



Comune di
TERRANUOVA B.ri

Centro Servizi Ambiente Impianti S.p.A.

S.P.7 di Piantravigne
52028 Terranuova Bracciolini (AR)
P.IVA 01861020517



Wave Italia 1 S.r.l.

Via Gustavo Fara
20124 Milano



RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Nadia PASQUINI
C.S.A.I. S.p.A. - Via Lungarno, 123 - 52025 Terranuova B.ri (Ar)

PROGETTISTA:

Ing. Marco SACCHETTI
UFFICIO PROGETTAZIONE e SVILUPPO C.S.A.I. S.p.A.
Via Lungarno, 123 - 52025 Terranuova B.ri (Ar)

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Marco SACCHETTI
UFFICIO PROGETTAZIONE e SVILUPPO C.S.A.I. S.p.A.
Via Lungarno, 123 - 52025 Terranuova B.ri (Ar)

UFFICIO PROGETTAZIONE e SVILUPPO C.S.A.I. S.p.A.

Ing. Fabio SEMOLI
Geom. Giovanni FANTONI

OGGETTO:

DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA"

Nuovo impianto di upgrading del biogas
da discarica per la produzione di biometano

ELABORATO:

OPERE EDILI

RELAZIONE DI CALCOLO - FASCICOLO DEI CALCOLI
RELAZIONE SULLE FONDAZIONI - RELAZIONE SUI MATERIALI

SCALA

FASE
PROGETTO ESECUTIVO

FEBBRAIO 2026

| REV. | DIS. | APP. | DES. | DATA |
|------|------|------|-----------------|------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| 0 | FS | MS | Prima emissione | 10.02.2026 |

Id.Work: 4124_260209_Opere civili_v3.dwg

OE.03.01.0

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. PREMESSA..... | 2 |
| 2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO | 2 |
| 3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | 3 |
| 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI..... | 6 |
| 5. OPERE IN PROGETTO..... | 7 |
| 6. ANALISI DEI CARICHI..... | 8 |
| 6.1 CARICHI PERMANENTI G_{1K} E G_{2K} | 9 |
| 6.2 CARICO NEVE Q_{1K} | 10 |
| 6.3 CARICO ACCIDENTALE DI SVERSAMENTO Q_{2K} | 10 |
| 6.4 AZIONE SISMICA..... | 10 |
| 6.4.1 Vita utile dell'opera e periodo di riferimento | 10 |
| 6.4.2 Parametri sismici su sito di riferimento | 11 |
| 6.4.3 Sismicità della zona..... | 11 |
| 6.5 COMBINAZIONI DI CARICO | 11 |
| 7. VERIFICA DEGLI INTERVENTI | 12 |
| 7.1 SOFTWARE DI CALCOLO | 12 |
| 7.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE | 12 |
| 7.2.1 Platea 1..... | 13 |
| 7.2.2 Platea 2..... | 13 |
| 7.2.3 Platea cabina MT/BT | 14 |
| 7.3 VERIFICA DEI COLLEGAMENTI DI BASE DEI SERBATOI ALLA PLATEA DI FONDAZIONE..... | 14 |
| 8. DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2018 (PUNTO 10.2) | 19 |
| 9. FASCICOLO DEI CALCOLI | 21 |

| | | | | |
|---|---|----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | Pagina 1 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

1. PREMESSA

L'intervento consiste nella realizzazione di un impianto di upgrading del biogas proveniente dalla discarica di rifiuti non pericolosi ubicata nel Comune di Terranuova Bracciolini (AR), sita in Strada Provinciale n. 7 di Piantravigne, località Podere Rota, di proprietà e gestione della società Centro Servizi Ambiente Impianti S.p.A. ("CSAI"). La discarica genera gas da discarica che può essere valorizzato come biometano.

Il nuovo impianto di upgrading, di proprietà della società Wave Italia 1 S.r.l. ("Wave"), utilizzerà il biogas grezzo captato dalla discarica ed attraverso l'adozione della tecnologia brevettata WAGABOX®, l'impianto sarà in grado di trattare il biogas e produrre biometano conforme alle specifiche tecniche richieste per l'immissione nella rete nazionale di trasporto del gas naturale.

L'obiettivo identificato è la riduzione delle emissioni di gas serra e, tramite la massimizzazione della captazione del biogas, il conseguimento della massima produzione possibile di biometano, in conformità alle specifiche necessarie per l'immissione nella rete di trasporto del gas naturale.

La presente relazione riferisce sulle opere civili (platee di fondazione) previste per il nuovo impianto di upgrading ed è redatta dal sottoscritto Ing. Marco Sacchetti iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Arezzo al n.742.

2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

TESTO UNICO SULLE COSTRUZIONI

- D.M. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni
- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

STRUTTURE

- Legge 5 Novembre 1971 n.1086 - Norma per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica

SISMICA

- Legge 2 febbraio 1974 n.64 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 2 ottobre 2003 e s.m.i. – Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003
- Sentenza della Corte Costituzionale n.82 del 10 aprile 2006
- D.M. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17 gennaio 2018 –Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni

| | | | | |
|--|----------------------|----------------|------------|------------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Ermesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2025 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE CIVILI | | Pagina 2 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO | OE.03.01.00 | | |

- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

TERRENI E FONDAZIONI

- D.M. Min. LL.PP. del 11 Marzo 1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione
- Circolare Min. LL.PP. 24 settembre 1998 n.30483 - Legge 02.02.1974 n. 64 - art.1 D.M. 11.03.1998 - Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione
- Circolare Min. LL.PP. 09 gennaio 1996, n. 218/24/3 - Legge 02.02.1974, n. 64 – art. 1 D.M. Min. LL.PP. 11.03.1988. - Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica
- Eurocodice Ec7 per l'Ingegneria Geotecnica

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere in progetto si è fatto riferimento alla relazione geologica allegata (EG.03.04.0). In particolare sulla base dei risultati delle indagini in sito e di laboratorio effettuate nell'ambito del suddetto studio è stato possibile costruire, con una ragionevole approssimazione, un modello geotecnico su cui sono state condotte le verifiche geotecniche e strutturali delle opere.

In particolare si è fatto riferimento alla sezione stratigrafica riportata nelle due figure seguenti. Da come si evince dalla relazione geologica le indagini hanno mostrato la presenza, di un livello di circa 6-7 metri di spessore, di depositi limo sabbiosi e sabbie limose colore marrone avana (**Livello LS-al**). Al di sotto di tale livello si riscontra la presenza di sabbie e sabbie limose di colore grigio con screziature marrone avana (**Livello SL-al**), dotate di uno spessore variabile (3-6 metri). Segue un livello di argille e argille limose di colore grigio, plastiche (**AL-Sub**), dotate di uno spessore di circa 25 metri. All'interno di tale orizzonte si rileva la presenza di un livello di sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio di 7 metri di spessore (**SL-Sub**).

Ai fini dei calcoli e delle verifiche geotecniche, per ciascun livello individuato, vengono proposti parametri geomeccanici caratteristici, congruenti con la tipologia di terreni rilevata:

| | | | | |
|---|---|----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | Pagina 3 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

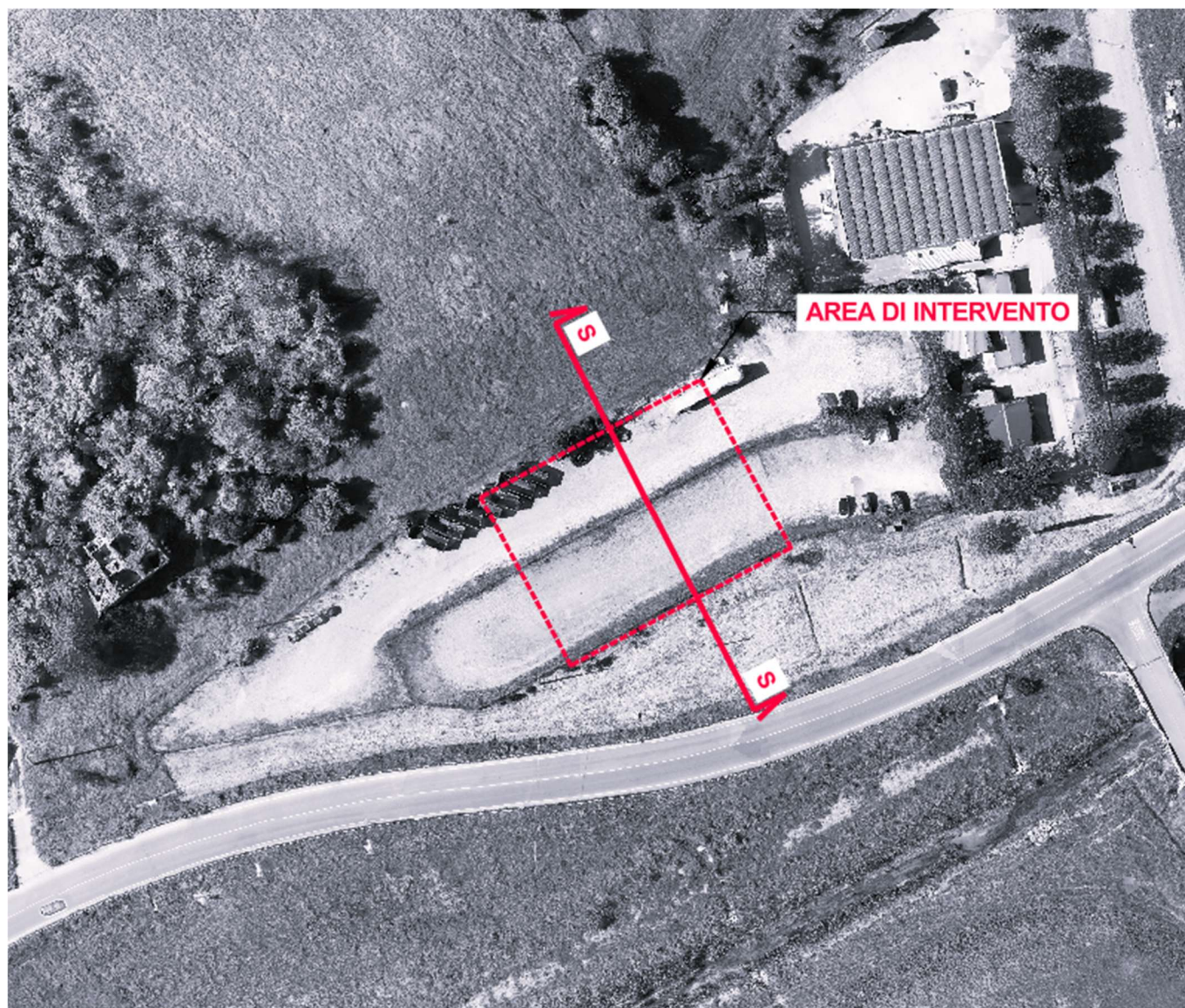


Figura 1 - Planimetria con indicazione dell'area di intervento e della sezione stratigrafica

| | | | | |
|--|----------------------|----------------|------------|------------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Ermesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2025 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE CIVILI | | Pagina 4 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO | OE.03.01.00 | | |

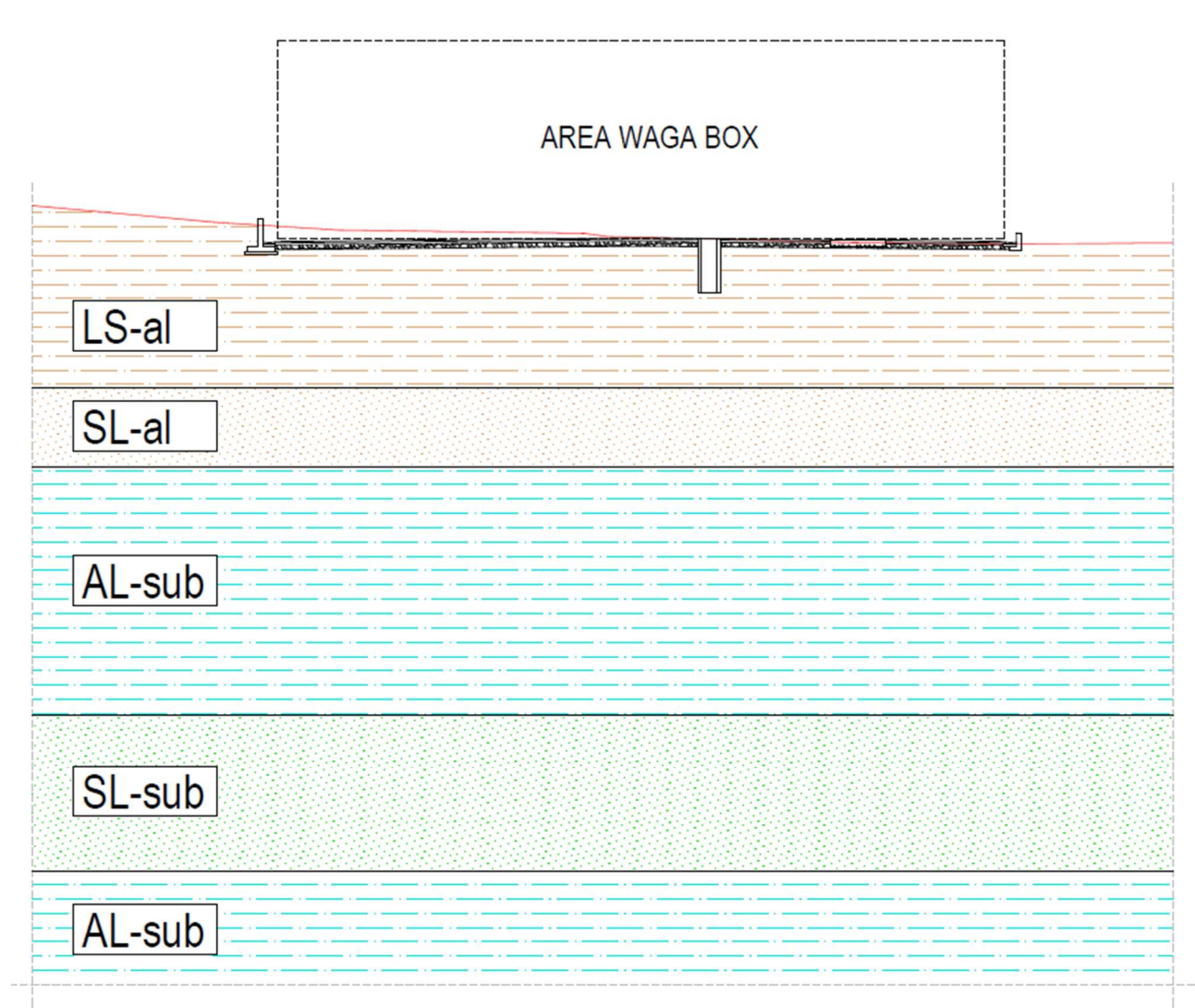


Figura 2 - Sezione stratigrafica di riferimento

| Livello LS-al - SL-al: prof: 0-7 m / 7.0-10.5 – Limi sabbiosi e sabbie limose colore marrone avana - Sabbie limose e sabbie colore grigio con screziature marrone avana | | | |
|---|----------|-----------------------|------|
| Peso di volume | γ | [t/m ³] | 1.90 |
| Coesione drenata | c' | [kg/cm ²] | 0.15 |
| Coesione non drenata | c_u | [kg/cm ²] | 0.00 |
| Angolo di attrito interno | Φ' | [°] | 20 |
| Modulo edometrico | E_d | [Mpa] | 6-10 |

| | | | | |
|--|---|----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | Pagina 5 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

| Livello AL-Sub: prof: 10.5-35.0 m – argille e argille limose colore grigio | | | |
|--|----------|-----------------------|-------|
| Peso di volume | γ | [t/m ³] | 1.97 |
| Coesione drenata | c' | [kg/cm ²] | 0.3 |
| Angolo di attrito interno | Φ' | [°] | 16 |
| Coesione non drenata | c_u | [kg/cm ²] | 1.5 |
| Modulo edometrico | E_d | [Mpa] | 14-30 |

| Livello SL-Sub: prof: 21.5-28.5 m – Sabbie limose e Limi sabbiosi colore grigio | | | |
|---|----------|-----------------------|---------|
| Peso di volume | γ | [t/m ³] | 2.3 |
| Coesione drenata | c' | [kg/cm ²] | 0.19 |
| Angolo di attrito interno | Φ' | [°] | 30 |
| Coesione non drenata | c_u | [kg/cm ²] | 0.6 |
| Modulo edometrico | E_d | [Mpa] | 10 – 12 |

Tabella 1 – Parametri geotecnici caratteristici delle unità stratigrafiche

Per quanto riguarda gli aspetti sismici sulla base delle indagini effettuato è possibile assegnare al sito in esame una categoria di suolo sismico di tipo C.

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

| | |
|-----------------------|--------|
| CALCESTRUZZO | |
| Resistenza | C32/40 |
| Consistenza | S4 |
| Classe di esposizione | XC4 |
| Copriferro | 3 cm |
| ACCIAIO PER CLS | |
| In barre | B450C |

Tabella 2 – Caratteristiche dei materiali

| | | | | |
|---|----------------------|----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2025 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE CIVILI | | Pagina 6 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO | OE.03.01.00 | | |

5. OPERE IN PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di tutte le opere civili necessarie per il funzionamento dell'impianto di upgrading e nello specifico le opere relative all'area "Wagabox" ed all'area su cui verrà alloggiato il nuovo manufatto cabina.

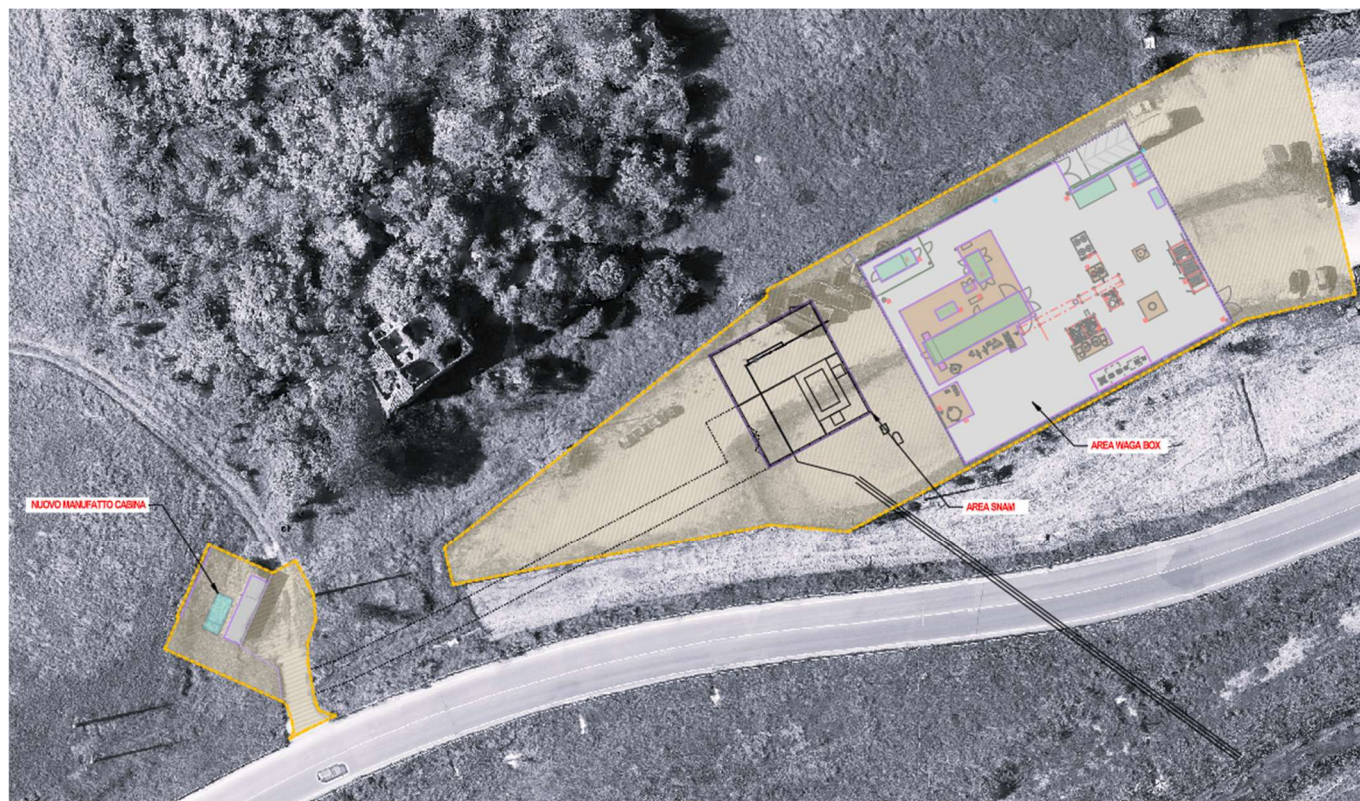


Figura 3 – Planimetria generale dell'intervento

Per l'alloggiamento delle varie sezioni di cui si compone l'impianto di upgrading sono state previste nell'area Wagabox in totale 8 platee di fondazione in c.a. dello spessore di 30cm come meglio rappresentate nella figura seguente. Tutte le suddette platee risultano armate all'intradosso ed all'estradosso con r.e.s. D12 20x20cm.

Inoltre il progetto prevede la realizzazione di una platea in c.a. delle dimensioni di 280x1100cm e dello spessore di 30cm per l'alloggiamento del nuovo manufatto cabina di trasformazione MT/BT. La platea risulta armata con barre D16/20 all'intradosso ed all'estradosso.

| | | | | |
|---|---|----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | Pagina 7 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

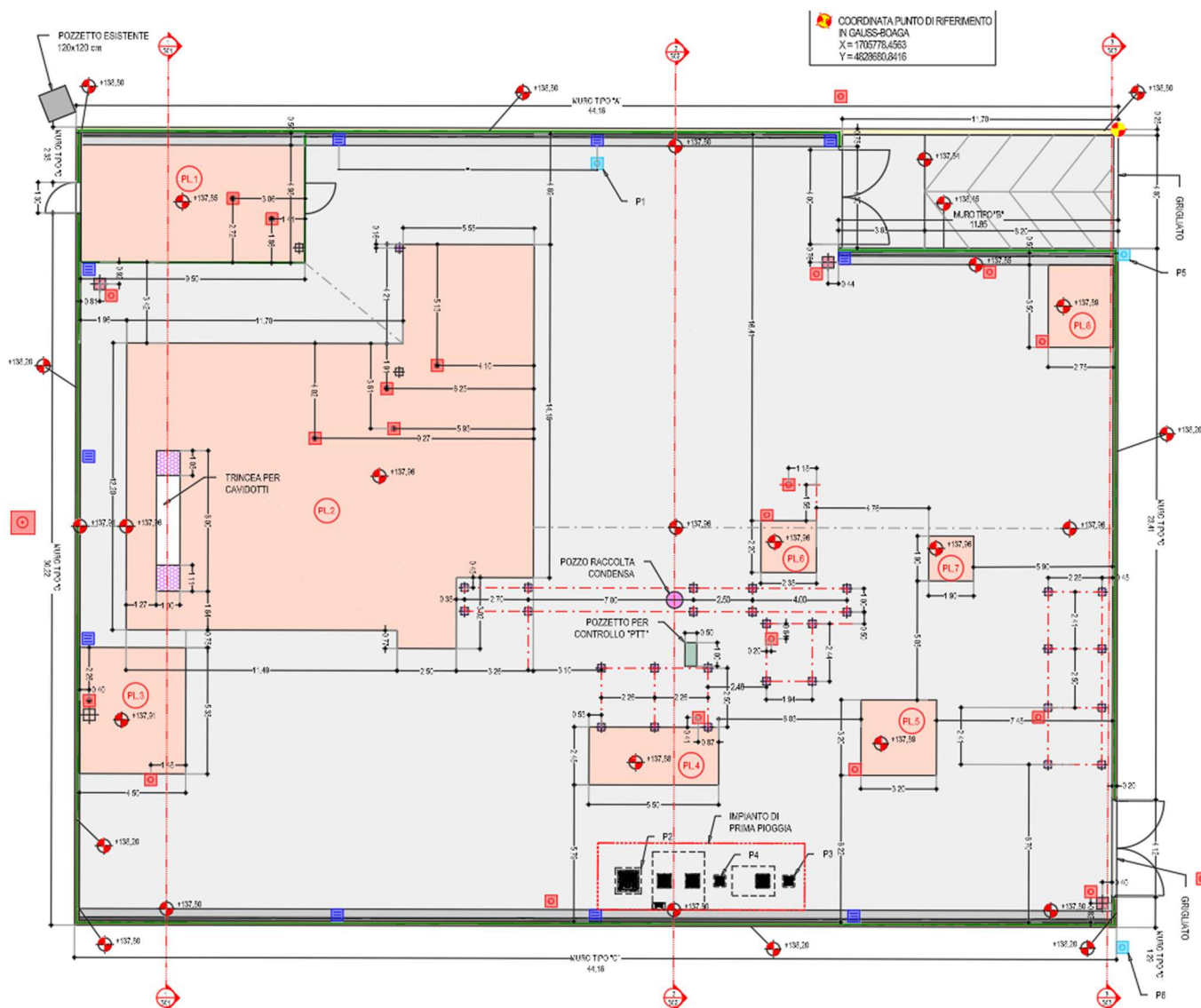


Figura 4 – Platee in c.a. nell'area Wagabox

6. ANALISI DEI CARICHI

Il progetto degli elementi strutturali è stato eseguito per l'intensità dei carichi stabiliti dalle vigenti normative, considerando il valore caratteristico dei singoli elementi costruttivi e delle singole categorie omogenee di carico.

Dall'analisi dei carichi s'individuano i seguenti gruppi di azioni omogenee:

- G1k Peso proprio degli elementi strutturali, peso proprio del terreno e forze indotte dallo stress, peso di tutti gli elementi non strutturali

| | | | | |
|--|----------------------|----------------|------------|------------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Ermesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2025 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE CIVILI | | Pagina 8 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO | OE.03.01.00 | | |

- | | | | | |
|--|---|----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| | | Pagina 9 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

Platea PL6

Dimensioni 2.20x2.35m

Carichi agenti: Chiller 11 kN

Platea PL7

Dimensioni 1.90x1.90m

Carichi agenti: Buffer ossidazione (D1.20m) 6.5 kN

Platea PL8

Dimensioni 2.75x3.50m

Carichi agenti: Serbatoio raccolta condense 14 kN

Platea Cabina MT/BT

Dimensioni 2.80x6.00m

Carichi agenti: Manufatto cabina 16 kPa

CARICO NEVE q_{1k}

6.2 CARICO NEVE Q_{1K}

Il carico generato dalla neve è stato valutato secondo quanto previsto dal paragrafo 3.4 delle NTC2018; nello specifico si è cautelativamente assunto un carico neve di 1 kN/m^2 .

6.3 CARICO ACCIDENTALE DI SVERSAMENTO Q_{2K}

Il carico generato dallo sversamento accidentale dei fluidi reflui di processo si assume pari a 1.5 kN/m^3 .

6.4 AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto sono state determinate in accordo a quanto previsto dal D.M. 17 gennaio 2018.

L'analisi di stabilità globale dei pendii in condizioni sismiche è stata effettuata in ottemperanza a quanto previsto al punto 7.11.3.5 dalle NTC18. Nel progetto si è tenuto conto dell'azione sismica attraverso il valore di accelerazione massima del terreno espressa mediante i coefficienti sismici orizzontale e verticale, nei modi richiesti dal DM 17/1/2018. La sismicità locale è di tipo sito-dipendente ed è già tabulata nei suoi parametri fondamentali.

6.4.1 Vita utile dell'opera e periodo di riferimento

Trattandosi di opere ordinarie di ingegneria civile si assume la vita nominale dell'opera V_n pari a 50 anni e una classe d'uso II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. La vita nominale dell'opera è stata assunta pari a 50 anni e pertanto la vita di riferimento V_r su cui valutare l'azione sismica risulta pari a 50 anni. Definita la vita di riferimento dell'opera e la probabilità di non superamento nel periodo di riferimento

| | | | | |
|--|----------------------|-----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2025 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE CIVILI | | Pagina 10 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO | OE.03.01.00 | | |

è possibile determinare il periodo di ritorno dell'azione sismica. Allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), quello in cui si progettano le strutture ordinarie in zona sismica, alla $V_r = 50$ anni è associato un $T_r = 475$ anni.

6.4.2 Parametri sismici su sito di riferimento

L'azione sismica di progetto viene definita partendo dalla pericolosità sismica di base del sito in esame, mediante un approccio "sito dipendente". Pertanto la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito specifico in esame. I caratteri del moto sismico sul sito di riferimento rigido orizzontale dai quali viene definita la pericolosità sismica sono descritti dall'accelerazione massima al sito a_g , dal valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale F_0 , dal periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale T_c . Partendo dai valori dei suddetti parametri sul sito di riferimento vengono definite le forme spettrali per ciascuna delle probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento P_{vr} , in funzione della vita di riferimento dell'opera.

Sito in esame (espressi in WGS84):

Latitudine: 43.553355 [°] – Longitudine: 11.589849 [°]

Classe d'uso: II

Vita nominale 50 anni

| | Prob. superamento [%] | T_r [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_c [s] |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| Salvaguardia della vita (SLV) | 10 | 475 | 0,127 | 2,415 | 0,303 |

Tabella 5- Parametri sismici di base

6.4.3 Sismicità della zona

Il moto sismico così individuato deve essere corretto tenendo conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo e dalla morfologia locale, ovvero con la determinazione della categoria di sottosuolo specifica e dei coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica.

Nel caso specifico il coefficiente di amplificazione topografica S_T risulta pari a 1.2 (vedi Tabella 3.2.V – NTC18), in quanto la morfologia locale è caratterizzata da un rilievo con inclinazione media dei versanti $>15^\circ$ (categoria topografica T2). Il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S si ricava, in funzione della categoria di sottosuolo, mediante le espressioni fornite nella Tabella 3.2.V delle NTC18. Nello specifico e con riferimento a quanto riportato nella Relazione Geologica la velocità equivalente V_{s30} media risulta di 295 m/s e pertanto è stata assunta una categoria di sottosuolo di Tipo C. Il coefficiente S_s è pari dunque a 1.50.

6.5 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni delle azioni adottate sono conformi a quanto prescritto dalla normativa vigente NTC18: le verifiche delle strutture in elevazione sono state effettuate con l'Approccio 1 mentre quelle di fondazione con l'Approccio 2. Si rimanda al fascicolo di calcolo per tutti i dettagli.

| | | | | |
|---|---|-----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | Pagina 11 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

7. VERIFICA DEGLI INTERVENTI

Nel seguito si descrivono i criteri adottati per la progettazione e la verifica geotecnica e strutturale degli interventi.

7.1 SOFTWARE DI CALCOLO

Per l'analisi geotecnica e strutturale e le verifiche di sicurezza locali e globali si è fatto ausilio del codice di calcolo API++ "Platee, Plinti, Graticci" Ver.14.02 della Aztec Informatica Srl. Il codice di calcolo API++ è un programma dedicato all'analisi ed al calcolo di platee di fondazione (su pali e nervate), di plinti (su pali, graticci di plinti e plinti isolati), di graticci di travi di fondazione (anche su pali). È un programma completo sviluppato utilizzando la tecnica degli elementi finiti (FEM) che non richiede moduli aggiuntivi.

All'interno del software sono perciò stati implementati diversi elementi adatti allo scopo. Gli elementi utilizzati sono elementi lastra per l'analisi di piastre caricate nel proprio piano, elementi piastra per l'analisi di piastre caricate ortogonalmente al piano medio, elementi travi per l'analisi di graticci e piastre nervate, elementi molle per la simulazione dell'interazione terreno fondazione.

In particolare il software consente l'analisi di fondazioni di tipo misto nelle quali si sviluppano meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa. Le normative NTC 2008 e NTC 2018 introducono il concetto di fondazione mista (fondazione la cui resistenza è demandata al terreno sul quale poggia la fondazione ed ai pali/micropali). Gli scenari previsti dalle norme prevedono due configurazioni possibili: pali/micropali usati come riduttori di cedimenti o pali/micropali collaboranti alla portanza. Nel primo caso la portanza deve essere garantita dalla sola fondazione (no pali) mentre nel secondo caso la portanza è la somma dei due contributi (terreno e pali). Nel programma per far lavorare la fondazione come fondazione mista basta definire una costante di Winkler di sottofondo (sotto la fondazione) e devono essere presenti i pali.

API++ consente anche di eseguire il calcolo di una platea di fondazione mediante il modello di interazione che consente di calcolare in modo più corretto l'interazione fra la platea ed il terreno utilizzando i parametri di deformabilità del terreno stesso (modulo edometrico, modulo elastico, pendenze della curva edometrica). Il metodo implementato è una variante del metodo di Koenig e Sherif noto in letteratura.

Nel caso della fondazione mista una volta effettuata la ripartizione dei carichi in fondazione, in funzione della rigidità e della posizione dei pali e delle caratteristiche del terreno, ogni palo viene analizzato mediante un'analisi non lineare al passo con il metodo degli elementi finiti. Per il palo il terreno viene considerato come una serie di molle orizzontali con comportamento elastoplastico e l'utente può selezionare il criterio di rottura desiderato. API++ consente anche il progetto e la verifica delle armature sia dei pali di fondazione che della platea di fondazione.

Il programma consente di effettuare tutte le verifiche agli stati limite, sia di tipo strutturale che geotecnico, in condizioni statiche e sismiche, previste dalle NTC2018 per le fondazioni. Le verifiche agli stati limite in condizioni statiche riguardanti le fondazioni vengono effettuate secondo quanto previsto al punto 6.4 delle NTC18, mentre le verifiche agli stati limite in condizioni sismiche vengono effettuate secondo quanto previsto al punto 7.11.5 delle NTC18.

7.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE

| | | | | |
|--|----------------------|-----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2025 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE CIVILI | | Pagina 12 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO | OE.03.01.00 | | |

Nel seguito si riporta una sintesi delle verifiche più significative delle platee di fondazione.

7.2.1 Platea 1

| | | |
|--|--------------------------|-----------------------------------|
| Portanza ultima (Qu) | 30720,1094 [kN] | [647 kPa] |
| Portanza ultima pali (Qup) | 0,0000 [kN] | |
| Portanza di progetto (Qd) | 13356,5693 [kN] | |
| Carico verticale trasferito al terreno (N) | 268,5255 [kN] | |
| Fattore di sicurezza (Qd/N) | 49,740 | |
| B = 9,50 [m] | L = 5,00 [m] | |
| Nc 14,83 | Nc' 19,66 | |
| Nq 6,40 | Nq' 8,11 | |
| Ng 2,95 | Ng' 2,10 | |
| Pressione massima/minima sul terreno | 20,504 | 3,258 [kPa] |
| Pressione media sul terreno | 5,653 [kPa] | |
| Pressione geostatica piano di posa | 19 kPa | |
| Parametri strato equivalente | | |
| H = 3,57 m | $\gamma = 19,0000$ kN/mc | $\phi = 20,00^\circ$ c = 20,0 kPa |
| Spostamento minimo | w = 0,004464 [m] | nodo 84 |
| Spostamento massimo | w = 0,006951 [m] | nodo 1 |
| Spostamento differenziale | dw = 0,002487 [m] | |

Figura 5 – Risultati delle verifiche geotecniche – Platea 1

7.2.2 Platea 2

| | | |
|--|--------------------------|-----------------------------------|
| Portanza ultima (Qu) | 139352,7792 [kN] | [786 kPa] |
| Portanza ultima pali (Qup) | 0,0000 [kN] | |
| Portanza di progetto (Qd) | 60588,1649 [kN] | |
| Carico verticale trasferito al terreno (N) | 615,4600 [kN] | |
| Fattore di sicurezza (Qd/N) | 98,444 | |
| B = 17,00 [m] | L = 15,00 [m] | |
| Nc 14,44 | Nc' 20,66 | |
| Nq 6,14 | Nq' 8,33 | |
| Ng 2,74 | Ng' 1,35 | |
| Pressione massima/minima sul terreno | 128,070 | 0,000 [kPa] |
| Pressione media sul terreno | 2,414 [kPa] | |
| Pressione geostatica piano di posa | 19 kPa | |
| Parametri strato equivalente | | |
| H = 10,63 m | $\gamma = 19,0743$ kN/mc | $\phi = 19,58^\circ$ c = 21,1 kPa |

| | | | | |
|--|---|-----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | Pagina 13 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| Spostamento minimo | $w = 0,001553$ [m] nodo 484 |
| Spostamento massimo | $w = 0,068832$ [m] nodo 555 |
| Spostamento differenziale | $dw = 0,067280$ [m] |

Figura 6 – Risultati delle verifiche geotecniche – Platea 2

7.2.3 Platea cabina MT/BT

| | |
|--|--|
| Portanza ultima (Q_u) | 10411,8795 [kN] [627 kPa] |
| Portanza ultima pali (Q_{up}) | 0,0000 [kN] |
| Portanza di progetto (Q_d) | 4526,9041 [kN] |
| Carico verticale trasferito al terreno (N) | 224,1120 [kN] |
| Fattore di sicurezza (Q_d/N) | 20,199 |
| B = 6,00 [m] | L = 2,80 [m] |
| Nc 14,83 | Nc' 20,38 |
| Nq 6,40 | Nq' 8,33 |
| Ng 2,95 | Ng' 2,31 |
| Pressione massima/minima sul terreno | 95,543 6,344 [kPa] |
| Pressione media sul terreno | 13,340 [kPa] |
| Pressione geostatica piano di posa | 19 kPa |
| Parametri strato equivalente | |
| H = 2,00 m | $\gamma = 19,0000$ kN/mc $\phi = 20,00^\circ$ c = 20,0 kPa |
| Spostamento minimo | $w = 0,007958$ [m] nodo 2 |
| Spostamento massimo | $w = 0,008999$ [m] nodo 35 |
| Spostamento differenziale | $dw = 0,001041$ [m] |

Figura 7 – Risultati delle verifiche geotecniche – Platea cabina MT/BT

Le verifiche strutturali sono riportate nel fascicolo di calcolo allegato.

7.3 VERIFICA DEI COLLEGAMENTI DI BASE DEI SERBATOI ALLA PLATEA DI FONDAZIONE

Per le verifiche dei collegamenti di base dei serbatoi dell'impianto alla platea di fondazione a si è fatto riferimento ai criteri della norma Europea UNI EN 1992-4:2018 "Progettazione degli attacchi per utilizzo nel calcestruzzo". In termini del tutto generali la norma succitata consente di individuare la resistenza caratteristica dell'ancorante post inserito (singolo o inserito in un gruppo di ancoranti, come nel caso in esame) nei confronti delle sollecitazioni di trazione e di taglio, considerando differenti ipotesi di rottura lato acciaio o lato calcestruzzo.

| | | | | |
|--|----------------------|-----------------|------------|------------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Ermesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2025 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE CIVILI | | Pagina 14 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO | OE.03.01.00 | | |

Sempre in termini del tutto generali le verifiche per gli ancoraggi muniti di testa o post inseriti nel caso di carico di trazione riguardano le seguenti modalità di rottura:

- Rottura dell'acciaio (steel failure);
- Rottura conica del calcestruzzo (concrete cone failure);
- Rottura per sfilamento
- Rottura combinata a sfilamento ed a rottura conica del calcestruzzo (combined pull-out and concrete failure);
- Rottura per splitting del calcestruzzo (splitting failure).
- Rottura per blow-out del calcestruzzo

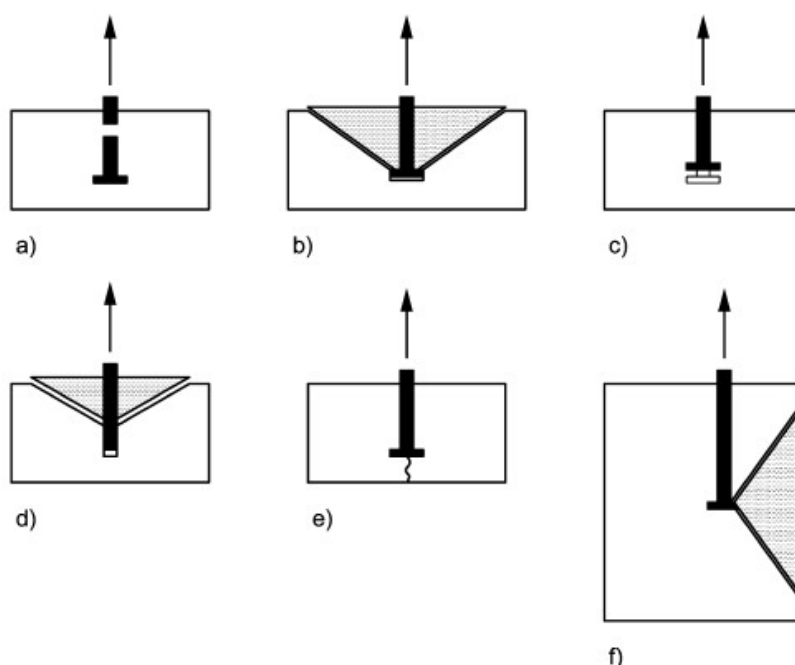


Figura 8 – Modalità di rottura degli ancoraggi per carichi di trazione

Mentre nel caso di carico di taglio riguardano invece le seguenti modalità di rottura:

- Rottura dell'acciaio senza braccio di leva
- Rottura dell'acciaio con braccio di leva
- Rottura per pry-out del calcestruzzo
- Rottura del bordo di calcestruzzo

| | | | | |
|---|---|-----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | Pagina 15 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

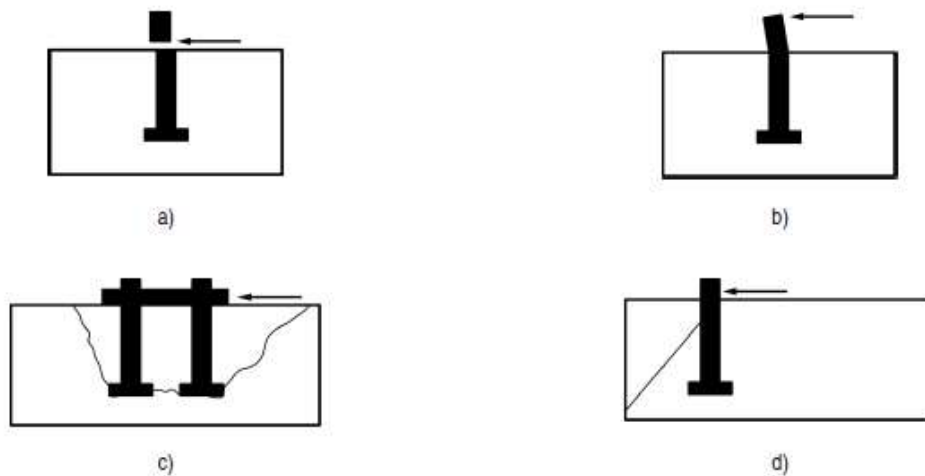


Figura 9 - Modalità di rottura degli ancoraggi per carichi di taglio

prospetto 7.2 Verifiche richieste per ancoranti muniti di testa post-inseriti in taglio

| | Modalità di rottura | Singolo ancorante | Gruppo di ancoranti | |
|--|---|---|---|--|
| | | | Ancorante più caricato | Gruppo |
| 1 | Rottura dell'acciaio dell'ancorante senza braccio di leva | $V_{Ed} \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$ | $V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$ | |
| 2 | Rottura dell'acciaio dell'ancorante con braccio di leva | $V_{Ed} \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{Ms}}$ | $V_{Ed}^h \leq V_{Rd,s,M} = \frac{V_{Rk,s,M}}{\gamma_{Ms}}$ | |
| 3 | Rottura per pry-out del calcestruzzo | $V_{Ed} \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$ | | $V_{Ed}^a \leq V_{Rd,cp} = \frac{V_{Rk,cp}}{\gamma_{Mc}}$ a) |
| 4 | Rottura del bordo di calcestruzzo | $V_{Ed} \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$ | | $V_{Ed}^a \leq V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$ |
| 5 | Rottura dell'acciaio dell'armatura supplementare ^{b)} | $N_{Ed,re} \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$ | $N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,re} = \frac{N_{Rk,re}}{\gamma_{Ms,re}}$ | |
| 6 | Rottura dell'ancoraggio dell'armatura supplementare ^{b)} | $N_{Ed,re} \leq N_{Rd,a}$ | $N_{Ed,re}^h \leq N_{Rd,a}$ | |
| a) Per le eccezioni, vedere punto 7.2.2.4 (4). | | | | |
| b) La forza di trazione che agisce sull'armatura è calcolata da V_{Ed} secondo la formula (6.6). | | | | |

Tabella 3 - Verifiche di resistenza al taglio secondo UNI EN 1992-4

Nello specifico per il caso in specie "Wave" ha fornito le azioni massime agenti sui singoli ancoraggi dei vari serbatoi dell'impianto. Per i serbatoi 4, 5, 7, 8, 13 e 17 si prevede l'impiego di barre filettate M16 di classe 8.8. della lunghezza di 25cm ed ancorante chimico mentre per il serbatoio dell'azoto di prevede l'impiego di barre filettate M30 di classe 8.8. sempre della lunghezza di 25cm.

| | | | | |
|---|----------------------|-----------------|------------|------------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Ermesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2025 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE CIVILI | | Pagina 16 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO | OE.03.01.00 | | |

| | Fx (N) | Fy (N) | Fz (N) |
|----------|---------------|---------------|---------------|
| Boulon 1 | 3323,9 | 570,41 | -6797,6 |
| Boulon 2 | 2393,6 | 2636,1 | -12765 |
| Boulon 3 | 548,65 | 1995, | -7851,3 |
| Boulon 4 | 61,099 | 1125,8 | 456,21 |

Tabella 4 – Serbatoio 4

| | Fx (N) | Fy (N) | Fz (N) |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| Boulon 1 | 1034,6 | 1576,2 | -17634 |
| Boulon 2 | 1171,6 | 1239,7 | -17873 |
| Boulon 3 | 1392,2 | 782,6 | -6517,2 |

Tabella 5 – Serbatoio 5

| | Fx (N) | Fz (N) | Fy (N) |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| Boulon 1 | -31,542 | 32,922 | 155,82 |
| Boulon 2 | -98,182 | 23,87 | 22,66 |
| Boulon 3 | -67,844 | -5,3772 | 59,799 |
| Boulon 4 | -217,95 | -38,218 | 100,4 |
| Boulon 5 | -136,9 | -22,894 | 156,59 |
| Boulon 6 | -79,934 | 10,634 | 117,67 |

Tabella 6 – Serbatoio 7

| | | | | |
|---|---|-----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | Pagina 17 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

| | Fx (N) | Fz (N) | Fy (N) |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| Boulon 1 | 271,47 | 382,97 | -5961,4 |
| Boulon 2 | 747,42 | 394,94 | -372,84 |
| Boulon 3 | 537,96 | 776,36 | -3060,5 |

Tabella 7 – Serbatoio 8

| | Fx (N) | Fy (N) | Fz (N) |
|----------|----------------|----------------|---------------|
| Boulon 1 | -26,372 | -3170,7 | 582,88 |
| Boulon 2 | -809,72 | 2981,1 | 476,26 |
| Boulon 3 | -50,387 | -2556,1 | 452,21 |
| Boulon 4 | -94,592 | -856,55 | 18,629 |
| Boulon 5 | -223,58 | -805,62 | -53,336 |
| Boulon 6 | -777,28 | 3390, | 505,3 |

Tabella 8 – Serbatoio 13

| | Fx (N) | Fz (N) | Fy (N) |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| Boulon 1 | 507,87 | -3031,2 | -63,845 |
| Boulon 2 | 7,57 | -1501,9 | -167,47 |
| Boulon 3 | -124,7 | -2079,3 | -246,57 |
| Boulon 4 | 412,04 | 239,07 | -728,96 |
| Boulon 5 | 499,99 | 289,7 | -719,63 |
| Boulon 6 | 604,66 | -4420,4 | 19,04 |

Tabella 9 – Serbatoio 17

| | | | | |
|--|----------------------|-----------------|------------|------------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Ermesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2025 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE CIVILI | | Pagina 18 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO | OE.03.01.00 | | |

| VERIFICA DEI TASSELLI | | | |
|-----------------------|----------|-------------------------|---------------------|
| CASI DI CARICO | VERIFICA | SOLLECITAZIONI APPOGGIO | |
| | | TIRO | TAGLIO |
| | | N ^g [kN] | V ^g [kN] |
| SLU PERM | statica | 0,00 | 0,00 |
| SLU NEVE | statica | 0,00 | 0,00 |
| SLU VENTO (VUOTO) | statica | 13,38 | 5,29 |
| SLU NEVE + VENTO | statica | 0,00 | 3,17 |
| SLU VENTO + NEVE | statica | 0,00 | 5,29 |
| SISMA PIENO H | sismica | 98,91 | 22,79 |
| SISMA PIENO V + H | sismica | 0,00 | 6,84 |
| SISMA VUOTO H + V | sismica | 50,35 | 9,57 |
| SISMA VUOTO V + H | sismica | 0,00 | 2,87 |
| EQU VENTO | statica | 16,52 | 5,29 |

Tabella 10 – Serbatoio Azoto

Le verifiche strutturali più significative degli ancoraggi sono riportate nel fascicolo di calcolo allegato.

TUTTE LE VERIFICHE GEOTENCICHE E STRUTTURALI RISULTANO SODDISFATTE

8. DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2018 (PUNTO 10.2)

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Per il calcolo di piastre, plinti e graticci si utilizza il metodo degli elementi finiti. Il generatore di mesh permette di utilizzare elementi triangolari o quadrangolari, anche a deformabilità tagliente.

Per le strutture di fondazione il terreno viene modellato con una serie di molle alla Winkler non reagenti a trazione. Il calcolo delle tensioni indotte nel terreno può essere condotto con i metodi di Boussinesq, Westergaard o Frohlich. Il calcolo dei cedimenti può essere eseguito con il metodo edometrico (con il modulo edometrico o con la curva edometrica) o elastico. Il calcolo della portanza può essere fatto con i metodi di Terzaghi, Meyerhof, Hansen o Vesic.

In presenza di pali viene eseguito il calcolo di portanza verticale (di punta e laterale) e trasversale (portanza per carichi orizzontali).

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

| | | | | |
|---|---|-----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | Pagina 19 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dai produttori 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.

Ufficio tecnico – C.S.A.I.

Ing. Marco SACCHETTI

| | | | | |
|--|----------------------|-----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2025 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE CIVILI | | Pagina 20 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO | OE.03.01.00 | | |

9. FASCICOLO DEI CALCOLI

- PLATEE DI FONDAZIONE
- COLLEGAMENTI DI BASE DEI SERBATOI

| | | | | |
|---|---|-----------------|------------|-----------|
| CENTRO SERVIZI AMBIENTE IMPIANTI S.p.A. – WAVE ITALIA 1 S.r.l. | | Rev. | Data | Emesso da |
| DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DI "CASA ROTA" | | 0 | 10/02/2026 | MS |
| Nuovo impianto di upgrading del biogas da discarica per la produzione di biometano – OPERE EDILI | | Pagina 21 di 21 | | |
| PROGETTO ESECUTIVO | RELAZIONE DI CALCOLO – FASCICOLO DEI CALCOLI et AL. | OE.03.01.1 | | |

Progetto: 4124_Biometano WAGA – PLATEA 1
Ditta:
Comune: Terranuova B.ni
Progettista: Ing. Marco SACCHETTI
Direttore dei Lavori: Ing. Marco SACCHETTI
Impresa:

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 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.
Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Richiami teorici - Metodi di analisi

Calcolo - Analisi ad elementi finiti

Per l'analisi platea si utilizza il metodo degli elementi finiti (FEM). La struttura viene suddivisa in elementi connessi fra di loro in corrispondenza dei nodi. Il campo di spostamenti interno all'elemento viene approssimato in funzione degli spostamenti nodali mediante le funzioni di forma. Il programma utilizza, per l'analisi tipo piastra, elementi quadrangolari e triangolari. Nel problema di tipo piastra gli spostamenti nodali sono lo spostamento verticale w e le rotazioni intorno agli assi x e y , ϕ_x e ϕ_y , legati allo spostamento w tramite relazioni

$$\begin{aligned}\phi_x &= -dw/dy \\ \phi_y &= dw/dx\end{aligned}$$

Note le funzioni di forma che legano gli spostamenti nodali al campo di spostamenti sul singolo elemento è possibile costruire la matrice di rigidezza dell'elemento \mathbf{k}_e ed il vettore dei carichi nodali dell'elemento \mathbf{p}_e .

La fase di assemblaggio consente di ottenere la matrice di rigidezza globale della struttura \mathbf{K} ed il vettore dei carichi nodali \mathbf{p} . La soluzione del sistema

$$\mathbf{K} \mathbf{u} = \mathbf{p}$$

consente di ricavare il vettore degli spostamenti nodali \mathbf{u} .

Dagli spostamenti nodali è possibile risalire per ogni elemento al campo di spostamenti ed alle sollecitazioni M_x , M_y ed M_{xy} .

Il terreno di fondazione se presente viene modellato con delle molle disposte in corrispondenza dei nodi. La rigidezza delle molle è proporzionale alla costante di sottofondo k ed all'area dell'elemento.

I pali di fondazione sono modellati con molle verticali aventi rigidezza pari alla rigidezza verticale del palo.

Per l'analisi tipo lastra (analisi della piastra soggetta a carichi nel piano) vengono utilizzati elementi triangolari a 6 nodi a deformazione quadratica. Gli spostamenti nodali sono gli spostamenti u e v nel piano XY . L'analisi fornisce in tal caso il campo di spostamenti orizzontali e le tensioni nel piano della lastra σ_x , σ_y e τ_{xy} . Dalle tensioni è possibile ricavare, noto lo spessore, gli sforzi normali N_x , N_y e N_{xy} . Nell'analisi tipo lastra i pali di fondazione sono modellati con molle orizzontali in direzione X e Y aventi rigidezza pari alla rigidezza orizzontale del palo.

Nel caso di platea nervata le nervature sono modellate con elementi tipo trave (con eventuale rigidezza torsionale) connesse alla piastra in corrispondenza dei nodi degli elementi.

Metodo calcolo portanza

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

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_q \geq 1.0$

Le espressioni di Hansen per il calcolo della capacità portante si differenziano a seconda se siamo in presenza di un terreno puramente coesivo ($\phi=0$) o meno e si esprimono nel modo seguente:

Caso generale

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

$$q_u = 5.14 c (1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + q$$

in cui d_c , d_q , d_γ sono i fattori di profondità; s_c , s_q , s_γ sono i fattori di forma; i_c , i_q , i_γ sono i fattori di inclinazione del carico; b_c , b_q , b_γ sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c , g_q , g_γ sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori N_c , N_q , N_γ sono espressi come:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p$$

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

$$N_{\gamma} = 1.5(N_q - 1)\tan\phi$$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

Fattori di forma

$$\text{per } \phi=0 \quad s_c = 0.2 \frac{B}{L}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan\phi$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \arctg \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} > 1$$

I vari coefficienti si esprimono come

$$\text{per } \phi=0 \quad d_c = 0.4k$$

$$\text{per } \phi>0 \quad d_c = 1 + 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2\tan\phi(1 - \sin\phi)^2 k$$

$$d_{\gamma} = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Indichiamo con V e H le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con A_f l'area efficace della fondazione ottenuta come $A_f = B' \times L'$ (B' e L' sono legate alle dimensioni effettive della fondazione B , L e all'eccentricità del carico e_B , e_L dalle relazioni $B' = B - 2e_B$ $L' = L - 2e_L$) e con η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = \frac{1}{2} \left(1 - \left[1 - \frac{H}{A_f C_a} \right]^{0.5} \right)$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5H}{V + A_r C_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

$$\text{per } \eta = 0 \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7H}{V + A_r C_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

$$\text{per } \eta > 0 \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ)H}{V + A_r C_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$$\text{per } \phi = 0 \quad b_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q = e^{-2\eta \text{tg} \phi}$$

$$b_\gamma = e^{-2.7\eta \text{tg} \phi}$$

Fattori di inclinazione del terreno

Indicando con β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

$$\text{per } \phi = 0 \quad g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.05 \text{tg} \beta)^5$$

Per poter applicare la formula di Hansen devono risultare verificate le seguenti condizioni:

$$H < V \text{tg} \delta + A_r C_a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_{q_r}, i_\gamma > 0$$

$$\beta + \eta \leq 90^\circ$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Elastico

Il metodo dell'elasticità per il calcolo dei cedimenti fornisce la seguente espressione:

$$w = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i}{E_i} \Delta z_i$$

dove

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

E è il modulo elastico relativo 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;
Lo spessore dello strato compressibile considerato nell'analisi dei cedimenti è stato determinato in funzione della percentuale della tensione di contatto.

Disposizione delle armature

Le armature vengono disposte secondo due direzioni, una principale ed una secondaria. Per il calcolo delle stesse si fa riferimento ai valori nodali delle sollecitazioni ottenute dall'analisi ad elementi finiti. Per la disposizione delle stesse occorre suddividere la piastra in in numero di strisce opportuno nelle due direzioni.

Il programma utilizza strisce della larghezza di circa un metro.

Dati

Materiali

Simbologia adottata

| | |
|----------------|---|
| n° | Indice materiale |
| Descrizione | Descrizione materiale |
| TC | Tipo calcestruzzo |
| Rck | Resistenza cubica caratteristica, espresso in [kPa] |
| γ_{cls} | Peso specifico calcestruzzo, espresso in [kN/mc] |
| E | Modulo elastico calcestruzzo, espresso in [kPa] |
| ν | Coeff. di Poisson |
| n | Coeff. di omogeneizzazione |
| TA | Tipo acciaio |

| n° | Descrizione | TC | Rck [kPa] | γ_{cls} [kN/mc] | E [kPa] | ν | n | TA |
|----|-------------|--------|--------------|---------------------------|------------|-------|-------|-------|
| 1 | CLS 32/40 | C32/40 | 40000 | 1,00 | 33642648 | 0.200 | 15.00 | B450C |

Geometria

Coordinate contorno esterno

| n° | X [m] | Y [m] | n° | X [m] | Y [m] | n° | X [m] | Y [m] | n° | X [m] | Y [m] |
|----|----------|----------|----|----------|----------|----|----------|----------|----|----------|----------|
| 1 | 2,00 | 12,00 | 2 | 11,50 | 12,00 | 3 | 11,50 | 17,00 | 4 | 2,00 | 17,00 |

Spessori piastra

Spessore costante 0,3000 [m]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

| | |
|----------------|--|
| Descrizione | Descrizione terreno |
| γ | Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc] |
| γ_{sat} | Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/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 [kPa] |
| ca | Adesione del terreno espressa in [kPa] |
| τ_i | Tensione tangenziale, per calcolo portanza micropali con il metodo di Bustamante-Doix, espressa in [kPa] |
| α | Coeff. di espansione laterale |

| Descrizione | γ [kN/mc] | γ_{sat} [kN/mc] | ϕ [°] | δ [°] | c [kPa] | ca [kPa] |
|-------------|---------------------|---------------------------|---------------|-----------------|------------|-------------|
| LS-al | 19,000 | 19,500 | 20.00 | 13.33 | 20,0 | 0,0 |
| AL-sub | 19,700 | 20,000 | 16.00 | 10.67 | 30,0 | 0,0 |
| SL-sub | 21,000 | 21,000 | 30.00 | 20.00 | 19,0 | 0,0 |

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| Descrizione | Descrizione terreno |
| Ed | Modulo edometrico espresso in [kPa] |
| RR | Rapporto di ricomprensione |
| CR | Rapporto di compressione |
| OCR | Grado di sovraconsolidazione |
| E | Modulo elastico espresso in [kPa] |
| ν | Coefficiente di Poisson |

| Descrizione | Ed [kPa] | RR | CR | OCR | E [kPa] | ν |
|-------------|-------------|--------|--------|--------|------------|-------|
| LS-al | 8000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 6000 | 0.200 |
| AL-sub | 22000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 16500 | 0.200 |
| SL-sub | 11000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 8250 | 0.200 |

Descrizione stratigrafia e falda

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]
 Terreno Terreno associato allo strato

| N | Z1 [m] | Z2 [m] | Z3 [m] | Terreno |
|---|-----------|-----------|-----------|---------|
| 1 | -10,5 | -10,5 | -10,5 | LS-al |
| 2 | -21,5 | -21,5 | -21,5 | AL-sub |
| 3 | -28,5 | -28,5 | -28,5 | SL-sub |

Falda

Falda non presente

Convenzioni adottate

Carichi e reazioni vincolari

Fz Carico verticale positivo verso il basso
 Fx Forza orizzontale in direzione X positiva nel verso delle X crescenti.
 Fy Forza orizzontale in direzione Y positiva nel verso delle Y crescenti.
 Mx Momento con asse vettore parallelo all'asse X positivo antiorario.
 My Momento con asse vettore parallelo all'asse Y positivo antiorario.

Sollecitazioni

Mx Momento flettente X con asse vettore parallelo all'asse Y (positivo se tende le fibre inferiori).
 My Momento flettente Y con asse vettore parallelo all'asse X (positivo se tende le fibre inferiori).
 Mxy Momento flettente XY.

Condizioni di carico

Carichi distribuiti

Simbologia adottata

Ic Indice carico
 P_{is} Punto inferiore sinistro del carico espresso in [m]
 P_{sd} Punto superiore destro del carico espresso in [m]
 Q_{z1} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore sinistro espresso in [kN/mq]
 Q_{z2} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore destro espresso in [kN/mq]
 Q_{z3} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore sinistro espresso in [kN/mq]
 Q_{z4} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore destro espresso in [kN/mq]
 Q_x Componente orizzontale del carico in direzione X espressa in [kN/mq]
 Q_y Componente orizzontale del carico in direzione Y espressa in [kN/mq]

Condizione n° 1 - Condizione 1 [Permanente non strutturale - Partecipa al sisma]

Carichi distribuiti

| Ic | P _{is} [m] | P _{sd} [m] | Q _{z1} [kN/mq] | Q _{z2} [kN/mq] | Q _{z3} [kN/mq] | Q _{z4} [kN/mq] | Q _x [kN/mq] | Q _y [kN/mq] |
|----|------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 3,75; 13,25 | 9,75; 15,75 | 16,6667 | 16,6667 | 16,6667 | 16,6667 | 0,0000 | 0,0000 |

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

| CARICHI | EFFETTO | Coefficiente parziale | (A1) - STR |
|----------------------------|-------------|-----------------------|------------|
| Permanenti | Favorevole | $\gamma_{G1, fav}$ | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | $\gamma_{G1, sfav}$ | 1.30 |
| Permanenti non strutturali | Favorevole | $\gamma_{G2, fav}$ | 0.80 |
| Permanenti non strutturali | Sfavorevole | $\gamma_{G2, sfav}$ | 1.50 |
| Variabili | Favorevole | $\gamma_{Q1, fav}$ | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | $\gamma_{Q1, sfav}$ | 1.50 |
| Variabili traffico | Favorevole | $\gamma_{Q, fav}$ | 0.00 |
| Variabili traffico | Sfavorevole | $\gamma_{Q, sfav}$ | 1.35 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| PARAMETRO | GRANDEZZA | Coefficiente parziale | (M1) |
|--|---------------|-----------------------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi_k$ | γ_ϕ | 1.00 |
| Coesione efficace | c'_k | $\gamma_{c'}$ | 1.00 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1.00 |

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Coefficienti amplificativi γ_{Rd} in funzione della classe di duttilità

| γ_{Rd} | Fondazione | Bicchieri |
|---------------|------------|-----------|
| γ_{Rd} | 1.10 | 1.20 |

Elenco combinazioni di calcolo

Numero combinazioni definite 1

Simbologia adottata

CP Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - - STR - A1-M1-R3

| Condizione | CP |
|--------------|------|
| Peso proprio | 1.30 |
| Condizione 1 | 1.00 |

Impostazioni di analisi*Portanza fondazione superficiale*

Metodo calcolo portanza: Hansen

Criterio di media calcolo strato equivalente: Ponderata

Riduzione portanza per effetto eccentricità: Meyerhof

Fattore di rigidità della sovrastruttura 0.00

Modello

Caratteristiche Mesh

| | |
|-----------------|-----|
| Numero elementi | 136 |
| Numero nodi | 84 |

Risultati inviluppo

Spostamenti

Piastra

Spostamenti massimi e minimi della piastra

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| Ic | Indice della combinazione |
| w | Spostamento verticale, espresso in [m] |
| u | Spostamento direzione X, espresso in [m] |
| v | Spostamento direzione Y, espresso in [m] |
| ϕ_x | Rotazione intorno all'asse X, espressa in [°] |
| ϕ_y | Rotazione intorno all'asse Y, espressa in [°] |
| p | Pressione sul terreno (solo per calcolo fondazione), espressa in [kPa] |
| kw | Costante di Winkler (solo per calcolo fondazione), espressa in [kg/cm ² /cm]. Il valore viene stampato solo se si è utilizzato il modello di interazione |
| Tra parentesi l'indice del nodo in cui si sono misurati i valori massimi e minimi | |

| In | X [m] | Y [m] | | Valore | UM | Cmb | |
|----|----------|----------|----------|------------|-------|-----|-----|
| 29 | 6,42 | 14,09 | w | 0,00693277 | [m] | 1 | MAX |
| 84 | 11,50 | 17,00 | | 0,00446405 | | 1 | MIN |
| 2 | 2,00 | 12,00 | ϕ_x | 0,000687 | [°] | 1 | MAX |
| 84 | 11,50 | 17,00 | | -0,000687 | | 1 | MIN |
| 55 | 7,17 | 16,37 | ϕ_y | 0,000155 | [°] | 1 | MAX |
| 26 | 6,33 | 12,63 | | -0,000155 | | 1 | MIN |
| 80 | 11,50 | 12,00 | p | 20,5045 | [kPa] | 1 | MAX |
| 74 | 10,57 | 15,60 | | 3,2584 | | 1 | MIN |

Sollecitazioni

Piastra

Sollecitazioni massime e minime piastra

Simbologia adottata

| | |
|-----|---|
| In | Indice nodo modello |
| Mx | Momento X espresso in [kNm] |
| My | Momento Y espresso in [kNm] |
| Mxy | Momento XY espresso in [kNm] |
| Tx | Taglio X, espresso in [kN] |
| Ty | Taglio Y, espresso in [kN] |
| Nx | Tensione normale X espressa in [kPa] |
| Ny | Tensione normale Y espressa in [kPa] |
| Nxy | Tensione tangenziale XY espressa in [kPa] |

| In | X [m] | Y [m] | | Valore | UM | Cmb | |
|----|----------|----------|-----|---------|-------|-----|-----|
| 29 | 6,42 | 14,09 | Mx | 23,5475 | [kNm] | 1 | MAX |
| 36 | 2,00 | 17,00 | | -1,5977 | | 1 | MIN |
| 29 | 6,42 | 14,09 | My | 15,3210 | [kNm] | 1 | MAX |
| 36 | 2,00 | 17,00 | | -1,3539 | | 1 | MIN |
| 69 | 9,75 | 15,75 | Mxy | 1,1267 | [kNm] | 1 | MAX |
| 24 | 3,75 | 15,75 | | -1,7128 | | 1 | MIN |

Verifiche strutturali

Verifica a flessione

Piastra

Simbologia adottata

| | |
|-----|--|
| Is | Identificativo tratto-sezione-direzione (P: direzione principale, S: direzione secondaria) |
| Afi | Area di armatura lembo inferiore espressa in [mq] |
| Afs | Area di armatura lembo superiore espressa in [mq] |
| Mu | Momento ultimo espresso in [kNm] |
| Nu | Sforzo normale ultimo espresso in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza |

| Is | Afi [mq] | Afs [mq] | Mu [kNm] | Nu [kN] | FS |
|--------|-------------|-------------|-------------|------------|-------|
| 1-19-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 2.889 |

| Is | Afi [mq] | Afs [mq] | Mu [kNm] | Nu [kN] | FS |
|---------|-------------|-------------|-------------|------------|-------|
| 2-20-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 2.557 |
| 3-20-P | 0,000679 | 0,000679 | 67,04 | 0,00 | 2.861 |
| 4-20-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 2.557 |
| 5-21-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 2.889 |
| 6-11-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,46 | 0,00 | 8.776 |
| 7-11-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,46 | 0,00 | 6.578 |
| 8-11-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,46 | 0,00 | 4.783 |
| 9-10-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,46 | 0,00 | 4.102 |
| 10-10-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,46 | 0,00 | 3.915 |
| 11-12-S | 0,000452 | 0,000452 | 45,94 | 0,00 | 3.185 |
| 12-12-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,46 | 0,00 | 4.103 |
| 13-11-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,46 | 0,00 | 4.783 |
| 14-11-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,46 | 0,00 | 6.578 |
| 15-11-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,46 | 0,00 | 8.776 |

Verifiche geotecniche

Carico limite

Piastra

Simbologia adottata

| | |
|-----|--|
| Ic | Indice combinazione |
| N | Carico verticale trasmesso al terreno, espresso in [kN] |
| Np | Carico verticale trasmesso ai pali, espresso in [kN] |
| Qu | Portanza ultima terreno, espressa in [kN] |
| Qup | Portanza ultima pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista |
| Qd | Portanza di progetto ((Pu+Pup)/n), espressa in [kN] |
| Nt | Carico verticale trasmesso al terreno (N+Np), espresso in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza a carico limite (Pd/Nt). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo. |

| Ic | N [kN] | Np [kN] | Qu [kN] | Qup [kN] | Qd [kN] | Nt [kN] | FS |
|----|-----------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1 | 268,53 | 0,00 | 30720,11 | 0,00 | 13356,57 | 268,53 | 49.740 (1) |

Scorrimento

Piastra

Simbologia adottata

| | |
|----|--|
| n° | Indice plinto |
| T | Carico orizzontale trasferito al terreno, espresso in [kN] |
| Tp | Carico orizzontale trasferito ai pali, espresso in [kN] |
| Ru | Resistenza ultima allo scorrimento, espressa in [kN] |
| Rd | Resistenza di progetto allo scorrimento, espressa in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza allo scorrimento (Rd/T). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo. |

| n° | T [kN] | Tp [kN] | Ru [kN] | Rd [kN] | FS |
|----|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100.0 (1) |

Armature

Armature piastra

| | |
|---|-------------------------------|
| Direzione principale armature | 0,00 [°] |
| Direzione secondaria armature | -90,00 [°] |
| Numero tratti complessivi | 15 |
| Ampiezza singolo tratto | 1,00 [m] |
| Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto | 0,25 [m] |
| Maglia superiore | (5 ϕ 12) x (5 ϕ 12) |
| Maglia inferiore | (5 ϕ 12) x (5 ϕ 12) |

Progetto: 4124_Biometano WAGA – PLATEA 2
Ditta:
Comune: Terranuova B.ni
Progettista: Ing. Marco SACCHETTI
Direttore dei Lavori: Ing. Marco SACCHETTI
Impresa:

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 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.
Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Richiami teorici - Metodi di analisi

Calcolo - Analisi ad elementi finiti

Per l'analisi platea si utilizza il metodo degli elementi finiti (FEM). La struttura viene suddivisa in elementi connessi fra di loro in corrispondenza dei nodi. Il campo di spostamenti interno all'elemento viene approssimato in funzione degli spostamenti nodali mediante le funzioni di forma. Il programma utilizza, per l'analisi tipo piastra, elementi quadrangolari e triangolari. Nel problema di tipo piastra gli spostamenti nodali sono lo spostamento verticale w e le rotazioni intorno agli assi x e y , ϕ_x e ϕ_y , legati allo spostamento w tramite relazioni

$$\begin{aligned}\phi_x &= -dw/dy \\ \phi_y &= dw/dx\end{aligned}$$

Note le funzioni di forma che legano gli spostamenti nodali al campo di spostamenti sul singolo elemento è possibile costruire la matrice di rigidezza dell'elemento \mathbf{k}_e ed il vettore dei carichi nodali dell'elemento \mathbf{p}_e .

La fase di assemblaggio consente di ottenere la matrice di rigidezza globale della struttura \mathbf{K} ed il vettore dei carichi nodali \mathbf{p} . La soluzione del sistema

$$\mathbf{K} \mathbf{u} = \mathbf{p}$$

consente di ricavare il vettore degli spostamenti nodali \mathbf{u} .

Dagli spostamenti nodali è possibile risalire per ogni elemento al campo di spostamenti ed alle sollecitazioni M_x , M_y ed M_{xy} .

Il terreno di fondazione se presente viene modellato con delle molle disposte in corrispondenza dei nodi. La rigidezza delle molle è proporzionale alla costante di sottofondo k ed all'area dell'elemento.

I pali di fondazione sono modellati con molle verticali aventi rigidezza pari alla rigidezza verticale del palo.

Per l'analisi tipo lastra (analisi della piastra soggetta a carichi nel piano) vengono utilizzati elementi triangolari a 6 nodi a deformazione quadratica. Gli spostamenti nodali sono gli spostamenti u e v nel piano XY . L'analisi fornisce in tal caso il campo di spostamenti orizzontali e le tensioni nel piano della lastra σ_x , σ_y e τ_{xy} . Dalle tensioni è possibile ricavare, noto lo spessore, gli sforzi normali N_x , N_y e N_{xy} . Nell'analisi tipo lastra i pali di fondazione sono modellati con molle orizzontali in direzione X e Y aventi rigidezza pari alla rigidezza orizzontale del palo.

Nel caso di platea nervata le nervature sono modellate con elementi tipo trave (con eventuale rigidezza torsionale) connesse alla piastra in corrispondenza dei nodi degli elementi.

Metodo calcolo portanza

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

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_q \geq 1.0$

Le espressioni di Hansen per il calcolo della capacità portante si differenziano a seconda se siamo in presenza di un terreno puramente coesivo ($\phi=0$) o meno e si esprimono nel modo seguente:

Caso generale

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

$$q_u = 5.14 c (1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + q$$

in cui d_c , d_q , d_γ sono i fattori di profondità; s_c , s_q , s_γ sono i fattori di forma; i_c , i_q , i_γ sono i fattori di inclinazione del carico; b_c , b_q , b_γ sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c , g_q , g_γ sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori N_c , N_q , N_γ sono espressi come:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p$$

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

$$N_y = 1.5(N_q - 1)\text{tg}\phi$$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

Fattori di forma

$$\text{per } \phi=0 \quad s_c = 0.2 \frac{B}{L}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \text{tg}\phi$$

$$s_y = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \arctg \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} > 1$$

I vari coefficienti si esprimono come

$$\text{per } \phi=0 \quad d_c = 0.4k$$

$$\text{per } \phi>0 \quad d_c = 1 + 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2\text{tg}\phi(1 - \sin\phi)^2 k$$

$$d_y = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Indichiamo con V e H le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con A_f l'area efficace della fondazione ottenuta come $A_f = B' \times L'$ (B' e L' sono legate alle dimensioni effettive della fondazione B , L e all'eccentricità del carico e_B , e_L dalle relazioni $B' = B - 2e_B$ $L' = L - 2e_L$) e con η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = \frac{1}{2} \left(1 - \left[1 - \frac{H}{A_f C_a} \right]^{0.5} \right) \frac{H}{A_f C_a}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5H}{V + A_r C_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

$$\text{per } \eta = 0 \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7H}{V + A_r C_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

$$\text{per } \eta > 0 \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ)H}{V + A_r C_a \text{ctg} \phi}\right)^5$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$$\text{per } \phi = 0 \quad b_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q = e^{-2\eta \text{tg} \phi}$$

$$b_\gamma = e^{-2.7\eta \text{tg} \phi}$$

Fattori di inclinazione del terreno

Indicando con β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

$$\text{per } \phi = 0 \quad g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.05 \text{tg} \beta)^5$$

Per poter applicare la formula di Hansen devono risultare verificate le seguenti condizioni:

$$H < V \text{tg} \delta + A_r C_a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_{q_r}, i_\gamma > 0$$

$$\beta + \eta \leq 90^\circ$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Elastico

Il metodo dell'elasticità per il calcolo dei cedimenti fornisce la seguente espressione:

$$w = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i}{E_i} \Delta z_i$$

dove

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

E è il modulo elastico relativo 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;
Lo spessore dello strato compressibile considerato nell'analisi dei cedimenti è stato determinato in funzione della percentuale della tensione di contatto.

Disposizione delle armature

Le armature vengono disposte secondo due direzioni, una principale ed una secondaria. Per il calcolo delle stesse si fa riferimento ai valori nodali delle sollecitazioni ottenute dall'analisi ad elementi finiti. Per la disposizione delle stesse occorre suddividere la piastra in un numero di strisce opportuno nelle due direzioni.

Il programma utilizza strisce della larghezza di circa un metro.

Dati

Materiali

Simbologia adottata

| | |
|----------------|---|
| n° | Indice materiale |
| Descrizione | Descrizione materiale |
| TC | Tipo calcestruzzo |
| Rck | Resistenza cubica caratteristica, espresso in [kPa] |
| γ_{cls} | Peso specifico calcestruzzo, espresso in [kN/mc] |
| E | Modulo elastico calcestruzzo, espresso in [kPa] |
| ν | Coeff. di Poisson |
| n | Coeff. di omogeneizzazione |
| TA | Tipo acciaio |

| n° | Descrizione | TC | Rck [kPa] | γ_{cls} [kN/mc] | E [kPa] | ν | n | TA |
|----|-------------|--------|--------------|---------------------------|------------|-------|-------|-------|
| 1 | CLS 32/40 | C32/40 | 40000 | 1,00 | 33642648 | 0.200 | 15.00 | B450C |

Geometria

Coordinate contorno esterno

| n° | X [m] | Y [m] | n° | X [m] | Y [m] | n° | X [m] | Y [m] | n° | X [m] | Y [m] |
|----|----------|----------|----|----------|----------|----|----------|----------|----|----------|----------|
| 1 | 2,00 | 12,00 | 2 | 19,00 | 12,00 | 3 | 19,00 | 27,00 | 4 | 2,00 | 27,00 |

Spessori piastra

Spessore costante 0,3000 [m]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

| | |
|----------------|--|
| Descrizione | Descrizione terreno |
| γ | Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc] |
| γ_{sat} | Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/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 [kPa] |
| ca | Adesione del terreno espressa in [kPa] |
| τ_i | Tensione tangenziale, per calcolo portanza micropali con il metodo di Bustamante-Doix, espressa in [kPa] |
| α | Coeff. di espansione laterale |

| Descrizione | γ [kN/mc] | γ_{sat} [kN/mc] | ϕ [°] | δ [°] | c [kPa] | ca [kPa] |
|-------------|---------------------|---------------------------|---------------|-----------------|------------|-------------|
| LS-al | 19,000 | 19,500 | 20.00 | 13.33 | 20,0 | 0,0 |
| AL-sub | 19,700 | 20,000 | 16.00 | 10.67 | 30,0 | 0,0 |
| SL-sub | 21,000 | 21,000 | 30.00 | 20.00 | 19,0 | 0,0 |

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| Descrizione | Descrizione terreno |
| Ed | Modulo edometrico espresso in [kPa] |
| RR | Rapporto di ricomprensione |
| CR | Rapporto di compressione |
| OCR | Grado di sovraconsolidazione |
| E | Modulo elastico espresso in [kPa] |
| ν | Coefficiente di Poisson |

| Descrizione | Ed [kPa] | RR | CR | OCR | E [kPa] | ν |
|-------------|-------------|--------|--------|--------|------------|-------|
| LS-al | 6000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 4500 | 0.200 |
| AL-sub | 14000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 10500 | 0.200 |
| SL-sub | 10000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 7500 | 0.200 |

Descrizione stratigrafia e falda

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]
 Terreno Terreno associato allo strato

| N | Z1 [m] | Z2 [m] | Z3 [m] | Terreno |
|---|-----------|-----------|-----------|---------|
| 1 | -10,5 | -10,5 | -10,5 | LS-al |
| 2 | -21,5 | -21,5 | -21,5 | AL-sub |
| 3 | -28,5 | -28,5 | -28,5 | SL-sub |

Falda

Falda non presente

Convenzioni adottate

Carichi e reazioni vincolari

Fz Carico verticale positivo verso il basso
 Fx Forza orizzontale in direzione X positiva nel verso delle X crescenti.
 Fy Forza orizzontale in direzione Y positiva nel verso delle Y crescenti.
 Mx Momento con asse vettore parallelo all'asse X positivo antiorario.
 My Momento con asse vettore parallelo all'asse Y positivo antiorario.

Sollecitazioni

Mx Momento flettente X con asse vettore parallelo all'asse Y (positivo se tende le fibre inferiori).
 My Momento flettente Y con asse vettore parallelo all'asse X (positivo se tende le fibre inferiori).
 Mxy Momento flettente XY.

Condizioni di carico

Carichi distribuiti

Simbologia adottata

Ic Indice carico
 P_{is} Punto inferiore sinistro del carico espresso in [m]
 P_{sd} Punto superiore destro del carico espresso in [m]
 Q_{z1} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore sinistro espresso in [kN/mq]
 Q_{z2} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore destro espresso in [kN/mq]
 Q_{z3} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore sinistro espresso in [kN/mq]
 Q_{z4} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore destro espresso in [kN/mq]
 Q_x Componente orizzontale del carico in direzione X espressa in [kN/mq]
 Q_y Componente orizzontale del carico in direzione Y espressa in [kN/mq]

Condizione n° 1 - Condizione 1 [Permanente non strutturale - Partecipa al sisma]

Carichi distribuiti

| Ic | P _{is} [m] | P _{sd} [m] | Q _{z1} [kN/mq] | Q _{z2} [kN/mq] | Q _{z3} [kN/mq] | Q _{z4} [kN/mq] | Q _x [kN/mq] | Q _y [kN/mq] |
|----|------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 2,50; 13,50 | 18,50; 17,30 | 5,7566 | 5,7566 | 5,7566 | 5,7566 | 0,0000 | 0,0000 |
| 2 | 16,00; 22,20 | 18,50; 26,66 | 13,4529 | 13,4529 | 13,4529 | 13,4529 | 0,0000 | 0,0000 |
| 3 | 6,60; 20,00 | 9,60; 21,70 | 3,1390 | 3,1390 | 3,1390 | 3,1390 | 0,0000 | 0,0000 |

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

| CARICHI | EFFETTO | Coefficiente parziale | (A1) - STR |
|----------------------------|-------------|-----------------------|------------|
| Permanenti | Favorevole | $\gamma_{G1, fav}$ | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | $\gamma_{G1, sfav}$ | 1.30 |
| Permanenti non strutturali | Favorevole | $\gamma_{G2, fav}$ | 0.80 |
| Permanenti non strutturali | Sfavorevole | $\gamma_{G2, sfav}$ | 1.50 |
| Variabili | Favorevole | $\gamma_{Q1, fav}$ | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | $\gamma_{Q1, sfav}$ | 1.50 |
| Variabili traffico | Favorevole | $\gamma_{Q, fav}$ | 0.00 |
| Variabili traffico | Sfavorevole | $\gamma_{Q, sfav}$ | 1.35 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| PARAMETRO | GRANDEZZA | Coefficiente parziale | (M1) |
|--|----------------|-----------------------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi'_k$ | $\gamma_{\phi'}$ | 1.00 |
| Coesione efficace | c'_k | $\gamma_{c'}$ | 1.00 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1.00 |

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Coefficienti amplificativi γ_{Rd} in funzione della classe di duttilità

| γ_{Rd} | Fondazione | Bicchieri |
|---------------|------------|-----------|
| γ_{Rd} | 1.10 | 1.20 |

Elenco combinazioni di calcolo

Numero combinazioni definite 1

Simbologia adottata

CP Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - - STR - A1-M1-R3

| Condizione | CP |
|--------------|------|
| Peso proprio | 1.30 |
| Condizione 1 | 1.00 |

Impostazioni di analisi*Portanza fondazione superficiale*

Metodo calcolo portanza: Hansen

Criterio di media calcolo strato equivalente: Ponderata

Riduzione portanza per effetto eccentricità: Meyerhof

Fattore di rigidità della sovrastruttura 0.00

Modello

Caratteristiche Mesh

| | |
|-----------------|------|
| Numero elementi | 1026 |
| Numero nodi | 555 |

Risultati inviluppo

Spostamenti

Piastra

Spostamenti massimi e minimi della piastra

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| Ic | Indice della combinazione |
| w | Spostamento verticale, espresso in [m] |
| u | Spostamento direzione X, espresso in [m] |
| v | Spostamento direzione Y, espresso in [m] |
| ϕ_x | Rotazione intorno all'asse X, espressa in [°] |
| ϕ_y | Rotazione intorno all'asse Y, espressa in [°] |
| p | Pressione sul terreno (solo per calcolo fondazione), espressa in [kPa] |
| kw | Costante di Winkler (solo per calcolo fondazione), espressa in [kg/cm ² /cm]. Il valore viene stampato solo se si è utilizzato il modello di interazione |
| Tra parentesi l'indice del nodo in cui si sono misurati i valori massimi e minimi | |

| In | X [m] | Y [m] | | Valore | UM | Cmb | |
|-----|----------|----------|----------|------------|-------|-----|-----|
| 555 | 19,00 | 27,00 | w | 0,06883243 | [m] | 1 | MAX |
| 484 | 19,00 | 12,00 | | 0,00155275 | | 1 | MIN |
| 528 | 14,24 | 27,00 | ϕ_x | 0,003123 | [°] | 1 | MAX |
| 414 | 17,51 | 12,00 | | -0,000366 | | 1 | MIN |
| 23 | 2,00 | 15,12 | ϕ_y | -0,000386 | [°] | 1 | MAX |
| 527 | 19,00 | 23,09 | | -0,006986 | | 1 | MIN |
| 138 | 4,70 | 20,41 | p | 87,5625 | [kPa] | 1 | MAX |
| 9 | 3,30 | 13,50 | | 0,2188 | | 1 | MIN |

Sollecitazioni

Piastra

Sollecitazioni massime e minime piastra

Simbologia adottata

| | |
|-----|---|
| In | Indice nodo modello |
| Mx | Momento X espresso in [kNm] |
| My | Momento Y espresso in [kNm] |
| Mxy | Momento XY espresso in [kNm] |
| Tx | Taglio X, espresso in [kN] |
| Ty | Taglio Y, espresso in [kN] |
| Nx | Tensione normale X espressa in [kPa] |
| Ny | Tensione normale Y espressa in [kPa] |
| Nxy | Tensione tangenziale XY espressa in [kPa] |

| In | X [m] | Y [m] | | Valore | UM | Cmb | |
|-----|----------|----------|-----|----------|-------|-----|-----|
| 545 | 16,99 | 26,66 | Mx | 18,7628 | [kNm] | 1 | MAX |
| 479 | 9,57 | 27,00 | | -11,3441 | | 1 | MIN |
| 549 | 19,00 | 25,44 | My | 14,2797 | [kNm] | 1 | MAX |
| 480 | 19,00 | 19,16 | | -78,0348 | | 1 | MIN |
| 497 | 19,00 | 20,74 | Mxy | 25,2643 | [kNm] | 1 | MAX |
| 475 | 19,00 | 13,60 | | 0,4730 | | 1 | MIN |

Verifiche strutturali

Verifica a flessione

Piastra

Simbologia adottata

| | |
|-----|--|
| Is | Identificativo tratto-sezione-direzione (P: direzione principale, S: direzione secondaria) |
| Afi | Area di armatura lembo inferiore espressa in [mq] |
| Afs | Area di armatura lembo superiore espressa in [mq] |
| Mu | Momento ultimo espresso in [kNm] |
| Nu | Sforzo normale ultimo espresso in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza |

| Is | Afi [mq] | Afs [mq] | Mu [kNm] | Nu [kN] | FS |
|--------|-------------|-------------|-------------|------------|-------|
| 1-19-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 7.364 |

| Is | Afi [mq] | Afs [mq] | Mu [kNm] | Nu [kN] | FS |
|---------|-------------|-------------|-------------|------------|--------|
| 2-19-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 7.555 |
| 3-19-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 7.750 |
| 4-16-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 8.349 |
| 5-14-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 10.425 |
| 6-48-P | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 13.212 |
| 7-41-P | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 7.815 |
| 8-37-P | 0,000679 | 0,000679 | -67,04 | 0,00 | 6.948 |
| 9-34-P | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 5.588 |
| 10-69-P | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 5.330 |
| 11-61-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 3.738 |
| 12-60-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 3.380 |
| 13-60-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 3.350 |
| 14-61-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 3.251 |
| 15-61-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 2.994 |
| 16-33-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.632 |
| 17-32-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.619 |
| 18-32-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.577 |
| 19-32-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.536 |
| 20-33-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.482 |
| 21-31-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.444 |
| 22-31-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.365 |
| 23-31-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.281 |
| 24-32-S | 0,000679 | 0,000679 | -67,04 | 0,00 | 1.420 |
| 25-31-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.141 |
| 26-31-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.082 |
| 27-30-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.018 |
| 28-27-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.031 |
| 29-34-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.001 |
| 30-35-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.022 |
| 31-23-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.034 |
| 32-36-S | 0,000565 | 0,000565 | -56,69 | 0,00 | 1.004 |

Verifiche geotecniche

Carico limite

Piastra

Simbologia adottata

| | |
|-----|--|
| Ic | Indice combinazione |
| N | Carico verticale trasmesso al terreno, espresso in [kN] |
| Np | Carico verticale trasmesso ai pali, espresso in [kN] |
| Qu | Portanza ultima terreno, espressa in [kN] |
| Qup | Portanza ultima pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista |
| Qd | Portanza di progetto ((Pu+Pup)/n), espressa in [kN] |
| Nt | Carico verticale trasmesso al terreno (N+Np), espresso in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza a carico limite (Pd/Nt). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo. |

| Ic | N [kN] | Np [kN] | Qu [kN] | Qup [kN] | Qd [kN] | Nt [kN] | FS |
|----|-----------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1 | 615,46 | 0,00 | 139352,78 | 0,00 | 60588,16 | 615,46 | 98.444 (1) |

Scorrimento

Piastra

Simbologia adottata

| | |
|----|--|
| n° | Indice plinto |
| T | Carico orizzontale trasferito al terreno, espresso in [kN] |
| Tp | Carico orizzontale trasferito ai pali, espresso in [kN] |
| Ru | Resistenza ultima allo scorrimento, espressa in [kN] |
| Rd | Resistenza di progetto allo scorrimento, espressa in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza allo scorrimento (Rd/T). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo. |

| n° | T [kN] | Tp [kN] | Ru [kN] | Rd [kN] | FS |
|----|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100.0 (1) |

Armature

Armature piastra

Direzione principale armature 0,00 [°]
 Direzione secondaria armature -90,00 [°]
 Numero tratti complessivi 32
 Ampiezza singolo tratto 1,00 [m]
 Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto 0,25 [m]

Maglia superiore (5 ϕ 12) x (5 ϕ 12)
 Maglia inferiore (5 ϕ 12) x (5 ϕ 12)

| n° | Gruppo | Tipo | Lembo | Dir | nf ϕ [mm] | L [m] |
|----|--------|-------|-----------|-----|-------------------|----------|
| 9 | I | Lungo | Superiore | Y | 1 ϕ 12 | 2,00 |
| 10 | J | Lungo | Superiore | Y | 1 ϕ 12 | 2,25 |
| 11 | K | Lungo | Superiore | Y | 2 ϕ 12 | 3,00 |
| 12 | L | Lungo | Superiore | Y | 2 ϕ 12 | 3,50 |
| 13 | M | Lungo | Superiore | Y | 2 ϕ 12 | 3,75 |

Progetto: 4124_Biometano WAGA – PALTEA MANUFATTO CABINA
Ditta:
Comune: Terranuova B.ni
Progettista: Ing. Marco SACCHETTI
Direttore dei Lavori: Ing. Marco SACCHETTI
Impresa:

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 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.
Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Richiami teorici - Metodi di analisi

Calcolo - Analisi ad elementi finiti

Per l'analisi platea si utilizza il metodo degli elementi finiti (FEM). La struttura viene suddivisa in elementi connessi fra di loro in corrispondenza dei nodi. Il campo di spostamenti interno all'elemento viene approssimato in funzione degli spostamenti nodali mediante le funzioni di forma. Il programma utilizza, per l'analisi tipo piastra, elementi quadrangolari e triangolari. Nel problema di tipo piastra gli spostamenti nodali sono lo spostamento verticale w e le rotazioni intorno agli assi x e y , ϕ_x e ϕ_y , legati allo spostamento w tramite relazioni

$$\begin{aligned}\phi_x &= -dw/dy \\ \phi_y &= dw/dx\end{aligned}$$

Note le funzioni di forma che legano gli spostamenti nodali al campo di spostamenti sul singolo elemento è possibile costruire la matrice di rigidezza dell'elemento \mathbf{k}_e ed il vettore dei carichi nodali dell'elemento \mathbf{p}_e .

La fase di assemblaggio consente di ottenere la matrice di rigidezza globale della struttura \mathbf{K} ed il vettore dei carichi nodali \mathbf{p} . La soluzione del sistema

$$\mathbf{K} \mathbf{u} = \mathbf{p}$$

consente di ricavare il vettore degli spostamenti nodali \mathbf{u} .

Dagli spostamenti nodali è possibile risalire per ogni elemento al campo di spostamenti ed alle sollecitazioni M_x , M_y ed M_{xy} .

Il terreno di fondazione se presente viene modellato con delle molle disposte in corrispondenza dei nodi. La rigidezza delle molle è proporzionale alla costante di sottofondo k ed all'area dell'elemento.

I pali di fondazione sono modellati con molle verticali aventi rigidezza pari alla rigidezza verticale del palo.

Per l'analisi tipo lastra (analisi della piastra soggetta a carichi nel piano) vengono utilizzati elementi triangolari a 6 nodi a deformazione quadratica. Gli spostamenti nodali sono gli spostamenti u e v nel piano XY . L'analisi fornisce in tal caso il campo di spostamenti orizzontali e le tensioni nel piano della lastra σ_x , σ_y e τ_{xy} . Dalle tensioni è possibile ricavare, noto lo spessore, gli sforzi normali N_x , N_y e N_{xy} . Nell'analisi tipo lastra i pali di fondazione sono modellati con molle orizzontali in direzione X e Y aventi rigidezza pari alla rigidezza orizzontale del palo.

Nel caso di platea nervata le nervature sono modellate con elementi tipo trave (con eventuale rigidezza torsionale) connesse alla piastra in corrispondenza dei nodi degli elementi.

Metodo calcolo portanza

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

$$\frac{Q_u}{R} \geq \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_q \geq 1.0$

Le espressioni di Hansen per il calcolo della capacità portante si differenziano a seconda se siamo in presenza di un terreno puramente coesivo ($\phi=0$) o meno e si esprimono nel modo seguente:

Caso generale

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

$$q_u = 5.14 c (1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + q$$

in cui d_c , d_q , d_γ sono i fattori di profondità; s_c , s_q , s_γ sono i fattori di forma; i_c , i_q , i_γ sono i fattori di inclinazione del carico; b_c , b_q , b_γ sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c , g_q , g_γ sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori N_c , N_q , N_γ sono espressi come:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p$$

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

$$N_{\gamma} = 1.5(N_q - 1)\tan\phi$$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

Fattori di forma

$$\text{per } \phi=0 \quad s_c = 0.2 \frac{B}{L}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L}$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan\phi$$

$$s_{\gamma} = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \arctg \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} > 1$$

I vari coefficienti si esprimono come

$$\text{per } \phi=0 \quad d_c = 0.4k$$

$$\text{per } \phi>0 \quad d_c = 1 + 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2\tan\phi(1 - \sin\phi)^2 k$$

$$d_{\gamma} = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Indichiamo con V e H le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con A_r l'area efficace della fondazione ottenuta come $A_r = B' \times L'$ (B' e L' sono legate alle dimensioni effettive della fondazione B , L e all'eccentricità del carico e_B , e_L dalle relazioni $B' = B - 2e_B$ $L' = L - 2e_L$) e con η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = \frac{1}{2} \left(1 - \left[1 - \frac{H}{A_r C_a} \right]^{0.5} \right) \frac{H}{A_r C_a}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5H}{V + A_{rc} \operatorname{ctg} \phi}\right)^5$$

$$\text{per } \eta = 0 \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7H}{V + A_{rc} \operatorname{ctg} \phi}\right)^5$$

$$\text{per } \eta > 0 \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ)H}{V + A_{rc} \operatorname{ctg} \phi}\right)^5$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$$\text{per } \phi = 0 \quad b_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$$

$$b_q = e^{-2\eta \operatorname{tg} \phi}$$

$$b_\gamma = e^{-2.7\eta \operatorname{tg} \phi}$$

Fattori di inclinazione del terreno

Indicando con β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

$$\text{per } \phi = 0 \quad g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.05 \operatorname{tg} \beta)^5$$

Per poter applicare la formula di Hansen devono risultare verificate le seguenti condizioni:

$$H < V \operatorname{tg} \delta + A_{rc} a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_{q_r}, i_\gamma > 0$$

$$\beta + \eta \leq 90^\circ$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Elastico

Il metodo dell'elasticità per il calcolo dei cedimenti fornisce la seguente espressione:

$$w = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i}{E_i} \Delta z_i$$

dove

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

E è il modulo elastico relativo 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; Lo spessore dello strato compressibile considerato nell'analisi dei cedimenti è stato determinato in funzione della percentuale della tensione di contatto.

Disposizione delle armature

Le armature vengono disposte secondo due direzioni, una principale ed una secondaria. Per il calcolo delle stesse si fa riferimento ai valori nodali delle sollecitazioni ottenute dall'analisi ad elementi finiti. Per la disposizione delle stesse occorre suddividere la piastra in in numero di strisce opportuno nelle due direzioni.

Il programma utilizza strisce della larghezza di circa un metro.

Dati

Materiali

Simbologia adottata

| | |
|----------------|---|
| n° | Indice materiale |
| Descrizione | Descrizione materiale |
| TC | Tipo calcestruzzo |
| Rck | Resistenza cubica caratteristica, espresso in [kPa] |
| γ_{cls} | Peso specifico calcestruzzo, espresso in [kN/mc] |
| E | Modulo elastico calcestruzzo, espresso in [kPa] |
| ν | Coeff. di Poisson |
| n | Coeff. di omogeneizzazione |
| TA | Tipo acciaio |

| n° | Descrizione | TC | Rck [kPa] | γ_{cls} [kN/mc] | E [kPa] | ν | n | TA |
|----|-------------|--------|--------------|---------------------------|------------|-------|-------|-------|
| 1 | CLS 32/40 | C32/40 | 40000 | 1,00 | 33642648 | 0.200 | 15.00 | B450C |

Geometria

Coordinate contorno esterno

| n° | X [m] | Y [m] | n° | X [m] | Y [m] | n° | X [m] | Y [m] | n° | X [m] | Y [m] |
|----|----------|----------|----|----------|----------|----|----------|----------|----|----------|----------|
| 1 | 2,00 | 12,00 | 2 | 8,00 | 12,00 | 3 | 8,00 | 14,80 | 4 | 2,00 | 14,80 |

Spessori piastra

Spessore costante 0,3000 [m]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

| | |
|----------------|--|
| Descrizione | Descrizione terreno |
| γ | Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc] |
| γ_{sat} | Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/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 [kPa] |
| ca | Adesione del terreno espressa in [kPa] |
| τ_i | Tensione tangenziale, per calcolo portanza micropali con il metodo di Bustamante-Doix, espressa in [kPa] |
| α | Coeff. di espansione laterale |

| Descrizione | γ [kN/mc] | γ_{sat} [kN/mc] | ϕ [°] | δ [°] | c [kPa] | ca [kPa] |
|-------------|---------------------|---------------------------|---------------|-----------------|------------|-------------|
| LS-al | 19,000 | 19,500 | 20.00 | 13.33 | 20,0 | 0,0 |
| AL-sub | 19,700 | 20,000 | 16.00 | 10.67 | 30,0 | 0,0 |
| SL-sub | 21,000 | 21,000 | 30.00 | 20.00 | 19,0 | 0,0 |

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| Descrizione | Descrizione terreno |
| Ed | Modulo edometrico espresso in [kPa] |
| RR | Rapporto di ricomprensione |
| CR | Rapporto di compressione |
| OCR | Grado di sovraconsolidazione |
| E | Modulo elastico espresso in [kPa] |
| ν | Coefficiente di Poisson |

| Descrizione | Ed [kPa] | RR | CR | OCR | E [kPa] | ν |
|-------------|-------------|--------|--------|--------|------------|-------|
| LS-al | 8000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 6000 | 0.200 |
| AL-sub | 22000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 16500 | 0.200 |
| SL-sub | 11000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 8250 | 0.200 |

Descrizione stratigrafia e falda

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]
 Terreno Terreno associato allo strato

| N | Z1 [m] | Z2 [m] | Z3 [m] | Terreno |
|---|-----------|-----------|-----------|---------|
| 1 | -10,5 | -10,5 | -10,5 | LS-al |
| 2 | -21,5 | -21,5 | -21,5 | AL-sub |
| 3 | -28,5 | -28,5 | -28,5 | SL-sub |

Falda

Falda non presente

Convenzioni adottate

Carichi e reazioni vincolari

Fz Carico verticale positivo verso il basso
 Fx Forza orizzontale in direzione X positiva nel verso delle X crescenti.
 Fy Forza orizzontale in direzione Y positiva nel verso delle Y crescenti.
 Mx Momento con asse vettore parallelo all'asse X positivo antiorario.
 My Momento con asse vettore parallelo all'asse Y positivo antiorario.

Sollecitazioni

Mx Momento flettente X con asse vettore parallelo all'asse Y (positivo se tende le fibre inferiori).
 My Momento flettente Y con asse vettore parallelo all'asse X (positivo se tende le fibre inferiori).
 Mxy Momento flettente XY.

Condizioni di carico

Carichi distribuiti

Simbologia adottata

Ic Indice carico
 P_{is} Punto inferiore sinistro del carico espresso in [m]
 P_{sd} Punto superiore destro del carico espresso in [m]
 Q_{z1} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore sinistro espresso in [kN/mq]
 Q_{z2} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto inferiore destro espresso in [kN/mq]
 Q_{z3} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore sinistro espresso in [kN/mq]
 Q_{z4} Componente verticale del carico in corrispondenza del punto superiore destro espresso in [kN/mq]
 Q_x Componente orizzontale del carico in direzione X espressa in [kN/mq]
 Q_y Componente orizzontale del carico in direzione Y espressa in [kN/mq]

Condizione n° 1 - Condizione 1 [Permanente non strutturale - Partecipa al sisma]

Carichi distribuiti

| Ic | P _{is} [m] | P _{sd} [m] | Q _{z1} [kN/mq] | Q _{z2} [kN/mq] | Q _{z3} [kN/mq] | Q _{z4} [kN/mq] | Q _x [kN/mq] | Q _y [kN/mq] |
|----|------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | 2,25; 12,18 | 7,80; 14,63 | 16,000 | 16,000 | 16,000 | 16,000 | 0,000 | 0,000 |

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

| CARICHI | EFFETTO | Coefficiente parziale | (A1) - STR |
|----------------------------|-------------|-----------------------|------------|
| Permanenti | Favorevole | $\gamma_{G1, fav}$ | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | $\gamma_{G1, sfav}$ | 1.30 |
| Permanenti non strutturali | Favorevole | $\gamma_{G2, fav}$ | 0.80 |
| Permanenti non strutturali | Sfavorevole | $\gamma_{G2, sfav}$ | 1.50 |
| Variabili | Favorevole | $\gamma_{Q1, fav}$ | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | $\gamma_{Q1, sfav}$ | 1.50 |
| Variabili traffico | Favorevole | $\gamma_{Q, fav}$ | 0.00 |
| Variabili traffico | Sfavorevole | $\gamma_{Q, sfav}$ | 1.35 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

| PARAMETRO | GRANDEZZA | Coefficiente parziale | (M1) |
|--|---------------|-----------------------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \phi_k$ | γ_ϕ | 1.00 |
| Coesione efficace | c'_k | $\gamma_{c'}$ | 1.00 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1.00 |

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Coefficienti amplificativi γ_{Rd} in funzione della classe di duttilità

| γ_{Rd} | Fondazione | Bicchieri |
|---------------|------------|-----------|
| γ_{Rd} | 1.10 | 1.20 |

Elenco combinazioni di calcolo

Numero combinazioni definite 1

Simbologia adottata

CP Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - - STR - A1-M1-R3

| Condizione | CP |
|--------------|------|
| Peso proprio | 1.30 |
| Condizione 1 | 1.00 |

Impostazioni di analisi*Portanza fondazione superficiale*

Metodo calcolo portanza: Hansen

Criterio di media calcolo strato equivalente: Ponderata

Riduzione portanza per effetto eccentricità: Meyerhof

Fattore di rigidità della sovrastruttura 0.00

Modello

Caratteristiche Mesh

| | |
|-----------------|----|
| Numero elementi | 76 |
| Numero nodi | 48 |

Risultati inviluppo

Spostamenti

Piastra

Spostamenti massimi e minimi della piastra

Simbologia adottata

| | |
|---|---|
| Ic | Indice della combinazione |
| w | Spostamento verticale, espresso in [m] |
| u | Spostamento direzione X, espresso in [m] |
| v | Spostamento direzione Y, espresso in [m] |
| ϕ_x | Rotazione intorno all'asse X, espressa in [°] |
| ϕ_y | Rotazione intorno all'asse Y, espressa in [°] |
| p | Pressione sul terreno (solo per calcolo fondazione), espressa in [kPa] |
| kw | Costante di Winkler (solo per calcolo fondazione), espressa in [kg/cm ² /cm]. Il valore viene stampato solo se si è utilizzato il modello di interazione |
| Tra parentesi l'indice del nodo in cui si sono misurati i valori massimi e minimi | |

| In | X [m] | Y [m] | | Valore | UM | Cmb | |
|----|----------|----------|----------|------------|-------|-----|-----|
| 35 | 5,00 | 14,80 | w | 0,00899942 | [m] | 1 | MAX |
| 2 | 2,00 | 12,00 | | 0,00795805 | | 1 | MIN |
| 2 | 2,00 | 12,00 | ϕ_x | 0,000415 | [°] | 1 | MAX |
| 48 | 8,00 | 14,80 | | -0,000328 | | 1 | MIN |
| 48 | 8,00 | 14,80 | ϕ_y | -0,000019 | [°] | 1 | MAX |
| 40 | 8,00 | 12,00 | | -0,000108 | | 1 | MIN |
| 48 | 8,00 | 14,80 | p | 95,5431 | [kPa] | 1 | MAX |
| 12 | 3,86 | 13,06 | | 6,3438 | | 1 | MIN |

Sollecitazioni

Piastra

Sollecitazioni massime e minime piastra

Simbologia adottata

| | |
|-----|---|
| In | Indice nodo modello |
| Mx | Momento X espresso in [kNm] |
| My | Momento Y espresso in [kNm] |
| Mxy | Momento XY espresso in [kNm] |
| Tx | Taglio X, espresso in [kN] |
| Ty | Taglio Y, espresso in [kN] |
| Nx | Tensione normale X espressa in [kPa] |
| Ny | Tensione normale Y espressa in [kPa] |
| Nxy | Tensione tangenziale XY espressa in [kPa] |

| In | X [m] | Y [m] | | Valore | UM | Cmb | |
|----|----------|----------|-----|---------|-------|-----|-----|
| 17 | 4,77 | 13,01 | Mx | 15,9562 | [kNm] | 1 | MAX |
| 48 | 8,00 | 14,80 | | -1,0804 | | 1 | MIN |
| 12 | 3,86 | 13,06 | My | 5,6031 | [kNm] | 1 | MAX |
| 48 | 8,00 | 14,80 | | -1,2804 | | 1 | MIN |
| 30 | 7,00 | 12,00 | Mxy | 1,4840 | [kNm] | 1 | MAX |
| 45 | 7,00 | 14,80 | | -1,9141 | | 1 | MIN |

Verifiche strutturali

Verifica a flessione

Piastra

Simbologia adottata

| | |
|-----|--|
| Is | Identificativo tratto-sezione-direzione (P: direzione principale, S: direzione secondaria) |
| Afi | Area di armatura lembo inferiore espressa in [mq] |
| Afs | Area di armatura lembo superiore espressa in [mq] |
| Mu | Momento ultimo espresso in [kNm] |
| Nu | Sforzo normale ultimo espresso in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza |

| Is | Afi [mq] | Afs [mq] | Mu [kNm] | Nu [kN] | FS |
|--------|-------------|-------------|-------------|------------|-------|
| 1-13-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,38 | 0,00 | 3.983 |

| Is | Afi [mq] | Afs [mq] | Mu [kNm] | Nu [kN] | FS |
|--------|-------------|-------------|-------------|------------|--------|
| 2-13-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,38 | 0,00 | 3.818 |
| 3-13-P | 0,000565 | 0,000565 | 56,38 | 0,00 | 3.967 |
| 4-7-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 13.223 |
| 5-6-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 10.440 |
| 6-6-S | 0,000679 | 0,000679 | 67,04 | 0,00 | 12.191 |
| 7-8-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 10.368 |
| 8-8-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 10.553 |
| 9-7-S | 0,000565 | 0,000565 | 56,69 | 0,00 | 12.880 |

Verifiche geotecniche

Carico limite

Piastra

Simbologia adottata

| | |
|-----|--|
| Ic | Indice combinazione |
| N | Carico verticale trasmesso al terreno, espresso in [kN] |
| Np | Carico verticale trasmesso ai pali, espresso in [kN] |
| Qu | Portanza ultima terreno, espressa in [kN] |
| Qup | Portanza ultima pali, espressa in [kN]. Solo per fondazione mista |
| Qd | Portanza di progetto ((Pu+Pup)/η), espressa in [kN] |
| Nt | Carico verticale trasmesso al terreno (N+Np), espresso in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza a carico limite (Pd/Nt). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo. |

| Ic | N [kN] | Np [kN] | Qu [kN] | Qup [kN] | Qd [kN] | Nt [kN] | FS |
|----|-----------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1 | 224,11 | 0,00 | 10411,88 | 0,00 | 4526,90 | 224,11 | 20.199 (1) |

Scorrimento

Piastra

Simbologia adottata

| | |
|----|--|
| n° | Indice plinto |
| T | Carico orizzontale trasferito al terreno, espresso in [kN] |
| Tp | Carico orizzontale trasferito ai pali, espresso in [kN] |
| Ru | Resistenza ultima allo scorrimento, espressa in [kN] |
| Rd | Resistenza di progetto allo scorrimento, espressa in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza allo scorrimento (Rd/T). Tra parentesi viene riportato l'indice della combinazione con fattore di sicurezza minimo. |

| n° | T [kN] | Tp [kN] | Ru [kN] | Rd [kN] | FS |
|----|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| 1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100.0 (1) |

Armature

Armature piastra

| | |
|---|-------------------------------|
| Direzione principale armature | 0,00 [°] |
| Direzione secondaria armature | -90,00 [°] |
| Numero tratti complessivi | 9 |
| Ampiezza singolo tratto | 1,00 [m] |
| Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto | 0,25 [m] |
| Maglia superiore | (5 ϕ 12) x (5 ϕ 12) |
| Maglia inferiore | (5 ϕ 12) x (5 ϕ 12) |

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Per il calcolo di piastre, plinti e graticci si utilizza il metodo degli elementi finiti. Il generatore di mesh permette di utilizzare elementi triangolari o quadrangolari, anche a deformabilità tagliante.

Per le strutture di fondazione il terreno viene modellato con una serie di molle alla Winkler non reagenti a trazione. Il calcolo delle tensioni indotte nel terreno può essere condotto con i metodi di Boussinesq, Westergaard o Frohlich. Il calcolo dei cedimenti può essere eseguito con il metodo edometrico (con il modulo edometrico o con la curva edometrica) o elastico. Il calcolo della portanza può essere fatto con i metodi di Terzaghi, Meyerhof, Hansen o Vesic.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. 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 | API++ Platee e Graticci - Analisi Fondazioni |
| Versione | 14.0 |
| Produttore | Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS) |
| Utente | Ing. Sacchetti Marco |
| Licenza | AIU4920LJ |

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.

Luogo e data

Il progettista
(Ing. Marco SACCHETTI)

Rottura a trazione dell'acciaio

Azione di trazione agente sul singolo ancorante più sollecitato

$$N_{Ed}^h = 12,77 \text{ KN}$$

Area resistente

$$A_{s, re} = 157 \text{ mm}^2$$

Classe Tirafondo

$$C = 8,8$$

Tensione caratteristica di snervamento

$$f_{yk} = 640 \text{ N/mm}^2$$

Tensione caratteristica di rottura

$$f_{uk} = 800 \text{ N/mm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza acciaio (trazione)

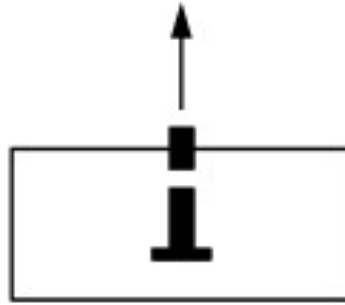
$$\gamma_{Ms} = 1,31$$

Resistenza caratteristica a trazione

$$N_{Rk, s} = A_s \cdot f_{uk} = 125,6 \text{ KN}$$

Resistenza di calcolo a trazione

$$N_{Rd, s} = N_{Rk, s} / \gamma_{Ms} = 95,7 \text{ KN}$$

**Verifica rottura acciaio**

$$N_{Ed}^h / N_{Rd} = 0,13 \leq 1$$

Rottura conica del calcestruzzo

Numero tirafondi resistenti a trazione

$$n = 1$$

Azione di trazione agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato

$$N_{Ed}^g = 12,8 \text{ KNm}$$

Altezza efficace

$$h_{ef} = 200 \text{ mm}$$

Diametro nominale

$$d = 16 \text{ mm}$$

Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo

$$f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Coefficiente per calcestruzzo non fessurato

$$k_1 = 11,0$$

Resistenza iniziale ancorante isolato

$$N_{Rk, c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} = 176,00 \text{ KN}$$

Interasse minimo caratteristico per assenza interazione

$$s_{cr, N} = 3 h_{ef} = 600 \text{ mm}$$

Area di influenza ideale singolo ancorante

$$A_{c, N}^0 = s_{cr, N} \cdot s_{cr, N} = 360000 \text{ mm}^2$$

Distanza minima caratteristica dal bordo interno per assenza interazione

$$c_{cr, N} = s_{cr, N} / 2 = 300 \text{ mm}$$

Distanza dal bordo libero interno

$$c_1 = 200 \text{ mm}$$

Distanza dal bordo libero esterno

$$c_2 = 300 \text{ mm}$$

Interasse longitudinale tirafondi di estremità

$$s_1 = 130 \text{ mm}$$

Area di influenza efficace

$$A_{c, N} = (c_1 + \min(c_{cr, Np}, c_2)) \cdot (s_{cr, Np} + s_1) = 365000 \text{ mm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza per distanza dal bordo

$$\psi_{s, N} = 0,7 + 0,3 \cdot (c_1 / c_{cr, N}) \leq 1 \quad 0,90$$

Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità carico

$$\psi_{ec, N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza di spacco dell'involucro

$$\psi_{re, N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per effetto forza di compressione

$$\psi_{M, N} = 1,00$$

Resistenza caratteristica a trazione

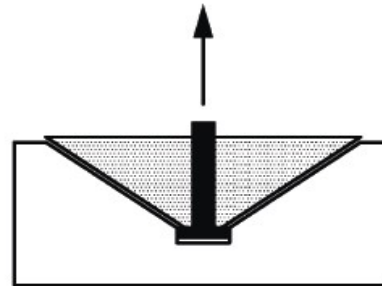
$$N_{Rk, c} = N_{Rk, c}^0 \cdot A_{c, N} / A_{c, N}^0 \cdot \psi_{s, N} \cdot \psi_{ec, N} \cdot \psi_{re, N} \cdot \psi_{M, N} = 160,6 \text{ KN}$$

Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo

$$\gamma_{Mc} = 1,0$$

Resistenza di calcolo a trazione

$$N_{Rd, c} = N_{Rk, c} / \gamma_{Mc} = 160,6 \text{ KN}$$

**Verifica rottura conica**

$$N_{Ed}^g / N_{Rd} = 0,08 \leq 1$$

Rottura combinata a sfilamento e rottura conica del calcestruzzo

Azione di trazione agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato

 $N_{Ed}^g = 12,8 \text{ KNm}$

Altezza efficace

 $h_{ef} = 200 \text{ mm}$

Diametro nominale

 $d = 16 \text{ mm}$

Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo

 $f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica ancoraggio per cls non fessurato

 $\tau_{Rk} = 2,11 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente correttivo in funzione della resistenza del cls

 $\psi_c = 1,00 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica ancoraggio

 $\tau_{Rk} = 2,11 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente per calcestruzzo non fessurato

 $k_3 = 11,0$

Fattore dipendente dal prodotto

 $\psi_{sus} = 3,0$

Resistenza iniziale ancorante isolato

 $N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{Rk} \cdot \psi_{sus} = 21,21 \text{ KN}$

Interasse minimo caratteristico per assenza interazione

 $s_{cr,Np} = 20 d (\tau_{Rk} / 7.5)^{0.5} \leq 3 h_{ef} = 169,7308 \text{ mm}$

Area di influenza ideale singolo ancorante

 $A_{p,N}^0 = s_{cr,Np} \cdot s_{cr,Np} = 28808,53 \text{ mm}^2$

Distanza minima caratteristico dal bordo interno per assenza interazione

 $c_{cr,Np} = s_{cr,Np} / 2 = 84,86538 \text{ mm}$

Distanza dal bordo libero interno

 $c_1 = 200 \text{ mm}$

Distanza dal bordo libero esterno

 $c_2 = 300 \text{ mm}$

Interasse longitudinale tirafondi di estremità

 $s_1 = 130 \text{ mm}$

Area di influenza efficace

 $A_{p,N} = (c_1 + \min(c_{cr,Np}, c_2)) \cdot (s_{cr,Np} + s_1) = 85382,92 \text{ mm}^2$

Coefficiente parziale di sicurezza per distanza dal bordo

 $\psi_{s,Np} = 0.7 + 0.3 \cdot (c_1 / c_{cr,Np}) \leq 1 = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza iniziale per interazione

 $\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot (d \cdot \tau_{Rk} / (k_3 \cdot (h_{ef} \cdot R_{ck})^{0.5}))^{1.5} \geq 1 = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza per interazione

 $\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - (s / s_{cr,Np})^{0.5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1 = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità carico

 $\psi_{ec,Np} = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza per armatura

 $\psi_{re,Np} = 1,00$

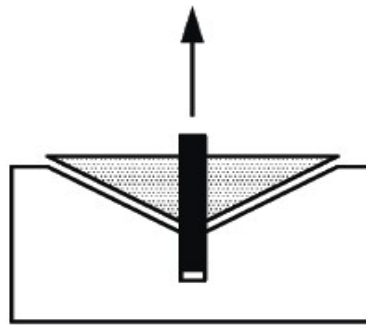
Resistenza caratteristica a trazione

 $N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot A_{p,N} / A_{p,N}^0 \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{ec,Np} \cdot \psi_{re,Np} = 62,9 \text{ KN}$

Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo

 $\gamma_{Mp} = 1,00$

Resistenza di calcolo a trazione

 $N_{Rd,p} = N_{Rk,p} / \gamma_{Mp} = 62,9 \text{ KN}$ **Verifica rottura sfilamento e rottura conica** $N_{Ed}^g / N_{Rd} = 0,20 \leq 1$ 

Rottura per splitting del calcestruzzo

Azione di trazione agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato

$$N_{Ed}^g = 12,8 \text{ KNm}$$

Altezza efficace

$$h_{ef} = 200 \text{ mm}$$

Diametro nominale

$$d = 16 \text{ mm}$$

Altezza supporto

$$h = 300 \text{ mm}$$

Altezza minima supporto

$$h_{min} = 240 \text{ mm}$$

Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo

$$f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza iniziale ancorante isolato

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{R_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} = 161,60 \text{ KN}$$

Distanza minima dal bordo interno per assenza interazione

$$c_{cr,sp} = 380 \text{ mm}$$

Interasse minimo per assenza interazione

$$s_{cr,sp} = 2 \cdot c_{cr,sp} = 760 \text{ mm}$$

Area di influenza ideale singolo ancorante

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,sp} \cdot c_{cr,sp} = 577600 \text{ mm}^2$$

Distanza dal bordo libero

$$c_1 = 200 \text{ mm}$$

Distanza dal bordo libero esterno

$$c_2 = 300 \text{ mm}$$

Interasse longitudinale tirafondi

$$s_1 = 130 \text{ mm}$$

Area di influenza efficace

$$A_{c,N} = (c_1 + \min(c_{cr,Np}, c_2) \cdot (s_{cr,Np} + s_1)) = 445000 \text{ mm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza per distanza dal bordo

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot (c_1 / c_{cr,sp}) \leq 1 \quad 0,86$$

Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità carico

$$\psi_{ec,N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per armatura

$$\psi_{re,N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per profondità effettiva del supporto

$$\psi_{h,sp} = (h / h_{min})^{2/3} = 1,16$$

Resistenza caratteristica a trazione

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{h,sp} = 123,9 \text{ KN}$$

Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo

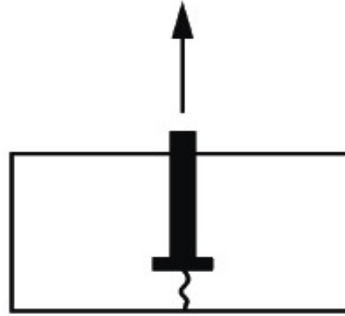
$$\gamma_{Mc} = 1,0$$

Resistenza di calcolo a trazione

$$N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp} / \gamma_{Mc} = 123,9 \text{ KN}$$

Verifica frantumazione superficiale del calcestruzzo

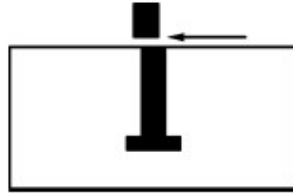
$$N_{Ed}^g / N_{Rd} = 0,10 \leq 1$$



Rottura a taglio dell'acciaio

| | | |
|---|---------------------------------|----------|
| Azione di taglio totale | $V_{pl} =$ | 3,561 KN |
| Numero chiodi resistenti a taglio | $n_{v,tot} =$ | 1 |
| Azione di taglio agente sul singolo ancorante più sollecitato | $V_{Sd} = V_{pl} / n_{v,tot} =$ | 3,6 KN |

| |
|--|
| Area resistente |
| Classe chiodo |
| Tensione caratteristica di snervamento |
| Tensione caratteristica di rottura |
| Coefficiente parziale di sicurezza acciaio (taglio) |
| Fattore di resistenza del singolo ancorante |
| Fattore di resistenza per ancoranti di gruppo in acciaio duttile |
| Resistenza caratteristica a taglio del singolo ancorante |
| Resistenza caratteristica a taglio del gruppo |
| Resistenza di calcolo a taglio |



| | |
|---|-----------------------|
| $A_{res} =$ | 157 mm ² |
| C | - |
| $f_{yk} =$ | 640 N/mm ² |
| $f_{uk} =$ | 800 N/mm ² |
| $\gamma_{Ms} =$ | 1,25 |
| $k_6 =$ | 0,5 |
| $k_7 =$ | 1,0 |
| $V_{Rk,s}^0 = k_6 \cdot A_s \cdot f_{uk} =$ | 62,8 KN |
| $V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 =$ | 62,8 |
| $V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Ms} =$ | 50,2 KN |

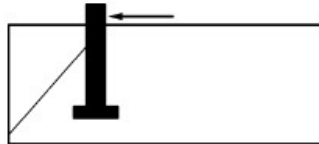
Verifica rottura acciaio

$$V_{Ed}^h / V_{Rd,s} = 0,07 \leq 1$$

Rottura del bordo del calcestruzzo

| | | |
|---|---|-------------|
| Azione di taglio totale | $V_{pl} =$ | 3,560666 KN |
| Numero complessivo di ancoranti resistenti a taglio | $n_{v,tot} =$ | 1 |
| Ancoranti resistenti a taglio afferenti al gruppo oggetto di verifica | $n =$ | 1 |
| Azione di taglio agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato | $V_{Ed} = V_{pl} \cdot n / n_{v,tot} =$ | 3,6 KN |

| |
|---|
| Altezza efficace |
| Altezza efficace |
| Altezza supporto |
| Diametro nominale |
| Resistenza caratteristica calcestruzzo |
| Distanza dal bordo libero |
| Coefficiente di calcolo |
| Coefficiente di calcolo |
| Coefficiente per calcestruzzo non fessurato |
| Resistenza iniziale ancorante isolato |
| Interasse minimo per assenza interazione |
| Area di influenza ideale singolo ancorante |
| Interasse tirafondi interni |
| Area di influenza efficace |
| Coefficiente parziale di sicurezza per ulteriori bordi |
| Coefficiente parziale di sicurezza per spessore elemento |
| Coefficiente parziale di sicurezza per angolo di taglio |
| Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità |
| Coefficiente parziale di sicurezza per armatura di rinforzo |
| Resistenza caratteristica a taglio |
| Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo |
| Resistenza di calcolo a taglio |



| | |
|---|-------------------------|
| $h_{ef} =$ | 200 mm |
| $l_f =$ | 300 mm |
| $h =$ | 300 mm |
| $d =$ | 16 mm |
| $f_{ck} =$ | 32 N/mm ² |
| $c_1 =$ | 500 mm |
| $\alpha = 0.1 \cdot (l_f / c_1)^{0.5}$ | 0,06 |
| $\beta = 0.1 \cdot (d_{nom} / c_1)^{0.2}$ | 0,05 |
| $k_9 =$ | 2,40 |
| $V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d^{\alpha}_{nom} \cdot l_f^{\beta} \cdot V_{Rk,c} \cdot c_1^{1.5} =$ | 236,05 KN |
| $s_{cr,N} = 3 h_{ef} =$ | 600 mm |
| $A_{c,v}^0 = 4.5 \cdot c_1 \cdot c_1 =$ | 1125000 mm ² |
| $s_2 =$ | 130 mm |
| $A_{c,v} = (2 \cdot 1.5c_1 + s_2) \cdot \min(h; 1.5 c_1) =$ | 489000 mm ² |
| $\psi_{s,v} =$ | 1,00 |
| $\psi_{h,v} =$ | 1,58 |
| $\psi_{\alpha,v} =$ | 1,00 |
| $\psi_{ec,v} =$ | 1,00 |
| $\psi_{er,v} =$ | 1,00 |
| $V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,v} / A_{c,v}^0 \cdot \psi_{s,v} \cdot \psi_{h,v} \cdot \psi_{\alpha,v} \cdot \psi_{ec,v} \cdot \psi_{er,v} =$ | 162,2 KN |
| $\gamma_{Mc} =$ | 1,0 |
| $V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Mc} =$ | 162,2 KN |

Verifica rottura del bordo del calcestruzzo

$$V_{Sd} / V_{Rd} = 0,02 \leq 1$$

Resistenza combinata taglio e Trazione - Rottura acciaio

Rapporto massimo tra azioni di trazione di progetto e resistenti

$\beta_N = 0,13$

Rapporto massimo tra azioni di taglio di progetto e resistenti

$\beta_V = 0,07$

Verifica Azioni Composte su ancoranti lato urto soggetti a trazione e taglio

$\beta_N + \beta_V = 0,02 \leq 1.0$

Resistenza combinata taglio e Trazione - Rottura calcestruzzo

Rapporto massimo tra azioni di trazione di progetto e resistenti

$\beta_N = 0,20$

Rapporto massimo tra azioni di taglio di progetto e resistenti

$\beta_V = 0,02$

Verifica Azioni Composte su ancoranti lato urto soggetti a trazione e taglio

$\beta_N + \beta_V = 0,22 \leq 1.2$

Rottura a trazione dell'acciaio

Azione di trazione agente sul singolo ancorante più sollecitato

$$N_{Ed}^h = 17,90 \text{ KN}$$

Area resistente

$$A_{s,re} = 157 \text{ mm}^2$$

Classe Tirafondo

$$C = 8,8$$

Tensione caratteristica di snervamento

$$f_{yk} = 640 \text{ N/mm}^2$$

Tensione caratteristica di rottura

$$f_{uk} = 800 \text{ N/mm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza acciaio (trazione)

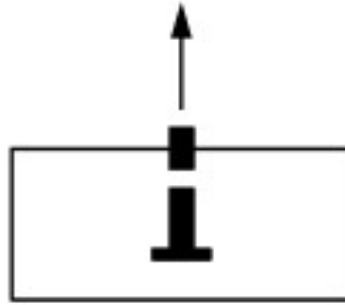
$$\gamma_{Ms} = 1,31$$

Resistenza caratteristica a trazione

$$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk} = 125,6 \text{ KN}$$

Resistenza di calcolo a trazione

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms} = 95,7 \text{ KN}$$

**Verifica rottura acciaio**

$$N_{Ed}^h / N_{Rd} = 0,19 \leq 1$$

Rottura conica del calcestruzzo

Numero tirafondi resistenti a trazione

$$n = 1$$

Azione di trazione agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato

$$N_{Ed}^g = 17,9 \text{ KNm}$$

Altezza efficace

$$h_{ef} = 200 \text{ mm}$$

Diametro nominale

$$d = 16 \text{ mm}$$

Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo

$$f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Coefficiente per calcestruzzo non fessurato

$$k_1 = 11,0$$

Resistenza iniziale ancorante isolato

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} = 176,00 \text{ KN}$$

Interasse minimo caratteristico per assenza interazione

$$s_{cr,N} = 3 h_{ef} = 600 \text{ mm}$$

Area di influenza ideale singolo ancorante

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 360000 \text{ mm}^2$$

Distanza minima caratteristica dal bordo interno per assenza interazione

$$c_{cr,N} = s_{cr,N} / 2 = 300 \text{ mm}$$

Distanza dal bordo libero interno

$$c_1 = 200 \text{ mm}$$

Distanza dal bordo libero esterno

$$c_2 = 300 \text{ mm}$$

Interasse longitudinale tirafondi di estremità

$$s_1 = 130 \text{ mm}$$

Area di influenza efficace

$$A_{c,N} = (c_1 + \min(c_{cr,Np}, c_2)) \cdot (s_{cr,Np} + s_1) = 365000 \text{ mm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza per distanza dal bordo

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot (c_1 / c_{cr,N}) \leq 1 \quad 0,90$$

Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità carico

$$\psi_{ec,N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza di spacco dell'involucro

$$\psi_{re,N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per effetto forza di compressione

$$\psi_{M,N} = 1,00$$

Resistenza caratteristica a trazione

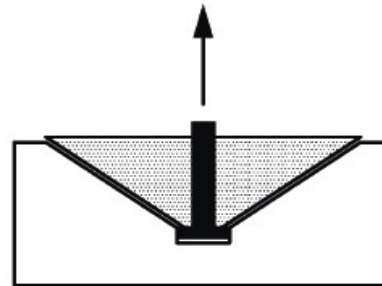
$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{M,N} = 160,6 \text{ KN}$$

Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo

$$\gamma_{Mc} = 1,0$$

Resistenza di calcolo a trazione

$$N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Mc} = 160,6 \text{ KN}$$

**Verifica rottura conica**

$$N_{Ed}^g / N_{Rd} = 0,11 \leq 1$$

Rottura combinata a sfilamento e rottura conica del calcestruzzo

Azione di trazione agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato

 $N_{Ed}^g = 17,9 \text{ KNm}$

Altezza efficace

 $h_{ef} = 200 \text{ mm}$

Diametro nominale

 $d = 16 \text{ mm}$

Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo

 $f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica ancoraggio per cls non fessurato

 $\tau_{Rk} = 2,11 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente correttivo in funzione della resistenza del cls

 $\psi_c = 1,00 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica ancoraggio

 $\tau_{Rk} = 2,11 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente per calcestruzzo non fessurato

 $k_3 = 11,0$

Fattore dipendente dal prodotto

 $\psi_{sus} = 3,0$

Resistenza iniziale ancorante isolato

 $N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{Rk} \cdot \psi_{sus} = 21,21 \text{ KN}$

Interasse minimo caratteristico per assenza interazione

 $s_{cr,Np} = 20 d (\tau_{Rk} / 7.5)^{0.5} \leq 3 h_{ef} = 169,7308 \text{ mm}$

Area di influenza ideale singolo ancorante

 $A_{p,N}^0 = s_{cr,Np} \cdot s_{cr,Np} = 28808,53 \text{ mm}^2$

Distanza minima caratteristico dal bordo interno per assenza interazione

 $c_{cr,Np} = s_{cr,Np} / 2 = 84,86538 \text{ mm}$

Distanza dal bordo libero interno

 $c_1 = 200 \text{ mm}$

Distanza dal bordo libero esterno

 $c_2 = 300 \text{ mm}$

Interasse longitudinale tirafondi di estremità

 $s_1 = 130 \text{ mm}$

Area di influenza efficace

 $A_{p,N} = (c_1 + \min(c_{cr,Np}, c_2)) \cdot (s_{cr,Np} + s_1) = 85382,92 \text{ mm}^2$

Coefficiente parziale di sicurezza per distanza dal bordo

 $\psi_{s,Np} = 0.7 + 0.3 \cdot (c_1 / c_{cr,Np}) \leq 1 = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza iniziale per interazione

 $\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot (d \cdot \tau_{Rk} / (k_3 \cdot (h_{ef} \cdot R_{ck})^{0.5}))^{1.5} \geq 1 = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza per interazione

 $\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - (s / s_{cr,Np})^{0.5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1 = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità carico

 $\psi_{ec,Np} = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza per armatura

 $\psi_{re,Np} = 1,00$

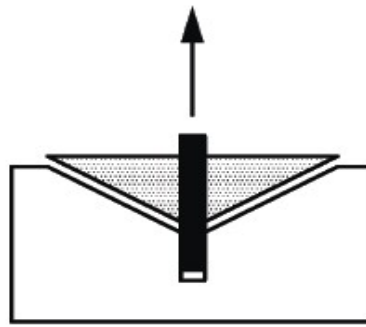
Resistenza caratteristica a trazione

 $N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot A_{p,N} / A_{p,N}^0 \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{ec,Np} \cdot \psi_{re,Np} = 62,9 \text{ KN}$

Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo

 $\gamma_{Mp} = 1,00$

Resistenza di calcolo a trazione

 $N_{Rd,p} = N_{Rk,p} / \gamma_{Mp} = 62,9 \text{ KN}$ **Verifica rottura sfilamento e rottura conica** $N_{Ed}^g / N_{Rd} = 0,28 \leq 1$ 

Rottura per splitting del calcestruzzo

Azione di trazione agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato

$$N_{Ed}^g = 17,9 \text{ KNm}$$

Altezza efficace

$$h_{ef} = 200 \text{ mm}$$

Diametro nominale

$$d = 16 \text{ mm}$$

Altezza supporto

$$h = 300 \text{ mm}$$

Altezza minima supporto

$$h_{min} = 240 \text{ mm}$$

Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo

$$f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza iniziale ancorante isolato

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{R_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} = 161,60 \text{ KN}$$

Distanza minima dal bordo interno per assenza interazione

$$c_{cr,sp} = 380 \text{ mm}$$

Interasse minimo per assenza interazione

$$s_{cr,sp} = 2 \cdot c_{cr,sp} = 760 \text{ mm}$$

Area di influenza ideale singolo ancorante

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,sp} \cdot c_{cr,sp} = 577600 \text{ mm}^2$$

Distanza dal bordo libero

$$c_1 = 200 \text{ mm}$$

Distanza dal bordo libero esterno

$$c_2 = 300 \text{ mm}$$

Interasse longitudinale tirafondi

$$s_1 = 130 \text{ mm}$$

Area di influenza efficace

$$A_{c,N} = (c_1 + \min(c_{cr,Np}, c_2) \cdot (s_{cr,Np} + s_1)) = 445000 \text{ mm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza per distanza dal bordo

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot (c_1 / c_{cr,sp}) \leq 1 \quad 0,86$$

Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità carico

$$\psi_{ec,N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per armatura

$$\psi_{re,N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per profondità effettiva del supporto

$$\psi_{h,sp} = (h / h_{min})^{2/3} = 1,16$$

Resistenza caratteristica a trazione

$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{h,sp} = 123,9 \text{ KN}$$

Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo

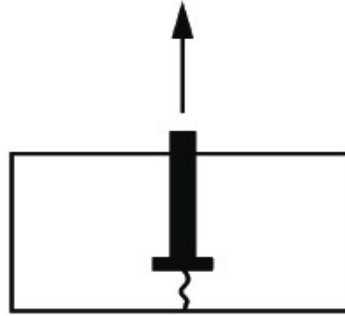
$$\gamma_{Mc} = 1,0$$

Resistenza di calcolo a trazione

$$N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp} / \gamma_{Mc} = 123,9 \text{ KN}$$

Verifica frantumazione superficiale del calcestruzzo

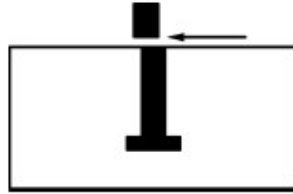
$$N_{Ed}^g / N_{Rd} = 0,14 \leq 1$$



Rottura a taglio dell'acciaio

| | | |
|---|---------------------------------|----------|
| Azione di taglio totale | $V_{pl} =$ | 1,400 KN |
| Numero chiodi resistenti a taglio | $n_{V,tot} =$ | 1 |
| Azione di taglio agente sul singolo ancorante più sollecitato | $V_{Sd} = V_{pl} / n_{V,tot} =$ | 1,4 KN |

Area resistente
 Classe chiodo
 Tensione caratteristica di snervamento
 Tensione caratteristica di rottura
 Coefficiente parziale di sicurezza acciaio (taglio)
 Fattore di resistenza del singolo ancorante
 Fattore di resistenza per ancoranti di gruppo in acciaio duttile
 Resistenza caratteristica a taglio del singolo ancorante
 Resistenza caratteristica a taglio del gruppo
 Resistenza di calcolo a taglio



$A_{res} =$ 157 mm²
 C -
 $f_{yk} =$ 640 N/mm²
 $f_{uk} =$ 800 N/mm²
 $\gamma_{Ms} =$ 1,25
 $k_6 =$ 0,5
 $k_7 =$ 1,0
 $V_{Rk,s}^0 = k_6 \cdot A_s \cdot f_{uk} =$ 62,8 KN
 $V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 =$ 62,8
 $V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Ms} =$ 50,2 KN

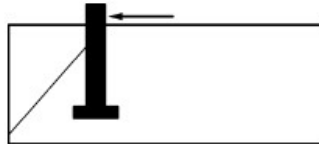
Verifica rottura acciaio

$$V_{Ed}^h / V_{Rd,s} = 0,03 \leq 1$$

Rottura del bordo del calcestruzzo

| | | |
|---|---|--------|
| Azione di taglio totale | $V_{pl} =$ | 1,4 KN |
| Numero complessivo di ancoranti resistenti a taglio | $n_{V,tot} =$ | 1 |
| Ancoranti resistenti a taglio afferenti al gruppo oggetto di verifica | $n =$ | 1 |
| Azione di taglio agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato | $V_{Ed} = V_{pl} \cdot n / n_{V,tot} =$ | 1,4 KN |

Altezza efficace
 Altezza efficace
 Altezza supporto
 Diametro nominale
 Resistenza caratteristica calcestruzzo
 Distanza dal bordo libero
 Coefficiente di calcolo
 Coefficiente di calcolo
 Coefficiente per calcestruzzo non fessurato
 Resistenza iniziale ancorante isolato
 Interasse minimo per assenza interazione
 Area di influenza ideale singolo ancorante
 Interasse tirafondi interni
 Area di influenza efficace
 Coefficiente parziale di sicurezza per ulteriori bordi
 Coefficiente parziale di sicurezza per spessore elemento
 Coefficiente parziale di sicurezza per angolo di taglio
 Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità
 Coefficiente parziale di sicurezza per armatura di rinforzo
 Resistenza caratteristica a taglio
 Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo
 Resistenza di calcolo a taglio



$h_{ef} =$ 200 mm
 $l_f =$ 300 mm
 $h =$ 300 mm
 $d =$ 16 mm
 $f_{ck} =$ 32 N/mm²
 $c_1 =$ 500 mm
 $\alpha = 0.1 \cdot (l_f / c_1)^{0.5} =$ 0,06
 $\beta = 0.1 \cdot (d_{nom} / c_1)^{0.2} =$ 0,05
 $k_9 =$ 2,40
 $V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot V_{Rk,c} \cdot c_1^{1.5} =$ 236,05 KN
 $s_{cr,N} = 3 h_{ef} =$ 600 mm
 $A_{c,v}^0 = 4.5 \cdot c_1 \cdot c_1 =$ 1125000 mm²
 $s_2 =$ 130 mm
 $A_{c,v} = (2 \cdot 1.5c_1 + s_2) \cdot \min(h; 1.5 c_1) =$ 489000 mm²
 $\psi_{s,v} =$ 1,00
 $\psi_{h,v} =$ 1,58
 $\psi_{\alpha,v} =$ 1,00
 $\psi_{ec,v} =$ 1,00
 $\psi_{er,v} =$ 1,00
 $V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,v} / A_{c,v}^0 \cdot \psi_{s,v} \cdot \psi_{h,v} \cdot \psi_{\alpha,v} \cdot \psi_{ec,v} \cdot \psi_{er,v} =$ 162,2 KN
 $\gamma_{Mc} =$ 1,0
 $V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Mc} =$ 162,2 KN

Verifica rottura del bordo del calcestruzzo

$$V_{Sd} / V_{Rd} = 0,01 \leq 1$$

Resistenza combinata taglio e Trazione - Rottura acciaio

Rapporto massimo tra azioni di trazione di progetto e resistenti

$\beta_N = 0,19$

Rapporto massimo tra azioni di taglio di progetto e resistenti

$\beta_V = 0,03$

Verifica Azioni Composte su ancoranti lato urto soggetti a trazione e taglio

$\beta_N + \beta_V = 0,04 \leq 1.0$

Resistenza combinata taglio e Trazione - Rottura calcestruzzo

Rapporto massimo tra azioni di trazione di progetto e resistenti

$\beta_N = 0,28$

Rapporto massimo tra azioni di taglio di progetto e resistenti

$\beta_V = 0,01$

Verifica Azioni Composte su ancoranti lato urto soggetti a trazione e taglio

$\beta_N + \beta_V = 0,29 \leq 1.2$

Rottura a trazione dell'acciaio

Azione di trazione agente sul singolo ancorante più sollecitato

$$N_{Ed}^h = 98,10 \text{ KN}$$

Area resistente

$$A_{s, re} = 561 \text{ mm}^2$$

Classe Tirafondo

$$C = 8,8$$

Tensione caratteristica di snervamento

$$f_{yk} = 640 \text{ N/mm}^2$$

Tensione caratteristica di rottura

$$f_{uk} = 800 \text{ N/mm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza acciaio (trazione)

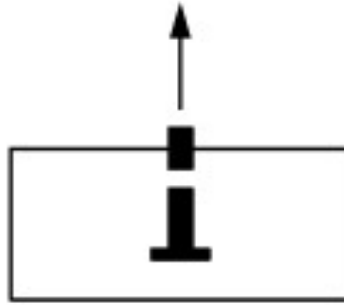
$$\gamma_{Ms} = 1,31$$

Resistenza caratteristica a trazione

$$N_{Rk,s} = A_s \cdot f_{uk} = 448,8 \text{ KN}$$

Resistenza di calcolo a trazione

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Ms} = 341,9 \text{ KN}$$

**Verifica rottura acciaio**

$$N_{Ed}^h / N_{Rd} = 0,29 \leq 1$$

Rottura conica del calcestruzzo

Numero tirafondi resistenti a trazione

$$n = 1$$

Azione di trazione agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato

$$N_{Ed}^g = 98,1 \text{ KNm}$$

Altezza efficace

$$h_{ef} = 250 \text{ mm}$$

Diametro nominale

$$d = 30 \text{ mm}$$

Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo

$$f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Coefficiente per calcestruzzo non fessurato

$$k_1 = 11,0$$

Resistenza iniziale ancorante isolato

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1,5} = 245,97 \text{ KN}$$

Interasse minimo caratteristico per assenza interazione

$$s_{cr,N} = 3 h_{ef} = 750 \text{ mm}$$

Area di influenza ideale singolo ancorante

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 562500 \text{ mm}^2$$

Distanza minima caratteristica dal bordo interno per assenza interazione

$$c_{cr,N} = s_{cr,N} / 2 = 375 \text{ mm}$$

Distanza dal bordo libero interno

$$c_1 = 650 \text{ mm}$$

Distanza dal bordo libero esterno

$$c_2 = 650 \text{ mm}$$

Interasse longitudinale tirafondi di estremità

$$s_1 = 400 \text{ mm}$$

Area di influenza efficace

$$A_{c,N} = (c_1 + \min(c_{cr,Np}, c_2)) \cdot (s_{cr,Np} + s_1) = 1178750 \text{ mm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza per distanza dal bordo

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot (c_1 / c_{cr,N}) \leq 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità carico

$$\psi_{ec,N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza di spacco dell'involucro

$$\psi_{re,N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per effetto forza di compressione

$$\psi_{M,N} = 1,00$$

Resistenza caratteristica a trazione

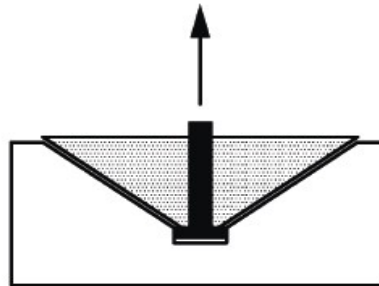
$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{M,N} = 515,4 \text{ KN}$$

Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo

$$\gamma_{Mc} = 1,0$$

Resistenza di calcolo a trazione

$$N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Mc} = 515,4 \text{ KN}$$

**Verifica rottura conica**

$$N_{Ed}^g / N_{Rd} = 0,19 \leq 1$$

Rottura combinata a sfilamento e rottura conica del calcestruzzo

Azione di trazione agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato

 $N_{Ed}^g = 98,1 \text{ KNm}$

Altezza efficace

 $h_{ef} = 250 \text{ mm}$

Diametro nominale

 $d = 30 \text{ mm}$

Resistenza caratteristica cilindrica del calcestruzzo

 $f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica ancoraggio per cls non fessurato

 $\tau_{Rk} = 2,11 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente correttivo in funzione della resistenza del cls

 $\psi_c = 1,00 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica ancoraggio

 $\tau_{Rk} = 2,11 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente per calcestruzzo non fessurato

 $k_3 = 11,0$

Fattore dipendente dal prodotto

 $\psi_{sus} = 3,0$

Resistenza iniziale ancorante isolato

 $N_{Rk,p}^0 = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{Rk} \cdot \psi_{sus} = 49,72 \text{ KN}$

Interasse minimo caratteristico per assenza interazione

 $s_{cr,Np} = 20 d (\tau_{Rk} / 7.5)^{0.5} \leq 3 h_{ef} = 318,2452 \text{ mm}$

Area di influenza ideale singolo ancorante

 $A_{p,N}^0 = s_{cr,Np} \cdot s_{cr,Np} = 101280 \text{ mm}^2$

Distanza minima caratteristico dal bordo interno per assenza interazione

 $c_{cr,Np} = s_{cr,Np} / 2 = 159,1226 \text{ mm}$

Distanza dal bordo libero interno

 $c_1 = 650 \text{ mm}$

Distanza dal bordo libero esterno

 $c_2 = 650 \text{ mm}$

Interasse longitudinale tirafondi di estremità

 $s_1 = 400 \text{ mm}$

Area di influenza efficace

 $A_{p,N} = (c_1 + \min(c_{cr,Np}, c_2)) \cdot (s_{cr,Np} + s_1) = 581148,4 \text{ mm}^2$

Coefficiente parziale di sicurezza per distanza dal bordo

 $\psi_{s,Np} = 0.7 + 0.3 \cdot (c_1 / c_{cr,Np}) \leq 1 = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza iniziale per interazione

 $\psi_{g,Np}^0 = \sqrt{n} - (\sqrt{n} - 1) \cdot (d \cdot \tau_{Rk} / (k_3 \cdot (h_{ef} \cdot R_{ck})^{0.5}))^{1.5} \geq 1 = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza per interazione

 $\psi_{g,Np} = \psi_{g,Np}^0 - (s / s_{cr,Np})^{0.5} \cdot (\psi_{g,Np}^0 - 1) \geq 1 = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità carico

 $\psi_{ec,Np} = 1,00$

Coefficiente parziale di sicurezza per armatura

 $\psi_{re,Np} = 1,00$

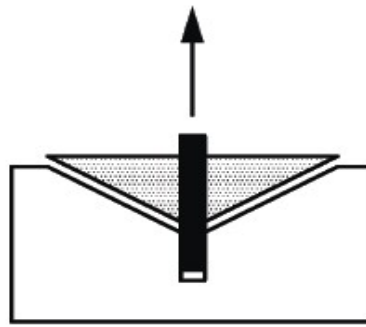
Resistenza caratteristica a trazione

 $N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^0 \cdot A_{p,N} / A_{p,N}^0 \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{ec,Np} \cdot \psi_{re,Np} = 285,3 \text{ KN}$

Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo

 $\gamma_{Mp} = 1,00$

Resistenza di calcolo a trazione

 $N_{Rd,p} = N_{Rk,p} / \gamma_{Mp} = 285,3 \text{ KN}$ **Verifica rottura sfilamento e rottura conica** $N_{Ed}^g / N_{Rd} = 0,34 \leq 1$ 

Rottura per splitting del calcestruzzo

Azione di trazione agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato

$$N_{Ed}^g = 98,1 \text{ KNm}$$

Altezza efficace

$$h_{ef} = 250 \text{ mm}$$

Diametro nominale

$$d = 30 \text{ mm}$$

Altezza supporto

$$h = 300 \text{ mm}$$

Altezza minima supporto

$$h_{min} = 318 \text{ mm}$$

Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo

$$f_{ck} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza iniziale ancorante isolato

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{R_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} = 225,84 \text{ KN}$$

Distanza minima dal bordo interno per assenza interazione

$$c_{cr,sp} = 565 \text{ mm}$$

Interasse minimo per assenza interazione

$$s_{cr,sp} = 2 \cdot c_{cr,sp} = 1130 \text{ mm}$$

Area di influenza ideale singolo ancorante

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,sp} \cdot s_{cr,sp} = 1276900 \text{ mm}^2$$

Distanza dal bordo libero

$$c_1 = 650 \text{ mm}$$

Distanza dal bordo libero esterno

$$c_2 = 650 \text{ mm}$$

Interasse longitudinale tirafondi

$$s_1 = 400 \text{ mm}$$

Area di influenza efficace

$$A_{c,N} = (c_1 + \min(c_{cr,Np}, c_2) \cdot (s_{cr,Np} + s_1)) = 1858950 \text{ mm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza per distanza dal bordo

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot (c_1 / c_{cr,sp}) \leq 1 \quad 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità carico

$$\psi_{ec,N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per armatura

$$\psi_{re,N} = 1,00$$

Coefficiente parziale di sicurezza per profondità effettiva del supporto

$$\psi_{h,sp} = (h / h_{min})^{2/3} = 0,96$$

Resistenza caratteristica a trazione

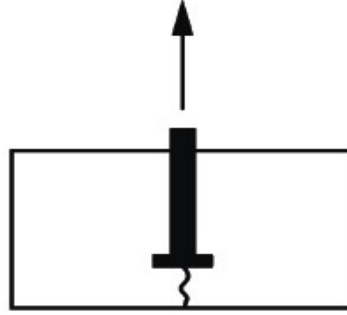
$$N_{Rk,sp} = N_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,N} / A_{c,N}^0 \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{h,sp} = 316,3 \text{ KN}$$

Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo

$$\gamma_{Mc} = 1,0$$

Resistenza di calcolo a trazione

$$N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp} / \gamma_{Mc} = 316,3 \text{ KN}$$

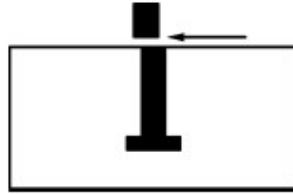
**Verifica frantumazione superficiale del calcestruzzo**

$$N_{Ed}^g / N_{Rd} = 0,31 \leq 1$$

Rottura a taglio dell'acciaio

| | | |
|---|---------------------------------|-----------|
| Azione di taglio totale | $V_{pl} =$ | 22,790 KN |
| Numero chiodi resistenti a taglio | $n_{V,tot} =$ | 1 |
| Azione di taglio agente sul singolo ancorante più sollecitato | $V_{Sd} = V_{pl} / n_{V,tot} =$ | 22,8 KN |

| |
|--|
| Area resistente |
| Classe chiodo |
| Tensione caratteristica di snervamento |
| Tensione caratteristica di rottura |
| Coefficiente parziale di sicurezza acciaio (taglio) |
| Fattore di resistenza del singolo ancorante |
| Fattore di resistenza per ancoranti di gruppo in acciaio duttile |
| Resistenza caratteristica a taglio del singolo ancorante |
| Resistenza caratteristica a taglio del gruppo |
| Resistenza di calcolo a taglio |



| | |
|---|-----------------------|
| $A_{res} =$ | 561 mm ² |
| C | - |
| $f_{yk} =$ | 640 N/mm ² |
| $f_{uk} =$ | 800 N/mm ² |
| $\gamma_{Ms} =$ | 1,25 |
| $k_6 =$ | 0,5 |
| $k_7 =$ | 1,0 |
| $V_{Rk,s}^0 = k_6 \cdot A_s \cdot f_{uk} =$ | 224,4 KN |
| $V_{Rk,s} = k_7 \cdot V_{Rk,s}^0 =$ | 224,4 |
| $V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Ms} =$ | 179,5 KN |

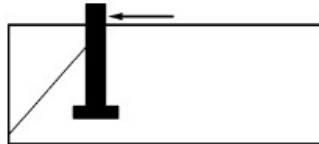
Verifica rottura acciaio

$$V_{Ed}^h / V_{Rd,s} = 0,13 \leq 1$$

Rottura del bordo del calcestruzzo

| | | |
|---|---|----------|
| Azione di taglio totale | $V_{pl} =$ | 22,79 KN |
| Numero complessivo di ancoranti resistenti a taglio | $n_{V,tot} =$ | 1 |
| Ancoranti resistenti a taglio afferenti al gruppo oggetto di verifica | $n =$ | 1 |
| Azione di taglio agente sul gruppo di ancoranti più sollecitato | $V_{Ed} = V_{pl} \cdot n / n_{V,tot} =$ | 22,8 KN |

| |
|---|
| Altezza efficace |
| Altezza efficace |
| Altezza supporto |
| Diametro nominale |
| Resistenza caratteristica calcestruzzo |
| Distanza dal bordo libero |
| Coefficiente di calcolo |
| Coefficiente di calcolo |
| Coefficiente per calcestruzzo non fessurato |
| Resistenza iniziale ancorante isolato |
| Interasse minimo per assenza interazione |
| Area di influenza ideale singolo ancorante |
| Interasse tirafondi interni |
| Area di influenza efficace |
| Coefficiente parziale di sicurezza per ulteriori bordi |
| Coefficiente parziale di sicurezza per spessore elemento |
| Coefficiente parziale di sicurezza per angolo di taglio |
| Coefficiente parziale di sicurezza per eccentricità |
| Coefficiente parziale di sicurezza per armatura di rinforzo |
| Resistenza caratteristica a taglio |
| Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo |
| Resistenza di calcolo a taglio |



| | |
|---|-------------------------|
| $h_{ef} =$ | 250 mm |
| $l_f =$ | 300 mm |
| $h =$ | 300 mm |
| $d =$ | 30 mm |
| $f_{ck} =$ | 32 N/mm ² |
| $c_1 =$ | 500 mm |
| $\alpha = 0.1 \cdot (l_f / c_1)^{0.5} =$ | 0,07 |
| $\beta = 0.1 \cdot (d_{nom} / c_1)^{0.2} =$ | 0,06 |
| $k_9 =$ | 2,40 |
| $V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot V_{Rk,c} \cdot c_1^{1.5} =$ | 264,42 KN |
| $s_{cr,N} = 3 h_{ef} =$ | 750 mm |
| $A_{c,V}^0 = 4.5 \cdot c_1 \cdot c_1 =$ | 1125000 mm ² |
| $s_2 =$ | 400 mm |
| $A_{c,V} = (2 \cdot 1.5 c_1 + s_2) \cdot \min(h; 1.5 c_1) =$ | 570000 mm ² |
| $\psi_{s,V} =$ | 1,00 |
| $\psi_{h,V} =$ | 1,58 |
| $\psi_{\alpha,V} =$ | 1,00 |
| $\psi_{ec,V} =$ | 1,00 |
| $\psi_{er,V} =$ | 1,00 |
| $V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot A_{c,V} / A_{c,V}^0 \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{er,V} =$ | 211,8 KN |
| $\gamma_{Mc} =$ | 1,0 |
| $V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Mc} =$ | 211,8 KN |

Verifica rottura del bordo del calcestruzzo

$$V_{Sd} / V_{Rd} = 0,11 \leq 1$$

Resistenza combinata taglio e Trazione - Rottura acciaio

Rapporto massimo tra azioni di trazione di progetto e resistenti

$$\beta_N = 0,29$$

Rapporto massimo tra azioni di taglio di progetto e resistenti

$$\beta_V = 0,13$$

Verifica Azioni Composte su ancoranti lato urto soggetti a trazione e taglio

$$\beta_N + \beta_V = 0,10 \leq 1.0$$

Resistenza combinata taglio e Trazione - Rottura calcestruzzo

Rapporto massimo tra azioni di trazione di progetto e resistenti

$$\beta_N = 0,34$$

Rapporto massimo tra azioni di taglio di progetto e resistenti

$$\beta_V = 0,11$$

Verifica Azioni Composte su ancoranti lato urto soggetti a trazione e taglio

$$\beta_N + \beta_V = 0,45 \leq 1.2$$