

Studio di geologia

dott. GAUDENZIO LEONARDIS

67028 – S.DEMETRIO NE' VESTINI – cel. 347-1827394



COMUNE DI SAN DEMETRIO NE' VESTINI

committenza

HYDROWATT S.p.A.

oggetto

PROGETTO PER LA COSTRUZIONE
DELLA CENTRALE IDROELETTRICA
IN LOCALITA' STIFFE - SAN DEMETRIO NE' VESTINI



RELAZIONE GEOLOGICA E STUDIO SISMICO

Maggio 2018

Dott. Geol. Gaudenzio Leonardis – via Nazionale, 37 – S. Demetrio né Vestini (Aq)

Gaudenzio Leonardis



Dott. GAUDENZIO LEONARDIS

GEOLOGO

VIA NAZIONALE,37–CEL.347-1827394

67028 S.DEMETRIO NE' VESTINI (AQ)

Cod.Fisc. LNRGNZ41H14H819F

Part. IVA 00217490663



COMUNE DI SAN DEMETRIO NE' VESTINI



PROGETTO PER LA COSTRUZIONE
DELLA CENTRALE IDROELETTRICA
IN LOCALITA' STIFFE - SAN DEMETRIO NE' VESTINI

RELAZIONE GEOLOGICA E STUDIO SISMICO

1. Premessa

La HYDROWATT S.p.A di Folignano (Ascoli Piceno) intende procedere ai lavori di costruzione di una centrale idroelettrica a Stiffe, frazione del Comune di S.Demetrio N.V. (L'Aquila), a servizio di un impianto idroelettrico che prevede di sfruttare il salto geodetico (m. 123) disponibile fornito dal Rio Foce, affluente in destra idrografica del Fiume Aterno.

La centrale (v. allegato), nella quale saranno alloggiate la turbina e le apparecchiature elettromeccaniche, è sita su un'area posta a quota 561,15 m s.l.m. alla estremità della condotta in pressione collegata all'opera di presa posta in corrispondenza dell'ingresso turistico delle Grotte di Stiffe (q.684,45 m.s.l.m.-v.allegato).

Nel rispetto della normativa nazionale e regionale vigente in materia edilizia e sulle costruzioni¹, mi è stato affidato l'incarico di redigere la relazione geologica, lo studio sismico e la relazione di consulenza alla redazione della relazione geotecnica, per definire i lineamenti geologici

¹ L.R. n.138/1996; D.M.17/01/2018 (N.T.C.).

generali con particolare riguardo alla situazione dell'area presa in esame in relazione alle condizioni di stabilità, alla presenza di falde idriche, al decorso di acque superficiali e per valutare l'azione sismica ai fini della risposta sismica locale.

Lo studio, è stato condotto attraverso il rilevamento geologico-geomorfologico di superficie, sulla scorta di informazioni ricavate dalla cartografia e dagli studi precedentemente eseguiti nella zona, a cui è stata successivamente applicata la metodologia analitica di acquisizione diretta dei dati operata mediante una campagna di indagini geognostiche e geofisiche previste nel D.M. 17/01/2018 (NTC)². In tal senso, è stato predisposto un Piano Indagini teso a valutare e ad accertare la consistenza dei terreni di posa delle fondazioni e le loro proprietà geotecniche, le caratteristiche sismiche ed i valori dei loro moduli elastodinamici; si è provveduto, quindi, ad effettuare n. 1 prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH) e una prospezione sismica di superficie di tipo MASW.

Tutte le operazioni di campagna e la loro elaborazione sono state eseguite, nel rispetto della normativa nazionale, secondo il D.M. dell'11.03.1988 "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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", secondo la L. 64/74 ed in riferimento alle Raccomandazioni e Direttive dell'A.G.I (Associazione Geotecnica Italiana).

Si precisa, infine, che tutte le indagini sono state eseguite da ditta specializzata in campo geotecnico e geofisico, sotto il coordinamento del tecnico incaricato.

I risultati della campagna di indagini sono parte integrante di questo elaborato.

² Per il riconoscimento della successione litostratigrafica e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati, si fa riferimento anche al sondaggio geognostico a rotazione a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT (Standard Penetration Test) nel foro di sondaggio eseguito nella strada adiacente (Via delle Finestre) all'area presa in esame. La verticale esplorativa S1 ha indagato il sottosuolo fino alla profondità di 20 metri con 5 prove SPT.

2. Localizzazione dell'area

L'area in esame, individuata nel sistema terrestre convenzionale WGS84 dalle coordinate geografiche Lat. N 42,25718 - Long. E 13,53951, è sita a Stiffe frazione del Comune di S.Demetrio né Vestini, ad una quota di circa 561 m.s.l.m.; ricade all'interno del Quadrante 146 IV della Carta Topografica della Regione Abruzzo in scala 1:25.000 e nell'elemento 359112 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000, come da cartografia allegata.

Sulla Carta della Pericolosità del PAI-PSB³ della Regione Abruzzo, l'area rientra nel F. 359 E, scala 1:25.000, in zona annoverata tra quelle in cui non si rileva la presenza di processi morfoevolutivi ovvero in zona a *Pericolosità non classificata (area bianca* in cui non sono stati rilevati dissesti).

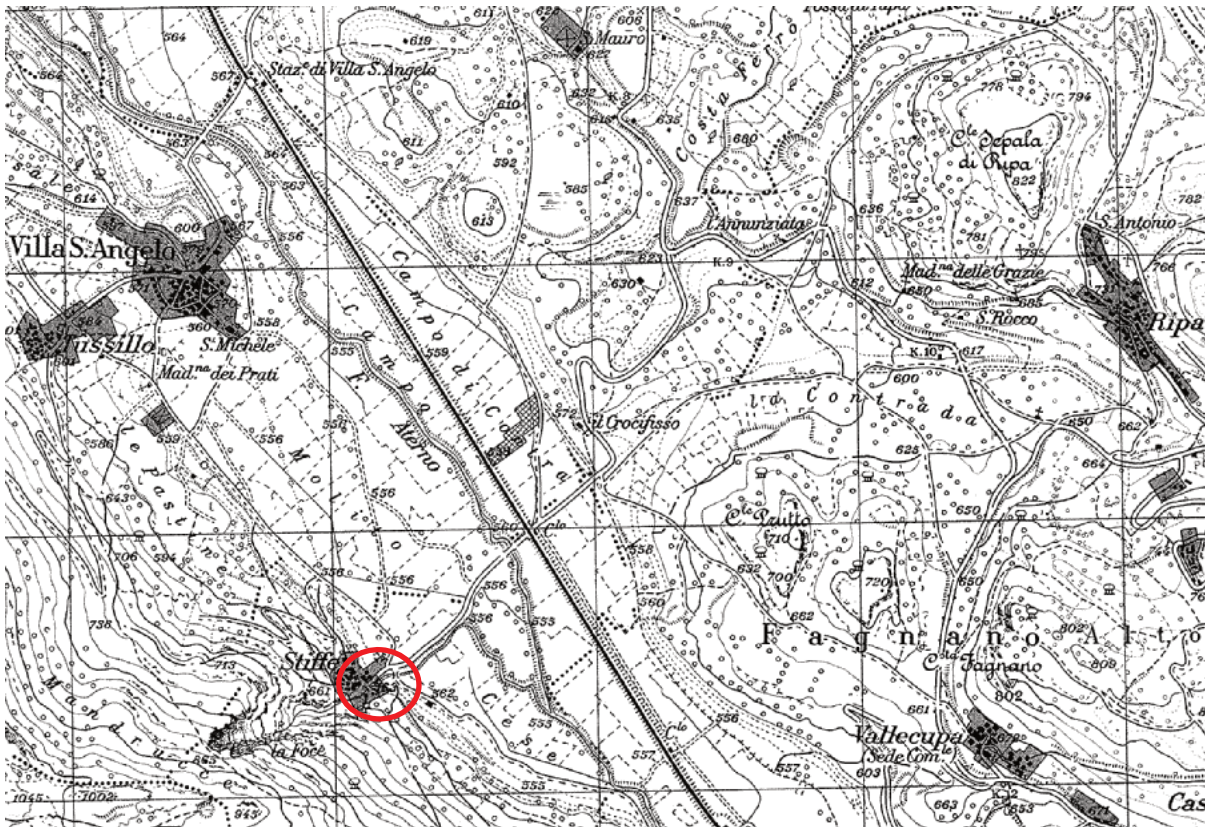
Sulla Carta della Pericolosità idraulica del PAI-PSDA⁴ della Regione Abruzzo, Tav. 7.2.07.at.03 "Aterno 3" in scala 1:10.000, l'area è ascritta tra quelle non inondabili la cui pericolosità idraulica è perciò nulla.

Come base cartografica di studio dell'area di intervento edilizio è stata utilizzata la cartografia ufficiale: Carta Geologica d'Italia - Foglio 146 "Sulmona" - scala 1:100.000; Carta Geologica dell'Abruzzo-Ghisetti & Vezzani-scala 1:100.000; Carta Geologica del CARG (ISPRA-ex APAT) scala 1:50.000; Carta Geologica della zona Barisciano-San Demetrio (T.Bertini-C.Bosi) scala 1:25.000, stralci topografici scala 1:25.000 e 1:5.000, e la cartografia specifica allegata al PAI-PSB (Piani Stralcio di Bacino della Regione Abruzzo).

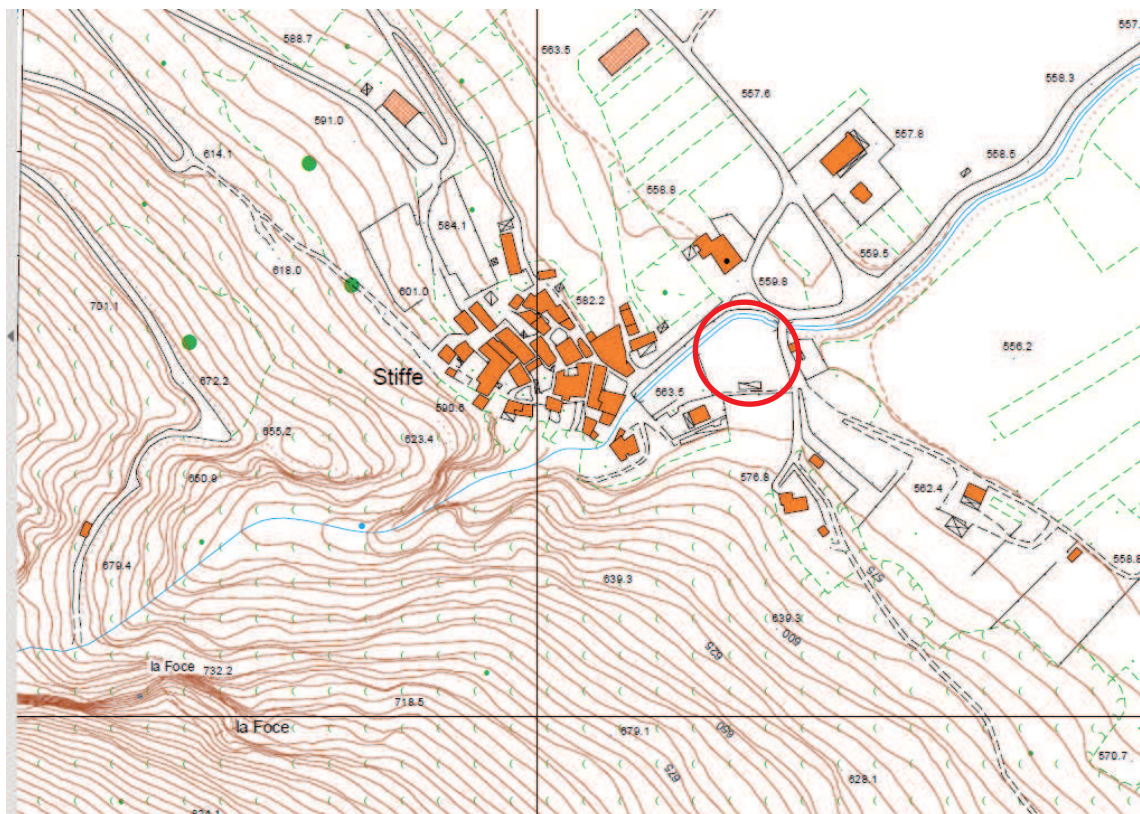
³ Piano per l'Assetto Idrogeologico – Piano Stralcio di Bacino - Fenomeni gravitativi e Processi erosivi.

⁴ Piano per l'Assetto Idrogeologico - Piano Stralcio Difesa Alluvioni.

Stralcio della Carta Topografica Regionale Q. 146 IV



Stralcio dalla Carta Tecnica Regionale- Sezione 359112



3. Piano Indagini

Per la definizione del modello geologico del sottosuolo del sito in esame, in relazione alla complessità geolitologica, allo stato delle conoscenze dell'area, è stato predisposto un dettagliato Piano Indagini.

Il Piano è stato elaborato nella piena e profonda consapevolezza dell'importanza che riveste la "componente geologica" nell'ottica di un concreto e ragionato intervento per la costruzione di una struttura che può essere soggetta agli effetti di un violento sisma.

Tale Piano, opportunamente organizzato, è articolato in 3 componenti fondamentali:

- 1) rilevamento geologico, geomorfologico e litologico-tecnico;
- 2) indagini geotecniche;
- 3) indagini geofisiche.

Rilevamento geologico, geomorfologico e litologico-tecnico

Sono stati eseguiti rilievi di campagna, integrati con dati acquisiti in precedenza da studi effettuati nella stessa zona, tesi al riconoscimento della natura delle associazioni dei terreni presenti nel sottosuolo e delle forme del paesaggio con particolare attenzione rivolta all'individuazione di processi morfogenetici che possono generare condizioni di instabilità in atto o potenziali.

Le analisi dirette sono state confrontate con informazioni geologico-litologiche desunte dal materiale cartografico reperito (Carta del Progetto IFFI; Carta di Pericolosità del Piano di Assetto Idrogeologico "fenomeni gravitativi e processi erosivi", Carta della Pericolosità Idraulica del Piano Stralcio Difesa Alluvioni).

Indagini geotecniche

Nell'area nella quale si intende intervenire, è stata eseguita una prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH-Dynamic Probing Super Heavy), eseguita con penetrometro statico/dinamico PAGANI TG 63/200 standard internazionale (ISSMFE) e campionatore tipo "Raymond" a punta chiusa, in modo da approfondire adeguatamente le conoscenze litologico-tecniche dell'area.

Indagini geofisiche

Per ricostruire i profili delle velocità delle onde di compressione (V_p) e di taglio (V_s) e per determinare la velocità media di propagazione delle onde S entro i 30 m. di profondità (V_{s30}), si è ritenuto necessario eseguire una prospezione sismica di superficie con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e, utilizzando la medesima linea sismica, una prospezione sismica di superficie di tipo a "rifrazione" in onde P che consente di verificare la presenza in sottosuolo di "rifrattori", la loro profondità e spessore e, attraverso lo studio dei percorsi e delle velocità della perturbazione elastica indotta, la disposizione geometrica delle discontinuità sismiche di sottosuolo (forma ed inclinazione).

4. Inquadramento geologico

L'area in esame sita in località Stiffe, nel territorio comunale di San Demetrio né Vestini, si inserisce all'interno dell'entità geografica indicata col toponimo di *Media Valle dell'Aterno*, una lunga depressione morfotettonica racchiusa tra rilievi appenninici formati da rocce di età meso-cenozoica.

Questa valle si sviluppa in direzione NO-SE, seguendo l'andamento delle dorsali montuose che la delimitano. Il ripido versante che, dalla sponda destra del fiume Aterno risale fino all'Altopiano delle Rocche, va a culminare in un imponente allineamento montuoso M.te Ocre (q.2204 mt)-M.te Cagno (q.2152 mt)-M.te Sirente (q.2348 mt) che, insieme a M.te Velino (q.2486 mt) e ai Monti della Magnola, fanno da separazione tra l'Abruzzo aquilano e la Marsica. In questo contesto geografico, alla base del versante montuoso, è stato edificato il centro abitato di Stiffe.

Le rocce che affiorano in questa parte del territorio abruzzese appartengono ad unità paleogeografiche meso-cenozoiche riferibili a paleoambienti sedimentari diversificati in conseguenza dei fenomeni tettonici che hanno interessato le formazioni geologiche.

Nel Trias superiore, infatti, in tutta l'area si era instaurato un ambiente di *piattaforma carbonatica* di acqua bassa con cicli tidali e biocostruzioni ad opera essenzialmente di alghe calcaree. Ma alla fine del Lias inferiore un'intensa attività tettonica distensiva provocò lo smembramento della primitiva piattaforma carbonatica con la formazione di un ambiente di mare profondo in corrispondenza dell'attuale catena del Gran Sasso (*facies di scarpata-bacino*) e di una complessa zona di transizione (*facies di transizione*) che da M.te Sirente, passando per il versante orientale della *Media Valle dell'Aterno*, si estende fino a Rocca Calascio.

Nella restante area, nella quale ricade la dorsale montuosa alla base della quale si trova Stiffe, rimase, invece, la *facies di piattaforma* originaria e questo quadro paleoambientale si mantenne sostanzialmente uniforme per tutto il Giurassico ed il Cretacico, fatte salve alcune zone marginali, caratterizzate da depositi lentiformi di bauxite, che emersero.

I materiali sedimentati in questo spazio temporale, costituiti da potenti spessori di rocce calcaree, furono sottoposti nel Mio-Pliocene alla tetto-genesi appenninica.

L'iniziale spinta compressivo-traslative con direttrice NE provocò la disarticolazione della *piattaforma*, la suddivisione in blocchi e la dislocazione degli ammassi rocciosi a quote differenziate cosicché, al termine di questa fase, con l'inizio di movimenti distensivi (Pliocene superiore) si originò quella depressione strutturale che nel Pliocene inferiore fu sede di un vasto bacino lacustre-*lago aquilano*-che si estendeva da Barete fino a Goriano Sicoli, occupando, tra l'altro, la *conca aquilana* e la *conca subequana*.

Tale bacino lacustre venne interessato, nel corso del Quaternario, da un'intensa e diffusa sedimentazione di ambiente continentale, riferibile a due cicli sedimentari (*complesso lacustre*: argille, limi e sabbie e *fluvio-lacustre*: ghiaie e conglomerati), fino alla completa colmatazione, con la formazione di una estesa superficie pianeggiante tuttora ben individuabile.

Successivi movimenti sismo-tettonici demolirono la soglia di sbarramento situata al limite sud-est del bacino (Campana) provocando lo svuotamento del lago residuo e la "scomposizione" della superficie di colmatazione con la dislocazione dei depositi continentali a quote differenziate: si è formata così una tipica struttura a "gradinata", ribassata verso il fondovalle dell'Aterno (S.Eusanio Forconese-Villa S,Angelo-Stiffe-Campana) e innalzata in direzione N-NE (S.Demetrio né Vestini-Poggio Picenze-Barisciano).

Per effetto del progressivo abbassamento del reticolo fluviale, iniziò un nuovo ciclo erosivo e deposizionale ad opera di numerosi corsi d'acqua, di cui il fiume Aterno costituiva e costituisce ancora oggi l'asta fondamentale, che portò all'erosione parziale dei sedimenti pleistocenici. Nelle depressioni vallive così originate si sono accumulati i sedimenti fluviali olocenici che occupano attualmente le piane di fondovalle in cui scorrono i corsi d'acqua principali.

5. Successioni stratigrafiche

Le formazioni geologiche affioranti nell'area dell'abitato di Stiffe e nella zona circostante, sulla base del complesso quadro geologico rappresentato, sono riconducibili a due paleoambienti sedimentari distinti. In effetti il rilevamento geologico dell'area permette di distinguere:

- depositi marini di piattaforma carbonatica;
- depositi di ambiente continentale.

a-Le facies di piattaforma persistente, riferibili al Cretacico inferiore, sono rappresentate da calcari micritici grigio-nocciola organizzati in cicli *shallowing upward* a scala metrica caratterizzati da sedimenti da subtidali a sopratidali di ambiente lagunare con laminazioni, *fenestrae* e livelli stromatolitici. Localmente sono presenti interstrati calcarenitici di spessore modesto, ma molto estesi.

Le litofacies descritte vengono attribuite all'unità dei Calcari Ciclotemici a Gasteropodi (sigla CCG della Carta geologica) del Cretacico inferiore.

Questi calcari si rinvencono lungo l'ultimo tratto della strada (foto 1) che conduce all'ingresso delle Grotte di Stiffe ed affiorano diffusamente all'interno della forra, in sinistra e destra idrografica di Rio la Foce dove danno luogo a pareti verticali, alte oltre 400 metri, dall'aspetto rupestre (foto 2).



Foto 1



Foto 2

La giacitura degli strati, aventi spessori dal decimetro al metro, è essenzialmente NNO con inclinazione modesta da 0-20° (foto 3).



Foto 3: affioramento di rocce calcaree con evidente stratificazione

Gli strati calcarei si presentano molto fratturati, con joints localmente beanti, e stressati con clivaggio spinto soprattutto nel primo tratto della strada che conduce all'ingresso delle grotte (foto 4-5).



Foto 4



Foto 5

b-I depositi di ambiente continentale sono rilevabili nella parte bassa del versante, per una fascia più o meno continua che si estende grossomodo da Casentino a Campana comprendendo l'abitato di Stiffe, e nella piana dell'Aterno.

Nel primo caso si tratta di varie associazioni sedimentarie appartenenti a due cicli di sedimentazione in ambiente lacustre e fluvio-lacustre a carattere limoso-sabbioso-ghiaioso, organizzati in strati e/o lenti, con frequenti episodi erosivi e interdigitati con i sedimenti della pianura alluvionale. Gli affioramenti di questi terreni sono molto limitati dalla presenza di suolo pedogenetico più o meno spesso, dall'antropizzazione, dalla vegetazione e dalle colture. Tuttavia, questi sono stati rinvenuti in alcuni scavi della zona (foto 6-7). A questo tipo di sedimenti sono sovrapposti di luogo in luogo detriti calcarei di versante.



Foto 6



Foto 7

Nella piana di fondovalle, infine, sono presenti i terreni alluvionali olocenici che, in questo settore della *conca aquilana*, sono costituiti da depositi a composizione argilloso-limoso-sabbioso-ghiaiosa di colore bruno profondamente rimaneggiati dalle pratiche agricole.

Geologia di dettaglio

L'area in studio, indicata con la freccia rossa, è ubicata nella piana alluvionale del fiume Aterno.



Foto 8

L'assetto geologico, come si è già scritto, è caratterizzato dalla presenza di formazioni carbonatiche meso-cenozoiche su cui poggiano depositi continentali quaternari appartenenti a diversi ambienti di sedimentazione. Si tratta di varie associazioni sedimentarie poggianti sul *bedrock* calcareo. Nella Carta Geologica redatta su coordinamento del Dipartimento di Protezione Civile Nazionale per il progetto di microzonazione sismica dell'area aquilana (vedi stralcio seguente) e dal relativo profilo geologico con sigla A-B, si rileva che

- nella parte bassa del versante questi terreni rientrano nel *Sistema di Catignano* (sigla ACT) rappresentato da *facies* di conoide distale a carattere limoso-sabbioso-ghiaioso (Pleistocene);
- nella piana di fondovalle i terreni sono costituiti da depositi alluvionali (Olocene-sigla b) a composizione argilloso-limoso-sabbioso-ghiaiosa di colore bruno, sovrapposti, per uno spessore variabile (minimo nel sito in esame), alle alluvioni pleistoceniche.



CARTA GEOLOGICA Stiffe (S. Demetrio ne' V. - AQ)



Capotorti F. & Muraro C.

Legenda

- Deposito antropico (h)** - Terrapieni di spessore metrico. ATTUALE
- Deposito di frana (a1)** - Blocchi isolati di calcare cretatico della dimensione di qualche metro cubo, dovuti a fenomeni di crollo e/o ribaltamento. ATTUALE
- Coltre eluvio colluviale (b2)** - Coperture detritiche costituite da clasti eterometrici sparsi in matrice argilloso-sabbiosa, derivanti dall'alterazione delle rocce del substrato e dei depositi quaternari. Spessore: 1-5m. OLOCENE - ATTUALE
- Deposito di versante (a)** - Detriti di versante a matrice terrosa con clasti calcarei a spigoli vivi eterometrici (da millimetrici a decimetrici). Spessore: 1-10m.
- Deposito di versante con blocchi (aa)** - Detrito di versante formato da grossi blocchi di calcari cretatici di dimensioni fino a qualche metro cubo. Spessore di pochi metri. OLOCENE - ATTUALE
- Depositi alluvionali (b)** - Depositi alluvionali prevalentemente ciottoloso-sabbiosi e subordinatamente sabbioso limosi. Spessore: 1-12m. OLOCENE - ATTUALE
- Sintema di Catignano (ACTa)** - Ghiaie fluviali cementate, con scarsa matrice, formate da ciottoli calcarei eterometrici. Sono visibili soltanto in un piccolo affioramento in corrispondenza della forra di Stiffe. Spessore: pochi metri. PLEISTOCENE medio finale?
- Sintema di Catignano (ACT)** - Limi e subordinate sabbie con strutture tipo foresets e rari livelli di ghiaie da centimetrici a decimetrici. I limi sono da scarsamente a mediamente consistenti e le sabbie da scarsamente a mediamente addensate. In affioramento tali depositi sono stati osservati soltanto in corrispondenza dello scavo effettuato per la localizzazione degli insediamenti provvisori, mentre nel sondaggio antistante la chiesa sono stati attraversati per 23m. Lo spessore minimo, stimato in base ai dati geofisici, è di 10-15m, quello massimo si aggira intorno ai 25m. PLEISTOCENE medio finale
- Calcarei ciclotemici a gasteropodi (CCG)** - Alternanze di calcari fango e granulo-sostenuti, organizzati in cicli peritidali a scala metrica. CRETACICO INFERIORE p.p.

Litologie non affioranti attraversate in sondaggio

- Sintema Aielli - Pescina (AP)** - Argille limose a luoghi debolmente sabbiose, molto consistenti, con intercalati livelli di sabbia fine-media sciolta e satura e ghiaie sciolte con clasti calcarei eterometrici di piccole dimensioni. PLEISTOCENE p.p.?
- | | | |
|---|--|--|
|
Faglia diretta certa

Faglia diretta inferita |
Scarpata morfologica 10-20m

Scarpata morfologica >20m |
Traccia sezione geologica

Microarea di Stiffe |
|---|--|--|

5. Inquadramento geomorfologico

L'attuale morfologia della *media valle dell'Aterno* è la conseguenza di una successione di eventi tettonici e geomorfologici che si sono succeduti a partire dal Pleistocene inf.. Come si è visto nel precedente paragrafo, a partire da questo periodo, in conseguenza di una tettonica distensiva ancora in atto, masse rocciose sono state dislocate lungo faglie dirette

determinando la formazione di un bacino lacustre (*lago aquilano*). In contemporaneità con i movimenti tettonici gli agenti geomorfologici attraverso dinamiche di ambiente lacustre, fluviale e pedemontano hanno modellato il territorio conferendogli nel tempo l'attuale assetto.

I rilievi presentano una morfologia caratterizzata da forme pronunciate, con una notevole acclività dei pendii, con tratti talvolta rupestri, e un'evoluzione geomorfologica di tipo carsico particolarmente marcata, con doline di estese dimensioni (Fossa di Monticchio, Fossa Raganasca, Fossa di Fossa, Fossa di Campana), e cavità di notevole sviluppo come le "*Grotte di Stiffe*" ubicate poco a monte del centro abitato.

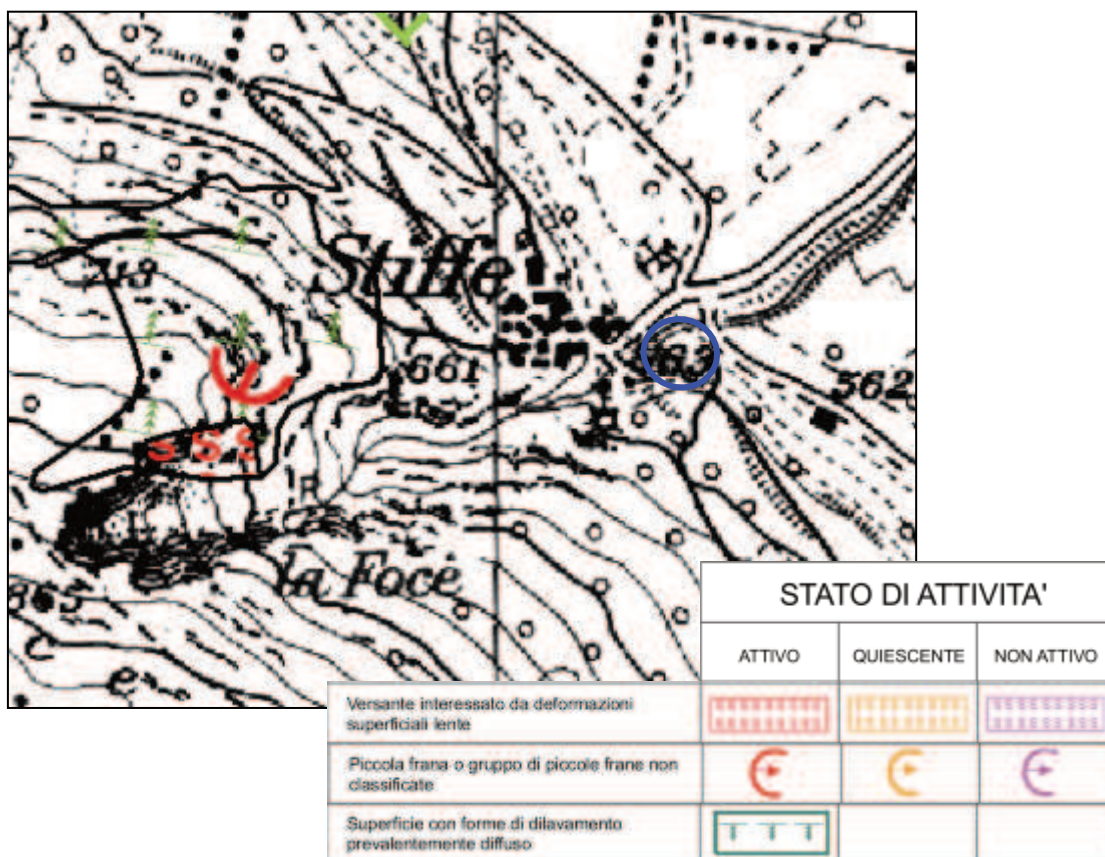
Al piede del versante calcareo risulta morfologicamente evidente, attraverso una netta rottura di pendio, una fascia di transizione, dove è ubicato l'abitato di Stiffe, che lo collega alla piana alluvionale dell'Aterno. Tale forma morfologica è legata alla presenza in affioramento di depositi continentali antichi che hanno subito intensi fenomeni erosivi nel succedersi dei cicli sedimentari del fiume Aterno, e successivamente sono stati soggetti a fenomeni di regolarizzazione di versante che hanno imposto, per la diversa consistenza dei materiali, angoli di acclività inferiori rispetto al soprastante versante roccioso.

L'elemento di maggiore importanza morfologica è certamente la valle fluviale che ha inizio in corrispondenza delle *Grotte di Stiffe*, prodotta dall'erosione del *Rio la Foce* che emerge in corrispondenza dello sbocco delle grotte. Si tratta di un'incisione profonda, tipicamente fluviale, con versanti sub verticali e ripetuti salti di roccia in alveo, testimoni di una evoluzione morfologica del profilo ancora in atto. Con l'esclusione di questo elemento, il versante in corrispondenza dell'abitato si presenta con andamento regolare privo di marcate forme geomorfologiche e con un'acclività media di circa 10°.

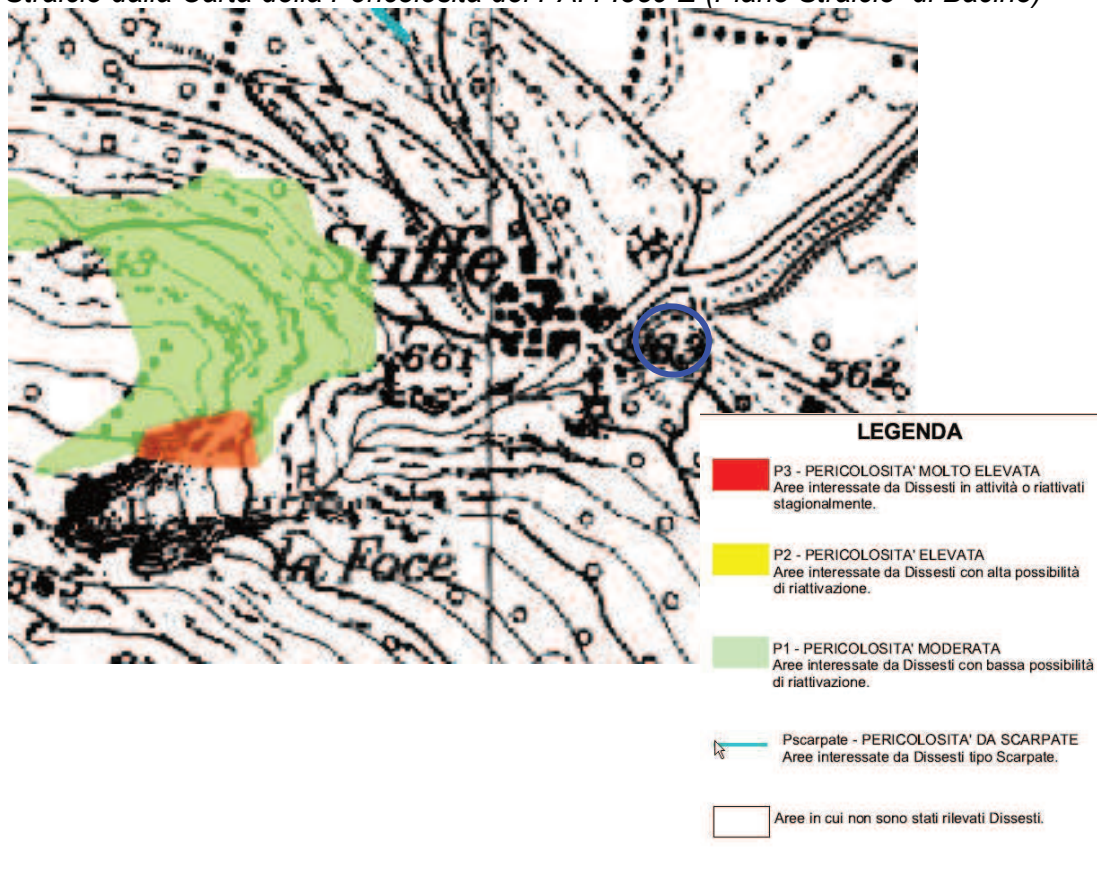
L'area in studio, infine, ad andamento pianeggiante, è ubicata nella piana alluvionale del fiume Aterno. Nell'intorno del sito non sono state rilevate forme associabili a movimenti gravitativi né indicatori morfologici di dissesti in atto o in preparazione. Nel complesso l'area può definirsi in uno

stato di equilibrio geomorfologico. Tale condizione di stabilità (*area bianca*) è confermata anche dall'analisi della cartografia del Piano Stralcio di Bacino (PAI-PSB) della Regione Abruzzo.

Stralcio dalla Carta Geomorfologica del PAI F.359 E (Piano Stralcio di Bacino)

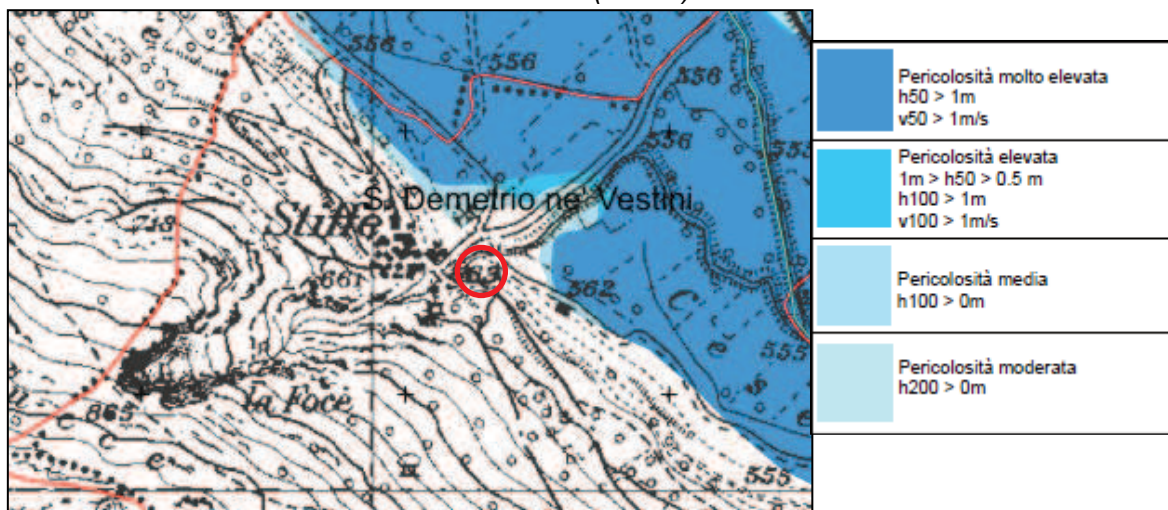


Stralcio dalla Carta della Pericolosità del PAI F.359 E (Piano Stralcio di Bacino)



Infine, l'area risulta non inondabile in quanto esterna alle zone definite pericolose da PSDA (Piano Stralcio Difesa Alluvioni Tavola 7.2.07.at.03 "Aterno 3" in scala 1:10.000),.

Piano stralcio di difesa dalle alluvioni-(PSDA)



6. Idrogeologia

Le sequenze calcaree meso-cenozoiche e quelle detritiche di riempimento della *conca* sono rappresentative di una schematizzazione idrogeologica dell'area in studio. I complessi idrogeologici possono essere denominati come:

- complesso calcareo;
- complesso fluvio-lacustre.

Il complesso calcareo della dorsale montuosa è costituito da litotipi che hanno reagito in modo rigido agli *stress* imposti dall'orogenesi acquisendo un'intensa e diffusa fratturazione che ha molto elevato la loro permeabilità. La circolazione idrica sotterranea è quindi prevalentemente basale e poco influenzata dagli spartiacque superficiali.

Il complesso fluvio-lacustre è costituito da terreni con granulometria molto diversificata che danno origine a depositi argillosi così come ghiaioso-ciottolosi. Tali caratteristiche rendono la sua permeabilità

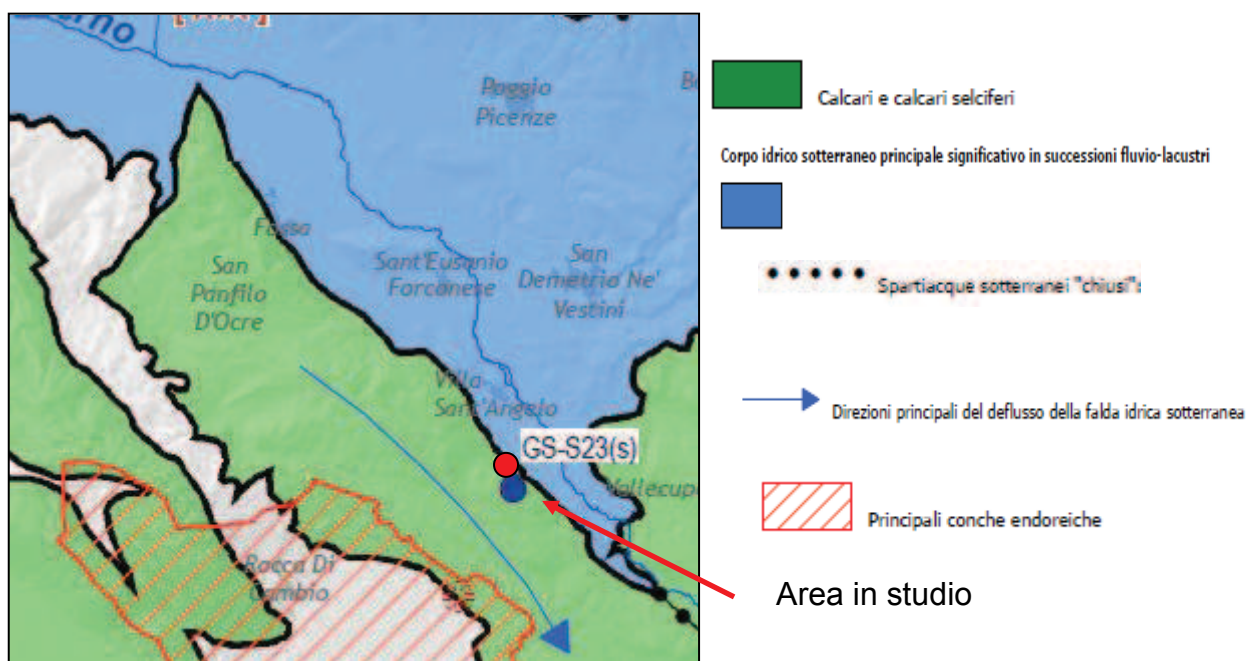
variabile da punto a punto e tale da poter determinare la formazione di falde sovrapposte nelle aree pianeggianti.

I rapporti tra i complessi sono molto articolati per via dei dislocamenti tettonici e delle differenti caratteristiche delle formazioni poste a contatto.

Lungo il bordo orientale della *conca* la presenza al contatto tra il complesso calcareo e quello delle formazioni torbiditiche mioceniche ha determinato un limite di tamponamento che impedisce gli scambi idrici tra essi. Le falde degli acquiferi carbonatici dei rilievi vanno così ad alimentare sorgenti poste fuori dall'area in studio. A questa prevalente direzione dei deflussi profondi fanno eccezione quelli del sistema carsico che trova sbocco nelle emergenze di Stiffe ubicate a monte dell'area in studio. Queste ultime, e il complesso di cavità ad esse associato, vengono alimentate dal sistema di inghiottitoi denominato "Pozzo Caldaio", nella *conca* endoreica dell'Altopiano delle Rocche, a quota 1255 m s.l.m., nel quale defluiscono le acque di scorrimento superficiale dei Piani di Rocca di Mezzo e di Rocca di Cambio.

Nel sito in esame è da escludere, comunque, la presenza di falde idriche che possano interferire con la struttura di fondazione non essendo stata rilevata, nel corso della prova DPSH, la presenza di acqua fino alla profondità di 4,0 metri (aste asciutte).

Stralcio dalla carta Idrogeologica d'Abruzzo – Piano di Tutela delle Acqua



7. Indagine geognostica e sismica

a-Modello geologico e parametrizzazione geotecnica

L'area oggetto di questa relazione, si sviluppa, con andamento pressoché pianeggiante, al margine inferiore dell'abitato di Stiffe.

Per trovare conferma alle informazioni desunte dal rilevamento geologico di superficie e dalla bibliografia sugli aspetti geostrutturali e sulla successione litostratigrafia del sottosuolo nell'area oggetto di questo studio e, soprattutto, per determinare le caratteristiche meccaniche del terreno sul quale verrà realizzata la centrale idroelettrica si è ritenuto opportuno e necessario procedere ad effettuare una prova penetrometrica dinamica (DPSH - v. Localizzazione delle indagini).

Dall'esame dei dati ottenuti dalle prove in situ, risulta che nell'area dell'intervento edilizio sono presenti sedimenti continentali quaternari di origine alluvionale, costituiti da una successione di sabbie limose sovrapposte a depositi ciottoloso-sabbiosi, che da poco addensati (spessore 3,60 m.) diventano molto addensati tanto da determinare il *rifiuto* strumentale della prova (4,0 metri di profondità).

Questa prova ha consentito di ottenere i valori quantitativi sulla resistenza del suolo alla penetrazione e, soprattutto, con il metodo della correlazione, di acquisire i valori dei parametri geotecnici dei terreni indagati⁵.

PROVA n. 1 (DPSH)

Z (MT)	DESCRIZIONE	PARAMETRI GEOTECNICI
0,0-3,60	Orizzonte 1 Sabbie limose Poco addensato	UNITÀ LITOTECNICA 1 N _{SPT} = 7,27 Densità relativa = 58% peso di volume (γ)=1,44 t/mc angolo di attrito interno (φ)=29° modulo edometrico (e _{ed})=700 t/mq
3,60-4,00	Orizzonte 2 Ghiaie in matrice sabbiosa Molto addensato	UNITÀ LITOTECNICA 2 N _{SPT} = 79,49 Densità relativa = 100% peso di volume (γ)=1,96 t/mc angolo di attrito interno (φ)=50° modulo edometrico (e _{ed})=3925 t/mq

⁵ In maniera cautelativa, le ghiaie in matrice sabbiosa vengono associate in un unico orizzonte (Orizzonte 2-U.L.2) e per esse si assumono i valori geotecnici minori (strato 3,60-3,80).

Il rilevamento geologico di superficie, confermato dalle indagini effettuate in situ, ha consentito di ricostruire la sequenza stratigrafica nel sito edificatorio.

La formazione presente nel sottosuolo, per l'intero spessore che può essere interessato dall'interazione manufatto-terreno, è costituito da sabbie e ghiaie calcaree il cui addensamento aumenta notevolmente con la profondità, come confermato dai risultati della prova sismica.

Le caratteristiche morfologiche e litologiche consentono la realizzazione di fondazioni dirette. La modellizzazione geotecnica del sito, però, deve tener conto, opportunamente, della presenza dell'Orizzonte 1 (U.L.1) dalle ridotte caratteristiche geotecniche, con un valore di N_{STP} minimo uguale a 7,27, sottolineando, comunque, che, rimuovendo almeno per un metro lo strato superficiale e sostituendolo con materiale sabbioso-ghiaioso (*misto di cava*) opportunamente costipato, risulta estremamente improbabile, in relazione alla modestia del sovraccarico esercitato dalla nuova struttura, che si verifichino fenomeni di cedimento che possano compromettere l'opera in progetto.

Durante l'esecuzione delle indagini, si ribadisce, non è stata rilevata la presenza della falda acquifera fino alla profondità indagata (aste di perforazione asciutte).

I parametri geotecnici forniti (parametri nominali: media dei valori estesa ai dati di archivio personale) non possono essere utilizzati nelle verifiche per il dimensionamento geotecnico delle fondazioni. Infatti, ai sensi delle NTC, nella caratterizzazione geotecnica del volume significativo i parametri geotecnici dei terreni di fondazione non vengono più definiti in termini di valori deterministici ma di variabili aleatorie ed il trattamento statistico deve riguardare il sottoinsieme di dati estratti dal campione disponibile, corrispondenti all'estensione (profondità) del volume significativo stesso in relazione alla profondità del piano di fondazione, della sua tipologia e geometria e in considerazione del volume "piccolo" o "grande" di terreno interessato dalle superfici di rottura in rapporto alle fluttuazioni stocastiche dei parametri geotecnici. Attenendosi alle istruzioni

per l'applicazione delle NTC e alle indicazioni dell'Eurocodice 7, infatti, il valore caratteristico è definito come una *stima cautelativa* del valore che influenza l'insorgere dello stato limite, ossia di una determinata superficie di rottura; *la stima cautelativa consiste nel 5° percentile della distribuzione della media o del campione.*

Nel caso in esame, quindi, la determinazione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici all'interno di uno strato omogeneo e dello spessore di influenza nello stato limite considerato, deve essere eseguita trattando statisticamente, e separatamente, le popolazioni dei parametri geotecnici direttamente derivabili dai valori N_{DP} , opportunamente correlati con N_{SPT} , mediante le relazioni disponibili nella bibliografia geotecnica. Tale trattamento è oggetto della relazione geotecnica (NTC).

Inoltre, per la determinazione dei valori caratteristici all'interno di uno strato omogeneo nello spessore di influenza e nello stato limite considerato, valgono le seguenti regole:

A-generalmente si utilizza il modello di distribuzione statistica normale per la distribuzione di ϕ (essendo solitamente caratterizzato da basse varianze) ed il modello di distribuzione statistica log-normale per la distribuzione di c' , CU, Eed e degli altri parametri;

B-se esiste compensazione spaziale (volume dello stato limite, o suo spessore in una dimensione, significativamente maggiore della lunghezza delle fluttuazioni dei parametri di resistenza del terreno), allora il valore caratteristico corrisponde al 5° percentile della distribuzione della media ed è generalmente non molto distante dalla media stessa (valori prossimi ai valori medi);

C-se esiste compensazione strutturale (fondazioni sufficientemente rigide tali da distribuire le sollecitazioni omogeneamente sul terreno), allora il valore caratteristico corrisponde, come nel caso precedente, al 5° percentile della distribuzione della media ed è generalmente non molto distante dalla media stessa (valori prossimi ai valori medi);

D-se non esiste né compensazione strutturale né compensazione spaziale, allora il valore caratteristico è il 5° percentile della distribuzione

statistica del campione, ed è generalmente piuttosto distante dalla media (valori prossimi ai valori minimi).

b- Indagine geofisica

Per la caratterizzazione sismica del suolo di fondazione richiesta dal D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni), si è provveduto ad effettuare una prospezione geofisica di superficie di tipo MASW (con stendimento della lunghezza di 33,0 metri, a mezzo di basi da 24 canali con distanza intergeofonica di m.3,0 e una serie di energizzazioni su piastra di alluminio con sistema energizzante a mazza battente dotata di trigger e unità di acquisizione ECHO 24/2002 Seismic UNIT) al fine di definire le geometrie del sottosuolo, la velocità delle onde sismiche di taglio (onde S) per stimare la categoria di suolo di fondazione ai sensi della normativa vigente (D.M. 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni).

I risultati dell'indagine, che fanno parte integrante di questa relazione, hanno consentito di individuare, sulla base dei valori medi della propagazione delle onde di taglio, 3 sismostrati.

Tuttavia, dall'analisi geologica eseguita e dall'interpretazione dei dati ottenuti, è possibile ricostruire la locale successione stratigrafica schematizzandola nel modo seguente:

- orizzonte 1: sabbie limose e ghiaie alluvionali (Olocene) fino a circa 6 metri di profondità con valori crescenti di Vs da 201 a 318 m/s ma inferiori a 360 m/s;

- orizzonte 2: depositi ghiaioso-sabbiosi pleistocenici con Vs=606 m/s.

Il profilo della velocità delle onde di taglio conferma la situazione stratigrafica del sottosuolo descritta in precedenza con un valore crescente dell'addensamento dei materiali sedimentari.

9. Rischio sismico

Il territorio del Comune di S.Demetrio attualmente rientra in zona sismica Z=2 secondo la OPCM 3274 del 2003 con un valore di accelerazione massima al suolo a_g è pari a 0,25g.

Nel corso del 2006, l'OPCM 3519 ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04 quale riferimento ufficiale ed ha definito i criteri che le regioni devono seguire per aggiornare le afferenze dei comuni alle 4 zone sismiche. Tuttavia questa ordinanza non obbliga le regioni ad aggiornare tali afferenze.

Secondo la mappa MPS04, tutta la zona colpita dal terremoto del 6 aprile, compreso il territorio del Comune di S.Demetrio, ricade nella fascia ad elevata pericolosità sismica e, pertanto potrebbe essere assegnata per intero alla zona sismica 1. In ogni caso, le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018), in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primaria per la determinazione delle azioni sismiche.

Ai fini dell'azione sismica di progetto, la normativa prevede la caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del sottosuolo definendo le categorie dei terreni in funzione della velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno (V_{s30}).

SUOLO DI FONDAZIONE	VS30
A <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>	> 800 m/s
B <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.</i>	>360 m/s <800 m/s
C <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.</i>	>180 m/s <360 m/s
D <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità.</i>	<180 m/s
E <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>	<360 m/s

Categorie di suolo di fondazione

Nel rispetto del DM 17/01/2018, la Risposta Sismica Locale è stata individuata attraverso il calcolo del valore medio delle Vs nei primi trenta metri di profondità (Vs30). Dal calcolo, effettuato a partire dai dati della stratigrafia sismica della prova MASW, è risultata una velocità di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio:

$$Vs30 = 478,8 \text{ m/s}$$

Sulla base di questi risultati, al profilo di sottosuolo può essere assegnata la **categoria B** caratterizzata da *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m., caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s”*.

In relazione alla situazione geomorfologica del sito in esame, si può attribuire la **categoria topografia T1 (ST=1)** secondo quanto stabilito dalla seguente tabella contenuta nelle NTC:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Calcolo pericolosità sismica di base

Coordinate del sito in studio nel reticolo di riferimento:

Lat. N 42,25718 - Long. E 13,53951;

Vita di riferimento VR (VR =VN ×CU):

-edificio di classe II (Costruzioni il cui uso preveda affollamenti non significativi);

-coefficiente d'uso CU =1,0,

-vita nominale VN ≥ 50 a

VR = 50 anni

Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR per i quattro SL: P_{VR} = 81% - 63% - 10% - 5%

6 Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute e di importanza normale.

I periodi di ritorno $T_R = \frac{V_R}{1 - P_R}$ associati agli stati limiti e i parametri sismici su suolo rigido in condizioni free field alle coordinate sopra indicate sono riportati nella tabella successiva:

Valori delle forme spettrali su sito di riferimento rigido orizzontale					
STATO LIMITE		T_R	a_g	F₀	T_c*
		[anni]	[g]	[-]	[s]
SLE	SLO	30	0,079	2,394	0,273
	SLD	50	0,104	2,331	0,282
SLU	SLV	475	0,261	2,365	0,348
	SLC	975	0,334	2,401	0,365

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* , alle coordinate del sito, per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

Coefficienti di amplificazione sismica

In virtù della categoria di appartenenza del profilo dei suoli di fondazione (**cat. B**) e dell'andamento topografico dell'area (**T1**) per il calcolo degli spettri di progetto il progettista potrà fare riferimento ai seguenti coefficienti di amplificazione stratigrafica e valori delle forme spettrali⁷:

Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali (limitatamente al parametro F _v)								
STATO LIMITE		S _S	C _C	S	T _B	T _C	T _D	F _V
		[adim]	[adim]	[adim]	[s]	[s]	[s]	[adim]
SLE	SLO	1,200	1,426	1,200	0,130	0,389	1,917	0,909
	SLD	1,200	1,417	1,200	0,133	0,400	2,017	1,016
SLU	SLV	1,153	1,359	1,153	0,157	0,472	2,642	1,630
	SLC	1,079	1,346	1,079	0,164	0,491	2,936	1,873

Parametri dello spettro di risposta orizzontale per gli SL

Per le componenti verticali, i valori di a_g , F_0 , S e η sono quelli definiti per le componenti orizzontali, mentre i valori di S_S , T_B , T_C e T_D , salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella tabella seguente:

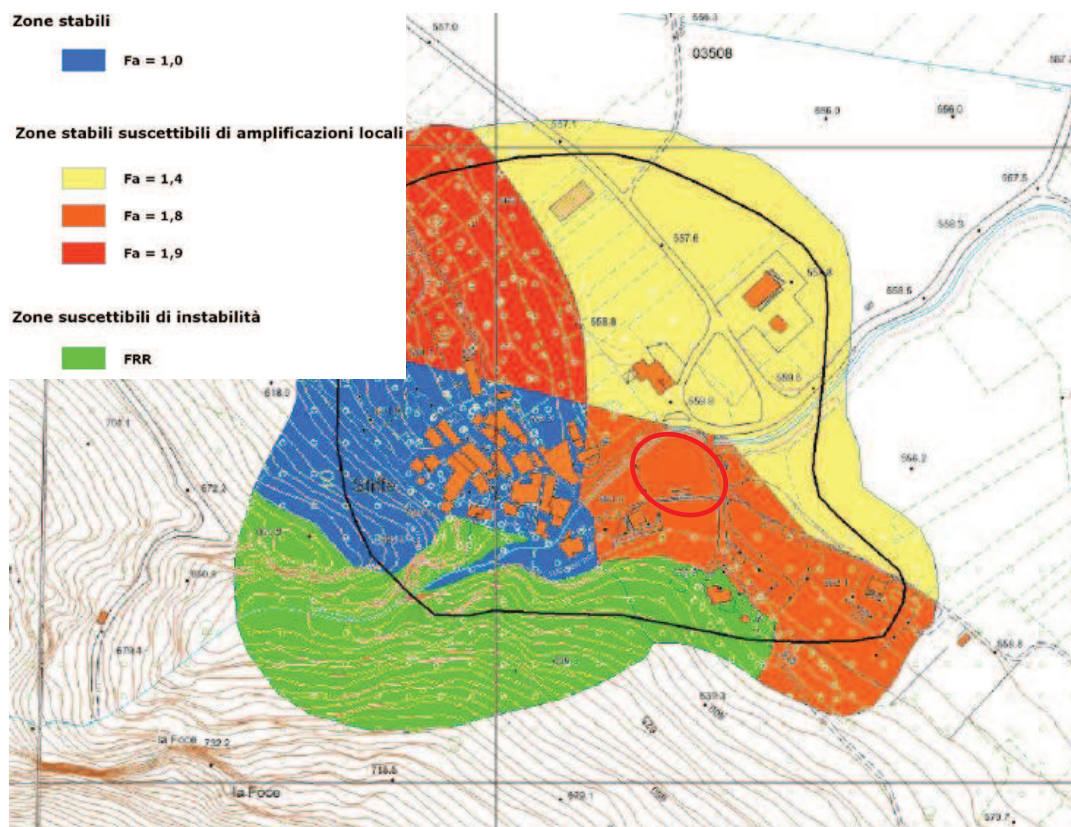
Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale				
Categorie di sottosuolo	S_S	T_B	T_C	T_D
	[adim]	[s]	[s]	[s]
A, B, C, D, E	1,00	0,05	0,15	1,00

Parametri dello spettro di risposta verticale per gli SL

⁷ Per la stima dei parametri dello spettro di risposta è stato utilizzato il programma di calcolo fornito dal Consiglio Superiore dei LL.PP.. Tuttavia, tali elaborazioni sono soltanto indicative e sarà compito dei progettisti eseguire i necessari approfondimenti.

Come indicato dalla normativa, per tenere conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizza il valore del coefficiente topografico $ST = 1$ precedentemente definito.

Va evidenziato che la Carta di Microzonazione Sismica di Livello 3 (vedi stralcio allegato) dello Studio di Microzonazione Sismica della Conca Aquilana relativa a Stiffe⁸, riporta il sito in esame inserito all'interno del perimetro che delimita una zona stabile suscettibile di amplificazione locale con un fattore di amplificazione $FA = 1,8$.



L'accelerazione sismica di base alle coordinate del sito in esame per un periodo di ritorno di 475 anni⁹ è pari a $0,261g$ per cui l'accelerazione orizzontale massima (di picco o PGA) attesa al sito, classificato nella categoria B di sottosuolo, risulta:

$$a_{max} = S_s \cdot a_g = 1,153 \cdot 0,261g = 0,300g \text{ (normativa)}$$

$$a_{max} = S_s \cdot a_g = 1,800 \cdot 0,261g = 0,469g \text{ (studio MZS)}$$

⁸ Progetto Microzonazione Sismica per la Ricostruzione. Macroarea 7. Dipartimento di Protezione Civile, ISPRA e P.C. Regione Abruzzo.

⁹ corrispondente allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

E' affidata al progettista, in relazione alle caratteristiche e all'importanza dell'opera, la scelta progettuale più opportuna¹⁰.

10. Conclusioni

L'area sulla quale verrà effettuato l'intervento edilizio si sviluppa, con andamento pressoché pianeggiante, nella piana del fiume Aterno, all'interno di una entità geografica indicata con il toponimo di "*Media Valle dell'Aterno*".

Questa valle, insieme alla *conca aquilana*, costituisce una estesa depressione di origine tettonica allungata in direzione NO-SE e racchiusa tra alti rilievi costituiti da rocce prevalentemente calcaree di età mesozoica

La depressione morfotettonica, occupata da un lago, fu sede di una intensa e diffusa sedimentazione pleistocenica con depositi continentali lacustri, fluvio-lacustri e fluviali.

Dal punto di vista stratigrafico, il sottosuolo dell'area d'intervento è formato da sedimenti continentali quaternari limoso-sabbioso-ghiaiosi (b-Olocene) sovrapposti a quelli pleistocenici (ACT).

I risultati della prova penetrometrica DPSH hanno accertato che i materiali indagati, fatta esclusione per le sabbie limose superficiali poco addensate (spessore 3,60 m.), man mano, con la profondità, diventano più addensati tanto da determinare il *rifiuto* strumentale della prova (4,0 metri di profondità).

La prospezione sismica di tipo MASW, ha consentito di attribuire il suolo di fondazione alla **categoria B**.

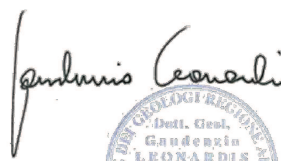

Per quanto riguarda la situazione morfologica, governata dall'assetto tettonico generale e dai processi erosivi prodotti dallo scorrimento delle acque superficiali, l'area sulla quale verrà effettuato l'intervento edilizio non presenta forme associabili a movimenti gravitativi avvenuti né indizi morfologici significativi che indichino processi dissestanti

¹⁰ A parere del sottoscritto il valore FA=1,8 è eccessivo.

in atto o in preparazione. Inoltre l'area, inserita nella cartografia del Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA), non è soggetta ad alluvionamento.

In definitiva, nel quadro geologico-strutturale delineato, si ritiene che l'intervento edificatorio in oggetto sia compatibile con le condizioni geomorfologiche del sito e che le caratteristiche geotecniche del terreno consentano l'adozione di una struttura di fondazione di tipo diretto, escludendo che essa possa essere interessata dalla presenza di falde idriche sotterranee.

S.Demetrio, Maggio 2018

BIBLIOGRAFIA

- APAT – Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia – Note Illustrative della Carta Geologica alla scala 1:50.000 – F. 358 (2006)
- ALBERTI A. – BENEIO E. – MANFREDINI M. – SCARSELLA F. – Note illustrative della carta geologica d'Italia – F. 139 L'Aquila (1955)
- BENEIO E. – Tettonica della valle dell'Aterno (Abruzzo) – Boll. Uff. Geol. Ital. (1940)
- BENEIO E. – Note illustrative della carta geologica d'Italia – F. 146 Sulmona (1943)
- BERTINI T–TOTANI G–CUGISI F–FARRONI A–Caratterizzazione geologica e geotecnica dei sedimenti quaternari del settore occidentale della conca aquilana– Q. DISAT università di L' Aquila (1992)
- BERTINI T. – BOSI C. – Geologia della media valle dell'Aterno - Mem. Soc. geol. 9 (1970)
- BOSI C. – Osservazioni preliminari su faglie probabilmente attive nell'Appennino centrale. Boll. Soc. Geol. It-94 (1975)
- BERTINI T.– BOSI C. – La tettonica quaternaria della conca di Fossa– Il Quaternario 6 (1993)
- BLUMETTI A.M. – CAVINATO G.P. – TALLINI M – Evoluzione plio-quaternaria della conca di L'Aquila-scoppito: studio preliminare – Il Quaternario 9 (1996)
- BOSI C. – GALADINI F. – MESSINA P. – Neotectonic significance of bedrock fault scarps: case studies from the Lazio-Abruzzi Apennines (central Italy) – Geomorph. Suppl. (1993)
- BOSI C. – MESSINA P. – Ipotesi di correlazione fra successioni morfo-litostratigrafiche plio-pleistoceniche nell'Appennino laziale-abruzzese – Studi Geologici Camerti (1991)
- CALABRESI G. – Determinazione e scelta dei parametri geotecnici che intervengono nel calcolo dei cedimenti delle fondazioni – Atti delle conferenze di geotecnica di Torino Il ciclo (1971)
- COLACICCHI R. – Le caratteristiche delle facies abruzzesi – Mem. Soc. geol. (1966)
- DEMANGEOT J. – Geomorfologie des Abruzzes Adriatiques – CNRS Paris (1965)
- DEMANGEOT J. – Neotectonique et depots quaternaires dans l'Apennin - Ass. NAz. Lincei. (1973)
- FOCARDI PIERO – La progettazione della campagna geognostica per la caratterizzazione dei terreni e la definizione del modello geotecnico – Giornale di Geologia Applicata 2 (2005)
- GALADINI F. – GIRAUDI C. – GIULIANI R. – su alcune dislocazioni di un detrito di versante in un'area tettonicamente attiva (Il Tagno-media Valle dell'Aterno) - Boll. Soc. Geol. It-110 (1991)
- GALADINI F. – MESSINAP. – SPOSATO A.- tettonica quaternaria nell'Appennino centrale e caratterizzazione dell'attività di faglie nel Pleistocene superiore-Olocene – CNR-Istituto di ricerca sulla tettonica recente (1999)
- GHISSETTI F., VEZZANI L. (1996), Geometrie deformative ed evoluzione cinematica dell'Appennino Centrale, Studi Geologici Camerti vol. 24 (1996-1997), Camerino, 127-154.

LEONARDIS F. – Rilevamento geologico della zona centrale della media valle dell'Aterno – Università degli Studi di Perugia -inedito- (2002)

MARCHETTI S. – Indagini in sito per la caratterizzazione meccanica ed ambientale del sottosuolo. Il dilatometro piatto. Atti delle conferenze di geotecnica di Torino XVIII ciclo (2001)

PASQUALINI E. – Standard Penetration Test – Atti di Scienza delle costruzioni. Politecnico di Torino (1983)

MARINI G. – Il lago Pleistocenico della conca de L'Aquila – CET Lanciano (1967)

PETITTA M. – TALLINI M. – Studi idrogeologici preliminari ad una valutazione della vulnerabilità degli acquiferi della piana L'Aquila-Scoppito – Q. DISAT Università di L'Aquila (2000)

PETITTA M. – TALLINI M. – Idrodinamica sotterranea del massiccio del Gran Sasso (Abruzzo): nuove indagini ideologiche, idrogeologiche e idrochimiche (1994-2001). Boll. Soc.Geol. 121 (2001)

VEZZANI L. – GHISSETTI F. – Carta geologica d'Abruzzo (1998)

<http://www.igag.cnr.it/>

<http://www.marchetti-dmt.it/>

<http://www.associazionegeotecnica.it>

<http://www.geologi.it>

<http://www.geologia.com>

<http://www.consiglionazionalegeologi.it>

<http://www.socgeol.it/>

<http://www.apat.it/>

<http://www.isprambiente.it/site/it-IT/>

<http://www.regione.abruzzo.it/pianofrane>

<http://www.regione.abruzzo.it/pianoalluvioni>

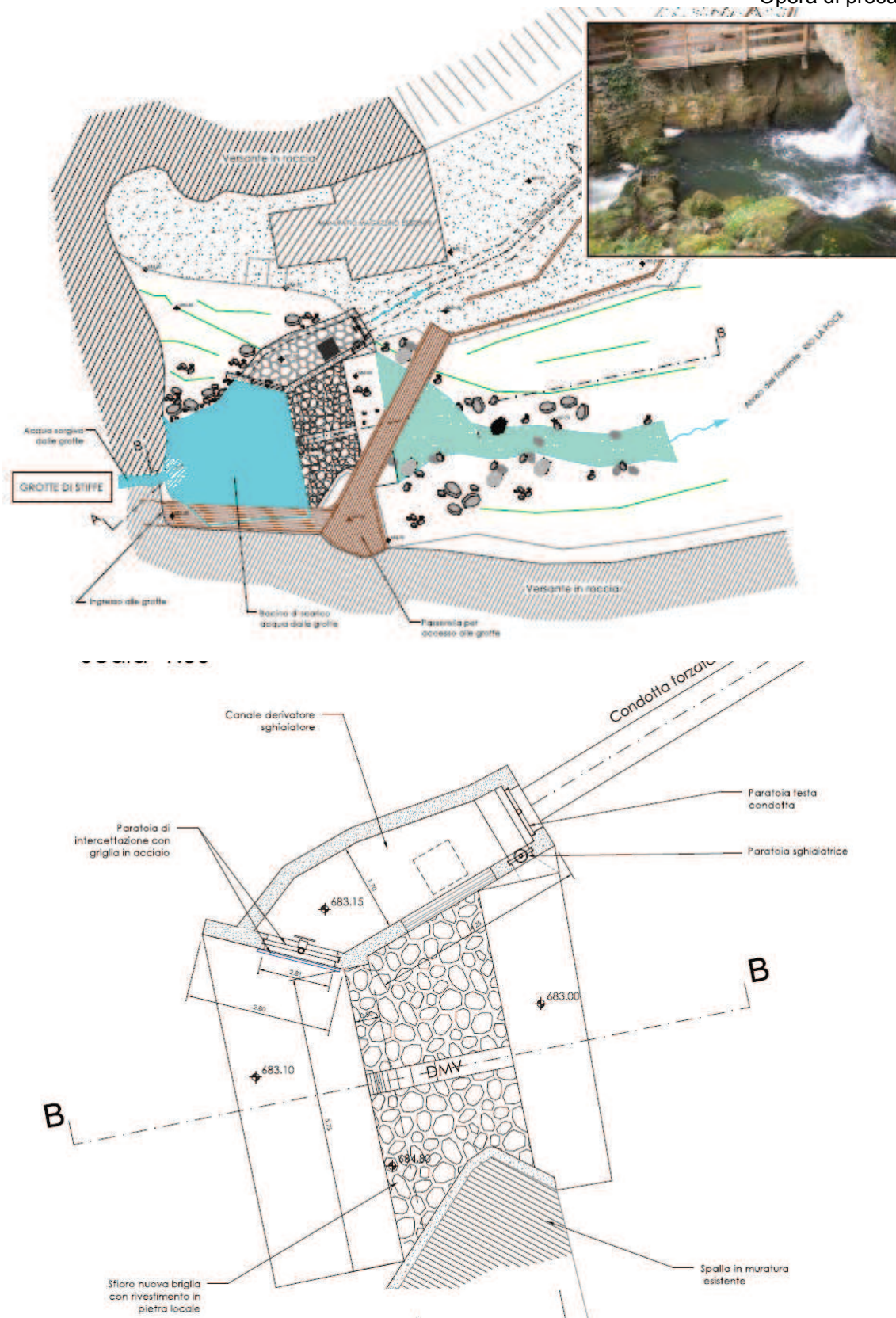
<http://aiqua.irtr.rm.cnr.it/>

<http://esse1.mi.ingv.it/>

<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

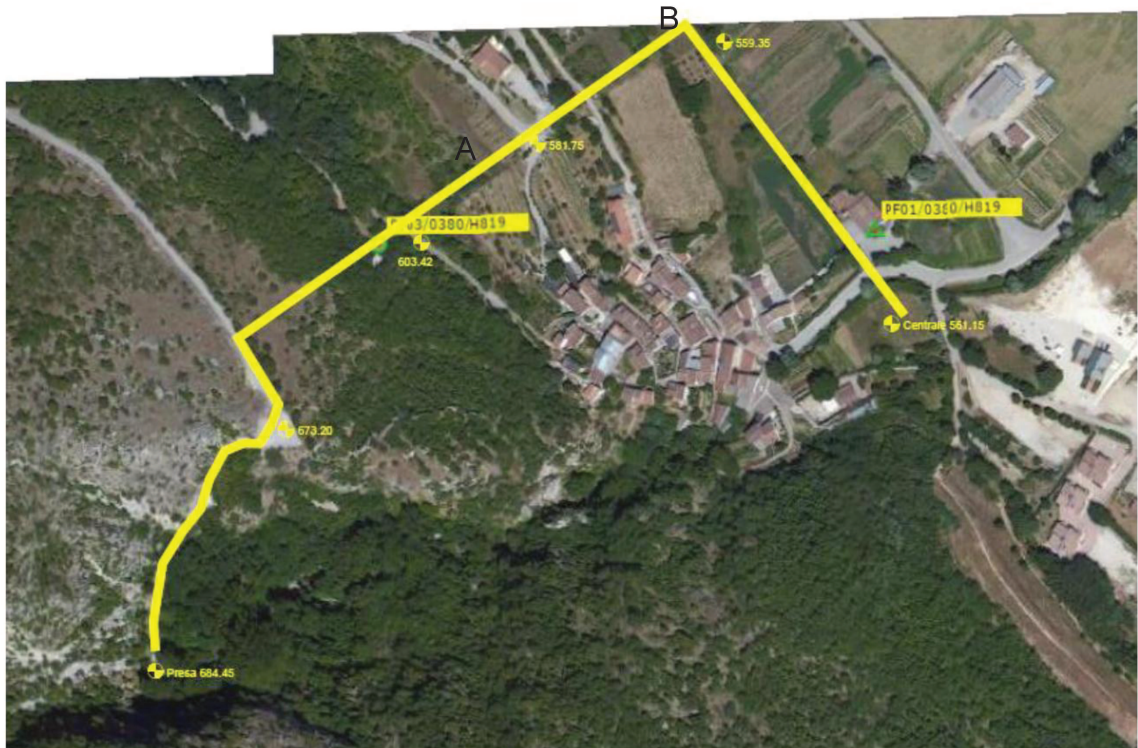
Allegati

Opera di presa

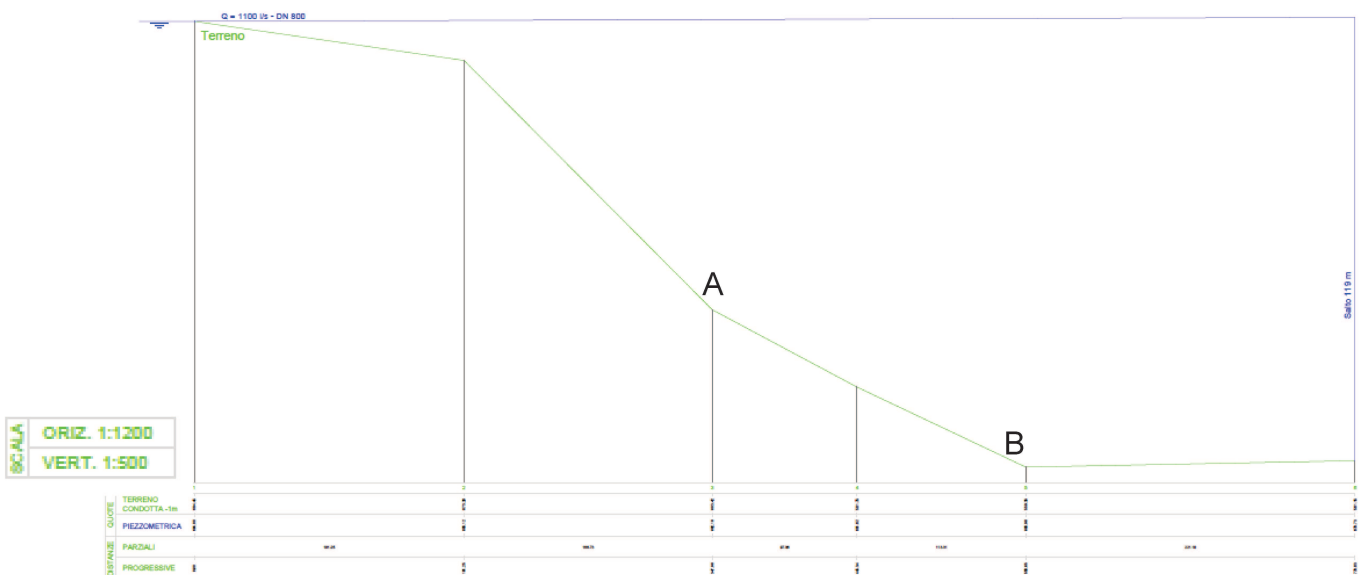


L'opera di presa sarà impostata in corrispondenza dell'ingresso turistico alle Grotte di Stiffe ed interesserà blocchi e strati di calcare affiorante.

Il tracciato della condotta forzata



Profilo della condotta forzata



La condotta forzata si sviluppa in sinistra idrografica di Rio Foce. Il primo tratto del tracciato, dall'opera di presa fino al punto A dell'ortofoto, interesserà gli strati calcarei (CCG della Carta geologica); quindi, intercetterà limi sabbiosi e ghiaiosi del versante (ACT della Carta geologica) fino al punto B; infine, l'ultimo tratto fino alla centrale, sarà realizzato nei sedimenti alluvionali olocenici (b della Carta geologica).

Giulio Leonardi



CENTRALE HYDROWATT

**INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA
CENTRALE HYDROWATT
A STIFFE DI SAN DEMETRIO NE' VESTINI (L'AQUILA)
MAGGIO 2017**

RAPPORTO D'INDAGINE



*GEO L'AQUILA s.r.l. – via Casella n.14 - 67100 L'Aquila
Sede operativa: Nucleo Industriale loc. "S. Lorenzo" – Fossa (AQ) - 0862 755102*

Nel presente rapporto sono riportati i risultati dell'indagine geognostica e sismica eseguita a ridosso dell'abitato della frazione Stiffe del comune di San Demetrio ne' Vestini (L'Aquila).

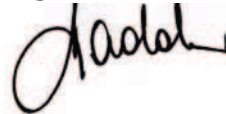
L'indagine, eseguita con la direzione tecnica dell'**Dott. Geol. Gaudenzio LEONARDIS**, è consistita nell'esecuzione di n.1 prova penetrometrica dinamica, n.1 prova sismica tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) e n.1 prova sismica a rifrazione.

La prova penetrometrica dinamica è stata eseguita con penetrometro dinamico superpesante tipo Pagani TG 63-200.

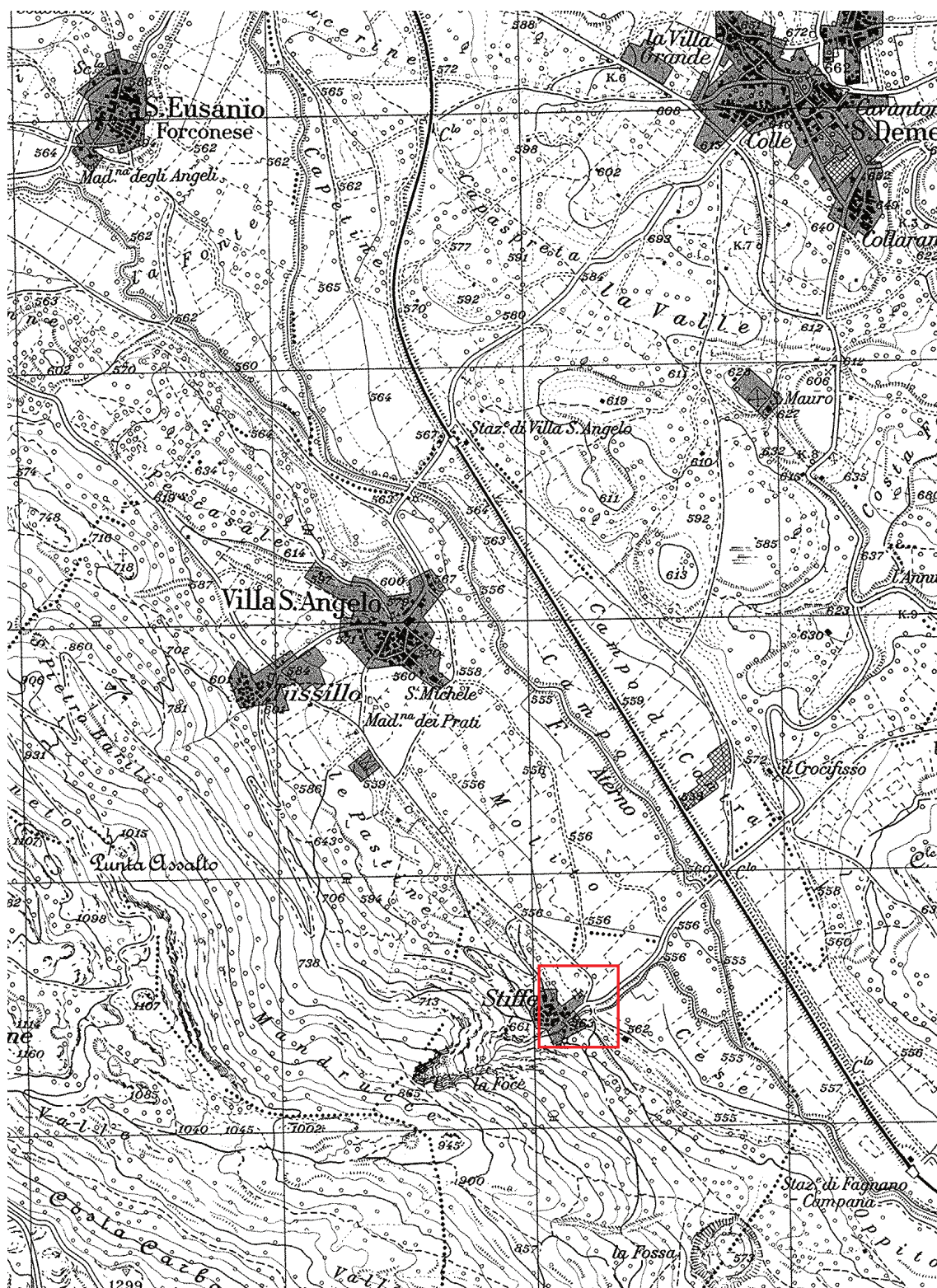
Nel seguito sono riportati:

- stralcio della Carta Topografica Regionale in scala 1:25.000;
- foto aerea con l'ubicazione delle prove;
- risultati prove MASW e sismica a rifrazione;
- risultati prova penetrometrica dinamica;
- documentazione fotografica.

Ing. Bruno Taddei



STRALCIO DELLA CARTA TOPOGRAFICA REGIONALE (1:25.000)





PROVA M.A.S.W. E SISMICA A RIFRAZIONE

PREMESSA

La prova M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente la misurazione in sito delle velocità delle onde superficiali a diverse frequenze.

Nel metodo in esame si analizzano le sole onde di Rayleigh, trascurando gli effetti dovuti alle onde P e S, in quanto le prime trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente e subiscono un'attenuazione geometrica inferiore alle P e S, dovuta al fatto che si propagano su fronti d'onda cilindrici e non sferici.

Una volta noto il profilo di velocità delle onde di taglio lungo la verticale di indagine, risulta immediata la determinazione del parametro $V_{s,eq}$ e la valutazione della **categoria di sottosuolo** ai sensi del D.M.17-01-2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

Inoltre, accettando l'assunzione che il materiale indagato sia un mezzo omogeneo, isotropo e con comportamento elastico, è possibile calcolare i valori dinamici medi di parametri meccanici quali modulo di Young, di taglio, di compressibilità e coefficiente di Poisson. Tali valori sono propri, data la natura della prova, di stati di deformazione molto contenuti, bene al di sotto della soglia elastica lineare del materiale.

La metodologia della prospezione sismica M.A.S.W. presenta, tra gli altri, il vantaggio di conservare la sua attendibilità anche in presenza di stratificazioni caratterizzate da velocità delle onde di taglio decrescenti con la profondità.

Il metodo sismico a rifrazione è basato sul fenomeno della birifrazione delle onde elastiche prodotte da una sorgente e caratterizzate da un fronte d'onda conico.

Fissata una certa direzione, dalla sorgente posta in uno specifico punto partono delle onde che successivamente tornano in superficie e possono essere rilevate da geofoni posti lungo uno stendimento avente stessa direzione di cui sopra. Tali onde sono di tipo diretto, riflesso o birifratte. Quest'ultime, di interesse nel metodo in questione, giungono sulla superficie di separazione con angolo di incidenza critico, sono

rifratte con un angolo retto e si propagano parallelamente alla superficie di discontinuità per poi essere ancora rifratte in direzione della superficie con il medesimo angolo d'incidenza.

Ipotizzando che il mezzo di propagazione sia di tipo elastico, omogeneo ed isotropo, il metodo individua le proprietà del mezzo e la variazione delle stesse dovuta, tra l'altro, a differenze sismo-stratigrafiche.

Si individuano le seguenti fasi fondamentali:

- individuazione dei primi arrivi;
- calcolo delle dromocrone in base al modello interpretativo del terreno;
- calcolo delle velocità di propagazione delle onde P e dei relativi tempi di intercetta;
- definizione del modello di sottosuolo.

ACQUISIZIONE DATI

La prova è condotta approntando uno stendimento rettilineo di 12 geofoni ad interasse costante pari a 3,0 m per una lunghezza complessiva di 33,0 m. In seguito si effettua una serie di energizzazioni superficiali in onde P su ogni estremità dello stendimento, ad una distanza di 3,0 m dal primo e dall'ultimo geofono, ed una serie al centro dello stendimento, tra i geofoni n.6 e n.7.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Sismografo Ambrogeo ECHO 24/2002 Seismic UNIT a 24 canali

Number of channels	24
Sampler interval	0,296 msec
A/D Conversion	16 bit
Amplifiers	
Input impedance	1 KOhm
Gain	10 dB - 100 dB, step 1 dB
Saturation tension	+/- 2,3 V
Saturation level	100 dB
Distorsion	0,01%
Sampler	25 msec (191 points) 50 msec (383 points) 100 msec (756 points) 200 msec (1530 points) 400 msec (3060 points) 800 msec (6121 points)
Sampling	130 micro/sec
Record lenght	25-50 -10 -20 -400-800 millisec
Filter low pass	from 50 to 950 Hz, step 1 Hz
Digital Filter (Fir) low pass	1000-900-800-700-600-500-400-300-200-100-50 Hz
Digital Filter (Fir) high pass	0-25-50-75-100-125-150-175-200-225-250 Hz
Frequency response	7-950 Hz, filter at 950 Hz
Dynamic range	93 dB
Noise	0,66 uV rms, gain = 55 dB
Crosstalk	52 dB, gain = 55 dB
Power	12 V



- Geofoni ad asse verticale con frequenza di taglio pari a 4,5 Hz



- Trigger: sistema elettronico che, nell'istante dell'energizzazione, invia un impulso al sismografo che a sua volta lo interpreta come inizio della registrazione delle onde.
- Apparato energizzante: mazza battente rispettivamente su di una piastra di alluminio in senso verticale, come sorgente di onde P.



- Notebook collegato al sismografo e dotato di software di acquisizione e di elaborazione dati.

ELABORAZIONE DATI

L'elaborazione dei dati della **prova M.A.S.W.**, effettuata con il software SWAN, consiste dapprima nell'individuare la curva di dispersione apparente sperimentale, frutto dell'interazione tra tutti i modi di Rayleigh, e poi nel cercare la curva di dispersione apparente numerica, a partire da un modello sintetico di sottosuolo, che meglio approssimi quella sperimentale. Tanto più è piccolo lo scarto relativo tra le due curve e maggiore è la probabilità che il profilo delle velocità delle onde di taglio sia quello più realistico.

Una volta noto il profilo delle suddette onde di taglio è immediato il calcolo del parametro **$V_{s,eq}$** e la valutazione della **categoria di sottosuolo** ai sensi del D.M.17-01-2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

L'interpretazione dei dati della **sismica a rifrazione** è effettuata servendosi del software Intersism 2.1.

MODULI ELASTO-DINAMICI

$$E_d = \rho \cdot V_s^2 \cdot \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2}$$

Modulo di Young dinamico

$$G_d = \rho \cdot V_s^2$$

Modulo di taglio dinamico

$$Kd = \rho \cdot \left(V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$$

Modulo di compressibilità dinamico

$$\nu = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

Coefficiente di Poisson dinamico

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

paragrafo 3.2.2 del D.M. 17-01-2018 – NTC

Premesso che l'azione sismica relativa al sito di riferimento rigido differisce da quella effettiva che interessa l'opera, si rende necessario tenere conto, oltre che di altri fattori, delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera medesima. Queste infatti tendono a modificare l'azione sismica in superficie, rispetto a quella attesa su un sito rigido, in ampiezza, durata e spettro di frequenze. La stima di queste modifiche è parte fondante dello studio della **risposta sismica locale**.

Essa può essere definita come l'azione sismica quale emerge "in superficie" a seguito delle suddette modifiche subite trasmettendosi dal substrato rigido. In tal senso un ruolo molto importante è giocato dai cosiddetti **effetti stratigrafici**, legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido ed i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno.

Gli effetti della **risposta sismica locale** possono essere valutati con specifiche analisi, di non immediata applicazione, oppure con metodi semplificati, basati sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. Quest'ultimi, a rigore, possono essere impiegati solo se l'azione sismica in superficie è descritta dall'accelerazione massima oppure dallo spettro elastico di risposta: non se ne può fare uso qualora tale azione sia descritta mediante accelerogrammi. Secondo tali approcci semplificati si attribuisce il sito ad una delle categorie di sottosuolo definite nella tabella 1. In particolare la valutazione della risposta sismica locale consiste nella modifica dello spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento, relativo all'affioramento della formazione rocciosa (categoria di suolo A) su superficie orizzontale.

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, è fortemente raccomandato che la classificazione si effettui in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,eq}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi trenta metri di profondità, riferita al piano di imposta, qualora si tratti di fondazioni superficiali, oppure alla testa dei pali, qualora si tratti di fondazioni profonde, oppure alla sommità di opere di sostegno di terreni naturali oppure ancora al piano d'imposta della fondazione di muri di sostegno di terrapieni.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità di onde di taglio superiori a 800 m s^{-1} , eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 360 m s^{-1} e 800 m s^{-1} .
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 180 m s^{-1} e 360 m s^{-1} .
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,eq}$ compresi tra 100 m s^{-1} e 180 m s^{-1} .
E	Terreni caratteristiche e valori di $V_{s,eq}$ riconducibili a quelle definite per le categorie C o D , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 1 (Tabella 3.2.II del D.M. 17-01-2018)

La velocità equivalente $V_{s,eq}$ di propagazione delle onde di taglio è definita dalla seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con

i – i-esimo strato;

h_i (m) – spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ (ms^{-1}) – velocità di propagazione delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N – numero di strati;

H – profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 ms^{-1} .

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $v_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dalle suddette analisi è stato possibile determinare che il valore del parametro $V_{s,eq}$, calcolato rispetto al piano campagna dello stendimento di geofoni, risulta pari a **478,8 ms⁻¹**.

Di seguito sono allegate le tabelle con il modello geofisico interpretativo ed i relativi grafici.



Esecuzione delle prove M.A.S.W. e sismica a rifrazione

Profilo delle onde di taglio

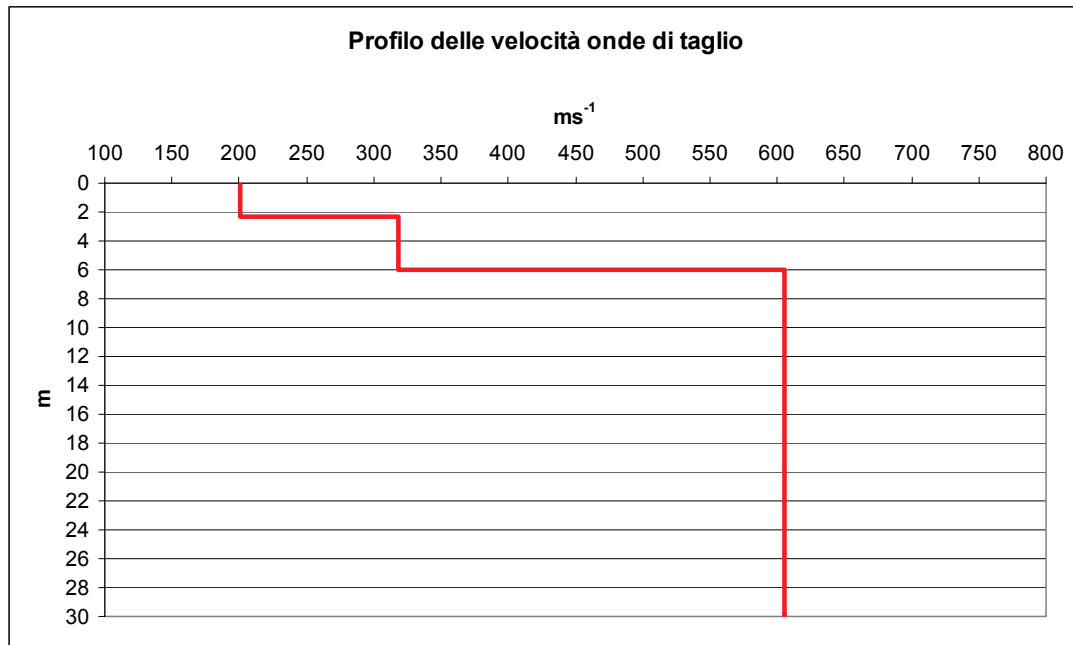
Profondità sismostrato [m]	Spessore sismostrato [m]	Velocità onde di taglio Vs [m s ⁻¹]
2,32	2,32	201
5,96	3,64	318
30,00	24,04	606

$$V_{s,eq} = 478,8 \text{ ms}^{-1}$$

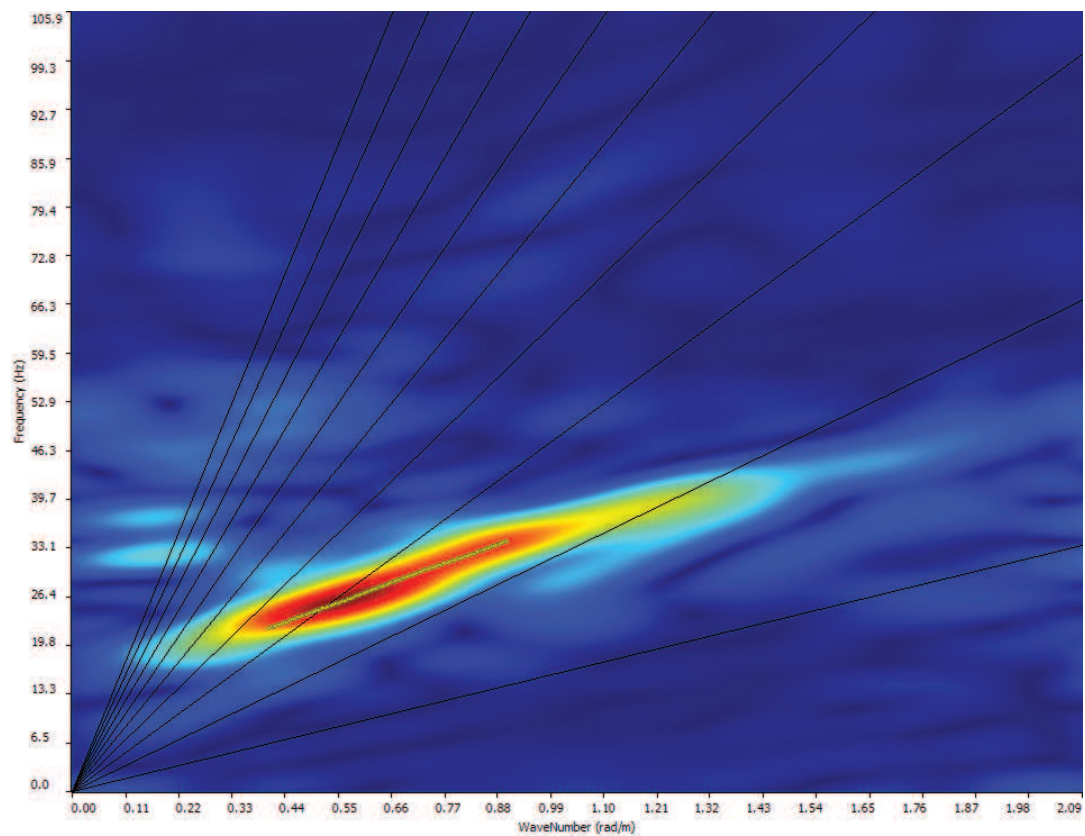
Modello geofisico

Unità	Profondità media [m]	Spessore medio [m]	P.u.V [KNm ⁻³]	Vs medio [ms ⁻¹]	Vp medio [ms ⁻¹]	ν	G [MPa]	E [MPa]	K [MPa]
1	4,2	4,2	18,0	241	571	0,39	105	291	447
2	> 4,2		20,0	571	1781	0,44	652	1882	5474

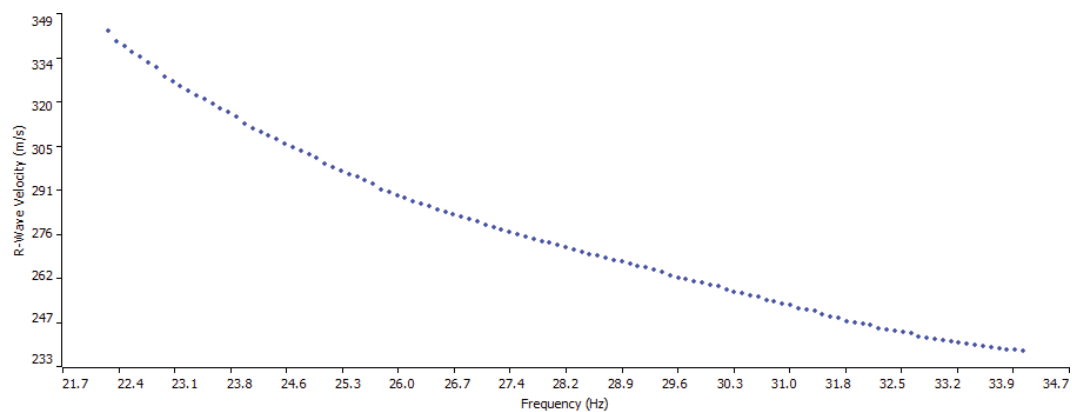
ALLEGATI



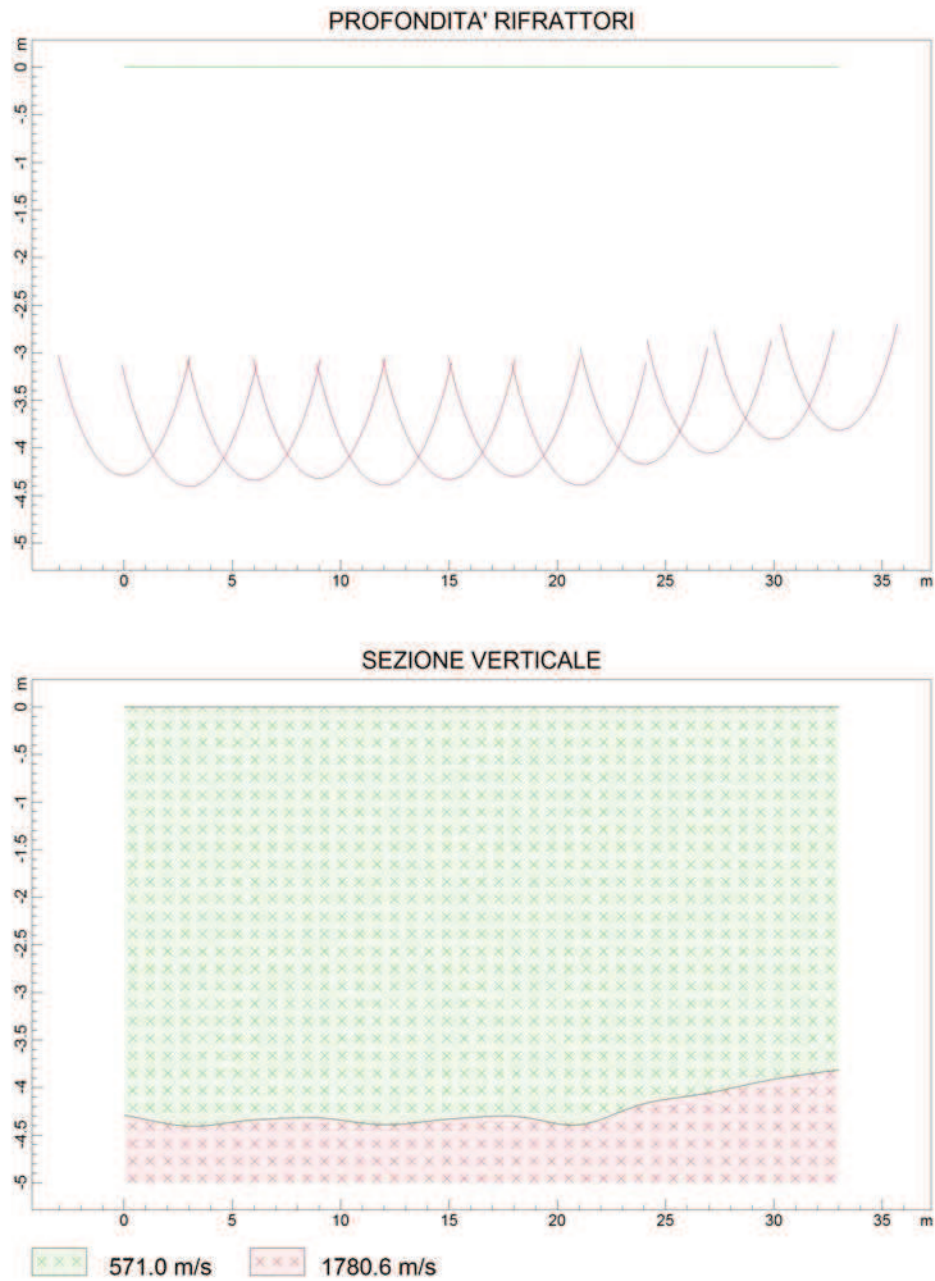
Profilo delle velocità delle onde di taglio



Spettro FK



Curva di dispersione



Modello interpretativo della sismica a rifrazione

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Cantiere: Centrale Hydrowatt Località: Stiffe – San Demetrio ne' Vestini (AQ)	
--	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

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 cm ²
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 (... *scept* 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)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	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 $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ 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 $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ 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 $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27 \text{ cm}^2$ rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

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

Correlazione con N_{spt}

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 N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{SPT} 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 R_{pd}

Formula Olandesi

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

R_{pd}	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.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{v0})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C_s	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C_d	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C_r	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

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.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

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 m ed immorsamento $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} 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 N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} 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 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m 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 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito $< 38^\circ$.
- 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 $< 38^\circ$).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- 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 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ 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 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo $< 5\%$ a profondità < 5 m e con (%) di limo $> 5\%$ a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r 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 D_r % 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 D_r % 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

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

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

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 V_s (m/s)

- 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 (K_0)

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

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 $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (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, (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.

- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (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 (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- 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 - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

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

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

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA PD/1

Strumento utilizzato DPSH TG 63-150 PAGANI
Prova eseguita in data 10/05/2018
Profondità prova 4,00 mt

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	0	0,855	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	3	0,851	26,83	31,54	1,34	1,58
0,60	3	0,847	24,52	28,95	1,23	1,45
0,80	2	0,843	16,28	19,30	0,81	0,96
1,00	3	0,840	24,31	28,95	1,22	1,45
1,20	4	0,836	32,28	38,60	1,61	1,93
1,40	3	0,833	24,11	28,95	1,21	1,45
1,60	4	0,830	29,59	35,67	1,48	1,78
1,80	4	0,826	29,47	35,67	1,47	1,78
2,00	5	0,823	36,70	44,59	1,84	2,23
2,20	5	0,820	36,57	44,59	1,83	2,23
2,40	5	0,817	36,43	44,59	1,82	2,23
2,60	4	0,814	26,99	33,15	1,35	1,66
2,80	6	0,811	40,35	49,73	2,02	2,49
3,00	6	0,809	40,21	49,73	2,01	2,49
3,20	8	0,806	53,44	66,31	2,67	3,32
3,40	6	0,803	39,95	49,73	2,00	2,49
3,60	13	0,751	75,57	100,65	3,78	5,03
3,80	54	0,598	250,18	418,07	12,51	20,90
4,00	100	0,596	461,44	774,20	23,07	38,71

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
3,6	4,94	42,98	Incoerente - coesivo	0	1,87	1,9	0,34	1,47	7,27	
3,8	54	418,07	Incoerente - coesivo	0	2,5	2,5	0,7	1,47	79,49	
4	100	774,2	Incoerente - coesivo	0	2,5	2,5	0,75	1,47	147,2	

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA PD/1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] -	7,27	3,60	0,45	0,91	0,25	0,29	0,71	1,29	0,65	0,98	0,36	0,82	0,91
[2] -	79,49	3,80	5,37	9,94	0,00	2,49	8,00	12,54	4,99	9,94	3,97	13,52	9,94
[3] -	147,2	4,00	9,94	18,40	0,00	3,36	14,92	23,23	5,55	24,32	7,36	25,57	18,40

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] -	7,27	3,60	Robertson (1983)	14,54
[2] -	79,49	3,80	Robertson (1983)	158,98
[3] -	147,2	4,00	Robertson (1983)	294,40

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] -	7,27	3,60	33,36	--	75,94	90,88
[2] -	79,49	3,80	364,70	--	812,54	794,90
[3] -	147,2	4,00	675,35	--	1503,14	1472,00

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] -	7,27	3,60	63,21	72,70
[2] -	79,49	3,80	893,74	794,90
[3] -	147,2	4,00	1672,40	1472,00

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] -	7,27	3,60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] -	79,49	3,80	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE
[3] -	147,2	4,00	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] -	7,27	3,60	Meyerhof	1,87
[2] -	79,49	3,80	Meyerhof	2,50
[3] -	147,2	4,00	Meyerhof	2,50

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] -	7,27	3,60	Meyerhof	1,90
[2] -	79,49	3,80	Meyerhof	2,50
[3] -	147,2	4,00	Meyerhof	2,50

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	7,27	3,60	27,67	55,61	58,76	26,64
[2] -	79,49	3,80	80,17	100	100	100
[3] -	147,2	4,00	99,53	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck- Hanson- Thornbu- rn- Meyerh of 1956	Meyerh of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerh of (1965)	Schmert mann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi- Fukuni 1982 (ROAD BRIDG E SPECIF ICATIO N)	Japane e National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] -	7,27	3,60	7,27	29,08	22,08	30,04	30,58	32,6	0	<30	25,44	29,18	35,04	27,06
[2] -	79,49	3,80	79,49	49,71	42,71	50,26	32,87	40,76	42	>38	49,53	50,85	54,55	54,87
[3] -	147,2	4,00	147,2	69,06	62,06	69,22	33,72	10,51	42	>38	61,99	71,16	59,74	69,26

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze- Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] -	7,27	3,60	7,27	---	58,16	---	---	---
[2] -	79,49	3,80	79,49	636,39	635,92	938,68	776,17	472,45
[3] -	147,2	4,00	147,2	866,01	1177,60	1737,66	1284,00	811,00

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman- Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] -	7,27	3,60	7,27	---	42,40	51,62	70,42
[2] -	79,49	3,80	79,49	476,94	190,74	564,38	392,53
[3] -	147,2	4,00	147,2	883,20	329,82	1045,12	694,51

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	7,27	3,60	7,27	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] -	79,49	3,80	79,49	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
[3] -	147,2	4,00	147,2	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] -	7,27	3,60	7,27	Terzaghi-Peck 1948	1,44
[2] -	79,49	3,80	79,49	Terzaghi-Peck 1948	1,96
[3] -	147,2	4,00	147,2	Terzaghi-Peck 1948	1,68

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	7,27	3,60	7,27	Terzaghi-Peck 1948	1,90
[2] -	79,49	3,80	79,49	Terzaghi-Peck 1948	2,22
[3] -	147,2	4,00	147,2	Terzaghi-Peck 1948	2,03

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] -	7,27	3,60	7,27	(A.G.I.)	0,34
[2] -	79,49	3,80	79,49	(A.G.I.)	0,19
[3] -	147,2	4,00	147,2	(A.G.I.)	0,06

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] -	7,27	3,60	7,27	419,52	420,06
[2] -	79,49	3,80	79,49	3973,81	1811,34
[3] -	147,2	4,00	147,2	7091,64	2639,38

Liquefazione

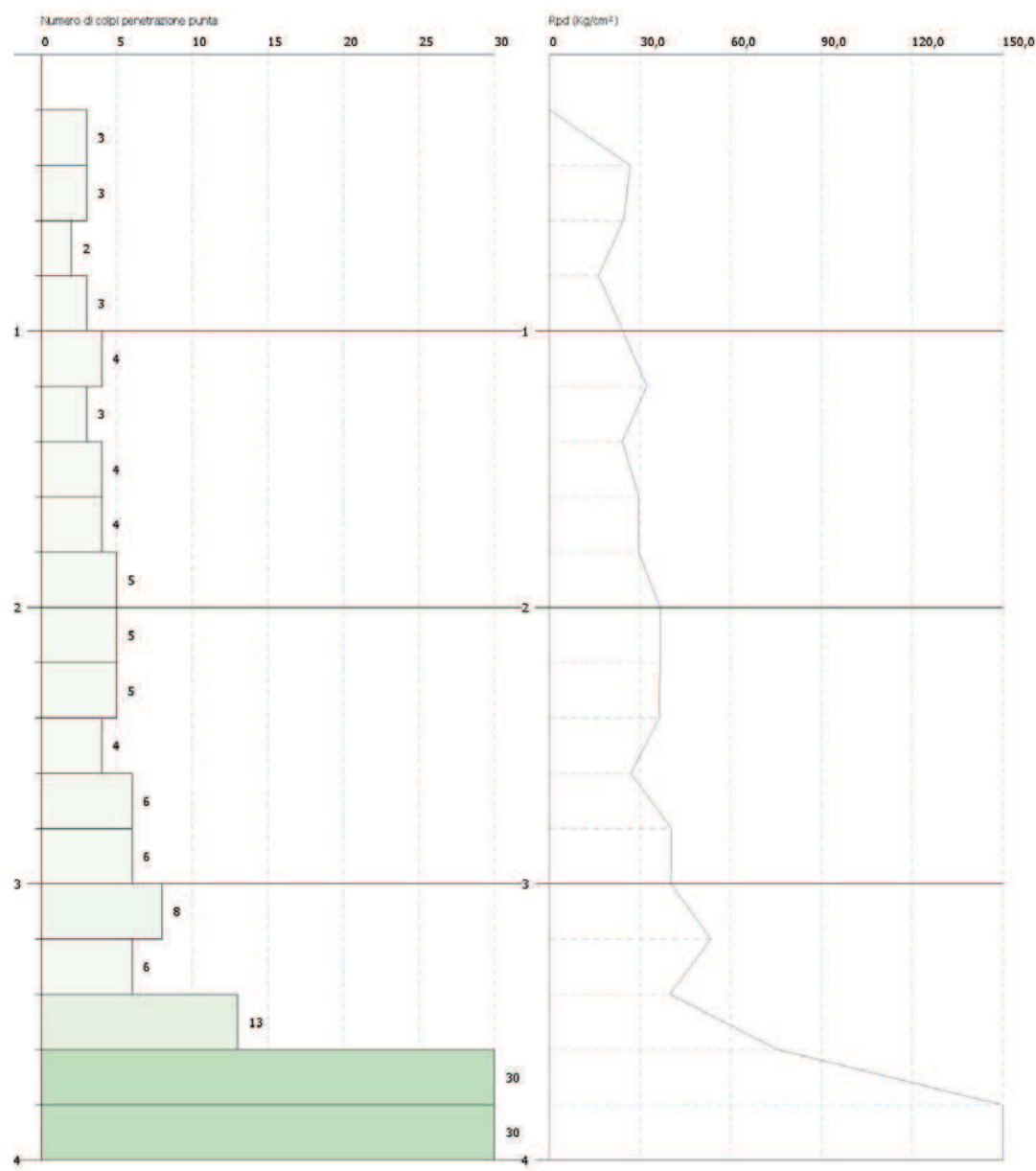
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] -	7,27	3,60	7,27	Seed e Idriss (1971)	--
[2] -	79,49	3,80	79,49	Seed e Idriss (1971)	--
[3] -	147,2	4,00	147,2	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] -	7,27	3,60	7,27		---
[2] -	79,49	3,80	79,49		---
[3] -	147,2	4,00	147,2		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] -	7,27	3,60	7,27		---
[2] -	79,49	3,80	79,49		---
[3] -	147,2	4,00	147,2		---





Prova PD/1: postazione