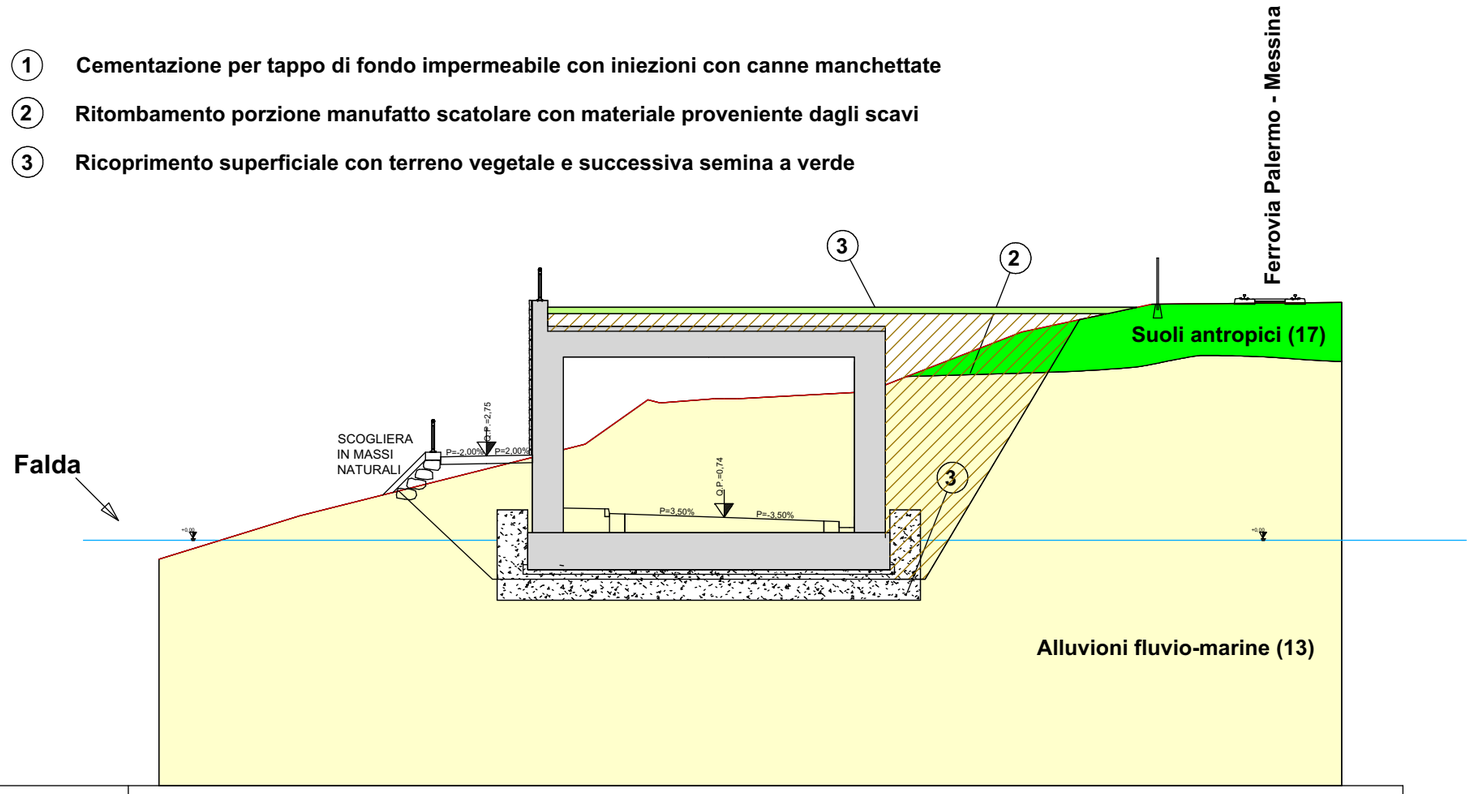
QT.RIF. -8.000

| | | |

1 **Cementazione per tappo di fondo impermeabile con iniezioni con canne manchettate**

2 **Ritombamento porzione manufatto scatolare con materiale proveniente dagli scavi**

3 **Ricoprimento superficiale con terreno vegetale e successiva semina a verde**



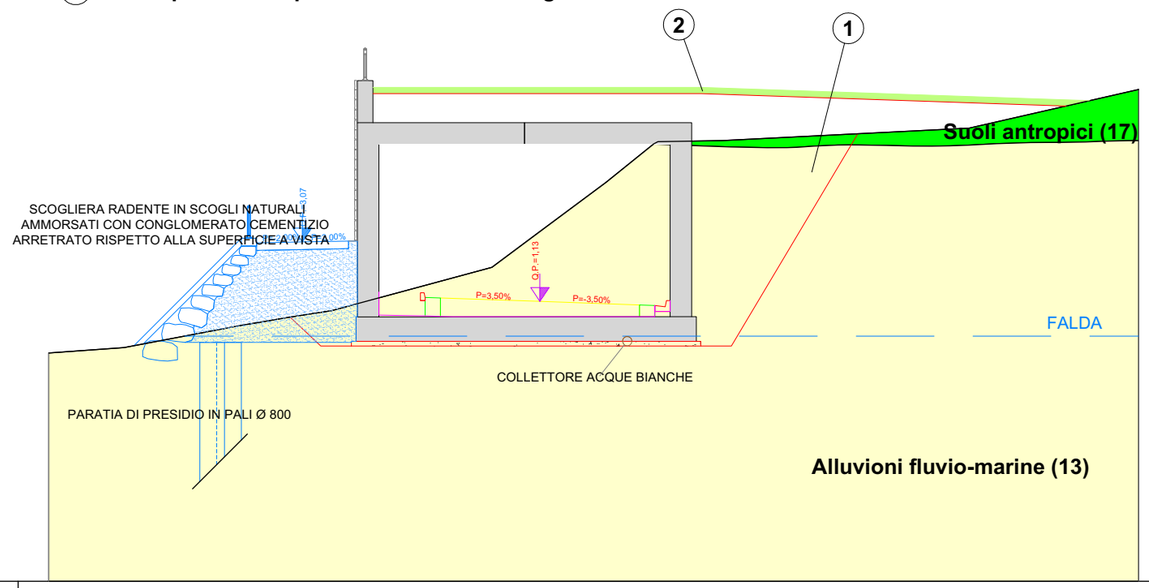
SCALA 1:200

QT.RIF. -8.000

| | | |

1 **Ritombamento porzione manufatto scatolare con materiale proveniente dagli scavi**

2 **Ricoprimento superficiale con terreno vegetale e successiva semina a verde**



SCALA 1:200

QT.RIF. -8.000

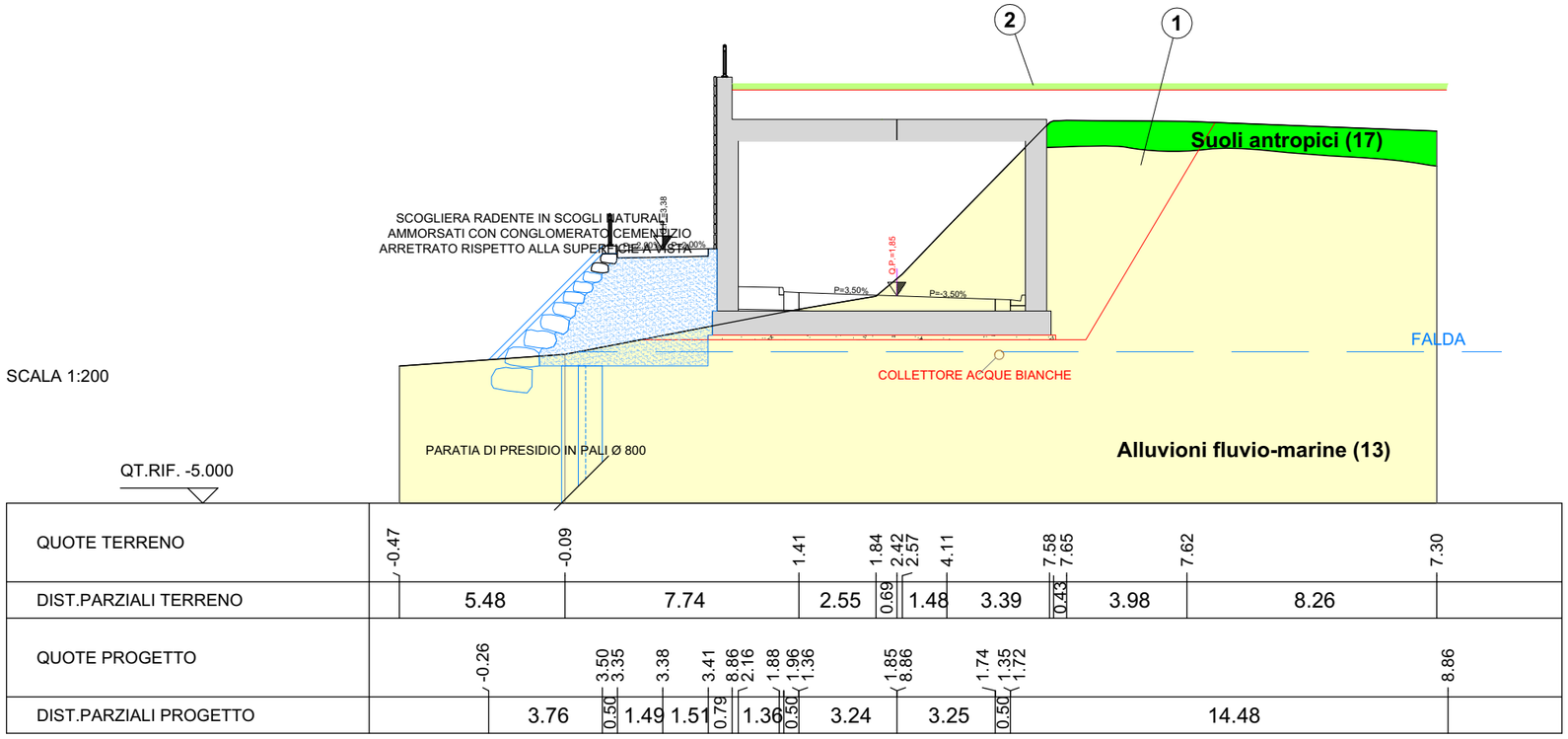
QUOTE TERRENO	-0.55	-0.38	0.34	0.62	0.82	2.24	3.41	5.01	6.26	6.34	6.37	6.37	6.78	8.04
DIST.PARZIALI TERRENO	2.46	3.76	1.64	1.36	5.24	1.56	2.15	1.56	1.67	0.42	8.06	5.53
QUOTE PROGETTO	-0.32	3.19	3.04	3.07	3.10	8.10	1.16	0.64	1.13	8.10	1.01	1.00	0.63	8.10	7.67
DIST.PARZIALI PROGETTO	3.51	0.50	1.49	1.50	0.80	1.55	0.50	3.25	3.25	0.50	1.51	12.67

Sezione Geologica n° 88

Scala 1:200

1 Ritombamento porzione manufatto scatolare con materiale proveniente dagli scavi

2 Ricoprimento superficiale con terreno vegetale e successiva semina a verde

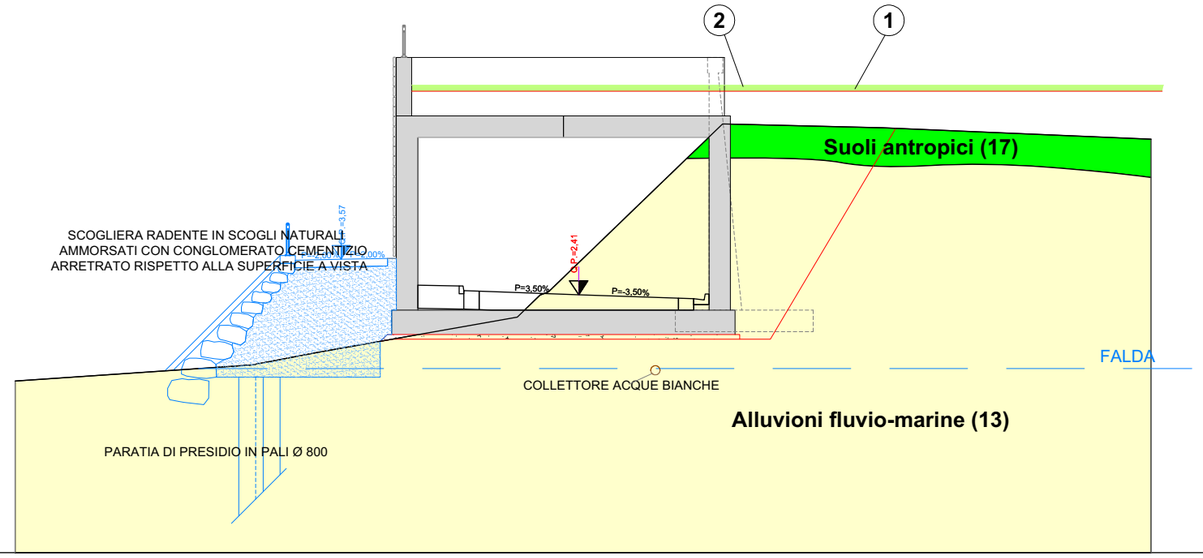


Sezione Geologica n° 89

Scala 1:200

1 **Ritombamento porzione manufatto scatolare con materiale proveniente dagli scavi**

2 **Ricoprimento superficiale con terreno vegetale e successiva semina a verde**



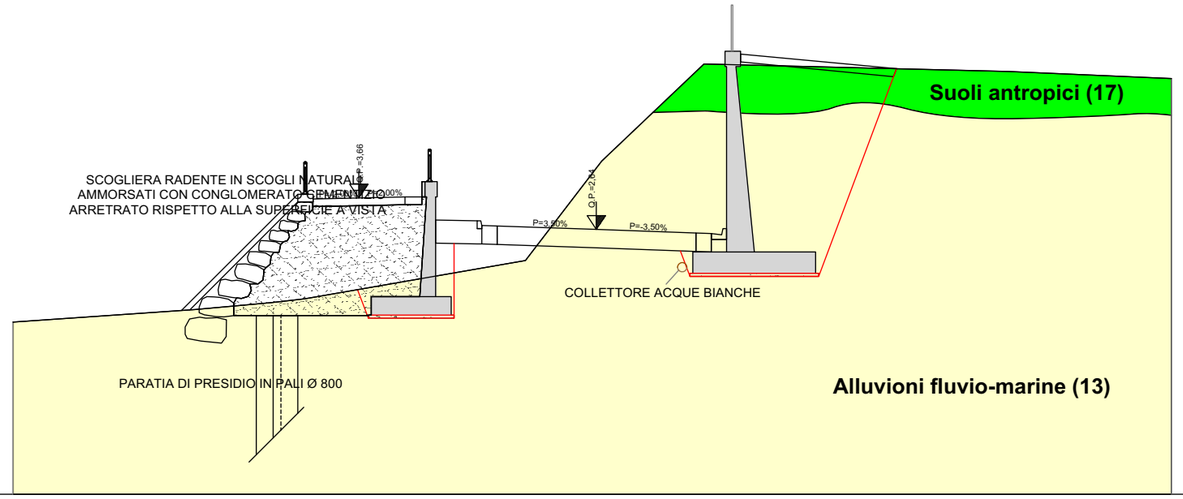
SCALA 1:200

QT.RIF. -6.000

QUOTE TERRENO	-0.41						0.12		0.53				1.68	2.40	2.50	3.46		7.98		7.85			7.48	
DIST.PARZIALI TERRENO		7.72					2.13		6.53				0.74		0.99		4.69		5.24		8.74			
QUOTE PROGETTO			-0.07		3.69 3.54	3.57		3.60	9.24 2.72		2.69 1.93			2.41 9.24		2.30 2.28 1.91				9.24			9.24	
DIST.PARZIALI PROGETTO				3.76	0.50	1.49	1.51	0.79		1.35	0.50	3.25			3.25	0.50		4.95			10.38			

Sezione Geologica n° 90

Scala 1:200



SCALA 1:200

QT.RIF. -6.000

| | | |

REGIONE SICILIANA
PROVINCIA DI PALERMO
COMUNE DI TERMINI IMERESE

OGGETTO: URBANIZZAZIONE DELLA FASCIA A MARE DEL CENTRO STORICO: PROGETTAZIONE DELLA STRADA DI COLLEGAMENTO PORTO - SS. 113

COMMITTENTE: Capogruppo Mandataria ATA ENGINEERING srl,
Via Maccani 195, 38100 TRENTO
P.IVA. 01307610228

Relazione geofisica

PROGEO
ROSPEZIONI GEOFISICHE

Palermo, 19 Maggio 2015

IL GEOLOGO

dott. Patrizia Capizzi
(sez. A 3053)

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DI SICILIA
Dott. Geol. CAPIZZI PATRIZIA n. 3053 Sez. A

1. PREMESSA

Con la presente relazione si descrivono i risultati ottenuti da un'indagine geofisica di superficie, eseguita tramite n.1 tomografia elettrica 2D, a sostegno del progetto esecutivo per la progettazione della strada di collegamento Porto - SS. 113 nel Comune di Termini Imerese (PA).

La tomografia elettrica ha consentito di valutare la distribuzione di resistività reale nel sottosuolo, al fine di definire l'andamento della successione stratigrafica dei terreni.

Alla presente si allegano:

- documentazione fotografica e ubicazione delle indagini (allegato 1.1);
- elaborati grafici dei sondaggi eseguiti (allegato 2.1-2.2).

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DI SICILIA
Dott. Geol. CAPIZZI PATRIZIA n. 3053 Sez. A

2.1 IL METODO GEOELETTRICO

Il metodo geoelettrico si basa sul principio che la distribuzione di un campo di potenziale elettrico sulla superficie del terreno dipende, oltre che dalle caratteristiche geometriche della sorgente, anche dalla distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo. Se si considera una corrente immessa *I* nel sottosuolo da due elettrodi, A e B, posti sulla superficie del terreno, e due elettrodi, M ed N, tra i quali misurare una differenza di potenziale ΔV, è possibile definire un volume indagato come quel volume all'esterno del quale, ogni variazione di resistività del mezzo, produce variazioni trascurabili del valore di ΔV misurato fra M e N. Spostando i quattro elettrodi sulla superficie del terreno, mantenendo inalterate le loro posizioni relative, è possibile attribuire le variazioni della differenza di potenziale misurata a variazioni della distribuzione della resistività elettrica all'interno del volume indagato dalla corrente. La forma e l'ampiezza del volume indagato dipendono anche dalla distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo. Per eseguire misure di potenziale è necessario disporre sulla superficie del terreno un minimo di quattro elettrodi, due di corrente e due di potenziale. In teoria, è possibile effettuare misure di resistività apparente disponendo i quattro elettrodi sul terreno senza una configurazione geometrica regolare. Nella pratica, tuttavia, le configurazioni non regolari si rivelano poco utili ai fini dell'interpretazione dei dati, in quanto diventa complicato calcolare la profondità di penetrazione della corrente, la profondità d'indagine e il coefficiente geometrico *k* necessario per calcolare il parametro resistività apparente:

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} k \quad (\Omega \cdot m).$$

In figura 1 è mostrato schematicamente lo stendimento *Wenner*, e il suo coefficiente geometrico. Per lo stendimento Wenner sono usati quattro elettrodi allineati ed equispaziati. Nella configurazione α (la più usata) gli elettrodi di corrente sono esterni e gli elettrodi di potenziale interni. Un set di dati può essere formato da misure effettuate con configurazioni elettrodiche differenti e secondo differenti direzioni degli stendimento. Tuttavia, in pratica, esistono precise regole con le quali effettuare sondaggi di resistività apparente, interpretabili correttamente con modellistiche mono, bi e tridimensionali.

Nel caso in esame si è scelto di utilizzare una configurazione elettrodica denominata *multigradient.*

Lo stendimento elettrodico *multigradient* viene effettuato iniettando corrente con una separazione *(s + 2)*a* e contemporaneamente o sequenzialmente registrando tutte le differenze di potenziale tra gli elettrodi di potenziali con spaziatura *a*. Il fattore di separazione *s*, un

numero intero, è il numero massimo di letture di potenziale per ogni iniezione di corrente. Il fattore *n* può essere definito come la spaziatura relativa tra il dipolo potenziale e l'elettrodo di corrente più vicino. Inoltre, può essere pratico definire la distanza *m* come la distanza tra il punto medio del dipolo di potenziale e quello del dipolo di corrente (Figura 1).

Generalmente, maggiore è la separazione relativa tra gli elettrodi di corrente e di potenziale, maggiore è la profondità di penetrazione della configurazione. In pratica, la scelta della spaziatura *a* e del fattore di separazione *s* è un compromesso tra sensibilità al rumore, dettaglio orizzontale e profondità di penetrazione. In una indagine con stentimento *Gradient* tradizionale le misure vengono effettuate con gli elettrodi di corrente in una postazione fissa soltanto. In un'indagine *multigradient*, vengono utilizzati un gran numero di combinazioni di elettrodi di corrente, acquisendo le misure con differenti spaziature *a* e fattori di separazione *s*.

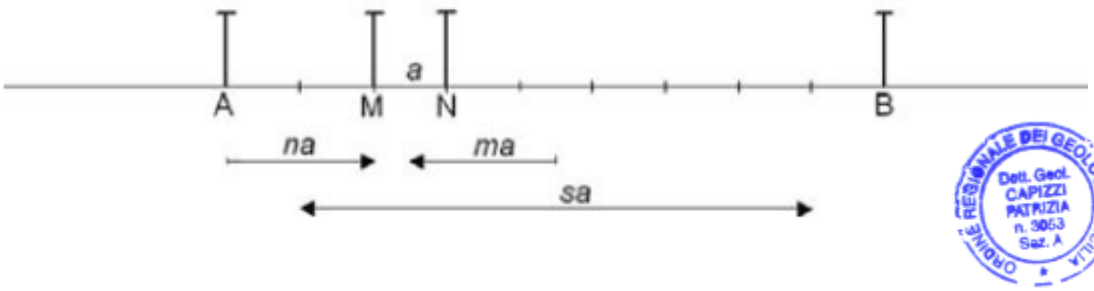


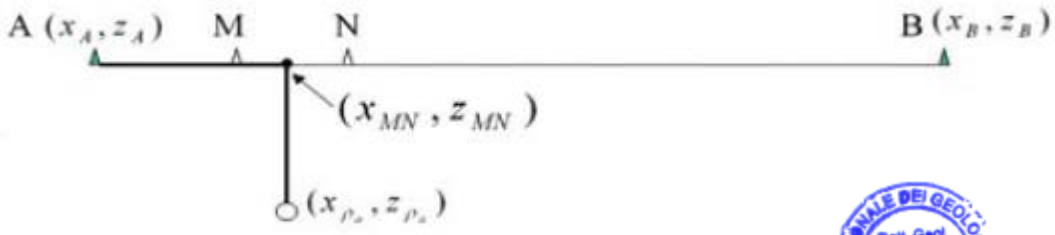
Figura 1 – *Configurazione dello stendimento multi gradient:* A e B, elettrodi di corrente; M ed N elettrodi di potenziale.

Le indagini geoelettriche che restituiscono un'immagine 2D del sottosuolo permettono di studiare le variazioni di resistività nella direzione verticale e nella direzione orizzontale lungo la linea di acquisizione. Si assume che la resistività nella direzione perpendicolare alla linea di acquisizione non cambia. In molti casi, particolarmente per indagini di corpi geologici allungati, è un'assunzione accettabile. I sondaggi di tomografia elettrica 2D vengono di solito effettuati usando un numero elevato di elettrodi, collegati ad un cavo multipolare.

Per rappresentare graficamente i dati ottenuti attraverso un'indagine geoelettrica 2D, il metodo che viene spesso usato è quello della costruzione grafica della "pseudosezione". La costruzione di pseudosezioni, è stata proposta per la prima volta da *Hallof* (1957), con l'utilizzo della configurazione lineare dipolo-dipolo per l'acquisizione delle misure di resistività apparente. L'ordine dipolare *n* viene progressivamente, ottenendo valori di resistività apparenti, relativi a volumi maggiori e sempre più estesi in profondità. I dati vengono poi rappresentati graficamente sulla sezione verticale passante per il profilo di acquisizione. Tale metodo grafico

consiste esattamente nell'attribuire la misura di resistività apparente ad un punto della sezione, al di sotto del centro dello stendimento, proprio all'intersezione di due rette che si dipartono, con un'inclinazione di 45°, dai centri dei due dipoli (nel caso di una configurazione dipolo-dipolo). Sebbene le pseudosezioni più comuni siano quelle rappresentate a partire da misure di tipo doppio dipolo, tuttavia è possibile ricavare pseudosezioni anche da dati presi con altri tipi di configurazioni elettrodiche (Wenner, polo-dipolo, polo-polo, ecc.). In particolare per la configurazione multigradient la pseudosezione viene costruita ponendo verticalmente al centro del dipolo di potenziale il punto di misura in corrispondenza alla profondità d'indagine media, o pseudo profondità, così come mostrato in figura 2.

La pseudosezione, ottenuta effettuando il *contouring* dei valori di resistività apparente è un metodo conveniente e pratico per raffigurare le misure. Tuttavia, la pseudosezione fornisce una visualizzazione molto approssimativa e talvolta distorta della reale distribuzione della resistività nel sottosuolo, a causa del fatto che la forma delle isoresistive dipende fortemente, oltre che dalla reale distribuzione della resistività, anche dal tipo di stendimento utilizzato.



$$x_{\rho_a} = x_{MN},$$

$$z_{\rho_a} = \min\{(x_{MN} - x_A), (x_B - x_{MN})\}/3,$$

Figura 2 – *Costruzione di una pseudosezione con la configurazione multigradient.*

Da alcuni anni sono state messe a punto tecniche di inversione e di *imaging*, grazie alle quali si ricavano sezioni di resistività tendenzialmente indipendenti dalle caratteristiche geometriche del sistema d'acquisizione utilizzato. Tra queste tecniche ricadono i metodi che si basano sulla discretizzazione del mezzo, secondo superfici elementari, e nella successiva ottimizzazione del modello di resistività iniziale. Il metodo di ottimizzazione ai minimi quadrati di Gauss-Newton è uno di questi.

Nell'inversione geofisica, si cerca di trovare un modello che dia una risposta compatibile con i dati sperimentali. Il modello è una rappresentazione matematica idealizzata di una sezione del terreno, formata da un insieme di parametri che quantificano le proprietà fisiche che si vogliono stimare a partire dai dati osservati. La risposta del modello è data dai dati sintetici che possono essere calcolati per mezzo delle relazioni matematiche che definiscono il modello, per un determinato insieme di parametri del modello. Tutti i metodi d'inversione, essenzialmente, cercano di determinare un modello del sottosuolo la cui risposta sia compatibile con i valori misurati. Nei metodi d'inversione geoelettrica basati sulla suddivisione del sottosuolo in pixel o voxel omogenei come valore di resistività, i parametri da determinare sono i valori di resistività delle celle, mentre i dati sono i valori di resistività apparente misurati.

2.2 ACQUISIZIONE, ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA 2D

Il sondaggio geoelettrico 2D è stato acquisito utilizzando il georesistivimetro X612-EM della MAE srl. La strumentazione integra al suo interno tutto il necessario per effettuare prospezione geoelettrica SEV e multielettrodo con 48 elettrodi. Caratteristica principale di questa strumentazione è l' altissima velocità di esecuzione dei sondaggi, sia 2D che 3D, resa possibile dall'adozione di una nuova ed innovativa piattafroma di acquisizone dati che rende possibile l'acquisizione dati simultanea sulla quasi totalità dei canali che equipaggiano la strumentazione. La strumentazione utilizzata consente inoltre di visualizzare una anteprima della pseudosezione derivata dal treno di dati appena acquisiti direttamente in campagna. L'utilizzo di questa funzione consente all'operatore la verifica immediata dei dati registrati.

Lo strumento è costituito da un sistema in grado di generare autonomamente l'onda di energizzazione (onda quadra), immessa nel terreno attraverso gli elettrodi di corrente, e contemporaneamente di acquisire dati dagli elettrodi di misura. L'acquisizione di tensione e di corrente viene fatta in modo contemporaneo con più letture (fino a dieci, successivamente mediate), seguendo i parametri preimpostati. Al termine di ogni ciclo viene sottratto dinamicamente il potenziale spontaneo.

Una routine per la modellazione diretta è stata utilizzata per calcolare valori di resistività apparente sintetici, attraverso il metodo degli elementi finiti. Un algoritmo basato sulla tecnica di ottimizzazione ai minimi quadrati non-lineare è stato invece utilizzato per l'inversione dei dati sperimentali. Il programma suddivide il sottosuolo in un certo numero di blocchi rettangolari che serviranno per definire una pseudosezione di resistività apparente (attraverso la modellazione

diretta) caratterizzata dalla migliore compatibilità con i valori di resistività apparente misurati. Il metodo prevede la minimizzazione delle differenze tra i valori di resistività apparente misurati e quelli calcolati, modificando la resistività attribuita ad ogni blocco rettangolare. Ognuna di queste variazioni è detta iterazione.

Tomografia elettrica ERT1

La tomografia elettrica ERT1 è stata eseguita utilizzando 48 elettrodi con spaziatura di 2 metri, per una lunghezza totale di 94 metri. L'acquisizione dei dati è stata eseguita nei giorni successivi a piogge intense. Il numero di livelli indagato ha permesso di raggiungere una profondità d'indagine di circa 17 metri. Per l'elaborazione dei dati è stata ritenuta necessaria una correzione topografica. I risultati dell'inversione dei dati sono mostrati nell'allegato 2.1.

I dati sperimentali sono stati elaborati eseguendo 8 iterazioni. Il modello di resistività ottenuto mostra una differenza in percentuale tra i valori di resistività apparente misurati e quelli calcolati di 8.5%.

Il modello mostra bassi valori di resistività (inferiori a 50), interpretabili con la presenza di sabbie siltose e ghiaie, insieme a terreni di copertura di varia natura, con presenza di acqua a seguito delle intense piogge che hanno preceduto la fase di acquisizione dei dati. Questi poggiano lateralmente su terreni caratterizzati da alti valori di resistività (oltre i 100 Ω·m), interpretabili con la presenza di rocce calcaree derivanti dalla deformazione del dominio Imerese. Questi si presentano con una inclinazione di circa 30° nella parte iniziale del profilo. Valori di resistività alti, dovuti alla presenza di gabbioni per protezioni spondali, sono evidenti nella parte finale del profilo, in superficie. Una possibile interpretazione dei rapporti stratigrafici tra le sabbie e le rocce calcaree è riportata nell'allegato 2.2.

È bene infine precisare che, a causa della variazione di parametri fisico - elettrici (porosità, contenuto d'acqua, grado di fatturazione, presenza di materiali polarizzabili ecc.), non sempre gli spessori elettrostratigrafici coincidono con gli spessori litologici.

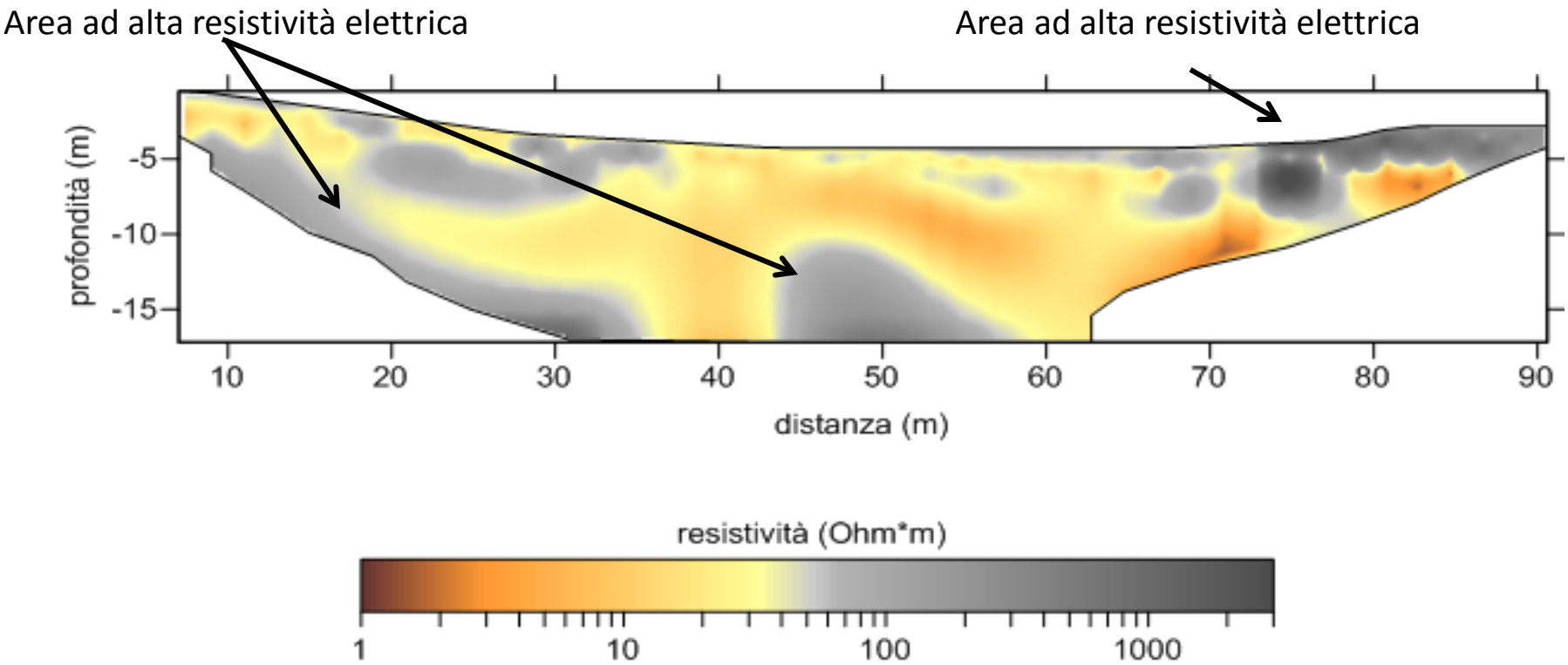
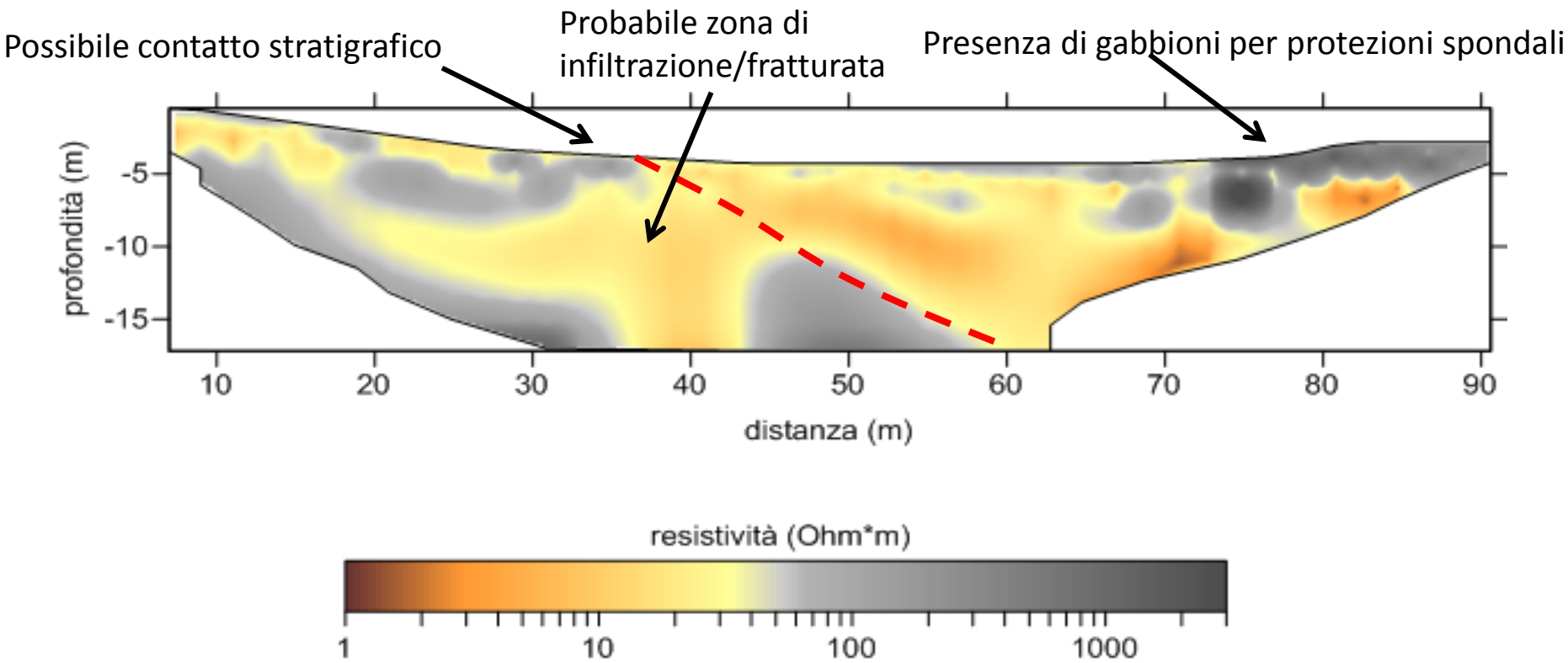
Palermo, 19.05.2015

Il Geologo

dott. Patrizia Capizzi
(sez. A 3053)

Allegato 1.1 – Documentazione fotografica
e ubicazione della tomografia

ERT1
48 canali
Interdistanza elettrodi 2 metri
Lunghezza stendimento 94 metri
Misfit 8.5%



ERT1
48 canali
Interdistanza elettrodi 2 metri
Lunghezza stendimento 94 metri
Misfit 8.5%