

DOTT. GEOLOGO MARIO ALESSANDRO BENIGNA

Via G. Mazzini 132 Lumezzane S.S. (BS)

Telefono 030-820051 cell. 333.6492981

Mail. mariobenigna@hotmail.it

**PIANO DI RECUPERO
PROPOSTA DI RECUPERO IMMOBILE ESISTENTE
ATTRAVERSO INTERVENTO DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE
IN PIAZZA DIAZ N. 215/19**

COMUNE DI LUMEZZANE (BS)

RELAZIONE GEOTECNICA

INDICE

1. PREMESSA	3
1.1. Normative di riferimento	4
1 MODELLO GEOTECNICO, PARAMETRI MEDI E CARATTERISTICI	4
2 VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	6
2.1 Verifica capacità portante - SLU approccio 2 (A1 M1 R3)	7
2.2 Calcolo dei cedimenti con metodo elastico	9
2.3 Abachi relativi ai carichi e ai cedimenti	10
3 CONCLUSIONI	13
ALLEGATI DI CALCOLO	14

Lumezzane 6 luglio 2017

1. Premessa

Su incarico e per conto della Società Costruttori Edili Associati s.r.l. si è eseguito lo studio geologico e sismico dell'area in Piazza Diaz n. 215/19 nella frazione di Piatucco, in Comune di Lumezzane (Bs) interessata dalla presenza di un fabbricato dove si vuol procedere alla realizzazione di nuova struttura demolendo la presente. La relazione è stata redatta considerando i contenuti della L.R. 41/97 e della legge della LR 12¹ ed in particolare quanto disposto nell'allegato 5² e **D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374**, nonché **la L.R. 33/2015, in materia di costruzioni in zona sismica**.

L'area è compresa nella sezione n° D5c3 Lumezzane (C.T.R. alla scala 1:10000).



A tal proposito si sono eseguiti:

- Contatti con il progettista, e sopralluogo in data 26/06/2017,
- rilevamento geologico e geomorfologico in data 27/06/2017,
- esame della documentazione esistente allegata al PGT,
- esecuzione di uno scavo con rilievo geomeccanico,
- raccolta dati da lavori eseguiti nelle immediate vicinanze.
- relazione geologica.

¹ Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12.

² analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei piani di governo del territorio

1.1. Normative di riferimento

Ci si è riferiti alle principali normative vigenti:

Decreto Ministeriale 14.01.2008

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI

Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI

Leggi regionali

- Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. n. 12 del marzo 2005.e **D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374**
- Delibera della Giunta Regionale della Regione Lombardia del 22.03.96 n.6/10350: "Regolamento per i termini e le modalità di controllo da effettuarsi sulle costruzioni in zone sismiche regionali".
- **L.R. 33/2015, in materia di costruzioni in zona sismica.**

Tali normative, insieme ad altre ad esse collegate ed alle numerose circolari che ne illustrano i principi applicativi, cercano di regolare il tipo di indagine, i calcoli richiesti, le verifiche necessarie ed i professionisti abilitati, per la stesura delle relazioni geologiche e geotecniche riguardanti, tra le altre cose, le opere di fondazione, con particolari prescrizioni per quelle realizzate in zona sismica.

1 Modello geotecnico, parametri medi e caratteristici

L'Eurocodice 7 ("*Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules*"), introduce il concetto dei valori caratteristici dei parametri geotecnici. Il valore caratteristico, inteso come una stima cautelativa del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite in considerazione, dovrà essere utilizzato in qualsiasi tipo di verifica geotecnica, che si tratti di SLU (stati limite ultimi ovvero potenziale presenza di una superficie di rottura) o di SLE (stati limite di esercizio ossia deformazioni di tipo elastico o di consolidazione a prescindere dallo stato di rottura). Lo stesso concetto fa parte della più ampia trattazione agli stati limite (SL), volta ad armonizzare la progettazione strutturale con quella geotecnica.

Il DM 14/01/2008 ha adottato il concetto dei valori caratteristici, senza peraltro chiarirne la definizione e determinazione. Nel nostro caso GEO (stato limite di resistenza del terreno); *si utilizza per il dimensionamento geotecnico delle opere di fondazione e di sostegno e per tutte le strutture che interagiscono col terreno, ma anche per le verifiche di stabilità globale terreno-struttura.*

Dalla correlazione dei risultati delle prove in sito, e in laboratorio si è elaborato un modello

geotecnico che prevede delle superfici piano parallele al versante dei depositi (approssimando l'interpretazione) nell'intorno in esame.

Per **volume significativo** si intende il volume entro il quale l'incremento della tensione verticale efficace $\Delta\sigma_v'(z)$ eccede di oltre il 10 % la tensione verticale efficace preesistente $\sigma'_{v0}(z)$ in assenza di sovraccarichi:

$$\Delta\sigma_v' \geq 1/10 \sigma'_{v0}(z)$$

Il **volume significativo da indagare** è costituito dalla massa di terreno entro la quale si risentono gli effetti dell'intervento. Nel nostro caso modifiche dello stato tensionale per aumenti di pressione (es. fondazioni) o scarichi tensionali (scavi) e variazioni nel regime delle acque sotterranee per drenaggi o impermeabilizzazioni indotti dalle opere

Modello geotecnico ai parametri caratteristici del substrato roccioso, secondo il criterio di rottura Mohr-Coulomb

Prof. da p.c. m	Litologia	γ_{nat} Kg/mc	Dr %	ϕ' (°)	c' k kg/cm²	Eu_k kg/cm²
0.00-10.00	Roccia (Sottounità della Dolomia Principale)	2400-2500	100	33-34	3.0	2000

γ =peso di volume del terreno espresso in kN/mc o in t/mc Dr=densità relativa in % ϕ =angolo d'attrito interno del terreno espresso in gradi° (per terreni granulari), Cu=coesione del terreno espressa in kg/cm² o in KPa Eu=modulo di deformazione in MPa o kg/cm² c' k= coesione ammasso roccioso.

Il substrato roccioso presenta pertanto buone capacità portanti.

2 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Il D.M 14/01/2009 stabilisce che per ogni stato limite ultimo debba essere rispettata la condizione:

$$R_d \geq E_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Effetto delle azioni e resistenza sono espressi in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_K$, dei parametri geotecnici di progetto X_k / γ_M e della geometria di progetto a_d . Nella formulazione della resistenza R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della condizione $R_d \geq E_d$ deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di 2 approcci progettuali distinti ed alternativi.

Nell' approccio 1 devono essere verificate 2 combinazioni di carico, la prima (A1+M1+R1) in cui si applicano coefficienti di amplificazione alle sole azioni (permanenti o variabili, strutturali o geotecniche) e la seconda (A2+M2+R2) in cui si applicano coefficienti di amplificazione alle azioni strutturali variabili e coefficienti di riduzione ai parametri che esprimono le proprietà meccaniche del terreno.

L'approccio 2 prevede una sola combinazione di carico (A1+M1+R3), in cui sono amplificate le azioni, i valori dei parametri caratteristici geotecnici sono invariati e imposto un coefficiente di sicurezza globale γ_R maggiore.

Nell'ambito di ciascun approccio si calcolano in questo modo l'**azione di progetto E_d** e la **resistenza di progetto R_d** , che sono già affette dai coefficienti di sicurezza parziali, per cui la verifica impone semplicemente che sia soddisfatta la disuguaglianza $R_d \geq E_d$

Il valore di progetto delle azioni E_d nei 2 approcci è calcolata considerando i seguenti coefficienti parziali γ_f : $E_d = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot Q$

Coefficienti parziali relativi alle azioni per verifiche DM08			
		γ_f	
		A1	A2
<i>Permanente sfavorevole</i>	γ_G	1,3	1,0
<i>Permanente favorevole</i>		1,0	1,0
<i>Permanenti portati sfavorevoli</i>	γ_{G2}	1,5	1,3
<i>Permanenti portati favorevoli</i>		0	0
<i>Variabile sfavorevole</i>	γ_Q	1,5	1,3
<i>Variabile favorevole</i>		0	0

I coefficienti parziali interessano i carichi permanenti (strutturali), i carichi permanenti portati (non strutturali, terreno e acqua, per i quali, se compiutamente definiti e non variabili nel tempo,

si possono adottare i medesimi coefficienti dei carichi permanenti strutturali), e i carichi variabili, definiti favorevoli e sfavorevoli ai fini della verifica di stabilità da eseguire.

Per il calcolo della resistenza di progetto R_d i corrispondenti valori di progetto delle proprietà del terreno X_d devono essere ricavati dai "valori caratteristici X_k " mediante la:

$$X_d = X_k / \gamma_m$$

dove γ_m è il coefficiente parziale dedotto dalla tabella:

Coefficienti parziali per i parametri del terreno			
		γ_m	
		M1	M2
Granulare	$\tan(\varphi'_k)$	1,0	1,25
	c'_k	1,0	1,25
	γ	1,0	1,0
Coesivo	c_{uk}	1,0	1,4
	γ	1,0	1,0

Infine i coefficienti parziali γ_R che operano direttamente sulla resistenza del sistema sono definiti in Tabella:

Coefficienti parziali relativi alle azioni per verifiche DM08			
Verifica	R1	R2	R3
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

La procedura prevede che alla resistenza di progetto $R_{d,d}$ calcolata con la formula di Brinch Hansen, utilizzando il parametri geotecnici ottenuti nelle varie combinazioni (M1, M2), si applichi un coefficiente parziale γ_R , in funzione del tipo di verifica e naturalmente della combinazione (R1, R2 o R3).

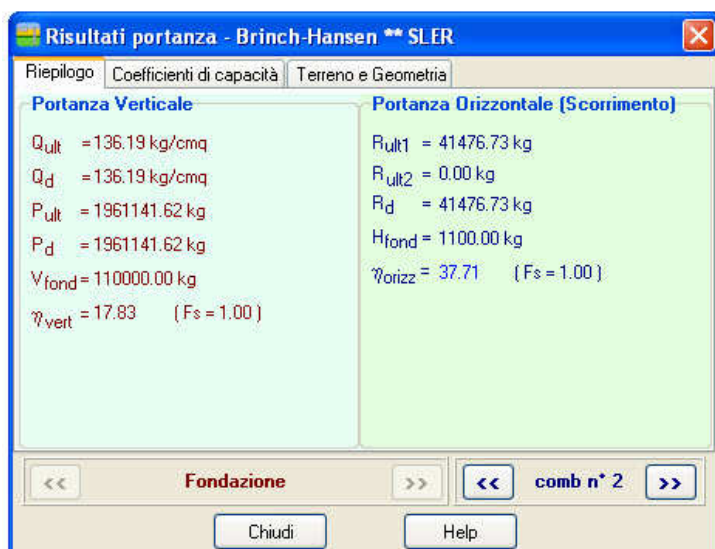
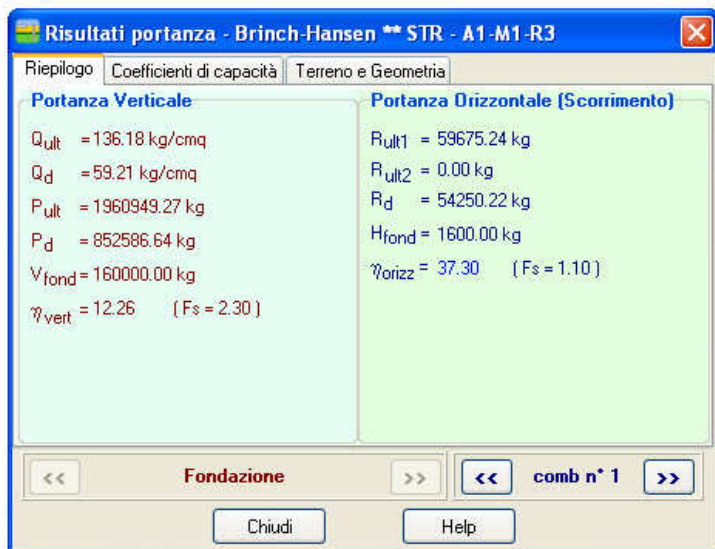
La verifica impone semplicemente che sia soddisfatta la condizione: $R_d \geq E_d$

La scelta del piano di imposta delle fondazioni e del tipo di fondazione deve essere effettuata prendendo in considerazione le esigenze progettuali.

2.1 Verifica capacità portante - SLU approccio 2 (A1 M1 R3)

Per la verifica è stato utilizzato un programma di calcolo dedicato (Carl 12 della Aztec Informatica) ed è stata considerata una fondazione a plinto, avente lato 1.20 m x 1.20 m, e profondità di incastro 0.50 m.

I carichi considerati sono pari a 160 t agli stati limite ultimi SLU, e 110 t allo stato limite di esercizio SLE, con sforzi di taglio pari a 1/10 del carico. I risultati della verifica, eseguiti con vari autori e considerando la fondazione come isolata, portano ad avere pressioni in fondazione superiori a 3 kg/cmq ma trascurabili essendo il substrato roccioso di buona qualità.

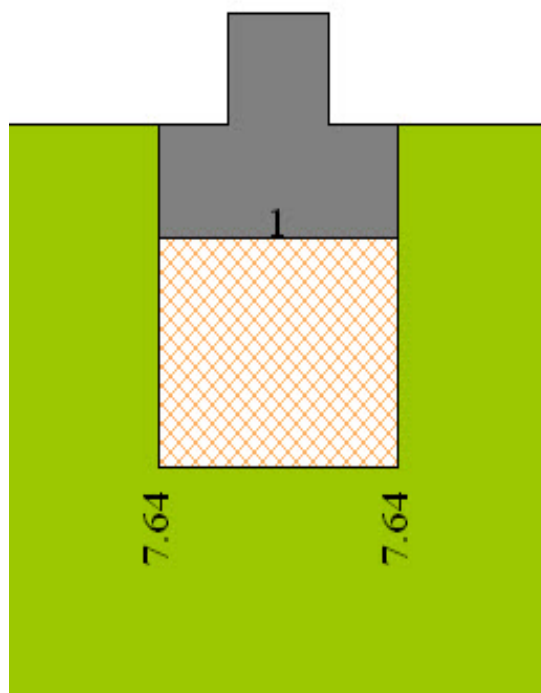
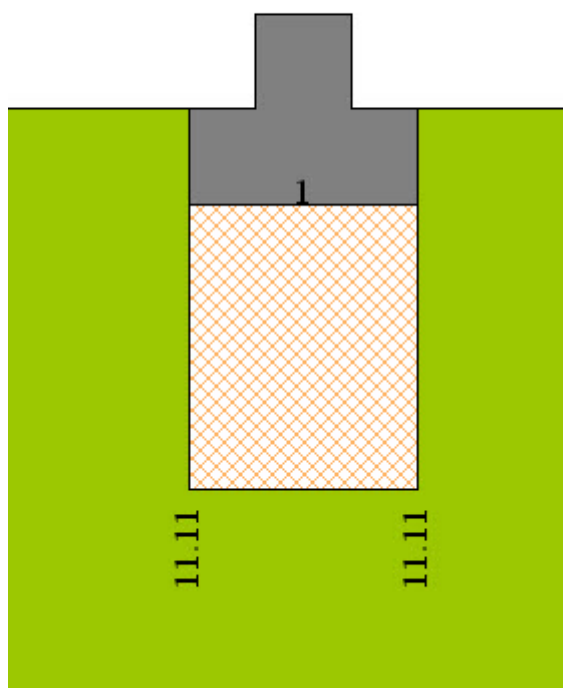


Substrato Roccioso

$\gamma = 2500 \text{ kg/mc} \quad \gamma_s = 2500 \text{ kg/mc}$

$\phi = 33.0^\circ \quad \delta = 20.0^\circ$

$c = 3.00 \text{ kg/cmq} \quad c_a = 0.10 \text{ kg/cmq}$



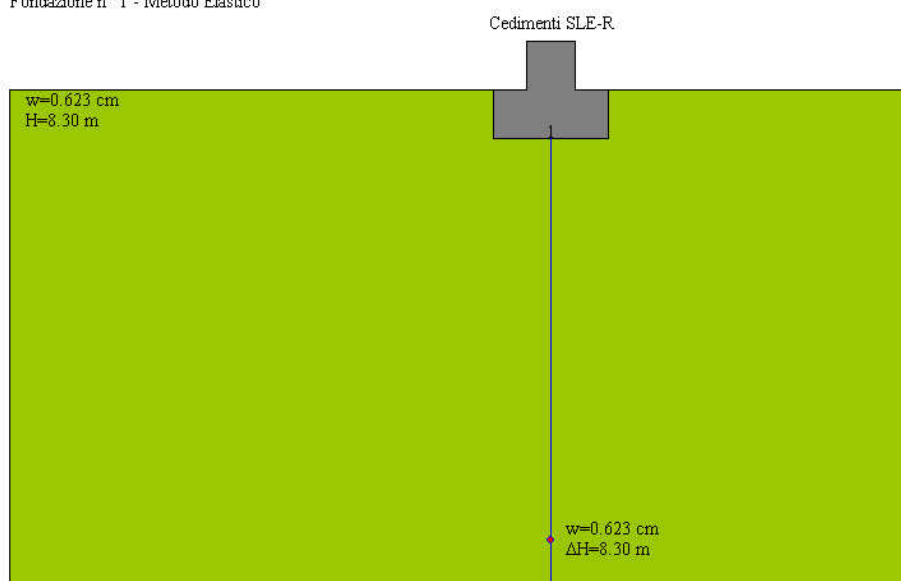
2.2 Calcolo dei cedimenti con metodo elastico

Sulla base del modello geotecnico e dei parametri caratteristici ipotizzati, si è proceduto al calcolo del cedimento del terreno di fondazione. Il cedimento è stato calcolato considerando sempre il programma di calcolo dedicato (Carl 12 della Aztec Informatica).

Di seguito si riporta l'output dei relativi cedimenti immediati. I valori dei cedimenti sono nell'ordine dei mm.



Fondazione n° 1 - Metodo Elastico



2.3 Abachi relativi ai carichi e ai cedimenti

Di seguito si riportano gli abachi relativi a Qult. in funzione dei vari fattori quali la Base, la profondità di posa D, e il rapporto L/B e i rispettivi cedimenti,

Diagramma Qult-B (L)

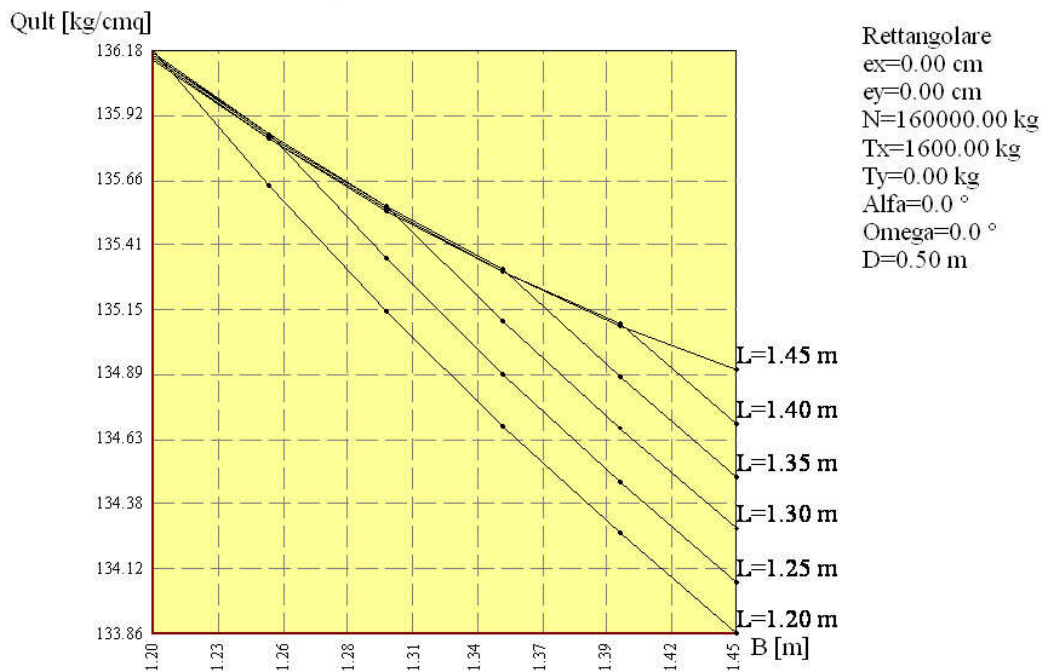


Diagramma Qult-B (D)

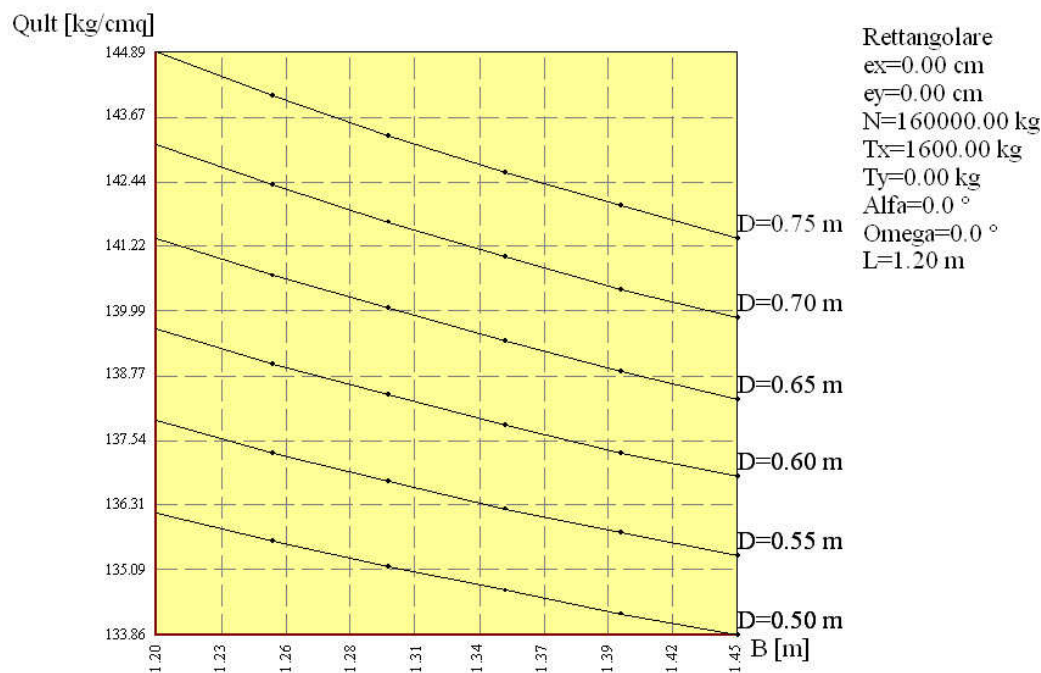


Diagramma Qult-D (L/B)

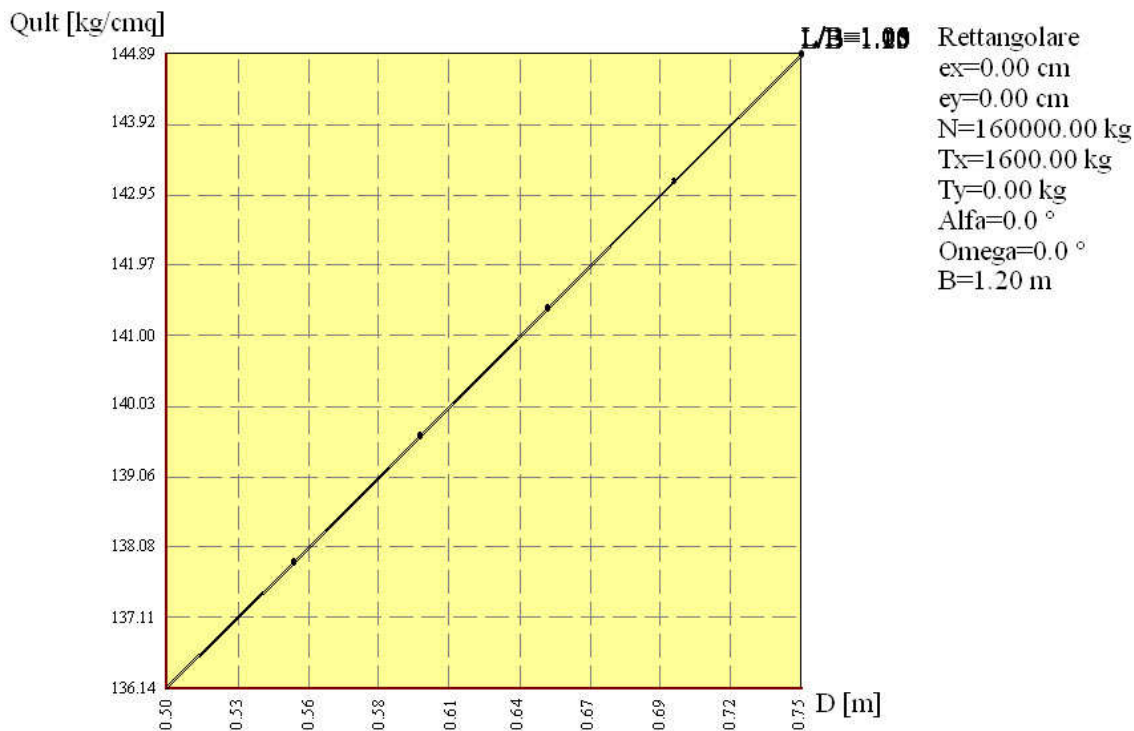


Diagramma Ced-N (B)

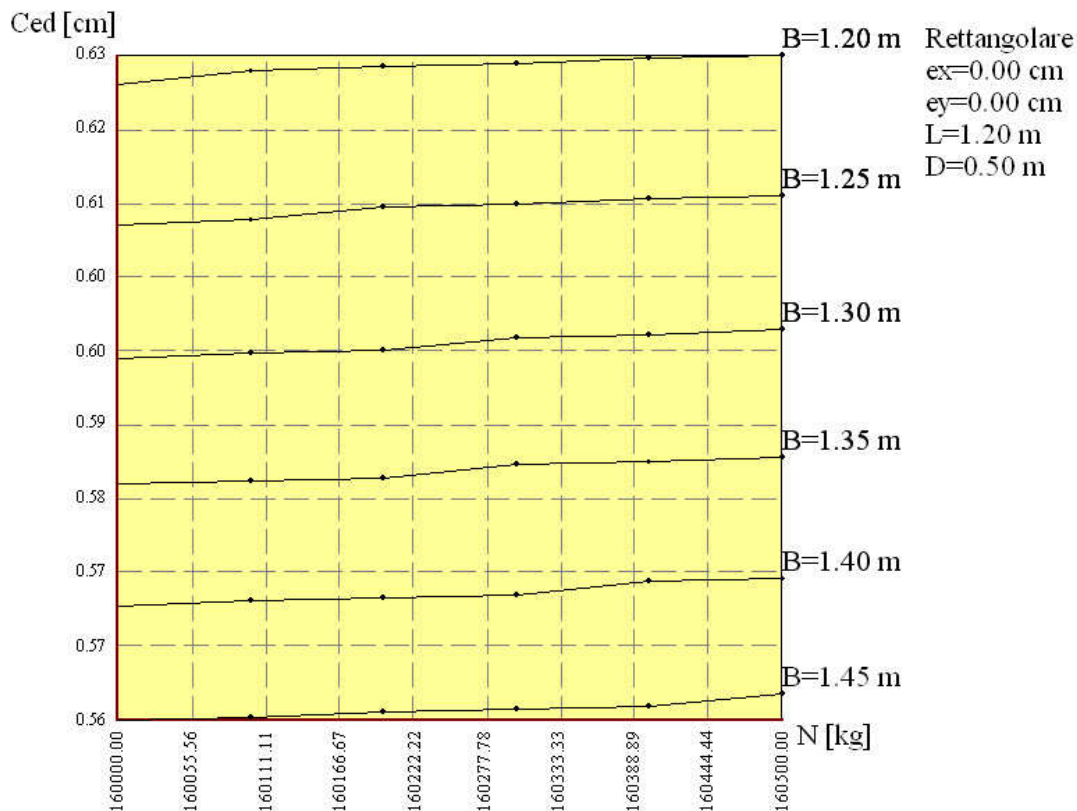


Diagramma Ced-N (L)

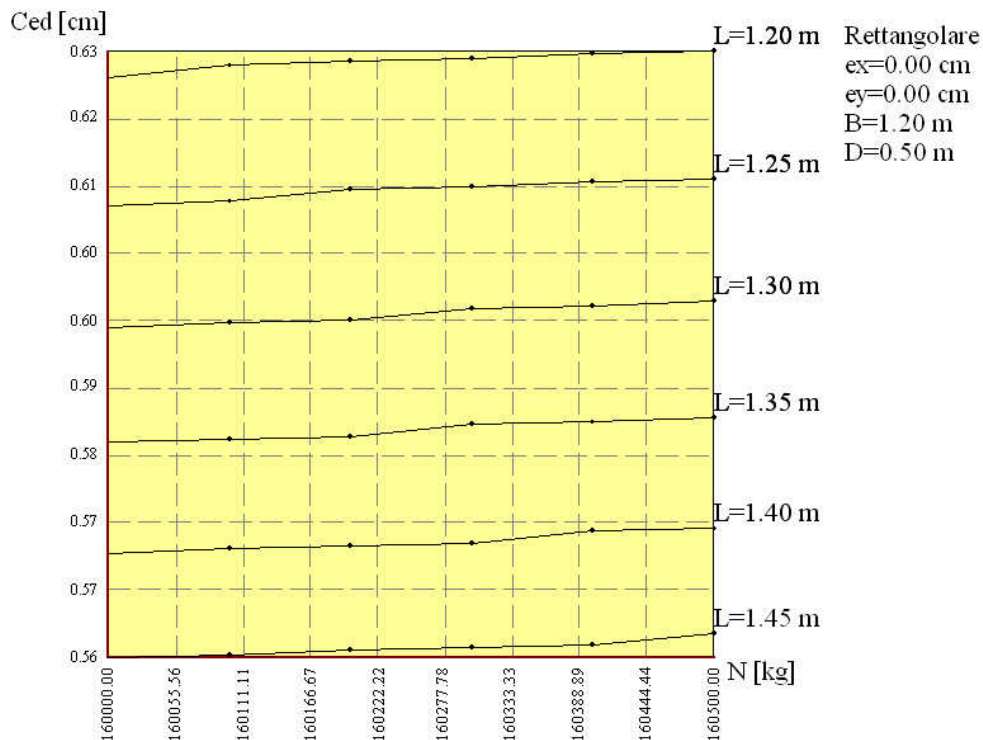
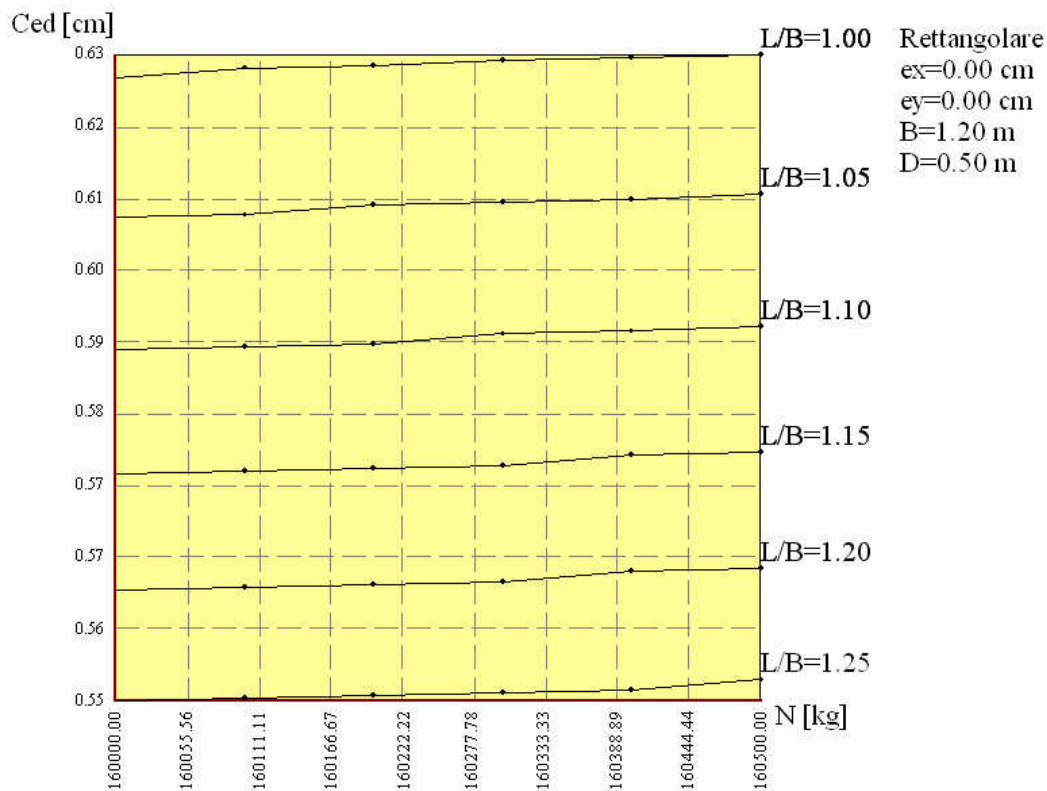


Diagramma Ced-N (L/B)



3 Conclusioni

Su incarico e per conto della Società Costruttori Edili Associati s.r.l. si è eseguito lo studio geologico e sismico dell'area in Piazza Diaz n. 215/19 nella frazione di Piatucco, in Comune di Lumezzane (Bs) interessata dalla presenza di un fabbricato dove si vuol procedere alla realizzazione di nuova struttura demolendo la presente. La relazione è stata redatta considerando i contenuti della L.R. 41/97 e della legge della LR 12³ ed in particolare quanto disposto nell'allegato 5⁴ e **D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374**, nonché **la L.R. 33/2015, in materia di costruzioni in zona sismica**.

L'area è compresa nella sezione n° D5c3 Lumezzane (C.T.R. alla scala 1:10000).

Il rilevamento geologico e geomorfologico eseguito nei dintorni dell'area mette in evidenza la media pendenza del sito interessato dall'intervento che presenta un'inclinazione verso sud est. Non sono comunque state individuate emergenze localizzate di acqua né fenomeni di instabilità tali da inibire l'intervento.

Durante la demolizione, e per la realizzazione del piano di appoggio delle nuove fondazioni, si è rilevata la presenza del substrato roccioso. La roccia, a giacitura da verticale a sub verticale, appartiene alla formazione DZN delle Dolomie Zonate. Tale formazione si presenta in strati da sottili a medi, laminati e fetidi, di colore da grigio chiaro a nerastro.

Il substrato presenta pertanto buone capacità portanti.

I terreni appartengono alla classe sismica A e categoria topografica T1.

Rimango a disposizione per ogni chiarimento si rendesse necessario, per contatti e assistenze al progettista e per sopralluoghi durante i lavori.

Dott. Geologo Mario A. Benigna



³ Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12.

⁴ analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nei piani di governo del territorio

ALLEGATI DI CALCOLO

Aztec Informatica s.r.l. * CARL Relazione di calcolo

Progetto: Demolizione e ricostruzione
Ditta:
Comune: Lumezzane (BS)

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'
- D.M. 16 Gennaio 1996
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Richiami teorici

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R \geq \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione:

c coesione del terreno in fondazione;
 ϕ angolo di attrito del terreno in fondazione;
 γ peso di volume del terreno in fondazione;
 B larghezza della fondazione;
 D profondità del piano di posa;
 q pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$$A = e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_q = A \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \tan \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

I fattori d_e e i che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti

relazioni:

Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 (D / B) K_p^{0.5}$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 (D / B) sK_p^{0.5} \quad \text{per } \phi > 0$$

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90)^\phi$$

$$i_\gamma = [1 - (\theta^\circ / \phi^\circ)]^\phi \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

Verifica allo scorrimento

Per la verifica a scorrimento lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere la fondazione deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere la fondazione F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_f la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_f$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle della fondazione. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 30 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

Il metodo edometrico è il classico procedimento per il calcolo dei cedimenti in terreni a grana fina, proposto da Terzaghi negli anni '20. L'ipotesi edometrica è verificata con approssimazione tanto migliore quanto più ridotto è il valore del rapporto tra lo spessore dello strato compressibile e la dimensione in pianta della fondazione. Tuttavia il metodo risulta dotato di ottima approssimazione anche nei casi di strati deformabili di grande spessore.

L'implementazione del metodo è espressa secondo la seguente espressione:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i}{E_{ed,i}} \Delta z_i$$

dove:

$\Delta \sigma$ è la tensione indotta nel terreno, alla profondità z , dalla pressione di contatto della fondazione;

E_{ed} è il modulo elastico determinato attraverso la prova edometrica e relativa allo strato i -esimo;

Δz rappresenta lo spessore dello strato i -esimo in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico.

Calcolo delle tensioni indotte

Metodo di Boussinesq

Il metodo di Boussinesq considera il terreno come un mezzo omogeneo elastico ed isotropo. Dato un carico concentrato Q , applicato in superficie, la relazione di Boussinesq fornisce la seguente espressione della tensione verticale indotta in un punto $P(x,y,z)$ posto alla profondità

z:

$$q_v = \frac{3Qz^3}{2\pi R^5}$$

dove: $R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$;

Per ottenere la pressione indotta da un carico distribuito occorre integrare tale espressione su tutta l'area di carico, considerando il carico Q come un carico infinitesimo agente su una areola dA . L'integrazione analitica di questa espressione si presenta estremamente complessa specialmente nel caso di carichi distribuiti in modo non uniforme. Pertanto si ricorre a metodi di soluzione numerica. Dato il carico agente sulla fondazione, si calcola il diagramma delle pressioni indotte sul piano di posa della fondazione. Si divide l'area di carico in un elevato numero di areole rettangolari a ciascuna delle quali compete un carico dQ : la tensione indotta in un punto $P(x,y,z)$, posto alla profondità z , si otterrà sommando i contributi di tutte le areole di carico calcolati come nella formula di Boussinesq.

Dati

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione della fondazione

Forma Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

X Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]

Y Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]

B Base/Diametro della fondazione espressa in [m]

L Lunghezza della fondazione espressa in [m]

D Profondità del piano di posa in [m]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X [m]	Y [m]	B [m]	L [m]	D [m]	α [°]	ω [°]
Fondazione	(R)	0.00	0.00	1.20	1.20	0.50	0.00	0.00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]

γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]

ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

c Coesione del terreno espressa in [kg/cm^q]

ca Adesione del terreno espressa in [kg/cm^q]

Descr	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm ^q]	ca [kg/cm ^q]
Substrato Roccioso	2500.0	2500.0	33.00	20.00	3.000	0.100

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

Descr Descrizione terreno

E Modulo di Young espresso in [kg/cm^q]

Descrizione	E [kg/cm ^q]	ν
Substrato Roccioso	2000.00	0.350

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° Identificativo strato

Z1 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]

Z2 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]

Z3 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]

Dott. Geol. Mario Alessandro Benigna

Via G. Mazzini 132 25065 Lumezzane (BS) - Tel. 030/820051 cell. 333/6492981

Terreno Terreno dello strato

Punto di sondaggio n° 1: X = 0.0 [m] Y = 0.0 [m]
 Punto di sondaggio n° 2: X = 3.0 [m] Y = 0.0 [m]
 Punto di sondaggio n° 3: X = 0.0 [m] Y = 3.0 [m]

n°	Z1 [m]	Z2 [m]	Z3 [m]	Terreno
1	-10.0	-10.0	-10.0	Substrato Roccioso

Normativa

N.T.C. 2008 - Approccio 2

Simbologia adottata

- γ_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
- γ_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
- γ_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
- γ_{Qfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
- $\gamma_{tan\phi}$ Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
- γ_c Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
- γ_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
- γ_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
- γ_r Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniaassiale delle rocce

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	γ_c	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniaassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_r	1.00	1.00	1.00	1.00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche:

		R1	R2	R3
Capacità portante	γ_r	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	γ_r	1.00	1.10	1.10

Condizioni di carico

Le condizioni di carico definite rappresentano le combinazioni di calcolo

Simbologia e convenzioni di segno adottate

- Carichi verticali positivi verso il basso.
- Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
- Momento positivo senso antiorario.

- Fondazione** Nome identificativo della fondazione
- N** Sforzo normale totale espressa in [kg]
- Mx** Momento in direzione X espressa in [kgm]
- My** Momento in direzione Y espresso in [kgm]
- ex** Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]
- ey** Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]
- β** Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]

T Forza di taglio espressa in [kg]

Condizione n° 1 - Condizione n° 1 - STR - A1-M1-R3

Fondazione	N [kg]	Mx [kgm]	My [kgm]	ex [m]	ey [m]	β	T [kg]

Dott. Geol. Mario Alessandro Benigna

Via G. Mazzini 132 25065 Lumezzane (BS) - Tel. 030/820051 cell. 333/6492981

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	[kgm]	[kgm]	[m]	[m]		[kg]
Fondazione	160000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.0	1600.0

Condizione n° 2 - Condizione n° 2 - SLER

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
	[kg]	[kgm]	[kgm]	[m]	[m]		[kg]
Fondazione	110000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.0	1100.0

Descrizione combinazioni di carico*Simbologia adottata* γ Coefficiente di partecipazione della condizione ψ Coefficiente di combinazione della condizione**Combinazione n° 1 STR - A1-M1-R3**

Nome	γ	ψ
Condizione n° 1	1.00	1.00

Combinazione n° 2 SLER

Nome	γ	ψ
Condizione n° 2	1.00	1.00

Opzioni di calcolo**Analisi in condizioni drenate***Verifica al carico limite*

Metodo di calcolo della portanza: Brinch-Hansen
 Altezza del cuneo di rottura: AUTOMATICA
 Criterio per il calcolo del macrostrato equivalente: MEDIA ARITMETICA
 Nel calcolo della portanza sono state richieste le seguenti opzioni:

Coefficiente correttivo su N_{γ} per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1.00
 Coefficiente correttivo su N_{γ} per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1.00

Riduzione per carico eccentrico: MEYERHOF

Verifica allo scorrimento

Partecipazione spinta passiva terreno di rifianco: 0.00 (%)

Cedimenti

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito con il **metodo Elastico**.

Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale.
 In particolare la percentuale impostata è: 0.05 (%)

Risultati

Verifica della portanza per carichi verticali

Simbologia adottata

<i>Cmb</i>	Indice della combinazione
<i>Fnd</i>	Indice della fondazione
<i>PF</i>	Rottura per punzonamento in presenza di falda
<i>q_u</i>	Portanza ultima, espressa in [kg/cm ²]
<i>q_d</i>	Portanza di progetto, espressa in [kg/cm ²]
<i>P_u</i>	Portanza ultima, espressa in [kg]
<i>P_d</i>	Portanza di progetto, espressa in [kg]
<i>V</i>	Carico ortogonale al piano di posa, espresso in [kg]

η Fattore di sicurezza a carico limite ($\eta = P_d/V$)

<i>Cmb</i>	<i>Fnd</i>	<i>PF</i>	<i>q_u</i> [kg/cm ²]	<i>q_d</i> [kg/cm ²]	<i>P_u</i> [kg]	<i>P_d</i> [kg]	<i>V</i> [kg]	η
1	1	NO	136.18	59.21	1960949	852587	160000	5.33

Caratteristiche terreno e fondazione di progetto

Simbologia adottata

<i>Cmb</i>	Indice della combinazione
<i>Fnd</i>	Indice della fondazione
<i>H</i>	Altezza del cuneo di rottura, espressa in [m]
γ	Peso di volume, espressa in [kg/mc]
ϕ	Angolo di attrito, espressa in [°]
<i>c</i>	Coesione, espressa in [kg/cm ²]
<i>G</i>	Modulo di taglio, espresso in [kg/cm ²]
<i>B'</i>	Base ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ($B' = B - 2e_x$), espressa in [m]
<i>L'</i>	Lunghezza ridotta per effetto dell'eccentricità del carico ($L' = L - 2e_y$), espressa in [m]
<i>R_{ex}</i>	Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo X
<i>R_{ey}</i>	Fattore di riduzione per carico eccentrico lungo Y
<i>I_R</i>	Indice di rigidezza

I_{RC} Indice di rigidezza critico

<i>Cmb</i>	<i>Fnd</i>	<i>H</i> [m]	γ [kg/mc]	ϕ [°]	<i>c</i> [kg/cm ²]	<i>G</i> [kg/cm ²]	<i>B'</i> [m]	<i>L'</i> [m]	<i>R_{ex}</i>	<i>R_{ey}</i>	<i>I_c</i>	<i>I_{RC}</i>
1	1	1.11	2500.00	33.00	3.00	0.00	1.20	1.20	--	--	0.98	95.19

Fattori correttivi verifica capacità portante

Combinazione n° 1

Fondazione n° 1

Fattori di capacità portante	Nc = 38.64	Nq = 26.09	N _γ = 35.19
Fattori di forma	Sc = 1.00	Sq = 1.00	S _γ = 1.00
Fattori per effetto del punzonamento	Ψ _c = 1.00	Ψ _q = 1.00	Ψ _γ = 1.00
Fattori di inclinazione del carico	Ic = 0.98	Iq = 0.99	I _γ = 0.98
Fattori di profondità	Dc = 1.12	Dq = 1.11	Q _γ = 1.00
Fattori di inclinazione del piano di posa	Bc = 1.00	Bq = 1.00	B _γ = 1.00
Fattori di inclinazione del pendio	Gc = 1.00	Gq = 1.00	G _γ = 1.00

Verifica allo scorrimento

Simbologia adottata

<i>Cmb</i>	Identificativo della combinazione
<i>R_{ult1}</i>	Resistenza offerta dal piano di posa per attrito ed adesione espressa in [kg]
<i>R_{ult2}</i>	Resistenza passiva offerta dall'affondamento del piano di posa espressa in [kg]
<i>R</i>	Somma di <i>R_{ult1}</i> e <i>R_{ult2}</i>
<i>R_d</i>	Resistenza di progetto allo scorrimento espressa in [kg]
<i>H</i>	Forza di taglio agente al piano di posa espresso in [kg]

η Coeff. di sicurezza allo scorrimento ($\eta = R_d/H$)

<i>Cmb</i>	<i>Fnd</i>	<i>R_{ult1}</i> [kg]	<i>R_{ult2}</i> [kg]	<i>R</i> [kg]	<i>R_{amm}</i> [kg]	<i>H</i> [kg]	η
1	1	59675	0	59675	54250	1600	33.91

Cedimenti

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

<i>cmb</i>	Identificativo della combinazione
w_i	Cedimento elastico espresso in [cm]
w_{imp}	Cedimento elastico ad espansione laterale impedita espresso in [cm]
<i>H</i>	Spessore strato compressibile espresso in [m]
<i>X</i>	coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]
<i>Y</i>	coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Fondazione

cmb	w_i [cm]	w_{imp} [cm]	H [m]	X [m]	Y [m]
2	0.42	0.30	7.80	0.00	0.00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

<i>Strato</i>	Identificativo dello strato
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato
ΔH	Spessore dello strato espresso in [m]
Δw_i	Cedimento elastico espresso in [cm]
Δw_{imp}	Cedimento elastico ad espansione laterale impedita espresso in [cm]

Combinazione n° 2 (Fondazione n° 1)

Strato	Terreno	ΔH [m]	Δw_i [cm]	Δw_{imp} [cm]
1	Substrato Roccioso	7.30	0.4216	0.2987
		7.30	0.4216	0.2987

Dettagli sui cedimenti dei singoli strati

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dell'i-esimo strato
<i>z</i>	quota media dell'i-esimo strato espresso in [m]
ΔH	spessore dello strato i-esimo espresso in [cm]
$\Delta \sigma_v$	incremento di tensione verticale dell'i-esimo strato espresso in [kg/cmq]
<i>E</i>	modulo elastico dell'i-esimo strato espresso in [kg/cmq]
Δw	cedimento dell'i-esimo strato espresso in [cm]

Combinazione n° 2 (Fondazione n° 1)

n°	<i>z</i> [m]	ΔH [cm]	$\Delta \sigma_v$ [kg/cmq]	<i>E</i> [kg/cmq]	Δw [cm]
1	-0.74	0.49	7.33	2000.00	0.1251
2	-1.23	0.49	4.58	2000.00	0.1042
3	-1.72	0.49	2.52	2000.00	0.0608
4	-2.20	0.49	1.50	2000.00	0.0369
5	-2.69	0.49	0.97	2000.00	0.0242
6	-3.18	0.49	0.68	2000.00	0.0169
7	-3.66	0.49	0.50	2000.00	0.0124
8	-4.15	0.49	0.38	2000.00	0.0095
9	-4.64	0.49	0.30	2000.00	0.0074
10	-5.12	0.49	0.24	2000.00	0.0060
11	-5.61	0.49	0.20	2000.00	0.0049
12	-6.10	0.49	0.16	2000.00	0.0041
13	-6.58	0.49	0.14	2000.00	0.0035
14	-7.07	0.49	0.12	2000.00	0.0030
15	-7.56	0.49	0.10	2000.00	0.0026
		7.30			0.4216 - 0.2987

Tensioni

Abachi*Diagramma Qult - B (Parametrico L)*

I valori della Qult riportati in tabella sono espressi in [kg/cmq]

I valori di B ed L riportati in tabella sono espressi in [m]

	B=1.20	B=1.25	B=1.30	B=1.35	B=1.40
L=1.20	136.18	135.64	135.14	134.69	134.26
L=1.25	136.17	135.85	135.35	134.89	134.47
L=1.30	136.16	135.84	135.56	135.10	134.68
L=1.35	136.16	135.83	135.55	135.31	134.88
L=1.40	136.15	135.83	135.55	135.30	135.09
L=1.45	136.14	135.82	135.54	135.30	135.09
			B=1.45		
		L=1.20	133.86		
		L=1.25	134.07		
		L=1.30	134.28		
		L=1.35	134.49		
		L=1.40	134.70		
		L=1.45	134.90		

Diagramma Qult - B (Parametrico D)

I valori della Qult riportati in tabella sono espressi in [kg/cmq]

I valori di B ed D riportati in tabella sono espressi in [m]

	B=1.20	B=1.25	B=1.30	B=1.35	B=1.40
D=0.50	136.18	135.64	135.14	134.69	134.26
D=0.55	137.91	137.31	136.76	136.26	135.79
D=0.60	139.64	138.99	138.39	137.84	137.32
D=0.65	141.39	140.68	140.03	139.42	138.86
D=0.70	143.14	142.37	141.67	141.01	140.41
D=0.75	144.89	144.07	143.31	142.61	141.96
			B=1.45		
		D=0.50	133.86		
		D=0.55	135.35		
		D=0.60	136.84		
		D=0.65	138.34		
		D=0.70	139.85		
		D=0.75	141.36		

Diagramma Qult - D (Parametrico L/B)

I valori della Qult riportati in tabella sono espressi in [kg/cmq]

I valori di D riportati in tabella sono espressi in [m]

	D=0.50	D=0.55	D=0.60	D=0.65	D=0.70
L/B=1.00	136.18	137.91	139.64	141.39	143.14
L/B=1.05	136.17	137.90	139.63	141.38	143.13
L/B=1.10	136.16	137.89	139.62	141.37	143.12
L/B=1.15	136.15	137.88	139.62	141.36	143.11
L/B=1.20	136.14	137.87	139.61	141.35	143.10
L/B=1.25	136.14	137.87	139.60	141.34	143.09
			D=0.75		
	L/B=1.00	144.89			
	L/B=1.05	144.88			
	L/B=1.10	144.88			
	L/B=1.15	144.87			
	L/B=1.20	144.86			
	L/B=1.25	144.85			

Diagramma Cedimento - Carico (Parametrico B)

I valori del Cedimento riportati in tabella sono espressi in [cm]

I valori del carico N riportati in tabella sono espressi in [kg]

I valori di B riportati in tabella sono espressi in [m]

	N=160000.00	N=160100.00	N=160200.00	N=160300.00	N=160400.00
B=1.20	0.62	0.62	0.63	0.63	0.63
B=1.25	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
B=1.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
B=1.35	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59
B=1.40	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
B=1.45	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
			N=160500.00		
		B=1.20	0.63		
		B=1.25	0.61		
		B=1.30	0.60		
		B=1.35	0.59		
		B=1.40	0.57		
		B=1.45	0.56		

Diagramma Cedimento - Carico (Parametrico L)

I valori del Cedimento riportati in tabella sono espressi in [cm]

I valori del carico N riportati in tabella sono espressi in [kg]

I valori di L riportati in tabella sono espressi in [m]

	N=160000.00	N=160100.00	N=160200.00	N=160300.00	N=160400.00
L=1.20	0.62	0.62	0.63	0.63	0.63
L=1.25	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
L=1.30	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
L=1.35	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59
L=1.40	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
L=1.45	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
			N=160500.00		
		L=1.20	0.63		
		L=1.25	0.61		
		L=1.30	0.60		
		L=1.35	0.59		
		L=1.40	0.57		
		L=1.45	0.56		

Diagramma Cedimento - Carico (Parametrico L/B)

I valori del Cedimento riportati in tabella sono espressi in [cm]

I valori del carico N riportati in tabella sono espressi in [kg]

	N=160000.00	N=160100.00	N=160200.00	N=160300.00	N=160400.00
L/B=1.00	0.62	0.62	0.63	0.63	0.63
L/B=1.05	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
L/B=1.10	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
L/B=1.15	0.58	0.58	0.58	0.58	0.59
L/B=1.20	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
L/B=1.25	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
			N=160500.00		
		L/B=1.00	0.63		
		L/B=1.05	0.61		
		L/B=1.10	0.60		
		L/B=1.15	0.59		
		L/B=1.20	0.57		
		L/B=1.25	0.56		

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)**Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo**

Il sottoscritto , in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

La verifica a carico limite viene eseguita secondo le seguenti fasi:

- Calcolo delle caratteristiche del terreno equivalente di progetto;
- Calcolo della fondazione di progetto;
- Calcolo del carico limite.

Il calcolo dei cedimenti viene eseguita secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della distribuzione dei carichi al piano di posa;
- Calcolo delle pressioni indotte nel terreno dal carico applicato;
- Calcolo dei cedimenti.

Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	CARL - Carico Limite e Cedimenti
Versione	10.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	GEOL. BENIGNA MARIO ALESSANDRO
Licenza	AIU1103R6

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.