COMUNE DI CASTELBELFORTE

PROVINCIA DI MANTOVA

PROGETTO ESECUTIVO

lavori di realizzazione intersezione a rotatoria tra S.P. n° 25 e ex S.S. n° 249

ELABORATO: RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA E SISMICA	DATA: DICEMBRE 2018 REVISIONE: MARZO 2019 SCALA: FILE: GB_ prj0022231	TAV. N°: B
COMMITTENTE: COMUNE DI CASTELBELFORTE	INDIRIZZO: VIA ROMA 33 - 46032 - CASTELBELFORTE E-Mail info@comunecastelbelforte.it CENTRALINO/FAX: 0376 259211 / 0376 258123	

PROGETTISTI:

Dott. Ing. GIAN LUCA FERRARI
Via G.Marangoni n° 7 - 46100 Mantova
tel./fax. 0376322148 - 0376382220
e_mail: stferrarigianluca@libero.it

Geom. FRANCESCO ROSA
Via Montanara Sud n° 16 - Campitello (MN)
tel. 0376967062 - e_mail: studiorosafrancesco@alice.it

Dott. Ing. GIANLUCA FERRARI SEZIONE A N. 704 ORDINE INGEGNERI PROVINCIA DI MANTOVA

Geom. FRANCESCO ROSA ALBO GEOMETRI della Provincia di MANTOVA N. 1483

Firma: .....

Firma: .....

S.U.T. - SPORTELLO UNICO TECNICO

Responsabile del procedimento :

Firma: .....

Allplan 2009

PROVINCIA DI MANTOVA
COMUNE DI CASTELBELFORTE

PROGETTO DI SISTEMAZIONE VIABILISTICA CON LA REALIZZAZIONE DI ROTATORIA LUNGO LA STRADA S.P.25 CON L' INNESTO DELLA EX S.S. 249

(D.G.R.n° IX/ 2616 del 30.11. 2011 - D.M. 14 gennaio 2008 – Circolare 2 Febbraio 2009, n° 617)

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA E SISMICA

COMMITTENTE: **COMUNE DI CASTELBELFORTE**

GEOLOGO : **Dott. Rosario Spagnolo**

Febbraio 2018

tel. 0376.262759
Cell. 338.2949637
ro.spagnolo@tiscali.it

Dott. Geol. Spagnolo Rosario
46030 Bigarello (Mantova)
Via Stradella, 35

INDICE DEI CAPITOLI

1. PREMESSA 3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 5
3. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DEL SITO 6
4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO 7
5. VINCOLI GEOLOGICI 9
6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE 10
7 ASSETTO MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO 11
8 INQUADRAMENTO SISMICO 12
9 CONCLUSIONI 14
1. PREMESSA 15
2. INDAGINI GEOGNOSTICHE 16
3. METODOLOGIA DI INDAGINE (MASW) 18
3.1 PROGETTO D'INDAGINE 21
3.2 INTERPRETAZIONE DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE 23
3.3 IL METODO MASW 24
4. PROVE GEOTECNICHE IN SITO 29
5. SISMICITA' 30
6. STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA 33
7. PARAMETRI SISMICI DI CALCOLO 36
8. MODELLO GEOTECNICO-GEOFISICO 37
9 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE 38
10 DETERMINAZIONE DELL'INDICE DI PORTANZA DEL SOTTOFONDO 41
12 DIMENSIONAMENTO PAVIMENTAZIONE STRADALE 43
13 VERIFICA (METODO AASHTO) 45
14 CONCLUSIONI 48

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Corografia generale

Figura 2: Estratto da google maps

INDAGINE MASW

Tabelle allegate

Sismogramma

Diagramma della curva di dispersione

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Caratteristiche della punta conica

Tabella 2: Informazioni relative allo strumento di indagine

INDICE DELLE TABELLE

Tabella dei parametri geotecnici

Tabella delle valutazioni litologiche

Diagrammi di resistenza

Valori di resistenza

1. PREMESSA

Il presente rapporto geologico, geotecnico e sismico è finalizzato all'analisi delle caratteristiche geotecniche di un appezzamento di terreno per la sistemazione della viabilità lungo la S.P. 25 e la ex S.S. 249, all'ingresso dell'abitato di Castelbelforte.

Lo studio è stato redatto considerando la nuova normativa sismica, in quanto dal 10 di aprile è in vigore la D.G.R. n° 2129 del 2014 (nuova classificazione sismica regionale), la L.R. n° 33 del 2015 (in materia di costruzioni in zona sismica e relativa vigilanza) e la D.G.R. 5501/2016 contenete i criteri attuativi previsti dalla Legge Regionale sopra citata.

L'area delle indagini è ubicata a sud dell'abitato di Castelbelforte, in vicinanza della zona artigianale (fig.1).

La valutazione delle caratteristiche dei terreni in situ è stata eseguita mediante rilevamenti geologici, idrogeologici, analisi sismiche e indagini geognostiche approfondite.

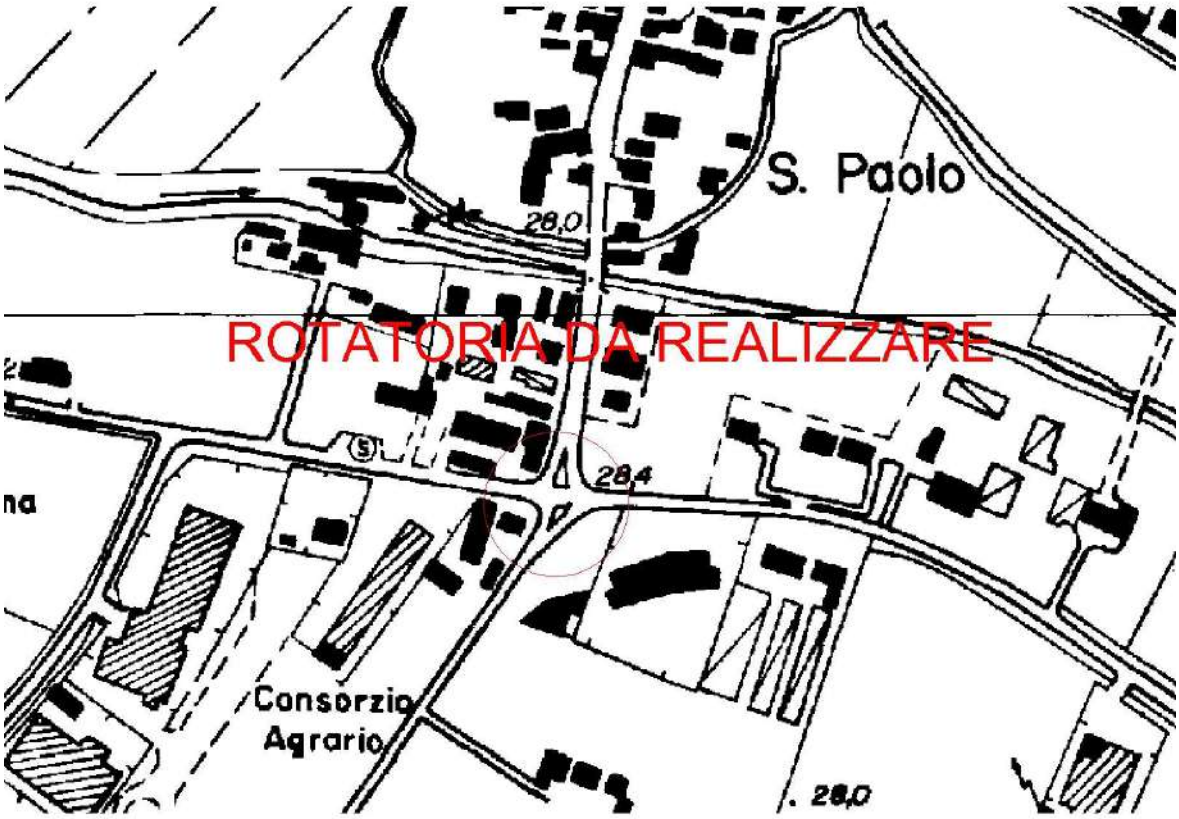
Le finalità sono orientate al riconoscimento e alla parametrizzazione, dal punto di vista geotecnico, degli strati di terreno potenzialmente coinvolti dalle opere di fondazione, sia in termini di capacità portante sia di valutazione della pericolosità sismica.

A corredo dello studio è stata inoltre realizzata una prova penetrometrica statica (CPT) e indagini sismiche specifiche, utilizzando attrezzatura standard.

I valori registrati in profondità dalle prove, opportunamente integrati e commisurati con i dati geologici ed idrogeologici della zona, hanno consentito la determinazione dei seguenti parametri:

- ricostruzione e descrizione della stratigrafia del sottosuolo;
- individuazione della falda idrica;
- parametrizzazione geotecnica del terreno di fondazione;
- classificazione sismica dei terreni di fondazione come definito nel D.M. 14.01.08;
- valutazione della risposta sismica locale;
- verifica del rischio alla liquefazione e dei cedimenti post-sismici.

Localizzazione area d'intervento



2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le norme e le raccomandazioni tecniche seguite nella redazione del presente rapporto sono le seguenti:

- AGI 1963: Nomenclatura geotecnica e classifica delle terre. "Geotecnica", n. 4;
- Legge n°. 64 del 02/02/1974: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- AGI 1977: Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. "Quaderno", n. 1;
- D.M. LL.PP. 11 marzo 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Pubblicato sul Suppi. Ord. alla G.U. n. 127 dei 1 giugno 1988;
- C.M. LL.PP. n. 30483 del 1988: Istruzioni 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. Circolare del 24 settembre 1988, a cura dei Servizio tecnico centrale del ministero dei Lavori Pubblici;
- AGI 1990: Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio;
- D.M. 16 gennaio 1996: Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- Circolare Ministero LL.PP. 15 ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C: Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 gennaio 1996;
- Circolare Ministero LL.PP. 10 aprile 1997 N. 65/AA.GG: Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 gennaio 1996.
- Ord. P.C.M. 20/03/2003 n. 3274: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- D.M. 14.1.2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche",
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche.

- D.G.R. n° 2616 del 30.11. 2011: Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio".

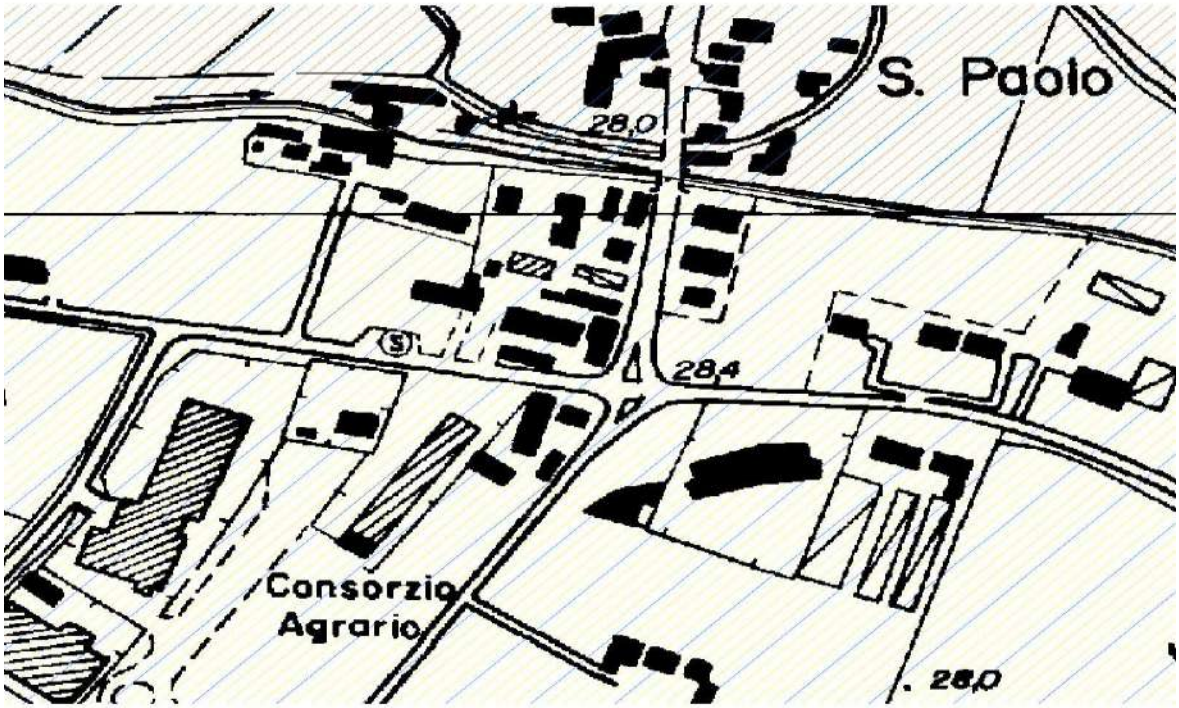
3. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA DEL SITO

La *"Carta di fattibilità per le azioni di Piano"* (Studio Geologico del Territorio Comunale a corredo del PGT del comune di Castelbelforte) è il documento che sintetizza l'attitudine delle differenti aree del territorio ai fini dell'edificabilità.

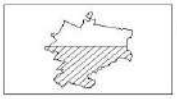
L'area oggetto di studio, in particolare, ricade all'interno della Classe 2 di fattibilità alle azioni di piano, "fattibilità geologica con modeste limitazioni"

Per l'area in esame, lo studio geologico comunale prescrive lo svolgimento delle seguenti attività:

1) indagine geotecnica con prove in sito (tale attività è stata svolta attraverso l'esecuzione delle prove penetrometriche eseguite in sito);
2) esecuzione di rilevamento geologico di dettaglio;
3) esecuzione di indagine geofisica.



LEGENDA



Territorio comunale

Confine comunale

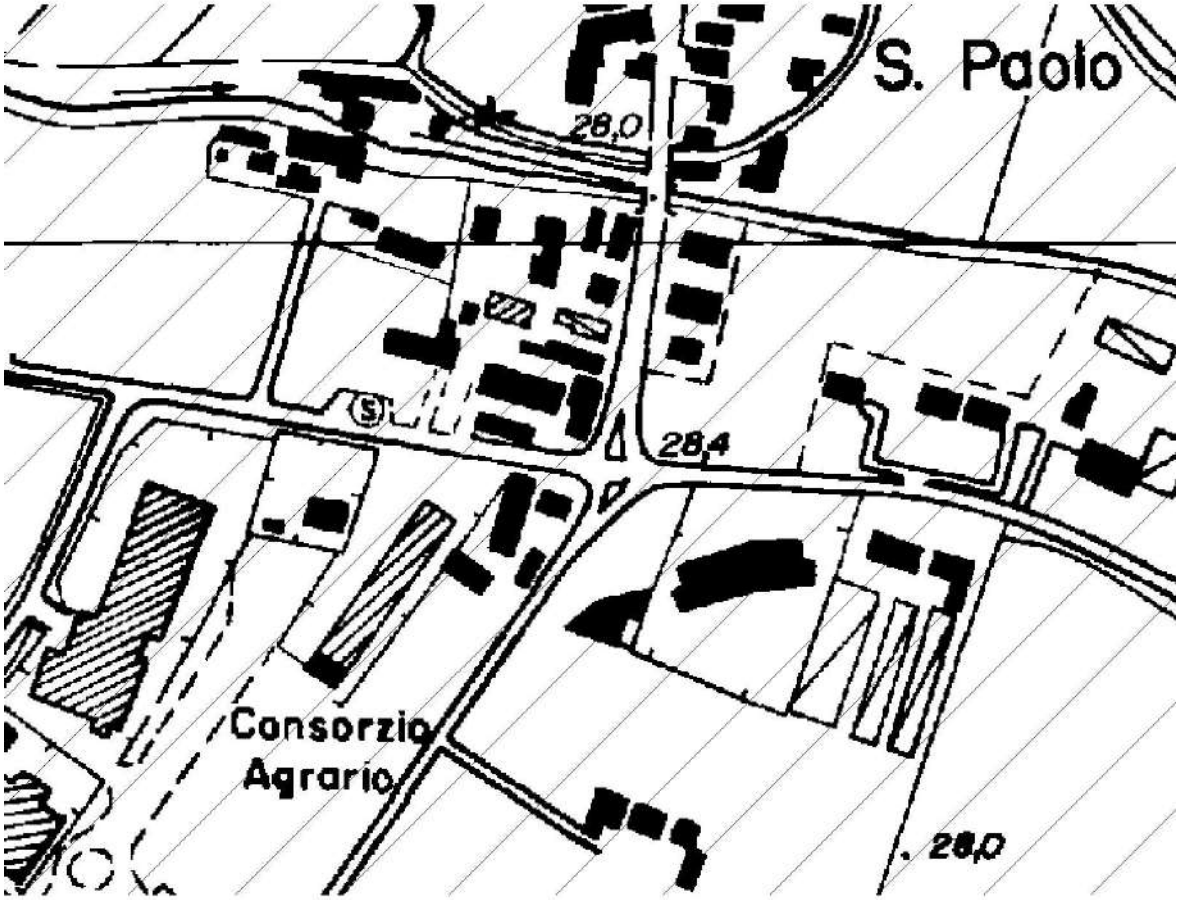
Classe di fattibilità seconda (2a)
Fattibilità con modeste limitazioni

Classe di fattibilità seconda (2b)
Fattibilità con modeste limitazioni

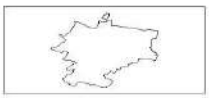
Classe di fattibilità terza
Aree a rischio idraulico
Fattibilità con consistenti limitazioni

4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

La carta della pericolosità sismica locale fa ricadere l'area in esame in zona Z4a: zona di pianura con presenza di depositi granulari e coesivi.



LEGENDA

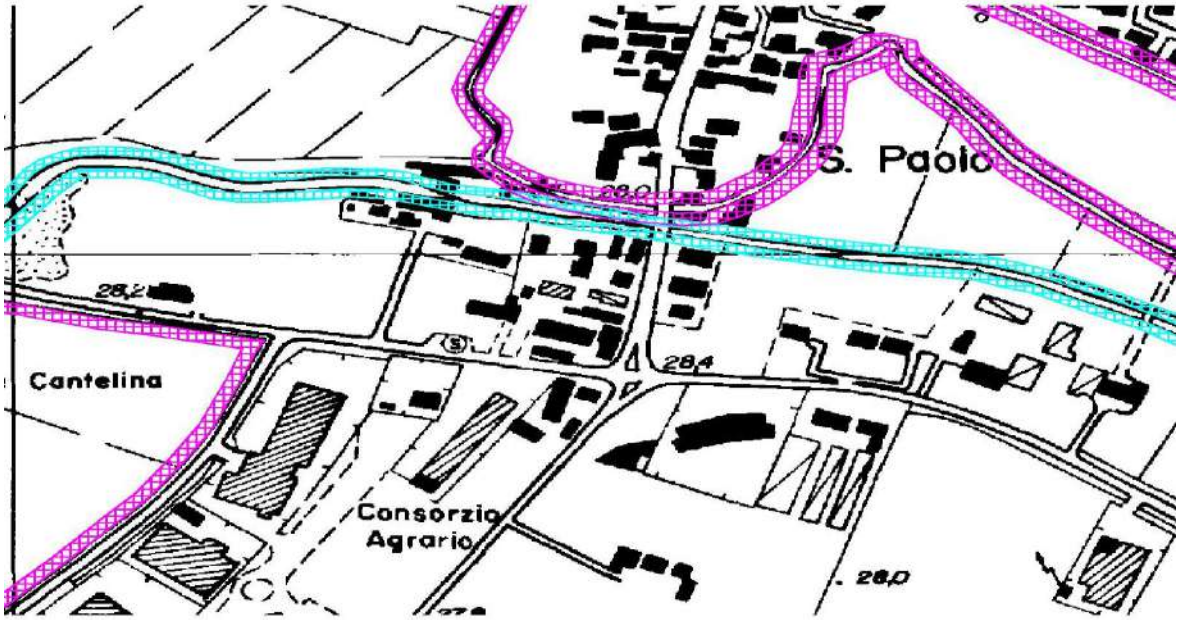

Territorio comunale

Confine comunale

Z4a
Zone di fondovalle con presenza di depositi alluvionali granulari e coesivi

5. VINCOLI GEOLOGICI

Dall'analisi della carta dei vincoli, realizzata in occasione del P.G.T., il sito in esame non ricade in nessun vincolo di carattere geologico.



LEGENDA

- Territorio comunale
- Confine comunale
- Zona di tutela assoluta dei pozzi pubblici (D.G.R. n° 258 del 2000 - D.LGS n° 152 del 2006)
- Zona di rispetto dei pozzi pubblici (D.G.R. n° 258 del 2000 - D.LGS n° 152 del 2006)
- Fascia di rispetto del reticolo idrografico principale (R.D. n° 523 del 1904)
- Fascia di rispetto dei canali di bonifica (R.D. n° 523 del 1904 - L. n°368 del 1904)

6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

L'area in esame si colloca a ovest dell'abitato di Castelbelforte, il sito è compreso nella zona della media pianura mantovana e si trova ad una quota topografica variabile da 27.0 a 28.0 m s.l.m.

La porzione della pianura padana su cui insiste il territorio in esame è caratterizzata da un'evoluzione, ora piuttosto chiara grazie anche ai dati geofisici e ai risultati delle perforazioni per la ricerca di idrocarburi, che è il risultato dell'interazione tra la geodinamica appenninica e alpina.

Il modello deposizionale della Pianura Padana è costituito da un riempimento della depressione avvenuto mediante una serie di cicli sedimentari (fasi di oscillazione relativa del livello marino e della linea di costa) di natura inizialmente marina e successivamente caratterizzati da tendenza regressiva, con la presenza sempre più importante di sedimentazione di tipo continentale sino ai cicli più recenti dominati dalle fluttuazioni glacio-eustatiche quaternarie.

I litotipi presenti sono costituiti da un insieme di orizzonti lentiformi che sfumano più o meno gradualmente tra loro e che evidenziano una distribuzione non omogenea, ma legata alle passate evoluzioni idrografiche dei fiumi e corsi d'acqua che hanno generato il territorio.

I depositi prevalenti, per l'area in esame, sono costituiti da terreni quaternari continentali: si tratta di depositi alluvionali a granulometria assai variabile sia in senso areale che verticale, dovuti alla deposizione dei corsi d'acqua appenninici. Si tratta in generale di alluvioni argillose-limose-sabbiose-ghiaiose, con andamento lenticolare.

7 ASSETTO MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'acquifero in esame è costituito il più delle volte da materiali fini e finissimi (sabbie, limi e argille), con materiali a granulometria fine.

L'unità idrogeologica della zona è caratterizzata dai depositi fluviali e fluvioglaciali di provenienza alpina qui trasportati dai corsi d'acqua.

Come precedentemente evidenziato, il territorio in oggetto non presenta grandi peculiarità dal punto di vista geologico essendo essenzialmente interessato dall'attività deposizionale prevalentemente dei corsi d'acqua: i terreni che ne costituiscono in sottosuolo consistono, infatti, in depositi clastici di origine alluvionale fine.

L'attuale assetto geomorfologico è il risultato dell'effetto combinato di alterne vicende climatiche di varia intensità, lente deformazioni tettoniche ed interventi antropici, che si sono imposti negli ultimi millenni ed hanno direttamente interagito sulla rete idrografica.

I corsi d'acqua sono rimaste le uniche zone che mantengono ancora, nonostante i massicci interventi di regimazione (arginature, pennelli, traverse, ecc.), un alto grado di naturalità con frequenti emergenze morfologiche.

Contrariamente le aree perifluviali esprimono il congelamento di una situazione originatasi antecedentemente alla limitazione degli alvei fluviali entro percorsi prefissati, in cui le opere di bonifica agraria, infrastrutturazione ed insediamento hanno conferito al rilievo un assetto costante ed uniforme livellando tutte le asperità del terreno. Le superfici del suolo conservano tuttavia, anche se in forma relittuale, ancora le tipiche geometrie dell'ambiente fluviale.

A causa del particolare ambiente deposizionale tali litotipi sono costituiti da un'alternanza di orizzonti sabbiosi fini (ma sempre associati ad abbondante frazione sabbiosa e limosa) permeabili e di livelli o lenti limoso-argillose e argillose da poco permeabili ad impermeabili. Ne risulta un modello idrogeologico interdigitato secondo schemi indifferenziati, relativamente semplice nel quale può essere individuata una serie di corpi a diversa litologia, tra loro connessi stratigraficamente con debolissimo gradiente di pendenza (0.02 – 0.04%) a prevalente sviluppo longitudinale conformemente all'andamento attuale e antico dei corsi d'acqua.

Nel complesso i corpi sabbiosi appaiono prevalenti e tra loro intercomunicanti; i livelli a bassa permeabilità (argille e limi argillosi) sono discontinui e di spessore ridotto e molto spesso eteropici a limi e sabbie fini.

Il particolare tipo di deposizione lenticolare dei sedimenti fluviali determina infatti soluzioni di continuità tra depositi permeabili e depositi poco permeabili o impermeabili dando luogo ad un sistema di falde sovrapposte che, tuttavia, può essere ricondotto ad un unico sistema acquifero di tipo monostrato compartimentato.

A scala locale, comunque, le falde possono essere considerate sostanzialmente confinate. La falda che ha sede nei depositi affioranti nell'area d'indagine è una falda libera, ovvero delimitata solo inferiormente da un substrato impermeabile, mentre il limite superiore (superficie piezometrica) è variabile in funzione dell'alimentazione.
Sulla base delle correlazioni delle stratigrafie è possibile osservare nel sottosuolo indagato la presenza di un tipico acquifero compartimentato, di tipo multi-strato, contraddistinto dalla presenza di alternanze di orizzonti sabbiosi a permeabilità media e di livelli a prevalente componente argillosa-limosa dotati di ampia estensione areale.

La falda freatica è stata intercettata alla profondità di 1.6 m dal piano campagna.

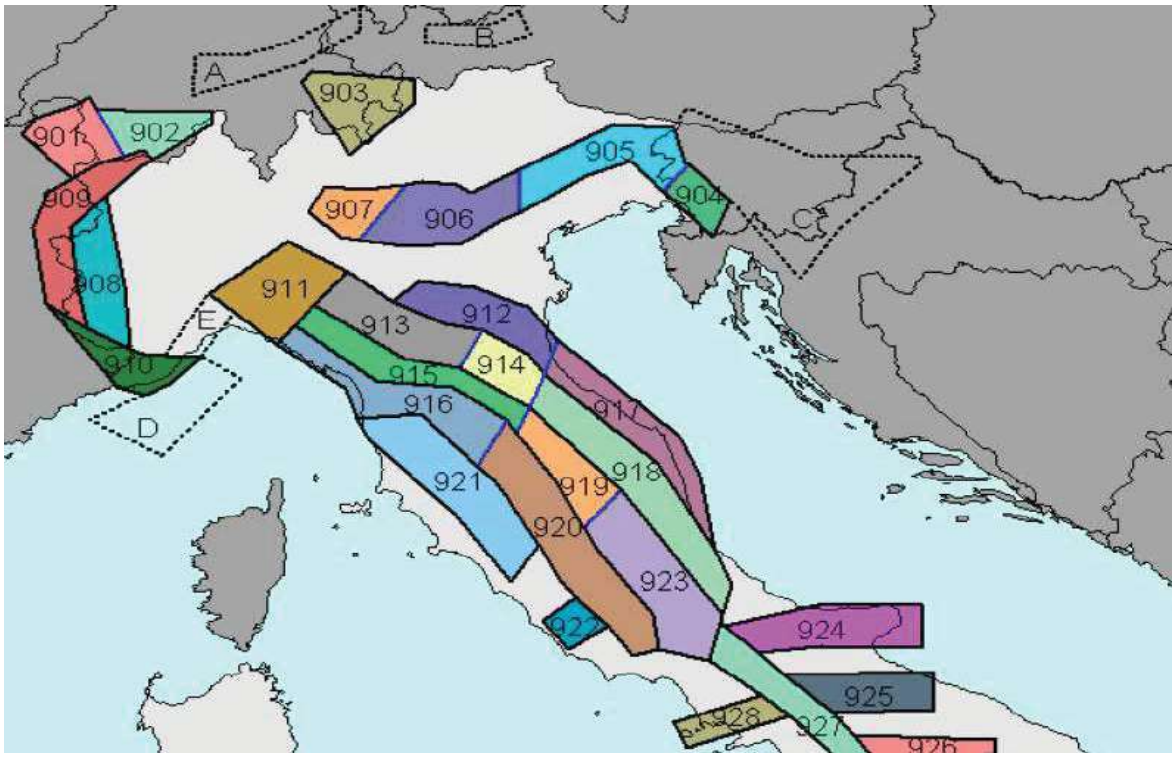
8 INQUADRAMENTO SISMICO

Per determinare il carattere sismogenetico dell'area del comune di Castelbelforte si è presa in considerazione la pubblicazione dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nella quale è stato mappato il territorio nazionale in zone sismogenetiche: il territorio comunale si colloca a circa 40 Km dalla zona sismogenetica 912 (dorsale Ferrarese), a circa 35 Km a sud della zona sismogenetica 906 (Garda Veronese) e a circa 50 Km a nord-est della zona sismogenetica 913 (Appennino Emiliano Romagnolo).

Zona Sismogenetica 912: rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'Appennino Settentrionale caratterizzata dallo sprofondamento passivo della litosfera adriatica (placca tettonica "Adria") sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale (placca tettonica "Northern Apenninic Arc") con cinematismi attesi di sovrascorrimenti e faglie trascorrenti aventi assi SW-NE; i terremoti storici hanno raggiunto valori pari a M = 5,9; le zone ipocentrali si verificano generalmente a

profondità comprese tra 6 e 8 Km con profondità efficace di 7 km; nella Zona Sismogenetica 912 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a Mmax = 6,14.

La zona sismogenetica 906 è legata alla convergenza tra la placca tettonica Adria e la placca tettonica Southern Alps con strutture a pieghe sud vergenti e faglie inverse associate (thrusts prevalenti). La zona sismogenetica 913 è legata allo sprofondamento passivo della litosfera adriatica (placca tettonica Adria) sotto il sistema di catene nell'Arco Appenninico Settentrionale con cinematismi attesi di sovrascorrimento e faglie trascorrenti aventi assi SW-NW.



Tale zona, come dalle rilevazioni dell'INGV, è caratterizzata da una magnitudo massima di 6.14 M_w.

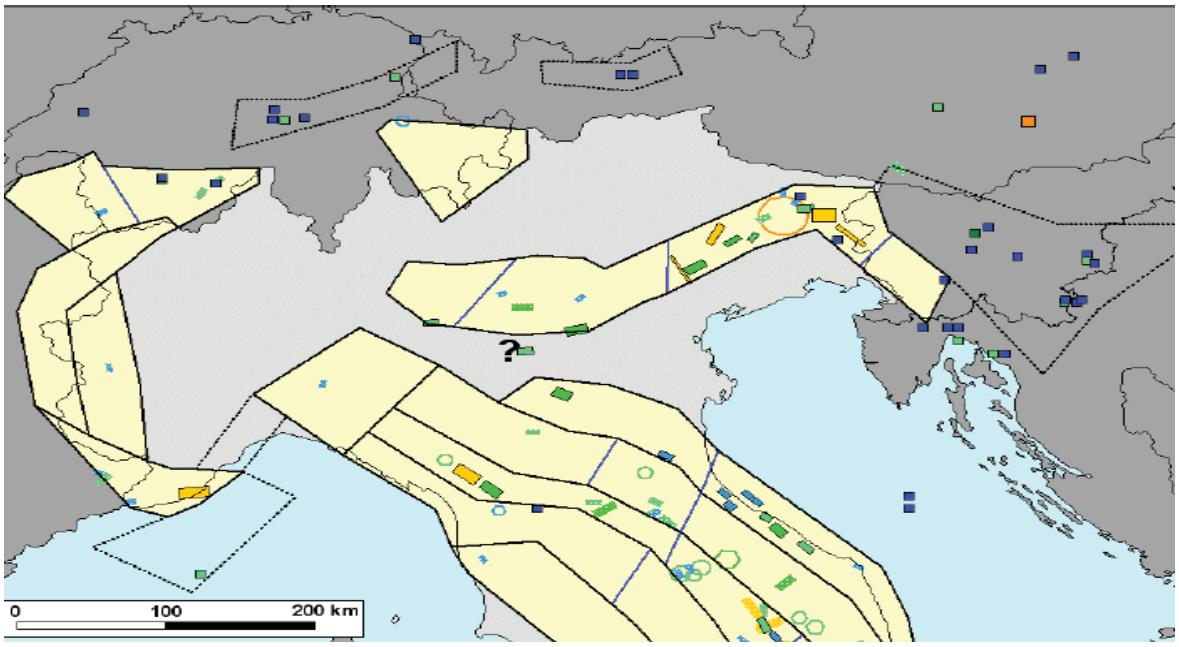


Figura 6.3. Zonazione sismogenetica ZS9 in relazione alla distribuzione delle sorgenti sismo genetiche

9 CONCLUSIONI

Lo studio geologico condotto sulla scorta dei dati bibliografici, rilevamento diretto e con specifiche indagini geognostiche, ha permesso di caratterizzare il sito da un punto di vista geologico, idrogeologico, sismico e individuare la fattibilità geologica per le azioni di piano in cui ricade il sito in esame.

Da un punto di vista geomorfologico il territorio si sviluppa su di un'area pianeggiante appartenente ad un contesto de posizionale della media pianura, caratterizzato dalla presenza di depositi fluviali, a tessitura medio-fine. La tendenza evolutiva dell'area di studio è conservativa, dato che le principali linee di drenaggio risultano regimate dall'uomo, pertanto l'area si presenta stabile morfologicamente.

Per la caratterizzazione del sottosuolo, la ricostruzione litostratigrafica e la parametrizzazione geotecnica degli orizzonti stratigrafici, è stata realizzata una prova penetrometrica statica, spinta alla profondità di 10 m da p.c.

Dalle indagini è emerso che le litozone sono rappresentate da limi e limi-sabbiosi, con una forte omogeneità sia orizzontale che verticale, la falda è stata individuata alla profondità di circa 1.6 m da p.c. Dall'analisi delle componenti analizzate emerge come il sito in esame è compatibile con l'intervento da realizzare.

1. PREMESSA

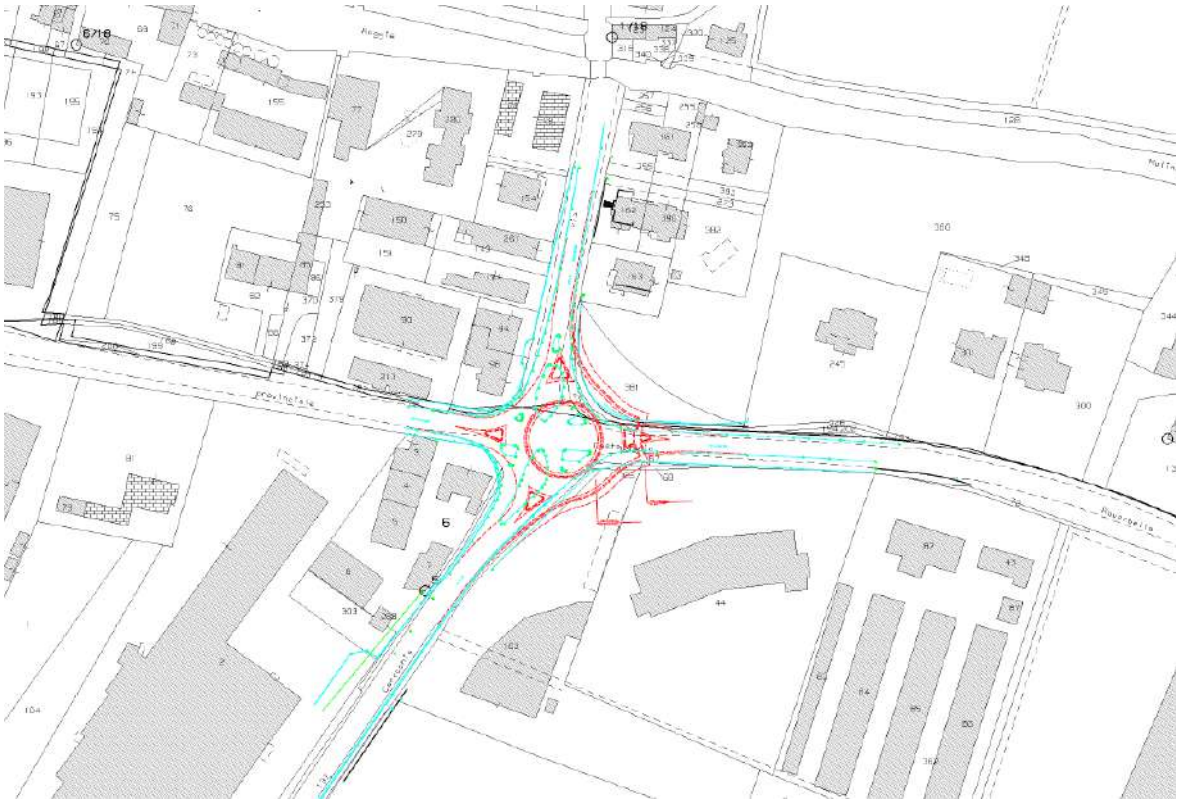
Scopo dell'indagine è quello di caratterizzare la stratigrafia del sottosuolo e definire le proprietà geotecniche degli orizzonti attraversati. È stata realizzata una prova penetrometrica statica (C.P.T.), spinta alla profondità di 10 m da p.c. esistente, quota che per i tipi di terreno indagato e per il tipo di intervento in progetto è stata ritenuta soddisfacente ai fini del concetto di volume significativo.

E' stata realizzata una prova masw finalizzata alla determinazione della categoria di suolo di fondazione. Secondo il D.M. 14 gennaio 2008, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio, rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica devono essere esposti in una specifica relazione geologica e le analisi di progetto devono essere basate su modelli geotecnici dedotti da specifiche indagini e prove, che il Progettista deve definire in base alle scelte tipologiche dell'opera o dell'intervento e alle previste modalità esecutive.

Le scelte progettuali, il programma ed i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica, unitamente ai calcoli per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive, devono essere illustrati in una successiva e specifica relazione geotecnica.

Le indagini in sito hanno portato alla hanno consentito di definire le seguenti tematiche:

- ✓ caratterizzazione geologica, idrogeologica e geomorfologica;
- ✓ caratterizzazione litostratigrafica;
- ✓ analisi sismica del sito in esame;
- ✓ modello geologico del sottosuolo.



2. INDAGINI GEOGNOSTICHE

La prova penetrometrica statica è stata eseguita mediante penetrometro meccanico con punta standard meccanica tipo Begemann, in accordo con la procedura di riferimento ISSMFE (codice RM) con attrezzatura di spinta ancorata da 20 ton. I vari parametri di prova sono ottenuti mediante le seguenti relazioni energetiche:

Resistenza alla punta qc = Rp = Qc/Ac

Resistenza unitaria di attrito laterale locale fs =Rl = Qs/As

Rapporto della resistenza (Friction Ratio) Rf(%) = 100 fs/qc *

Indice delle resistenze (Friction Index) qc/fs *

*(Rp, Rf misurate alla stessa profondità)

dove:

Rp = forza assiale agente sul cono

Rl = forza di attrito per infiggere il manicotto

Ac = area di base del cono

As = superficie laterale del manicotto.

La prova pentrometrica statica in generale trova applicazione per:

- rilevare l'andamento stratigrafico lungo la verticale
- individuare i tipi di terreno attraversati
- interpolare l'andamento degli strati fra verticali di sondaggio
- misurare la pressione interstiziale (solo CPTU).

I parametri desunti possono essere utilizzati con affidabilità per valutare:

- l'angolo di attrito e la compressibilità drenata dei terreni granulari
- la resistenza al taglio non drenata dei terreni coesivi.

Meno attendibile risulta la valutazione dei parametri di compressibilità drenata e non dei terreni coesivi. Da notare che la procedura di riferimento indica l'espressione di qc e fs in Pa, kPa o MPa; per una migliore comprensione dei dati si è preferito esprimere i parametri anche in kg/cm^2.

Nelle tabelle e diagrammi allegati sono riportati tutti i parametri geotecnici elaborati dai dati ottenuti dalle prove CPT. In particolare, nei diagrammi sono graficati i valori di resistenza alla punta Rp e resistenza laterale locale Rf, rilevati ad ogni 20 cm. Questi valori sono stati ricavati moltiplicando la lettura alla punta o laterale per la costante di trasformazione Ct, la quale è legata alle caratteristiche tecniche del penetrometro impiegato.

La diretta correlazione tra il rapporto F = Rp/Rf e la granulometria dei terreni attraversati (secondo Begemann, 1965 e secondo Schmertmann; Raccomandazioni A.G.I. 1977), rende possibile caratterizzare la natura dei terreni differenziandoli rispettivamente in torbe e argille organiche, limi e argille, limi sabbiosi e sabbie limose e sabbie e sabbie con ghiaia.

Negli allegati vengono riportati i seguenti parametri:

- valutazione litologica secondo Schmertmann ottenuta in base all'analisi dei valori di Rp e del rapporto Rf/Rp %.
- la natura dei terreni classificati come granulari o coesivi, ricavata sempre dal diagramma di Schmertmann.

- il peso per unità di volume y' (t/m3), ottenuta dalla relazione esistente tra la densità del terreno e la sua resistenza ad essere attraversato dalla punta;
- la tensione verticale geostatica efficace σ vo, espressa come

$$\sigma' vo = 1,85 \times z1 + 0,20 \times \Sigma y' i$$

dove z1 è uguale alla profondità media della falda;

la coesione non drenata Cu (Kg/cm2) (per i terreni di natura coesiva) ottenuto dal rapporto "Cu = Rp/a" (da Sanglerat, 1972) dove "a" è un coefficiente dipendente dalla natura del terreno, e quindi da Rp;

- l'angolo di attrito interno efficace F (per i terreni di natura granulare), anch'esso correlato alla Rp (Robertson & Campanella, 1983);
- il coefficiente di compressibilità di volume Mv.

Il coefficiente di compressibilità Mv viene definito come:

$$Mv = 1/Rp \times a$$

dove il coefficiente "a" è direttamente dipendente da Rp.

3. METODOLOGIA DI INDAGINE (MASW)

La necessità di acquisire significativi dati geotecnici inerenti le caratteristiche del volume del sottosuolo ha consigliato l'esecuzione di un'indagine geognostica.

Tutte le metodologie della sismica si basano sul principio di generare onde sismiche in un punto del terreno e di rilevare il loro arrivo in altri punti: ciò consente di ricostruire, attraverso lo studio dei percorsi e delle velocità, la disposizione geometrica delle discontinuità sismiche nel sottosuolo e quindi dei litotipi presenti al di sotto della zona indagata. Le onde utilizzate sono di solito le longitudinali perché quelle trasversali, avendo una velocità minore, arrivano ai ricevitori successivamente, quando questi ultimi sono già stati sollecitati dalle onde di compressione ed il segnale registrato sarà così la risultante della sovrapposizione di onde differenti.

La sismica a rifrazione ha come fine l'acquisizione dei valori delle velocità sismiche del primo strato di terreno e dei "rifrattori" successivi, oltre che del loro spessore, fino ad

una profondità che dipende dalla lunghezza dello stendimento utilizzato e dalle caratteristiche fisiche-meccaniche del mezzo indagato.

L'indagine viene condotta in campagna con l'ausilio dei seguenti dispositivi:

- un dispositivo in grado di generare onde sismiche in un punto del terreno chiamato punto sorgente. Esso è costituito generalmente da masse battenti di diverse dimensioni e peso, ovvero (per profondità di indagine maggiore) da cariche esplosive, da sorgenti meccaniche ripetitive (dinoseis, vibratori, martello vibrante, ecc.);

- un dispositivo in grado di rilevare il segnale sismico, costituito da un gruppo di geofoni disposto secondo una configurazione opportuna, di solito lineare, detta "stendimento";

- un dispositivo in grado di registrare i segnali provenienti dai geofoni; questi infatti rilevano il segnale sismico e lo trasformano in impulsi elettrici, che vengono inviati al sismografo. Quest'ultimo, ricevendo l'impulso elettrico, ne diagramma il valore in funzione del tempo ottenendo così un sismogramma.

Tutti i sismografi più moderni sono corredati di dispositivi di "signal enhancement", che consentono la sommatoria delle vibrazioni provenienti, in modo guidato ed in tempi successivi, da un singolo punto di energizzazione. Ciò permette di eseguire il processo di stacking, cioè una somma di più segnali più o meno coincidenti, ciascuno affetto da un rumore fuori fase, che quindi tende ad annullarsi con la sommatoria.

Figura 1 e 2 – Sismografo X 610 S della MAE e stendimento per sismica a rifrazione

La lunghezza dello stendimento è scelta in funzione della profondità di indagine desiderata, mentre la distanza fra i geofoni è in funzione della risoluzione interpretativa che si vuole ottenere. La distanza tra sorgente e stendimento prende il nome di offset.

I dati sperimentali che si utilizzano sono i tempi di primo arrivo dei treni d'onda ai vari punti di registrazione. Leggere i valori di primo arrivo (picking) di un'onda P significa determinare sul sismogramma la posizione della prima escursione (positiva o negativa) superiore al livello di rumore della registrazione: i tempi che intercorrono tra l'istante di energizzazione e questi tempi di primo arrivo corrispondono ai tempi di percorso delle onde P dal punto sorgente ad ogni singolo geofono. Dal punto sorgente fino ad una certa distanza detta distanza critica questi tempi corrispondono ai tempi di arrivo di onde P che viaggiano poco al di sotto della superficie topografica e sono i tempi relativi all'onda diretta. Dal punto critico in poi l'onda rifratta arriva prima di quella diretta: questo avviene perché l'onda rifratta, pur compiendo un tragitto più lungo di quella diretta, percorre un buon tratto di questo cammino ad una velocità maggiore che è quella dello strato sottostante. Se consideriamo un terreno multistrato questo fenomeno si ripeterà per tutti gli strati caratterizzati da velocità superiore a quella degli strati soprastanti.

Una conseguenza molto importante della legge di Snell nella sismica a rifrazione è quella di essere in grado di distinguere e determinare gli strati rifrattori solo se essi hanno una

velocità maggiore di quelli sovrastanti. Quindi condizione necessaria per ottenere buoni risultati dall'applicazione del metodo sismico a rifrazione è che la velocità di propagazione aumenti con la profondità. Infatti, quando uno strato a velocità inferiore si trova al di sotto di strati a velocità superiore, esso non potrà essere rivelato come "rifrattore" e quindi non si potrà mettere in evidenza la sua presenza. In tali casi, se esiste il sospetto di una tale presenza, sarà necessario ricorrere ad altre metodologie di prospezione sismica (o ad altre metodologie geofisiche) ovvero a sondaggi meccanici, oltre che, ovviamente, tenere in considerazione i risultati di un accurato rilevamento geologico.

3.1 PROGETTO D'INDAGINE

Il sondaggio sismico a rifrazione è stato eseguito utilizzando il sismografo digitale **X 610 S** a 24 bit della M.A.E. srl ad alta risoluzione, in grado di registrare i segnali provenienti da geofoni a componente verticale e orizzontali e di permettere, grazie ad un software di elaborazione interno, un rapido controllo della qualità della registrazione, consentendo un processing preliminare dei dati in situ. Il sismografo in questione costituisce il componente fondamentale dell'apparato di acquisizione dei dati. Si tratta di uno strumento digitale a 72 canali, dotato di un processore interno ad alta risoluzione, un intervallo minimo di campionamento di 0.033 ms e un convertitore Analogico/Digitale sigma/delta a 24 bit.

Le impostazioni dei parametri di acquisizione dello strumento, scelti in funzione del tipo di indagine eseguito, della lunghezza dello stendimento, del grado di risoluzione ricercato, delle condizioni ambientali rispetto alle fonti di rumore e tenendo conto della relativa uniformità delle successioni sedimentarie presenti nelle zone indagate, sono riportate in tabella 1.

TIPO DI INDAGINE	INTERVALLO DI CAMPIONAMENTO	NUMERO DI CAMPIONI	DURATA DI REGISTRAZIONE	NUMERO DI STACKS
Rifrazione	66,4 µs	4096	545,73 ms	5

Tabella 1 - *Parametri di acquisizione del profilo sismico a rifrazione.*

Al fine di incrementare il rapporto segnale\rumore è stato effettuato, su tutte le registrazioni, un processo di stacking con numero di stacks pari a cinque.
Una massa del peso di 8 kg, battente su una piastra metallica, fissata al terreno in posizione verticale, è stata utilizzata come dispositivo in grado di generare onde sismiche.
Per l'elaborazione dei dati non è stata necessaria una correzione topografica dei dati.

La fase di processing dei dati acquisiti sul campo è stata condotta utilizzando software dedicati, per l'analisi, l'elaborazione dei segnali sismici e per la rappresentazione grafica dei modelli sismostratigrafici ottenuti.
Per l'interpretazione dei dati di sismica a rifrazione, alla fase di import dei dati, registrati in formato SEG2, è stata eseguita la lettura manuale, traccia per traccia, dei tempi di primo arrivo delle onde P (picking) corrispondenti ai tempi di percorso delle onde dal punto sorgente ad ogni singolo geofono.

La seconda fase è consistita nella costruzione e nell'interpretazione delle dromocrone, relative a tutti gli scoppi eseguiti, al fine di valutare lo spessore, l'eventuale inclinazione degli strati rifrattori e di costruire, tramite il metodo di inversione wavefront (fronte d'onda), che consente di migrare in profondità la combinazione dei "tempi di volo" diretti e reciproci usando l'approssimazione delle differenze finite nell'equazione eiconale, un modello iniziale del gradiente di velocità. Con metodo del fronte d'onda è possibile scostarsi dai modelli basati esclusivamente sull'interpretazione di stratificazione pian-parallela; si ha, infatti, la possibilità di individuare orizzonti rifrangenti ondulati e inclinati. Dopo aver calcolato tutti gli angoli di superficie relativi agli scoppi, diretto e inverso, si procede alla localizzazione della reale posizione della superficie di rifrazione, stimando i punti di rifrazione dei raggi che arrivano ai geofoni. Questo si ottiene da una serie di iterazioni effettuate per ogni geofono. Il metodo prevede, inoltre, il calcolo di una funzione di velocità, il cui valore è riferito alla posizione orizzontale dello stesso punto di rifrazione P.

Questi calcoli sono ripetuti per tutte le posizioni dei geofoni dello stendimento e la forma del rifrattore è ricostruita dalla linea che unisce tutti punti reali di rifrazione ottenuti, mentre la pendenza della retta della funzione di velocità, calcolata per ogni punto di rifrazione, permette di calcolare la velocità del rifrattore. Generalmente il metodo dei fronti d'onda è il metodo di interpretazione di sismica a rifrazione più efficace per risolvere i problemi causati dalle irregolarità del rifrattore. L'affidabilità dei risultati dipende dall'esattezza dei primi arrivi selezionati, dalla precisione della stima della velocità del primo strato e dalla quantità di geofoni utilizzati. Inoltre, i calcoli che si effettuano per determinare la profondità del rifrattore sono indipendenti dalla stima della sua velocità, in modo da non essere influenzati da eventuali errori.

3.2 INTERPRETAZIONE DEL PROFILO SISMICO A RIFRAZIONE

Il sondaggio eseguito, le cui caratteristiche sono rappresentate in tabella 2 ha consentito di ottenere le dromocrone, ricavate dalla regressione lineare dei tempi di primo arrivo ai 24 geofoni (Figura 2). Sono state eseguite 3 energizzazioni, due esterne (alla distanza di 2 metri dal primo e dall'ultimo geofono) e una interna (al centro dello stendimento).

Tabella 2 – *Caratteristiche geometriche dello stendimento del profilo sismico a rifrazione.*

Profilo sismico	Tipo di indagine	Lunghezza totale (m)	Numero geofoni 4,5 Hz	Posizione I geofono (m)	Posizione ultimo geofono (m)	Interdistanza tra i geofoni (m)
S1	Rifrazione	37,5	24	0	37,5	1,5

Il picking dei tempi di primo arrivo delle tracce sismiche provenienti dai punti di scoppio ha consentito di stimare i valori di velocità apparente del primo strato superficiale (onde dirette) e dei successivi strati rifrattori (onde rifratte). Il processo di inversione, per la costruzione del modello iniziale, è stato vincolato con le conoscenze dei possibili litotipi presenti nell'area indagata derivanti da precedenti studi.

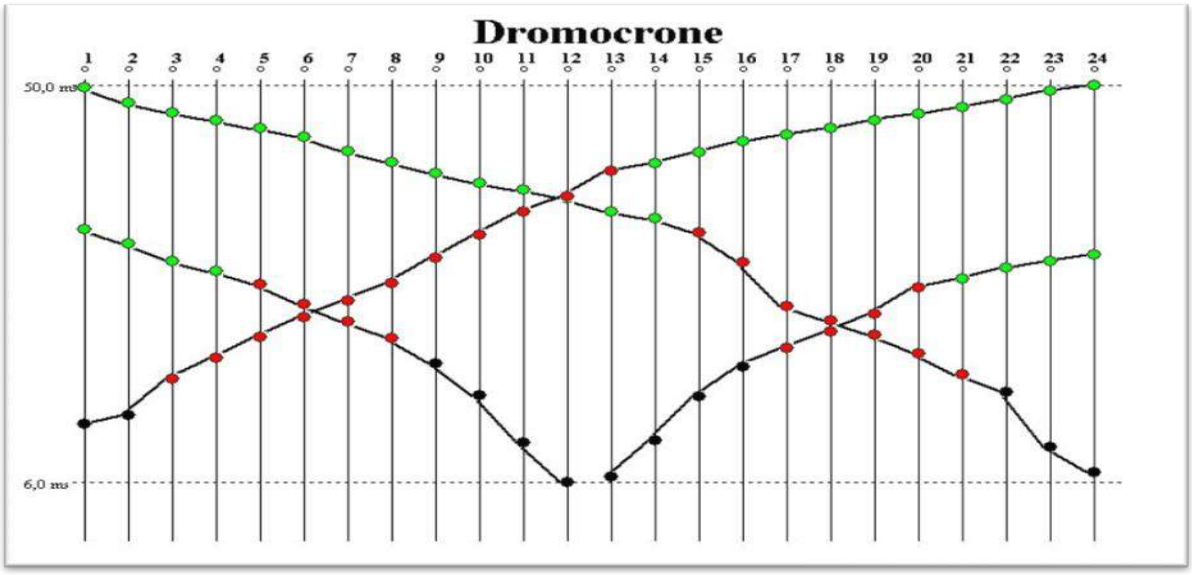


Figura 3 –.*Dromocrone ricavate dalla regressione lineare dei tempi di primo arrivo relativi al sondaggio sismico a rifrazione.*

Il profilo sismico a rifrazione è stato interpretato considerando una modellistica a tre strati. Il primo sismostrato è caratterizzato da una velocità di circa 190 m/s e una profondità di circa 2 metri, interpretabile con la presenza di materiale coesivo. Il secondo sismostrato è caratterizzato da una velocità di 280 m/s, e uno spessore variabile di circa 13 metri, compatibile con la presenza di limo. Il terzo sismostrato è caratterizzato da maggiori valori di velocità, circa 340 m/s, compatibile con la presenza di depositi sabbiosi.

3.3 IL METODO MASW

Nelle prospezioni sismiche per le quali si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica totale generata si propaga come onde superficiali di tipo Rayleigh.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza di queste onde è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) e quindi da una diversa lunghezza d'onda. Questa proprietà si chiama dispersione. Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Per ottenere un profilo verticale di velocità Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione. MASW può essere efficace anche con solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni verticali a bassa frequenza (4.5 Hz).

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale.

Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

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

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi.

PROGETTO D'INDAGINE

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati sismici di tipo MASW è stata eseguita con l'ausilio del software WinMASW, che consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers) acquisiti in campagna in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della VS (velocità delle onde di taglio).

Tale risultato viene ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW.

La procedura si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

1) determinazione dello spettro di velocità (sul quale l'utente deve identificare la curva di dispersione);

2) inversione della curva di dispersione (precedentemente individuata) attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici (detti anche evolutivi).

I comuni metodi lineari forniscono, infatti, soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire. Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale). In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erronee.

Gli algoritmi evolutivi (come altri analoghi) offrono invece un'esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza. E' invece necessario definire uno "spazio di ricerca" (search space) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni. Quella finale viene, infine, proposta con una stima della sua attendibilità (deviazioni standard), ottenuta grazie all'utilizzo di tecniche statistiche. Il principale punto di forza di WinMASW è quindi proprio quello di fornire risultati molto più robusti rispetto a quelli possibili con altre metodologie, arricchiti anche da una stima dell'attendibilità. Tali caratteristiche vengono ottenute a prezzo di uno sforzo computazionale piuttosto intensivo che si riflette in tempi macchina più lunghi rispetto quelli comunemente necessari coi metodi di inversione lineare (che però rischiano di fornire risultati piuttosto imprecisi). Tali tempi di calcolo dipendono dai parametri scelti dall'utente per l'inversione dei dati.

INTERPRETAZIONE DEL PROFILO SISMICO DI TIPO MASW

Per l'esecuzione del profilo sismico di tipo MASW, sono state eseguite due energizzazioni verticali agli estremi dello stendimento, per ottimizzare e vincolare il processo di inversione dei dati.

.

Grazie alle conoscenze geologiche dell'area in esame, si è stabilito di utilizzare, per l'interpretazione dei dati acquisiti, una modellistica a 3 strati. Le curva di dispersione relativa al sondaggio sismico eseguito è mostrata in figura 5.

Solo il modo fondamentale della curva è stato analizzato per la determinazione del parametro Vs30. L'analisi del profilo sismico MASW eseguito ha permesso la definizione di un modello 1D di velocità delle onde di taglio, localizzabile nel baricentro dello stendimento.

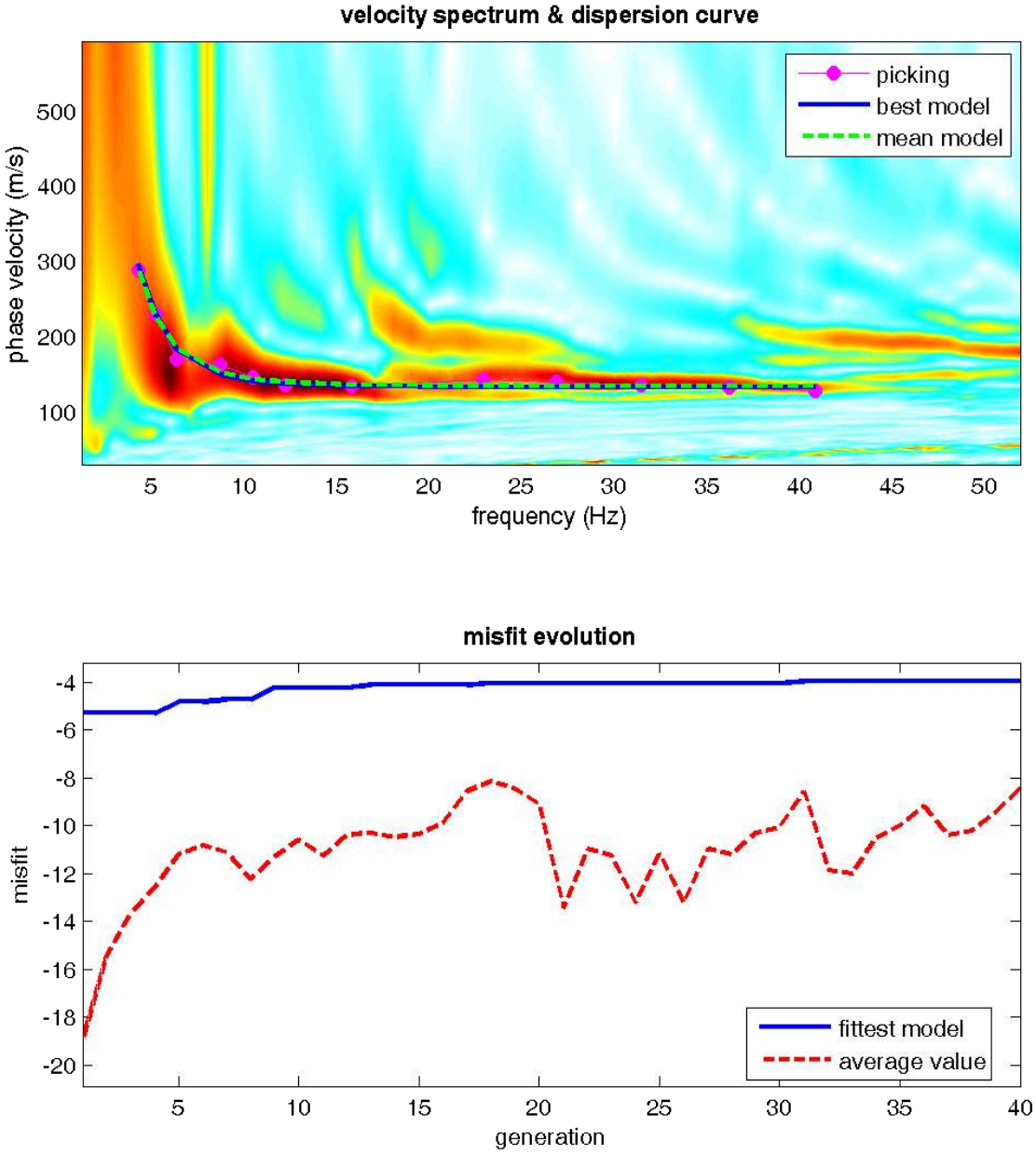


Fig. 4 – *Risultato della modelling tramite risoluzione del problema*

La tabella 5 riporta i valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessore determinati per tutti gli strati, considerando il modello migliore ottenuto. Per questo tipo di modellistica, lo spessore dell'ultimo strato è da considerarsi indefinito.

L'indagine non ha permesso l'individuazione della profondità del bedrock sismico.

		I strato	II strato	III strato
S1	VS (m/s)	190	280	340
	spessore (m)	2	13	∞

Tabella 5 – *Valori di velocità di propagazione delle onde di taglio e di spessori, relative al modello migliore ottenuto.*

La tabella mostra che la categoria di suolo di fondazione riferita al piano campagna e per fondazioni con profondità fino a 30 metri è di tipo **C**: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

La profondità di penetrazione dell'indagine MASW è determinata dalla relazione tra velocità e frequenze rappresentate nella curva di dispersione. Strati più profondi influenzano, infatti, frequenze inferiori (lunghezze d'onda maggiori) e di conseguenza sarà la frequenza più bassa a determinare la massima profondità di penetrazione (da cui l'importanza di generare un segnale con una sufficiente quantità di energia anche alle frequenze più basse). Questo valore è determinato attraverso l'approssimazione $\lambda/2.5$ ed è, quindi, chiaramente solo indicativo.

Infatti, è bene precisare che, a causa della variazione dei parametri fisico - meccanici (porosità, contenuto d'acqua, grado di fatturazione, ecc.), non sempre gli spessori sismostratigrafici coincidono con gli spessori litologici.

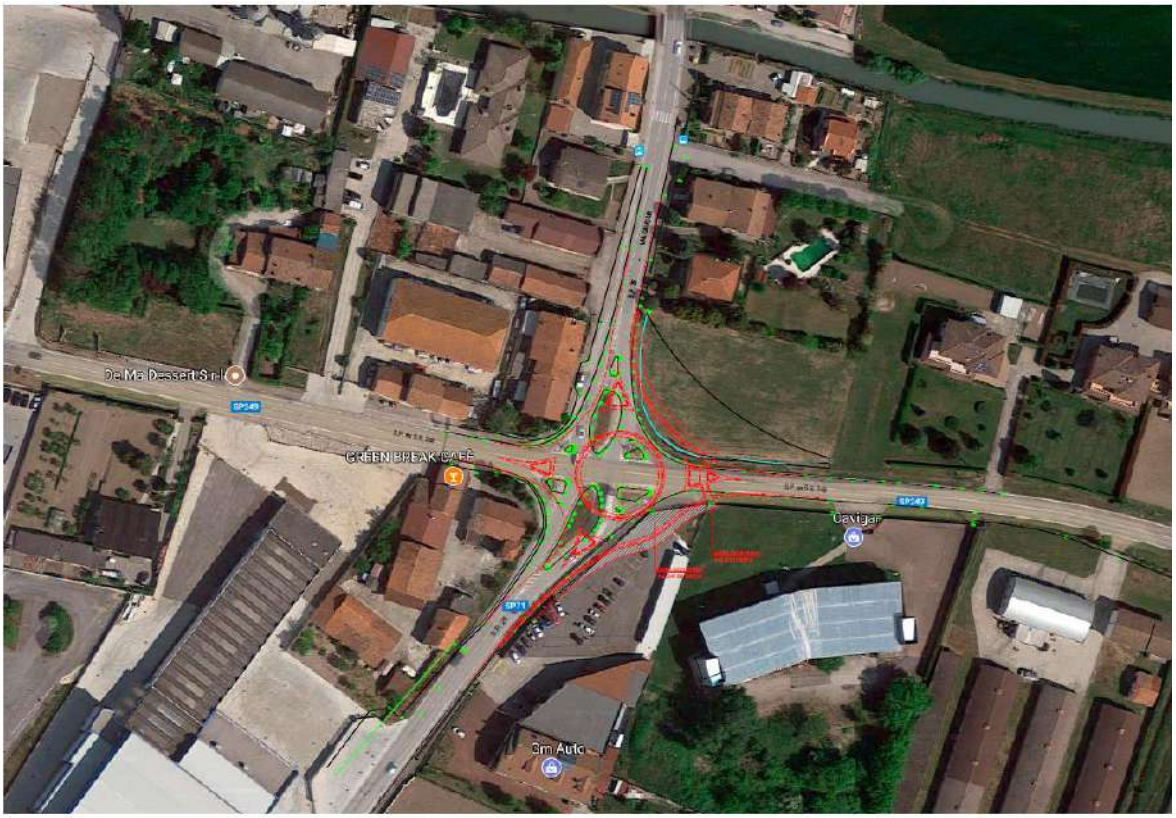
4. PROVE GEOTECNICHE IN SITO

Scopo dell'indagine è quello di caratterizzare la stratigrafia del sottosuolo locale e definire le proprietà geotecniche dei terreni attraversati. A tal proposto è stata eseguita una prova penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT), spinte alla profondità massima di 5 metri dal piano campagna esistente e una prova geofisica masw per la determinazione della V_{s30}. Dall'analisi condotta emerge un terreno composto nel complesso da depositi a comportamento geomeccanico prevalentemente coesivo e granulare per tutta la profondità del sondaggio.

La successione litostratigrafia dell'area in esame è la seguente:

0.0	–	0.4	m	terreno vegetale;
0.4	–	1.2	m	deposito limoso;
1.2	-	10	m	deposito limo sabbioso.

Ubicazione sondaggi geognostici



5. SISMICITA'

NORMATIVE SISMICHE

In merito alla classificazione sismica del territorio nazionale, nello specifico ai sensi dell'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274, che costituisce la base legislativa della nuova disciplina sulla sismicità, tale Ordinanza ha aggiornato la normativa sismica, con l'attribuzione, alle diverse località del territorio nazionale, di un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo.

Il territorio nazionale viene suddiviso in quattro zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro ag, ossia di accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A (Formazioni litoidi o terreni omogenei caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 metri). Il territorio del comune di Castelbelforte con la nuova D.G.R. 2129 del luglio 2014 è stato classificato a rischio sismico 3, a cui è associato un valore della massima accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di

risposta elastico pari a ag = 0,15g (con g = accelerazione di gravità). Le massime accelerazioni attese al suolo o P.G.A. (Peack Ground Acceleration) previste dalla mappa di Pericolosità Sismica dell'I.N.G.V. – 2004 sono comprese tra **0,125 ÷ 0,150g**, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli di categoria A.

Nell'ambito della revisione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) sono state adottate le stime di pericolosità sismica del progetto S1, concludendo il percorso iniziato nel 2003. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale e sulla base di 4 zone sismiche. Tuttavia le 4 zone sismiche mantengono una funzione prevalentemente amministrativa.

I dettami della nuova normativa (NTC del D.M. 14 gennaio 2008), la valutazione della pericolosità sismica si attua secondo un criterio sito dipendente, che tenga conto delle condizioni locali del sito; la pericolosità sismica deve essere cioè riferita al punto preciso, individuato all'interno del reticolo di riferimento i cui nodi, identificati in termini di latitudine e longitudine, non devono distare più di 10 Km l'uno dell'altro.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste sono definite in funzione dei tre parametri:

- accelerazione orizzontale di ancoraggio (a_g/g);
- valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (Fo);
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (Tc).

Questi parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo i cui nodi non distano fra loro più di 10 Km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per i diversi periodi di ritorno.
Dai parametri dell'opera è stato possibile determinare:

- opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale la cui vita nominale è Vn ≥ 50 anni;
- classe II: costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali;
- coefficiente d'uso Cu = 1.

L'accelerazione orizzontale di ancoraggio viene determinata sulla base della classificazione del terreno e può assumere quattro valori funzionali della zona sismica:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g)
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Il parametro S dipende invece dalle caratteristiche del suolo di fondazione secondo le seguenti caratteristiche.

Categoria di suolo di fondazione	PROFILO STRATIGRAFICO	V_{s30} (m/s)	N_{spt}	C_u (Kpa)
A	Formazione litoide o suoli omogenei molto rigidi	>800		
B	Depositi di sabbia o ghiaia molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<800 >360	>50	>250
C	Depositi di sabbia e ghiaia mediamente addensate, o di argille di media consistenza	<360 >180	<50 >15	<250 >70
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti	<180	<15	<70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con V_{s30}> 800 m/s			
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato di plasticità (PI > 40) e contenuto di acqua	<100		<20 >10
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			

Gli effetti topografici possono essere trascurati in quanto la superficie topografica, poiché il sito è ubicato in una ampia area pianeggiante, può essere classificata come appartenente alla categoria T1:

"Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i 15°"

Per tale categoria si assume quale valore del coefficiente di amplificazione topografica ST = 1,0.

Per la determinazione dei coefficienti di amplificazione sismica, le quali permettono di calcolare i fattori di amplificazione rispetto ad un suolo di riferimento.

Tali fattori espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale PGA/PGA0, sia di rapporto di Intensità Housner SI/SI0, per prefissati intervalli di periodi, dove PGA0 e SI0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'intensità di Housner al suolo di riferimento, definiti in ogni comune, sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Quindi:

- PGA/PGA0 = 1,50
- SI/SI0 = 1,80 $0{,}1s < T0 < 0{,}5\ s$
- SI/SI0 = 2,30 $0{,}5s < T0 < 1{,}0\ s$

La tabella cui ci si riferisce fa riferimento ad una pianura caratterizzata da profilo stratigrafico costituito da alternanze di limi e argille, con spessori anche deca metrici, talora con intercalazioni di orizzonti di sabbia (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (100 metri da p.c.).

Ad esso sono legati i valori assunti da periodi di vibrazione che caratterizzano la forma dello spettro di risposta. In funzione delle cinque classi di suolo proposte questi parametri assumono i seguenti valori:

Categoria suolo	S	T_B	T_C	T_D
A	1.0	0.15	0.40	2.0
B.C.D	1.25	0.15	0.50	2.0
E	1.35	0.2	0.80	2.0

6. STIMA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

L'intervento in progetto, così come contemplato dalla normativa vigente, rientra tra le opere strategiche, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, pertanto i parametri sismici sotto riportati fanno riferimento alla classe d'uso IV.

Secondo normativa (D.M.14.01.2008) **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C**:

Categoria	Descrizione da d. m. 14/01/2008 – Tabella 3.2.II
C	*Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fina moderatamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs_{30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

TIPO DI COSTRUZIONE		2
VITA NOMINALE	VN	≥ 50 anni
CLASSE D'USO		IV
COEFFICIENTE D'USO	C_U	2
VITA DI RIFERIMENTO	VR	50 anni

Parametri sismici

Sito in esame

latitudine:	45, 209587
longitudine:	10, 89082
Classe:	***3***
Vita nominale:	50

Categoria di suolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	75 anni
Coefficiente d'uso:	1.5

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 13616	Lat: 45,2062Lon: 10,8669	Distanza: 1910,730
Sito 2	ID: 13617	Lat: 45,2078Lon: 10,9377	Distanza: 3681,375
Sito 3	ID: 13395	Lat: 45,2577Lon: 10,9356	Distanza: 6399,812
Sito 4	ID: 13394	Lat: 45,2562Lon: 10,8647	Distanza: 5572,391

Operatività (SLO):		
Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	45	[anni]
ag:	0,040 g	
Fo:	2,535	
Tc*:	0,252	[s]

Danno (SLD):		
Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	75	[anni]
ag:	0,050 g	
Fo:	2,528	
Tc*:	0,271	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):		
Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	712	[anni]
ag:	0,121 g	
Fo:	2,528	
Tc*:	0,291	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):		
Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	1462	[anni]
ag:	0,158 g	
Fo:	2,499	
Tc*:	0,293	[s]

7. PARAMETRI SISMICI DI CALCOLO

Grazie ai sondaggi geognostici è stato possibile sia parametrizzare i litotipi intercettati alle varie profondità sia determinare la categoria di suolo di fondazione, così come previsto ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008. Di seguito viene riportato il valore a_g (accelerazione massima orizzontale al piano di posa delle fondazioni)

$$A_g = S_s\ S_t\ a_{bedrock}$$

Dove

$a_{bedrock}$ = è l'accelerazione sismica orizzontale al bedrock;

S_t = è il fattore di amplificazione stratigrafica;

S_s = si determina in relazione alla categoria di sottosuolo.

Categoria sottosuolo	S_s
A	1
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40\ F_o \leq 1.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60\ F_o \leq 1.50$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50\ F_o \leq 1.80$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10\ F_o \leq 1.60$

I parametri a_g, F_o e T_c sono riportati nelle tabelle relative al capitolo 7, mentre il parametro S_s risulta uguale a 1.50.

Il fattore S_t si ottiene direttamente dalla tabella del D.M. 14 gennaio 2008:

categoria topografica	**Caratteristiche della superficie topografica**	**Ubicazione opera o dell'intervento**	**S_t**
T_1	**Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°**		**1.00**
T_2	**Pendii con inclinazione media i > 15°**	**Sommità del pendio**	**1.20**
T_3	**Rilievi con larghezza in cresta molto minori che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°**	**Cresta del rilievo**	**1.20**
T_4	**Rilievi con larghezza in cresta molto minori che alla base e inclinazione media i > 30°**	**Cresta del rilievo**	1.40

Considerando che l'area in progetto risulta pianeggiante il valore di S_t = 1.00.

Pertanto il valore di a_{max} massima attesa al sito risulta:

$$\mathbf{A_{max} = 1.5 \times 1.0 \times 0.0121 = 0.181}$$

Moltiplicando a_{max} per un fattore correttivo β otteniamo il coefficiente sismico orizzontale

$$K_{hk} = \beta\ a_g$$

Ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008, il parametro β lo si ricava dalla seguente tabella:

Categoria di	sottosuolo	
A	B, C, D, E	
β	β	
0.30	0.28	$0.2 \leq a_g \leq 0.4$
0.27	0.24	$0.1 \leq a_g \leq 0.2$
0.20	0.20	$a_g \leq 0.1$

Per l'area in esame β = 0.24, per cui si ottiene:

$$K_{hk} = 0.24 \times 0.181 = 0.043$$

8. MODELLO GEOTECNICO-GEOFISICO

L'analisi geotecnica degli orizzonti stratigrafici è stata possibile considerando le prove geotecniche in sito, in particolare grazie alla resistenza al taglio e di deformabilità evidenziate dalle prove penetrometriche. I sedimenti che caratterizzano il sottosuolo in esame appartengono ai depositi fluviali caratterizzati da limi e limi-argillosi e limi-sabbiosi.

Dall'analisi dei sondaggi geognostici è stato possibile procedere alla definizione di un modello geotecnico per il sito in progetto. Il modello geofisico è stato ipotizzato correlando i dati geotecnici con quelli sismici acquisiti mediante lo stendimento di sismica multicanale (metodologia masw).

Viene schematizzata la successione stratigrafica dei terreni presenti prendendo come riferimento il piano campagna attuale.

ORIZZONTE A

Da 0.00 a 1.2 m da p.c.: si ha il terreno di limoso. L'orizzonte presenta medie caratteristiche geotecniche.

γ	1.85 T/m³	Peso unitario del terreno
γ'	0.9 T/m³	Peso unitario del terreno in falda
Cu	0.65 Kg/cm²	Coesione non drenata
c'	0.54 Kg/cm²	Coesione drenata
M_o	80 Kg/cm²	Modulo edometrico
Vs	190 m/sec	Velocità delle onde S

ORIZZONTE B

Da 1.2 m a 10 m da p.c.: si individua un deposito prevalentemente limo-sabbioso.

A questi terreni possono essere assegnati i seguenti parametri geotecnici di resistenza:

γ	1.85 T/m³	Peso unitario del terreno
γ'	0.95 T/m³	Peso unitario del terreno in falda
ϕ	28°	Resistenza al taglio drenata
ϕ_{cv}	27°	Resistenza al taglio a volume costante
M_o	100 Kg/cm²	Modulo edometrico
Vs	340 m/sec	Velocità delle onde S

9 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Nella nuova normativa, inerente gli aspetti sismici, di cui al D.M. 14/01/2008, è richiesto di effettuare la verifica a liquefazione nel caso in cui siano presenti, nei primi 20 m di profondità del sottosuolo indagato, terreni granulari saturi (sabbie e sabbie limose) predisposti al fenomeno della liquefazione in caso di sisma.

Per liquefazione si intende un processo di accumulazione della pressione del fluido interstiziale che causa in un terreno incoerente (sabbie e sabbie limose) saturo (sotto falda) una diminuzione della resistenza al taglio a seguito dello scuotimento sismico, potendo dar luogo a delle deformazioni permanenti significative.

Il meccanismo della liquefazione dipende sia dalle caratteristiche del sisma (magnitudo, durata, distanza epicentrale ecc.) che da quelle locali del terreno (granulometria, saturazione, densità relativa, stato tensionale, ecc).

Nello specifico dell'area in esame, tenuto conto della presenza di strati sabbiosi saturi nei primi 10 m di profondità, come rilevato nella prova eseguita, è stata valutata la

suscettività alla liquefazione da prova CPT, mediante un programma di calcolo automatico che applica la correlazione di Robertson Wride (1997).

In considerazione degli eventi sismici che hanno colpito l'area in esame nel maggio/giugno 2012 e delle prime indicazioni fornite dall'INGV, per le verifiche alla liquefazione si è fatto cautelativamente riferimento ad un valore di magnitudo massima attesa pari a 5.6

Litologicamente i terreni del primo sottosuolo in tutta l'area di interesse risultano caratterizzati da una certa omogeneità e tipica di un ambiente di pianura alluvionale nel quale si alternano sia spazialmente che temporalmente ambienti deposizionali tra loro collegati.

Sostanzialmente si evidenzia una componente limosa predominante sino a profondità variabili da circa 0.4 m a circa 1.2 m, seguita da livelli prevalentemente sabbiosi rilevati fino alla profondità di 10 m dal p.c..

La verifica della suscettibilità alla liquefazione è stata eseguita pertanto considerando i risultati, sino alla profondità di 30 m dal p.c. delle indagini masw.

La falda è stata considerata alla profondità di 1.6 m dal p.c. come direttamente verificato nel foro del sondaggio penetrometrico effettuato.

Per quanto concerne la magnitudo, come riportato nei capitoli precedenti, si è fatto riferimento ad un valore massimo pari a 5.6. Per quel che concerne invece l'accelerazione massima attesa in superficie nell'area in esame, le analisi effettuate secondo quanto stabilito dalle NTC 2008 e dalla Circolare n°617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2 febbraio 2009, è di a_{max} = 0.181.

La verifica alla liquefazione è stata effettuata correlando la capacità di resistenza del terreno alla liquefazione CRR e la resistenza ciclica indotta dal sisma CSR (Seed & Idriss 1971). Dalla prova penetrometrica statica si è valutato la resistenza alla liquefazione CRR; il potenziale di liquefazione lo si è ottenuto eseguendo il calcolo del fattore di sicurezza FS_L, definito dal rapporto CRR/CSR.

$$CSR = 0.65 \times (a_{max})/(g) \times (\sigma_{vo}/\sigma_{vo'}) \times r_d \times 1/(MSF \times K_\sigma)$$

dove:

a_{max} = accelerazione sismica di picco al piano campagna;

g = accelerazione di gravità;

σ_{vo} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;

$\sigma_{vo'}$ = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;

r_d = fattore di riduzione delle tensioni alla profondità interessata;

MFS = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma;

K_σ = coefficiente correttivo funzione delle tensioni efficaci alla profondità interessata.

Il fattore di sicurezza alla liquefazione FS_L è definito dal rapporto CRR/CSR:

$$FS_L = CRR \bullet \frac{MSF}{CSR}$$

Il rapporto di tensione ciclica CSR, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso l'espressione di Seed e Idriss, 1971 riportata di seguito:

$$CSR = 0.65x\ a_{max}/g\ x\ \sigma_{vo}/\sigma'_{vo}\ x\ R_d$$

Dove:

a_{max} : accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto;

g : accelerazione di gravità;

σ_{vo} : tensione totale verticale alla profondità considerata;

σ'_{vo} : tensione efficace verticale alla profondità considerata;

Rd : coefficiente riduttivo dell'azione sismica per valutare la deformabilità del sottosuolo.

Per quel che concerne invece la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR, la resistenza penetrometrica, q_c, ricavata dalle indagini penetrometriche statiche CPT, deve essere ricondotta ad un valore normalizzato, q_{c1N}, attraverso la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_q x\ q_{c/Pa}$$

Dove a_p (pressione atmosferica pari a 100kPa) e c_q espressa nella stessa unità di misura.

Il coefficiente Q_c (fattore correttivo per tener conto dell'influenza della pressione verticale efficace).

In base al valore di IL ottenuto viene fuori la seguente tabella:

IL	rischio di liquefazione
0<IL≤2	basso
2<IL≤5	moderato
5<IL≤15	elevato

Nella verifica eseguita è stato ottenuto un valore di **IL = 1.4,** indice di un rischio di liquefazione basso e il fattore di sicurezza Fs>1 considerando una magnitudo di riferimento e un'accelerazione sismica secondo il D.M. 14 gennaio 2008.

10 DETERMINAZIONE DELL'INDICE DI PORTANZA DEL SOTTOFONDO

Per quando riguarda la sovrastruttura stradale si prevede la realizzazione di un pacchetto caratterizzato da una stratigrafia idonea a trasmettere al terreno carichi compatibili con la sua portanza.

Sulla base dei risultati delle indagini geologiche e geotecniche si può affermare che il piano di posa è costituito da limi e limi-sabbiosi, ossia depositi dotate di medie caratteristiche fisiche e meccaniche.

Per il calcolo della pavimentazione è lecito assumere, a vantaggio di sicurezza, un modulo resiliente di sottofondo pari a 50 MPa.

Il modulo resiliente appena menzionato è di primaria importanza per la progettazione della pavimentazione: MR è un modulo elastico dinamico che tiene conto soltanto della componente viscosa reversibile e R della deformazione del materiale.

Si può porre:

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_R}$$

dove è lo sforzo deviatorico della prova triassiale ed eR è la porzione reversibile della deformazione. Può essere determinato direttamente in laboratorio seguendo le indicazioni della norma statunitense AASHTO T-274-82 (prova di carico ripetuto a compressione triassiale) per il sottofondo ed i materiali non legati; per i materiali stabilizzati con bitume e per gli altri materiali legati, invece, viene determinato con prove a trazione indiretta (ASTM D-4123-82).

Generalmente, si sottopongono in laboratorio provini cilindrici di materiale a stati tensionali di compressione triassiale.
Il provino, posto in una cella triassiale, è soggetto al generico istante t, ad una pressione laterale s3 e, sulle basi, alla pressione $\sigma 1 = \sigma 3 + \sigma D$.

Durante la prova, solitamente, la s3 rimane costante mentre il deviatore di tensione sD varia ciclicamente.

Conseguentemente anche le deformazioni verticali totali varieranno ciclicamente: la differenza, dopo un assegnato numero di cicli, tra la deformazione totale e quella residua individua la deformazione recuperata o "resiliente" eR (figura 1).

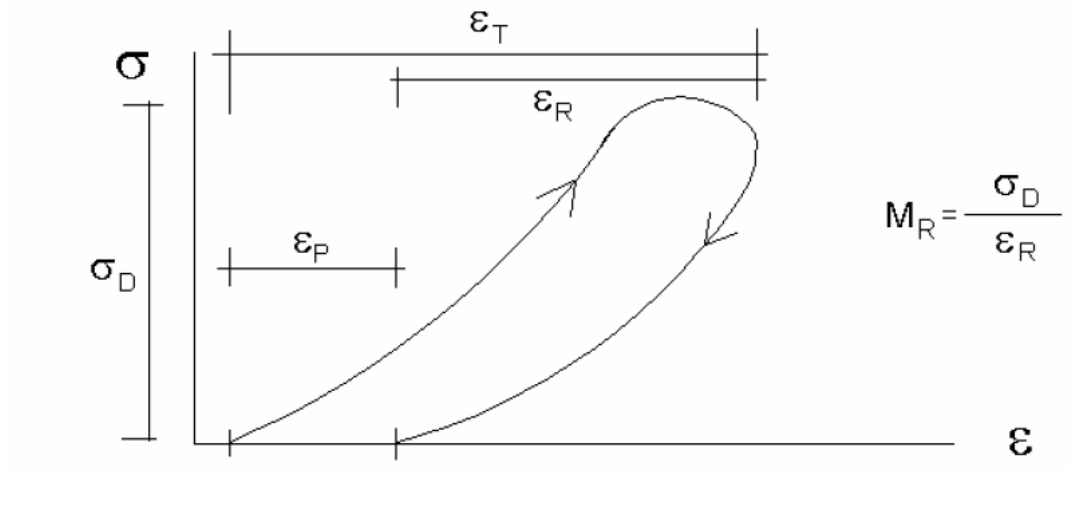


Figura 1: Andamento tipico di una prova per la determinazione del modulo resiliente (Elliott e Thornton, 1988)

La deformazione totale viene misurata all'inizio mentre quella residua al termine della fase di scarico: tra le due letture delle deformazioni trascorre un intervallo di tempo dell'ordine di alcuni secondi che permette il sostanziale recupero della deformazione elastica viscosa reversibile (elasticità ritardata).

Generalmente si adottano le correlazioni di Heukelom e Klomp tra il modulo resiliente ed il valore effettivo del CBR:

$$M\ 100\ CBR\,[kg/cm^2]$$

Di seguito si riportano a titolo indicativo i valori del modulo resiliente utilizzati nella stesura del Catalogo delle sovrastrutture CNR.

Di seguito si riportano a titolo indicativo i valori del modulo resiliente utilizzati nella stesura del Catalogo delle sovrastrutture CNR (B.U. 178/95)

MR (MPa)	CBR%	K (KPa/mm)
150	15	100
90	9	60
30	3	20

Quindi, in base a quanto detto sopra sul modulo resiliente per il calcolo della pavimentazione stradale nell'intervento della S.P. 64, si farà riferimento ad una portanza del sottofondo espressa come indice CBR pari a 5.

11 DETERMINAZIONE DEL TRAFFICO

È di primaria importanza stabilire il volume di traffico che presumibilmente interesserà la strada durante il periodo di "vita utile", in termini quantitativi e qualitativi.

La componente di traffico che si considera per il calcolo è soltanto quella "pesante", costituita dai veicoli (autocarri, autoarticolati, autobus e veicoli speciali) che per le notevoli pressioni trasmesse al suolo, rappresenta la causa prima dell'ammaloramento e degrado della sovrastruttura stradale, ritenendo trascurabili gli effetti relativi agli altri veicoli (autoveicoli e motoveicoli).

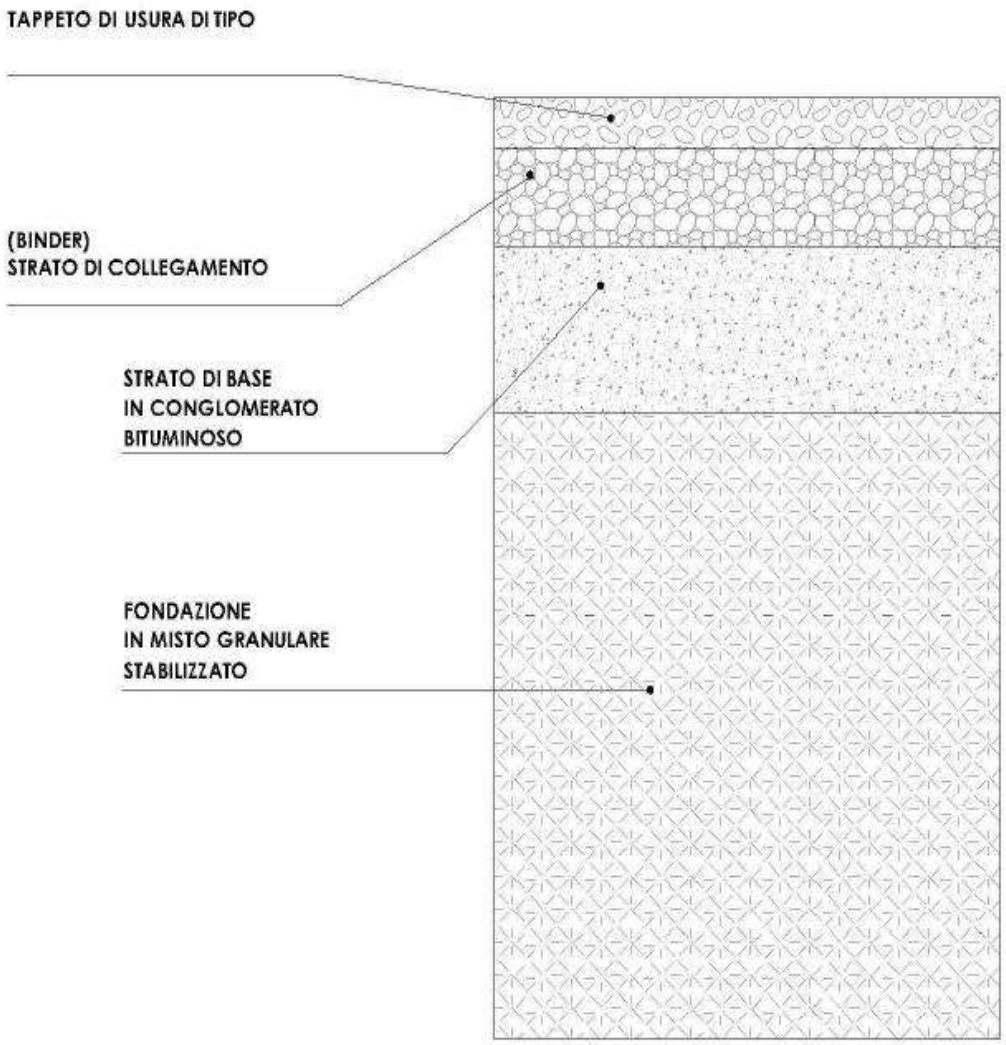
Da un attento esame del contesto viario in cui si inserisce, si prevede che il traffico che impegnerà l'infrastruttura sarà di tipo promiscuo con una frazione di veicoli pesanti pari al 5% dell'intero volume di traffico giornaliero medio.

12 DIMENSIONAMENTO PAVIMENTAZIONE STRADALE

Sulla base di queste semplici ma fondamentali considerazioni si procederà a seguire alla progettazione ed alla verifica della rotatoria.

La soluzione proposta per la pavimentazione dell'asse principale prevede i seguenti strati:

- Ghiaia mista naturale cm 30
- Misto cementato cm 20
- Strato di base in cong. bit cm 10
- Strato di collegamento binder cm 6
- Tappeto di usura cm 4



La verifica degli spessori assunti della presente relazione ha dato esito positivo, con un coefficiente di sicurezza superiore all'unità e quindi detti spessori si assumeranno validi per la realizzazione della relativa pavimentazione stradale.

13 VERIFICA (METODO AASHTO)

Il metodo empirico proposto dalla AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), basato sull'osservazione diretta del comportamento di strutture già realizzate, è forse il più utilizzato e ancora oggi sembra assai valido, sebbene sia stato sensibilmente modificato rispetto alla stesura originale del 1960.

Esso fornisce il numero di passaggi di un asse "standard" di 8.2 t (80 kN) compatibile con la sovrastruttura stradale.

Il numero di passaggi N8.2 in questione è dato dalla seguente

$$LogN_{8.2} = Z_R \bullet S_o + 9.36 \bullet \log\langle SN+1\rangle - 0.20 + \frac{Log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.45 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \bullet LogM_R - 8.07$$

dove:

SN Structural Number o indice di spessore, espresso in pollici (1" = 2.54 cm);

ZR, So deviazioni standard associate all'affidabilità di progetto R;

DPSI differenza tra il valore iniziale e finale dell'indice PSI;

MR modulo resiliente effettivo del terreno di supporto, in psi (1 psi = 7.03e-2 kg/cm^2).

L'indice di spessore SN (structural number) è pari alla somma dei prodotti degli spessori previsti (in pollici) per i coefficienti strutturali propri di ogni materiale:

$$SN = \sum s_i \bullet a_i$$

I valori dei coefficienti strutturali utilizzati sono riportati di seguito:

- strato di usura in conglomerato bituminoso 0.42
- strato di collegamento in conglomerato bituminoso 0.41
- strato di base in conglomerato bituminoso 0.18
- strato di fondazione in misto granulare stabilizzato 0.12

D'altra parte, l'affidabilità R (reliability) esprime la probabilità che il numero di applicazioni di carico Nt che la struttura può sopportare prima di raggiungere un

prefissato grado di ammaloramento finale (PSIfin) sia maggiore o uguale al numero di applicazioni di carico NT che realmente sono applicati alla sovrastruttura nel periodo di progettazione T considerato (vita utile):

$$R\,\% = 100 \times \Pr\ ob\ (N_t\ {}^3 N_T)$$

In sintesi R esprime la probabilità di sopravvivenza della strada in relazione al periodo di vita utile prefissato e le grandezze ZR ed So sono strettamente collegate a tale affidabilità.

ZR rappresenta il valore della variabile standardizzata do al quale corrisponde la probabilità R che si abbiano valori ad esso superiori. Considerando l'espressione di do, l'affidabilità può essere riscritta come (%) =100×Pr (³ 0) *o R ob*d con do variabile aleatoria caratterizzata da una legge di probabilità normale, valore medio pari a ZR e deviazione standard So. Per quest'ultimo parametro, nel caso di pavimentazioni flessibili solitamente si assume un valore compreso tra 0.40 e 0.50 tenendo conto dell'errore che si commette sul traffico e sulle prestazioni previste per la sovrastruttura.

Si rammenta che per "vita utile" si intende il periodo oltre il quale la degradazione subita dalla strada rende necessari importanti interventi di manutenzione straordinaria, al limite il suo completo rifacimento.

Il "Present Serviceability Index", PSI, rappresenta numericamente il grado di ammaloramento della strada, potendo variare da 0 (pessimo) a 5 (ottimo). Il valore iniziale si assume convenzionalmente pari a 4,2 mentre quello finale varia a seconda dei casi: in questa sede, essendo la strada in oggetto una strada extraurbana, il valore finale del PSI si assume pari a 2.0 (DPSI=2.2) e l'affidabilità di progetto R al 90%. Conseguentemente ZR = -1.282 e S0 = 0.45.

Per assicurare comunque un ulteriore margine di sicurezza si è considerato un valore finale di PSI pari a 2 5, migliorativo rispetto a quanto previsto per il tipo di strada in oggetto.

Infine, il modulo resiliente MR che caratterizza la capacità portante dello strato di appoggio della sovrastruttura si è assunto pari a 30 MPa come esposto in precedenza.

Utilizzando la Tabella delle distribuzioni dei carichi per asse proposta nel Bollettino Ufficiale CNR 178/95 è possibile stabilire la conformazione media di qualunque veicolo pesante (VP). Per esempio, un tipo di autocarro pesante (Cat. 6) è dotato di 3 assi: uno singolo da 60 kN ed una coppia di assi tandem da 100 kN ciascuno; un tipo di autotreno (Cat. 12) è dotato di 5 assi: due singoli - 60 e 110 kN - e un gruppo di tre assi da 90 kN ciascuno (triplo).

Le Tabelle pubblicate dalla "AASHTO Guide" (1986), relative ad un valore PSI finale di 2.5, (cfr. Tabelle 4-5-6) forniscono i valori dei coefficienti di equivalenza all'asse standard da 8.2 t di qualsiasi tipo di asse "reale" (singolo, tandem o triplo) in funzione del carico trasmesso al suolo (in kips – 1 kips = 4.45 kN) e dell'indice di spessore della pavimentazione SN (in pollici).

Il numero di veicoli pesanti cumulato relativo al periodo di vita utile della strada può calcolarsi con la formula:

$$N_t = 365 \bullet N_g \bullet \frac{(1+r)^n}{r} - 1$$

risulta Nt = numero di VP cumulato negli n anni = 784'304 Veicoli Pesanti (valore di progetto) essendo:

Ng 108 VP/giorno (valore relativo all'anno di messa in servizio)

r 2.5 % (tasso di crescita medio annuo)

n 20 anni (vita utile della pavimentazione)

Risulta, quindi, che il numero di passaggi previsti è inferiore al numero dei passaggi ammessi, per cui la pavimentazione della strada risulta verificata.

In definitiva la verifica degli spessori assunti nel capitolo 12 della presente relazione ha dato esito positivo, con un coefficiente di sicurezza superiore all'unità e quindi detti spessori si assumeranno validi per la realizzazione della relativa pavimentazione stradale.

14 CONCLUSIONI

Di seguito vengono richiamati le principali caratteristiche geologiche riscontrate in sito:

- Il livello statico della falda freatica è stato intercettato mediamente alla profondità di 1.6 m da p.c.;

- Per la natura dei terreni individuata, per la collocazione geografica del sito e a seguito dell'elaborazione delle indagini effettuate i principali parametri sismici risultano i seguenti:
  Zona: 3 (da OPCM 3519/06) **Amax** di picco al suolo più conservativa**: 0,181 g** (valore più cautelativo da risposta sismica locale) **Categoria suolo: C**;

- Per un sisma con M=5.6, accelerazione pari a 0,181g e livello di falda a 1.6 m da p.c. il potenziale di liquefazione massimo risulta pari a **IL = 1.4**, associando il sito a rischio basso.

In merito alla realizzazione della rotatoria le verifiche degli spessori della pavimentazione stradale, riportati al cap. 12, confermano un coefficiente di sicurezza superiore a 1.

Bigarello, Febbraio 2018

IL TECNICO
Dott. Geol. Rosario Spagnolo

ALLEGATI

PROVA CPT

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	11,00	0,0	11,138	0,0		0,0
0,40	13,00	0,0	13,138	0,6	21,89667	4,6
0,60	13,00	22,0	13,138	1,067	12,31303	8,1
0,80	18,00	34,0	18,138	1,067	16,99906	5,9
1,00	23,00	39,0	23,138	1,333	17,35784	5,8
1,20	29,00	49,0	29,276	1,533	19,0972	5,2
1,40	31,00	54,0	31,276	1,4	22,34	4,5
1,60	28,00	49,0	28,276	1,8	15,70889	6,4
1,80	35,00	62,0	35,276	1,667	21,16137	4,7
2,00	33,00	58,0	33,276	1,867	17,82325	5,6
2,20	38,00	66,0	38,414	2,2	17,46091	5,7
2,40	45,00	78,0	45,414	1,8	25,23	4,0
2,60	38,00	65,0	38,414	2,067	18,58442	5,4
2,80	46,00	77,0	46,414	2,333	19,89456	5,0
3,00	128,00	163,0	128,414	2,467	52,0527	1,9
3,20	125,00	162,0	125,552	2,133	58,8617	1,7
3,40	47,00	79,0	47,552	2,467	19,27523	5,2
3,60	123,00	160,0	123,552	2,467	50,08188	2,0
3,80	184,00	221,0	184,552	2,8	65,91143	1,5
4,00	128,00	170,0	128,552	0,867	148,2722	0,7
4,20	24,00	37,0	24,69	3,533	6,9884	14,3
4,40	138,00	191,0	138,69	3,667	37,82111	2,6
4,60	143,00	198,0	143,69	3,733	38,49183	2,6
4,80	103,00	159,0	103,69	2,067	50,16449	2,0
5,00	42,00	73,0	42,69	1,867	22,86556	4,4
5,20	33,00	61,0	33,828	3,6	9,39667	10,6
5,40	147,00	201,0	147,828	4,133	35,76772	2,8
5,60	187,00	249,0	187,828	5,4	34,78296	2,9
5,80	232,00	313,0	232,828	5,067	45,94987	2,2
6,00	256,00	332,0	256,828	3,8	67,58632	1,5
6,20	183,00	240,0	183,966	3,267	56,31038	1,8
6,40	158,00	207,0	158,966	3,333	47,69457	2,1
6,60	151,00	201,0	151,966	3,4	44,69588	2,2
6,80	135,00	186,0	135,966	3,2	42,48938	2,4
7,00	133,00	181,0	133,966	4,0	33,4915	3,0
7,20	193,00	253,0	194,104	4,067	47,72658	2,1
7,40	201,00	262,0	202,104	4,267	47,36442	2,1
7,60	219,00	283,0	220,104	5,467	40,26047	2,5
7,80	258,00	340,0	259,104	5,2	49,82769	2,0
8,00	251,00	329,0	252,104	4,267	59,08226	1,7
8,20	195,00	259,0	196,242	4,267	45,99063	2,2
8,40	170,00	234,0	171,242	1,867	91,72041	1,1
8,60	57,00	85,0	58,242	2,0	29,121	3,4
8,80	63,00	93,0	64,242	3,733	17,20922	5,8
9,00	111,00	167,0	112,242	3,8	29,53737	3,4
9,20	121,00	178,0	122,38	3,267	37,45944	2,7
9,40	134,00	183,0	135,38	3,4	39,81765	2,5
9,60	137,00	188,0	138,38	3,333	41,51815	2,4
9,80	168,00	218,0	169,38	4,2	40,32857	2,5
10,00	195,00	258,0	196,38	5,345	36,74088	2,7

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,20	11,138	0,0	1,9	Incoerente	Sabbie limose
1,20	19,366	1,12	2,0	Coesivo	Argille
1,40	31,276	1,4	2,0	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
1,60	28,276	1,8	2,0	Coesivo	Argille
1,80	35,276	1,667	2,1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2,20	35,845	2,034	2,1	Coesivo	Argille

2,40	45,414	1,8	2,1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
2,60	38,414	2,067	2,1	Coesivo	Argille
2,80	46,414	2,333	2,1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
3,00	128,414	2,467	2,3	Incoerente	Sabbie limose
3,20	125,552	2,133	2,3	Incoerente	Sabbie
3,40	47,552	2,467	2,1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
3,60	123,552	2,467	2,3	Incoerente	Sabbie limose
4,00	156,552	1,834	2,3	Incoerente	Sabbie
4,20	24,69	3,533	2,0	Coesivo	Argille
4,80	128,69	3,156	2,3	Incoerente	Sabbie limose
5,00	42,69	1,867	2,1	Incoerente-Coesivo	Limi argillosi e limi sabbiosi
5,20	33,828	3,6	2,1	Coesivo	Argille
5,60	167,828	4,767	2,3	Incoerente	Sabbie limose
6,20	224,541	4,045	2,4	Incoerente	Sabbie
7,00	145,216	3,483	2,3	Incoerente	Sabbie limose
7,40	198,104	4,167	2,4	Incoerente	Sabbie
7,60	220,104	5,467	2,4	Incoerente	Sabbie limose
8,40	219,673	3,9	2,4	Incoerente	Sabbie
8,60	58,242	2,0	2,1	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
8,80	64,242	3,733	2,2	Coesivo	Argille
9,00	112,242	3,8	2,3	Incoerente-Coesivo	Limi e limi sabbiosi
10,00	152,38	3,909	2,3	Incoerente	Sabbie limose

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIV I

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	Begemann	1,4
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Begemann	2,2
Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	Begemann	2,0
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Begemann	2,5
Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	Begemann	2,5
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Begemann	3,2
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	Begemann	2,7
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Begemann	3,3
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Begemann	3,3
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	Begemann	1,7
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Begemann	3,0
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	Begemann	2,3
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Begemann	4,1
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	Begemann	4,5
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Begemann	7,9

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	Buismann Sanglerat	58,1
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Buismann Sanglerat	93,8
Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	Buismann Sanglerat	84,8
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Buismann	105,8

						Sanglerat	
Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	Buismann Sanglerat	107,5
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Buismann Sanglerat	68,1
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	Buismann Sanglerat	115,2
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Buismann Sanglerat	69,6
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Buismann Sanglerat	71,3
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	Buismann Sanglerat	74,1
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Buismann Sanglerat	128,1
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	Buismann Sanglerat	101,5
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Buismann Sanglerat	87,4
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	Buismann Sanglerat	96,4
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Buismann Sanglerat	168,4

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Eu (Kg/cm²)
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	Ladd ed Altri 1977 n=30	29,1
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Ladd ed Altri 1977 n=30	46,8
Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	Ladd ed Altri 1977 n=30	42,3
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Ladd ed Altri 1977 n=30	52,8
Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	Ladd ed Altri 1977 n=30	53,7
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Ladd ed Altri 1977 n=30	68,1
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	Ladd ed Altri 1977 n=30	57,6
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Ladd ed Altri 1977 n=30	69,6
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Ladd ed Altri 1977 n=30	71,4
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	Ladd ed Altri 1977 n=30	36,9
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Ladd ed Altri 1977 n=30	63,9
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	Ladd ed Altri 1977 n=30	50,7
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Ladd ed Altri 1977 n=30	87,3
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	Ladd ed Altri 1977 n=30	96,3
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Ladd ed Altri 1977 n=30	168,3

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	171,2
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Imai & Tomauchi	229,5
Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	Imai & Tomauchi	215,8
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Imai & Tomauchi	247,0
Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	Imai & Tomauchi	249,4
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Imai & Tomauchi	288,2
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	Imai & Tomauchi	260,2
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Imai & Tomauchi	292,1
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Imai & Tomauchi	296,4
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	Imai & Tomauchi	198,6
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Imai & Tomauchi	277,5
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	Imai & Tomauchi	240,7
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Imai & Tomauchi	335,5
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	Imai & Tomauchi	356,2
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Imai & Tomauchi	501,0

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Schmertmann 1978	OCR > 6
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Schmertmann	OCR = 6

						1978	
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	Schmertmann 1978	OCR = 6
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Schmertmann 1978	OCR = 6

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	Meyerhof	2,0
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Meyerhof	2,0
Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	Meyerhof	2,0
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Meyerhof	2,1
Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	Meyerhof	2,1
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Meyerhof	2,1
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	Meyerhof	2,1
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Meyerhof	2,1
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Meyerhof	2,1
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	Meyerhof	2,0
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Meyerhof	2,1
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	Meyerhof	2,1
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Meyerhof	2,1
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	Meyerhof	2,2
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Meyerhof	2,3

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	0,13568	0,01764
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	0,12016	0,01562
Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	0,11404	0,01482
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	0,11588	0,01506
Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	0,11534	0,01499
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	0,10818	0,01406
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	0,1131	0,0147
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	0,1076	0,01399
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	0,10696	0,0139
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	0,12087	0,01571
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	0,10991	0,01429
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	0,11733	0,01525
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	0,1022	0,01329
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	0,10025	0,01303
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	0,09394	0,01221

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	Meyerhof	2,0
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Meyerhof	2,1
Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	Meyerhof	2,1
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Meyerhof	2,1

Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	Meyerhof	2,1
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Meyerhof	2,2
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	Meyerhof	2,2
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Meyerhof	2,2
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Meyerhof	2,2
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	Meyerhof	2,1
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Meyerhof	2,2
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	Meyerhof	2,1
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Meyerhof	2,2
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	Meyerhof	2,2
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Meyerhof	2,3

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	Jamiolkowski et al 1985	239,95
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Jamiolkowski et al 1985	263,97
Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	Jamiolkowski et al 1985	258,73
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Jamiolkowski et al 1985	270,37
Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	Jamiolkowski et al 1985	271,23
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Jamiolkowski et al 1985	284,31
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	Jamiolkowski et al 1985	274,99
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Jamiolkowski et al 1985	285,54
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Jamiolkowski et al 1985	286,92
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	Jamiolkowski et al 1985	251,84
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Jamiolkowski et al 1985	280,83
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	Jamiolkowski et al 1985	268,12
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Jamiolkowski et al 1985	298,74
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	Jamiolkowski et al 1985	304,62
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Jamiolkowski et al 1985	340,40

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Larsson 1995	82,3
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Larsson 1995	38,9
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Larsson 1995	34,6
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Larsson 1995	33,0
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Larsson 1995	28,8
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Larsson 1995	56,2
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Larsson 1995	53,4

Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Larsson 1995	23,3
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Larsson 1995	49,3
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Larsson 1995	53,5
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Larsson 1995	42,7
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Larsson 1995	8,9
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Larsson 1995	47,0
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Larsson 1995	53,6
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Larsson 1995	38,8
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Larsson 1995	45,9
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Larsson 1995	48,1
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Larsson 1995	46,5
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Larsson 1995	6,7
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Larsson 1995	24,9
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Larsson 1995	32,3

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	De Beer	36,2
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	De Beer	28,7
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	De Beer	28,0
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	De Beer	27,7
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	De Beer	27,0
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	De Beer	31,5
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	De Beer	31,0
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	De Beer	26,1
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	De Beer	30,3
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	De Beer	31,0
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	De Beer	29,3
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	De Beer	23,7
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	De Beer	30,0
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	De Beer	31,1
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	De Beer	28,6
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	De Beer	29,8
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	De Beer	30,1
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	De Beer	29,9
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	De Beer	23,4
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	De Beer	26,3
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	De Beer	27,5

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	ISOPT-1 1988 Ey(50)	48,5
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	ISOPT-1 1988 Ey(50)	257,8
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	ISOPT-1 1988 Ey(50)	303,2
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	ISOPT-1 1988 Ey(50)	386,2
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	ISOPT-1 1988 Ey(50)	415,2
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	ISOPT-1 1988 Ey(50)	606,7
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	ISOPT-1 1988 Ey(50)	636,0

Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	ISOPT-1 1988 Ey(50)	453,8
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	ISOPT-1 1988 Ey(50)	685,9
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	ISOPT-1 1988 Ey(50)	752,3
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	ISOPT-1 1988 Ey(50)	803,1
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	ISOPT-1 1988 Ey(50)	481,7
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	ISOPT-1 1988 Ey(50)	915,4
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	ISOPT-1 1988 Ey(50)	982,2
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	ISOPT-1 1988 Ey(50)	950,5
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	ISOPT-1 1988 Ey(50)	1066,5
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	ISOPT-1 1988 Ey(50)	1105,7
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	ISOPT-1 1988 Ey(50)	1141,3
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	ISOPT-1 1988 Ey(50)	650,8
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	ISOPT-1 1988 Ey(50)	942,2
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	ISOPT-1 1988 Ey(50)	1098,8

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Buisman - Sanglerat	55,7
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Buisman - Sanglerat	93,8
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Buisman - Sanglerat	105,8
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Buisman - Sanglerat	68,1
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Buisman - Sanglerat	69,6
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Buisman - Sanglerat	192,6
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Buisman - Sanglerat	188,3
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Buisman - Sanglerat	71,3
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Buisman - Sanglerat	185,3
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Buisman - Sanglerat	234,8
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Buisman - Sanglerat	193,0
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Buisman - Sanglerat	128,1
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Buisman - Sanglerat	251,7
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Buisman -	336,8

						Sanglerat	
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Buisman - Sanglerat	217,8
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Buisman - Sanglerat	297,2
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Buisman - Sanglerat	330,2
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Buisman - Sanglerat	329,5
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Buisman - Sanglerat	87,4
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Buisman - Sanglerat	168,4
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Buisman - Sanglerat	228,6

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Rix & Stokoe (1991)	120,1
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Rix & Stokoe (1991)	413,4
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Rix & Stokoe (1991)	472,0
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Rix & Stokoe (1991)	566,0
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Rix & Stokoe (1991)	605,7
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Rix & Stokoe (1991)	804,1
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Rix & Stokoe (1991)	822,3
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Rix & Stokoe (1991)	661,4
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Rix & Stokoe (1991)	859,6
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Rix & Stokoe (1991)	943,5
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Rix & Stokoe (1991)	960,4
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Rix & Stokoe (1991)	745,8
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Rix & Stokoe (1991)	1072,7
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Rix & Stokoe (1991)	1180,7
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Rix & Stokoe (1991)	1090,8
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Rix & Stokoe (1991)	1207,0
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Rix & Stokoe (1991)	1253,9
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Rix & Stokoe (1991)	1277,2
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Rix & Stokoe (1991)	932,4
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Rix & Stokoe (1991)	1111,7

Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Rix & Stokoe (1991)	1222,5

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Piacentini Righi 1978	>9

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Kulhawy & Mayne	0,69

						(1990)	
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Kulhawy & Mayne (1990)	0,62
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Kulhawy & Mayne (1990)	0,60
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Kulhawy & Mayne (1990)	0,54
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Kulhawy & Mayne (1990)	1,00
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Kulhawy & Mayne (1990)	0,94
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Kulhawy & Mayne (1990)	0,48
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Kulhawy & Mayne (1990)	0,85
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Kulhawy & Mayne (1990)	0,94
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Kulhawy & Mayne (1990)	0,74
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Kulhawy & Mayne (1990)	0,35
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,81
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,94
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Kulhawy & Mayne (1990)	0,67
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Kulhawy & Mayne (1990)	0,79
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Kulhawy & Mayne (1990)	0,83
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Kulhawy & Mayne (1990)	0,80
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Kulhawy & Mayne (1990)	0,33
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Kulhawy & Mayne (1990)	0,49
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Kulhawy & Mayne (1990)	0,58

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato	qc	fs	Tensione	Tensione	C	Crm

	(m)	(Kg/cm²)	(Kg/cm²)	litostatica totale (Kg/cm²)	litostatica efficace (Kg/cm²)		
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	0,18641	0,02423
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	0,12016	0,01562
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	0,11588	0,01506
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	0,10818	0,01406
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	0,1076	0,01399
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	0,09403	0,01222
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	0,09395	0,01221
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	0,10696	0,0139
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	0,09391	0,01221
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	0,0966	0,01256
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	0,09404	0,01223
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	0,10991	0,01429
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	0,09882	0,01285
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	0,16414	0,02134
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	0,09514	0,01237
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	0,11231	0,0146
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	0,14696	0,01911
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	0,14564	0,01893
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	0,1022	0,01329
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	0,09394	0,01221
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	0,09598	0,01248

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Meyerhof	0,0
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Meyerhof	1,8
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Meyerhof	1,8
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Meyerhof	1,8
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Meyerhof	1,8
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Meyerhof	1,8
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Meyerhof	1,8
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Meyerhof	1,8
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Meyerhof	1,8
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Meyerhof	1,9
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Meyerhof	1,8
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Meyerhof	1,8
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Meyerhof	1,8
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Meyerhof	1,8
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Meyerhof	1,8
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Meyerhof	1,8
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Meyerhof	1,8
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Meyerhof	1,8
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Meyerhof	1,8
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Meyerhof	1,8
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Meyerhof	1,8

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Meyerhof	0,0
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Meyerhof	2,1
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Meyerhof	2,1
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Meyerhof	2,1

Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Meyerhof	2,1
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Meyerhof	2,1
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Meyerhof	2,1
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Meyerhof	2,1
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Meyerhof	2,1
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Meyerhof	2,2
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Meyerhof	2,1
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Meyerhof	2,1
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Meyerhof	2,1
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Meyerhof	2,1
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Meyerhof	2,1
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Meyerhof	2,1
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Meyerhof	2,1
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Meyerhof	2,1
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Meyerhof	2,1
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Meyerhof	2,1
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Meyerhof	2,1

Liquefazione - **Accelerazione sismica massima (g)=0,25**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Robertson & Wride 1997	0
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Robertson & Wride 1997	24,606
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Robertson & Wride 1997	20,898
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Robertson & Wride 1997	23,884
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Robertson & Wride 1997	25,897
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Robertson & Wride 1997	33,165
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Robertson & Wride 1997	5,272
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Robertson & Wride 1997	62,866
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Robertson & Wride 1997	74,58
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Robertson & Wride 1997	35,899
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Robertson & Wride 1997	59,291
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Robertson & Wride 1997	87,287
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Robertson & Wride 1997	64,21
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Robertson & Wride 1997	3,834
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Robertson & Wride 1997	33,917
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Robertson & Wride 1997	40,099

Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Jamiolkowski et al 1985	246,05
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Jamiolkowski et al 1985	313,62
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Jamiolkowski et al 1985	322,61
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Jamiolkowski et al 1985	342,35
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Jamiolkowski et al 1985	344,10
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Jamiolkowski et al 1985	437,07
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Jamiolkowski et al 1985	434,76
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Jamiolkowski et al 1985	346,07
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Jamiolkowski et al 1985	433,12
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Jamiolkowski et al 1985	457,90
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Jamiolkowski et al 1985	437,29
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Jamiolkowski et al 1985	337,40
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Jamiolkowski et al 1985	465,44
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Jamiolkowski et al 1985	498,40
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Jamiolkowski et al 1985	449,88
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Jamiolkowski et al 1985	483,94
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Jamiolkowski et al 1985	496,07
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Jamiolkowski et al 1985	495,84
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Jamiolkowski et al 1985	362,96
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Jamiolkowski et al 1985	423,46
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Jamiolkowski et al 1985	455,00

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Piacentini-Righi 1988	*
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	Piacentini-Righi 1988	1,04E-11
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Piacentini-Righi 1988	4,62E-09
Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11

Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Piacentini-Righi 1988	8,09E-10
Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Piacentini-Righi 1988	3,63E-08
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Piacentini-Righi 1988	3,91E-11
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Piacentini-Righi 1988	4,25E-04
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Piacentini-Righi 1988	1,17E-03
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Piacentini-Righi 1988	1,05E-11
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Piacentini-Righi 1988	3,04E-04
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Piacentini-Righi 1988	1,00E-03
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Piacentini-Righi 1988	3,01E-05
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Piacentini-Righi 1988	3,88E-09
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Piacentini-Righi 1988	1,89E-06
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Piacentini-Righi 1988	5,57E-04
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Piacentini-Righi 1988	3,52E-05
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Piacentini-Righi 1988	1,26E-04
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Piacentini-Righi 1988	1,13E-05
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Piacentini-Righi 1988	6,44E-04
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Piacentini-Righi 1988	4,31E-07
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Piacentini-Righi 1988	1,35E-07
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Piacentini-Righi 1988	1,28E-05

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm²/s)
Strato 1	0,20	11,138	0,0	0,0	0,0	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 2	1,20	19,366	1,12	0,1	0,1	Piacentini-Righi 1988	6,029314E-07
Strato 3	1,40	31,276	1,4	0,3	0,3	Piacentini-Righi 1988	4,3339E-04

Strato 4	1,60	28,276	1,8	0,3	0,3	Piacentini-Righi 1988	8,4828E-07
Strato 5	1,80	35,276	1,667	0,3	0,3	Piacentini-Righi 1988	8,562331E-05
Strato 6	2,20	35,845	2,034	0,4	0,4	Piacentini-Righi 1988	1,07535E-06
Strato 7	2,40	45,414	1,8	0,5	0,5	Piacentini-Righi 1988	4,940128E-03
Strato 8	2,60	38,414	2,067	0,5	0,5	Piacentini-Righi 1988	1,15242E-06
Strato 9	2,80	46,414	2,333	0,5	0,5	Piacentini-Righi 1988	5,439856E-06
Strato 10	3,00	128,414	2,467	0,6	0,6	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 11	3,20	125,552	2,133	0,6	0,6	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 12	3,40	47,552	2,467	0,7	0,7	Piacentini-Righi 1988	1,49356E-06
Strato 13	3,60	123,552	2,467	0,7	0,7	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 14	4,00	156,552	1,834	0,8	0,8	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 15	4,20	24,69	3,533	0,9	0,9	Piacentini-Righi 1988	7,407E-07
Strato 16	4,80	128,69	3,156	1,0	1,0	Piacentini-Righi 1988	11,60388
Strato 17	5,00	42,69	1,867	1,0	1,0	Piacentini-Righi 1988	4,971807E-04
Strato 18	5,20	33,828	3,6	1,1	1,0	Piacentini-Righi 1988	1,01484E-06
Strato 19	5,60	167,828	4,767	1,2	1,1	Piacentini-Righi 1988	0,951088
Strato 20	6,20	224,541	4,045	1,3	1,1	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 21	7,00	145,216	3,483	1,4	1,2	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 22	7,40	198,104	4,167	1,6	1,3	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 23	7,60	220,104	5,467	1,6	1,4	Piacentini-Righi 1988	7,429185
Strato 24	8,40	219,673	3,9	1,8	1,4	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 25	8,60	58,242	2,0	1,9	1,5	Piacentini-Righi 1988	7,535125E-02
Strato 26	8,80	64,242	3,733	1,9	1,5	Piacentini-Righi 1988	1,92726E-06
Strato 27	9,00	112,242	3,8	2,0	1,5	Piacentini-Righi 1988	4,559094E-02
Strato 28	10,00	152,38	3,909	2,1	1,6	Piacentini-Righi 1988	5,862592