



Siel Agrisolare S.r.l.

PROPONENTE:


- Via Dismano, 1280 47522 Cesena (FC) - sielagrisolaresrl@pec.it - PIVA 12000420963

REGIONE SICILIA AREA METROPOLITANA DI CATANIA COMUNE DI CALTAGIRONE

Oggetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO CON POTENZA DI PICCO PARI A 222,26 MWp E POTENZA DI IMMISSIONE 195 MW, UBICATO NEL COMUNE DI CALTAGIRONE (CT) IN CONTRADA PIETRANERA E OPERE CONNESSE RICADENTI NEI COMUNI DI LICODIA EUBEA (CT) E CHIARAMONTE GULFI (RG)

ELABORATO: Relazione Prelimare delle Strutture Tracker, Stazione Elettrica e Cabine di Trasformazione

PROGETTAZIONE: **I-PROJECT S.R.L.**

ELABORATO: AVCALT-T027	Elaborato da: Arch. Antonio Manco	COORDINATORE SIA: Ing. Salvatore Mele	IL PROGETTISTA: Arch. Antonio Manco 
SCALA:	_____	_____	_____
DATA: Giugno 2022	_____	_____	_____

Prot. int. n°: 0108	Rev.: 1	Mod.: 0
Pratica: Caltagirone	Archivio File:	



Consulenza, Progettazione e Sviluppo Impianti ad Energia Rinnovabile

Sede Legale: Via Del Vecchio Politecnico, 9 - 20121 Milano (MI) - P.IVA 11092870960-PEC: i-project@legalmail.it

Sede Operativa: Via Bisceglie n° 17 - 84044 Albanella (SA) - mail: a.manco@iprojectsrl.com - Cell: 3384117245

INDICE

1	INTRODUZIONE	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	6
4	TRACKER.....	7
5	CABINA DI TRASFORMAZIONE	8
6	SOTTOSTAZIONE ELETTRICA 30/150 kV	11
6.1	Ubicazione dell'opera	12
6.2	Caratteristiche della parte di potenza	12
6.3	Caratteristiche delle principali apparecchiature	13
6.4	Sistema di protezione, monitoraggio, comando e controllo.....	21
6.5	Opere civili.....	22
7	VERIFICHE DI COLLAUDO.....	25
8	RELAZIONE DI CALCOLO E GRAFICI STRUTTURE TRACKER, STAZIONE ELETTRICA E CABINA DI TRASFORMAZIONE	26

1 INTRODUZIONE

La presente relazione è rivolta all'analisi dello schema di carico delle strutture Tracker utilizzate per l'impianto agrivoltaico da 222.26 MWp da realizzare nel comune di Caltagirone (CT), all'analisi dello schema di carico delle strutture di fondazione degli apparecchi elettromeccanici relativi alla sottostazione elettrica MT/AT (Utente) interna all'area parco, e allo schema di carico delle cabine di Trasformazione (Power Station) interne all'impianto.

Lo schema di allacciamento alla RTN prevede che l'impianto venga collegato in antenna a 150 kV con la sezione 150kV della stazione elettrica di trasformazione (SE) della RTN 380/150 kV di Chiaramonte Gulfi (RG), previo ampliamento della stessa, come riportato sul preventivo di connessione emesso da TERNA con oggetto: "Codice Pratica: 202001049 – Comuni di Caltagirone (CT), Licodia Eubea (CT) e Chiaramonte Gulfi (RG) – Preventivo di connessione."

La connessione sarà realizzata mediante 12 linee MT completamente interrate per il collegamento delle "12 Aree" in cui è suddiviso l'impianto alla Sottostazione Utente MT/AT da realizzare nel comune di Caltagirone (CT). Dalla Sottostazione Utente MT/AT alla Sottostazione Terna la connessione avverrà mediante elettrodotto interrato a 150 kV (AT).

La lunghezza totale delle tre linee MT interrate è di circa 48 Km, mentre l'elettrodotto interrato ha una lunghezza di circa 13700 m.

Le opere previste nel presente progetto sono di pubblica utilità, urgenti ed indifferibili e costituiscono opere di urbanizzazione primaria.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Gli impianti devono essere realizzati a regola d'arte, come prescritto dalla Legge n. 186 del 1° marzo 1968 e ribadito dal DM n. 37 del 22 gennaio 2008. Rimane tuttora valido, sotto il profilo generale, quanto prescritto dal DPR 547/55 "Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro" e le successive 626 e 494/96 con relativi aggiornamenti e circolari di riferimento.

Le caratteristiche dell'impianto, nonché di tutte le componenti l'impianto, dovranno essere in accordo con le norme di legge e di regolamento vigenti ed in particolare essere conformi:

- alla prescrizione di autorità locali, comprese quelle dei VVF;
- alla prescrizione ed indicazioni delle Società Distributrice di energia elettrica;
- alle norme CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano).

NORME CEI

- *CEI 0-16: Regola tecnica per la connessione di Utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica;*
- *CEI 64-8: Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1.000 V in corrente alternata e a 1.500 V in corrente continua;*
- *CEI 11-20: Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria;*
- *CEI EN 60904-1: Dispositivi fotovoltaici Parte 1: Misura delle caratteristiche fotovoltaiche tensione-corrente;*
- *CEI EN 60904-2: Dispositivi fotovoltaici - Parte 2: Prescrizione per le celle fotovoltaiche di riferimento;*
- *CEI EN 60904-3: Dispositivi fotovoltaici - Parte 3: Principi di misura per sistemi solari fotovoltaici per uso terrestre e irraggiamento spettrale di riferimento;*
- *CEI EN 61727: Sistemi fotovoltaici (FV) - Caratteristiche dell'interfaccia di raccordo con la rete;*
- *CEI EN 61215: Moduli fotovoltaici in silicio cristallino per applicazioni terrestri. Qualifica del progetto e omologazione del tipo;*
- *CEI EN 61000-3-2: Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 3: Limiti Sezione 2: Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso = 16 A per fase);*
- *CEI EN 60555-1: Disturbi nelle reti di alimentazione prodotti da apparecchi elettrodomestici e da equipaggiamenti elettrici simili - Parte 1: Definizioni;*

- *CEI EN 60439-1-2-3: Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione;*
- *CEI EN 60445: Individuazione dei morsetti e degli apparecchi e delle estremità dei conduttori designati e regole generali per un sistema alfanumerico;*
- *CEI EN 60529: Gradi di protezione degli involucri (codice IP);*
- *CEI EN 60099-1-2: Scaricatori;*
- *CEI 20-19: Cavi isolati con gomma con tensione nominale non superiore a 450/750 V;*
- *CEI 20-20: Cavi isolati con polivinilcloruro con tensione nominale non superiore a 450/750 V;*
- *CEI 81-1: Protezione delle strutture contro i fulmini;*
- *CEI 81-3: Valori medi del numero di fulmini a terra per anno e per chilometro quadrato;*
- *CEI 81-4: Valutazione del rischio dovuto al fulmine;*
- *CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici*
- *CEI 0-3: Guida per la compilazione della documentazione per la legge n. 46/1990;*
- *UNI 10349: Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici;*
- *CEI EN 61724: Rilievo delle prestazioni dei sistemi fotovoltaici. Linee guida per la misura, lo scambio e l'analisi dei dati;*
- *IEC 60364-7-712 Electrical installations of buildings - Part 7-712: Requirements for special installations or locations Solar photovoltaic (PV) power supply systems.*
- *D. Lgs. 81/08 e successive modificazioni, per la sicurezza e la prevenzione degli infortuni sul lavoro;*
- *D.M. 37/08 Regolamento concernente l'attuazione dell'art. 11-quaterdecies comma 13 lett. a della legge n°248 del 02\12\2005 recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici;*
- *Norme UNI/ISO per le strutture meccaniche di supporto e di ancoraggio dei moduli fotovoltaici*
- *Decreto 19 Febbraio 2007, per incentivare la produzione di energia elettrica da impianti fotovoltaici.*
- *Delibera AEEG n. 188/05, per le modalità per l'erogazione delle tariffe incentivanti.*
- *Delibera AEEG n. 40/06, per integrare la deliberazione n. 188/05.*
- *Delibera AEEG n. 88/07, Disposizioni in materia di misura dell'energia elettrica prodotta da impianti di generazione.*
- *Delibera AEEG n. 89/07, Condizioni tecnico economiche per la connessione degli impianti di produzione di energia elettrica alle reti elettriche con obbligo di connessione di terzi a tensione nominale minore o uguale a 1 kV.*
- *Delibera AEEG n. 90/07, Attuazione del decreto del ministro dello sviluppo economico, di concerto con il ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare 19 Febbraio 2007.*

-
- *Delibera AEEG n. 281/05 e s.m.i. Delibere AEEG n.28/06 e n.100/06, Condizioni per l'erogazione del servizio di connessione alle reti elettriche con tensione nominale superiore ad 1 kV i cui gestori hanno l'obbligo di connessione di terzi.*
 - *DK 5310, Modalità e condizioni contrattuali per l'erogazione da parte di ENEL Distribuzione del servizio di connessione alla rete elettrica con tensione nominale superiore ad 1 kV.*
 - *Guida per le connessioni alla rete elettrica di Enel Distribuzione ed. I Dic. 2008.*

Quanto altro previsto dalla vigente normativa di legge, ove applicabile.

3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'impianto fotovoltaico sarà realizzato interamente nel Comune di Caltagirone (CT) con opere connesse ricadenti nei Comuni di Licodia Eubea (CT) e Chiaramonte Gulfi (RG) ed è diviso in 12 aree la cui estensione è di circa 324 ettari e di cui si riporta di seguito una mappa.

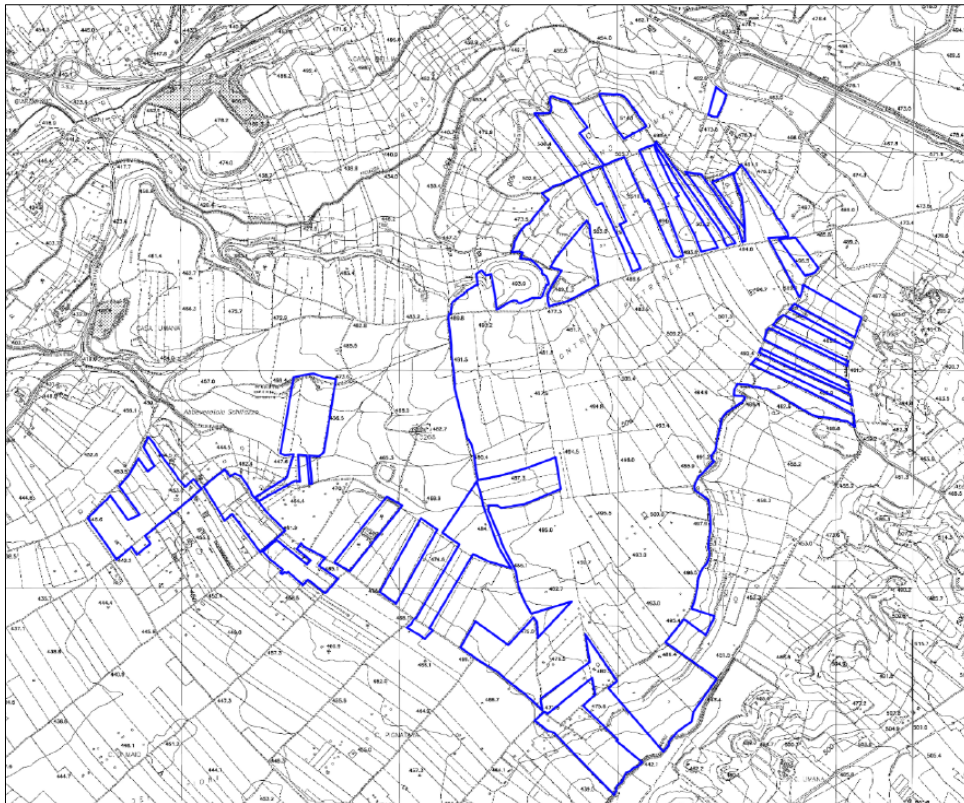


Figura 1: Inquadramento impianto su mappa CTR

Sul terreno non sono presenti vincoli che impediscono la realizzazione dell'impianto. L'area è ad uso agricolo. Le aree interessate sono raggiungibili percorrendo strade provinciale, comunali e vicinali. Il terreno non presenta vincoli paesaggistici, si è comunque progettato l'impianto in modo da ridurre il più possibile l'impatto visivo, utilizzando strutture di sostegno a bassa visibilità ed idonea fascia di piantumazione perimetrale.

Le 12 aree interessate all'installazione dei pannelli fotovoltaici presentano una morfologia pianeggiante e i terreni sono prevalentemente coltivati a seminativo non irriguo.

4 TRACKER

Le strutture di supporto dei moduli fotovoltaici saranno costituite da inseguitori (chiamati usualmente con il termine inglese *tracker*) monoassiali.

Si tratta di strutture di sostegno mobili che nell'arco della giornata "inseguono" il movimento del sole orientando i moduli fotovoltaici su di essi installati da est a ovest.

L'intervallo di rotazione completo del tracker da est a ovest è pari a 110° (tra -55° e +55°).

TECHNICAL SPECIFICATIONS	
GENERAL FEATURES	
Solar tracker type	Single row Single-Axis
Tracking range	±55° (110°)
Driver	Linear actuator
Configuration	Two modules in portrait (2P) up to 4 strings per tracker (1500V string)
Solar module supported	Framed
Foundation options	Direct ramming / Pre-drilling + ramming / Micropile / PHC piles
Pile section	W
Modules attachment	Bolts, Rivets and Clips
Piles per MW (550Wp module)	~106 piles/MW ⁽¹⁾ (120 modules per row)
(450Wp module)	~130 piles/MW ⁽¹⁾ (120 modules per row)
Terrain adaptability	15% N-S ⁽²⁾
Wind and snow loads tolerance	Tailored to site requirement
Rear shading factor	0.8%
STRUCTURE	
Material	Steel S275 & S355 (EN10025) or equivalent
Coating	HDC, Z275 (G90) and ZM310 ⁽³⁾
CONTROLLER	
Controller	Electronic board with microprocessor
Ingress protection marking	IP65
Tracking method	Astronomical algorithms + SuperTrack technology ⁽⁴⁾
Advanced wind control	Smart wind gust alarm
Anemometer	Electric pulse/Ultrasonic
Night-time stow	Configurable
Communication with the tracker	Wired option: RS485 Wireless option: LoRa/Zigbee
Operating conditions	Altitude < 5000m ⁽⁵⁾ Temperature: -30°C to 60°C
Sensors	Digital inclinometer
Power (motor drive)	DC motor: 0.15kW
Power supply	Grid connection / String powered / Self-powered with battery



Figura 2: Tracker monoassiali

Il numero dei moduli posizionati su un inseguitore può essere 30 o 60 moduli.

L'installazione degli inseguitori avviene mediante infissione diretta nel terreno, con l'ausilio di una macchina battipalo; i pali di sostegno raggiungono una profondità minima di 1,5 – 2 m dal piano campagna e sono poi sottoposti a prove di resistenza.

La scelta di questo tipo di inseguitore con pali infissi direttamente evita l'utilizzo di cemento per le fondazioni e minimizza i movimenti terra per la loro installazione.

5 CABINA DI TRASFORMAZIONE

Le Power Station (o cabine di trasformazione) hanno la duplice funzione di convertire l'energia elettrica dal campo fotovoltaico da corrente continua (CC) a corrente alternata (CA) e di elevare la tensione da bassa (BT) a media tensione (MT).

L'energia prodotta dal sistema di conversione CC/CA (inverter) sarà immessa nel lato BT di un trasformatore 30/0,8 kV di potenza pari a 6000 kVA.

La Power Station è costituita da elementi prefabbricati di tipo containerizzati, progettati per garantire la massima robustezza meccanica e durabilità nell'ambiente in cui verranno installati.

Tutte le componenti verranno installate all'interno di apposito shelter metallico IP54 con differenti compartimenti per le diverse sezioni di impianto.

Le pareti e il tetto dello shelter sono isolati al fine di garantire una perfetta impermeabilità all'acqua e un corretto isolamento termico.

Tutte le apparecchiature saranno posate su un basamento in calcestruzzo di adeguate dimensioni, ove saranno stati predisposti gli opportuni cavedi e tubazioni per il passaggio dei cavi di potenza e segnale.

Ciascuna Power Station conterrà al suo interno un numero da 1 a 36 inverter in corrente continua collegati in parallelo ad un quadro in bassa tensione per la protezione dell'interconnessione tra gli inverter e il trasformatore. Nella stessa sarà presente un impianto elettrico completo di cavi di alimentazione, di illuminazione, di prese elettriche di servizio, dell'impianto di messa a terra adeguatamente dimensionato e quanto necessario al perfetto funzionamento della power station. Saranno inoltre presenti le protezioni di sicurezza, il sistema centralizzato di comunicazione con interfacce in rame e fibra ottica.

Tutte le componenti esterne saranno dotate di tutti quei provvedimenti al fine di garantire la massima protezione in condizioni climatiche quale l'ambiente di installazione.

Per una completa accessibilità ai vari comparti, saranno adottati tutti quei provvedimenti in modo che tutti i dispositivi installati siano immediatamente accessibili, rendendo più agevole l'ispezione, la manutenzione e la riparazione.

Lo shelter di installazione quadri MT-BT è un cabinato metallico realizzato interamente di acciaio zincato a caldo, con rifiniture esterne che assicurano la minore manutenzione durante la vita utile

dell'opera. Il box è costituito da un mini skid realizzato ad hoc per contenere materiale di natura elettrica. Il box è realizzato per garantire una protezione verso l'esterno secondo la normativa EN60529.

Le pareti e la pavimentazione sono sufficientemente isolati attraverso dei pannelli che garantiscono anche l'impermeabilizzazione dell'intero impianto. In più, dal punto di vista strutturale, sarà realizzato un collegamento tra lo shelter e la sua fondazione al fine di prevenire qualsiasi tipo di spostamento verticale dello shelter.

In corrispondenza del pavimento sono presenti alcune aperture per il passaggio dei cavi (coperte con fibrocemento compresso), e aperture per accesso alla fondazione.

Tutti i componenti metallici sono trattati prima dell'assemblaggio. Le pareti esterne sono invece trattate mediante l'uso un rivestimento impermeabile e additivi che consentono di garantire la completa aderenza alla struttura, resistenza massima agli agenti atmosferici anche in ambienti industriali e marini fortemente aggressivi, come quelli in questione. Tutti gli ambienti del cabinato, sono attrezzati con porte con apertura esterna. Nel suo complesso, la Power Station avrà dimensioni in pianta pari a 6,00 x 3,00 m e altezza massima pari a circa 2,5 m compreso il basamento di fondazione.

La Power Stations prevista è totalmente prefabbricata, da assemblare in situ e ha la seguente configurazione:

- Power station, produttore HUAWEI, modello STS-6000K-H1 da 36 inverters, con un trasformatore a MT/BT 30/0,08 da 6000 kVA.

Si rappresenta che i modelli e le quantità di power station possono essere soggetti a variazioni in ragione delle mutate condizioni di mercato e di disponibilità che potranno verificarsi nel tempo.

In fase esecutiva saranno forniti dal produttore gli elaborati di calcolo strutturale ai fini del deposito presso gli uffici del Genio Civile competente.

La fondazione verrà realizzata con una platea di spessore 50 cm con pareti perimetrali di spessore 20-25 cm opportunamente rinfiancate con terreno compattato. Al di sotto si prevede un magrone in cls di circa 10 cm.

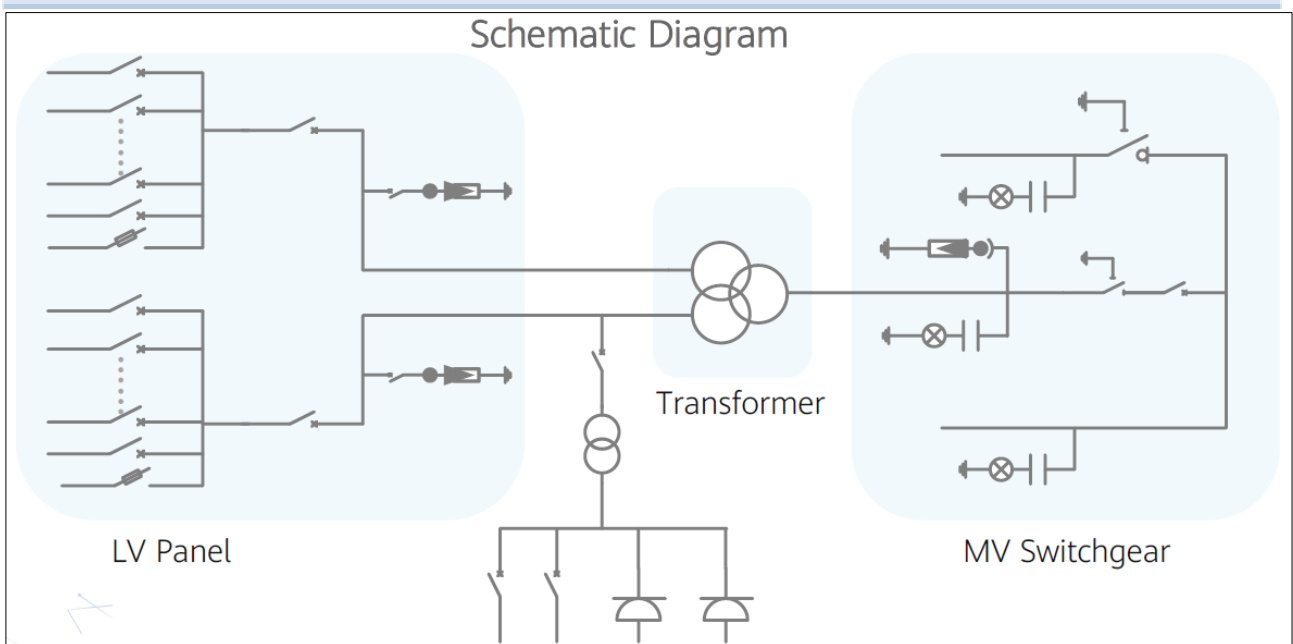


Figura 3: Schema elettrico cabina di trasformazione

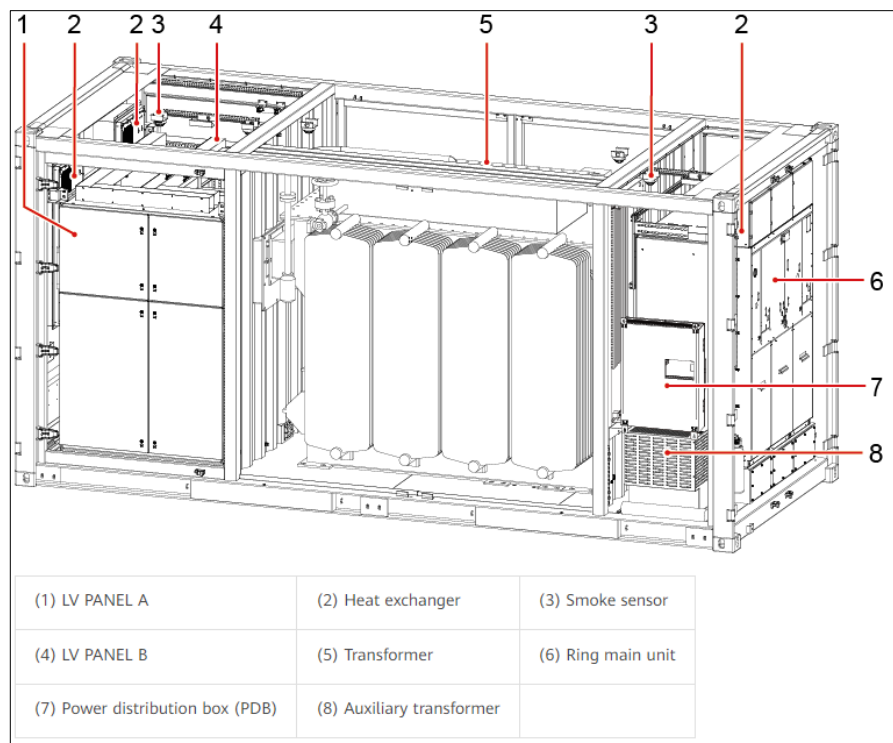


Figura 4: Esploso della cabina di trasformazione

6 SOTTOSTAZIONE ELETTRICA 30/150 kV

L'impianto, come già detto nei paragrafi precedenti, sarà allacciato alla rete elettrica nazionale mediante collegamento in antenna a 150 kV su un nuovo stallo della Stazione Elettrica di Chiamonte Gulfi (RG). Il punto in cui l'impianto viene collegato alla rete elettrica viene definito normativamente "punto di connessione" ed è il punto in cui termina l'impianto dell'utente ed inizia l'impianto di rete. Nel caso in questione coincide con la stazione elettrica di utenza/trasformazione 30/150 kV. La stazione elettrica di utenza va quindi a formare anche l'interfaccia tra l'impianto di utenza e quello di rete.

La sottostazione di utenza è collegata all'impianto fotovoltaico mediante un cavidotto interrato in MT e consente di innalzare la tensione da 30 kV a 150 kV per il successivo collegamento alla rete elettrica nazionale tramite il nuovo stallo nella SSE di Chiamonte Gulfi (RG).

Presso la stazione di utenza, verranno installati anche tutti i dispositivi di regolazione e controllo dell'energia immessa sulla rete e anche i sistemi di protezione degli impianti elettrici. L'intero impianto con le apparecchiature installate risponderanno a quanto stabilito dalle Norme CEI generali (11-1) e specifiche.

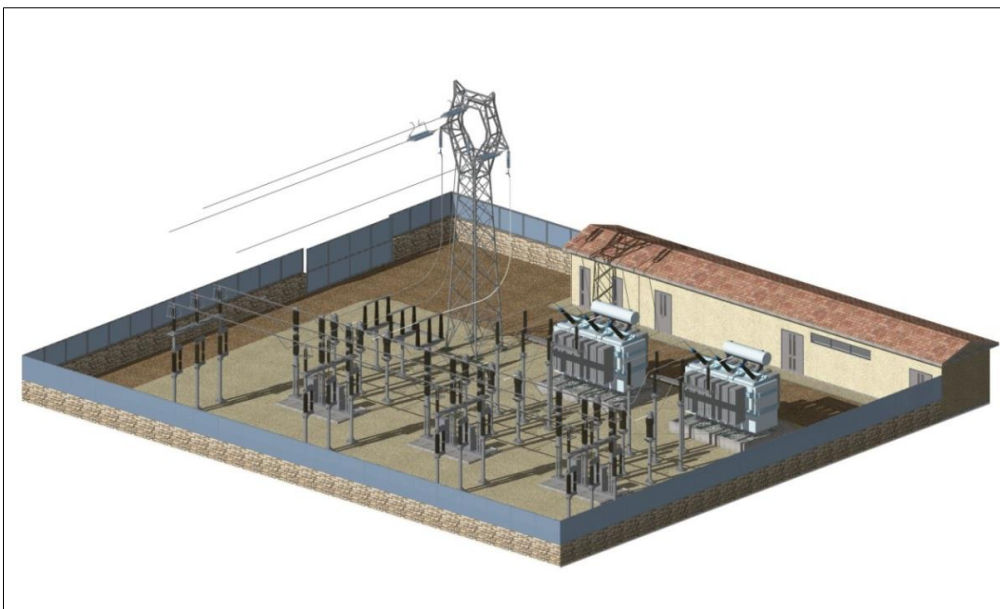


Figura 5: Tipica sottostazione MT/AT

6.1 UBICAZIONE DELL'OPERA

La nuova sottostazione 30/150 kV sarà ubicata nel Comune di Caltagirone (CT) in contrada Pietranera e interesserà un'area di circa 52x70 m che verrà interamente recintata e sarà accessibile tramite un cancello carrabile largo 7.0 m di tipo scorrevole posto in collegamento con viabilità di parco.

Per quanto riguarda i criteri progettuali adottati per la redazione del progetto della sottostazione 30/150 kV si seguiranno le specifiche tecniche emanate dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (Terna S.p.A.) - "Requisiti e caratteristiche di riferimento delle stazioni elettriche della RTN" Rev. 01 del 30.10.06.

Per il dimensionamento della rete di terra, saranno seguite le prescrizioni della Norma CEI 11-1.

6.2 CARATTERISTICHE DELLA PARTE DI POTENZA

La nuova sottostazione sarà composta di una sezione a 150 kV e da tre sezioni a 30 kV.

La sezione a 150 kV sarà del tipo unificato TERNA con isolamento in aria e sarà costituita da:

- n. 1 sistema a semplice sbarra;
- n. 1 stallo primario trasformatore (TR);

I macchinari previsti consistono in:

- n. 3 TR 150/30 kV provvisti di variatore di tensione sotto-carico, con raffreddamento tipo ONAN.

Il montante linea o stallo linea sarà equipaggiato con:

- n. 1 sezionatore di linea tripolare rotativo, orizzontale a tre colonne/fase con terna di lame di messa a terra, completo di comando motorizzato per le lame principali e manuale per le lame di terra;
- n. 1 terna di scaricatori di sovratensione, per esterno a ossido di zinco tipo completi di contascariche;
- n. 1 interruttore tripolare per esterno in SF6 equipaggiato con un comando a molla;
- n. 1 sezionatore di linea tripolare rotativo, verticale;

- n. 1 terna di trasformatori di corrente, unipolari isolati in gas SF6 con tre secondari (misure e protezioni).

Ogni montante trasformatore o stallo TR sarà equipaggiato con:

- n. 1 sezionatore di linea tripolare rotativo, orizzontale a tre colonne/fase con terna di lame di messa a terra, completo di comando motorizzato per le lame principali e manuale per le lame di terra;
- n. 1 interruttore tripolare per esterno in SF6 equipaggiato con un comando a molla;
- n. 1 terna di trasformatori di corrente, unipolari isolati in gas SF6 con quattro secondari (misure e protezioni);
- n. 1 terna di trasformatori di tensione induttivi per esterno, per misure fiscali (classe 0.2);
- n. 1 terna di scaricatori di sovratensione, per esterno a ossido di zinco tipo completi di contascariche;
- n. 1 trasformatore trifase di potenza 150/20(30) kV, 80 MVA, ONAN/ONAF, gruppo vettoriale YNd11, provvisto di commutatore sotto carico lato AT.

La massima altezza delle parti d'impianto sarà di 12 m.

6.3 CARATTERISTICHE DELLE PRINCIPALI APPARECCHIATURE

Le apparecchiature installate, (e tutto l'impianto), saranno corrispondenti alle prescrizioni delle Norme CEI generali (11-1/1999) e specifiche. Le caratteristiche principali sono le seguenti:

Macchinario

Il macchinario principale è costituito da n. 3 trasformatori 150/30 kV le cui caratteristiche principali sono:

- Potenza nominale 80 MVA
- Tensione nominale 15/30 kV
- $V_{cc}\%$ 12%
- Commutatore sotto carico variazione del $\pm 10\% V_n$ con +5 e -5 gradini
- Raffreddamento ONAN/ONAF

-
- Gruppo Ynd11
 - Potenza sonora 95 db (A)

Tensioni nominali (a vuoto)

- AT: 150 kV
- MT: 30 kV
- Regolazione sotto carico su AT: $\pm 10 \times 1.25\%$

Il trasformatore sarà provvisto dei seguenti accessori:

- valvola di sovrappressione con contatti ausiliari;
- termometro olio con contatti ausiliari;
- indicatore di livello olio con contatti ausiliari;
- n. 2 Silicagel;
- relè Buchholz con contatti ausiliari;
- motoventilatori;
- termostato per controllo motoventilatori;
- pannello di controllo motoventilatori;
- targa con indicazione dati nominali;
- valvole di drenaggio;
- cassetta per morsettiere IP55;
- golfari di sollevamento;
- due terminali di terra.

La cassa del trasformatore sarà rivestita con vernice epossidica poliuretana RAL 7031 di spessore 120 μm .

Apparecchiature sezione AT

Le principali apparecchiature costituenti il nuovo impianto sono interruttori, sezionatori per connessione delle sbarre AT, sezionatori sulla partenza linee con lame di terra, scaricatori di sovratensione a ossido metallico a protezione degli autotrasformatori, trasformatori di tensione e

di corrente per misure e protezioni. Le principali caratteristiche tecniche complessive della stazione saranno le seguenti:

Tensione massima sezione 150 kV	170 kV
Frequenza nominale	50 Hz
Sbarre 150 kV	2000 A
Stallo linea 150 kV	2000 A
Stallo TR 150 kV	2000 A
Potere d'interruzione interruttori 150 kV	31.5 kA
Corrente di breve durata 150 kV	80 kA
Condizioni ambientali limite	-25/+40 °C
Salinità di tenuta superficiale degli isolamenti:	
Elementi 150 kV	56 g/l

13. Sezionatori orizzontali a tensione nominale 132-150 kV con lame di messa a terra	
GRANDEZZE NOMINALI	
Poli (n°)	3
Tensione massima (kV)	145-170
Corrente nominale (A)	2000
Frequenza nominale (Hz)	50
Corrente nominale di breve durata:	
- valore efficace (kA)	40-31.5
- valore di cresta (kA)	100-80
Durata ammissibile della corrente di breve durata (s)	1
Tensione di prova ad impulso atmosferico:	
- verso massa (kV)	650
- sul sezionamento (kV)	750
Tensione di prova a frequenza di esercizio:	
- verso massa (kV)	275
- sul sezionamento (kV)	315
Sforzi meccanici nominali sui morsetti:	
- orizzontale longitudinale (N)	800
- orizzontale trasversale (N)	250
- verticale (N)	1000
Tempo di apertura/chiusura (s)	≤15
Prescrizioni aggiuntive per il sezionatore di terra	
- Classe di appartenenza	A o B, secondo CEI EN 61129
- Tensioni e correnti induttive nominali elettromagnetiche ed elettrostatiche (kV, A)	Secondo classe A o B, Tab.1 CEI EN 61129

31. Scaricatori per tensione nominale a 150 kV	
GRANDEZZE NOMINALI	
Tensione di servizio continuo (kV)	108
Frequenza (Hz)	50
Salinità di tenuta alla tensione di 98 kV (kg/m ³)	Da 14 a 56(*)
Massima tensione temporanea per 1s (kV)	158
Tensione residua con impulsi atmosferici di corrente (alla corrente nominale 8/20 μs) (kV)	396
Tensione residua con impulsi di corrente a fronte ripido (10 kA - fronte 1 μs) (kV)	455
Tensione residua con impulsi di corrente di manovra (500 A, 30/60 μs) (kV)	318
Corrente nominale di scarica (kA)	10
Valore di cresta degli impulsi di forte corrente (kA)	100
Classe relativa alla prova di tenuta ad impulsi di lunga durata	3
Valore efficace della corrente elevata per la prova del dispositivo di sicurezza contro le esplosioni (kA)	40

(*)/Valori superiori, per condizioni particolari, potranno essere adottati

35. Isolatore passante per esterno a tensione nominale a 150 kV			
Tipo		A condensatore	
Tipo di isolamento		Ved. par.6.1 doc. INEPI01031	
Applicazione		per Autotrasform. RTN (DOC. INEPI01012)	
Frequenza nominale	Hz	50	
Tensione massima di fase terra	kV	170V/3	
Tensione di tenuta sotto pioggia e a secco a frequenza di esercizio	kV	325	
Tensione di tenuta a secco ad impulso atmosferico	kV	750	
Prova di tensione nominale di lunga durata indotta (FILD) per l'ATR		Ved. doc. INEPI01013	
Corrente nominale	A	800	1250
Corrente termica nominale di breve durata	Valore efficace della componente simmetrica kA	20	31
	Valore di cresta del primo picco kA	51	80
Durata ammissibile di corrente termica nominale di breve durata	s.	2	
Carico di prova alla flessione(**)	N	4000 (**)	4000 (**)
Salinità di tenuta alla tensione di 98 kV	g/l	Da 14 a 56 (**)	
Temperatura massima olio di immersione dell'ATR	°C	115	
Angolo di montaggio rispetto alla verticale		< 30°	
Temperatura SF ₆			
Massima	°C	70	
Media giornaliera	°C	40	
Pressione SF ₆			
Minima	kPa	310	
Massima	kPa	750	

(*)/Valori superiori, per condizioni particolari, potranno essere adottati

(**)/Valori in base al livello II, Tab.1 Norma CEI EN 60137 (per gli isolatori passanti olio-olio/SF₆ è sufficiente fare riferimento al livello I); il Costruttore dovrà concordare con il proprietario anche i valori di momento flettente da applicare sulla flangia degli isolatori olio-olio/SF₆.

41. Condensatori per batterie a tensione nominale 132 – 150 kV		
Tipo	Statico monofase per esterno	
Classe di temperatura	-25 A	
Frequenza nominale (Hz)	50	
Tensione nominale del condensatore elementare (kV)	A scelta del costruttore	
Potenza del condensatore elementare (kVar)	A scelta del costruttore	
Livello di isolamento del condensatore elementare (*)		
Tensione nominale di tenuta di breve durata a frequenza industriale (kV)	Ved. par. 18 della Norma CEI EN 60871-1	
Tensione nominale di tenuta ad impulso atmosferico (kV cresta)	Ved. par. 18 della Norma CEI EN 60871-1	
Livello di isolamento per la batteria completa (*)		
Tensione massima del sistema (kV)	145 kV	170 kV
Tensione nominale di tenuta di breve durata a frequenza industriale (kV)	275	325
Tensione nominale di tenuta ad impulso atmosferico (kV cresta)	omissis	omissis
Montaggio	Verticale o orizzontale	
Dielettrico	A scelta del costruttore	
Tangente dell'angolo di perdita tra le armature (dopo stabilizzazione in ambiente a 75°C)	Da concordare tra costruttore e acquirente	
Dispositivo di scarica	Vale quanto indicato al par. 21 della Norma CEI EN 60871-1 .	
Tensione di perforazione	Da concordare tra costruttore e acquirente	

(*) Per il livello di isolamento degli isolatori vale quanto indicato al par. 18.2.1. della Norma CEI EN 60871-1.

Apparecchiature sezione MT

Quadro MT

Il quadro di media tensione sarà con involucro metallico, adatto per installazioni all'interno. Gli scomparti delle unità sono fra loro segregati e le parti in tensione sono isolate in aria. Il quadro è altamente modulare, quindi permette di scegliere le unità da affiancare in modo da soddisfare qualsiasi tipo di applicazione. Le unità funzionali del quadro sono garantite a tenuta d'arco interno in conformità alle norme IEC 62271-200. Tutte le operazioni di messa in servizio, manutenzione ed esercizio possono essere eseguite dal fronte. Gli apparecchi di manovra e i sezionatori di terra sono manovrabili dal fronte a porta chiusa.

Il quadro MT a 36 kV sarà costituito da:

- n. 4 celle di partenza per il campo fotovoltaico composte da:
 - sezionatore rotativo a vuoto 36 kV 630 A 20 kA;
 - interruttore motorizzato sottovuoto 36 kV 630 A 20 kA;
 - relè di protezione 50-51-67N-57N;
 - n. 2 TA toroidali 300/5 + n. 1 toroide omopolare;
 - terna di derivatori capacitivi in ingresso;

- barra di terra dim. 25x3 mm sul fronte cella;
- sistema sbarre 30x10 mm, con n. 3 isolatori, per uscita cavi e/o per collegamento su sistema di sbarre;
- n. 1 cella di arrivo da sottostazione composte da:
 - sezionatore rotativo IMS 36kV 630A 20 kA;
 - barra di terra dim. 25x3 mm sul fronte cella;
 - sistema sbarre 30x10 mm, con n. 3 isolatori, per arrivo cavi e/o per collegamento su sistema di sbarre omnibus;
- n. 1 cella protezione trafo SA composta da:
 - sezionatore rotativo a vuoto 36 kV 630 A 20 kA;
 - interruttore motorizzato sottovuoto 36 kV 630 A 20 kA;
 - relè di protezione 50-51-51N;
 - n. 1 TA toroidali 75/5 + n. 1 toroide omopolare;
 - terna di derivatori capacitivi in ingresso;
 - barra di terra dim. 25x3 mm sul fronte cella;
 - sistema sbarre 30x10 mm, con n. 3 isolatori, per uscita cavi e/o per collegamento su sistema di sbarre;
- n. 1 scomparto TV composto da:
 - sezionatore rotativo 24kV 400A 16 kA (1)
 - barra di terra dim. 25x3 mm sul fronte cella
 - sistema sbarre 30x10 mm, con n.3 isolatori, per arrivo cavi e/o per collegamento su sistema di sbarre omnibus;
 - n. 2 TV fase-fase 30/0,1kV;

Nella cabina saranno previsti:

- un vano trafo SA costituito da:
 - trafo 100 kVA ermetico in olio 30/0.4 kV;
- un vano BT costituito da:
 - n. 1 quadro SA, CC e CA con periferica.

Il quadro MT avrà le seguenti caratteristiche elettriche:

- Tipo di Quadro:	IP30
- Tensione nominale:	36 kV
- Tensione di prova a frequenza industriale:	70 kVrms
- Tensione di tenuta a impulso (1.2/50 micro–sec. onda):	170 kV picco
- Tensione di servizio:	36 kV
- Frequenza nominale:	50 Hz
- Corrente nominale delle sbarre principali:	1000 A
- Corrente nominale di breve durata:	20 kA rms
- Durata:	1 s
- Corrente di cresta:	40 kA picco

Apparecchiature sezione BT

Trasformatore MT/BT servizi ausiliari

È prevista la fornitura di un trasformatore MT/BT per i servizi ausiliari con le seguenti caratteristiche:

- Tipo:	MACE 100 kVA
- Metodo di raffreddamento:	ONAN
- Potenza nominale:	100 kVA
- Tensioni nominali (a vuoto):	30 kV – 0.40 kV
- Collegamento fasi:	Triangolo (MT) – Stella (BT)
- Vcc%	6%

Sistema di distribuzione CA/CC

Il sistema di distribuzione sarà da un quadro elettrico composto da:

- carpenteria metallica 800x800x2250 mm;
- raddrizzatore/caricabatterie a due rami con le seguenti caratteristiche:
 - tensione ingresso 230 V;
 - tensione uscita 110 V;
 - stabilità tensione $\pm 1\%$

-
- pannello di distribuzione CA e CC;
 - n. 9 batterie ermetiche di accumulatori al piombo 12 V 40 A/h

Servizi ausiliari

Il quadro servizi ausiliari sarà composto da:

- carpenteria metallica 800x800x2250 mm;
- sistema periferico di controllo;
- interruttori, contattori, strumenti di misura e accessori come da schema elettrico.

Impianto elettrico e di illuminazione

L'impianto elettrico, del tipo sfilabile, è realizzato con cavo unipolare FG7(O)R, con tubo in materiale isolante a vista e consente la connessione di tutti gli apparati necessari per il funzionamento della cabina.

In particolare, si avrà:

- plafoniere stagne 2x36 W equipaggiate con lampade del tipo a basso consumo energetico;
- lampade di emergenza da 18 W tipo SE, autonomia 2 ore;
- prese 10/16 A;
- prese shuko;
- interruttori unipolari da 10 A;
- impianto antintrusione;
- impianto rilevazione incendio

Cavi elettrici

I cavi elettrici MT saranno posati per i collegamenti tra il campo fotovoltaico e le celle MT e per il trasformatore ausiliario.

Le caratteristiche del cavo unipolare saranno le seguenti:

- tipo RG7H1R 18/30 KV;
- sezioni adeguate ai carichi;
- conduttore in corda di fili di rame;

-
- isolamento in EPR oppure XLPE;
 - schermo semiconduttore sulla superficie esterna dell'isolante;
 - schermo metallico in fili di rame;
 - guaina protettiva esterna in PVC.

I terminali cavo proposti saranno del tipo autorestringente/termorestringente (quadro MT e trasformatori di distribuzione S.A.), di tipo sconnettibile ove necessario.

I cavi BT saranno di tipo unipolare e multipolari, non propaganti l'incendio secondo CEI 20-22-II, con corda flessibile in rame, del tipo FG7 o N07V-K. Le sezioni considerate sono:

- sezione minima 1,5 mm² per linea luci e segnali;
- sezioni cavi linea potenza 2,5 mm².

I cavi di comando e controllo saranno schermati. I cavi per i cablaggi elettrici dei quadri e per i servizi generali (luce, f.m. ecc.) posati in tubo PVC, saranno costituiti da conduttori flessibili in rame isolati in PVC, non propaganti l'incendio secondo CEI 20-22 II, tipo N07V-K 450/750 V.

6.4 SISTEMA DI PROTEZIONE, MONITORAGGIO, COMANDO E CONTROLLO

La sottostazione può essere controllata da: un sistema locale di controllo in sala quadri e un sistema di telecontrollo da una o più postazioni remote.

I sistemi di controllo (comando e segnalazione), protezione e misura sono collegati con cavi tradizionali multifilari alle apparecchiature di alta tensione dello stallo e con cavi a fibre ottiche alla sala quadri centralizzata. Essi hanno la funzione di provvedere al comando, al rilevamento segnali e misure e alla protezione dello stallo, agli interblocchi tra le apparecchiature di stallo e tra queste e apparecchiature di altri stalli, all'elaborazione dei comandi in arrivo dalla sala quadri e a quella dei segnali e misure da inoltrare alla stessa, alle previste funzioni di automazione dello stallo, all'oscillografia di stallo e all'acquisizione dei dati da inoltrare al registratore cronologico di eventi.

I sistemi di controllo (comando e segnalazione), protezione e misura centralizzati, installati nell'edificio centrale, sono interconnessi tra loro con cavi a fibre ottiche e hanno la funzione di

connettere l'impianto con i sistemi remoti di telecontrollo, di provvedere al controllo e all'automazione a livello d'impianto di tutta la sottostazione, alla restituzione dell'oscilloperturbografia e alla registrazione cronologica degli eventi.

Dalla sala quadri centralizzata è possibile il controllo della sottostazione quando venga a mancare il sistema di teletrasmissione o quando questo è messo fuori servizio per manutenzione.

In sala quadri la situazione dell'impianto (posizione degli organi di manovra) le misure e le segnalazioni sono rese disponibili su un display video dal quale, con adeguata interfaccia uomo-macchina è altresì possibile effettuare le manovre di esercizio.

6.5 OPERE CIVILI

I movimenti di terra per la realizzazione della nuova sottostazione consisteranno nei lavori civili di preparazione del terreno e negli scavi necessari alla realizzazione delle opere di fondazione (edifici, portali, fondazioni macchinario e apparecchiature, torri faro, etc...). La stazione in oggetto si svilupperà su un unico livello pressoché pianeggiante senza dislivello eccessivo.

L'area di cantiere in questo tipo di progetto sarà costituita essenzialmente dall'area su cui insisterà l'impianto.

I lavori civili di preparazione, in funzione delle caratteristiche planoaltimetriche e fisico/meccaniche del terreno, consisteranno in un eventuale sbancamento/riporto al fine di ottenere un piano a circa 600÷800 mm rispetto alla quota del piazzale di stazione, ovvero in uno scortico superficiale di circa 40 cm con scavi a sezione obbligata per le fondazioni; il criterio di gestione del materiale scavato prevede il suo deposito temporaneo presso l'area di cantiere e successivamente il suo utilizzo per il riempimento degli scavi e per il livellamento del terreno alla quota finale di progetto, previo accertamento, durante la fase esecutiva, dell'idoneità di detto materiale per il riutilizzo in sito.

In caso i campionamenti eseguiti forniscano un esito negativo, il materiale scavato sarà destinato a idonea discarica, con le modalità previste dalla normativa vigente e il riempimento verrà effettuato con materiale inerte d'idonee caratteristiche.

Le aree sottostanti le apparecchiature di AT saranno sistemate con pietrisco, mentre le strade e i piazzali di servizio saranno pavimentati con binder e tappetino di usura in conglomerato bituminoso. Le fondazioni delle apparecchiature di AT saranno in conglomerato cementizio armato e adeguate alle sollecitazioni previste (peso, vento, corto circuito).

La raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche, sarà realizzato un sistema di drenaggio superficiale che convoglierà la totalità delle acque raccolte in una vasca di prima pioggia con disoleatore per essere successivamente conferite a un corpo ricettore compatibile con la normativa in materia di tutela delle acque. Il sistema di drenaggio includerà:

- pozzetti in c.a.p. con caditoia in ghisa, 60x60xh200 cm, per carichi pesanti;

Le acque di scarico dei servizi igienici saranno raccolte in un apposito serbatoio a svuotamento periodico di adeguate caratteristiche.

Per l'ingresso alla sottostazione, sarà previsto un cancello carrabile largo 7.0 metri, la recinzione perimetrale sarà costituita da manufatti prefabbricati in cls, di tipologia aperto/chiuso.

L'impianto di distribuzione forza motrice esterno sarà realizzato nell'area della sottostazione e sarà costituito da:

- prese interbloccate 2x16A+N+T – 3x32A+N+T – 2x10A+T;
- qb tubazioni PVC/acciaio zincato serie pesante tipo conduit UNI 3824 per la protezione meccanica dei cavi di collegamento;
- qb cassette di derivazione in PVC dimensioni 150x150mm;
- qb fileria antifiamma N07VK 450/750 V sezione 10/16 mm², da posare all'interno delle tubazioni s.d., per il collegamento delle armature al rispettivo quadro ausiliario.

L'illuminazione della stazione sarà realizzata con pali alti 12 m con armatura stradale di classe II esecuzione stagna IP65 complete di lampade agli ioduri metallici da 400 W.

Sarà previsto un impianto d'illuminazione di emergenza realizzato con armature fluorescenti stagne AD-FT, con lampade da 20 W, reattore elettronico, montate a soffitto, alimentate da inverter. Per evitare di scaricare la batteria in assenza del personale della manutenzione, l'illuminazione di emergenza sarà inserita manualmente.

I locali di quadri controllo, supervisione e misure saranno provvisti di un impianto di riscaldamento tramite ventilconvettori di potenza 1000–1500 W, 230 V, con termostato ambiente.

L'edificio sarà munito di un impianto di rilevazione e segnalazione incendi messo in opera sia nei cunicoli cavi all'interno dell'edificio che all'interno dell'edificio stesso e sarà costituito da:

-
- n. 1 centrale convenzionale a zone comprensiva di accumulatori da 12 V 7Ah, tastiera a membrana con tasti funzione, relè di uscita per invio segnale al sistema di controllo;
 - n. qb. rivelatori ottici di fumo analogici completi di base di fissaggio;
 - n. qb. rivelatori termovelocimetri analogici completi di base di fissaggio;
 - n. qb. pulsanti manuali a rottura di vetro completi di modulo d'indirizzo;
 - n. qb. pannelli ottico acustici completi di scritta intercambiabile, in versione IP54;
 - cavi antifiamma twistati schermati 2x1.5 mm².

Le porte di accesso all'edificio quadri di sottostazione saranno dotate di contatto di allarme per segnalare l'avvenuta apertura. I contatti saranno collegati a una centralina a microprocessore.

7 VERIFICHE DI COLLAUDO

L' impianto fotovoltaico e relativi componenti saranno realizzati nel rispetto delle norme tecniche richiamate di settore. Le verifiche di collaudo e le prove di collaudo dell'impianto saranno in parte effettuate durante l'esecuzione dei lavori, in parte appena ultimato l'impianto. La verifica tecnico-funzionale dell'impianto consiste nell'effettuare i controlli elencati nella tabella seguente:

	Controllo
Disposizione componenti Strutture di sostegno	Disposizione componenti come riportate nel progetto esecutivo Serraggio delle connessioni bullonate integrità della geometria Stato della zincatura sui profili in acciaio
Generatore fotovoltaico	Integrità della superficie captante dei moduli Controllo di un campione di cassette di terminazione Uniformità di tensioni, correnti e resistenza di isolamento delle stringhe fotovoltaiche Efficacia dei diodi di blocco
Prova di sfilamento dei cablaggi in ingresso ed in uscita Quadro/i elettrici	Integrità dell'armadio
Rete di terra	Continuità dell'impianto di terra Verifica, attraverso la battitura dei cavi, la correttezza della polarità e marcatura secondo gli schemi elettrici di progetto
Prove funzionali	Corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico nelle diverse condizioni di potenza e nelle varie modalità previste dal convertitore c.c/c.a.
Prove di prestazione elettrica del Sistema	Prestazione in corrente continua

Le verifiche di cui sopra saranno eseguite da un tecnico abilitato. Con questi controlli si garantisce che il rendimento della sezione in continua sia maggiore dell'85%, quello della sezione di conversione sia maggiore del 90%.

8 RELAZIONE DI CALCOLO E GRAFICI STRUTTURE TRACKER, STAZIONE ELETTRICA E CABINA DI TRASFORMAZIONE

Seguono le Relazioni di Carico delle opere sopra evidenziate.

Progetto: Fondazione sezionatore tripolare F2
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

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 $\eta_q \geq 1.0$

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen. Cambia solo il fattore N_γ e l'espressione di alcuni coefficienti.

Di seguito sono riportate per intero tutte le espressioni.

Caso generale

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

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

I fattori che compaiono in queste espressioni sono espressi da:

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

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

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Fattori di forma

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

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

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

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

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

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

$$m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$$

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

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

Fattori di inclinazione del terreno

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

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

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

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

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

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

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

dove:

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

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

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

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.

Caratteristiche Travi

Simbologia adottata

<i>Nr.</i>	Identificativo della trave
X_i	Ascissa punto iniziale espressa in [m]
Y_i	Ordinata punto iniziale espressa in [m]
X_f	Ascissa punto finale espressa in [m]
Y_f	Ordinata punto finale espressa in [m]
B	Base trave espressa in [cm]
H	Altezza trave spessa in [cm]
B_a	Base ala inferiore trave espressa in [cm]
H_a	Altezza ala inferiore trave espressa in [cm]

Nr.	X_i	Y_i	X_f	Y_f	B	H	B_a	H_a
1	-3.00	0.00	3.00	0.00	160	75	--	--

Caratteristiche materiali

Materiale travi

Calcestruzzo

Tipo	C25/30	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	31447048	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	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]

Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca
Terreno vegetale	14.120	17.550	26.00	26.00	0.0	0.0
ghiaie grossolane	18.630	19.610	34.00	34.00	0.0	0.0
Limo-Argilloso	19.410	19.410	0.00	0.00	20.6	10.3
Argilla e Argilla compatta	20.000	20.600	25.00	25.00	39.0	0.0
Argilla molto compatta	18.630	21.080	24.00	24.00	88.3	0.0

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato

N	Z1	Z2	Z3	Terreno	Ks	Kw
1	0.0	0.0	0.0	Terreno vegetale	0.00	0.00
2	-1.2	-1.2	-1.2	Terreno vegetale	0.00	0.00
3	-1.2	-1.2	-1.2	ghiaie grossolane	0.00	0.00
4	-2.9	-2.9	-2.9	ghiaie grossolane	0.00	0.00
5	-2.9	-2.9	-2.9	Limo-Argilloso	0.00	0.00
6	-7.0	-7.0	-7.0	Limo-Argilloso	0.00	0.00
7	-7.0	-7.0	-7.0	Argilla e Argilla compatta	0.00	0.00
8	-25.0	-25.0	-25.0	Argilla e Argilla compatta	0.00	0.00
9	-25.0	-25.0	-25.0	Argilla molto compatta	0.00	0.00
10	-35.0	-35.0	-35.0	Argilla molto compatta	0.00	0.00

Costante di Winkler verticale

Simbologia adottata

p0 Punto inferiore sinistro poligono con costante di Winkler pari a Kw
p1 Punto superiore destro poligono con costante di Winkler pari a Kw
Kw Costante di Winkler verticale espressa in Kg/cm²/cm

p0	p1	Kw
(-3.00; -0.80)	(3.00; 0.80)	2.58

Caratteristiche Mesh

Numero elementi	0
Numero nodi	61

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 concentrati trave

Simbologia adottata

Ic	Identificativo carico
It	Identificativo trave
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
M _x	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
M _y	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
T _x	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
T _y	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Condizione 1)

Ic	It	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
1	1	0.00	0.00	7.180	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1	2.20	0.00	7.180	0.000	0.000	0.000	0.000
3	1	-2.20	0.00	7.180	0.000	0.000	0.000	0.000

Condizione n° 2 (Condizione 2)

Ic	It	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
4	1	0.00	0.00	0.000	0.000	12.290	4.930	0.000

Condizione n° 3 (Condizione 3)

Ic	It	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
5	1	0.00	0.00	0.000	0.000	27.200	10.920	0.000

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR	(A2) - GEO
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30	1.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qi}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

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

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10

Descrizione combinazioni di carico

Numero combinazioni di carico 4

Simbologia adottata

C Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.30
Condizione 1 C = 1.30

Combinazione n° 2 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 3 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 2 C = 1.00

Combinazione n° 4 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 3 C = 1.00

Impostazioni di analisi

Metodo di calcolo: Stati Limite

Metodo calcolo portanza: Vesic

Analisi delle travi

Carico limite

Simbologia adottata

Trave	Identificativo trave
N_c, N_q, N_γ	Coefficienti di capacità portante
Q_t	Carico totale verticale espresso in [kN/m]
Q_u	Carico limite ultimo espresso in [kN/m]
FS	Coefficiente sicurezza carico limite
σ_{max}	Pressione massima espressa in [kPa]

Trave	N_c	N_q	N_γ
1	52.66	32.57	28.46

Combinazione n° 1

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	42.9135	1307.0592	30.46	26.9

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	26.853	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]	0.00 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	1000.00		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Combinazione n° 2

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	33.0104	1307.0592	39.60	20.7

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	20.656	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]	0.00 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	1000.00		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Combinazione n° 3

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	33.0104	1307.0592	39.60	21.9

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	21.905	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	0.10	[mm]	0.00 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	19.59		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Combinazione n° 4

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	33.0104	1307.0592	39.60	23.4

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	23.420	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	0.22	[mm]	0.00 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	8.85		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Spostamenti

Spostamenti nei punti estremi della trave*Simbologia adottata*

<i>It</i>	Identificativo trave
<i>X</i>	Ascissa nodo iniziale/finale trave espresso in [m]
<i>Y</i>	Ordinata nodo iniziale/finale trave espresso in [m]
<i>w</i>	Spostamento verticale espresso in [cm]
ϕ_x	Rotazione intorno all'asse X espressa in gradi
ϕ_y	Rotazione intorno all'asse Y espressa in gradi
<i>u</i>	Spostamento direzione x espresso in [cm]
<i>v</i>	Spostamento direzione y espresso in [cm]

Combinazione n° 1

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-3.00	0.00	0.1062	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	3.00	0.00	0.1062	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Combinazione n° 2

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-3.00	0.00	0.0817	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	3.00	0.00	0.0817	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Combinazione n° 3

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-3.00	0.00	0.0768	0.0000	0.0000	0.0042	0.0000
1	3.00	0.00	0.0867	0.0000	0.0000	0.0042	0.0000

Combinazione n° 4

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-3.00	0.00	0.0708	0.0000	0.0000	0.0092	0.0000
1	3.00	0.00	0.0927	0.0000	0.0000	0.0092	0.0000

Sollecitazioni*Simbologia adottata*

<i>It</i>	Identificativo trave
<i>N_{el}</i>	Numero elemento trave
<i>M</i>	Momento flettente espresso in [kNm]
<i>N</i>	Sforzo normale espresso in [kN]
<i>T</i>	Taglio espresso in [kN]
<i>T_h</i>	taglio nel piano orizzontale espresso in [kN]
<i>M_h</i>	momento nel piano orizzontale espresso in [kNm]

Sollecitazioni agli estremi della trave**Combinazione n° 1 - Trave n° 1**

It	N_{el}	M	N	T	T_h	M_h
1	1	0.0000	0.0000	-2.1482	0.0000	0.0000
1	61	0.0000	0.0000	2.1482	0.0000	0.0000

Combinazione n° 2 - Trave n° 1

It	N_{el}	M	N	T	T_h	M_h
1	1	0.0000	0.0000	-1.6525	0.0000	0.0000
1	61	0.0000	0.0000	1.6525	0.0000	0.0000

Combinazione n° 3 - Trave n° 1

It	N_{el}	M	N	T	T_h	M_h
1	1	0.0000	-0.0411	-1.5526	0.0000	0.0000
1	61	0.0000	0.0411	1.7524	0.0000	0.0000

Combinazione n° 4 - Trave n° 1

It	N_{el}	M	N	T	T_h	M_h
1	1	0.0000	-0.0909	-1.4314	0.0000	0.0000
1	61	0.0000	0.0909	1.8736	0.0000	0.0000

Armature

Armature travi

Simbologia adottata

Tipo	Tipo ferro (Lungo o Sagomato)
Lembo	Posizione del ferro nel plinto
ϕ	Diametro ferro espresso in [mm]
nf	Numero ferri del gruppo
X_i, X_f	Ascissa iniziale e finale tratto da armare a taglio espresso in [cm]
ns	Numero staffe del tratto
Passo	Passo delle staffe espresso in [cm]
ϕ	Diametro ferri staffe espresso in [mm]

Trave n° 1

Tipo	Lembo	ϕ	nf		
Tratto	X_i	X_f	ns	Passo	ϕ

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi 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 14/01/2008.

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++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	C&C Service S.r.l.
Licenza	AIU43712G

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
()

Progetto: Fondazione TA – TV – F3
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

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 $\eta_q \geq 1.0$

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen. Cambia solo il fattore N_γ e l'espressione di alcuni coefficienti.

Di seguito sono riportate per intero tutte le espressioni.

Caso generale

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

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

I fattori che compaiono in queste espressioni sono espressi da:

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

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

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Fattori di forma

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

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

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

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

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

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

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

I vari coefficienti si esprimono come

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

$$m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$$

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

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

Fattori di inclinazione del terreno

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

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

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

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

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

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

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

dove:

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

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

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

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.

Geometria

Dimensione massima direzione X	1.30 m
Dimensione massima direzione Y	1.30 m
Costante di sottofondo	1.527 Kg/cm ² /cm

Coordinate contorno esterno

Vertice	X[m]	Y[m]
1	-0.65	-0.65
2	0.65	-0.65
3	0.65	0.65
4	-0.65	0.65

Caratteristiche materiali

Materiale piastra

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	30874286	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	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
<i>c</i>	Coesione del terreno espressa in [kPa]
<i>ca</i>	Adesione del terreno espressa in [kPa]

Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	<i>c</i>	<i>ca</i>	
Terreno vegetale	17.670	17.670	26.00	17.33	0.0	0.0	
Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	18.630	18.630	19.610	34.00	22.67	0.0	0.0
limo-argilloso	19.400	19.410	0.00	0.00	21.0	10.5	
Argilla e argilla limosa compatta	20.000	20.600	25.00	16.67	39.0	0.0	
Argilla molto compatta	19.610	21.080	24.00	16.00	88.3	0.0	

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	Descrizione terreno
<i>Ed</i>	Modulo edometrico espresso in [kPa]

Descr	<i>Ed</i>
Terreno vegetale	5884
Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	30793
limo-argilloso	9806
Argilla e argilla limosa compatta	26478
Argilla molto compatta	30401

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato

N	Z1	Z2	Z3	Terreno	Ks	Kw
1	0.0	0.0	0.0	Terreno vegetale	0.00	0.00
2	-1.2	-1.2	-1.2	Terreno vegetale	0.00	0.00
3	-1.2	-1.2	-1.2	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	0.00	0.00
4	-2.9	-2.9	-2.9	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	0.00	0.00
5	-2.9	-2.9	-2.9	limo-argilloso	0.00	0.00
6	-7.0	-7.0	-7.0	limo-argilloso	0.00	0.00
7	-7.0	-7.0	-7.0	Argilla e argilla limosa compatta	0.00	0.00
8	-25.0	-25.0	-25.0	Argilla e argilla limosa compatta	0.00	0.00
9	-25.0	-25.0	-25.0	Argilla molto compatta	0.00	0.00
10	-35.0	-35.0	-35.0	Argilla molto compatta	0.00	0.00

Costante di Winkler verticale

Simbologia adottata

<i>p0</i>	Punto inferiore sinistro poligono con costante di Winkler pari a Kw
<i>p1</i>	Punto superiore destro poligono con costante di Winkler pari a Kw
<i>Kw</i>	Costante di Winkler verticale espressa in Kg/cm ² /cm

p0	p1	Kw
(-3.00; -0.80)	(3.00; 0.80)	1.53

Caratteristiche Mesh

Numero elementi	544
Numero nodi	305

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 concentrati

Simbologia adottata

Ic	Identificativo carico
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
M _x	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
M _y	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
T _x	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
T _y	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Condizione 1)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
1	0.00	0.00	8.140	0.000	0.000	0.000	0.000

Condizione n° 2 (Condizione 2)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
2	0.00	0.00	0.000	0.000	7.330	1.950	0.000

Condizione n° 3 (Condizione 3)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
3	0.00	0.00	0.000	0.000	16.220	4.320	0.000

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR	(A2) - GEO
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30	1.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qi}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

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

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10

Descrizione combinazioni di carico

Numero combinazioni di carico 4

Simbologia adottata

C Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.30
Condizione 1 C = 1.30

Combinazione n° 2 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 3 - S.L.U. A1-M1

Condizione 2 C = 1.00
Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 4 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 3 C = 1.00

Impostazioni di analisi

Piastra infinitamente rigida

Fattore rigidezza sovrastruttura 0.00

Metodo di calcolo: Stati Limite

Metodo calcolo portanza: Vesic

Cedimenti

Simbologia adottata

<i>Id</i>	Indice punto in cui sono stati calcolati i cedimenti
<i>X</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>Y</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>w</i>	Cedimento espresso in [cm]

Combinazione n° 1

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.2134
2	0.65	-0.65	0.2126
3	0.65	0.65	0.2134
4	-0.65	0.65	0.2126
5	0.00	0.00	0.2150

Combinazione n° 2

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.1642
2	0.65	-0.65	0.1635
3	0.65	0.65	0.1642
4	-0.65	0.65	0.1635
5	0.00	0.00	0.1654

Combinazione n° 3

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.0867
2	0.65	-0.65	0.2345
3	0.65	0.65	0.2351
4	-0.65	0.65	0.0862
5	0.00	0.00	0.1672

Combinazione n° 4

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.0426
2	0.65	-0.65	0.3543
3	0.65	0.65	0.3534
4	-0.65	0.65	0.0426
5	0.00	0.00	0.1052

Analisi piastra

Risultati analisi

Spostamento massimo	0.356490 [cm]	[combinazione 4]
Spostamento minimo	-0.052166 [cm]	[combinazione 4]
Momento massimo intorno ad X	20.9716 [kNm]	[combinazione 4]
Momento minimo intorno ad X	-13.7504 [kNm]	[combinazione 4]
Momento massimo intorno ad Y	27.1882 [kNm]	[combinazione 4]
Momento minimo intorno ad Y	-21.0598 [kNm]	[combinazione 4]

Combinazione n° 1

Carico totale	40.5998 [kN]
Reazione terreno	40.5998 [kN]
Carico limite	547 [kPa]

Combinazione n° 2

Carico totale	31.2306 [kN]
Reazione terreno	31.2306 [kN]
Carico limite	547 [kPa]

Combinazione n° 3

Carico totale	31.2306 [kN]
Reazione terreno	31.2306 [kN]
Carico limite	286 [kPa]
Carico totale dir. X	1.9500 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	1.9500 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Combinazione n° 4

Carico totale	31.2306 [kN]
Reazione terreno	31.2306 [kN]
Carico limite	73 [kPa]
Carico totale dir. X	4.3200 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	4.3200 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Risultati portanza

Combinazione n° 1

Carico totale verticale	40.5998	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	547	[kPa]
Pressione massima sul terreno	1079.993	[kPa]
Pressione media sul terreno	24.024	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	22.78	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.13	[m]
Peso nell'unità di volume	18.1619	[kN/mc]
Angolo di attrito	30.10	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 30.38	N'c = 58.78
Nq = 18.61	N'q = 33.62
N γ = 22.73	N' γ = 13.64

Combinazione n° 2

Carico totale verticale	31.2306	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	547	[kPa]
Pressione massima sul terreno	830.764	[kPa]
Pressione media sul terreno	18.480	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	29.61	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.13	[m]
Peso nell'unità di volume	18.1619	[kN/mc]
Angolo di attrito	30.10	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 30.38	N'c = 58.78
Nq = 18.61	N'q = 33.62
N γ = 22.73	N' γ = 13.64

Combinazione n° 3

Carico totale verticale	31.2306	[kN]
Eccentricità X	0.23	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	286	[kPa]
Pressione massima sul terreno	1475.657	[kPa]
Pressione media sul terreno	18.480	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	15.46	
Coeff. scorrimento	5.00	
Cedimento differenziale massimo	1.39	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.13	[m]
Peso nell'unità di volume	18.1619	[kN/mc]
Angolo di attrito	30.10	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 30.38	N'c = 32.65
Nq = 18.61	N'q = 19.19
N γ = 22.73	N' γ = 19.21

Combinazione n° 4

Carico totale verticale	31.2306	[kN]
Eccentricità X	0.52	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	73	[kPa]
Pressione massima sul terreno	2687.876	[kPa]
Pressione media sul terreno	18.480	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	3.94	
Coeff. scorrimento	2.26	
Cedimento differenziale massimo	4.09	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.13	[m]
Peso nell'unità di volume	18.1619	[kN/mc]
Angolo di attrito	30.10	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 30.38	N'c = 27.25
Nq = 18.61	N'q = 16.20
N γ = 22.73	N' γ = 14.91

SpostamentiSpostamenti massimi e minimi della piastra*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
w _{max}	Spostamento verticale massimo espresso in [cm]
ux _{max}	Spostamento direzione x massimo spresso in [cm]
uy _{max}	Spostamento direzione y massimo spresso in [cm]
w _{min}	Spostamento verticale minimo espresso in [cm]
ux _{min}	Spostamento direzione x minimo spresso in [cm]
uy _{min}	Spostamento direzione y minimo spresso in [cm]
p _{max}	Pressione massima sul terreno espressa in [kPa]
p _{med}	Pressione media sul terreno espressa in [kPa]

Ic	W _{max}	ux _{max}	uy _{max}	W _{min}	ux _{min}	uy _{min}	P _{max}	P _{med}
1	0.2150	0.0000	0.0000	0.2150	0.0000	0.0000	1079.99	24.02
2	0.1654	0.0000	0.0000	0.1654	0.0000	0.0000	830.76	18.48
3	0.2366	0.0158	0.0000	0.0977	0.0158	0.0000	1475.66	18.48
4	0.3565	0.0350	0.0000	-0.0522	0.0350	0.0000	2687.88	18.48

Sollecitazioni piastraSollecitazioni massime e minime*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
Mx _{max}	Momento massimo X espresso in [kNm]
Mx _{min}	Momento minimo X espresso in [kNm]
My _{max}	Momento massimo Y espresso in [kNm]
My _{min}	Momento minimo Y espresso in [kNm]

Ic	Mx _{max}	Mx _{min}	My _{max}	My _{min}	Mxy _{max}	Mxy _{min}
1	5.6170	-0.2135	5.6139	-0.2151	0.3856	-0.4620
2	4.3208	-0.1643	4.3184	-0.1655	0.2966	-0.3554
3	10.2793	-5.4614	13.9811	-7.8259	6.5642	-6.6477
4	20.9716	-13.7504	27.1882	-21.0598	14.5874	-14.6602

Verifiche

Verifiche a presso-flessione

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione
A _i	Area di armatura lembo inferiore espressa in [cmq]
A _{is}	Area di armatura lembo superiore espressa in [cmq]
C	Coefficiente sicurezza
M _u	Momento ultimo espresso in [kNm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kN]

Inviluppo

Is	Afi	Afs	C	M _u	N _u
1-5-P	8.04	12.06	42.90	172.03	28.75
2-5-P	8.04	12.06	43.12	173.12	33.03
3-4-S	8.04	12.06	82.00	-261.12	67.09
4-4-S	8.04	12.06	26.51	158.99	-21.70

Verifica punzonamento

Simbologia adottata

x, y	Coordinate punto espresse in [m]
N	Forza agente espressa in [kN]
R	Forza resistente espressa in [kN]
hf	Spessore espresso in [cm]
p	Perimetro contorno espresso in [cm]

Combinazione n° 1

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	10.5820	1271.0089	75.00	300.00	120.11

Combinazione n° 2

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	8.1400	1271.0089	75.00	300.00	156.14

Combinazione n° 3

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	8.1400	1271.0089	75.00	300.00	156.14

Combinazione n° 4

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	8.1400	1271.0089	75.00	300.00	156.14

Armature

Armature piastra

Direzione principale armature	0.00 [°]
Direzione secondaria armature	90.00 [°]
Numero tratti complessivi	4
Ampiezza singolo tratto	1.00 [m]
Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto	0.25 [m]
Maglia superiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)
Maglia inferiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)

Gruppo	Tipo	Lembo	Dir	ϕ	nf
B	Lungo	Superiore	X	16	2
G	Lungo	Inferiore	X	16	2
I	Lungo	Inferiore	Y	16	2
K	Lungo	Superiore	Y	16	2

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi 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 14/01/2008.

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++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	C&C Service S.r.l.
Licenza	AIU43712G

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
()

Progetto: Fondazione Interruttore F4
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

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 secondo se siamo in presenza di un terreno puramente coesivo ($\phi=0$) o meno e si esprimono nel modo seguente:

Caso generale

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

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\gamma = 1$$

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:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1/2(1 - \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}})$$

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

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

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

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

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

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

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

Fattori di inclinazione del terreno

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

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

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

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

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

$$H < V \operatorname{tg} \delta + A_r c_a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_q, i_\gamma > 0$$

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

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

Il metodo edometrico è il classico procedimento per il calcolo dei cedimenti in terreni a grana fina, proposto da Terzaghi negli anni '20.

L'ipotesi edometrica è verificata con approssimazione tanto migliore quanto più ridotto è il valore del rapporto tra lo spessore dello strato compressibile e la dimensione in pianta della fondazione.

Tuttavia il metodo risulta dotato di ottima approssimazione anche nei casi di strati deformabili di grande spessore.

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

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

dove:

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

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

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

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.

Caratteristiche Travi

Simbologia adottata

<i>Nr.</i>	Identificativo della trave
X_i	Ascissa punto iniziale espressa in [m]
Y_i	Ordinata punto iniziale espressa in [m]
X_f	Ascissa punto finale espressa in [m]
Y_f	Ordinata punto finale espressa in [m]
B	Base trave espressa in [cm]
H	Altezza trave espressa in [cm]
B_a	Base ala inferiore trave espressa in [cm]
H_a	Altezza ala inferiore trave espressa in [cm]

Nr.	X_i	Y_i	X_f	Y_f	B	H	B_a	H_a
1	-3.00	0.00	3.00	0.00	160	75	--	--

Caratteristiche materiali

Materiale travi

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	30874286	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	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]

Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca	
Terreno vegetale sabbioso-argilloso	16.670	17.550	17.550	26.00	17.33	0.0	0.0
Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	18.630	19.614	19.614	34.00	22.67	0.0	0.0
Limo argilloso	19.400	19.410	0.00	0.00	21.0	10.5	

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato

N	Z1	Z2	Z3	Terreno	Ks	Kw
1	0.0	0.0	0.0	Terreno vegetale sabbioso-argilloso	0.00	0.00
2	-1.2	-1.2	-1.2	Terreno vegetale sabbioso-argilloso	0.00	0.00
3	-1.2	-1.2	-1.2	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	0.00	0.00
4	-2.9	-2.9	-2.9	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	0.00	0.00
5	-2.9	-2.9	-2.9	Limo argilloso	0.00	0.00
6	-7.0	-7.0	-7.0	Limo argilloso	0.00	0.00

Costante di Winkler verticale

Simbologia adottata

p0 Punto inferiore sinistro poligono con costante di Winkler pari a Kw
p1 Punto superiore destro poligono con costante di Winkler pari a Kw
Kw Costante di Winkler verticale espressa in Kg/cm²/cm

p0	p1	Kw
(-3.00; -3.00)	(3.00; 3.00)	1.55

Caratteristiche Mesh

Numero elementi	0
Numero nodi	61

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 concentrati trave

Simbologia adottata

Ic	Identificativo carico
It	Identificativo trave
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
M _x	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
M _y	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
T _x	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
T _y	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Condizione 1)

Ic	It	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
1	1	-2.20	0.00	6.180	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1	0.00	0.00	6.180	0.000	0.000	0.000	0.000
3	1	2.20	0.00	6.180	0.000	0.000	0.000	0.000

Condizione n° 2 (Condizione 2)

Ic	It	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
4	1	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	5.120	0.000

Condizione n° 3 (Condizione 3)

Ic	It	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
5	1	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	11.330

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR	(A2) - GEO
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30	1.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qi}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

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

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10

Descrizione combinazioni di carico

Numero combinazioni di carico 4

Simbologia adottata

C Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.30
Condizione 1 C = 1.30

Combinazione n° 2 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 3 - S.L.U. A1-M1

Condizione 2 C = 1.00
Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 4 - S.L.U. A1-M1

Condizione 3 C = 1.00
Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Impostazioni di analisi

Metodo di calcolo: Stati Limite

Metodo calcolo portanza: Hansen

Analisi delle travi

Carico limite

Simbologia adottata

Trave	Identificativo trave
N_c, N_q, N_γ	Coefficienti di capacità portante
Q_t	Carico totale verticale espresso in [kN/m]
Q_u	Carico limite ultimo espresso in [kN/m]
FS	Coefficiente sicurezza carico limite
σ_{max}	Pressione massima espressa in [kPa]

Trave	N_c	N_q	N_γ
1	43.92	26.31	15.50

Combinazione n° 1

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	42.2635	810.5811	19.18	26.4

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	26.432	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]	0.00 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	1000.00		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Combinazione n° 2

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	32.5104	810.5811	24.93	20.3

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	20.332	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]	0.00 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	1000.00		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Combinazione n° 3

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	32.5104	810.5811	24.93	20.3

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	20.332	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]	0.00 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	11.89		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Combinazione n° 4

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	32.5104	810.5811	24.93	20.3

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	20.332	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]	0.00 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	5.37		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Spostamenti

Spostamenti nei punti estremi della trave*Simbologia adottata*

<i>It</i>	Identificativo trave
<i>X</i>	Ascissa nodo iniziale/finale trave espresso in [m]
<i>Y</i>	Ordinata nodo iniziale/finale trave espresso in [m]
<i>w</i>	Spostamento verticale espresso in [cm]
ϕ_x	Rotazione intorno all'asse X espressa in gradi
ϕ_y	Rotazione intorno all'asse Y espressa in gradi
<i>u</i>	Spostamento direzione x espresso in [cm]
<i>v</i>	Spostamento direzione y espresso in [cm]

Combinazione n° 1

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-3.00	0.00	0.1738	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	3.00	0.00	0.1738	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Combinazione n° 2

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-3.00	0.00	0.1337	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	3.00	0.00	0.1337	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Combinazione n° 3

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-3.00	0.00	0.1337	0.0000	0.0000	0.0072	0.0000
1	3.00	0.00	0.1337	0.0000	0.0000	0.0072	0.0000

Combinazione n° 4

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-3.00	0.00	0.1337	0.0000	0.0000	0.0000	0.0158
1	3.00	0.00	0.1337	0.0000	0.0000	0.0000	0.0158

Sollecitazioni*Simbologia adottata*

<i>It</i>	Identificativo trave
<i>N_{el}</i>	Numero elemento trave
<i>M</i>	Momento flettente espresso in [kNm]
<i>N</i>	Sforzo normale espresso in [kN]
<i>T</i>	Taglio espresso in [kN]
<i>T_h</i>	taglio nel piano orizzontale espresso in [kN]
<i>M_h</i>	momento nel piano orizzontale espresso in [kNm]

Sollecitazioni agli estremi della trave**Combinazione n° 1 - Trave n° 1**

It	N_{el}	M	N	T	T_h	M_h
1	1	0.0000	0.0000	-2.1146	0.0000	0.0000
1	61	0.0000	0.0000	2.1146	0.0000	0.0000

Combinazione n° 2 - Trave n° 1

It	N_{el}	M	N	T	T_h	M_h
1	1	0.0000	0.0000	-1.6266	0.0000	0.0000
1	61	0.0000	0.0000	1.6266	0.0000	0.0000

Combinazione n° 3 - Trave n° 1

It	N_{el}	M	N	T	T_h	M_h
1	1	0.0000	-0.0426	-1.6266	0.0000	0.0000
1	61	0.0000	0.0426	1.6266	0.0000	0.0000

Combinazione n° 4 - Trave n° 1

It	N _{el}	M	N	T	T _h	M _h
1	1	0.0000	0.0000	-1.6266	0.0936	0.0000
1	61	0.0000	0.0000	1.6266	-0.0936	0.0000

Verifiche

Verifiche a pressoflessione

Simbologia adottata

X	Ascissa sezione espressa in [cm]
A _{fi}	Area di armatura lembo inferiore espressa in [cmq]
A _{fs}	Area di armatura lembo superiore espressa in [cmq]
C	Coefficiente sicurezza
M _u	Momento ultimo espresso in [kNm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kN]

Inviluppo (SLU) - Verifiche trave n° 1

Lunghezza= 6.00 [m]

Base=160.00 [cm]

Altezza=75.00 [cm]

X	A _{fi}	A _{fs}	M _u	N _u	C
0.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
10.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
20.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
30.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
40.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
50.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
60.00	24.13	24.13	488.61	-484.12	873.22
70.00	24.13	24.13	655.06	0.00	661.71
80.00	24.13	24.13	655.06	0.00	506.70
90.00	24.13	24.13	456.00	-576.96	712.02
100.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
110.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
120.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
130.00	24.13	24.13	-352.40	-870.65	756.07
140.00	24.13	24.13	-398.04	-739.89	598.19
150.00	24.13	24.13	-422.47	-669.91	506.66
160.00	24.13	24.13	-435.86	-631.55	448.70
170.00	24.13	24.13	-442.45	-612.67	410.40
180.00	24.13	24.13	-444.24	-607.56	384.97
190.00	24.13	24.13	-442.17	-613.49	368.78
200.00	24.13	24.13	-436.61	-629.39	359.88
210.00	24.13	24.13	-427.55	-655.36	357.29
220.00	24.13	24.13	-414.59	-692.49	360.75
230.00	24.13	24.13	-396.94	-743.04	370.60
240.00	24.13	24.13	-373.25	-810.92	387.94
250.00	24.13	24.13	-341.21	-902.70	414.90
260.00	24.13	24.13	-296.87	-1029.71	455.40
270.00	24.13	24.13	-233.06	-1213.63	517.21
280.00	24.13	24.13	-134.62	-1498.03	616.00
290.00	24.13	24.13	31.61	-1796.60	713.70
300.00	24.13	24.13	182.47	-1359.34	540.00
310.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
320.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
330.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
340.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	772.98
350.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	612.71
360.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	523.73
370.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	470.45
380.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	438.46
390.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	421.10
400.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	415.34
410.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	420.27
420.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	436.67
430.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	467.39
440.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	518.74
450.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	604.31
460.00	24.13	24.13	-655.06	0.00	757.27
470.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
480.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
490.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
500.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00

510.00	24.13	24.13	655.06	0.00	786.81
520.00	24.13	24.13	655.06	0.00	506.70
530.00	24.13	24.13	655.06	0.00	661.71
540.00	24.13	24.13	655.06	0.00	900.53
550.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
560.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
570.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
580.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
590.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00
600.00	24.13	24.13	0.00	0.00	1000.00

Verifiche a taglio

Simbologia adottata

Xi, Xf	Ascissa iniziale e finale del tratto staffe, espressa in [cm]
Staffe	Numero, diametro e passo staffe. Il diametro espresso in [mm] e, il passo espresso in [cm]
A _{sag}	Area sagomati, espressa in [cmq]
Tp, Tn	Taglio positivo e negativo massimo agente sul tratto, espressi in [kN]
V _{rd}	Taglio resistente limite, espresso in [kN]
V _{cd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]
V _{wd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]

Inviluppo (SLU) - Verifiche trave n° 1

Lunghezza= 6.00 [m]

Base=160.00 [cm]

Altezza=75.00 [cm]

Xi	Xf	Staffe	A _{sag}	Tp	Tn	V _{Rd}	V _{Cd}	V _{Wd}
0.0	80.0	14 ϕ 10 / 6	0.00	1.71	-4.94	4571.64	780.91	697.02
80.0	160.0	14 ϕ 10 / 6	0.00	6.51	-0.12	4571.64	780.91	697.02
160.0	220.0	10 ϕ 10 / 6	0.00	3.30	-2.53	4571.64	780.91	663.83
220.0	300.0	14 ϕ 10 / 6	0.00	0.90	-5.73	4571.64	780.91	697.02
300.0	380.0	14 ϕ 10 / 6	0.00	5.73	-0.90	4571.64	780.91	697.02
380.0	440.0	10 ϕ 10 / 6	0.00	2.53	-3.30	4571.64	780.91	663.83
440.0	520.0	14 ϕ 10 / 6	0.00	0.12	-6.51	4571.64	780.91	697.02
520.0	600.0	14 ϕ 10 / 6	0.00	4.94	-1.71	4571.64	780.91	697.02

Armature

Armature travi

Simbologia adottata

Tipo	Tipo ferro (Lungo o Sagomato)
Lembo	Posizione del ferro nel plinto
ϕ	Diametro ferro espresso in [mm]
nf	Numero ferri del gruppo
X_i, X_f	Ascissa iniziale e finale tratto da armare a taglio espresso in [cm]
ns	Numero staffe del tratto
Passo	Passo delle staffe espresso in [cm]
ϕ	Diametro ferri staffe espresso in [mm]

Trave n° 1

Tipo	Lembo	ϕ	nf		
Dritto	Superiore	16	12		
Dritto	Inferiore	16	12		
Tratto	X_i	X_f	ns	Passo	ϕ
1	0.00	80.00	14	6.00	10.00
2	80.00	160.00	14	6.00	10.00
3	160.00	220.00	10	6.00	10.00
4	220.00	300.00	14	6.00	10.00
5	300.00	380.00	14	6.00	10.00
6	380.00	440.00	10	6.00	10.00
7	440.00	520.00	14	6.00	10.00
8	520.00	600.00	14	6.00	10.00

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi 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 14/01/2008.

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++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	C&C Service S.r.l.
Licenza	AIU43712G

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
()

Progetto: Fondazione Sbarre Tripolari F5
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

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 $\eta_q \geq 1.0$

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen. Cambia solo il fattore N_γ e l'espressione di alcuni coefficienti.

Di seguito sono riportate per intero tutte le espressioni.

Caso generale

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

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

I fattori che compaiono in queste espressioni sono espressi da:

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

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

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Fattori di forma

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

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

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

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

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

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

$$m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$$

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

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

Fattori di inclinazione del terreno

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

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

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

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

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

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

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

dove:

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

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

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

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.

Geometria

Dimensione massima direzione X	1.30 m
Dimensione massima direzione Y	1.30 m
Costante di sottofondo	1.497 Kg/cm ² /cm

Coordinate contorno esterno

Vertice	X[m]	Y[m]
1	-0.65	-0.65
2	0.65	-0.65
3	0.65	0.65
4	-0.65	0.65

Caratteristiche materiali

Materiale piastra

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	30874286	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	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
<i>c</i>	Coesione del terreno espressa in [kPa]
<i>ca</i>	Adesione del terreno espressa in [kPa]

Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	<i>c</i>	<i>ca</i>	
Terreno vegetale	16.670	17.550	26.00	17.33	0.0	0.0	
Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	18.630	19.610	19.610	34.00	22.67	0.0	0.0
Limo argilloso	19.400	19.410	0.00	0.00	21.0	10.5	
Argilla e argilla limosa compatta	20.000	20.600	25.00	16.67	39.0	39.0	
Argilla molto compatta	19.610	21.080	24.00	16.00	88.3	44.1	

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	Descrizione terreno
<i>Ed</i>	Modulo edometrico espresso in [kPa]

Descr	<i>Ed</i>
Terreno vegetale	5884
Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	30793
Limo argilloso	9806
Argilla e argilla limosa compatta	26478
Argilla molto compatta	30401

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato

N	Z1	Z2	Z3	Terreno	Ks	Kw
1	0.0	0.0	0.0	Terreno vegetale	0.00	0.00
2	-1.2	-1.2	-1.2	Terreno vegetale	0.00	0.00
3	-1.2	-1.2	-1.2	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	0.00	0.00
4	-2.9	-2.9	-2.9	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	0.00	0.00
5	-2.9	-2.9	-2.9	Limo argilloso	0.00	0.00
6	-7.0	-7.0	-7.0	Limo argilloso	0.00	0.00
7	-7.0	-7.0	-7.0	Argilla e argilla limosa compatta	0.00	0.00
8	-25.0	-25.0	-25.0	Argilla e argilla limosa compatta	0.00	0.00
9	-25.0	-25.0	-25.0	Argilla molto compatta	0.00	0.00
10	-35.0	-35.0	-35.0	Argilla molto compatta	0.00	0.00

Costante di Winkler verticale

Simbologia adottata

<i>p0</i>	Punto inferiore sinistro poligono con costante di Winkler pari a Kw
<i>p1</i>	Punto superiore destro poligono con costante di Winkler pari a Kw
<i>Kw</i>	Costante di Winkler verticale espressa in Kg/cm ² /cm

p0	p1	Kw
(-3.00; -0.80)	(3.00; 0.80)	1.50

Caratteristiche Mesh

Numero elementi	512
Numero nodi	289

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 concentrati

Simbologia adottata

Ic	Identificativo carico
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
M _x	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
M _y	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
T _x	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
T _y	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Condizione 1)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
1	0.00	0.00	6.870	0.000	0.000	0.000	0.000

Condizione n° 2 (Condizione 2)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
2	-0.65	-0.65	0.000	0.000	4.630	1.230	0.000

Condizione n° 3 (Condizione 3)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
3	-0.65	-0.65	9.807	0.000	10.250	2.730	0.000

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR	(A2) - GEO
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30	1.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qi}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

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

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10

Descrizione combinazioni di carico

Numero combinazioni di carico 4

Simbologia adottata

C Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.30
Condizione 1 C = 1.30

Combinazione n° 2 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 3 - S.L.U. A1-M1

Condizione 2 C = 1.00
Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 4 - S.L.U. A1-M1

Condizione 3 C = 1.00
Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Impostazioni di analisi

Piastra infinitamente rigida

Fattore rigidezza sovrastruttura 0.00

Metodo di calcolo: Stati Limite

Metodo calcolo portanza: Vesic

Cedimenti

Simbologia adottata

<i>Id</i>	Indice punto in cui sono stati calcolati i cedimenti
<i>X</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>Y</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>w</i>	Cedimento espresso in [cm]

Combinazione n° 1

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.2062
2	0.65	-0.65	0.2054
3	0.65	0.65	0.2062
4	-0.65	0.65	0.2054
5	0.00	0.00	0.2077

Combinazione n° 2

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.1586
2	0.65	-0.65	0.1580
3	0.65	0.65	0.1586
4	-0.65	0.65	0.1580
5	0.00	0.00	0.1597

Combinazione n° 3

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.1126
2	0.65	-0.65	0.2039
3	0.65	0.65	0.2046
4	-0.65	0.65	0.1118
5	0.00	0.00	0.1598

Combinazione n° 4

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.2362
2	0.65	-0.65	0.3077
3	0.65	0.65	0.1868
4	-0.65	0.65	0.0872
5	0.00	0.00	0.2131

Analisi piastra

Risultati analisi

Spostamento massimo	0.310684 [cm]	[combinazione 4]
Spostamento minimo	0.113727 [cm]	[combinazione 3]
Momento massimo intorno ad X	564.5899 [kNm]	[combinazione 4]
Momento minimo intorno ad X	-148.1568 [kNm]	[combinazione 4]
Momento massimo intorno ad Y	465.7806 [kNm]	[combinazione 4]
Momento minimo intorno ad Y	-144.4009 [kNm]	[combinazione 4]

Combinazione n° 1

Carico totale	39.2294 [kN]
Reazione terreno	39.2294 [kN]
Carico limite	521 [kPa]

Combinazione n° 2

Carico totale	30.1765 [kN]
Reazione terreno	30.1765 [kN]
Carico limite	521 [kPa]

Combinazione n° 3

Carico totale	30.1765 [kN]
Reazione terreno	30.1765 [kN]
Carico limite	344 [kPa]
Carico totale dir. X	1.2300 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	1.2300 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Combinazione n° 4

Carico totale	39.9833 [kN]
Reazione terreno	39.9833 [kN]
Carico limite	273 [kPa]
Carico totale dir. X	2.7300 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	2.7300 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Risultati portanza

Combinazione n° 1

Carico totale verticale	39.2294	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	521	[kPa]
Pressione massima sul terreno	1043.103	[kPa]
Pressione media sul terreno	23.213	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	22.44	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.13	[m]
Peso nell'unità di volume	17.6744	[kN/mc]
Angolo di attrito	30.10	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 30.38	N'c = 58.78
Nq = 18.61	N'q = 33.62
N γ = 22.73	N' γ = 13.64

Combinazione n° 2

Carico totale verticale	30.1765	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	521	[kPa]
Pressione massima sul terreno	802.387	[kPa]
Pressione media sul terreno	17.856	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	29.18	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.13	[m]
Peso nell'unità di volume	17.6744	[kN/mc]
Angolo di attrito	30.10	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 30.38	N'c = 58.78
Nq = 18.61	N'q = 33.62
N γ = 22.73	N' γ = 13.64

Combinazione n° 3

Carico totale verticale	30.1765	[kN]
Eccentricità X	0.15	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	344	[kPa]
Pressione massima sul terreno	1223.310	[kPa]
Pressione media sul terreno	17.856	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	19.28	
Coeff. scorrimento	7.66	
Cedimento differenziale massimo	0.92	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.13	[m]
Peso nell'unità di volume	17.6744	[kN/mc]
Angolo di attrito	30.10	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 30.38	N'c = 34.02
Nq = 18.61	N'q = 19.94
N γ = 22.73	N' γ = 20.43

Combinazione n° 4

Carico totale verticale	39.9833	[kN]
Eccentricità X	0.10	[m]
Eccentricità Y	-0.16	[m]
Carico limite	273	[kPa]
Pressione massima sul terreno	1946.647	[kPa]
Pressione media sul terreno	23.659	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	11.54	
Coeff. scorrimento	4.57	
Cedimento differenziale massimo	1.95	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.13	[m]
Peso nell'unità di volume	17.6744	[kN/mc]
Angolo di attrito	30.10	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 30.38	N'c = 32.50
Nq = 18.61	N'q = 19.10
N γ = 22.73	N' γ = 19.00

SpostamentiSpostamenti massimi e minimi della piastra*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
w _{max}	Spostamento verticale massimo espresso in [cm]
ux _{max}	Spostamento direzione x massimo spresso in [cm]
uy _{max}	Spostamento direzione y massimo spresso in [cm]
w _{min}	Spostamento verticale minimo espresso in [cm]
ux _{min}	Spostamento direzione x minimo spresso in [cm]
uy _{min}	Spostamento direzione y minimo spresso in [cm]
p _{max}	Pressione massima sul terreno espressa in [kPa]
p _{med}	Pressione media sul terreno espressa in [kPa]

Ic	W _{max}	ux _{max}	uy _{max}	W _{min}	ux _{min}	uy _{min}	P _{max}	P _{med}
1	0.2078	0.0000	0.0000	0.2077	0.0000	0.0000	1043.10	23.21
2	0.1599	0.0000	0.0000	0.1598	0.0000	0.0000	802.39	17.86
3	0.2059	0.0253	0.0151	0.1137	-0.0050	-0.0151	1223.31	17.86
4	0.3107	0.0562	0.0336	0.1155	-0.0110	-0.0336	1946.65	23.66

Sollecitazioni piastraSollecitazioni massime e minime*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
Mx _{max}	Momento massimo X espresso in [kNm]
Mx _{min}	Momento minimo X espresso in [kNm]
My _{max}	Momento massimo Y espresso in [kNm]
My _{min}	Momento minimo Y espresso in [kNm]

Ic	Mx _{max}	Mx _{min}	My _{max}	My _{min}	Mxy _{max}	Mxy _{min}
1	90.0937	-77.6612	90.1655	-77.6931	7.9862	-8.2504
2	69.3029	-59.7394	69.3581	-59.7639	6.1432	-6.3465
3	69.3167	-92.5916	70.7237	-90.5787	8.2289	-18.7898
4	564.5899	-148.1568	465.7806	-144.4009	6.8415	-87.0058

Verifica punzonamento

Simbologia adottata

x, y	Coordinate punto espresse in [m]
N	Forza agente espressa in [kN]
R	Forza resistente espressa in [kN]
h_f	Spessore espresso in [cm]
p	Perimetro contorno espresso in [cm]

Combinazione n° 1

	(x, y)	N	R	h_f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	8.9310	1271.0089	75.00	300.00	142.31

Combinazione n° 2

	(x, y)	N	R	h_f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	6.8700	1271.0089	75.00	300.00	185.01

Combinazione n° 3

	(x, y)	N	R	h_f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	6.8700	1271.0089	75.00	300.00	185.01

Combinazione n° 4

	(x, y)	N	R	h_f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	6.8700	1271.0089	75.00	300.00	185.01
Carico concentrato	-0.65; -0.65	9.8068	564.8929	50.00	200.00	57.60

Armature

Armature piastra

Direzione principale armature	0.00 [°]
Direzione secondaria armature	90.00 [°]
Numero tratti complessivi	0
Ampiezza singolo tratto	1.00 [m]
Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto	0.25 [m]
Maglia superiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)
Maglia inferiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi 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 14/01/2008.

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++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	C&C Service S.r.l.
Licenza	AIU43712G

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
()

Progetto: Fondazione Scaricatore F6
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

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 $\eta_q \geq 1.0$

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen. Cambia solo il fattore N_γ e l'espressione di alcuni coefficienti.

Di seguito sono riportate per intero tutte le espressioni.

Caso generale

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

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

I fattori che compaiono in queste espressioni sono espressi da:

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

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

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Fattori di forma

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

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

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

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

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

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

$$m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$$

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

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

Fattori di inclinazione del terreno

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

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

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

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

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

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

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

dove:

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

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

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

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.

Geometria

Dimensione massima direzione X	1.30 m
Dimensione massima direzione Y	1.30 m
Costante di sottofondo	1.497 Kg/cm ² /cm

Coordinate contorno esterno

Vertice	X[m]	Y[m]
1	-0.65	-0.65
2	0.65	-0.65
3	0.65	0.65
4	-0.65	0.65

Caratteristiche materiali

Materiale piastra

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	30874286	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	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
<i>c</i>	Coesione del terreno espressa in [kPa]
<i>ca</i>	Adesione del terreno espressa in [kPa]

Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	<i>c</i>	<i>ca</i>	
Terreno vegetale sabbioso-argilloso		16.670	17.550	26.00	17.33	0.0	0.0

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	Descrizione terreno
<i>Ed</i>	Modulo edometrico espresso in [kPa]

Descr	<i>Ed</i>
Terreno vegetale sabbioso-argilloso	5884

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato

<i>N</i>	<i>Z1</i>	<i>Z2</i>	<i>Z3</i>	Terreno	<i>Ks</i>	<i>Kw</i>
1	-2.0	-2.0	-2.0	Terreno vegetale sabbioso-argilloso	0.00	0.00
2	-30.0	-30.0	-30.0	Terreno vegetale sabbioso-argilloso	0.00	0.00

Costante di Winkler verticale

Simbologia adottata

p0 Punto inferiore sinistro poligono con costante di Winkler pari a Kw
p1 Punto superiore destro poligono con costante di Winkler pari a Kw
Kw Costante di Winkler verticale espressa in Kg/cm²/cm

p0	p1	Kw
(-3.00; -0.80)	(3.00; 0.80)	1.50

Caratteristiche Mesh

Numero elementi	544
Numero nodi	305

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 concentrati

Simbologia adottata

Ic	Identificativo carico
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
M _x	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
M _y	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
T _x	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
T _y	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Condizione 1)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
1	0.00	0.00	2.670	0.000	0.000	0.000	0.000

Condizione n° 2 (Condizione 2)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
2	0.00	0.00	0.000	0.000	2.080	0.430	0.000

Condizione n° 3 (Condizione 3)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
3	0.00	0.00	0.000	0.000	4.610	0.960	0.000

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR	(A2) - GEO
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30	1.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qi}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

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

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10

Descrizione combinazioni di carico

Numero combinazioni di carico 4

Simbologia adottata

C Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.30
Condizione 1 C = 1.30

Combinazione n° 2 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 3 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 2 C = 1.00

Combinazione n° 4 - S.L.U. A1-M1

Condizione 3 C = 1.00
Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Impostazioni di analisi

Piastra infinitamente rigida

Fattore rigidezza sovrastruttura 0.00

Metodo di calcolo: Stati Limite

Metodo calcolo portanza: Vesic

Cedimenti

Simbologia adottata

<i>Id</i>	Indice punto in cui sono stati calcolati i cedimenti
<i>X</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>Y</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>w</i>	Cedimento espresso in [cm]

Combinazione n° 1

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.2779
2	0.65	-0.65	0.2768
3	0.65	0.65	0.2778
4	-0.65	0.65	0.2767
5	0.00	0.00	0.2749

Combinazione n° 2

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.2137
2	0.65	-0.65	0.2129
3	0.65	0.65	0.2137
4	-0.65	0.65	0.2129
5	0.00	0.00	0.2114

Combinazione n° 3

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.1959
2	0.65	-0.65	0.2308
3	0.65	0.65	0.2316
4	-0.65	0.65	0.1950
5	0.00	0.00	0.2115

Combinazione n° 4

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.1743
2	0.65	-0.65	0.2525
3	0.65	0.65	0.2534
4	-0.65	0.65	0.1732
5	0.00	0.00	0.2117

Analisi piastra

Risultati analisi

Spostamento massimo	0.279989 [cm]	[combinazione 1]
Spostamento minimo	0.176354 [cm]	[combinazione 4]
Momento massimo intorno ad X	37.6286 [kNm]	[combinazione 1]
Momento minimo intorno ad X	-228.9868 [kNm]	[combinazione 4]
Momento massimo intorno ad Y	37.6867 [kNm]	[combinazione 1]
Momento minimo intorno ad Y	-228.2740 [kNm]	[combinazione 4]

Combinazione n° 1

Carico totale	33.4888 [kN]
Reazione terreno	33.4888 [kN]
Carico limite	302 [kPa]

Combinazione n° 2

Carico totale	25.7606 [kN]
Reazione terreno	25.7606 [kN]
Carico limite	302 [kPa]

Combinazione n° 3

Carico totale	25.7606 [kN]
Reazione terreno	25.7606 [kN]
Carico limite	240 [kPa]
Carico totale dir. X	0.4300 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	0.4300 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Combinazione n° 4

Carico totale	25.7606 [kN]
Reazione terreno	25.7606 [kN]
Carico limite	190 [kPa]
Carico totale dir. X	0.9600 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	0.9600 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Risultati portanza

Combinazione n° 1

Carico totale verticale	33.4888	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	302	[kPa]
Pressione massima sul terreno	2630.793	[kPa]
Pressione media sul terreno	19.816	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	15.24	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.04	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

N _c = 22.25	N' _c = 40.93
N _q = 11.85	N' _q = 20.35
N _γ = 12.54	N' _γ = 7.52

Combinazione n° 2

Carico totale verticale	25.7606	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	302	[kPa]
Pressione massima sul terreno	2023.687	[kPa]
Pressione media sul terreno	15.243	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	19.81	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.04	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

N _c = 22.25	N' _c = 40.93
N _q = 11.85	N' _q = 20.35
N _γ = 12.54	N' _γ = 7.52

Combinazione n° 3

Carico totale verticale	25.7606	[kN]
Eccentricità X	0.08	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	240	[kPa]
Pressione massima sul terreno	2511.695	[kPa]
Pressione media sul terreno	15.243	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	15.78	
Coeff. scorrimento	18.70	
Cedimento differenziale massimo	0.36	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.04	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 25.96
Nq = 11.85	N'q = 13.33
Nγ = 12.54	N'γ = 12.02

Combinazione n° 4

Carico totale verticale	25.7606	[kN]
Eccentricità X	0.18	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	190	[kPa]
Pressione massima sul terreno	3037.291	[kPa]
Pressione media sul terreno	15.243	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	12.49	
Coeff. scorrimento	8.37	
Cedimento differenziale massimo	0.79	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.04	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 25.01
Nq = 11.85	N'q = 12.88
Nγ = 12.54	N'γ = 11.37

SpostamentiSpostamenti massimi e minimi della piastra*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
w _{max}	Spostamento verticale massimo espresso in [cm]
ux _{max}	Spostamento direzione x massimo spresso in [cm]
uy _{max}	Spostamento direzione y massimo spresso in [cm]
w _{min}	Spostamento verticale minimo espresso in [cm]
ux _{min}	Spostamento direzione x minimo spresso in [cm]
uy _{min}	Spostamento direzione y minimo spresso in [cm]
p _{max}	Pressione massima sul terreno espressa in [kPa]
p _{med}	Pressione media sul terreno espressa in [kPa]

Ic	W _{max}	UX _{max}	UY _{max}	W _{min}	UX _{min}	UY _{min}	P _{max}	P _{med}
1	0.2800	0.0000	0.0000	0.2799	0.0000	0.0000	2630.79	19.82
2	0.2154	0.0000	0.0000	0.2153	0.0000	0.0000	2023.69	15.24
3	0.2332	0.0036	0.0000	0.1975	0.0036	0.0000	2511.70	15.24
4	0.2550	0.0079	0.0000	0.1764	0.0079	0.0000	3037.29	15.24

Sollecitazioni piastraSollecitazioni massime e minime*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
Mx _{max}	Momento massimo X espresso in [kNm]
Mx _{min}	Momento minimo X espresso in [kNm]
My _{max}	Momento massimo Y espresso in [kNm]
My _{min}	Momento minimo Y espresso in [kNm]

Ic	Mx _{max}	Mx _{min}	My _{max}	My _{min}	Mxy _{max}	Mxy _{min}
1	37.6286	-197.5677	37.6867	-197.5873	17.8437	-20.1087
2	28.9451	-151.9751	28.9898	-151.9902	13.7259	-15.4682
3	28.9480	-189.0546	28.9914	-188.7268	16.4452	-19.4071
4	28.9761	-228.9868	29.0161	-228.2740	19.5326	-23.5894

Verifiche

Verifiche a presso-flessione

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione
A _{fi}	Area di armatura lembo inferiore espressa in [cmq]
A _{fs}	Area di armatura lembo superiore espressa in [cmq]
C	Coefficiente sicurezza
M _u	Momento ultimo espresso in [kNm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kN]

Inviluppo

Is	Afi	Afs	C	M _u	N _u
1-7-P	8.04	4.02	3.97	-68.98	0.05
2-7-P	8.04	4.02	5.80	-68.98	0.08
3-7-S	8.04	8.04	9.22	-134.00	0.00
4-1-S	8.04	8.04	8.74	-134.00	0.00

Verifiche a taglio

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione (P: direzione principale S: direzione secondaria)
(Xg; Yg)	Coordinate baricentro sezione su cui agisce il taglio espresso in [m]
B	Base sezione su cui agisce il taglio espresso in [cm]
H	Altezza sezione su cui agisce il taglio espresso in [cm]
T	Taglio agente nella sezione espressa in [kN]
V _{rd}	Taglio resistente espresso in [kN]
V _{cd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls espresso in [kN]
V _{wd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura in [kN]

Inviluppo

It	(Xg; Yg)	B	H	T	V _{rd}	V _{cd}	V _{wd}
1-7-P	(0.65; -0.33)	65	50	2.19	1741.15	198.28	0.00
1-3-P	(-0.22; -0.33)	65	60	-0.89	2128.07	242.34	0.00
2-5-P	(0.22; 0.33)	65	60	1.32	2128.07	242.34	0.00
3-7-S	(-0.33; 0.65)	65	50	1.65	1741.15	198.28	0.00
3-3-S	(-0.33; -0.22)	65	60	-1.09	2128.07	242.34	0.00
4-5-S	(0.33; 0.22)	65	60	1.09	2128.07	242.34	0.00

Verifica punzonamento

Simbologia adottata

x, y	Coordinate punto espresse in [m]
N	Forza agente espressa in [kN]
R	Forza resistente espressa in [kN]
hf	Spessore espresso in [cm]
p	Perimetro contorno espresso in [cm]

Combinazione n° 1

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	3.4710	1271.0089	75.00	300.00	366.18

Combinazione n° 2

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	2.6700	1271.0089	75.00	300.00	476.03

Combinazione n° 3

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	2.6700	1271.0089	75.00	300.00	476.03

Combinazione n° 4

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	2.6700	1271.0089	75.00	300.00	476.03

Armature

Armature piastra

Direzione principale armature	0.00 [°]
Direzione secondaria armature	90.00 [°]
Numero tratti complessivi	4
Ampiezza singolo tratto	1.00 [m]
Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto	0.25 [m]
Maglia superiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)
Maglia inferiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)

Gruppo	Tipo	Lembo	Dir	ϕ	nf
B	Lungo	Superiore	X	16	2
G	Lungo	Inferiore	X	16	2
I	Lungo	Inferiore	Y	16	2
K	Lungo	Superiore	Y	16	2

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi 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 14/01/2008.

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++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	C&C Service S.r.l.
Licenza	AIU43712G

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
()

Progetto: Fondazione Centro Stella Trafo F7
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

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 $\eta_q \geq 1.0$

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen. Cambia solo il fattore N_γ e l'espressione di alcuni coefficienti.

Di seguito sono riportate per intero tutte le espressioni.

Caso generale

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

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

I fattori che compaiono in queste espressioni sono espressi da:

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

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

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Fattori di forma

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

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

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

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

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

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

$$m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$$

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

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

Fattori di inclinazione del terreno

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

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

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

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

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

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

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

dove:

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

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

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

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.

Geometria

Dimensione massima direzione X	1.30 m
Dimensione massima direzione Y	1.30 m
Costante di sottofondo	1.497 Kg/cm ² /cm

Coordinate contorno esterno

Vertice	X[m]	Y[m]
1	-0.65	-0.65
2	0.65	-0.65
3	0.65	0.65
4	-0.65	0.65

Caratteristiche materiali

Materiale piastra

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	30874286	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	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
<i>c</i>	Coesione del terreno espressa in [kPa]
<i>ca</i>	Adesione del terreno espressa in [kPa]

Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	<i>c</i>	<i>ca</i>	
Terreno vegetale sabbioso-argilloso		16.670	17.550	26.00	17.33	0.0	0.0

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	Descrizione terreno
<i>Ed</i>	Modulo edometrico espresso in [kPa]

Descr	<i>Ed</i>
Terreno vegetale sabbioso-argilloso	5884

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato

<i>N</i>	<i>Z1</i>	<i>Z2</i>	<i>Z3</i>	Terreno	<i>Ks</i>	<i>Kw</i>
1	-2.0	-2.0	-2.0	Terreno vegetale sabbioso-argilloso	0.00	0.00
2	-30.0	-30.0	-30.0	Terreno vegetale sabbioso-argilloso	0.00	0.00

Costante di Winkler verticale

Simbologia adottata

p0 Punto inferiore sinistro poligono con costante di Winkler pari a Kw
p1 Punto superiore destro poligono con costante di Winkler pari a Kw
Kw Costante di Winkler verticale espressa in Kg/cm²/cm

p0	p1	Kw
(-3.00; -0.80)	(3.00; 0.80)	1.50

Caratteristiche Mesh

Numero elementi	544
Numero nodi	305

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 concentrati

Simbologia adottata

Ic	Identificativo carico
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
M _x	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
M _y	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
T _x	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
T _y	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Condizione 1)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
1	0.00	0.00	1.420	0.000	0.000	0.000	0.000

Condizione n° 2 (Condizione 2)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
2	0.00	0.00	0.000	0.000	1.120	0.300	0.000

Condizione n° 3 (Condizione 3)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
3	0.00	0.00	0.000	0.000	2.480	0.430	0.000

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR	(A2) - GEO
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30	1.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qi}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

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

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10

Descrizione combinazioni di carico

Numero combinazioni di carico 4

Simbologia adottata

C Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.30
Condizione 1 C = 1.30

Combinazione n° 2 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 3 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 2 C = 1.00

Combinazione n° 4 - S.L.U. A1-M1

Condizione 3 C = 1.00
Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Impostazioni di analisi

Piastra infinitamente rigida

Fattore rigidezza sovrastruttura 0.00

Metodo di calcolo: Stati Limite

Metodo calcolo portanza: Vesic

Cedimenti

Simbologia adottata

<i>Id</i>	Indice punto in cui sono stati calcolati i cedimenti
<i>X</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>Y</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>w</i>	Cedimento espresso in [cm]

Combinazione n° 1

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.2644
2	0.65	-0.65	0.2633
3	0.65	0.65	0.2644
4	-0.65	0.65	0.2633
5	0.00	0.00	0.2615

Combinazione n° 2

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.2034
2	0.65	-0.65	0.2026
3	0.65	0.65	0.2034
4	-0.65	0.65	0.2025
5	0.00	0.00	0.2012

Combinazione n° 3

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.1937
2	0.65	-0.65	0.2122
3	0.65	0.65	0.2130
4	-0.65	0.65	0.1929
5	0.00	0.00	0.2012

Combinazione n° 4

Id	X	Y	w
1	-0.65	-0.65	0.1821
2	0.65	-0.65	0.2239
3	0.65	0.65	0.2247
4	-0.65	0.65	0.1812
5	0.00	0.00	0.2012

Analisi piastra

Risultati analisi

Spostamento massimo	0.266397 [cm]	[combinazione 1]
Spostamento minimo	0.183748 [cm]	[combinazione 4]
Momento massimo intorno ad X	21.6073 [kNm]	[combinazione 1]
Momento minimo intorno ad X	-187.9261 [kNm]	[combinazione 1]
Momento massimo intorno ad Y	21.6611 [kNm]	[combinazione 1]
Momento minimo intorno ad Y	-187.9442 [kNm]	[combinazione 1]

Combinazione n° 1

Carico totale	31.8638 [kN]
Reazione terreno	31.8638 [kN]
Carico limite	302 [kPa]

Combinazione n° 2

Carico totale	24.5106 [kN]
Reazione terreno	24.5106 [kN]
Carico limite	302 [kPa]

Combinazione n° 3

Carico totale	24.5106 [kN]
Reazione terreno	24.5106 [kN]
Carico limite	258 [kPa]
Carico totale dir. X	0.3000 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	0.3000 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Combinazione n° 4

Carico totale	24.5106 [kN]
Reazione terreno	24.5106 [kN]
Carico limite	231 [kPa]
Carico totale dir. X	0.4300 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	0.4300 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Risultati portanza

Combinazione n° 1

Carico totale verticale	31.8638	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	302	[kPa]
Pressione massima sul terreno	2503.153	[kPa]
Pressione media sul terreno	18.854	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	16.02	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.04	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 40.93
Nq = 11.85	N'q = 20.35
N γ = 12.54	N' γ = 7.52

Combinazione n° 2

Carico totale verticale	24.5106	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	302	[kPa]
Pressione massima sul terreno	1925.502	[kPa]
Pressione media sul terreno	14.503	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	20.82	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.04	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 40.93
Nq = 11.85	N'q = 20.35
N γ = 12.54	N' γ = 7.52

Combinazione n° 3

Carico totale verticale	24.5106	[kN]
Eccentricità X	0.05	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	258	[kPa]
Pressione massima sul terreno	2188.816	[kPa]
Pressione media sul terreno	14.503	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	17.77	
Coeff. scorrimento	25.50	
Cedimento differenziale massimo	0.19	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.04	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 26.17
Nq = 11.85	N'q = 13.42
N γ = 12.54	N' γ = 12.16

Combinazione n° 4

Carico totale verticale	24.5106	[kN]
Eccentricità X	0.10	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	231	[kPa]
Pressione massima sul terreno	2481.875	[kPa]
Pressione media sul terreno	14.503	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	11	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	15.96	
Coeff. scorrimento	17.79	
Cedimento differenziale massimo	0.43	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	1.04	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 25.92
Nq = 11.85	N'q = 13.31
N γ = 12.54	N' γ = 11.99

SpostamentiSpostamenti massimi e minimi della piastra*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
w _{max}	Spostamento verticale massimo espresso in [cm]
ux _{max}	Spostamento direzione x massimo spresso in [cm]
uy _{max}	Spostamento direzione y massimo spresso in [cm]
w _{min}	Spostamento verticale minimo espresso in [cm]
ux _{min}	Spostamento direzione x minimo spresso in [cm]
uy _{min}	Spostamento direzione y minimo spresso in [cm]
p _{max}	Pressione massima sul terreno espressa in [kPa]
p _{med}	Pressione media sul terreno espressa in [kPa]

Ic	W _{max}	UX _{max}	UY _{max}	W _{min}	UX _{min}	UY _{min}	P _{max}	P _{med}
1	0.2664	0.0000	0.0000	0.2663	0.0000	0.0000	2503.15	18.85
2	0.2049	0.0000	0.0000	0.2049	0.0000	0.0000	1925.50	14.50
3	0.2145	0.0025	0.0000	0.1953	0.0025	0.0000	2188.82	14.50
4	0.2263	0.0036	0.0000	0.1837	0.0036	0.0000	2481.88	14.50

Sollecitazioni piastraSollecitazioni massime e minime*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
Mx _{max}	Momento massimo X espresso in [kNm]
Mx _{min}	Momento minimo X espresso in [kNm]
My _{max}	Momento massimo Y espresso in [kNm]
My _{min}	Momento minimo Y espresso in [kNm]

Ic	Mx _{max}	Mx _{min}	My _{max}	My _{min}	Mxy _{max}	Mxy _{min}
1	21.6073	-187.9261	21.6611	-187.9442	16.9683	-19.1384
2	16.6210	-144.5585	16.6624	-144.5724	13.0525	-14.7219
3	16.6219	-164.5671	16.6628	-164.3923	14.5207	-16.8464
4	16.6328	-186.8360	16.6725	-186.4422	16.2193	-19.1866

Verifiche

Verifiche a presso-flessione

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione
A _{fi}	Area di armatura lembo inferiore espressa in [cmq]
A _{fs}	Area di armatura lembo superiore espressa in [cmq]
C	Coefficiente sicurezza
M _u	Momento ultimo espresso in [kNm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kN]

Inviluppo

Is	Afi	Afs	C	M _u	N _u
1-7-P	8.04	8.04	9.52	-134.01	0.06
2-1-P	8.04	8.04	9.55	-134.00	0.00
3-7-S	8.04	8.04	9.73	-134.00	0.00
4-1-S	8.04	8.04	9.53	-134.00	0.00

Verifiche a taglio

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione (P: direzione principale S: direzione secondaria)
(Xg; Yg)	Coordinate baricentro sezione su cui agisce il taglio espresso in [m]
B	Base sezione su cui agisce il taglio espresso in [cm]
H	Altezza sezione su cui agisce il taglio espresso in [cm]
T	Taglio agente nella sezione espressa in [kN]
V _{rd}	Taglio resistente espresso in [kN]
V _{cd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls espresso in [kN]
V _{wd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura in [kN]

Inviluppo

It	(Xg; Yg)	B	H	T	V _{rd}	V _{cd}	V _{wd}
1-7-P	(0.65; -0.33)	65	50	1.82	1741.15	198.28	0.00
1-3-P	(-0.22; -0.33)	65	60	-0.70	2128.07	242.34	0.00
2-5-P	(0.22; 0.33)	65	60	0.88	2128.07	242.34	0.00
3-7-S	(-0.33; 0.65)	65	50	1.56	1741.15	198.28	0.00
3-3-S	(-0.33; -0.22)	65	60	-0.86	2128.07	242.34	0.00
4-5-S	(0.33; 0.22)	65	60	0.86	2128.07	242.34	0.00

Verifica punzonamento

Simbologia adottata

x, y	Coordinate punto espresse in [m]
N	Forza agente espressa in [kN]
R	Forza resistente espressa in [kN]
hf	Spessore espresso in [cm]
p	Perimetro contorno espresso in [cm]

Combinazione n° 1

Carico concentrato	(x, y) 0.00; 0.00	N 1.8460	R 1271.0089	h _f 75.00	p 300.00	η 688.52
--------------------	----------------------	-------------	----------------	-------------------------	-------------	-------------

Combinazione n° 2

Carico concentrato	(x, y) 0.00; 0.00	N 1.4200	R 1271.0089	h _f 75.00	p 300.00	η 895.08
--------------------	----------------------	-------------	----------------	-------------------------	-------------	-------------

Combinazione n° 3

Carico concentrato	(x, y) 0.00; 0.00	N 1.4200	R 1271.0089	h _f 75.00	p 300.00	η 895.08
--------------------	----------------------	-------------	----------------	-------------------------	-------------	-------------

Combinazione n° 4

Carico concentrato	(x, y) 0.00; 0.00	N 1.4200	R 1271.0089	h _f 75.00	p 300.00	η 895.08
--------------------	----------------------	-------------	----------------	-------------------------	-------------	-------------

Armature

Armature piastra

Direzione principale armature	0.00 [°]
Direzione secondaria armature	90.00 [°]
Numero tratti complessivi	4
Ampiezza singolo tratto	1.00 [m]
Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto	0.25 [m]
Maglia superiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)
Maglia inferiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)

Gruppo	Tipo	Lembo	Dir	ϕ	nf
B	Lungo	Superiore	X	16	2
G	Lungo	Inferiore	X	16	2
I	Lungo	Inferiore	Y	16	2
K	Lungo	Superiore	Y	16	2

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi 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 14/01/2008.

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++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	C&C Service S.r.l.
Licenza	AIU43712G

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
()

Progetto: Fondazione Trasformatore AT/MT
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

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 la rotazione 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 secondo se siamo in presenza di un terreno puramente coesivo ($\phi=0$) o meno e si esprimono nel modo seguente:

Caso generale

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

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\gamma = 1$$

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:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = \frac{H}{A_f c_a} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{H}{V}} \right)$$

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

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

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

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

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

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

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

Fattori di inclinazione del terreno

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

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

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

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

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

$$H < V \operatorname{tg} \delta + A_f c_a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_q, i_\gamma > 0$$

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

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

Il metodo edometrico è il classico procedimento per il calcolo dei cedimenti in terreni a grana fina, proposto da Terzaghi negli anni '20.

L'ipotesi edometrica è verificata con approssimazione tanto migliore quanto più ridotto è il valore del rapporto tra lo spessore dello strato compressibile e la dimensione in pianta della fondazione.

Tuttavia il metodo risulta dotato di ottima approssimazione anche nei casi di strati deformabili di grande spessore.

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

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

dove:

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

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

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

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.

Geometria

Dimensione massima direzione X	6.00 m
Dimensione massima direzione Y	7.70 m
Spessore piastra	0.40 m
Costante di sottofondo	0.830 Kg/cm ² /cm

Coordinate contorno esterno

Vertice	X[m]	Y[m]
1	-3.00	-3.85
2	3.00	-3.85
3	3.00	3.85
4	-3.00	3.85

Caratteristiche Travi

Simbologia adottata

N_r	Identificativo della trave
X_i	Ascissa punto iniziale espressa in [m]
Y_i	Ordinata punto iniziale espressa in [m]
X_f	Ascissa punto finale espressa in [m]
Y_f	Ordinata punto finale espressa in [m]
B	Base trave espressa in [cm]
H	Altezza trave spessa in [cm]
B_a	Base ala inferiore trave espressa in [cm]
H_a	Altezza ala inferiore trave espressa in [cm]

Nr.	X_i	Y_i	X_f	Y_f	B	H	B_a	H_a
1	-3.00	1.13	3.00	1.13	125	160	--	--
2	-3.00	-1.13	3.00	-1.13	125	160	--	--

Caratteristiche materiali

Materiale piastra

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	30874286	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Materiale travi

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	30874286	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche*Simbologia adottata*

<i>Descr</i>	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					
<i>c</i>	Coesione del terreno espressa in [kPa]					
<i>ca</i>	Adesione del terreno espressa in [kPa]					

Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	<i>c</i>	<i>ca</i>
Terreno vegetale	16.670	17.550	26.00	17.33	0.0	0.0

Caratteristiche di deformabilità*Simbologia adottata*

<i>Descr</i>	Descrizione terreno
<i>Ed</i>	Modulo edometrico espresso in [kPa]

Descr	<i>Ed</i>
Terreno vegetale	5884

Descrizione stratigrafia*Simbologia adottata*

<i>N</i>	Identificativo strato		
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]		
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]		
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]		
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato		

N	Z1	Z2	Z3	Terreno	Ks	Kw
1	-2.0	-2.0	-2.0	Terreno vegetale	0.00	0.00
2	-30.0	-30.0	-30.0	Terreno vegetale	0.00	0.00

Costante di Winkler verticale*Simbologia adottata*

<i>p0</i>	Punto inferiore sinistro poligono con costante di Winkler pari a Kw	
<i>p1</i>	Punto superiore destro poligono con costante di Winkler pari a Kw	
<i>Kw</i>	Costante di Winkler verticale espressa in Kg/cm ² /cm	

p0	p1	Kw
(-3.00; -3.85)	(3.00; 3.85)	0.83

Caratteristiche Mesh

Numero elementi	640
Numero nodi	357

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 travi

Simbologia adottata

I_t	Identificativo trave
I_c	Identificativo carico
X_i	Ascissa iniziale locale trave espressa in [m]
X_f	Ascissa finale locale trave espressa in [m]
V_i	Carico verticale in X_i espresso in [kN/m]
V_f	Carico verticale in X_f espresso in [kN/m]
P_i	Carico longitudinale alla trave in X_i espresso in [kN/m]
P_f	Carico longitudinale alla trave in X_f espresso in [kN/m]
O_i	Carico ortogonale alla trave in X_i espresso in [kN/m]
O_f	Carico ortogonale alla trave in X_f espresso in [kN/m]

Condizione n° 1 (Condizione 1)

Ic	It	X_i	X_f	V_i	V_f	P_i	P_f	O_i	O_f
1	1	0.00	6.00	54.360	54.360	0.000	0.000	0.000	0.000
2	2	0.00	6.00	54.360	54.360	0.000	0.000	0.000	0.000

Carichi concentrati

Simbologia adottata

I_c	Identificativo carico
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
M_x	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
M_y	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
T_x	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
T_y	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 2 (Condizione 2)

Ic	X	Y	N	M_x	M_y	T_x	T_y
1	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	180.500	0.000

Condizione n° 3 (Condizione 3)

Ic	X	Y	N	M_x	M_y	T_x	T_y
2	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	398.600	0.000

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR	(A2) - GEO
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30	1.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qi}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
-----------	-----------	-----------------------	------	------

Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ψ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

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

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10

Descrizione combinazioni di carico

Numero combinazioni di carico 4

Simbologia adottata

C Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.30
Condizione 1 C = 1.30

Combinazione n° 2 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 3 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 2 C = 1.00

Combinazione n° 4 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 3 C = 1.00

Impostazioni di analisi

Fattore rigidità sovrastruttura 0.00

Considera travi solidali con la platea

Metodo di calcolo: Stati Limite

Metodo calcolo portanza: Hansen

Cedimenti

Simbologia adottata

<i>Id</i>	Indice punto in cui sono stati calcolati i cedimenti
<i>X</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>Y</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>w</i>	Cedimento espresso in [cm]

Combinazione n° 1

Id	X	Y	w
1	-3.00	-3.85	3.5712
2	3.00	-3.85	3.5677
3	3.00	3.85	3.5712
4	-3.00	3.85	3.5678
5	0.00	0.00	4.1624

Combinazione n° 2

Id	X	Y	w
1	-3.00	-3.85	2.7471
2	3.00	-3.85	2.7444
3	3.00	3.85	2.7471
4	-3.00	3.85	2.7444
5	0.00	0.00	3.2019

Combinazione n° 3

Id	X	Y	w
1	-3.00	-3.85	2.7471
2	3.00	-3.85	2.7444
3	3.00	3.85	2.7471
4	-3.00	3.85	2.7444
5	0.00	0.00	3.2019

Combinazione n° 4

Id	X	Y	w
1	-3.00	-3.85	2.7471
2	3.00	-3.85	2.7444
3	3.00	3.85	2.7471
4	-3.00	3.85	2.7444
5	0.00	0.00	3.2019

Analisi piastra

Risultati analisi

Spostamento massimo	4.172284 [cm]	[combinazione 1]
Spostamento minimo	2.755084 [cm]	[combinazione 2]
Momento massimo intorno ad X	41.6718 [kNm]	[combinazione 1]
Momento minimo intorno ad X	-6.9526 [kNm]	[combinazione 1]
Momento massimo intorno ad Y	189.1966 [kNm]	[combinazione 1]
Momento minimo intorno ad Y	-5.7206 [kNm]	[combinazione 1]

Combinazione n° 1

Carico totale	2201.9436 [kN]
Reazione terreno	2201.9436 [kN]
Carico limite	681 [kPa]

Combinazione n° 2

Carico totale	1693.8028 [kN]
Reazione terreno	1693.8028 [kN]
Carico limite	681 [kPa]

Combinazione n° 3

Carico totale	1693.8028 [kN]
Reazione terreno	1693.8028 [kN]
Carico limite	480 [kPa]
Carico totale dir. X	180.5000 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	180.5000 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Combinazione n° 4

Carico totale	1693.8028 [kN]
Reazione terreno	1693.8028 [kN]
Carico limite	313 [kPa]
Carico totale dir. X	398.6000 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	398.6000 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Risultati portanza

Combinazione n° 1

Carico totale verticale	2201.9436	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	681	[kPa]
Pressione massima sul terreno	408.473	[kPa]
Pressione media sul terreno	47.661	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	25	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	14.29	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	5.91	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	4.80	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 34.64
Nq = 11.85	N'q = 17.62
N γ = 7.94	N' γ = 4.81

Combinazione n° 2

Carico totale verticale	1693.8028	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	681	[kPa]
Pressione massima sul terreno	314.210	[kPa]
Pressione media sul terreno	36.662	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	25	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	18.58	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	4.54	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	4.80	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 34.64
Nq = 11.85	N'q = 17.62
N γ = 7.94	N' γ = 4.81

Combinazione n° 3

Carico totale verticale	1693.8028	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	480	[kPa]
Pressione massima sul terreno	314.210	[kPa]
Pressione media sul terreno	36.662	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	25	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	13.10	
Coeff. scorrimento	2.93	
Cedimento differenziale massimo	4.54	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	4.80	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 18.08
Nq = 11.85	N'q = 9.71
Nγ = 7.94	N'γ = 4.75

Combinazione n° 4

Carico totale verticale	1693.8028	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	313	[kPa]
Pressione massima sul terreno	314.210	[kPa]
Pressione media sul terreno	36.662	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	25	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	8.53	
Coeff. scorrimento	1.33	
Cedimento differenziale massimo	4.54	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	4.80	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 12.04
Nq = 11.85	N'q = 6.83
Nγ = 7.94	N'γ = 2.84

SpostamentiSpostamenti massimi e minimi della piastra*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
w _{max}	Spostamento verticale massimo espresso in [cm]
ux _{max}	Spostamento direzione x massimo spresso in [cm]
uy _{max}	Spostamento direzione y massimo spresso in [cm]
w _{min}	Spostamento verticale minimo espresso in [cm]
ux _{min}	Spostamento direzione x minimo spresso in [cm]
uy _{min}	Spostamento direzione y minimo spresso in [cm]
p _{max}	Pressione massima sul terreno espressa in [kPa]
p _{med}	Pressione media sul terreno espressa in [kPa]

Ic	W _{max}	ux _{max}	uy _{max}	W _{min}	ux _{min}	uy _{min}	P _{max}	P _{med}
1	4.1723	0.0000	0.0000	3.5816	0.0000	0.0000	408.47	47.66
2	3.2094	0.0000	0.0000	2.7551	0.0000	0.0000	314.21	36.66
3	3.2094	0.0997	0.0004	2.7551	0.0979	-0.0004	314.21	36.66
4	3.2094	0.2202	0.0008	2.7551	0.2163	-0.0008	314.21	36.66

Sollecitazioni piastraSollecitazioni massime e minime*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
Mx _{max}	Momento massimo X espresso in [kNm]
Mx _{min}	Momento minimo X espresso in [kNm]
My _{max}	Momento massimo Y espresso in [kNm]
My _{min}	Momento minimo Y espresso in [kNm]

Ic	Mx _{max}	Mx _{min}	My _{max}	My _{min}	Mxy _{max}	Mxy _{min}
1	41.6718	-6.9526	189.1966	-5.7206	10.8998	-10.6880
2	32.0552	-5.3482	145.5358	-4.4005	8.3845	-8.2216
3	32.0552	-5.3482	145.5358	-4.4005	8.3845	-8.2216
4	32.0552	-5.3482	145.5358	-4.4005	8.3845	-8.2216

Verifiche

Verifiche a presso-flessione

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione
A _{fi}	Area di armatura lembo inferiore espressa in [cmq]
A _{fs}	Area di armatura lembo superiore espressa in [cmq]
C	Coefficiente sicurezza
M _u	Momento ultimo espresso in [kNm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kN]

Inviluppo

Is	Afi	Afs	C	M _u	N _u
1-13-P	8.04	8.04	5.84	105.55	0.00
2-13-P	8.04	8.04	4.85	105.55	0.00
3-7-P	8.04	8.04	3.53	105.55	0.00
4-11-P	8.04	8.04	2.91	66.39	-230.57
5-12-P	8.04	8.04	3.11	70.81	-204.54
6-19-P	8.04	8.04	3.53	105.55	0.00
7-13-P	8.04	8.04	4.85	105.55	0.00
8-13-P	8.04	8.04	5.84	105.55	0.00
9-9-S	8.04	8.04	1.01	105.77	0.00
10-9-S	8.04	8.04	1.00	105.77	0.00
11-23-S	10.05	10.05	1.05	130.58	0.00
12-9-S	8.04	8.04	1.01	105.77	0.00
13-24-S	8.04	8.04	1.00	105.77	0.00
14-24-S	8.04	8.04	1.01	105.77	0.00

Verifiche a taglio

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione (P: direzione principale S: direzione secondaria)
(Xg; Yg)	Coordinate baricentro sezione su cui agisce il taglio espresso in [m]
B	Base sezione su cui agisce il taglio espresso in [cm]
H	Altezza sezione su cui agisce il taglio espresso in [cm]
T	Taglio agente nella sezione espressa in [kN]
V _{rd}	Taglio resistente espresso in [kN]
V _{cd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls espresso in [kN]
V _{wd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura in [kN]

Inviluppo

It	(Xg; Yg)	B	H	T	Vrd	Vcd	Vwd
1-22-P	(2.25; -3.37)	96	40	18.42	2005.30	228.36	0.00
1-4-P	(-2.25; -3.37)	96	40	-13.49	2005.30	228.36	0.00
2-25-P	(3.00; -2.41)	96	40	21.81	2005.30	228.36	0.00
2-3-P	(-2.50; -2.41)	96	40	-10.79	2005.30	228.36	0.00
3-25-P	(3.00; -1.44)	96	40	27.07	2005.30	228.36	0.00
4-25-P	(3.00; -0.48)	96	40	33.01	2005.30	228.36	0.00
5-25-P	(3.00; 0.48)	96	40	28.16	2005.30	228.36	0.00
6-25-P	(3.00; 1.44)	96	40	19.44	2005.30	228.36	0.00
7-23-P	(2.50; 2.41)	96	40	10.79	2005.30	228.36	0.00
8-22-P	(2.25; 3.37)	96	40	13.49	2005.30	228.36	0.00
8-4-P	(-2.25; 3.37)	96	40	-18.44	2005.30	228.36	0.00
9-23-S	(-2.50; 1.61)	100	40	98.35	2083.43	237.26	0.00
9-10-S	(-2.50; -1.61)	100	40	-101.53	2083.43	237.26	0.00
10-23-S	(-1.50; 1.61)	100	40	78.48	2083.43	237.26	0.00
10-10-S	(-1.50; -1.61)	100	40	-78.63	2083.43	237.26	0.00
11-23-S	(-0.50; 1.61)	100	40	66.69	2083.43	237.26	0.00
11-10-S	(-0.50; -1.61)	100	40	-66.98	2083.43	237.26	0.00
12-23-S	(0.50; 1.61)	100	40	66.98	2083.43	237.26	0.00
12-10-S	(0.50; -1.61)	100	40	-66.69	2083.43	237.26	0.00
13-23-S	(1.50; 1.61)	100	40	78.63	2083.43	237.26	0.00
13-10-S	(1.50; -1.61)	100	40	-78.48	2083.43	237.26	0.00
14-23-S	(2.50; 1.61)	100	40	101.52	2083.43	237.26	0.00
14-10-S	(2.50; -1.61)	100	40	-98.41	2083.43	237.26	0.00

Analisi delle travi

Spostamenti

Spostamenti nei punti estremi della trave*Simbologia adottata*

<i>I_t</i>	Identificativo trave
<i>X</i>	Ascissa nodo iniziale/finale trave espresso in [m]
<i>Y</i>	Ordinata nodo iniziale/finale trave espresso in [m]
<i>w</i>	Spostamento verticale espresso in [cm]
ϕ_x	Rotazione intorno all'asse X espressa in gradi
ϕ_y	Rotazione intorno all'asse Y espressa in gradi
<i>u</i>	Spostamento direzione x espresso in [cm]
<i>v</i>	Spostamento direzione y espresso in [cm]

Combinazione n° 1

<i>I_t</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>w</i>	ϕ_x	ϕ_y	<i>u</i>	<i>v</i>
1	-3.00	1.13	4.1101	0.0002	0.0641	0.0000	0.0000
1	3.00	1.13	4.1107	0.0000	0.0638	0.0000	0.0000
2	-3.00	-1.13	4.1108	0.0000	-0.0638	0.0000	0.0000
2	3.00	-1.13	4.1100	-0.0002	-0.0641	0.0000	0.0000

Combinazione n° 2

<i>I_t</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>w</i>	ϕ_x	ϕ_y	<i>u</i>	<i>v</i>
1	-3.00	1.13	3.1616	0.0001	0.0493	0.0000	0.0000
1	3.00	1.13	3.1621	0.0000	0.0491	0.0000	0.0000
2	-3.00	-1.13	3.1621	0.0000	-0.0491	0.0000	0.0000
2	3.00	-1.13	3.1616	-0.0001	-0.0493	0.0000	0.0000

Combinazione n° 3

<i>I_t</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>w</i>	ϕ_x	ϕ_y	<i>u</i>	<i>v</i>
1	-3.00	1.13	3.1616	0.0001	0.0493	0.0985	-0.0002
1	3.00	1.13	3.1621	0.0000	0.0491	0.0985	0.0002
2	-3.00	-1.13	3.1621	0.0000	-0.0491	0.0985	0.0002
2	3.00	-1.13	3.1616	-0.0001	-0.0493	0.0985	-0.0002

Combinazione n° 4

<i>I_t</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>w</i>	ϕ_x	ϕ_y	<i>u</i>	<i>v</i>
1	-3.00	1.13	3.1616	0.0001	0.0493	0.2176	-0.0005
1	3.00	1.13	3.1621	0.0000	0.0491	0.2176	0.0005
2	-3.00	-1.13	3.1621	0.0000	-0.0491	0.2176	0.0005
2	3.00	-1.13	3.1616	-0.0001	-0.0493	0.2176	-0.0005

Sollecitazioni

Simbologia adottata

<i>I_t</i>	Identificativo trave
<i>N_{el}</i>	Numero elemento trave
<i>M</i>	Momento flettente espresso in [kNm]
<i>N</i>	Sforzo normale espresso in [kN]
<i>T</i>	Taglio espresso in [kN]
<i>T_h</i>	taglio nel piano orizzontale espresso in [kN]
<i>M_h</i>	momento nel piano orizzontale espresso in [kNm]

Sollecitazioni agli estremi della traveCombinazione n° 1 - Trave n° 1

<i>I_t</i>	<i>N_{el}</i>	<i>M</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>T_h</i>	<i>M_h</i>
1	1	-13.7619	0.0000	-19.2181	0.0000	0.0000
1	17	-13.9493	0.0000	21.1956	0.0000	0.0000

Combinazione n° 1 - Trave n° 2

It	N _{el}	M	N	T	T _h	M _h
2	1	-13.9343	0.0000	-21.1650	0.0000	0.0000
2	17	-13.7594	0.0000	19.1760	0.0000	0.0000

Combinazione n° 2 - Trave n° 1

It	N _{el}	M	N	T	T _h	M _h
1	1	-10.5861	0.0000	-14.7832	0.0000	0.0000
1	17	-10.7302	0.0000	16.3043	0.0000	0.0000

Combinazione n° 2 - Trave n° 2

It	N _{el}	M	N	T	T _h	M _h
2	1	-10.7187	0.0000	-16.2808	0.0000	0.0000
2	17	-10.5842	0.0000	14.7508	0.0000	0.0000

Combinazione n° 3 - Trave n° 1

It	N _{el}	M	N	T	T _h	M _h
1	1	-10.5861	-2.9570	-14.7832	2.7707	0.0000
1	17	-10.7302	3.1857	16.3043	2.6981	0.0000

Combinazione n° 3 - Trave n° 2

It	N _{el}	M	N	T	T _h	M _h
2	1	-10.7187	-3.1820	-16.2808	-2.6967	0.0000
2	17	-10.5842	2.9574	14.7508	-2.7739	0.0000

Combinazione n° 4 - Trave n° 1

It	N _{el}	M	N	T	T _h	M _h
1	1	-10.5861	-6.5300	-14.7832	6.1186	0.0000
1	17	-10.7302	7.0349	16.3043	5.9584	0.0000

Combinazione n° 4 - Trave n° 2

It	N _{el}	M	N	T	T _h	M _h
2	1	-10.7187	-7.0269	-16.2808	-5.9552	0.0000
2	17	-10.5842	6.5309	14.7508	-6.1256	0.0000

Verifiche

Verifiche a pressoflessione

Simbologia adottata

X	Ascissa sezione espressa in [cm]
A _{fi}	Area di armatura lembo inferiore espressa in [cmq]
A _{fs}	Area di armatura lembo superiore espressa in [cmq]
C	Coefficiente sicurezza
M _u	Momento ultimo espresso in [kNm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kN]

Inviluppo (SLU) - Verifiche trave n° 1

Lunghezza= 6.00 [m]

Base=125.00 [cm]

Altezza=160.00 [cm]

X	A _{fi}	A _{fs}	M _u	N _u	C
0.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	136.52
37.50	50.27	50.27	2837.80	-949.32	102.64
75.00	50.27	50.27	2790.57	-998.92	74.41
112.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	54.60
150.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	41.35
187.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	34.13
225.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	30.09
262.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	28.02
300.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	27.41

337.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	28.13
375.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	30.37
412.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	34.69
450.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	42.34
487.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	55.77
525.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	78.75
562.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	105.10
600.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	153.35

Inviluppo (SLU) - Verifiche trave n° 2

Lunghezza= 6.00 [m]

Base=125.00 [cm]

Altezza=160.00 [cm]

X	Afi	Afs	M _u	N _u	C
0.00	50.27	50.27	2757.21	-1033.97	147.14
37.50	50.27	50.27	2718.98	-1074.13	103.18
75.00	50.27	50.27	2772.31	-1018.11	73.68
112.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	54.32
150.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	41.33
187.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	34.16
225.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	30.11
262.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	28.04
300.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	27.42
337.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	28.13
375.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	30.36
412.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	34.65
450.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	42.31
487.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	55.93
525.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	78.75
562.50	50.27	50.27	3722.34	0.00	103.20
600.00	50.27	50.27	3722.34	0.00	137.08

Verifiche a taglio**Simbologia adottata**

Xi, Xf	Ascissa iniziale e finale del tratto staffe, espressa in [cm]
Staffe	Numero, diametro e passo staffe. Il diametro espresso in [mm] e, il passo espresso in [cm]
A _{sag}	Area sagomati, espressa in [cmq]
Tp, Tn	Taglio positivo e negativo massimo agente sul tratto, espressi in [kN]
V _{rd}	Taglio resistente limite, espresso in [kN]
V _{cd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]
V _{wd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]

Inviluppo (SLU) - Verifiche trave n° 1

Lunghezza= 6.00 [m]

Base=125.00 [cm]

Altezza=160.00 [cm]

Xi	Xf	Staffe	A _{sag}	Tp	Tn	V _{Rd}	V _{Cd}	V _{Wd}
0.0	225.0	15 φ10 / 16	0.00	31.19	-83.54	9673.07	1652.31	1438.30
225.0	375.0	10 φ10 / 16	0.00	50.69	-50.81	9673.07	1652.31	1438.30
375.0	600.0	15 φ10 / 16	0.00	82.59	-29.21	9673.07	1652.31	1438.30

Inviluppo (SLU) - Verifiche trave n° 2

Lunghezza= 6.00 [m]

Base=125.00 [cm]

Altezza=160.00 [cm]

Xi	Xf	Staffe	A _{sag}	Tp	Tn	V _{Rd}	V _{Cd}	V _{Wd}
0.0	225.0	15 φ10 / 16	0.00	29.24	-82.60	9673.07	1652.31	1438.30
225.0	375.0	10 φ10 / 16	0.00	50.81	-50.69	9673.07	1652.31	1438.30
375.0	600.0	15 φ10 / 16	0.00	83.59	-31.23	9673.07	1652.31	1438.30

Armature

Armature piastra

Direzione principale armature	0.00 [°]
Direzione secondaria armature	90.00 [°]
Numero tratti complessivi	14
Ampiezza singolo tratto	1.00 [m]
Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto	0.25 [m]
Maglia superiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)
Maglia inferiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)

Gruppo	Tipo	Lembo	Dir	ϕ	nf
D	Lungo	Inferiore	Y	16	13
E	Lungo	Inferiore	Y	16	6

Armature travi

Simbologia adottata

Tipo	Tipo ferro (Lungo o Sagomato)
Lembo	Posizione del ferro nel plinto
ϕ	Diametro ferro espresso in [mm]
nf	Numero ferri del gruppo
X_i, X_f	Ascissa iniziale e finale tratto da armare a taglio espresso in [cm]
ns	Numero staffe del tratto
Passo	Passo delle staffe espresso in [cm]
ϕ	Diametro ferri staffe espresso in [mm]

Trave n° 1

Tipo	Lembo	ϕ	nf
Dritto	Superiore	16	25
Dritto	Inferiore	16	25

Tratto	X_i	X_f	ns	Passo	ϕ
1	0.00	225.00	15	16.00	10.00
2	225.00	375.00	10	16.00	10.00
3	375.00	600.00	15	16.00	10.00

Trave n° 2

Tipo	Lembo	ϕ	nf
Dritto	Superiore	16	25
Dritto	Inferiore	16	25

Tratto	X_i	X_f	ns	Passo	ϕ
1	0.00	225.00	15	16.00	10.00
2	225.00	375.00	10	16.00	10.00
3	375.00	600.00	15	16.00	10.00

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi 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 14/01/2008.

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++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	C&C Service S.r.l.
Licenza	AIU43712G

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
()

Progetto: Fondazione Castelletto MT F9
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

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 $\eta_q \geq 1.0$

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen. Cambia solo il fattore N_γ e l'espressione di alcuni coefficienti.

Di seguito sono riportate per intero tutte le espressioni.

Caso generale

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

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

I fattori che compaiono in queste espressioni sono espressi da:

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

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

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Fattori di forma

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

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

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

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

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

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

$$m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$$

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

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

Fattori di inclinazione del terreno

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

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

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

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

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

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

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

dove:

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

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

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

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.

Caratteristiche Travi

Simbologia adottata

<i>Nr.</i>	Identificativo della trave
X_i	Ascissa punto iniziale espressa in [m]
Y_i	Ordinata punto iniziale espressa in [m]
X_f	Ascissa punto finale espressa in [m]
Y_f	Ordinata punto finale espressa in [m]
B	Base trave espressa in [cm]
H	Altezza trave espressa in [cm]
B_a	Base ala inferiore trave espressa in [cm]
H_a	Altezza ala inferiore trave espressa in [cm]

Nr.	X_i	Y_i	X_f	Y_f	B	H	B_a	H_a
1	-0.80	0.00	0.80	0.00	60	80	--	--

Caratteristiche materiali

Materiale travi

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	30874286	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	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]

Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca	
Terreno vegetale	16.670	17.550	26.00	17.33	0.0	0.0	
Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	18.630	18.630	19.610	34.00	22.67	0.0	0.0
Limo argilloso	19.400	19.410	0.00	0.00	21.0	10.5	

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	Descrizione terreno
<i>Ed</i>	Modulo edometrico espresso in [kPa]

Descr	Ed	
Terreno vegetale	5884	
Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	30793	
Limo argilloso	9806	

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato

N	Z1	Z2	Z3	Terreno	Ks	Kw
1	0.0	0.0	0.0	Terreno vegetale	0.00	0.00
2	-1.2	-1.2	-1.2	Terreno vegetale	0.00	0.00

3	-1.2	-1.2	-1.2	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	0.00	0.00
4	-2.9	-2.9	-2.9	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	0.00	0.00
5	-2.9	-2.9	-2.9	Limo argilloso	0.00	0.00
6	-7.0	-7.0	-7.0	Limo argilloso	0.00	0.00

Costante di Winkler verticale

Simbologia adottata

p0 Punto inferiore sinistro poligono con costante di Winkler pari a Kw
p1 Punto superiore destro poligono con costante di Winkler pari a Kw
Kw Costante di Winkler verticale espressa in Kg/cm²/cm

p0	p1	Kw
(-0.80; -0.65)	(0.80; 0.65)	1.55

Caratteristiche Mesh

Numero elementi	0
Numero nodi	17

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 concentrati trave

Simbologia adottata

Ic	Identificativo carico
It	Identificativo trave
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
M _x	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
M _y	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
T _x	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
T _y	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Condizione 1)

Ic	It	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
1	1	0.00	0.00	5.700	0.000	0.000	0.000	0.000

Condizione n° 2 (Condizione 2)

Ic	It	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
2	1	0.00	0.00	0.000	0.000	3.630	1.060	0.000

Condizione n° 3 (Condizione 3)

Ic	It	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
3	1	0.00	0.00	0.000	0.000	8.030	2.340	0.000

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR	(A2) - GEO
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30	1.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qi}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

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

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10

Descrizione combinazioni di carico

Numero combinazioni di carico 4

Simbologia adottata

C Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.30
Condizione 1 C = 1.30

Combinazione n° 2 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 3 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 2 C = 1.00

Combinazione n° 4 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 3 C = 1.00

Impostazioni di analisi

Metodo di calcolo: Stati Limite

Metodo calcolo portanza: Vesic

Cedimenti

Simbologia adottata

Id Indice trave
X Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
Y Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
w Cedimento espresso in [cm]

Combinazione n° 1

Id	X	Y	w
1	0.00	0.00	0.4426

Combinazione n° 2

Id	X	Y	w
1	0.00	0.00	0.3405

Combinazione n° 3

Id	X	Y	w
1	0.00	0.00	0.3405

Combinazione n° 4

Id	X	Y	w
1	0.00	0.00	0.3457

Analisi delle travi

Carico limite

Simbologia adottata

Trave	Identificativo trave
N_c, N_q, N_γ	Coefficienti di capacità portante
Q_t	Carico totale verticale espresso in [kN/m]
Q_u	Carico limite ultimo espresso in [kN/m]
FS	Coefficiente sicurezza carico limite
σ_{max}	Pressione massima espressa in [kPa]

Trave	N_c	N_q	N_γ
1	35.51	17.58	10.66

Combinazione n° 1

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	19.9299	146.2955	7.34	144.3

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	144.288	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]	0.00 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	1000.00		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Combinazione n° 2

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	15.3307	146.2955	9.54	111.0

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	110.991	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]	0.00 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	1000.00		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Combinazione n° 3

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	15.3307	146.2955	9.54	159.2

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	159.196	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	2.19	[mm]	0.14 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	7.22		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Combinazione n° 4

Trave	Q_t	Q_u	FS	σ_{max}
1	15.3307	146.2955	9.54	215.9

Coefficiente sicurezza capacità portante richiesto 2.30

Pressione massima sul terreno	215.946	[kPa]	
Cedimento differenziale massimo	4.63	[mm]	0.29 %
Coeff. di sicurezza a scorrimento	3.27		
Coeff. di sicurezza a scorrimento richiesto	1.00		

Spostamenti

Spostamenti nei punti estremi della trave*Simbologia adottata*

<i>It</i>	Identificativo trave
<i>X</i>	Ascissa nodo iniziale/finale trave espresso in [m]
<i>Y</i>	Ordinata nodo iniziale/finale trave espresso in [m]
<i>w</i>	Spostamento verticale espresso in [cm]
ϕ_x	Rotazione intorno all'asse X espressa in gradi
ϕ_y	Rotazione intorno all'asse Y espressa in gradi
<i>u</i>	Spostamento direzione x espresso in [cm]
<i>v</i>	Spostamento direzione y espresso in [cm]

Combinazione n° 1

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-0.80	0.00	0.4427	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.80	0.00	0.4427	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Combinazione n° 2

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-0.80	0.00	0.3405	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.80	0.00	0.3405	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Combinazione n° 3

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-0.80	0.00	0.2310	0.0000	0.0000	0.0149	0.0000
1	0.80	0.00	0.4501	0.0000	0.0000	0.0149	0.0000

Combinazione n° 4

It	X	Y	w	ϕ_x	ϕ_y	u	v
1	-0.80	0.00	0.1143	0.0000	0.0000	0.0329	0.0000
1	0.80	0.00	0.5768	0.0000	0.0000	0.0329	0.0000

Sollecitazioni*Simbologia adottata*

<i>It</i>	Identificativo trave
<i>N_{el}</i>	Numero elemento trave
<i>M</i>	Momento flettente espresso in [kNm]
<i>N</i>	Sforzo normale espresso in [kN]
<i>T</i>	Taglio espresso in [kN]
<i>T_h</i>	taglio nel piano orizzontale espresso in [kN]
<i>M_h</i>	momento nel piano orizzontale espresso in [kNm]

Sollecitazioni agli estremi della trave**Combinazione n° 1 - Trave n° 1**

It	N_{el}	M	N	T	T_h	M_h
1	1	0.0000	0.0000	-4.3286	0.0000	0.0000
1	17	0.0000	0.0000	4.3286	0.0000	0.0000

Combinazione n° 2 - Trave n° 1

It	N_{el}	M	N	T	T_h	M_h
1	1	0.0000	0.0000	-3.3297	0.0000	0.0000
1	17	0.0000	0.0000	3.3297	0.0000	0.0000

Combinazione n° 3 - Trave n° 1

It	N_{el}	M	N	T	T_h	M_h
1	1	0.0000	-0.0331	-1.8774	0.0000	0.0000
1	17	0.0000	0.0331	4.7759	0.0000	0.0000

Combinazione n° 4 - Trave n° 1

It	N _{ed}	M	N	T	T _h	M _h
1	1	0.0000	-0.0731	0.0000	0.0000	0.0000
1	17	0.0000	0.0731	6.4784	0.0000	0.0000

Verifiche

Verifiche a pressoflessione

Simbologia adottata

X	Ascissa sezione espressa in [cm]
A _{fi}	Area di armatura lembo inferiore espressa in [cmq]
A _{fs}	Area di armatura lembo superiore espressa in [cmq]
C	Coefficiente sicurezza
M _u	Momento ultimo espresso in [kNm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kN]

Inviluppo (SLU) - Verifiche trave n° 1

Lunghezza= 1.60 [m]

Base=60.00 [cm]

Altezza=80.00 [cm]

X	A _{fi}	A _{fs}	M _u	N _u	C
0.00	10.05	10.05	0.00	0.00	1000.00
10.00	10.05	10.05	281.94	0.00	791.14
20.00	10.05	10.05	281.94	0.00	416.17
30.00	10.05	10.05	281.94	0.00	285.87
40.00	10.05	10.05	281.94	0.00	214.72
50.00	10.05	10.05	281.94	0.00	170.43
60.00	10.05	10.05	281.94	0.00	140.66
70.00	10.05	10.05	281.94	0.00	119.34
80.00	10.05	10.05	264.68	-48.12	43.87
90.00	10.05	10.05	281.94	0.00	54.98
100.00	10.05	10.05	281.94	0.00	66.44
110.00	10.05	10.05	281.94	0.00	83.14
120.00	10.05	10.05	281.94	0.00	109.10
130.00	10.05	10.05	281.94	0.00	153.03
140.00	10.05	10.05	281.94	0.00	237.18
150.00	10.05	10.05	281.94	0.00	478.68
160.00	10.05	10.05	0.00	0.00	1000.00

Verifiche a taglio

Simbologia adottata

X _i , X _f	Ascissa iniziale e finale del tratto staffe, espressa in [cm]
Staffe	Numero, diametro e passo staffe. Il diametro espresso in [mm] e, il passo espresso in [cm]
A _{sag}	Area sagomati, espressa in [cmq]
T _p , T _n	Taglio positivo e negativo massimo agente sul tratto, espressi in [kN]
V _{rd}	Taglio resistente limite, espresso in [kN]
V _{cd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls, espresso in [kN]
V _{wd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura, espresso in [kN]

Inviluppo (SLU) - Verifiche trave n° 1

Lunghezza= 1.60 [m]

Base=60.00 [cm]

Altezza=80.00 [cm]

X _i	X _f	Staffe	A _{sag}	T _p	T _n	V _{rd}	V _{cd}	V _{wd}
0.0	80.0	5 φ10 / 17	0.00	4.03	-4.43	1785.80	305.04	259.31
80.0	160.0	5 φ10 / 17	0.00	9.64	0.00	1785.80	305.04	259.31

Armature

Armature travi

Simbologia adottata

Tipo	Tipo ferro (Lungo o Sagomato)
Lembo	Posizione del ferro nel plinto
ϕ	Diametro ferro espresso in [mm]
nf	Numero ferri del gruppo
X_i, X_f	Ascissa iniziale e finale tratto da armare a taglio espresso in [cm]
ns	Numero staffe del tratto
Passo	Passo delle staffe espresso in [cm]
ϕ	Diametro ferri staffe espresso in [mm]

Trave n° 1

Tipo	Lembo	ϕ	nf		
Dritto	Superiore	16	5		
Dritto	Inferiore	16	5		
Tratto	X_i	X_f	ns	Passo	ϕ
1	0.00	80.00	5	17.00	10.00
2	80.00	160.00	5	17.00	10.00

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi 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 14/01/2008.

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++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	C&C Service S.r.l.
Licenza	AIU43712G

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
()

Progetto: Fondazione Palo Luce F10
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

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 $\eta_q \geq 1.0$

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen. Cambia solo il fattore N_γ e l'espressione di alcuni coefficienti.

Di seguito sono riportate per intero tutte le espressioni.

Caso generale

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

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

I fattori che compaiono in queste espressioni sono espressi da:

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

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

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Fattori di forma

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

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

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

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

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

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

$$m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$$

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

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

Fattori di inclinazione del terreno

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

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

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

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

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

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

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

dove:

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

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

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

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.

Geometria

Dimensione massima direzione X	1.00 m
Dimensione massima direzione Y	1.00 m
Spessore piastra	1.00 m
Costante di sottofondo	3.127 Kg/cm ² /cm

Coordinate contorno esterno

Vertice	X[m]	Y[m]
1	-0.50	-0.50
2	0.50	-0.50
3	0.50	0.50
4	-0.50	0.50

Caratteristiche materiali

Materiale piastra

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	30874286	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	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
<i>c</i>	Coesione del terreno espressa in [kPa]
<i>ca</i>	Adesione del terreno espressa in [kPa]

Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	<i>c</i>	<i>ca</i>
Terreno vegetali	16.670	17.550	26.00	17.33	0.0	0.0

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	Descrizione terreno
<i>Ed</i>	Modulo edometrico espresso in [kPa]

Descr	<i>Ed</i>
Terreno vegetali	5884

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Z1</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]
<i>Z2</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]
<i>Z3</i>	Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]
<i>Terreno</i>	Terreno dello strato

<i>N</i>	<i>Z1</i>	<i>Z2</i>	<i>Z3</i>	Terreno	<i>Ks</i>	<i>Kw</i>
1	-2.0	-2.0	-2.0	Terreno vegetali	0.00	0.00

2	-30.0	-30.0	-30.0	Terreno vegetali	0.00	0.00
---	-------	-------	-------	------------------	------	------

Costante di Winkler verticale

Simbologia adottata

p0 Punto inferiore sinistro poligono con costante di Winkler pari a Kw
p1 Punto superiore destro poligono con costante di Winkler pari a Kw
Kw Costante di Winkler verticale espressa in Kg/cm²/cm

p0 (-3.00; -0.80)	p1 (3.00; 0.80)	Kw 3.13
-----------------------------	---------------------------	-------------------

Caratteristiche Mesh

Numero elementi	512
Numero nodi	289

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 concentrati

Simbologia adottata

Ic	Identificativo carico
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
M _x	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
M _y	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
T _x	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
T _y	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Condizione 1)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
1	0.00	0.00	1.170	0.000	0.000	0.000	0.000

Condizione n° 2 (Condizione 2)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
2	0.00	0.00	0.000	0.000	3.630	1.060	0.000

Condizione n° 3 (Condizione 3)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
3	0.00	0.00	0.000	0.000	4.800	0.600	0.000

Normativa - Coefficienti di sicurezza

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale	(A1) - STR	(A2) - GEO
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30	1.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qi}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

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

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10

Descrizione combinazioni di carico

Numero combinazioni di carico 4

Simbologia adottata

C Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.30
Condizione 1 C = 1.30

Combinazione n° 2 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 3 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 2 C = 1.00

Combinazione n° 4 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 3 C = 1.00

Impostazioni di analisi

Piastra infinitamente rigida

Fattore rigidezza sovrastruttura 0.00

Metodo di calcolo: Stati Limite

Metodo calcolo portanza: Vesic

Cedimenti

Simbologia adottata

<i>Id</i>	Indice punto in cui sono stati calcolati i cedimenti
<i>X</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>Y</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>w</i>	Cedimento espresso in [cm]

Combinazione n° 1

Id	X	Y	w
1	-0.50	-0.50	0.3740
2	0.50	-0.50	0.3725
3	0.50	0.50	0.3740
4	-0.50	0.50	0.3725
5	0.00	0.00	0.3728

Combinazione n° 2

Id	X	Y	w
1	-0.50	-0.50	0.2877
2	0.50	-0.50	0.2866
3	0.50	0.50	0.2877
4	-0.50	0.50	0.2866
5	0.00	0.00	0.2868

Combinazione n° 3

Id	X	Y	w
1	-0.50	-0.50	0.2301
2	0.50	-0.50	0.3442
3	0.50	0.50	0.3454
4	-0.50	0.50	0.2286
5	0.00	0.00	0.2869

Combinazione n° 4

Id	X	Y	w
1	-0.50	-0.50	0.2113
2	0.50	-0.50	0.3601
3	0.50	0.50	0.3611
4	-0.50	0.50	0.2092
5	0.00	0.00	0.2908

Analisi piastra

Risultati analisi

Spostamento massimo	0.376885 [cm]	[combinazione 1]
Spostamento minimo	0.225513 [cm]	[combinazione 4]
Momento massimo intorno ad X	16.4332 [kNm]	[combinazione 4]
Momento minimo intorno ad X	-90.6137 [kNm]	[combinazione 4]
Momento massimo intorno ad Y	11.3737 [kNm]	[combinazione 1]
Momento minimo intorno ad Y	-90.1229 [kNm]	[combinazione 4]

Combinazione n° 1

Carico totale	33.3931 [kN]
Reazione terreno	33.3931 [kN]
Carico limite	469 [kPa]

Combinazione n° 2

Carico totale	25.6870 [kN]
Reazione terreno	25.6870 [kN]
Carico limite	469 [kPa]

Combinazione n° 3

Carico totale	25.6870 [kN]
Reazione terreno	25.6870 [kN]
Carico limite	251 [kPa]
Carico totale dir. X	1.0600 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	1.0600 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Combinazione n° 4

Carico totale	25.6870 [kN]
Reazione terreno	25.6870 [kN]
Carico limite	226 [kPa]
Carico totale dir. X	0.6000 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	0.6000 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Risultati portanza

Combinazione n° 1

Carico totale verticale	33.3931	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	469	[kPa]
Pressione massima sul terreno	3872.235	[kPa]
Pressione media sul terreno	33.393	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	18	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	14.04	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	0.80	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 45.47
Nq = 11.85	N'q = 22.16
N γ = 12.54	N' γ = 7.52

Combinazione n° 2

Carico totale verticale	25.6870	[kN]
Eccentricità X	0.00	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	469	[kPa]
Pressione massima sul terreno	2978.642	[kPa]
Pressione media sul terreno	25.687	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	18	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	18.26	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	0.00	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	0.80	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 45.47
Nq = 11.85	N'q = 22.16
N γ = 12.54	N' γ = 7.52

Combinazione n° 3

Carico totale verticale	25.6870	[kN]
Eccentricità X	0.14	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	251	[kPa]
Pressione massima sul terreno	4546.653	[kPa]
Pressione media sul terreno	25.687	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	18	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	9.75	
Coeff. scorrimento	7.56	
Cedimento differenziale massimo	1.15	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	0.80	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 27.58
Nq = 11.85	N'q = 13.93
Nγ = 12.54	N'γ = 11.25

Combinazione n° 4

Carico totale verticale	25.6870	[kN]
Eccentricità X	0.19	[m]
Eccentricità Y	0.00	[m]
Carico limite	226	[kPa]
Pressione massima sul terreno	4971.900	[kPa]
Pressione media sul terreno	25.687	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	18	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	8.80	
Coeff. scorrimento	13.36	
Cedimento differenziale massimo	1.38	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	0.80	[m]
Peso nell'unità di volume	16.6700	[kN/mc]
Angolo di attrito	26.00	[°]
Coesione	0.0	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	17.33	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 22.25	N'c = 28.46
Nq = 11.85	N'q = 14.33
Nγ = 12.54	N'γ = 11.79

SpostamentiSpostamenti massimi e minimi della piastra*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
w _{max}	Spostamento verticale massimo espresso in [cm]
ux _{max}	Spostamento direzione x massimo spresso in [cm]
uy _{max}	Spostamento direzione y massimo spresso in [cm]
w _{min}	Spostamento verticale minimo espresso in [cm]
ux _{min}	Spostamento direzione x minimo spresso in [cm]
uy _{min}	Spostamento direzione y minimo spresso in [cm]
p _{max}	Pressione massima sul terreno espressa in [kPa]
p _{med}	Pressione media sul terreno espressa in [kPa]

Ic	W _{max}	ux _{max}	uy _{max}	W _{min}	ux _{min}	uy _{min}	P _{max}	P _{med}
1	0.3769	0.0000	0.0000	0.3768	0.0000	0.0000	3872.23	33.39
2	0.2899	0.0000	0.0000	0.2899	0.0000	0.0000	2978.64	25.69
3	0.3477	0.0071	0.0000	0.2329	0.0071	0.0000	4546.65	25.69
4	0.3635	0.0040	0.0000	0.2255	0.0040	0.0000	4971.90	25.69

Sollecitazioni piastraSollecitazioni massime e minime*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
Mx _{max}	Momento massimo X espresso in [kNm]
Mx _{min}	Momento minimo X espresso in [kNm]
My _{max}	Momento massimo Y espresso in [kNm]
My _{min}	Momento minimo Y espresso in [kNm]

Ic	Mx _{max}	Mx _{min}	My _{max}	My _{min}	Mxy _{max}	Mxy _{min}
1	11.3737	-73.4893	11.3737	-73.4893	12.1575	-5.1709
2	8.7490	-56.5302	8.7490	-56.5302	9.3519	-3.9776
3	12.9646	-83.6127	8.7561	-83.1821	13.6146	-6.1631
4	16.4332	-90.6137	8.7410	-90.1229	14.7033	-7.5965

Verifiche

Verifiche a presso-flessione

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione
A _{fi}	Area di armatura lembo inferiore espressa in [cmq]
A _{fs}	Area di armatura lembo superiore espressa in [cmq]
C	Coefficiente sicurezza
M _u	Momento ultimo espresso in [kNm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kN]

Inviluppo

Is	Afi	Afs	C	M _u	N _u
1-1-P	10.05	10.05	61.89	-358.75	0.00
2-5-P	10.05	10.05	49.30	-358.94	0.44
3-1-S	10.05	10.05	61.89	-358.75	0.00
4-5-S	10.05	10.05	51.75	-358.74	-0.02

Verifiche a taglio

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione (P: direzione principale S: direzione secondaria)
(Xg; Yg)	Coordinate baricentro sezione su cui agisce il taglio espresso in [m]
B	Base sezione su cui agisce il taglio espresso in [cm]
H	Altezza sezione su cui agisce il taglio espresso in [cm]
T	Taglio agente nella sezione espressa in [kN]
V _{rd}	Taglio resistente espresso in [kN]
V _{cd}	Aliquota di taglio assorbito dal cls espresso in [kN]
V _{wd}	Aliquota di taglio assorbito dall'armatura in [kN]

Inviluppo

It	(Xg; Yg)	B	H	T	V _{rd}	V _{cd}	V _{wd}
1-5-P	(0.50; -0.25)	50	100	6.26	2827.51	321.99	0.00
2-5-P	(0.50; 0.25)	50	100	4.42	2827.51	321.99	0.00
3-5-S	(-0.25; 0.50)	50	100	4.78	2827.51	321.99	0.00
4-5-S	(0.25; 0.50)	50	100	3.37	2827.51	321.99	0.00

Verifica punzonamento

Simbologia adottata

x, y	Coordinate punto espresse in [m]
N	Forza agente espressa in [kN]
R	Forza resistente espressa in [kN]
hf	Spessore espresso in [cm]
p	Perimetro contorno espresso in [cm]

Combinazione n° 1

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	1.5210	2259.5714	100.00	400.00	1485.58

Combinazione n° 2

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	1.1700	2259.5714	100.00	400.00	1931.26

Combinazione n° 3

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	1.1700	2259.5714	100.00	400.00	1931.26

Combinazione n° 4

	(x, y)	N	R	h _f	p	η
Carico concentrato	0.00; 0.00	1.1700	2259.5714	100.00	400.00	1931.26

Armature

Armature piastra

Direzione principale armature	0.00 [°]
Direzione secondaria armature	90.00 [°]
Numero tratti complessivi	4
Ampiezza singolo tratto	1.00 [m]
Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto	0.25 [m]
Maglia superiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)
Maglia inferiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)

Gruppo	Tipo	Lembo	Dir	ϕ	nf
B	Lungo	Superiore	X	16	5
D	Lungo	Inferiore	X	16	5
F	Lungo	Inferiore	Y	16	5
H	Lungo	Superiore	Y	16	5

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi 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 14/01/2008.

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++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	C&C Service S.r.l.
Licenza	AIU43712G

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
()

Progetto: Fondazione Shelter BT/MT e Turbinista F11
Ditta:
Comune:
Progettista:
Direttore dei Lavori:
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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

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 $\eta_q \geq 1.0$

La formula di Vesic è analoga alla formula di Hansen. Cambia solo il fattore N_γ e l'espressione di alcuni coefficienti.

Di seguito sono riportate per intero tutte le espressioni.

Caso generale

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

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

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

I fattori che compaiono in queste espressioni sono espressi da:

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

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

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

Fattori di forma

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

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

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

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

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

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

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

I vari coefficienti si esprimono come

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

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

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

$$d_\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Definito il parametro

$$m = \frac{2+B/L}{1+B/L}$$

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c}$$

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

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

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

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

$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

Fattori di inclinazione del terreno

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

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

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

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

Cedimenti della fondazione

Metodo Edometrico

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

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

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

dove:

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

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

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

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.

Geometria

Dimensione massima direzione X	17.99 m
Dimensione massima direzione Y	4.40 m
Costante di sottofondo	0.763 Kg/cm ² /cm

Coordinate contorno esterno

Vertice	X[m]	Y[m]
1	0.00	0.00
2	17.99	0.00
3	17.99	4.40
4	0.00	4.40

Caratteristiche materiali

Materiale piastra

Calcestruzzo

Tipo	Rck 250	
Rck	30000	[kPa]
Resistenza a compressione caratteristica f_{ck}	24900	[kPa]
Resistenza a compressione di progetto f_{cd}	13228	[kPa]
Peso specifico	24.5170	[kN/mc]
Coefficiente omogeneizzazione	0.1471	
Modulo elastico E	30874286	[kPa]
Modulo di Poisson	0.20	

Acciaio utilizzato

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento caratteristica f_{yk}	450000	[kPa]
Tensione di snervamento di progetto f_{yd}	391304	[kPa]

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	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	
<i>c</i>	Coesione del terreno espressa in [kPa]	
<i>ca</i>	Adesione del terreno espressa in [kPa]	

Descr	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	<i>c</i>	<i>ca</i>	
Terreno vegetale	17.652	19.614	30.00	20.00	0.0	0.0	
Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	18.630	19.610	19.610	34.00	22.67	0.0	0.0
Limo argilloso	19.400	19.410	0.00	0.00	21.0	10.5	
Argilla e argilla limosa compatta	20.000	20.600	25.00	16.67	39.0	0.0	

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

<i>Descr</i>	Descrizione terreno
<i>Ed</i>	Modulo edometrico espresso in [kPa]

Descr	<i>Ed</i>	
Terreno vegetale	5884	
Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	30793	
Limo argilloso	9806	
Argilla e argilla limosa compatta	26478	

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

<i>N</i>	Identificativo strato
<i>Zl</i>	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 dello strato

N	Z1	Z2	Z3	Terreno	Ks	Kw
1	0.0	0.0	0.0	Terreno vegetale	0.00	0.00
2	-1.2	-1.2	-1.2	Terreno vegetale	0.00	0.00
3	-1.2	-1.2	-1.2	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	0.00	0.00
4	-2.9	-2.9	-2.9	Ghiaie grossolane in matrice sabbiosa	0.00	0.00
5	-2.9	-2.9	-2.9	Limo argilloso	0.00	0.00
6	-7.0	-7.0	-7.0	Limo argilloso	0.00	0.00
7	-7.0	-7.0	-7.0	Argilla e argilla limosa compatta	0.00	0.00
8	-25.0	-25.0	-25.0	Argilla e argilla limosa compatta	0.00	0.00

Costante di Winkler verticale

Simbologia adottata

p0 Punto inferiore sinistro poligono con costante di Winkler pari a Kw
 p1 Punto superiore destro poligono con costante di Winkler pari a Kw
 Kw Costante di Winkler verticale espressa in Kg/cm²/cm

p0
(0.00; 0.00)

p1
(3.75; 4.40)

Kw
0.76

Caratteristiche Mesh

Numero elementi 1084
 Numero nodi 1087

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 concentrati

Simbologia adottata

Ic	Identificativo carico
X	Ascissa carico espressa in [m]
Y	Ordinata carico espressa in [m]
N	Carico verticale espresso in [kN]
M _x	Momento intorno all'asse X espresso in [kNm]
M _y	Momento intorno all'asse Y espresso in [kNm]
T _x	Forza orizzontale in direzione X espressa in [kN]
T _y	Forza orizzontale in direzione Y espressa in [kN]

Condizione n° 2 (Condizione 2)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
1	2.00	3.00	0.000	0.000	155.000	54.000	0.000
2	10.00	3.00	0.000	0.000	155.000	54.000	0.000

Condizione n° 3 (Condizione 3)

Ic	X	Y	N	M _x	M _y	T _x	T _y
3	2.00	3.00	0.000	0.000	344.050	119.880	0.000
4	10.00	3.00	0.000	0.000	344.050	119.880	0.000

Carichi distribuiti

Simbologia adottata

Ic	Identificativo 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)

Ic	P _{is}	P _{sd}	Q _{z1}	Q _{z2}	Q _{z3}	Q _{z4}	Q _x	Q _y
1	(0.10; 1.86)	(4.10; 4.30)	20.1437	20.1437	20.1437	20.1437	0.0000	0.0000
2	(5.60; 1.86)	(13.79; 4.30)	5.8500	5.8500	5.8500	5.8500	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	(A2) - GEO
Permanenti	Sfavorevole	γ_{G1}	1.30	1.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Q1}	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ψ	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40

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

Verifica	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	1.00	1.80	2.30
Scorrimento	1.00	1.10	1.10

Descrizione combinazioni di carico

Numero combinazioni di carico 4

Simbologia adottata

C Coefficiente di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.30
Condizione 1 C = 1.30

Combinazione n° 2 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00

Combinazione n° 3 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 2 C = 1.00

Combinazione n° 4 - S.L.U. A1-M1

Peso proprio C = 1.00
Condizione 1 C = 1.00
Condizione 3 C = 1.00

Impostazioni di analisi

Fattore rigidezza sovrastruttura 0.00

Metodo di calcolo: Stati Limite

Metodo calcolo portanza: Vesic

Cedimenti

Simbologia adottata

<i>Id</i>	Indice punto in cui sono stati calcolati i cedimenti
<i>X</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>Y</i>	Ascissa punto in cui è stato calcolato il cedimento espresso in [m]
<i>w</i>	Cedimento espresso in [cm]

Combinazione n° 1

Id	X	Y	w
1	0.00	0.00	0.8160
2	17.99	0.00	0.8202
3	17.99	4.40	0.9370
4	0.00	4.40	1.0666
5	8.99	2.20	1.0661

Combinazione n° 2

Id	X	Y	w
1	0.00	0.00	0.6277
2	17.99	0.00	0.6309
3	17.99	4.40	0.7207
4	0.00	4.40	0.8205
5	8.99	2.20	0.8201

Combinazione n° 3

Id	X	Y	w
1	0.00	0.00	0.5626
2	17.99	0.00	0.6396
3	17.99	4.40	0.7394
4	0.00	4.40	0.7340
5	8.99	2.20	0.8327

Combinazione n° 4

Id	X	Y	w
1	0.00	0.00	0.4830
2	17.99	0.00	0.6503
3	17.99	4.40	0.7622
4	0.00	4.40	0.6284
5	8.99	2.20	0.8482

Analisi piastra

Risultati analisi

Spostamento massimo	1.186467 [cm]	[combinazione 1]
Spostamento minimo	0.487156 [cm]	[combinazione 4]
Momento massimo intorno ad X	217.5090 [kNm]	[combinazione 4]
Momento minimo intorno ad X	-170.5502 [kNm]	[combinazione 4]
Momento massimo intorno ad Y	134.9080 [kNm]	[combinazione 4]
Momento minimo intorno ad Y	-145.0483 [kNm]	[combinazione 4]

Combinazione n° 1

Carico totale	2006.8192 [kN]
Reazione terreno	2006.8192 [kN]
Carico limite	433 [kPa]

Combinazione n° 2

Carico totale	1543.7071 [kN]
Reazione terreno	1543.7071 [kN]
Carico limite	433 [kPa]

Combinazione n° 3

Carico totale	1543.7071 [kN]
Reazione terreno	1543.7071 [kN]
Carico limite	371 [kPa]
Carico totale dir. X	108.0000 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	108.0000 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Combinazione n° 4

Carico totale	1543.7071 [kN]
Reazione terreno	1543.7071 [kN]
Carico limite	300 [kPa]
Carico totale dir. X	239.7600 [kN]
Carico totale dir. Y	0.0000 [kN]
Risultante terreno X	239.7600 [kN]
Risultante terreno Y	0.0000 [kN]

Risultati portanza

Combinazione n° 1

Carico totale verticale	2006.8192	[kN]
Eccentricità X	-0.40	[m]
Eccentricità Y	0.15	[m]
Carico limite	433	[kPa]
Pressione massima sul terreno	1048.025	[kPa]
Pressione media sul terreno	25.353	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	16	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	17.09	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	3.66	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	3.20	[m]
Peso nell'unità di volume	18.8262	[kN/mc]
Angolo di attrito	20.90	[°]
Coesione	7.9	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	20.00	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 15.72	N'c = 18.81
Nq = 7.00	N'q = 8.13
Nγ = 6.11	N'γ = 5.06

Combinazione n° 2

Carico totale verticale	1543.7071	[kN]
Eccentricità X	-0.40	[m]
Eccentricità Y	0.15	[m]
Carico limite	433	[kPa]
Pressione massima sul terreno	806.173	[kPa]
Pressione media sul terreno	19.502	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	16	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	22.22	
Coeff. scorrimento	1000.00	
Cedimento differenziale massimo	2.82	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	3.20	[m]
Peso nell'unità di volume	18.8262	[kN/mc]
Angolo di attrito	20.90	[°]
Coesione	7.9	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	20.00	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 15.72	N'c = 18.81
Nq = 7.00	N'q = 8.13
Nγ = 6.11	N'γ = 5.06

Combinazione n° 3

Carico totale verticale	1543.7071	[kN]
Eccentricità X	-0.20	[m]
Eccentricità Y	0.15	[m]
Carico limite	371	[kPa]
Pressione massima sul terreno	686.161	[kPa]
Pressione media sul terreno	19.502	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	16	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	19.03	
Coeff. scorrimento	5.20	
Cedimento differenziale massimo	3.48	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	3.20	[m]
Peso nell'unità di volume	18.8262	[kN/mc]
Angolo di attrito	20.90	[°]
Coesione	7.9	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	20.00	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 15.72	N'c = 14.56
Nq = 7.00	N'q = 6.54
Nγ = 6.11	N'γ = 4.56

Combinazione n° 4

Carico totale verticale	1543.7071	[kN]
Eccentricità X	0.05	[m]
Eccentricità Y	0.15	[m]
Carico limite	300	[kPa]
Pressione massima sul terreno	539.415	[kPa]
Pressione media sul terreno	19.502	[kPa]
Pressione geostatica piano di posa	16	[kPa]
Coefficiente sicurezza carico ultimo	15.39	
Coeff. scorrimento	2.34	
Cedimento differenziale massimo	4.44	[mm]

Parametri strato equivalente terreno di lavoro

Altezza cuneo di rottura	3.20	[m]
Peso nell'unità di volume	18.8262	[kN/mc]
Angolo di attrito	20.90	[°]
Coesione	7.9	[kPa]
Angolo di attrito terreno-fondazione	20.00	[°]
Adesione terreno-fondazione	0.0	[kPa]

Coefficienti di capacità portante

Nc = 15.72	N'c = 11.77
Nq = 7.00	N'q = 5.49
Nγ = 6.11	N'γ = 3.48

SpostamentiSpostamenti massimi e minimi della piastra*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
w _{max}	Spostamento verticale massimo espresso in [cm]
ux _{max}	Spostamento direzione x massimo spresso in [cm]
uy _{max}	Spostamento direzione y massimo spresso in [cm]
w _{min}	Spostamento verticale minimo espresso in [cm]
ux _{min}	Spostamento direzione x minimo spresso in [cm]
uy _{min}	Spostamento direzione y minimo spresso in [cm]
p _{max}	Pressione massima sul terreno espressa in [kPa]
p _{med}	Pressione media sul terreno espressa in [kPa]

Ic	W _{max}	ux _{max}	uy _{max}	W _{min}	ux _{min}	uy _{min}	P _{max}	P _{med}
1	1.1865	0.0000	0.0000	0.8204	0.0000	0.0000	1048.02	25.35
2	0.9127	0.0000	0.0000	0.6311	0.0000	0.0000	806.17	19.50
3	0.9141	0.0340	0.0084	0.5666	0.0295	-0.0077	686.16	19.50
4	0.9314	0.0755	0.0185	0.4872	0.0655	-0.0170	539.42	19.50

Sollecitazioni piastraSollecitazioni massime e minime*Simbologia adottata*

Ic	Indice della combinazione
Mx _{max}	Momento massimo X espresso in [kNm]
Mx _{min}	Momento minimo X espresso in [kNm]
My _{max}	Momento massimo Y espresso in [kNm]
My _{min}	Momento minimo Y espresso in [kNm]

Ic	Mx _{max}	Mx _{min}	My _{max}	My _{min}	Mxy _{max}	Mxy _{min}
1	95.1719	-21.2354	62.4334	-28.0128	4.1263	-52.0201
2	73.2092	-16.3349	48.0257	-21.5483	3.1741	-40.0154
3	112.6146	-65.3180	64.7611	-56.6493	33.1152	-54.8989
4	217.5090	-170.5502	134.9080	-145.0483	81.3629	-112.8850

Verifiche

Verifiche a presso-flessione

Simbologia adottata

Is	Identificativo tratto-sezione-direzione
A _{fi}	Area di armatura lembo inferiore espressa in [cmq]
A _{fs}	Area di armatura lembo superiore espressa in [cmq]
C	Coefficiente sicurezza
M _u	Momento ultimo espresso in [kNm]
N _u	Sforzo normale ultimo espresso in [kN]

Inviluppo

Is	Afi	Afs	C	M_u	N_u
1-12-P	8.04	22.12	2.57	133.67	-8.34
2-12-P	8.04	22.12	1.89	60.82	6.11
3-11-P	14.07	22.12	1.83	137.12	23.36
4-11-P	8.04	22.12	1.33	150.01	70.24
5-12-P	8.04	22.12	1.71	143.43	38.53
6-12-S	10.05	10.05	8.10	168.84	0.00
7-13-S	10.05	10.05	3.40	-170.38	7.53
8-13-S	10.05	10.05	2.24	164.59	-19.57
9-13-S	10.05	10.05	5.41	163.70	-23.64
10-13-S	10.05	10.05	9.45	164.64	-19.33
11-10-S	16.08	16.08	17.56	389.32	0.00
12-6-S	8.04	20.11	16.84	114.72	0.00
13-5-S	16.08	20.11	20.90	327.05	0.00
14-8-S	20.11	20.11	26.82	639.68	0.00
15-13-S	10.05	10.05	3.72	-170.71	9.11
16-13-S	10.05	10.05	2.31	166.03	-12.94
17-13-S	10.05	10.05	6.40	162.25	-30.35
18-12-S	10.05	10.05	13.03	164.24	-21.19
19-8-S	14.07	14.07	18.14	328.14	0.00
20-6-S	8.04	24.13	6.91	46.60	0.00
21-11-S	24.13	24.13	40.36	110.49	0.00
22-11-S	24.13	24.13	37.55	110.49	0.00
23-11-S	20.11	24.13	14.35	391.55	0.00

Armature

Armature piastra

Direzione principale armature	0.00 [°]
Direzione secondaria armature	90.00 [°]
Numero tratti complessivi	23
Ampiezza singolo tratto	1.00 [m]
Distanza fra le sezioni di calcolo del singolo tratto	0.25 [m]

Maglia superiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)
Maglia inferiore	(4 ϕ 16) x (4 ϕ 16)

Gruppo	Tipo	Lembo	Dir	ϕ	nf
C	Lungo	Superiore	X	16	36
D	Lungo	Superiore	X	16	36
I	Lungo	Inferiore	X	16	22
J	Lungo	Inferiore	X	16	7
K	Lungo	Inferiore	X	16	2
L	Lungo	Inferiore	X	16	15
M	Lungo	Inferiore	X	16	3
N	Lungo	Inferiore	X	16	22
O	Lungo	Inferiore	X	16	25
P	Lungo	Inferiore	X	16	3
T	Lungo	Inferiore	X	16	2
U	Lungo	Inferiore	X	16	2
V	Lungo	Inferiore	X	16	12
W	Lungo	Inferiore	X	16	9
X	Lungo	Inferiore	X	16	9
Y	Lungo	Inferiore	X	16	10
AC	Lungo	Inferiore	X	16	5
AD	Lungo	Inferiore	X	16	5
AE	Lungo	Inferiore	X	16	5
AI	Lungo	Inferiore	X	16	2
AJ	Lungo	Inferiore	X	16	4
AK	Lungo	Inferiore	X	16	2
AL	Lungo	Inferiore	X	16	2
AM	Lungo	Inferiore	X	16	3
AN	Lungo	Inferiore	X	16	2
AO	Lungo	Inferiore	X	16	2
AP	Lungo	Inferiore	X	16	2
AQ	Lungo	Inferiore	X	16	2
AR	Lungo	Inferiore	X	16	2
AS	Lungo	Inferiore	X	16	2
AT	Lungo	Inferiore	X	16	2
AU	Lungo	Inferiore	X	16	2
AV	Lungo	Inferiore	X	16	2
BC	Lungo	Inferiore	X	16	12
BD	Lungo	Inferiore	X	16	2
BE	Lungo	Inferiore	X	16	11
BF	Lungo	Inferiore	X	16	2
BG	Lungo	Inferiore	X	16	11
BH	Lungo	Inferiore	X	16	2
BI	Lungo	Inferiore	X	16	14
BM	Lungo	Inferiore	X	16	2
BN	Lungo	Inferiore	X	16	2
BP	Lungo	Inferiore	Y	16	12
BQ	Lungo	Inferiore	Y	16	1
BR	Lungo	Inferiore	Y	16	1
BS	Lungo	Inferiore	Y	16	1
CA	Lungo	Inferiore	Y	16	10
CC	Lungo	Inferiore	Y	16	3
CD	Lungo	Inferiore	Y	16	2
CE	Lungo	Inferiore	Y	16	6
CF	Lungo	Inferiore	Y	16	1
CG	Lungo	Inferiore	Y	16	5
CH	Lungo	Inferiore	Y	16	6
CM	Lungo	Inferiore	Y	16	5
CN	Lungo	Inferiore	Y	16	5

CO	Lungo	Inferiore	Y	16	5
CP	Lungo	Inferiore	Y	16	1
CQ	Lungo	Inferiore	Y	16	1
CR	Lungo	Inferiore	Y	16	1
CS	Lungo	Inferiore	Y	16	1
CU	Lungo	Inferiore	Y	16	3
CW	Lungo	Inferiore	Y	16	12
CX	Lungo	Inferiore	Y	16	8
CY	Lungo	Inferiore	Y	16	3
CZ	Lungo	Inferiore	Y	16	1
DA	Lungo	Inferiore	Y	16	8
DB	Lungo	Inferiore	Y	16	1
DH	Lungo	Inferiore	Y	16	6
DI	Lungo	Inferiore	Y	16	3
DJ	Lungo	Inferiore	Y	16	24
DK	Lungo	Inferiore	Y	16	21
DL	Lungo	Inferiore	Y	16	3
DM	Lungo	Inferiore	Y	16	4
DN	Lungo	Inferiore	Y	16	18
DO	Lungo	Inferiore	Y	16	4
DP	Lungo	Inferiore	Y	16	16
DR	Lungo	Inferiore	Y	16	2
DS	Lungo	Inferiore	Y	16	2
DT	Lungo	Inferiore	Y	16	2
DV	Lungo	Superiore	Y	16	13
DW	Lungo	Superiore	Y	16	19
DY	Lungo	Superiore	Y	16	33

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

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

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

Tipo di analisi svolta

L'analisi 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 14/01/2008.

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++ Full (Platee, Plinti e Graticci) - Analisi Fondazioni
Versione	11.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	C&C Service S.r.l.
Licenza	AIU43712G

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.

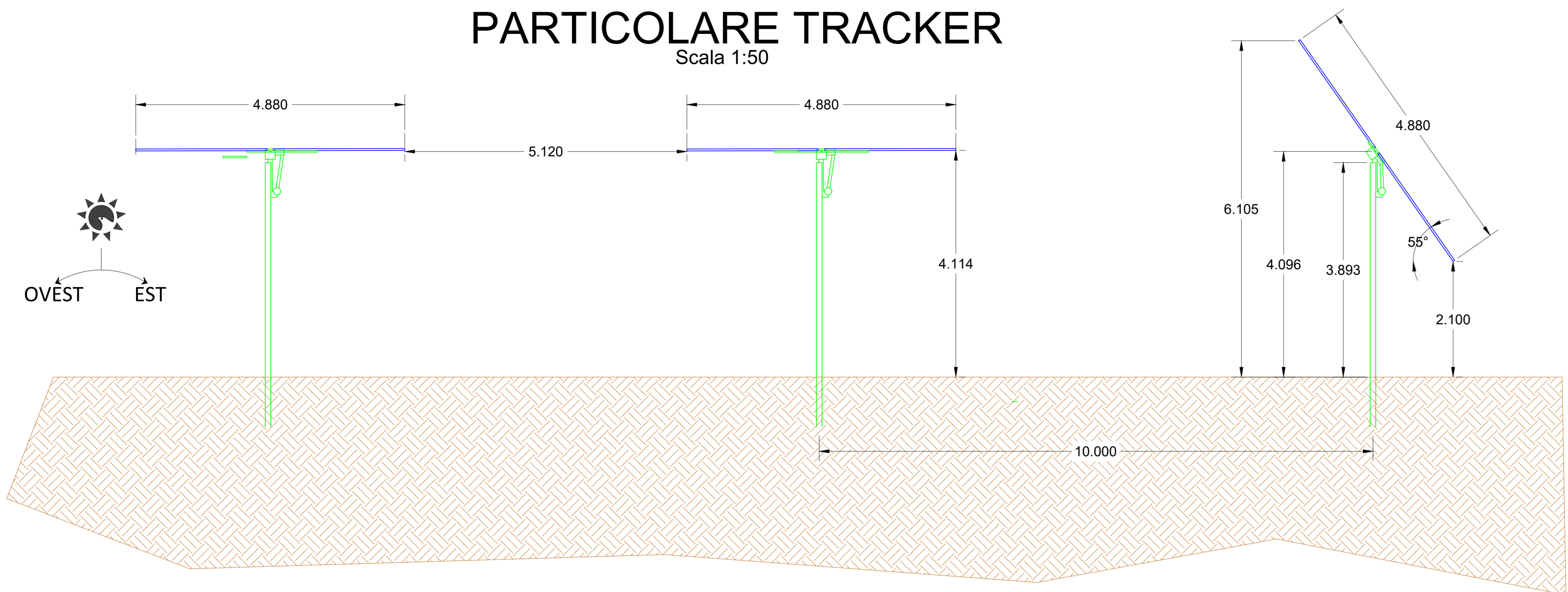
In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Luogo e data

Il progettista
()

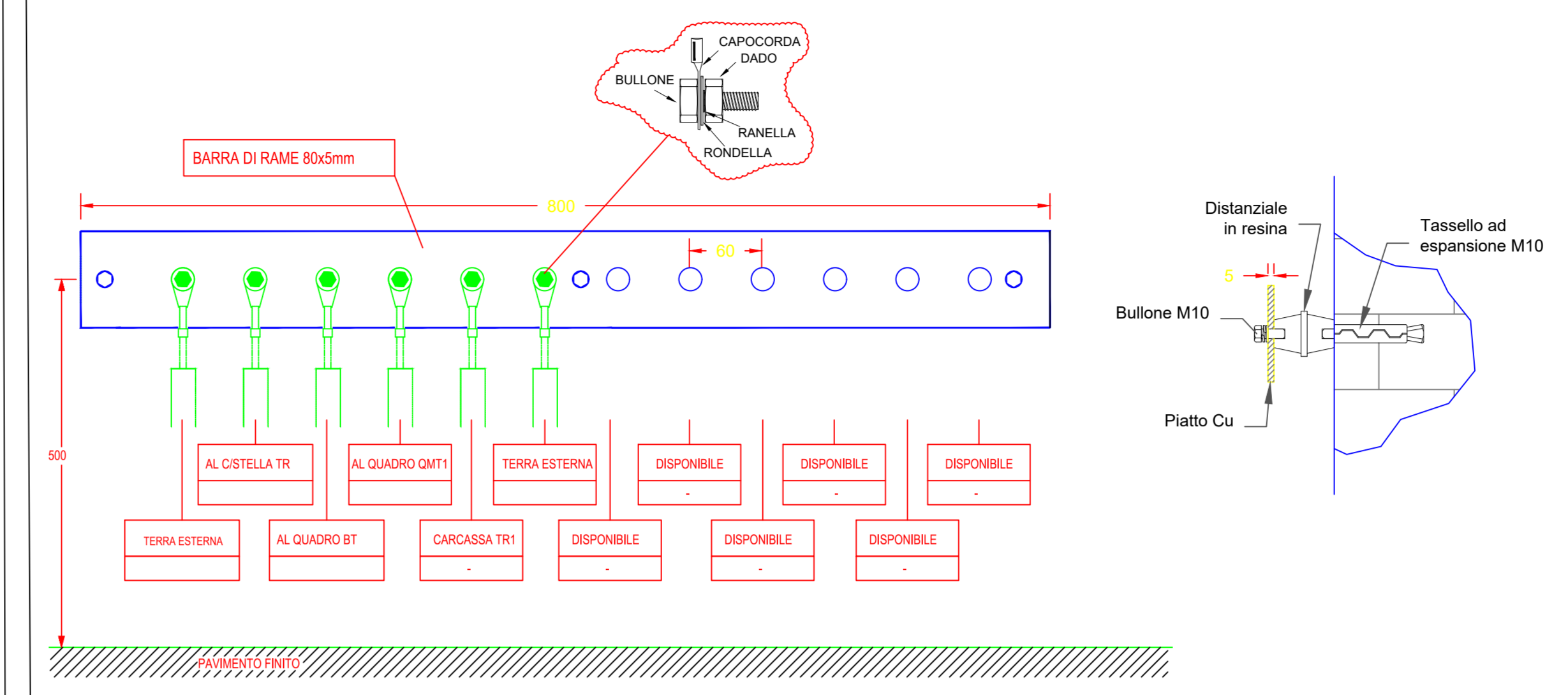
PARTICOLARE TRACKER

Scala 1:50



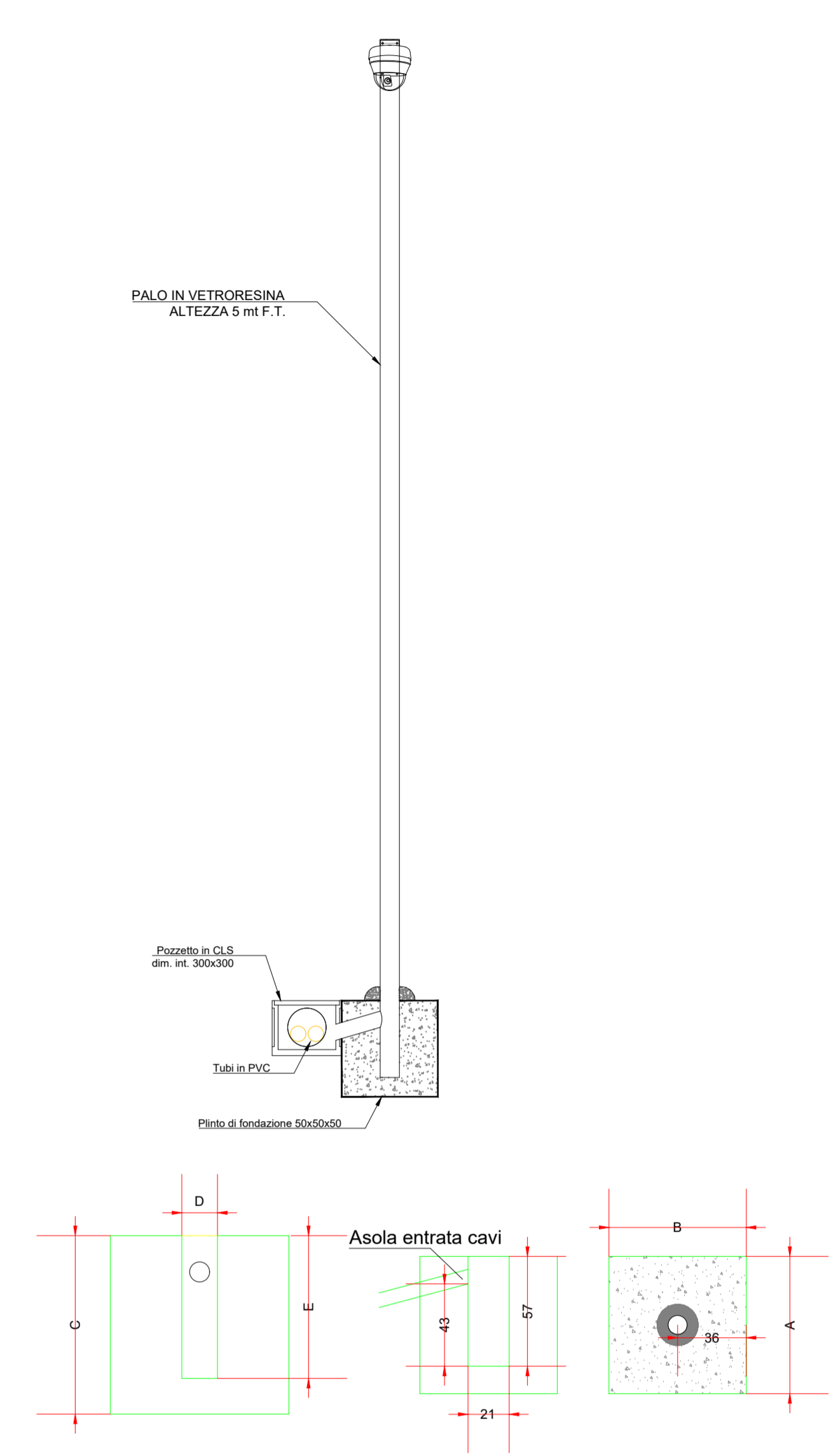
PARTICOLARI IMPIANTO DI TERRA

Scala 1:25



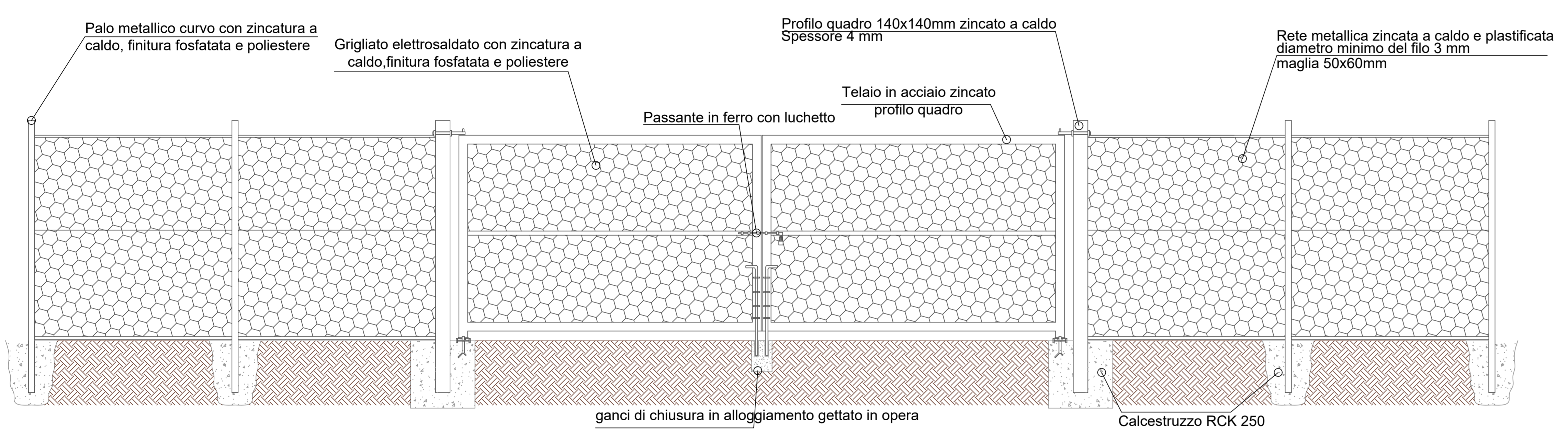
PARTICOLARE PALO TVCC

Scala 1:25

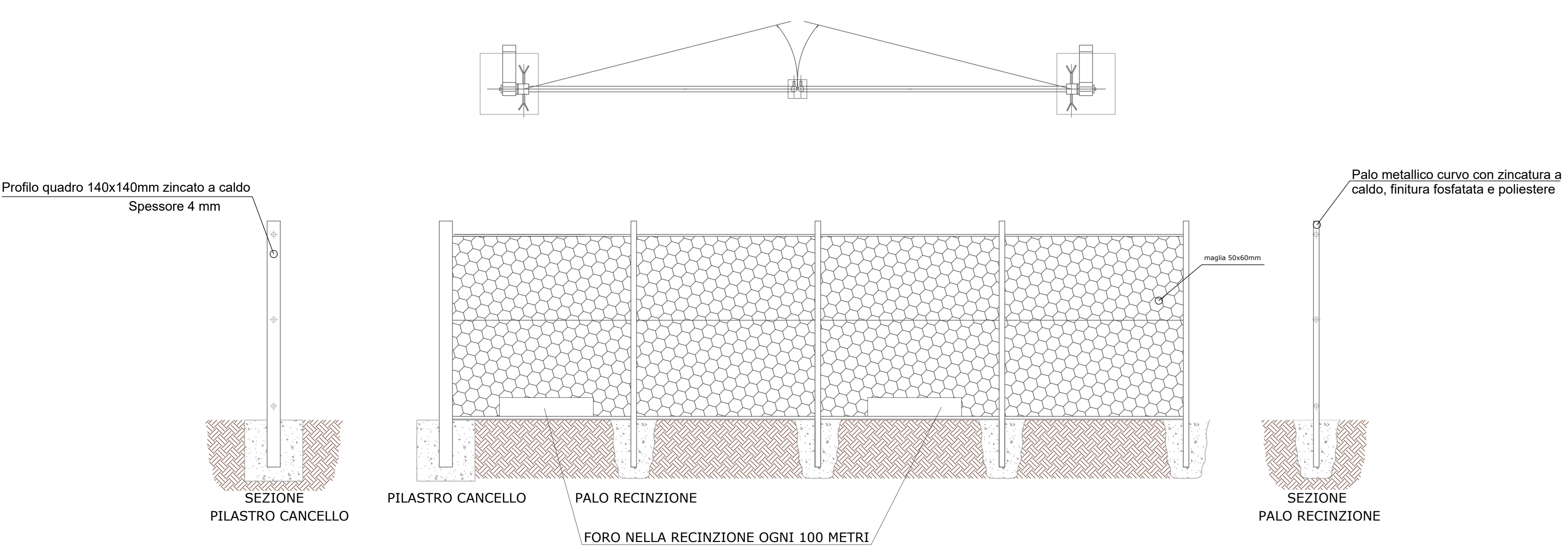


PARTICOLARI RECINZIONE E CANCELLO

Scala 1:25

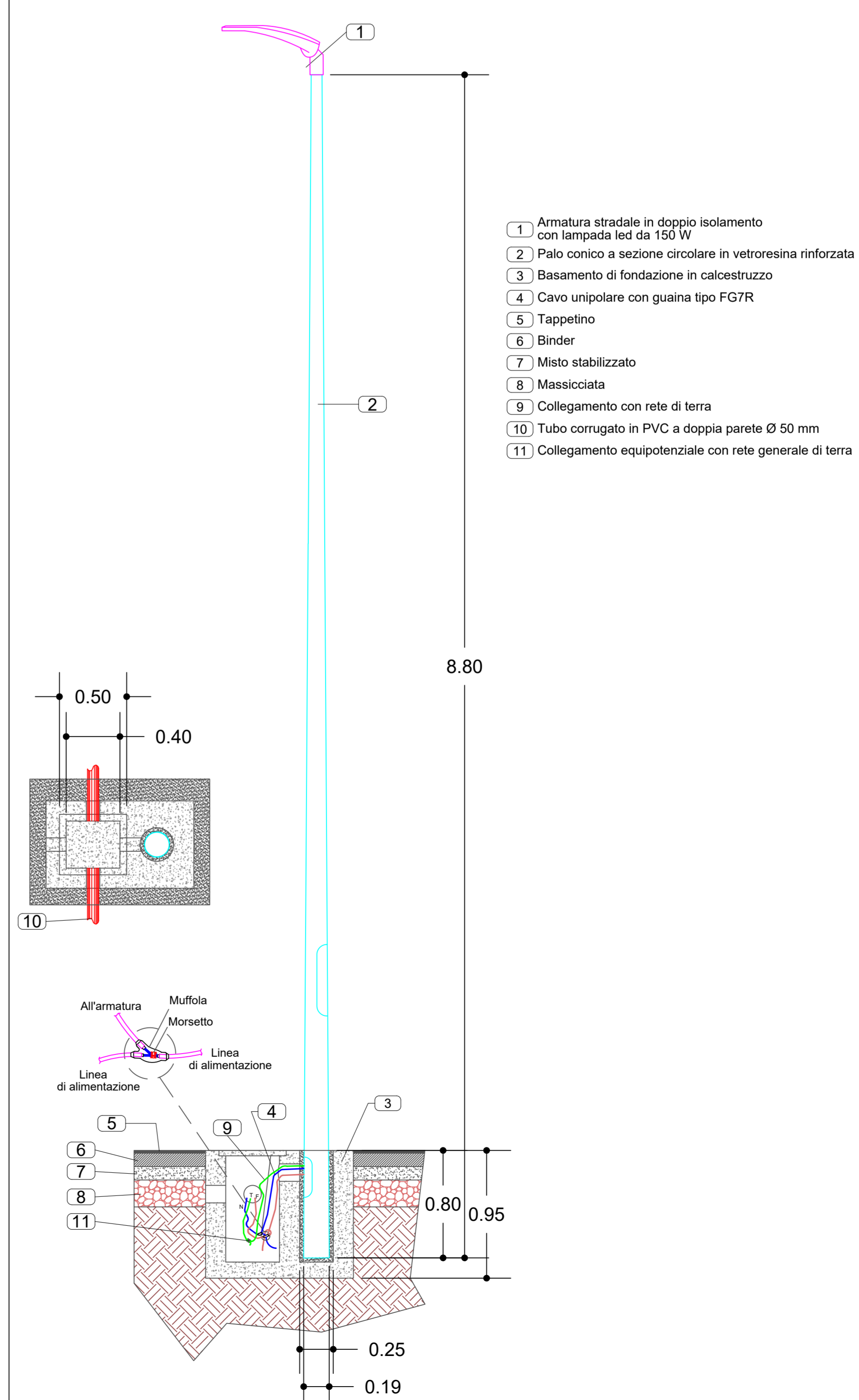


VISTA DALL'ALTO DEL CANCELLO



PARTICOLARI ILLUMINAZIONE ESTERNA

Scala 1:25



Dimensioni blocco Sostegno					Volume mc	
A mm	B mm	C mm	D mm	E mm	Netto	Vuoto per pieno
500	500	500	150	400	-	0,125

N.B.: Nel blocco di fondazione deve essere realizzato il vano di accesso per la montante, in funzione della posizione dell'asola realizzata sul palo utilizzato.

Siel Agrisolare S.r.l.
 PROPONENTE: Siel Agrisolare S.r.l. - Corso Giacomo Matteotti, 20121 Milano - sielagrisolare@pec.it - PIVA 12000420963
REGIONE SICILIA
AREA METROPOLITANA DI CATANIA
COMUNE DI CALTAGIRONE

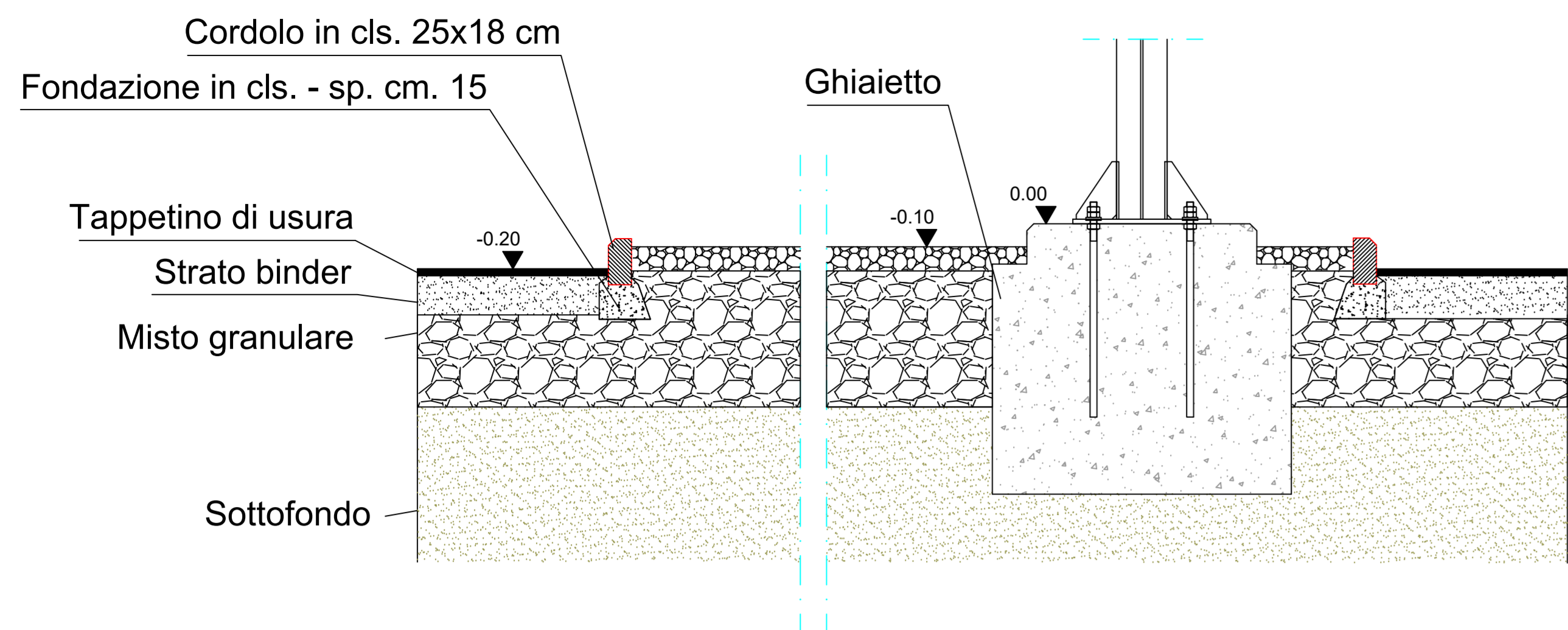
Oggetto: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO CON POTENZA DI PICCO PARI A 222,26 MWp E POTENZA DI IMMISSIONE 195 MW, UBICATO NEL COMUNE DI CALTAGIRONE (CT) IN CONTRADA PIETRANERA E OPERE CONNESSE RICADENTI NEI COMUNI DI LICODIA EUBEA (CT) E CHIARAMONTE GULFI (RG)

ELABORATO: Particolari costruttivi

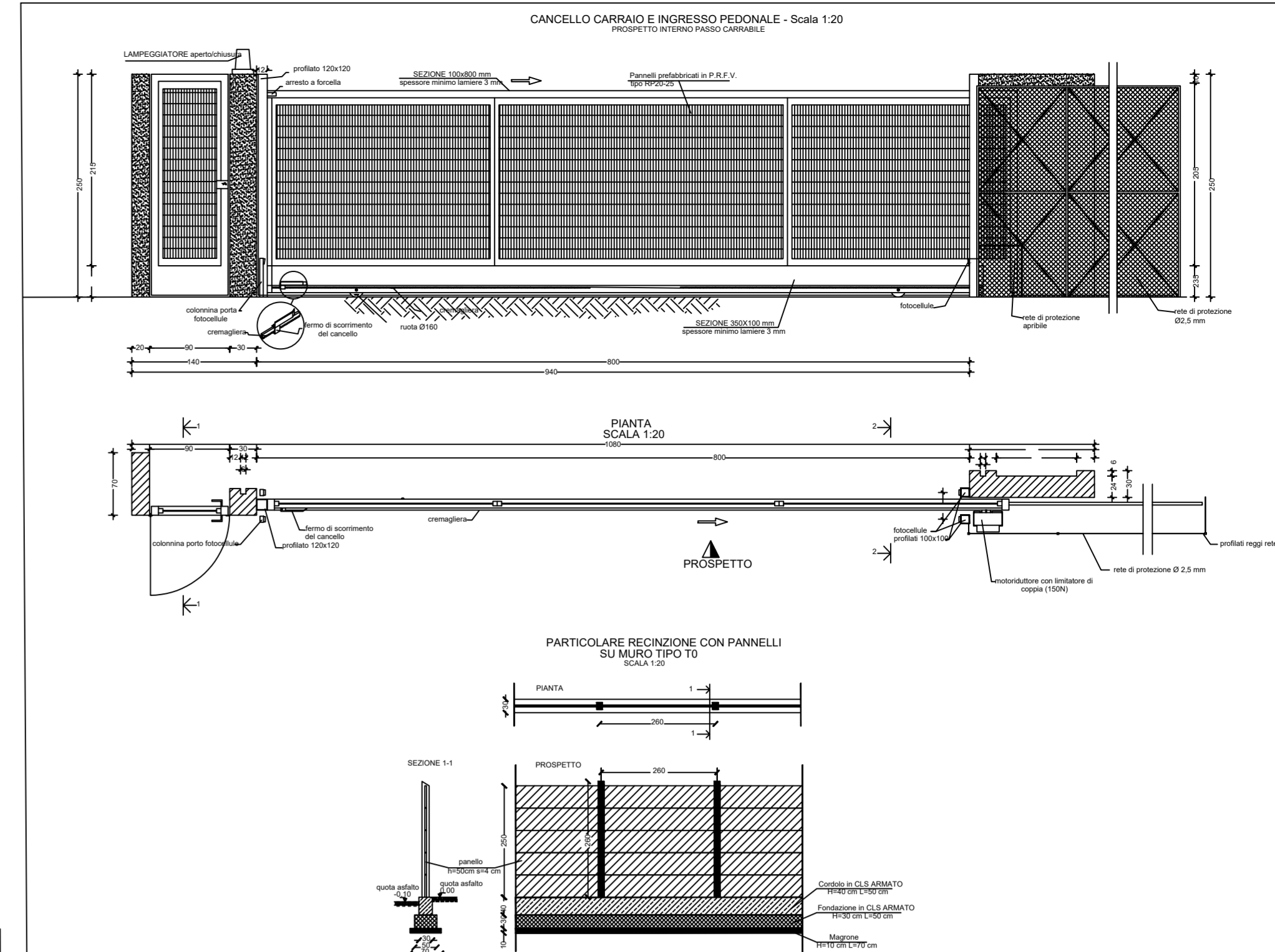
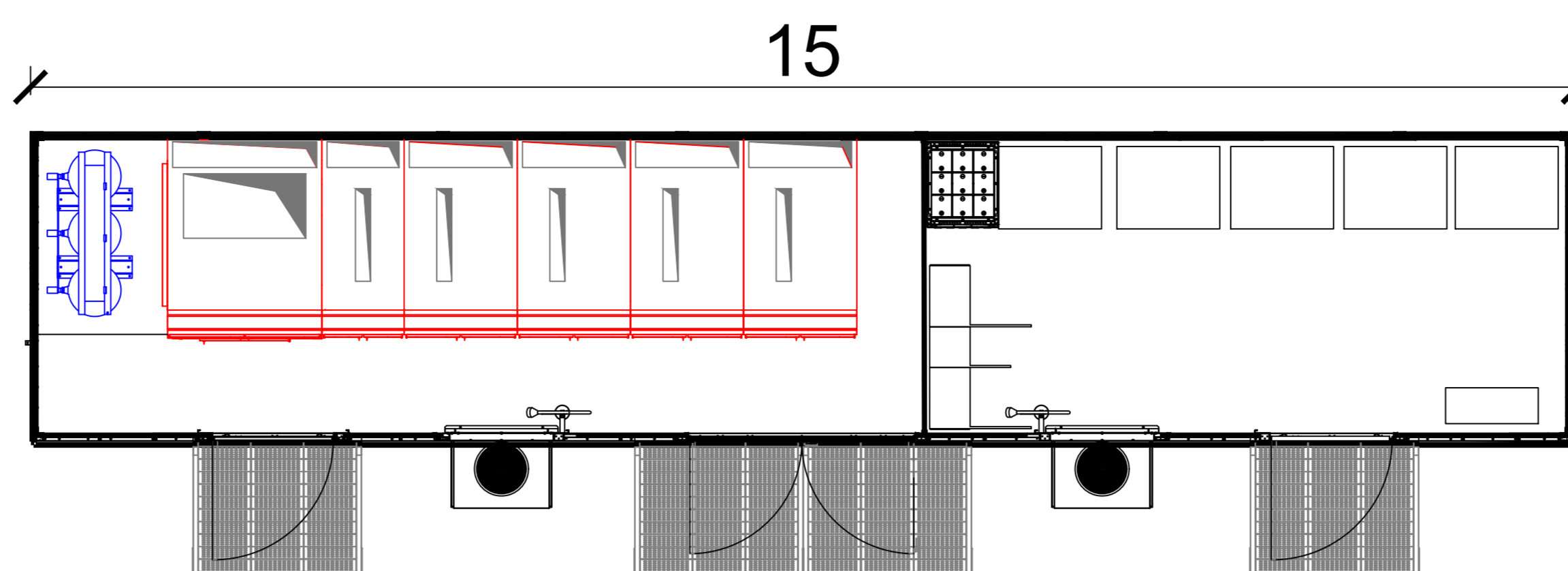
ELABORATO: AVCALT-T017	Elaborato da: Ing. Vincenzo Oliveto	COORDINATORE SIA: Ing. Salvatore Mele	IL PROGETTISTA: Arch. Antonio Manco
SCALA: Varie			
DATA: Giugno 2022			

Prot. int. n°: 0108 Rev.: 1 Mod.: 0
 Pratica: Caltagirone Archivio File:

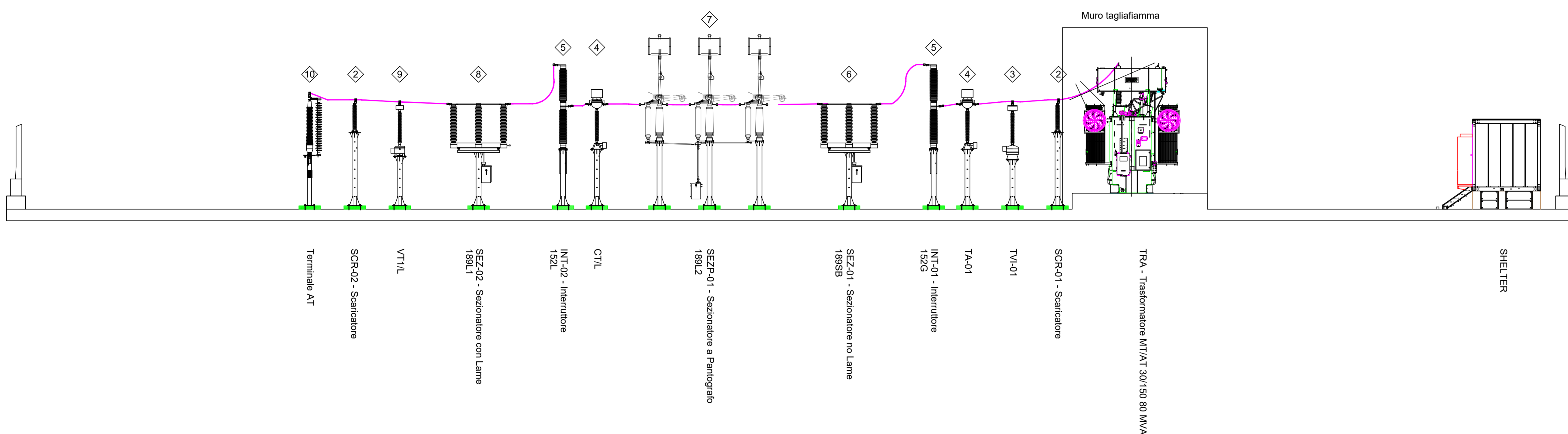
Sezione pavimentazione- Scala 1:20



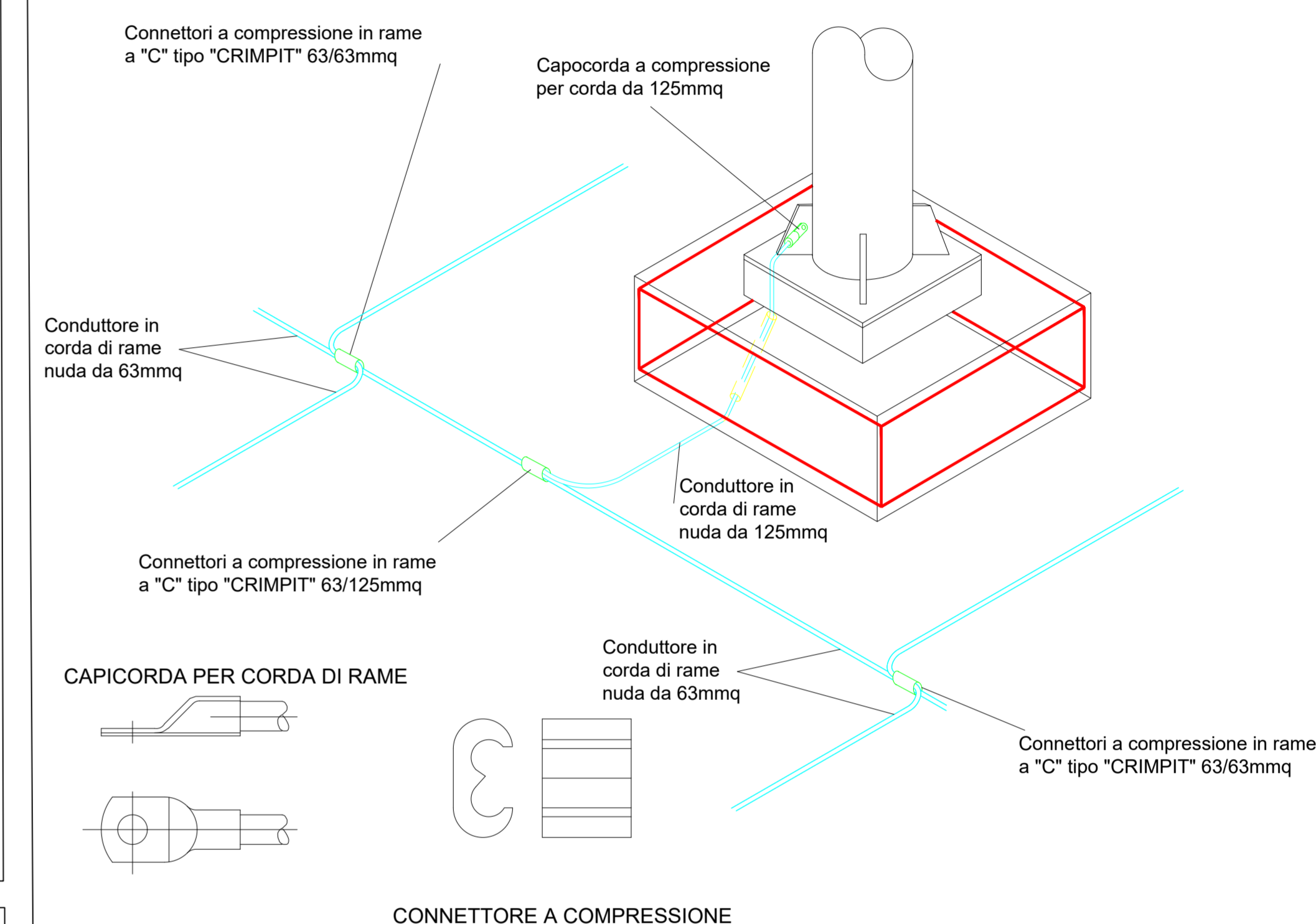
Pianta Shelter - Scala 1:50



Sezione AA

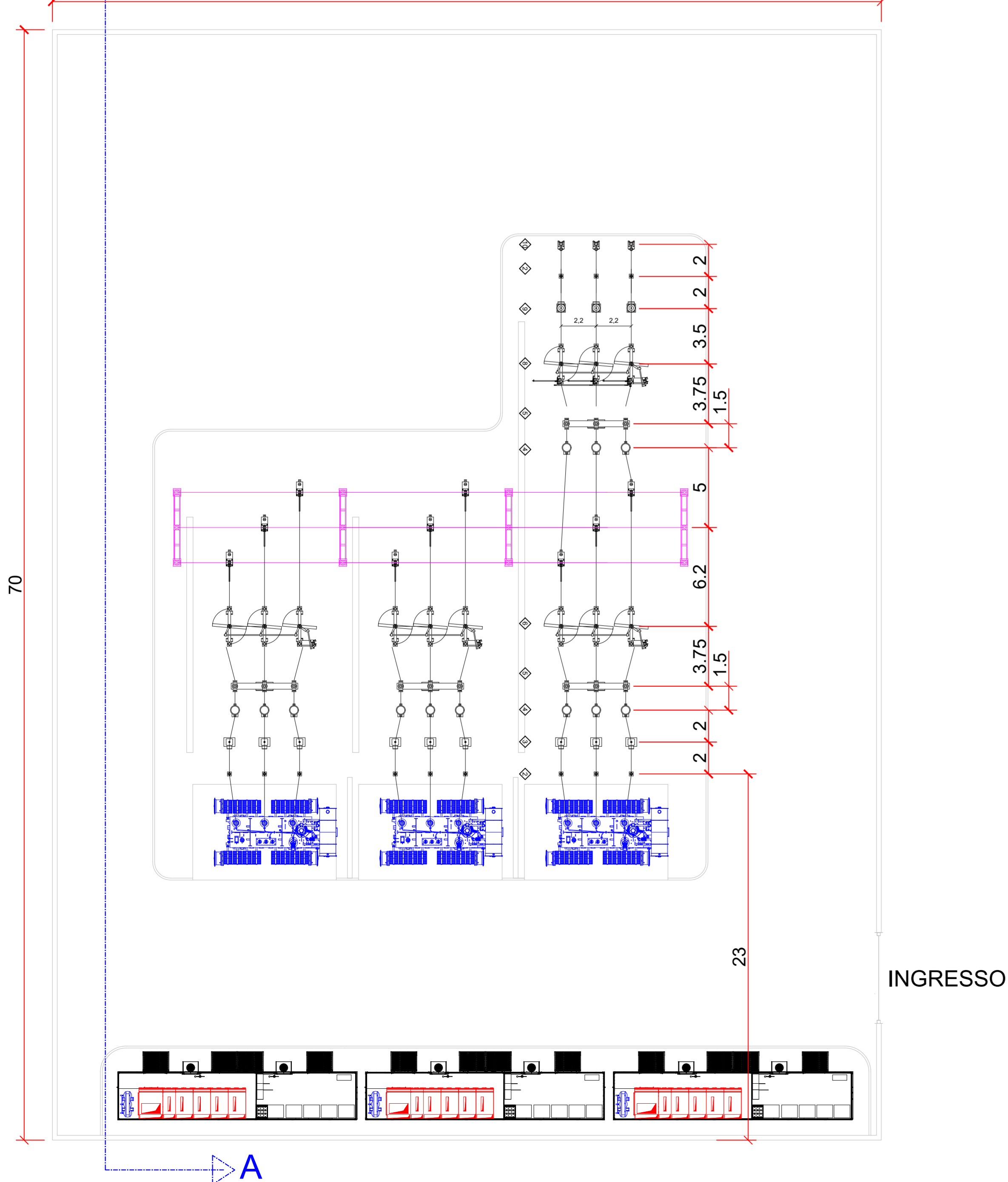


Esempio tipico di collegamento delle apparecchiature alla maglia di terra Scala 1:50

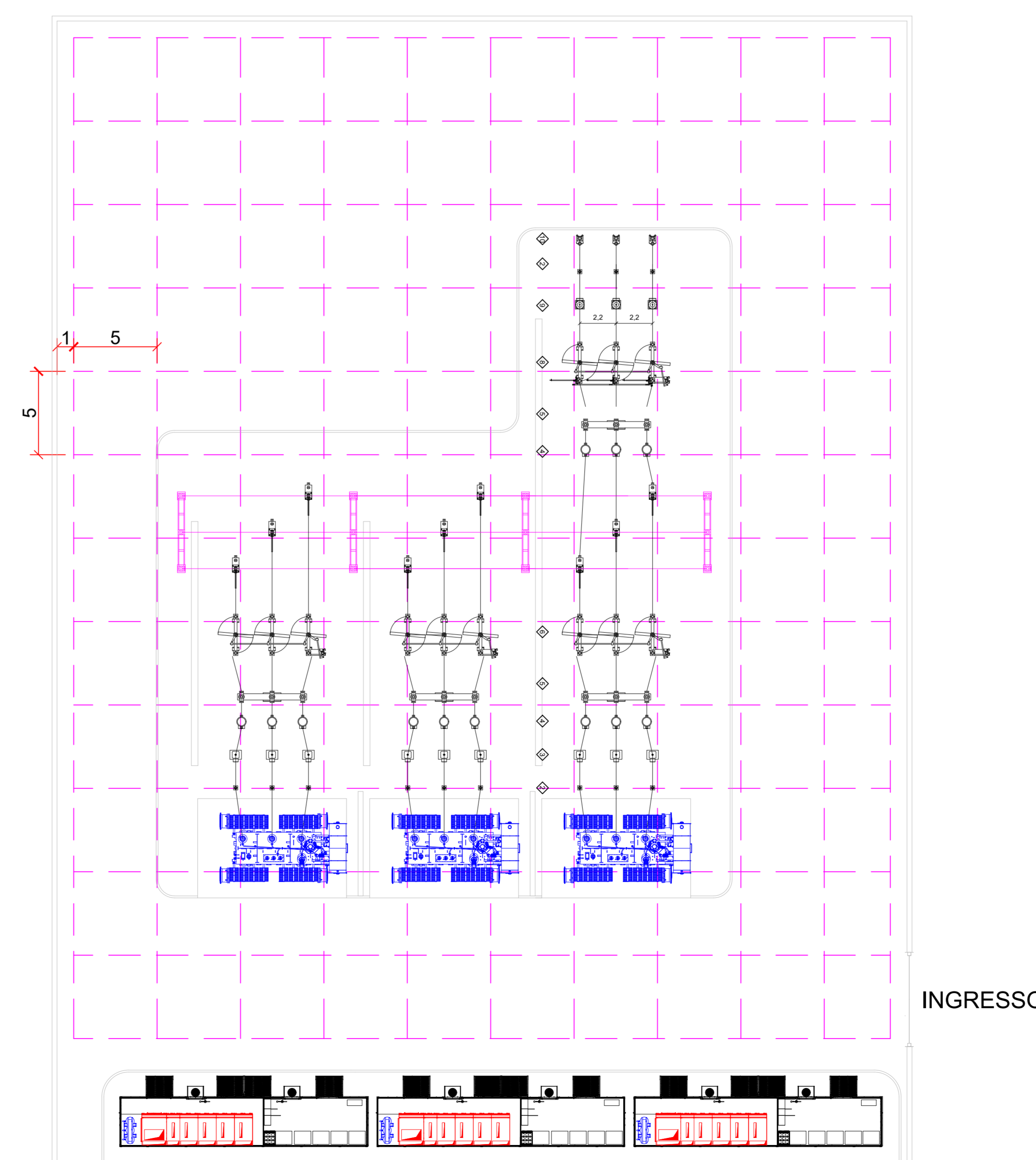


LEGENDA	
Simbolo	Descrizione
	Condotore in corda di rame nuda interrato a quota 0,7m rispetto al piano di calpestio. La corda di rame della rete di terra deve essere posata a 0,70 m dal piano di calpestio. Le armature in ferro dei basamenti e dei fabbricati, le tubazioni dell'impianto idrico devono essere collegate alla rete di terra. operazioni per la posa in opera del conduttore orizzontale 1) scavo di almeno 0,50 m. di profondità dal piano calpestio 2) stendimento di un primo strato di 20 cm di terra vegetale 3) posa conduttore 4) stendimento di un secondo strato di 20 cm di terra vegetale 5) le compressioni al morsetto bifilare devono corrispondere a quanto indicato sul retro dello stesso (normalmente tre compressioni)

Pianta elettromeccanica SE Utente



Pianta rete di terra SE Utente



Siel Agrisolare S.r.l.

PROPRONTE: - Corso Giacomo Matteotti, 20121 Milano - sielagricolare@pec.it - PIVA 12000420963

REGIONE SICILIA
AREA METROPOLITANA DI CATANIA
COMUNE DI CALTAGIRONE

Oggetto: **PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO CON POTENZA DI PICCO PARI A 222,26 MWp E POTENZA DI IMMISSIONE 195 MW. UBICATO NEL COMUNE DI CALTAGIRONE (CT) IN CONTRADA PIETRANERA E OPERE CONNESSE RICADENTI NEI COMUNI DI LICODIA EUBEA (CT) E CHIARAMONTE GULFI (RG)**

ELABORATO: Disegni architettonici e sezioni Stazione Utente

PROGETTAZIONE: **i-PROJECT S.R.L.**

ELABORATO: **AVCALT-T014**
Elaborato da: Ing. Vincenzo Oliveto
COORDINATORE SIA: Ing. Salvatore Mele
IL PROGETTISTA: Arch. Antonio Manco

SCALA: 1:100 - 1:200
DATA: Giugno 2022

Prot. int. n°: 0108
Rev.: 1
Mod.: 0
PUBBLICAZIONE: Caltagirone
Archivio File:



Consulenza, Progettazione e Sviluppo Impianti ed Energia Rinnovabile
Sede Legale: Via Dei Vecchi Palermitani, 9 - 20121 Milano (MI) - P.IVA 11092570963 PEC: info@i-project.it
Sede Operativa: Via Bacigalupo n° 17 - 84044 Avella (SA) - mail@i-project.com - Cell. 3384117245