COMUNE DI CASTEGGIO
Provincia di Pavia

"LAVORI DI AMPLIAMENTO E GESTIONE DELLE OPERE CIMITERIALI NEL COMUNE DI CASTEGGIO"

PROPOSTA DI PROJECT FINANCING
(ai sensi dell'Art. 153, comma 19 del D. Lgs. 163/2006 e ss.mm.ii.)

PROPONENTE

C.A.E.S.

Consorzio Artigiano Edile Sicilia Soc. Coop.
via G. Matteotti, n.17 - Pace del Mela (ME)

PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE GEOLOGICA GEOTECNICA IDROLOGICA E SISMICA

Ebner Srl
Società Unipersonale Capitale sociale € 50.000 i.v.
Sede operativa: Via G. Mazzini 1, 27043 Broni (PV)
Tel. 0385.090024 Fax 0385.51 584
e-mail: ebner@fastwebnet.it - ebner@pec.it
Sito web: www.ebnersas.it
Progettista: Ing. Montagna Roberto

GRUPPO DI LAVORO
Ing. Moroni Marco
Ing. Lemmo Maria Teresa
Ing. Lanè Denise

Elaborato:	Pag.:	Disegnatore:	N. progetto:	Nome file:
RTG	59	M.V.	0914EBS	0914EBS-Preliminare-RTG.docx

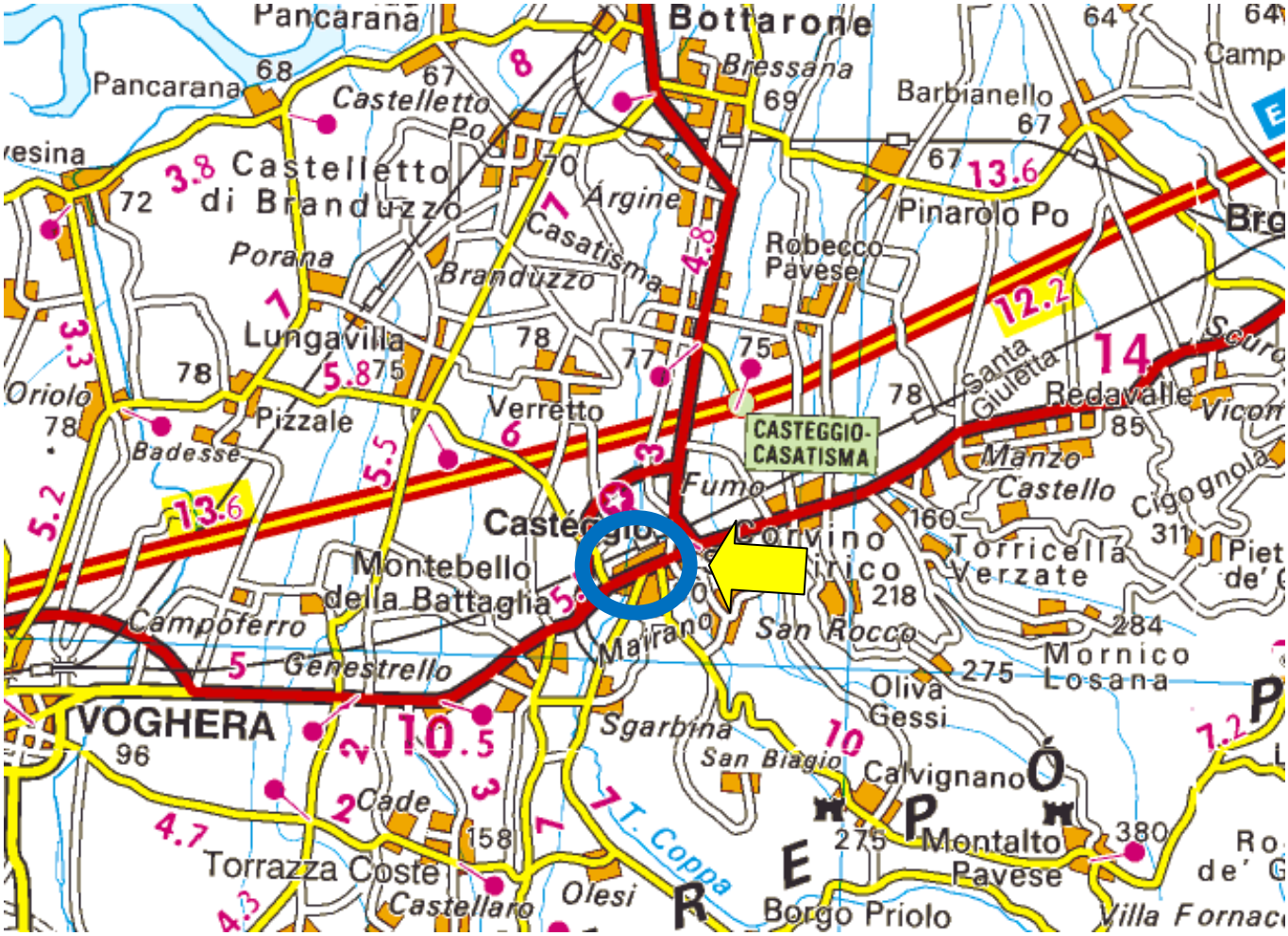
PIANO DI SVILUPPO CONTROLLO E REGISTRAZIONE DELLA PROGETTAZIONE

FASI DELLA PROGETTAZIONE	CONTROLLI E MODIFICHE			
	Rev. 0	Rev. 1	Rev. 2	Rev. 3
Progetto Preliminare	Ottobre 2014			
Progetto Definitivo				
Progetto Esecutivo				
As. Built e Validazione e collaudo				
Perizia di variante				

A norma di legge il presente disegno non potrà essere riprodotto ne consegnato a terzi ne utilizzato per scopi diversi da quello di destinazione senza l'autorizzazione scritta di questa società che ne detiene la proprietà

Comune di Casteggio (PV)

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA ex D.M. 14-01-2008 PER AMPLIAMENTO AREA CIMITERIALE



A cura di:
Dr. Geol. Maurizio Visconti
Corso Milano 2
27029 Vigevano (PV)
contatti: 0381-74070 393-9877798
email: m.visconti@studio-visconti.it
p.e.c.: mauriziovisconti@epap.sicurezzapostale.it

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
MAURIZIO VISCONTI
geologo specialista
Albo n. 433 AP
sezione A

OTTOBRE 2014

Sommario

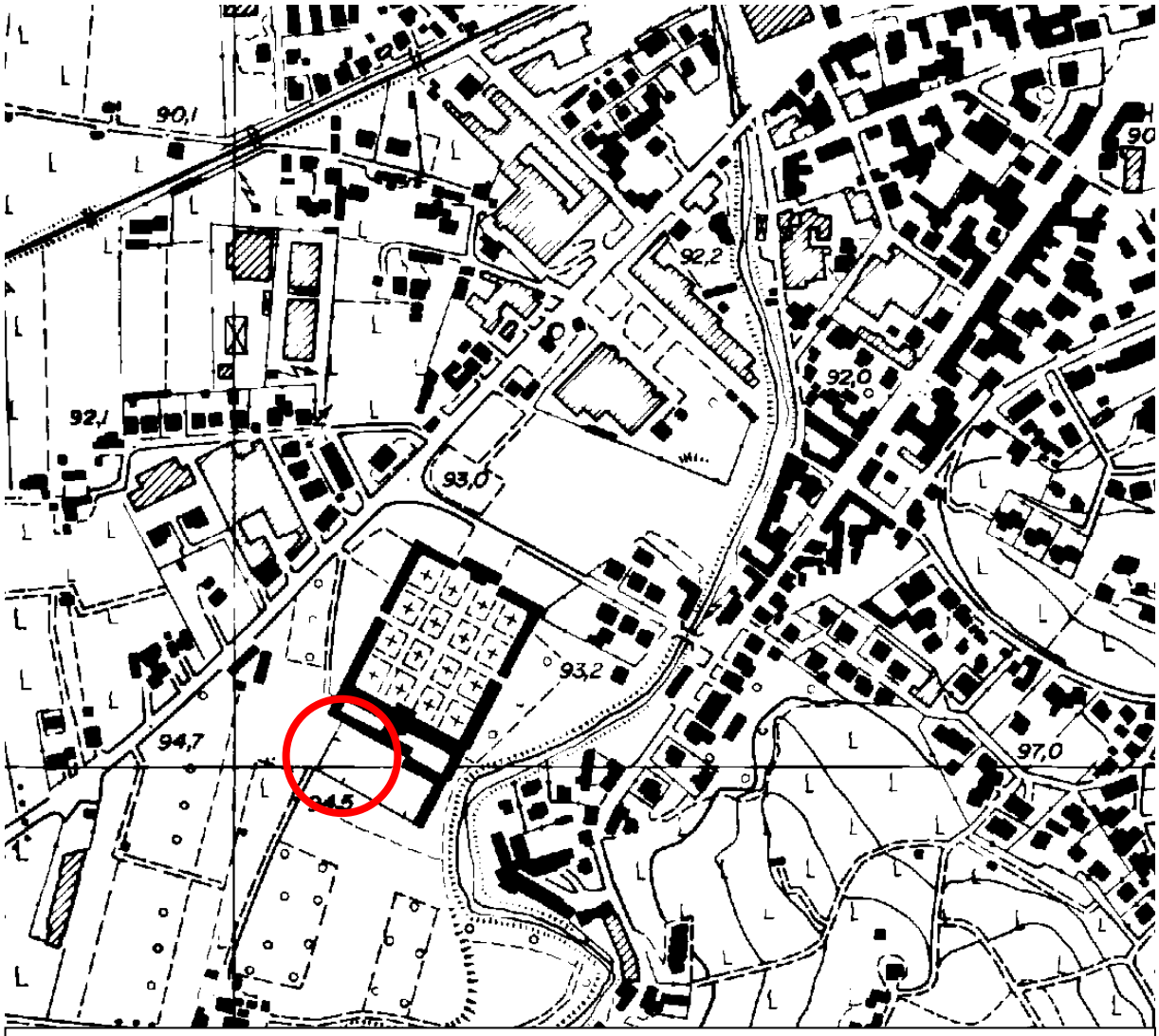
PREMESSA 3
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA E CARATTERIZZAZIONE SISMICA 4
MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE 9
VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO 9
STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO 10
DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE 12
Pericolosità sismica di sito 15
Coefficienti sismici 15
Stabilità dei pendii e fondazioni 16
Muri di sostegno 16
Paratie 17
PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE 18
PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO 20
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali 21
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali 22
Spettro di progetto SLO 22
Spettro di progetto SLD 23
Spettro di progetto SLV 24
Spettro di progetto SLC 24
VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE 25
NOTE DI GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA 27
DESCRIZIONE DELL'ATTREZZATURA UTILIZZATA PER LE INDAGINI GEOTECNICHE 32
PROVE PENETROMETRICHE STATICHE 33
RAPPORTO DELL'INDAGINE E CALCOLO DELLA PORTANZA 38
DATI E DIAGRAMMI DELL'ELABORAZIONE DELLE INDAGINI PENETROMETRICHE 40

PREMESSA

La presente relazione geologico – geotecnica - idrogeologica e sismica viene redatta a supporto del progetto di ampliamento del cimitero di Casteggio.

A tale scopo, date le dimensioni della struttura e conoscendo in letteratura e per esperienze dirette le caratteristiche litostratigrafiche della zona sono state eseguite n° 2 indagini penetrometriche statiche (C.P.T.) spinte fino alla profondità massima di 7,8 metri di profondità, da confrontare con le numerose eseguite dallo scrivente nell'intorno, per determinare la caratteristiche geotecniche locali dei sedimenti oggetto dell'opera e verificare la presenza/assenza e profondità del livello della falda acquifera.

Tutti i certificati relativi all'indagine condotta vengono allegati alla presente relazione.



Estratto dalla Carta Tecnica Regionale

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA E CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'area in oggetto è sita nella porzione sud-occidentale del comune di Casteggio.

Secondo quanto previsto dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 " *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*, il territorio comunale, interessato dalla presente relazione è così classificato:

ALLEGATO A – CLASSIFICAZIONE SISMICA DEI COMUNI ITALIANI

Codice Istat 2001	Denominazione	Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti fino al I98N.C.)	Categoria secondo la proposta del GdL del I998	Zona ai sensi del presente documento (2003)
03018037	Casteggio	N.C.	N.C.	4

La Regione Lombardia, con D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129, ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni.

Tale provvedimento è stato emanato in attuazione della Legge 112/1998, della legge regionale 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d), del D.P.R. 380/2001 e di specifiche O.P.C.M., tra cui la n. 3274/2003, recepita dalla D.G.R.7 novembre 2003, n.14964.

La delibera in oggetto, pubblicata sul B.U.R.L. n. 29, S.O., del 16/7/2014, entrerà in vigore il 14 ottobre 2014.

ESTRATTO DALL'ELENCO DEI COMUNI CON INDICAZIONE DELLE RELATIVE ZONE SISMICHE E DELL'ACCELERAZIONE MASSIMA (AGMAX) PRESENTE ALL'INTERNO DEL TERRITORIO COMUNALE (O.P.C.M. 3519/06 E DECRETO MIN. INFRASTRUTTURE 14/01/08)

ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica	Ag max
03018037	PV	Casteggio	3	0,092443

Estratto aerofotogrammetrico e particolare dell'area di indagine.

Zona sismica	*Fenomeni riscontrati*	*Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni*
1	Zona con pericolosità sismica **alta**. Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica **media**, dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica **bassa**, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica **molto bassa**. E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g < 0,05g$

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più tramite un criterio “zona dipendente”.

L’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche e la pericolosità sismica di base” del sito.

La sismicità di base del sito e definibile in funzione del valore assunto dall’accelerazione massima attesa ag su suolo rigido con superficie topografica orizzontale per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Ai fini delle Nuove Norme Tecniche (NTC) le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

Tc* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

I dati sono stati processati con il software Program Geo dedicato per la determinazione dei parametri sismici corretti. Vengono di seguito riportati i valori calcolati.

Stima della velocità delle onde S

Profondità (m)	*qc (kg/cmq)*	*Descrizione litologica*	*Vs (m/s)*
0,4	78	Sabbia cementata	214
0,6	75	Sabbia e limo	208
0,8	31	Sabbia e limo	116
1	30	Sabbia e limo	114
1,2	25	Sabbia e limo	103
1,4	35	Sabbia mediamente addensata	124
1,6	40	Argilla sabbiosa o limosa	135
1,8	25	Argilla inorganica molto consistente	103
2	27	Argilla sabbiosa o limosa	107
2,2	36	Sabbia mediamente addensata	126
2,4	37	Sabbia e limo	128
2,6	29	Argilla sabbiosa o limosa	112
2,8	14	Argilla organica	80
3	14	Argilla organica	80
3,2	10	Argilla organica	72
3,4	15	Argilla organica	82
3,6	14	Argilla organica	80
3,8	15	Argilla organica	82
4	20	Argilla inorganica molto consistente	93
4,2	30	Argilla sabbiosa o limosa	114
4,4	22	Argilla sabbiosa o limosa	97
4,6	27	Argilla inorganica molto consistente	107
4,8	20	Argilla inorganica molto consistente	93
5	21	Argilla inorganica molto consistente	95
5,2	18	Argilla inorganica molto consistente	88
5,4	15	Argilla organica	82
5,6	19	Argilla inorganica molto consistente	91
5,8	23	Argilla inorganica molto consistente	99
6	23	Argilla inorganica molto consistente	99
6,2	34	Argilla sabbiosa o limosa	122
6,4	32	Sabbia e limo	118
6,6	41	Sabbia e limo	137
6,8	19	Argilla inorganica molto consistente	91
7	19	Argilla sabbiosa o limosa	91
7,2	26	Sabbia e limo	105
7,4	25	Sabbia mediamente addensata	103
7,6	25	Sabbia e limo	103
7,8	25	Argilla inorganica molto consistente	103

Sulla base della elaborazione dei dati penetrometrici direttamente acquisiti in campagna, il sito in esame, in considerazione dei valori prossimi a 100 m/sec già raggiunti intorno agli 8 metri di profondità, rispetto alla profondità di calcolo pari a 30 metri, ricade nella categoria di sottosuolo D secondo la tab. 3.2.II delle NTC 2008

Classificazione del sito secondo il D.M.14.01.2008: Vs30 (m/s)=103 sito di classe D

La Vn (Vita nominale) attesa dell'edificio: Vn = 50 anni (informazione standard di Legge in assenza altre indicazioni).

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

CATEGORIE TOPOGRAFICHE

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

ESPRESSIONI DI Ss E Cc

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	$1,00$	$1,00$
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80 \cdot$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare quel *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative probabilità di superamento, è possibile stabilire il periodo di ritorno associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la pericolosità sismica di base per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nelle NTC08 il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \times C_U \qquad (2.1)$$

dove:
$V_R = periodo\ di\ riferimento$
$V_N = vita\ nominale$
$C_U = coefficiente\ d'uso$

La vita nominale di un'opera strutturale V_N, secondo le NTC08, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

- VN ≤ 10 anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto ≥ 2 anni.
- VN ≥ 50 anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- VN ≥ 100 anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

Nel caso specifico **V_N = 50 anni**.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC08 prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $C_U = 0.7$;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $C_U = 1.0$;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $C_U = 1.5$;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. $C_U = 2.0$;

Nel caso in esame viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso $\mathbf{C_U = 1}$.

Una volta ottenuti V_N e C_U, è possibile calcolare il periodo di riferimento V_R, che qui vale:
$\mathbf{V_R = 50 * 1 = 50}$ **anni**.

STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC08 prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD)**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere

significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le NTC08, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV (NTC08, punto 7.1). Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione (NTC08, punto 7.10).

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento* P_{VR} (Tabella 3.1), ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento V_R, si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di $\mathbf{a_g}$ prefissata ($\mathbf{a_g}$ = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\boldsymbol{\lambda} = 1/T_R$ ($\mathbf{T_R}$ = periodo di ritorno).

Tabella 3.1 – Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento V_R

Stati limite			**P_{VR}**
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	81%
	Stato limite di danno	SLD	63%
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	10%
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	5%

Fissati V_R e P_{VR} associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R**,** espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'**Allegato A** delle NTC08:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \qquad (3.1)$$

Tale relazione tra P_{VR} (probabilità) e T_R (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

Poiché è $\mathbf{V_R = 50}$ **anni**, il tempo di ritorno T_R sarà:

Tabella 3.2 – Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento V_R

Stati limite			T_R
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	**30**
	Stato limite di danno	SLD	**50**
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	**475**
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	**975**

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC08, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC08 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV http://esse1-gis.mi.ingv.it/, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC08 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno T_R (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'**Allegato A** alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_C^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_0 e **T_C^*** i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti in tabella (figura 4.2), contenuta nell'**Allegato B** delle NTC08, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

			T_R = 30			T_R = 50			T_R = 72			T_R = 101		
ID	LON	LAT	a_g	F_0	T^*_c	a_g	F_0	T^*_c	a_g	F_0	T^*_c	a_g	F_0	T^*_c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250

13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

Figura 4.2 – Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla V_R e P_{VR} fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione (figura 3), a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \qquad (4.1)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g, F_o, T_C^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre $p_{1,\,2}$ è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno $T_{R1,\,2}$.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{4} \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{4} \frac{1}{d_i}} \qquad (4.2)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (ag, Fo, TC*) corrispondente al punto considerato, pi è il valore di tale parametro nell'i-esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e di è la distanza del punto in esame dall'i-esimo vertice della suddetta maglia.

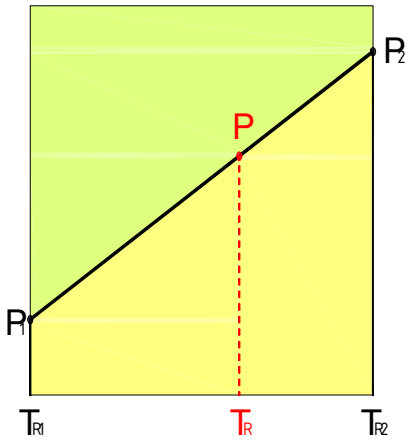


Figura 4.3 – Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella figura 4.

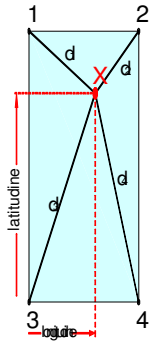


Figura 4.4 – Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(lat\beta) \cdot \sin(lat\alpha) + \cos(lat\beta) \cdot \cos(lat\alpha) \cdot \cos(lon\alpha - lon\beta)] \qquad (4.3)$$

dove R = 6371 è il raggio medio terrestre in km, mentre latα, lonα, latβ e lonβ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di ±0,01g ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.

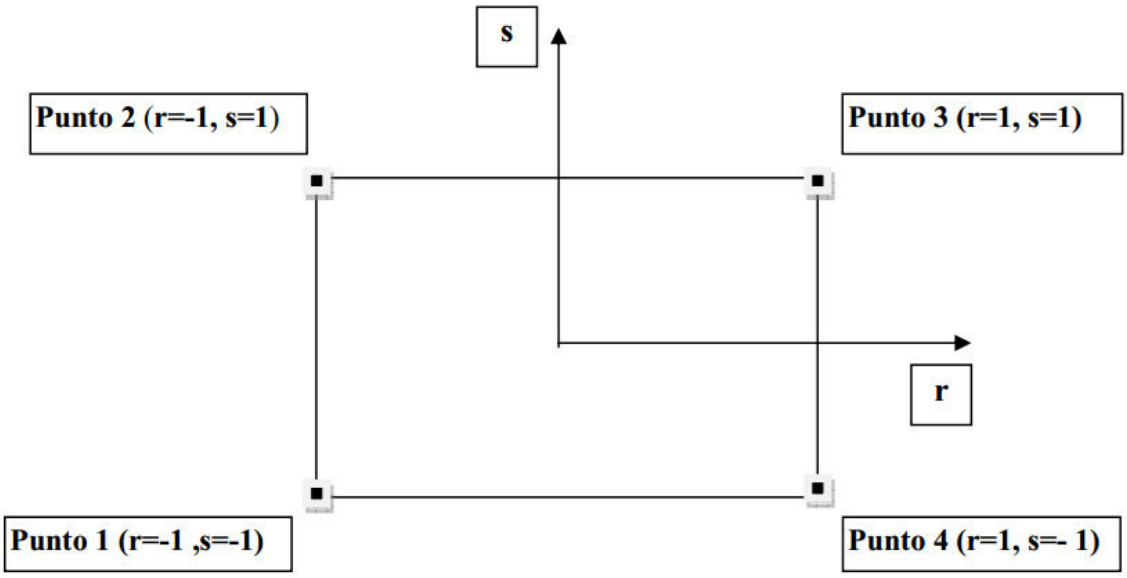


Figura 4.5 – Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r)(1-s)/4 \quad (4.4)$$
$$h_2 = (1-r)(1+s)/4 \quad (4.5)$$
$$h_3 = (1+r)(1+s)/4 \quad (4.6)$$
$$h_4 = (1+r)(1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate x,y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^{4} h_i x_i = [(1-r)(1-s)x_1 + (1-r)(1+s)x_2 + (1+r)(1+s)x_3 + (1+r)(1-s)x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^{4} h_i y_i = [(1-r)(1-s)y_1 + (1-r)(1+s)y_2 + (1+r)(1+s)y_3 + (1+r)(1-s)y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri a_g, F_0, T_c^* dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^{4} h_i p_i = [(1-r)(1-s)p_1 + (1-r)(1+s)p_2 + (1+r)(1+s)p_3 + (1+r)(1-s)p_4] \quad (4.10)$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

Pericolosità sismica di sito

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

Coefficienti sismici

I coefficienti sismici orizzontale K_h e verticale K_V dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (T_R) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1-PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R non può essere inferiore a 35 anni.

Stabilità dei pendii e fondazioni

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti K_h e K_v sono così determinati:

$$K_h = \beta s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0{,}5 \times K_h$$

Con

βs coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g accelerazione di gravità.

I valori di **βs** sono riportati nella tabella 5.1.

Tabella 5.1 – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	**B, C, D, E**
	β_s	β_s
$0{,}2 < a_g(g) \leq 0{,}4$	0,30	0,28
$0{,}1 < a_g(g) \leq 0{,}2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0{,}1$	0,20	0,20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S \, S_T \, a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0.90 \leq Ss \leq 1.80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).
S_T (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1: $S_T = 1.0$; **T2**: $S_T = 1.20$; **T3:** $S_T = 1.2$; **T4:** $S_T = 1.40$.

Muri di sostegno
Per i muri di sostegno pendii i coefficienti K_h e K_v sono così determinati:

$$K_h = \beta_m \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0{,}5 \times K_h$$

Con:

β_m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno assume valore unitario altrimenti assume i valori riportati nella Tabella 5.2.

Tabella 5.2. - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_m	β_m
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,31	0,31
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,29	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,18

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S S_T a_g$$

S è il coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica Ss e di amplificazione topografica S_T.
a_g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Paratie

In mancanza di studi specifici, a_h (accelerazione orizzontale) può essere legata all'accelerazione di picco a_{max} attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = K_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:
g è l'accelerazione di gravità;
k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;
$\alpha \leq 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera. Può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva **H** della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma in Figura 5.1:

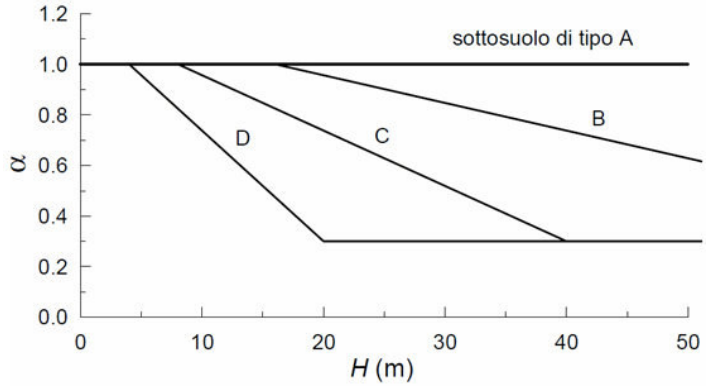


Figura 5.1 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α.

Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi α = 1.

β≤1 è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza. Il valore del coefficiente β può essere ricavato dal diagramma riportato in Figura 5.2, in funzione del massimo spostamento *us* che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Per us = 0 si ha β = 1; us≤0.00H

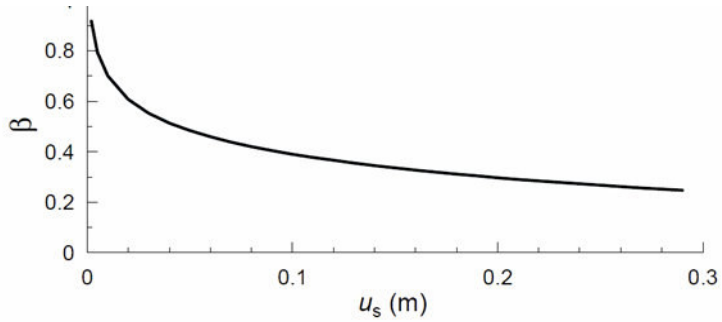


Tabella 5.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β.

L'accelerazione di picco a_{max} è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come

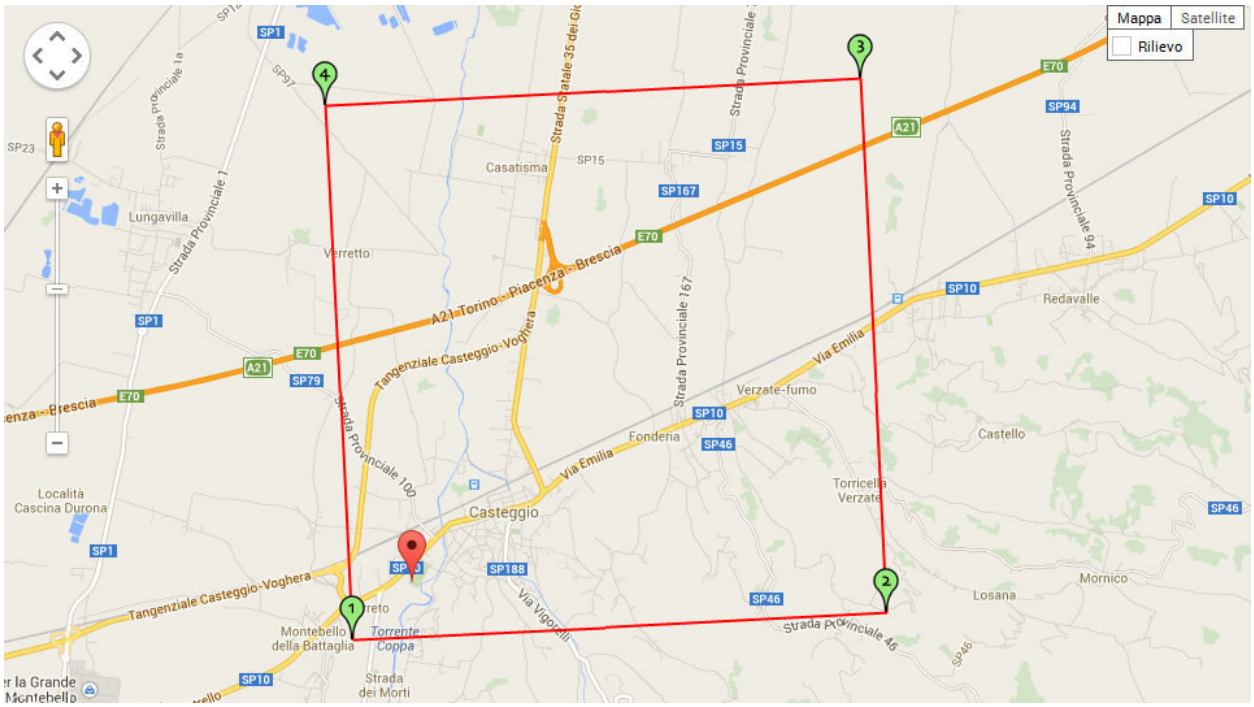
$$a_{max}=S\cdot a_g=S_S\cdot S_T\cdot a_g$$

dove:
S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;
a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Se $\alpha\times\beta \leq 0,2$ deve assumersi $k_h = 0,2\times amax/g$.

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Data:	18/07/2014	
Vita nominale (Vn):	50	[anni]
Classe d'uso:	IV	
Coefficiente d'uso (Cu):	2	
Periodo di riferimento (Vr):	100	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	60	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	101	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	949	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	1950	[anni]
Tipo di interpolazione:	Media ponderata	
Coordinate geografiche del punto		
Latitutine (WGS84):	45,0092500	[°]
Longitudine (WGS84):	9,1150140	[°]
Latitudine (ED50):	45,0102000	[°]
Longitudine (ED50):	9,1160670	[°]



Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	14257	45,004790	9,108278	858,43
2	14258	45,007350	9,178833	4944,50
3	14036	45,057280	9,175278	7003,86
4	14035	45,054720	9,104652	4944,50

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,035	2,523	0,218
SLD	101	0,045	2,477	0,245
SLV	949	0,117	2,450	0,278
SLC	1950	0,152	2,455	0,282

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,037	2,529	0,224
SLD	101	0,047	2,472	0,250
SLV	949	0,121	2,453	0,278
SLC	1950	0,156	2,456	0,283

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,035	2,530	0,219
SLD	101	0,044	2,486	0,246
SLV	949	0,116	2,449	0,279
SLC	1950	0,151	2,454	0,282

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,034	2,524	0,217
SLD	101	0,042	2,510	0,245
SLV	949	0,111	2,451	0,279
SLC	1950	0,144	2,458	0,282

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	60	0,035	2,524	0,219
SLD	101	0,045	2,481	0,246
SLV	949	0,117	2,451	0,278
SLC	1950	0,151	2,455	0,282

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

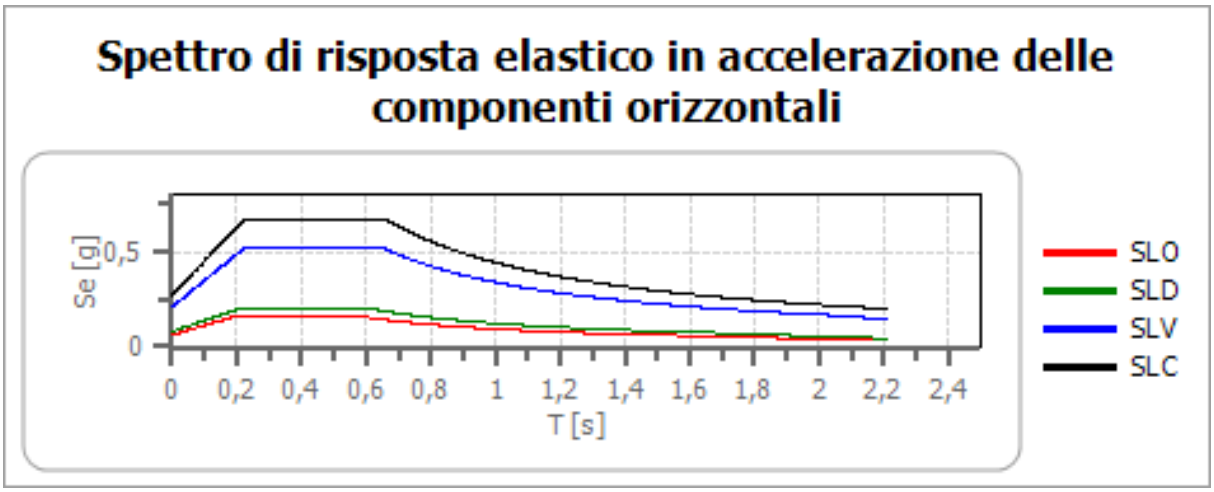
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ: 5 %
Fattore di alterazione dello spettro elastico η=[10/(5+)ξ]^(1/2): 1,000
Categoria sottosuolo:
C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessorisuperiori a 30 m , caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero

NSPT30 compreso tra 15 e 50 nei terreni a grana grossa cu30 compreso tra 70 e 250 kPa nei terreni a grana fina).
Categoria topografica:
T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,013	0,016	0,051	0,065
kv	0,006	0,008	0,025	0,033
Amax [m/s²]	0,624	0,789	2,063	2,673
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

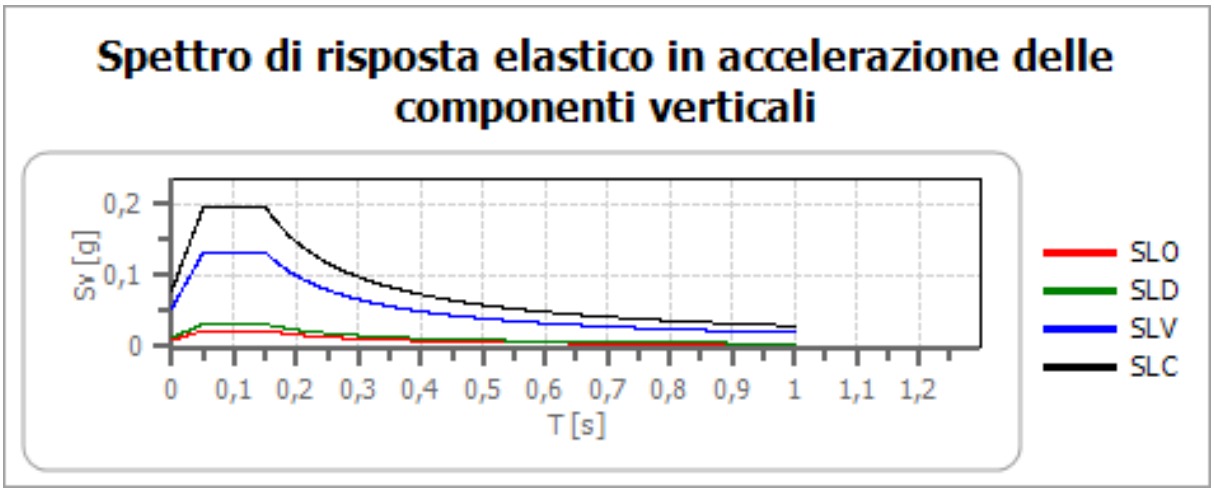
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2	0,035	2,524	0,219	1,800	2,670	1,000	1,800	1,000	0,195	0,585	1,741	0,064	0,161
SLD	2	0,045	2,481	0,246	1,800	2,520	1,000	1,800	1,000	0,206	0,619	1,779	0,080	0,200
SLV	2	0,117	2,451	0,278	1,800	2,370	1,000	1,800	1,000	0,220	0,659	2,068	0,210	0,516
SLC	2	0,151	2,455	0,282	1,800	2,350	1,000	1,800	1,000	0,221	0,663	2,206	0,273	0,669

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

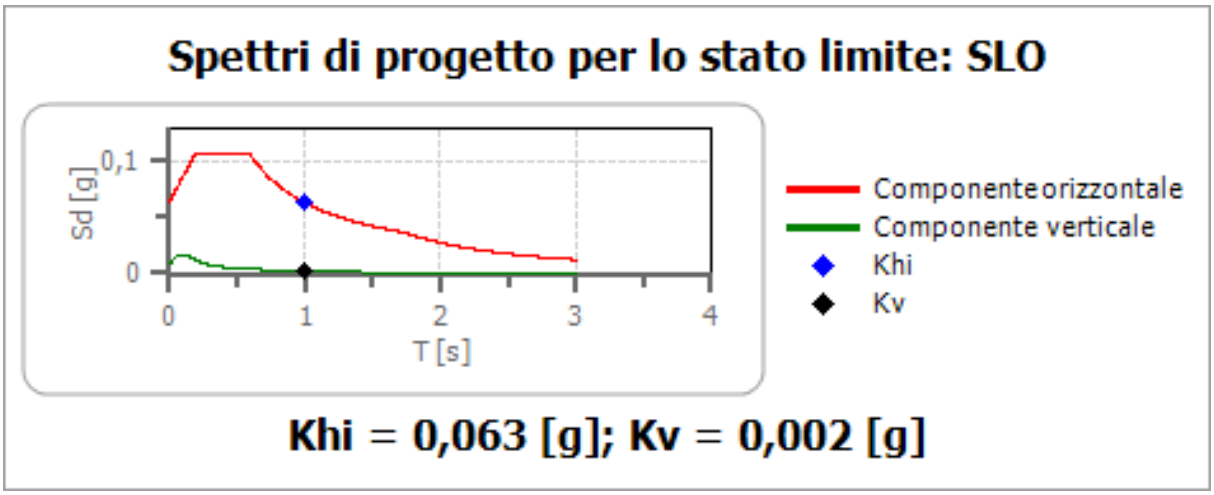
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ: 5 %
Fattore di alterazione dello spettro elastico η=[10/(5+)ξ]^(1/2): 1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	2	0,035	2,524	0,219	1,800	2,670	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,009	0,023
SLD	2	0,045	2,481	0,246	1,800	2,520	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,013	0,032
SLV	2	0,117	2,451	0,278	1,800	2,370	1,000	1,800	1,000	0,050	0,150	1,000	0,054	0,132
SLC	2	0,151	2,455	0,282	1,800	2,350	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,080	0,195

Spettro di progetto SLO

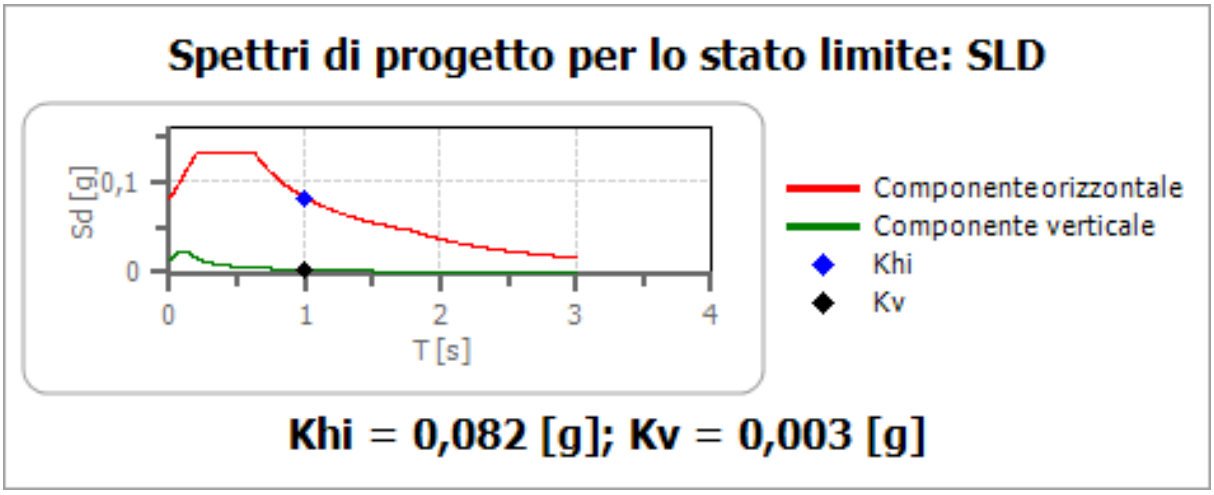
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50
Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50
Periodo fondamentale T: 1,00 [s]
khi = Se(T) Orizzontale: 0,063 [s]
kv = Se(T) Verticale: 0,002 [s]



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	2	0,035	2,524	0,219	1,800	2,670	1,000	1,800	1,500	0,195	0,585	1,741	0,064	0,107
SLO verticale	2	0,035	2,524	0,219	1,800	2,670	1,000	1,000	1,500	0,015	0,150	1,000	0,009	0,107

Spettro di progetto SLD

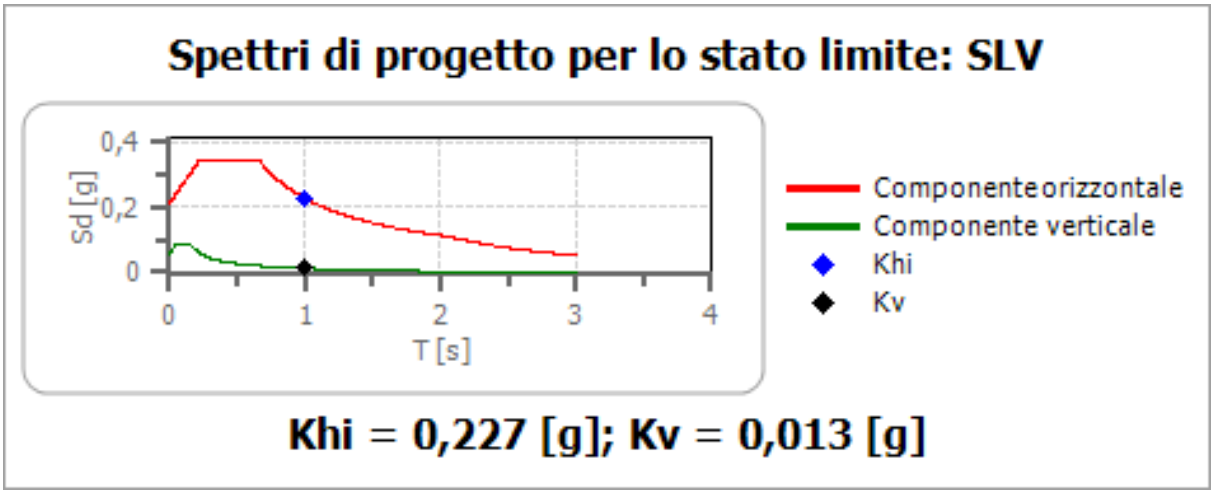
Fattore di struttura spettro orizzontale q:	1,50	
Fattore di struttura spettro verticale q:	1,50	
Periodo fondamentale T:	1,00	[s]
khi = Se(T) Orizzontale:	0,082	[s]
kv = Se(T) Verticale:	0,003	[s]



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLD orizzontale	2	0,045	2,481	0,246	1,800	2,520	1,000	1,800	1,500	0,206	0,619	1,779	0,080	0,133
SLD verticale	2	0,045	2,481	0,246	1,800	2,520	1,000	1,000	1,500	0,021	0,150	1,000	0,013	0,133

Spettro di progetto SLV

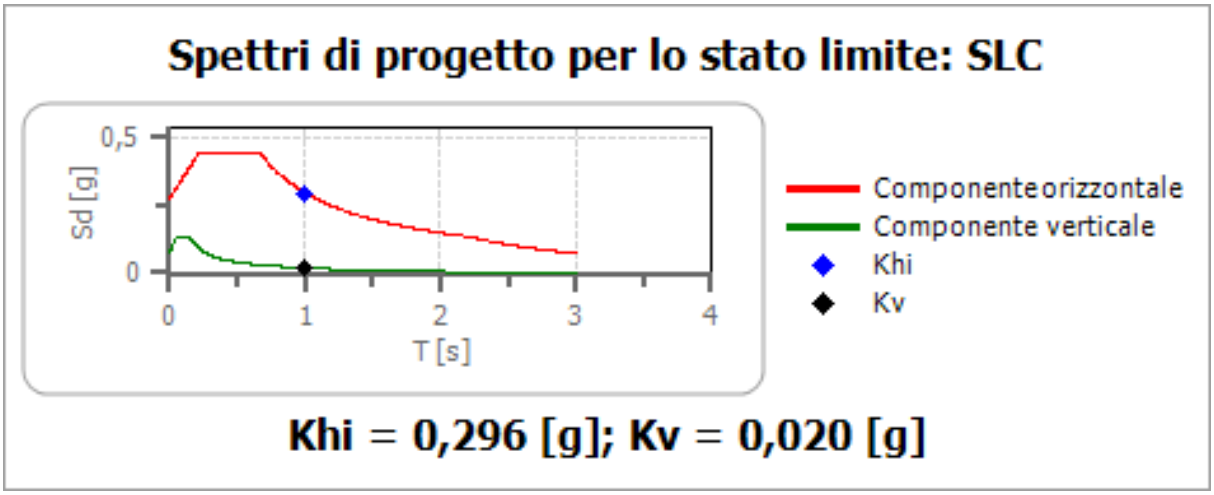
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50
Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50
Periodo fondamentale T: 1,00 [s]
khi = Se(T) Orizzontale: 0,227 [s]
kv = Se(T) Verticale: 0,013 [s]



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLV orizzontale	2	0,117	2,451	0,278	1,800	2,370	1,000	1,800	1,500	0,220	0,659	2,068	0,210	0,344
SLV verticale	2	0,117	2,451	0,278	1,800	2,370	1,000	1,000	1,500	0,088	0,150	1,000	0,054	0,344

Spettro di progetto SLC

Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1,50
Fattore di struttura spettro verticale q: 1,50
Periodo fondamentale T: 1,00 [s]
khi = Se(T) Orizzontale: 0,296 [s]
kv = Se(T) Verticale: 0,020 [s]



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLC orizzontale	2	0,151	2,455	0,282	1,800	2,350	1,000	1,800	1,500	0,221	0,663	2,206	0,273	0,446
SLC verticale	2	0,151	2,455	0,282	1,800	2,350	1,000	1,000	1,500	0,130	0,150	1,000	0,080	0,446

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;

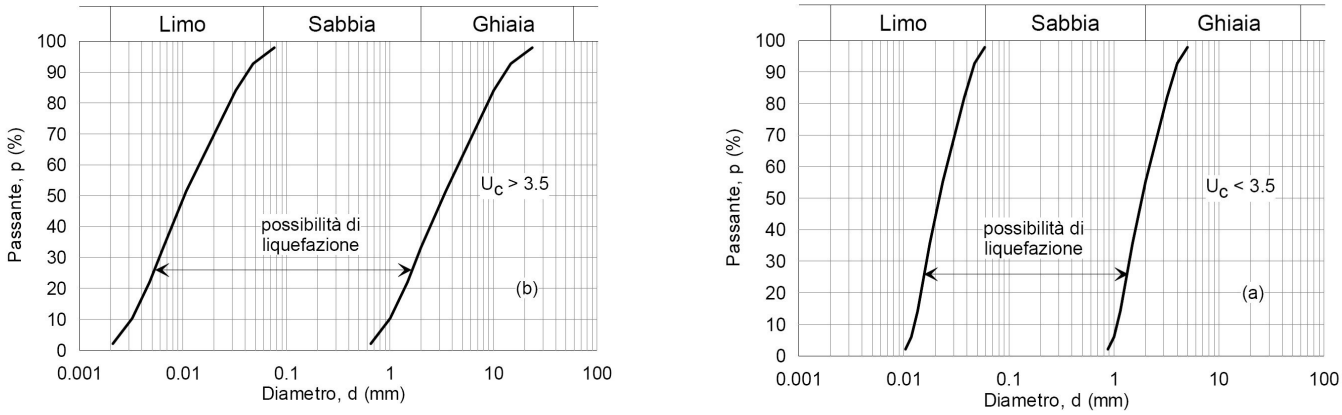
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni concoefficiente di uniformità Uc > 3,5.

Figura 7.11.1 – *Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.*



Sulla base di quanto definito sopra, dall'elaborazione e calcolo dei dati riportati nel paragrafo precedente nonché dal controllo dei parametri ricavati dall'allegato B delle "Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008", si riportano i parametri sismici per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita definiti per il sito di studio:

- **S - Accelerazione massima in superficie=0,117 g**
- **F0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale = 2.45**
- **Tc periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale = 0.278**
- **Categoria di suolo di tipo "D"**
- **Coefficiente di amplificazione litologica Ss=1.8**
- **Coefficiente di amplificazione litologica Cc=2.370**
- **Categoria topografica "T1"**
- **Coefficiente di amplificazione topografica St=1.000.**

Le condizioni 1, 3 , 4, 5 risultino soddisfatte.

NOTE DI GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA

(ampi stralci dalla relazione geologica del PGT di Casteggio – 2011 – Dr. Geol. D. Calvi)

Il territorio comunale di Casteggio e suddivisibile, dal punto di vista geologico, in due distinti ambiti:

- il settore pianeggiante, impostato nei depositi quaternari alluvionali che costituiscono il ripiano fondamentale della Pianura Padana a Sud del fiume Po e che si raccordano regolarmente con le alluvioni presenti nelle principali valli appenniniche (torrente Coppa e torrente Rile)
- il settore collinare, costituito in prevalenza da depositi quaternari pre-wurmiani di età diversa, disposti su più ordini di ripiani non sempre ben distinguibili e su cui sorge parte dell'abitato di Casteggio, ed in parte da depositi marini rimaneggiati.

L'insieme dei depositi quaternari alluvionali giace direttamente su terreni marini terziari, come testimoniato dalle stratigrafie dei pozzi profondi AGIP presenti nella zona.

Per quanto riguarda l'assetto strutturale, l'area d'indagine risente della vicinanza del margine appenninico e della presenza delle strutture tettoniche ad esso collegate.

In particolare, le caratteristiche generali riguardanti le strutture sepolte possono essere desunte oltre che dalla bibliografia geologica, dalle ricostruzioni strutturali effettuate dall'AGIP sulla base dei risultati delle prospezioni geofisiche e dalle numerose perforazioni eseguite nel territorio di Casteggio e Montebello della Battaglia per la ricerca di idrocarburi (Pieri & Groppi, 1982), attraverso le quali si evidenziano:

- una faglia con carattere prevalentemente trascorrente ad andamento S-N, ubicata nel fondovalle del torrente Coppa. Tale faglia rappresenta la prosecuzione verso Nord di un'importante dislocazione tettonica che interessa i terreni di pertinenza appenninica nelle zone più a Sud dell'ambito considerato e su cui risultano impostati il fondovalle del torrente Coppa ed il tratto terminale della Val Schizzola (Scagni & Vercesi, 1987);
- due faglie inverse sepolte: una ad andamento EN E-OSO, passante poco a N di Casteggio (faglia Vogherese) ed una ad andamento NE-SO ubicata poco a SE dello stesso centro abitato (faglia inversa di Retorbido);
- una struttura anticlinalica (anticlinale di Casteggio).

Le faglie presentano immersione verso la collina (rispettivamente a SSE e a SO) e ribassano le zolle settentrionali.

Dalle risultanze di detti studi si evince quindi come la porzione pedecollinare dell'Oltrepo Pavese è caratterizzata da numerosi lineamenti tettonici di tipo compressivo, che suddividono l'area in comparti differenti, con zone a diverso comportamento e movimento.

In particolare, l'area centrale (areale di Casteggio) è caratterizzata da innalzamenti più accentuati rispetto ai settori occidentali ed orientali.

L'attività neotettonica indica infine un recente sollevamento della zona appenninica in cui è ubicata l'area in esame ed e sottolineata da una serie di evidenze morfologiche quali irregolarità planoaltimetriche delle linee di crinale, andamento di alcuni corsi d'acqua, allineamento di frane, rotture di pendenza che si riscontrano lungo i versanti.

Queste discontinuità tettoniche favoriscono la circolazione delle acque sotterranee con locale intensificazione dei processi di degradazione delle rocce.

Alla scala locale le numerose pieghe presenti nell'ammasso roccioso determinano frequenti variazioni di giacitura della stratificazione sui versanti e controllano di fatto sia le condizioni idrogeologiche che l'assetto geostatico.

Elementi significativi dal punto di vista geomorfologico sono le scarpate di terrazzo che segnalano il passaggio tra i depositi alluvionali di fondovalle del Fluviale Recente e i ripiani terrazzati del Fluviale Medio – su uno dei quali si colloca anche il centro storico di Casteggio, ovvero tra i ripiani dello stesso Fluviale Medio e quelli soprastanti del Fluviale Antico.

L'ambito pianeggiante del territorio comunale di Casteggio è caratterizzato dalla presenza del conoide del torrente Coppa, i cui depositi si sovrappongono a quelli costituenti il ripiano principale della pianura oltrepadana.

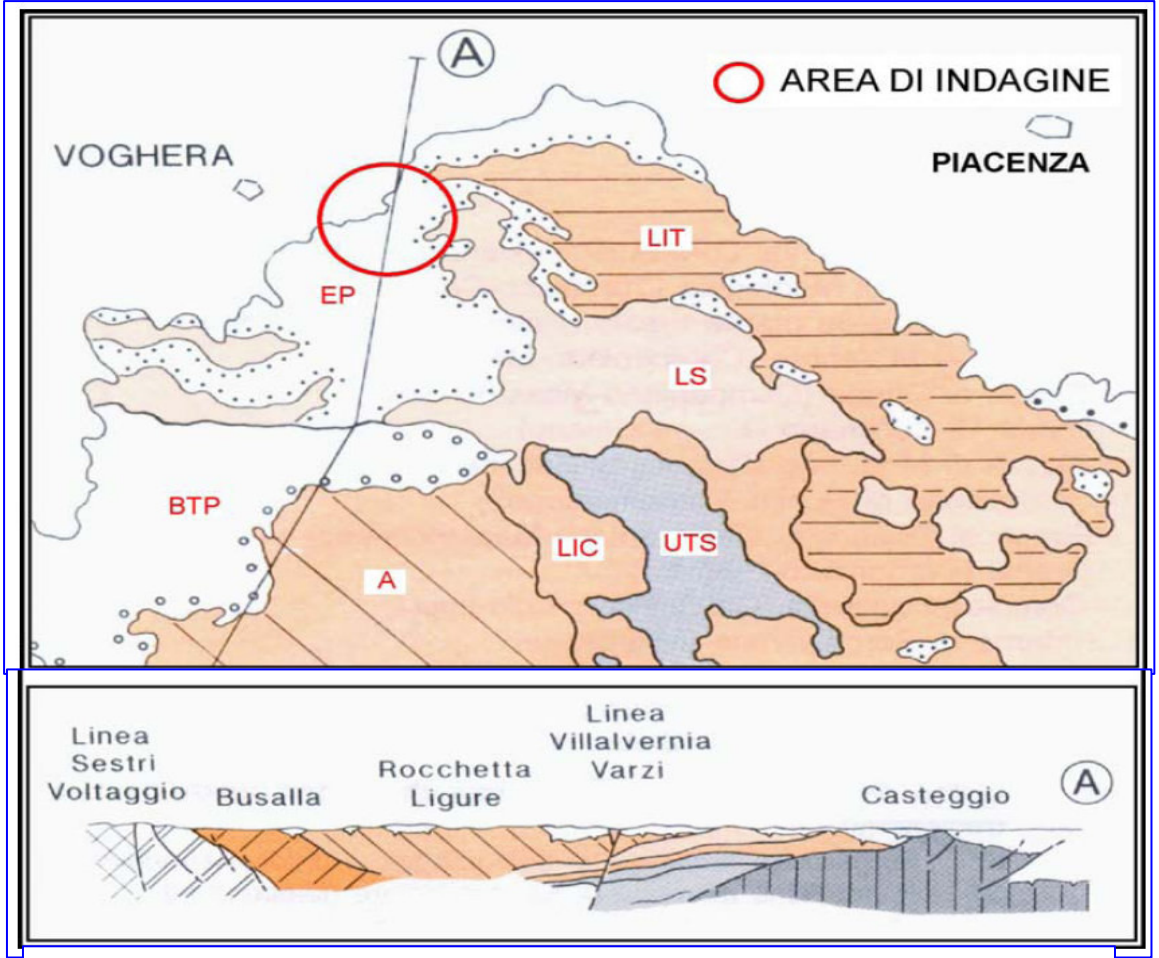
Ne deriva una superficie topografica degradante verso Nord, con un gradiente iniziale di circa il 3,0+3,5% in corrispondenza della stessa conoide del torrente Coppa, che diminuisce fino allo 0,6% circa al confine con i comuni di Verretto e Casatisma.

La presenza della suddetta conoide rende ragione, oltre che della locale maggiore acclività del piano campagna, del mancato sviluppo dei terrazzi fluviali verso il Fiume Po e del carattere di pensile dello stesso torrente Coppa, il che ha reso necessario la realizzazione di una serie di arginature artificiali a protezione degli abitati presenti lungo il suo corso, a partire dalla periferia nord dall'abitato di Casteggio sino a Bressana Bottarone.

Le caratteristiche di pensilità del torrente Coppa si esauriscono in prossimità della foce dove, incidendo le alluvioni oloceniche, lo stesso corso d'acqua confluisce ne fiume Po.

Le unita rocciose affioranti nel territorio comunale di Casteggio, conformemente a quanto accettato nell'ambito della letteratura geologica attuale (CNR – Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale, 1982 e relative Note Illustrative, 1987), vengono raggruppate, nel quadro paleogeografico – strutturale regionale, secondo il seguente schema:

- COPERTURE QUATERNARIE DI NATURA ALLUVIONALE
- UNITA EPILIGURI
- UNITA LIGURI
- COPERTURE QUATERNARIE DI NATURA ALLUVIONALE



EP = EPILIGURI (ricoprono in discordanza stratigrafica le liguridi esterne)
BTP = Bacino Terziario Piemontese (Sigilla in discordanza stratigrafica la giustapposizione delle Alpi Marittime all'Appennino Settentrionale)
UNITA' LIGURI: Unità superiore dei Flysch ad Elmintoidi (A = Unità Antola; LS = liguri esterne superiori); Unità inferiore dei Flysch ad Elmintoidi (LIC = liguri esterne inferiori cretaciche; LIT = liguridi esterne inferiori terziarie)
UTS = Unità tosco-umbre e subliguridi (Successione carbonatica; torbiditi di avanfossa dell'ossatura appenninica; unità subliguridi).

SCHEMA STRUTTURALE DELL'APPENNINO PAVESE-PIACENTINO

FORMAZIONI QUATERNARIE DELLA PIANURA DI CASTEGGIO

ALLUVIONI ATTUALI (Olocene superiore – attuale)

Presenti in corrispondenza dell'alveo attivo del torrente Coppa. Sono costituite da sedimenti non terrazzati caratterizzati da estrema variabilità granulometrica e da modesta alterazione superficiale.

I depositi sono dati da ghiaie poligeniche frammiste a sabbia grossolana, il tutto immerso in una abbondante matrice limosa.

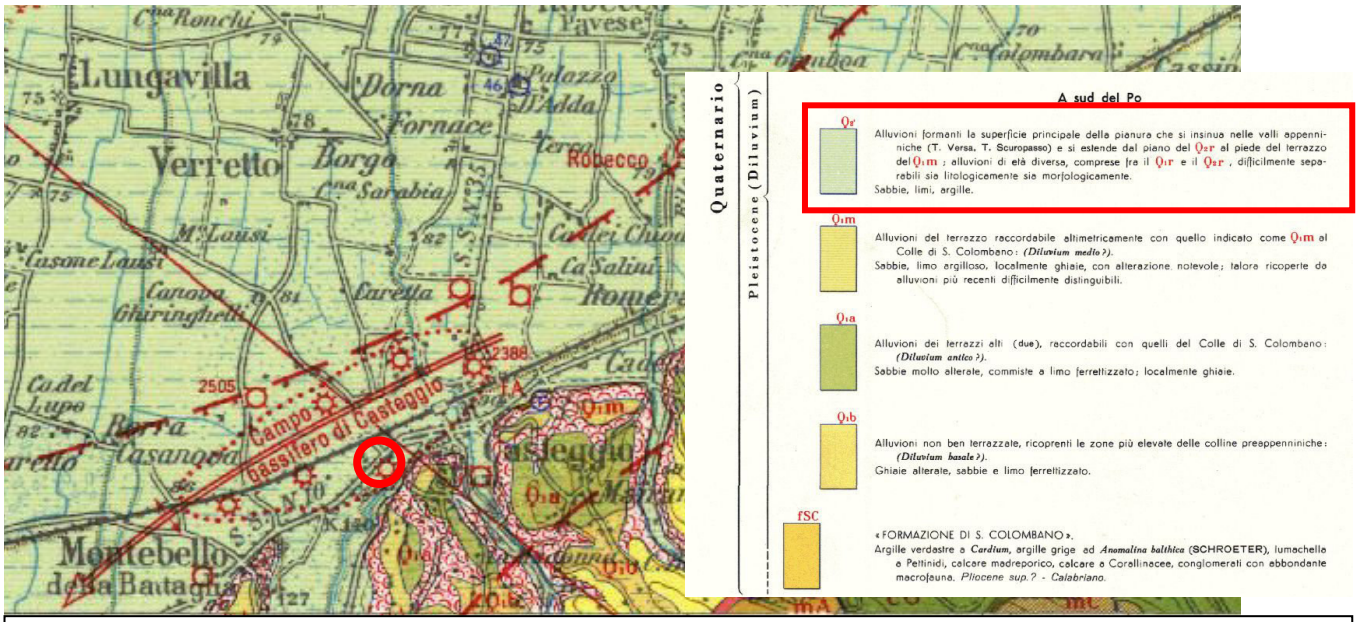
ALLUVIONI RECENTI (Olocene inferiore – medio)

Sono costituite da limi sabbiosi, sabbie grossolane poco alterate, localmente ghiaie e ciottoli con alterazione notevole. Risultano generalmente ricoperte da una coltre di copertura costituita :la limo argilloso e argilla siltoso – sabbiosa.

FLUVIALE RECENTE (Pleistocene superiore – Wurm)

Questi depositi costituiscono la "superficie principale della pianura padana" a Sud de Po, o Piano Generale Terrazzato (P.G.T.).

Risultano costituiti da depositi di età diversa, difficilmente separabili tra loro sia dal punto di vista morfologico che litologico. Sono dati da argille e limi prevalenti alla sommità della successione ("limi di stanca"), limi sabbiosi, sabbie poco alterate, localmente ghiaie e ciottoli con alterazione notevole.



ESTRATTO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA E LEGENDA – FOGLIO 59 – PAVIA

FLUVIALE MEDIO (Pleistocene medio – Riss)

"Piano di Stradella" della C.G.I. foglio 59 Pavia

Alluvioni costituite da limi sabbiosi, sabbie grossolane poco alterate, localmente ghiaie e ciottoli con alterazione notevole, spesso laccati di incrostazioni di manganese, dalla caratteristica tinta bruno-

nera. Esse risultano ricoperte da una coltre di copertura costituita da silt argilloso – sabbioso e argilla siltoso – sabbiosa, di colore grigio – bruno tendente al giallastro, di prevalente origine eolica (loess) elo-colluviale, contenente concrezioni di natura calcarea e ferro – manganesifera,

FLUVIALE ANTICO (Pleistocene inferiore – Mindel)

Alluvioni costituite da sabbie o ghiaie fortemente alterate, generalmente con matrice limosa, talora abbondante, e ricoperte da coltri limose.

Si tratta di depositi di età diversa, costituiti da più ordini di ripiani mal distinguibili su cui sorge l'abitato di Montebello della Battaglia e in parte l'abitato di Casteggio.

DESCRIZIONE DELL'ATTREZZATURA UTILIZZATA PER LE INDAGINI GEOTECNICHE

L'attrezzatura è composta di un gruppo d'infissione, montato su semovente cingolato.

Le caratteristiche del sistema di battuta sono:

- Maglio Kg=73
- Volata cm=75
- Testa di battuta assente
- Lunghezza aste m=1
- Massa aste Kg/m=7
- Diametro aste mm=33
- Angolo di apertura punta =60°
- Diametro punta mm=51

Sistema d'infissione statico:

- Spinta 10 t

-Punta meccanica tipo Begemann

(ISSMFE 1974)

- Aste 1000 mm

Penetrometro
Pagani 10 ton.

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
(CONE PENETRATION TEST) CPT

PROVE CPT : METODOLOGIA DELL' INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante (v = 2 cm / sec 0,5 cm / sec).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo "Begemann".

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica = 35,7 mm
- area di punta Ap = 10 cm^2
- angolo di apertura del cono α = 60 °
- superficie laterale del manicotto Am = 150 cm^2

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna.

Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico (qualora presente) o sui manometri.

Per mezzo di un software (in alcuni strumenti) è possibile sia durante l'acquisizione, che in un secondo momento a prove ultimate trasferire i dati ad un PC.

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm2) durante l'infissione sono le seguenti:

Lettura alla punta LP = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta

Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto

Lettura totale LLTT = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).
Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "STATIC PROBING" della GeoStru
La resistenze specifiche Qc (Resistenza alla punta RP) e Ql (Resistenza Laterale RL o fs attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

Ap = l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann") = 10 cm^2

Am = area del manicotto di frizione = 150 cm^2

Ct = costante di trasformazione =10

Il programma Static Probing permette inoltre l'archiviazione, la gestione e l'elaborazione delle Prove Penetrometriche Statiche.

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

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %-).

I valori sono calcolati con queste formule:

Qc (RP) = (LP x Ct) / 10 cm^2. **Resistenza alla punta**

Ql (RL) (fs) = [(LT – LP) x Ct] / 150 cm^2. **Resistenza laterale**

Qc (RP) = Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct / Superficie Punta Ap

Ql (RL) (fs) = Lettura laterale LT- Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct / Am area del manicotto di frizione

N.B.

- Ap = 10 cm^2 e Am = 150 cm^2

- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

VALUTAZIONI STATISTICHE

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

Medio Media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media minima Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Massimo Valore massimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Minimo Valore minimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media + s Media + scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media – s Media - scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

CORRELAZIONI

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Il programma esegue inoltre il grafico (per i vari autori) Profondità/Valutazioni litologiche, per visualizzare in maniera diretta l'andamento delle litologie presenti lungo la verticale indagata.

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento)

- Searle 1979
- Douglas Olsen 1981 (consigliato per CPTE)
- A.G.I. 1977 (consigliato per CPT)
- Schmertmann 1978 (consigliato per CPT)
- Robertson 1983-1986 (consigliato per CPTE)
- Begemann 1965 (consigliato per CPT)

Suddivisione delle metodologia di indagine con i Penetrometri statici

CPT (Cone Penetration Test – punta Meccanica tipo Begemann)

CPTE (Cone Penetration Test Electric – punta elettrica)

CPTU (Piezocono)

Per quanto riguarda la PUNTA ELETTRICA generalmente tale strumento permette di ottenere dati in continuo con un passo molto ravvicinato (anche 2 cm.) rispetto al PUNTA MECCANICA (20 cm.).
Per il PIEZOCONO i dati di inserimento oltre a quelli di LP e LT sono invece la pressione neutrale misurata ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della

sovrappressione neutrale e la pressione neutrale o pressione della colonna d'acqua). Tale misurazione si effettua generalmente misurando la sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione neutrale (dissipazione nel tempo) misurata in fase di alleggerimento di spinta (arresto penetrazione). Il programma usato per le elaborazioni permette di immettere U1 – U2 – U3 cioè la sovrappressione neutrale misurata rispettivamente con filtro poroso posizionato nel cono, attorno al cono, o attorno al manicotto a seconda del tipo di piezocono utilizzato. Tale sovrappressione (che è data dalla somma della pressione idrostatica preesistente la penetrazione e dalle pressioni dei pori prodotte dalla compressione) può essere positiva o negativa e generalmente varia da (-1 a max. + 10-20 kg/cmq) ed è prodotta dalla compressione o dilatazione del terreno a seguito della penetrazione. Per il calcolo oltre ai dati strumentali generali si deve immettere per una correzione dei valori immessi :

Area punta del cono (area esterna punta)

Area interna punta del cono (area del restringimento in prossimità del setto poroso – interna cono-manicotto). Generalmente il rapporto tra le aree varia da (0,70 – 1,00).

Il Passo del penetrometro (l'intervallo entro cui effettua la lettura, generalmente per penetrometri normali è 20 cm., per le punte elettriche-piezoconi può essere di 2 cm).

Il programma elabora quindi i dati di resistenza alla punta e laterale fs con le opportune correzioni dovute alla normalizzazione (con la tensione litostatica e con la pressione dei pori). Robertson definisce infine il valore caratteristico del Ic (Indice di tipo dello strato) e Contenuto in materiale fine FC % (cioè la percentuale di contenuto argilloso < 2 micron).

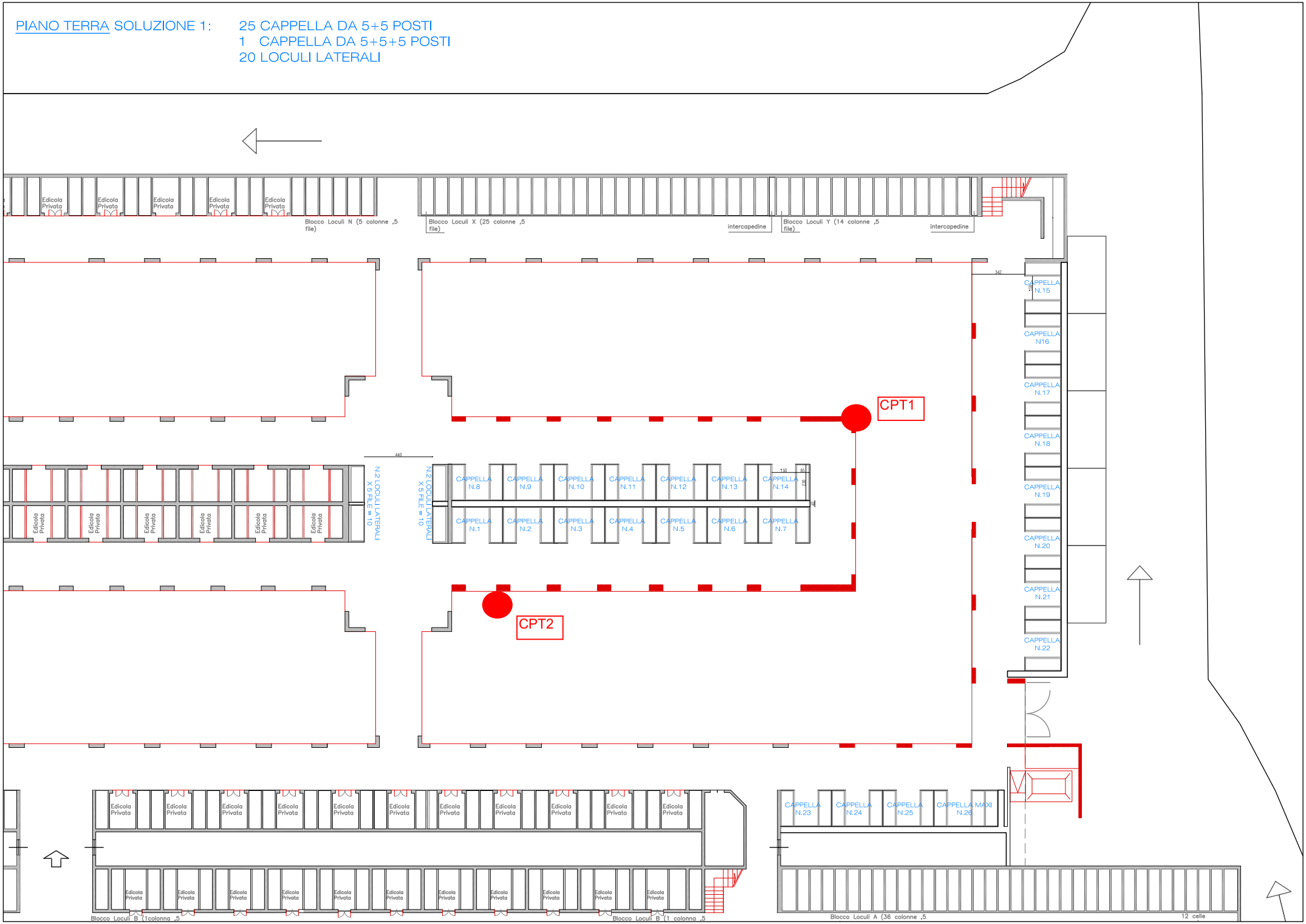
CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la Qc media, la fs media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

PIANO TERRA SOLUZIONE 1: 25 CAPPELLA DA 5+5 POSTI
1 CAPPELLA DA 5+5+5 POSTI
20 LOCULI LATERALI



RAPPORTO DELL'INDAGINE E CALCOLO DELLA PORTANZA

Alcuni momenti delle indagini in loco

L'indagine geotecnica condotta ha permesso di determinare che i depositi sottostanti i suoli superficiali presentano litotipi a natura prevalentemente coesiva passanti da limi e limi argillose a limi sabbiosi.

Dall'analisi dei dati ottenuti attraverso le due prove penetrometriche statiche (CPT1 e CPT2) si possono trarre le seguenti considerazioni:

- *l'area è stata indagata per una profondità massima di m. 7,8 dal p.c.*
- *le prove evidenziano l'alternanza di orizzonti limoso argillosi passanti a limoso sabbiosi superficiali con proprietà geotecniche accettabili fino alla profondità di circa 3 metri da piano indagini, passanti successivamente verso litotipii argillosi e torbosi di scadenti proprietà geotecniche*
- *la falda freatica (in data 18 luglio 2014) alla profondità delle indagini (m. 7,8 da p.c.) non è stata riscontrata*
- *documenti relativi a sondaggi profondi realizzati nell'area cimiteriale (Relazione stratigrafica della componente geologica del PGT – Dr. Geol. Daniele Calvi – 2011) permettono di confermare questo dato.*

Il carico ammissibile (**σamm**.) è stato valutato per tipologia di **fondazione a platea**, alla profondità di un metro da piano campagna.

I calcoli, sono stati eseguiti con software Geostru, Program Geo e con software Ca.Ca.P. ver.2.0, applicando la formula di Meyerhof.

Meyerhof modificò l'equazione di Terzaghi inserendo fattori di forma e di profondità e tenendo conto dell'inclinazione del carico. Per fondazioni aventi D ≥ B (D= profondità di posa plinto – B = lato del plinto) la capacità portante ottenuta non è molto diversa da quella ricavata dalla formula di Terzaghi; maggiori differenze si riscontrano quando il rapporto D/B aumenta.
Per carico verticale:

$$cNc\ scd\ c+\delta DNqsqdq+0,5\delta BN\delta s\delta d\delta$$

dove:

c = coesione $\cong$ 1,3
δ = peso di volume = 2,1 ton/mc
Nc – Nq - Nδ = coeff. di capacità portante (apposite tabelle)
sc d c sq dq sδ dδ = fattori di forma e profondità legati a φ (angolo d'attrito) con apposite formule

Secondo i calcoli eseguiti si ritiene idonea la posa della fondazione a platea alla quota di – m. 1,0 da piano campagna con l'applicazione di un carico di sicurezza σ amm. di 0,98 kg/cmq, in grado di garantire cedimenti massimi inferiori ad 1 centimetro.

Sempre necessarie e consigliabili, per un'omogenea ripartizione dei carichi, operazioni di riporto, al di sopra del piano di fondazione, di almeno 30 centimetri di buon materiale misto-granulare selezionato, da compattare con mezzi idonei.

DATI E DIAGRAMMI DELL'ELABORAZIONE DELLE INDAGINI PENETROMETRICHE

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

Committente: COMUNE DI CASTEGGIO
Cantiere: AMPLIAMENTO CIMITERO
Località: CIMITERO

Caratteristiche Strumentali PAGANI 100 kN

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica (mm)	35,7
Angolo di apertura punta (°)	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

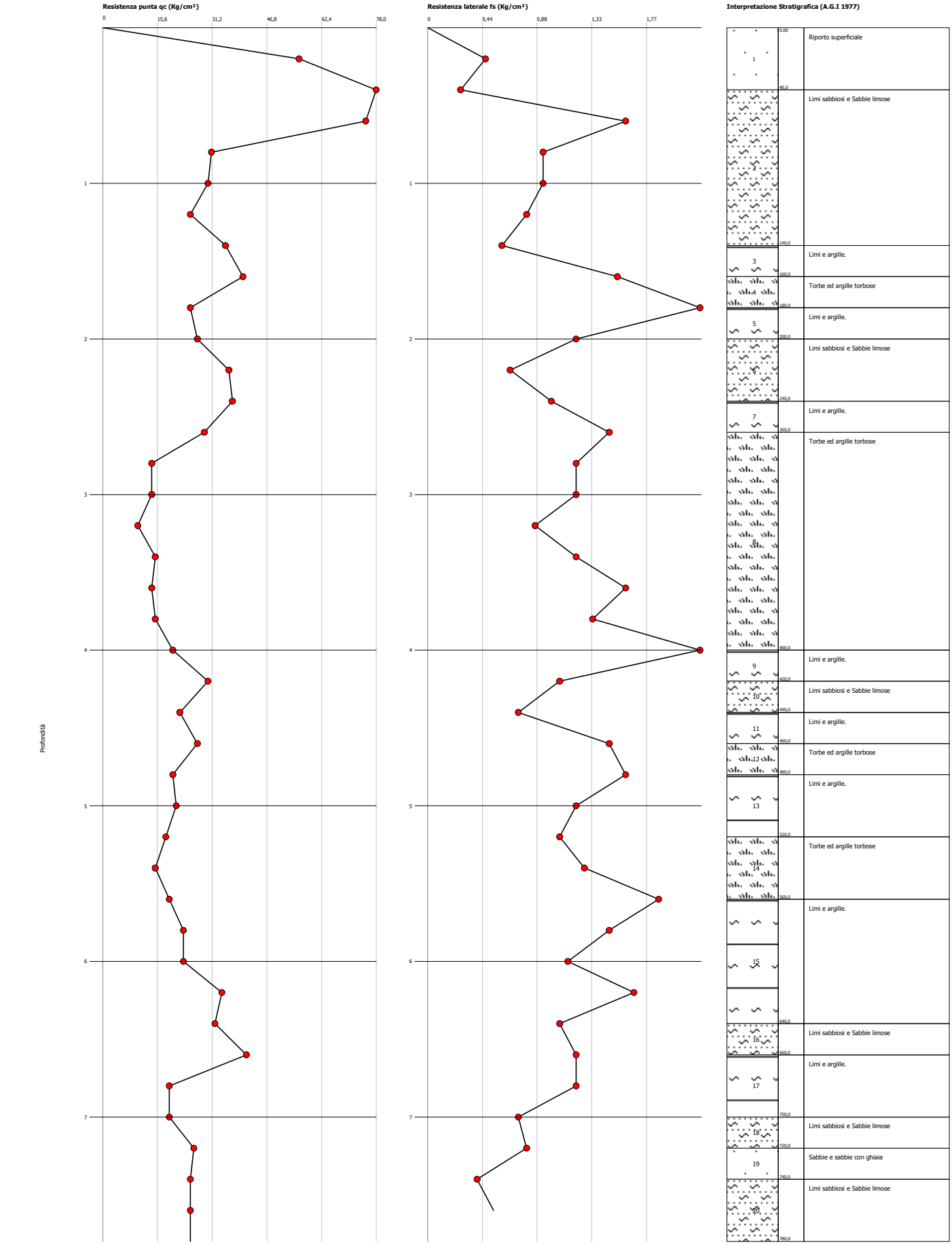
GEOSTRU SOFTWARE
WWW.GEOSTRU.COM
GEOSTRU@GEOSTRU.COM

Probe CPT - Cone Penetration CPT 1
Strumento utilizzato... PAGANI 100 kN
Diagramma Resistenze qc fs

Committente :
COMUNE DI CASTEGGIO
Cantiere : AMPLIAMENTO CIMITERO
Località : CIMITERO

Data :18/07/2014

Scala 1:33



PROVA ...CPT 1

Strumento utilizzato... PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data 18/07/2014
Profondità prova 7,80 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	56,0	64,0	56,0	0,47	119,15	0,84
0,40	78,0	85,0	78,0	0,27	288,89	0,35
0,60	75,0	79,0	75,0	1,6	46,88	2,13
0,80	31,0	55,0	31,0	0,93	33,33	3,0
1,00	30,0	44,0	30,0	0,93	32,26	3,1
1,20	25,0	39,0	25,0	0,8	31,25	3,2
1,40	35,0	47,0	35,0	0,6	58,33	1,71
1,60	40,0	49,0	40,0	1,53	26,14	3,83
1,80	25,0	48,0	25,0	2,2	11,36	8,8
2,00	27,0	60,0	27,0	1,2	22,5	4,44
2,20	36,0	54,0	36,0	0,67	53,73	1,86
2,40	37,0	47,0	37,0	1,0	37,0	2,7
2,60	29,0	44,0	29,0	1,47	19,73	5,07
2,80	14,0	36,0	14,0	1,2	11,67	8,57
3,00	14,0	32,0	14,0	1,2	11,67	8,57
3,20	10,0	28,0	10,0	0,87	11,49	8,7
3,40	15,0	28,0	15,0	1,2	12,5	8,0
3,60	14,0	32,0	14,0	1,6	8,75	11,43
3,80	15,0	39,0	15,0	1,33	11,28	8,87
4,00	20,0	40,0	20,0	2,2	9,09	11,0
4,20	30,0	63,0	30,0	1,07	28,04	3,57
4,40	22,0	38,0	22,0	0,0		0,0
4,60	27,0	38,0	27,0	1,47	18,37	5,44
4,80	20,0	42,0	20,0	1,6	12,5	8,0
5,00	21,0	45,0	21,0	1,2	17,5	5,71
5,20	18,0	36,0	18,0	1,07	16,82	5,94
5,40	15,0	31,0	15,0	1,27	11,81	8,47
5,60	19,0	38,0	19,0	1,87	10,16	9,84
5,80	23,0	51,0	23,0	1,47	15,65	6,39
6,00	23,0	45,0	23,0	1,13	20,35	4,91
6,20	34,0	51,0	34,0	1,67	20,36	4,91
6,40	32,0	57,0	32,0	1,07	29,91	3,34
6,60	41,0	57,0	41,0	1,2	34,17	2,93
6,80	19,0	37,0	19,0	1,2	15,83	6,32
7,00	19,0	37,0	19,0	0,73	26,03	3,84
7,20	26,0	37,0	26,0	0,8	32,5	3,08
7,40	25,0	37,0	25,0	0,4	62,5	1,6
7,60	25,0	31,0	25,0	0,53	47,17	2,12
7,80	25,0	33,0	25,0	0,0		0,0

Profondità (m)	Valutazione litologica secondo: A.G.I 1977
0,20	Sabbie e sabbie con ghiaia
0,40	Sabbie e sabbie con ghiaia
0,60	Limi sabbiosi e Sabbie limose
0,80	Limi sabbiosi e Sabbie limose
1,00	Limi sabbiosi e Sabbie limose
1,20	Limi sabbiosi e Sabbie limose
1,40	Limi sabbiosi e Sabbie limose
1,60	Limi e argille.
1,80	Torbe ed argille torbose
2,00	Limi e argille.
2,20	Limi sabbiosi e Sabbie limose
2,40	Limi sabbiosi e Sabbie limose
2,60	Limi e argille.

2,80	Torbe ed argille torbose
3,00	Torbe ed argille torbose
3,20	Torbe ed argille torbose
3,40	Torbe ed argille torbose
3,60	Torbe ed argille torbose
3,80	Torbe ed argille torbose
4,00	Torbe ed argille torbose
4,20	Limi e argille.
4,40	Limi e argille.
4,60	Limi e argille.
4,80	Torbe ed argille torbose
5,00	Limi e argille.
5,20	Limi e argille.
5,40	Torbe ed argille torbose
5,60	Torbe ed argille torbose
5,80	Limi e argille.
6,00	Limi e argille.
6,20	Limi e argille.
6,40	Limi e argille.
6,60	Limi sabbiosi e Sabbie limose
6,80	Limi e argille.
7,00	Limi e argille.
7,20	Limi sabbiosi e Sabbie limose
7,40	Sabbie e sabbie con ghiaia
7,60	Limi sabbiosi e Sabbie limose
7,80	Limi sabbiosi e Sabbie limose

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi	Begeman n	De Beer	Baligh ed altri (1980) Nk=(20)
Strato 4	1,80	25,0	2,2	1,41	1,56	1,64	1,45	1,30	1,25	1,76	1,25	1,23
Strato 8	4,00	14,57	1,37	0,80	0,98	0,93	0,82	0,73	0,73	0,99	0,73	0,69
Strato 10	4,80	20,0	1,6	1,09	1,27	1,27	1,12	1,00	1,00	1,36	1,00	0,95
Strato 12	5,60	17,0	1,57	0,91	1,09	1,06	0,94	0,84	0,85	1,14	0,85	0,80

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 4	1,80	25,0	2,2	62,50	50,00	75,00	75,00
Strato 8	4,00	14,57	1,37	72,85	48,43	87,42	43,71
Strato 10	4,80	20,0	1,6	100,00	41,98	120,00	60,00
Strato 12	5,60	17,0	1,57	85,00	47,18	102,00	51,00

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)
Strato 4	1,80	25,0	2,2	924,16	37,50
Strato 8	4,00	14,57	1,37	521,13	21,90
Strato 10	4,80	20,0	1,6	714,48	30,00
Strato 12	5,60	17,0	1,57	596,86	25,50

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
Strato 4	1,80	25,0	2,2	Imai & Tomauchi	200,12
Strato 8	4,00	14,57	1,37	Imai & Tomauchi	143,89
Strato 10	4,80	20,0	1,6	Imai & Tomauchi	174,62
Strato 12	5,60	17,0	1,57	Imai & Tomauchi	158,11

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Stress-History	P.W.Mayne 1991	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.
Strato 4	1,80	25,0	2,2	1,63	9	>9	1,74
Strato 8	4,00	14,57	1,37	0,5	6,78	>9	<0.5
Strato 10	4,80	20,0	1,6	<0.5	9	>9	<0.5
Strato 12	5,60	17,0	1,57	<0.5	8	>9	<0.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 4	1,80	25,0	2,2	Meyerhof	2,01
Strato 8	4,00	14,57	1,37	Meyerhof	1,91
Strato 10	4,80	20,0	1,6	Meyerhof	1,96
Strato 12	5,60	17,0	1,57	Meyerhof	1,93

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 4	1,80	25,0	2,2	Meyerhof	2,09
Strato 8	4,00	14,57	1,37	Meyerhof	1,99
Strato 10	4,80	20,0	1,6	Meyerhof	2,04
Strato 12	5,60	17,0	1,57	Meyerhof	2,01

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	Schmertmann	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowski 1985
Strato 1	0,40	67,0	0,37	99,09	100	100	100	100
Strato 2	1,40	39,2	0,97	62,85	81,1	79,73	63,66	87,99
Strato 3	1,60	40,0	1,53	56,28	68,31	68,33	57,03	74,15
Strato 5	2,00	27,0	1,2	41,84	47,75	49,3	42,47	56,3
Strato 6	2,40	36,5	0,84	48,35	54,89	56,18	49,04	60,8
Strato 7	2,60	29,0	1,47	40,02	43,07	45,23	40,63	50,58
Strato 9	4,60	26,33	0,85	29,99	25,74	29,58	30,51	33,11
Strato 11	5,20	19,5	1,14	19,34	10,76	15,69	19,78	20,25
Strato 13	6,40	28,0	1,34	27,08	19,18	23,82	27,58	25,49
Strato 14	6,60	41,0	1,2	36,77	30,96	34,97	37,35	34,1
Strato 15	7,00	19,0	0,97	14,27	< 5	7,46	14,66	10,76
Strato 16	7,20	26,0	0,8	22,58	11,94	17,22	23,04	18,54
Strato 17	7,40	25,0	0,4	21,07	9,76	15,2	21,52	16,62
Strato 18	7,80	25,0	0,27	20,5	8,68	14,24	20,95	15,47

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Durgunoglu-Mitchell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmertmann	Robertson & Campanella 1983	Herminier	Meyerhof 1951
Strato 1	0,40	67,0	0,37	45	45	44,05	40,85	42	45	15	45
Strato 2	1,40	39,2	0,97	39,48	36,23	33,56	31,26	39,35	44,32	33,58	34,6
Strato 3	1,60	40,0	1,53	37,31	33,83	31,04	28,96	37,56	41,95	29,42	34,96
Strato 5	2,00	27,0	1,2	34,39	30,74	27,8	26	34,69	38,62	25,74	29,12
Strato 6	2,40	36,5	0,84	35,19	31,52	28,61	26,74	35,68	39,49	26,53	33,39
Strato 7	2,60	29,0	1,47	33,51	29,75	26,76	25,05	34,03	37,48	24,95	30,02

Strato 9	4,60	26,33	0,85	30,74	26,73	23,58	22,15	31,6	33,78	23,22	28,82
Strato 11	5,20	19,5	1,14	28,63	24,5	21,24	20,01	29,51	30,84	22,43	25,76
Strato 13	6,40	28,0	1,34	29,56	25,41	22,2	20,88	30,69	32,06	22,73	29,57
Strato 14	6,60	41,0	1,2	31,03	26,9	23,76	22,31	32,33	34	23,32	35,41
Strato 15	7,00	19,0	0,97	27,13	22,86	19,52	18,44	28,7	28,36	22,05	25,53
Strato 16	7,20	26,0	0,8	28,45	24,21	20,93	19,73	29,67	30,43	22,37	28,67
Strato 17	7,40	25,0	0,4	28,14	23,88	20,58	19,41	29,37	29,97	22,29	28,22
Strato 18	7,80	25,0	0,27	27,95	23,68	20,38	19,22	29,22	29,69	22,24	28,22

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 1	0,40	67,0	0,37	167,50	134,00	268,00
Strato 2	1,40	39,2	0,97	98,00	78,40	245,71
Strato 3	1,60	40,0	1,53	100,00	80,00	312,11
Strato 5	2,00	27,0	1,2	67,50	54,00	277,29
Strato 6	2,40	36,5	0,84	91,25	73,00	343,58
Strato 7	2,60	29,0	1,47	72,50	58,00	314,12
Strato 9	4,60	26,33	0,85	65,82	52,66	339,95
Strato 11	5,20	19,5	1,14	48,75	39,00	286,82
Strato 13	6,40	28,0	1,34	70,00	56,00	383,56
Strato 14	6,60	41,0	1,2	102,50	82,00	503,68
Strato 15	7,00	19,0	0,97	47,50	38,00	292,60
Strato 16	7,20	26,0	0,8	65,00	52,00	378,75
Strato 17	7,40	25,0	0,4	62,50	50,00	370,72
Strato 18	7,80	25,0	0,27	62,50	50,00	373,96

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Robertson & Campanella da Schmertmann	Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Mayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 1	0,40	67,0	0,37	81,52	262,82	544,14	113,90	100,50
Strato 2	1,40	39,2	0,97	67,47	153,77	313,58	78,40	117,60
Strato 3	1,60	40,0	1,53	58,85	156,91	319,15	80,00	120,00
Strato 5	2,00	27,0	1,2	43,17	105,91	211,23	54,00	135,00
Strato 6	2,40	36,5	0,84	49,81	143,18	289,10	73,00	109,50
Strato 7	2,60	29,0	1,47	40,97	113,76	226,72	58,00	145,00
Strato 9	4,60	26,33	0,85	31,27	103,28	201,82	52,66	131,65
Strato 11	5,20	19,5	1,14	20,86	76,49	144,33	39,00	97,50
Strato 13	6,40	28,0	1,34	30,07	109,83	212,82	56,00	140,00
Strato 14	6,60	41,0	1,2	40,96	160,83	319,23	82,00	123,00
Strato 15	7,00	19,0	0,97	20,49	74,53	137,24	38,00	95,00
Strato 16	7,20	26,0	0,8	26,87	101,99	194,50	52,00	130,00
Strato 17	7,40	25,0	0,4	25,59	98,07	185,92	50,00	125,00
Strato 18	7,80	25,0	0,27	25,44	98,07	185,43	50,00	125,00

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 1	0,40	67,0	0,37	Imai & Tomauchi	365,50
Strato 2	1,40	39,2	0,97	Imai & Tomauchi	263,42
Strato 3	1,60	40,0	1,53	Imai & Tomauchi	266,70
Strato 5	2,00	27,0	1,2	Imai & Tomauchi	209,76
Strato 6	2,40	36,5	0,84	Imai & Tomauchi	252,18
Strato 7	2,60	29,0	1,47	Imai & Tomauchi	219,12
Strato 9	4,60	26,33	0,85	Imai & Tomauchi	206,56
Strato 11	5,20	19,5	1,14	Imai & Tomauchi	171,94
Strato 13	6,40	28,0	1,34	Imai & Tomauchi	214,47
Strato 14	6,60	41,0	1,2	Imai & Tomauchi	270,75
Strato 15	7,00	19,0	0,97	Imai & Tomauchi	169,23
Strato 16	7,20	26,0	0,8	Imai & Tomauchi	204,98
Strato 17	7,40	25,0	0,4	Imai & Tomauchi	200,12

Strato 18	7,80	25,0	0,27	Imai & Tomauchi	200,12

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Stress-History	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.	Ladd e Foot 1977
Strato 1	0,40	67,0	0,37	>9	>9	>9	
Strato 2	1,40	39,2	0,97	4,79	>9	>9	
Strato 3	1,60	40,0	1,53	2,96	>9	>9	
Strato 5	2,00	27,0	1,2	1,59	>9	>9	
Strato 6	2,40	36,5	0,84	1,85	>9	>9	
Strato 7	2,60	29,0	1,47	1,3	>9	>9	
Strato 9	4,60	26,33	0,85	0,71	8,65	8,3	
Strato 11	5,20	19,5	1,14	<0.5	8,31	4,62	
Strato 13	6,40	28,0	1,34	0,54	8,62	5,88	
Strato 14	6,60	41,0	1,2	0,73	8,23	8,68	
Strato 15	7,00	19,0	0,97	<0.5	5,41	2,98	
Strato 16	7,20	26,0	0,8	<0.5	4,98	4,27	
Strato 17	7,40	25,0	0,4	<0.5	3,03	3,91	
Strato 18	7,80	25,0	0,27	<0.5	2,4	3,71	

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 1	0,40	67,0	0,37	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 2	1,40	39,2	0,97	Kulhawy-Mayne (1990)	0,97
Strato 3	1,60	40,0	1,53	Kulhawy-Mayne (1990)	0,71
Strato 5	2,00	27,0	1,2	Kulhawy-Mayne (1990)	0,47
Strato 6	2,40	36,5	0,84	Kulhawy-Mayne (1990)	0,52
Strato 7	2,60	29,0	1,47	Kulhawy-Mayne (1990)	0,42
Strato 9	4,60	26,33	0,85	Kulhawy-Mayne (1990)	0,28
Strato 11	5,20	19,5	1,14	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 13	6,40	28,0	1,34	Kulhawy-Mayne (1990)	0,23
Strato 14	6,60	41,0	1,2	Kulhawy-Mayne (1990)	0,29
Strato 15	7,00	19,0	0,97	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 16	7,20	26,0	0,8	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 17	7,40	25,0	0,4	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 18	7,80	25,0	0,27	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 1	0,40	67,0	0,37	0,09949	0,01293
Strato 2	1,40	39,2	0,97	0,11246	0,01462
Strato 3	1,60	40,0	1,53	0,11184	0,01454
Strato 5	2,00	27,0	1,2	0,11626	0,01511
Strato 6	2,40	36,5	0,84	0,11474	0,01492
Strato 7	2,60	29,0	1,47	0,11286	0,01467
Strato 9	4,60	26,33	0,85	0,11751	0,01528
Strato 11	5,20	19,5	1,14	0,13521	0,01758
Strato 13	6,40	28,0	1,34	0,1145	0,01488

Strato 14	6,60	41,0	1,2	0,1111	0,01444
Strato 15	7,00	19,0	0,97	0,137	0,01781
Strato 16	7,20	26,0	0,8	0,11815	0,01536
Strato 17	7,40	25,0	0,4	0,1202	0,01563
Strato 18	7,80	25,0	0,27	0,1202	0,01563

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	0,40	67,0	0,37	Meyerhof	1,90
Strato 2	1,40	39,2	0,97	Meyerhof	1,80
Strato 3	1,60	40,0	1,53	Meyerhof	1,80
Strato 5	2,00	27,0	1,2	Meyerhof	1,80
Strato 6	2,40	36,5	0,84	Meyerhof	1,80
Strato 7	2,60	29,0	1,47	Meyerhof	1,80
Strato 9	4,60	26,33	0,85	Meyerhof	1,80
Strato 11	5,20	19,5	1,14	Meyerhof	1,80
Strato 13	6,40	28,0	1,34	Meyerhof	1,80
Strato 14	6,60	41,0	1,2	Meyerhof	1,80
Strato 15	7,00	19,0	0,97	Meyerhof	1,80
Strato 16	7,20	26,0	0,8	Meyerhof	1,80
Strato 17	7,40	25,0	0,4	Meyerhof	1,90
Strato 18	7,80	25,0	0,27	Meyerhof	1,90

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	0,40	67,0	0,37	Meyerhof	2,20
Strato 2	1,40	39,2	0,97	Meyerhof	2,10
Strato 3	1,60	40,0	1,53	Meyerhof	2,10
Strato 5	2,00	27,0	1,2	Meyerhof	2,10
Strato 6	2,40	36,5	0,84	Meyerhof	2,10
Strato 7	2,60	29,0	1,47	Meyerhof	2,10
Strato 9	4,60	26,33	0,85	Meyerhof	2,10
Strato 11	5,20	19,5	1,14	Meyerhof	2,10
Strato 13	6,40	28,0	1,34	Meyerhof	2,10
Strato 14	6,60	41,0	1,2	Meyerhof	2,10
Strato 15	7,00	19,0	0,97	Meyerhof	2,10
Strato 16	7,20	26,0	0,8	Meyerhof	2,10
Strato 17	7,40	25,0	0,4	Meyerhof	2,20
Strato 18	7,80	25,0	0,27	Meyerhof	2,20

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	0,40	67,0	0,37	Robertson e Wride 1997	4,791
Strato 2	1,40	39,2	0,97	Robertson e Wride 1997	9,904
Strato 3	1,60	40,0	1,53	Robertson e Wride 1997	19,667
Strato 5	2,00	27,0	1,2	Robertson e Wride 1997	15,281
Strato 6	2,40	36,5	0,84	Robertson e Wride 1997	8,475
Strato 7	2,60	29,0	1,47	Robertson e Wride 1997	12,868
Strato 9	4,60	26,33	0,85	Robertson e Wride 1997	1,874
Strato 11	5,20	19,5	1,14	Robertson e Wride 1997	1,338
Strato 13	6,40	28,0	1,34	Robertson e Wride 1997	1,869

Strato 14	6,60	41,0	1,2	Robertson e Wride 1997	2,63
Strato 15	7,00	19,0	0,97	Robertson e Wride 1997	1,024
Strato 16	7,20	26,0	0,8	Robertson e Wride 1997	1,104
Strato 17	7,40	25,0	0,4	Robertson e Wride 1997	0,942
Strato 18	7,80	25,0	0,27	Robertson e Wride 1997	0,871

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Permeabilità (cm/s)
Strato 1	0,40	67,0	0,37	Piacentini-Righi 1988	0,001
Strato 2	1,40	39,2	0,97	Piacentini-Righi 1988	5,856042E-05
Strato 3	1,60	40,0	1,53	Piacentini-Righi 1988	9,733731E-08
Strato 4	1,80	25,0	2,2	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 5	2,00	27,0	1,2	Piacentini-Righi 1988	7,364071E-09
Strato 6	2,40	36,5	0,84	Piacentini-Righi 1988	1,243811E-04
Strato 7	2,60	29,0	1,47	Piacentini-Righi 1988	1,886209E-10
Strato 8	4,00	14,57	1,37	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 9	4,60	26,33	0,85	Piacentini-Righi 1988	2,622509E-06
Strato 10	4,80	20,0	1,6	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 11	5,20	19,5	1,14	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 12	5,60	17,0	1,57	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 13	6,40	28,0	1,34	Piacentini-Righi 1988	1,069928E-09
Strato 14	6,60	41,0	1,2	Piacentini-Righi 1988	7,750868E-06
Strato 15	7,00	19,0	0,97	Piacentini-Righi 1988	4,595515E-10
Strato 16	7,20	26,0	0,8	Piacentini-Righi 1988	5,134606E-06
Strato 17	7,40	25,0	0,4	Piacentini-Righi 1988	2,184116E-03
Strato 18	7,80	25,0	0,27	Piacentini-Righi 1988	0,001

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm²/s)
Strato 1	0,40	67,0	0,37	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 2	1,40	39,2	0,97	Piacentini-Righi 1988	6,886705
Strato 3	1,60	40,0	1,53	Piacentini-Righi 1988	1,168048E-02
Strato 4	1,80	25,0	2,2	Piacentini-Righi 1988	7,5E-07
Strato 5	2,00	27,0	1,2	Piacentini-Righi 1988	5,964897E-04
Strato 6	2,40	36,5	0,84	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 7	2,60	29,0	1,47	Piacentini-Righi 1988	1,641002E-05
Strato 8	4,00	14,57	1,37	Piacentini-Righi 1988	4,371E-07
Strato 9	4,60	26,33	0,85	Piacentini-Righi 1988	0,207152
Strato 10	4,80	20,0	1,6	Piacentini-Righi 1988	0,0000006
Strato 11	5,20	19,5	1,14	Piacentini-Righi 1988	5,85E-07
Strato 12	5,60	17,0	1,57	Piacentini-Righi 1988	5,1E-07
Strato 13	6,40	28,0	1,34	Piacentini-Righi 1988	8,987395E-05
Strato 14	6,60	41,0	1,2	Piacentini-Righi 1988	0,9533567
Strato 15	7,00	19,0	0,97	Piacentini-Righi 1988	2,619444E-05
Strato 16	7,20	26,0	0,8	Piacentini-Righi 1988	0,4004993
Strato 17	7,40	25,0	0,4	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 18	7,80	25,0	0,27	Piacentini-Righi 1988	0

GEOSTRU SOFTWARE
WWW.GEOSTRU.COM
GEOSTRU@GEOSTRU.COM

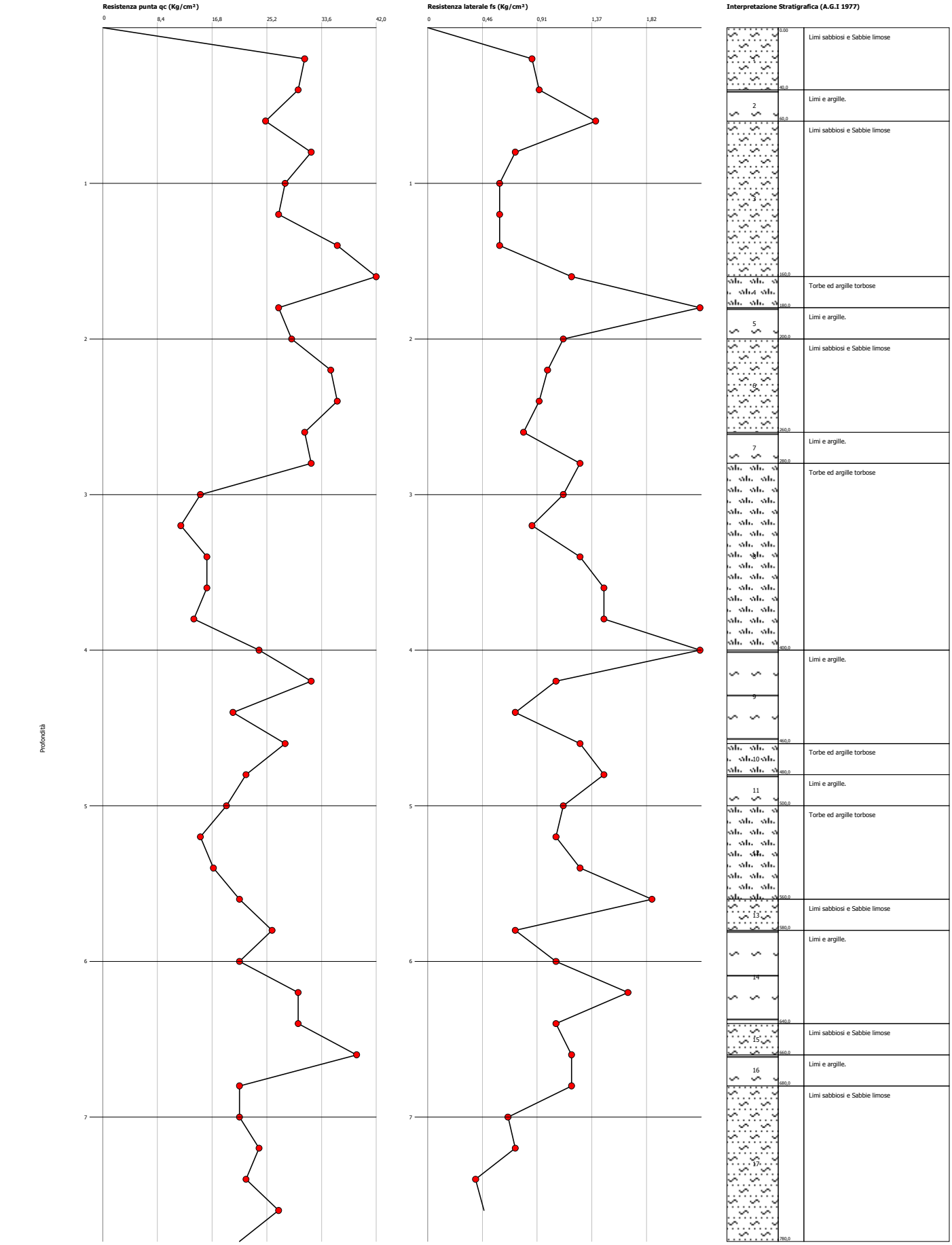
Probe CPT - Cone Penetration CPT 2
Strumento utilizzato... PAGANI 100 kN
Diagramma Resistenze qc fs

Committente :COMUNE DI CASTEGGIO

Cantiere :AMPLIAMENTO CIMITERO
Località :CIMITERO

Data :18/07/2014

Scala 1:33



PROVA ...CPT 2

Strumento utilizzato... PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data 18/07/2014
Profondità prova 7,80 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	31,0	51,0	31,0	0,87	35,63	2,81
0,40	30,0	43,0	30,0	0,93	32,26	3,1
0,60	25,0	39,0	25,0	1,4	17,86	5,6
0,80	32,0	53,0	32,0	0,73	43,84	2,28
1,00	28,0	39,0	28,0	0,6	46,67	2,14
1,20	27,0	36,0	27,0	0,6	45,0	2,22
1,40	36,0	45,0	36,0	0,6	60,0	1,67
1,60	42,0	51,0	42,0	1,2	35,0	2,86
1,80	27,0	45,0	27,0	2,27	11,89	8,41
2,00	29,0	63,0	29,0	1,13	25,66	3,9
2,20	35,0	52,0	35,0	1,0	35,0	2,86
2,40	36,0	51,0	36,0	0,93	38,71	2,58
2,60	31,0	45,0	31,0	0,8	38,75	2,58
2,80	32,0	44,0	32,0	1,27	25,2	3,97
3,00	15,0	34,0	15,0	1,13	13,27	7,53
3,20	12,0	29,0	12,0	0,87	13,79	7,25
3,40	16,0	29,0	16,0	1,27	12,6	7,94
3,60	16,0	35,0	16,0	1,47	10,88	9,19
3,80	14,0	36,0	14,0	1,47	9,52	10,5
4,00	24,0	46,0	24,0	2,27	10,57	9,46
4,20	32,0	66,0	32,0	1,07	29,91	3,34
4,40	20,0	36,0	20,0	0,73	27,4	3,65
4,60	28,0	39,0	28,0	1,27	22,05	4,54
4,80	22,0	41,0	22,0	1,47	14,97	6,68
5,00	19,0	41,0	19,0	1,13	16,81	5,95
5,20	15,0	32,0	15,0	1,07	14,02	7,13
5,40	17,0	33,0	17,0	1,27	13,39	7,47
5,60	21,0	40,0	21,0	1,87	11,23	8,9
5,80	26,0	54,0	26,0	0,73	35,62	2,81
6,00	21,0	32,0	21,0	1,07	19,63	5,1
6,20	30,0	46,0	30,0	1,67	17,96	5,57
6,40	30,0	55,0	30,0	1,07	28,04	3,57
6,60	39,0	55,0	39,0	1,2	32,5	3,08
6,80	21,0	39,0	21,0	1,2	17,5	5,71
7,00	21,0	39,0	21,0	0,67	31,34	3,19
7,20	24,0	34,0	24,0	0,73	32,88	3,04
7,40	22,0	33,0	22,0	0,4	55,0	1,82
7,60	27,0	33,0	27,0	0,47	57,45	1,74
7,80	21,0	28,0	21,0	0,0		0,0

Profondità (m)	Valutazione litologica secondo: A.G.I 1977
0,20	Limi sabbiosi e Sabbie limose
0,40	Limi sabbiosi e Sabbie limose
0,60	Limi e argille.
0,80	Limi sabbiosi e Sabbie limose
1,00	Limi sabbiosi e Sabbie limose
1,20	Limi sabbiosi e Sabbie limose
1,40	Limi sabbiosi e Sabbie limose
1,60	Limi sabbiosi e Sabbie limose
1,80	Torbe ed argille torbose
2,00	Limi e argille.
2,20	Limi sabbiosi e Sabbie limose
2,40	Limi sabbiosi e Sabbie limose
2,60	Limi sabbiosi e Sabbie limose

2,80	Limi e argille.
3,00	Torbe ed argille torbose
3,20	Torbe ed argille torbose
3,40	Torbe ed argille torbose
3,60	Torbe ed argille torbose
3,80	Torbe ed argille torbose
4,00	Torbe ed argille torbose
4,20	Limi e argille.
4,40	Limi e argille.
4,60	Limi e argille.
4,80	Torbe ed argille torbose
5,00	Limi e argille.
5,20	Torbe ed argille torbose
5,40	Torbe ed argille torbose
5,60	Torbe ed argille torbose
5,80	Limi sabbiosi e Sabbie limose
6,00	Limi e argille.
6,20	Limi e argille.
6,40	Limi e argille.
6,60	Limi sabbiosi e Sabbie limose
6,80	Limi e argille.
7,00	Limi sabbiosi e Sabbie limose
7,20	Limi sabbiosi e Sabbie limose
7,40	Limi sabbiosi e Sabbie limose
7,60	Limi sabbiosi e Sabbie limose
7,80	Limi sabbiosi e Sabbie limose

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi	Begeman n	De Beer	Baligh ed altri (1980) Nk=(20)
Strato 4	1,80	27,0	2,27	1,53	1,66	1,78	1,57	1,40	1,35	1,90	1,35	1,33
Strato 8	4,00	16,17	1,41	0,89	1,07	1,03	0,91	0,81	0,81	1,11	0,81	0,77
Strato 10	4,80	22,0	1,47	1,21	1,38	1,40	1,24	1,11	1,10	1,50	1,10	1,05
Strato 12	5,60	17,67	1,4	0,95	1,13	1,11	0,98	0,87	0,88	1,19	0,88	0,83

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 4	1,80	27,0	2,27	67,50	54,00	81,00	81,00
Strato 8	4,00	16,17	1,41	80,85	47,91	97,02	48,51
Strato 10	4,80	22,0	1,47	55,00	44,00	66,00	66,00
Strato 12	5,60	17,67	1,4	88,35	46,37	106,02	53,01

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)
Strato 4	1,80	27,0	2,27	999,49	40,50
Strato 8	4,00	16,17	1,41	580,57	24,30
Strato 10	4,80	22,0	1,47	789,58	33,00
Strato 12	5,60	17,67	1,4	622,82	26,40

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
Strato 4	1,80	27,0	2,27	Imai & Tomauchi	209,76
Strato 8	4,00	16,17	1,41	Imai & Tomauchi	153,35
Strato 10	4,80	22,0	1,47	Imai & Tomauchi	185,09
Strato 12	5,60	17,67	1,4	Imai & Tomauchi	161,89

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Stress-History	P.W.Mayne 1991	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.
Strato 4	1,80	27,0	2,27	1,81	9	>9	1,59
Strato 8	4,00	16,17	1,41	0,55	7,59	>9	<0.5
Strato 10	4,80	22,0	1,47	0,54	9	>9	<0.5
Strato 12	5,60	17,67	1,4	<0.5	8,34	>9	<0.5

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 4	1,80	27,0	2,27	Meyerhof	2,02
Strato 8	4,00	16,17	1,41	Meyerhof	1,93
Strato 10	4,80	22,0	1,47	Meyerhof	1,98
Strato 12	5,60	17,67	1,4	Meyerhof	1,94

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 4	1,80	27,0	2,27	Meyerhof	2,10
Strato 8	4,00	16,17	1,41	Meyerhof	2,01
Strato 10	4,80	22,0	1,47	Meyerhof	2,06
Strato 12	5,60	17,67	1,4	Meyerhof	2,02

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	Schmertmann	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowski 1985
Strato 1	0,40	30,5	0,9	77,6	100	100	78,53	100
Strato 2	0,60	25,0	1,4	58,97	81,5	79,35	59,74	93,06
Strato 3	1,60	33,0	0,75	55,62	70,38	69,86	56,36	78,35
Strato 5	2,00	29,0	1,13	44,18	50,95	52,27	44,83	58,97
Strato 6	2,60	34,0	0,91	45,97	51,6	53,12	46,63	58,02
Strato 7	2,80	32,0	1,27	41,95	45,03	47,15	42,58	51,66
Strato 9	4,60	26,67	1,02	30,4	26,3	30,1	30,93	33,58
Strato 11	5,00	19,0	1,13	18,92	10,41	15,33	19,35	20,15
Strato 13	5,80	26,0	0,73	25,74	17,92	22,57	26,23	24,91
Strato 14	6,40	27,0	1,27	25,85	17,47	22,23	26,34	24,04
Strato 15	6,60	39,0	1,2	35,38	29,2	33,31	35,95	32,74
Strato 16	6,80	21,0	1,2	17,35	5,72	11,31	17,77	14,12
Strato 17	7,80	23,0	0,45	18,74	6,77	12,39	19,16	14,29

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Durgunoglu-Mitchell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmertmann	Robertson & Campanella 1983	Herminier	Meyerhof 1951
Strato 1	0,40	30,5	0,9	45	42,62	40,27	37,4	42	45	41,1	30,69
Strato 2	0,60	25,0	1,4	40,14	37,1	34,48	32,1	39,41	45	35,22	28,22
Strato 3	1,60	33,0	0,75	37,91	34,56	31,8	29,66	37,85	42,69	30,51	31,82
Strato 5	2,00	29,0	1,13	34,83	31,2	28,28	26,44	35,13	39,14	26,18	30,02
Strato 6	2,60	34,0	0,91	34,73	31,04	28,11	26,28	35,22	38,96	26,05	32,27
Strato 7	2,80	32,0	1,27	33,71	29,94	26,95	25,23	34,3	37,7	25,1	31,37
Strato 9	4,60	26,67	1,02	30,82	26,81	23,67	22,22	31,68	33,89	23,25	28,97

Strato 11	5,00	19,0	1,13	28,61	24,49	21,23	19,99	29,46	30,81	22,43	25,53
Strato 13	5,80	26,0	0,73	29,45	25,31	22,09	20,79	30,51	31,93	22,69	28,67
Strato 14	6,40	27,0	1,27	29,32	25,16	21,93	20,64	30,45	31,73	22,65	29,12
Strato 15	6,60	39,0	1,2	30,8	26,66	23,51	22,08	32,09	33,7	23,22	34,51
Strato 16	6,80	21,0	1,2	27,69	23,44	20,13	18,99	28,8	29,37	22,18	26,43
Strato 17	7,80	23,0	0,45	27,75	23,47	20,16	19,02	28,95	29,41	22,19	27,33

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 1	0,40	30,5	0,9	76,25	61,00	122,00
Strato 2	0,60	25,0	1,4	62,50	50,00	155,50
Strato 3	1,60	33,0	0,75	82,50	66,00	249,30
Strato 5	2,00	29,0	1,13	72,50	58,00	286,69
Strato 6	2,60	34,0	0,91	85,00	68,00	333,47
Strato 7	2,80	32,0	1,27	80,00	64,00	339,08
Strato 9	4,60	26,67	1,02	66,68	53,34	342,55
Strato 11	5,00	19,0	1,13	47,50	38,00	280,27
Strato 13	5,80	26,0	0,73	65,00	52,00	360,09
Strato 14	6,40	27,0	1,27	67,50	54,00	375,40
Strato 15	6,60	39,0	1,2	97,50	78,00	487,34
Strato 16	6,80	21,0	1,2	52,50	42,00	321,59
Strato 17	7,80	23,0	0,45	57,50	46,00	349,31

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Robertson & Campanella da Schmertmann	Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Mayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 1	0,40	30,5	0,9	80,39	119,64	243,04	61,00	91,50
Strato 2	0,60	25,0	1,4	66,32	98,07	197,16	50,00	125,00
Strato 3	1,60	33,0	0,75	59,21	129,45	262,15	66,00	99,00
Strato 5	2,00	29,0	1,13	45,65	113,76	227,80	58,00	145,00
Strato 6	2,60	34,0	0,91	47,28	133,37	268,38	68,00	102,00
Strato 7	2,80	32,0	1,27	42,99	125,53	251,20	64,00	96,00
Strato 9	4,60	26,67	1,02	31,69	104,62	204,65	53,34	133,35
Strato 11	5,00	19,0	1,13	20,30	74,53	140,38	38,00	95,00
Strato 13	5,80	26,0	0,73	28,27	101,99	196,85	52,00	130,00
Strato 14	6,40	27,0	1,27	28,89	105,91	204,43	54,00	135,00
Strato 15	6,60	39,0	1,2	39,46	152,98	302,76	78,00	117,00
Strato 16	6,80	21,0	1,2	20,85	82,38	153,93	42,00	105,00
Strato 17	7,80	23,0	0,45	23,13	90,22	169,45	46,00	115,00

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 1	0,40	30,5	0,9	Imai & Tomauchi	225,98
Strato 2	0,60	25,0	1,4	Imai & Tomauchi	200,12
Strato 3	1,60	33,0	0,75	Imai & Tomauchi	237,12
Strato 5	2,00	29,0	1,13	Imai & Tomauchi	219,12
Strato 6	2,60	34,0	0,91	Imai & Tomauchi	241,49
Strato 7	2,80	32,0	1,27	Imai & Tomauchi	232,70
Strato 9	4,60	26,67	1,02	Imai & Tomauchi	208,19
Strato 11	5,00	19,0	1,13	Imai & Tomauchi	169,23
Strato 13	5,80	26,0	0,73	Imai & Tomauchi	204,98
Strato 14	6,40	27,0	1,27	Imai & Tomauchi	209,76
Strato 15	6,60	39,0	1,2	Imai & Tomauchi	262,60
Strato 16	6,80	21,0	1,2	Imai & Tomauchi	179,90
Strato 17	7,80	23,0	0,45	Imai & Tomauchi	190,18

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Stress-History	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.	Ladd e Foot 1977

Strato 1	0,40	30,5	0,9	>9	>9	>9	
Strato 2	0,60	25,0	1,4	5,72	>9	>9	
Strato 3	1,60	33,0	0,75	3,42	>9	>9	
Strato 5	2,00	29,0	1,13	1,74	>9	>9	
Strato 6	2,60	34,0	0,91	1,68	>9	>9	
Strato 7	2,80	32,0	1,27	1,35	>9	>9	
Strato 9	4,60	26,67	1,02	0,72	>9	8,48	
Strato 11	5,00	19,0	1,13	<0.5	8,38	4,6	
Strato 13	5,80	26,0	0,73	0,53	5,87	5,73	
Strato 14	6,40	27,0	1,27	0,51	8,11	5,5	
Strato 15	6,60	39,0	1,2	0,7	8,13	8,16	
Strato 16	6,80	21,0	1,2	<0.5	6,56	3,48	
Strato 17	7,80	23,0	0,45	<0.5	3,15	3,51	

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 1	0,40	30,5	0,9	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 2	0,60	25,0	1,4	Kulhawy-Mayne (1990)	1,09
Strato 3	1,60	33,0	0,75	Kulhawy-Mayne (1990)	0,78
Strato 5	2,00	29,0	1,13	Kulhawy-Mayne (1990)	0,50
Strato 6	2,60	34,0	0,91	Kulhawy-Mayne (1990)	0,49
Strato 7	2,80	32,0	1,27	Kulhawy-Mayne (1990)	0,43
Strato 9	4,60	26,67	1,02	Kulhawy-Mayne (1990)	0,28
Strato 11	5,00	19,0	1,13	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 13	5,80	26,0	0,73	Kulhawy-Mayne (1990)	0,23
Strato 14	6,40	27,0	1,27	Kulhawy-Mayne (1990)	0,23
Strato 15	6,60	39,0	1,2	Kulhawy-Mayne (1990)	0,28
Strato 16	6,80	21,0	1,2	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00
Strato 17	7,80	23,0	0,45	Kulhawy-Mayne (1990)	0,00

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 1	0,40	30,5	0,9	0,1211	0,01574
Strato 2	0,60	25,0	1,4	0,1202	0,01563
Strato 3	1,60	33,0	0,75	0,1182	0,01537
Strato 5	2,00	29,0	1,13	0,11286	0,01467
Strato 6	2,60	34,0	0,91	0,11715	0,01523
Strato 7	2,80	32,0	1,27	0,11931	0,01551
Strato 9	4,60	26,67	1,02	0,11687	0,01519
Strato 11	5,00	19,0	1,13	0,137	0,01781
Strato 13	5,80	26,0	0,73	0,11815	0,01536
Strato 14	6,40	27,0	1,27	0,11626	0,01511
Strato 15	6,60	39,0	1,2	0,11262	0,01464
Strato 16	6,80	21,0	1,2	0,13033	0,01694
Strato 17	7,80	23,0	0,45	0,12483	0,01623

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)

Strato 1	0,40	30,5	0,9	Meyerhof	1,80
Strato 2	0,60	25,0	1,4	Meyerhof	1,80
Strato 3	1,60	33,0	0,75	Meyerhof	1,80
Strato 5	2,00	29,0	1,13	Meyerhof	1,80
Strato 6	2,60	34,0	0,91	Meyerhof	1,80
Strato 7	2,80	32,0	1,27	Meyerhof	1,80
Strato 9	4,60	26,67	1,02	Meyerhof	1,80
Strato 11	5,00	19,0	1,13	Meyerhof	1,80
Strato 13	5,80	26,0	0,73	Meyerhof	1,80
Strato 14	6,40	27,0	1,27	Meyerhof	1,80
Strato 15	6,60	39,0	1,2	Meyerhof	1,80
Strato 16	6,80	21,0	1,2	Meyerhof	1,80
Strato 17	7,80	23,0	0,45	Meyerhof	1,80

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	0,40	30,5	0,9	Meyerhof	2,10
Strato 2	0,60	25,0	1,4	Meyerhof	2,10
Strato 3	1,60	33,0	0,75	Meyerhof	2,10
Strato 5	2,00	29,0	1,13	Meyerhof	2,10
Strato 6	2,60	34,0	0,91	Meyerhof	2,10
Strato 7	2,80	32,0	1,27	Meyerhof	2,10
Strato 9	4,60	26,67	1,02	Meyerhof	2,10
Strato 11	5,00	19,0	1,13	Meyerhof	2,10
Strato 13	5,80	26,0	0,73	Meyerhof	2,10
Strato 14	6,40	27,0	1,27	Meyerhof	2,10
Strato 15	6,60	39,0	1,2	Meyerhof	2,10
Strato 16	6,80	21,0	1,2	Meyerhof	2,10
Strato 17	7,80	23,0	0,45	Meyerhof	2,10

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	0,40	30,5	0,9	Robertson e Wride 1997	9,697
Strato 2	0,60	25,0	1,4	Robertson e Wride 1997	19,987
Strato 3	1,60	33,0	0,75	Robertson e Wride 1997	7,441
Strato 5	2,00	29,0	1,13	Robertson e Wride 1997	14,192
Strato 6	2,60	34,0	0,91	Robertson e Wride 1997	9,765
Strato 7	2,80	32,0	1,27	Robertson e Wride 1997	11,319
Strato 9	4,60	26,67	1,02	Robertson e Wride 1997	2,264
Strato 11	5,00	19,0	1,13	Robertson e Wride 1997	1,324
Strato 13	5,80	26,0	0,73	Robertson e Wride 1997	1,234
Strato 14	6,40	27,0	1,27	Robertson e Wride 1997	1,672
Strato 15	6,60	39,0	1,2	Robertson e Wride 1997	2,433
Strato 16	6,80	21,0	1,2	Robertson e Wride 1997	1,159
Strato 17	7,80	23,0	0,45	Robertson e Wride 1997	0,941

Permeabilità

	Prof. Strato	qc	fs	Correlazione	Permeabilità

	(m)	(Kg/cm²)	(Kg/cm²)		(cm/s)
Strato 1	0,40	30,5	0,9	Piacentini-Righi 1988	8,236842E-06
Strato 2	0,60	25,0	1,4	Piacentini-Righi 1988	1,252181E-11
Strato 3	1,60	33,0	0,75	Piacentini-Righi 1988	1,434024E-04
Strato 4	1,80	27,0	2,27	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 5	2,00	29,0	1,13	Piacentini-Righi 1988	1,068598E-07
Strato 6	2,60	34,0	0,91	Piacentini-Righi 1988	2,589337E-05
Strato 7	2,80	32,0	1,27	Piacentini-Righi 1988	6,515504E-08
Strato 8	4,00	16,17	1,41	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 9	4,60	26,67	1,02	Piacentini-Righi 1988	1,669952E-07
Strato 10	4,80	22,0	1,47	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 11	5,00	19,0	1,13	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 12	5,60	17,67	1,4	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 13	5,80	26,0	0,73	Piacentini-Righi 1988	1,633145E-05
Strato 14	6,40	27,0	1,27	Piacentini-Righi 1988	1,835887E-09
Strato 15	6,60	39,0	1,2	Piacentini-Righi 1988	4,019964E-06
Strato 16	6,80	21,0	1,2	Piacentini-Righi 1988	1,182383E-11
Strato 17	7,80	23,0	0,45	Piacentini-Righi 1988	5,409876E-04

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm²/s)
Strato 1	0,40	30,5	0,9	Piacentini-Righi 1988	0,7536711
Strato 2	0,60	25,0	1,4	Piacentini-Righi 1988	9,39136E-07
Strato 3	1,60	33,0	0,75	Piacentini-Righi 1988	0
Strato 4	1,80	27,0	2,27	Piacentini-Righi 1988	8,1E-07
Strato 5	2,00	29,0	1,13	Piacentini-Righi 1988	9,296801E-03
Strato 6	2,60	34,0	0,91	Piacentini-Righi 1988	2,641124
Strato 7	2,80	32,0	1,27	Piacentini-Righi 1988	6,254883E-03
Strato 8	4,00	16,17	1,41	Piacentini-Righi 1988	4,851E-07
Strato 9	4,60	26,67	1,02	Piacentini-Righi 1988	1,336129E-02
Strato 10	4,80	22,0	1,47	Piacentini-Righi 1988	6,6E-07
Strato 11	5,00	19,0	1,13	Piacentini-Righi 1988	5,7E-07
Strato 12	5,60	17,67	1,4	Piacentini-Righi 1988	5,301E-07
Strato 13	5,80	26,0	0,73	Piacentini-Righi 1988	1,273853
Strato 14	6,40	27,0	1,27	Piacentini-Righi 1988	1,487069E-04
Strato 15	6,60	39,0	1,2	Piacentini-Righi 1988	0,4703358
Strato 16	6,80	21,0	1,2	Piacentini-Righi 1988	7,449014E-07
Strato 17	7,80	23,0	0,45	Piacentini-Righi 1988	0

Calcolo del Carico Limite con il metodo di Meyerhof

Parametri geotecnici del terreno

Peso dell'unità di volume terreno di fondazione	(γ)	t/mc	**1,80**
Angolo di attrito interno	(φ)	°	**1,00**
Coesione	(c')	t/m^2	**1,30**
Kp			**1,04**
Peso dell'unità di volume terreno di riporto	(γ_r)	t/mc	**1,80**

dati calcolati

Caratteristiche geometriche della fondazione

Larghezza fondazione	B	m	**10,00**
Lunghezza fondazione	L	m	**25,00**
Eccentricità larghezza	e_x	m	**0,00**
Approfondimento	D	m	**1,00**
Inclinazione carico	i	°	**0,00**
Larghezza ridotta	B'	m	**10,00**

Coefficenti di fondazione

Nq	1,0939	$e^{(\pi * tg\ \varphi)} * tg^2 (45° + \varphi/2)$
$N\gamma$	0,0023	(Nq - 1) tg (1,4 φ)
Nc	5,3793	(Nq - 1) ctg (φ)

Fattori di forma

s_c	1,0828	1+ 0,2 * Kp (B/L)
$s_q = s_\gamma$	1,0414	1+ 0,1 * Kp (B/L)

Fattori di profondità

d_c	1,0204	1 + 0,2 Kp^1/2 * D/B
$d_q = d_\gamma$	1,0102	1+ 0,1 Kp^1/2 * D/B

Fattori di inclinazione del carico

$i_q = i_c$	1,0000	$(1 - i°/90)^2$
i_γ	1,0000	$(1 - i°/\varphi)^2$

Calcolo del carico limite

2,0714	γ_r * D * Nq * s_q * d_q * i_q
0,0217	0,5 * B' * γ * N_γ * s_γ * d_γ
7,7265	c' * Nc * s_c * d_c * i_c

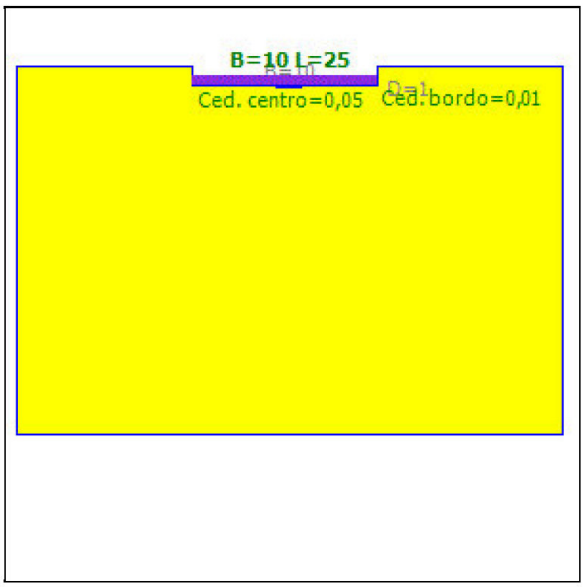
Qamm = (gr * D * Nq * sq * dq * iq) +(c' * Nc * sc * dc * ic)+(0,5 * B' * g * Ng * sg * dg * ig)

Q ult		**t/m^2**	**9,8196** **TOTALE**
Q ult		**Kg/cm^2**	**0,9820**

Compendio di calcolo

0,017453	φ in rad	
0,017455	tg φ	
0,054837	π * tg φ	
1,056368	e^ π tg φ	
1,017452	1 + sen φ	
0,982548	1 - sen φ	
1,035525	1+senφ/1-senφ =Kp	
0,024435	1,4 * φ	
0,024439	tg 1,4 φ	
0,093895	Nq - 1	
57,28996	ctg φ	
0,082842	0,2 Kp*(B/L)	
0,041421	0,1 Kp*(B/L)	
1,017607	Kp^1/2	
0,020352	0,2 Kp^1/2 * D/B	
0,010176	0,1 Kp^1/2 * D/B	
1	1 - i°/90	
1	1 - i°/φ	

Dati Generali	
Base (m)	10
Lunghezza (m)	25
Profondità piano di posa (m)	1
Inclinazione piano posa (m)	0
Carico fondazione (KN/m²)	100
Spessore strato (m)	3

Dati Geotecnici	
Peso unità volume (KN/m³)	21
Angolo Res. a taglio (°)	0
Coesione (Kpa)	130
Modulo elastico (Ey) (Kpa)	51000
Coef. di Poisson	0.5

Analisi	
Metodo di calcolo	(•) Terzaghi ( ) Meyerhof ( ) Hansen
Nq, Nc, Ng	Nq=1 Nc=5,7 Ng=0
Carico limite (kpa)	762
Carico limite (Kg/cm²)	7,77
• **Cedimenti**	
Bordo (mm)	0,07
Centro (mm)	0,52