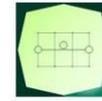


CONCEDENTE



CONCESSIONARIA



SOCIETÀ DI PROGETTO
BREBEMI SPA

CUP E3 1 B05000390007

COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DI CONNESSIONE TRA LE CITTA' DI
BRESCIA E MILANO

PROCEDURA AUTORIZZATIVA D. LGS 163/2006
DELIBERA C.I.P.E. DI APPROVAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO N° 19/2016

INTERCONNESSIONE A35-A4
PROGETTO ESECUTIVO

I - INTERCONNESSIONE

11 - INTERCONNESSIONE A35-A4

CVAX1 - CAVALCAVIA VIA CAVALLERA

PROVA DI CARICO SU PALI DI FONDAZIONE SPALLE

RELAZIONE

PROGETTAZIONE:



VERIFICA:

IL PROGETTISTA RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
IMPRESA RIZZAROTTI E C. S.P.A.
DOTT. ING. PIETRO MAZZOLI
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI PARMA N. 821

IL DIRETTORE TECNICO
IMPRESA RIZZAROTTI E C. S.P.A.
DOTT. ING. SABINO DEL BALZO
ORDINE DEGLI INGEGNERI DI POTENZA N. 631

APPROVATO SDP

I.D.	IDENTIFICAZIONE ELABORATO													PROGR.		DATA:	
	EMITT.	TIPO	FASE	M.A.	LOTTO	OPERA	PROG. OPERA	TRATTO	PARTI	PROGR.	PART.DOC.	STATO	REV.	LUG	2016		
65849	04	RO	E	I	11	CV	AX1	00	00	002	00	A	00	SCALA:			

ELABORAZIONE PROGETTUALE	REVISIONE									
	N.	REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	DATA	CONTROLLATO	DATA	APPROVATO	
IL PROGETTISTA PIACENTINI INGEGNERI S.R.L. DOTT. ING. LUCA PIACENTINI ORDINE DEGLI INGEGNERI DI BOLOGNA N. 152	A	00	EMISSIONE	29/07/2016	PIACENTINI	29/07/2016	MAZZOLI	29/07/2016	MAZZOLI	

	<p>IL CONCEDENTE</p> <p>CONCESSIONI AUTOSTRADALI LOMBARDE</p>	<p>IL CONCESSIONARIO</p> <p>SOCIETÀ DI PROGETTO BREBEMI SPA</p> <p>Società di Progetto Brebemi SpA</p>
--	---	--

INDICE

1.	PREMESSA.....	3
2.	MODALITA' ESECUTIVE	5
2.1	PREPARAZIONE DELLA PROVA DI CARICO	5
2.2	ATTREZZATURE E DISPOSITIVI DI PROVA	10
2.3	DISPOSITIVI PER LA MISURA DEI CEDIMENTI.....	10
3.	ESECUZIONE DELLA PROVA DI CARICO	11
3.1	VALUTAZIONE DEL CARICO DI PROVA.....	11
3.2	PROGRAMMA DI CARICO	11
3.3	RISULTATI DELLA PROVA.....	13
4.	DESCRIZIONE DEL MODELLO ANALITICO	14
4.1	Calcolo delle sollecitazioni nel plinto di fondazione e sui pali.....	16
4.1.1	Modello con rigidezza pali minima (k_{min})	16
4.1.2	Modello con rigidezza pali di calcolo (k)	18
4.1.3	Modello con rigidezza pali massima (k_{max})	19
4.1.4	Riepilogo delle sollecitazioni risultanti.....	21
4.1.4.1	AZIONE ASSIALE	21
4.1.4.2	MASSIMO MOMENTO TRASVERSALE.....	21
4.1.4.3	MASSIMO MOMENTO LONGITUDINALE	22
4.2	VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEI PALI	23
4.3	VERIFICHE DELLA STRUTTURA DI FONDAZIONE.....	24
4.3.1	Momento trasversale.....	25
4.3.1.1	VERIFICA SEZIONE ASSE PALO	25
4.3.1.2	VERIFICA SEZIONE DI TRANSIZIONE	26
4.3.1.3	VERIFICA SEZIONE CORRENTE	27
4.3.2	Momento longitudinale	28
4.3.3	Punzonamento	29
4.4	RISULTATI DELLE VERIFICHE.....	31
5.	CEDIMENTO PREVISTO.....	32
6.	DOCUMENTAZIONE DELLA PROVA	32
7.	ALLEGATI.....	33
7.1	MODULO DI REGISTRAZIONE MISURAZIONI	33

1. PREMESSA

La presente relazione è relativa alla prova di carico dei pali di fondazione delle spalle del cavalcavia CVAX1 posto alla progressiva chilometrica 0+257,99 del ramo A4-BreBeMi denominato Cavalcavia via Cavallera, necessario per lo scavalco dell'autostrada A4 Milano – Brescia. Il progetto s'inserisce nell'ambito del Progetto Esecutivo dell'interconnessione A35-A4.

In ottemperanza a quanto indicato al par. 6.4.3.7.2 del D. M. 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", si prevede di eseguire una unica prova valida per per entrambe le spalle. Infatti, su ciascuna delle due spalle sono presenti n°10 pali, per un numero complessivo di 20 pali su tutta l'opera. Inoltre, da quanto emerge dalla relazione geotecnica di riferimento, il terreno in corrispondenza delle due spalle risulta pressochè omogeneo. In base a queste ipotesi, la normativa citata consente di eseguire n°1 prove di carico sui pali dell'opera, come riassunto dall' specchio seguente.

D.M. 14/01/2008 – par. 6.4.3.7.2		
N° minimo prove	N° pali	Grado di omogeneità del terreno
1	≤20	Caratteristiche del terreno uniformi fra le due spalle

La prova verrà eseguita sul

Palo 13 - Spalla B: terzo palo anteriore a partire dallo spigolo, indicato nello schema seguente.

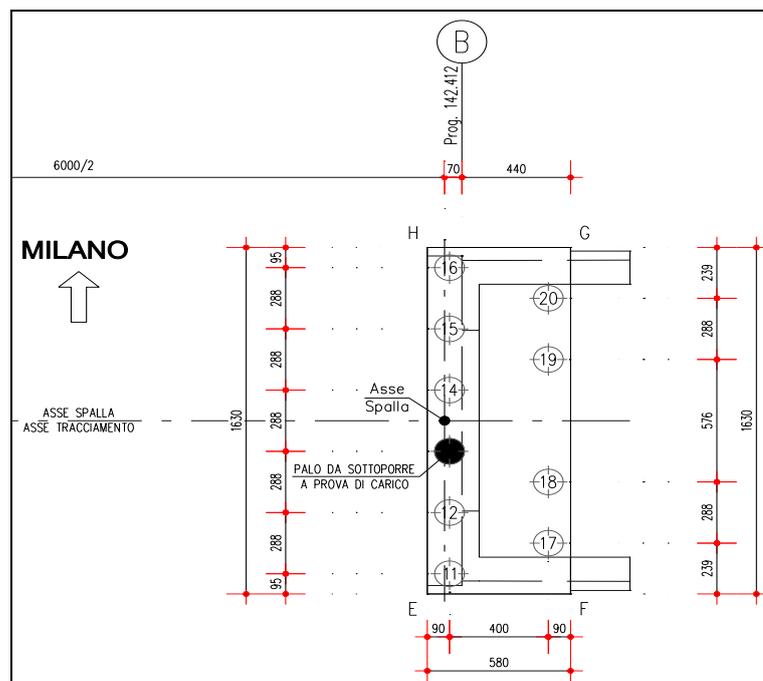


Figura 1 – Spalla B - Schema posizione palo di prova

	Doc. N. 65849-CVAX1-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04ROEII1CVAX1000000200	REV. A00	FOGLIO 4 di 33
---	--------------------------------	--	-------------	-------------------

Nella seguito del presente documento verranno trattati i seguenti punti:

- Descrizione delle modalità di prova di carico, che prevede l'utilizzo del plinto di fondazione come contrasto
- Valutazione dei carichi di prova
- Calcolo delle sollecitazioni indotte dalla prova di carico sui pali adiacenti a quello di prova e sulla struttura di fondazione, attraverso un modello analitico schematizzante la struttura di fondazione stessa
- Riepilogo dei principali risultati dedotti dalle analisi
- Verifiche di resistenza delle strutture di fondazione

Dalle suddette valutazioni conseguiranno i seguenti elementi fondamentali:

- Prescrizione dell'eventuale zavorra da prevedersi per limitare gli sforzi di trazione nei pali adiacenti il palo di prova
- Prescrizione delle eventuali armature di potenziamento locale del plinto da prevedersi

APPROVATO SDP

Società di Progetto
Brebemi SpA



	Doc. N. 65849-CVAX1-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04ROEII1CVAX1000000200	REV. A00	FOGLIO 5 di 33
---	--------------------------------	--	-------------	-------------------

2. MODALITA' ESECUTIVE

2.1 PREPARAZIONE DELLA PROVA DI CARICO

La prova di carico del palo viene eseguita una volta costruito il plinto di fondazione, agendo per contrasto sul plinto stesso dal quale viene svincolato il palo da provare.

Lo svincolamento del palo viene ottenuto disponendo, prima di eseguire il getto della fondazione, una guaina attorno ad ognuna delle barre di armatura verticali del palo, in modo tale che le barre non vengano a contatto con il conglomerato cementizio della fondazione.

Le guaine sono previste in lamiera di acciaio corrugata e permettono, una volta eseguita la prova di carico, di ripristinare l'ancoraggio delle barre al plinto tramite iniezione di malta cementizia idonea per inghisaggi.

Il palo da provare viene dotato di un pulvino che deborda su due lati del palo stesso e permette di ubicare i martinetti di spinta a lato del palo.

Dopo l'esecuzione della prova il vano presente tra il pulvino e l'intradosso del plinto viene gettato ricreando con questo intervento e con l'inghisaggio delle barre nel plinto la perfetta continuità del palo col plinto.

Durante la prova, il carico fornito al palo trova riscontro sul plinto e viene equilibrato dai seguenti elementi:

- quota parte del peso del plinto di fondazione;
- quota parte della zavorra in blocchi di conglomerato cementizio opportunamente predisposta per la prova (eventuale);
- azioni di trazione sui pali adiacenti al palo sottoposto a prova; queste azioni sono generate da due contributi cioè dal peso del palo soggetto a trazione e dalla resistenza che può offrire a trazione il palo grazie alla resistenza laterale per attrito.

La definizione delle modalità di prova comporta sostanzialmente la definizione dell'entità della zavorra da predisporre sul plinto in modo tale da mantenere entro valori ammissibili lo sforzo di trazione che viene generato nei pali che fungono da ancoraggio.

Per condurre correttamente questa valutazione viene implementato un modello di calcolo della platea vincolata ai pali di fondazione e soggetta al suo peso proprio, al peso dei blocchi di zavorra ed al carico di prova.

Il modello permette di:

- tenere conto dell'esatta quota parte del peso della platea e del peso della zavorra che viene richiamata a riscontro del carico di prova;
- valutare i carichi di trazione che nascono nei pali adiacenti a quello di prova;
- valutare le sollecitazioni flessionali che nascono nel plinto di fondazione.

I carichi di trazione nei pali che fungono da ancoraggi devono risultare minori del limite di trazione che viene definito come ammissibile e in caso contrario si deve aumentare la zavorra.

I risultati ottenibili dal modello di calcolo suddetto sono fortemente influenzati dalla rigidità assiale che viene assegnata agli elementi che schematizzano i pali.

Questa rigidità è stata valutata con un modello di calcolo Group con gli stessi parametri utilizzati in progetto per il calcolo della palificata di fondazione.

La rigidità così valutata risulta pari a:

Società di Progetto
Brebemi SpA



	Doc. N. 65849-CVAX1-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04ROEII1CVAX1000000200	REV. A00	FOGLIO 6 di 33
---	--------------------------------	--	-------------	-------------------

$$K_t = 670'000 \text{ KN/m}$$

Basandosi su questo valore ed operando a favore di sicurezza si implementano due casi limite di calcolo che considerano in un primo caso la rigidezza dei pali pari alla metà del valore calcolato e nel secondo caso pari al doppio.

Il caso limite con rigidezza maggiore massimizza le azioni di trazione nei pali, mentre il caso con rigidezza minima dei pali massimizza le sollecitazioni flessionali nella platea di fondazione.

Ovviamente si considerano i valori massimi determinati col modello nei due casi limite delle grandezze significative, cioè delle azioni di trazione nei pali che permettono di controllare l'entità della zavorra e delle azioni di flessione nel plinto che permettono di dimensionare le eventuali armature integrative.

Per maggiori dettagli relativi alla prova si rimanda all'elaborato grafico specifico della prova.

Al fine di poter svolgere la prova dovranno essere predisposti i seguenti accorgimenti prima del getto del plinto di fondazione:

- Prevedere nel plinto di fondazione, in corrispondenza del palo di prova, un foro mediante tubo in pvc $\Phi 200$ mm per il getto di completamento successivo alla prova di carico.
- Disporre tubi metallici corrugati in corrispondenza dei ferri verticali provenienti dal palo di fondazione

Si riportano di seguito le fasi propedeutiche l'esecuzione della prova.

APPROVATO SDP

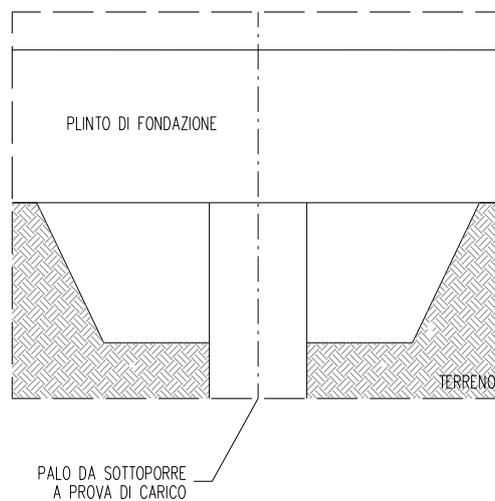
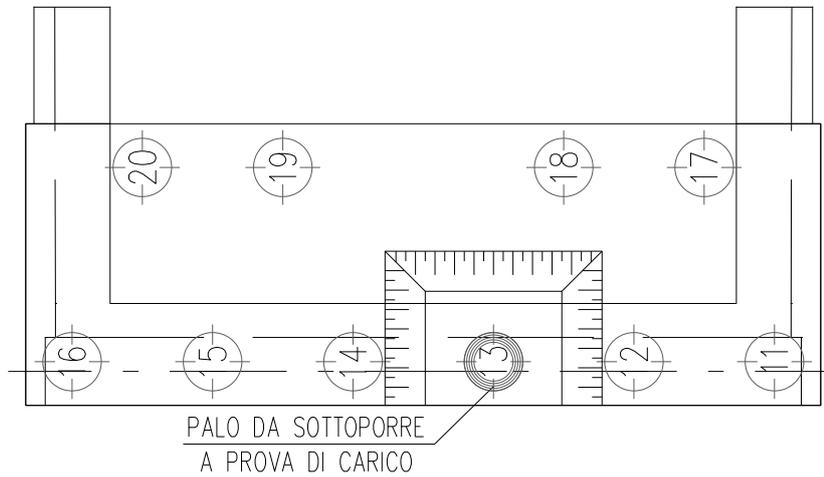
Società di Progetto
Brebemi SpA



	Doc. N. 65849-CVAX1-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04ROEII1CVAX1000000200	REV. A00	FOGLIO 7 di 33
---	--------------------------------	--	-------------	-------------------

Fase 1: Realizzazione dello scavo in corrispondenza del palo di prova

Per prima cosa si rende necessario realizzare uno scavo in corrispondenza di palo di prova al fine di rendere accessibile la sommità del palo di prova stesso, come schematizzato nella figura seguente.



APPROVATO SDP

Figura 2-Scavo in corrispondenza palo di prova

Fase 2: Scapitozzatura palo oggetto di prova

Una volta realizzato lo scavo per liberare la sommità del palo di prova, il palo stesso dovrà essere scapitozzato fino alla quota di imposta dei martinetti.

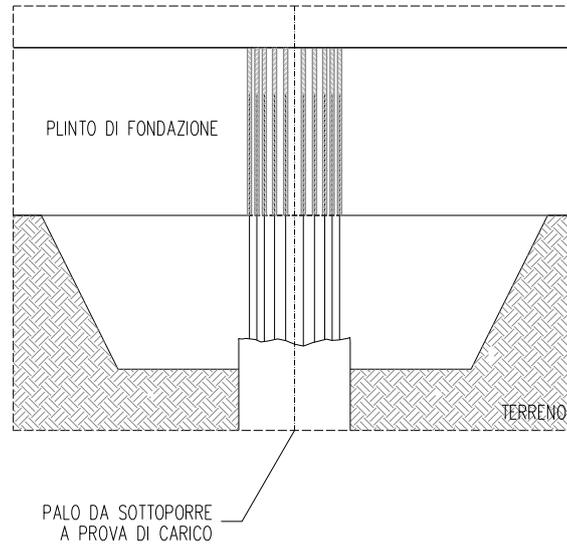


Figura 3- Scapitozzatura palo di prova

Fase 3: Costruzione blocco di calcestruzzo di appoggio dei martinetti

Successivamente alla scapitozzatura, dovrà essere realizzato il dado di calcestruzzo necessario alla trasmissione del carico di prova dai martinetti idraulici, disposti come schematizzato in figura, al palo.

Per le dimensioni e l'armatura del pulvino di calcestruzzo sul quale verranno appoggiati i martinetti di contrasto si rimanda all'elaborato grafico di riferimento a corredo della presente.

APPROVATO EDP

Fase 4. Getto del plinto di fondazione

Svolta la prova di carico, secondo le modalità descritte nei paragrafi successivi, verrà eseguito il getto di completamento del palo. Verrà inoltre eseguito il getto di malta di calcestruzzo all'interno dei tubi corrugati per l'ancoraggio delle barre verticali del palo nel plinto di fondazione.

Al termine della prova di carico, eseguita seguendo le indicazioni descritte nei paragrafi successivi, verranno eseguiti il getto di completamento del palo e l'iniezione di malta di calcestruzzo all'interno dei tubi corrugati per l'ancoraggio delle barre verticali del palo nel plinto di fondazione.

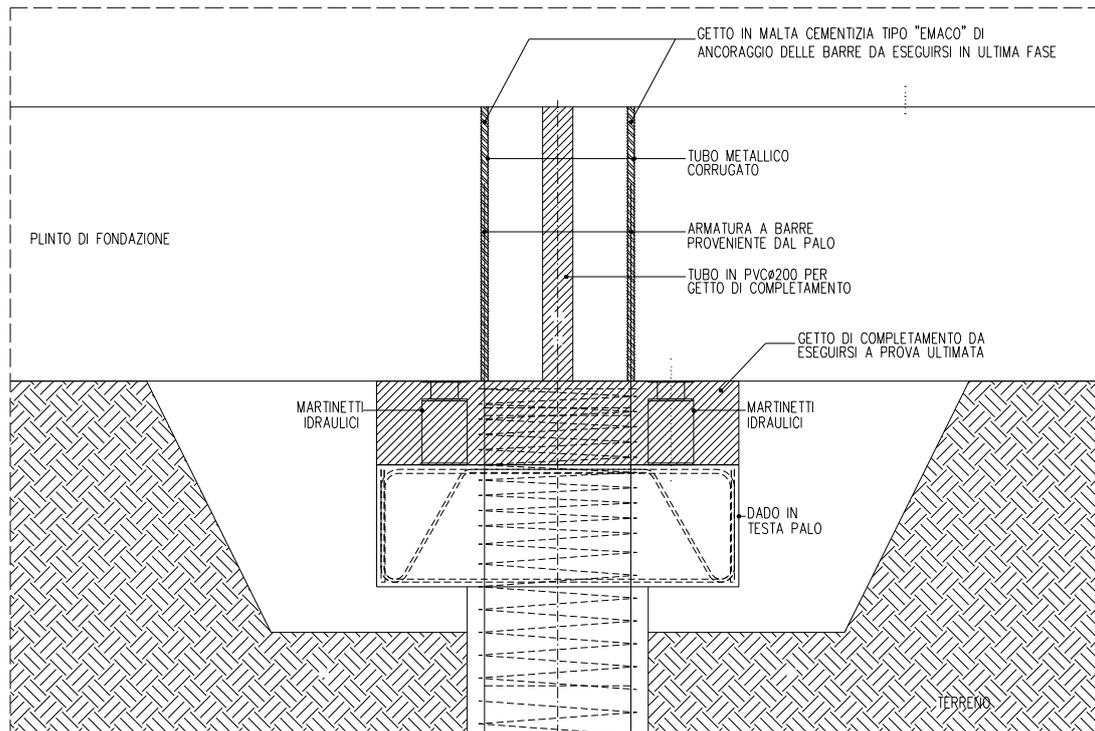


Figura 4- Dado di calcestruzzo e getti di solidarizzazione

APPROVATO SDP

2.2 ATTREZZATURE E DISPOSITIVI DI PROVA

Il carico sarà applicato mediante martinetti idraulici da 250 ton/cad, con corsa minima pari a 200 mm, posizionati in modo da essere perfettamente centrati rispetto all'asse del palo.

I martinetti avranno tutti le medesime caratteristiche, saranno azionati da una pompa idraulica esterna con circuito di alimentazione unico e la pressione sarà fornita da una centralina oleodinamica di tipo motorizzato.

Il carico imposto al palo, sarà determinato in base alla pressione fornita ai martinetti, misurata con un manometro.

Il manometro è corredato da un rapporto di taratura, rilasciato da un laboratorio ufficiale da non più di tre mesi.

E' previsto l'inserimento di un dispositivo in grado di mantenere costante il carico applicato sul palo, per tutta la durata di un gradino di carico ed indipendentemente dagli abbassamenti della testa del palo.

L'area oggetto della prova dovrà essere opportunamente segnalata e recintata e dovrà essere dotata da un termometro necessario per la registrazione della misura della temperatura dell'ambiente.

2.3 DISPOSITIVI PER LA MISURA DEI CEDIMENTI

La misura degli abbassamenti della testa del plinto verrà eseguita attraverso 4 comparatori centesimali con misura diretta di 1/100mm, disposti a 90° rispetto l'asse del palo, ancorati ad apposita struttura indipendente dal palo di fondazione.

Un quinto comparatore dovrà essere posizionato ad adeguata distanza dal palo di prova per valutare eventuali influenze delle variazioni termiche.

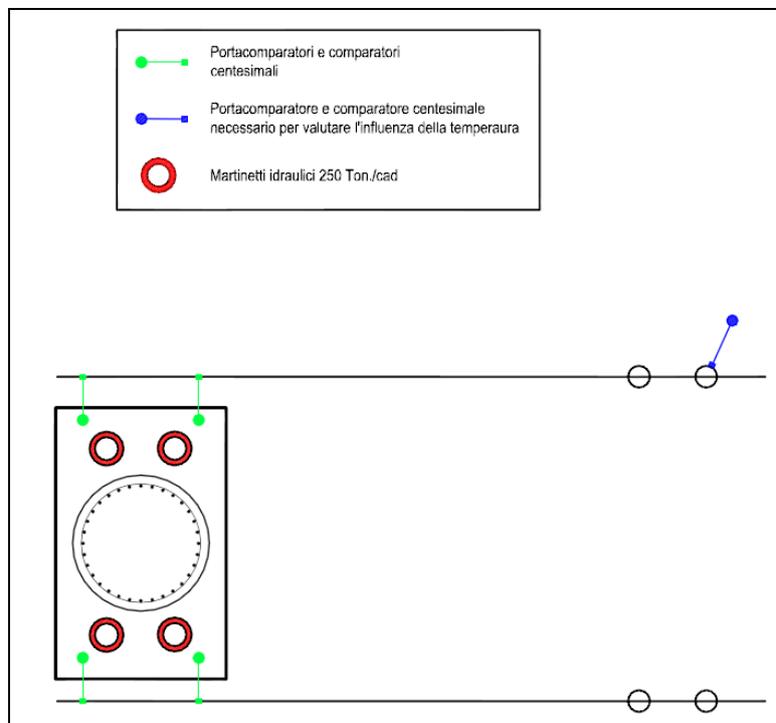


Figura 5 - Schema grafico di misurazione

APPROVATO SDP

3. ESECUZIONE DELLA PROVA DI CARICO

3.1 VALUTAZIONE DEL CARICO DI PROVA

I valori dei carichi di prova sono pari ad almeno 1.5 volte i valori dei carichi massimi sui pali in condizioni di stato limite di esercizio.

	STATO LIMITE DI ESERCIZIO (kN)	CARICO DI PROVA (kN)
	Q_{SLE}	$Q_P = 1.5 * Q_{SLE}$
Spalla A/B	3290	4935

I valori dei carichi SLE riportati in tabella derivano dal documento:

“Progetto esecutivo Relazione di calcolo spalle, appoggi e giunti”

3.2 PROGRAMMA DI CARICO

Si farà riferimento al seguente schema, che prevede due cicli di carico e scarico, da realizzarsi come di seguito specificato.

Si eseguirà un primo ciclo di carico durante il quale si raggiungerà un carico massimo pari al carico massimo agli SLE (Q_{es}). Successivamente si eseguirà un secondo ciclo di carico in cui si raggiungerà il carico massimo di prova (Q_p) = $1.5 * Q_{es}$.

L'applicazione del carico avviene per incrementi successivi (gradini di carico), e ciascun passo di carico deve essere mantenuto per un tempo tale da garantire la stabilizzazione del cedimento.

1° CICLO

a) Applicazione di "n" ($n \geq 4$) gradini di carico successivi, di entità pari a δP , fino a raggiungere l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.

b) In corrispondenza di ciascun gradino di carico si eseguiranno misure dei cedimenti con la seguente frequenza:

t = 0 (applicazione del carico)

t = 2'

t = 4'

t = 8'

t = 15'

Si proseguirà quindi ogni 15' fino a raggiunta stabilizzazione, e comunque per non più di 2 ore.

Il cedimento è considerato stabilizzato se, a parità di carico, è soddisfatta la condizione tra due misure successive (t = 15'): $\delta s \leq 0.025$ mm.

Per il livello corrispondente a P_{es} il carico viene mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi si procede allo scarico mediante almeno 4 gradini, in corrispondenza dei quali si eseguono misure a:

t = 0

Società di Progetto
Brebini SpA



	Doc. N. 65849-CVAX1-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04ROEII1CVAX1000000200	REV. A00	FOGLIO 12 di 33
---	--------------------------------	--	-------------	--------------------

t = 5'

t = 10'

t = 15'

Allo scarico le letture verranno eseguite anche a:

t = 30'

t = 45'

t = 60'

2° CICLO

a) Applicazione di "m" ($m \geq 9$) gradini di carico δP fino a raggiungere 1,5 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE.

b) In corrispondenza di ogni livello di carico si eseguiranno misure di cedimento con la stessa frequenza e limitazioni di cui al punto "b" del 1° Ciclo.

c) Il carico P_{prova} , quando è minore di P_{lim} , sarà mantenuto per un tempo minimo di 4 ore; quindi il palo sarà scaricato mediante almeno 3 gradini (di entità $3 \delta P$) con misure a:

t = 0

t = 5'

t = 10'

t = 15'

A scarico ultimato si eseguiranno misure fino a $t = 60'$; una lettura finale sarà effettuata 12 ore dopo che il palo è stato completamente scaricato.

Si considererà raggiunto il carico limite P_{lim} , e conseguentemente si interromperà la prova, allorquando risulti verificata una delle seguenti condizioni:

cedimento (P_{lim}) ≥ 2 cedimento ($P_{lim} - \delta P$)

cedimento (P_{lim}) ≥ 0.10 diametri.

APPROVATO BDP

Società di Progetto
Brebemi SpA



	Doc. N. 65849-CVAX1-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04ROEII1CVAX1000000200	REV. A00	FOGLIO 13 di 33
---	--------------------------------	--	-------------	--------------------

3.3 RISULTATI DELLA PROVA

Le misure dei cedimenti saranno registrate utilizzando moduli contenenti:

- il n° del palo con riferimento ad una planimetria;
- l'orario di ogni singola operazione;
- la temperatura;
- il carico applicato;
- il tempo progressivo di applicazione del carico;
- le corrispondenti misure di ogni comparatore;
- i relativi valori medi;
- le note ed osservazioni.

Le tabelle complete delle letture tempo-carico-cedimento costituiranno il verbale della prova.

La documentazione fornita dall'esecutore della prova dovrà comprendere i seguenti dati:

- tabelle complete delle letture tempo-carico-cedimento con le indicazioni singole dei comparatori e la loro media aritmetica; (Sono richieste anche le fotocopie chiaramente leggibili della documentazione originale di cantiere ("verbale")).
- diagrammi carichi-cedimenti finali per ciascun comparatore e per il valore medio;
- diagrammi carichi-cedimenti (a carico costante) per ciascun comparatore e per il valore medio;
- numero di identificazione e caratteristiche nominali del palo (lunghezza, diametro);
- stratigrafia del terreno rilevata durante la perforazione;
- geometria della prova (dispositivo di contrasto, travi portamicrometri, etc.);
- disposizione, caratteristiche e certificati di taratura della strumentazione;
- scheda tecnica del palo, preparata all'atto dell'esecuzione;
- relazione tecnica riportante l'elaborazione dei dati e l'interpretazione della prova medesima.

Società di Progetto
Brebemi SpA



4. DESCRIZIONE DEL MODELLO ANALITICO

La struttura di fondazione della spalla viene schematizzata attraverso un modello analitico agli elementi finiti, costruito mediante elementi "shell" ai quali vengono assegnate le proprietà del plinto di fondazione.

Si riportano di seguito gli schemi del modello utilizzato.

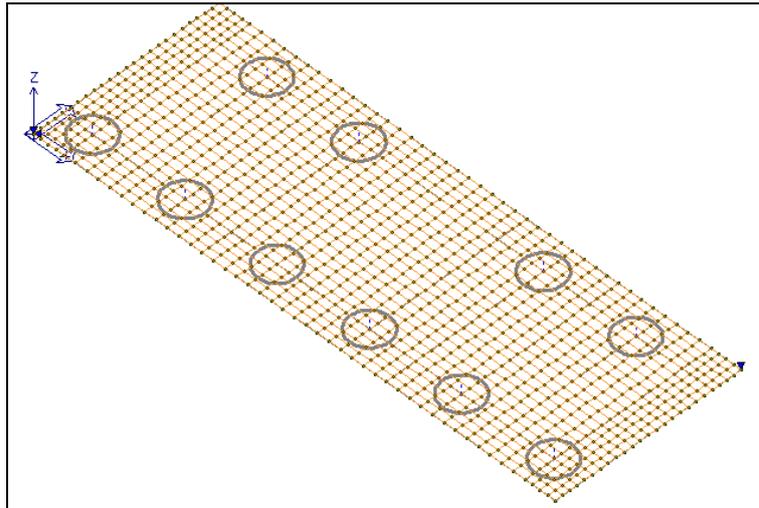


Figura 6- Pianta modello di calcolo

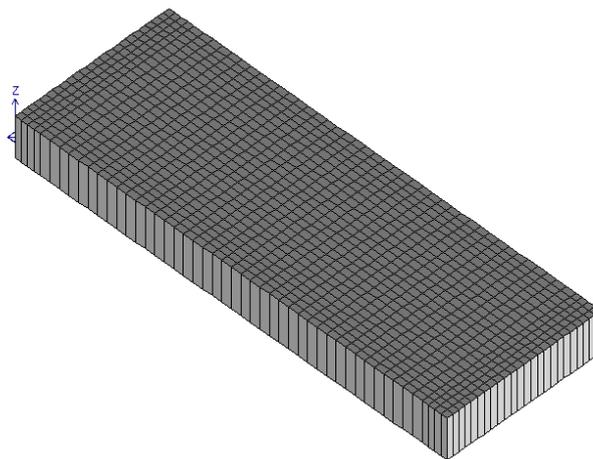


Figura 7- Schema tridimensionale modello di calcolo

I pali di fondazione non oggetto di prova sono schematizzati da vincoli esterni elastici nella direzione verticale (rigidezza nominale da calcolo $K= 670'000$ kN/m).

APPROVATO SDP

Come già detto al §2, oltre alla rigidezza di cui sopra, si considerano un primo caso limite caratterizzato dalla rigidezza k_{min} dei pali pari alla metà del valore calcolato ed un secondo caso limite, caratterizzato dalla rigidezza K_{max} , pari al doppio dello stesso valore calcolato, pari a

$$K_{min} = 335'000 \text{ kN/m}$$

$$K_{max} = 1'340'000 \text{ kN/m}$$

Pertanto nei paragrafi seguenti saranno riportate le sollecitazioni riguardanti i tre modelli adoperati.

La struttura è sottoposta ai seguenti carichi:

- Peso proprio del plinto di fondazione $Q_g = 16.13 \times 5.80 \times 1.60 \times 25 = 3742.20 \text{ kN}$
- Carico di Collaudo $Q_p = 1.5 \times Q_{es} = 4935.00 \text{ kN}$

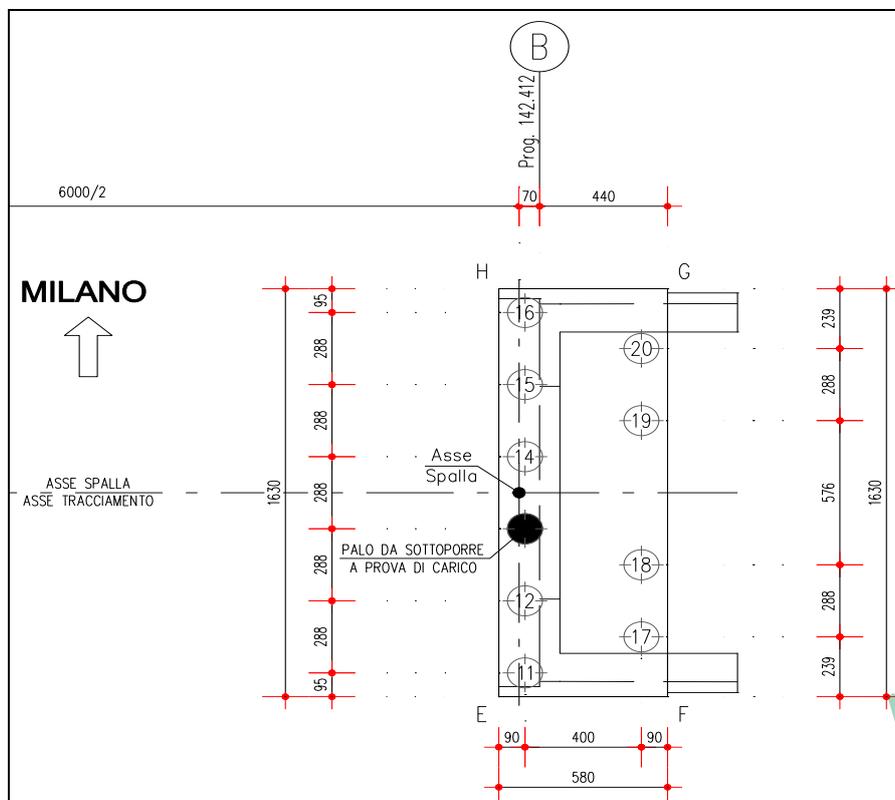


Figura 8 - Schema della fondazione oggetto di prova (palo di prova: n°13)

4.1 Calcolo delle sollecitazioni nel plinto di fondazione e sui pali

Di seguito vengono riportati i principali risultati ottenuti dal calcolo svolto mediante l'utilizzo dei modelli analitici implementati. In particolare vengono riportati:

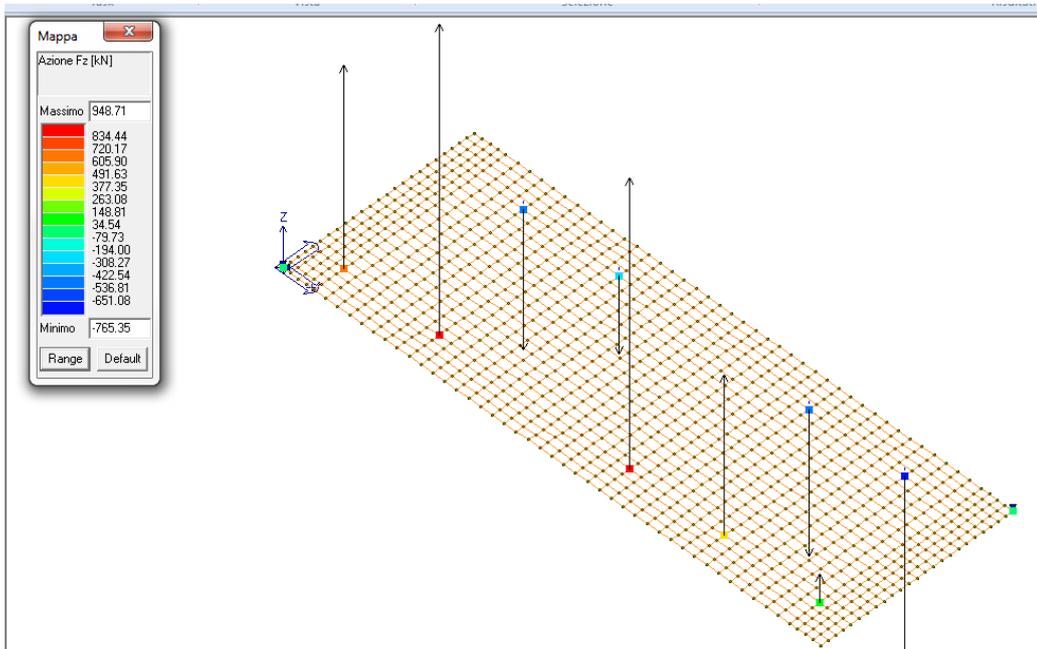
i valori delle azioni sui pali: caso limite che considera $k = k_{max}$

i valori delle sollecitazioni della struttura di fondazione: caso limite che considera $k = k_{min}$

4.1.1 Modello con rigidezza pali minima (k_{min})

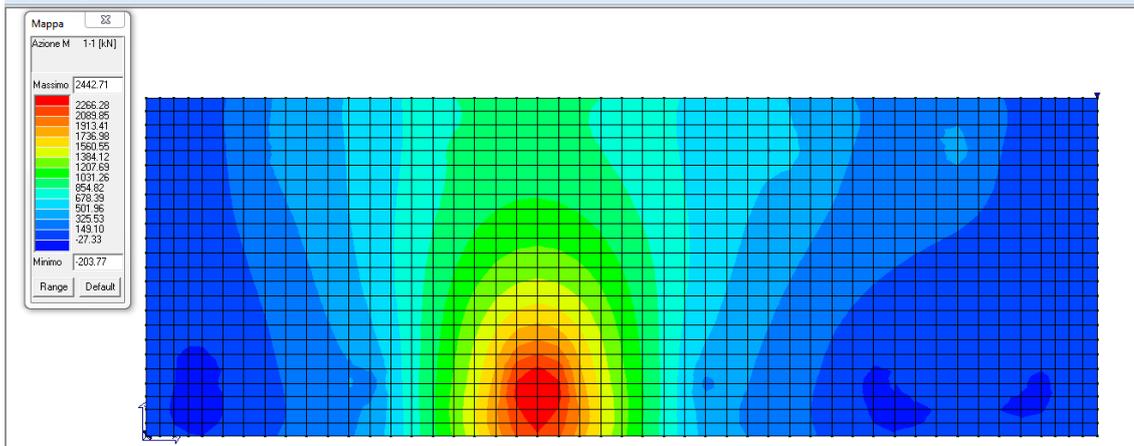
Per il modello in esame si ottengono i seguenti risultati:

Azioni sui pali

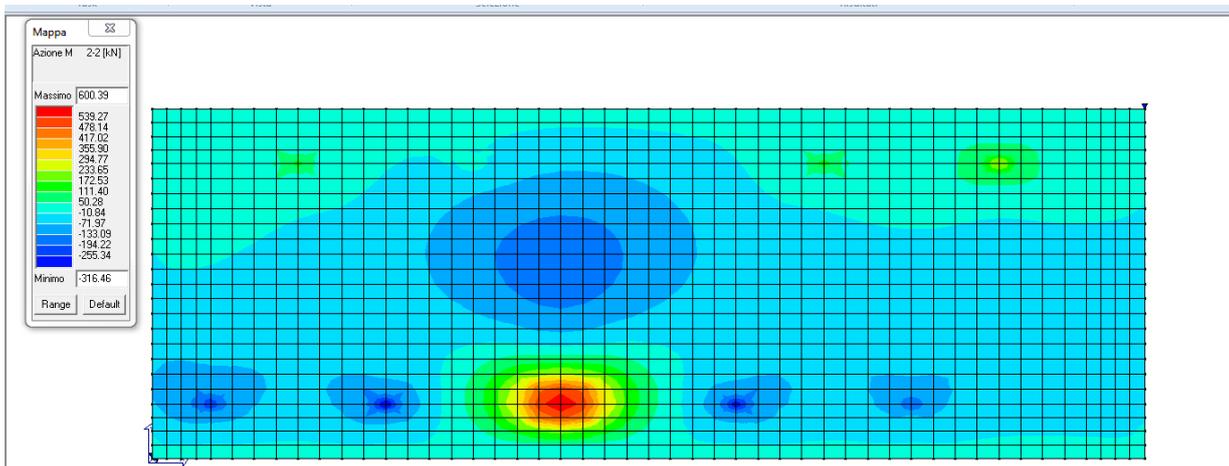


APPROVATO SDP

Sollecitazioni flessionali direzione trasversale



Sollecitazioni flessionali direzione longitudinale

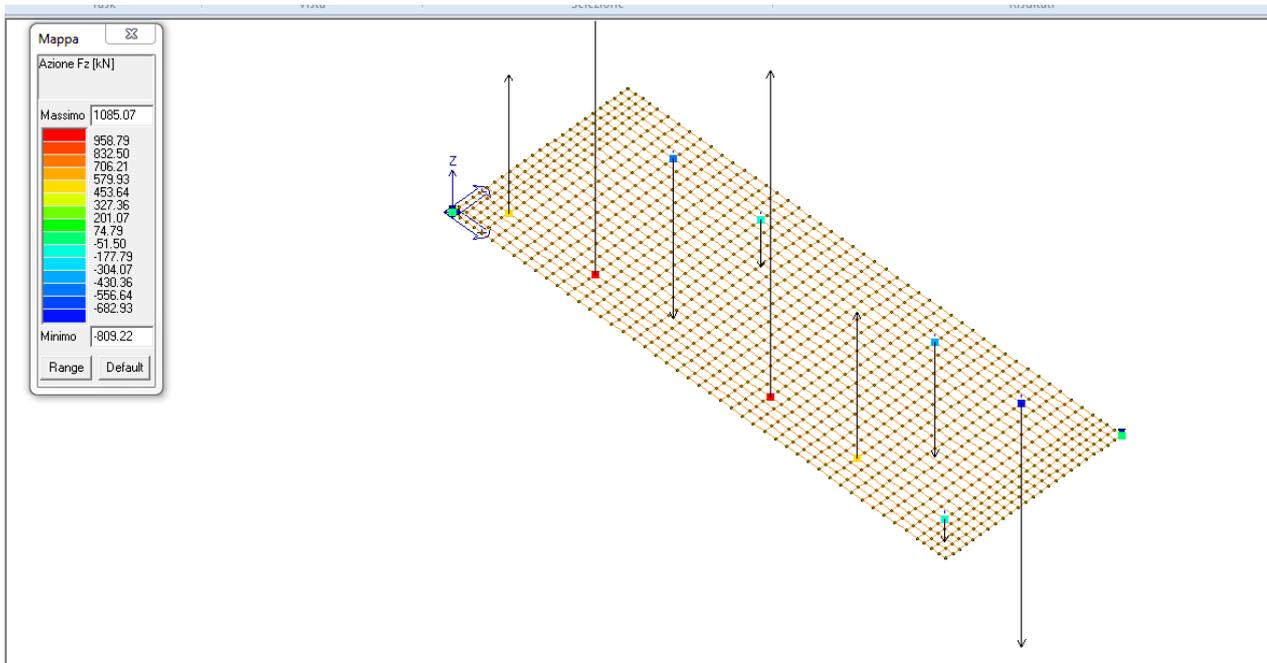


APPROVATO SDP

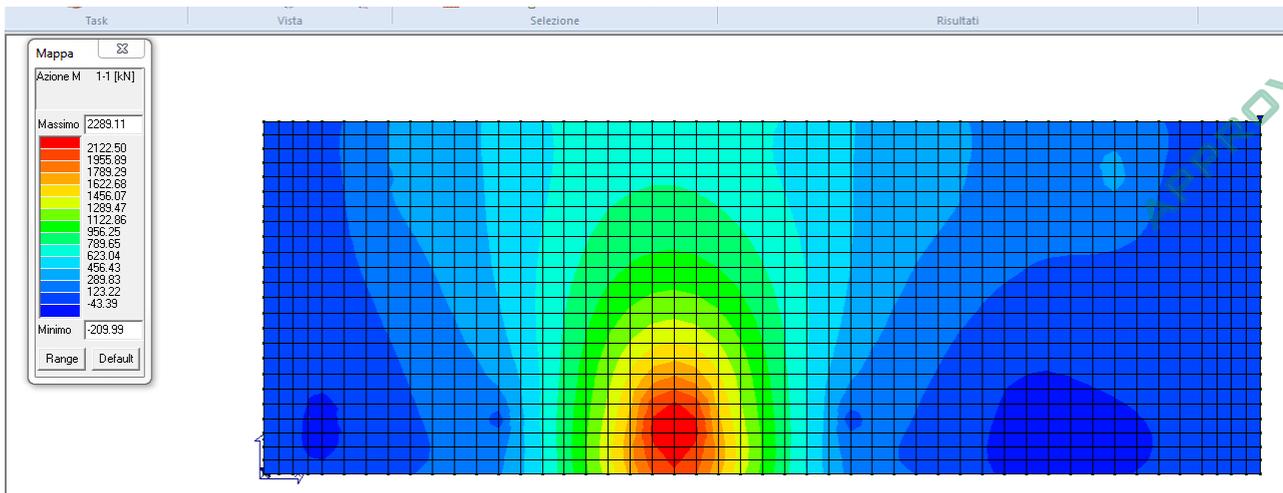
4.1.2 Modello con rigidezza pali di calcolo (k)

Per il modello in esame si ottengono i seguenti risultati:

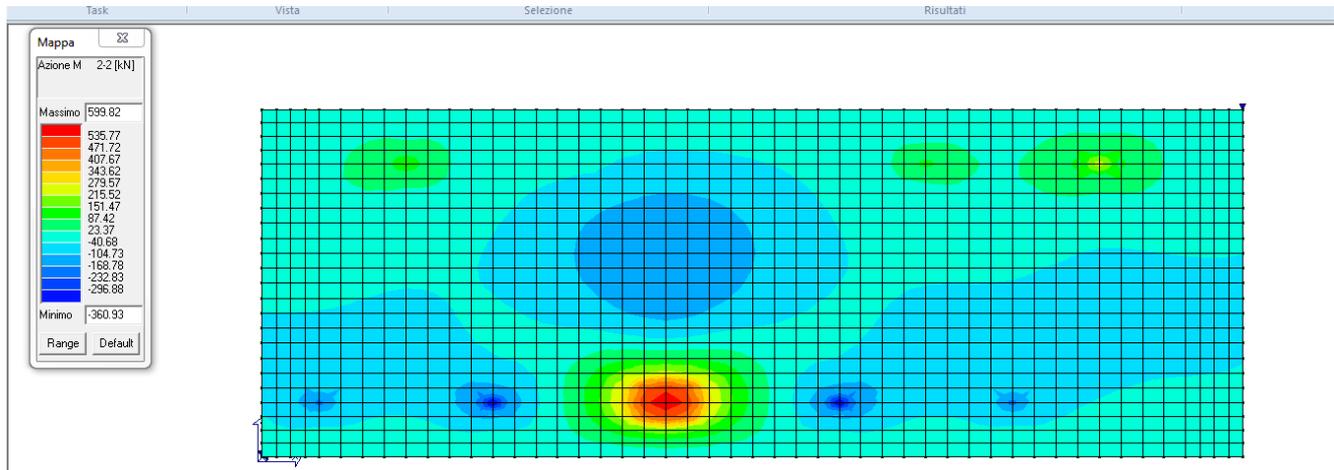
Azioni sui pali



Sollecitazioni flessionali direzione trasversale



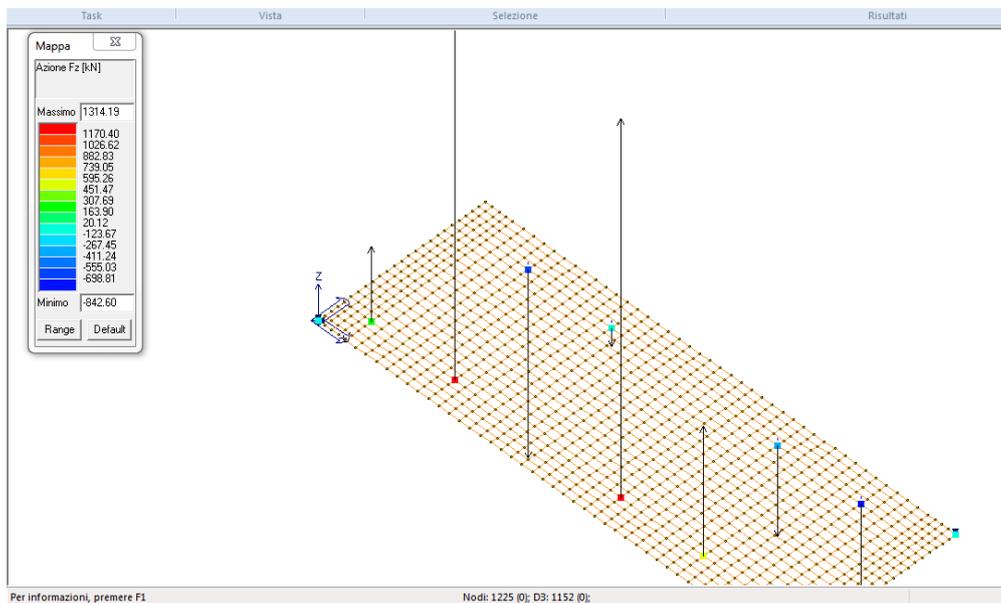
Sollecitazioni flessionali direzione longitudinale



4.1.3 Modello con rigidezza pali massima (kmax)

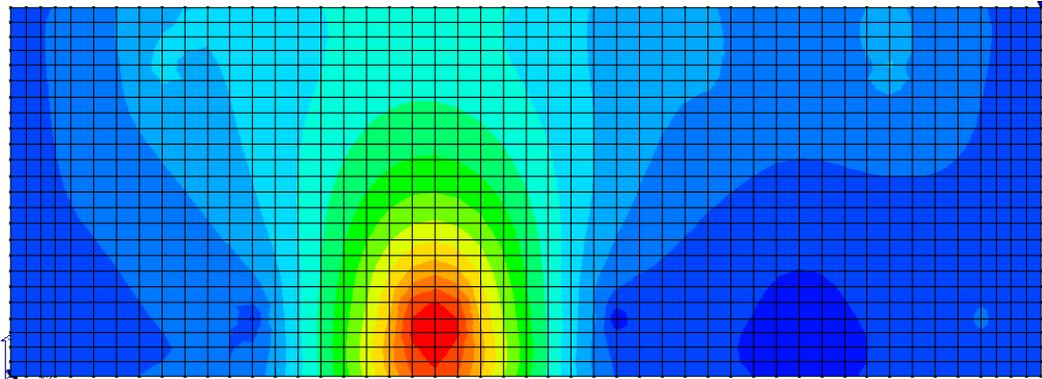
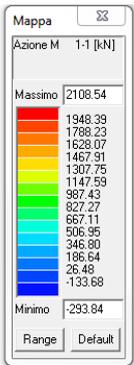
Per il modello in esame si ottengono i seguenti risultati:

Azioni sui pali

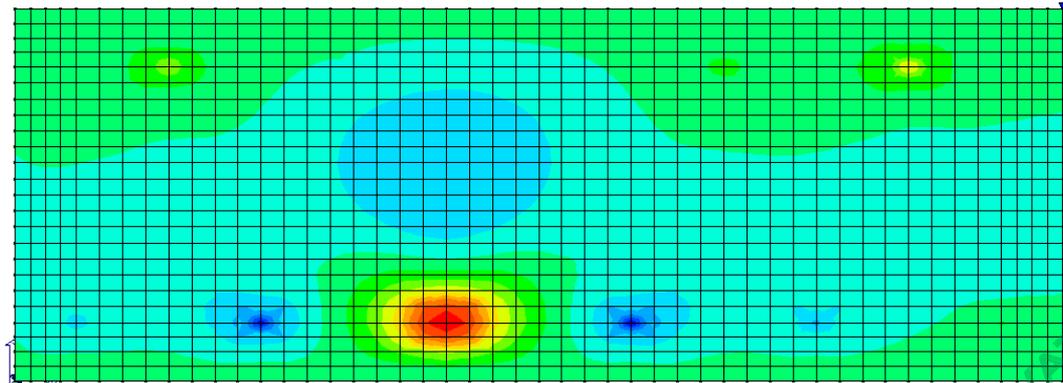
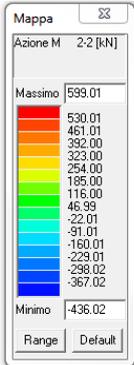


APPROVATO SDP

Sollecitazioni flessionali direzione trasversale



Sollecitazioni flessionali direzione longitudinale



APPROVATO SDP

4.1.4 Riepilogo delle sollecitazioni risultanti

Si riportano i massimi valori di azione assiale di trazione sui pali e momento flettente risultanti nella direzione trasversale ed in quella longitudinale.

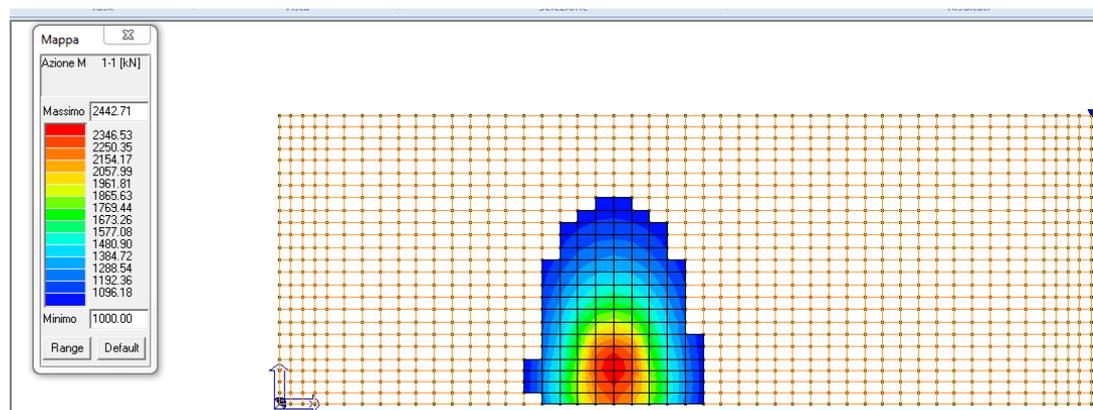
4.1.4.1 Azione assiale

Dall'esame degli output di calcolo si ricava che il massimo valore dello sforzo assiale sui pali adiacenti al palo di prova è:

$$Q_t = 1'315.00 \text{ kN}$$

4.1.4.2 Massimo momento trasversale

Si riporta di seguito uno stralcio della zona che richiede armatura integrativa all'estradosso:



Massimo momento positivo (tende le fibre superiori)

$$M_{\max (+)} = +2450.00 \text{ kNm/m}$$

$$M_{\text{transizione (+)}} = +1560 \text{ kNm/m}$$

$$M_{\text{corrente (+)}} = +860 \text{ kNm/m}$$

Massimo momento negativo (tende le fibre inferiori)

$$M_{\max (-)} = -300.00 \text{ kNm/m}$$

Dall'immagine stralcio di cui sopra, è evidente che esiste una zona di massima sollecitazione in corrispondenza dell'asse palo, e una zona di transizione dove le sollecitazioni diminuiscono fino a raggiungere valori adeguati alle armature già presenti nella fondazione.

Pertanto, saranno eseguite tre verifiche, una in corrispondenza del palo (massima armatura aggiuntiva presente), un'altra nella zona di transizione (minima armatura aggiuntiva) ed infine quella con l'armatura corrente della fondazione.

Società di Progetto

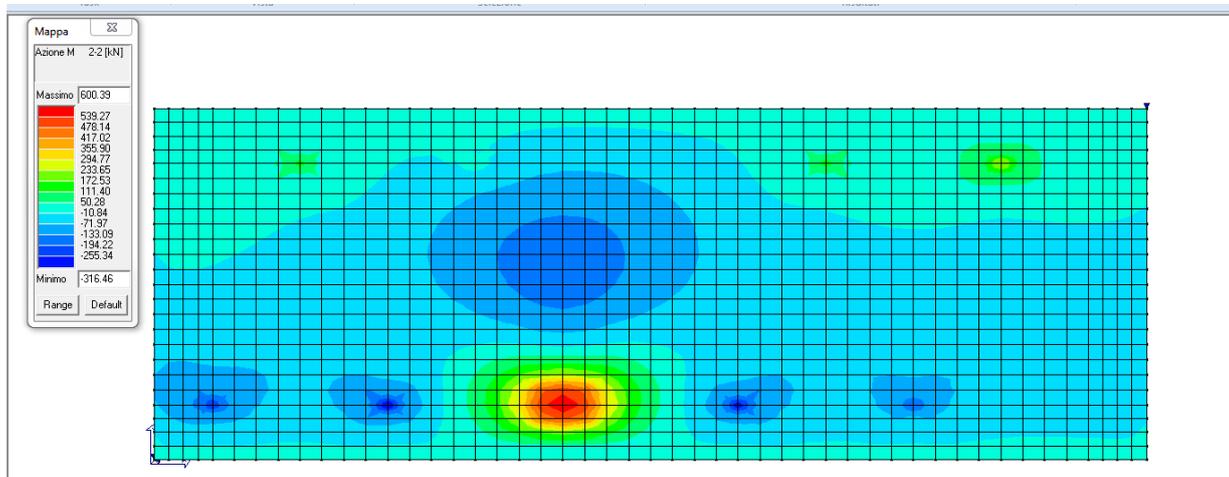
Brebemi SpA



APPROVATO SDP

4.1.4.3 Massimo momento longitudinale

Si riporta di seguito uno stralcio della zona con le massime sollecitazioni di verifica:



Mmax (+)= 600.00 kNm/m (tende le fibre superiori)

Mmax (-)= -320.00 kNm/m (tende le fibre inferiori)

APPROVATO SDP

Società di Progetto
Brebemi SpA



4.2 VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEI PALI

La resistenza di trazione dei pali di fondazione risulta pari alla somma di due contributi, il peso proprio del palo e la resistenza limite laterale ridotta mediante un opportuno coefficiente di sicurezza.

La resistenza laterale del palo viene calcolata mediante la seguente espressione:

$$Q_{lat,i} = \pi \cdot D \cdot L_i \cdot \gamma_i \cdot z_i \cdot k \cdot \tan \varphi_i$$

dove

$Q_{lat,i}$ = resistenza laterale dello strato i-esimo del terreno

D = diametro del palo

L_i = altezza dello strato i-esimo di terreno

γ_i = peso specifico dello strato i-esimo di terreno

z_i = profondità media dello strato i-esimo di terreno

k = coefficiente di spinta orizzontale assunto pari a 0.4

φ_i = angolo di attrito interno dello strato i-esimo di terreno

Il valore della resistenza ammissibile a trazione del palo viene calcolato adottando i parametri geotecnici assunti in fase di progetto, riepilogati di seguito, ed un coefficiente di sicurezza sulla portata per attrito laterale pari a 1.6 e un coefficiente $\xi=1.70$. Si assume inoltre che i primi 2.00m di palo non siano reagenti.

$$\gamma_i = 20 \text{ kN/m}^3, \varphi_i = 35^\circ$$

Si esegue la verifica per il palo di lunghezza inferiore tra le due spalle, avente le seguenti caratteristiche dimensionali:

$$D = 1.20\text{m}$$

$$L_{\text{palo}} = 22.00\text{m}$$

Il valore globale della resistenza a trazione del palo risulta dunque pari a:

$$R_t = W_p + R_l$$

In tabella sono riassunti valori dei carichi, espressi in kN, coinvolti nella verifica a trazione del palo.

Peso palo	Resistenza laterale	Resistenza totale	Sforzo assiale di trazione	Coeff. di sicurezza
WP	RI	$R_t = W_p + R_l$	Qt	R_t / Q_t
622.00	1792.00	2414.00	1315.00	1.84

Poiché risulta:

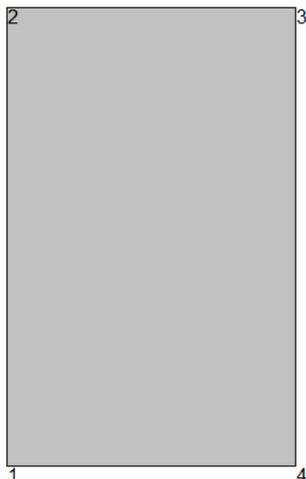
$$Q_t < R_t$$

si desume che, anche senza posizionare alcuna zavorra sul plinto di fondazione, si ottiene un sufficiente margine di sicurezza sullo sfilamento dei pali di contrasto.

4.3 VERIFICHE DELLA STRUTTURA DI FONDAZIONE

Si eseguono verifiche a flessione, in direzione longitudinale e trasversale, allo stato limite di esercizio e verifiche al punzonamento.

Sezione di verifica



Geometria della sezione:

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	0,0
2	0,0	160,0
3	100,0	160,0
4	100,0	0,0

Normativa di riferimento:

Eurocodice 2 - UNI-EN 1992.1.1 - 1993

Note:

Verifiche SLE per ambiente ordinario

Materiali:

Calcestruzzo classe: C28/35

R_{ck} (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 350 daN/cm²

f_{ck} (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 280 daN/cm²

f_{ctm} (resistenza a trazione media) = 28 daN/cm²

G (modulo di elasticità tangenziale) = 144232 daN/cm²

E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 323080 daN/cm²

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: B450C

f_{yk} (tensione caratteristica di snervamento) = 4500 daN/cm²

f_{kt} (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm²

ϵ_{uk} (deformazione di rottura) = 0.075

G (modulo di elasticità tangenziale) = 770000 daN/cm²

E (modulo elastico) = 2000000 daN/cm²

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

APPROVATO SDP

Società di Progetto

Brebemi SpA



Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012
 Peso specifico = 7850 daN/mc

4.3.1 Momento trasversale

4.3.1.1 Verifica sezione asse palo



Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	23,1	150,3	5,3	no
2	36,6	150,3	5,3	no
3	50,0	150,3	5,3	no
4	63,4	150,3	5,3	no
5	76,9	150,3	5,3	no
6	76,9	9,7	5,3	no
7	63,4	9,7	5,3	no
8	50,0	9,7	5,3	no
9	36,6	9,7	5,3	no
10	23,1	9,7	5,3	no
11	21,3	150,2	6,2	no
12	32,8	150,2	6,2	no
13	44,3	150,2	6,2	no
14	55,7	150,2	6,2	no
15	67,2	150,2	6,2	no
16	78,7	150,2	6,2	no

APPROVATO SDP

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS: $\sigma_{cL} = 16800,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$)

Acciaio: $\sigma_{aL} = 315000,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	σ_a	σ_a/σ_{aL}
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
1 OK	-2450,0	0,0	0,0	-7391,2	0,44	282473,8	0,90

Società di Progetto
Brebemi SpA



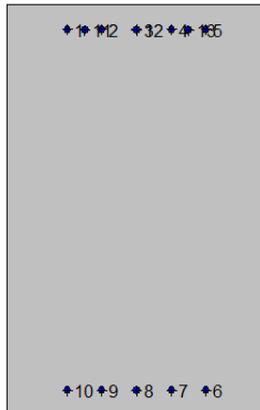
Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure: $WkL = 0,40$ mm (verifica Ok per $Wk/WkL < 1$)

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
2 OK	-2450,0	0,0	0,0	0,31	0,76

4.3.1.2 Verifica sezione di transizione



Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	23,1	150,3	5,3	no
2	36,6	150,3	5,3	no
3	50,0	150,3	5,3	no
4	63,4	150,3	5,3	no
5	76,9	150,3	5,3	no
6	76,9	9,7	5,3	no
7	63,4	9,7	5,3	no
8	50,0	9,7	5,3	no
9	36,6	9,7	5,3	no
10	23,1	9,7	5,3	no
11	29,9	150,2	6,2	no
12	50,0	150,2	6,2	no
13	70,1	150,2	6,2	no

APPROVATO SDP

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS: $\sigma_{cL} = 16800,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$)

Acciaio: $\sigma_{aL} = 315000,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	σ_a	σ_a/σ_{aL}
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
1 OK	-1560,0	0,0	0,0	-5334,2	0,32	250354,5	0,79

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure: $WkL = 0,40$ mm (verifica Ok per $Wk/WkL < 1$)

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
2 OK	-1560,0	0,0	0,0	0,25	0,63

Società di Progetto
Brebemi SpA



4.3.1.3 Verifica sezione corrente



Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	23,1	150,3	5,3	no
2	36,6	150,3	5,3	no
3	50,0	150,3	5,3	no
4	63,4	150,3	5,3	no
5	76,9	150,3	5,3	no
6	76,9	9,7	5,3	no
7	63,4	9,7	5,3	no
8	50,0	9,7	5,3	no
9	36,6	9,7	5,3	no
10	23,1	9,7	5,3	no

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS: $\sigma_{cL} = 16800,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$)

Acciaio: $\sigma_{aL} = 315000,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	σ_a	σ_a/σ_{aL}
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
1 OK	-860,0	0,0	0,0	-3607,9	0,21	230186,9	0,73

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure: $W_kL = 0,40$ mm (verifica Ok per $W_k/W_{kL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
2 OK	-860,0	0,0	0,0	0,00	0,00

APPROVATO SDP

4.3.2 Momento longitudinale



Armature:

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	21,4	152,9	5,3	no
2	35,7	152,9	5,3	no
3	50,0	152,9	5,3	no
4	64,3	152,9	5,3	no
5	78,6	152,9	5,3	no
6	78,6	7,1	5,3	no
7	64,3	7,1	5,3	no
8	50,0	7,1	5,3	no
9	35,7	7,1	5,3	no
10	21,4	7,1	5,3	no

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:

Valori limite (tensioni: segno (-) = compressione, (+) = trazione):

CLS: $\sigma_{cL} = 16800,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$)

Acciaio: $\sigma_{aL} = 315000,0$ kN/mq (verifica Ok per $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	σ_c	σ_c/σ_{cL}	σ_a	σ_a/σ_{aL}
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
1 OK	600,0	0,0	0,0	-2412,3	0,14	157192,1	0,50

Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure: $W_{kL} = 0,40$ mm (verifica Ok per $W_k/W_{kL} < 1$)

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
2 OK	600,0	0,0	0,0	0,00	0,00

APPROVATO SDP

4.3.3 Punzonamento

Si riporta la verifica a punzonamento della fondazione in corrispondenza del palo di prova.

Carico punzonante	$N_{ed} =$	6662,00	kN
Sollecitazione flessionale dir. Y	$M_{edy} =$	0	kNm
Sollecitazione flessionale dir. Z	$M_{edz} =$	0	kNm
R_{ck} utilizzato	$R_{ck} =$	35	N/mm ²
f_{ck} utilizzato	$f_{ck} =$	28	N/mm ²
Lato maggiore pilastro dir y	$c_1 =$	120	cm
Lato minore pilastro dir z	$c_2 =$	120	cm
Perimetro a filo	$u_0 =$	360,00	cm
Perimetro a 2d	$u_1 =$	945,0	cm
Altezza utile	$d =$	153	cm
Area barra in dir. y	$A_{sx} =$	5,3	cm ²
Passo armatura in dir. y	$i_y =$	20	cm
Rapporto geometrico d'armatura γ	$\gamma_y =$	0,00173203	≤ 0.02
Area barra in dir. Z	$A_{sz} =$	5,3	cm ²
Passo armatura in dir. Z	$i_z =$	20	cm
Rapporto geometrico d'armatura γ	$\gamma_z =$	0,00173203	≤ 0.02
Rapporto ideale d'armatura γ	$\gamma =$	0,00173203	≤ 0.02
VERIFICA A FILO PALO			
coeff. riduttivo β	$\beta =$	0,79	
Tensione di punzonamento a filo	$V_{Ed} =$	0,95	N/mm ²
coefficiente v	$v =$	0,6216	
Valore di resistenza a taglio-punzonamento ($0.5 \cdot v \cdot f_{cd}$)	$V_{Rd,max} =$	4,93	N/mm ²
$V_{Ed} < V_{Rd,max}$		ok	
VERIFICA LUNGO IL PERIMETRO DI VERIFICA A DISTANZA 2d			
Tensione di punzonamento a 2d	$V_{Ed} =$	0,36	N/mm ²
Valore di resistenza a taglio-punzonamento	$V_{Rdc} =$	0,28	N/mm ² \geq
$V_{Ed} < V_{Rdc}$		non verificata !!! Inserire armatura	
VERIFICA CON ARMATURA A TAGLIO-PUNZONAMENTO			
Resistenza efficace armatura	$f_{ywd,ef} =$	391,30	N/mm ²
Angolo tra armatura e faccia piastra	$\alpha =$	90	
Armatura minima	$A_{sw}/s_r \geq$	2,50	mm ² /mm
Distanza prima serie da bordo pilastro	$a_1 =$	25	cm
Perimetro che non necessita di armatura	$u_{out} =$	0,1	cm
Distanza u_{out} - pilastro	$k \cdot d =$	120,00	cm

APPROVATO SDP

Società di Progetto
Brebemi SpA



Distanza minima da u_{out}	$1.5 \cdot d \Rightarrow$	40	cm
Distanza minima da u_{out} (IMPOSTA)	$d_{min, Uout} =$	40	cm
Distanza ultima serie da pilastro	$a_u =$	80,00	cm
Distanza tra prima e ultima serie	$a_u - a_1 =$	55,00	cm
Passo minimo cuciture ($\leq 0.75 \cdot d$)	$s_r \leq$	114,75	cm
Numero totale di spazi tra le cuciture	$n =$	2	
Passo cuciture	$s_r =$	60,0	cm
Area di ogni serie	$A_{sw} =$	14,98	cm ²
Area minima da norma	$A_{sw, min} \geq$	86,36	cm ²
Area singola barra scelta	$A_{sw1} =$	3,14	cm ²
Numero minimo di cuciture	$n_{min, A_{sw1}} =$	5,00	
Numero minimo di cuciture da adottare	$n, A_{sw1} =$	5,00	

La verifica risulta soddisfatta inserendo n.12 barre $\Phi 20$.

APPROVATO SDP

	Doc. N. 65849-CVAX1-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04ROEII1CVAX1000000200	REV. A00	FOGLIO 31 di 33
---	--------------------------------	--	-------------	--------------------

4.4 RISULTATI DELLE VERIFICHE

La verifica geotecnica allo sfilamento conferma che non è necessario posizionare alcuna zavorra sul plinto di fondazione per garantire che durante l'esecuzione della prova di carico sui pali adiacenti al palo di prova nascano sforzi assiali di trazione limitati.

Dalle verifiche strutturali del plinto si desume che nella direzione longitudinale non devono prevedersi armature aggiuntive, mentre nella direzione trasversale devono prevedersi armature aggiuntive costituite da 7 ferri di diametro $\Phi 28$ da disporre all'estradosso del plinto in corrispondenza del palo di prova, e 5 ferri di diametro $\Phi 28$ da disporre all'estradosso del plinto nella restante zona (come da elaborato grafico). Si prevede inoltre opportuna armatura di cucitura per la verifica di resistenza a punzonamento.

L'armatura prevista viene descritta nell'elaborato grafico specifico a corredo della presente.

APPROVATO SDP

Società di Progetto
Brebemi SpA



	Doc. N. 65849-CVAX1-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04ROEII1CVAX1000000200	REV. A00	FOGLIO 32 di 33
---	--------------------------------	--	-------------	--------------------

5. CEDIMENTO PREVISTO

Vengono di seguito riportati i cedimenti massimi previsti:

	1.5*Qes
Spalla A e B	1.33 cm

6. DOCUMENTAZIONE DELLA PROVA

Le misure dei cedimenti saranno registrate utilizzando apposito modulo contenente le seguenti informazioni:

- identificazione del palo;
- orario di ogni singola operazione;
- il carico applicato;
- le misure di ogni comparatore e il valor medio;
- il cedimento calcolato rispetto alla lettura precedente;
- la temperatura;
- le note ed osservazioni.

La tabella completa delle letture tempo-carico-cedimento costituirà il verbale della prova.

APPROVATO SDP

Società di Progetto
Brebemi SpA



	Doc. N. 65849-CVAX1-A00.doc	CODIFICA DOCUMENTO 04ROEII1CVAX1000000200	REV. A00	FOGLIO 33 di 33
---	--------------------------------	--	-------------	--------------------

7. ALLEGATI

7.1 MODULO DI REGISTRAZIONE MISURAZIONI

APPROVATO SDP

Società di Progetto
Brebemi SpA

