DOTT. GEOL. CARMINE BONVINO
studio tecnico di geologia e diagnosi ambientale
16149 Genova via Cantore, 8/Q

Consulente del Tribunale
Certificatore n 7281 Liguria
Tecnico in acustica n 10 Liguria

Geologia
Geotecnica
Elettromagnetismo
Acustica ambientale
Sicurezza del lavoro
Certificazioni energetiche

CODICE IDENTIFICATIVO DOCUMENTO
864/G/18 REV 00

RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE

Oggetto:
Indagini geognostiche per la realizzazione di un parco eolico nel Comune di Tornolo (Pr) (D.M. 14.01.08. L.R. 3/99)

Localizzazione:
Monte Foppo – Comune di Tornolo (PR)

Tipo di elaborato:
Relazione geologico-tecnica



Richiedente:
ENERNOVA srl
Corso Sempione 33 – 20145 MILANO
P. IVA 07746350961

Data
21 giugno 2018

INDICE

1 - PREMESSA 3

2 – NORMATIVA DI RIFERIMENTO 3

3– INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO 4

4 – MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO 6

4.1 – Coltre 7

4.2 – Substrato roccioso 7

5 – CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SUOLO 8

6 – ESAME DEL PROGETTO ED INDICAZIONI OPERATIVE 9

7– ASPETTI AMMINISTRATIVI 10

7.1 – Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 10

7.2 – Vincolo idrogeologico 11

7.3 – Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po (L. 183/89) 11

8 – CONCLUSIONI 11

ALLEGATI

- Carta di analisi
- calcolo capacità portante terreno di fondazione

1 - PREMESSA

Con riferimento al progetto per la realizzazione di un parco eolico nel Comune di Tornolo (Pr), costituito da due torri eoliche con potenza di 3000 kW cadauna, lo scrivente studio tecnico è stato incaricato dalla ENERNOVA S.r.l., di eseguire le opportune indagini geologiche a carattere preliminare al fine di valutarne la fattibilità e orientare correttamente le scelte progettuali come richiesto dalla normativa vigente.

Il presente studio, condotto in osservanza alla normativa vigente, si prefigge di:

- definire il modello geologico e geotecnico di riferimento per la progettazione preliminare dell'intervento;
- evidenziare le possibili problematiche di natura geologica o geotecnica;
- fornire, ove possibile, suggerimenti per effettuare le scelte operative più idonee.

In tal senso le indagini vengono svolte con lo scopo di individuare i caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, geomorfologici, idrogeologici e di pericolosità geologica del territorio, in relazione alla realizzazione dell'intervento.

Nella fase preliminare della progettazione, tenuto anche conto delle caratteristiche dell'opera, lo scrivente ha ritenuto sufficiente, per comprendere le condizioni geologiche locali, analizzare la documentazione progettuale fornita dal committente, consultare la cartografia tecnica comunale e regionale ed effettuare un sopralluogo sul posto. Inoltre, la presente relazione si avvale delle risultanze di indagini geognostiche e geotecniche compiute ad altro titolo in aree limitrofe.

2 – NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto MIT del 17 gennaio 2018 (aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni)

- Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.
- Eurocodice 8 (1998) Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture
- 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–progettazione assistita con prove in sito(2002).
- D.G.R. n. 1362/2010
- R.D. 3267/23
- L.R. 4/99 relativa alle zone sottoposte a vincolo idrogeologico
- D.G.R. 1435/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Norme di Attuazione del Piano per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po (D.L. 183/89)
- Legge Regionale n° 3/99 (regione Emilia Romagna)

3– INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'area di intervento è individuata sulla cartografia tecnica della Regione Emilia Romagna in scala 1:10000 sulla tavoletta 215150 e 215160; in particolare il sito è ubicato nel Comune di Tornolo in Provincia di Parma.
Il parco eolico in oggetto, costituito da due pale eoliche, verrà realizzato nei pressi di Monte Foppo ad una quota compresa tra i 1130 e 1183 m s.l.m..
Qui di seguito una foto aerea con la posizione delle due torri a progetto.



Tale zona appartiene ad un contesto geomorfologico di tipo montano e risulta essere caratterizzata, lungo la parte bassa dei versanti e lungo le incisioni, da una fitta copertura boschiva e da prati a raso sulle vette e lungo i crinali.

Il substrato roccioso dell'area in esame è costituito da rocce appartenenti alle argille e ai calcari di Canetolo.

Questi sono rappresentati da argille e siltiti di colore prevalentemente grigio marrone oltre che da arenarie fini, marroni più o meno calcarifere. A questi litotipi si intercalano calcareniti e arenarie calcarifere grigio-marroni, calcilutiti, marne calcaree e calcari marnosi grigi.

Il substrato roccioso si presenta in variabile stato di conservazione ed è spesso sormontato da un cappellaccio di alterazione di spessore molto variabile, in funzione sia delle condizioni geomorfologiche attuali che dei lineamenti paleogeografici antichi.

Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico, i fattori che condizionano la circolazione delle acque nel sottosuolo sono essenzialmente legati alle caratteristiche di permeabilità delle coltri e delle rocce ed ai rapporti stratigrafici e tettonici esistenti tra complessi a diversa permeabilità relativa.

Nell'area in esame si ipotizza l'esistenza di un sensibile contrasto di permeabilità tra le coltri detritiche, costituite da depositi eluvio-colluviali, ed il substrato roccioso. Infatti, mentre le coltri sono da considerarsi sostanzialmente permeabili per porosità, con coefficienti variabili in funzione delle classi granulometriche che le compongono, il substrato roccioso è variamente permeabile per fratturazione e fessurazione, in relazione al grado di alterazione della roccia.
Le acque meteoriche defluiscono naturalmente lungo i versanti verso i rii principali senza alcun tipo di disciplina, concorrendo alla formazione di ruscellamenti incanalati e/o diffusi. Nell'area si identificano due frane attive che non interferiscono col progetto in esame.

4 – MODELLO GEOLOGICO E GEOTECNICO

In base ai dati raccolti ed alle informazioni ricavate dalla bibliografia nonché da esperienze professionali svolte ad altro titolo in aree limitrofe, si indicano nel seguito alcune considerazioni di carattere generale sulla natura e sul comportamento geotecnico e geomeccanico dei terreni e delle rocce presenti nel sottosuolo dell'area in esame.

La stratigrafia del sito in esame è caratterizzata dalla presenza di:

- un livello superficiale costituito da una coltre di spessore contenuto;
- cappellaccio di alterazione del substrato roccioso di spessore variabile;
- substrato roccioso costituito da marne, arenarie e argilliti.

Nel seguito si illustrano i parametri geotecnici e geomeccanici dei terreni sopra descritti. Tali dati sono stati ricavati da esperienze professionali precedenti e da analisi di laboratorio e prove in situ descritte in letteratura.

4.1 – Coltre

La coltre, di spessore esiguo, è costituita prevalentemente da depositi eluvio - colluviali di natura sabbioso-ghiaiosa, aventi stato di addensamento sciolto. Sotto il profilo geotecnico questo terreno è caratterizzato da un comportamento di tipo granulare, essendo costituito da una ghiaia sabbiosa con bassa percentuale di frazione fine coesiva. Riferendosi alla classificazione USCS, il terreno risulta appartenente alla classe SW: sabbia ghiaiosa ben assortita con limitata presenza di frazione fine.

Le principali caratteristiche geotecniche medie sono:

Densità relativa (Dr): 39%

Peso di volume (γ): 1,7 t/m^3

Angolo di attrito efficace (ϕ'): 30,3° (shioi fukuni)

$C_{u\ (non\ dren)}$: 0,74 kg/cm^2 (Terzaghi e Peck)

$C'_{(eff)}$: 0,07 kg/cm^2 (Terzaghi e Peck)

Q_{AMM}: 2,53 Kg/cm^2 (Terzaghi fondaz. nastriforme L= 80 cm, profondità posa H= 70 cm)

Cost. sottof. ($K_{winkler}$): 3,03 (Kg/cm^3) (Terzaghi fondaz. nastriforme L= 80 cm, profondità posa H= 70 cm)

Modulo elastico (E) 176 (Kg/cm^2) (stroud)

Modulo edometrico (E_{ed}) 236 Kg/cm^2 (Stroud)

4.2 – Substrato roccioso

Peso di volume (γ): 2,2 t/m^3

Angolo di attrito efficace (ϕ'): 32° (bieniawski)

C_u: 0,8 kg/cm^2 (bieniawski)

Q_{AMM}: 17,36 kg/cm^2 (Terzaghi fondaz. nastriforme L= 80 cm, profondità posa H= 70 cm)

Cost. sottof. ($K_{winkler}$) 20,83 (Kg/cm^3) (Terzaghi fondaz. nastriforme L= 80 cm, profondità posa H= 70 cm)

Modulo elastico (E) 175.000,00 (Kg/cm^2)

Modulo edometrico (E_{ed}) 185.000,00 (Kg/cm^2)

5 – CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SUOLO

In base a quanto prescritto dal D.M. 14 Gennaio 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni” si è provveduto alla determinazione delle caratteristiche sismiche del suolo di fondazione sul quale insisteranno le strutture in esame.
Dal punto di vista amministrativo, ai sensi della classificazione sismica regionale (D.G.R. n. 1435/2003), l’area in cui verrà realizzato l’intervento in progetto è classificata come zona **2.**
L’accelerazione massima prevista per il sito in esame può essere valutata a partire dai valori di accelerazione massima orizzontale per suolo rigido a_g mediante il ricorso ai coefficienti stratigrafico S_S e topografico S_T secondo la seguente relazione:

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

In base a prove di sismica passiva effettuate nelle vicinanze è stata individuata una Vs_{30} inferiore ai 600 m/s, e quindi il suolo di fondazione risulta essere di **categoria B**. Pertanto il coefficiente stratigrafico è pari a **1.2.** Il coefficiente topografico del sito in esame è quello della categoria **T2**, ovvero il caso di pendii con inclinazione media superiore ai 15°, per cui S_T è pari a **1.2**.
In base alle coordinate geografiche si ricavano i valori di accelerazione orizzontale massima a_g, il fattore di accelerazione massima del suolo F_0 ed il periodo caratteristico T_C dello spettro riferiti a tempi di ritorno T_R compresi tra 30 e 2475 anni.
La classe d’uso è la I: costruzioni con presenza occasionale di persone (box) per la quale si ricava un coefficiente d’uso C_U pari a **0.7**. Da questo, in base alla relazione $V_R = V_N \cdot C_U$, si ottiene un valore del periodo di riferimento sismico V_R pari a **50**.
Per poter calcolare l’azione sismica specifica del sito in esame, è necessario conoscere anche le caratteristiche dell’opera in progetto, ovvero la sua vita nominale V_N, il coefficiente d’uso C_U, il periodo di riferimento sismico V_R e la probabilità di superamento dello stato limite di progetto P_{VR}.

Considerando, ai sensi della normativa vigente, lo stato limite di salvaguardia della vita SLV i parametri sismici del sito in esame, di coordinate **Lat. 44,444633 e Long. 9,576432**, sono:

T_R = 475 anni
A_g = 0.182 g
F_0 = 2.438
T_C = 0.273 s

Essendo S_S pari a **1,2** e S_T pari a **1.2**, il valore di accelerazione massima orizzontale del terreno di fondazione per lo stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV è:

$$a_{max\ (SLV)} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 2{,}56\ m/s^2$$

È inoltre possibile calcolare, sempre mediante l'utilizzo del medesimo software, i coefficienti sismici orizzontale e verticale K_h e K_v. Nel caso in questione questi risultano essere pari a:
$K_{h\ (SLV)}$ = 0.059
$K_{v\ (SLV)}$ = ± 0.029

6 – ESAME DEL PROGETTO ED INDICAZIONI OPERATIVE

Il progetto prevede, come già accennato, la realizzazione di un parco eolico costituito da due aerogeneratori ad asse orizzontale del tipo Enercon E82 E2 della potenza elettrica nominale di 3000 kW cadauno per una potenza elettrica nominale complessiva pari a 6 MW. Questi sono posizionati su due pianori nei pressi di monte Foppo.
Ogni aerogeneratore è costituito da una torre alta 69 m, a sezione circolare e diametro pari a 5 m, e da 3 pale di lunghezza pari a 40 m ciascuna. Le fondazioni di ciascun aerogeneratore sono a pianta circolare con diametro di 22 metri e con superficie pari a 380 m^2 cadauna.



Nel dettaglio le opere in progetto verranno fondate direttamente su substrato roccioso lapideo.

Per quanto concerne quindi le opere fondazionali, al momento, non si individuano particolari problematiche di ordine geologico–tecnico, tali da sconsigliare la realizzazione dell'intervento.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella sistemazione e nella progettazione delle strade di accesso e delle piazzole di montaggio degli impianti eolici al fine di non incorrere in ulteriori problemi legati al raggiungimento del sito.

7– ASPETTI AMMINISTRATIVI

7.1 – Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008

In osservanza al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 sono state prese in esame le prescrizioni generali e le indicazioni sulla caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica del sito e sulla progettazione per azioni sismiche (cap. 6 e 7 del sopraccitato D.M.).

7.2 – Vincolo idrogeologico

Secondo quanto emerso dalla cartografia della Provincia di Parma relativa al vincolo idrogeologico (R.D. 3267/23, L.R. 3/99), la zona risulta soggetta a tale vincolo e pertanto alle disposizioni dettate dalla L.R. 3/99. Le opere in oggetto non avranno influenza negativa sugli aspetti idrogeologici del comparto.

7.3 – Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po (L. 183/89)

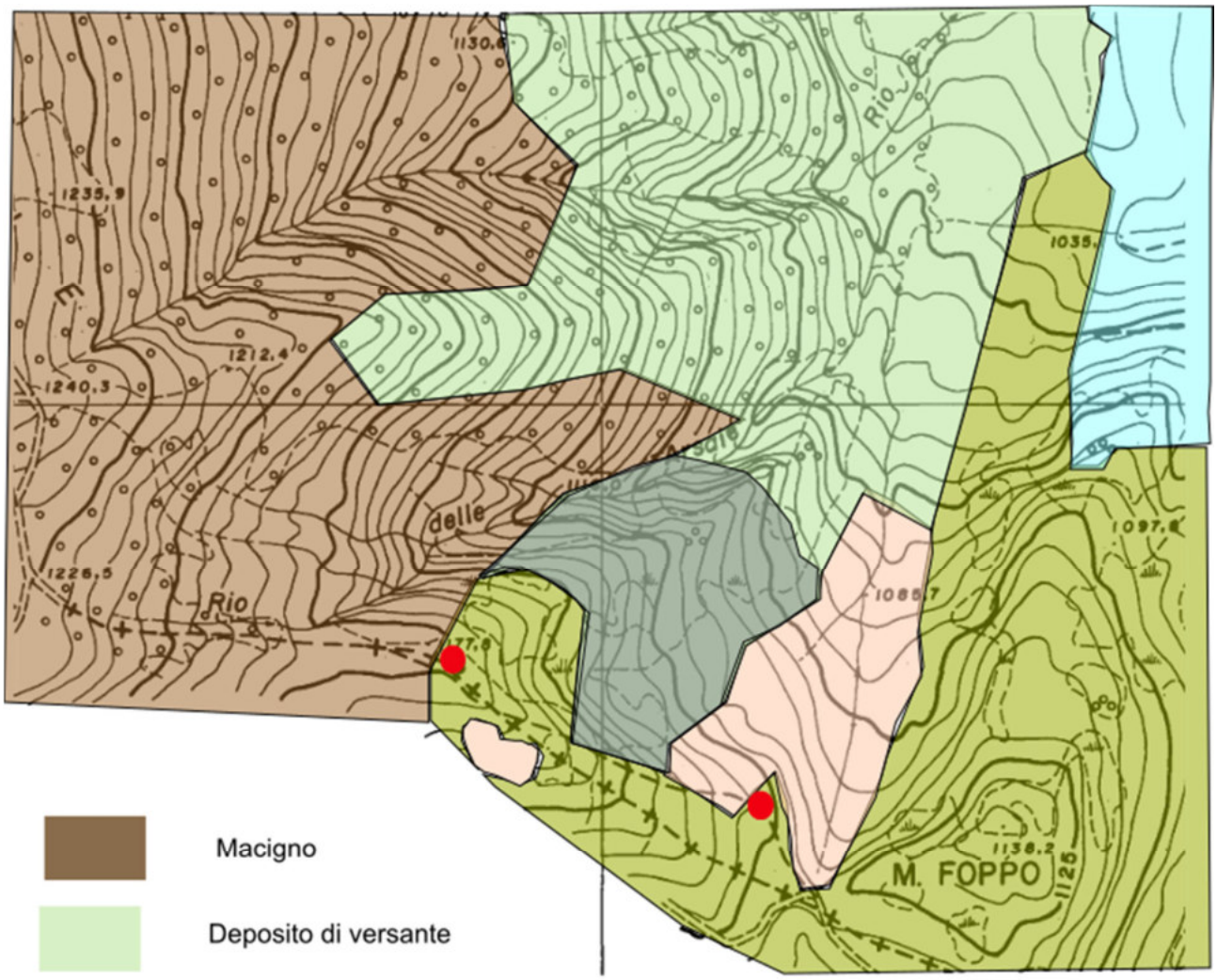
La zona in esame si trova in Alta Val Taro e ricade all'interno del territorio interessato dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po (L. 183/89).
Secondo la cartografia di tale Piano, l'area d'interesse non presenta particolari problematiche di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico.
Per quanto riguarda l'idrologia superficiale, non sono segnalati nelle immediate vicinanze del sito in esame corsi d'acqua significativi.

8 – CONCLUSIONI

Tenuto conto del contesto geologico, geomorfologico ed idrogeologico in cui si inserisce l'intervento, tenuto altresì conto delle caratteristiche geotecniche del terreno si conferma una sostanziale compatibilità dell'opera in oggetto con la geologia del sito. Si rassegna la presente relazione la quale assolve quanto prescritto dalla normativa vigente.

Genova, 21 giugno 2018

Il tecnico
Dott. Geol. Carmine Bonvino



Macigno

Deposito di versante

Arenarie di Ponte Bratica

Argille e calcari di Canetolo

Deposito di frana quiescente

Deposito di frana attiva

0 50 100 150 200 m

Dott. Geol. Bonvino Carmine

Indagini geognostiche per realizzazione parco eolico

Carta di analisi

Scala grafica

CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE (COLTRE)

Coefficiente di Sicurezza	3,00	
Forma impronta fondazione	QUADRATA	
Lato B fondazione	80	cm
Affondamento piano di posa Df	70	cm
Angolo Ø attrito terreno	30,3	°
Coesione terreno	0,070	daN/cm²
Peso di volume g terreno	1800	daN/m³

RISULTATI DEL CALCOLO

Formula di TERZAGHI:

Qult = c Nc Sc + g Df Nq + 0,5 g B Ng Sg

Pressione Ammissibile (Q_u/Coef.Sic.)	2,53	daN/cm²
Nc (Coeff. portata)	38,10	
Sc (Coeff. forma)	1,30	
Nq (Coeff. portata)	23,26	
Ng (Coeff. portata)	20,74	
Sg (Coeff. forma)	0,80	

Stima Coeff. di Winkler (Bowles):

Kwink = C (Nc Sc + q Nq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]

Kwink	3,04	daN/cm³

Formula di MEYERHOF:

Qult = c Nc Sc Dc + g Df Nq Sq Dq + 0,5 g B Ng Sg Dg

Pressione Ammissibile (Q_u/Coef.Sic.)	3,31	daN/cm²
Nc (Coeff. portata)	30,87	
Sc (Coeff. forma)	1,61	
Dc (Coeff. prof.)	1,30	
Nq (Coeff. portata)	19,04	
Sq (Coeff. forma)	1,30	
Dq (Coeff. prof.)	1,15	
Ng (Coeff. portata)	16,48	
Sg (Coeff. forma)1,30		
Dg (Coeff. prof.)1,15		

Stima Coeff. di Winkler (Bowles):

Kwink = C (Nc Sc + q Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]

Kwink	3,97	daN/cm³

Formula di HANSEN:

Qult = c Nc Sc Dc + g Df Nq Sq Dq + 0,5 g B Ng Sg Dg

Pressione Ammissibile (Q_u/Coef.Sic.)	3,38	daN/cm²
Nc (Coeff. portata)	30,87	

Sc (Coeff. forma)	1,62	
Dc (Coeff. prof.)	1,35	
Nq (Coeff. portata)	19,04	
Sq (Coeff. forma)	1,58	
Dq (Coeff. prof.)	1,25	
Ng (Coeff. portata)	15,81	
Sg (Coeff. forma)	0,60	
Dg (Coeff. prof.)	1,00	

Stima Coeff. di Winkler (Bowles):

Kwink = C (Nc Sc + q Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]

Kwink	4,06	daN/cm³

Formula EUROCODICE 7:

Qult = c Nc Sc + g Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg

Pressione Ammissibile (Q_u/Coef.Sic.):	2,66	daN/cm²
Nc (Coeff. portata)	30,87	
Sc (Coeff. forma)	1,53	
Nq (Coeff. portata)	19,04	
Sq (Coeff. forma)	1,50	
Ng (Coeff. portata)	21,08	
Sg (Coeff. forma)	0,70	

Stima Coeff. di Winkler (Bowles):

Kwink = C (Nc Sc + q Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]

Kwink	3,19	daN/cm³

CAPACITA' PORTANTE DEL TERRENO DI FONDAZIONE (ROCCIA)

Coefficiente di Sicurezza	3,00	
Forma impronta fondazione	QUADRATA	
Lato B fondazione	80	cm
Affondamento piano di posa Df	70	cm
Angolo Ø attrito terreno	32,0	°
Coesione terreno	0,800	daN/cm²
Peso di volume g terreno	2200	daN/m³

RISULTATI DEL CALCOLO

Formula di TERZAGHI:

Qult = c Nc Sc + g Df Nq + 0,5 g B Ng Sg

Pressione Ammissibile (Q_u/Coef.Sic.)	17,36	daN/cm²
Nc (Coeff. portata)	44,04	
Sc (Coeff. forma)	1,30	
Nq (Coeff. portata)	28,52	
Ng (Coeff. portata)	27,07	
Sg (Coeff. forma)	0,80	

Stima Coeff. di Winkler (Bowles):

Kwink = C (Nc Sc + q Nq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]

Kwink	20,84	daN/cm³

Formula di MEYERHOF:

Qult = c Nc Sc Dc + g Df Nq Sq Dq + 0,5 g B Ng Sg Dg

Pressione Ammissibile (Q_u/Coef.Sic.)	23,37	daN/cm²
Nc (Coeff. portata)	35,49	
Sc (Coeff. forma)	1,65	
Dc (Coeff. prof.)	1,32	
Nq (Coeff. portata)	23,18	
Sq (Coeff. forma)	1,33	
Dq (Coeff. prof.)	1,16	
Ng (Coeff. portata)	22,02	
Sg (Coeff. forma)1,33		
Dg (Coeff. prof.)1,16		

Stima Coeff. di Winkler (Bowles):

Kwink = C (Nc Sc + q Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]

Kwink	28,05	daN/cm³

Formula di HANSEN:

Qult = c Nc Sc Dc + g Df Nq Sq Dq + 0,5 g B Ng Sg Dg

Pressione Ammissibile (Q_u/Coef.Sic.)	23,89	daN/cm²
Nc (Coeff. portata)	35,49	

Sc (Coeff. forma)	1,65	
Dc (Coeff. prof.)	1,35	
Nq (Coeff. portata)	23,18	
Sq (Coeff. forma)	1,62	
Dq (Coeff. prof.)	1,24	
Ng (Coeff. portata)	20,79	
Sg (Coeff. forma)	0,60	
Dg (Coeff. prof.)	1,00	

Stima Coeff. di Winkler (Bowles):

Kwink = C (Nc Sc + q Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]

Kwink	28,66	daN/cm³

Formula EUROCODICE 7:

Qult = c Nc Sc + g Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg

Pressione Ammissibile (Q_u/Coef.Sic.):	17,09	daN/cm²
Nc (Coeff. portata)	35,49	
Sc (Coeff. forma)	1,55	
Nq (Coeff. portata)	23,18	
Sq (Coeff. forma)	1,53	
Ng (Coeff. portata)	27,72	
Sg (Coeff. forma)	0,70	

Stima Coeff. di Winkler (Bowles):

Kwink = C (Nc Sc + q Nq Sq + 0,5 g B Ng Sg) [C=0,4]

Kwink	20,51	daN/cm³