COMUNE DI CARRARA
PROVINCIA DI MASSA E CARRARA

PERMESSO DI COSTRUIRE

(Art. 134, comma 1, lettera (e) L.R. 65/ 2014)

ADEGUAMENTO DELL'AREA PRODUTTIVA DI AVENZA - AREA YARD

PROPRIETA'

BAKER HUGHES a GE company

Società Nuovo Pignone Srl

PROGETTISTI

GPA PARTNERS
ARCHITECTURE
ENGINEERING
PROJECT MANAGEMENT
CONSULTING

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE PER LA QUALITA' CERTIFICATO DA DNV
=UNI EN ISO 9001:2008 =

Sede Legale e Amministrativa: Via G. da S. Giovanni , 87 - 52027 S. Giovanni V.no (AR) - T. 055. 9139124 F. 055. 9110878 pec: info@pec.gpapartners.com
Sede Operativa: Via LeoneX, 3 - 50129 Firenze - T. 055.468291 F. 055.46829215 e-mail info@gpapartners.it
www.gpapartners.com

Progettista responsabile:
Prof. Ing. Paolo Spinelli

Direttore Tecnico
Ing. Massimiliano Cecconi

Gruppo di lavoro:
Ing. Massimo Bartoli (Xenia S.r.l.)
Ing. Paolo Bonacorsi (M&E Srl)
Ing. Giulio Camiciottoli
Ing. Marco Angeloni
Geol. Matteo Capelli (Ramboll Italy S.r.l.)
Ing. Gianluca Balloni (GPA S.r.l.)
Arch. Monica Pierantoni (GPA S.r.l)

REV.	DATA	ESEGUITO	CONTROLLATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
00	luglio 2019		MC	PS	EMISSIONE

commessa n. C18227NP

FORMATO A4

OGGETTO

SCALA

PROGETTO STRUTTURE:

RELAZIONE DI CALCOLO

COD.ELABORATO: ST01

NOME FILE: C18227NP_D_ST01_rev0

SOMMARIO

1 OGGETTO DELL'INTERVENTO 4

2 ELENCO FABBRICATI 5

3 NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO 6

4 UNITA' DI MISURA 6

5 MATERIALI 7

5.1 CALCESTRUZZO ORDINARIO PER FONDAZIONI SUPERFICIALI ESISTENTI 7
5.2 CALCESTRUZZO ORDINARIO PER NUOVE FONDAZIONI SUPERFICIALI 7
5.3 CALCESTRUZZO AUTOCOMPATTANTE PER PALI DI FONDAZIONE 7
5.4 CALCESTRUZZO ORDINARIO PER PULVINI IN ELEVAZIONE 8
5.5 MALTA ESPANSIVA DI INGHISAGGIO 8
5.6 ACCIAIO DA C.A. 8
5.7 ACCIAIO PER PIASTRE PER DISPOSITIVI DI ANCORAGGIO E APPOGGIO 8

6 ANALISI DEI CARICHI 10

6.1 CARICHI DI ESERICIZIO 11
6.2 AZIONE DEL VENTO 11

7 COMBINAZIONI DI CARICO 12

8 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SUOLO 16

8.1 FONDAZIONI SUPERFICIALI 17
8.1.1 Capacità portante fondazioni dirette 17
8.2 FONDAZIONI PROFONDE 19
8.2.1 Capacità portante di un palo di fondazione L = 18,00 m per carichi verticali 19
8.2.2 Capacità portante di un palo di fondazione L = 15,00 m per carichi verticali 21
8.2.3 Capacità portante di un palo di fondazione per carichi orizzontali – Pali platee platee A,B,D,E: L = 18,00 m 23
8.2.4 Capacità portante di un palo di fondazione per carichi orizzontali – Pali platee Camini Exhaust platee A,B,D,E: L = 15,00 m 26

9 RIGIDEZZE STATICHE DI UN PALO DI FONDAZIONE ISOLATO 29

9.1 RIGIDEZZA ALLA TRASLAZIONE VERTICALE DI UN PALO ISOLATO 30
9.2 RIGIDEZZA ALLA TRASLAZIONE ORIZZONTALE DI UN PALO ISOLATO 30

10 RIGIDEZZE STATICHE DEI PALI DI FONDAZIONE IN GRUPPO 30

10.1 RIGIDEZZA ALLA TRASLAZIONE VERTICALE DEI PALI IN GRUPPO: 30
10.2 RIGIDEZZA ALLA TRASLAZIONE ORIZZONTALE DEI PALI IN GRUPPO: 33

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

11 MODELLO FEM 34

12 OPERE DI FONDAZIONE PLATEE PROVA TIPO A, B, D, E 37

12.1 FULL SPEED NO LOAD - PLATEE PLATEE A, D, E: 54,00 M X 25,80 M 38

12.1.1 STATO DI FATTO - VERIFICHE 38

12.1.2 STATO DI PROGETTO - VERIFICHE 42

12.2 FULL SPEED FULL LOAD - PLATEA DI ASSEMBLAGGIO B: 62,00 M X 25,80 M 53

12.2.1 STATO DI FATTO - VERIFICHE 53

12.2.2 STATO DI PROGETTO - VERIFICHE 57

13 OPERE DI FONDAZIONE CAMINI E SHELTERS TIPO A, B, D, E 68

1.1.1 Verifica di capacità portante pali 70

1.1.1 Verifiche di resistenza 72

14 OPERA DI FONDAZIONE SCAMBIATORI ACQUA PLATEA DI ASSEMBLAGGIO E 75

15 GAS LOOP 79

15.1 VERIFICA DI RESISTENZA 81

15.2 VERIFICA A PUNZONAMENTO 82

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

A3 - RELAZIONE TECNICA GENERALE

1 OGGETTO DELL'INTERVENTO

La presente relazione riferisce alla ristrutturazione delle platee di fondazione presenti nell'area YARD dello Stabilimento BHGE di Avenza, su cui saranno assemblati e testati i n.4 moduli SHELTER relativi alla commessa LNG Shell Canada. Inoltre verranno realizzate ulteriori strutture di fondazione relative ai Camini Exhaust, Bleed, Scambiatori d'acqua ed alla quota parte di Gas Loop ricadente in area Yard.

Le platee di assemblaggio esistenti A, D ed E hanno dimensione in pianta 54x25.8m mentre la platea B ha dimensioni 62x25,8 m. Tutte le platee, le quali sono disposte a raggiera, presentano spessore pari ad 1m e sono realizzate su pali di fondazione di lunghezza 18m ad eccezione dell'estensione della platea B di dimensioni 8,00 mx25,80 m.

Il presente progetto di adeguamento statico riguarda la realizzazione dei seguenti interventi:

- demolizione delle sovrastrutture e delle platee in c.a. dele platee A, B, D ed E;
- integrazione di nuovi pali trivellati di diametro 80cm di lunghezza 18m per le platee e 15m per i camini;
- realizzazione delle nuove platee di assemblaggio aventi spessore pari a 1,2m;
- inserimenti delle platee Camino e Bleed per tutti le platee in oggetto;
- inserimento di tre platee Torri Scale non giuntate rispetto alla platea B;
- Inserimento della platea Scambiatori d'acqua giuntata rispetto alla platea E;
- Inserimento di una nuova platea di fondazione superficiale per Gas Loop su cui verranno installati gli impianti meccanici del nuovo impianto;
- realizzazione di strutture in elevazione in c.a. a supporto dei moduli (sistema AGF "Above Ground Foundation") di altezza fuori terra pari a 2m per le platee A, D, E, mentre pari a 4,7m per la platea B.

Le dimensioni finali dele platee resteranno pari a 54,00x25,80 m per le platee A, D, E e 62,00x25,80 m per la platea B.

La prova dinamica "string test" verrà eseguito su tutti i moduli. In particolare sule platee A, D, E (AGF=2m) la prova sarà del tipo *"Full Speed No Load"*, mentre sulla platea B sarà del tipo *"Full Speed Full Load"* (AGF=4,7m).

Le platee saranno verificate **in condizioni statiche** sia con AGF pari a 2m che 4,7m. Infatti la condizione statica dei moduli risulta dimensionante rispetto a quella dinamica.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Data la provvisorietà dei moduli SHELTER nel sito di Avenza, non sono state condotte verifiche in condizioni sismiche né delle fondazioni né dei pulvini. Secondo la Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. del 17/01/2018 sarà necessario procedere a tali verifiche solo se la permanenza di tali sovrastrutture metalliche supera i 2 anni di tempo.

2 ELENCO FABBRICATI

Nella presente relazione vengono condotte le verifiche delle fondazioni dei seguenti fabbricati:

n. codice riferimento	Descrizione fabbricato	Tipologia fondazione	Riferimento tavole
1	GAS LOOP	Platea	ST-14
2	PLATEE PROVA e CAMINI E SHELTERS TIPO A, B, D, E	Platee su pali	ST-04; ST-06; ST-07; ST-08; ST-09; ST-10; ST-11; ST-12; ST-13
3	PLATEA SCAMBIATORI ACQUE PLATEA DI ASSEMBLAGGIO E	Platea	ST-08

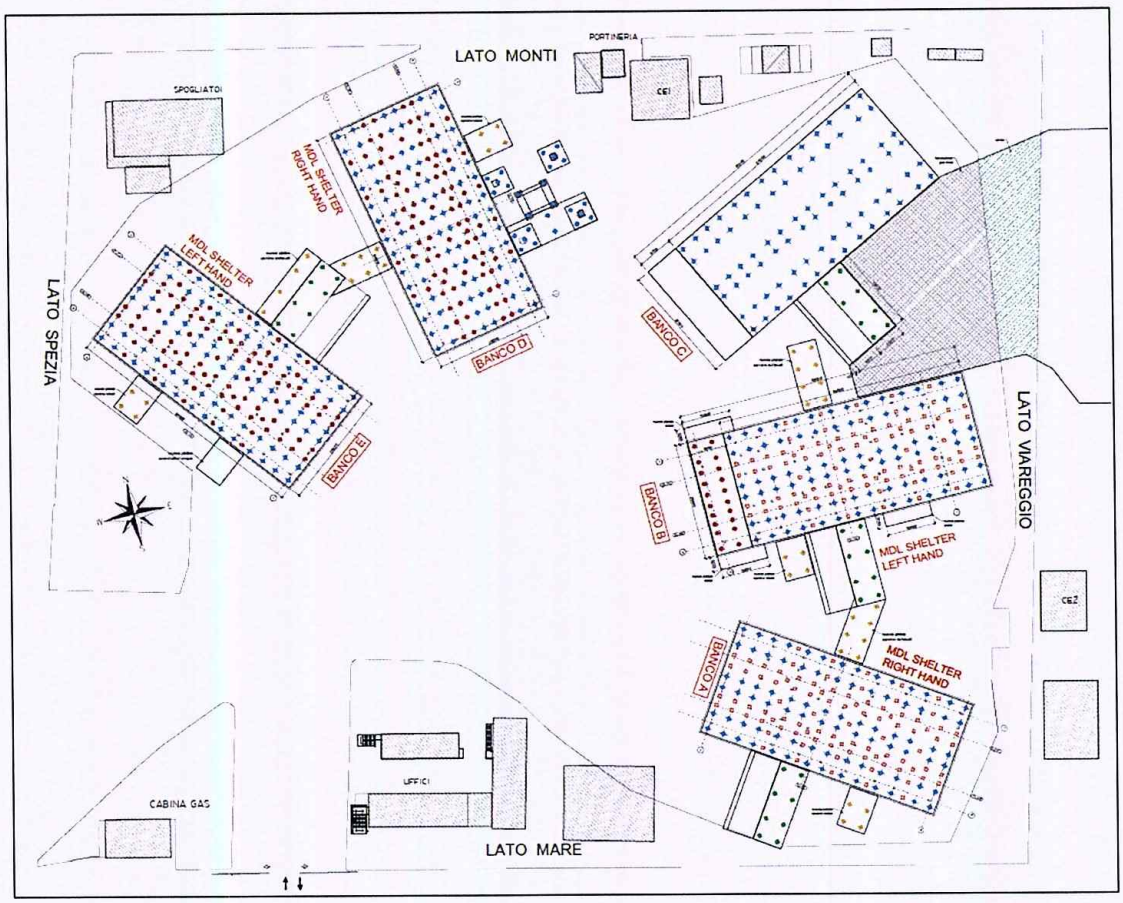


Figura 1: Inquadramento dell'area oggetto degli interventi, stato di progetto

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company. the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Le dimensioni delle carpenterie ed i dettagli delle singole fondazioni sono rimandate ai rispettivi capitoli ed alle tavole di progetto allegate alla presente relazione.

3 NORMATIVE E SPECIFICHE DI RIFERIMENTO

La progettazione dovrà risultare in accordo con le seguenti normative e specifiche:

Normative di riferimento:

- D.M. 17.01.2018 "Norme tecniche per le costruzioni" (NTC 2018);
- In attesa della Nuova Circolare Esplicativa, rimane vigente: Circolare n. 617/C.S.LL.PP. del 02.02.2009 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008 (NTC 2008);
- EN 1992-1-1 – EUROCODICE 2 "Progettazione di strutture di calcestruzzo".

Documenti di riferimento:

- Relazione Geologica-Geotecnica Geol. Gianni Focardi Gennaio 2013;
- Relazione sulle Prospezioni sismiche Down Hole in Onde P ed SH presso lo Stabilimento Pignone spa Avenza IGEA s.a.s. 16/02/2011;
- Fine lavori (Ing. Massimiliano Cecconi) e Collaudo statico (Ing. Giovanni Cardinale) delle platee Gorgon di area Yard Avenza. Pratica depositata al Genio Civile del progetto n.348 dell'08/07/2010 "Nuova cabina elettrica e platee per moduli test macchine, Avenza". Completo dei certificati di prova originali dei materiali e allegato alla presente relazione.
- "Structural Design Premises" - SOK0938171_001_A_001 - "Compressor Package Modularization Study" fornito da BHGE;
- "Module Foundation Loads Data" - SOK2311293 - "Compressor Package Modularization Study" fornito da BHGE;
- "Above Ground Foundation" - SOK2311279-002 - "Compressor Package Modularization Study" fornito da BHGE;
- Modello FEM della struttura in elevazione del Modulo PAU e SHELTER.

4 UNITA' DI MISURA

Nella progettazione è stato eseguito il sistema internazionale SI:

- Lunghezze [m,cm,mm]
- Area [m2;mm2]
- Massa [ton; kg]
- Forze concentrate [N;kN]
- Carichi distribuiti [kN/m]
- Pressioni sulle superfici [kN/m2]

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

- Peso specifico [kN/m3]
- Tensioni [N/mm2]

A4 - RELAZIONE SUI MATERIALI

5 MATERIALI

I materiali utilizzati per le strutture in c.a. gettate in opera sono:

5.1 Calcestruzzo ordinario per fondazioni superficiali esistenti

-	Classe	**C28/35**
-	Densità	**ρ = 25 kN/m³**
-	Classe di esposizione	XC2
-	Classe di consistenza	S5
-	Copriferro	**55 mm**
-	Massimo rapporto	a/c = 0,5
-	Fattore di sicurezza parziale	**γc = 1.5**

5.2 Calcestruzzo ordinario per nuove fondazioni superficiali

-	Classe	**C35/45**
-	Densità	**ρ = 25 kN/m³**
-	Classe di esposizione	XS1
-	Classe di consistenza	S5
-	Copriferro	**55 mm**
-	Modulo elastico	**E = 34.077 N/mm²**
-	Massimo rapporto	a/c = 0,5
-	Minimo contenuto di cemento	340 kg/mc
-	Dmax aggregato	20 mm
-	Fattore di sicurezza parziale	**γc = 1.5**
-	Coeff. Riduttivo per le resistenze di lunga durata	**αcc= 0.85**

5.3 Calcestruzzo autocompattante per pali di fondazione

-	Classe	**C35/45**
-	Densità	**ρ = 25 kN/ m³**
-	Classe di esposizione	XS2
-	Classe di spandimento	SF1
-	Copriferro	**70 mm**
-	Modulo elastico	**E = 34.077 N/mm²**
-	Massimo rapporto	a/c = 0,45
-	Minimo contenuto di cemento	360 kg/mc
-	Dmax aggregato	20 mm

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

- Fattore di sicurezza parziale **$\gamma c = 1.5$**
- Coeff. Riduttivo per le resistenze di lunga durata **$\alpha cc = 0.85$**

5.4 Calcestruzzo ordinario per pulvini in elevazione

- Classe **C35/45**
- Densità **$\rho = 25$ kN/ m^3**
- Classe di esposizione XS3
- Classe di consistenza S5
- Copriferro **55 mm**
- Modulo elastico **E = 34.077 N/mm^2**
- Massimo rapporto a/c = 0,45
- Minimo contenuto di cemento 360 kg/mc
- Dmax aggregato 20 mm
- Fattore di sicurezza parziale **$\gamma c = 1.5$**
- Coeff. Riduttivo per le resistenze di lunga durata **$\alpha cc = 0.85$**

5.5 Malta espansiva di inghisaggio

- Classe **C45/55**
- Fattore di sicurezza parziale **$\gamma c = 1.5$**
- Coeff. Riduttivo per le resistenze di lunga durata **$\alpha cc = 0.85$**

5.6 Acciaio da c.a.

- Classe di resistenza **B450 C**
- Resistenza caratteristica **$f_{yk} = 450$ N/mm^2**
- Modulo elastico **E = 210.000 N/mm^2**
- Modulo di elasticità trasversale G = 80769,23 N/mm^2
- Coefficiente di Poisson $\nu = 0,3$
- densità $\rho = 78,5$ kN/m^3
- Fattore di sicurezza parziale **$\gamma s = 1.15$**
- Coeff. riduttivo di resistenza per la sezione filettata **$\gamma f = 0.9$**

5.7 Acciaio per piastre per dispositivi di ancoraggio e appoggio

- Classe di resistenza **S355 JR**
- Resistenza caratteristica **$f_{yk} = 355$ N/mm^2**
- Modulo elastico **E = 210.000 N/mm^2**
- Tensione di rottura **$f_{tk} = 510$ N/mm^2**
- Fattore di sicurezza parziale **$\gamma_{M0} = 1.05$**

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

La classi di calcestruzzo adottate per la progettazione delle fondazioni, superficiali e profonde, e delle strutture in c.a. in elevazione sono state assunte in accordo alle prescrizioni minime dettate dalla UNI 11104:2004, UNI EN 206-1:2006 e Eurocodice 2 relativamente alla classe di esposizione delle strutture:

Norma UNI 11104:2004, UNI EN 206-1:2006 e Eurocodice 2			
ELEMENTO	**CONDIZIONE AMBIENTALE**	**DESCRIZIONE AMBIENTALE**	**CLASSE DI ESPOSIZIONE**
Magrone di fondazione	Ordinaria: Assenza di rischio di corrosione o attacco	Calcestruzzo privo di armatura	**X0**
Fondazioni superficiali (plinti, travi e platee)	Aggressiva: Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	C.A. Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare	**XS1**
Pali	Molto Aggressiva: Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	C.A. Permanentemente sommerso	**XS2**
Pulvini in elevazione	Molto Aggressiva: Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare	C.A. Zone esposte agli spruzzi o alle maree	**XS3**

Norma UNI 11104:2004, UNI EN 206-1:2006 e Eurocodice 2						
ELEMENTO	**CLASSE DI RESISTENZA**	**Copriferro minimo (VN=50 anni) [mm]**	**CLASSE DI CONSISTENZA**	**Massimo rapporto acqua cemento**	**Minimo contenuto in cemento (kg/mc)**	**Dmax aggregato [mm]**
Magrone di fondazione	**C12/15**	**-**	S4	-	-	32
Fondazioni superficiali (plinti, travi e platee)	**C32/40**	**45**	S5	0,5	340	32
Pali	**C35/45**	**50**	S5	0,45	360	32
Pulvini in elevazione	**C35/45**	**55**	S5	0,45	360	32

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

6 ANALISI DEI CARICHI

Le condizioni di carico considerate per la verifica del modulo "*shelter*" sono elencate nella seguente tabella. Nella prima colonna è riportata la denominazione utilizzata nei documenti di progetto, mentre nella seconda colonna è riportata la denominazione utilizzata nel modello di calcolo agli elementi finiti.

Trattandosi di una struttura provvisoria, non vengono considerati né il carico della neve in copertura né le azioni sismiche.

Case	DesignType	DesignType
PESI PROPRI STRUTTURALI		
STRUCTURAL SELF WEIGHT	Dead	0
CARICHI PERMANENTI PORTATI		
CONTROL CAB AND BATTERY	Super Dead	1
GTENCLOSURE	Super Dead	2
GT	Super Dead	3
3MCL1405	Super Dead	4
2BCL1407	Super Dead	5
HEAT EXCHANGER	Super Dead	6
WATER SKID FOR HEAT EXCHANGER	Super Dead	7
DRY GAS SEAL PANEL	Super Dead	8
FIRE FIGHTING	Super Dead	9
LUBE OIL TANK	Super Dead	10
BLEED VALVE ASSEMBLY	Super Dead	11
BLEED VALVE EXHAUST	Super Dead	12
HYDRAULIC STARTING SKID	Super Dead	13
SYNTH OIL COOLER	Super Dead	14
LUBE OIL COOLER	Super Dead	15
LUBE OIL SKID	Super Dead	16
MINERAL OIL VAPORATOR	Super Dead	17
GT CAGE FAN	Super Dead	18
INLET DUCT	Super Dead	19
VENTILATION INLET	Super Dead	20
MAIN VENT FAN	Super Dead	21
FILTER HOUSE	Super Dead	22
VENTILATION OUTLET	Super Dead	23
CLADDING	Super Dead	24
GRATING	Super Dead	25
EQUIPMENT	Super Dead	26
HVAC	Super Dead	27
CRANE DEAD	Super Dead	28
PERMANENTI STRUTT. + PORTATI	**Super Dead**	**SOMMA DELLE C.C. DA 0 A 28**
CARICHI DI ESERCIZIO + COPPIE NOMINALI MACCHINE		
L	Live	CARICHI DI ESERCIZIO
CRANE LIVE + IMPACT	Live	CARICHI ESERCIZIO E IMPATTO CARROPONTE
EL TUR	Live	COPPIE NOMINALI TURBINA
EL 3MCL1405	Live	COPPIE NOMINALI COMPRESSORE 3MCL1405
EL 2BCL1407	Live	COPPIE NOMINALI COMPRESSORE 2BCL1407
EL	**Live**	**EL TURB + EL 3MCL1405 + EL 2BCL1407**

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Case	DesignType	DesignType
CARICO DI ESPLOSIONE CABINA		
BLAST FRONT	Other	Other
BLAST REAR	Other	Other
BLAST ROOF	Other	Other
VENTO		
WX	Wind	Vento in direzione X
WY	Wind	Vento in direzione Y
VARIAZIONE TERMICA		
TE+	Temperature	Variazione termica di +25 °C
TE-	Temperature	Variazione termica di -25 °C
CARICHI ECCEZIONALI TURBINA		
STL0	Dead	Dead
STL3	Dead	Dead
STL2	Dead	Dead
STL1	Dead	Dead
STL5	Dead	Dead
CARICHI DINAMICI		
GT-DYN	Live	Live
2BCL-DYN	Live	Live
3MCL-DYN	Live	Live

6.1 CARICHI DI ESERICIZIO

Scale e percorsi di accesso: 4.8 kN/m²

Aree di esercizio e manutenzione: 6.0 kN/m²

Copertura: 1 kN/m²

6.2 AZIONE DEL VENTO

La pressione del vento è data dall'espressione (§3.3.4 NTC2018):

$$p = q_b \, c_e \, c_p \, c_d$$

Gli edifici in oggetto ricadono in zona 3 in classe di rugosità D e categoria di esposizione II, quindi la velocità di riferimento per il calcolo della pressione del vento $v_{b,0}$=27 m/s con:

$q_r=1/2\rho v_r^2=1/2\rho v_{b,0}^2=455 N/ms^2$

- <u>STRUTTURA "CAMINO EXHAUST PLATEE PROVA"</u>

  z=25m

  $c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0)\,[7+c_t \cdot \ln(z/z_0)]$ per $z \geq z_{min} \Rightarrow c_e=2{,}96$

  Diametro d=5m

  $q= q_r x\ c_e=1347\ N/m^2$

  $c_t=1$

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

c_p=0,7 per dxq^{0,5}>4,2

p=455x2,96x0,7=943 N/m^2≈ 0,943 kN/m^2.

7 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni di carico, oggetto di verifica:

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^{i=n} \gamma_{Qi} \left(\psi_{0i} Q_{ki} \right)$$

Combinazione caratteristica (rara), impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE):

$$G_k + Q_{k1} + \sum_{i=2}^{i=n} \left(\psi_{0i} Q_{ki} \right)$$

Per quanto riguarda i valori dei coefficienti parziali da impiegare per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi si fa riferimento alla seguente tabella (STR):

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,9 1,1	1,0 1,3	1,0 1,0
Carichi permanenti non strutturali(1)	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3

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

I coefficienti di contemporaneità per la j-sima azione accidentale assumono i seguenti valori:

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

Di seguito sono riassunte le condizioni elementari di carico e le loro combinazioni considerate nella progettazione:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Combinazione di carico SLU	Condizione di carico	Fattore C.C.
LC40	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC40	EL	1,5
LC41X+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC41X+	EL	1,5
LC41X+	L	1,5
LC41X+	WX	0,9
LC41X+	TE+	0,9
LC41X-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC41X-	EL	1,5
LC41X-	L	1,5
LC41X-	WX	0,9
LC41X-	TE-	0,9
LC41Y+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC41Y+	EL	1,5
LC41Y+	L	1,5
LC41Y+	WY	0,9
LC41Y+	TE+	0,9
LC41Y-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC41Y-	EL	1,5
LC41Y-	L	1,5
LC41Y-	WY	0,9
LC41Y-	TE-	0,9
LC43X+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
LC43X+	EL	1,
LC43X+	WX	1,5
LC43X+	TE+	0,9
LC43X-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
LC43X-	EL	1,
LC43X-	WX	1,5
LC43X-	TE-	0,9
LC43Y+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
LC43Y+	EL	1,
LC43Y+	WY	1,5
LC43Y+	TE-	0,9
LC43Y-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
LC43Y-	EL	1,
LC43Y-	WY	1,5
LC43Y-	TE-	0,9
LC44X+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC44X+	EL	1,5
LC44X+	L	1,05
LC44X+	WX	1,5
LC44X+	TE+	0,9
LC44X-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC44X-	EL	1,5
LC44X-	L	1,05
LC44X-	WX	1,5
LC44X-	TE-	0,9
LC44Y+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC44Y+	EL	1,5
LC44Y+	L	1,05
LC44Y+	WY	1,5
LC44Y+	TE+	0,9

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Combinazione di carico SLU	Condizione di carico	Fattore C.C.
LC44Y-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC44Y-	EL	1,5
LC44Y-	L	1,05
LC44Y-	WY	1,5
LC44Y-	TE-	0,9
LC47X	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC47X	L	1,05
LC47X	WX	0,9
LC47X	BLAST FRONT	1,
LC47X	BLAST REAR	1,
LC47X	BLAST ROOF	1,
LC47Y	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC47Y	L	1,05
LC47Y	WY	0,9
LC47Y	BLAST FRONT	1,
LC47Y	BLAST REAR	1,
LC47Y	BLAST ROOF	1,
LC48X+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC48X+	L	1,05
LC48X+	CRANE LIVE+IMPACT	1,5
LC48X+	WX	0,9
LC48X+	TE+	0,9
LC48X-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC48X-	L	1,05
LC48X-	CRANE LIVE+IMPACT	1,5
LC48X-	WX	0,9
LC48X-	TE-	0,9
LC48Y+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC48Y+	L	1,05
LC48Y+	CRANE LIVE+IMPACT	1,5
LC48Y+	WY	0,9
LC48Y+	TE+	0,9
LC48Y-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC48Y-	L	1,05
LC48Y-	CRANE LIVE+IMPACT	1,5
LC48Y-	WY	0,9
LC48Y-	TE-	0,9
LC49+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC49+	L	1,05
LC49+	CRANE LIVE+IMPACT	1,5
LC49+	TE+	0,9
LC49-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC49-	L	1,05
LC49-	CRANE LIVE+IMPACT	1,5
LC49-	TE-	0,9
LC60_0	PERM. STRUTT + PORTATI	1,3
LC60_0	EL	1,05
LC60_0	STL0	1,
LC60_0	L	1,05
LC60_0	WX	0,9
LC60_1	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
LC60_1	EL	0,6
LC60_1	STL1	1,

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Combinazione di carico SLU	Condizione di carico	Fattore C.C.
LC60_1	L	0,6
LC60_2	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
LC60_2	EL	0,6
LC60_2	STL2	1,
LC60_2	L	0,6
LC60_3	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
LC60_3	EL	0,6
LC60_3	STL3	1,
LC60_3	L	0,6
LC60_5	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
LC60_5	EL	0,6
LC60_5	STL5	1,
LC60_5	L	0,6

Combinazione di carico SLE	Condizione di carico	Fattore C.C.
LC50+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
LC50+	EL	1,
LC50+	L	1,
LC50+	TE+	1,
LC50+	CRANE LIVE+IMPACT	1,
LC50-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
LC50-	EL	1,
LC50-	L	1,
LC50-	TE-	1,
LC50-	CRANE LIVE+IMPACT	1,
L50s+	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
L50s+	EL	1,
L50s+	TE+	1,
L50s+	CRANE LIVE+IMPACT	1,
L50s-	PERM. STRUTT + PORTATI	1,
L50s-	EL	1,
L50s-	TE-	1,
L50s-	CRANE LIVE+IMPACT	1,
L51X	WX	1,
L51Y	WY	1,

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

8 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SUOLO

Per le caratteristiche stratigrafiche dei 4 sondaggi eseguiti nel Febbraio 2011 si rimanda alla relazione geologica. Relativamente alla profondità d'interesse per le opere di fondazione si ritiene rappresentativo un modello geotecnico caratterizzato da due unità litotecniche principali con i relativi parametri geotecnici caratteristici:

Unità "A" da 0.00 a 2.0 metri: terreno di riporto. Rappresenta un'unità scadente da oltrepassare con il piano fondale per le caratteristiche estremamente scadenti di tale orizzonte si fornisce solamente il valore del peso di volume come unico contributo utile nel dimensionamento delle nuove fondazioni:

Peso di volume $\gamma_t = 17.5$ kN / m^3

Unità "B": per profondità superiori: materiale incoerente mediamente caratterizzato da sabbie definite da un medio grado di addensamento. A tale unità si attribuiscono i seguenti valori dei parametri geotecnici:

Peso di volume $\gamma_t = 18.5$ kN / m^3

Angolo di attrito interno drenato $\phi' = 30°$

Coesione drenata $c' = 0.0$ kPa

La falda è da considerare a quote prossime al p.c. mediamente a 2m di profondità.

- Caratteristiche dinamiche del suolo:

Dal punto di vista dinamico dalla prova Down Hole si ha la seguente caratterizzazione:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

3 RISULTATI

Le indagini svolte hanno evidenziato la presenza di tre sismostrati che, dalla superficie verso la profondità, sono così riassumibili:

Strato	Prof. tetto (m)	Prof. base (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Spessore H (m)	Vs30 (m/s) 30/(ΣHi/Vsi)	ν
1	0	2	376	724	2	216.06	0.32
2	2	25	196	1910	23		0.49
3	25	30	309	2303	5		0.49

Per V_{s30} s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione, calcolata secondo la relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove *hi* e *Vi* indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

La stima della VS_{30} è stata valutata come da vigente normativa e conduce ad una velocità media, pari a 216 m/sec.

Tensione di progetto

Per la verifica sia della capacità portante che del dimensionamento strutturale si impiega l'Approccio "2": A1+M1+R3, pertanto i parametri geotecnici di progetto sono quelli caratteristici (γ_M = 1), le azioni sono amplificate secondo i coefficienti γ_F = 1.3 o 1.5 (a seconda rispettivamente che le azioni siano permanenti o variabili), γ_R=2.3 per il calcolo della capacità portante.

8.1 FONDAZIONI SUPERFICIALI

8.1.1 Capacità portante fondazioni dirette

Viene utilizzato l'approccio II delle NTC2018.

Per una fondazione diretta nastriforme a "graticcio di travi rovesce" si utilizza la seguente formula di Terzaghi per ricavare la capacità portante in condizioni drenate trascurando la coesione (c'=0):

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company. the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

$$R_k = \gamma' \cdot D \cdot N_q + \gamma' \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma$$

$$R_d = \frac{1}{Y_R} R_k$$

Dove:

- Υ_R = 2,3 (Approccio 2);
- Φ = 30,00° (angolo d'attrito);
- B = Larghezza della ciabatta di fondazione [edi caso per caso];
- L = lunghezza della fondazione >> B;
- D = profondità del piano di pos [vedi caso per caso];
- Υ' = 17,5 kN/m^3 (peso di volume del terreno sopra falda);
- Nq = 18,4;
- N_Υ = 22,40;

Per quanto riguarda la determinazione del carico ammissibile del terreno per una fondazione diretta isolata "plinto" viene utilizzata la seguente formula di Vesic per ricavare la capacità èprtante in condizioni drenate trascurando la coesione (c' = 0):

$$R_k = \gamma' \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \gamma' \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

$$R_d = \frac{1}{Y_R} R_k$$

Dove:

- Υ_R = 2,3 (Approccio 2);
- Φ = 30,00° (angolo d'attrito);
- B = larghezza della ciabatta di fondazione [vedi caso per caso];
- L = lunghezza della fondazione >> B;
- D = profondità del piano di posa [vedi caso per caso];
- Υ' = 17,5 kN/m^3 (peso di volume del terreno sopra falda);
- Nq = 18,4;
- N_Υ = 22,40;
- S_q , s_Υ = fattori di forma [vedi caso per caso];
- d_q , d_Υ = fattori di profondità [vedi caso per caso];
- b_q , b_Υ = fattori di inclinazione del piano di posa [vedi caso per caso];
- g_q , g_Υ = fattori di inclinazione del piano di campagna [vedi caso per caso].

➢ <u>Modulo di Winkler</u>

In base alle caratteristiche litologiche dei terreni prima descritte si assume il valore cautelativo per i cedimenti fondali:

k = 3 kg/cm^3 = 30000 kN/m^3

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

8.2 FONDAZIONI PROFONDE

8.2.1 Capacità portante di un palo di fondazione L = 18,00 m per carichi verticali

Per le platee dei blocchi si adottano pali di 18,00 m di lunghezza e diametro 800 mm.

Si utilizza l'Approccio 2, con la seguente combinazione (A1+M1+R3).

Sulla base delle caratteristiche geotecniche del suolo riportate sopra, si adottano i seguenti valori dei parametri geotecnici:

strato 1	Da [m]	A [m]	ϒ t1 [KN/m³]	Φ [°]
	0	-1,2	17,5	30
strato 2	Da [m]	A [m]	ϒ t1 [KN/m³]	Φ [°]
	-1,2	-2	17,5	30
strato 3	Da [m]	A [m]	ϒ t1 [KN/m³]	Φ [°]
	-2	**-4,5**	**8,5**	30
strato 4	Da [m]	A [m]	ϒ t1 [KN/m³]	Φ [°]
	-4,5	-15	8,5	30
strato 5	Da [m]	A [m]	ϒ t1 [KN/m³]	Φ [°]
	-15	-19,2	8,5	30

8.2.1.1 Valore caratteristico della capacità portante dei pali

La capacità portante dei pali viene calcolata mediante la seguente formula:

$Pult = P_{lat} + P_{punta}$

8.2.1.2 Valore caratteristico della capacità portante laterale

La resistenza media di attrito è data da:

$f_s = \sigma'_h * \tan(\delta) = k * \sigma'_{v0} * \tan(\delta) = 48{,}42\ kN/m^2$

$P_{lat} = f_s * A_{lat} = 48{,}42\ kN/m^2 * \pi * 0{,}80\ m * 19{,}2\ m = 2336{,}50\ kN$

8.2.1.3 Valore caratteristico della capacità portante di punta

$P_{punta} = \sigma_{lim} * A_b = 3986{,}40\ kN/m^2 * \pi * (0{,}80/2)^2\ m^2 = 2003{,}78\ kN$

$\sigma_{lim} = N_q * \sigma'_{v0} = 181{,}2\ kN/m^2 * 22 = 3986{,}40\ kN/m^2$

(N_q è il fattore di capacità portante per $\phi' = 30°$ ricavato dal diagramma di Berezantev del 1961)

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

8.2.1.4 *Valore di progetto della capacità portante*

A partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici, sono stati ricavati i seguenti valori delle resistenze calcolate di base e laterale:

- portata limite laterale $R_{c,cal,lat}$ = 2336,50 kN
- portata limite di base $R_{c,cal,punta}$ = 2003,78 kN

Il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ si ottiene applicando alle resistenze calcolate $R_{c,cal}$ i fattori di correlazione ξ riportati nella Tab. 6.4.IV delle NTC 2008, in funzione del numero n di verticali di indagine.

Tabella 6.4.IV – *Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.*

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Nell'ambito dello stesso sistema di fondazione, il numero di verticali d'indagine da considerare per la scelta dei fattori ξ in Tab. 6.4.IV corrisponde al numero di verticali lungo le quali la singola indagine (sondaggio con prelievo di campioni indisturbati, prove penetrometriche, ecc.) sia stata spinta ad una profondità superiore alla lunghezza dei pali, in grado di consentire una completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo.

Si ottengono i seguenti valori delle resistenze caratteristiche:

- resistenza caratteristica laterale $R_{c,k,lat}$ = 1584,06 kN
- esistenza caratteristica di base $R_{c,k,punta}$ = 1358,50 kN

Per pali trivellati i coefficienti parziali (R3) da applicare alle resistenze caratteristiche valgono (Tabella 6.4.II - NTC 2008):

γ_R = 1,15 per la resistenza laterale in compressione

γ_R = 1,25 per la resistenza laterale in trazione

γ_R = 1,35 per la resistenza di base

Tabella 6.4.II – *Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.*

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	γ_R	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Si considerano i pesi del palo in condizione favorevole e sfavorevole, considerando che il peso di volume del palo nel primo metro è pari a 25 kN/m^3 e per i restanti (18,00-1,00)=17,00 m vale 15 kN/m^3:

P.P. $_{palo\ fav}$ = 1,00 *(1,00 m*25,00 kN/m^3+17,00 m* 15 kN/m^3) = 140,74 kN

P.P. $_{palo\ sfav}$ = 1,30*(1,00 m* 25 kN/m^3+17,00 m*15 kN/m^3) = 182,97 kN.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Infine la resistenza globale di progetto di un palo per carichi verticali a compressione risulta:

$\mathbf{R_{c,d}} = R_{ck,punta}/\gamma_{R,punta} + R_{ck,lat}/\gamma_{R,lat} - P.P_{palo\ sfav} = 2200{,}77$ kN

Mentre la resistenza totale di progetto di un palo per carichi verticali a trazione risulta:

$\mathbf{R_{c,t}} = R_{ck,lat}/\gamma_{R,lat} - P.P_{palo\ fav} = 1126{,}51$ kN.

8.2.2 Capacità portante di un palo di fondazione L = 15,00 m per carichi verticali

Per le platee dei camini Exhaust si adottano pali di 15,00 m di lunghezza e diametro 800 mm.

Si utilizza l'Approccio 2, con la seguente combinazione (A1+M1+R3).

Sulla base delle caratteristiche geotecniche del suolo riportate sopra, si adottano i seguenti valori dei parametri geotecnici:

strato 1	Da [m]	A [m]	ϒ t1 [KN/m³]	Φ [°]
	0	-1,2	17,5	30
strato 2	Da [m]	A [m]	ϒ t1 [KN/m³]	Φ [°]
	-1,2	-2	17,5	30
strato 3	Da [m]	A [m]	ϒ t1 [KN/m³]	Φ [°]
	-2	**-4,5**	**8,5**	30
strato 4	Da [m]	A [m]	ϒ t1 [KN/m³]	Φ [°]
	-4,5	-15	8,5	30
strato 5	Da [m]	A [m]	ϒ t1 [KN/m³]	Φ [°]
	-15	-19,2	8,5	30

8.2.2.1 Valore caratteristico della capacità portante dei pali

La capacità portante dei pali viene calcolata mediante la seguente formula:

$Pult = P_{lat} + P_{punta}$

8.2.2.2 Valore caratteristico della capacità portante laterale

La resistenza media di attrito è data da:

$f_s = \sigma'_h * \tan(\delta) = k * \sigma'_{v0} * \tan(\delta) = 41{,}80\ kN/m^2$

$P_{lat} = f_s * A_{lat} = 41{,}80\ kN/m^2 * \pi * 0{,}80\ m * 16{,}2\ m = 1701{,}45$ kN

8.2.2.3 Valore caratteristico della capacità portante di punta

$P_{punta} = \sigma_{lim} * A_b = 3425{,}40\ kN/m^2 * \pi * (0{,}80/2)^2\ m^2 = 1721{,}80$ kN

$\sigma_{lim} = N_q * \sigma'_{v0} = 155{,}7\ kN/m^2 * 22 = 3425{,}40\ kN/m^2$

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

(N_q è il fattore di capacità portante per ϕ' = 30° ricavato dal diagramma di Berezantev del 1961)

8.2.2.4 Valore di progetto della capacità portante

A partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici, sono stati ricavati i seguenti valori delle resistenze calcolate di base e laterale:

- portata limite laterale $R_{c,cal,lat}$ = 1701,45 kN
- portata limite di base $R_{c,cal,punta}$ = 1721,80 kN

Il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ si ottiene applicando alle resistenze calcolate $R_{c,cal}$ i fattori di correlazione ξ riportati nella Tab. 6.4.IV delle NTC 2008, in funzione del numero n di verticali di indagine.

Tabella 6.4.IV – *Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.*

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Nell'ambito dello stesso sistema di fondazione, il numero di verticali d'indagine da considerare per la scelta dei fattori ξ in Tab. 6.4.IV corrisponde al numero di verticali lungo le quali la singola indagine (sondaggio con prelievo di campioni indisturbati, prove penetrometriche, ecc.) sia stata spinta ad una profondità superiore alla lunghezza dei pali, in grado di consentire una completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo.

Si ottengono i seguenti valori delle resistenze caratteristiche:

- resistenza caratteristica laterale $R_{c,k,lat}$ = 1153,53 kN
- esistenza caratteristica di base $R_{c,k,punta}$ = 1167,32 kN

Per pali trivellati i coefficienti parziali (R3) da applicare alle resistenze caratteristiche valgono (Tabella 6.4.II - NTC 2008):

γ_R = 1,15 per la resistenza laterale in compressione

γ_R = 1,25 per la resistenza laterale in trazione

γ_R = 1,35 per la resistenza di base

Tabella 6.4.II – *Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.*

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	γ_R	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Si considerano i pesi del palo in condizione favorevole e sfavorevole, considerando che il peso di volume del palo nel primo metro è pari a 25 kN/m^3 e per i restanti (15,00-1,00)=14,00 m vale 15 kN/m^3:

P.P. $_{palo\ fav}$ = 1,00 *(1,00 m*25,00 kN/m^3+15,00 m* 15 kN/m^3) = 118,12 kN

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

P.P. $_{palo\ sfav}$ = 1,30*(1,00 m* 25 kN/m^3+15,00 m*15 kN/m^3) = 153,56 kN.

Infine la resistenza globale di progetto di un palo per carichi verticali a compressione risulta:

$\mathbf{R_{c,d}} = R_{ck,punta}/\gamma_{R,punta} + R_{ck,lat}/\gamma_{R,lat} - P.P_{palo\ sfav}$ = 1714,18 kN

Mentre la resistenza totale di progetto di un palo per carichi verticali a trazione risulta:

$\mathbf{R_{c,t}} = R_{ck,lat}/\gamma_{R,lat} - P.P_{palo\ fav}$ = 804,70 kN.

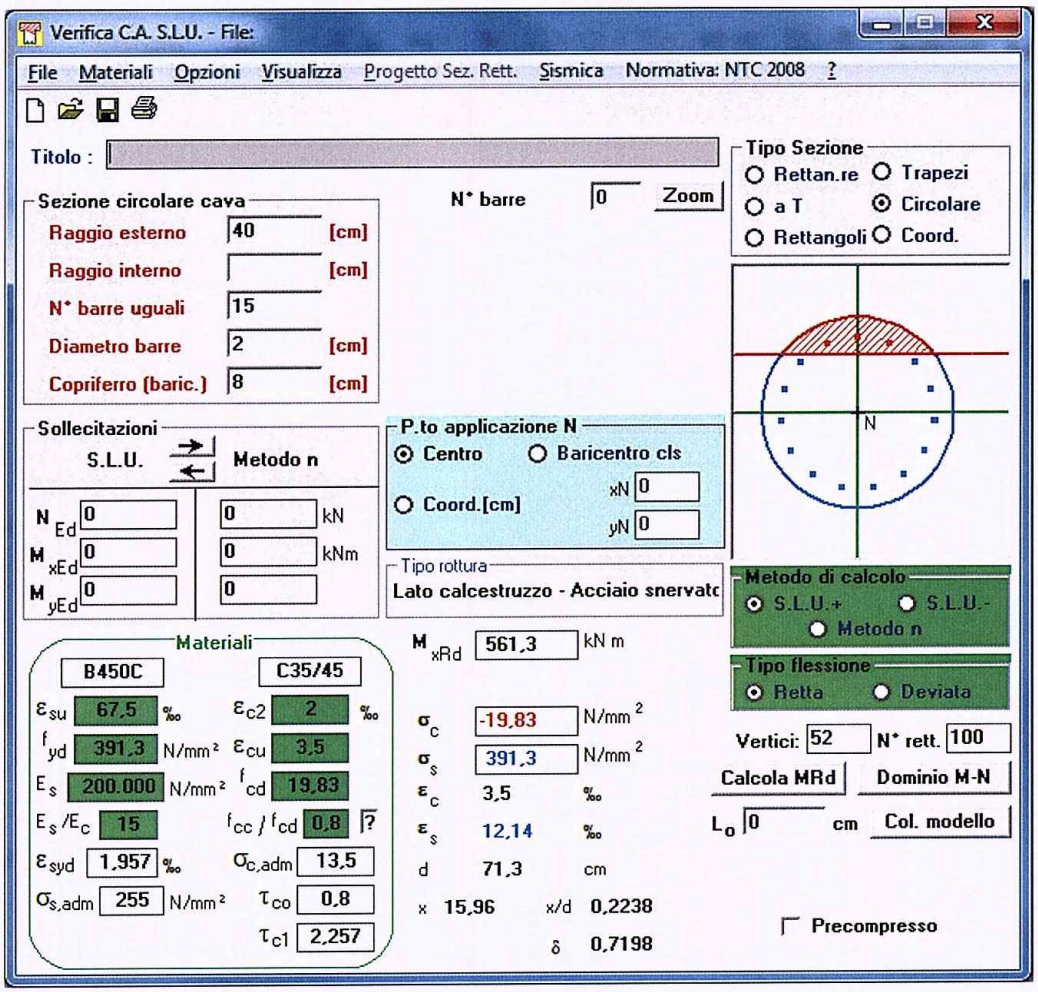
8.2.3 Capacità portante di un palo di fondazione per carichi orizzontali – Pali platee platee A,B,D,E: L = 18,00 m

La capacità portante del singolo palo per azioni orizzontali è stata determinata con il metodo di Broms, considerando la sommità del palo impedita di ruotare perché incastrata nella platea e il terreno omogeneo incoerente in condizioni drenate.

I pali utilizzati sono del tipo trivellato e presentano armatura costituita da 15 Φ20 (ρ armatura = 0.94%), e spirale Φ10/15 cm.

Il momento resistente è Mrd=561 kNm.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



Le caratteristiche del terreno al di sotto della platea sono quelle afferenti al terreno di colmata compattata:

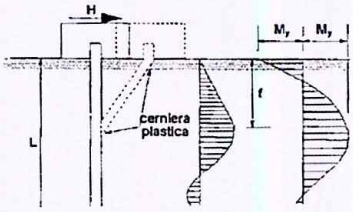
Φ'k=30°,

<u>y</u>=17,5 kN/m^3

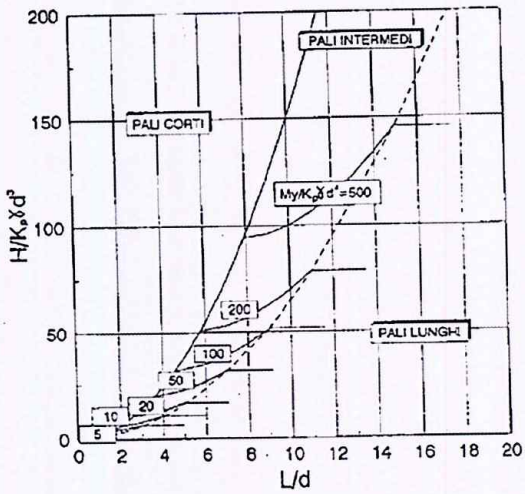
<u>y'</u>=8,50 kN/m^3(un peso di volume immerso)

Al fine di determinare la capacità portante per azioni orizzontali, si ipotizzano tre diversi meccanismi di rottura (palo corto, intermedio, lungo) con la testa del palo impedita di ruotare e si calcolano i valori del carico limite orizzontale corrispondenti a ciascuno di questi meccanismi, il valore limite effettivo è il minimo dei valori di capacità portante determinati per i tre meccanismi di rottura ipotizzati:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



$$\frac{H}{k_p \gamma d^3} = \sqrt[3]{\left(3{,}676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}\right)^2}$$



Considerando che L/d=18,75, Il valore minimo risulta per meccanismo palo lungo e vale H_{lim}=170 kN.

Il comportamento di gruppo dei pali comporta una riduzione della capacità portante del singolo palo e come indicato da Viggiani (Fondazioni, 1999), per distanze tra i pali dell'ordine di 3 diametri, può scendere fino a 0.5.

Pertanto assumendo in sicurezza un fattore di efficienza di 0,5 la capacità portante per carichi orizzontali risulta pari a:

H_{lim}= Rtr,k = 0.5* 443 kN= 221,5 kN

Il valore resistente, applicando Approccio 2 dunque γT=1,3 si ha:

Rtr,rd= Rtr,k/ γT= 221,5/1.3= **170 kN**

Per il calcolo delle sollecitazioni agenti lungo il fusto del palo soggetto ad azioni orizzontali, si considera un modello numerico agli elementi finiti del palo su letto di molle dal quale viene estrapolato l'andamento del momento flettente e il valore dello stesso al variare dell'altezza del palo così da verificare l'armatura lungo l'altezza del palo. In particolare, si discretezza il palo in elementi di lunghezza 50 cm e ad ogni nodo si assegna una molla di rigidezza opportuna k_{hi}.

Modulo di reazione del terreno per pali inseriti in terreni granulari:

$k_h = n_h * Z/d$

con n_h= 5 N/cm³, valore riportato da Viggiani (Fondazioni, 1999, Tab.14.5), per sabbie immerse mediamente addensate

$z =$ profondità

Tale valore è valido per pali singoli, nel caso di gruppo di pali, si è assunto un valore di kh pari a 25% del valore per palo singolo.

Con T=100 kN (carico esploratore)

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

$M^- = 327$ kNm (testa palo)

$M^+ = 90$ kNm (z=-7,5 m)

Il momento negativo si annulla a circa 4,00 m da testa palo

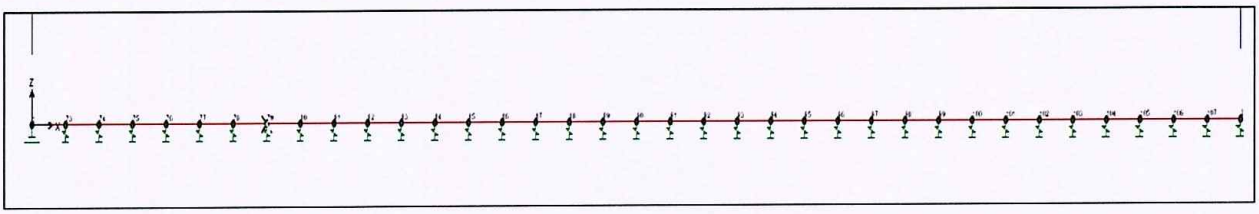


Figura 2: Discretizzazione del palo sul letto di molle

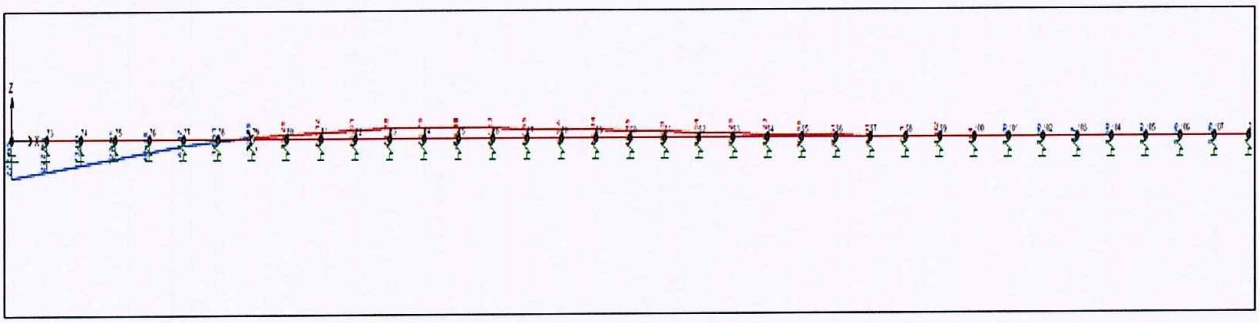


Figura 3: Andamento del momento dato dal carico esploratore

Il momento flettente massimo è pari a 327 kNm

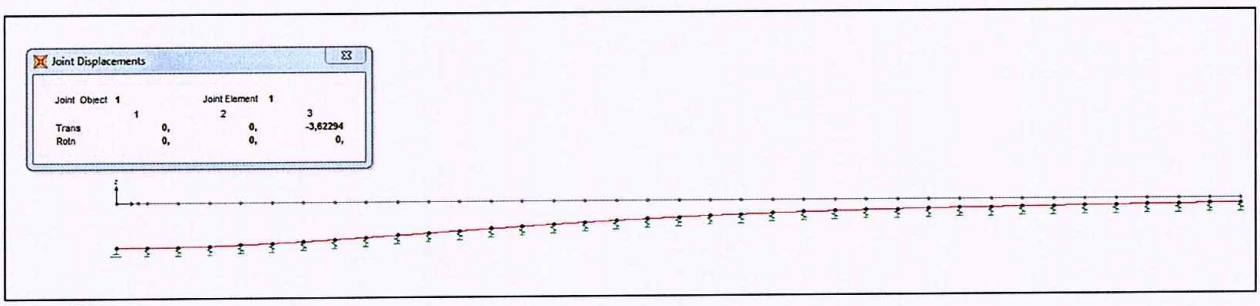


Figura 4: Deformazione

Lo spostamento massimo è pari a 3,6 mm

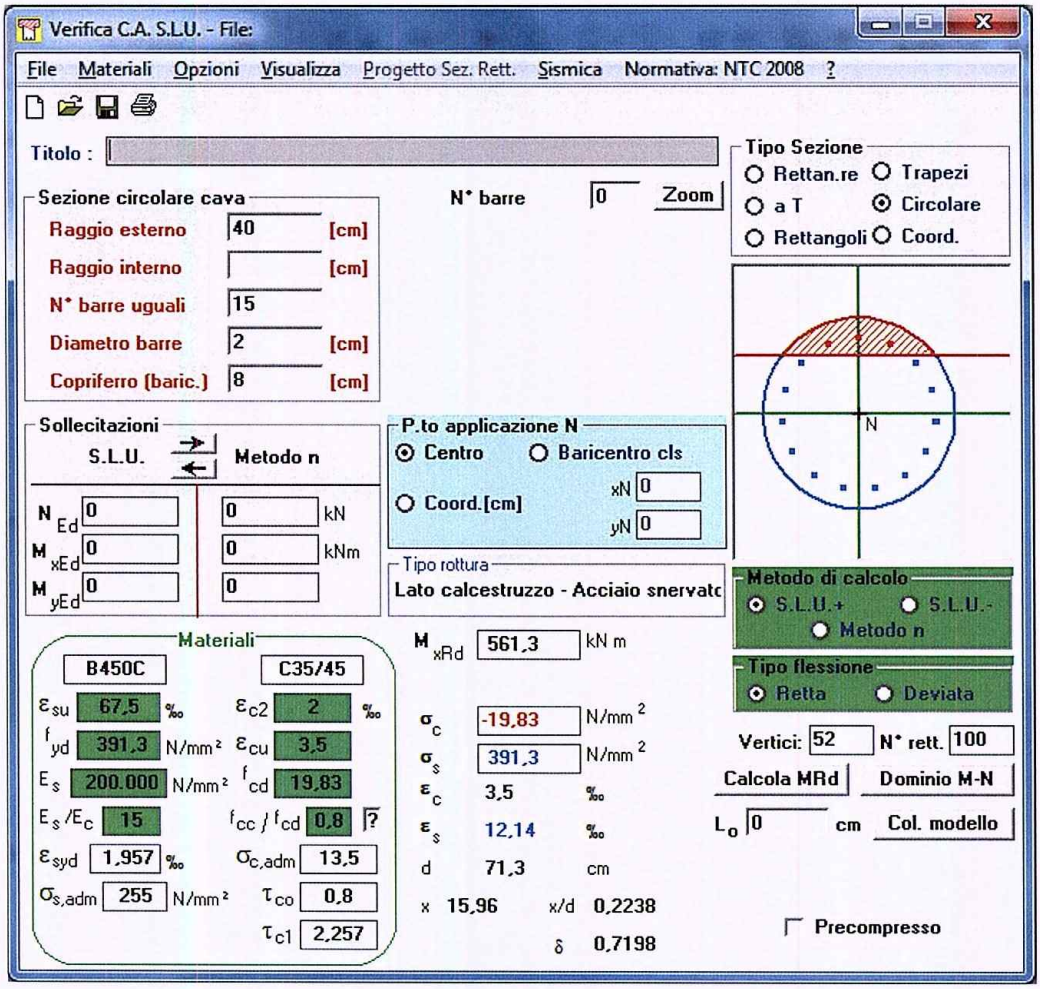
8.2.4 Capacità portante di un palo di fondazione per carichi orizzontali – Pali platee Camini Exhaust platee A,B,D,E: L = 15,00 m

La capacità portante del singolo palo per azioni orizzontali è stata determinata con il metodo di Broms, considerando la sommità del palo impedita di ruotare perché incastrata nella platea e il terreno omogeneo incoerente in condizioni drenate.

I pali utilizzati sono del tipo trivellato e presentano armatura costituita da 15 Φ20 (ρ armatura = 0.94%), e spirale Φ10/15 cm.

Il momento resistente è Mrd=561 kNm.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



Le caratteristiche del terreno al di sotto della platea sono quelle afferenti al terreno di colmata compattata:

Φ'k=30°,

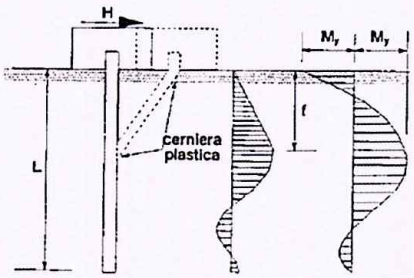
<u>γ=</u>17,5 kN/m^3

<u>γ'=</u>8,50 kN/m^3(un peso di volume immerso)

Al fine di determinare la capacità portante per azioni orizzontali, si ipotizzano tre diversi meccanismi di rottura (palo corto, intermedio, lungo) con la testa del palo impedita di ruotare e si calcolano i valori del carico limite orizzontale corrispondenti a ciascuno di questi meccanismi, il valore limite effettivo è il minimo dei valori di capacità portante determinati per i tre meccanismi di rottura ipotizzati

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company. the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

$$\frac{H}{k_p \gamma d^3} = \sqrt[3]{\left(3{,}676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4}\right)^2}$$



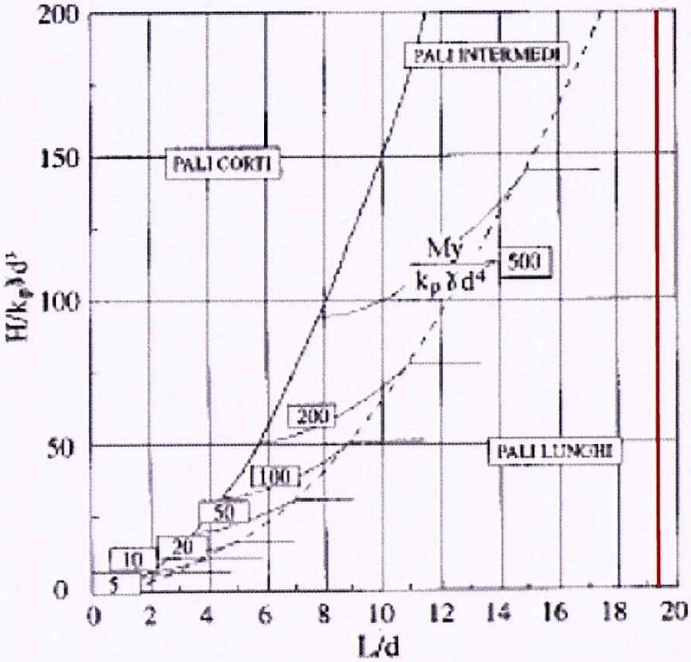


Fig. 13.34. Valore limite di H per pali intermedi, impediti di ruotare in testa, in terreni incoerenti.

Considerando che L/d=18,75, Il valore minimo risulta per meccanismo palo lungo e vale H_{lim}=170 kN.

Il comportamento di gruppo dei pali comporta una riduzione della capacità portante del singolo palo e come indicato da Viggiani (Fondazioni, 1999), per distanze tra i pali dell'ordine di 3 diametri, può scendere fino a 0.5.

Pertanto assumendo in sicurezza un fattore di efficienza di 0,5 la capacità portante per carichi orizzontali risulta pari a:

H_{lim}= Rtr,k = 0.5* 443 kN= 221,5 kN

Il valore resistente, applicando Approccio 2 dunque γT=1,3 si ha:

Rtr,rd= Rtr,k/ γT= 221,5/1.3= 170 kN.

Per il calcolo delle sollecitazioni agenti lungo il fusto del palo soggetto ad azioni orizzontali, si considera un modello numerico agli elementi finiti del palo su letto di molle dal quale viene estrapolato l'andamento del momento flettente e il valore dello stesso al variare dell'altezza del palo così da verificare l'armatura lungo l'altezza del palo. In particolare, si discretezza il palo in elementi di lunghezza 50 cm e ad ogni nodo si assegna una molla di rigidezza opportuna k_{hi}.

Modulo di reazione del terreno per pali inseriti in terreni granulari:

$k_h = n_h * Z/d$

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

con n_h= 5 N/cm^3 , valore riportato Viggiani (Fondazioni, 1999, Tab.14.5), per sabbie immerse mediamente addensate

$z =$ profondità

Tale valore è valido per pali singoli, nel caso di gruppo di pali, si è assunto un valore di kh pari a 25% del valore per palo singolo.

Con T=100 kN (carico esploratore)

M^-= 327 kNm (testa palo)

M^+= 90 kNm (z=-7,5m)

Il momento negativo si annulla a circa 4 m da testa palo

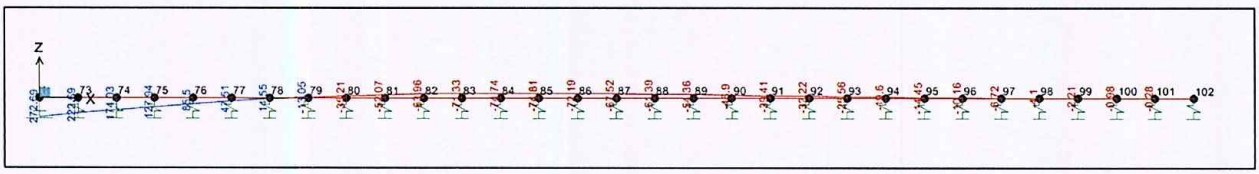


Figura 5: Andamento del momento dato dal carico esploratore

Il momento flettente massimo è pari a 327 kNm

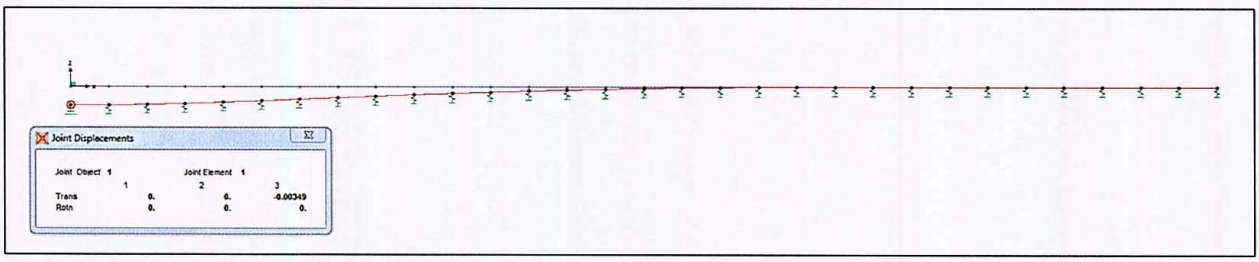


Figura 6: Deformazione

Lo spostamento massimo è pari a 3,6 mm

9 RIGIDEZZE STATICHE DI UN PALO DI FONDAZIONE ISOLATO

Nel calcolo della rigidezza alla traslazione verticale ed orizzontale del palo isolato sono stati assunti i seguenti valori dei parametri:

$E_{palo\ nuovo}$ = 34077 MPa

$E_{palo\ vecchio}$ = 25000 MPa

E_s = 40 MPa

ν = 0,35

quindi si ottiene:

G = 40 / (2 x (1,00 + 0,35) = 14,81 MPa.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

9.1 Rigidezza alla traslazione verticale di un palo isolato

La rigidezza alla traslazione verticale di un palo isolato immerso in un mezzo elastico e omogeneo (G = cost.) è stata calcolata con la formula seguente (Randolph e Wroth, 1978):

$$k_v = G \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{\frac{4}{(1-\nu)} + \pi \cdot \frac{A}{2}}{1 + \frac{4 \cdot A}{\pi \cdot \lambda \cdot (1-\nu)}}$$

dove

d = 80 cm diametro del palo

L è la lunghezza del palo

$\lambda = E_{palo} / G$

$A = (2 \cdot L / d) \cdot \tanh(\mu L)/\mu L$

$\mu L = (L / d) \cdot (2 / \lambda)^{0.5}$

Utilizzando i valori sopra elencati per i moduli di elasticità e per il coefficiente di Poisson e per L=18.00m, si ha:

$\mathbf{k_{v\ pali\ nuovi}} \cong 389990{,}9$ kN / m;

$\mathbf{k_{v\ pali\ esistenti}} \cong 371475{,}9$ kN / m;

9.2 Rigidezza alla traslazione orizzontale di un palo isolato

La rigidezza alla traslazione orizzontale di un palo isolato immerso in un mezzo elastico e omogeneo (G = cost.) è stata calcolata con la formula seguente (Wentao Dai, JoseM.Roesset, 2010):

$$k_h = 5 \cdot G \cdot \frac{d}{2} \cdot \left(\frac{E_{palo}}{E_s}\right)^{0,25}$$ dove

d = 80 cm diametro del palo.

Utilizzando i valori sopra elencati per i moduli di elasticità e per il coefficiente di Poisson, si ha:

$\mathbf{k_{h\ pali\ nuovi}} = 160076{,}1$ kN/m;

$\mathbf{k_{h\ pali\ esistenti}} = 148148{,}1$ kN/m.

10 RIGIDEZZE STATICHE DEI PALI DI FONDAZIONE IN GRUPPO

Lo stato di progetto per tutti le platee in oggetto prevede l'inserimento di una nuova maglia di pali, per i quali occorre determinare le rigidezze tenendo conto dell'influenza dei pali circostanti:

10.1 Rigidezza alla traslazione verticale dei pali in gruppo:

La rigidezza dei pali tenendo conto dell'interazione tra ogni palo e gli altri pali della palificata è stata calcolata con la seguente formula (Randolph e Wroth, 1978):

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

$$k_1 = \frac{k_1}{\sum_{j=1}^{N} \alpha_{i,j}}$$

dove

$$\alpha_{i,j} = \frac{ln\left(\frac{L}{s_{i,j}}\right)}{2\,ln\left(\frac{L}{d}\right)}$$

essendo

$s_{i,j}$ = distanza tra il palo i-esimo e il palo j-esimo

L = lunghezza del palo

d = diametro del palo

I calcoli sono stati svolti in relazione alla seguente maglia:

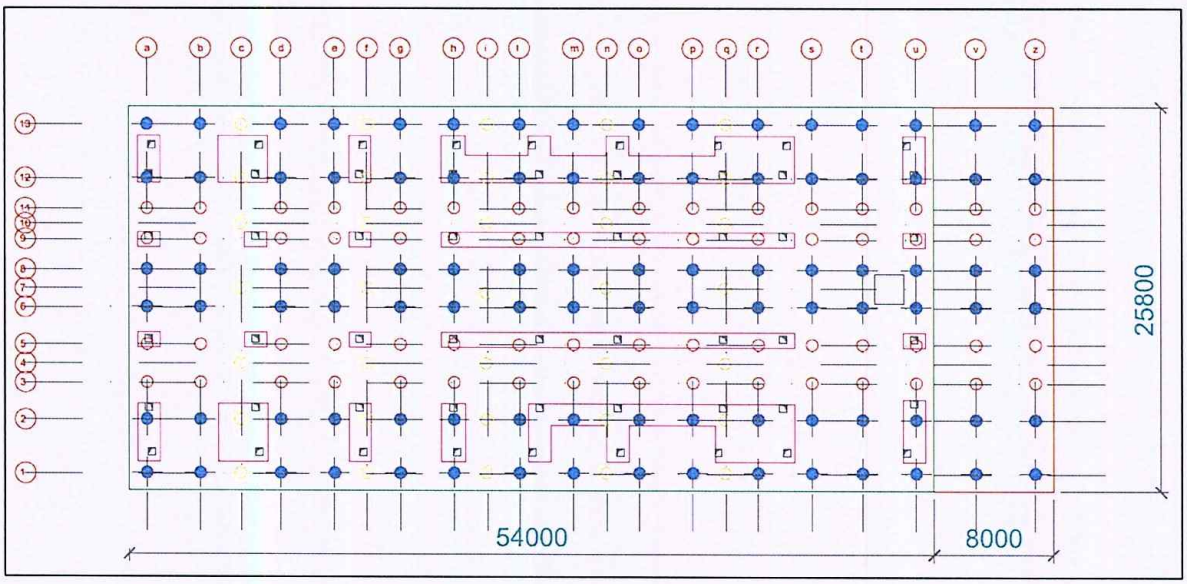


Figura 7: Nuova maglia pali, denominazione degli assi

La tabella seguente riporta per tutti i pali i coefficienti (espressi in percentuale) per i quali occorre moltiplicare la rigidezza del palo isolato per ottenere la rigidezza del palo all'interno della palificata, tenendo conto dell'effetto di gruppo con la formula sopra:

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	l
1	37%	27%	23%	21%	20%	20%	20%	23%	25%	31%
2	26%	19%	17%	15%	14%	14%	15%	16%	18%	22%
3	22%	17%	-	13%	12%	-	13%	14%	-	19%
4	-	-	14%	-	-	12%	-	-	15%	-

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

5	20%	15%	-	12%	11%	-	12%	13%	-	18%
6	19%	14%	-	12%	11%	-	11%	13%	-	17%
7	-	-	13%	-	-	11%	-	-	14%	-
8	19%	14%	-	11%	11%	-	11%	12%	-	17%
9	20%	15%	-	12%	11%	-	11%	13%	-	17%
10	21%	16%	13%	-	-	11%	-	-	15%	-
11	-	-	-	13%	12%	-	12%	14%	-	18%
12	24%	18%	15%	14%	13%	13%	14%	15%	17%	21%
13	34%	25%	21%	20%	18%	18%	19%	21%	23%	29%

	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	z
1	31%	26%	23%	21%	20%	21%	23%	28%	38%	27%	37%
2	22%	18%	16%	15%	14%	15%	16%	20%	26%	19%	26%
3	19%	-	14%	13%	-	13%	14%	17%	23%	17%	22%
4	-	15%	-	-	12%	-	-	-	-	-	-
5	18%	-	13%	12%	-	12%	13%	15%	20%	15%	20%
6	17%	-	13%	11%	-	11%	12%	14%	19%	14%	19%
7	-	14%	-	-	11%	-	-	-	-	-	-
8	17%	-	12%	11%	-	11%	12%	14%	19%	14%	19%
9	17%	-	13%	11%	-	11%	13%	15%	20%	15%	20%
10	-	15%	-	-	12%	-	-	-	-	16%	21%
11	18%	-	14%	12%	-	12%	13%	16%	21%	-	-
12	21%	17%	15%	14%	13%	14%	15%	18%	24%	18%	24%
13	29%	24%	21%	19%	18%	19%	21%	26%	35%	25%	34%

Si elencano poi i valori delle rigidezze statiche verticali di tutti i pali tenendo conto dell'effetto di gruppo:

kN/m	a	b	c	d	e	f	g	h	i	l
1	14815	14815	16008	14815	14815	16008	14815	14815	16008	14815
2	14815	14815	16008	14815	14815	16008	14815	14815	16008	14815
3	16008	16008	-	16008	16008	-	16008	16008	-	16008
4	-	-	16008	-	-	16008	-	-	16008	-
5	16008	16008	-	16008	16008	-	16008	16008	-	16008
6	14815	14815	-	14815	14815	-	14815	14815	-	14815
7	-	-	16008	-	-	16008	-	-	16008	-
8	14815	14815	-	14815	14815	-	14815	14815	-	14815
9	16008	16008	-	16008	16008	-	16008	16008	-	16008
10	16008	16008	16008	-	-	16008	-	-	16008	-
11	-	-	-	16008	16008	-	16008	16008	-	16008
12	14815	14815	16008	14815	14815	16008	14815	14815	16008	14815

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

13	14815	14815	16008	14815	14815	16008	14815	14815	16008	14815

kN/m	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	z
1	14815	16008	14815	14815	16008	14815	14815	14815	14815	16008	16008
2	14815	16008	14815	14815	16008	14815	14815	14815	14815	16008	16008
3	16008	-	16008	16008	-	16008	16008	16008	16008	16008	16008
4	-	16008	-	-	16008	-	-	-	-	-	-
5	16008	-	16008	16008	-	16008	16008	16008	16008	16008	16008
6	14815	-	14815	14815	-	14815	14815	14815	14815	16008	16008
7	-	16008	-	-	16008	-	-	-	-	-	-
8	14815	-	14815	14815	-	14815	14815	14815	14815	16008	16008
9	16008	-	16008	16008	-	16008	16008	16008	16008	16008	16008
10	-	16008	-	-	16008	-	-	-	-	16008	16008
11	16008	-	16008	16008	-	16008	16008	16008	16008	-	-
12	14815	16008	14815	14815	16008	14815	14815	14815	14815	16008	16008
13	14815	16008	14815	14815	16008	14815	14815	14815	14815	16008	16008

10.2 Rigidezza alla traslazione orizzontale dei pali in gruppo:

La rigidezza alla traslazione orizzontale dei pali in gruppo viene stimata con riferimento ai diagrammi ripresi dal lavoro di Wentao Dai e Jose M. Roesset (2010).

Nel presente caso si ha che E_p/E_s = 625 per i pali esistenti e E_p/E_s = 852 per i pali nuovi, e la malia di pali

21x13, il fattore di gruppo considerato è pari al 10%: la rigidezza dei pali in gruppo sarà quindi pari al 10% di quella che avrebbe avuto il palo se fosse stato isolato:

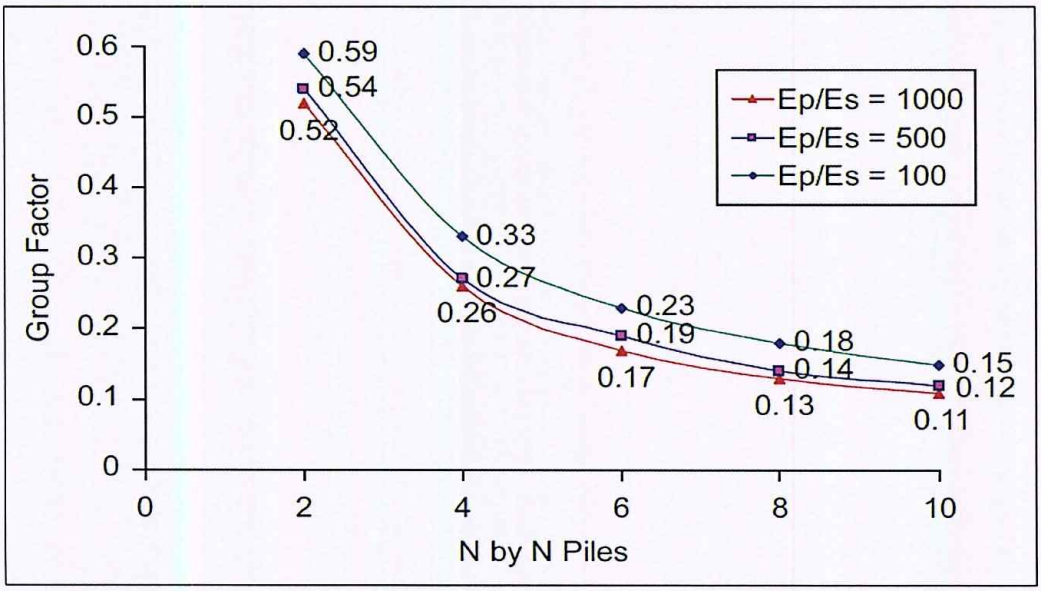


Figura 8: Fattore di gruppo per il calcolo della rigidezza alla traslazione orizzontale.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

PALI VECCHI		
E palo	25000	kN/m
Es	40	kN/m
Ep/Es	625	
v	0,35	
G	14,81481	Mpa
d	0,8	m
Kh	148148,1	kN/m
10% Kh	14814,81	kN/m

PALI NUOVI		
E palo	34077	kN/m
Es	40	kN/m
Ep/Es	851,925	
v	0,35	
G	14,81481	Mpa
d	0,8	m
Kh	160076,1	kN/m
10% Kh	16007,61	kN/m

A7 - RELAZIONE DI CALCOLO SULLE FONDAZIONI

11 MODELLO FEM

➢ Introduzione

L'analisi dinamica della fondazione è stata eseguita discretizzando la fondazione con elementi finiti bidimensionali e il soprastante modulo con elementi finiti monodimensionali, mediante il programma di calcolo SAP2000 (SAP2000® Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA).

I pali sono stati modellati come molle di rigidezza alla traslazione verticale e orizzontale pari alle rigidezze dinamiche riportate sopra.

Le coordinate dei nodi del modello agli elementi finiti sono state assegnate rispetto a un sistema di riferimento globale consistente in una terna destrorsa XYZ definita nel seguente modo: l'asse X è parallelo

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

all'asse longitudinale del turbogruppo (asse di rocking), l'asse Z è verticale ascendente e l'asse Y rimane definito di conseguenza.

Per ogni elemento finito bidimensionale si definisce un sistema di riferimento locale destrorso; nel modello usato per tutti gli elementi il sistema locale è così definito: l'asse locale 1 è parallelo e concorde all'asse globale X, l'asse locale 2 è parallelo e concorde all'asse globale Y e l'asse locale 3 è parallelo e concorde all'asse globale Z.

- Carichi

I carichi verticali e orizzontali con cui sono state determinate le sollecitazioni sulle fondazioni allo Stato Limite Ultimo (SLU) ed i loro cedimenti allo Stato Limite di Esercizio (SLE) sono stati ricavati dai documenti "meccanici" elencati nei paragrafi precedenti, ai quali si rimanda per l'individuazione degli stessi.

In particolare è stato necessario eseguire il seguente cambio di coordinate per passare dagli scarichi "meccanici" delle sovrastrutture metalliche all'assegnazione dei carichi "civili" nei modelli FEM delle fondazioni:

TERNA CIVILE	TERNA MECCANICA
F_X=	F_X
F_Y=	$-F_Z$
F_Z=	F_Y

- Schema dei modelli

Le platee di fondazione sono state modellate attraverso elementi finiti tipo *"shell thin" con mesh* di dimensione circa pari a 0.5x0.5m e spessore pari all'altezza della platea. I pulvini sono costituiti da elementi tipo "shell" o *"frame"* di altezza pari all'altezza di interesse e collegati alle platee attraverso degli elementi privi di peso tipo *"rigid link"* in modo da considerare l'effettiva eccentricità dei carichi applicati all'estradosso dei pulvini rispetto al baricentro delle platee stesse. Il suolo elastico, ove non sono presenti i pali di fondazione, è stato assunto assegnando all'intradosso degli elementi *"shell"* il modulo di Winkler riportato nella relazione geotecnica.

Nelle seguenti immagini sono rappresentati i modelli di calcolo FEM adottati per la progettazione:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

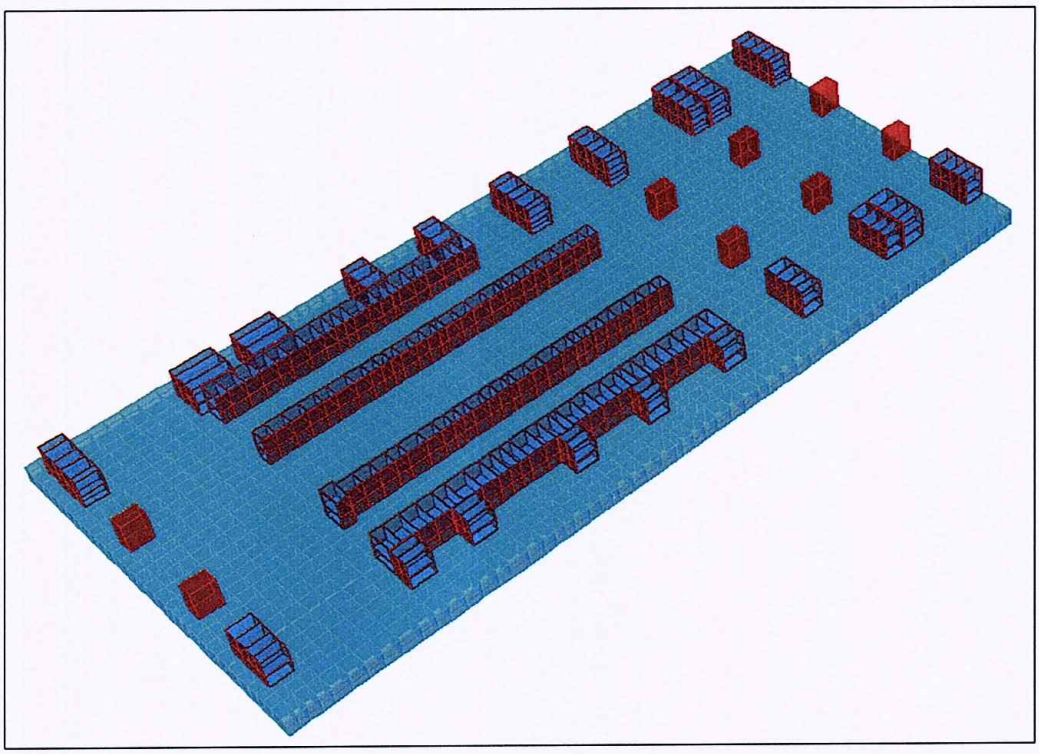


Figura 9: Modello fondazionle platee E,D,A, platea 54,00x25,80 m

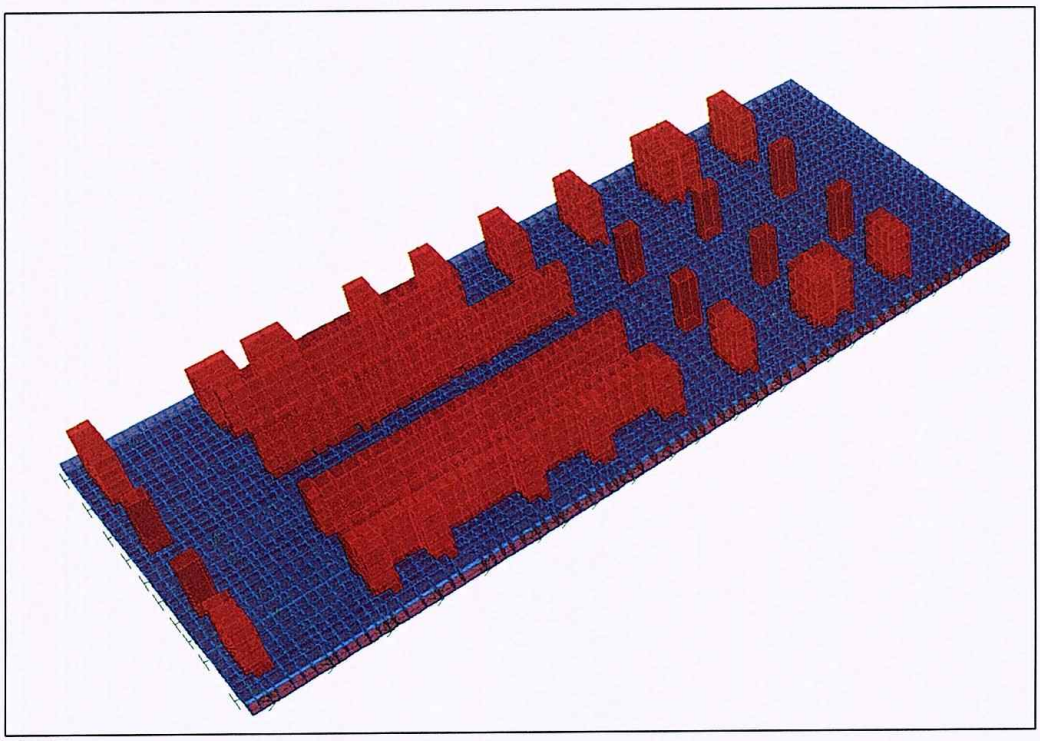


Figura 10: Modello fondazioni PLATEA C, platea 62,00x25,80 m

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

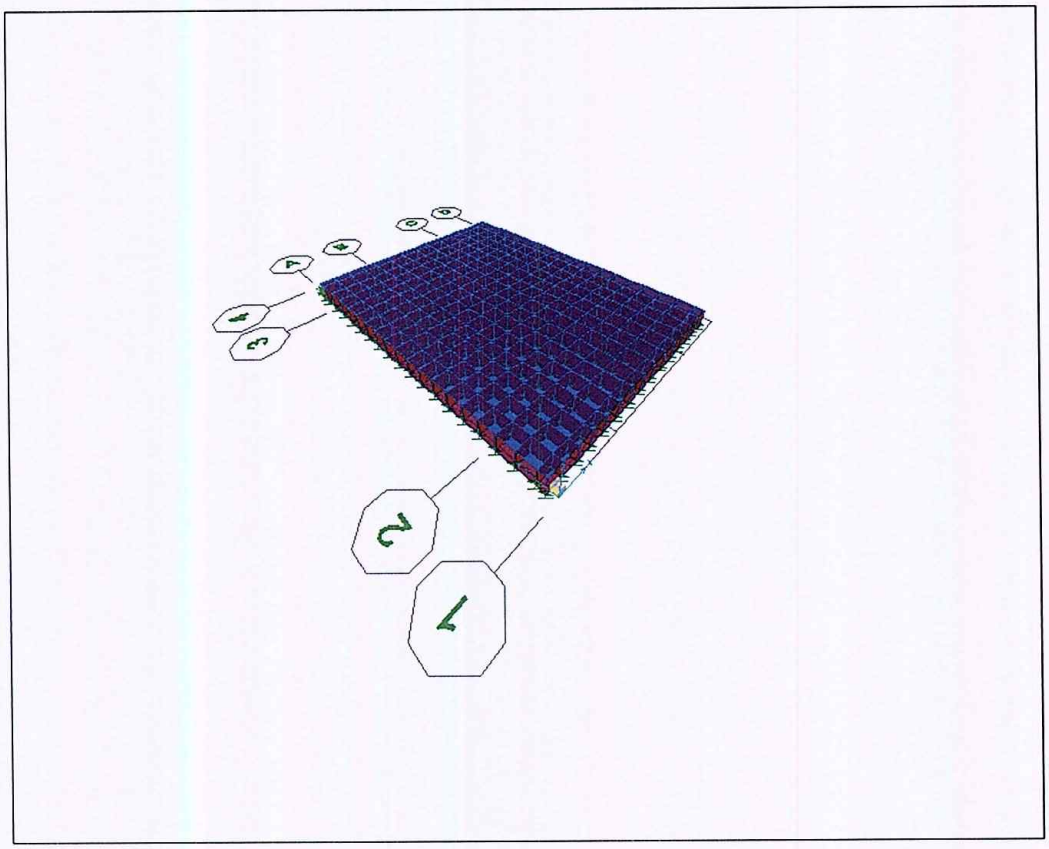


Figura 11: Platea Scambiatori Acque, 6,50x8,50 m

12 OPERE DI FONDAZIONE PLATEE PROVA TIPO A, B, D, E

Per ciascun modulo installato sopra la fondazione, sono state valutate le sollecitazioni agli SLU nella platea di fondazione e nei pali. I valori di tali sollecitazioni sono stati utilizzati per le verifiche di resistenza delle sezioni in c.a. ed il progetto delle armature metalliche.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

12.1 FULL SPEED NO LOAD - PLATEE PLATEE A, D, E: 54,00 m x 25,80 m

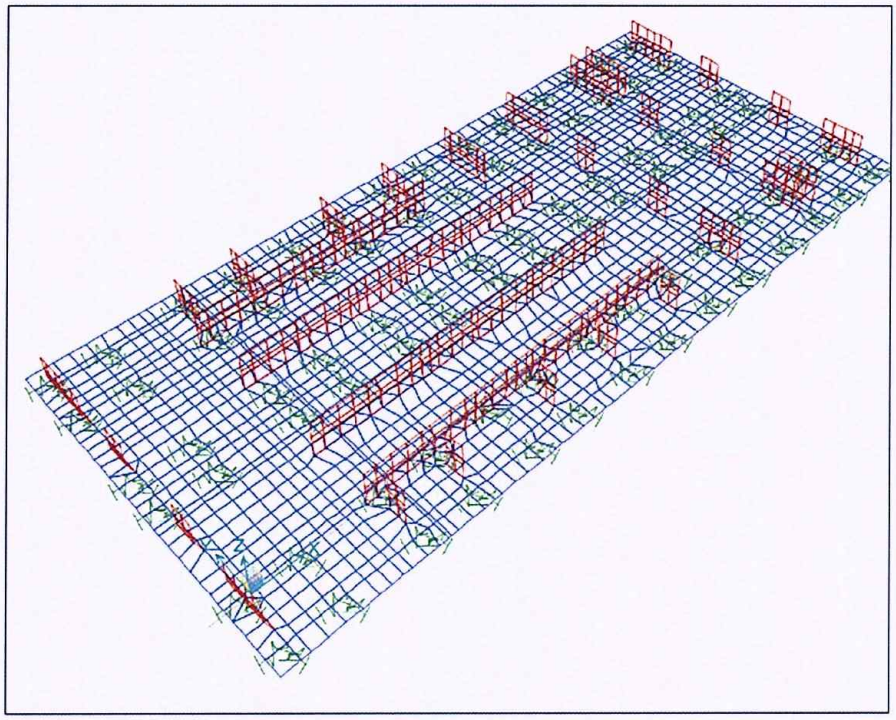


Figura 12: Rappresentazione del modello mediante software

12.1.1 STATO DI FATTO - VERIFICHE

Si elencano le caratteristiche delle platee in oggetto:

- Dimensioni platea: 54,00 m x 25,80 m, altezza H= 1,00 m;
- Calcestruzzo C28/35;
- Armatura superiore ed inferiore ϕ20/20;
- N° pali esistenti = 84 - lunghezza L=18,00 m – diametro D = 800 mm;
- Altezza pulvini = 2,00 m.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

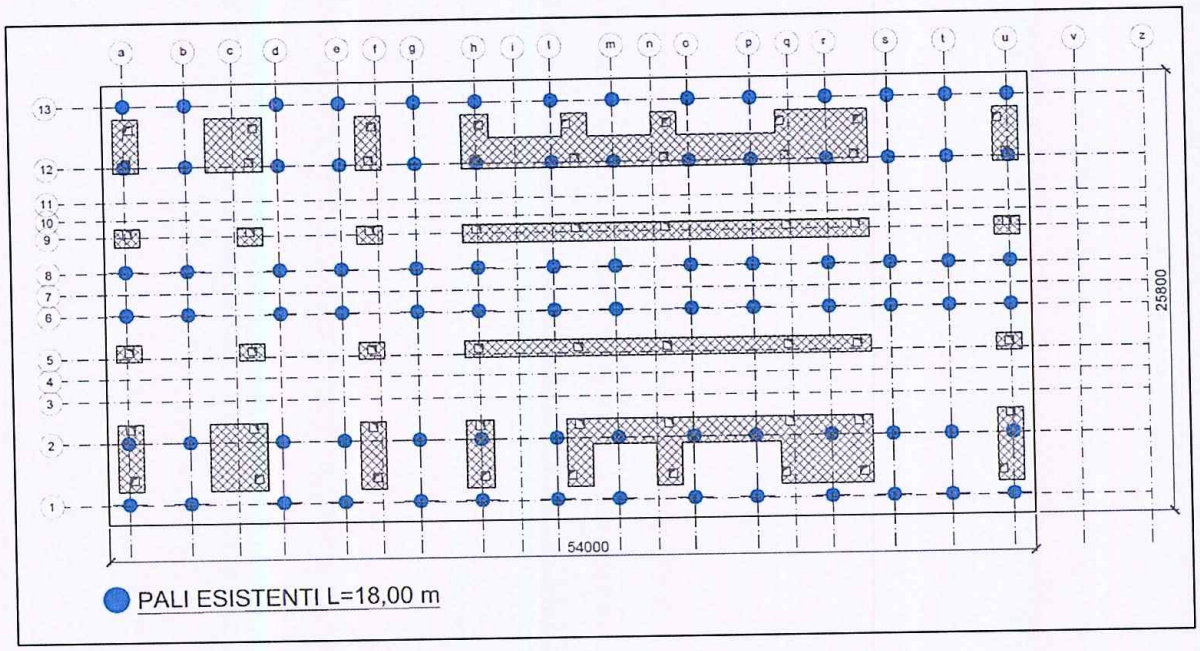
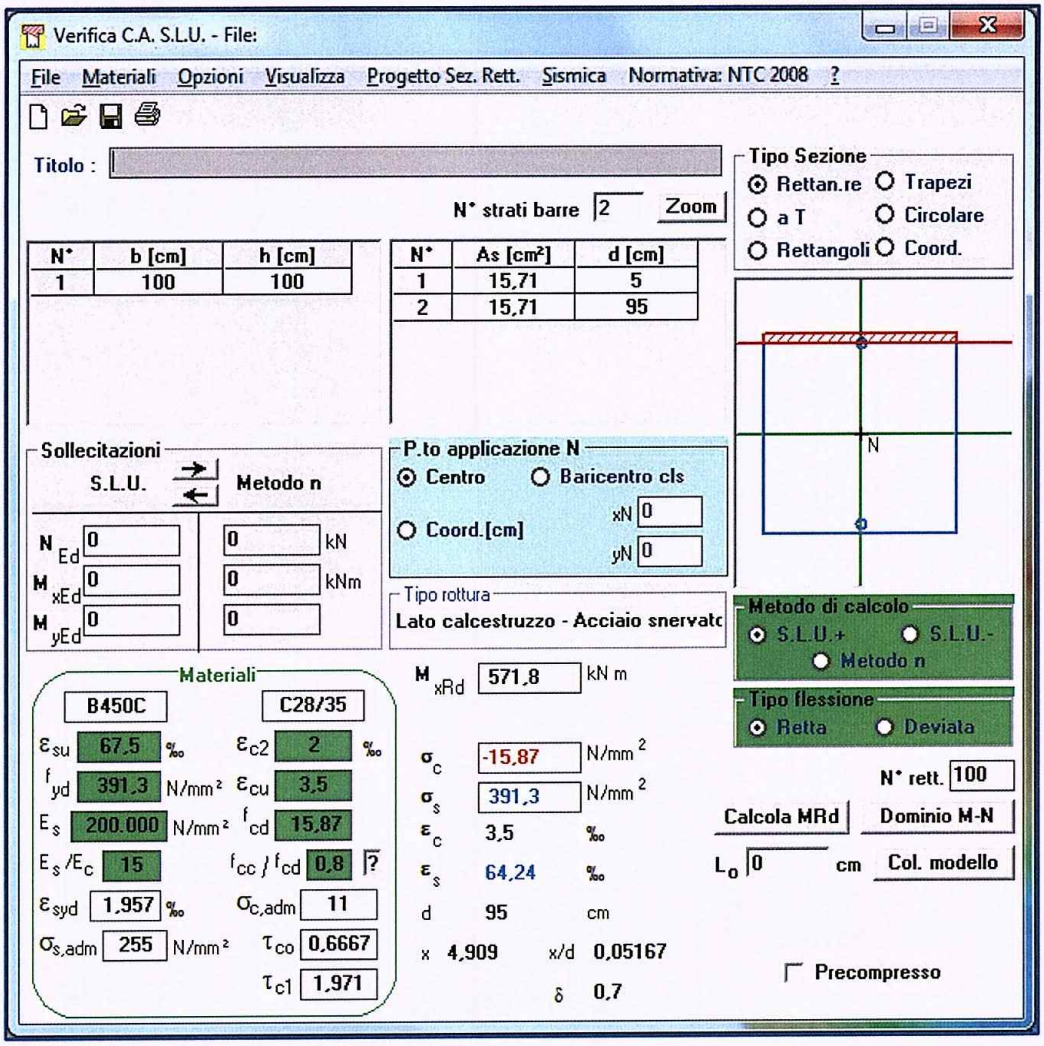


Figura 13: Disposizione pali di fondazione esistenti.

- **VERIFICA A FLESSIONE:**

Si riporta il calcolo della resistenza della platea esistente:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



$M_{11,Rd} = M_{22,Rd}$ = 571,80 kNm

Si riportano di seguito le immagini relative alle sollecitazioni di flessione m11_max/min e m22_max/min in kNm/m sulla platea per la combinazione ENV-SLU:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

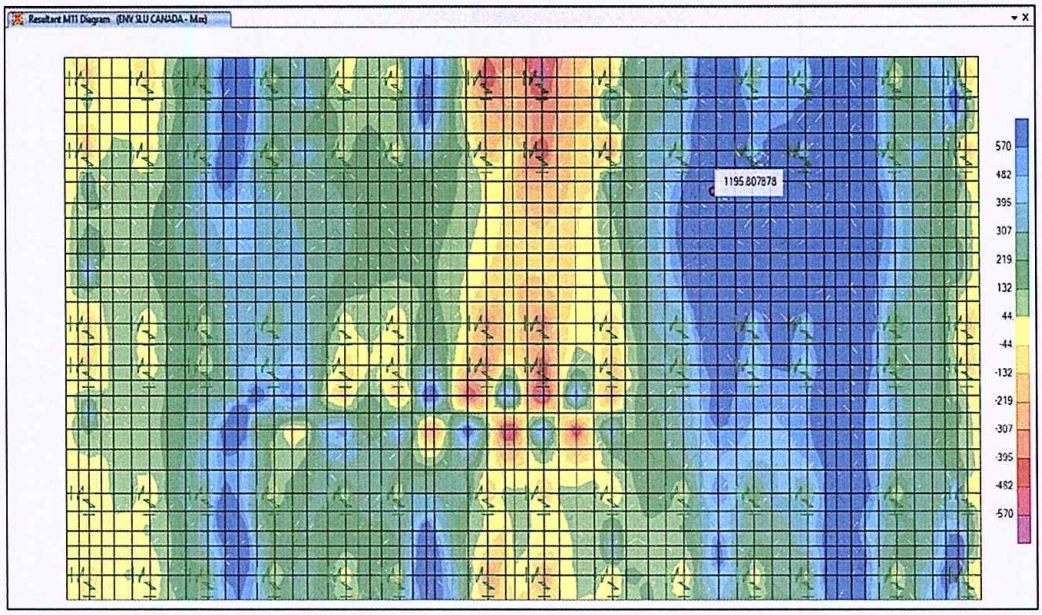


Figura 14: Sollecitazione M11 sulla platea esistente

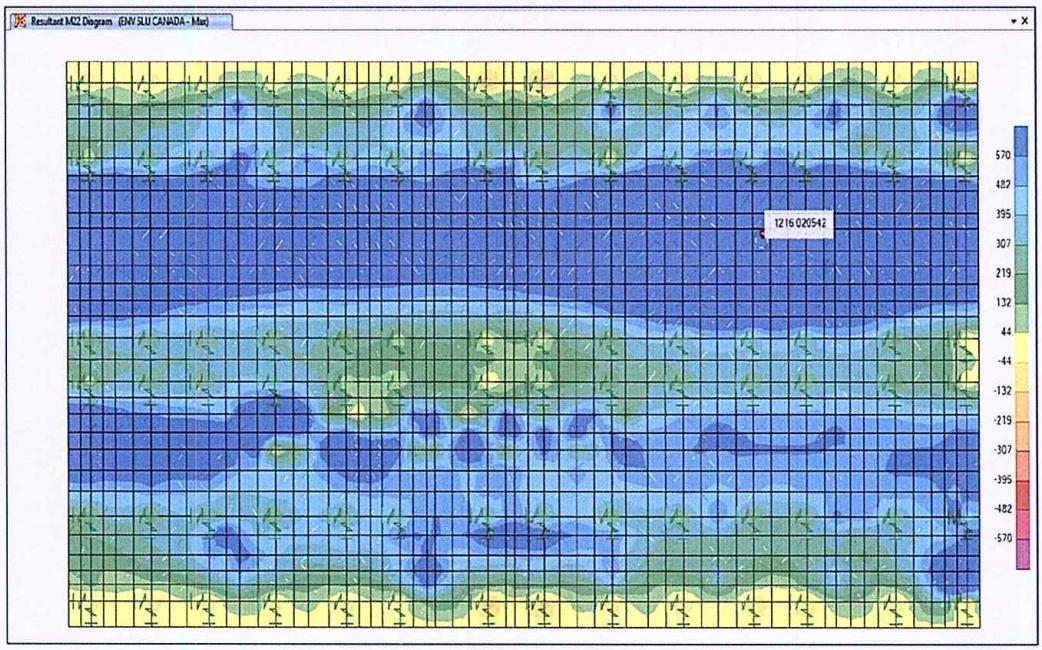


Figura 15: Sollecitazione M22 sulla platea esistente

La sollecitazione massima $M_{Ed,\,max}$ > 1190 kNm/m, pertanto **la verifica non è soddisfatta (FS > 1)**.

- **VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE PALI:**

Le resistenze di progetto a trazione e compressione dei pali esistenti sono le seguenti:

$R_{cd\text{-}compressione}$ = 2200,77 kN

$R_{cd\text{-}trazione}$ = 1126,51 kN

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company. the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Di seguito si illustrano le reazioni sui pali in combinazione SLU:

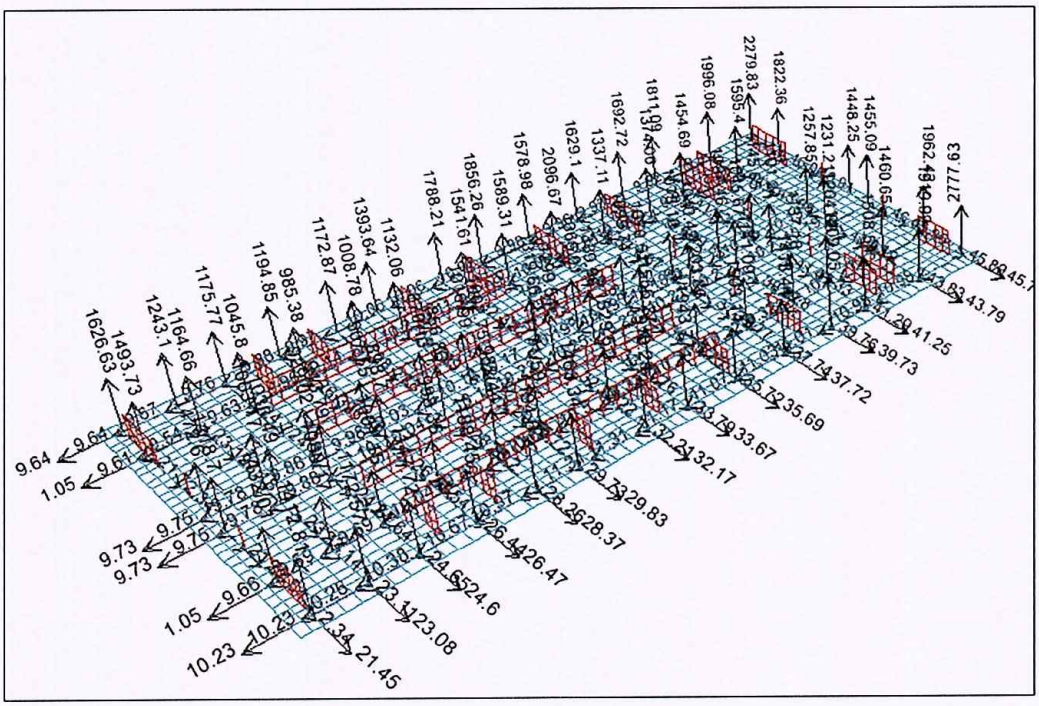


Figura 16: Sollecitazioni sui pali in combinazione SLU - platea esistente

La massima sollecitazione registrata è pari a:

P_{Ed} = 2777,63 kN → **FS >1 la verifica non è soddisfatta.**

12.1.2 STATO DI PROGETTO - VERIFICHE

A seguito dei deficit mostrati, si eseguono la demolizione ed il rifacimento delle suddette platee, oltre all'inserimento di una nuova maglia di pali che va ad intensificare quella esistente, come mostrato in figura:

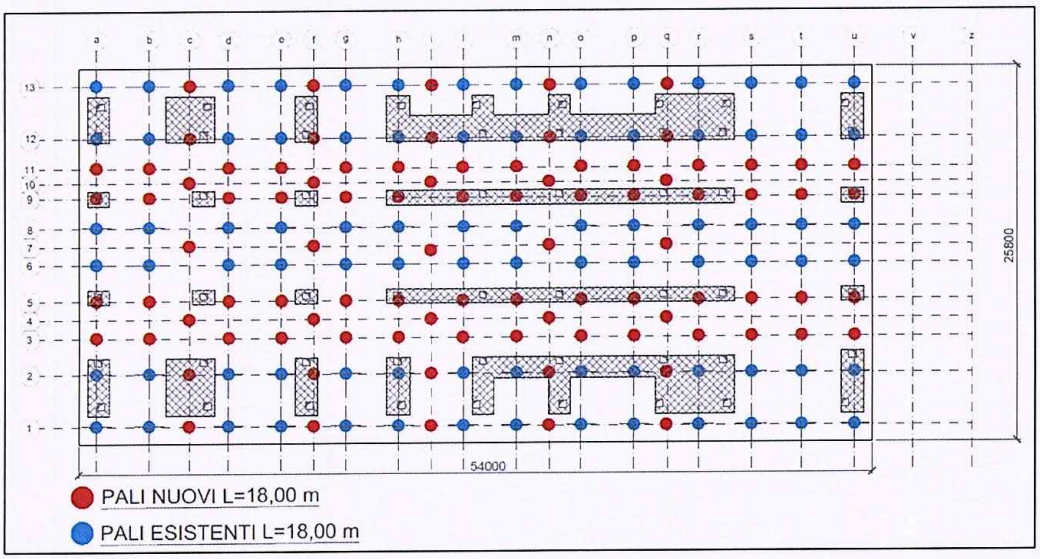


Figura 17: Nuova disposizione pali per platee Full Speed No load

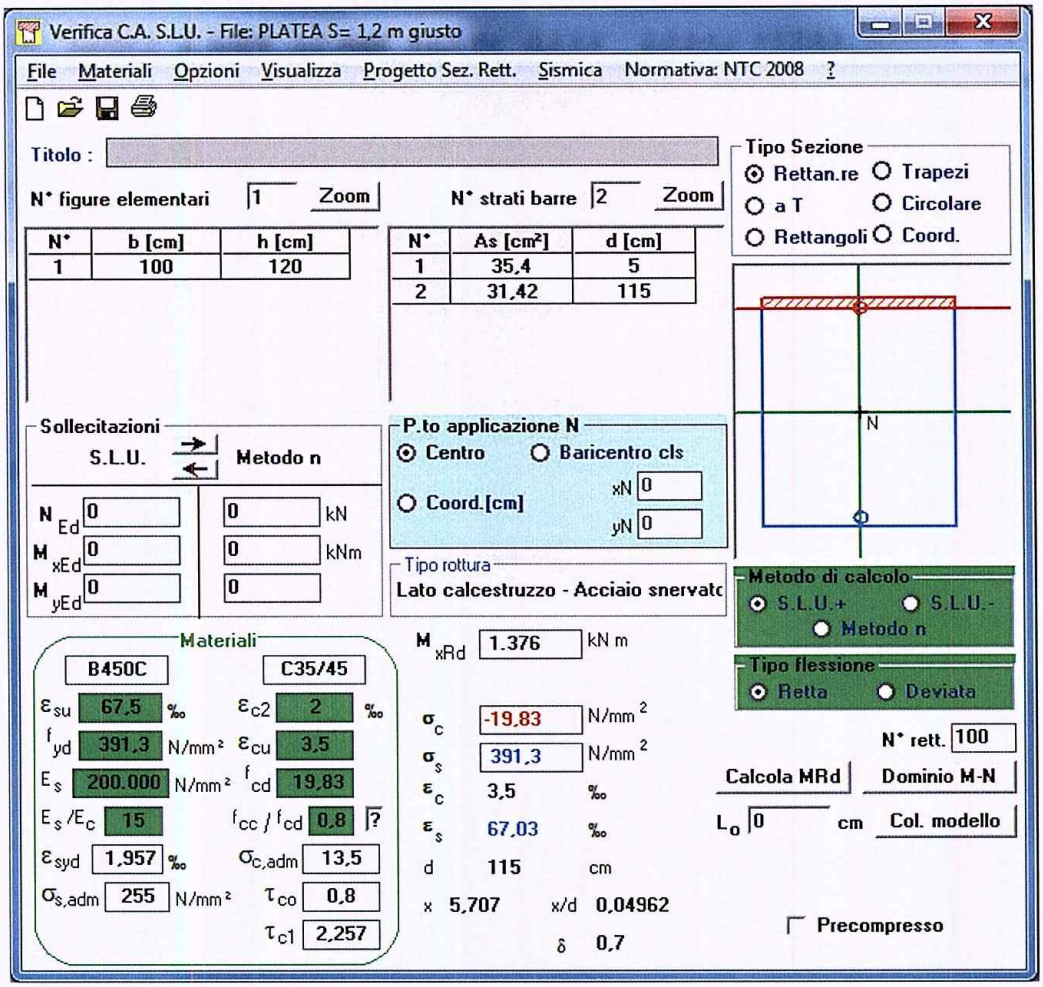
© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Si elencano le nuove caratteristiche dele platee A, D, E:

- Dimensioni platea: 54,00 m x 25,80 m, altezza **H= 1,20 m;**
- Calcestruzzo **C35/45;**
- **Armatura superiore ϕ26/15, armatura inferiore ϕ20/10**;
- N° pali esistenti = 84, lunghezza L=18,00 m – diametro D = 800mm;
- **N° pali aggiuntivi = 91** - lunghezza L18,00 m – diametro D = 800mm → **tot pali = 175;**
- Altezza pulvini = 2,00 m.

➢ **VERIFICA A FLESSIONE:**

Si riporta il calcolo della resistenza della nuova platea:



$M_{11,Rd} = M_{22,Rd}$ = 1376 kNm

Si riportano di seguito le immagini relative alle sollecitazioni di flessione m11_max/min e m22_max/min in kNm/m sulla platea per la combinazione ENV-SLU:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

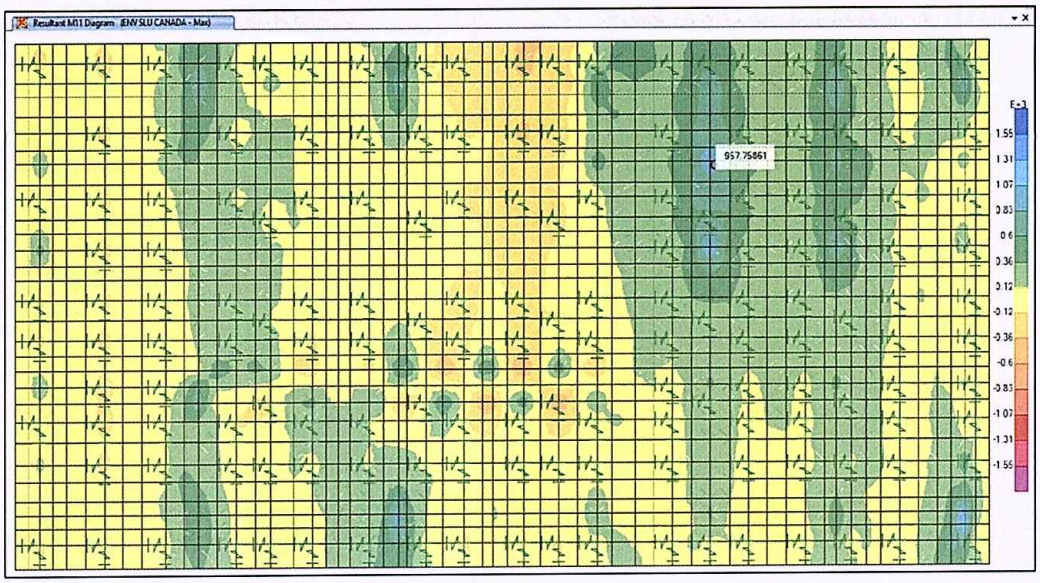


Figura 18: Sollecitazione M11 sulla nuova platea

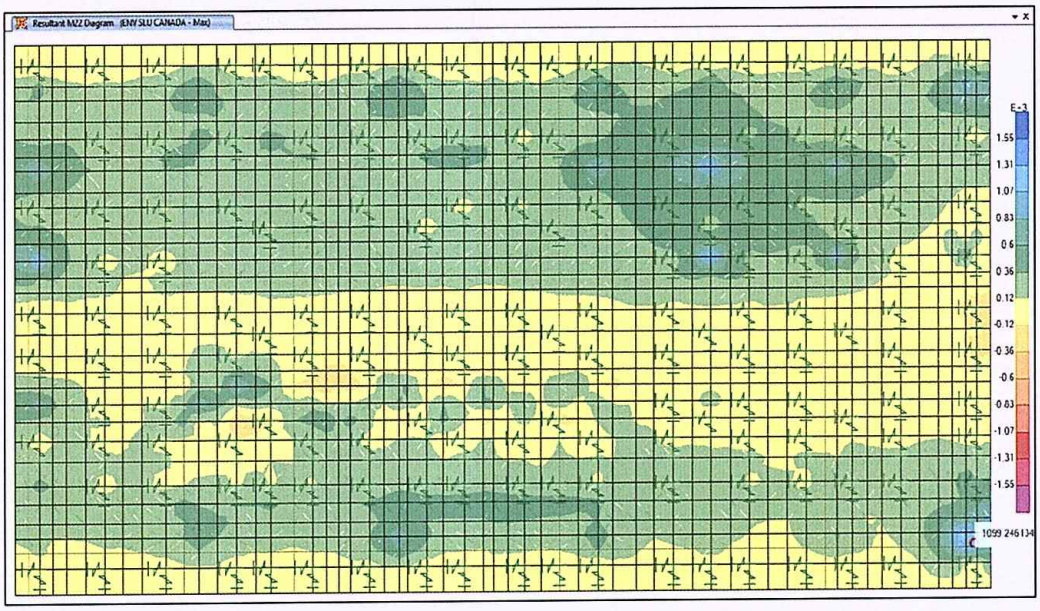


Figura 19: Sollecitazione M22 sulla nuova platea

La sollecitazione massima $M_{Ed,\,max}$ = 1099 kNm/m, pertanto **la verifica è soddisfatta: FS = 0,80.**

- **VERIFICA A TAGLIO**

Il taglio resistente in assenza di armatura si ricava con la seguente formula:

$$V_{Rd} = \left\{0{,}18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}\right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d$$

$$v_{min} = 0{,}035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

Con σ_{cp} = 0 N/mmq nel nostro caso.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

DESCRIZIONE ELEMENTO		
Υ_c	1,5	-
k	1,42	-
ρ_l	0,003	-
fck	35	N/mmq
bw	1000	mm
d	1150	mm
v_min	0,35	-
n	6	-
ϕ	26	mm
As	3185,57	mmq
Vrd=max(Vrd;v_min*bw*d)	**417,0**	**kN**

Il taglio resistente è dunque V_{Rd} = 417,00 kN, maggiore del taglio sollecitante V_{Ed} = 402,00 kN: **la verifica è soddisfatta.**

- **VERIFICA A PUNZONAMENTO**

Il carico massimo sollecitante sui pali è pari a 2104 kN.

- La tensione tangenziale sul contorno del palo è quindi pari a:

$$v_{Ed,0} = \frac{V_{Ed}}{\pi \Phi d} = \frac{2104000}{\pi * 800 * 1150} = 0{,}73\ N/mm^2$$

Che risulta inferiore alla resistenza a punzonamento $V_{Rd,max}$ per un calcestruzzo C35/45:

$$v_{Rd,max} = 3{,}867\ N/mm^2$$

- La tensione tangenziale sul perimetro critico, posto a distanza 2d dal contorno del palo, è invece pari a:

$$v_{Ed,0} = \frac{V_{Ed}}{2\pi Rd} = \frac{2104000}{2\pi * (400 + 2 * 1150) * 1150} = 0{,}11\ N/mm^2$$

Che risulta inferiore alla resistenza per un calcestruzzo C35/45:

$$v_{Rd,c} = 0{,}34\ N/mm^2$$

La verifica è soddisfatta.

- **VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE PALI:**

Le resistenze di progetto a trazione e compressione dei nuovi pali sono le seguenti:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

$R_{cd\text{-}compressione}$ = 2200,77 kN

$R_{cd\text{-}trazione}$ = 1126,506 kN

Di seguito si illustrano le reazioni sui pali in combinazione SLU:

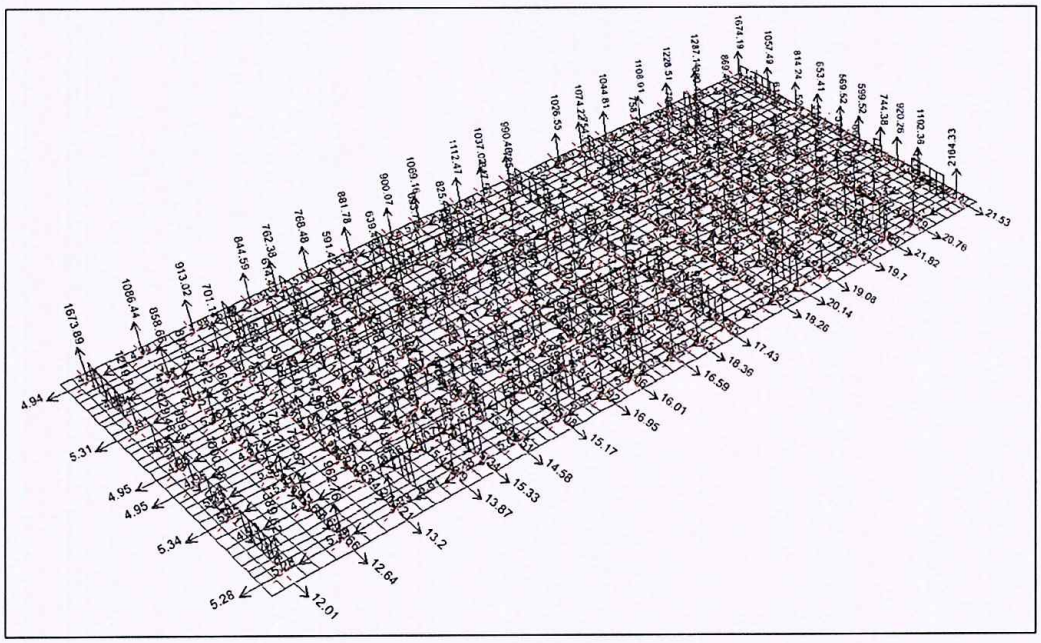


Figura 20: Sollecitazioni sui pali in combinazione SLU – nuova platea

Joint	F3	F3/Rc,d
Text	KN	-
A 01	1674,185	76%
A 02	1057,487	48%
A 03	814,242	37%
A 05	653,411	30%
A 06	569,52	26%
A 08	599,524	27%
A 09	744,377	34%
A 11	920,264	42%
A 12	1192,356	54%
A 13	**2104,331**	**96%**
B 01	1287,144	58%
B 02	869,458	40%
B 03	727,213	33%
B 05	613,967	28%
B 06	521,667	24%
B 08	512,261	23%
B 09	578,145	26%
B 11	660,076	30%
B 12	779,078	35%

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

B 13	1278,063	58%
C 01	1228,505	56%
C 02	860,42	39%
C 04	654,345	30%
C 07	522,659	24%
C 10	543,756	25%
C 12	677,132	31%
C 13	1042,3	47%
D 01	1108,914	50%
D 02	787,998	36%
D 03	684,527	31%
D 05	588,241	27%
D 06	499,79	23%
D 08	473,537	22%
D 09	497,926	23%
D 11	533,255	24%
D 12	586,419	27%
D 13	873,14	40%
E 01	1044,808	47%
E 02	758,145	34%
E 03	664,85	30%
E 05	572,307	26%
E 06	484,758	22%
E 08	457,807	21%
E 09	477,876	22%
E 11	507,953	23%
E 12	550,843	25%
E 13	794,904	36%
F 01	1074,22	49%
F 04	617,924	28%
F 07	490,145	22%
F 10	488,593	22%
F 13	816,034	37%
G 01	1026,553	47%
G 02	754,024	34%
G 03	666,18	30%
G 05	576,25	26%
G 06	489,337	22%
G 08	463,357	21%
G 09	484,637	22%
G 11	514,987	23%
G 12	555,214	25%
G 13	789,554	36%

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

H 01	990,458	45%
H 03	657,438	30%
H 06	497,842	23%
H 08	477,959	22%
H 11	543,216	25%
H 12	588,474	27%
H 13	838,942	38%
I 01	1037,019	47%
I 02	785,711	36%
I 04	641,777	29%
I 07	544,639	25%
I 10	564,019	26%
I 12	675,774	31%
I 13	952,728	43%
L 01	1112,471	51%
L 02	847,555	39%
L 03	778,833	35%
L 06	615,76	28%
L 08	601,233	27%
L 11	703,516	32%
L 12	772,381	35%
L 13	1091,669	50%
M 01	1069,156	49%
M 02	825,715	38%
M 03	757,414	34%
M 06	604,819	27%
M 08	595,185	27%
M 11	708,474	32%
M 12	781,423	36%
M 13	1106,939	50%
N 01	900,071	41%
N 02	693,707	32%
N 04	600,327	27%
N 07	528,293	24%
N 10	545,183	25%
N 12	659,92	30%
N 13	982,018	45%
O 01	881,779	40%
O 02	639,479	29%
O 03	557,786	25%
O 06	493,923	22%
O 08	487,395	22%
O 11	553,604	25%

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

O 12	635,005	29%
O 13	893,655	41%
P 01	768,477	35%
P 02	591,419	27%
P 03	544,723	25%
P 06	439,818	20%
P 08	433,292	20%
P 11	512,792	23%
P 12	549,585	25%
P 13	746,084	34%
Q 01	762,384	35%
Q 04	515,733	23%
Q 07	462,56	21%
Q 10	468,263	21%
Q 12	545,468	25%
Q 13	764,173	35%
R 01	844,593	38%
R 02	614,46	28%
R 03	537,996	24%
R 06	486,588	22%
R 08	485,285	22%
R 11	529,926	24%
R 12	593,606	27%
R 13	792,119	36%
S 01	913,016	41%
S 02	701,145	32%
S 03	647,566	29%
S 05	585,13	27%
S 06	530,497	24%
S 08	525,023	24%
S 09	567,947	26%
S 11	605,845	28%
S 12	640,318	29%
S 13	838,166	38%
T 01	1086,436	49%
T 02	858,661	39%
T 03	810,851	37%
T 05	736,12	33%
T 06	660,679	30%
T 08	647,621	29%
T 09	689,208	31%
T 11	728,709	33%
T 12	759,575	35%

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

T 13	962,758	44%
U 01	1673,89	76%
U 03	1219,838	55%
U 06	1029,446	47%
U 08	999,326	45%
U 11	1000,979	45%
U 13	1389,621	63%

La massima sollecitazione registrata è pari a:

P_{Ed} = 2104,00 kN → **FS = 0,96 la verifica è soddisfatta.**

- **VERIFICA SEZIONE IN C.A. DEI PALI**

Gli sforzi massimi nei pali valgono:

N = 2104 kN

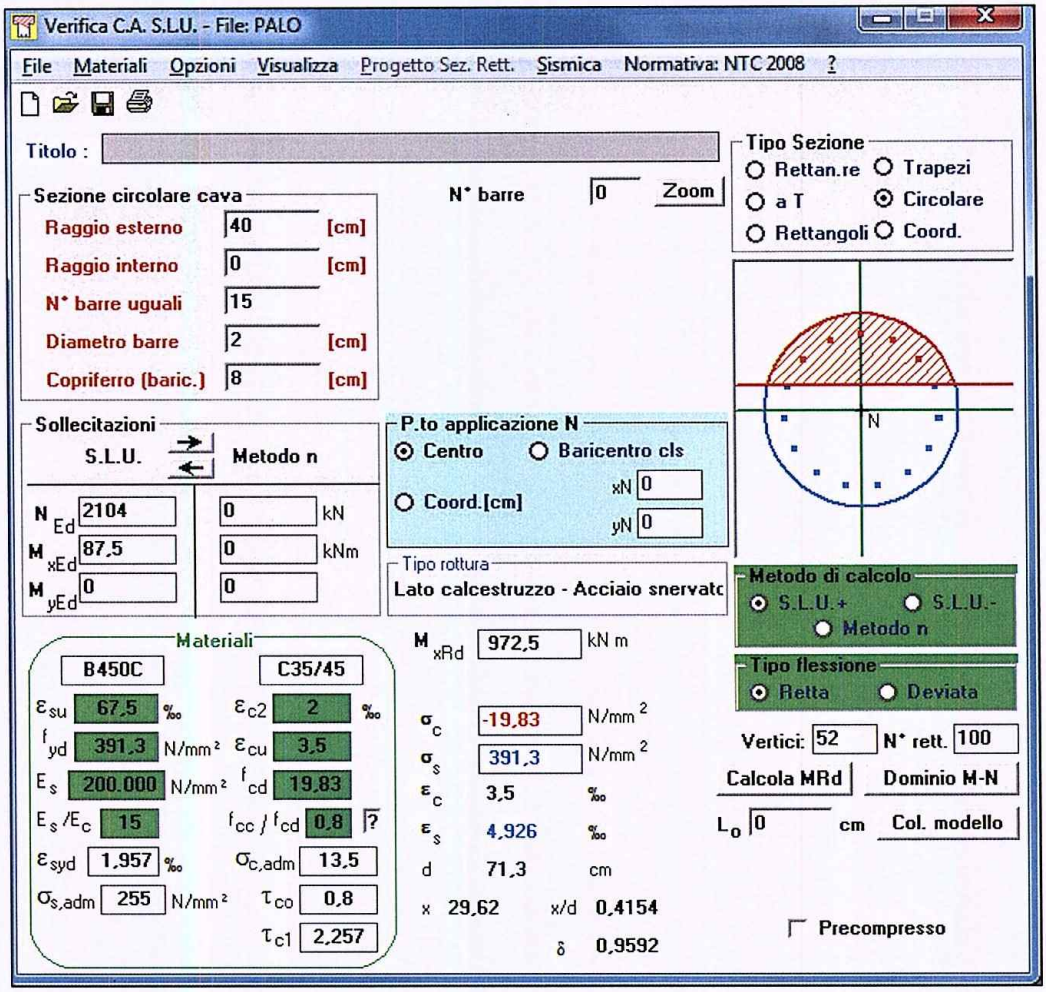
V = 25 kN

Il taglio in testa al palo, considerata la sezione di testa impedita di ruotare, considerando quindi un braccio di 3,5 m pari alla distanza alla quale si forma la cerniera, induce un momento flettente massimo nel palo pari a:

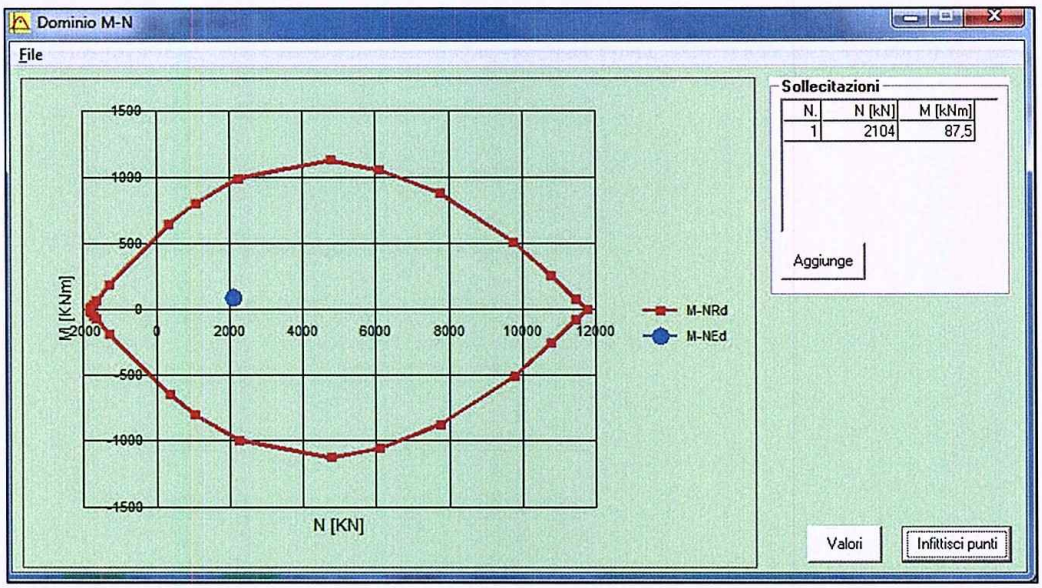
M = 87,5 kNm

Si adotta un'armatura longitudinale costituita da 15ϕ20 e un'armatura trasversale formata da una spirale di 10mm di diametro e passo 150 mm.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



Verifica a pressoflessione:



La verifica è soddisfatta.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company. the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Verifica a taglio:

Si considera una sezione quadrata di lato 56 cm inscritta nella sezione circolare del palo:

caselle in giallo=dati da inserire			
SEZIONE			
b [mm]	560	diametro staffe [mm]	10
h [mm]	560	numero bracci	2
d' [mm]	100	passo staffe [mm]	150
d [mm]	460	A_{sw} [mm^2]	157,0796
f_{ck} [N/mm^2]	35		
f_{cd} [N/mm^2]	19,83333	$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot \sin\alpha$	
f_{yk} [N/mm^2]	450		
f_{yd} [N/mm^2]	391,3043	$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta)/(1 + ctg^2\theta)$	
θ	0,275097		
tan(θ)	0,282254		
cotan(θ)	**3,542911**		
cotan(θ)	2,5		
V_{Rsd} **[kN]**	424,115		
V_{Rcd} **[kN]**	792,7862		
V_{Rd} [kN]	**424,115**	**taglio resistente**	

Il taglio resistente è maggiore di quello sollecitante (V_{Ed} = 25,00 kN), pertanto **la verifica risulta soddisfatta**.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

12.2 FULL SPEED FULL LOAD - PLATEA DI ASSEMBLAGGIO B: 62,00 m x 25,80 m

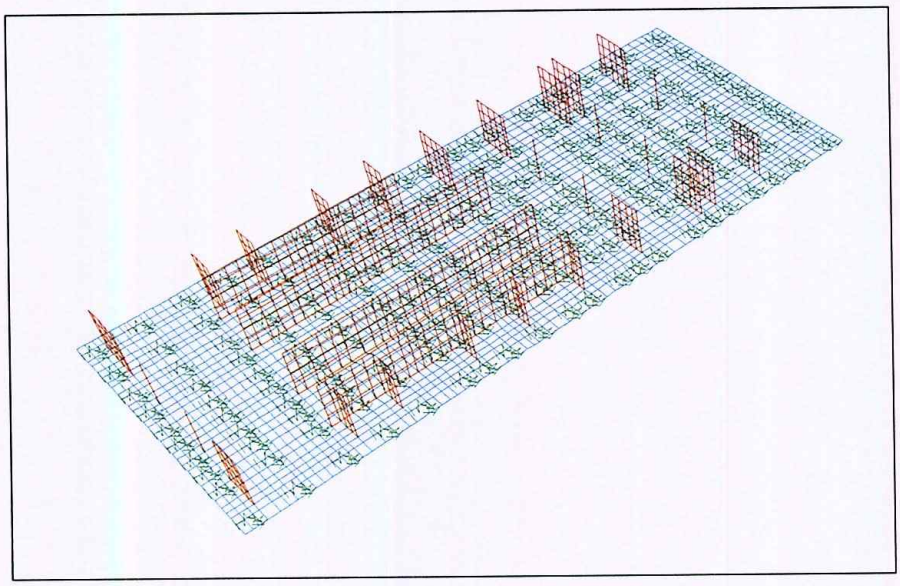


Figura 21: Rappresentazione del modello mediante software

12.2.1 STATO DI FATTO - VERIFICHE

Si illustrano le caratteristiche della platea esistente della platea B:

- Dimensioni platea: 62,00 m x 25,80 m, altezza H= 1,00 m;
- Calcestruzzo C28/35;
- Armatura superiore ed inferiore ϕ20/20;
- N° pali esistenti = 84 - lunghezza L=18,00 m – diametro D = 800 mm;
- Altezza pulvini = 4,70 m.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

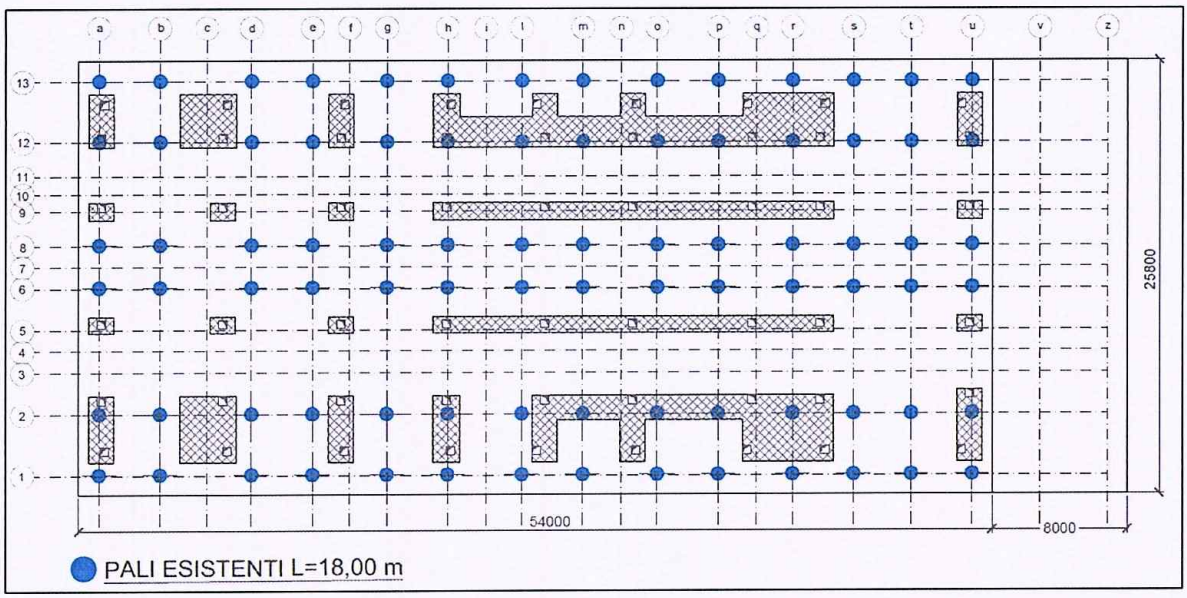
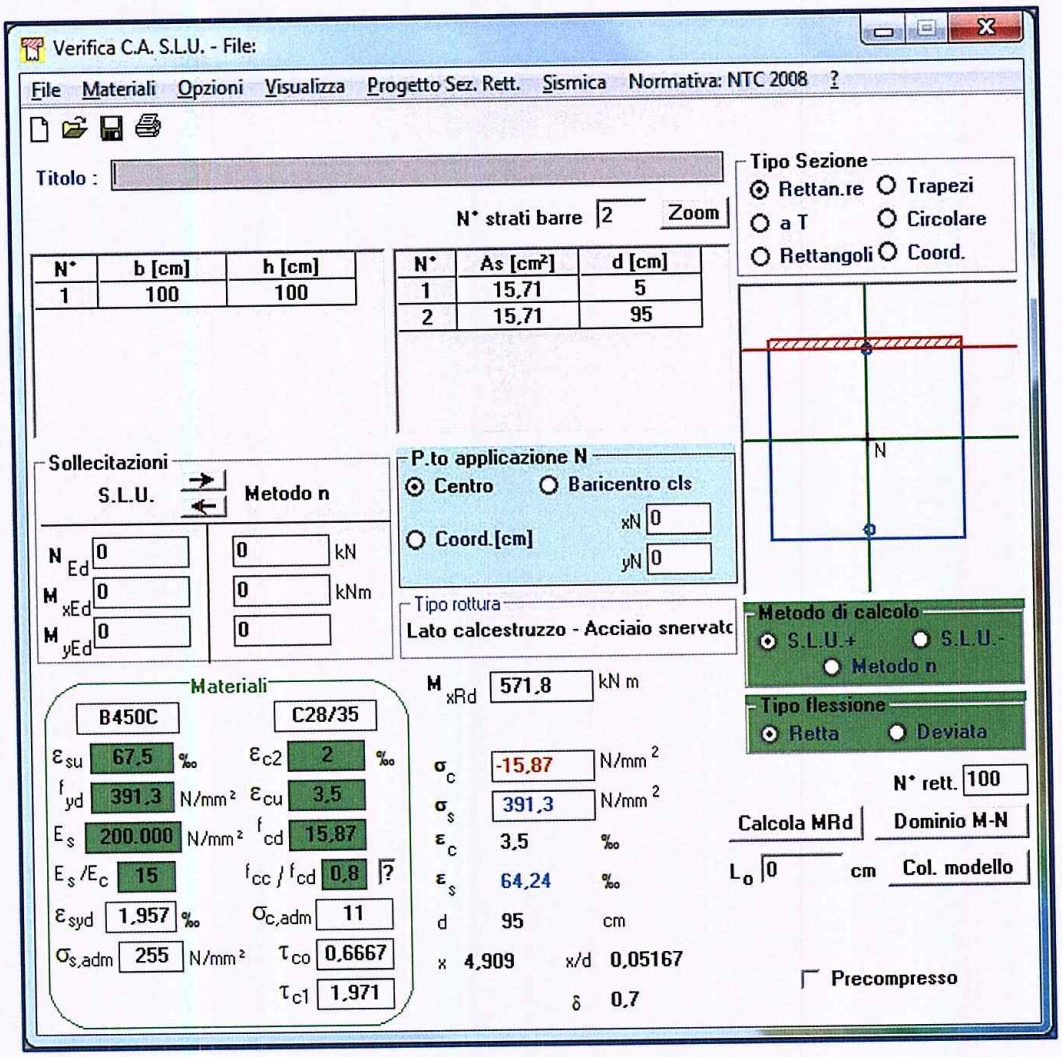


Figura 22: Disposizione pali di fondazione esistenti: l'estensione non presenta pali.

- **VERIFICA A FLESSIONE:**

Si riporta il calcolo della resistenza della platea esistente:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



$M_{11,Rd} = M_{22,Rd}$ = 571,80 kNm

Si riportano di seguito le immagini relative alle sollecitazioni di flessione m11_max/min e m22_max/min in kNm/m sulla platea per la combinazione ENV-SLU:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

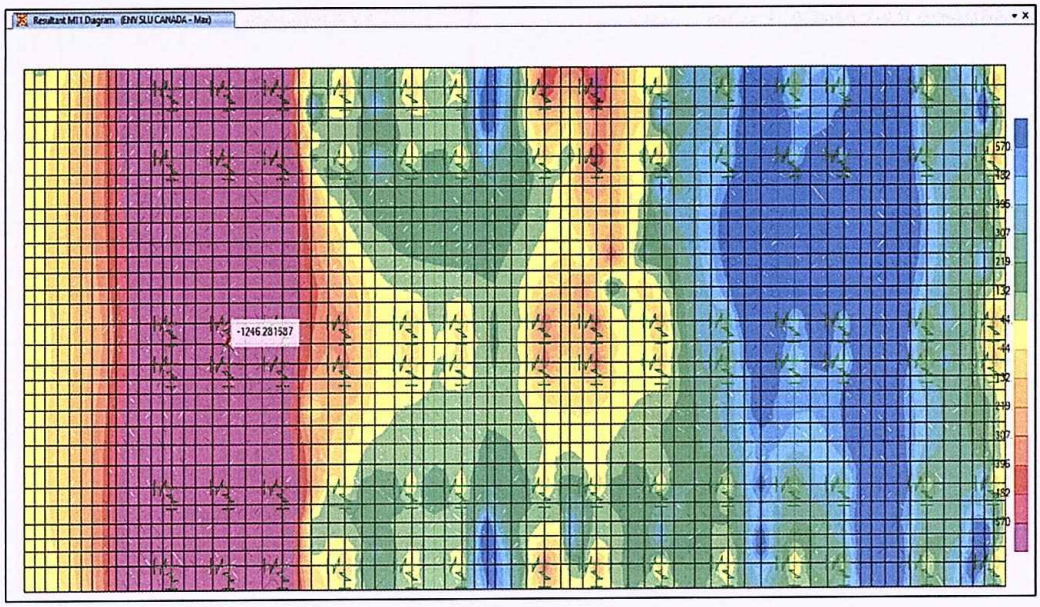


Figura 23: Sollecitazione M11 sulla platea esistente

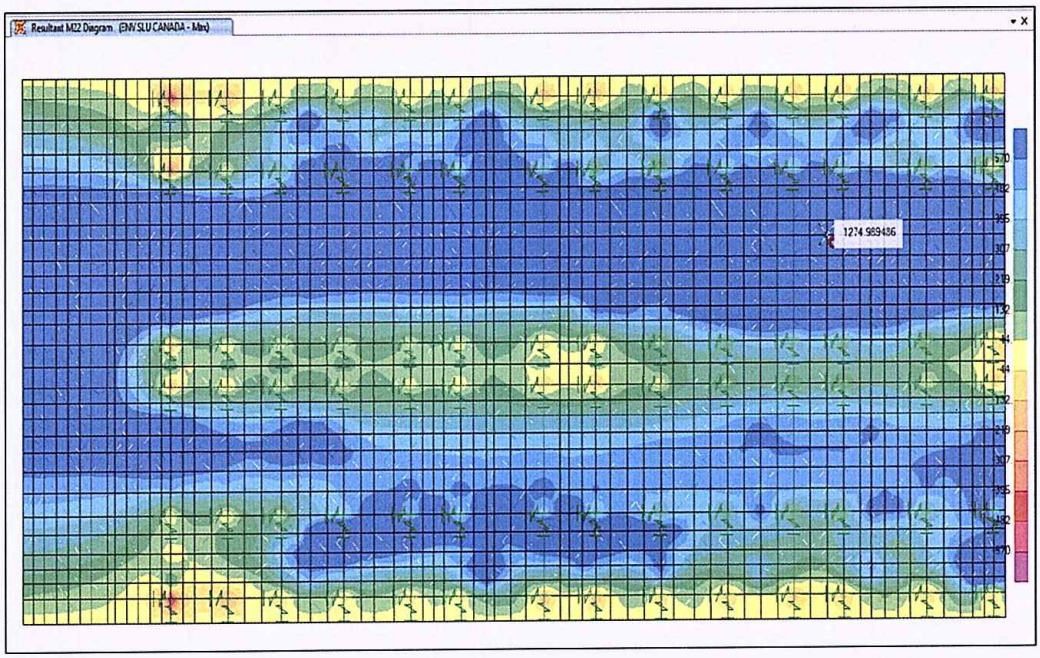


Figura 24: Sollecitazione M22 sulla platea esistente

La sollecitazione massima $M_{Ed,\,max}$ > 1300 kNm/m, pertanto **la verifica non è soddisfatta (FS >> 1)**.

- **VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE PALI:**

Le resistenze di progetto a trazione e compressione dei pali esistenti sono le seguenti:

$R_{cd\text{-}compressione}$ = 2200,77 kN

$R_{cd\text{-}trazione}$ = 1126,51 kN

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Di seguito si illustrano le reazioni sui pali in combinazione SLU:

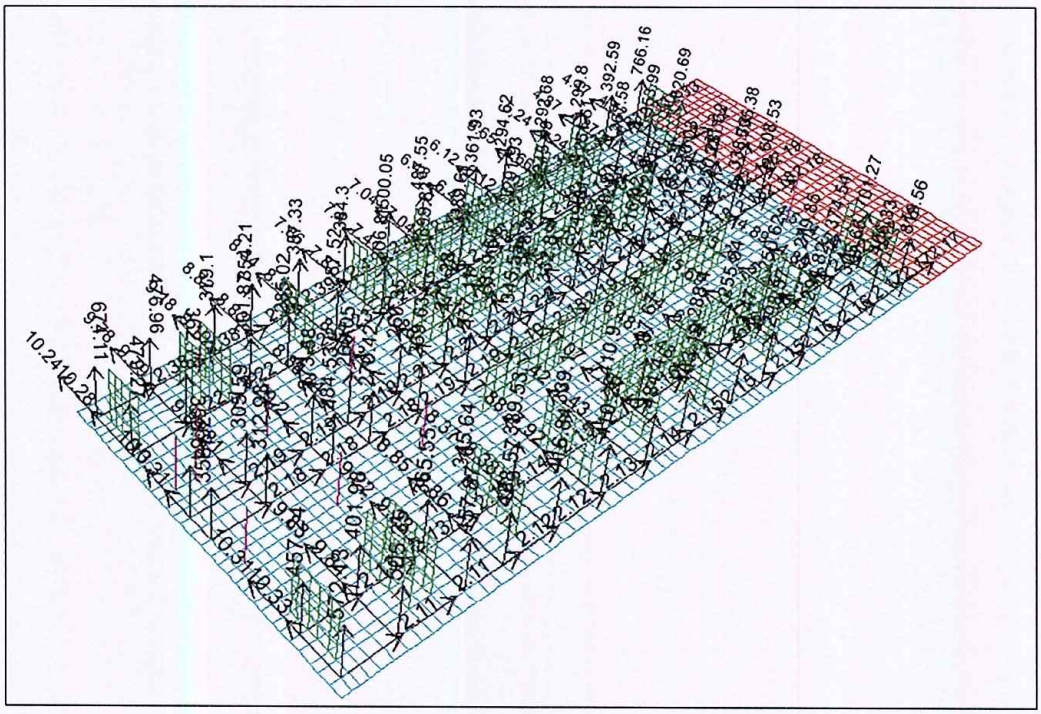


Figura 25: Sollecitazioni sui pali in combinazione SLU - platea esistente

La massima sollecitazione registrata è pari a:

P_{Ed} = 3645,00 kN → **FS >>1 la verifica non è soddisfatta.**

12.2.2 STATO DI PROGETTO - VERIFICHE

A seguito dei deficit mostrati, si eseguono la demolizione ed il rifacimento della suddetta platea, oltre all'inserimento di una nuova maglia di pali che va ad intensificare quella esistente, come mostrato in figura:

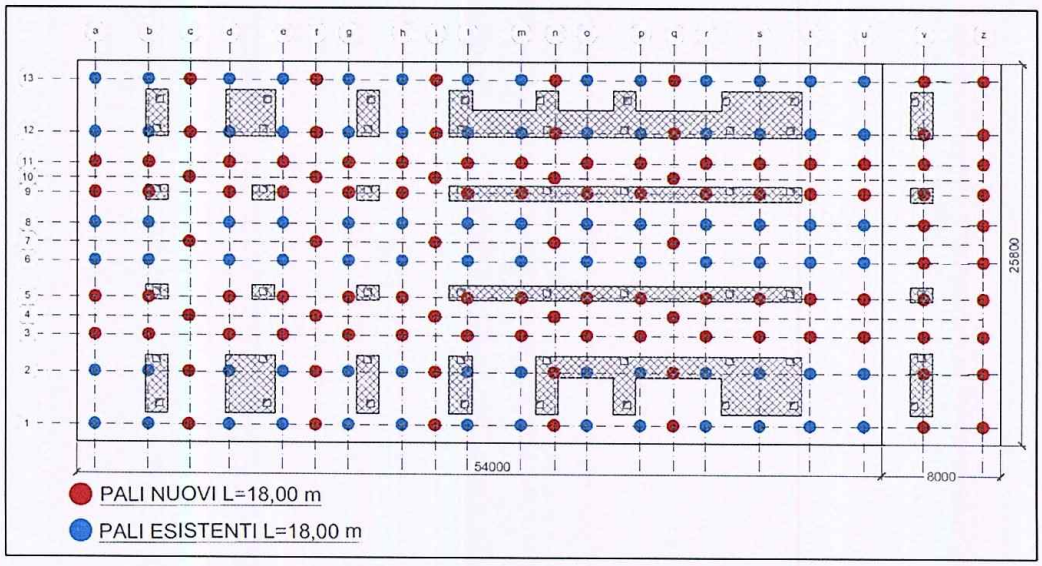


Figura 26: Nuova disposizione pali per platee Full Speed No load

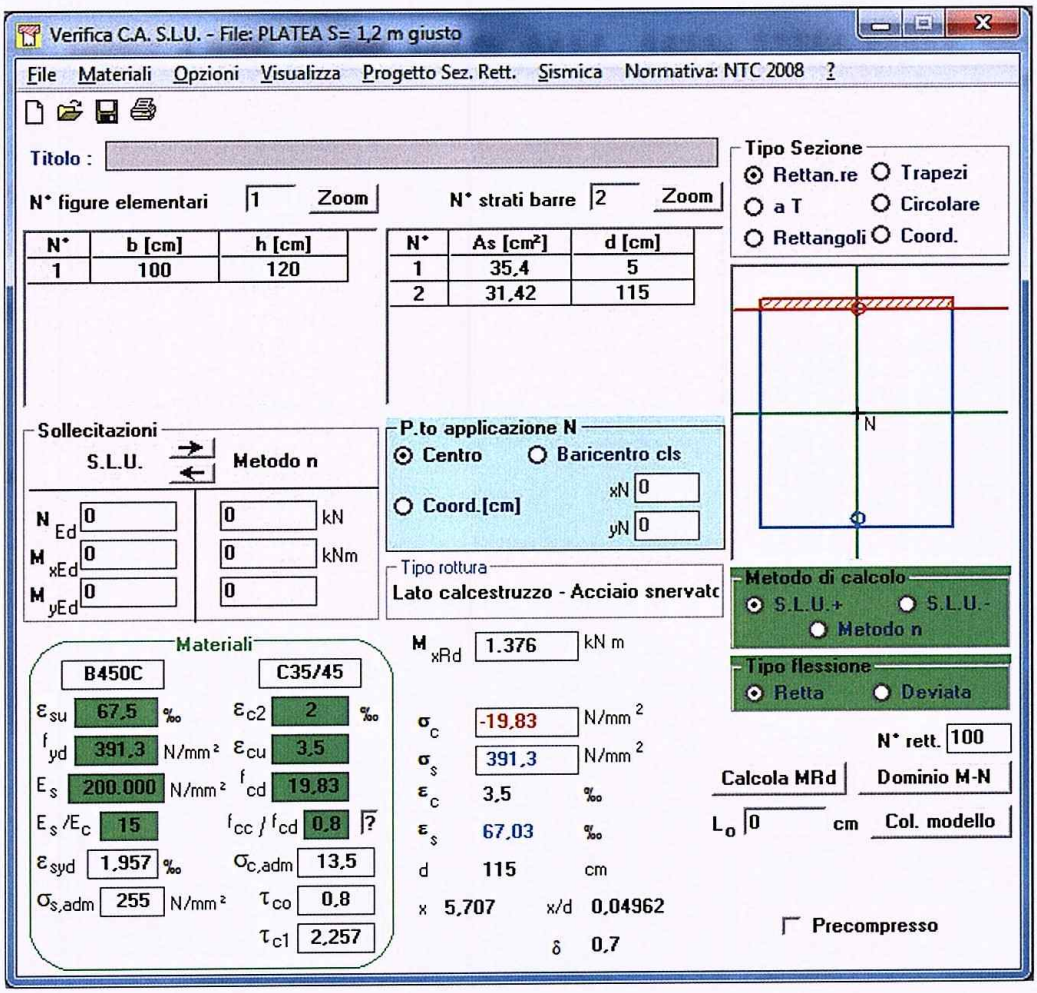
© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Si elencano le nuove caratteristiche della platea B:

- Dimensioni platea: 62,00 m x 25,80 m, altezza **H= 1,20 m;**
- Calcestruzzo **C35/45;**
- **Armatura superiore ϕ26/15, armatura inferiore ϕ20/10**;
- N° pali esistenti = 84, lunghezza L=18,00 m – diametro D = 800mm;
- **N° pali aggiuntivi = 111** - lunghezza L18,00 m – diametro D = 800mm → **tot pali = 195;**
- Altezza pulvini = 4,70 m.

➢ **VERIFICA A FLESSIONE:**

Si riporta il calcolo della resistenza della nuova platea:



$M_{11,Rd} = M_{22,Rd}$ = 1376 kNm

Si riportano di seguito le immagini relative alle sollecitazioni di flessione m11_max/min e m22_max/min in kNm/m sulla platea per la combinazione ENV-SLU:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

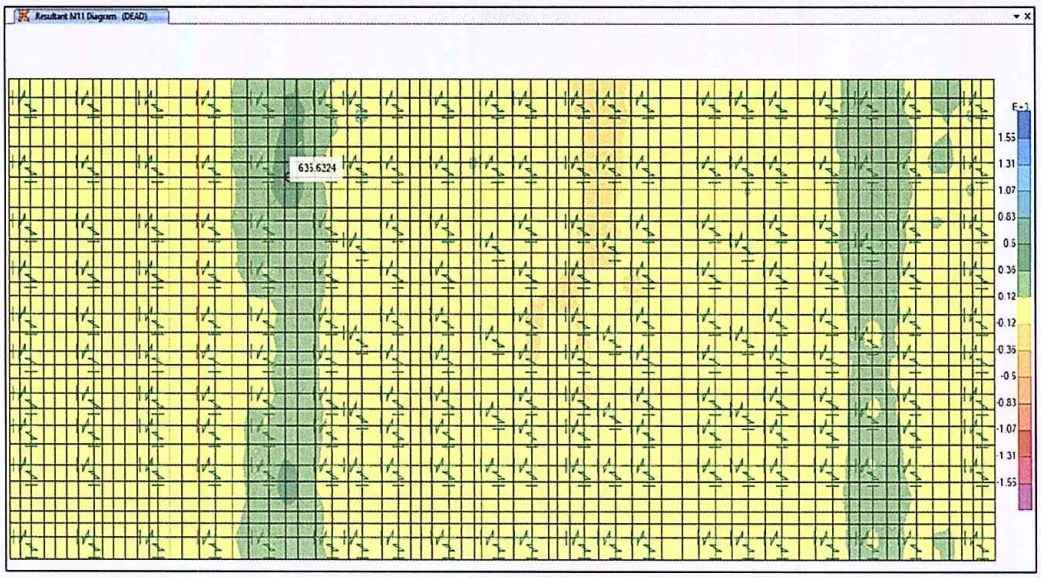


Figura 27: Sollecitazione M11 sulla nuova platea

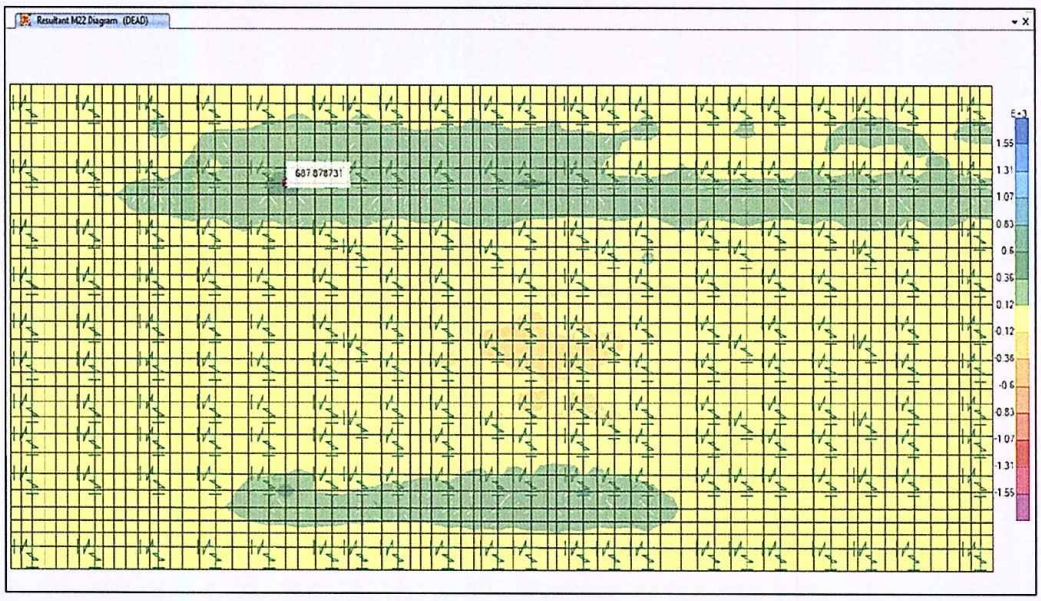


Figura 28: Sollecitazione M22 sulla nuova platea

La sollecitazione massima $M_{Ed,\,max}$ = 690,00 kNm/m, pertanto **la verifica è soddisfatta: FS = 0,50.**

- **VERIFICA A TAGLIO:**

Il taglio resistente in assenza di armatura si ricava con la seguente formula:

$$V_{Rd} = \left\{0{,}18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}\right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0{,}15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d$$

$$v_{min} = 0{,}035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Con σ_{cp} = 0 N/mmq nel nostro caso.

DESCRIZIONE ELEMENTO		
Υ_c	1,5	-
k	1,42	-
ρ_l	0,003	-
fck	35	N/mmq
bw	1000	mm
d	1150	mm
v_min	0,35	-
n	6	-
ϕ	26	mm
As	3185,57	mmq
Vrd=max(Vrd;v_min*bw*d)	**417,0**	**kN**

Il taglio resistente è dunque V_{Rd} = 417,00 kN, maggiore del taglio sollecitante V_Ed = 410,00 kN: **la verifica è soddisfatta.**

- **VERIFICA A PUNZONAMENTO**

Il carico massimo sollecitante sui pali è pari a 1628 kN.

- La tensione tangenziale sul contorno del palo è quindi pari a:

$$v_{Ed,0} = \frac{V_{Ed}}{\pi \Phi d} = \frac{1628000}{\pi * 800 * 1150} = 0{,}56\ N/mm^2$$

Che risulta inferiore alla resistenza a punzonamento $V_{Rd,max}$ per un calcestruzzo C35/45:

$$v_{Rd,max} = 3{,}867\ N/mm^2$$

- La tensione tangenziale sul perimetro critico, posto a distanza 2d dal contorno del palo, è invece pari a:

$$v_{Ed,0} = \frac{V_{Ed}}{2\pi Rd} = \frac{1628000}{2\pi * (400 + 2 * 1150) * 1150} = 0{,}08\ N/mm^2$$

Che risulta inferiore alla resistenza per un calcestruzzo C35/45:

$$v_{Rd,c} = 0{,}34\ N/mm^2$$

La verifica è soddisfatta.

- **VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE PALI:**

Le resistenze di progetto a trazione e compressione dei nuovi pali sono le seguenti:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

$R_{cd\text{-}compressione}$ = 2200,77 kN

$R_{cd\text{-}trazione}$ = 1126,506 kN

Di seguito si illustrano le reazioni sui pali in combinazione SLU:

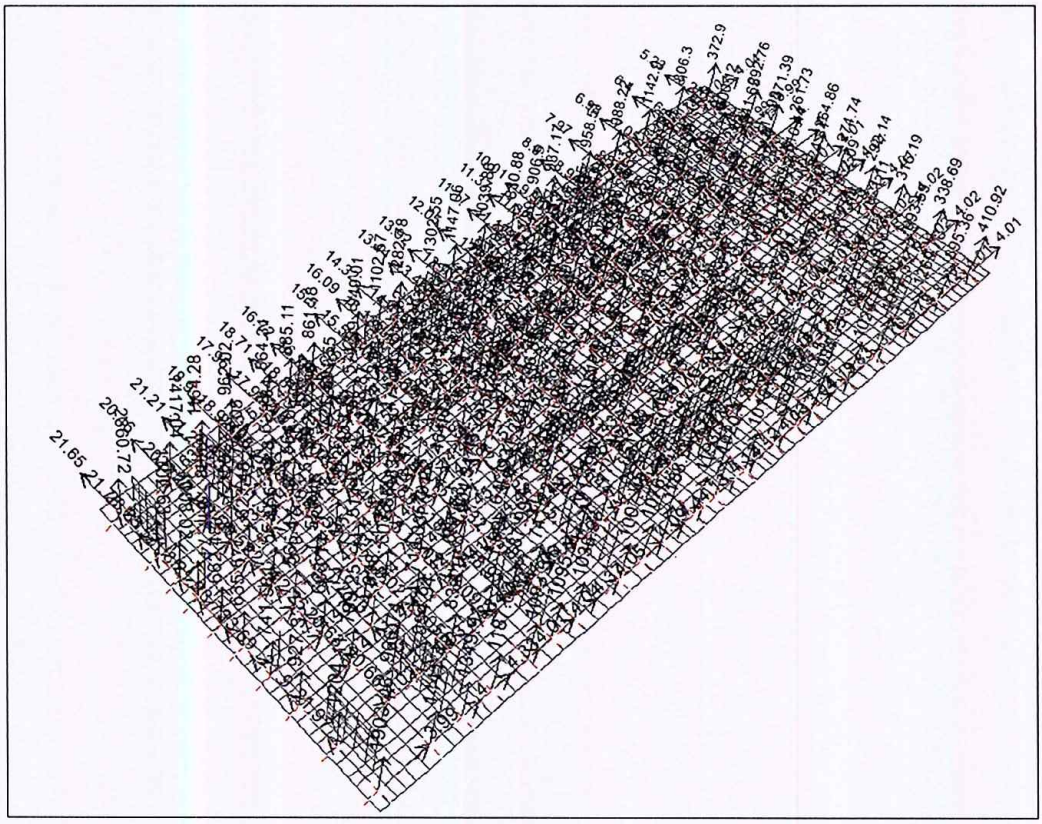


Figura 29: Sollecitazioni sui pali in combinazione SLU – nuova platea

Joint	F3	F3/Rc,d
Text	KN	-
A 01	587,582	27%
A 02	397,65	18%
A 03	354,24	16%
A 05	318	14%
A 06	281,928	13%
A 08	274,106	12%
A 09	310,949	14%
A 11	357,814	16%
A 12	439,672	20%
A 13	806,223	37%
B 01	868,754	39%
B 02	592,687	27%
B 03	503,547	23%
B 05	433,75	20%

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

B 06	380,833	17%
B 08	385,906	18%
B 09	444,383	20%
B 11	512,264	23%
B 12	610,172	28%
B 13	1025,949	47%
C 01	1025,976	47%
C 02	702,927	32%
C 04	525,885	24%
C 07	444,347	20%
C 10	519,799	24%
C 12	695	32%
C 13	1140,366	52%
D 01	1040,646	47%
D 02	713,873	32%
D 03	604,424	27%
D 05	519,287	24%
D 06	449,127	20%
D 08	445,213	20%
D 09	501,039	23%
D 11	566,689	26%
D 12	662,442	30%
D 13	1065,417	48%
E 01	1059,188	48%
E 02	741,974	34%
E 03	637,504	29%
E 05	547,071	25%
E 06	469,621	21%
E 08	454,003	21%
E 09	497,777	23%
E 11	550,965	25%
E 12	625,56	28%
E 13	963,177	44%
F 01	1129,918	51%
F 02	803,653	37%
F 04	615,999	28%
F 07	496,176	23%
F 10	519,921	24%
F 12	640,77	29%
F 13	965,366	44%
G 01	1110,006	50%
G 02	792,705	36%
G 03	689,949	31%

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

G 05	594,257	27%
G 06	506,565	23%
G 08	483,153	22%
G 09	514,452	23%
G 11	555,831	25%
G 12	614,883	28%
G 13	920,147	42%
H 01	1132,9	51%
H 02	821,709	37%
H 03	722,341	33%
H 05	623,436	28%
H 06	528,502	24%
H 08	502,161	23%
H 09	531,99	24%
H 11	573,389	26%
H 12	632,997	29%
H 13	944,979	43%
I 01	1237,999	56%
I 02	905,577	41%
I 04	706,976	32%
I 07	564,412	26%
I 10	582,744	26%
I 12	711,71	32%
I 13	1066,631	48%
L 01	1359,816	62%
L 02	983,751	45%
L 03	856,845	39%
L 05	734,991	33%
L 06	625,368	28%
L 08	600,453	27%
L 09	647,234	29%
L 11	709,354	32%
L 12	801,718	36%
L 13	1220,944	55%
M 01	1288,164	59%
M 02	919,68	42%
M 03	790,229	36%
M 05	673,276	31%
M 06	578,888	26%
M 08	565,56	26%
M 09	624,889	28%
M 11	699,302	32%
M 12	811,029	37%

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

M 13	1250,991	57%
N 01	1037,148	47%
N 02	746,803	34%
N 04	591,764	27%
N 07	489,532	22%
N 10	525,714	24%
N 12	683,012	31%
N 13	1098,447	50%
O 01	990,617	45%
O 02	675,752	31%
O 03	547,646	25%
O 05	488,082	22%
O 06	445,437	20%
O 08	442,643	20%
O 09	475,436	22%
O 11	538,351	24%
O 12	656,781	30%
O 13	1011,144	46%
P 01	879,019	40%
P 02	619,224	28%
P 03	523,465	24%
P 05	444,635	20%
P 06	387,168	18%
P 08	385,769	18%
P 09	437,306	20%
P 11	496,175	23%
P 12	574,955	26%
P 13	888,022	40%
Q 01	873,414	40%
Q 02	609,285	28%
Q 04	474,654	22%
Q 07	399,052	18%
Q 10	436,629	20%
Q 12	566,944	26%
Q 13	922,536	42%
R 01	946,65	43%
R 02	623,877	28%
R 03	500,381	23%
R 05	450,073	20%
R 06	414,601	19%
R 08	415,35	19%
R 09	447,19	20%
R 11	504,112	23%

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

R 12	609,821	28%
R 13	943,918	43%
S 01	1002,322	46%
S 02	692,549	31%
S 03	584,103	27%
S 05	500,253	23%
S 06	442,849	20%
S 08	446,112	20%
S 11	569,285	26%
S 12	650,561	30%
S 13	986,911	45%
T 01	1185,341	54%
T 02	816,327	37%
T 03	686,148	31%
T 05	586,102	27%
T 06	520,999	24%
T 08	527,742	24%
T 09	599,776	27%
T 11	675,592	31%
T 12	770,684	35%
T 13	1164,695	53%
U 01	**1628,397**	**74%**
U 02	1130,452	51%
U 03	913,584	42%
U 05	784,696	36%
U 06	733,645	33%
U 08	740,222	34%
U 09	796,102	36%
U 11	848,129	39%
U 12	1015,501	46%
U 13	1583,993	72%
V 01	1475,006	67%
V 02	1087,451	49%
V 03	929,093	42%
V 05	819,009	37%
V 06	763,437	35%
V 08	754,355	34%
V 09	784,943	36%
V 11	854,93	39%
V 12	983,31	45%
V 13	1392,385	63%
Z 01	1112,479	51%
Z 02	854,892	39%

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Z 03	754,909	34%
Z 05	676,202	31%
Z 06	621,841	28%
Z 08	605,268	28%
Z 09	616,809	28%
Z 11	652,304	30%
Z 12	721,977	33%
Z 13	964,096	44%

La massima sollecitazione registrata è pari a:

P_{Ed} = 1628,40 kN → **FS = 0,74 la verifica è soddisfatta.**

- **VERIFICA SEZIONE IN C.A. DEI PALI**

Gli sforzi massimi nei pali valgono:

N = 1628 kN

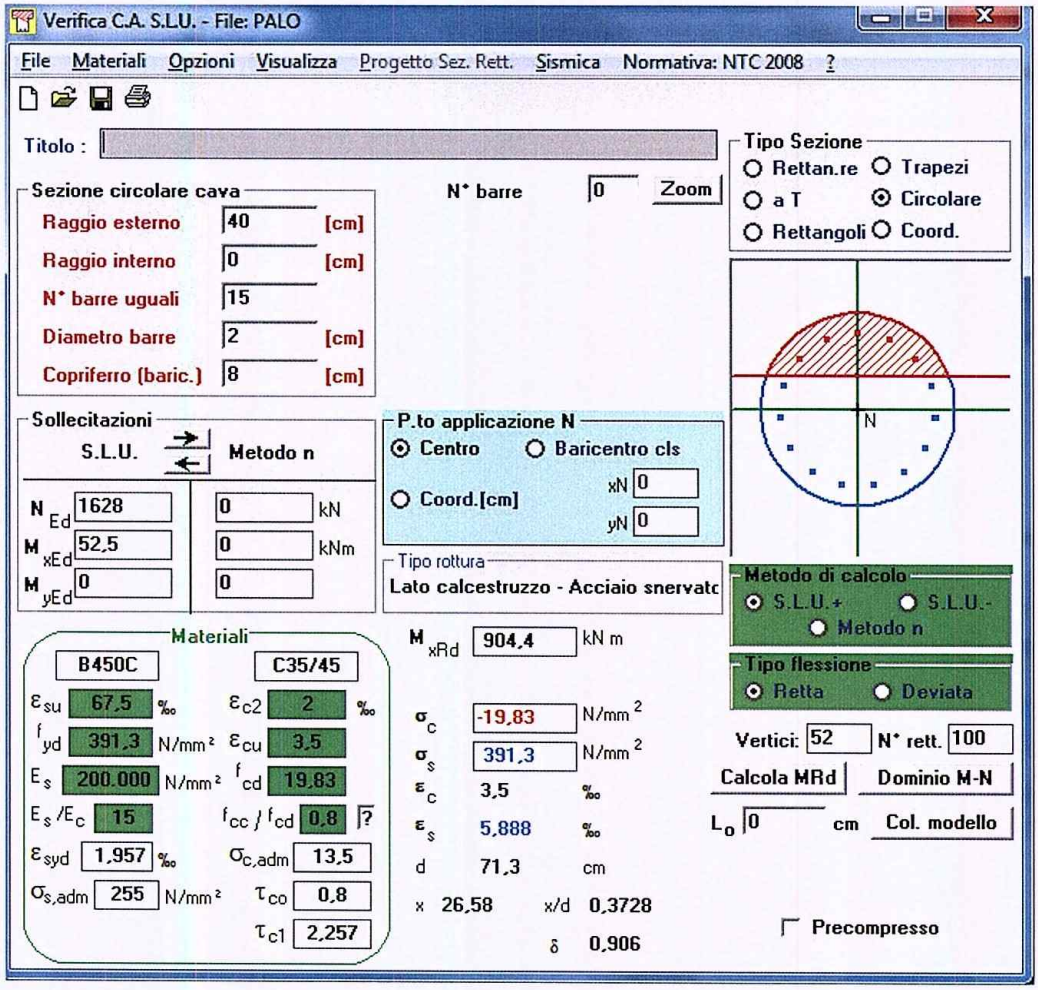
V = 15,00 kN

Il taglio in testa al palo, considerata la sezione di testa impedita di ruotare, considerando quindi un braccio di 3,5 m pari alla distanza alla quale si forma la cerniera, induce un momento flettente massimo nel palo pari a:

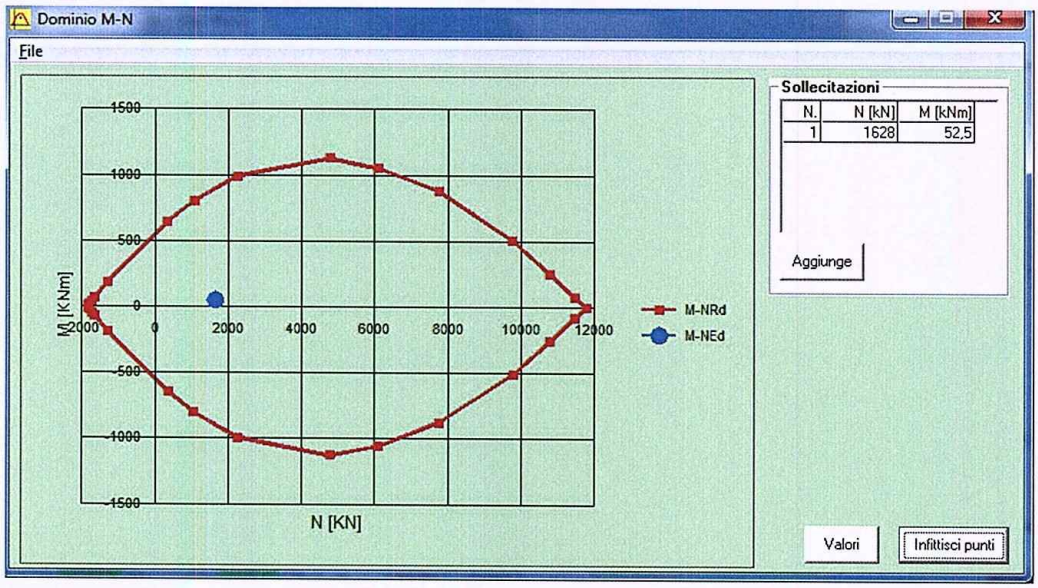
M = 52,5 kNm

Si adotta un'armatura longitudinale costituita da 15ϕ20 e un'armatura trasversale formata da una spirale di 10mm di diametro e passo 150 mm.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



Verifica a pressoflessione:



La verifica è soddisfatta.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Verifica a taglio:

Si considera una sezione quadrata di lato 56 cm inscritta nella sezione circolare del palo:

caselle in giallo=dati da inserire			
SEZIONE			
b [mm]	560	diametro staffe [mm]	10
h [mm]	560	numero bracci	2
d' [mm]	100	passo staffe [mm]	150
d [mm]	460	A_{sw} [mm^2]	157,0796
f_{ck} [N/mm^2]	35		
f_{cd} [N/mm^2]	19,83333	$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot \sin\alpha$	
f_{yk} [N/mm^2]	450		
f_{yd} [N/mm^2]	391,3043	$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta)/(1 + ctg^2\theta)$	
θ	0,275097		
tan(θ)	0,282254		
cotan(θ)	**3,542911**		
cotan(θ)	2,5		
V_{Rsd} **[kN]**	424,115		
V_{Rcd} **[kN]**	792,7862		
V_{Rd} **[kN]**	**424,115**	**taglio resistente**	

Il taglio resistente è maggiore di quello sollecitante (V_{Ed} = 15,00 kN), pertanto **la verifica risulta soddisfatta**.

13 OPERE DI FONDAZIONE CAMINI E SHELTERS TIPO A, B, D, E

La platea camino Shelters della platea B misura 6,40 m x 15,00 m e poggia su 8 pali trivellati di diametro 800 mm e lunghezza 15,00 m:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

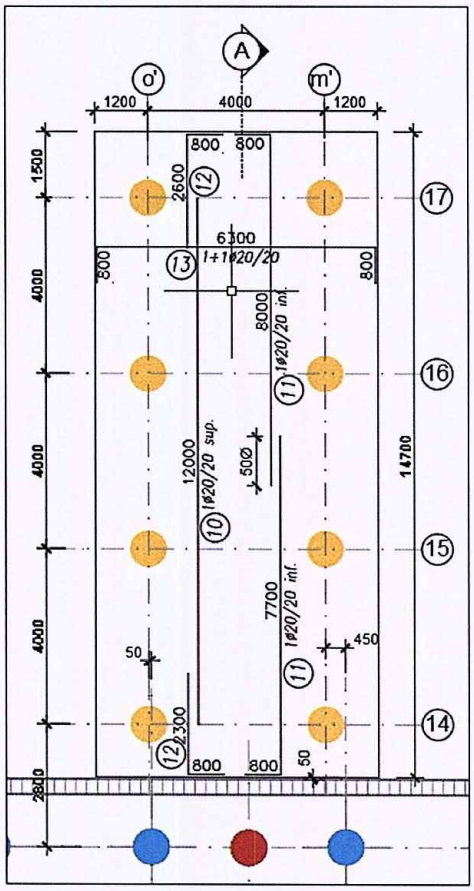
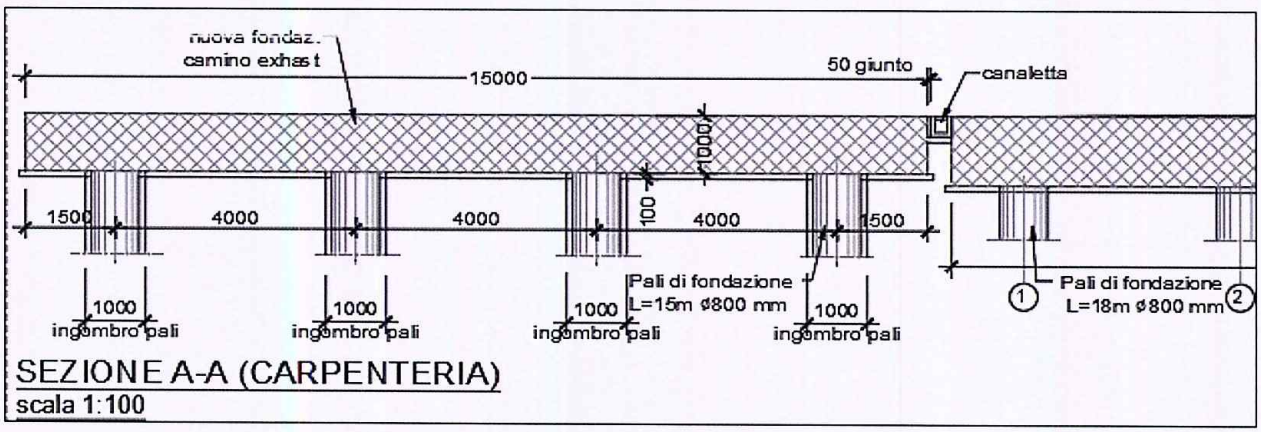
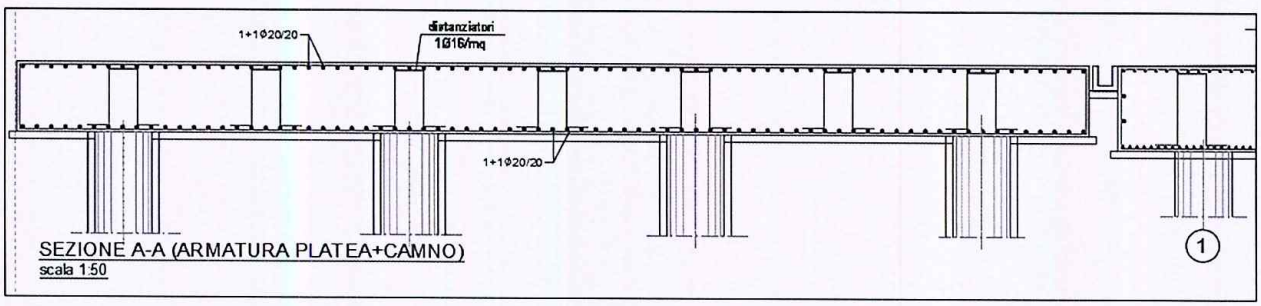


Figura 30: Camino Exhaust platea B





BAKER HUGHES a GE company	TITLE: Adeguamento strutture di Fondazione area Yard	DOCUMENT CODE RT-01	REVISION 0
REVISION DESCRIPTION: ISSUED		PAGE MARKER Undef.	SECURITY CODE N
		ORIGINAL JOB Click here to enter text / SIZE 4	LANGUAGE A
			SHEET 69 of 83

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

La platea ospita il camino e il condotto, il camino ha diametro 5m e altezza 25m , il condotto orizzontale ha altezza 7m e lunghezza 12m. Si hanno le seguenti azioni in fondazione (valori caratteristici) di sforzo normale (N), taglio (V) e momento (M):

- Peso proprio e carichi permanenti camino e condotto orizzontale:

N_{G_camino}= 700 kN

$N_{G_condotto\ orizzontale}$= 400 kN

- Azione vento

$V_{W\ camino}$= 117,80 kN

$M_{W\ camino}$= 1472,33 kNm

$V_{W\ condotto\ orizzontale}$ = 155,58 kN

$M_{W\ condotto\ orizzontale}$ = 1322,90 kNm

- Il peso della platea di spessore 1,0m:

N_{G_platea}= 15m*6,4 m*1.0m*25kN/mc= 2400 kN

Impiegando pali di lunghezza 15m, la capacità portante a carichi verticali (calcolata al cap. 8.2.2) è pari a:

$\mathbf{R_{c,d}}$ = 1714,18 kN

$\mathbf{R_{c,t}}$ = 804,70 kN.

La capacità portante a carichi orizzontali vale invece:

$\mathbf{R_{Tr,Rd}}$ = 170 kN.

1.1.1 Verifica di capacità portante pali

- *Stato Limite Ultimo: SLU – Combo 1*

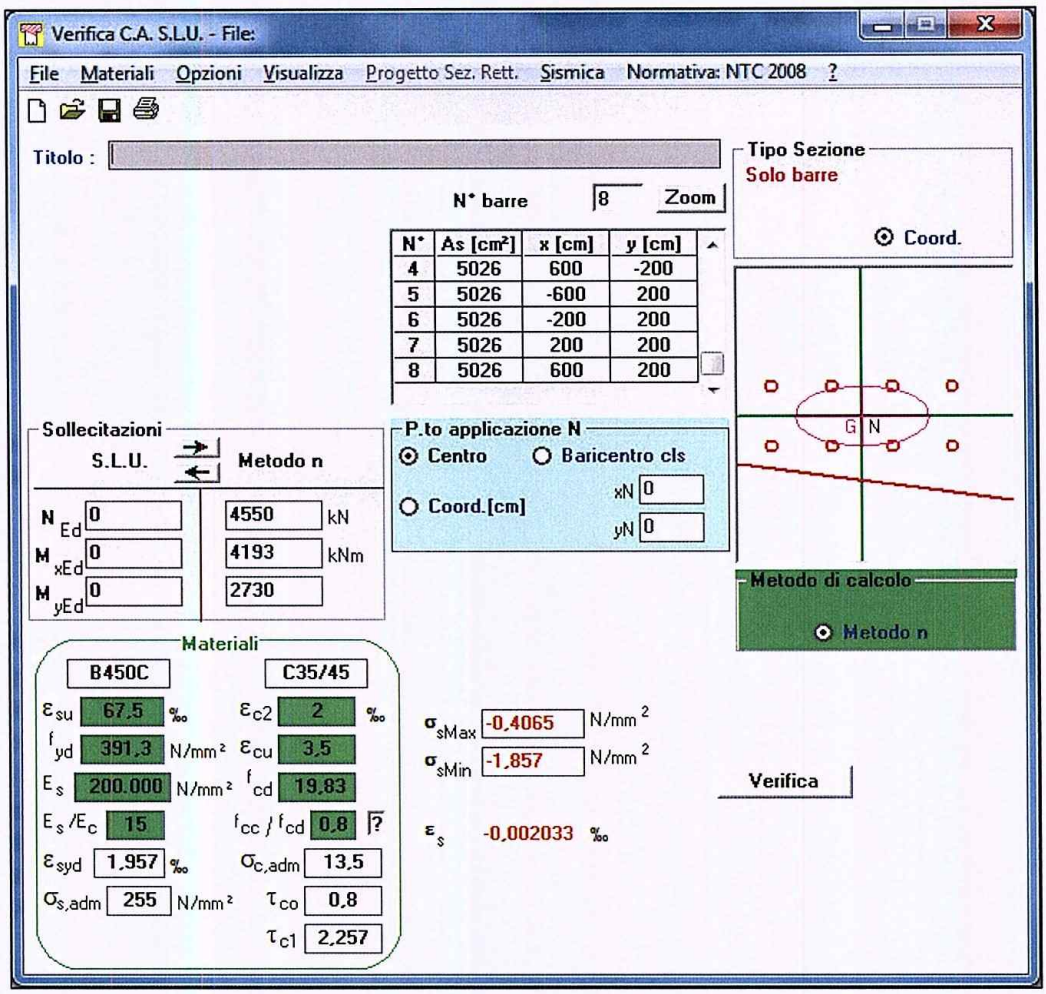
N= 1.3*(700 kN +400kN + 2400 kN)= 4550 kN

M= 1.5*(1472,33+1322,90) = 4193 kNm

M'= 2730 kNm (eccentricità del carico verticale rispetto a baricentro fondazione)

V= 1.5*(117,18+155,58) = 409,14 kN

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



Sul palo si ha

C = 1,857 N/mm²*502600 mm² = 933,33 kN < Rc,d=1714,18 kN → **la verifica è soddisfatta.**

- *Stato Limite Ultimo: SLU – Combo 2*

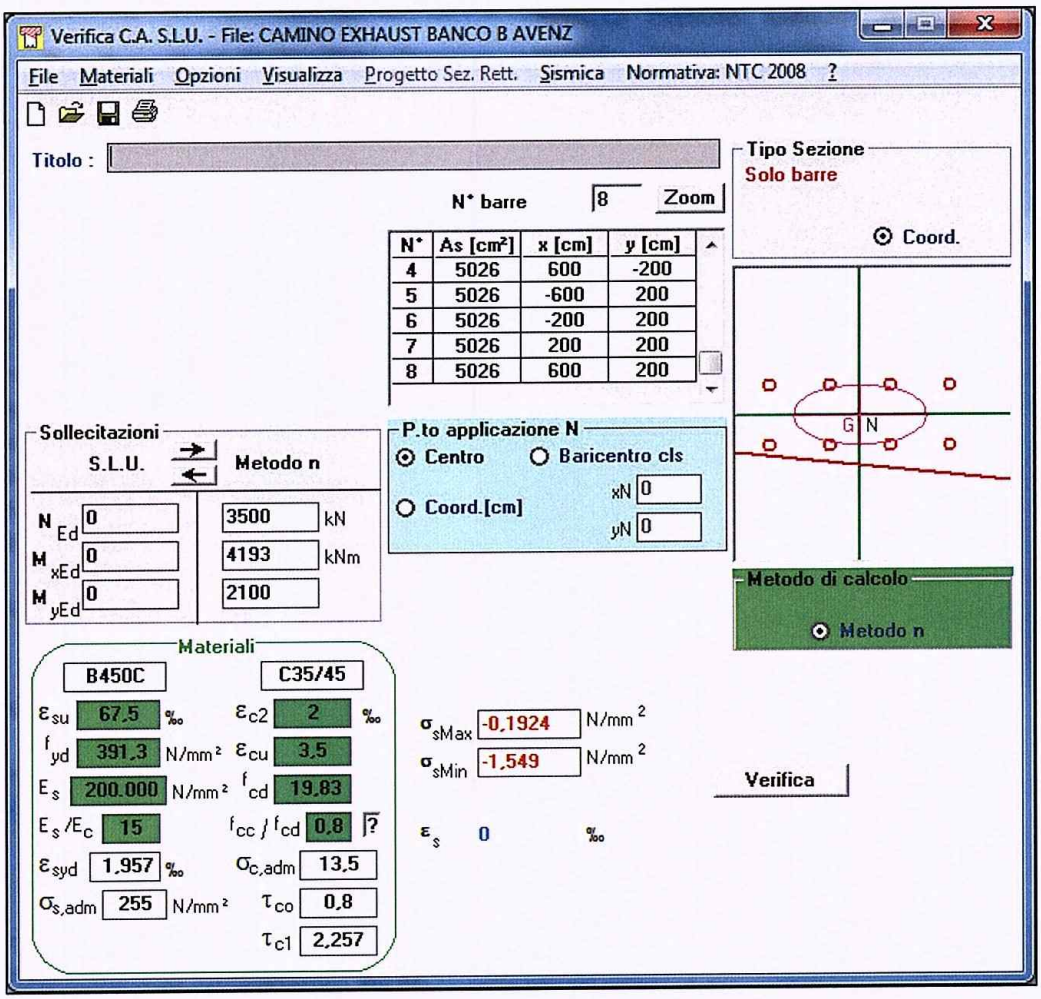
N= 1.0*(700 kN +400kN + 2400 kN)= 3500 kN

M= 1.5*(1472,33+1322,90) = 4193 kNm

M'= 2100 kNm (eccentricità del carico verticale rispetto a baricentro fondazione)

V= 1.5*(117,18+155,58) = 409,14 kN

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



Sul palo si ha

1,549 N/mm²*502600 mm² = 778,53 kN < Rc,d=1714,18 kN → **la verifica è soddisfatta.**

Taglio su singolo palo

V_{palo}= 409,14/8 = 51,14 kN < Rtr,rd= 170 kN → **la verifica è soddisfatta.**

1.1.1 Verifiche di resistenza

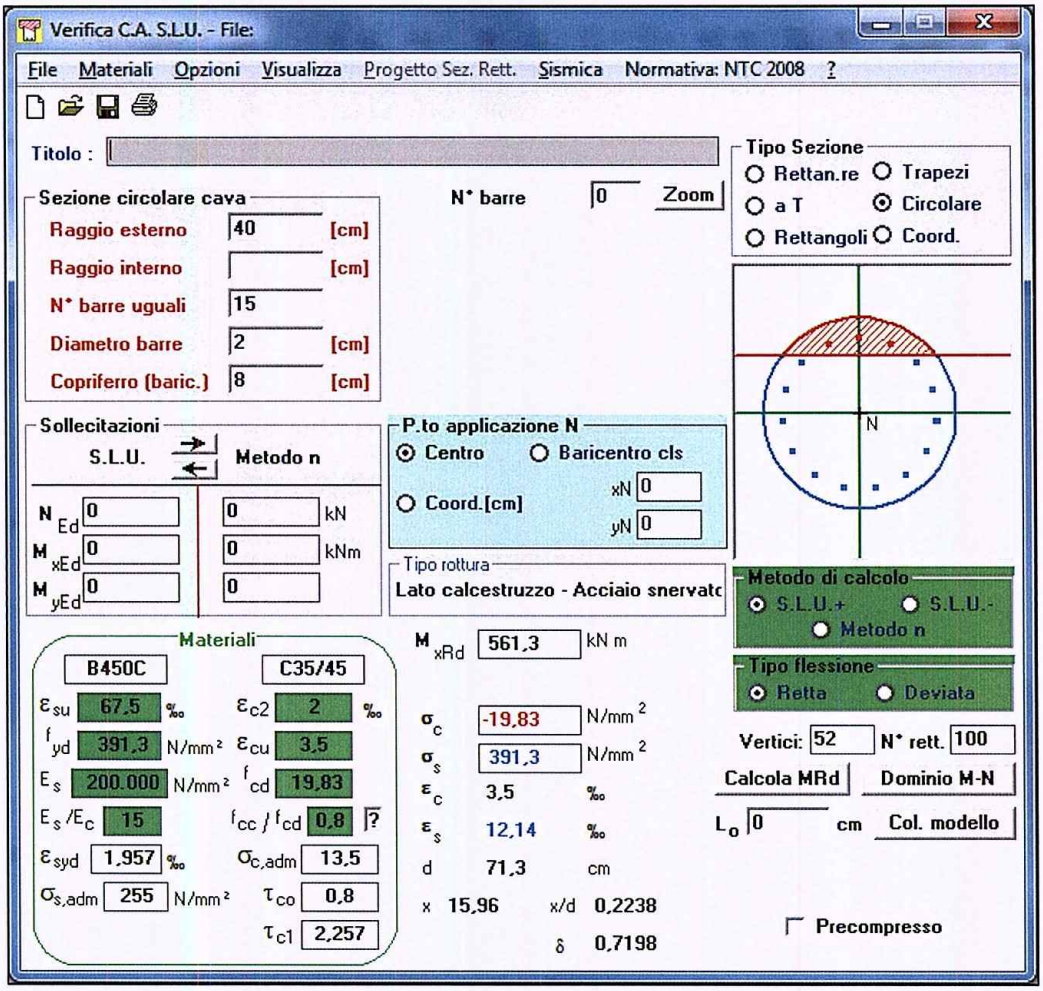
- VERIFICA DELLA SEZIONE DEL PALO

V_{palo}= 51,14 kN in testa al palo produce un momento:

M = V_{palo} x 4 = 204,56 kNm.

Il palo è armato con 15Φ20, pertanto:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



Mrd=561 kNm > Med=204,6 kNm → **la verifica è soddisfatta.**

Si calcola il taglio resistente:

caselle in giallo=dati da inserire

SEZIONE			
b [mm]	560	diametro staffe [mm]	10
h [mm]	560	numero bracci	2
d' [mm]	100	passo staffe [mm]	150
d [mm]	460	A_{sw} [mm^2]	157,0796

f_{ck} [N/mm^2]	35
f_{cd} [N/mm^2]	19,83333
f_{yk} [N/mm^2]	450
f_{yd} [N/mm^2]	391,3043

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (ctg\alpha + ctg\theta) / (1 + ctg^2\theta)$$

θ	0,275097
tan(θ)	0,282254
cotan(θ)	3,542911
cotan(θ)	2,5
V_{Rsd} [kN]	424,115
V_{Rcd} [kN]	792,7862
V_{Rd} [kN]	424,115

taglio resistente

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

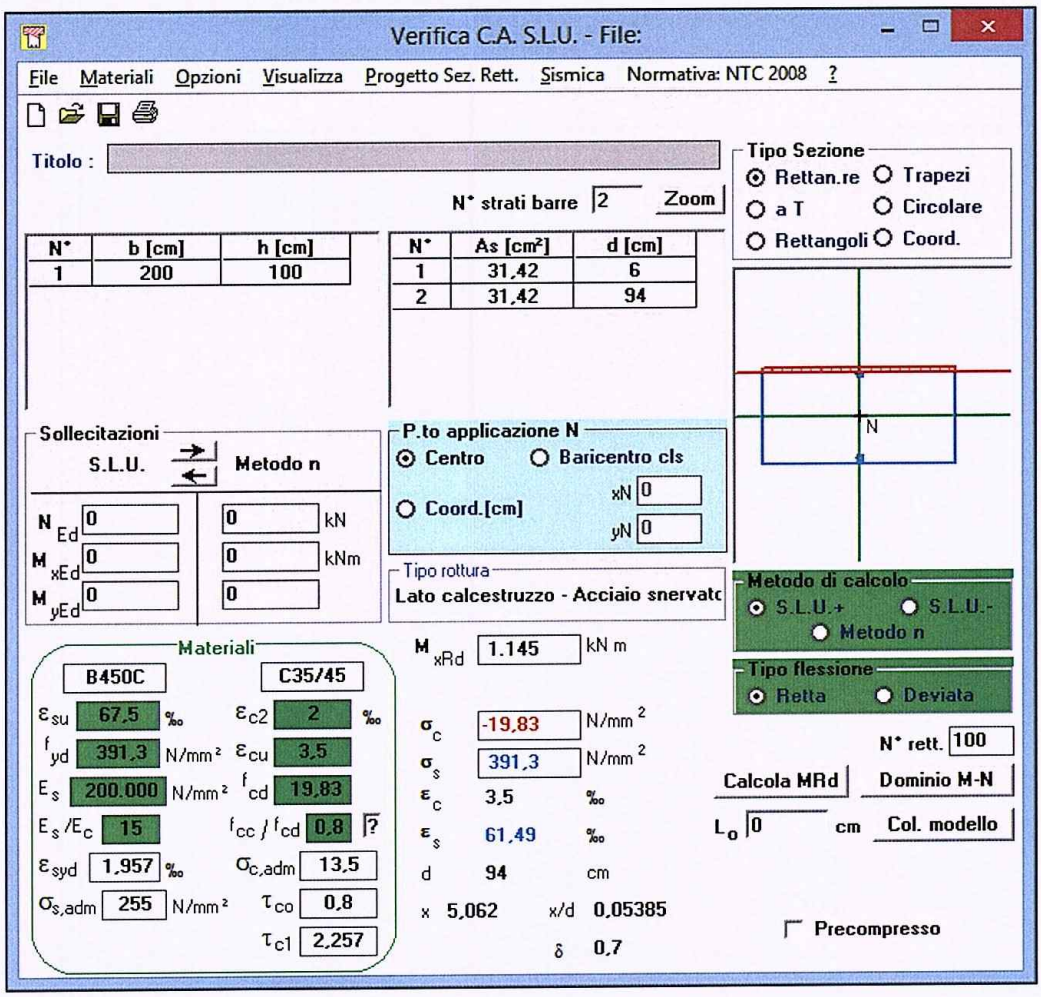
Vrd=424 kN > Ved= 51,14 kN → **la verifica è soddisfatta.**

- VERIFICA DELLA SEZIONE DELLA PLATEA

Per la verifica dell'armatura si considera la sezione avente base 200cm e altezza 100cm armata con Φ20/20 superiore ed inferiore.

Med= 640kNm

Ved= 540 kN



Mrd=1145 kNm > Med → **la verifica è soddisfatta.**

Si calcola il taglio resistente:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

caselle in giallo=dati da inserire	
SEZIONE	
b [mm]	2000
h [mm]	1000
d' [mm]	60
A_{sl} (mm^2)	3140
d [mm]	940
f_{ck} [N/mm^2]	35
f_{cd} [N/mm^2]	19,83333
f_{yk} [N/mm^2]	450
f_{yd} [N/mm^2]	391,3043
k	1,461266
ρ_l	0,00167
σ_{cp} (N/mm^2)	0
v_{min} (N/mm^2)	0,36576
V_{Rd} [kN]	593,8565
$V_{Rd,min}$ [kN]	687,6282
V_{Rd} [kN]	**687,6282 (VRd,min) taglio resistente**

$$v_{min} = 0{,}035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

$$V_{Rd} = \left\{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d$$

Vrd= 687 kN > Ved → **la verifica è soddisfatta.**

14 OPERA DI FONDAZIONE SCAMBIATORI ACQUA PLATEA DI ASSEMBLAGGIO E

La platea in oggetto è adiacente al lato lungo del platea E ed ha dimensioni 6,50 m x 8,50 m e spessore 0,50 m:

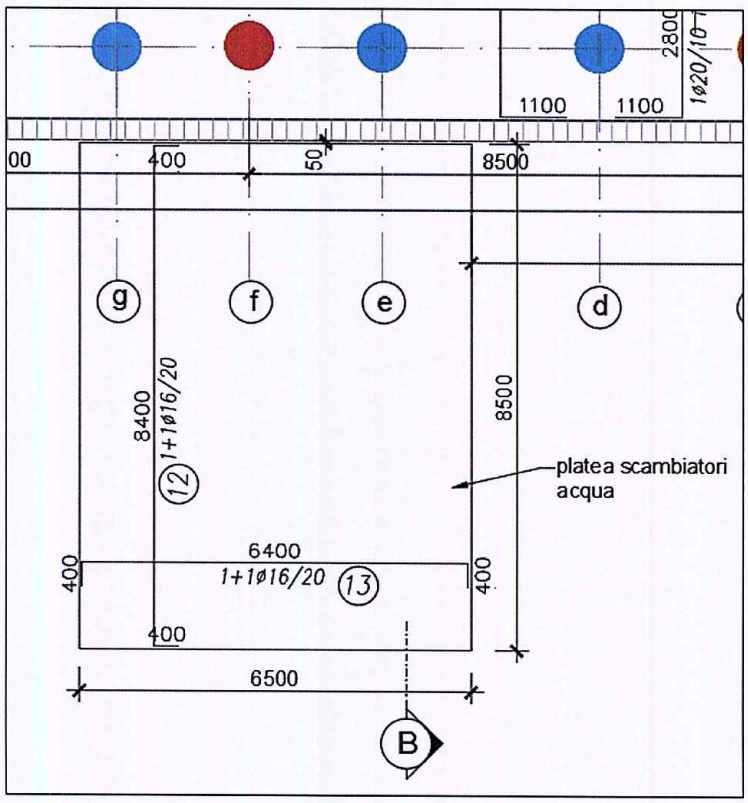


Figura 31: Platea scambiatori acqua platea di assemblaggio E

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

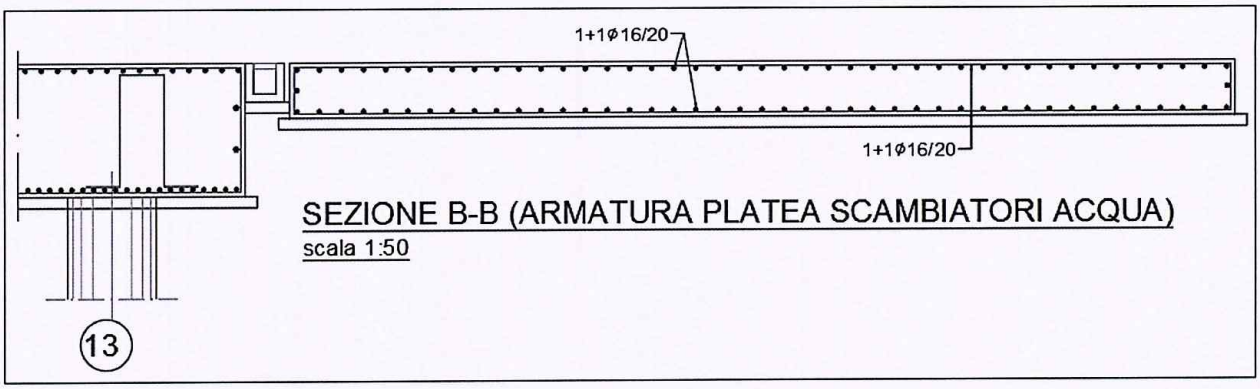


Figura 32: Dettagli armatura platea

La platea è stata modellata su un letto di molle con modulo di Winkler k = 3 kg/cm^3 = 30000 kN/m^3 e ad essa sono stati applicati quattro carichi concentrati equivalenti alle sollecitazioni a cui è sottoposta:

P = 50 ton / 4 = 12,5 ton applicati a ciascun nodo:

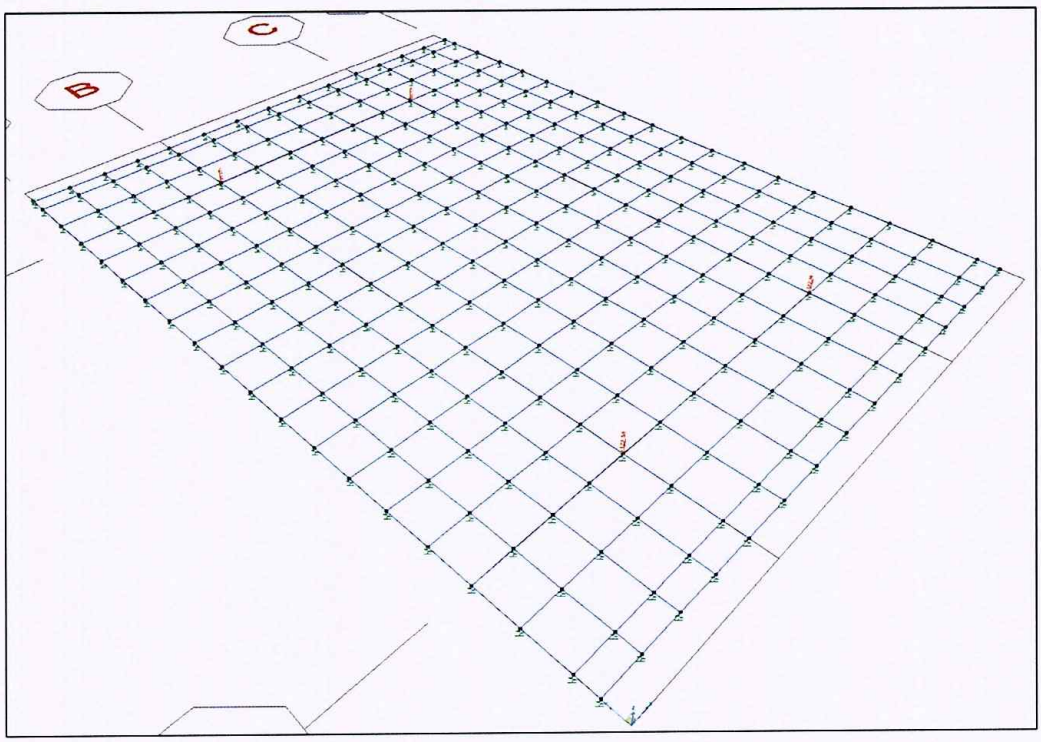


Figura 33: Rappresentazione FEM della platea scambiatori acqua

Verifica della sezione della platea:

- **VERIFICA FLESSIONALE:**

Per la verifica dell'armatura si considera la sezione avente base 100 cm e altezza 50 cm armata con Φ16/20 superiormente ed inferiormente:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

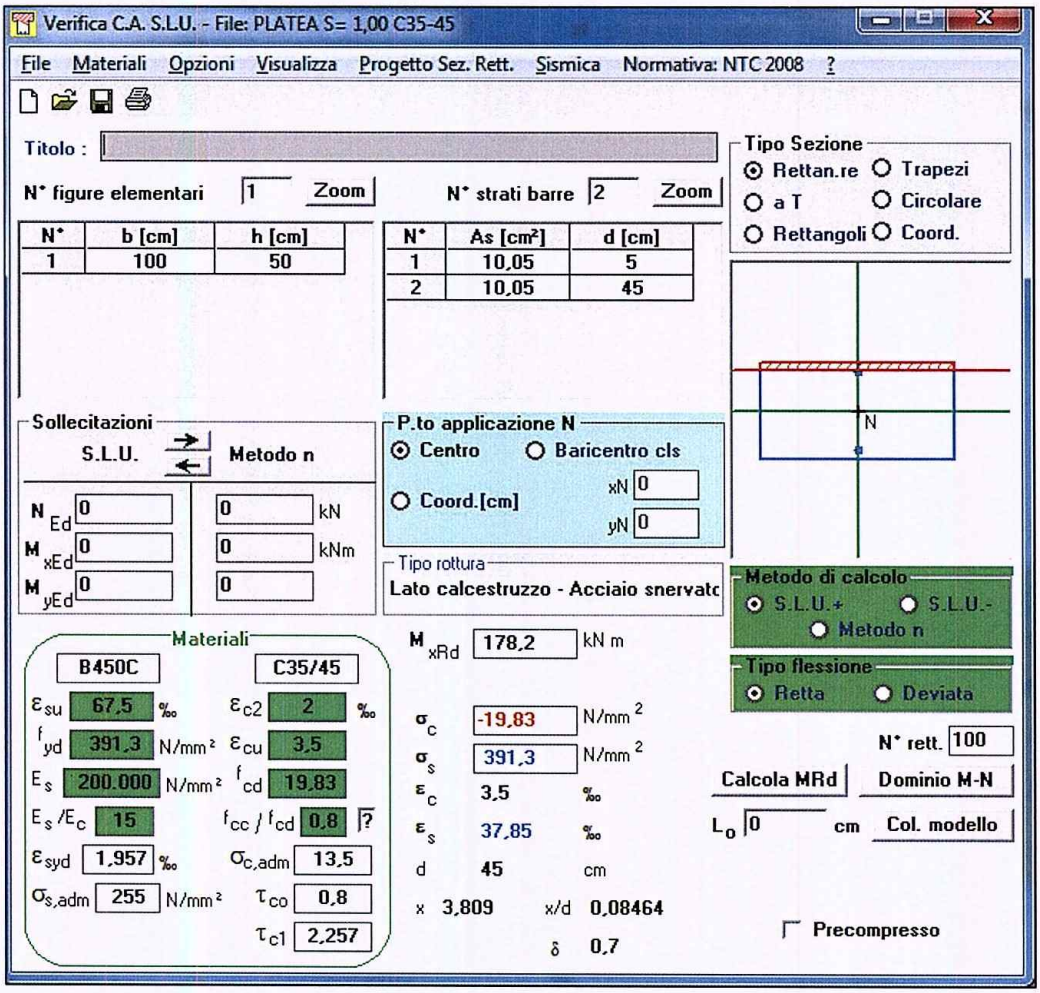


Figura 34: Calcolo del momento resistente.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

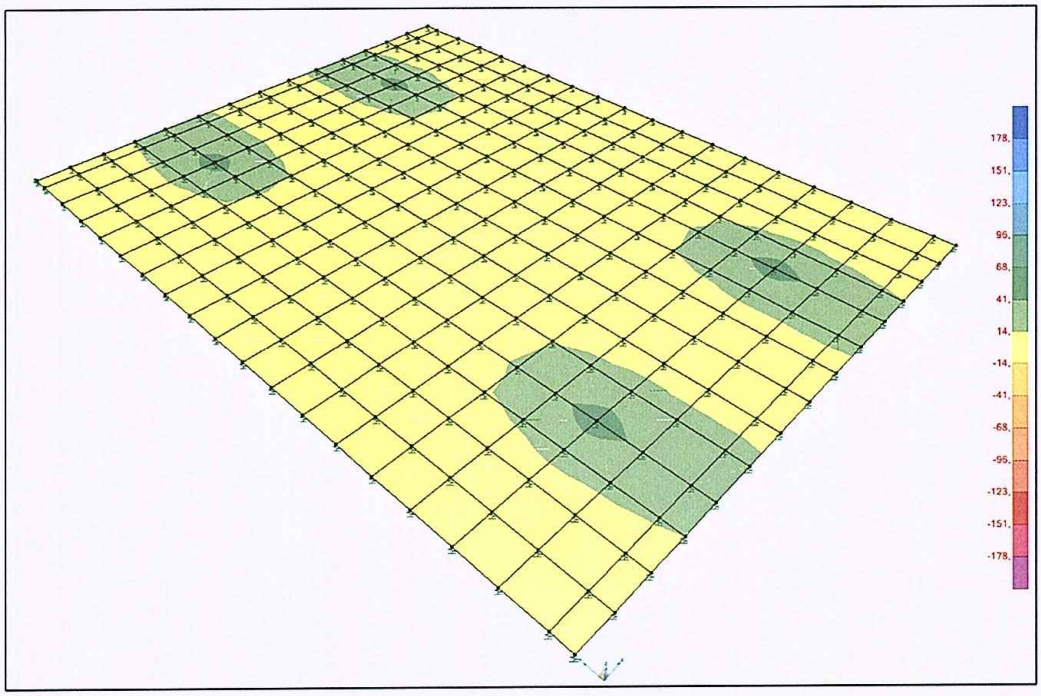


Figura 35: Andamento della sollecitazione M11 [kNm/m] sulla platea scambiatori acqua

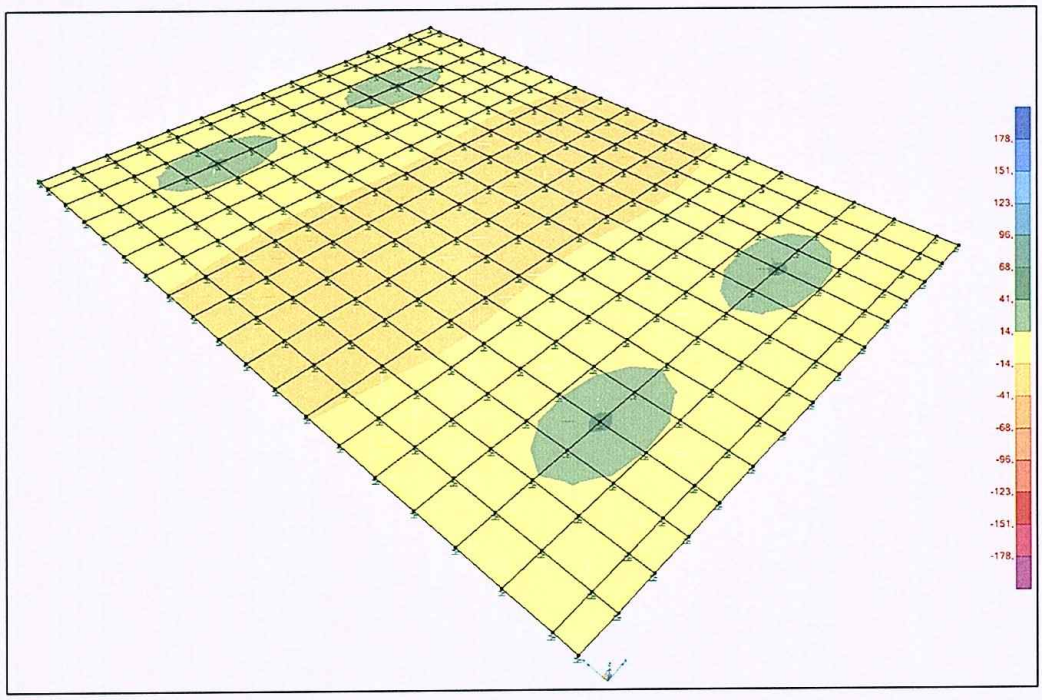


Figura 36: Andamento della sollecitazione M22 [kNm/m] sulla platea scambiatori acqua

$M_{11,Ed\ max}$ = 56,00 kNm/m

$M_{22,Ed\ max}$ = 49,20 kNm/m

➔ $M_{Ed,max}$ = 56,00 kNm/m < M_{Rd} = 178 kNm/m

la verifica è soddisfatta.

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

➢ **VERIFICA A TAGLIO**

Considerando la sezione non armata a taglio si ottiene:

DESCRIZIONE ELEMENTO		
ϒ_c	1,5	-
k	1,67	-
ρ_l	0,002	-
fck	35	N/mmq
bw	1000	mm
d	450	mm
v_min	0,45	-
n	5	-
ϕ	16	mm
As	1005,31	mmq
Vrd=max(Vrd;v_min*bw*d)	**200,5**	**kN**

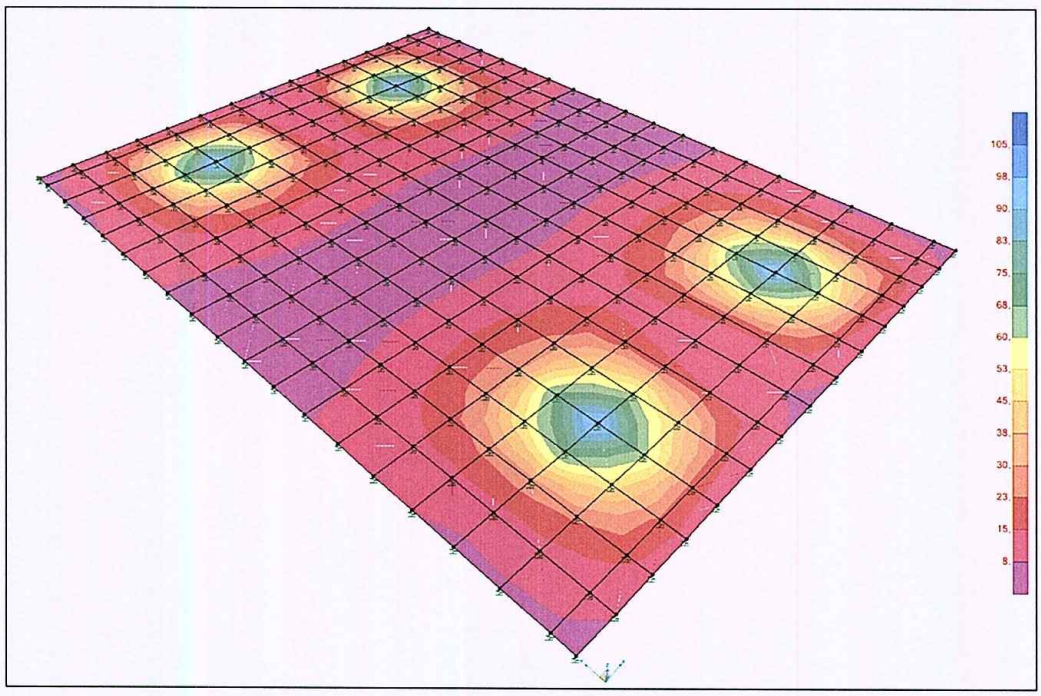


Figura 37: Andamento degli sforzi taglianti massimi sulla platea scambiatori acqua, [kN]

$V_{Ed,max}$ = 108,00 kN < V_{Rd} = 200,5 kN

La verifica è soddisfatta.

15 GAS LOOP

La fondazione in oggetto è costituita da platea in c.a. con spessore 50 cm e armatura ϕ16/20 superiore ed inferiore:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

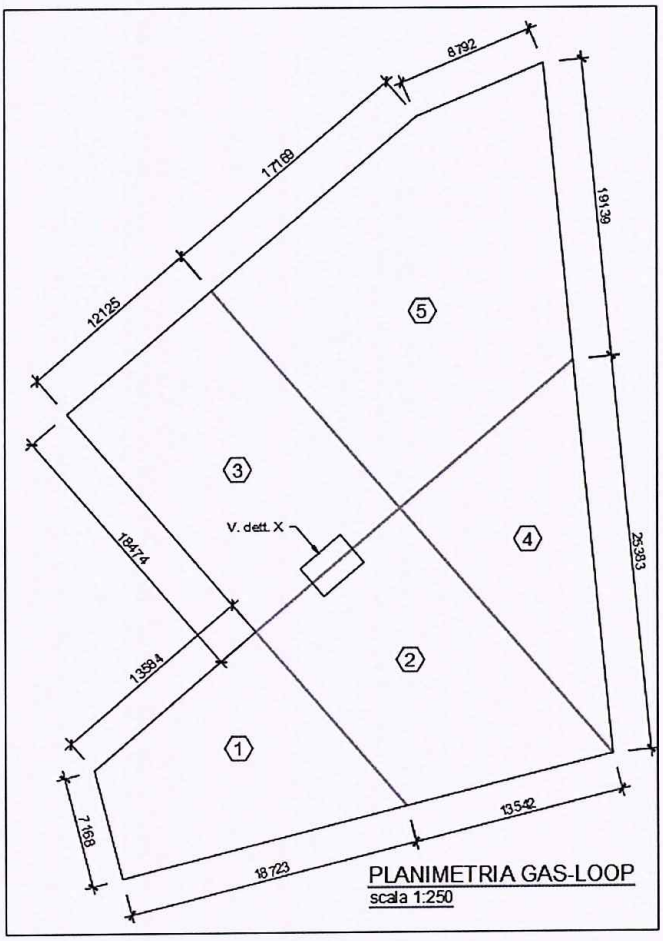
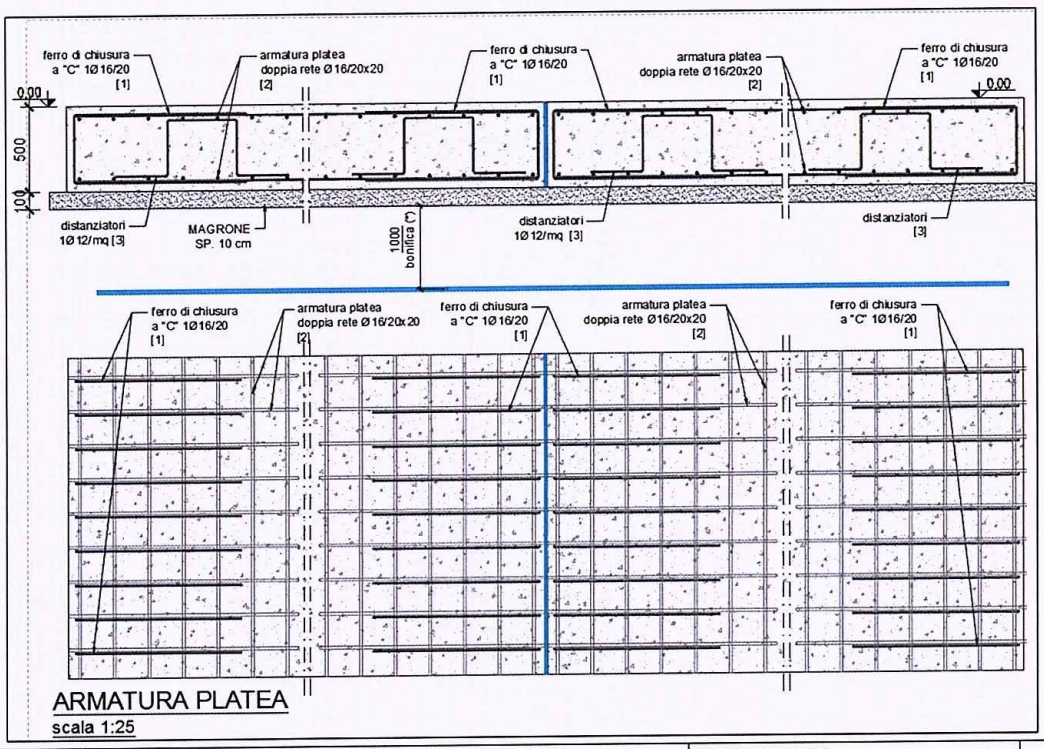


Figura 38: Planimetria Gas Loop



BAKER HUGHES a GE company	TITLE: Adeguamento strutture di Fondazione area Yard	DOCUMENT CODE RT-01	REVISION 0
REVISION DESCRIPTION: ISSUED		PAGE MARKER Undef.	SECURITY CODE N
		ORIGINAL JOB Click here to enter text / SIZE 4	LANGUAGE A
			SHEET 80 of 83

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

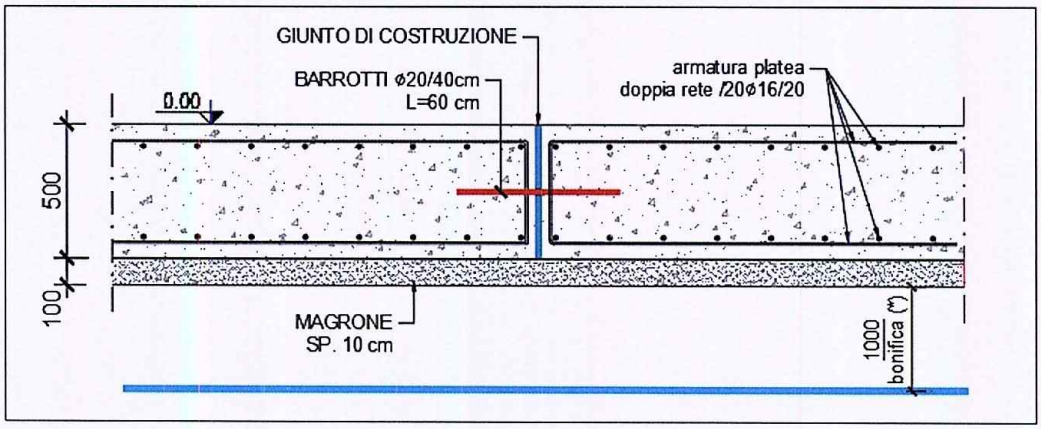


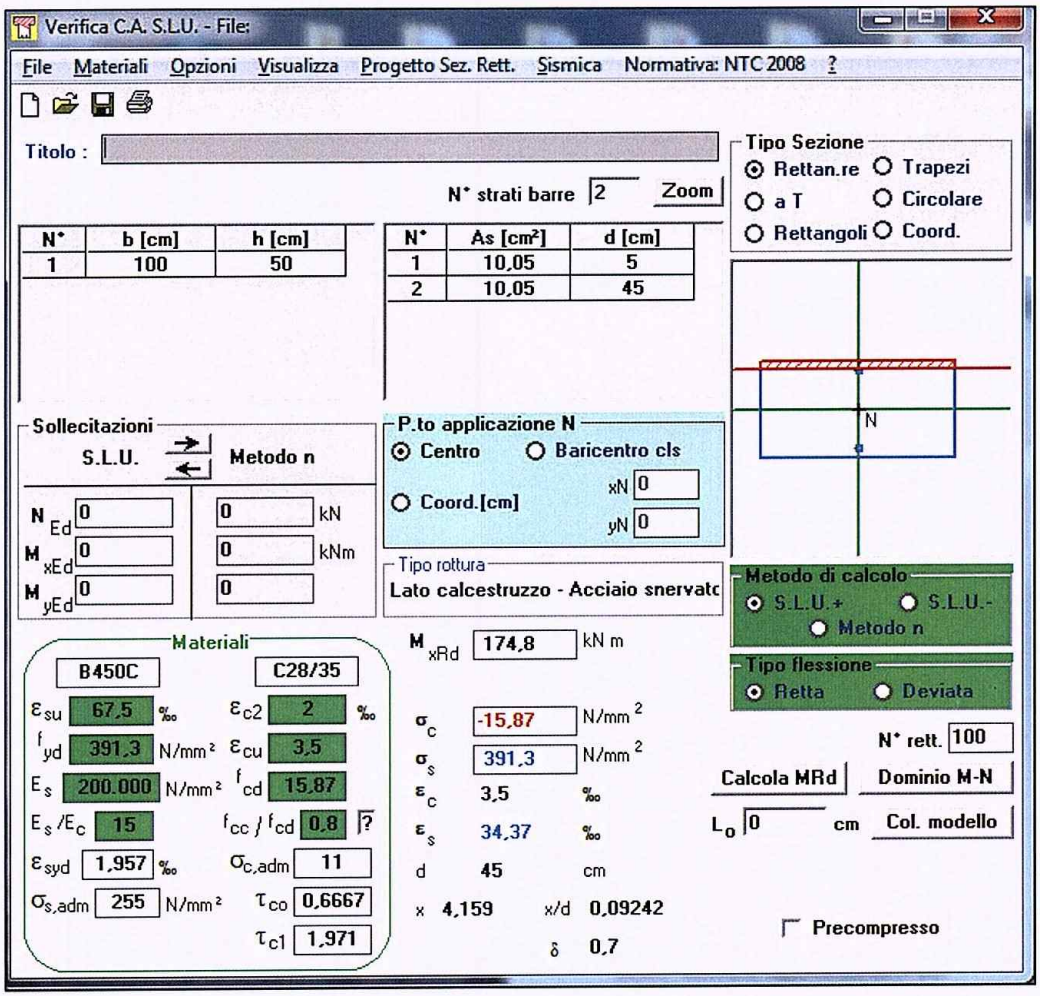
Figura 39: Dettagli armature platea Gas Loop

Su tale platea saranno installati impianti e serbatoi gas fino ad un carico massimo nominale puntuale e distribuito determinato sulla base del carico ultimo ottenuto dalla verifica di resistenza e a punzonamento delle platee.

15.1 Verifica di resistenza

Il momento resistente della platea in entrambe le direzioni è:

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.



M_{Rd} = 174,8 kNm.

La resistenza ultima viene raggiunta con un carico distribuito di 210,00 kN/mq agente sul bordo della platea stessa; considerando un coefficiente γ_q = 1,5 si assume un carico massimo nominale pari a:

q_{max} = (210 kN/m²)/1,5 = **140 kN/m².**

15.2 Verifica a punzonamento

Altezza totale della sezione	h	600	mm
Copriferro	c	65	mm
Diametro del ferro	Ø	16	mm
Altezza utile	d	419	mm
Area di armatura al millimetro	as	1,005	mm2/mm
Percentuale geometrica d'armatura	ρ	0,19%	-
Lato dell'impronta quadrata	c	300	mm
Raggio equivalente	r_{eq}	191	mm
Perimetro critico posto a 2d dal supporto	u_0	6465	mm

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.

Coefficiente k	k	2,00	-
Coefficiente Crd	C_{Rd}	0,12	-
Coefficiente k1	k_1	0,1	
Tensione di precompressione	s_{cp}	0	MPa
Resistenza specifica a punzonamento	$v_{rd,c}$	0,45	MPa
Resistenza minima a punzonamento	v_{min}	0,52	MPa
Resistenza a punzonamento	**V_{Rd}**	**1419**	**kN**

Il carico puntuale resistente (al netto del contributo di reazione del terreno) risulta pari a **V_{rd}**=2099 kN

Considerando un coefficiente γq=1,5 **si assume un carico massimo nominale puntuale pari a 946 kN** agente su un'impronta di 30x30cm.

Firenze, lì 16/01/2019

Il progettista responsabile

Prof. Ing. Paolo Spinelli

© 2017 BHGE, a Baker Hughes, a GE Company, LLC ("BHGE") company: the information contained in this document is company confidential and proprietary property of BHGE or its affiliates. It is to be used only for the benefit of BHGE and may not be distributed, transmitted, reproduced, altered or used for any purpose without the express written consent of BHGE.