

*Gli Spilli del Quaderno*

# [FONDAZIONI SUPERFICIALI]

*Commissione Interregionale NTC*

*Revisione scientifica: Prof. Eros Aiello*

*Con il patrocinio del Consiglio Nazionale dei Geologi*

## COMMISSIONE INTERREGIONALE NTC08

COMPONENTI	ORDINE	COMPONENTI	ORDINE
AIRALDI Paolo	LIGURIA	GALATA' Giovanni	TRENTINO ALTO ADIGE
ANGELONE Domenico	MOLISE	GARBIN Fabio	LAZIO
ANIBALDI Andrea	MARCHE	GIOVINE Vincenzo	LOMBARDIA
BARSANTI Pietro	TOSCANA	LENARDUZZI Gianni	FRIULI VENEZIA GIULIA
BONIOLI Luisella	PIEMONTE	LOMBARDI Gerardo	CAMPANIA
BORGIA Umberto	CAMPANIA	PARMEGGIANI Fabio	EMILIA ROMAGNA
BRUNALDI Raffaele	EMILIA ROMAGNA	PATERNOSTER Stefano	TRENTINO ALTO ADIGE
CADAU Giambattista	SARDEGNA	PETRINI Fabrizio	ABRUZZO
CAGALLI Andrea	VENETO	PIGNATELLI MARIO	VALLE D'AOSTA
CARBONE Raffaele	BASILICATA	PIGNOCCHI Andrea	MARCHE
CARBONELLA Rocco	EMILIA ROMAGNA	PISTIS Salvatore	SARDEGNA
CHESSA Mauro	TOSCANA	PLESCIA Vito Francesco	MOLISE
CINUS DARIO	SARDEGNA	REINA Alessandro	PUGLIA
CIVELLI Carlo	LIGURIA	RISPOLI Francesca	EMILIA ROMAGNA
DEL GENIO Vincenzo	CAMPANIA	SAVI Francesco	UMBRIA
DORDI Amedeo	LOMBARDIA	STORONI RIDOLFI Sergio	MARCHE
FAGIOLI Maria-Teresa	TOSCANA	TODARO Pietro	SICILIA
FALVO Beniamino	CALABRIA	TRONCARELLI Roberto	LAZIO
FARINA Daniele	MARCHE	TROSSERO Massimo	PIEMONTE
FASSER Giovanni	LOMBARDIA	VENISTI Nicola	VENETO
FRAGALE Francesco	CALABRIA	VERRANDO Ampelio	LIGURIA
FRANCESCHINI Marco	EMILIA ROMAGNA	ZANNINIELO Basilio	VENETO

**Responsabile Scientifico:** Eros AIELLO

**Coordinatore:** Maria-Teresa FAGIOLI

**Comitato di redazione:** Carlo CIVELLI, Francesco FRAGALE,  
Fabio GARBIN, Gerardo LOMBARDI,  
Roberto TRONCARELLI

## **PREFAZIONE**

*Alla base del lungo e prezioso lavoro che ha portato all'attesa pubblicazione di questi primi quaderni vi è la consapevolezza della comunità tecnico-scientifica di dover esercitare un necessario compito di formazione ed aggiornamento, attribuendosi un importante ruolo etico, che si traduce in un altrettanto importante ruolo sociale.*

*La preparazione di chi opera nel settore delle costruzioni, forse ancor di più in questo particolare momento, assume una valenza strategica nei confronti di istanze di sicurezza e di qualità, che nel caso delle attività progettuali si declinano con il raggiungimento di obiettivi di sicurezza dell'opera e del suo contesto e, non ultimo, con il gradimento della comunità dei cittadini.*

*Allo stesso tempo chi commissiona studi e progetti deve essere consapevole del risultato atteso, che è funzione del variare del livello di indagini e di analisi.*

*Un buon progetto non è la risultante dell'applicazione tout-court di procedure nel processo di progettazione, ma è figlio di un ordinato sviluppo delle attività, capace di minimizzare gli oneri dovuti ad errori ed a sprechi, ed è frutto di una attività in cui la sfera intellettuale e la capacità manageriale sono complementari.*

*Le attività di progettazione, con le sue analisi, i suoi approfondimenti, i suoi studi specialistici, le sue indagini, si configurano, per loro natura, in modo ben diverso rispetto ad altri processi, essendo il prodotto di azioni difficilmente standardizzabili, riconducibili alla necessità di gestire problematiche, quindi competenze sempre diverse, ed in cui la competenza e la preparazione del gruppo di progettazione e dei singoli professionisti gioca un ruolo decisivo.*

*Chi ha compiuto lo sforzo di scrivere questi quaderni ha pensato di operare soprattutto nella direzione della qualità dei professionisti del settore e dei geologi in particolare, che oggi svolgono un ruolo strategico nelle attività di progettazione, rivolgendosi ad essi non solo nelle loro funzioni di progettisti, ma anche in quelle di controllori.*

*Ai primi perché la quantità di discipline e di soggetti che concorrono oggi alla determinazione di un progetto impone una istanza di cultura tecnica generale anche da parte dei singoli specialisti, che devono poi trovare all'interno del progetto la propria matrice di qualità.*

*Ai secondi perché è nella fase di controllo che deve estrinsecarsi l'analisi qualitativa dei contenuti progettuali, in quanto le istanze di sicurezza diventano appannaggio della committenza attraverso le procedure di validazione imposte dalla legge.*

*Non è più possibile infatti demandare al cantiere la modifica di progetti inadeguati o inesatti, che non soddisfino requisiti di compatibilità, produttività, prevenzione dei rischi, sostenibilità, soddisfazione del cliente e immagine.*

*A chi ha lavorato alla stesura di questo testo va il riconoscimento della comunità geologica, di quella più ampia di area tecnica, ma anche della società civile, perché i suoi contenuti consentono di indirizzare il processo di coordinamento delle idee e le conseguenti scelte progettuali verso requisiti di fattibilità, coerenza e conformità.*

*Riconoscimento che va esteso ad un sistema ordinistico delle professioni tecniche, e dei geologi in*

*particolare, che dimostra ancora una volta di saper anteporre gli interessi della collettività a quelli di categoria.*

*Ed infine un ringraziamento sentito agli Ordini Regionali, la cui dinamicità ed il cui impegno costante nelle innumerevoli questioni che coinvolgono la categoria sono alla base del progressivo riconoscimento del ruolo centrale attribuito ai geologi, che tuttavia ancora oggi molti tardano a riconoscerli.*

**Il Presidente del Consiglio Nazionale dei Geologi**

*Gian Vito Graziano*

## INTRODUZIONE

*Le nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni furono approvate in fretta e furia sull'onda emotiva del terremoto dell'Aquila, e scaraventate, così com'erano, con piglio decisionista, sul mondo edilizio e sulle professioni tecniche che da anni ne suggerivano gli affinamenti.*

*Nessun dubbio sulla necessità di allineare la normativa italiana agli Eurocodici, ma la frettolosa logica dell'emergenza portò a non approfondire adeguatamente più di un aspetto della progettazione edilizia; gli aspetti geologici non rimasero immuni da ciò.*

*La Commissione Interregionale degli Ordini dei Geologi, che già da tempo stava lavorando per proporre i necessari affinamenti e chiarimenti alla norma in gestazione, non si arrese e fatto tesoro di quanto già elaborato ha trasformato quel che avrebbe dovuto essere un supporto tecnico al legislatore in un vademecum per i colleghi alle prese con le carenze della norma promulgata.*

*In pieno spirito di sussidiarietà e grazie al volontariato di tanti colleghi vuoi professionisti che del mondo accademico, la Commissione Interregionale ha preparato "Le linee guida per le NTC" che furono presentate nel 2° Forum degli Ordini Regionali e del Consiglio Nazionale dei Geologi "NTC-2008 Linee Guida" (Firenze, 21 gennaio 2011). Insieme alle Linee Guida sono state presentate le prime bozze dei quaderni; elaborati tecnici prodotti per supportare i colleghi nell'applicazione di quei punti oscuri o insufficientemente dettagliati della norma.*

*A distanza di 18 mesi dal Forum questo CdRom presenta la versione definitiva di un primo gruppo di quaderni.*

*Il CdRom contiene:*

1. Glossario;
2. Quaderno "Una metodologia per la scelta dei parametri geotecnici caratteristici";
3. Quaderno "Fondazioni superficiali";
- 3a. Esempi relativi alle fondazioni superficiali: collana "gli spilli";
4. Quaderno "Muri di sostegno e strutture miste";
5. Quaderno "Edifici esistenti";
6. Quaderno "Costruzioni modeste, costruzioni semplici, opere minori, elementi non strutturali, opere provvisoriale, opere interne";
7. Quaderno "Modellazione sismica e stabilità alla liquefazione".

*Il Cd Rom contiene inoltre le normative regionali in materia di opere minori o modesta rilevanza (NTC 08 cap. 6.2.2) pervenute a tutto il 24 aprile 2012.*

*I quaderni con il loro contenuto di riferimenti tecnici, bibliografia ed esempi, lungi da ogni pretesa di esaustività, vogliono comunque segnalare l'avvio di un percorso virtuoso nel quale i colleghi, pongono a disposizione della categoria l'esperienza e la preparazione specifica maturata in decenni di attività professionale e di ricerca, per consentire a ciascuno di noi di affrontare ogni nuovo impegno professionale e*

*tecnico forti dell'esperienza di tutti.*

*La selezione degli argomenti trattati dai quaderni ha cercato di rispecchiare la maggioranza delle problematiche che ogni collega che opera nel comparto delle costruzioni si trova ad affrontare.*

*La Commissione ha ritenuto, inoltre, opportuno elaborare anche un Glossario per prevenire fraintendimenti e conseguenti incomprensioni derivanti da differenti interpretazioni delle tecnologie.*

*Alla produzione di questo CdRom hanno partecipato sotto la guida tecnico-scientifica del Prof. Eros Aiello colleghi di varie Regioni. A loro un ringraziamento caloroso per aver reso possibile l'iniziativa che assume un carattere di particolare rilevanza in un momento in cui subdoli ed interessati attacchi al geologo, diretti a relegarlo nel settore dell'edilizia in ruoli subalterni, segnalano la rapace miopia di certi poteri forti.*

*Se da un lato i terremoti e le catastrofi naturali segnalano l'indispensabilità dei nostri saperi di veri ed unici specialisti del sottosuolo, elaborati tecnici come quelli contenuti nel CdRom dimostrano la capacità della nostra categoria di fornire contributi stringenti e fattivi alla risoluzione di problematiche complesse.*

**Il Coordinatore della Commissione Interregionale**

*Maria-Teresa Fagioli*

**ESEMPI APPLICATIVI DI ANALISI AGLI "SLU" E AGLI "SLE"**

A corredo dei Quaderni che mirano ad approfondire gli aspetti legati alle NTC08 ed alla Circolare n. 617/09 del CC.SS.LL.PP., vengono proposti "Gli Spilli" che si pongono l'obiettivo di esplicitare attraverso delle applicazioni pratiche, in forma semplice, quanto discusso e approfondito nel relativo quaderno.

**FONDAZIONI SUPERFICIALI**

**Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU)**

Gli stati limite ultimi determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno interagente con le fondazioni (GEO) riguardano il collasso, per carico limite, nei terreni di fondazione e per scorrimento sul piano di posa.

**Azione di progetto** - È la componente della risultante delle forze in direzione normale (o verticale) rispetto al piano di posa.

**Resistenza di progetto** - È il valore della forza normale al piano di posa cui corrisponde il raggiungimento del carico limite nei terreni in fondazione.

Nello **Stato Limite di Collasso** (SLC) per scorrimento, l'azione di progetto è data dalla componente della risultante delle forze in direzione parallela al piano di scorrimento della fondazione, mentre la resistenza di progetto è il valore della forza parallela allo stesso piano a cui corrisponde lo scorrimento della fondazione.

Per fondazioni massicce (pozzi, blocchi di ancoraggio, ecc.) a diretto contatto con le pareti di scavo, nella verifica allo scorrimento si può tenere conto della resistenza al taglio mobilitata lungo le pareti parallele all'azione di progetto, oltre che della spinta attiva e della resistenza passiva parallele alla stessa azione.

Le fondazioni superficiali devono essere verificate almeno con riferimento a meccanismi di rottura per carico limite, scorrimento sul piano di posa e stabilità globale.

La verifica della condizione

$$R_d \geq E_d \quad (6.2.1)$$

può essere effettuata tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali per (An+Mn+Rn).

**Tabelle di riferimento:** Coefficienti A(6.2.I), M(6.2.II), R(6.4.I)

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**Tabella 6.2.II** – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\psi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0
Resistenza alla compressione uniaassiale	$qu$	$\gamma_{qu}$	1,0	1,6

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

**Tabella 6.4.I** - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Seguendo:

- Per la verifica a rottura per carico limite e per scorrimento almeno uno dei due approcci:

**Approccio 1:**

- *Combinazione 1 (A1+M1+R1);*
- *Combinazione 2 (A2+M2+R2).*

**Approccio 2:**

*(A1+M1+R3).*

Nelle verifiche effettuate con l'approccio 2, che siano finalizzate al dimensionamento strutturale (STR), il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto, ossia  $R3 = R1 = 1$ .

- La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo

**Approccio 1:**

Combinazione 2 (A2+M2+R2).

**Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE)**

I terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa (cedimenti).

I valori delle proprietà meccaniche da adoperare nell'analisi sono quelli caratteristici\*  $\phi_k$  ed i coefficienti parziali sulle azioni A e sui parametri di resistenza R sono sempre unitari:

Nessuna riduzione per  $\phi$ ,  $c'$ ,  $c_u$     **ossia**     $\phi_k = \phi_d$

$$A_n = 1 \quad M_n = 1 \quad R_n = 1$$

**ESEMPIO N. 1****Costruzione di un edificio multipiano residenziale**

Dalla Relazione Geologica si ricava il **Modello Geologico**, caratterizzato dalla presenza dei terreni sotto descritti:

- **Terreni quaternari costituiti da depositi alluvionali recenti e attuali (a).**

Si tratta di sedimenti di granulometria estremamente variabile, dai limi a ciottolami, legati alla deposizione dei torrenti ivi presenti, gerarchicamente importanti.

Si descrivono i gruppi rilevati nell'area di interesse:

- **Ghiaie e sabbie mediamente addensate**

In tale gruppo sono state inserite ghiaie e sabbie prevalenti, con valori di  $R_p > 80$ . Tale litotipo è quello prevalente nella zona di interesse.

- **Depositi ghiaioso-sabbiosi con intercalazioni argillose**

In tale gruppo sono state inserite le ghiaie e sabbie mediamente addensate, con valori di  $R_p > 80$ , con intercalazioni di argille limoso-sabbiose di media consistenza.

- **Depositi argillosi limoso-sabbiosi**

In tale gruppo sono state inserite le argille limoso-sabbiose di media consistenza con valori di  $R_p$  compresi tra  $15 < R_p < 50$ , alle quali si intercalano talora ghiaie e sabbie mediamente addensate, nettamente subordinate.

Per quanto concerne l'aspetto geomorfologico, l'area indagata non presenta caratteristiche di rilievo, essendo stabile per posizione, in quanto pianeggiante ed è priva di morfetemi significativi.

Le informazioni raccolte sul livello statico della falda segnalano la sua presenza a profondità comprese fra 2,00 e 4,00 m dall'attuale piano campagna, con possibilità di escursione di circa 1,50 m.

Quanto sopra sinteticamente delineato, evidenzia, ancora una volta, l'importanza del modello geologico e della relazione geologica, che ricordiamo **obbligatoria e di indiscussa competenza geologica**.

Dalla Relazione sulla **Modellazione Sismica**, costituente un capitolo della citata **Relazione Geologica**, si ricavano e si riportano sinteticamente i seguenti elementi:

**Analisi del terreno:**

La caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo di fondazione è stata individuata tramite una prova down hole, in relazione ai parametri della velocità equivalente delle onde di taglio, primi 30 metri ( $V_{s30}$ ) a partire dal piano di posa.

La categoria di suolo di fondazione (479 m/sec) secondo il D.M. 14.01.2008 è "**B**".

La  $V_{s30}$  risulta congruente con la successione stratigrafica indicata nella Tabella 3.2.II delle NTC 2008.

La categoria "**B**" comprende 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  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec ( $N_{spt} > 50$  e  $c_u > 250\text{kPa}$ ).

Tabella 3.2.II – 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).

Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_s$  e di  $C_c$

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

### Dati dello strutturista

Lo strutturista ha fornito i seguenti dati:

La classe d'uso è la (II), la VN (50 anni), il Periodo fondamentale di vibrazione della struttura  $T1 = 0,320$  sec; il Fattore di struttura  $q = 2,304$ ; la scelta dell'Approccio 2 (A1+M1+R3).

La geometria della fondazione - Fondazione superficiale a platea :

- Larghezza fondazione            17,50 m
- Lunghezza fondazione           45,10 m
- Profondità piano di posa        3,65 m
- Spessore                                1,00 m

Pertanto, vengono ricavati i seguenti parametri sismici:

### **Parametri sismici** (Software della Geostru)

Tipo di elaborazione: Fondazioni

Sito in esame in ED50:

Latitudine: 43,8655  
 Longitudine: 11,1576  
 Classe: II  
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19391	Lat: 43,9112	Lon: 11,1308	Distanza: 5518,378
Sito 2	ID: 19392	Lat: 43,9126	Lon: 11,2001	Distanza: 6245,799
Sito 3	ID: 19613	Lat: 43,8612	Lon: 11,1327	Distanza: 2050,121
Sito 4	ID: 19614	Lat: 43,8626	Lon: 11,2020	Distanza: 3571,031

### **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50 anni
Coefficiente cu:	1

Operatività (SLO):	
Probabilità di superamento	81 %
Tr:	30 [anni]
ag:	0,051 g
Fo:	2,524
Tc*:	0,251 [s]

Danno (SLD):	
Probabilità di superamento	63 %
Tr:	50 [anni]
ag:	0,062 g
Fo:	2,552
Tc*:	0,268 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):	
Probabilità di superamento:	10 %
Tr:	475 [anni]
ag:	0,145 g
Fo:	2,437
Tc*:	0,301 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):	
Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	975 [anni]
ag:	0,186 g
Fo:	2,399
Tc*:	0,312 [s]

**Coefficienti Sismici**

SLO:	Ss:	1,200
	Cc:	1,450
	St:	1,000
	Kh:	0,012
	Kv:	0,006
	Amax:	0,605
	Beta:	0,200
SLD:	Ss:	1,200
	Cc:	1,430
	St:	1,000
	Kh:	0,015
	Kv:	0,007
	Amax:	0,733
	Beta:	0,200
SLV:	Ss:	1,200
	Cc:	1,400
	St:	1,000
	Kh:	0,042
	Kv:	0,021
	Amax:	1,709
	Beta:	0,240
SLC:	Ss:	1,200
	Cc:	1,390
	St:	1,000
	Kh:	0,054
	Kv:	0,027
	Amax:	2,192
	Beta:	0,240

I parametri sismici, sono forniti, preventivamente allo strutturista per poi ottenere dallo stesso sia il **periodo fondamentale di vibrazione della struttura T1** (0,320) che il **Fattore di struttura q** (2,304) necessari per ottenere dagli spettri i valori di kv (SLV) e kv (SLD) da utilizzare rispettivamente nella *combinazione sismica* per la definizione del qlim dei cedimenti in fase sismica:

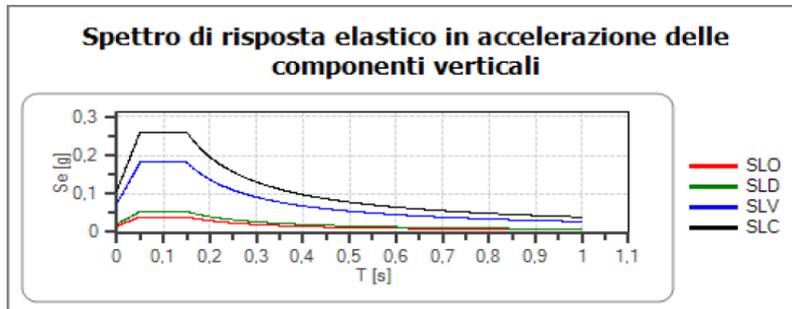
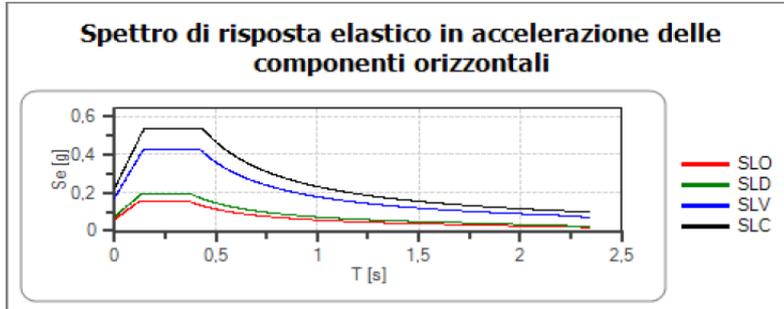
- Stati Limite Ultimi (qlim sismica) SLV

- Stati Limite di Esercizio (cedimenti sismici) SLD    *Combinazione sismica*

**E + G1 + G2 + P +  $\psi_{21} \times Q_{k1}$  +  $\psi_{22} \times Q_{k2}$  + ...** (v. oltre: Combinazione delle azioni).

**Spettri di risposta**

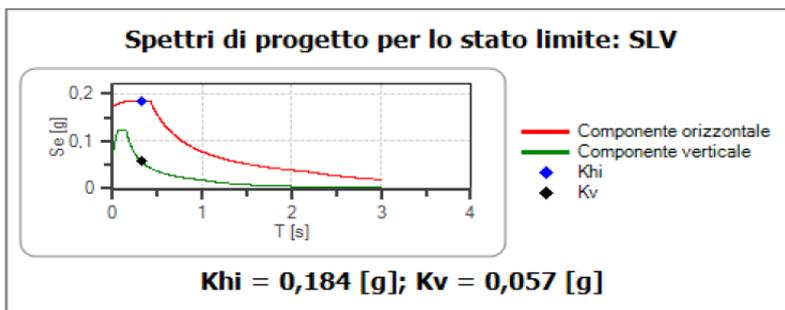
**Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali**  
 Coefficiente di smorzamento viscoso  $\zeta = 5\%$   
 Fattore che altera lo spettro elastico  $\eta = 1,000$



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	$\eta$	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLO	1	0,051	2,524	0,251	1,000	1,450	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLD	1	0,062	2,552	0,268	1,000	1,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLV	1	0,145	2,437	0,301	1,000	1,400	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000
SLC	1	0,186	2,399	0,312	1,000	1,390	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

**Spettro di progetto**

Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 2.304  
 $\eta$  per lo spettro orizzontale = 0,434  
 Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.5  
 $\eta$  per lo spettro verticale = 0,667  
 Stato limite: SLV



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLV orizzontale	1	0,145	2,437	0,301	1,200	1,400	1,000	1,200	2,304	0,141	0,422	2,181
SLV verticale	1	0,145	2,437	0,301	1,200	1,400	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000

Periodo: 0.320[sec]  
 Khi: 0,184 [g]  
 Kv: 0,057 [g]

**Spettro di progetto**

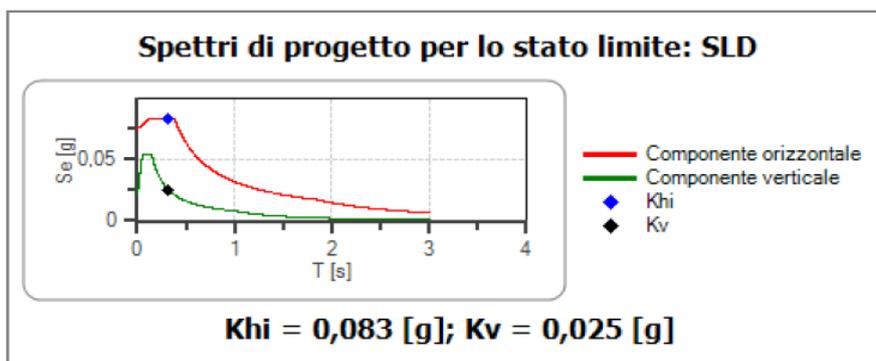
Coefficiente di struttura q per lo spettro orizzontale = 2.304

$\eta$  per lo spettro orizzontale = 0,434

Coefficiente di struttura q per lo spettro verticale = 1.0

$\eta$  per lo spettro verticale = 1,000

Stato limite: SLD



	cu	ag [g]	Fo	Tc* [s]	Ss	Cc	St	S	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]
SLD orizzontale	1	0,062	2,552	0,268	1,200	1,430	1,000	1,200	2,304	0,128	0,383	1,849
SLD verticale	1	0,062	2,552	0,268	1,200	1,430	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000

Periodo: 0.320[sec]

Khi: 0,083 [g]

Kv: 0,025 [g]

**MODELLO GEOTECNICO**

Dalle indagini geognostiche esperite in loco si sono individuati quattro distinti livelli di terreno:

**- Unità (A - B)**

Ha uno spessore medio di 4.0 m ed è costituita da terreno vegetale e limi ghiaiosi, per 0.80 m (A), e da limi sabbiosi e/o argillosi con ghiaie sparse (B).

**- Unità (C)**

In sondaggio si è rilevato uno spessore medio di 20,00 m. Vi appartengono delle ghiaie in matrice sabbiosa con intercalazioni sottili (ca 0,40 m) di limi argillosi sabbiosi.

**- Unità (D)**

È costituita da limi sabbiosi ed argillosi analoghi a quelli che costituiscono l'Unità (B). Detta unità è intercalata in lenti.

**Parametri sperimentali**

Sulla base dei dati raccolti, opportunamente rielaborati, sono stati definiti i parametri medi relativi alle varie unità precedentemente descritte.

**Unità (A)** - Terreno vegetale (sarà sempre superato)

**Unità (B)** - Limi argillosi e/o sabbiosi

$\gamma$	=	2.0 t/mc, peso di volume
Cu	=	1.0 Kg/cmq, coesione non drenata (da Rp)
$\phi'$	=	22,5°
C'	=	0.35 Kg/cmq, resistenza al taglio drenata
E <sub>ed</sub>	=	199 kg/cmq modulo edometrico di deformazione debolmente rigonfiante

**Unità (C) - ghiaia con sabbia**

A favore di sicurezza si è assunto il valore minimo di N<sub>spt</sub> rilevato in tutta l'area e relativo ai terreni a grana grossa.

- Peso di volume sopra falda  $\gamma' = 2.00$
- Peso di volume sotto falda  $\gamma' = 1.30$  t/mc

descrizione/note :

N<sub>spt</sub> (colpi/30 cm) = 20          valore corretto N'<sub>spt</sub> = 18

*Densità relativa*

Peck - Bazaraa (1969) :    Dr % = 47    correzione metodo Gibbs-Holtz  
 grado addensamento (Raccomand. A.G.I. 1977) : MODERATAMENTE ADDENSATO

*Angolo d'attrito di picco*

Meyerhof (1956):          sabbia (frazione fine > 5%)           $\phi' = 32$

*Modulo edometrico*

Trofimenkov (1974):    sabbie - valore minimo          E<sub>ed</sub>(kg/cm<sup>2</sup>) = 439

*Modulo di Young*

Pasqualini (1983):    sabbie fini/sabbie fini limose    E'(kg/cm<sup>2</sup>) = 303

L'unità "D" ha caratteristiche uguali a quelle dell'Unità "B".

**Falda**

Si assume un livello medio collocato a -1.0 m dall'attuale piano campagna.

**Parametri caratteristici**

La normativa (NTC08) prevede che per le valutazioni ed i calcoli di stabilità occorre utilizzare i parametri caratteristici dei terreni. Per passare dai parametri nominali ai parametri caratteristici si utilizza, per grandi volumi di terreno, il 5° percentile, secondo l'EC7 (v. Quaderno Parametri Caratteristici).

I valori relativi ai parametri di resistenza al taglio caratteristici, sono stati introdotti nei listati di calcolo seguenti, dai quali si possono evincere.

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata.

H [m]	Gam [kN/m <sup>3</sup> ]	Gams [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	c Corr. [kN/m <sup>2</sup> ]	cu [kN/m <sup>2</sup> ]	Ey [kN/m <sup>2</sup> ]	Ed [kN/m <sup>2</sup> ]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
4,0	20,0	22,0	18,8	18,8	17,2	17,2	54,1	0,0	19900,0	0,0	0,0	0,0
20,0	20,0	23,0	26,7	26,7	0,0	0,0	0,0	0,0	33000,0	0,0	0,0	0,0
10,0	20,0	22,0	18,8	18,8	17,2	17,2	24,6	0,0	19900,0	0,0	0,0	0,0

Si è proceduto, in prima istanza, alla combinazione delle Azioni, secondo quanto disposto dalle NTC 2008, sulla scorta dei dati forniti dallo strutturista.

### **Combinazione delle azioni:**

- Stati limite ultimi (SLU): Combinazione fondamentale statica

$\gamma G1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma P \times P + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2 + \gamma Q3 \times \psi 03 \times Qk3 + \dots$   
(per qlim statica)

- Stati limite di esercizio (SLE) irreversibili - Verifiche alle tensioni ammissibili: Combinazione caratteristica  
 $G1 + G2 + P + Qk1 + \psi 02 \times Qk2 + \psi 03 \times Qk3 + \dots$

- Stati Limite di Esercizio statici (SLE) reversibili (cedimenti immediati): Combinazione frequente  
 $G1 + G2 + P + \psi 11 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$

- Stati Limite di Esercizio statici (SLE) (cedimenti a lungo termine): Combinazione quasi permanente  
 $G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$

- Stati Limite Ultimi (qlim sismica) SLV e di Esercizio (cedimenti sismici) SLD: Combinazione sismica  
 $E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \dots$

con  $E = (G1 + G2 + \gamma 2j \times Qkj) \times kv$  (kN)

### **Combinazione delle Azioni (kN):**

A1+M1 Combinazione fondamentale statica SLU (STR) 87563,38

Combinazione quasi permanente SLE (cedimenti a lungo termine) 53423,55

Combinazione rara o caratteristica SLE 64268,65

Combinazione frequente SLE (cedimenti immediati) 56522,15

SLD sisma 54759,14

SLV sisma 56468,69

### **Verifica della resistenza e delle prestazioni**

**Portanza a lungo e a breve termine e cedimenti relativi**

#### **DATI GENERALI**

Azione sismica	NTC 2008
Lat./ Long. [WGS84]	43,87/11,16
Larghezza fondazione	17,5 m
Lunghezza fondazione	45,1 m
Profondità piano di posa	3,65 m
Altezza di incastro	0,50 m
Profondità falda	1,00

#### **SISMA**

Accelerazione massima (ag/g) 0,174

Effetto sismico secondo Richards et al. (1995)

Coefficiente sismico orizzontale 0,0417

**Coefficienti sismici [N.T.C.]**

## Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

## Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,5	2,52	0,25
S.L.D.	50,0	0,61	2,55	0,27
S.L.V.	475,0	1,42	2,44	0,3
S.L.C.	975,0	1,82	2,4	0,31

## Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,6	0,2	0,0122	0,0061
S.L.D.	0,732	0,2	0,0149	0,0075
S.L.V.	1,704	0,24	0,0417	0,0209
S.L.C.	2,184	0,24	0,0535	0,0267

**STRATIGRAFIA TERRENO**

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m <sup>3</sup> ]	Gams [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	c Corr. [kN/m <sup>2</sup> ]	cu [kN/m <sup>2</sup> ]	Ey [kN/m <sup>2</sup> ]	Ed [kN/m <sup>2</sup> ]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
4,0	20,0	22,0	18,8	18,8	17,2	17,2	54,1	0,0	19900,0	0,0	0,0	0,0
20,0	20,0	23,0	26,7	26,7	0,0	0,0	0,0	0,0	33000,0	0,0	0,0	0,0
10,0	20,0	22,0	18,8	18,8	17,2	17,2	24,6	0,0	19900,0	0,0	0,0	0,0

**Carichi di progetto agenti sulla fondazione**

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m²]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A1+M1+R3	110,94	87563,38	0,00	0,00	9000,00	0,00	Progetto
2	SLE	67,68	53423,55	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
3	SISMA	71,54	56468,69	0,00	0,00	6000,00	0,00	Progetto
4	SLD	69,38	54759,14	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

**Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze**

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2,3	1,1
2	No	1	1	1	0	0	1	1
3	Si	1	1	1	0	1	2,3	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

**CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3**

**Autore: MEYERHOF (1963)**

Carico limite [Qult] 386,45 kN/m²  
 Resistenza di progetto[Rd]168,02 kN/m²  
 Tensione [Ed] 110,94 kN/m²  
 Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 3,48  
 Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)**

Costante di Winkler 15457,82 kN/m³

**A1+M1+R3**

**Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)**

Fattore [Nq] 5,69  
 Fattore [Nc] 13,76  
 Fattore [Ng] 2,39  
 Fattore forma [Sc] 1,0  
 Fattore profondità [Dc] 1,08  
 Fattore inclinazione carichi [Ic] 0,8  
 Fattore inclinazione pendio [Gc] 1,0

Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,07
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,84
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,73
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
<b>Carico limite</b>	<b>421,16 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>183,11 kN/m<sup>2</sup></b>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

**Autore: TERZAGHI (1955) (Condizione drenata)**

Fattore [Nc]	16,34
Fattore [Ng]	4,29
Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

Carico limite	778,44 kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto	338,45 kN/m <sup>2</sup>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

**Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione drenata)**

Fattore [Nq]	5,69
Fattore [Nc]	13,76
Fattore [Ng]	2,32
Fattore forma [Sc]	1,15
Fattore profondità [Dc]	1,06
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,87
Fattore forma [Sq]	1,08
Fattore profondità [Dq]	1,03
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,87
Fattore forma [Sg]	1,08
Fattore profondità [Dg]	1,03
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,46

Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

<b>Carico limite</b>	<b>386,45 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>168,02 kN/m<sup>2</sup></b>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

---

**Autore: VESIC (1975) (Condizione drenata)**

Fattore [Nq]	5,69
Fattore [Nc]	13,76
Fattore [Ng]	4,55

Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore profondità [Dc]	1,08
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,86
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,07
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,88
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,78
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
<b>Carico limite</b>	<b>629,01 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>273,48 kN/m<sup>2</sup></b>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione drenata)**

Fattore [Nq]	5,69
Fattore [Nc]	13,76
Fattore [Ng]	2,39
Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore profondità [Dc]	0,08
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,83
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,07
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,86
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,8
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0
<b>Carico limite</b>	<b>449,15 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>195,28 kN/m<sup>2</sup></b>

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R3)**

Adesione terreno fondazione	13	kN/m <sup>2</sup>
Angolo di attrito terreno fondazione	14°	
Frazione spinta passiva	0	%
Resistenza di progetto	29174,78	kN
Sollecitazione di progetto	9000	kN

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**SISMA**

**Metodo di Richards et al. (1993)**

Fattore [Nq]                    4,61  
 Fattore [Nc]                    10,59  
 Fattore [Ng]                    3,85  
 Accelerazione critica        2,96 m/s<sup>2</sup>  
**Carico limite**                **621,39 kN/m<sup>2</sup>**  
**Resistenza di progetto**    **270,17 kN/m<sup>2</sup>**  
**Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata**

**VERIFICA A SCORRIMENTO (SISMA)**

Adesione terreno fondazione        13        kN/m<sup>2</sup>  
 Angolo di attrito terreno fondazione    14°  
 Frazione spinta passiva                0 %  
**Resistenza di progetto**                **24339,48 kN**  
**Sollecitazione di progetto**            **6000        kN**  
**Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata**

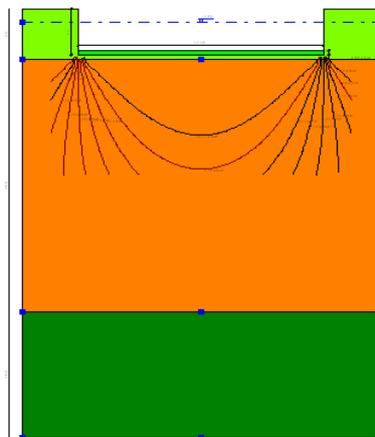
**CEDIMENTI PER OGNI STRATO**

\*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo di consolidazione monodimensionale (Terzaghi)

- Pressione normale di progetto        104,0    kN/m<sup>2</sup>  
 - Cedimento dopo T                        15,0 anni  
 - Cedimento totale                        3,32 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento di consolidazione; Ws: Cedimento secondario (deformazioni viscosi); Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	3,825	54,445	51,688	Edometrico	0,09	--	0,09
2	14	188,509	38,621	Edometrico	2,34	--	2,34
3	29	381,404	17,79	Edometrico	0,89	--	0,89



**Bulbi tensioni**

**Verifiche a breve termine**

**CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A1+M1+R3**

**Autore: MEYERHOF (1963)**

Carico limite [Qult]	270,61	kN/m <sup>2</sup>
Resistenza di progetto [Rd]	117,66	kN/m <sup>2</sup>
Tensione [Ed]	110,94	kN/m <sup>2</sup>
Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed]	2,44	
Condizione di verifica [Ed<=Rd]	Verificata	

**COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)**

Costante di Winkler	10824,57	kN/m <sup>3</sup>
---------------------	----------	-------------------

**A1+M1+R3**

**Autore: HANSEN (1970) (Condizione non drenata)**

Fattore [Nq]	1,0	
Fattore [Nc]	5,14	
Fattore [Ng]	0,0	
Fattore forma [Sc]	0,08	
Fattore profondità [Dc]	0,08	
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,06	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0	
<b>Carico limite</b>	<b>318,33</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>138,41</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Condizione di verifica [Ed&lt;=Rd]</b>	<b>Verificata</b>	

**Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione non drenata)**

Fattore [Nc]	5,14	
Fattore [Ng]	0,0	
Fattore forma [Sc]	1,08	
Fattore profondità [Dc]	1,04	
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,87	
Fattore forma [Sq]	1,0	
Fattore profondità [Dq]	1,0	
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,87	
Fattore forma [Sg]	1,0	
Fattore profondità [Dg]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0	
<b>Carico limite</b>	<b>270,61</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>17,66</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Condizione di verifica [Ed&lt;=Rd]</b>	<b>Verificata</b>	

**Autore: VESIC (1975) (Condizione non drenata)**

Fattore [Nq]	1,0	
Fattore [Nc]	5,14	
Fattore [Ng]	0,0	
Fattore forma [Sc]	0,08	
Fattore profondità [Dc]	0,08	
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,07	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0	
<b>Carico limite</b>	<b>314,23</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>36,62</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Condizione di verifica [Ed&lt;=Rd]</b>	<b>Verificata</b>	

**VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R3)**

Adesione terreno fondazione	13	kN/m <sup>2</sup>	
Angolo di attrito terreno fondazione	14	°	
Frazione spinta passiva	0	%	
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>9327,5</b>	<b>kN</b>	
<b>Sollecitazione di progetto</b>	<b>9000</b>	<b>kN</b>	
<b>Condizione di verifica [Ed&lt;=Rd]</b>			<b>Verificata</b>

---

**SISMA**
**Autore: HANSEN (1970) (Condizione non drenata)**

Fattore [Nq]		1,0	
Fattore [Nc]		5,14	
Fattore [Ng]		0,0	
Fattore forma [Sc]		0,08	
Fattore profondità [Dc]		0,08	
Fattore inclinazione carichi [Ic]		0,04	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0		
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0		
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0		
Carico limite	323,71	kN/m <sup>2</sup>	
Resistenza di progetto	140,75	kN/m <sup>2</sup>	
Condizione di verifica [Ed<=Rd]			Verificata

---

**Autore: MEYERHOF (1963) (Condizione non drenata)**

Fattore [Nq]		1,0	
Fattore [Nc]		5,14	
Fattore [Ng]		0,0	
Fattore forma [Sc]		1,08	
Fattore profondità [Dc]		1,04	
Fattore inclinazione carichi [Ic]		0,87	
Fattore forma [Sq]		1,0	
Fattore profondità [Dq]		1,0	
Fattore inclinazione carichi [Iq]		0,87	
Fattore forma [Sg]		1,0	
Fattore profondità [Dg]		1,0	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0		
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0		
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0		
Carico limite	270,61	kN/m <sup>2</sup>	
Resistenza di progetto	117,66	kN/m <sup>2</sup>	
Condizione di verifica [Ed<=Rd]			Verificata

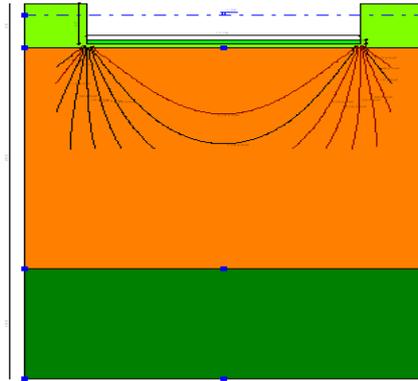
---

**Autore: VESIC (1975) (Condizione non drenata)**

Fattore [Nq]		1,0	
Fattore [Nc]		5,14	
Fattore [Ng]		0,0	
Fattore forma [Sc]		0,08	
Fattore profondità [Dc]		0,08	
Fattore inclinazione carichi [Ic]		0,05	
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0		
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0		
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0		
Carico limite	320,77	kN/m <sup>2</sup>	
Resistenza di progetto	139,47	kN/m <sup>2</sup>	
Condizione di verifica	[Ed<=Rd]		Verificata

**VERIFICA A SCORRIMENTO (SISMA)**

Adesione terreno fondazione	13 kN/m <sup>2</sup>
Angolo di attrito terreno fondazione	14°
Frazione spinta passiva	0m%
<b>Resistenza di progetto</b>	<b>10260,25 kN</b>
<b>Sollecitazione di progetto</b>	<b>6000 kN</b>
<b>Condizione di verifica [Ed&lt;=Rd]</b>	<b>Verificata</b>



***Bulbi tensioni***

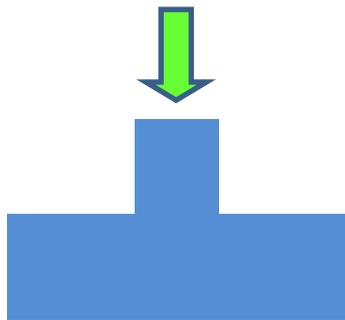
## ESEMPIO N. 2

### Fondazione a trave rovescia

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.



$$Ed = 833.5 \text{ kN}$$

Lo strutturista ha fornito i seguenti dati :

Approccio DA1. C2 (A2+M2+R2) – GEO  
 Fondazione B = 1,0 m; L = 5,0 m; D = 1,0 m

#### Azioni

- G1 = 450 kN permanente strutturale sfavorevole
- G2 = 200 kN permanente non strutturale sfavorevole
- Qk1 = 70 kN variabile sfavorevole
- Qk2 = 50 kN variabile sfavorevole (neve a quota < 1000 m s.l.m.)

#### **Combinazione fondamentale statica (SLU): Calcolo qlim statica**

$$\gamma_{G1} \times G1 + \gamma_{G2} \times G2 + \gamma_{Q1} \times Qk1 + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Qk2$$



$$1 \times G1 + 1.3 \times G2 + 1.3 \times Qk1 + 1.3 \times 0.5 \times Qk2$$

$$Ed = 1 \times 450 \text{ kN} + 1.3 \times 200 \text{ kN} + 1.3 \times 70 \text{ kN} + (1.3 \times 0.5 \times 50 \text{ kN})$$

Ed = 833.5 kN Azione di progetto

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30 \text{ kN}$ )	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30 \text{ kN}$ )	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000 \text{ m s.l.m.}$ )	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000 \text{ m s.l.m.}$ )	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

A1+M1+R1 Combinazione fondamentale statica SLU (STR)	1027,50
A2+M2+R2 Combinazione fondamentale statica SLU (GEO)	833,50
Combinazione quasi permanente SLE (cedimenti a lungo termine)	671,00
Combinazione rara SLE	745,00
Combinazione frequente SLE (cedimenti immediati)	685,00

L'edificio poggia su un livello di sabbie molto spesso.

Dati geotecnici :

- Peso di volume  $\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3$
- Resistenza al taglio  $\phi'k = 35^\circ$ ;  $c' = 0,0 \text{ kPa}$
- Modulo di deformazione  $E' = 15000 \text{ kPa}$

#### DATI GENERALI

Larghezza fondazione	1,0 m
Lunghezza fondazione	5,0 m
Profondità piano di posa	1,0 m

#### STRATIGRAFIA TERRENO

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Fi corr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m <sup>3</sup> ]	Gams [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	c Corr. [kN/m <sup>2</sup> ]	cu [kN/m <sup>2</sup> ]	Ey [kN/m <sup>2</sup> ]	Ed [kN/m <sup>2</sup> ]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
30,0	16,5	29,0	35,0	35	0,0	0,0	0,0	0,0	15000,0	0,0	0,0	0,0

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Tipo
1	A2+M2+R2	167,00	833,50	0,00	0,00	90,00	0,00	Progetto
2	S.L.E.	134,20	671,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

**CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE...A2+M2+R2**

**Autore: HANSEN (1970)**

Carico limite [Qult] 348,06 kN/m<sup>2</sup>  
 Resistenza di progetto[Rd] 193,37 kN/m<sup>2</sup>  
 Tensione [Ed] 167,0 kN/m<sup>2</sup>  
 Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 2,08  
 Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)**

Costante di Winkler 13922,32 kN/m<sup>3</sup>

**A2+M2+R2**

**Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)**

Fattore [Ng] 13,38  
 Fattore forma [Sc] 1,0  
 Fattore forma [Sg] 1,0  
 Fattore profondità [Dg] 1,0  
 Fattore inclinazione carichi [Ig] 0,68  
 Fattore inclinazione pendio [Gg] 1,0  
 Fattore inclinazione base [Bg] 1,0  
 Fattore correzione sismico inerziale [zg] 1,0  
**Carico limite 348,06 kN/m<sup>2</sup>**  
**Resistenza di progetto 193,37 kN/m<sup>2</sup>**  
 Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**VERIFICA A SCORRIMENTO (A2+M2+R2)**

Adesione terreno fondazione 0 kN/m<sup>2</sup>  
 Angolo di attrito terreno fondazione 20 °  
 Frazione spinta passiva 0 %  
**Resistenza di progetto 220,63 kN**  
**Sollecitazione di progetto 90 kN**  
 Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**CEDIMENTI PER OGNI STRATO**

Pressione normale di progetto 134,2 kN/m<sup>2</sup>  
 Cedimento dopo T anni 15,0  
**Cedimento totale 0,25 cm**

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento di consolidazione; Ws:Cedimento secondario (deformazioni viscosi); Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	15,5	255,75	1,303	Edometrico	0,25	--	0,25

**ESEMPIO N. 3**

Lo strutturista ha fornito i seguenti dati :

**Approccio 1, C1-C2**

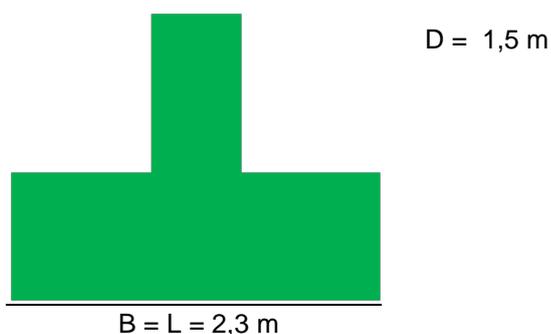
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	II
Vita nominale:	50,0 anni

- Sollecitazione verticale e baricentrica
- Plinto di fondazione  $B = L = 2,3 \text{ m}$
- Profondità piano posa = 1.5 m

<b>Carichi</b> permanenti	$G1 = 870 \text{ kN}$
variabili	$Qk1 = 150 \text{ kN}$
variabili	$Qk2 = 1,6 \text{ kN}$ (neve < 1000 m slm)
permanenti orizz.	$H G2 = 3.7 \text{ kN}$

Litotipo : Limo argilloso; spessore > 40 m

Peso di volume	$\gamma$	=	$19,61 \text{ kN/m}^3$
Angolo d'attrito caratteristico	$\phi'k$	=	$17^\circ$
Coesione efficace caratteristica	$c'k$	=	$24 \text{ kPa}$
Coesione non drenata caratteristica	$cuk$	=	$150 \text{ kPa}$
Modulo edometrico di deformazione	$Eed$	=	$3,5 \text{ MPa}$
Coefficiente consolidazione primaria	$cv$	=	$0,003 \text{ cm}^2/\text{sec}$
Falda assente			



Le misure sismiche con tecnica down-hole hanno consentito di ottenere i seguenti risultati:

Sondaggio S2      VS 30 = 330 m/sec

Vista la stratigrafia, il sito in esame ricade, quindi, nella categoria di sottosuolo "C".

Accelerazione massima (ag/g)	0,207
Coefficiente sismico orizzontale	0,0497
Coefficiente sismico verticale	0,0248

Applicando il *metodo pseudostatico*, l'azione sismica si traduce in accelerazioni del sottosuolo (effetto cinematico khk) e nella fondazione (effetto inerziale khi) per le azioni delle forze di inerzia prodotte nella struttura in elevazione.

Per un'azione sismica, modellata attraverso la sola componente orizzontale, tali effetti si esprimono tramite i coefficienti sismici khk e khi, non necessariamente di egual valore.

L'effetto inerziale produce le variazioni di tutti i coefficienti di carico limite  $N_c$ ,  $N_q$  e  $N_\gamma$  in funzione del coefficiente sismico  $k_{hi}$  (interviene nella formula trinomia operando direttamente sui coefficienti correttivi  $i_q, i_c, i_g$  che tengono conto dell'inclinazione del carico).

L'effetto cinematico modifica solo il coefficiente  $N_\gamma$  in funzione del coefficiente sismico  $k_{hk}$ .

$N_\gamma$  viene quindi moltiplicato sia per il coefficiente correttivo dell'effetto inerziale, sia per il coefficiente correttivo dell'effetto cinematico (C.7.11.5.3.1).

Per considerare separatamente entrambi gli effetti si introducono due coefficienti correttivi che operano sul solo  $N_\gamma$

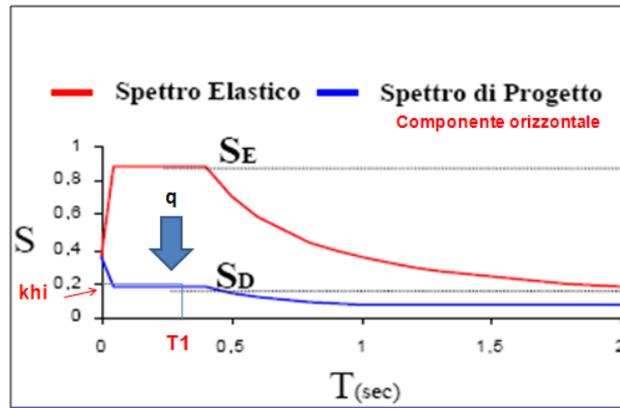
$$e_\gamma k = (1 - k_{hk} / \tan \phi)^{0,45} \quad \text{cinematico}$$

$$e_\gamma i = (1 - 0,7 * k_{hi})^5 \quad \text{inerziale}$$

$N_c$  ed  $N_q$  vengono trattati con i coefficienti  $i_c$  e  $i_q$ , tenuto conto del solo effetto inerziale.

$k_{hi} = S_d(T)$  con  $S_d(T)$  ordinata dello spettro di progetto (componente orizzontale).

Per poter definire tale parametro è necessario avere dallo strutturista il fattore di struttura  $q$ , che consente di ricavare, dallo spettro elastico, quello di progetto, e  $T_1$  (periodo fondamentale), che è il valore da inserire nella formula, oppure l'ascissa per trovare l'ordinata  $S_d(T)$  nello spettro (7.3.3.2 NTC 2008; (Foglio di calcolo Spettri del CC.SS.LL.PP.).



Le NTC impongono che

$$k_{hi} \geq 0.2 * a_g$$

Si potrà utilizzare, in prima approssimazione, secondo la Circolare n.617/09 la relazione

$$k_{hi} = H/N_d$$

$k_{hi}$  è, infatti, uguale al rapporto tra componente orizzontale ( $H = V_d = T$ ) e verticale ( $N_d = W$ ) del carico trasmesso in fondazione (C.7.11.5.3.1).

I valori di  $k_{hk}$  possono essere desunti dai valori di normativa specificati per le fondazioni ed i pendii

$$k_{hk} = k_h \quad k_h = \beta_s * a_{max} / g$$

Per maggiori approfondimenti e per le criticità che l'argomento presenta si rimanda al Quaderno relativo alle Fondazioni superficiali.

**Combinazione delle azioni**

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

\*Combinazione fondamentale statica per gli stati limite ultimi (SLU):

$$Ed = \gamma G1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2$$

Per SLU	si preparano i carichi	A1	A1	A2
Carichi permanenti	G1 = 870 KN		$\gamma G1$	1.3
variabili	Qk1= 150 KN		$\gamma Q1$	1.5
variabili	Qk2 =1,6 KN (neve <1000m)		$\gamma Q2$	1.5

$$Ed = 1.3 \times 870 + 1.5 \times 150 + 1.2 \times 1.6 = 1358.0 \text{ kN}$$

$\psi 02 = 0.5$   
superficie fondazione (2,3 x 2,3) m = 5.29 mq

Pressione normale di progetto  $q_d = Ed / \text{Area fondazione} = 1358.0 / 5.29 = 256.71 \text{ kN/mq}$

**Si preparano i carichi A2**

$$Ed = 1.0 \times 870 + 1.3 \times 150 + 1.04 \times 1.6 = 1066 \text{ kN}$$

$q_d = 1066 / 5.29 \text{ kN/mq} = 201.51 \text{ kN/mq}$

\*Combinazione quasi permanente per stati limite di esercizio statici(SLE), (cedimenti a l.t.)

$$G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2$$

$\psi 21 = 0,3 \quad \psi 22 = 0,0$

$$Ed = 870 + 45.0 \text{ kN} = 915.0 \text{ kN} \quad q_d = 915.0 / 5.29 \text{ kN/m}^2 = 173 \text{ kN/m}^2$$

\*Combinazione sismica SLV e SLD:

$$E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \dots \quad E = (G1 + G2 + \psi 2j \times Qkj) \times kv \quad (\text{kN})$$

$$Ed = (G1 + G2 + \psi 2j \times Qkj) + [(G1 + G2 + \psi 2j \times Qkj) \times kv] \times Kv \quad (\text{coeff. sismico vert. da spettri di progetto})$$

$$Ed = 22.82 + 915.48 = 938.3 \text{ kN} \quad q_d = 938.3 / 5.29 \text{ kN/mq} = 177.37 \text{ kN/mq (SLV)} \quad kv = 0.0249$$

$$Ed = 8 + 915.48 \text{ kN} = 923.48 \text{ kN} \quad q_d = 923.48 / 5.29 \text{ kN/mq} = 174.57 \text{ kN/mq (SLD)} \quad kv = 0.0087$$

APPROCCIO 1 Combinazione 1 (STR) - (A1+M1+R1)  
Combinazione fondamentale statica (SLU): Calcolo qlim statica

$$\gamma G1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2$$

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto (kN/m <sup>2</sup> )	N (kN)	Mx (kN·m)	My (kN)·m	Hx (kN)	Hy (kN)	Tipo
1	A1+M1+R1	256,71	1358,00	0,00	0,00	4,81	0,00	Progetto
2	A2+M2+R2	201,51	1066,00	6,45	0,00	3,70	0,00	Progetto
3	SLV sisma	177,37	938,30	6,45	0,00	3,70	0,00	Progetto
4	SLE	173,00	915,48	0,00	0,00	0,00	0,00	Esercizio
5	SLD	174,57	923,48	0,00	0,00	0,00	0,00	Esercizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr.	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	1	1
2	No	1,25	1,25	1,4	1	1	1,8	1,1
3	Si	1,25	1,25	1,4	1	1	1,8	1,1
4	No	1	1	0	0	0	0	1
5	No	1	1	0	0	0	0	1

**CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE SLV sisma**

**Autore: HANSEN (1970)**

Pressione limite 372,02 kN/m<sup>2</sup>

**COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)**

Costante di Winkler 14880,73 kN/m<sup>3</sup>

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata) **A1+M1+R1**

=====

Fattore [Nq]	4,77
Fattore [Nc]	12,34
Fattore [Ng]	1,73
Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore profondità [Dc]	1,26
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,99
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,2
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,99
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,99
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

**Carico limite 576,0 kN/m<sup>2</sup>**

**Resistenza di progetto 576,0 kN/m<sup>2</sup>**

Fattore sicurezza 2,24

---

**VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R1)**

Adesione terreno fondazione	19,2kN/m <sup>2</sup>
Angolo di attrito terreno fondazione	13,6°
Frazione spinta passiva	0 %
Resistenza di progetto	430,1 kN
Sollecitazione di progetto Vsd	4,81 kN

Fattore sicurezza 89 Verificata

---

(Condizione drenata) **A2+M2+R2**

**Autore: HANSEN (1970)**

Fattore [Nq]	3,5
Fattore [Nc]	10,22
Fattore [Ng]	0,92
Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore profondità [Dc]	1,26
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,99
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,19
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,99
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,99
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

**Carico limite 387,05 kN/m<sup>2</sup>**

**Resistenza di progetto 215,03 kN/m<sup>2</sup>**

Fattore sicurezza 1,89

**VERIFICA A SCORRIMENTO (A2+M2+R2)**

Adesione terreno fondazione	19,2kN/m <sup>2</sup>
Angolo di attrito terreno fondazione	13,6°
Frazione spinta passiva	0 %
Resistenza di progetto	358,93 kN
Sollecitazione di progetto Vsd	3,7 kN

Fattore sicurezza 97 Verificata

**CEDIMENTI PER OGNI STRATO**

**\*Cedimento edometrico: consolidazione monodimensionale di Terzaghi**

Pressione normale di progetto	174,57 kN/m <sup>2</sup>
Cedimento dopo T anni	15,0
Cedimento totale	1,45 cm

## ESEMPIO N. 4

*Dati ricevuti dallo strutturista:*

Fondazioni superficiali nastriformi :

Larghezza fondazione 1,0 m  
 Lunghezza fondazione 5,0 m  
 Profondità piano di posa 1,0 m

Vita Nominale 50  
 Classe d'uso III  
 Fattore di struttura  $q=3$   
 Edificio irregolare  $KR=0,8$   
 Periodo fondamentale  $T1=0,358$  s

*Dalla sismica:*

Categoria di sottosuolo B  
 Coeff. Topogr.  $T1 = 1$

### STRATIGRAFIA TERRENO

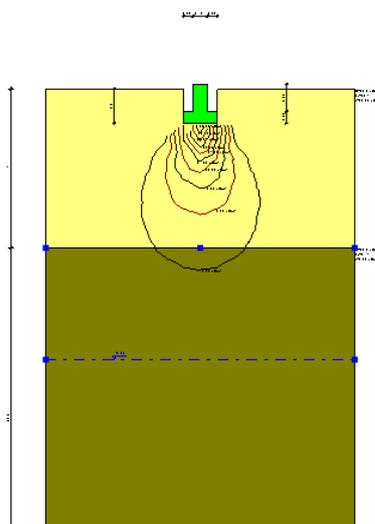
Corr: Parametri caratteristici DH: Spessore dello strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m <sup>3</sup> ]	Gams [kN/m <sup>3</sup> ]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m <sup>2</sup> ]	c Corr. [kN/m <sup>2</sup> ]	cu [kN/m <sup>2</sup> ]	Ey [kN/m <sup>2</sup> ]	Ed [kN/m <sup>2</sup> ]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
4,5	19,4	21,0	19,0	19	79,0	79,0	180,0	0,0	3150,0	0,0	0,0	0,0
10,0	21,0	23,0	34,0	34	0,0	0,0	0,0	0,0	5000,0	0,0	0,0	0,0

Livello 1 – argille limose debolmente sabbiose

Livello 2 – sabbie debolmente limose

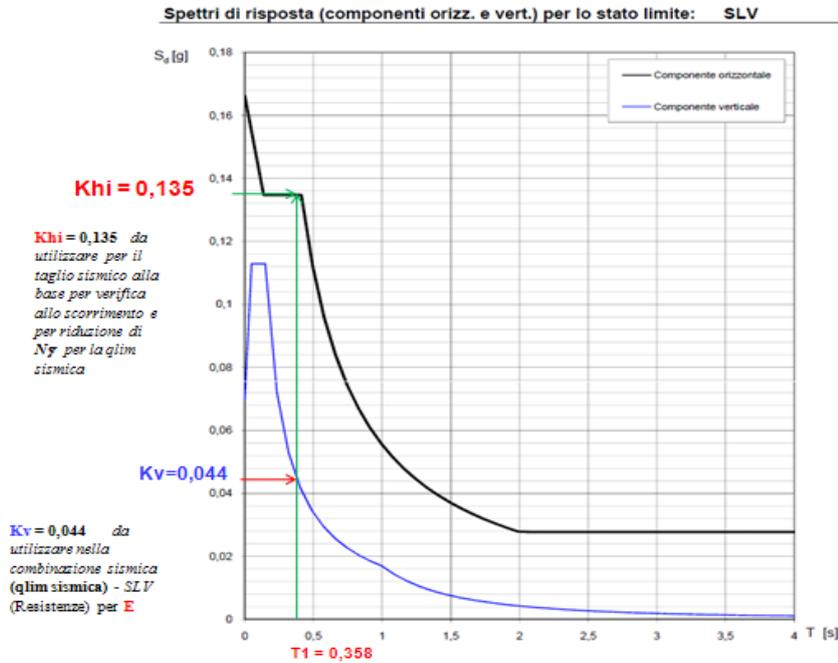
Profondità falda 8,0 m



Dagli spettri di risposta elastici, introducendo il periodo fondamentale di struttura T1 ed il fattore di struttura q, forniti dallo strutturista, si sono ricavati gli spettri di progetto:

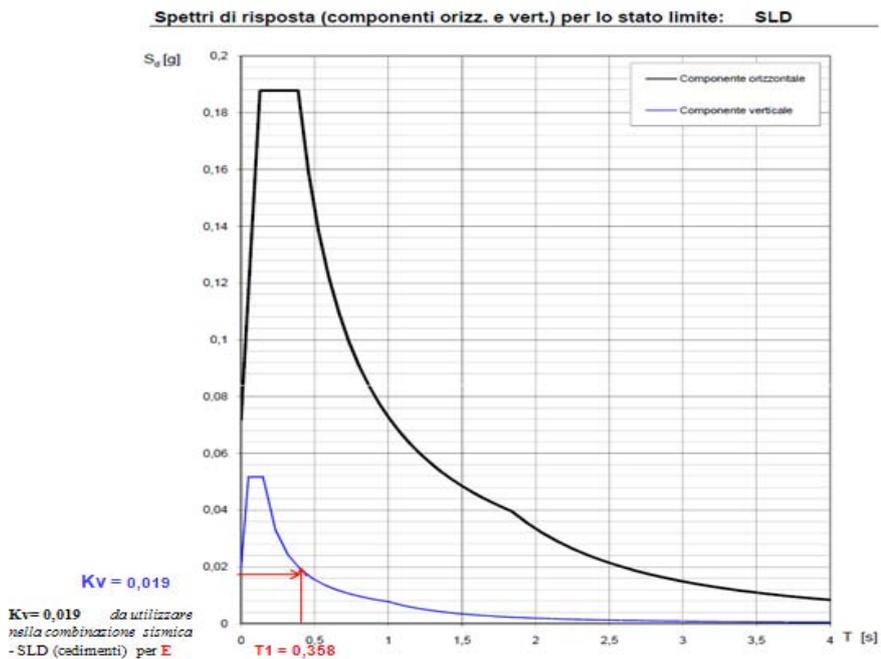
Fattore di struttura  $q = 3.0$ ,  $q_0 = 3.75$

Periodo fondamentale  $T_1 = 0.358$



**$S_d(T)$  – SLV dallo spettro di progetto inelastico (SLU)**

$K_{Hi} = 0,135$  da utilizzare per il taglio sismico alla base per verifica allo scorrimento ^



**Kv = 0,044** da utilizzare nella combinazione sismica (**qlim sismica**) - SLV (Resistenze) per ottenere **E**  
**Sd(T) dallo spettro di progetto elastico (SLE)**

**Kv= 0,019** da utilizzare nella combinazione sismica - SLD (cedimenti) per ottenere **E**

**Dati dello strutturista :**

Approccio progettuale	DA1 (Combinazione 1; Combinazione 2)
Azioni permanenti strutturali sfavorevoli	G1 = 10846 da N
Azioni variabili sfavorevoli	Qk1 = 3056 da N

**Azioni**

Combinazioni utilizzate :  
 -Combinazione fondamentale statica SLU  
 -Combinazione quasi permanente SLE  
 -Combinazione sismica SLV e SLD

**DA1 – C1 (A1+M1+R1) dimensionamento strutturale (STR)**

Combinazione fondamentale statica SLU

$\gamma G1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma P \times P + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2 + \gamma Q3 \times \psi 03 \times Qk3 + \dots$   
 $Ed = 1.3 \times 10846 \text{ daN} + 1.5 \times 3056 \text{ daN}$   
**Ed = 18683.8 daN**

Combinazione quasi permanente SLE

$G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$   
 $Ed = 10846 \text{ daN} + 0.3 \times 3056 \text{ daN}$   
 $Ed = 11762.8 \text{ daN}$

DA1- C2 (A2+M2+R2) dimensionamento geotecnico (GEO)

Combinazione fondamentale statica SLU

$\gamma G1 \times G1 + \gamma G2 \times G2 + \gamma P \times P + \gamma Q1 \times Qk1 + \gamma Q2 \times \psi 02 \times Qk2 + \gamma Q3 \times \psi 03 \times Qk3 + \dots$   
 $Ed = 1 \times 10846 \text{ daN} + 1.3 \times 3056 \text{ daN}$   
 $Ed = 14818.8 \text{ daN}$

Combinazione quasi permanente SLE

$G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \psi 23 \times Qk3 + \dots$   **$\Psi 2 = 0.3$**   
 $Ed = 10846 \text{ daN} + 0.3 \times 3056$

$Ed = 11762.8 \text{ daN}$

Combinazione sismica

SLV - sisma

$E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22 \times Qk2 + \dots$

$E = (G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1 + \psi 22) \times kv$

$E = 10846 \text{ daN} + (0.3 \times 3056) \times kv$

$E = 11762 \text{ daN} \times 0.044 = 517.5 \text{ daN}$

$Ed = E + G1 + G2 + P + \psi 21 \times Qk1$

$Ed = 517.5 \text{ daN} + 11762.8 \text{ daN}$

**Ed = 12279.528 daN**

SLD - sisma

$$E = (G1 + G2 + P + \psi_{21} \times Q_{k1} + \psi_{22}) \times k_v$$

$$E = 11762 \text{ daN} \times 0.019 = 223.478 \text{ daN}$$

$$E_d = 223.478 \text{ daN} + 11762 \text{ daN}$$

$$E_d = 11985.48 \text{ daN}$$

**Parametri sismici su sito di riferimento**

- Categoria sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45,0	0,5	2,59	0,26
S.L.D.	75,0	0,6	2,61	0,27
S.L.V.	712,0	1,38	2,44	0,29
S.L.C.	1462,0	1,76	2,42	0,3

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	k <sub>v</sub> [sec]
S.L.O.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.D.	0,9	0,2	0,0184	0,0092
S.L.V.	2,0617	0,24	0,0505	0,0252
S.L.C.	2,5333	0,24	0,062	0,031

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [kN/m <sup>2</sup> ]	N [kN]	M <sub>x</sub> [kN·m]	M <sub>y</sub> [kN·m]	H <sub>x</sub> [kN]	H <sub>y</sub> [kN]	Tipo
1	A1+M1+R1	37,40	187,00	0,00	0,00	19,00	0,00	Progetto
2	A2+M2+R2	30,00	148,00	0,00	0,00	15,00	0,00	Progetto
3	Sisma	24,60	123,00	0,00	0,00	25,00	0,00	Progetto
4	S.L.E.	23,60	118,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
5	S.L.D.	23,80	119,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	1	1
2	No	1,25	1,25	1,4	1	1	1,8	1,1
3	Si	1,25	1,25	1,4	1	1	1,8	1,1
4	No	1	1	1	1	1	1	1
5	No	1	1	1	1	1	1	1

Un metodo che tiene conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione dell'Rd o qlim o Nlim è adottato da Paolucci & Pecker(1997) con l'introduzione dei fattori correttivi z nella relazione trinomia (v. Quaderno Fondazioni superficiali):

$$z\gamma = zq = (1 - kh/tg\phi)^{0.35}$$

$$z_c = 1 - 0.32 kh \quad kh = \text{coeff. sismico orizzontale}$$

Si effettua la verifica:

Accelerazione massima (ag/g) 0,21

Effetto sismico secondo Paolucci e Pecker (1997)

Coefficiente sismico orizzontale kh 0,0505

### CARICO LIMITE FONDAZIONE COMBINAZIONE - Sisma -

**Autore: HANSEN (1970)**

Carico limite [Qult] 1016,19 kN/m<sup>2</sup>  
 Resistenza di progetto[Rd] 564,55 kN/m<sup>2</sup>  
 Tensione [Ed] 24,6 kN/m<sup>2</sup>  
 Fattore sicurezza [Fs=Qult/Ed] 41,31  
 Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

### COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE BOWLES (1982)

Costante di Winkler 40647,44 kN/m<sup>3</sup>

### A1+M1+R1

**Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)**

Fattore [Nq] 5,8  
 Fattore [Nc] 13,93  
 Fattore [Ng] 2,48  
 Fattore forma [Sc] 1,0  
 Fattore profondità [Dc] 1,4  
 Fattore inclinazione carichi [Ic] 0,96  
 Fattore inclinazione pendio [Gc] 1,0  
 Fattore inclinazione base [Bc] 1,0  
 Fattore forma [Sq] 1,0  
 Fattore profondità [Dq] 1,31  
 Fattore inclinazione carichi [Iq] 0,96  
 Fattore inclinazione pendio [Gq] 1,0  
 Fattore inclinazione base [Bq] 1,0

Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,89
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

**Carico limite** **1639,64 kN/m<sup>2</sup>**  
**Resistenza di progetto** **1639,64 kN/m<sup>2</sup>**

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

#### VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R1)

Adesione terreno fondazione 40 kN/m<sup>2</sup>  
 Angolo di attrito terreno fondazione 14 °

Frazione spinta passiva 0 %  
**Resistenza di progetto** **246,62 kN**  
**Sollecitazione di progetto** **19 kN**

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**A2+M2+R2**

Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)

Fattore [Nq]	4,09
Fattore [Nc]	11,23
Fattore [Ng]	1,28
Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore profondità [Dc]	1,4
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,96
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,3
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,97
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,89
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1,0

**Carico limite** **1067,39 kN/m<sup>2</sup>**  
**Resistenza di progetto** **593,0 kN/m<sup>2</sup>**

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**VERIFICA A SCORRIMENTO (A2+M2+R2)**

Adesione terreno fondazione	40 kN/m <sup>2</sup>
Angolo di attrito terreno fondazione	14 °
Frazione spinta passiva	0 %
Resistenza di progetto	172,29 kN
Sollecitazione di progetto	15 kN

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**Sisma**

**Autore: HANSEN (1970) (Condizione drenata)**

Fattore [Nq]	4,09
Fattore [Nc]	11,23
Fattore [Ng]	1,28
Fattore forma [Sc]	1,0
Fattore profondità [Dc]	1,4
Fattore inclinazione carichi [Ic]	0,94
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1,0
Fattore inclinazione base [Bc]	1,0
Fattore forma [Sq]	1,0
Fattore profondità [Dq]	1,3
Fattore inclinazione carichi [Iq]	0,95
Fattore inclinazione pendio [Gq]	1,0
Fattore inclinazione base [Bq]	1,0
Fattore forma [Sg]	1,0
Fattore profondità [Dg]	1,0
Fattore inclinazione carichi [Ig]	0,82
Fattore inclinazione pendio [Gg]	1,0
Fattore inclinazione base [Bg]	1,0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	0,93
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	0,93
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	0,98

**Carico limite** **1016,19 kN/m<sup>2</sup>**  
**Resistenza di progetto** **564,55 kN/m<sup>2</sup>**

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**VERIFICA A SCORRIMENTO (Sisma)**

Adesione terreno fondazione 40 kN/m<sup>2</sup>  
 Angolo di attrito terreno fondazione 14 °  
 Frazione spinta passiva 0 %  
**Resistenza di progetto** **167,76 kN**  
**Sollecitazione di progetto** **25 kN**

Condizione di verifica [Ed<=Rd] Verificata

**CEDIMENTI PER OGNI STRATO**

**\*Cedimento edometrico calcolato con: Metodo consolidazione monodimensionale di Terzaghi**

Pressione normale di progetto 23,8 kN/m<sup>2</sup>  
 Cedimento dopo T anni 15,0  
 Cedimento totale 0,19 cm

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento di consolidazione; Ws: Cedimento secondario (deformazioni viscosi); Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	2,75	53,35	1,447	Edometrico	0,16	--	0,16
2	9,5	180,59	0,135	Edometrico	0,03	--	0,03