Studio Associato INGEOPROJECT
C.so G. Matteotti, 12 – 10121 Torino
Tel./fax 0115113490
e-mail: info@ingeoproject.it
www.ingeoproject.it

Regione Piemonte
Provincia di Asti

Comune di **Tigliole**

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del Mare
Provvedimento e Decreto Direttoriale n. 502 del 22/11/2017
Decreto 1-FP del 28 febbraio 2018

Codice ReNDiS: **01IR904/G1**

CONSOLIDAMENTO ABITATO E SISTEMAZIONE VERSANTE SOTTOSTANTE VIA CERNAIA

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Ai sensi del Decreto Legislativo 18 aprile 2016, n. 50 e s.m.i.

Allegato 03 - Relazione Geologico - Geotecnica

Settembre 2019

INGEOPROJECT Studio Associato - Ing. Giorgio Scioldo – Ing. Roberto Sperandio
C.so G. Matteotti, 12 – Torino – tel./fax 0115113490
Partita IVA / Cod. Fiscale: 09542980017

DOTT. GEOL. MASSIMO CASTELLARO
Geologia Applicata – Geotecnica – Idrogeologia – Rilevamento geologico e geomorfologico
Cartografia tematica – Geologia strutturale – Fotogeologia – ***Indagini geognostiche***

REGIONE PIEMONTE **PROVINCIA DI ASTI**

COMUNE DI TIGLIOLE

Linee guida per l'individuazione dei criteri e delle modalità per stabilire le priorità di attribuzione delle risorse agli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico.
Deliberazione della Giunta Regionale del 29 dicembre 2015, n. 79-2777
DPCM 28 maggio 2015, disposizioni organizzative e funzionali agli uffici regionali competenti in tema di difesa dell'assetto idrogeologico e difesa del suolo.
Modalità di gestione delle richieste di finanziamento ordinari.
Determinazione Settore Difesa del Suolo n. 767 del 5 aprile 2016 - DPCM 28 maggio 2015
Deliberazione della Giunta Regionale 29 dicembre 2015, n. 79-2777
Specificazioni relative ai contenuti tecnici dei progetti al fine del loro inserimento nella piattaforma Rendis-web. Definizione della documentazione progettuale minima (Annesso 1); Sintesi dei dati progettuali richiesti (Annesso 2).

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
ai sensi del D.Lgs. 50/2016 del 18 Aprile 2016

LAVORI DI CONSOLIDAMENTO DELL'ABITATO E SISTEMAZIONE IDROGEOLOGICA DEL VERSANTE SOTTOSTANTE VIA CERNAIA

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

ai sensi dei:
D.M. 11/03/88 N. 47 E S.M.I.
D.M. 14/01/2008 E S.M.I. "N.T.C." E SUCC. CIRC. ESPL. 02/02/2009 N. 617

Asti, 19 giugno 2017

Il geologo responsabile

Dott. Geol. Massimo Castellaro
Iscrizione Albo dei Geologi Professionisti del Piemonte Sez. A n° 573
Via E. Giovanelli, 28 – 14100 ASTI
Tel. e fax: 0141 351106 – Cell. 393 9558998
email: massimo.castellaro@geologipiemonte.it

1. PREMESSA E LOCALIZZAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO

La presente Relazione Geologica e Geotecnica viene redatta in ottemperanza del D.Lgs. 50/2016. Risulta per tanto parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica relativo ai **"lavori di consolidamento dell'abitato e sistemazione idrogeologica del versante sottostante Via Cernaia"** presso il concentrico del Comune di Tigliole (AT)**.**

La presente relazione si riferisce alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche nell'ambito dei lavori di lavori di consolidamento dell'abitato e sistemazione idrogeologica del versante sottostante via Cernaia.

Verranno per tanto delineate, per tanto, le principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche del sito.

Per quanto concerne gli aspetti di tipo geologico – geotecnici, la presente relazione viene redatta ai sensi dei:

- ***L.R. 45/89*** **"interventi in aree sottoposte a vincolo per scopi idrogeologici"**
- ***D.M. LL. PP. 11/03/1988 n. 47*** recante *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"* e relative *Istruzioni applicative con Circ. LL.PP. 24/09/1988 n° 30483*;
- ***Piano Regolatore Generale*** *– Aggiornato alla Variante Generale di Verifica di compatibilità idraulica ed idrogeologica delle previsioni dello strumento urbanistico vigente con le condizioni di dissesto redatta ai sensi dell'art. 18 N.d.A. del P.A.I. ed in conformità con le indicazioni*

della Circolare P.G.R. 8 maggio 1996 n°7/LAP e successiva N.T.E./99 e D.G.R. 45-6656 del 15/07/2002;

- ***O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003*** e succ. modifiche 2005, contenente *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica"*;
- ***Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale*** *approvato dal Consiglio Regionale con D.C.R. n. 384-28589 del 05/10/2004;*
- ***D.M. 14/01/2008*** – Norme Tecniche per le Costruzioni e succ. Circ. Espl. 02/02/2009 n. 617.

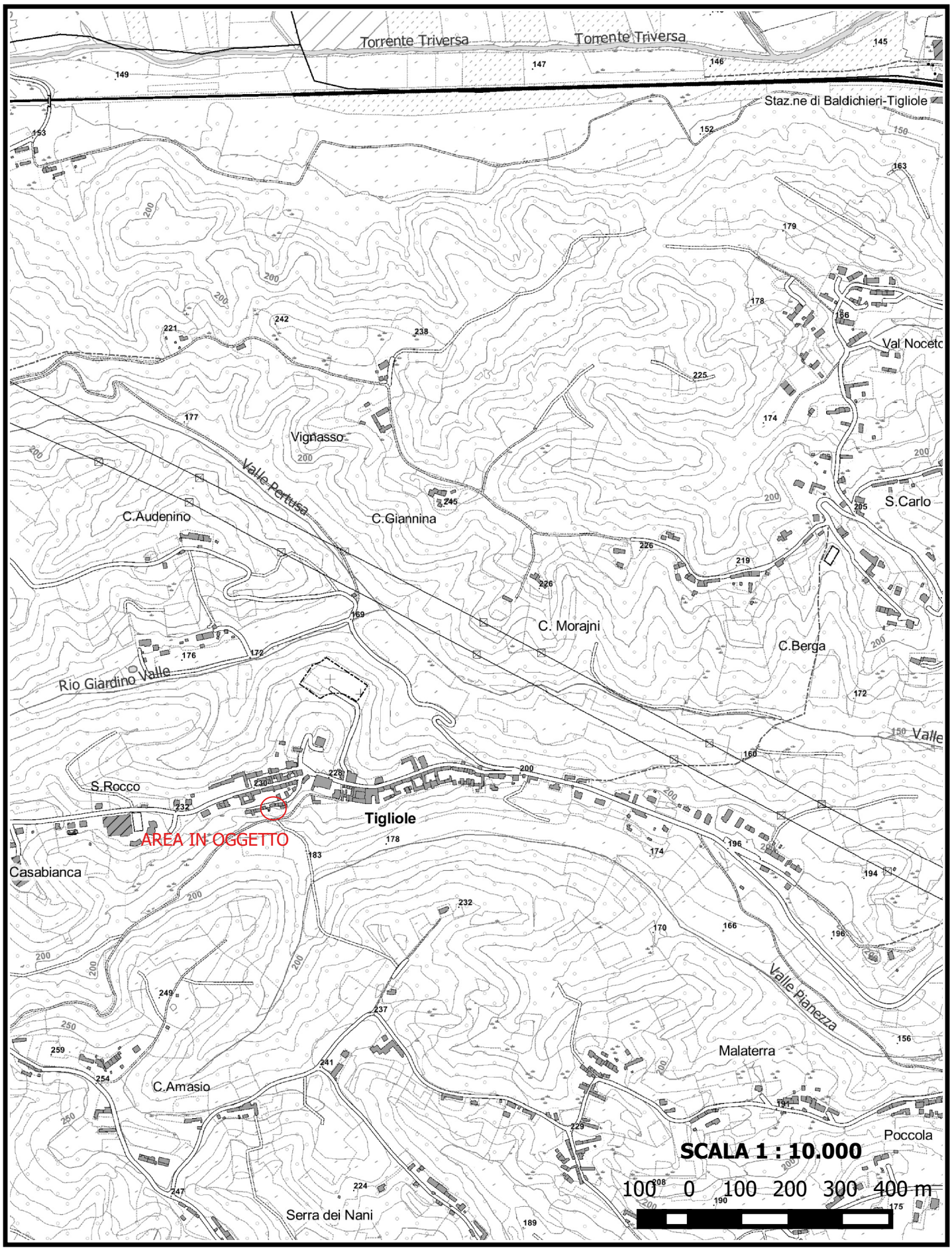
Lo studio di seguito riportato consiste in un prima parte di inquadramenti geologico – geomorfologici dell'area vasta, seguita da una caratterizzazione idrogeologica ed in una parte di aspetti geotecnici, in cui sono esposti i risultati delle indagini geognostiche svolte in *situ*.

Il sito d'indagine è localizzato presso il concentrico comunale di Tigliole, ad una **quota di circa 220 m s.l.m.** ed è ubicato sulla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, aggiornata alla **BDTRE** (vedi **Fig. 1).**

Il presente studio si è basato in particolare:

- sui dati rilevati durante vari sopralluoghi eseguiti sull'area d'intervento e su un suo intorno significativo;
- sulla consultazione di cartografie geologiche e geomorfologiche specifiche riguardanti l'area in esame, nonché sugli elaborati geologici allegati al P.R.G.C. in scala 1:10.000;
- su pubblicazioni scientifiche e dati bibliografici;
- su un'indagine geognostica *in situ* **consistita in n°1 Prova Penetrometrica Dinamica (S.C.P.T.).**

Fig. 1 - Corografia su base BDTRE Piemonte



2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

2.1. Assetto geologico

Dal punto di vista geo-litologico locale, anche sulla base delle indicazioni riportate sul Foglio 69 "ASTI" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 (seconda edizione, 1970), il lotto in esame ricade entro l'area di affioramento dei depositi "villafranchiani" corrispondenti ad alternanze sabbiose ed argillose; sono siglate "I^1" sulla C.G.I (vedi stralcio di Fig. 2).

Il territorio comunale di Cantarana ricade all'interno del *settore meridionale* dell'area tipo villafranchiana (da F. Carraro, 1994), compreso tra gli abitati di Dusino San Michele, la cava della fornace R.D.B. e Palazzo Gianotti a N, l'Altopiano di Poirino ad W, gli abitati di Villata, Ferrere, Ronco a S, loc. Serralunga, il corso del Rio Grande e loc. Aguggia ad E.

L'assetto geologico generale, ricostruito anche dalle numerose indagini svolte nel sottosuolo, è da ricondursi principalmente al Bacino Terziario Ligure-Piemontese; in particolare ci si viene a trovare al centro di una vasta depressione sinclinaloide con direzione assiale circa E-W.

Il Bacino terziario Ligure Piemontese strutturalmente si può considerare composto da tre grandi Unità:

- **l'Unità del Basso Monferrato** posta a Nord, costituita da terreni e rocce prevalentemente sedimentari, che formano i rilievi collinari che si estendono da Torino a Casale-Voghera (Collina Torino-Casale);
- **l'Unità della Sinclinale (o Bacino) di Asti**, posta al centro, costituita da una successione di terreni sedimentari marnosi e arenacei nelle formazioni più profonde; argillosi e sabbiosi nelle formazioni più superficiali (Argille Azzurre del Lugagnano e Sabbie di Asti e Villafranchiano);

- **l'Unità delle Langhe,** posta a Sud quindi al margine del Bacino Terziario stesso, costituita da successioni di alternanze di formazioni di materiali sedimentari marnosi e arenaceo-sabbiosi.

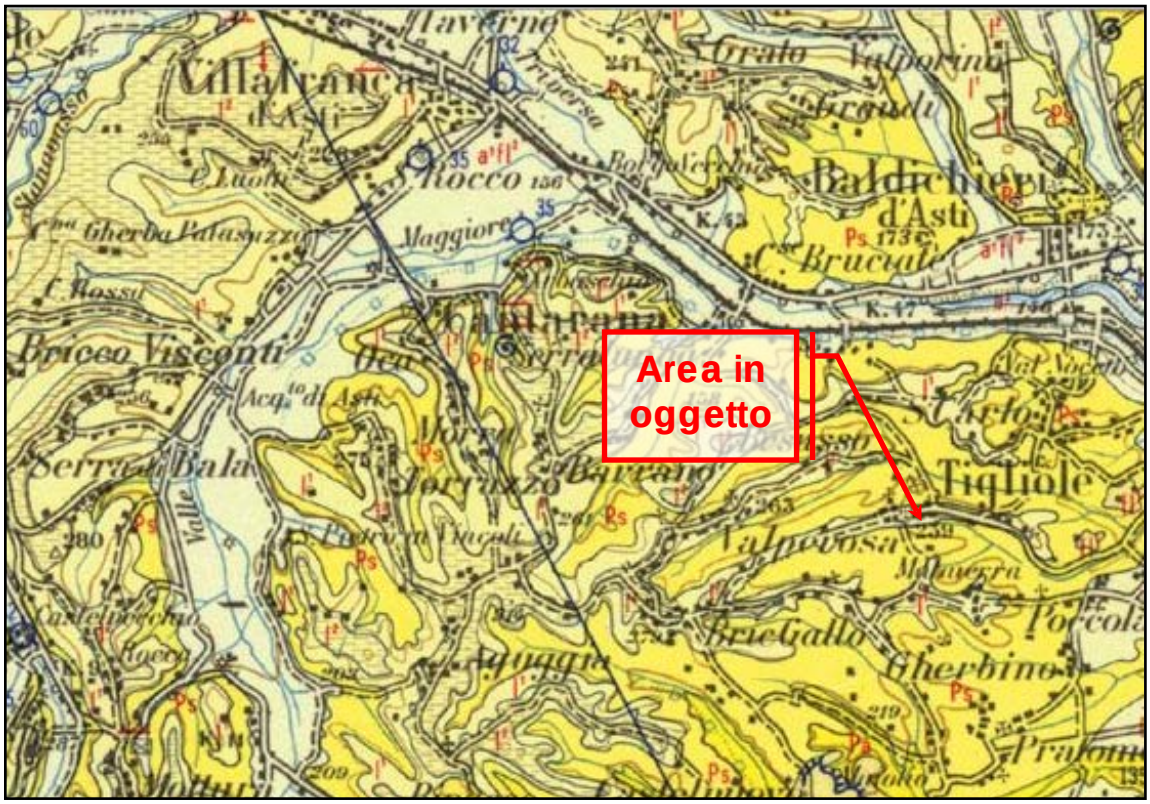


Fig. 2 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia Foglio 69 "Asti"

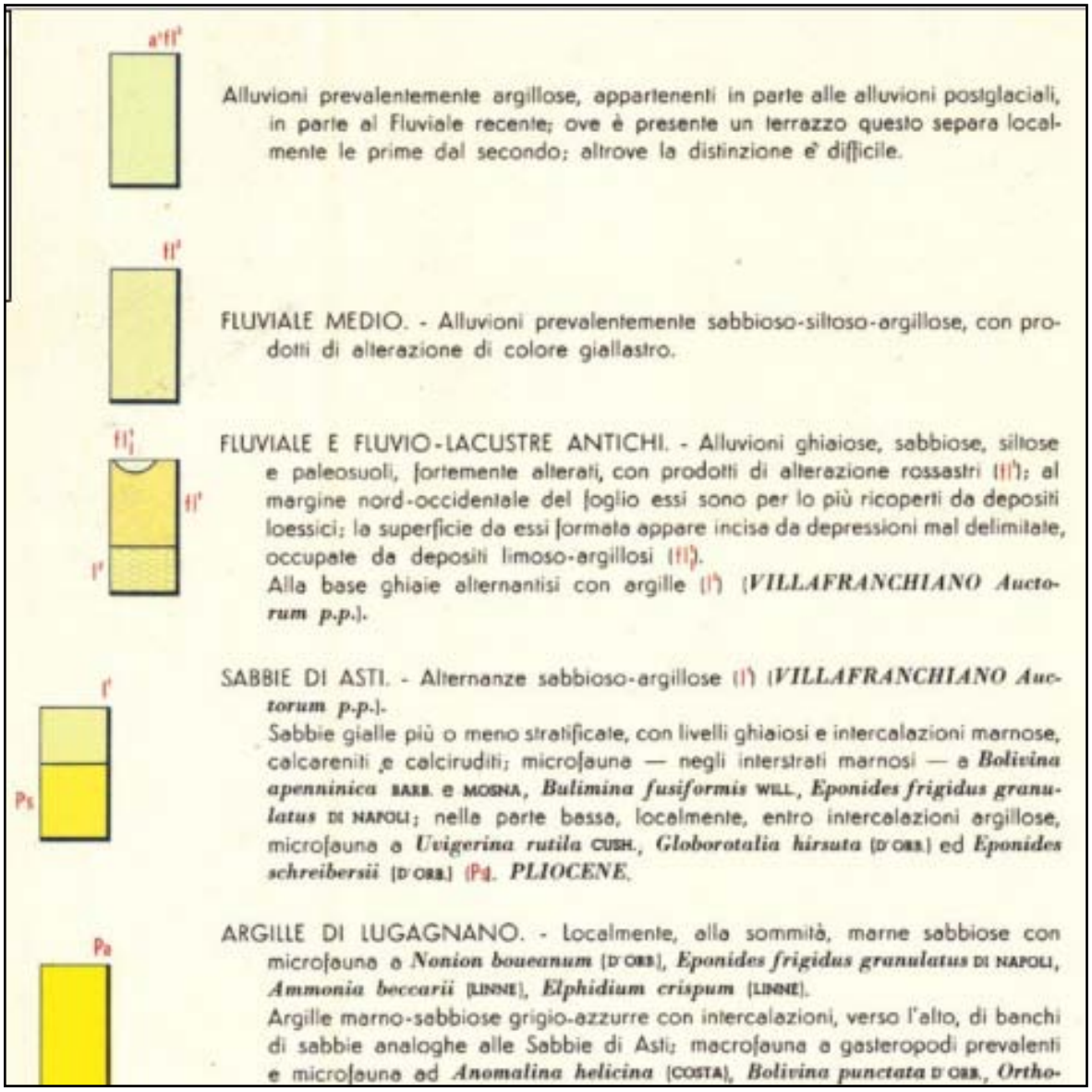


Fig. 2b – Legenda della Carta Geologica d'Italia Foglio 69 "Asti"

Dal punto di vista geologico locale, l'area in questione è caratterizzata da terreni sedimentari appartenenti a formazioni di età pliocenica e villafranchiana che costituiscono il fianco meridionale di una sinclinale con asse circa E-W e giaciture immergenti verso N-NW con inclinazioni di 10° - 15°.

Secondo quanto riportato dalla cartografia ufficiale, il settore in studio è caratterizzato dalla presenza, in sequenza dal basso verso l'alto, dei seguenti litotipi:

- ***Formazione della Sabbie di Asti (Pliocene medio-superiore)***: denominate *Ps* nella C.G.I "ASTI", affiorano in continuità stratigrafica sulle *Argille di Lugagnano;* si tratta di una formazione costituita prevalentemente da "*sabbie gialle più o meno stratificate con livelli ghiaiosi ed intercalazioni marnose, calcareniti e calciruditi (Pliocene)"*; questa formazione rappresenterebbe un deposito marino avvenuto a profondità limitate (10 – 40 m) e controllato dalla forte energia idrodinamica del moto ondoso e delle correnti di marea;
- ***Complesso Villafranchiano (Pliocene sup.-Pliocene inf.):*** denominato *l*[1] nella C.G.I "ASTI"; può essere distinto in due complessi: la cosiddetta Unità inferiore (Unità di Ferrere e Unità di San Martino) prevalentemente sabbioso-limosa con intercalazioni di argille varicolori di ambiente di transizione tra quello marino e quello continentale è separata, mediante un'estesa superficie di erosione, dall'Unità superiore (Unità di C.na Gherba e Unità di Maretto) costituita invece da alternanze di argille e ghiaie, indici di un ambiente deposizionale continentale fluvio-palustre;
  - **Unità di San Martino**: a questa unità appartengono i sedimenti caratterizzati da maggiore vastità dell'areale di distribuzione e dal maggiore spessore; in particolare sono conservati a costituire un corpo lenticolare con spessore variabile tra 65 e 40 m, interrotto verso N dalla struttura disgiuntiva indicata come "Zona di faglia di C.na Fagliaverde", a N della quale lo spessore è notevolmente ridotto (20-25 m). Analogamente all'Unità di Ferrere il corpo sedimentario di S. Martino ha inclinazione di circa 5° verso SW nell'areale di Cantarana; il contatto tra le due unità è di natura stratigrafica ed appare netto oppure graduale oppure con ripetute alternanze. Da

Forno (1994): "Alternanze di sedimenti siltosi e sabbiosi, di piana deltizia. Risultano ricchi di vertebrati continentali, molluschi continentali, frammenti di tronchi e di rami, impronte di foglie e di canne palustri, frustoli vegetali e radici (*Pliocene medio*).

- **Depositi alluvionali ed eluvio-colluviali (denominati *a¹fl³* nella C.G.I "ASTI"):** i primi sono rappresentati dalle alluvioni dei fondovalle principali (Valle Maggiore e Triversa) e sono costituiti da materiali prevalentemente sabbioso-limoso-argillosi (Olocene); i secondi invece rappresentano i depositi dei fondovalle dei rii minori e risultano parzialmente mascherati da una estesa coltre di copertura di origine eluvio-colluviale, tipicamente di natura limoso-sabbiosa e/o limoso-sabbiosa; la coltre superficiale presenta spessori variabili, che possono raggiungere valori di alcuni metri nelle zone a bassa acclività e di raccordo tra versante e pianura.

2.1.1 Rapporti con gli strumenti urbanistici comunali (P.R.G.C.)

Secondo quanto riporta la *"Carta di Sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica, alla scala 1:10.000"* allegata alla Variante Strutturale di Adeguamento al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del P.R.G.C., i terreni d'interesse ricadono in **Classe II (aree di collina e di versante)**.

È così definita:

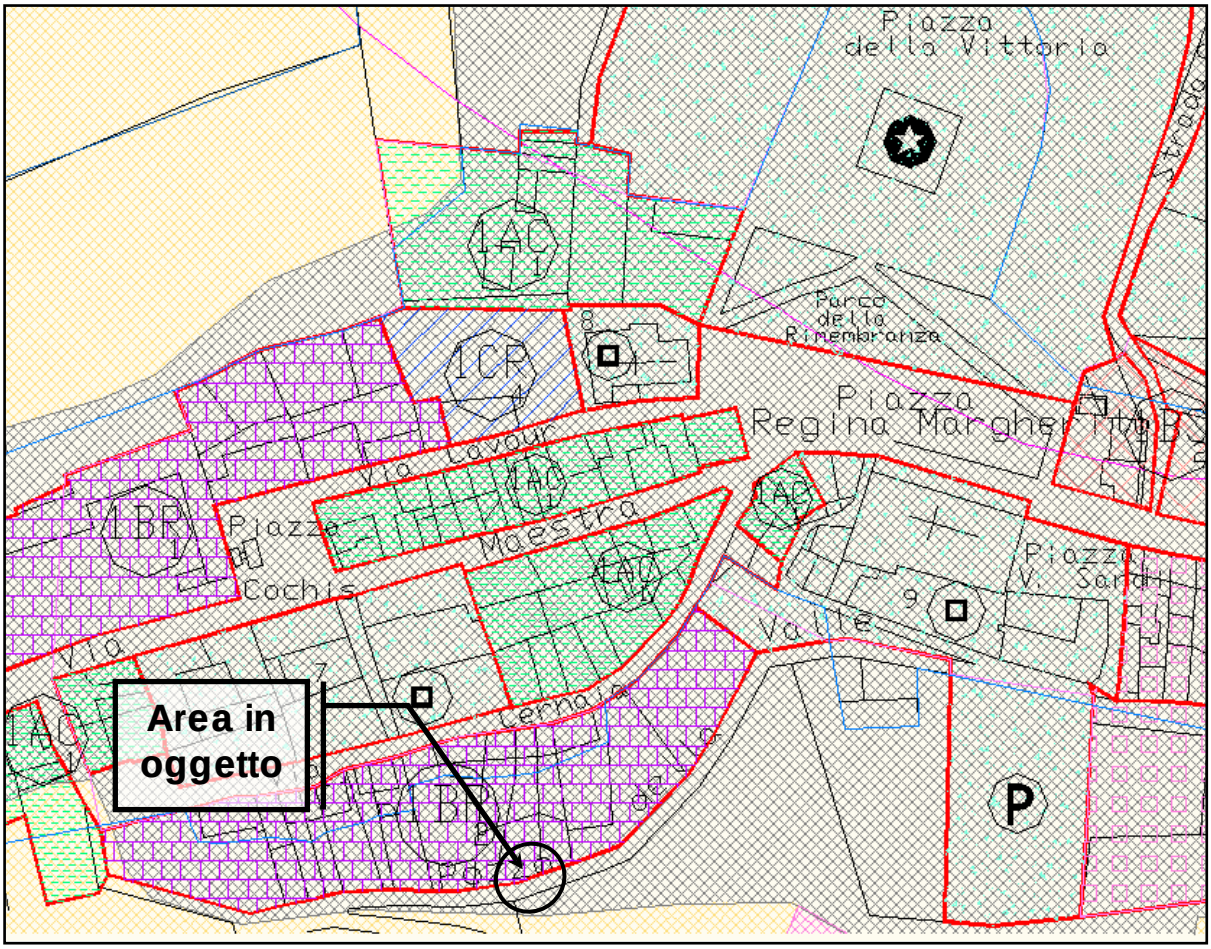
"In questa classe rientrano vaste porzioni di territorio comunale che non presentano fenomeni di dissesto in atto, ma nelle quali le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica (settori di versante ad acclività da moderata a medio-alta) richiedono in sede di progetto esecutivo indagini più approfondite estese ad un dintorno significativo, per verificare la compatibilità dell'intervento con l'assetto dei luoghi.

Per gli interventi in queste aree si raccomanda il pieno rispetto del D.M. 11/03/88; la ***relazione geotecnica*** *dovrà essere redatta ai sensi del D.M. 11/03/1988 punto B5. Il ricorso al punto A2 del D.M. 1/03/1988 cioè la caratterizzazione geotecnica dei terreni utilizzando esclusivamente materiale*

bibliografico, sarà consentito solo per gli interventi di modesta entità quali limitati ampliamenti funzionali, ristrutturazioni, recinzioni e opere di pertinenza varie (porticati, tettoie). In tutti gli altri casi, si prevede la stesura anche di ***relazione Geologica*** *contenete tra l'altro le risultanze dell'indagine geognostica finalizzata alla definizione dei parametri geotecnici e geomeccanici dei terreni superficiali e del substrato ed alla valutazione dei massimi carichi ammissibili in relazione ai cedimenti indotti (immediati e di consolidazione), un'analisi dettagliata dell'assetto geomorfologico locale e l'analisi di stabilità del versante e dell'interazione opera-versante secondo quanto indicato nel D.M. 11/03/88.*

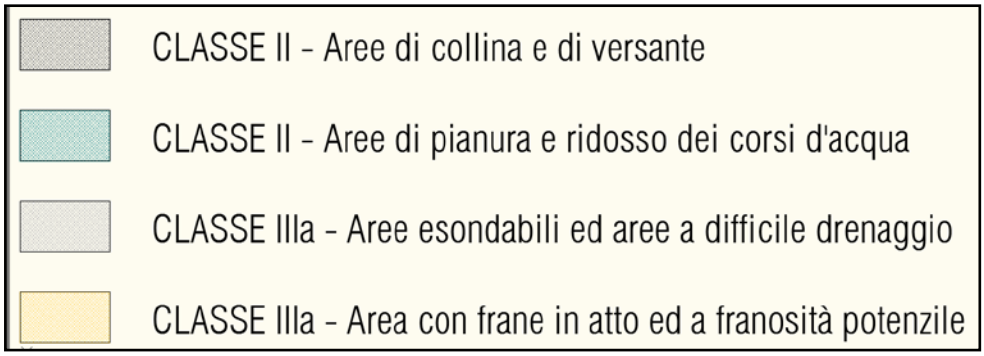
Per le porzioni di territorio comunale inserite in classe II in cui l'attuazione delle previsioni urbanistiche è subordinata alla formazione ed all'approvazione di strumenti urbanistici esecutivi si ritiene ammissibile ed auspicabile che la Relazione Geologica venga realizzata ed allegata agli elaborati progettuali degli strumenti urbanistici medesimi; in tale caso l'indagine geognostica finalizzata alla definizione dei parametri geotecnici e geomeccanici dei terreni superficiali e del substrato ed alla valutazione dei massimi carichi ammissibili in relazione ai cedimenti indotti (immediati e di consolidazione) potrà essere realizzata già in tale fase ovvero demandata alla fase di progettazione dei singoli interventi esecutivi e contenuta all'interno di apposita Relazione Geotecnica."

Non sussistono, dunque, in questo contesto, vincoli alla realizzazione del progetto stesso in quanto vengono soddisfatte tutte le condizioni previste dalle Norme Tecniche di Attuazione.



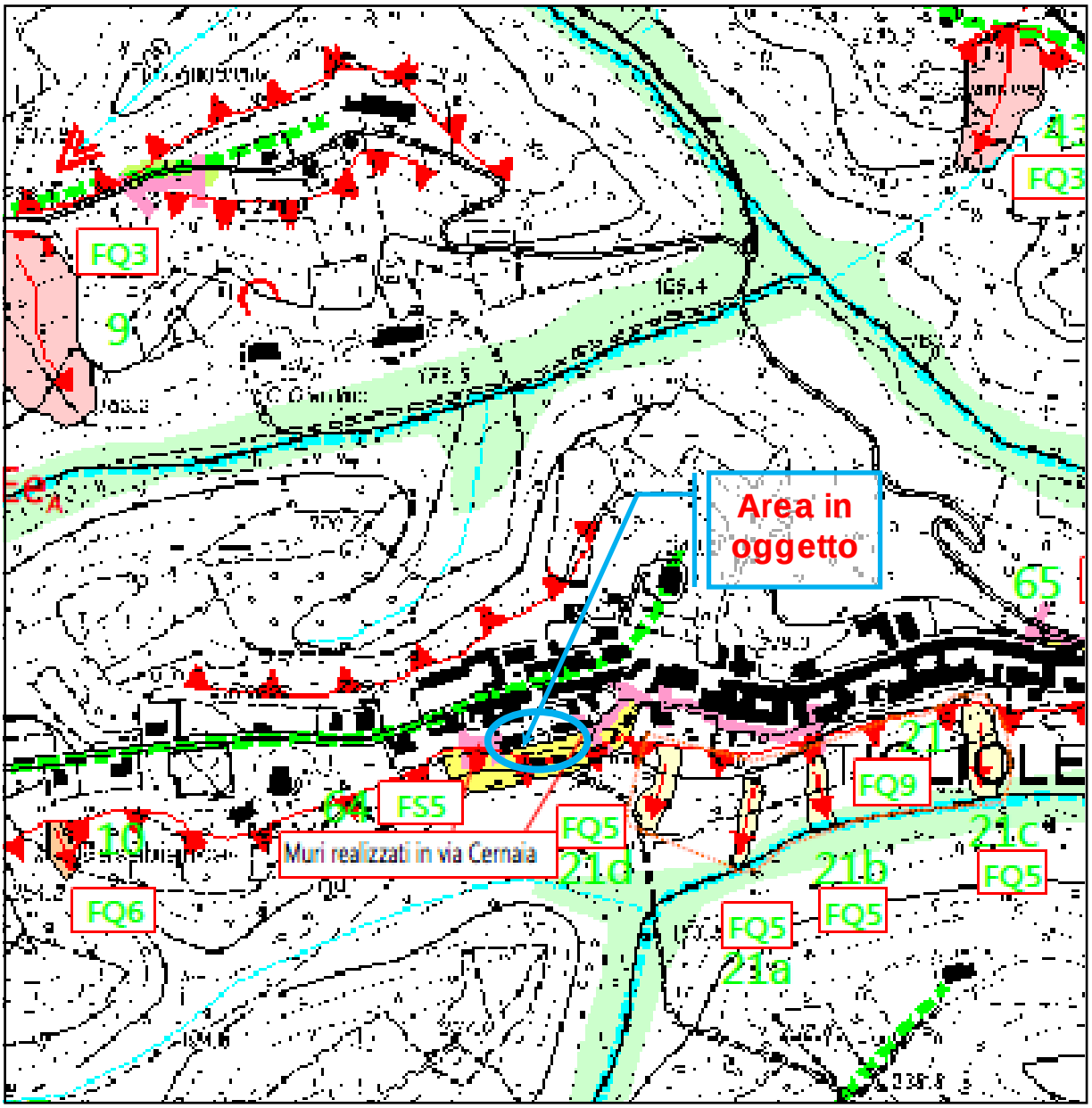
"Carta di Sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica, alla scala 1:10.000"

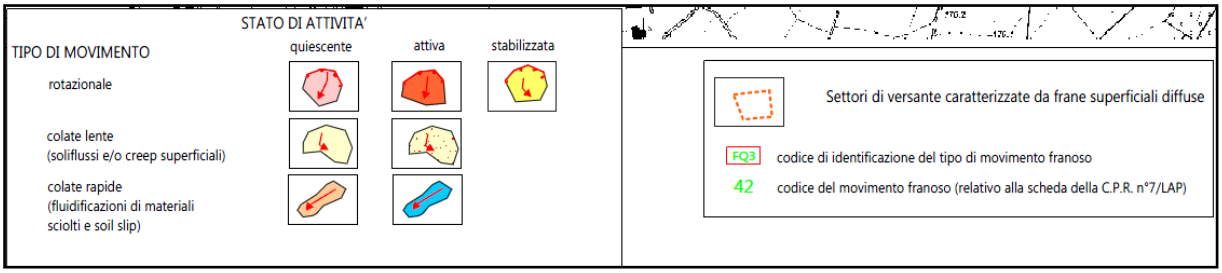
allegata alla Variante Strutturale di Adeguamento al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del P.R.G.C.

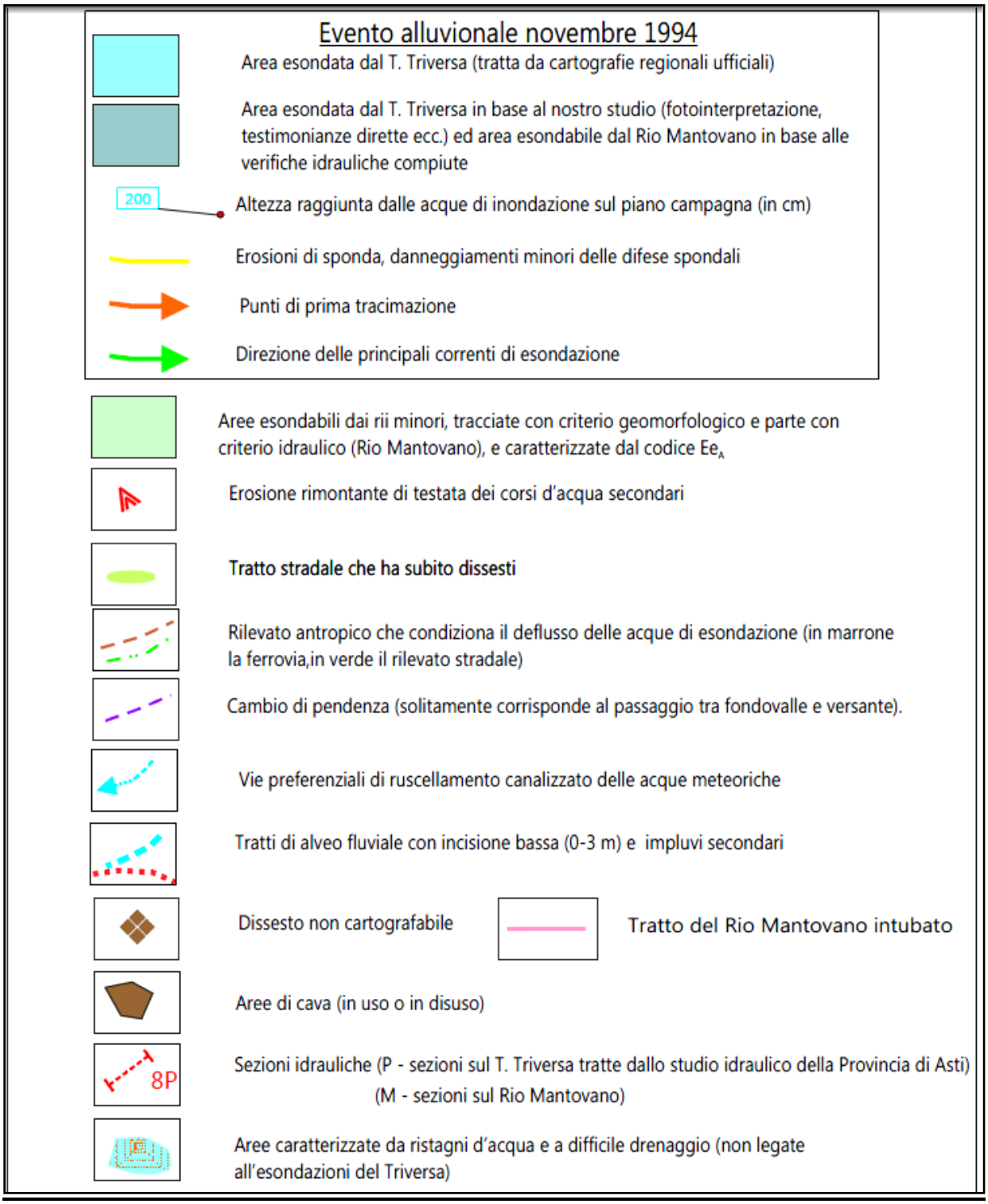


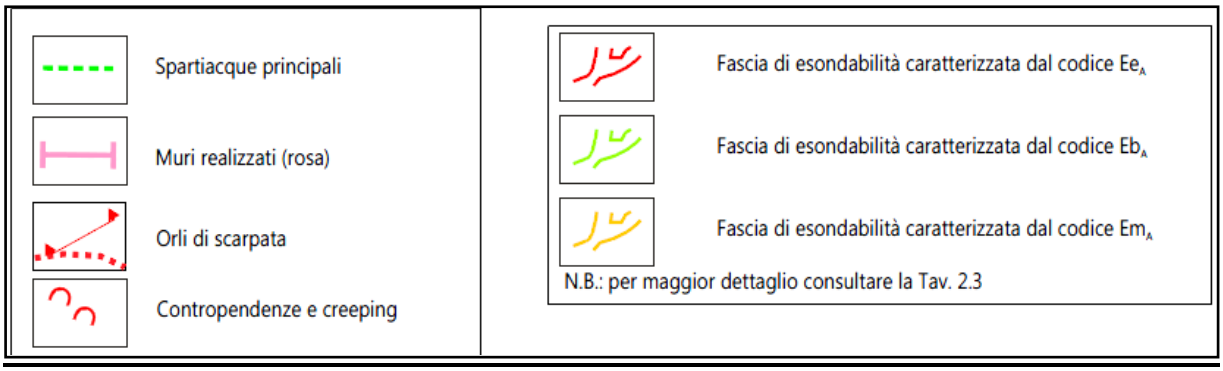
Per quanto riguarda, invece, la perimetrazione del movimento franoso in oggetto sulla recente "Carta geomorfologica e dei dissesti", è possibile individuare una situazione così meglio dettagliata:

- **l'area è stata interessata in passato da diversi eventi gravitativi di tipo rotazionale, solo in parte stabilizzati;**
- **sono presenti diffuse colate rapide per fluidificazione della coltre eluvio-colluviale (vedi estratto cartografico).**




STATO DI ATTIVITA'
TIPO DI MOVIMENTO
quiescente
attiva
stabilizzata
rotazionale
colate lente
(soliflussi e/o creep superficiali)
colate rapide
(fluidificazioni di materiali
sciolti e soil slip)
Settori di versante caratterizzate da frane superficiali diffuse
FQ3
codice di identificazione del tipo di movimento franoso
42
codice del movimento franoso (relativo alla scheda della C.P.R. n°7/LAP)


Evento alluvionale novembre 1994
Area esondata dal T. Triversa (tratta da cartografie regionali ufficiali)
Area esondata dal T. Triversa in base al nostro studio (fotointerpretazione, testimonianze dirette ecc.) ed area esondabile dal Rio Mantovano in base alle verifiche idrauliche compiute
200
Altezza raggiunta dalle acque di inondazione sul piano campagna (in cm)
Erosioni di sponda, danneggiamenti minori delle difese spondali
Punti di prima tracimazione
Direzione delle principali correnti di esondazione
Aree esondabili dai rii minori, tracciate con criterio geomorfologico e parte con criterio idraulico (Rio Mantovano), e caratterizzate dal codice Ee$_A$
Erosione rimontante di testata dei corsi d'acqua secondari
Tratto stradale che ha subito dissesti
Rilevato antropico che condiziona il deflusso delle acque di esondazione (in marrone la ferrovia,in verde il rilevato stradale)
Cambio di pendenza (solitamente corrisponde al passaggio tra fondovalle e versante).
Vie preferenziali di ruscellamento canalizzato delle acque meteoriche
Tratti di alveo fluviale con incisione bassa (0-3 m) e impluvi secondari
Dissesto non cartografabile
Tratto del Rio Mantovano intubato
Aree di cava (in uso o in disuso)
8P
Sezioni idrauliche (P - sezioni sul T. Triversa tratte dallo studio idraulico della Provincia di Asti)
(M - sezioni sul Rio Mantovano)
Aree caratterizzate da ristagni d'acqua e a difficile drenaggio (non legate all'esondazioni del Triversa)



Allo stato attuale la zona risulta ad alta pericolosità geomorfologica per la riattivazione ed estensione dei precedenti dissesti; soltanto in seguito agli interventi previsti sarà possibile porre in sicurezza le abitazioni prospicienti l'orlo di scarpata consentendo la mitigazione del rischio idrogeologico e geomorfologico.

2.2. Assetto geomorfologico generale

Per quanto riguarda la morfologia generale, la Provincia di Asti si viene a collocare nell'area del Monferrato dove si è sviluppato tutto un susseguirsi di dolci colline incise da valli; le quote vanno dai 121 m del capoluogo ai 759 m del comune di Roccaverano. Tali colline, caratteristiche del Monferrato, presentano una variegata tipologia di terreni che vanno dalle cosiddette "terre bianche" ricche in fossili, alle "terre rosse" ricche di limo ed argilla e alle "terre grasse" tipiche delle aree alluvionali di fondovalle. L'areale corrisponde al relitto di un'estesa pianura compresa tra i rilievi della Collina di Torino - Monferrato a N e quelli delle Langhe a S e che rappresentava il collegamento tra la pianura cuneese e quella alessandrina.

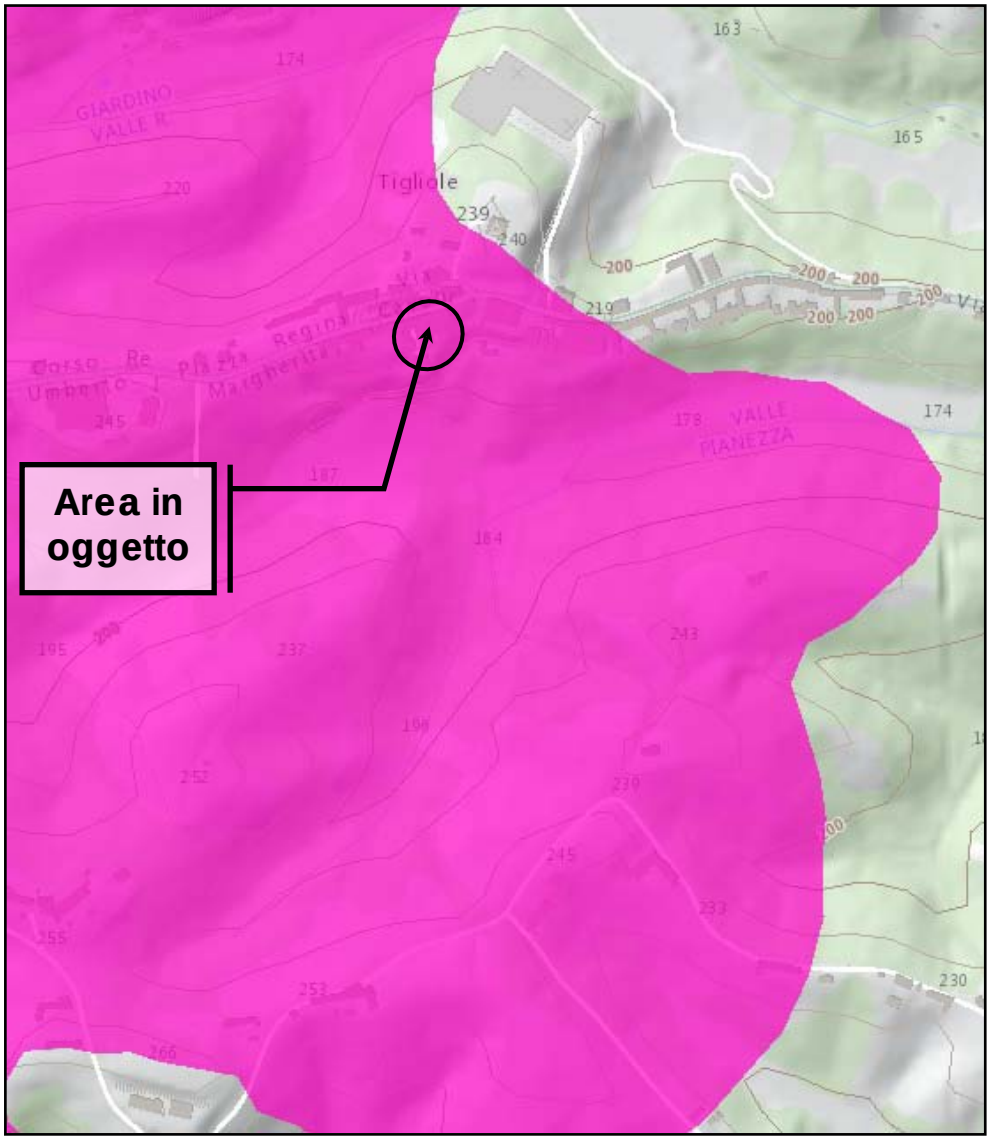
Da un substrato terziario si passa ad una sottile, ma diffusa copertura di depositi fluviali prevalentemente limosi, riferibili al Pleistocene medio-superiore. Tracce di un corso d'acqua a meandri con raggio di curvatura chilometrico e direzione di flusso E - W, risultano conservati in maniera estesa. Quest'ultimo rappresentava il collettore meridionale del bacino piemontese

(Forno M.G., 1982). Nel settore occidentale questa originaria pianura fluviale appare conservata in modo più continuo ed è rappresentata dall'Altopiano di Poirino: è caratterizzato da una superficie debolmente ondulata e modestamente disseccata dal reticolato idrografico sovraimposto. Nel settore orientale corrispondente ai Rilievi dell'Astigiano, detta pianura fluviale appare sensibilmente obliterata e caratterizzata da una morfologia più accidentata dovuta alla presenza di una notevole densità del reticolato idrografico.

2.2.1 Inquadramento geomorfologico locale

L'area in oggetto è localizzata nella porzione sommitale di un versante collinare ad acclività media ed esposto verso Sud; è già oggetto di edificazione ed urbanizzazione, per tanto l'intervento proposto andrà a saturare le porzioni ancora libere.

Da segnalare la locale stratificazione del substrato (immersione a S con inclinazione di 10-15°) con l'esposizione del versante (collocazione a franapoggio), e dunque fattore predisponente per l'innesco del fenomeno dissestivo presente a valle dell'area in oggetto.



L'estratto cartografico sopra riportato individua nell'ambito regionale i settori di versante vulnerabili per fenomeni franosi da fluidificazione della coltre superficiale. Si tratta di fenomeni franosi che si innescano durante eventi di pioggia di forte intensità per saturazione dei terreni di copertura: in allegato viene riportato il materiale fotografico inerente l'area oggetto di dissesto.

3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

In generale il Bacino Terziario Piemontese è contraddistinto da una serie di complessi idrogeologici con differenti caratteristiche.

Dal basso verso l'alto si possono distinguere:

- **Complesso limoso argilloso**: corrispondente alle ARGILLE DI LUGAGNANO, impermeabili, che rappresentano la base del sovrastante Complesso sabbioso.
- **Complesso sabbioso**: corrispondente ai depositi sabbiosi pliocenici (SABBIE DI ASTI), costituiti da alternanze di livelli sabbiosi permeabili, livelli sabbioso limosi e limoso sabbiosi semipermeabili e livelli limoso argillosi impermeabili; si tratta di un sistema acquifero multifalda, in cui i vari livelli acquiferi, con ridotta continuità laterale, possono essere intercomunicanti verticalmente.
- **Complesso delle alternanze (argille, ghiaie, sabbie)**: corrispondente alla parte superiore del Villafranchiano inferiore, al VILLAFRANCHIANO SUPERIORE ed ai depositi fluviali del PLEISTOCENE MEDIO SUPERIORE, è costituito da un'alternanza di livelli limoso argillosi impermeabili o semipermeabili e livelli ghiaioso sabbiosi permeabili; si tratta di un sistema acquifero multifalda in cui i vari livelli acquiferi sono tra loro intercomunicanti.
- **Complesso dei depositi alluvionali**: con permeabilità e spessore variabili, sede di una falda libera in equilibrio con il reticolo idrografico.

Nel dettaglio gli interventi in oggetto interesseranno il sistema acquifero ospitato nei terreni appartenenti al **Complesso delle alternanze**.

Dal punto di vista idrogeologico locale, sia la serie di origine alluvionale che le sottostanti serie marine delle SABBIE DI ASTI e delle ARGILLE DI LUGAGNANO, si caratterizzano per la presenza di orizzonti acquiferi la cui produttività risulta

variabile in funzione delle caratteristiche di permeabilità dei depositi e dell'entità e provenienza dell'alimentazione.

Sulla base della ricostruzione litostratigrafica, l'assetto del sito in esame risulta caratterizzato da un complesso acquifero superficiale, che ha sede nella serie deposizionale di origine eluvio-colluviale e che presenta caratteristiche di falda a superficie libera (falda freatica) con discrete capacità produttive.

Tale complesso, di spessore complessivo pari a circa 10,00 m, risulta caratterizzato dalla presenza di sabbie da fini a medio grossolane, intercalate da livelli ghiaiosi di colore giallastro.

Nelle porzioni inferiori, si rinviene un secondo complesso acquifero, attribuibile alla Formazione delle ARGILLE DI LUGAGNANO di potenza intorno ai 100,00 m. Tale complesso è caratterizzato da alternanze di limi sabbiosi e da sabbie limose medio–fini con limi argillosi. I litotipi sopra descritti appartengono ad un unico acquifero, caratterizzato da un deflusso con direzione circa NW–SE ed un gradiente idraulico di 0,0125 .

4. ASPETTI GEOTECNICI: INDAGINI GEOGNOSTICHE *IN SITU*

Le caratteristiche progettuali fondazionali dell'intervento sono visibili sulle tavole a corredo degli atti e ad esse si rimanda per l'esame dei particolari d'interesse.

La valutazione degli aspetti geotecnici e delle problematiche geotecniche è da ricondursi essenzialmente alla:

- Indagine geognostica *in situ* consistita in n°1 Prova Penetrometrica Dinamica (S.C.P.T.);
- Ricostruzione dell'assetto stratigrafico locale;
- Parametrizzazione geotecnica dei terreni di fondazione;
- Azione sismica: categoria del suolo di fondazione;

4.1. Indagine geognostica

Le indagini sono state svolte con la finalità di riconoscere i litotipi presenti e di individuare i parametri di resistenza meccanica dei terreni attraversati, atti a redigere il progetto delle fondazioni e le eventuali opere provvisionali necessarie. Si sono scelte le metodologie normalmente in uso consigliate dalla letteratura, dalla prassi e dal *D.M. 11/03/88*.

4.1.1 - Prove Penetrometriche Dinamiche (S.C.P.T.)

La valutazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni è stata ottenuta dal valore di $\mathbf{N_{20}}$ (numero dei colpi necessario all'avanzamento di 20 cm), mediante formule di uso comune nella pratica geotecnica. I parametri che si ottengono sono essenzialmente quelli della resistenza dinamica e della densità relativa (D_r), che costituiscono la base di calcolo per l'elaborazione dei valori dell'angolo di resistenza al taglio (φ'), della coesione (c') e del peso di volume (γ), indispensabili per eseguire le verifiche della capacità portante dei terreni di fondazioni e il calcolo dei cedimenti, tenendo conto dei sovraccarichi indotti sul terreno di fondazione in seguito all'edificazione in oggetto.

Per l'esecuzione delle tre prove si è utilizzato un Penetrometro Super-Pesante Pagani Tg 63/200 le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella seguente:

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90°

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	M ≤10	8
Medio	DPM (Medium)	10<M <40	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	40≤M <60	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	M≥60	25

Penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica (α=60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm^2 rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica (α= 60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm^2 rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento δ=30 cm, punta conica (α = 0°), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm^2 rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento δ=20-30 cm, punta conica (α = 60°-90°) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm^2, rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. Il passaggio viene dato da:

$$Nspt = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd = resistenza dinamica punta (area A);
e = infissione media per colpo (δ/ N);
M = peso massa battente (altezza caduta H);
P = peso totale aste e sistema battuta.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software.*

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media
Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Media minima
Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Massimo
Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Minimo
Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Scarto quadratico medio
Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Media deviata
Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Media + s
Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.
Media - s
Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immorsamento d = 1 mt..

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati Nspt il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).
Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se Nspt dello strato considerato risulta inferiore a Nspt critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione Nspt in presenza di falda

Nspt corretto = 15 + 0.5 × (Nspt - 15)
Nspt è il valore medio nello strato
La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda) .

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)

Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).

Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) σ>5 t/mq.

De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .

Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).

Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.

Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) σ>15 t/mq.

Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .

Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) s>15 t/mq.

Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt.

Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Meyerhof (1957).

Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young *(E_y)*

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa γ = 2,65 t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione *(Stress Ratio)*

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio *Vs (m/sec)*

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio *(G)*

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.

Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione *(Ko)*

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico *(Qc)*

- Robertson 1983 Qc

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8 , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.

Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max.*

- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).

Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille** e **limi argillosi** con Nc=20 e Qc/Nspt=2.

Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .

Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità .

Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.

- Shioi-Fukuni 1982 , valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico *(Qc)*

- Robertson 1983 Qc

Modulo Edometrico-Confinato *(Mo)*

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità (IP< 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP< 20) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte (Nspt <30) medie e molli (Nspt <4) e argille sabbiose (Nspt=6-12).

Modulo Di Young *(E_Y)*

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. >15

D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa G=2,70 (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 (Nspt=0) a 0,545 (Nspt=28)

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data 24/02/2017
Profondità prova 12,00 mt
Falda non rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,20	1	0,855	8,98	10,51	0,45	0,53
0,40	1	0,851	8,94	10,51	0,45	0,53
0,60	1	0,847	8,17	9,64	0,41	0,48
0,80	1	0,843	8,13	9,64	0,41	0,48
1,00	1	0,840	8,10	9,64	0,40	0,48
1,20	2	0,836	16,13	19,29	0,81	0,96
1,40	2	0,833	16,06	19,29	0,80	0,96
1,60	5	0,830	36,96	44,55	1,85	2,23
1,80	4	0,826	29,45	35,64	1,47	1,78
2,00	5	0,823	36,68	44,55	1,83	2,23
2,20	5	0,820	36,54	44,55	1,83	2,23
2,40	5	0,817	36,41	44,55	1,82	2,23
2,60	7	0,814	47,20	57,97	2,36	2,90
2,80	6	0,811	40,32	49,69	2,02	2,48
3,00	4	0,809	26,79	33,13	1,34	1,66
3,20	7	0,806	46,73	57,97	2,34	2,90
3,40	6	0,803	39,92	49,69	2,00	2,48
3,60	13	0,751	75,51	100,56	3,78	5,03
3,80	19	0,748	110,00	146,97	5,50	7,35
4,00	18	0,746	103,88	139,24	5,19	6,96
4,20	16	0,744	92,05	123,77	4,60	6,19
4,40	15	0,741	86,03	116,03	4,30	5,80
4,60	14	0,739	75,10	101,60	3,76	5,08
4,80	16	0,737	85,59	116,11	4,28	5,81
5,00	13	0,735	69,34	94,34	3,47	4,72
5,20	11	0,783	62,50	79,83	3,13	3,99
5,40	12	0,781	68,02	87,08	3,40	4,35
5,60	11	0,779	58,57	75,18	2,93	3,76
5,80	10	0,777	53,12	68,34	2,66	3,42
6,00	7	0,775	37,10	47,84	1,85	2,39
6,20	7	0,774	37,01	47,84	1,85	2,39
6,40	10	0,772	52,76	68,34	2,64	3,42
6,60	8	0,770	39,80	51,66	1,99	2,58
6,80	5	0,769	24,82	32,29	1,24	1,61
7,00	7	0,767	34,68	45,20	1,73	2,26
7,20	9	0,766	44,50	58,12	2,22	2,91
7,40	10	0,764	49,35	64,58	2,47	3,23
7,60	11	0,763	51,35	67,33	2,57	3,37

7,80	12	0,761	55,92	73,45	2,80	3,67
8,00	10	0,760	46,51	61,21	2,33	3,06
8,20	10	0,759	46,43	61,21	2,32	3,06
8,40	9	0,757	41,72	55,09	2,09	2,75
8,60	11	0,756	48,37	63,99	2,42	3,20
8,80	8	0,755	35,12	46,54	1,76	2,33
9,00	9	0,753	39,45	52,36	1,97	2,62
9,20	9	0,752	39,39	52,36	1,97	2,62
9,40	9	0,751	39,32	52,36	1,97	2,62
9,60	10	0,750	41,57	55,42	2,08	2,77
9,80	14	0,699	54,22	77,59	2,71	3,88
10,00	12	0,748	49,73	66,51	2,49	3,33
10,20	15	0,697	57,91	83,14	2,90	4,16
10,40	17	0,696	65,53	94,22	3,28	4,71
10,60	20	0,694	73,50	105,85	3,68	5,29
10,80	25	0,643	85,13	132,31	4,26	6,62
11,00	27	0,642	91,79	142,89	4,59	7,14
11,20	30	0,641	101,82	158,77	5,09	7,94
11,40	33	0,590	103,09	174,65	5,15	8,73
11,60	34	0,589	101,45	172,17	5,07	8,61
11,80	37	0,588	110,21	187,36	5,51	9,37
12,00	40	0,537	108,81	202,55	5,44	10,13

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
3,4	3,71	32,4	Incoerente	1,56	1,89	0,27	1,47	5,46	Terreno di riporto
5	15,5	117,33	Incoerente - coesivo	2,11	2,18	0,7	1,5	23,22	Sabbie cementate
10	9,64	60,47	Incoerente	1,87	1,95	1,34	1,51	14,6	Sabbie fini
12	27,8	145,39	Incoerente - coesivo	2,5	2,5	2,05	1,53	42,48	Sabbie cementate

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	Schmertmann 1975	2,30
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	Schmertmann 1975	4,24

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	Robertson (1983)	46,44
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	Robertson (1983)	84,96

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	Vesic (1970)	---
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	Vesic (1970)	---

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	Apollonia	232,20
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	Apollonia	424,80

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	Meyerhof	2,11
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	Meyerhof	2,50

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	Meyerhof	2,18
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	Meyerhof	2,50

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	155,49
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	Ohta & Goto (1978) Argille limose e argille di bassa plasticità	207,87

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Gibbs & Holtz 1957	23,45

Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Gibbs & Holtz 1957	46,65
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Gibbs & Holtz 1957	28,69
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Gibbs & Holtz 1957	44,96

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION	24,05
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION	33,66
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION	29,8
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION	40,24

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Schmertmann (1978) (Sabbie)	43,68
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Schmertmann (1978) (Sabbie)	185,76
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Schmertmann (1978) (Sabbie)	116,80
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Schmertmann (1978) (Sabbie)	339,84

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	38,68
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	75,16
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	57,45
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	114,72

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Meyerhof ed altri	1,56
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Meyerhof ed altri	2,00
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Meyerhof ed altri	1,87
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Meyerhof ed altri	2,11

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,05
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,95
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,22

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	(A.G.I.)	0,34
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	(A.G.I.)	0,31
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	(A.G.I.)	0,33
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	(A.G.I.)	0,27

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	352,64
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Robertson e Campanella (1983) e Imai &	853,99

				Tonouchi (1982)	
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	643,18
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1235,18

Velocità onde di taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Ohta & Goto (1978) Limi	101,66
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Ohta & Goto (1978) Limi	155,49
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Ohta & Goto (1978) Limi	160,49
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Ohta & Goto (1978) Limi	207,87

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Navfac 1971-1982	1,09
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Navfac 1971-1982	4,59
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Navfac 1971-1982	3,05
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Navfac 1971-1982	7,20

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) Terreno di riporto	5,46	0.00-3,40	5,46	Robertson 1983	10,92
Strato (2) Sabbie cementate	23,22	3,40-5,00	23,22	Robertson 1983	46,44
Strato (3) Sabbie fini	14,6	5,00-10,00	14,6	Robertson 1983	29,20
Strato (4) Sabbie cementate	42,48	10,00-12,00	42,48	Robertson 1983	84,96

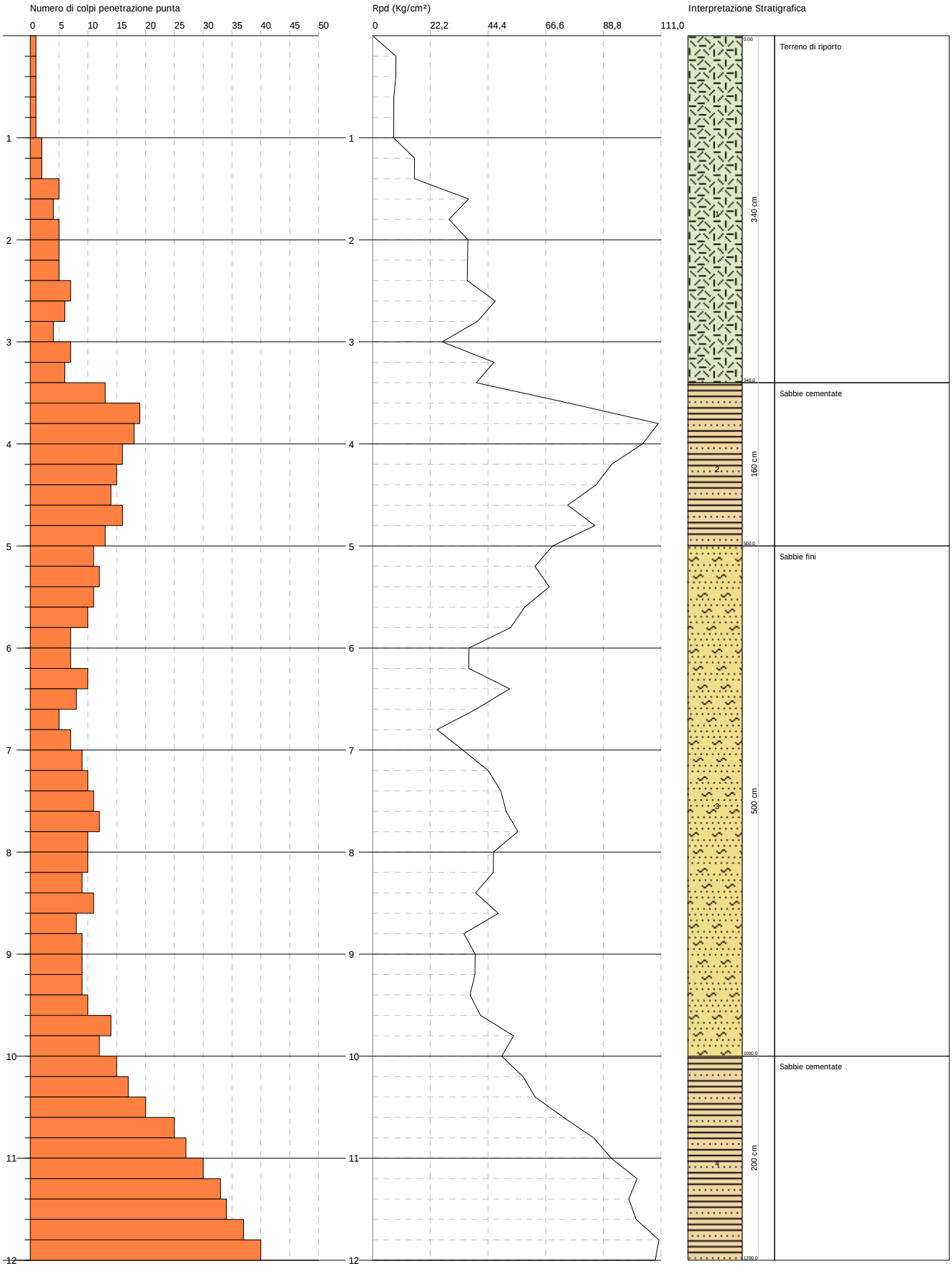
GEO CONTEST s.a.s.
Via E. Giovanelli. 28 - 14100 Asti (AT)
Tel.e fax: 0141 351106 - Cell.: 393 9558998
www.geocontest.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Comune di Tigliole
Cantiere: Sistemazione versante frazione loc. Cernaia
Località: Tigliole (AT)

Data: 24/02/2017

Scala 1:53



4.2. Azione sismica: categoria del suolo di fondazione

Ai sensi dell'O.P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 e succ. modifiche (aggiornamento 15/01/2005), il numero di zone sismiche è fissato pari a 4, corrispondenti ai 4 valori di accelerazione orizzontale (a_g / g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. Il **Comune di Tigliole** ricade in **zona sismica 4** a cui corrisponde un'accelerazione sismica orizzontale < **0,05 g**, con probabilità di superamento non maggiore del 10% in 50 anni, che si traduce in un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a **0,05 (a_g / g)**.

L' O.P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 prevede ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto la definizione della categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, basata sulla velocità delle onde sismiche di taglio V_S. Ma la grande novità della O.P.C.M. 3274 è l'introduzione della V_{S30}, che costituisce un parametro correlato alla velocità delle onde di taglio V_S degli strati di terreno nei primi 30 m di sottosuolo al di sotto del piano di posa delle fondazioni; V_{S30}, che rappresenta una velocità equivalente, è espressa dalla seguente formula:

$$V_{S30} = 30 / \Sigma_{i=1,N} (h_i/V_i) \qquad \textbf{(1)}$$

Sulla base di quanto esposto, si è proceduto alla ricostruzione del profilo stratigrafico correlando i dati ricavati dai sondaggi effettuati nel cosiddetto intorno significativo, dalle prove penetrometriche svolte *in situ* e dalle conoscenze geologiche bibliografiche.

Attraverso una indagine geofisica pregressa è stato possibile fornire dati sulle velocità delle onde di taglio V_S .

Di seguito viene inoltre proposto di ricavare i parametri geofisici attraverso la correlazione con i valori di N_{SPT}, pur riconoscendo i limiti di tali procedimenti.

STIMA DELLE V_S ATTRAVERSO PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SPT)

Esistono in letteratura molte formule empiriche che consentono di correlare il valore di N_{SPT} (numero di colpi per 20 cm di avanzamento) con la velocità delle onde S nel terreno. In questo contesto si è ricorsi alla formula di OTHA & GOTO (1978), valida per terreni con frazione dominante costituita da sabbie da fini a grossolane fino a ghiaiose. Quest'ultima, che tiene conto sia dell'età del deposito sia della sua granulometria dominante, ha la seguente espressione:

$$V_S = 68 \cdot (N_{SPT})_{60}{}^{0,17} \cdot z^{0,2} \cdot f_A \cdot f_G \qquad \textbf{(2)}$$

V_S velocità delle onde di taglio

$(N_{SPT})_{60}$ numero di colpi corretto per un'energia pari al 60% di quella teorica e per la pressione litostatica del terreno sovrastante dovuto alla profondità della prova

z profondità media dello strato dal piano campagna espressa in m

f_A fattore che tiene conto dell'età del deposito

f_G coefficiente funzione della granulometria dominante dello strato

Età del deposito	***Fattore f_A***
Olocene	1.0
Pleistocene	1.3

Granulometria dominante	***Coefficiente f_G***
Argilla	1,00
Sabbia fine	1,09
Sabbia media	1,07
Sabbia grossa	1,14

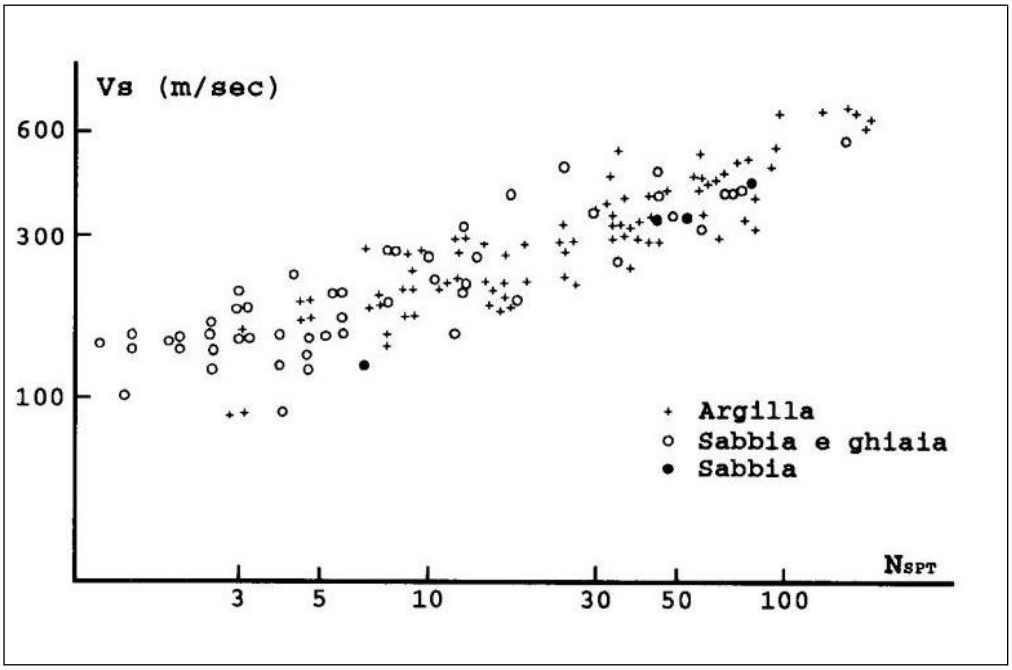
Sabbia ghiaiosa	1,15
Ghiaia	1,45

Considerando, dunque, i 30 m dal piano di fondazione e dall'applicazione della **(1)**, la ***V_{S30}*** equivalente corrisponde a **312 m/s**.

Ai sensi del § 3.1 dell'Allegato n. 2, *"Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici"*, all' O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e sulla base dell'indagine, del rilevamento e dei calcoli eseguiti, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si può definire, per l'insieme dei depositi compresi nei primi 30 m litotipi presenti nell'area in esame, il seguente profilo stratigrafico del suolo di fondazione:

- **Categoria "C"** *di suolo di fondazione così definita: "Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza* con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati *da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_U < 250$ kPa)".*

I valori delle velocità delle onde di taglio V_S sono stati anche confrontati graficamente con le relazioni sperimentali tra V_S e N_{SPT} per argille, sabbie e ghiaie di MAI & YOSHIMURA (1975). Il grafico conforta i calcoli sopra effettuati.



Relazioni sperimentali tra V_S e N_{SPT} per argille, sabbie e ghiaie (Mai & Yoshimura,1975)

VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Ai fini della norma vigente, il termine "**liquefazione**" denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Deve essere, dunque, verificata la **suscettibilità alla liquefazione** quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa. Nel caso di **fondazioni superficiali**, la verifica della suscettibilità a liquefazione può essere omessa se il terreno saturo si trova a profondità superiore a 15 m dal p.c..

Nel sito in oggetto, ai sensi del D.M. 14/01/2008 "N.T.C." e s.m.i., i parametri e coefficienti sismici, in riferimento alle opere di nuova realizzazione sono i seguenti:

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni
Muro rigido: 0

Sito in esame

latitudine: 44,887017
longitudine: 8,075525
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 14686	Lat: 44,8617	Lon: 8,0599	Distanza: 3072,070
Sito 2	ID: 14687	Lat: 44,8649	Lon: 8,1303	Distanza: 4968,409
Sito 3	ID: 14465	Lat: 44,9148	Lon: 8,1258	Distanza: 5018,857
Sito 4	ID: 14464	Lat: 44,9116	Lon: 8,0554	Distanza: 3157,240

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,018	g
Fo:	2,627	
Tc*:	0,161	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,021	g
Fo:	2,608	
Tc*:	0,188	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,042	g
Fo:	2,713	

Tc*: 0,288 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,050 g
Fo: 2,784
Tc*: 0,304 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:
- Ss: 1,500
- Cc: 1,920
- St: 1,200
- Kh: 0,006
- Kv: 0,003
- Amax: 0,309
- Beta: 0,200

SLD:
- Ss: 1,500
- Cc: 1,820
- St: 1,200
- Kh: 0,008
- Kv: 0,004
- Amax: 0,379
- Beta: 0,200

SLV:
- Ss: 1,500
- Cc: 1,580
- St: 1,200
- Kh: 0,015
- Kv: 0,008
- Amax: 0,743
- Beta: 0,200

SLC:
- Ss: 1,500
- Cc: 1,560
- St: 1,200
- Kh: 0,018
- Kv: 0,009
- Amax: 0,881
- Beta: 0,200

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru software - www.geostru.com
Coordinate WGS84
latitudine: 44.886058
longitudine: 8.074452

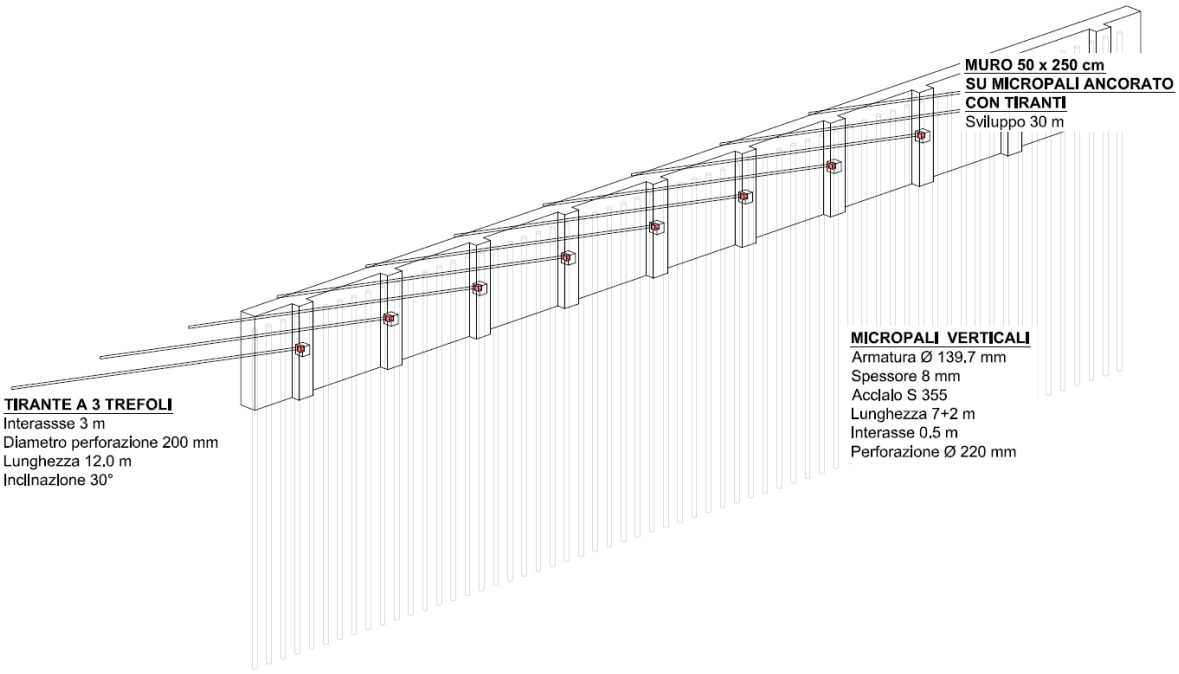
5. DESCRIZIONE GENERALE DELLA SOLUZIONE SELEZIONATA

È previsto un muro sottofondato su micropali verticali disposti ogni 500 mm, armati con armatura tubolare di diametro 139,7 mm e 9,0 m di lunghezza parzialmente incorporata nel muro realizzato in calcestruzzo armato, avente sezione 500 x 2500 mm, per uno sviluppo complessivo di 30 m e ancorato tramite tiranti a tre trefoli. In corrispondenza dei tiranti sarà disposta una sporgenza rettangolare in analogia all'opera già eseguita a cui fa riferimento codesto completamento.

I tiranti a tre trefoli avranno un interasse di 3,0 m ed una lunghezza di 12,0 metri, per assicurare l'ancoraggio anche qualora gli orizzonti marnosi risultino particolarmente alterati o addirittura assenti. Il singolo trefolo ha una portata pari a 15 tonnellate, per un totale di 45 tonnellate di carico massimo.

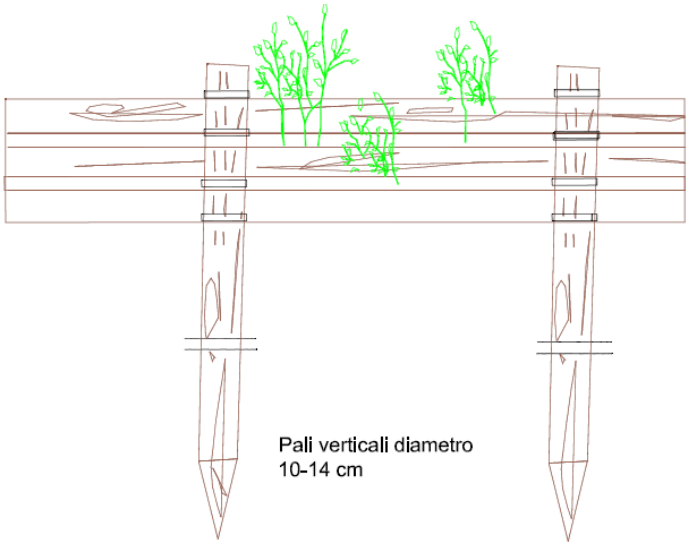
I micropali avranno la doppia funzione di sottofondare la struttura, impedendone lo scalzamento al piede, ed al contempo di contenere il cappellaccio di alterazione ed eventuali avvallamenti del substrato stesso con presenza di spessori localmente più elevati del previsto dei depositi detritici.

Nella figura sottostate è raffigurato lo schema dell'opera da eseguire:



Verranno realizzate cinque file di palificata semplice (o palizzata) poiché il terreno risulta avere una pendenza comparabile all'angolo di attrito interno.

La palizzata è costituita da pali orizzontali di legname idoneo disposti perpendicolarmente alla linea di massima pendenza fermati a valle da ulteriori pali di legname conficcati nel terreno; nella figura sottostante è riportato uno schema tipo.



Si rimanda agli elaborati dello Studio Associato Ingeoproject per i particolari e dettagli d'interesse.

6. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

Nel corso dell'indagine sono state descritte le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del sito ed è stata ricostruita la caratterizzazione geotecnica dei terreni coinvolti dal dissesto idrogeologico. Tale caratterizzazione si è basata principalmente sui risultati di n°1 Prova Penetrometrica Dinamica (S.C.P.T.) ubicata in corrispondenza delle opere in progetto.

In base a tali risultati emerge chiaramente:

- la presenza di un terreno di riporto dalle scadenti caratteristiche geomeccaniche (potenza complessiva di circa 3,40 m);
- segue uno strato di sabbie cementate dalle buone caratteristiche geomeccaniche tra 3,40 e 5,00 m dal locale p.c.;
- successivamente si passa a materiali sabbiosi fini dalle mediocri caratteristiche geomeccaniche fino a 10,00 m dal locale p.c.;
- infine si rinvengono sabbie cementate dapprima alterate e via via più integre e compatte in profondità, con buone caratteristiche geotecniche;

Riassumendo, per ogni strato individuato nel modello geotecnico, le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni oggetto dell'intervento sono:

STRATO 1: terreno di riporto

- *peso di volume naturale* $\gamma_n = 17.0\ kN/m^3$
- *coesione non drenata* $c_u = 0\ kPa$
- *angolo di attrito* $\varphi_p = 24° - 25°$

STRATO 2: sabbie cementate

- *peso di volume naturale* $\gamma_n = 20.0\ kN/m^3$
- *coesione non drenata* $c_u = 200\ kPa$
- *angolo di attrito* $\varphi_p = 33° - 34°$

STRATO 3: sabbie fini

- *peso di volume naturale* $\gamma_n = 18.0\ kN/m^3$
- *coesione non drenata* $c_u = 0\text{-}10\ kPa$
- *angolo di attrito* $\varphi_p = 29° - 30°$

STRATO 4: sabbie cementate

- *peso di volume naturale* $\gamma_n = 21.0\ kN/m^3$
- *coesione non drenata* $c_u = 300\text{-}400\ kPa$
- *angolo di attrito* $\varphi_p = 38° - 39°$

Sulla base di quanto sopra espresso, in relazione ai disposti previsti dalla normativa di cui al *D.M. LL.PP. 11/03/1988 n. 47* e relative istruzioni applicative emanate con *Circolari LL.PP. 24/09/88 n. 30483* si ritiene che le opere in progetto, così come rappresentate negli elaborati progettuali visionati, possano contribuire alla completa messa in sicurezza dell'area in oggetto, mitigando il rischio e la pericolosità geomorfologica; pertanto se ne attesta la fattibilità geologica e geotecnica.

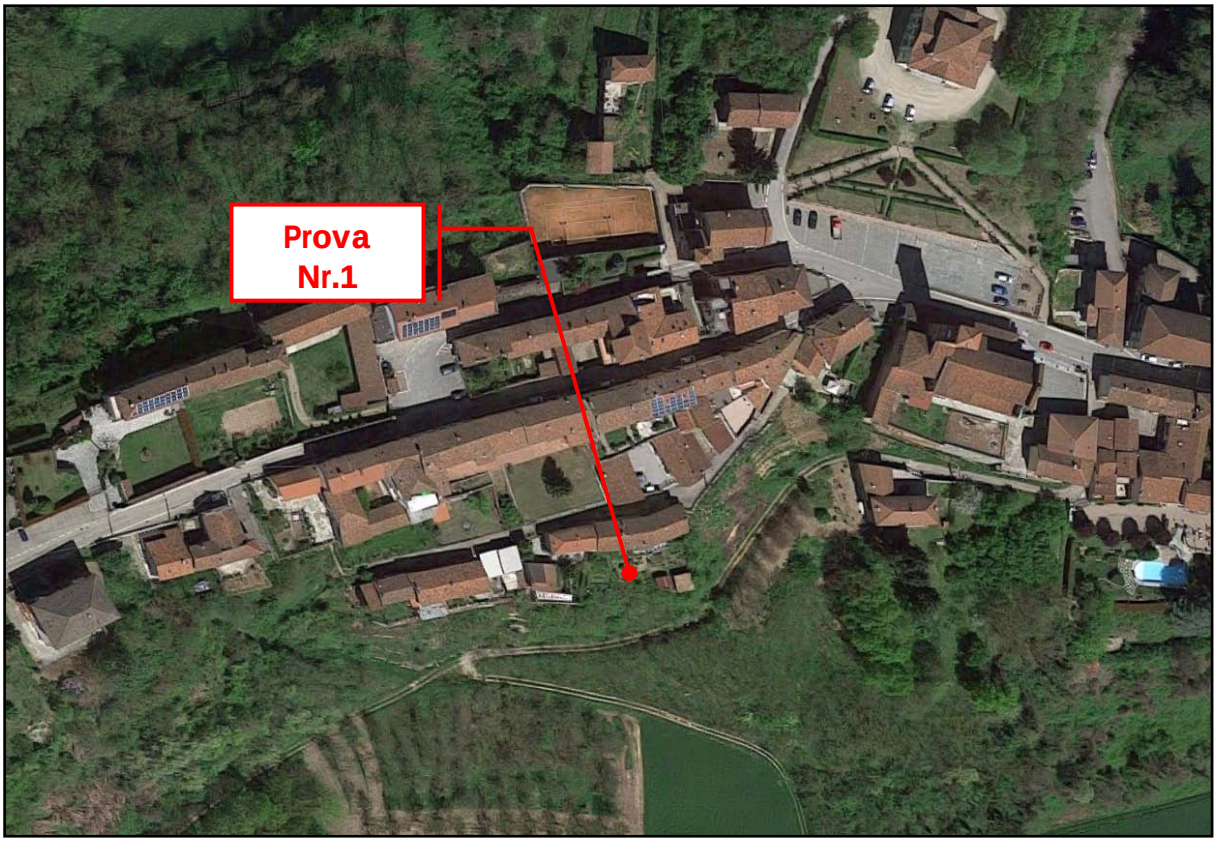
Il Geologo responsabile
Dr. Geol. Massimo Castellaro

SOMMARIO

1. Premessa e localizzazione dell'area d'intervento.....2
2. Inquadramento geologico e geomorfologico.....4
3. Inquadramento idrogeologico.....16
4. Aspetti geotecnici: indagini geognostiche *in situ*.....17
5. Descrizione generale della soluzione selezionata.....37
6. Conclusioni e prescrizioni.....39

ALLEGATI

- **Ubicazione e documentazione fotografica indagini geognostiche**



Prova penetrometrica Nr. 1

Dettagli dell'area in dissesto