

**LAVORI DI COLLEGAMENTO TRA LA S.S.11 A MAGENTA E LA TANGENZIALE OVEST DI MILANO**

**VARIANTE DI ABBIATEGRASSO E ADEGUAMENTO IN SEDE DEL TRATTO ABBIATEGRASSO-VIGEVANO FINO AL PONTE SUL FIUME TICINO**

**1° STRALCIO DA MAGENTA A VIGEVANO - TRATTA C**

**PROGETTO ESECUTIVO - COD. MI608**

 <p><b>STUDIO CORONA</b></p>	 <p><b>Ing. Valerio Bajetti</b> Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</p>	<p><b>ING. RENATO DEL PRETE</b></p> <p><b>Ing. Renato Del Prete</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</p>	 <p><b>Arch. Nicoletta Frattini</b> Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</p>	 <p><b>Ing. Gabriele Incecchi</b> Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</p>
	<p><b>Ing. Renato Vaira</b> (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)</p>	 <p><b>Prof. Ing. Matteo Ranieri</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</p>	<p><b>SETAC Srl</b> Servizi &amp; Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni</p> <p><b>Prof. Ing. Luigi Monterisi</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</p>	<p><b>ARKE' INGEGNERIA s.r.l.</b></p> <p><b>Ing. Gioacchino Angarano</b> Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</p>

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO



Dott. Ing. Giuseppe Danilo MALGERI

INTEGRATORE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE



Ing. Fabrizio BAJETTI

GEOLOGO



Prof. Ing. Geol. Luigi MONTERISI

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE



Ing. Gianluca CICIRIELLO

**HR07**

**H - PROGETTO STRUTTURALE - OPERE PRINCIPALI**

**HR - CV19 - CAVALCAVIA SVINCOLO n°10**

RELAZIONE DI CALCOLO GEOTECNICA - PALI DI FONDAZIONE SEZIONI AD U

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	HR07-P03CV19STRRE06_A.PDF		
LO203	E	2301	CODICE ELAB. P03CV19STRRE06	A	-
C					
B					
A	EMISSIONE		Ottobre 2023	ING. STEFANIA RUGGIERI	ING. GAETANO RANIERI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO
					APPROVATO

## Sommario

<b>1. PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>4</b>
<b>3. MATERIALI</b>	<b>5</b>
<b>3.1 CALCESTRUZZO</b>	<b>5</b>
<b>3.2 ACCIAIO</b>	<b>8</b>
<b>4. PARAMETRI GEOTECNICI</b>	<b>9</b>
<b>4.1 SCAVI E RIEMPIMENTI</b>	<b>11</b>
<b>5. AZIONE SISMICA</b>	<b>12</b>
<b>6. CRITERI DI VERIFICA</b>	<b>17</b>
<b>6.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI</b>	<b>17</b>
<b>6.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO</b>	<b>17</b>
<b>7. ANALISI DEI CARICHI</b>	<b>19</b>
<b>8. PALI</b>	<b>20</b>
<b>8.1 SOLLECITAZIONI AGENTI SUI PALI DI FONDAZIONE</b>	<b>20</b>
<b>8.2 CRITERI DI VERIFICA</b>	<b>21</b>
<b>8.3 CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE LIMITE</b>	<b>23</b>
<b>8.4 CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE</b>	<b>26</b>
<b>8.5 CEDIMENTI</b>	<b>30</b>
<b>8.6 SOLLECITAZIONI LUNGO IL PALO</b>	<b>31</b>
<b>8.7 VERIFICA STRUTTURALE PALO</b>	<b>35</b>
8.7.1 VERIFICA IN TESTA AI PALI	35
8.7.2 VERIFICA SECONDO TRATTO	39
<b>8.8 VERIFICA PALI SEZIONE U SPALLA A</b>	<b>42</b>
<b>9. CONSIDERAZIONI SULLE ANALISI E LE VERIFICHE SVOLTE</b>	<b>44</b>
<b>9.1 ALLEGATO 1 VALIDAZIONE RC-SEC</b>	<b>45</b>
<b>10. SOTTOSCRIZIONE DELL'ELABORATO DA PARTE DEL R.T.P</b>	<b>68</b>

## 1. PREMESSA

Si considera un'opera di scavalcamento da realizzarsi nell'ambito dei lavori per il collegamento tra la S.S.11 a Magenta e la Tangenziale Ovest di Milano, tratto Albairate – Ozzero. Il cavalcavia copre una luce di calcolo uguale a 23.0m e si trova in corrispondenza della rampa GH dello svincolo n°10.

A sostegno del rilevato è prevista la realizzazione di una sezione ad U di altezza media pari a circa 8.0m, su fondazioni su pali.

Si consultino per maggior chiarezza gli elaborati grafici di progetto: planimetria e profilo longitudinale dell'opera.

Le azioni considerate nel calcolo sono quelle tipiche delle strutture da ponte stradale soggetto alle azioni da traffico come previsto dall' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 17 gennaio 2018".

Dal punto di vista sismico l'opera ricade nel comune di Albairate (MI).

Nella presente relazione si riportano le verifiche geotecniche e strutturali dei pali. Per la verifica dei piedritti e della zattera di fondazione si rimanda alla relazione P03CV19STRRE05.

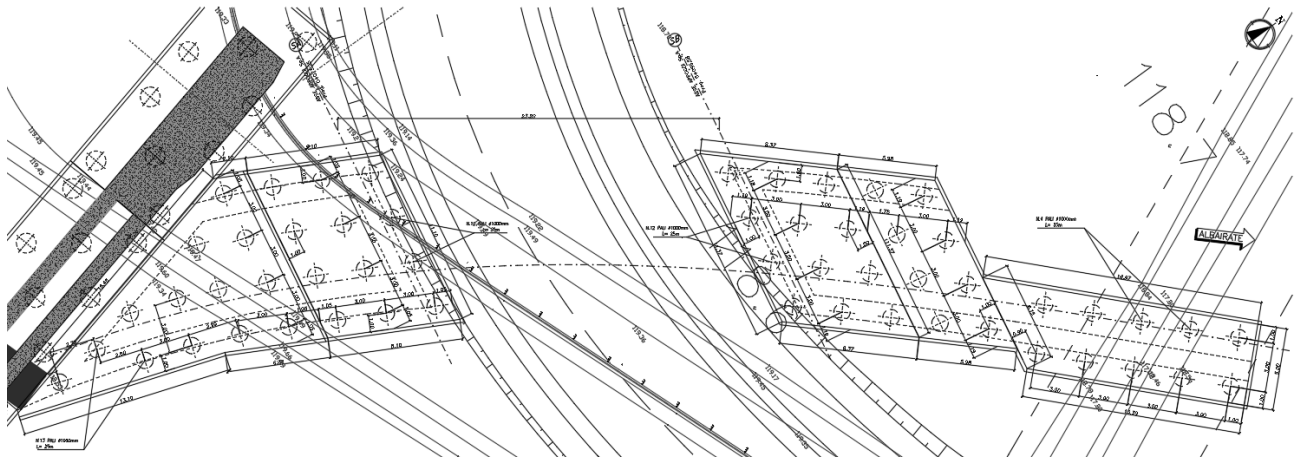


Figura 1: Pianta fondazioni

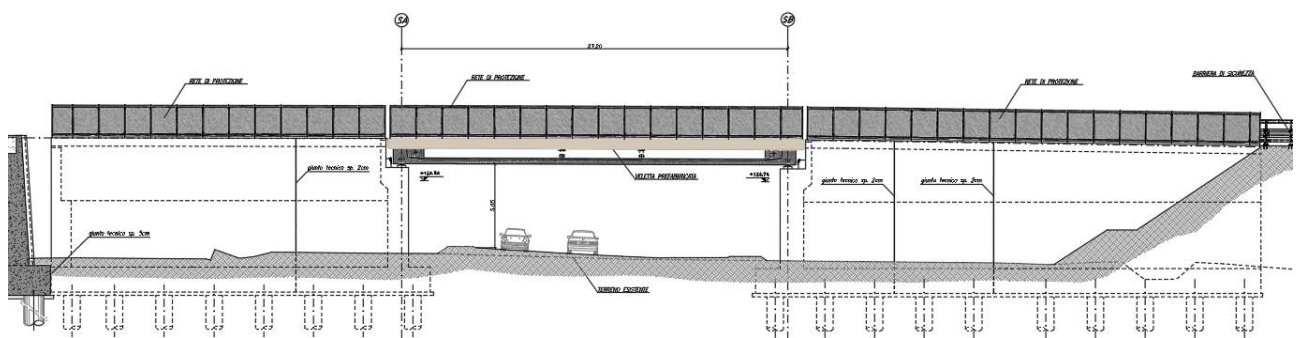


Figura 3: Prospetto longitudinale



## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le verifiche sono state eseguite secondo i metodi classici della scienza delle costruzioni e nel rispetto della seguente normativa:

- Legge 5/11/1971 n° 1086: “Norme per le discipline delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- D.M. 17/01/2018: “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- UNI EN 206:2016: “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI ENV 197 Parte 1a: “Cemento. Composizione, specificazioni e criteri di conformità”.
- Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale.
- UNI EN 197-1 giugno 2011: “Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni”.
- UNI EN 11104:2016: “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1”.

Ulteriori riferimenti normativi

- UNI EN 1990 (Eurocodice 0) – Aprile 2006: “Criteri generali di progettazione strutturale”;
- UNI EN 1991-1-1 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – Azioni in generale- Parte 1-1: “Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici”;
- UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1) – Marzo 2005 – Azioni sulle strutture- Parte 2: “Carico da traffico sui ponti”;
- UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: “Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1993-1-1 (Eurocodice 3) – Ottobre 1993: “Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-1 (Eurocodice 8) – Marzo 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali – Azioni sismiche e regole per gli edifici”;
- UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8) – Febbraio 2006: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti”.

### 3. MATERIALI

Il progetto sarà realizzato utilizzando i seguenti materiali:

#### 3.1 CALCESTRUZZO

##### Magroni:

Classe di resistenza:	C12/15		
Resistenza a compressione cubica caratteristica	$R_{ck} =$	15	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	12.45	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		X0	
Classe di consistenza slump:		S3	
Contenuto minimo di cemento:		150	daN/m <sup>3</sup>
Rapporto A/C		≤ 0.60	

##### Pali di fondazione

Classe di resistenza:	C25/30		
Resistenza a compressione cubica caratteristica	$R_{ck} =$	30	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	24,9	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} =$	32,9	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} =$	2,56	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} =$	3,07	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico secante medio	$E_{cm} =$	31447	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} =$	1,79	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} =$	3,33	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di sicurezza SLU:	$\gamma_c =$	1,5	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU:	$f_{cd} =$	14,1	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU:	$f_{ctd} =$	1,19	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di sicurezza SLE:	$\gamma_c =$	1,0	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE:	$f_{cd} =$	24,9	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE:	$f_{ctd} =$	1,79	N/mm <sup>2</sup>
Massime tensioni di compressione in esercizio:			
Combinazione rara	$\sigma_{c,ad} =$	14,94	N/mm <sup>2</sup>
Combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,ad} =$	11,21	N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC2	
Classe di consistenza slump:		S4	
Contenuto minimo di cemento:		300	daN/m <sup>3</sup>
Massima dimensione aggregato		32	mm
Copriferro		60	mm
Rapporto A/C		0,6	

Plinti di fondazione spalle e muri

Classe di resistenza:	C28/35		
Resistenza a compressione cubica caratteristica	$R_{ck} =$	35	$N/mm^2$
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	29,05	$N/mm^2$
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} =$	37,05	$N/mm^2$
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} =$	2,83	$N/mm^2$
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} =$	3,40	$N/mm^2$
Modulo elastico secante medio	$E_{cm} =$	32588	$N/mm^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} =$	1,98	$N/mm^2$
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} =$	3,69	$N/mm^2$
<i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i>	$\gamma_c =$	1,5	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU:	$f_{cd} =$	16,5	$N/mm^2$
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU:	$f_{ctd} =$	1,32	$N/mm^2$
<i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i>	$\gamma_c =$	1,0	
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE:	$f_{cd} =$	29,1	$N/mm^2$
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE:	$f_{ctd} =$	1,98	$N/mm^2$
Massime tensioni di compressione in esercizio:			
Combinazione rara	$\sigma_{c,ad} =$	17,43	$N/mm^2$
Combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,ad} =$	13,07	$N/mm^2$
Classe di esposizione		XC2	
Classe di consistenza slump:		S4	
Contenuto minimo di cemento:		320	$daN/m^3$
Massima dimensione aggregato		32	mm
Copriferro		40	mm
Rapporto A/C		0,55	

Elevazioni spalle, muri, paraghiaia

Classe di resistenza:	C32/40	
Resistenza a compressione cubica caratteristica	$R_{ck} =$	40 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	33,2 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} =$	41,2 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} =$	3,10 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} =$	3,72 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico secante medio	$E_{cm} =$	33643 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} =$	2,17 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} =$	4,03 N/mm <sup>2</sup>
<i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i>	$\gamma_c =$	1,5
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU:	$f_{cd} =$	18,8 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU:	$f_{ctd} =$	1,45 N/mm <sup>2</sup>
<i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i>	$\gamma_c =$	1,0
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE:	$f_{cd} =$	33,2 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE:	$f_{ctd} =$	2,17 N/mm <sup>2</sup>
Massime tensioni di compressione in esercizio:		
Combinazione rara	$\sigma_{c,ad} =$	19,92 N/mm <sup>2</sup>
Combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,ad} =$	14,94 N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione	XC4+XD1	
Classe di consistenza slump:	S4	
Contenuto minimo di cemento:	360	daN/m <sup>3</sup>
Massima dimensione aggregato	25	mm
Copriferro	40	mm
Rapporto A/C	0,45	



### 3.2 ACCIAIO

#### Acciaio per cemento armato:

##### **Acciaio per cemento armato**

Acciaio per cemento armato tipo B450C secondo D.M. 17.01.2018, avente le seguenti caratteristiche:

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq$	450	N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq$	540	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$E_s =$	2.1E+05	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di sicurezza SLU:	$\gamma_s =$	1.15	
Resistenza di calcolo SLU:	$f_{sd} =$	391.30	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di calcolo SLE:	$\sigma_{y,ad} =$	360	N/mm <sup>2</sup>

Deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	$\geq f_{v,nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t,nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_v/f_{v,nom})_k$	$< 1,35$	10.0
Allungamento $(A_{g2})_k$ :	$\leq 1,25$	10.0
	$\geq 7,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12$ mm	4 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16$ mm	5 $\phi$	
per $16 < \phi \leq 25$ mm	8 $\phi$	
per $25 < \phi \leq 40$ mm	10 $\phi$	

#### Acciaio per armatura da precompressione:

Tensione caratteristica di rottura	$f_{ptk} > 1860$ N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica all'1%	$f_{p(1)k} > 1670$ N/mm <sup>2</sup>
Tensione di tesatura trefoli	$ss_{pi} = 1425$ N/mm <sup>2</sup>

#### 4. PARAMETRI GEOTECNICI

Sotto il profilo geotecnico non si osservano grandi differenze di comportamento fra gli strati sabbioso-ghiaiosi e quelli ghiaioso-sabbiosi, per cui si ritiene di poter raggruppare i terreni indagati in due sole unità geotecniche principali più una aggiuntiva occasionale:

**UNITA' Ug1** – terreni a grana grossa (ghiaia e sabbia, sabbie ghiaiose, ecc.) (G3)

**UNITA' Ug2** – terreni a grana medio-fine (limo sabbioso / sabbia limosa) (S1+S2)

**UNITA' Ug3** – terreni a grana fine (limi argillosi) (L5)

Per quanto riguarda i parametri geotecnici generali, essi sono riportati nella tabella seguente:

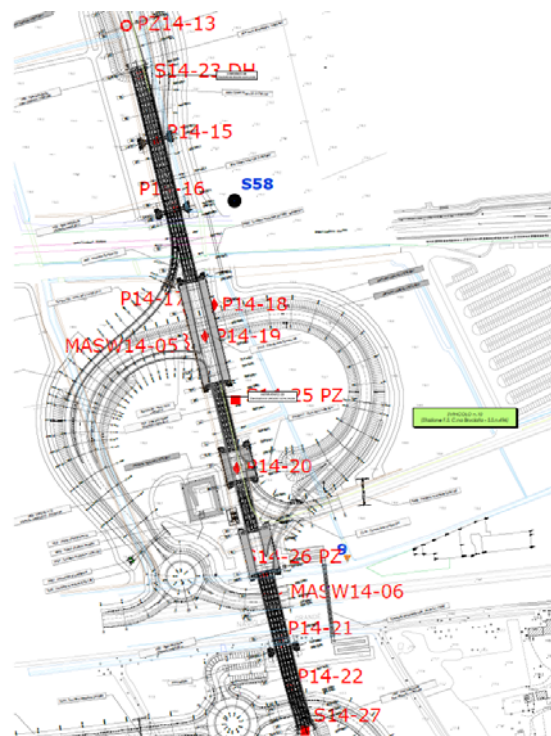
	DR	$\gamma_t$	$\Phi'$	$c'$	LL	Cu	E
	(%)	(kN/m <sup>3</sup> )		(kPa)	(%)	(kPa)	(MPa)
Unità Ug1	40-70	18.5-19.5	28°-38°	0	---	0	20-40
Unità Ug2	---	18-20	26°-35°	0	26-36	0	20-40
Unità Ug3		18-19	20°-30°	0	26-34	15-30	21-32

Rispetto alle due unità geotecniche principali (Ug1 e Ug2) è stata inserita anche l'Unità Ug3 (=L5), presente solo in alcune zone della tratta C, per un'estensione planimetrica ridotta e con spessori generalmente ridotti, intorno ad 1-2 m.

Per l'opera in esame, la stratigrafia di progetto è stata desunta dal sondaggio S14-25PZ. Alla stratigrafia compresa tra il piano campagna e la profondità pari a 13 m è stata associata l'unità litostrafica Ug1(G3) corrispondente a terreni a grana grossa, mentre da 13 m in poi è stata assunta l'unità litostrafica Ug2(S1), corrispondente a terreni a grana medio-fine.

Nello stralcio planimetrico di seguito allegato si riportano, inoltre, tutte le indagini geognostiche effettuate nell'intorno dell'opera da cui è possibile ricavare indicazioni utili alla progettazione delle fondazioni.

MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBOLOGIA	CAMPIONI		DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	
			tipo	num		PROF
1	2.00				Terreno Vegetale	
2	1.50				Riperto di ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa con frammenti di laterizzi	
3						
4	4.00		RI	1	4.5-5.00	Sabbia media con ghiaia e ciottoli marrone
5	5.00					Sabbia fine limosa con rara ghiaia marrone rossastra
6						Sabbia con ghiaia marrone rossastra
7						
8	7.50		RI	2	9-9.50	
9						Sabbia medio grossa a tratti debolmente ghiaiosa
10						
11						
12						
13	13.00					
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						Sabbia media marrone
23						
24			RI	3	24-24.50	
25						
26						
27						
28						
29	30.00					



- S14-23DH: 30.00 m
- S14-25Pz: 30.00 m
- S14-26Pz: 30.00 m
- S14-27
- P14-15: 15.00 m
- P14-16: 15.00 m
- P14-17: 15.00 m
- P14-18: 15.00 m
- P14-19: 15.00 m
- P14-20: 15.00 m
- P14-21: 15.00 m
- P14-22: 15.00 m
- Pz14-13: 2.00 m
- MASW14-05: 30.00 m
- MASW14-06: 30.00 m

In base ai dati disponibili, la profondità della falda si colloca a quota 2.41 m dal piano campagna.

Ai fini delle verifiche sismiche risulta:

- Categoria sottosuolo: C
- Categoria topografica: T1

Nella tabella seguente si riportano gli intervalli di valori dei parametri geotecnici relativi alla zona in cui ricade l'opera.

PARAMETRI GEOTECNICI GENERALI								
UNITA'	D <sub>R</sub> (%)	γ <sub>t</sub> (kN/mc)	Φ'	Φ' <sub>op</sub>	LL (%)	cu (kPa)	E (MPa)	E <sub>op</sub>
Ug1 (G3)	40 ÷ 70	18.50 ÷ 19.50	28° ÷ 36°	33°			24 ÷ 30	28
Ug2 (S1)	---	18.00 ÷ 20.00	32° ÷ 36°	33°	26 ÷ 36		30 ÷ 34	32

I valori di progetto di Φ' e E sono indicati con Φ'<sub>op</sub> e E<sub>op</sub>

Dato che la quota di imposta dei pali (q.i.p.) si trova a circa -2.0m da p.c. la stratigrafia di progetto deve essere impostata come segue:

STRATO 1 (G3) - sino a 11 m sotto la q.i.p.

Ghiaia con sabbia

Angolo di attrito interno: 33°

Peso specifico: 19.0 kN/m<sup>3</sup>.

STRATO 2 (S1) - sino a 30 m sotto la q.i.p.

Sabbia

Angolo di attrito interno: 33°

Peso specifico: 19.0 kN/m<sup>3</sup>.

Nelle verifiche si considererà la falda a -1m da p.c.

Ai fini delle verifiche dei pali si potrà tenere conto che il numero delle verticali indagate fino alla profondità di lunghezza dei pali stessi è pari a 2 e che

N<sub>sptmedio</sub> = 15colpi/30cm

#### 4.1 SCAVI E RIEMPIMENTI

Lo scavo avviene a cielo aperto con pendenza 1:1.

Il terreno di ritombamento dell'opera dovrà avere un angolo d'attrito minimo di 35° e un γ=20kN/mc.

## 5. AZIONE SISMICA

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della esistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

L'analisi viene condotta secondo il metodo pseudo statico.

### Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto si assume vita nominale  $VN > 50$  anni.

### Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe **IV**: "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico."

### Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $VR$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione moltiplicandone la vita nominale  $VN$  per il coefficiente d'uso  $CU$ . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso e nel caso specifico assume valore pari a **2** per la classe d'uso **IV**.  $VR = VN \times CU = 50 \text{ anni} \times 2 = 100 \text{ anni}$

### Azioni di progetto

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla

pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad  $a_g$  il valore previsto da pericolosità sismica.  $F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica. Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione.
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate agli stati limite considerati per individuare infine a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{200}{\ln(1 - 0.1)} = 1898$$

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC, in funzione di prefissati valori del periodo di ritorno  $T_R$ . L'accelerazione al sito  $a_g$  è espressa in  $g/10$ ;  $F_0$  è adimensionale.  $T_C^*$  è espresso in secondi. I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'opera in progetto ricade nel comune di Abbiategrasso.

Parametri per la determinazione dell'azione sismica dell'impalcato

Categoria di sottosuolo                    C  
 Categoria topografica                    T1

Coeff. di combinazione sismica carichi da traffico  $\psi_E = 0.2$

- q      Coefficiente di struttura
- $\eta$     1/q
- $a_g$     Accelerazione orizzontale massima al sito
- $T_c^*$     Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale
- $F_0$     Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

## FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

9.03540385

LATITUDINE

45.700404205

Ricerca per comune

REGIONE

Lombardia

PROVINCIA

Milano

COMUNE

Albairate

Elaborazioni grafiche

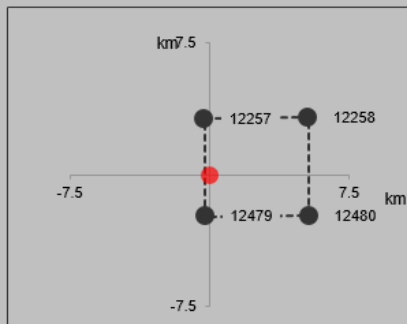
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO -  $P_{VR} = 81\%$    
 SLD -  $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU { SLV -  $P_{VR} = 10\%$    
 SLC -  $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

Grafici parametri azione

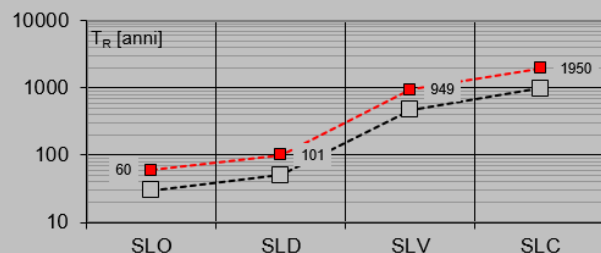
Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

Strategia di progettazione



## FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

### Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

### Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **C** info

$S_s = 1.500$

$C_c = 1.556$  info

Categoria topografica **T1** info

$h/H = 1.000$   
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

$S_T = 1.000$  info

### Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento  $\xi$  (%) **5**

$\eta = 1.000$  info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore  $q_o$  **1**

Regol. in altezza **si** info

### Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore  $q$  **1.5**

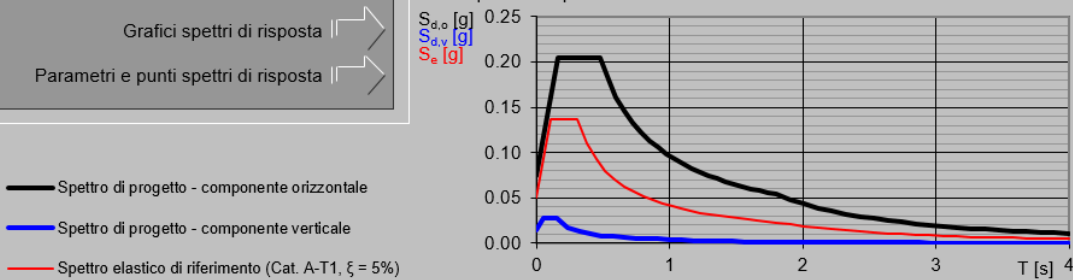
$\eta = 0.667$  info

### Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

### Spettri di risposta





**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limiSLV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.050 g
$F_a$	2.730
$T_C$	0.304 s
$S_S$	1.500
$C_C$	1.556
$S_T$	1.000
q	1.000

**Parametri dipendenti**

S	1.500
$\eta$	1.000
$T_B$	0.157 s
$T_C$	0.472 s
$T_D$	1.800 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (S + 5)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.075
$T_B$	0.157	0.205
$T_C$	0.472	0.205
	0.536	0.180
	0.599	0.161
	0.662	0.146
	0.725	0.133
	0.788	0.123
	0.852	0.113
	0.915	0.106
	0.978	0.099
	1.041	0.093
	1.105	0.088
	1.168	0.083
	1.231	0.079
	1.294	0.075
	1.357	0.071
	1.421	0.068
	1.484	0.065
	1.547	0.062
	1.610	0.060
	1.673	0.058
	1.737	0.056
$T_D$	1.800	0.054
	1.905	0.048
	2.009	0.043
	2.114	0.039
	2.219	0.035
	2.324	0.032
	2.428	0.030
	2.533	0.027
	2.638	0.025
	2.743	0.023
	2.848	0.021
	2.952	0.020
	3.057	0.019
	3.162	0.017
	3.267	0.016
	3.371	0.015
	3.476	0.014
	3.581	0.014
	3.686	0.013
	3.790	0.012
	3.895	0.011
	4.000	0.011

## 6. CRITERI DI VERIFICA

### 6.1 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle sollecitazioni più gravose che si individuano nelle diverse combinazioni di carico.

Le verifiche si basano sul concetto dei coefficienti di sicurezza parziali e considerano l'approccio 2 delle norme A1-M1:

- caso A1-M1: in questo tipo di combinazioni vengono incrementati le azioni permanenti e variabili con i coefficienti ( $\gamma_G, \gamma_Q$ ) e vengono lasciate inalterate le caratteristiche di resistenza del terreno. Le combinazioni ottenute sono rilevanti per stabilire la capacità strutturale delle opere che interagiscono con il terreno.

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato al paragrafo 5.1.3.12. del D.M.17/01/18.

Nei successivi paragrafi saranno condotte le verifiche per le condizioni di carico più gravose fra le condizioni di esercizio e in fase di costruzione (considerando le combinazioni di carico che portano rispettivamente ai valori massimi di azione assiale, momento flettente e taglio), nelle sezioni significative.

### 6.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Ai fini delle verifiche degli stati limite di esercizio si definiscono le seguenti combinazioni (D.M. del 17.01.2018 par.2.5.3):

$$\text{Rara)} \quad \Rightarrow \quad G1+G2 +Q_{k1}+\sum_i \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Frequente)} \quad \Rightarrow \quad G1+G2 +\psi_{11} \cdot Q_{k1}+\sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

$$\text{Quasi permanente)} \Rightarrow \quad G1+G2 +\psi_{21} \cdot Q_{k1}+\sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

### Verifica a Fessurazione

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

TABELLA 1 – CRITERI DI SCELTA DELLO STATO LIMITE DI FESSURAZIONE -

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	wd	Stato limite	wd
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

I valori limite sono pari a:

w1= 0.2 mm

w2= 0.3 mm

w3= 0.4 mm

## 7. ANALISI DEI CARICHI

Per l'analisi dei carichi, le condizioni di carico e le combinazioni si rimanda alla relazione specifica P03CV19STRRE05.pdf.

## 8. PALI

### 8.1 SOLLECITAZIONI AGENTI SUI PALI DI FONDAZIONE

Lo sforzo normale di inviluppo nei nodi-palo al metro lineare dal modello risulta:

TABLE: Joint Reactions		
Joint	OutputCase	F3
Text	Text	KN
1	SLEqp1	725
1	ENVSLU	1178
1	ENVSIS	1006
1	ENVSLER	858
1	ENVSLEfreq	805
4	SLEqp1	725
4	ENVSLU	1178
4	ENVSIS	750
4	ENVSLER	858
4	ENVSLEfreq	805
10	SLEqp1	206
10	ENVSLU	400
10	ENVSIS	118
10	ENVSLER	206
10	ENVSLEfreq	206
12	SLEqp1	206
12	ENVSLU	400
12	ENVSIS	293
12	ENVSLER	206
12	ENVSLEfreq	206

Considerando l'interasse dei pali di 3.0m si ha:

Reazioni sui pali				
Joint	N <sub>SLU</sub>	N <sub>SLErare</sub>	N <sub>SLEfreq</sub>	N <sub>SLEqp</sub>
Text	KN	KN	KN	KN
1	3535	2574	2414	2174
4	3535	2574	2414	2174
10	1201	618	618	618
12	1201	618	618	618
	9473	6385	6065	5585

L'azione di taglio che maggiormente sollecita i pali si ha in fase sismica. Con riferimento al paragrafo 7.3 della relazione P03CV19STRRE05, le risultanti delle azioni orizzontali valgono:

$$P_{t1} = 68.2 \cdot 8 / 2 = 273 \text{ kN/ml (risultante spinta del terreno)}$$

$$Q = 8.5 \cdot 8 = 68 \text{ kN/ml (risultante spinta del carico accidentale)}$$

$$F_{sis} + F_{inp} = 133 \text{ kN/ml}$$

Per la combinazione sismica si ha:

$$H_{\text{sis tot.}} = P_{i1} + 0.2Q + F_{\text{sis}} + F_{\text{inp}} = 273 + 0.2 \cdot 68 + 133 = 420 \text{ kN/ml}$$

Considerando l'interasse di 3m tra i pali e la presenza di 4 pali per allineamento l'azione di taglio sul singolo palo vale:

$$T_{\text{Sis}} = 420 \cdot 3/4 = 315 \text{ kN}$$

A favore di sicurezza, per la verifica agli SLE si considera un'azione risultante data nell'ipotesi di assenza di bilanciamento delle spinte, dalla somma delle spinte orizzontali del terreno e del sovraccarico accidentale:

$$R_{\text{orizz SLE}} = (273 + 68) \text{ kN/ml} = 341 \text{ kN/ml}$$

Considerando l'interasse di 3m tra i pali e la presenza di 4 pali per allineamento l'azione di taglio sul singolo palo vale:

$$T_{\text{SLE}} = 341 \text{ kN/ml} \cdot 3\text{m} / 4 = 256 \text{ kN}$$

## 8.2 CRITERI DI VERIFICA

Per quanto attiene alla verifica dei pali di fondazione, secondo le indicazioni contenute nelle "Norme Tecniche per le Costruzioni" 2018, le verifiche di sicurezza relative allo Stato Limite Ultimo e in condizioni sismiche, con riferimento alla combinazione di Salvaguardia della Vita (SLV) impongono che:

$$E_d \leq R_d$$

essendo  $E_d$  il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni ed  $R_d$  il valore di progetto della resistenza del terreno.

Rimandando al N.T.C. per i dettagli, le verifiche saranno svolte con la seguente combinazione:

Approccio 2 "A1+M1+R3";

Nel seguente prospetto sono indicati i coefficienti parziali da applicare ai principali parametri fisico-meccanici del terreno:

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

I coefficienti parziali da applicare alle Resistenze per carichi assiali, risultano i seguenti:

**Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

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

Il coefficiente parziali da applicare alle Resistenze per carichi trasversali invece, risulta il seguente:

**Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali**

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

La resistenza di progetto del palo soggetto a carichi assiali si ottiene mediante le seguenti relazioni:

$$R_d = \frac{R_{c,k}}{\gamma_R} : \text{resistenza a compressione}$$

$$R_d = \frac{R_{t,k}}{\gamma_R} : \text{resistenza a trazione}$$

con:

- $R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$ : resistenza caratt. palo soggetto a carichi assiali di compressione;
- $R_{t,k} = \min \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$ : resistenza caratt. del palo soggetto a carichi assiali di trazione;
- $R_{c,cal}$  ( $R_{t,cal}$ ): resistenza di calcolo del palo soggetto a carichi assiali di compressione (di trazione);
- $\xi_3$  e  $\xi_4$ : coefficienti che dipendono dal numero di verticali di indagini considerate per la singola opera, sulla base dell'affidabilità della caratterizzazione geotecnica nel volume significativo, i cui valori sono indicati nella Tabella 6.4.IV seguente tratta dal D.M. 17/01/2018.

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

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

- $\gamma_R$ : coefficiente parziale per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi assiali i cui valori sono riportati nella Tabella 6.4. Il seguente tratta dal D.M. 17/01/2018.

**Tab. 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25

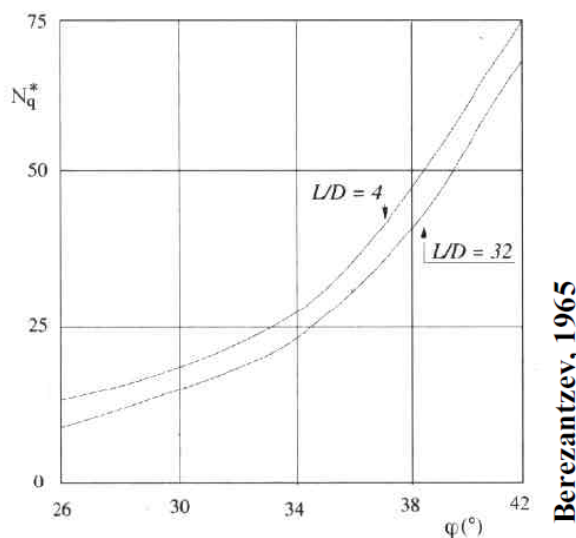
(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

### 8.3 CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE LIMITE

Nel calcolo della resistenza della capacità portante limite per pali di grande diametro si considera il seguente grafico per il calcolo di  $N_q^*$  di Berezantzev, 1965.

## CARICO LIMITE

### Pali di grande diametro





**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO**

**OPERA:** CV19

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 1.00 (m) Area del Palo (Ap): 0.785 (m<sup>2</sup>)  
 Carico massimo sul palo Nd = 3535 (kN) Lpalo= 28.00 (m)  
 (Comb. A1+M1+R3)

**Fattori di correlazione in funzione delle verticali indagate:**

$\xi_3$   
 1.65

**Coefficienti parziali  $\gamma_r$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali**

R3 Pali trivellati  
 $\gamma_b$  1.35  
 $\gamma_s$  1.15

**Coefficiente parziale  $\gamma_t$  per le verifiche agli SLU di pali soggetti a carichi trasversali**

R3  
 $\gamma_t$  1.3

**LEGENDA**

- $\Delta H_i$  spessore dello strato
- $H_f$  profondità dello strato dal p.c.
- $\gamma_n$  peso specifico del terreno naturale
- $\gamma'$  peso specifico efficace
- $N_{SPT}$  Numero colpi al piede (solo granula)
- $\phi$  angolo di attrito (solo granulari)
- $K$  rapporto tra  $\sigma_r/\sigma_v$
- $c_u$  coesione non drenata (solo coesivi)
- $c_a$  adesione (solo coesivi)

(per il corretto funzionamento del foglio di calcolo si è indicato  $\gamma_n=\gamma'$ )

**PORTATA ALLA BASE - protocollo di Berenzantzev**

n° strato	tipo terreno	$\Delta H_i$ [m]	$H_f$ [m]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$N_{SPT}$ [-]	$\phi$ [°]	$K$ [-]	$c_u$ [kPa]	$\alpha$ [-]	$c_a$ [kPa]
1		28.00	28.00	9.00	9.00	15.00	33.00	0.47	0.00	0.00	0.00

<b>A<sub>b</sub></b>	Area della base del palo	0.79	[m <sup>2</sup> ]
<b>σ<sub>vL</sub></b>	Pressione geostatica di base	252	[kPa]
<b>N<sub>q</sub>=uB<sub>k</sub></b>	Coeff. di pressione geostatica	23	
<b>c</b>	Coesione alla base	0.00	[kPa]
<b>N<sub>c</sub></b>	Coeff. di coesione	0	
<b>Q<sub>b,lim</sub></b>	Portata limite di base	<b>4552.17</b>	<b>[kN]</b>
<b>Q<sub>b,amm</sub></b>	Portata amm. di base	<b>2041.33</b>	<b>[kN]</b>

**PORTATA LATERALE - protocollo di Viggiani**

		σ <sub>v,i</sub>	σ <sub>v,(i+1)</sub>	σ <sub>v,med</sub>	σ <sub>n,med</sub>		C <sub>o</sub>	s
σ <sub>n,1</sub>	tensione laterale strato 1°	0	252	126	59.22	[kPa]	0.00	38.46
σ <sub>n,2</sub>	tensione laterale strato 2°	0	0	0	0	[kPa]	0.00	0.00
σ <sub>n,3</sub>	tensione laterale strato 3°	0	0	0	0	[kPa]	0.00	0.00
σ <sub>n,4</sub>	tensione laterale strato 4°	0	0	0	0	[kPa]	0.00	0.00
σ <sub>n,5</sub>	tensione laterale strato 5°	0	0	0	0	[kPa]	0.00	0.00
σ <sub>n,6</sub>	tensione laterale strato 6°	0	0	0	0	[kPa]	0.00	0.00
σ <sub>n,7</sub>	tensione laterale strato 7°	0	0	0	0	[kPa]	0.00	0.00
σ <sub>n,8</sub>	tensione laterale strato 8°	0	0	0	0	[kPa]	0.00	0.00
σ <sub>n,9</sub>	tensione laterale strato 9°	0	0	0	0	[kPa]	0.00	0.00

<b>Q<sub>l,lim</sub></b>	Portata limite laterale	<b>3382.94</b>	<b>[kN]</b>	<b>Peso proprio palo</b>	<b>549.78</b>	<b>[kN]</b>
<b>Q<sub>l,amm</sub></b>	Portata amm. laterale	<b>1780.49</b>	<b>[kN]</b>			

Si considera il contributo del peso del palo considerando però che il volume dello stesso va a sostituire un egual volume di terreno:

γ <sub>terreno</sub>	19 kN/mc
γ <sub>cls</sub>	25 kN/mc
Peso palo =	550 kN
Peso terreno =	418 kN
ΔW =	<b>132 kN</b>

<b>N<sub>slu</sub></b>	3535	<b>Q<sub>punta</sub></b>	2041
<b>W*1.35</b>	178	<b>Q<sub>lat</sub></b>	1780
	3713		3822

**VERIFICA SODDISFATTA**

I pali sono ad interasse di 3 diametri e pertanto si assume un fattore di efficienza E = 1. Da qui la portata totale ammissibile di gruppo vale (Q<sub>punta</sub>+Q<sub>lat</sub>)\*n°pali-Wpila

n°pali	8	kN
PORTATA TOTALE AMM. DI GRUPPO =	<b>29519</b>	
CARICO MASSIMO SULLA PALIFICATA =	<b>18946</b>	<b>VERIFICA SODDISFATTA</b>

## 8.4 CALCOLO DEL CARICO LIMITE ORIZZONTALE

### Metodo di Broms

Si assume che il comportamento dell'interfaccia palo/terreno sia di tipo rigido–perfettamente plastico, e cioè che la resistenza del terreno si mobiliti interamente per qualsiasi valore non nullo dello spostamento e rimanga costante al crescere dello spostamento stesso. Si assume inoltre che la forma della sezione del palo sia ininfluyente e che il valore della pressione  $p$  sia determinato solo dalla dimensione  $d$  della sezione del palo misurata normalmente alla direzione dello spostamento.

Per un terreno incoerente, si assume che la resistenza del terreno vari linearmente con la profondità  $z$  secondo la legge:

$$p = 3 k_p \gamma z d$$

dove:

- $\gamma$  = peso di volume del terreno
- $d$  = diametro del palo
- $z$  = profondità
- $k_p = (1 + \sin \varphi) / (1 - \sin \varphi)$

I possibili meccanismi di rottura di pali vincolati in testa sono illustrati nelle figure seguenti relativamente al caso di palo “corto” e “lungo” insieme alle distribuzioni delle reazioni del terreno.

I pali “corti” sono quelli indicati in cui il carico limite dipende esclusivamente dalla resistenza del terreno, mentre il carico limite dei pali “lunghi” dipende principalmente dal momento di plasticizzazione del palo stesso.

Nel caso di palo “corto” l'equilibrio orizzontale fornisce:

- $H_u = 1.5 \gamma L^2 d k_p$

mentre il momento massimo è:

- $M_{\max} = 2/3 H_u L$

Occorre comunque verificare la condizione  $M_{\max} < M_y$  ( $M_y$ : momento ultimo del palo).

Per il palo “lungo” il massimo momento lungo il fusto del palo, che si verifica alla profondità  $f$ , uguaglia il momento di plasticizzazione; si forma pertanto una seconda cerniera plastica. L'equilibrio alla rotazione del tratto di palo compreso fra le due cerniere fornisce:

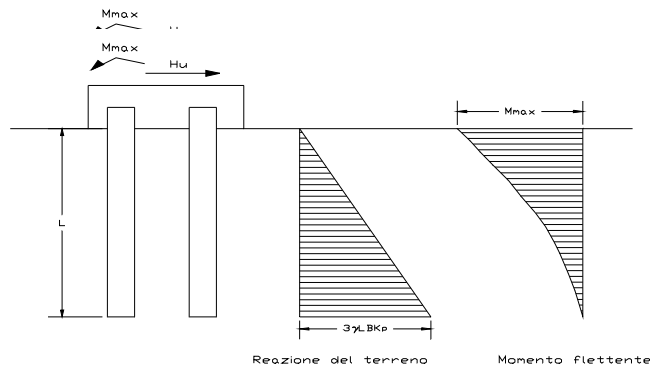
- $H_u (e+2/3f) = 2 M_y$

dove:

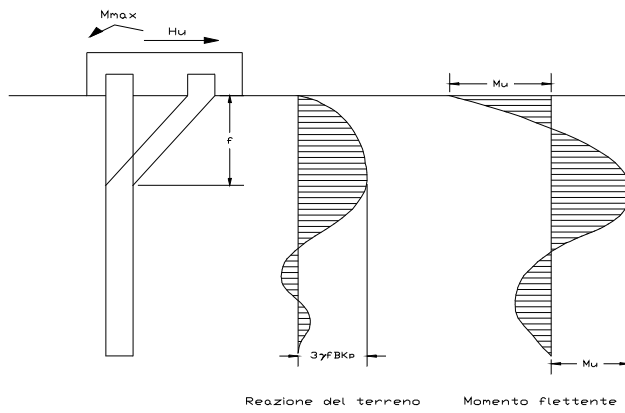
- $f = 0.82 [ H_u / (\gamma d k_p) ]^{0.5}$ .

### **Schemi di rottura metodo di Broms:**

*Pali corti:*



*Pali lunghi:*



Calcolo del momento di plasticizzazione:

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

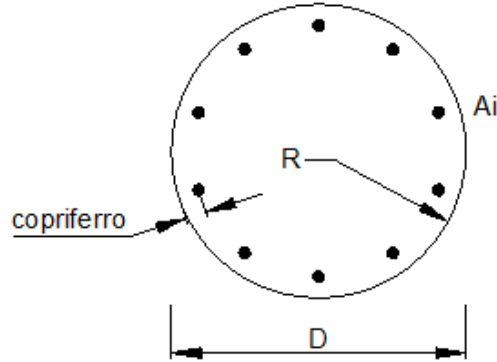
Diametro = 1000 (mm)  
 Raggio = 500 (mm)  
 Sforzo Normale = 1200 (kN)

**Caratteristiche dei Materiali**

**calcestruzzo**

Rck = 30 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\gamma_{m,c}$  = 2.1  
 $\alpha$  = 0.8

fcd = Rck /  $\gamma_c$  = 14.29 (N/mm<sup>2</sup>)



**Acciaio**

tipo di acciaio

fyk = 450 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\gamma_E$  = 1.00  
 $\gamma_S$  = 1.15

fyd = fyk /  $\gamma_S$  /  $\gamma_E$  = 391.3 (N/mm<sup>2</sup>)

Es = 206000 (N/mm<sup>2</sup>)

$\epsilon_{ys}$  = 0.190%  
 $\epsilon_{uk}$  = 7.500%       $\alpha$  = 0.9  
 $\epsilon_{ud}$  = 6.750%

**Armature**

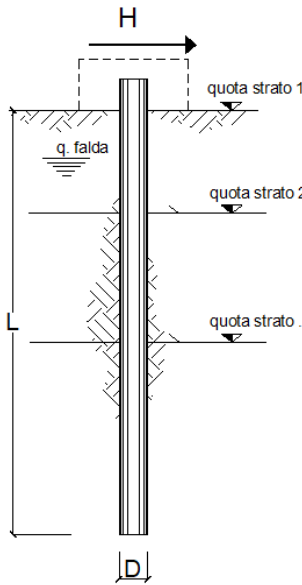
numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
24	24	10857.34	60
0	20	0.00	90
0	8	0.00	30

calcolo

**Momento di Plasticizzazione**

My = 1769.7 (kN m)

opera **CV19-sez U**



strati terreno	descrizione	quote (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$k_p$	$c_u$ (kPa)
p.c.=strato 1		0.00	19	9	33	3.39	0
□	strato 2					1.00	
□	strato 3					1.00	
□	strato 4					1.00	
□	strato 5					1.00	
□	strato 6					1.00	

Quota falda **0** (m)  
 Diametro del palo D **1.00** (m)  
 Lunghezza del palo L **28.00** (m)  
 Momento di plasticizzazione palo  $M_y$  **1770** (kNm)  
 Step di calcolo **0.01** (m)

palo impedito di ruotare  
 palo libero

**Calcolo**  
(cfr+r)

Palo lungo H = **1088.3** (kN)  
 Palo intermedio H = **9418.8** (kN)  
 Palo corto H = **35902.2** (kN)  
**H<sub>lim</sub> = 1088.3 (kN) Palo lungo**

**Fattori di correlazione in funzione delle verticali indagate:**

$\xi$   
**1.65**

**Coefficiente parziale  $\gamma_t$  per le verifiche agli SLU di pali soggetti a carichi trasversali**

**R3**  
 $\gamma_t$  **1.3**

$R_t = H_{lim} / (\xi \cdot \gamma) = 1088 \text{ kN} / (1.65 \cdot 1.3) = 507 > T_{max} = 315 \text{ kN}$  OK

## 8.5 CEDIMENTI

Il cedimento del palo è ricavato tramite la formula di Poulos e Davis:

$$\delta = (\beta \cdot P_{\max}) / (E \cdot L_u)$$

in cui

$$\beta = 0.5 + \text{Log}(L_u/D);$$

$P_{\max}$  = carico massimo a cui è sottoposto il palo;

$E$  = modulo di deformazione del materiale in cui è ammorsato il palo;

$L_u$  = lunghezza utile

### CALCOLO DEL CEDIMENTO DELLA PALIFICATA

**OPERA:** CV19U

**DATI DI IMPUT:**

Diametro del Palo (D):	1.00	(m)
Carico sul palo (P):	2174.0	(kN)
Lunghezza del Palo (L):	28.00	(m)
Lunghezza Utile del Palo ( $L_u$ ):	28.00	(m)
Modulo di Deformazione (E):	25.00	(MPa)
Numero di pali della Palificata (n):	8	(-)
Spaziatura dei pali (s)	3.0	(m)

**CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:**

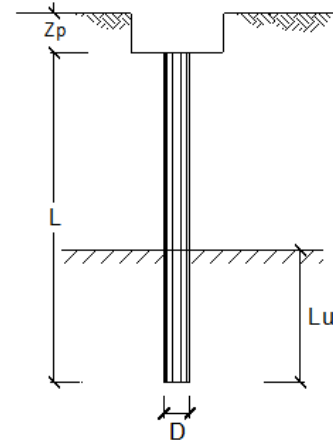
$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{\text{utile}}$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0.5 + \text{Log}(L_{\text{utile}} / D): \quad 1.95 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta \cdot P / E \cdot L_{\text{utile}} = \quad 6.05 \quad (\text{mm})$$



## 8.6 SOLLECITAZIONI LUNGO IL PALO

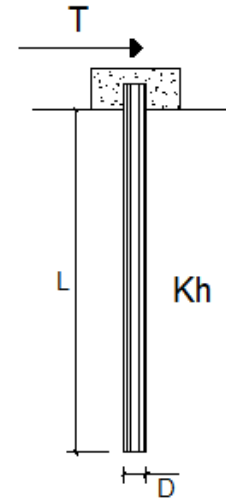
Di seguito si ricavano i momenti agenti in testa al palo per la verifica strutturale:

### Comb. SIS

**OPERA:** CA19

**DATI DI IMPUT:**

Diametro del palo (D):	1	(m)
Lunghezza del palo (L)	28	(m)
Coefficiente di reazione laterale ( $k_h$ ):	20	(N/cm <sup>3</sup> )
Forza orizzontale agente (T):	315	(kN)
Rbk del calcestruzzo:	30.0	(MPa)
Ecls ( $E = 5700(Rbk)^{1/2}$ ):	31220	(MPa)
J ( $J = \pi \cdot D^4 / 64$ ):	4908739	(cm <sup>4</sup> )
$\lambda$ (lunghezza elastica $\lambda = (4 \cdot E J / k_h \cdot D)^{1/4}$ ):	418.42	(cm)



z	y(z)	p(z)	$\alpha(z)$	M(z)	T(z)
Prof.	Spost.	Press. Lat.	Rotaz.	Mom. Flett.	Taglio
(m)	(cm)	(N/cm <sup>2</sup> )	(rad)	(kNm)	(kN)
0.00	0.376	7.53	0.00000	659.006	-315.000
0.56	0.370	7.41	-0.00021	494.377	-273.076
1.12	0.354	7.08	-0.00036	352.918	-232.441
1.68	0.330	6.61	-0.00047	233.620	-194.064
2.24	0.302	6.04	-0.00054	135.017	-158.618
2.80	0.271	5.42	-0.00057	55.340	-126.526
3.36	0.238	4.77	-0.00058	-7.360	-98.006
3.92	0.206	4.12	-0.00057	-55.104	-73.112
4.48	0.175	3.50	-0.00054	-89.910	-51.773
5.04	0.146	2.92	-0.00050	-113.723	-33.823
5.60	0.119	2.38	-0.00046	-128.381	-19.029
6.16	0.094	1.89	-0.00041	-135.573	-7.112
6.72	0.073	1.46	-0.00036	-136.828	2.228
7.28	0.054	1.08	-0.00031	-133.500	9.306
7.84	0.038	0.76	-0.00026	-126.770	14.429
8.40	0.024	0.49	-0.00022	-117.648	17.898
8.96	0.013	0.27	-0.00018	-106.981	19.990
9.52	0.004	0.09	-0.00014	-95.467	20.965
10.08	-0.003	-0.05	-0.00011	-83.665	21.054
10.64	-0.008	-0.16	-0.00008	-72.013	20.463
11.20	-0.012	-0.23	-0.00006	-60.841	19.369
11.76	-0.014	-0.28	-0.00004	-50.386	17.924
12.32	-0.016	-0.31	-0.00002	-40.807	16.258
12.88	-0.016	-0.32	-0.00001	-32.199	14.473
13.44	-0.016	-0.32	0.00001	-24.603	12.654
14.00	-0.016	-0.31	0.00001	-18.021	10.866
14.56	-0.015	-0.30	0.00002	-12.419	9.157
15.12	-0.014	-0.27	0.00002	-7.744	7.562



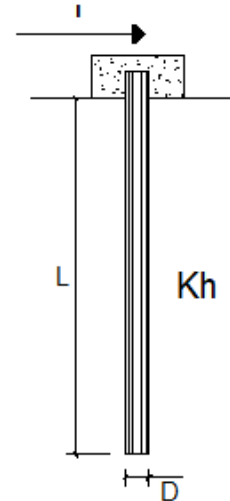
<b>z</b>	<b>y(z)</b>	<b>p(z)</b>	<b><math>\alpha(z)</math></b>	<b>M(z)</b>	<b>T(z)</b>
<b>Prof.</b>	<b>Spost.</b>	<b>Press. Lat.</b>	<b>Rotaz.</b>	<b>Mom. Flett.</b>	<b>Taglio</b>
<b>(m)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(N/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(rad)</b>	<b>(kNm)</b>	<b>(kN)</b>
15.68	-0.012	-0.25	0.00002	-3.924	6.105
16.24	-0.011	-0.22	0.00003	-0.878	4.799
16.80	-0.010	-0.19	0.00002	1.480	3.649
17.36	-0.008	-0.16	0.00002	3.238	2.655
17.92	-0.007	-0.14	0.00002	4.482	1.811
18.48	-0.006	-0.11	0.00002	5.293	1.109
19.04	-0.005	-0.09	0.00002	5.747	0.536
19.60	-0.004	-0.07	0.00002	5.915	0.082
20.16	-0.003	-0.05	0.00001	5.858	-0.269
20.72	-0.002	-0.04	0.00001	5.631	-0.528
21.28	-0.001	-0.03	0.00001	5.281	-0.711
21.84	-0.001	-0.02	0.00001	4.847	-0.828
22.40	0.000	-0.01	0.00001	4.364	-0.891
22.96	0.000	0.00	0.00001	3.857	-0.912
23.52	0.000	0.00	0.00000	3.348	-0.900
24.08	0.000	0.01	0.00000	2.854	-0.862
24.64	0.001	0.01	0.00000	2.387	-0.806
25.20	0.001	0.01	0.00000	1.954	-0.738
25.76	0.001	0.01	0.00000	1.562	-0.662
26.32	0.001	0.01	0.00000	1.213	-0.584
26.88	0.001	0.01	0.00000	0.908	-0.506
27.44	0.001	0.01	0.00000	0.646	-0.430
28.00	0.001	0.01	0.00000	0.425	-0.359

**Comb. SLE**

OPERA: CA19

**DATI DI IMPUT:**

Diametro del palo (D): 1 (m)  
 Lunghezza del palo (L): 28 (m)  
 Coefficiente di reazione laterale ( $k_h$ ): 20 (N/cm<sup>3</sup>)  
 Forza orizzontale agente (T): 256 (kN)  
 Rbk del calcestruzzo: 30.0 (MPa)  
 Ecls ( $E = 5700(Rbk)^{1/2}$ ): 31220 (MPa)  
 J ( $J = \pi \cdot D^4 / 64$ ): 4908739 (cm<sup>4</sup>)  
 $\lambda$  (lunghezza elastica  $\lambda = (4 \cdot EJ / k_h \cdot D)^{1/4}$ ): 418.42 (cm)



z	y(z)	p(z)	$\alpha(z)$	M(z)	T(z)
Prof. (m)	Spost. (cm)	Press. Lat. (N/cm <sup>2</sup> )	Rotaz. (rad)	Mom. Flett. (kNm)	Taglio (kN)
0.00	0.306	6.12	0.00000	535.573	-256.000
0.56	0.301	6.02	-0.00017	401.780	-221.929
1.12	0.288	5.75	-0.00030	286.816	-188.904
1.68	0.268	5.37	-0.00038	189.863	-157.716
2.24	0.245	4.91	-0.00044	109.728	-128.909
2.80	0.220	4.40	-0.00046	44.975	-102.828
3.36	0.194	3.88	-0.00047	-5.981	-79.649
3.92	0.168	3.35	-0.00046	-44.783	-59.418
4.48	0.142	2.85	-0.00044	-73.069	-42.076
5.04	0.118	2.37	-0.00041	-92.423	-27.488
5.60	0.097	1.93	-0.00037	-104.335	-15.465
6.16	0.077	1.53	-0.00033	-110.180	-5.780
6.72	0.059	1.18	-0.00029	-111.200	1.811
7.28	0.044	0.88	-0.00025	-108.495	7.563
7.84	0.031	0.62	-0.00021	-103.026	11.727
8.40	0.020	0.40	-0.00018	-95.612	14.545
8.96	0.011	0.22	-0.00014	-86.943	16.246
9.52	0.004	0.07	-0.00011	-77.586	17.038
10.08	-0.002	-0.04	-0.00009	-67.995	17.111
10.64	-0.006	-0.13	-0.00006	-58.525	16.630
11.20	-0.009	-0.19	-0.00005	-49.445	15.741
11.76	-0.011	-0.23	-0.00003	-40.948	14.567
12.32	-0.013	-0.25	-0.00002	-33.164	13.213
12.88	-0.013	-0.26	0.00000	-26.168	11.762
13.44	-0.013	-0.26	0.00000	-19.995	10.284
14.00	-0.013	-0.25	0.00001	-14.645	8.830
14.56	-0.012	-0.24	0.00001	-10.093	7.442
15.12	-0.011	-0.22	0.00002	-6.293	6.146

<b>z</b>	<b>y(z)</b>	<b>p(z)</b>	<b><math>\alpha(z)</math></b>	<b>M(z)</b>	<b>T(z)</b>
<b>Prof.</b>	<b>Spost.</b>	<b>Press. Lat.</b>	<b>Rotaz.</b>	<b>Mom. Flett.</b>	<b>Taglio</b>
<b>(m)</b>	<b>(cm)</b>	<b>(N/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(rad)</b>	<b>(kNm)</b>	<b>(kN)</b>
15.68	-0.010	-0.20	0.00002	-3.189	4.962
16.24	-0.009	-0.18	0.00002	-0.713	3.900
16.80	-0.008	-0.16	0.00002	1.203	2.966
17.36	-0.007	-0.13	0.00002	2.632	2.158
17.92	-0.006	-0.11	0.00002	3.642	1.472
18.48	-0.005	-0.09	0.00002	4.301	0.901
19.04	-0.004	-0.07	0.00002	4.671	0.436
19.60	-0.003	-0.06	0.00001	4.807	0.066
20.16	-0.002	-0.04	0.00001	4.761	-0.218
20.72	-0.002	-0.03	0.00001	4.576	-0.429
21.28	-0.001	-0.02	0.00001	4.292	-0.578
21.84	-0.001	-0.01	0.00001	3.939	-0.673
22.40	0.000	-0.01	0.00001	3.546	-0.724
22.96	0.000	0.00	0.00000	3.135	-0.741
23.52	0.000	0.00	0.00000	2.721	-0.731
24.08	0.000	0.01	0.00000	2.320	-0.700
24.64	0.000	0.01	0.00000	1.940	-0.655
25.20	0.001	0.01	0.00000	1.588	-0.599
25.76	0.001	0.01	0.00000	1.269	-0.538
26.32	0.001	0.01	0.00000	0.986	-0.475
26.88	0.001	0.01	0.00000	0.738	-0.411
27.44	0.001	0.01	0.00000	0.525	-0.350
28.00	0.000	0.01	0.00000	0.346	-0.292

## 8.7 VERIFICA STRUTTURALE PALO

### 8.7.1 VERIFICA IN TESTA AI PALI

Si verifica la sezione di armatura del palo con le sollecitazioni di cui al par. precedente:

Si dispone una gabbia di 24 $\phi$ 24:

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

##### NOME SEZIONE: palo1000

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicit�:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	141.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750 daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	25.60 daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.50 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.300 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3913.0 daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1*\beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$ :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3600.0 daN/cm <sup>2</sup>	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30

Raggio circ.:	50.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

#### DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza

Ø	Diametro [mm] della singola barra generata				
N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	39.0	24	24

#### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe:	12 mm
Passo staffe:	15.0 cm

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

	N	Mx	My	Vy	Vx
N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0	65900	0	31500	0

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

	N	Mx	My
N	Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0	53600	0

#### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

	N	Mx	My
N	Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0	53600 (31474)	0 (0)

#### COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

	N	Mx	My
N	Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0	53600 (31474)	0 (0)

#### RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 9.8 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.8 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N ult Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My ult Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 My ult Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mx ult Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0	65900	0	0	145282	0	2.205	67.9(11.6)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00206	0.0	50.0	0.00207	0.0	39.0	-0.00805	0.0	-39.0

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000129785	-0.002989272	0.303	0.819

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Passo staffe: 15.0 cm

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Vsdu Taglio di progetto [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
 Vcd Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso  
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]  
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]  
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A.Eff
1	S	31500	151918	109830	80.9	85.5	21.80°	1.000	4.4	15.4(0.0)

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm²]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm²]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	75.0	0.0	150.0	-1987	0.0	-39.0	1407	31.7	10.2	1.00

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	75.0	0.0	150.0	-1987	0.0	-39.0	1407	31.7	10.2	0.50

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm  
 S1 Esito della verifica  
 S2 Massima tensione [daN/cm²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata  
 k2 Minima tensione [daN/cm²] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata  
 k3 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
 Ø = 0.125 per flessione e presso-flessione;  $= (e1 + e2)/(2 \cdot e1)$  per trazione eccentrica  
 Cf Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff  
 Psi Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
 e sm =  $1 - \text{Beta}12^2 \cdot (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12^2 \cdot (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12^2 \cdot (Mfess/M)^2$   
 srm Deformazione unitaria media tra le fessure Il valore limite =  $0.4 \cdot Ss/Es$  è tra parentesi  
 wk Distanza media tra le fessure [mm]  
 Mx fess. Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 \cdot e \cdot sm \cdot srm$ . Valore limite tra parentesi  
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]  
 Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-43.6	0	0.125	24	53.0	0.828	0.00082 (0.00040)	180	0.251 (0.40)	31474	0

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	75.0	0.0	150.0	-1987	0.0	-39.0	1407	31.7	10.2	0.50

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-43.6	0	0.125	24	53.0	0.828	0.00082 (0.00040)	180	0.251 (0.30)	31474	0

## 8.7.2 VERIFICA SECONDO TRATTO

A seguire lungo la profondità del palo si dispone una gabbia di 8 $\phi$ 20 corrispondente a un'area di 0.32% di quella del calcestruzzo. Considerando la lunghezza di sovrapposizione, si riporta la verifica strutturale considerando le sollecitazioni a una profondità superiore a circa 10m, di cui al par. 8.6:

### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: paloU1000 - tratto2

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	141.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. compr. ridotta fcd':	70.80	daN/cm <sup>2</sup>
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	314750	daN/cm <sup>2</sup>
	Resis. media a trazione fctm:	25.60	daN/cm <sup>2</sup>
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	150.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	112.50	daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.300	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. caratt. rottura ftk:	4500.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Resist. ultima di calcolo ftd:	3913.0	daN/cm <sup>2</sup>
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1*\beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$ :	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	3600.0	daN/cm <sup>2</sup>	

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30

Raggio circ.:	50.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

### DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
$\emptyset$	Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	$\emptyset$
--------	---------	---------	--------	---------	-------------



1      0.0      0.0      39.0      8      20

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe:      8 mm  
 Passo staffe:      15.0 cm

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N      Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx      Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
           con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 My      Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
           con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
 Vy      Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
 Vx      Componente del Taglio [daN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0	10000	0	2100	0

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N      Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx      Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
           con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My      Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
           con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0	9000	0

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N      Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx      Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
           con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My      Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
           con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0	9000 (26601)	0 (0)

**COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N      Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx      Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
           con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My      Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
           con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0	9000 (26601)	0 (0)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali:      10.0 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali:      27.8 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [daN] nel baricentro sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [daN] baricentrico (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mx ult	Momento flettente ultimo [daNm] intorno all'asse X di riferimento della sezione
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa	Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0	10000	0	0	40767	0	4.077	22.0(11.6)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00652	0.0	50.0	0.00093	0.0	39.0	-0.01730	0.0	-39.0

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000233696	-0.008184781	0.168	0.700

**METODO SLU - VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)**

Ver	S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta)
Vwct	Taglio trazione resistente [daN] in assenza di staffe [formula (4.1.14)NTC]
d	Altezza utile sezione [cm]
bw	Larghezza minima sezione [cm]
Ro	Rapporto geometrico di armatura longitudinale [ $<0.02$ ]
Scp	Tensione media di compressione nella sezione [daN/cm²]

N°Comb	Ver	Vsdu	Vwct	d	bw	Ro	Scp
1	S	2100	19180	84.9	71.3	0.0016	0.0

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [daN/cm²]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [daN/cm²]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure
D barre	Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure
Beta12	Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre $Beta1*Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	8.7	0.0	0.0	-101	0.0	-39.0	----	----	----	----

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	8.7	0.0	0.0	-101	0.0	-39.0	----	----	----	----

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§B.6.6 DM96]**

Ver.	Esito della verifica
S1	Massima tensione [daN/cm <sup>2</sup> ] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata
S2	Minima tensione [daN/cm <sup>2</sup> ] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	$= 1 - \text{Beta}12 * (Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12 * (Mfess/M)^2$ [B.6.6 DM96]
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4 * Ss / Es$ è tra parentesi
srm	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm * srm$ . Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [daNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [daNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-8.7	0	----	----	----	----	----	----	----	26601	0

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	8.7	0.0	0.0	-101	0.0	-39.0	----	----	----	----

**COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-8.7	0	----	----	----	----	----	----	----	26601	0

**8.8 VERIFICA PALI SEZIONE U SPALLA A**

A seguire i muri della spalla A, è prevista la realizzazione di un'opera di sostegno dall'impronta trapezoidale, costituita da una sezione ad U con parete di chiusura finale.

**Massima azione assiale**

Data la notevole rigidità dell'opera si ritiene ragionevole assumere che i carichi verticali si ripartiscano uniformemente su tutti i pali per cui di seguito si calcola il massimo carico assiale sui pali.

Peso proprio piedritti sp.120cm:  $165mc * 25kN/mc = 4113 \text{ kN}$

Peso proprio piedritti sp.60cm:  $88.5mc * 25kN/mc = 2213 \text{ kN}$

Peso fondazione:  $172.8mc * 25kN/mc = 4320 \text{ kN}$

Peso totale opera di sostegno: 10646 kN

Peso rinterro:  $434 \text{ mc} \cdot 20 \text{ kN/mc} = 8680 \text{ kN}$

Sovraccarico:  $20 \text{ kPa} \cdot 95 \text{ mq} = 1900 \text{ kN}$

SLU:  $1.35 \cdot (10646 + 8680) + 1.5 \cdot 1900 = 26090 + 2850 = 28940 \text{ kN}$

Considerando 12 pali, sul singolo si considera un carico assiale di:

$Q = 28940 \text{ kN} / 12 = 2412 \text{ kN}$

Essendo tale valore inferiore a quello già calcolato per i muri della spalla B (par.8.1  $N = 3535 \text{ kN}$ ), per le verifiche di portanza si rimanda al par. 8.3. (A favore di sicurezza, si adottano la stessa lunghezza e la stessa armatura dei pali previsti in corrispondenza della sezione ad U della spalla B).

### **Fase sismica e massima azione di taglio**

In fase sismica si considera l'azione inerziale dell'intera struttura comprensiva del riempimento più un 20% di carico accidentale per cui si ha:

$0.077 \cdot [(10646 + 8680) + 0.2 \cdot 1900] = 1517 \text{ kN}$

Considerando 12 pali, sul singolo si considera un'azione di taglio di:

$T_{\text{sis}} = 1517 / 12 = 126 \text{ kN}$

Essendo tale valore inferiore a quello già calcolato per i muri della spalla B (315 kN) per le verifiche a carico limite orizzontale si rimanda al par. 8.4.

## 9. CONSIDERAZIONI SULLE ANALISI E LE VERIFICHE SVOLTE

Si riportano le informazioni in ottemperanza a quanto disposto dal capitolo 10 della vigente normativa tecnica (DM2018).

- *Tipo di analisi svolta*

Il calcolo viene eseguito in ambito statico lineare. Per quanto riguarda l'analisi sismica, si adottano le procedure di verifica per struttura in zona 4, applicando un sistema di forze pseudo-statiche, calcolate in modo semplificato. L'analisi strutturale viene eseguita con il metodo degli spostamenti, mentre le verifiche delle sezioni sono state effettuate secondo metodi della tecnica delle costruzioni, come indicato dettagliatamente nel seguito della presente relazione. Le combinazioni di carico sono indicate nel seguito: esse sono in numero tale da coprire tutte le possibili casistiche.

- *Origine, caratteristiche e affidabilità dei codici di calcolo*

Le analisi strutturali, ove non siano effettuate per via analitica, sono eseguite con un codice di calcolo sviluppato dal progettista in un linguaggio di programmazione OpenSource (linguaggio Octave). Tale codice di calcolo è basato sul metodo degli spostamenti e consente la soluzione dei problemi di telai piani in ambito statico.

- *Validazione dei codici*

I risultati del codice sono stati validati dal progettista con riferimento a vari casi di studio. La cui soluzione esatta si può reperire nella letteratura specialistica. Le verifiche delle sezioni sono state eseguite con fogli di lavoro oppure con il software di libera distribuzione VcaSLU (Prof. Gelfi), anch'essi opportunamente validati con calcoli manuali.

- *Modalità di presentazione dei risultati*

Le modalità di applicazione dei carichi sono descritte nella relazione con riferimento alle varie parti di struttura. Considerando la semplicità dello stato di carico la rappresentazione grafica appare superflua. I risultati sono presentati sottoforma di diagrammi delle componenti di azione interna oppure come tabelle dei valori di azioni interne nei punti più significativi. In questo modo si può fare una valutazione immediata dello stato di sollecitazione nelle membrane strutturali.

- *Giudizio motivato di accettabilità dei risultati*

Per quanto riguarda la verifica dei risultati, sono stati effettuati confronti delle azioni interne con casi analoghi ma più semplici (travi semplicemente appoggiate o incastrate). Le reazioni vincolari sono state controllate in fase di progettazione. La rappresentazione delle configurazioni deformate, che sono state comunque esaminate in sede di progettazione per avere conferma della correttezza del calcolo, non forniscono informazioni utili alla verifica di sicurezza. Non si ritiene pertanto indispensabile il loro inserimento nella relazione.

## 9.1 ALLEGATO 1 VALIDAZIONE RC-SEC



Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

### Validazione del codice di calcolo

Informativa sull'affidabilità dei codici di calcolo D.M. 14-01-2008 paragrafo 10.2.

Le fasi di progettazione e sviluppo dei software *GeoStru* sono sottoposti al controllo gestione di qualità aziendale ISO (*International Organization for Standardization*) 9001:2000 certificato da CVI ITALIA srl - **Certificato nr. 7007 1 04**.

Sono stati forniti degli esempi di calcolo, in allegato a questo documento, al fine di verificare la validità delle procedure di calcolo ed effettuare le procedure di controllo con altri strumenti di calcolo.

I software *GeoStru* sono dotati di sistemi di controllo dei dati di input e di output molto sofisticati i quali sono in grado di rilevare errori gravi tali da non consentire le corrette elaborazioni.

Bianco 15/09/2010



# RC-SEC

Versione: 2011.4 Rev. 217

## Validazione del codice di calcolo



## PREMESSA

Nell'ambito delle verifiche di affidabilità previste per i codici di calcolo (punto 10.2 DM 14 Gennaio 2008) è richiesta la presente documentazione del produttore che illustri:

1. campi di impiego
2. basi teoriche ed algoritmi impiegati
3. casi di prova risolti e commentati con i relativi files di input.

## 1 CAMPI DI IMPIEGO

Il programma può essere utilizzato per la verifica ed il semiprogetto delle armature delle sezioni in c.a. ordinario agli stati limite ultimi e di esercizio secondo le nuove norme di cui al DM 14.01.2008 nonché secondo l'ultima versione dell'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1-2005). Sono presi in considerazione sia sollecitazioni rette che deviate (presso-tenso flessione deviata con la presenza contemporanea delle due componenti del taglio). E' altresì possibile eseguire le verifiche con il metodo delle tensioni ammissibili secondo il DM 14.02.1992. Per singoli elementi strutturali (travi o pilastri) è previsto il calcolo delle frecce in esercizio tenendo conto della fessurazione e della viscosità.

Per la verifica di pilastri rettangolari snelli è implementato il metodo della colonna modello.

## 2 BASI TEORICHE ED ALGORITMI IMPIEGATI

Sono illustrati in dettaglio nel manuale d'uso del programma in riferimento ai singoli problemi trattati. Vengono comunque di seguito illustrate particolari caratteristiche conseguenti alle novità introdotte dal DM 14.01.2008 d'ora in poi denominato NTC.

Come legame costitutivo del calcestruzzo il programma impiega sempre il diagramma parabola-rettangolo prevedendo valori differenti delle deformazioni unitarie caratteristiche ( $\epsilon_{c2}$ ,  $\epsilon_{cu}$ ) a seconda se la classe di resistenza è superiore o inferiore alla C50/60 (Punto 4.1.2.1.2.2 NTC). Il tratto curvilineo del diagramma è definito dall'espressione:

$$\sigma_c = f_{cd} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad (1)$$

Nelle NTC l'esponente n vale sempre 2 (parabola). Nell'Eurocodice2 n=2 fino alla classe C50/60 mentre per classi superiori il tratto curvilineo diventa una curva esponenziale avente sempre la formulazione (1) ma con  $n = 1,4 + 23,4 [(90-f_{ck}/10)/100]4$  ( $f_{ck}$  in daN/cm<sup>2</sup>), formulazione prevista in programma se si è selezionata l'opzione di calcolo EC2).

Il tratto orizzontale del diagramma vale:

$$\sigma_c = f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad \text{con } \alpha_{cc} = 0,85 \text{ e } \gamma_c = 1,5 \text{ (nel DM96 era } \gamma_c = 1,6).$$

Altra importante novità è costituita dal fatto che in Italia l'acciaio per cemento armato ordinario dovrà essere costituito in pratica dal solo tipo C450 caratterizzato da:

- resistenza a trazione caratteristica  $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$





- resistenza a snervamento caratteristica  $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
  - allungamento unitario per carico massimo  $\epsilon_{uk} \geq 0,075$ .
- Sia per le NTC che per l'EC2 è possibile assumere come diagramma sforzi deformazioni:
- un diagramma bilineare con incrudimento e deformazione unitaria di calcolo ultima pari a  $\epsilon_{ud} = 0,9 \epsilon_{uk}$ . L'incrudimento (pendenza del tratto plastico del diagramma) è definito dal rapporto  $k = (f_t/f_y)_k$  che deve essere compreso tra 1,15 e 1,35. Poiché all'aumentare di questo rapporto corrisponde un aumento delle caratteristiche di resistenza ultime della sezione riteniamo che, prudenzialmente, nei calcoli di progetto vada utilizzato il valore minimo di 1,15; come conseguenza il valore massimo della tensione ultima dell'acciaio da assumere in corrispondenza della deformazione ultima di calcolo  $\epsilon_{ud}$  vale  $1,15 \cdot f_{yd}$  essendo  $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$  il valore della tensione di snervamento di calcolo ( $\gamma_s = 1,15$  sia per NTC che per EC2).
  - Un diagramma bilineare con tratto plastico orizzontale ( $f_s = f_{yd}$ ) senza limite di deformazione

Il programma consente l'adozione di entrambi i diagrammi ma, per quello elastico-perfettamente plastico indefinito, richiede comunque la definizione dei valori della deformazione ultima e di calcolo dell'acciaio; incrementando tali deformazioni rispetto a quelle prima definite per l'acciaio incrudito non si riscontrano apprezzabili differenze nei risultati.

La verifica a taglio viene eseguita col nuovo metodo proposto dalle NTC (e da EC2) che impiega la schematizzazione del traliccio con inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo (rispetto all'asse della trave) variabile tra i seguenti limiti:

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5$$

Il programma calcola (in semiprogetto o verifica) le resistenze a taglio lato compressione e trazione considerando l'angolo  $\alpha$  di inclinazione trasversale delle staffe (rispetto all'asse della trave) sempre pari a  $90^\circ$ . In semiprogetto si parte assumendo per  $\theta$  il suo minimo valore ( $21^\circ, 8 \leq \theta \leq 45^\circ$ ) che soddisfa la relazione di resistenza a taglio compressione (ponendo  $V_{Rcd} = V_{Ed}$ ); ottenuto così  $\theta$ , dalla relazione di resistenza lato trazione si ricava l'area delle staffe. Si fa notare che le armature longitudinali della trave, dimensionate in base alle sollecitazioni flessionali, dovranno essere prolungate (regola della traslazione) di una misura pari a:  $0,9 \cdot d \cdot \text{ctg} \theta / 2$  (al massimo uguale a  $1,125 \cdot d$  per  $\text{ctg} \theta = 2,5$ ).

Si noti che, a differenza di quanto previsto nel DM96, il valore di  $f_{cd}$  impiegato nel calcolo delle resistenze al taglio è uguale al valore massimo del tratto plastico del diagramma di progetto tensioni-deformazioni del conglomerato impiegato per la verifica per tensioni normali (nel DM96 era maggiore valendo  $f_{cd} = f_{ck}/1,6 > 0,85 f_{ck}/1,5$ ).

Nel caso di contemporanea presenza di torsione e taglio l'angolo  $\theta$  delle bielle compresse deve assumere un unico valore per entrambe le sollecitazioni e, pertanto, il programma prevede l'assegnazione preventiva di  $\theta$  per torsione nelle 'opzioni armature e di calcolo' (nel menu Opzioni).

### 3 CASI DI PROVA

Gli esempi che seguono sono tutti presenti nella cartella "ESEMPI" della directory di installazione del programma. Essi verranno illustrati sia in relazione alla modalità di immissione dei dati, sia confrontando i risultati ottenuti sulla base degli algoritmi assunti nel calcolo con quelli riportati da altri autori e/o programmi.

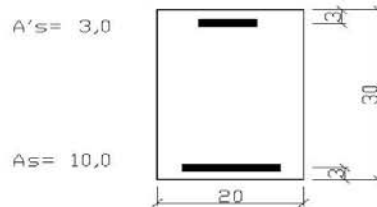
Le stampe complete di input ed output relative a tutti gli esempi sono naturalmente riproducibili caricando detti files di esempio e mandando in esecuzione il programma.



I primi esempi sono quasi tutti tratti dal volume “Progettazione di strutture in calcestruzzo armato” realizzato per AICAP da Pubblicamento s.r.l. in quanto è uno dei pochi testi aggiornato alle NTC ed all’ultima versione dell’Eurocodice 2.

### 3.1 ESEMPIO 1

Si fa riferimento alla sezione rettangolare 20x30 in figura di cui al punto 7.3.2.1 del citato volume. Si cerca il momento resistente ultimo  $M_{Rd}$  per  $N_{Rd}=0$  (flessione semplice) avendo assunto un conglomerato con  $f_{ck} = 300 \text{ daN/cm}^2$  ( $f_{cd} = 300 \cdot 0,85/1,5 = 170 \text{ daN/cm}^2$ ) ed armature con  $f_{yk} = 4500 \text{ daN/cm}^2$  ( $f_{yk} = 4500 \text{ daN/cm}^2$ ). Per prima cosa occorre accertarsi che nell’*archivio materiali* siano presenti i dati relativi al conglomerato ed all’acciaio indicati. In particolare per l’acciaio B450C ponendo  $f_{td} = 3910$  si



assume orizzontale (come nel volume) il pianocrotolo plastico del diagramma sforzi deformazioni. Per ottenere le esatte aree di acciaio indicate si prevedono opportuni diametri delle barre (non esistenti in commercio). Si assegna inoltre allo sforzo normale il valore 0 (flessione semplice) mentre al momento  $M_x$  un qualsiasi valore positivo. Il programma fornisce per il momento resistente il valore  $M_{Rd} = 9071 \text{ daNm}$  di poco inferiore al valore 9100 indicato nel testo che peraltro utilizza il blocco rettangolare per il diagramma sforzi deformazioni del calcestruzzo.

### 3.2 ESEMPIO 2

Al punto 7.5.1 del citato volume viene calcolata a pressoflessione retta una sezione rettangolare 50x100 con armature simmetriche di area pari a 50cm<sup>2</sup> e copriferro di 5 cm. Calcestruzzo ed acciaio sono gli stessi dell’esempio precedente. Questa volta viene utilizzato il diagramma parabola-rettangolo. Nel testo vengono calcolati i momenti resistenti ultimi ( $M_{Rd}$ ) in corrispondenza a prefissati differenti valori assegnati allo sforzo normale che di seguito vengono confrontati con quelli ottenuti dal programma ( $M^*_{Rd}$ ):

$N_{Ed}$	$M_{Rd}$	$M^*_{Rd}$
----------	----------	------------



(daN)	(daNm)	(daNm)
60000	20330	20350
200000	25170	25190
500000	25850	25860
1000000	9770	9910

I risultati appaiono ben concordanti per i primi tre valori (ottenuti dal testo a partire da valori tabellari per il l'integrazione del diagramma parabolico del calcestruzzo). La maggiore differenza si ha per l'ultimo caso con  $N_{Ed}=1000000$  daN che in realtà non viene ottenuto, nel testo citato, dal calcolo ma da interpolazione tra i due assetti di rottura che comprendono il punto di rottura cercato. Il programma non considera inoltre verificata a taglio la sezione (anche con taglio assegnato nullo) in quanto la resistenza a taglio lato calcestruzzo va a zero col termine (presente nella relazione 4.1.19 NTC)  $\alpha_e = 2,5(1-\sigma_{cp}/f_{cd}) = 0$  essendo  $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c = 1000000/(50 \times 100) = 200 > f_{cd}$ .

### 3.3 ESEMPIO 3

Allo stesso punto 7.5.1 del citato volume viene calcolata a pressoflessione retta la sezione rettangolare  $50 \times 100$  con armature simmetriche di area pari a  $70\text{cm}^2$  e copriferro di 5 cm. Il calcestruzzo questa volta è di classe  $f_{ck}=700$  daN/cm<sup>2</sup>: nel caso di calcolo secondo EC2 va assunto il diagramma con curva esponenziale risultando  $f_{ctk} > 500$ .

I momenti resistenti a confronto sono i seguenti (valori dello sforzo normale prefissati):

$N_{Ed}$ (daN)	$M_{Rd}$ (daNm)	$M'_{Rd}$ EC2 (daNm)	$M'_{Rd}$ NTC (daNm)
150000	31370	31360	31360
500000	42460	42400	42740
1000000	40520	40020	42640
1900000	6950	18340	20730

Nell'ultima colonna sono riportati i momenti ultimi ottenuti selezionando l'opzione di calcolo secondo le NTC (diagramma parabola rettangolo). All'aumentare dello sforzo normale si nota che i momenti resistenti ottenuti con le NTC sono meno conservativi di quelli che con l'EC2 si ottengono dal diagramma esponenziale rettangolo. L'ultimo valore del momento resistente riportato nel citato testo appare troppo approssimato rispetto a quelli ottenuti dal programma.

### 3.4 ESEMPIO 4



Calcolo delle staffe verticali (di diametro pari a 12mm) per una sezione rettangolare 20x80 copriferro 50cm e taglio di progetto  $V_{Ed} = 50000$  daN. Conglomerato  $f_{ck}=300$ ; Acciaio C450B. (Punto 8.1.4.1.3.2 vol.citato)

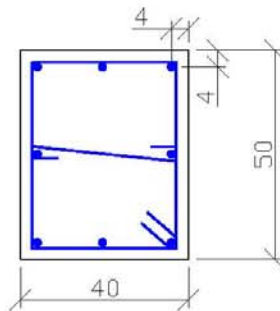
Assunti momento flettente  $M_x$  ed armature longitudinali arbitrarie, si è eseguito il calcolo di progetto della sezione avendo preventivamente assegnato il valore di 12 al diametro delle staffe nella finestra delle opzioni armature e di calcolo.

Il calcolo fornisce un passo di 20,3 cm alle staffe  $\phi 12$  assunte in perfetto accordo col passo di cm 20 indicato dal testo.

### 3.5 ESEMPIO 5

Nel caso di pressoflessione deviata non si è trovato alcun esempio numerico in letteratura trattato con le nuove norme. Si considera pertanto un caso di calcolo trattato solo col presente programma.

Si è considerata la sezione in figura relativa ad un pilastro rettangolare 40x60 armata con 8 $\phi 16$  (Calcestruzzo C28/35. Acciaio C450B).



Il calcolo è stato effettuato per le seguenti 3 combinazioni allo stato limite ultimo:

$N_{Ed}$ (daN)	$M_{xEd}$ (daNm)	$M_{yEd}$ (daNm)	$V_{yEd}$ (daN)	$V_{xEd}$ (daN)
50000	14000	11000	14000	11000
50000	20000	0	20000	0
50000	0	15714	0	15714

Le nuove NTC al punto 7.4.4.2.2.1 consentono che la verifica a presso-flessione deviata (prima combinazione in tabella) possa essere sostituita da due verifiche a presso-flessione retta in cui la resistenza sia ridotta al 70% di quella effettiva: ciò che equivale ad incrementare gli sforzi di progetto di  $1/0,7 = 1,4286$ . Si sono così ricavati gli sforzi retti "equivalenti" riportati nella seconda e terza combinazione. Nella citato punto normativo si fa riferimento ai soli momenti flettenti (lo sforzo normale non va incrementato in quanto la



misura della sicurezza va sempre effettuata a sforzo normale costante). Nulla si dice circa la verifica a taglio in presenza delle due componenti  $V_x, V_y$ . Anche per il taglio, a scopo di controllo, la verifica a taglio deviato di cui alla prima combinazione è stata separata in due verifiche separate di tipo retto incrementando gli sforzi col coefficiente 1,4286.

Il tabulato di verifica di seguito riportato mostra che nelle verifiche a pressoflessione retta (seconda e terza combinazione) le misure della sicurezza (1,149 e 1,146) risultano entrambe maggiori di quella a pressoflessione deviate (1,062). Non così per quanto riguarda le verifiche a taglio in cui si può notare che l'armatura trasversale strettamente necessaria per la prima combinazione (deviata) risulta superiore a quella della seconda e terza combinazione (rette).

Da ciò si deduce che per il taglio a due componenti non ci sono sufficienti indicazioni normative per la sua sostituzione con due tagli equivalenti in sollecitazione retta (manca cioè un diagramma di interazione semplificato e conservativo).

**DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.**

NOME SEZIONE: ESEMPIO\_5

Descrizione Sezione:  
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Tipologia sezione: Pilastro rettangolare ad armatura simm.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia  
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica  
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CONGLOMERATO - Classe: C28/35  
 Resis. compr. di calcolo fcd : 158.60 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resis. compr. ridotta fcd' : 79.30 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020  
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035  
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo  
 Modulo Elastico Normale Ec : 323080 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. di Poisson : 0.20  
 Resis. media a trazione fctm : 28.80 daN/cm<sup>2</sup>

ACCIAIO - Tipo: B450C  
 Resist. caratt. snervam. fyk : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. caratt. rottura ftk : 5400.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo fyd : 3913.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. ultima di calcolo ftd : 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Deform. ultima di calcolo Epu : 0.068  
 Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base: 40.0 cm  
 Altezza: 50.0 cm

N. totale barre : 8  
 Diametro barre : 16 mm  
 Copriferro (dal baric. barre) : 4.0 cm  
 Coordinate Barre nei vertici :

N.Barra	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-16.0	-21.0
2	-16.0	21.0
3	16.0	21.0
4	16.0	-21.0

Generazioni di barre lungo i lati:



N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N.Barra In. Numero della barra iniziale (di vertice) cui si riferisce la generazione  
 N.Barra Fin. Numero della barra finale (vertice) cui si riferisce la generazione  
 N.Barre Numero di barre generate equidist. comprese tra la barra iniz. e la fin.

N.Gen.	N.Barra In.	N.Barra Fin.	N.Barre
1	1	4	1
2	2	3	1
3	1	2	1
4	4	3	1

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (positivo se di compress.)  
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione  
 Vy Componente del Taglio [daN] nella direzione dell'asse princ. y della sezione  
 Vx Componente del Taglio [daN] nella direzione dell'asse princ. x della sezione

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	50000	14000	-11000	14000	11000
2	50000	20000	0	20000	0
3	50000	0	-15714	0	15714

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 3.2 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 14.4 cm  
 Copriferro netto minimo staffe: 2.4 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	50000	14000	11000	49983	14828	11729	1.062
2	S	50000	20000	0	49995	22988	0	1.149
3	S	50000	0	15714	49988	0	18004	1.146

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
 ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
 Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
 ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xf max Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
 Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00031	20.0	25.0	0.00270	16.0	21.0	-0.00459	-16.0	-21.0
2	0.00350	-0.00232	-20.0	25.0	0.00241	-16.0	21.0	-0.00900	-16.0	-21.0
3	0.00350	-0.00232	20.0	25.0	0.00214	16.0	21.0	-0.00873	-16.0	-21.0



**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 b Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 c Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000112833	0.000087460	-0.000943178		
2	0.000000000	0.000271812	-0.003295296		
3	0.000339655	0.000000000	-0.003293104		

**ARMATURE A TAGLIO DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE**

Diametro staffe: 8 mm  
 Passo staffe: 18.0 cm [Passo massimo di normativa = 19.2]  
 N.Bracci staffe: 2  
 Area staffe/m : 5.6 cm<sup>2</sup>/m [Area Staffe Minima normativa = 2.9]

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
 Vsdu Taglio agente [daN] = proiezione di  $V_x$  e  $V_y$  sulla normale all'asse neutro  
 Vru Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso  
 Vcd Taglio [daN] assorbito dal conglomerato nel calcolo delle staffe  
 Vwd Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
 Dmed Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro.  
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
 Teta Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
 Afst Area staffe strettamente necessarie a taglio per metro di trave [cm<sup>2</sup>/m]

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	17271	49148	18497	37.6	45.9	21.80°	1.158	5.2
2	S	20000	52421	22619	46.0	40.0	21.80°	1.158	4.9
3	S	15714	51281	17702	36.0	50.0	21.80°	1.158	5.0



Geostru Software – Validazione codice di calcolo

RC-SEC

### 3.6 ESEMPIO 6

Si fa riferimento alla stessa sezione rettangolare di pilastro trattata nell'esempio precedente allo scopo di valutare con calcolo diretto la duttilità di curvatura posseduta dalla sezione per ognuna delle tre combinazioni assegnate. Nel caso di calcolo sismico il punto 7.4.4 NTC prescrive, per le sezioni ricadenti in zona critica, che il valore della duttilità di curvatura  $\mu_{\phi}$  risulti non minore di prefissati valori. Al punto 7.3.6.2 le NTC comunque consentono di omettere tale controllo purché si rispettino le regole di progetto e di gerarchia delle resistenze.

Il calcolo della duttilità di curvatura viene svolto dal programma tramite la costruzione di diagrammi momenti-curvature in cui il rapporto tra i momenti  $M_x$  e  $M_y$  viene mantenuto costante. Tra i vari tipi di diagrammi previsti in programma si utilizza, per il presente esempio, quello che tiene conto automaticamente del confinamento sulla base delle staffe effettivamente disposte. Viene pertanto utilizzato per il nucleo confinato della sezione un diagramma tensione-deformazione costruito secondo il punto 3.1.9 di EC2 che fornisce le espressioni da cui trarre il valore di resistenza  $f_{ck,c}$  del calcestruzzo confinato, la deformazione ultima  $\varepsilon_{cu2,c}$  e quella al limite del tratto parabolico  $\varepsilon_{c2,c}$ . Il tratto plastico del diagramma tensioni-deformazioni si ottiene però collegando il punto  $f_{ck,c}$  di massimo della parabola con il valore di  $0,85 f_{ck}$  in corrispondenza di  $\varepsilon_{cu2,c}$ . Le precedenti quantità  $f_{ck,c}$ ,  $\varepsilon_{c2,c}$ ,  $\varepsilon_{cu2,c}$  sono maggiorate rispetto a quelle impiegate per il calcolo di resistenza in quanto funzioni della tensione trasversale di confinamento  $\sigma_2$  il cui valore, però, non viene esplicitato nell'EC2. Occorre a questo scopo far ricorso all'autorevole "Model Code '90" che pone (per sezioni rettangolari):

$$\sigma_2 = 0,5 \alpha_n \alpha_s \omega_w \quad \text{in cui}$$

$$\alpha_n = 1 - 8 / (3 n) \quad \text{con } n = \text{numero di barre collegate da staffe e legature}$$

$$\alpha_s = 1 - s / (2 b_0) \quad \text{con } s = \text{passo staffe e } b_0 = \text{lato minore nucleo confinato}$$

$$\omega_w = (\text{Volume staffe} / \text{Volume nucleo confinato}) (f_{yd} / f_{cd})$$

Al conglomerato esterno al nucleo confinato viene invece assegnato il diagramma tensione-deformazione utilizzato per il calcolo di resistenza.

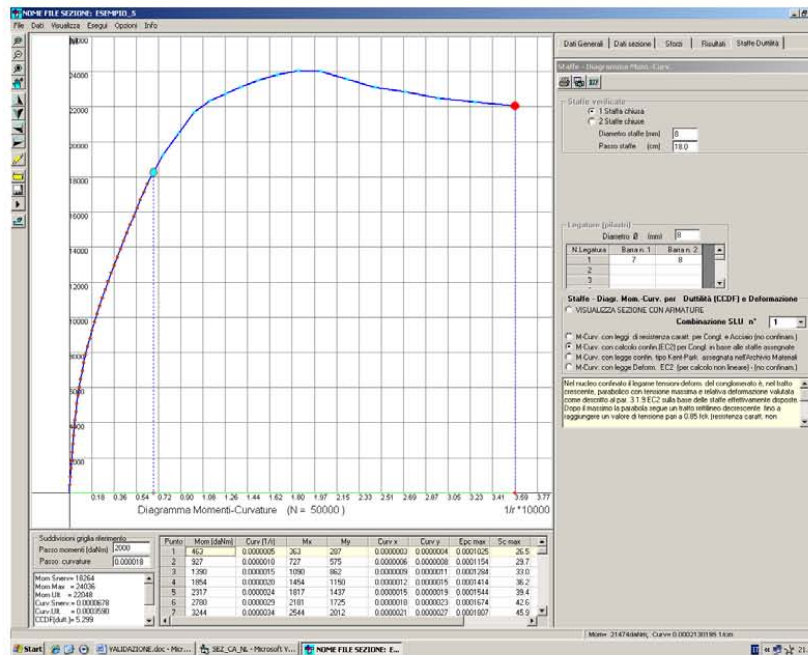
Si riporta di seguito sia l'output a video del diagramma Momenti-Curvature, sia il tabulato di stampa dello stesso con riferimento alla prima combinazione di carico in presso-flessione deviata. Il valore della duttilità di curvatura  $\mu_{\phi}$  risulta pari a 5,299. Il calcolo di duttilità per la seconda combinazione di carico (in presso flessione retta) conduce invece ad una duttilità notevolmente superiore e pari a 10,169.





Geostru Software – Validazione codice di calcolo

RC-SEC



**DIAGRAMMA MOMENTI-CURVATURE Comb. N° 1 (N = 50000 dan)**  
**NO ME SEZIONE: ESEMPIO\_5**

Descrizione Sezione:  
 Tipologia sezione: Pilastro rettangolare ad armatura simm.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica  
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CONGLOMERATO - Classe: C28/35  
 Diagramma coprif. non confinato: Parabola con max=Fc\_k  
 Resis. caratt. di calcolo fck: 280.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def.unit. max resistenza ec2: 0.0020  
 Def.unit. ultima ecu: 0.0035  
 Diagramma congl. confinato sez. : Parabol.+retta decresc.  
 in base alle staffe  
 Resist. massima per confinamento : 296.41 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. a rottura (0.85 Fck) : 238.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Tens. laterale di confinam.efficace: 3.28 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def. unit. per la max resistenza : 0.0022  
 Def. unit. ultima (par.3.1.9 EC2) : 0.0058

ACCIAIO - Tipo: B450C  
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito  
 Resist. caratt. snervam. fyk: 4500.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. caratt. rottura ftk: 5400.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Deform. ultima di calcolo Epu: 0.0675  
 Modulo Elastico Ef: 2000000 daN/cm<sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE**

Base: 40.0 cm  
 Altezza: 50.0 cm  
 N. totale barre : 8



Diametro barre : 16 mm  
 Copriferro (dal baric. barre) : 4.0 cm  
 Coordinate Barre nei vertici :

N.Barra	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-16.0	-21.0
2	-16.0	21.0
3	16.0	21.0
4	16.0	-21.0

Generazioni di barre lungo i lati:

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N.Barra In. Numero della barra iniziale (di vertice) cui si riferisce la generazione  
 N.Barra Fin. Numero della barra finale (vertice) cui si riferisce la generazione  
 N.Barre Numero di barre generate equidist. comprese tra la barra iniz. e la fin.

N.Gen.	N.Barra In.	N.Barra Fin.	N.Barre
1	1	4	1
2	2	3	1
3	1	2	1
4	4	3	1

**ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO**

Diametro staffe: 8 mm  
 Passo staffe: 18.0 cm [Passo massimo di normativa= 19.2]  
 N.Bracci staffe: 2  
 Area staffe/m : 5.6 cm<sup>2</sup>/m

**RISULTATI DEL CALCOLO**

Sforzo normale costante di calcolo N 50000 daN  
 Momento di snervamento 18264 daNm  
 Momento massimo 24036 daNm  
 Momento a rottura 22048 daNm  
 Duttilità di curvatura CCDF (punto 7.4.4 NTC) 5.299

**PUNTI CALCOLATI DEL DIAGRAMMA MOMENTI-CURVATURE**

N.Punto Numero d'ordine assegnato al punto calcolato del diagramma  
 M Momento vettoriale [daNm]  
 Curv. Curvatura [1000/cm] vettoriale corrispnd. al momento vettoriale  
 Mx Componente del momento totale relativa all'asse x princ.inerzia  
 My Componente del momento totale relativa all'asse y princ.inerzia  
 Curv x Componente della curvatura [1000/cm] relativa all'asse x  
 Curv y Componente della curvatura [1000/cm] relativa all'asse y  
 epc max Deformazione unit. massima congl. (positiva se di compressione)  
 Sc max Tensione congl. [daN/cm<sup>2</sup>] in corrispnd. di epc max  
 epf min Deformazione unit. minima acciaio (negativa se di trazione)  
 Sf min Tensione acciaio [daN/cm<sup>2</sup>] in corrispnd. di eps min

Punto	M	Curv	Mx	My	Curv x	Curv y	epc max	Scmax	eps min	Scmin
1	463	0.00049	363	287	0.00031	0.00038	0.0001	26	0.0001	154
2	927	0.00098	727	575	0.00061	0.00076	0.0001	30	0.0001	129
3	1390	0.00146	1090	862	0.00092	0.00114	0.0001	33	0.0001	104
4	1854	0.00195	1454	1150	0.00122	0.00152	0.0001	36	0.0000	79
5	2317	0.00244	1817	1437	0.00153	0.00190	0.0002	39	0.0000	55
6	2780	0.00293	2181	1725	0.00183	0.00228	0.0002	43	0.0000	30
7	3244	0.00343	2544	2012	0.00215	0.00267	0.0002	46	0.0000	4
8	3707	0.00397	2908	2300	0.00249	0.00309	0.0002	49	0.0000	-24
9	4171	0.00459	3271	2587	0.00287	0.00357	0.0002	53	0.0000	-57
10	4634	0.00528	3634	2875	0.00330	0.00411	0.0002	57	0.0000	-95
11	5097	0.00606	3998	3162	0.00379	0.00472	0.0002	62	-0.0001	-139
12	5561	0.00694	4361	3450	0.00435	0.00542	0.0003	66	-0.0001	-190
13	6024	0.00794	4725	3737	0.00497	0.00619	0.0003	71	-0.0001	-249
14	6487	0.00905	5088	4025	0.00566	0.00706	0.0003	77	-0.0002	-317
15	6951	0.01028	5452	4312	0.00643	0.00802	0.0003	83	-0.0002	-394
16	7414	0.01163	5815	4600	0.00727	0.00908	0.0004	89	-0.0002	-480

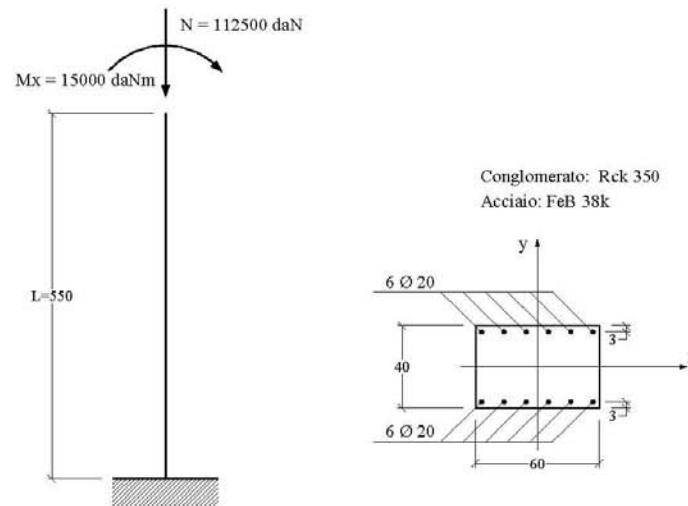


Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

17	7878	0.01311	6179	4887	0.00819	0.01023	0.0004	95	-0.0003	-575
18	8341	0.01470	6542	5175	0.00918	0.01148	0.0004	102	-0.0003	-681
19	8804	0.01642	6905	5462	0.01025	0.01283	0.0005	109	-0.0004	-796
20	9268	0.01825	7269	5749	0.01138	0.01426	0.0005	116	-0.0005	-919
21	9731	0.02019	7632	6037	0.01258	0.01578	0.0005	123	-0.0005	-1052
22	10195	0.02222	7996	6324	0.01385	0.01738	0.0006	130	-0.0006	-1194
23	10658	0.02436	8359	6612	0.01517	0.01906	0.0006	137	-0.0007	-1344
24	11121	0.02657	8723	6899	0.01653	0.02081	0.0006	144	-0.0008	-1500
25	11585	0.02886	9086	7187	0.01794	0.02261	0.0007	151	-0.0008	-1663
26	12048	0.03121	9449	7474	0.01939	0.02446	0.0007	158	-0.0009	-1831
27	12512	0.03362	9813	7762	0.02087	0.02636	0.0007	165	-0.0010	-2004
28	12975	0.03608	10176	8049	0.02238	0.02830	0.0008	171	-0.0011	-2182
29	13438	0.03859	10540	8337	0.02392	0.03028	0.0008	178	-0.0012	-2364
30	13902	0.04114	10903	8624	0.02548	0.03229	0.0009	185	-0.0013	-2549
31	14365	0.04372	11267	8912	0.02707	0.03434	0.0009	191	-0.0014	-2738
32	14828	0.04635	11630	9199	0.02868	0.03641	0.0009	197	-0.0015	-2929
33	15292	0.04900	11994	9487	0.03030	0.03851	0.0010	203	-0.0016	-3123
34	15755	0.05170	12357	9774	0.03195	0.04064	0.0010	209	-0.0017	-3320
35	16219	0.05441	12720	10062	0.03360	0.04279	0.0011	215	-0.0018	-3518
36	16682	0.05716	13084	10349	0.03529	0.04497	0.0011	221	-0.0019	-3720
37	17145	0.05994	13447	10636	0.03698	0.04717	0.0012	227	-0.0020	-3923
38	17609	0.06274	13811	10924	0.03869	0.04939	0.0012	232	-0.0021	-4128
39	19260	0.07537	15106	11948	0.04640	0.05939	0.0014	253	-0.0025	-4566
40	20501	0.08800	16079	12718	0.05412	0.06939	0.0016	269	-0.0030	-4572
41	21680	0.10061	17004	13450	0.06180	0.07939	0.0017	282	-0.0035	-4579
42	22329	0.11329	17512	13852	0.06959	0.08939	0.0019	290	-0.0040	-4586
43	22743	0.12591	17837	14109	0.07729	0.09939	0.0021	295	-0.0045	-4593
44	23128	0.13852	18140	14348	0.08498	0.10939	0.0022	296	-0.0049	-4599
45	23509	0.15233	18438	14584	0.09340	0.12033	0.0024	296	-0.0055	-4607
46	23926	0.16753	18687	14781	0.10270	0.13237	0.0026	296	-0.0061	-4615
47	24036	0.18424	18852	14911	0.11289	0.14560	0.0029	296	-0.0067	-4623
48	24025	0.20264	18843	14905	0.12413	0.16016	0.0032	296	-0.0074	-4632
49	23564	0.22399	18482	14619	0.13833	0.17618	0.0035	296	-0.0081	-4643
50	23122	0.24624	18135	14344	0.15192	0.19380	0.0039	296	-0.0089	-4654
51	22863	0.27067	17932	14184	0.16679	0.21318	0.0043	296	-0.0098	-4666
52	22482	0.29740	17633	13947	0.18292	0.23449	0.0047	296	-0.0107	-4679
53	22259	0.32677	17458	13809	0.20061	0.25794	0.0052	296	-0.0117	-4693
54	22048	0.35904	17292	13678	0.22001	0.28374	0.0057	296	-0.0129	-4709



### 3.7 ESEMPIO 7



L'esempio, tratto dal volume di R.Calzona, C.Cestelli Guidi – Il calcolo del cemento armato (Hoepli) – si riferisce al calcolo allo stato limite ultimo di instabilità di un pilastro snello a sezione rettangolare i cui dati sono riportati in figura.

Si utilizza il metodo semplificato detto della “colonna modello” con riferimento alle sollecitazioni rette contenute nel piano verticale la cui traccia nel piano della sezione coincide con l'asse y. I valori indicati per N ed  $M_x$  sono quelli del primo ordine già amplificati con gli opportuni coefficienti stabiliti per la combinazione ultima che si intende verificare.

Le sollecitazioni da calcolo vanno sempre incrementate del momento flettente causato dall'eccentricità non intenzionale  $e_{ni}$  da porre non minore di  $L_0/300 = 3.67$  cm essendo  $L_0$  la lunghezza di libera inflessione del pilastro in questo caso (schema a mensola) pari a  $2L = 1100$  cm.:

$$N_d = 112500 \text{ daN}$$

$$M_d = 15000 + 112500 \times 0.0367 = 19129 \text{ daNm}$$

All'avvio del calcolo occorre inserire preliminarmente (nell'*archivio materiali*) i dati relativi sia al conglomerato Rck350 che all'acciaio FeB38k per renderli identici a quelli riportati nel testo citato:

$$f_{ck} = 0,83 R_{ck} = 290,5 \text{ daN/cm}^2$$

$$f_{cd} = 0,85 f_{ck} / 1,6 = 154,3 \text{ daN/cm}^2$$

$$E_s = 2100000 \text{ daN/cm}^2$$

$$f_{yd} = f_{td} = f_{yk} / 1,15 = 3304 \text{ daN/cm}^2;$$

$$\epsilon_{ud,ult} = 0,01$$

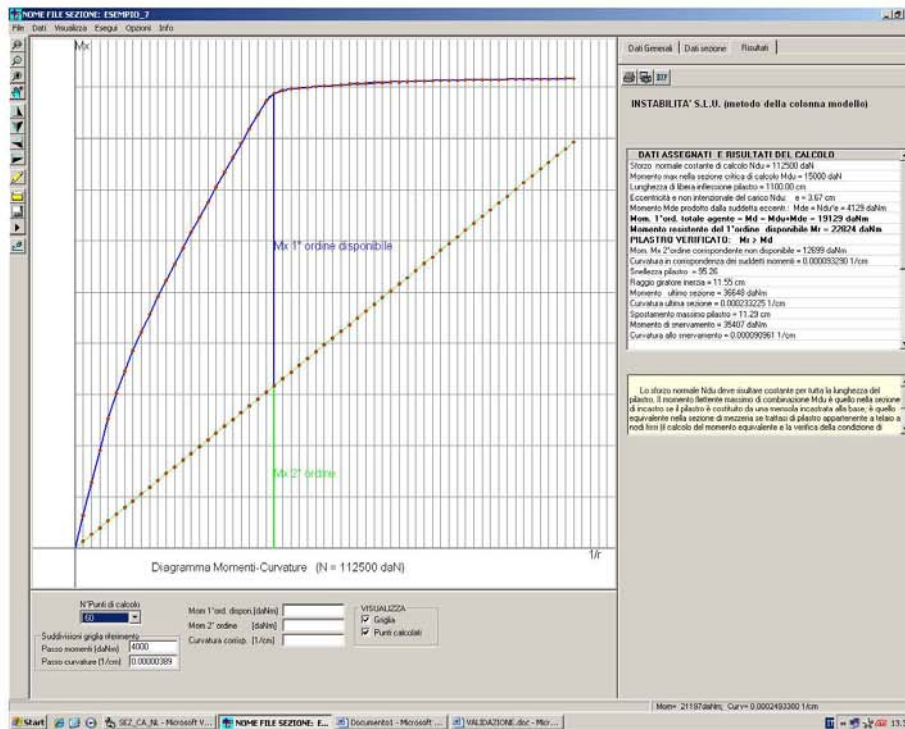
In particolare i dati relativi agli sforzi agenti richiesti dal programma sono i seguenti:

Sforzo normale di calcolo $N_d$ costante =	112500 daN
Momento max di calcolo $M_d$ nella sezione critica =	15000 daNm
Lunghezza di libera inflessione =	1100 cm



Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

Eccentricità non intenzionale = 3.67 cm  
 Si noti come il momento  $M_d$  richiesto sia al netto di quello prodotto dall'eccentricità non intenzionale in quanto il programma provvederà automaticamente ad effettuare la somma tra i due momenti agenti.  
 Gli output a video ed a stampa, di seguito riportati, indicano che la sezione risulta verificata in quanto il momento resistente effettivamente disponibile (al netto di quello del secondo ordine) pari a 22824 daNm è maggiore di quello di calcolo di 19129 daNm. I risultati sono in pratica coincidenti con quelli esposti nel citato testo.



**STATO LIMITE DI INSTABILITA' (Metodo della Colonna Modello)**  
**DATI SEZIONE CRITICA PILASTRO**  
**NOME SEZIONE: ESEMPIO\_7**

Descrizione Sezione:  
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Tipologia sezione: Pilastro rettangolare ad armatura simm.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

CONGLOMERATO - Classe: Rck350  
 Resis. compr. di calcolo fcd : 154.30 daN/cm<sup>2</sup>  
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020  
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035  
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo  
 Modulo Elastico Normale Ec : 337216 daN/cm<sup>2</sup>



Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

ACCIAIO - Tipo: FeB38k  
 Resist. caratt. snervam. fyk: 3800.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. caratt. rottura ftk: 3800.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. snerv. di calcolo fyd: 3304.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Resist. ultima di calcolo ftd: 3304.0 daN/cm<sup>2</sup>  
 Deform. ultima di calcolo Epu: 0.010  
 Modulo Elastico Ef: 2100000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito

**SFORZI ASSEGNATI E RISULTATI DEL CALCOLO**

Sforzo normale costante di calcolo Ndu = 112500 daN  
 Sforzo normale costante di calcolo Ndu = 15000 daNm  
 Lunghezza di libera inflessione pilastro = 1100.00 cm  
 Eccentricità e non intenzionale del carico Ndu: e = 3.67 cm  
 Momento Mde prodotto dalla suddetta eccentricità: Mde = Ndu\*e = 4129 daNm  
 Raggio giratore d'inerzia riferito all'asse x di inflessione = 11.55 cm  
 Snellezza pilastro = Lungh.libera infless./raggio giratore = 95.26  
**Momento del 1°ordine totale agente = Md = Mdu+Mde = 19129 daNm**  
**Momento resistente del 1°ordine disponibile Mr = 22824 daNm**  
**PILASTRO VERIFICATO: Mr > Md**  
 Mom. Mx 2°ordine corrispondente al massimo momento disponibile = 12699 daNm  
 Curvatura corrispondente ai suddetti momenti = .000093290 1/cm  
 Momento resistente ultimo sezione critica = 36648 daNm  
 Curvatura ultima sezione (in corrisp. del Mom.resist.Ultimo)=.000233225 1/cm  
 Spostamento massimo pilastro = 11.29 cm  
 Momento di snervamento sezione critica = 35407 daNm  
 Curvatura allo snervamento = .000090961 1/cm

**PUNTI CALCOLATI DEL DIAGRAMMA MOMENTI-CURVATURE**

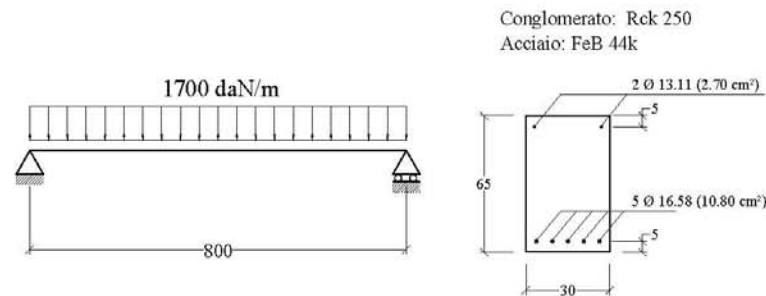
N.Punto	Curvat.	Mx	Mx_1°	Mx_2°
N.Punto	Numero d'ordine assegnato al punto calcolato del diagramma			
Curvat.	Curvatura [1/cm] del punto calcolato			
Mx	Momento totale [daNm] per la curv. data riferito all'asse x			
Mx_1°	Quota disponibile del 1° ordine del momento totale Mx			
Mx_2°	Quota non disponibile del 2° ordine del momento totale Mx			
1	0.000003887	2554	2025	529
2	0.000007774	5105	4047	1058
3	0.000011661	7651	6064	1587
4	0.000015548	10102	7985	2117
5	0.000019435	12119	9473	2646
6	0.000023322	13857	10682	3175
7	0.000027210	15429	11725	3704
8	0.000031097	16896	12663	4233
9	0.000034984	18288	13526	4762
10	0.000038871	19629	14338	5291
11	0.000042758	20929	15108	5820
12	0.000046645	22198	15848	6350
13	0.000050532	23440	16561	6879
14	0.000054419	24659	17252	7408
15	0.000058306	25861	17924	7937
16	0.000062193	27047	18581	8466
17	0.000066080	28220	19225	8995
18	0.000069967	29374	19850	9524
19	0.000073855	30520	20466	10053
20	0.000077742	31651	21068	10583
21	0.000081629	32770	21658	11112
22	0.000085516	33875	22234	11641
23	0.000089403	34973	22803	12170
24	<b>0.000093290</b>	<b>35523</b>	<b>22824</b>	<b>12699</b>
25	0.000097177	35707	22478	13228
26	0.000101064	35835	22078	13757
27	0.000104951	35906	21620	14286
28	0.000108838	35970	21154	14816
29	0.000112725	36030	20685	15345
30	0.000116612	36083	20209	15874
31	0.000120500	36133	19730	16403
32	0.000124387	36174	19242	16932



Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

33	0.000128274	36212	18751	17461
34	0.000132161	36248	18258	17990
35	0.000136048	36283	17763	18520
36	0.000139935	36314	17266	19049
37	0.000143822	36343	16765	19578
38	0.000147709	36366	16259	20107
39	0.000151596	36391	15755	20636
40	0.000155483	36414	15249	21165
41	0.000159370	36434	14740	21694
42	0.000163257	36455	14232	22223
43	0.000167145	36472	13719	22753
44	0.000171032	36485	13204	23282
45	0.000174919	36499	12689	23811
46	0.000178806	36517	12177	24340
47	0.000182693	36531	11662	24869
48	0.000186580	36545	11147	25398
49	0.000190467	36557	10630	25927
50	0.000194354	36568	10111	26456
51	0.000198241	36577	9592	26986
52	0.000202128	36585	9070	27515
53	0.000206015	36596	8552	28044
54	0.000209902	36604	8031	28573
55	0.000213789	36614	7512	29102
56	0.000217677	36623	6991	29631
57	0.000221564	36628	6468	30160
58	0.000225451	36634	5945	30689
59	0.000229338	36644	5425	31219
60	0.000233225	36648	4901	31748

### 3.8 ESEMPIO 8



La trave in c.a. su due appoggi in figura è tratta dall'Example 7.4 del volume di A.Ghali, R.Favre "Concrete Structures - stresses and deformations" (E & FN SPON) è costituita per la sua intera lunghezza dalla sezione costante, per geometria e materiali, denominata ESEMPIO\_8\_GHALI\_SEZ.sez pure presente tra i files di esempio del programma.

Al tempo  $t_0$  viene applicato un carico uniforme di 1700 daN/m che rappresenta il carico risultante di una combinazione *quasi permanente* di esercizio. Si chiede il valore della freccia massima della trave a lungo termine ( $t = \text{infinito}$ ) posto che i dati meccanici e reologici siano i seguenti:

- $E_s = 2000000 \text{ daN/cm}^2$
- $E_c(t_0) = 300000 \text{ daN/cm}^2$  = modulo elastico al tempo  $t_0$  di applicazione del carico
- $f_{ctm} = 25 \text{ daN/cm}^2$  = resistenza media a trazione del conglomerato
- $\phi(t, t_0) = 2.5$  = coeff. di viscosità valutato da  $t_0$  al tempo finale  $t$
- $\epsilon_{cs}(t, t_0) = 0.00025$  = deformazione per ritiro nello stesso intervallo di tempo
- $\chi(t, t_0) = 0.8$  = coeff. di invecchiamento

Prima di poter assegnare i dati della trave è stato necessario creare il file della sezione corrente della trave denominato ESEMPIO\_8\_GHALI.sez. Nel corso dell'input di questa sezione vanno inseriti i dati geometrici, meccanici e reologici finora elencati (nonché un momento fittizio qualsiasi). Una volta salvato il file della sezione è stato creato un nuovo file di calcolo, qui denominato ESEMPIO\_8.sez, in





Geostru Software – Validazione codice di calcolo

RC-SEC

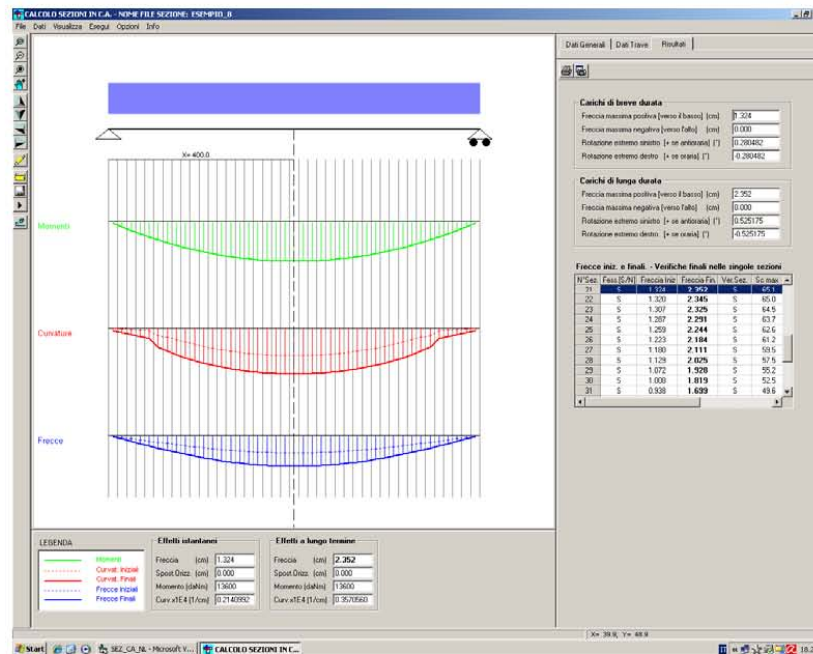
cui una volta assegnata la tipologia del calcolo delle frecce in campata singola vanno effettuate le seguenti scelte:

- Tipologia della combinazione di carico di esercizio: quasi permanente
- Tipo di campata: trave su due appoggi
- N° tronchi a sezione costante: 1 (la geometria e l'armatura sono costanti per tutta la lunghezza della trave)
- Passo medio della discretizzazione: 20 cm
- Coppie agli estremi appoggiati della trave: 0 daNm
- Caratteristiche dei singoli tronchi della trave:
  - Nome Sezione: ESEMPIO\_8\_GHALI.sez
  - Lunghezza tronco: 800 cm
  - $P_y = 1700$  daN/m
  - $N = 0$  daN.

Negli output a video ed a stampa sotto riportati viene indicata, fra l'altro, la freccia massima (in corrispondenza del concio centrale) pari a 2.35 cm identica a quella calcolata testo citato. Si noti come la freccia istantanea pari a 1,32 cm sia circa la metà della freccia differita (quest'ultima calcolata col metodo AAEM).

Oltre a calcolare le frecce nei singoli conci per integrazione delle curvatures il programma ne verifica l'apertura delle fessure e le tensioni normali.

Con questo stesso programma possono essere studiate (con piccolo errore) campate di travi iperstatiche (appartenenti a generici impalcati di edifici) a condizione di assegnare le coppie iperstatiche di estremità. Essendo inoltre possibile assegnare uno sforzo normale costante può essere studiata la deformazione (in un solo piano di inflessione) anche dei pilastri.





Geostru Software - Validazione codice di calcolo

RC-SEC

**CALCOLO FRECCHE E VERIFICA SEZIONI DI UNA TRAVE IN C.A.**  
**NOME DEL FILE: ESEMPIO\_8**

Descrizione Calcolo:  
 Tipologia della trave: Trave su due appoggi di estremità  
 Numero tronchi a sez. costante: 1  
 Passo medio discretizz. trave: 20 cm  
 Tipologia combinazione carico: Quasi Permanente  
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive

**CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI**

**CONGLOM. N. 1** - Classe: C20/25  
 Modulo Elastico Normale Ec: 300000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. di Poisson: 0.20  
 Resis. media a trazione fctm: 25.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Viscosità: 2.50  
 Coeff. Ritiro: 0.25 /1000  
 Coeff. Invecchiamento: 0.800  
 Tensione normale Limite: 90.00 daN/cm<sup>2</sup>  
 Apert.Fess.Limite: 0.300 mm

**ACCIAIO N. 1** - Tipo: B450C  
 Modulo Elastico Ef: 2000000 daN/cm<sup>2</sup>  
 Coeff. Aderenza ist. B1\*B2: 1.00  
 Coeff. Aderenza diff. B1\*B2: 0.50  
 Tensione normale Sf Limite: 3150.0 daN/cm<sup>2</sup>

**CARATTERISTICHE DEI SINGOLI TRONCHI DELLA TRAVE**

N.Tronco Numero progressivo assegnato ai tronchi da sinistra a destra  
 Nome Sez. Nome del file della sezione assegnata al tronco  
 Lunghezza Lunghezza del tronco [cm]  
 Carico un. Carico verticale uniformemente ripartito [daN/m] sul tronco  
 [positivo se diretto verso il basso]

N.Tronco	Nome Sezione	Lunghezza	Carico un.
1	ESEMPIO_8_GHA	800.0	1700

**FRECCHE - CURVATURE - SPOST. ASSIALI DELLE SINGOLE SEZIONI DELLA TRAVE**

N.sez Numero progressivo assegnato alle sezioni da sinistra a destra  
 X sez Ascissa progressiva delle sezioni con l'origine nel vincolo di sinistra  
 Nome Sez. Nome del file della sezione all'ascissa X sez  
 Ver S/N = sezione verificata o meno alle tensioni limite ed a fessurazione  
 Fess. S/N = sezione fessurata o con conglomerato interamente reagente  
 Fr.Ini Freccia istantanea [cm] all'applicazione del carico [positiva se verso il basso]  
 Cur.Ini Curvatura istantanea [1/cm] della sezione all'applicazione del carico  
 S.O.Ini Spostamento assiale istantaneo [cm] della sezione all'applicazione del carico  
 [positivo se opposto al verso crescente delle ascisse]  
 Fr.Fin Freccia [cm] a fenomeni reologici esauriti [positiva se verso il basso]  
 Cur.Fin Curvatura [1/cm] della sezione a fenomeni reologici esauriti  
 S.O.Fin Spostamento assiale [cm] della sezione a fenomeni reologici esauriti

N.Sez	X sez	Nome Sezione	Ver	Fess.	Fr.Ini	Cur.Ini	S.O.Ini	Fr.Fin	Cur.Fin	S.O.Fin
1	9.8	ESEMPIO_8_GHA	S	N	0.048	0.0000003	0.000	<b>0.089</b>	0.0000020	0.000
2	29.3	ESEMPIO_8_GHA	S	N	0.143	0.0000008	0.000	<b>0.268</b>	0.0000036	0.000
3	48.8	ESEMPIO_8_GHA	S	N	0.238	0.0000014	0.000	<b>0.444</b>	0.0000052	0.000
4	68.3	ESEMPIO_8_GHA	S	N	0.333	0.0000019	0.000	<b>0.619</b>	0.0000067	0.000
5	87.8	ESEMPIO_8_GHA	S	N	0.427	0.0000024	0.000	<b>0.791</b>	0.0000081	0.000
6	107.3	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.520	0.0000063	0.000	<b>0.960</b>	0.0000151	0.000
7	126.8	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.610	0.0000073	0.000	<b>1.124</b>	0.0000181	0.000
8	146.3	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.698	0.0000089	0.000	<b>1.280</b>	0.0000208	0.000
9	165.9	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.782	0.0000110	0.000	<b>1.429</b>	0.0000231	0.000
10	185.4	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.863	0.0000127	0.000	<b>1.569</b>	0.0000252	0.000
11	204.9	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.938	0.0000143	0.000	<b>1.699</b>	0.0000271	0.000
12	224.4	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.008	0.0000157	0.000	<b>1.819</b>	0.0000288	0.000



Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

13	243.9	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.072	0.0000170	0.000	<b>1.928</b>	0.0000302	0.000
14	263.4	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.129	0.0000180	0.000	<b>2.025</b>	0.0000315	0.000
15	282.9	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.180	0.0000189	0.000	<b>2.111</b>	0.0000326	0.000
16	302.4	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.223	0.0000197	0.000	<b>2.184</b>	0.0000336	0.000
17	322.0	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.259	0.0000203	0.000	<b>2.244</b>	0.0000344	0.000
18	341.5	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.287	0.0000208	0.000	<b>2.291</b>	0.0000349	0.000
19	361.0	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.307	0.0000211	0.000	<b>2.325</b>	0.0000354	0.000
20	380.5	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.320	0.0000213	0.000	<b>2.345</b>	0.0000356	0.000
21	400.0	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.324	0.0000214	0.000	<b>2.352</b>	0.0000357	0.000
22	419.5	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.320	0.0000213	0.000	<b>2.345</b>	0.0000356	0.000
23	439.0	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.307	0.0000211	0.000	<b>2.325</b>	0.0000354	0.000
24	458.5	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.287	0.0000208	0.000	<b>2.291</b>	0.0000349	0.000
25	478.0	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.259	0.0000203	0.000	<b>2.244</b>	0.0000344	0.000
26	497.6	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.223	0.0000197	0.000	<b>2.184</b>	0.0000336	0.000
27	517.1	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.180	0.0000189	0.000	<b>2.111</b>	0.0000326	0.000
28	536.6	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.129	0.0000180	0.000	<b>2.025</b>	0.0000315	0.000
29	556.1	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.072	0.0000170	0.000	<b>1.928</b>	0.0000302	0.000
30	575.6	ESEMPIO_8_GHA	S	S	1.008	0.0000157	0.000	<b>1.819</b>	0.0000288	0.000
31	595.1	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.938	0.0000143	0.000	<b>1.699</b>	0.0000271	0.000
32	614.6	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.863	0.0000127	0.000	<b>1.569</b>	0.0000252	0.000
33	634.1	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.782	0.0000110	0.000	<b>1.429</b>	0.0000231	0.000
34	653.7	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.698	0.0000089	0.000	<b>1.280</b>	0.0000208	0.000
35	673.2	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.610	0.0000073	0.000	<b>1.124</b>	0.0000181	0.000
36	692.7	ESEMPIO_8_GHA	S	S	0.520	0.0000063	0.000	<b>0.960</b>	0.0000151	0.000
37	712.2	ESEMPIO_8_GHA	S	N	0.427	0.0000024	0.000	<b>0.791</b>	0.0000081	0.000
38	731.7	ESEMPIO_8_GHA	S	N	0.333	0.0000019	0.000	<b>0.619</b>	0.0000067	0.000
39	751.2	ESEMPIO_8_GHA	S	N	0.238	0.0000014	0.000	<b>0.444</b>	0.0000052	0.000
40	770.7	ESEMPIO_8_GHA	S	N	0.143	0.0000008	0.000	<b>0.268</b>	0.0000036	0.000
41	790.2	ESEMPIO_8_GHA	S	N	0.048	0.0000003	0.000	<b>0.089</b>	0.0000020	0.000

VERIFICA SEZIONI PER TENSIONI NORMALI ED APERTURA DELLE FESSURE

N.sez	Numero progressivo assegnato alle sezioni da sinistra a destra								
X sez	Ascissa progressiva delle sezioni con l'origine nel vincolo di sinistra								
Nome Sez.	Nome del file della sezione all'ascissa X sez								
Ver	S/N = sezione verificata o meno alle tensioni limite ed a fessurazione								
Momento	Momento flettente nella sezione considerata								
Sf.Ass.	Sforzo normale baricentrico[daN] assegnato [+ se di compressione]								
Sc max	Massima tensione [daN/cm²] di compressione nel conglomerato								
Sf min	Massima trazione [daN/cm²] nell'acciaio								
Ap.Fess.	Apertura fessure finale massima [mm] nella sezione								

N.Sez	X sez	Nome Sezione	Ver	Momento	Sf.Ass.	Sc max	Sf min	Ap.Fess.
1	9.8	ESEMPIO_8_GHA	S	655	0	3.27	339.1	0.000
2	29.3	ESEMPIO_8_GHA	S	1917	0	8.05	255.4	0.000
3	48.8	ESEMPIO_8_GHA	S	3115	0	12.59	175.9	0.000
4	68.3	ESEMPIO_8_GHA	S	4247	0	16.88	100.8	0.000
5	87.8	ESEMPIO_8_GHA	S	5315	0	20.93	29.9	0.000
6	107.3	ESEMPIO_8_GHA	S	6319	0	30.16	-1078.8	0.067
7	126.8	ESEMPIO_8_GHA	S	7257	0	34.67	-1240.6	0.092
8	146.3	ESEMPIO_8_GHA	S	8131	0	38.86	-1391.1	0.114
9	165.9	ESEMPIO_8_GHA	S	8940	0	42.75	-1530.6	0.133
10	185.4	ESEMPIO_8_GHA	S	9684	0	46.32	-1658.8	0.150
11	204.9	ESEMPIO_8_GHA	S	10364	0	49.59	-1776.0	0.166
12	224.4	ESEMPIO_8_GHA	S	10979	0	52.54	-1881.9	0.179
13	243.9	ESEMPIO_8_GHA	S	11529	0	55.18	-1976.7	0.191
14	263.4	ESEMPIO_8_GHA	S	12014	0	57.51	-2060.4	0.202
15	282.9	ESEMPIO_8_GHA	S	12435	0	59.53	-2132.9	0.211
16	302.4	ESEMPIO_8_GHA	S	12791	0	61.24	-2194.2	0.218
17	322.0	ESEMPIO_8_GHA	S	13082	0	62.64	-2244.4	0.225
18	341.5	ESEMPIO_8_GHA	S	13309	0	63.73	-2283.5	0.229
19	361.0	ESEMPIO_8_GHA	S	13471	0	64.50	-2311.4	0.233
20	380.5	ESEMPIO_8_GHA	S	13568	0	64.97	-2328.1	0.235
21	400.0	ESEMPIO_8_GHA	S	13600	0	65.13	-2333.7	0.236
22	419.5	ESEMPIO_8_GHA	S	13568	0	64.97	-2328.1	0.235
23	439.0	ESEMPIO_8_GHA	S	13471	0	64.50	-2311.4	0.233
24	458.5	ESEMPIO_8_GHA	S	13309	0	63.73	-2283.5	0.229
25	478.0	ESEMPIO_8_GHA	S	13082	0	62.64	-2244.4	0.225
26	497.6	ESEMPIO_8_GHA	S	12791	0	61.24	-2194.2	0.218
27	517.1	ESEMPIO_8_GHA	S	12435	0	59.53	-2132.9	0.211
28	536.6	ESEMPIO_8_GHA	S	12014	0	57.51	-2060.4	0.202
29	556.1	ESEMPIO_8_GHA	S	11529	0	55.18	-1976.7	0.191



Geostru Software – Validazione codice di calcolo RC-SEC

30	575.6	ESEMPIO_8_GHA	S	10979	0	52.54	-1881.9	0.179
31	595.1	ESEMPIO_8_GHA	S	10364	0	49.59	-1776.0	0.166
32	614.6	ESEMPIO_8_GHA	S	9684	0	46.32	-1658.8	0.150
33	634.1	ESEMPIO_8_GHA	S	8940	0	42.75	-1530.6	0.133
34	653.7	ESEMPIO_8_GHA	S	8131	0	38.86	-1391.1	0.114
35	673.2	ESEMPIO_8_GHA	S	7257	0	34.67	-1240.6	0.092
36	692.7	ESEMPIO_8_GHA	S	6319	0	30.16	-1078.8	0.067
37	712.2	ESEMPIO_8_GHA	S	5315	0	20.93	29.9	0.000
38	731.7	ESEMPIO_8_GHA	S	4247	0	16.88	100.8	0.000
39	751.2	ESEMPIO_8_GHA	S	3115	0	12.59	175.9	0.000
40	770.7	ESEMPIO_8_GHA	S	1917	0	8.05	255.4	0.000
41	790.2	ESEMPIO_8_GHA	S	655	0	3.27	339.1	0.000

## 10. SOTTOSCRIZIONE DELL'ELABORATO DA PARTE DEL R.T.P

STUDIO CORONA S.r.l.

---

I.T. S.r.l.

---

CONSORZIO UNING

---

SETAC S.r.l.

---

DOTT. DANILO GALLO

---

ECOPLAN S.r.l.

---

E&G S.r.l.

---

ARKE' INGEGNERIA S.r.l.

---

ING. RENATO DEL PRETE

---