



**INDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
1.1	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA .....	4
1.2	MODALITÀ REALIZZATIVE .....	8
1.3	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	9
1.4	CONTESTUALIZZAZIONE .....	10
1.4.1	<i>Condizioni ambientali e classi di esposizione</i> .....	10
1.4.2	<i>Sismicità</i> .....	10
1.4.3	<i>Parametri geotecnici</i> .....	10
1.5	CARATTERISTICHE MATERIALI .....	11
1.5.1	<i>Calcestruzzo opere in ampliamento</i> .....	11
1.5.2	<i>Acciaio per c.a. opere in ampliamento</i> .....	12
1.5.3	<i>Materiali opere esistenti</i> .....	12
1.5.4	<i>Coefficienti parziali di sicurezza</i> .....	13
1.6	SOFTWARE DI CALCOLO .....	14
1.7	CONVENZIONI GENERALI .....	14
<b>2</b>	<b>IMPOSTAZIONI DELLE ANALISI E DELLE VERIFICHE .....</b>	<b>15</b>
2.1	AZIONI DELL'IMPALCATO .....	15
2.2	AZIONI SUL CORPO SPALLA .....	16
2.3	VERIFICHE ESEGUITE .....	16
<b>3</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>17</b>
3.1	CONTRIBUTI DI IMPALCATO .....	17
3.1.1	<i>Pesi propri e permanenti portati Gk1 e Gk2 (Fasi 1 e 2a)</i> .....	17
3.1.2	<i>Variazioni termiche Tk (Fase 3a)</i> .....	17
3.1.3	<i>Carichi mobili Qk (Fase 3b)</i> .....	18
3.1.4	<i>Azioni di accelerazione/frenatura Qk (Fase 3b)</i> .....	19
3.1.5	<i>Inerzia sismica Ed</i> .....	20
3.1.6	<i>Inclinazione impalcato</i> .....	20
3.2	CONTRIBUTI DEL CORPO SPALLA .....	21
3.2.1	<i>Pesi propri Gk1</i> .....	21
3.2.2	<i>Spinta delle terre Gk,ep</i> .....	21
3.2.3	<i>Sovraccarico accidentale a tergo spalla</i> .....	22
3.2.4	<i>Azioni sismiche Ed</i> .....	22
3.2.5	<i>Azione equilibrante dei tiranti a tergo spalla esistente</i> .....	24
<b>4</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO .....</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>VERIFICA SPALLA ESISTENTE .....</b>	<b>27</b>
5.1	PARAMENTO .....	27
5.1.1	<i>Sollecitazioni</i> .....	27
5.1.2	<i>Verifica a pressoflessione</i> .....	28
5.1.3	<i>Verifica a taglio</i> .....	29
5.2	PARAGHIAIA (NON RINFORZATO) .....	30
5.2.1	<i>Sollecitazioni</i> .....	30
5.2.2	<i>Verifica a pressoflessione</i> .....	31
5.2.3	<i>Verifica a taglio</i> .....	32

---

5.3	PALI SPALLA ESISTENTE .....	33
5.3.1	<i>Sollecitazioni</i> .....	33
5.3.2	<i>Verifica a pressoflessione</i> .....	36
5.3.3	<i>Verifica a taglio</i> .....	37
5.4	PIEDE DI FONDAZIONE .....	38
5.4.1	<i>Sollecitazioni</i> .....	39
5.4.2	<i>Verifica a pressoflessione</i> .....	40
5.4.3	<i>Verifica a taglio</i> .....	41
5.5	TIRANTE A TERGO SPALLA .....	42
5.6	SPALLA NEL PIANO TRASVERSALE .....	42
5.6.1	<i>Verifica a pressoflessione</i> .....	43
5.6.2	<i>Verifica a taglio</i> .....	43
<b>6</b>	<b>RITEGNI SISMICI .....</b>	<b>44</b>
6.1	RITEGNO LONGITUDINALE .....	44
6.1.1	<i>Verifica a pressoflessione</i> .....	45
6.1.2	<i>Verifica a taglio</i> .....	45
6.2	RITEGNI TRASVERSALI .....	46
6.2.1	<i>Sollecitazioni</i> .....	46
6.2.2	<i>Verifica a pressoflessione</i> .....	47
6.2.3	<i>Verifica a taglio</i> .....	47
<b>7</b>	<b>SPOSTAMENTI .....</b>	<b>48</b>
7.1	PERDITA D'APPOGGIO .....	48
7.2	ESCURSIONI TERMICHE .....	48

## 1 Introduzione

Nel presente elaborato sono riportati i calcoli statici relativi alle sottostrutture dell'ampliamento del Sottovia S.P. 14, via Piave sull'autostrada A13 Bologna - Padova alla progressiva km 90+227.

### 1.1 Descrizione generale dell'opera

Lo schema statico vede la presenza di una campata di impalcato appoggiata sulle sottostrutture.

Si prevede la sostituzione delle apparecchiature di appoggio esistenti con cuscinetti in gomma armata; la medesima tipologia di appoggio viene impiegata per la struttura in ampliamento, di nuova realizzazione.

I dispositivi in gomma armata verranno interposti tra sottostruttura e travate senza alcun collegamento di tipo meccanico.

In base a quanto appena esposto se ne consegue che:

1. per la fase di esercizio, l'assorbimento delle azioni longitudinali è demandato per intero alla reazione orizzontale di attrito che si sviluppa tra cuscinetto e calcestruzzo;
2. per la fase sismica, viene ammessa la totale perdita di efficienza di tali apparecchiature, affidando:
  - le sollecitazioni orizzontali trasversali ad un sistema di ritegno costituito da mensole in calcestruzzo disposte sulle spalle;
  - le sollecitazioni orizzontali longitudinali ai dispositivi di ritegno longitudinale.

In direzione trasversale per le spalle si prevede la realizzazione di cinque dispositivi di ritegno trasversale a semplice effetto per ogni estremo di impalcato.

Il fine corsa longitudinale è realizzato mediante il paraghiaia rinforzato delle spalle.

I ritegni saranno realizzati in modo da minimizzare la "corsa" della travata in fase sismica, e da permettere comunque lo svilupparsi delle deformazioni termiche longitudinali e trasversali.

Le spalle esistenti in c.a. sono del tipo a mensola e fondate su pali tipo SCAC Ø480 mm (v. Figura 1-1 e Figura 1-2)

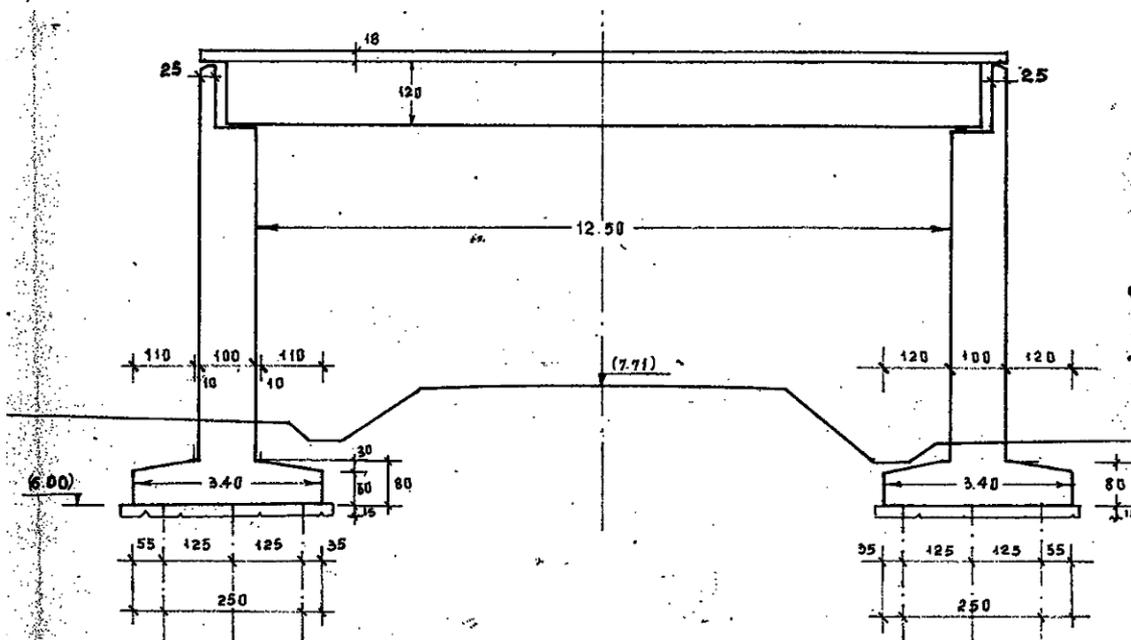


Figura 1-1 - Sezione longitudinale del sottovia in retto

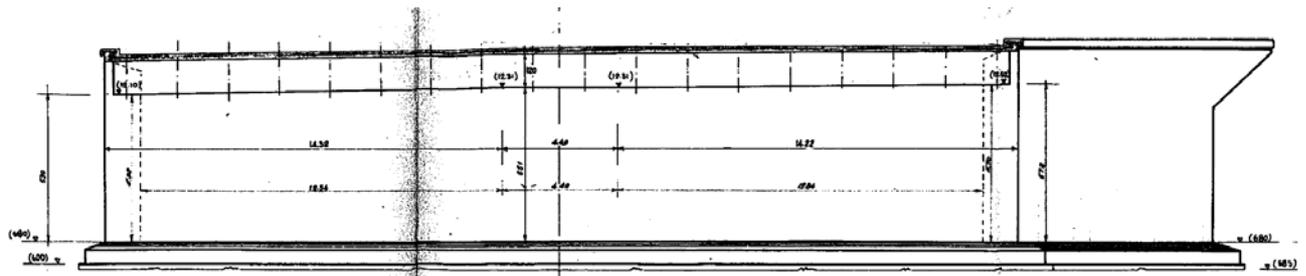


Figura 1-2 - Prospetto spalla esistente

Le caratteristiche geometriche delle spalle esistenti impiegate nel presente calcolo sono riportate in Figura 1-3.

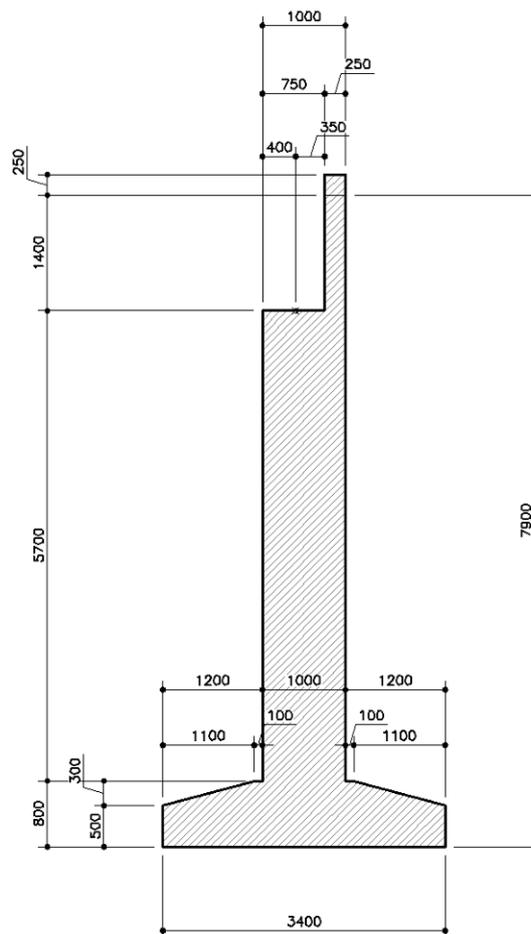


Figura 1-3 - Geometria di calcolo spalla esistente

A tergo delle spalle esistenti saranno collegati degli elementi in c.a. di dimensioni trasversali pari a  $0.50 \times 0.70 \text{ m}^2$  fondati su micropali (denominati in seguito "tiranti a tergo spalle") al fine di mobilitare un vincolo ulteriore sotto le azioni di stato limite ultimo e in fase sismica.

Tali tiranti saranno connessi al paramento posizionandone l'estradosso alla quota del piano appoggi e saranno vincolati a 27 micropali  $\varnothing 168.3/12.5 - \varnothing_{\text{perf}} = 240 \text{ mm}$  a tergo delle spalle esistenti (v. Figura 1-4 e Figura 1-5).

Per la realizzazione dei tiranti sarà demolito e ricostruito il paraghiaia in corrispondenza degli stessi per una fascia di larghezza funzione delle fasi di cantierizzazione dell'opera (v. Figura 1-6). Sarà inoltre demolita



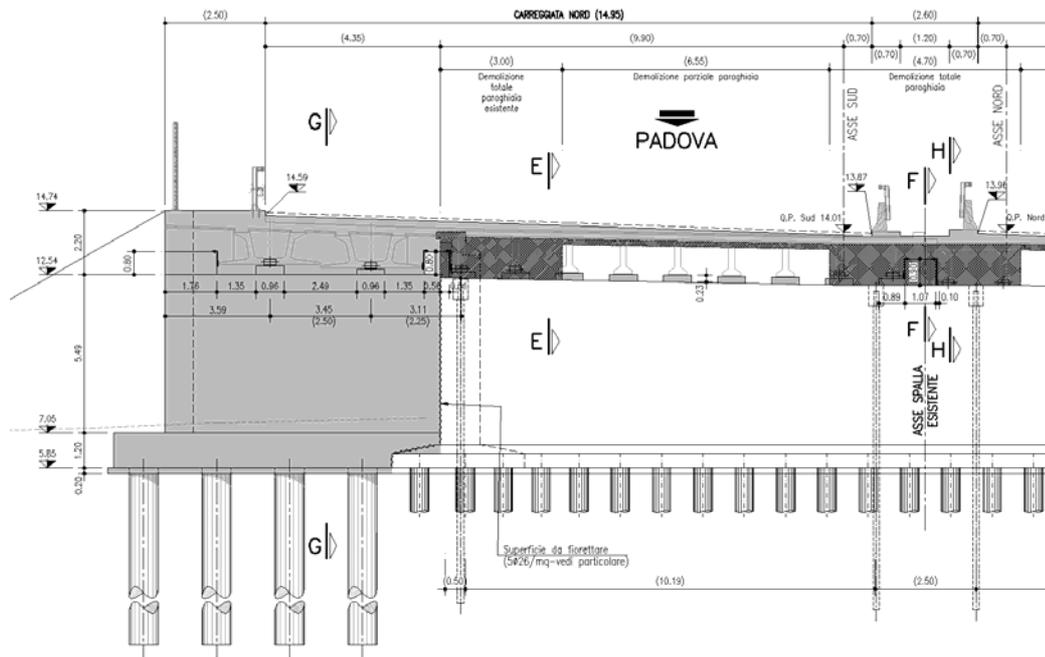


Figura 1-6 - Semi-prospetto spalle con ampliamento

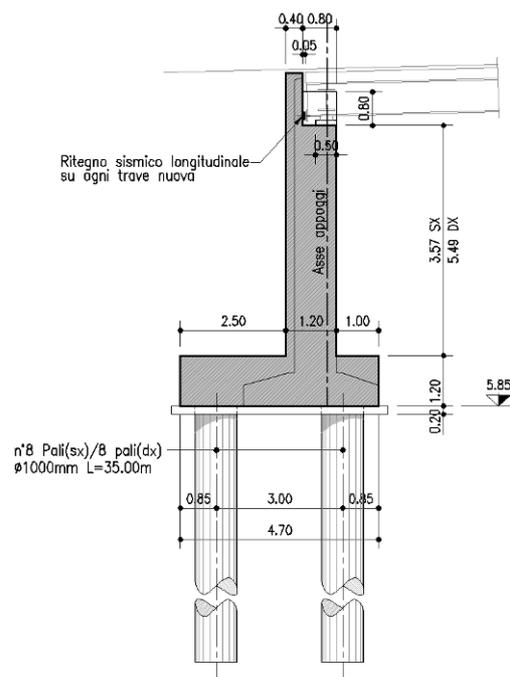


Figura 1-7 - Sezione longitudinale spalla in ampliamento

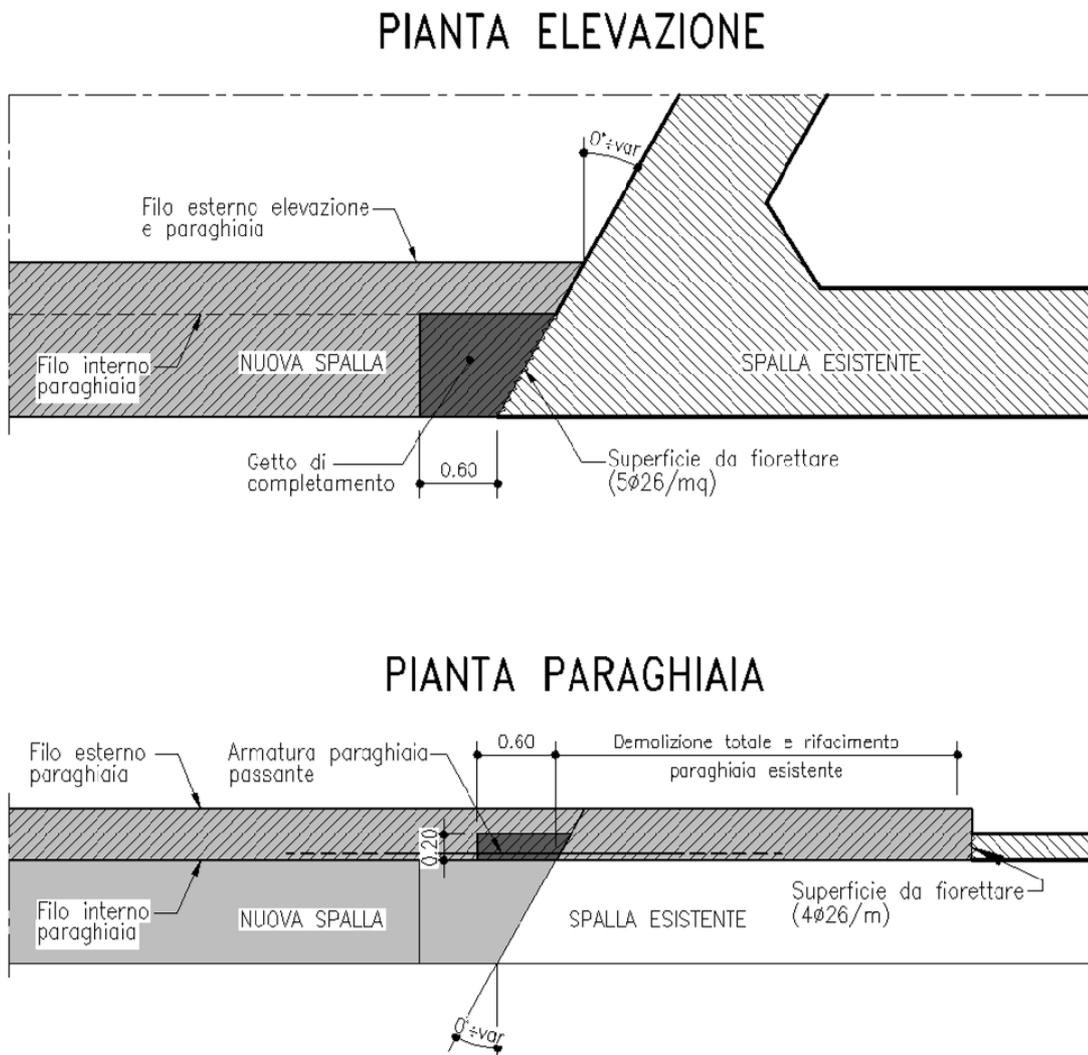
## 1.2 Modalità realizzative

### Le porzioni di spalle nuove ed esistenti saranno calcolate come mutualmente indipendenti.

Si è scelto di progettare l'ampliamento con rigidità globale maggiore rispetto alla struttura esistente in modo da evitare a quest'ultima una maggiorazione del carico rispetto alla situazione attuale.

La significativa interazione struttura nuova/esistente impone quindi il rispetto delle fasi realizzative di seguito indicate (v. Figura 1-8):

1. Realizzazione palificate delle spalle in ampliamento.
2. Realizzazione della suola di fondazione delle spalle in ampliamento connessa con fiorettature all'esistente.
3. Realizzazione del paramento della spalla in ampliamento prevedendo una "tasca" all'interfaccia tra le superfici in modo da consentire la giunzione degli elementi posticipata.
4. Reinterro a tergo spalla.
5. Connessione mediante getto di c.a. dei paramenti della spalla nuova alla esistente.
6. Realizzazione palificate dei tiranti a tergo spalle esistenti.
7. Realizzazione tiranti a tergo spalla



**Figura 1-8 - Fasi della connessione posticipata spalla**

### **1.3 Normative di riferimento**

Le analisi strutturali e le relative verifiche vengono eseguite secondo il metodo semi-probabilistico agli Stati Limite in accordo alle disposizioni normative previste dalla vigente Normativa italiana (NTC-08) e da quella europea (Eurocodici, EN). In particolare, al fine di conseguire un approccio il più unitario possibile relativamente alle prescrizioni ed alle metodologie/criteri di verifica, si è fatto diretto riferimento alle varie parti degli Eurocodici, unitamente ai relativi National Application Documents (NAD's), verificando puntualmente l'armonizzazione del livello di sicurezza conseguito con quello richiesto dalla vigente Normativa nazionale.

In dettaglio:

D.M. 14/01/2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni (indicate nel prosieguo "NTC-08")

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per la Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008

UNI EN 1990: Basi della progettazione strutturale

UNI EN 1991-1-4: Azioni sulle strutture – Azione del vento

UNI EN 1991-1-5: Azioni sulle strutture – Azioni termiche

UNI EN 1991-2: Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti

UNI EN 1992-1-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo - regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1992-2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Ponti di calcestruzzo

UNI EN 1993-1-1: Progettazione delle strutture di acciaio – Regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1993-2: Progettazione delle strutture di acciaio – Ponti di acciaio

UNI EN 1993-1-5: Progettazione delle strutture di acciaio – Elementi strutturali a lastra

UNI EN 1993-1-8: Progettazione delle strutture di acciaio – Progettazione dei collegamenti

UNI EN 1993-1-9: Progettazione delle strutture di acciaio – Fatica

UNI EN 1994-1-1: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Regole generali e regole per gli edifici

UNI EN 1994-2: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Ponti

UNI EN 1998-2: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Ponti

UNI EN 1090 - 1: Esecuzione di strutture in acciaio e di alluminio – Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali

UNI EN 1090 - 2: Esecuzione di strutture in acciaio e di alluminio – Requisiti tecnici per strutture in acciaio.

## 1.4 Contestualizzazione

Le opere della presente tipologia vengono realizzate nell'ambito dell'intervento di ampliamento alla terza corsia, Autostrada A13 Bologna - Padova.

Nei punti seguenti vengono richiamati i temi che, in maniera più o meno significativa, necessitano di una opportuna contestualizzazione.

La particolare ubicazione delle opere richiede l'opportuna contestualizzazione dei seguenti parametri, la cui influenza è esposta dettagliatamente nei capitoli a seguire.

### 1.4.1 Condizioni ambientali e classi di esposizione

Per l'opera in esame si prevede l'esposizione al seguente "range" di temperature:

$T_{min} = -15 \text{ °C}$

$T_{max} = +45 \text{ °C}$

Per l'umidità ambientale si assume:

$RH = 80 \%$

Per quanto riguarda le classi di esposizione, si prevede l'alternarsi di cicli di gelo/disgelo, in presenza di agenti disgelanti, per cui, applicheranno le seguenti classi di esposizione:

soletta: .....	XF4
corpo spalla: .....	XF2
fondazioni spalla: .....	XC2
pali: .....	XC2

Le caratteristiche del calcestruzzo dovranno pertanto rispettare, oltre i requisiti di resistenza indicati al punto seguente, anche i criteri previsti dalla vigente Normativa (EN 11104 e EN 206) per quanto riguarda l'esposizione alle classi indicate.

### 1.4.2 Sismicità

L'opera viene dimensionata con riferimento ai seguenti parametri caratteristici:

Vita nominale .....	50 anni
Classe d'uso .....	IV → $C_u = 2.0$
Vita di riferimento .....	100 anni
ag .....	$0.081 g = 0.79 \text{ m/s}^2$
Categoria topografica .....	T1
Tipo di suolo .....	D

### 1.4.3 Parametri geotecnici

Le caratteristiche del terreno influenzano, in linea generale, la flessibilità del sistema spalle-impalcato, e pertanto, anche la distribuzione delle sollecitazioni ed il quadro tensionale sui vari elementi strutturali.

L'inquadramento di dettaglio relativo alle caratteristiche geotecniche dei terreni ricadenti nella tratta di impiego della presente tipologia è riportato nello specifico elaborato.

È stata considerata una stratigrafia caratterizzata dai seguenti parametri distintivi:

$\gamma$ .....	$20 \text{ kN/m}^3$
$\Phi$ .....	$35 \text{ °}$

## 1.5 *Caratteristiche materiali*

Vengono di seguito elencati i materiali impiegati per la realizzazione dell'opera, unitamente ai rispettivi parametri di riferimento.

### 1.5.1 Calcestruzzo opere in ampliamento

Secondo EN206 - CNR UNI 11104

#### PALI

Classe..... C25/30

Classe di esposizione ..... XC2

#### MAGRO PER SOTTOFONDAZIONI

Classe..... C12/15

Classe di esposizione ..... X0

#### FONDAZIONI SPALLE E MURI

Classe..... C28/35

Classe di esposizione ..... XC2

#### PULVINO

Classe..... C32/40

Classe di esposizione ..... XF4

#### ELEVAZIONI MURI

Classe..... C28/35

Classe di esposizione ..... XF2

#### ELEVAZIONI SPALLE

Classe..... C32/40

Classe di esposizione ..... XF2

#### CORDOLI, BAGGIOLI E RITEGNI SISMICI

Classe..... C35/45

Classe di esposizione ..... XF4

#### SOLETTE IN C.A. E TRAVERSI (IN PROGETTO)

Calcestruzzo a ritiro compensato con espansivo a base di ossido di calcio con ritiro < 100 micron/m a 28gg.

(Valutazione con la prova secondo UNI 8148)

Classe..... C35/45

Classe di esposizione ..... XF4

#### COPPELLE

Classe..... C35/45

Classe di esposizione ..... XF4

COPRIFERRO NOMINALE* per pali trivellati ( $\emptyset$ palo>600mm) .....	Cnom.=60.0 mm
COPRIFERRO NOMINALE* per solette .....	Cnom.=35.0 mm
COPRIFERRO NOMINALE* per elevazioni .....	Cnom.=35.0 mm
COPRIFERRO NOMINALE* per fondazioni .....	Cnom.=40.0 mm

\* EN 1992-1-1 par. 4.4.1 (2)P

### 1.5.2 Acciaio per c.a. opere in ampliamento

Secondo NTC 2008 (DM 14/01/2008)

Tipo B450C

fyk ..... > 450 MPa

ftk ..... > 540 MPa

MICROPALI / ANCORAGGI PASSIVI:

CARPENTERIA METALLICA

Acciaio in profili a sezione aperta laminati a caldo saldati:

- Tipo EN 10025-2 S355 J2+N (per spessori nominali t > 40 mm)

- Tipo EN 10025-2 S355 K2+N (per spessori nominali t > 40 mm)

Acciaio in profili a sezione aperta laminati a caldo non saldati:

- Tipo EN 10025-2 S355 J0+N

Acciaio in profili a sezione cava:

- Tipo EN 10210-1 S355 J0H+N

MISCELA / MALTA CEMENTIZIA DI INIEZIONE:

Secondo NTA - soggetto ad approvazione della Direzione Lavori

Classe di resistenza minima ..... C25/30

Classe di esposizione ..... XC2

Eventuali additivi secondo ..... NTA

### 1.5.3 Materiali opere esistenti

Calcestruzzo spalla ..... Rck 55 MPa

Armatura spalla ..... A.L.E.

Calcestruzzo pali spalla ..... Rck 50 MPa

Armatura pali spalla ..... (equiv.) B450C

Per quanto non specificato, in particolare relativamente alle caratteristiche dei materiali, alle specifiche per l'esecuzione dei lavori ed ai controlli da eseguire, si dovrà fare riferimento alle norme tecniche d'appalto.

### 1.5.4 Coefficienti parziali di sicurezza

Relativamente ai coefficienti parziali dei materiali si fa riferimento, nell'ambito delle rispettive verifiche, a quanto contenuto in tabella.

#### Coefficienti di sicurezza materiali

##### Carpenteria metallica

$\gamma_{mo}$	1.05 verifiche S.L.U. - resistenza
$\gamma_{m1}$	1.10 verifiche S.L.U. - buckling
$\gamma_{m2}$	1.25 verifiche S.L.U. - frattura in trazione
$\gamma_{m,ser}$	1.00 verifiche S.L.E. - limitazione delle tensioni
$\gamma_{Ft}$	1.00 verifiche S.L. fatica
$\gamma_{Mf}$	1.35 non fail safe (vita illimitata)

riferimenti:

NTC 08 tab. 4.2.V  
 EN 1993-1-1 6.1.(1) + N.A.D.  
 EN 1993-2  
 EN 1993-1-9 cap. 3.(8) - cap. 8.

##### Piolature

$\gamma_v$	1.25 verifiche S.L.U. - resistenza
$k_s$	0.60 verifiche S.L.E.
$\gamma_{Mf}$	1.15 fail safe (vita illimitata)

riferimenti:

NTC 08 cap. 4.3.3  
 EN 1994-2 cap. 6.6.3.1.(1)

##### Bullonature

$\gamma_{m2}$	1.25 resistenza S.L.U.
$\gamma_{m3}$	1.25 scorrimento S.L.U. (bull. Cat. C)
$\gamma_{m3,ser}$	1.10 scorrimento S.L.E. (bull. Cat. B)

riferimenti:

NTC 08 tab. 4.2.XII  
 EN 1993-1-8 2.2.(2) + N.A.D.  
 EN 1090-2

##### Saldature

$\gamma_{m2}$	1.25 resistenza S.L.U.
$\beta_w$	0.90 correlation factor (cord. Angolo)

riferimenti:

NTC 08 4.2.8.2.4  
 EN 1993-1-8 4.5.3.2.(4) + N.A.D.  
 EN 1090-2

##### Calcestruzzo

$\alpha_{cc}$	0.85 carichi di lunga durata (quando rilevante)
$\gamma_c$	1.50 S.L.U.

riferimenti:

NTC 08 cap. 4.1.2.1.1.1  
 NTC 08 cap. 4.3.3  
 EN 1992-1-1 2.4.2.4

##### Acciaio in barre

$\gamma_s$	1.15 resistenza S.L.U.
------------	------------------------

riferimenti:

NTC 08 cap. 4.1.2.1.1.3  
 NTC 08 cap. 4.3.3

## 1.6 Software di calcolo

Per le verifiche delle sezioni in cemento armato si ricorre a seconda del caso studiato ai seguenti programmi:

"**VCASLU**" – ver. 7.6 del 25 Giugno 2010, sviluppato dal Prof. Piero Gelfi. Il programma consente la verifica di sezioni in cemento armato normale e precompresso, soggette a presso-flessione o tenso-flessione retta o deviata sia allo Stato Limite Ultimo che con il Metodo n e permette inoltre di tracciare il domino M-N.

Per l'elaborazione dei dati di input/output in generale e la creazione di tabelle riepilogative, si adottano procedure opportunamente implementate in fogli elettronici **Microsoft® Office Excel 2007**.

## 1.7 Convenzioni generali

Nel prosieguo del presente elaborato si adotteranno le notazioni contemplate dalle varie norme EN di riferimento.

Le unità di misura sono quelle relative al sistema internazionale, ovvero:

lunghezze..... m  
forze - coppie..... kN  
tensioni..... MPa

Per quanto riguarda le convenzioni di segno, si considerano, in generale, positive le trazioni.

Convenzioni specifiche verranno riportate nel prosieguo della presente relazione.

Si farà riferimento, di norma, a sistemi di tipo cartesiano ortogonale, in cui, in generale, si ha piano x-y orizzontale, con x posto tangente al tracciato nel punto in esame ed asse z verticale.

Per quanto riguarda le azioni agenti sulle spalle, salvo diversamente specificato, si indicherà con:

F<sub>x</sub> azione orizzontale longitudinale (positiva se ribaltante)  
F<sub>y</sub> azione orizzontale trasversale (trascurata)  
F<sub>z</sub> azione verticale (positiva se verso l'alto)  
M<sub>x</sub> momento ribaltante trasversale (trascurato)  
M<sub>y</sub> momento ribaltante longitudinale (positivo se ribaltante)  
M<sub>z</sub> momento agente nel piano orizzontale (trascurato)

## 2 Impostazioni delle analisi e delle verifiche

Si precisa che di seguito saranno riportate le verifiche delle sole sottostrutture esistenti con le eventuali porzioni rinforzate.

In questa fase progettuale, per le parti nuove in ampliamento si predispone un'armatura di incidenza caratteristica per la quale si demanda la verifica alla progettazione esecutiva.

L'analisi delle sollecitazioni agenti sulle spalle è strutturata come segue:

1. determinazione azioni dell'impalcato afferente
2. determinazione azioni sul corpo spalla
3. combinazione delle azioni

L'analisi delle sollecitazioni sulla spalla viene eseguita nella sola direzione longitudinale (perpendicolare al piano del paramento della spalla) trascurando gli effetti delle azioni trasversali.

In base a quanto appena esposto si procede alla determinazione dei carichi agenti/resistenti calcolati per 1.00 m di larghezza di spalla distribuendo uniformemente tutte le sollecitazioni sulla larghezza della spalla.

### 2.1 Azioni dell'impalcato

Gli impalcato presentano tutti uno schema di vincolo "appoggio-appoggio" per cui le sollecitazioni che trasmettono alla spalla sono solo l'azione verticale e quella orizzontale (longitudinale) funzione del dispositivo di appoggio impiegato.

In via semplificativa si sono adottate le seguenti ipotesi di calcolo.

Data la tipologia dell'intervento e le modalità esecutive, per le travi nuove in c.a.p. e per le solette gettate in opera si è trascurata l'azione del ritiro poiché si considera già scontata.

Dato lo schema statico del sistema, l'azione termica sulle spalle prevede solo la componente assiale uniforme e non il gradiente di temperatura.

Tale azione è calcolata in base alla contrazione/espansione che genera nella sovrastruttura e alla rigidità del dispositivo di appoggio previsto:

$$F_{\text{TERM}} [\text{N}] = \Delta_{\text{contr/esp}} [\text{mm}] \times k_{\text{DISP}} [\text{N/mm}]$$

In virtù del fatto che si sta studiando la spalla senza tenere in conto le azioni trasversali (studio di 1.00 m di larghezza di spalla) i carichi mobili non prevedono diverse permutazioni laterali ma se ne sono sommati gli effetti delle varie corsie disponibili e sono stati uniformemente distribuiti sulla larghezza della spalla come gli altri tipi di carico.

Viene trascurato l'effetto del vento.

L'azione sismica trasmessa è calcolata come il 100% della massa afferente per l'accelerazione di picco al suolo:

$$F_{\text{SISM}} [\text{N}] = 100\% \times M_{\text{afferente}} [\text{kg}] \times a_g [\text{m/s}^2] \times S [-]$$

Le azioni di impalcato così calcolate (v. § 3.1) sono poi sommate secondo le combinazioni di Normativa in modo da massimizzare/minimizzare gli effetti delle sollecitazioni sulla spalla:

max/min  $F_x$  (azione orizzontale longitudinale)

max/min Fz (azione verticale sulla spalla)

## 2.2 Azioni sul corpo spalla

Le azioni agenti sul corpo della spalla esistente/in ampliamento (v. § 3.2), oltre che quelle derivanti dall'impalcato del paragrafo § 2.1, sono le seguenti:

- Pesì propri e permanenti portati
- Spinta statica delle terre
- Azioni del sovraccarico accidentale a tergo spalla
- Inerzie sismiche della massa dell'impalcato afferente, della spalla e del terreno portato a monte
- Sovraspinta sismica del terreno a monte

In via semplificativa si sono adottate le seguenti ipotesi di calcolo.

Data al differente rigidità delle spalle esistenti ed in ampliamento (considerate mutualmente indipendenti), la spinta statica delle terre è stata valutata in condizione di **spinta attiva** per le spalle esistenti e di **spinta a riposo** per le spalle in ampliamento.

Il coefficiente di spinta attiva (per le spalle esistenti) è stato calcolato in base alla teoria di Rankine.

Ove presenti, per le porzioni di terreno a valle dell'opera, la spinta delle terre è stata ipotizzata agente con coefficiente di spinta a riposo.

La sovraspinta sismica delle terre è stata calcolata come differenza tra la spinta sismica di Mononobe-Okabe e la spinta attiva secondo formulazione di Rankine

$$\Delta S_{\text{SISMICA}} = S_{\text{MONONOBE-OKABE}} - S_{\text{RANKINE}}$$

Per le spalle esistenti, a valle della determinazioni delle sollecitazioni, si verificano le sezioni significative (v. §2.3).

Per le spalle in ampliamento si determinano solo le sollecitazioni globali alla base delle fondazioni in modo da condurre le verifiche geotecniche necessarie e si rimanda alle specifiche del progetto esecutivo la verifica delle sezioni in c.a. Si provvederà alla determinazione di un tasso di incidenza delle armature tale da garantire la rigidità necessaria delle spalle in ampliamento (con rigidità globale maggiore rispetto alla struttura esistente).

## 2.3 Verifiche eseguite

A valle della determinazione delle sollecitazioni agenti, si valuta l'andamento delle azioni nei vari S.L. agenti sul corpo spalle (v. Capitolo 4).

In linea generale sono sviluppati i calcoli relativi a:

1. sollecitazioni alla base del corpo spalla → sollecitazioni e verifica pali e soles di fondazione
2. sollecitazioni e verifica alla base del paramento
3. sollecitazioni e verifica alla base del paraghiaia

Lo S.L. sismico viene preso in esame in quanto agente solo sulle sottostrutture.

### 3 Analisi dei carichi

Di seguito si riporta la descrizione dei vari contributi di carico presi in esame ai fini dell'analisi globale della spalla.

Si sottolinea come tutti i contributi siano stati impostati in modo da massimizzare/minimizzare le azioni verticali, le azioni orizzontali longitudinali ed i momenti ribaltanti/stabilizzanti.

#### 3.1 Contributi di impalcato

##### 3.1.1 Pesì propri e permanenti portati Gk1 e Gk2 (Fasi 1 e 2a)

Per la valutazione del peso complessivo si è fatto riferimento alle sezioni nette dei vari elementi strutturali (trave e traversi), aggiungendo i contributi dei ringrossi valutati forfaitariamente secondo quanto riportato nella Tabella 3-1.

L calcolo ..... 18.20 m

Il peso dei vari elementi strutturali in c.a. e c.a.p. (fase 1) è stato conteggiato con riferimento ad un peso specifico convenzionale di 25.0 kN/m<sup>3</sup>.

L'azione dei sovraccarichi permanenti verrà considerata in fase 2a.

La pavimentazione viene calcolata su uno spessore di 20 cm ossia con un'intensità pari a 4.40 kN/m<sup>2</sup>.

**Tabella 3-1 - Pesì propri e permanenti portati (Fasi 1 e 2a) - Spalla**

		b [m]	h [m]	L [m]	A [m <sup>2</sup> ]	q sup [kN/m <sup>2</sup> ]	q lin [kN/m]	incred [%]	q lin increm [kN/m]	PP 1 tr [kN]	n° elem / imp [-]	PP 1 imp [kN]
F1	Travi esistenti			18.20	0.248		6.20	5%	6.51	118.48	9	1 066.34
	Traversi esistenti	0.30	0.9	13.16	0.27		6.75	0%	6.75	88.83	4	355.32
	Soletta esistente	11.50	0.23	18.20	2.645		66.13	0%	66.13	1 203.48	1	1 203.48
	Soletta nuova (+copp.)	7.24	0.29	18.20	2.0989		52.47	0%	52.47	954.99	1	954.99
	Travi nuove (UH110 - i=2.50 m)			18.20	0.734		18.35	0%	18.35	333.97	2	667.94
										2 699.75		4 248.06
F2a	Cordoli	6.87	0.15	18.20	1.030		25.75	0%	25.75	468.65	1	468.65
	Veletta	0.05	0.5	18.20	0.025		0.63	0%	0.63	11.38	1	11.38
	Pavimentazione	14.95		18.20		4.40	65.78	0%	65.78	1 197.20	1	1 197.20
	Barriera+rete			18.20			2.00	0%	2.00	36.40	1	36.40
	FOA			18.20			4.00	0%	4.00	72.80	1	72.80
	NewJersey			18.20			6.20	0%	6.20	112.84	1	112.84
										1 899.26		1 899.26
F1 + F2a										4 599.01		6 147.32

##### 3.1.2 Variazioni termiche Tk (Fase 3a)

I criteri per la determinazione degli effetti della temperatura sono contenuti in NTC-08, cap. 3.5 (rif. Eurocodici EN 1991-1-5).

Dal momento che NTC-08 non riporta prescrizioni specifiche per il calcolo degli effetti della temperatura per i ponti, e dal momento che i criteri di base per il calcolo della temperatura dell'aria all'ombra portano a risultati univoci, si farà riferimento ai criteri contenuti negli Eurocodici, unitamente alle indicazioni della bozza di N.A.D.

Come già introdotto in § 2.1, l'effetto delle azioni termiche sulle spalle prevede solo la componente assiale uniforme e non il gradiente di temperatura.

Per l'opera in esame il "range" di temperatura dell'aria all'ombra ("shade air temperature") è definito da (EN 1991-1-5+N.A.D.):

Tmin .....	-15 °C
Tmax .....	+45 °C

La temperatura della struttura risulta dalla tabella di correlazione riportata in fig. 6.1 di EN 1991-1-5, cap. 6.1.3.2(4) per ponti di gruppo 3 (ponti in calcestruzzo). L'analisi vale sia per la parte di impalcato esistente che per quello in ampliamento.

Te,min .....	-7 °C
Te,max .....	+47 °C

Fissando la temperatura iniziale T0 a 15.0 °C, dedotto dall'Annesso nazionale dell'Eurocodice, si ottiene l'escursione termica effettiva subita dall'impalcato:

$\Delta T_{N,comp}$ .....	-22.0 °C
$\Delta T_{N,exp}$ .....	+32.0 °C

a cui corrisponde complessivamente un'escursione pari a:

$\Delta T_N$ .....	54.0 °C
--------------------	---------

Le deformazioni termiche effettive subite dall'impalcato sono:

$\epsilon_{contr} = \Delta T_{N,comp} \times \alpha =$ .....	$-2.20 \times 10^{-4}$ -
$\epsilon_{exp} = \Delta T_{N,exp} \times \alpha =$ .....	$+3.20 \times 10^{-4}$ -

a cui corrispondono le seguenti deformazioni termiche nette:

$\Delta L_{contr} = \epsilon_{contr} \times L_{calcolo} =$ .....	-4.00 mm
$\Delta L_{exp} = \epsilon_{exp} \times L_{calcolo} =$ .....	+5.82 mm

### 3.1.3 Carichi mobili Qk (Fase 3b)

Si seguono le disposizioni contenute in EN 1991-2. capp.4/5/NTC-08, cap. 5.1.3.3.5, con riferimento a ponti di I categoria.

Nel caso in esame, la carreggiata, di larghezza utile pari a 14.95 m, è in grado di ospitare 4 corsie di carico di larghezza convenzionale pari a 3.00 m. La parte rimanente ("remaining part") risulta pari a 2.95 m.

Ai fini del calcolo si adotta una ripartizione equivalente costituita da 3 corsie di carico di larghezza convenzionale pari a 3.00 m e "remaining part" pari a 5.95 m.

Ai fini del calcolo sollecitazioni nella statica globale, si considera il Load Model 1, formato da carichi concentrati (TS) e distribuiti (UDL), posizionati su corsie convenzionali di carico di ampiezza massima pari a 3.00 m.

Le corsie verranno denominate secondo le convenzioni di norma, a partire dalla più "pesante", denominata "corsia 1".

Ai fini delle verifiche globali dell'impalcato si considera il carico TS e UDL, riferendo le rispettive intensità a quanto riportato in tabella.

Location	Tandem system TS	UDL system
	Axle loads $Q_{ik}$ (kN)	$q_{ik}$ (or $q_{ik}$ ) (kN/m <sup>2</sup> )
Lane Number 1	300	9
Lane Number 2	200	2,5
Lane Number 3	100	2,5
Other lanes	0	2,5
Remaining area ( $q_{ik}$ )	0	2,5

Sui marciapiedi si considera il modello di carico 5 (non contemplato da EN 1991-2), con valore di combinazione pari a 2.5 kN/m<sup>2</sup> (cfr. NTC-08, tab. 5.I.IV, EN 1991-2 tab. 4.4.a + N.A.D.).

Le varie condizioni di carico mobile si differenziano per la differente disposizione trasversale delle corsie di carico, quindi per il differente posizionamento longitudinale del veicolo TS, e per la segmentazione delle stese di carico UDL, in funzione della geometria della linea di influenza oggetto dello studio.

Come anticipato in § 2.1, i carichi mobili non prevedono diverse permutazioni laterali ma se ne sono sommati gli effetti delle varie corsie disponibili e sono stati uniformemente distribuiti sulla larghezza della spalla come gli altri tipi di carico.

Le ragioni massime del tandem system di carico TS sono state calcolate rispettivamente come se un asse fosse posizionato sull'allineamento degli appoggi e l'altro 1.20 m più all'interno; per il carico uniforme UDL si è disposto il carico su tutta la lunghezza dell'impalcato.

Per l'impalcato si ottiene quanto esposto in Tabella 3-2.

**Tabella 3-2 - Valutazione carichi mobili di Gruppo 1**

B carreggiata	14.95 [m]				
L calcolo	18.20 [m]				
	<b>Corsia 1</b>	<b>Corsia 2</b>	<b>Corsia 3</b>	<b>Remaining</b>	<b>TOT</b>
Presenza	1	1	1	1	
Larghezza [m]	3.00	3.00	3.00	5.95	14.95
TS [n°]	2	2	2		
[kN]	300	200	100		600.00
tot	600	400	200		1200.00
UDL [kN/m <sup>2</sup> ]	9.00	2.50	2.50	2.50	
[kN/m/corsia]	27.00	7.50	7.50	14.88	56.875
R max TS	1 160.44 [kN]	Folla		2.50 [kN/m <sup>2</sup> ]	
R max UDL	517.56 [kN]	b <sub>tot</sub> (1 imp.)		1.00 [m]	
	1 678.00 [kN]	R <sub>tot</sub> (1 imp.)		22.75 [kN]	

### 3.1.4 Azioni di accelerazione/frenatura Q<sub>lk</sub> (Fase 3b)

Per l'azione di accelerazione/frenatura si fa riferimento a quanto indicato in D.M. 2008, cap. 5.1.3.5 (rif. Eurocodici EN 1991-2, 4.4.1).

Si ha pertanto:

$$Q_{lk} = 180 \text{ kN} < 0.6 \times (2 \times Q_{1k}) + 0.10 \times q_{1k} \times w_1 \times L < 900 \text{ kN}$$

cfr. NTC-08, eq. 5.1.4 / EN 1991-2, 4.4.1.(2)

dove:

Q<sub>1k</sub> ..... 300 kN

q<sub>1k</sub> ..... 9.00 kN/m<sup>2</sup>

w1 ..... 3.00 m  
 L ..... 18.20 m

La forza di accelerazione/frenatura risulta quindi pari a:  
 $q_x = \pm 409.14 \text{ kN}$

L'azione di frenatura si accompagna ai carichi da traffico, presi con il relativo valore frequente, a formare i carichi di Gruppo 2a (cfr. NTC-08, tab. 5.1.IV / EN 1991-2, tab. 4.4.a).

### 3.1.5 Inerzia sismica Ed

I parametri legati al sito e alle caratteristiche del terreno risultano i seguenti:

Salvaguardia della vita (SLV):		
Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	949	[anni]
ag:	0.081	[g]
F <sub>0</sub> :	2.796	[-]
Tc*:	0.371	[s]
Suolo Categoria	D	
St	1.000	[-]
Ss	1.800	[-]
S	1.800	[-]
Cc	2.052	[-]
T <sub>B</sub>	0.25	[sec]
T <sub>C</sub>	0.76	[sec]
T <sub>D</sub>	1.92	[sec]

Come anticipato in § 2.1, l'azione sismica trasmessa è calcolata come il 100% della massa afferente per l'accelerazione di picco al suolo e distribuita sulla larghezza della spalla:

Massa impalcato (tot 2 imp.)	12 294.64	[kN]
	1 229 464	[kg]
Massa afferente spalla	6 147.32	[kN]
	<b>614 732</b>	<b>[kg]</b>
% attrito	100%	
	89 628	[kg]
F <sub>SISMICA</sub>	896.28	[kN]
	17 495	[N/m]

### 3.1.6 Inclinazione impalcato

L'impalcato è inclinato di 43.02°, di conseguenza le azioni di frenatura e termica saranno scomposte nella componente longitudinale (considerata nel calcolo) ed in quella trasversale (trascurata).

### 3.2 Contributi del corpo spalla

#### 3.2.1 Pesì propri Gk1

Il peso del corpo spalla in c.a. è stato conteggiato con riferimento ad un peso specifico convenzionale di 25.0 kN/m<sup>3</sup> sulla base della geometria di calcolo.

**Tabella 3-3 - Pesì propri spalla esistente**

Area trasversale	8.50 [m <sup>2</sup> ]
<b>N pp</b>	<b>212.56 [kN/m]</b>
xG tot (rib)	1.718 [m]
B fondazione	3.400 [m]
eG	-0.018 [m]
<b>M pp (stab)</b>	<b>365.22 [kNm/m]</b>
yGtot	2.903 [m]

**Tabella 3-4 - Pesì propri spalla in ampliamento**

Area trasversale	10.93 [m <sup>2</sup> ]
<b>N pp</b>	<b>273.19 [kN/m]</b>
xG tot (rib)	1.981 [m]
B fondazione	4.500 [m]
eG	0.269 [m]
<b>M pp (stab)</b>	<b>541.31 [kNm/m]</b>
yGtot	2.775 [m]

#### 3.2.2 Spinta delle terre Gk,ep

Le spinte delle terre vengono valutate secondo i due approcci previsti dalla Normativa, ossia con parametri del terreno caratteristici (M1) e ridotti (M2) (v. Tabella 3-5).

**Tabella 3-5 - Parametri del terreno M1 e M2**

$\Phi_K$	$\gamma_{M2}$	$\Phi_K$	tg ( $\Phi_{d2}$ )	$\Phi_{d2}$	$\Phi_{d2}$
[°]	[-]	[rad]	[-]	[rad]	[°]
<b>35.0</b>	<b>1.25</b>	0.61	0.560	0.51	29.26

La spinta delle terre a monte in condizioni statiche è stata valutata per le spalle esistenti come funzione della spinta attiva, mentre per le spalle in ampliamento è funzione della spinta a riposo.

Tale spinta è eventualmente depurata in funzione della geometria delle aperture della spalla passante.

Per la spalla esistente valutiamo quanto segue.

**Tabella 3-6 - Spinta delle terre a monte - Spalla esistente**

<b>F<sub>H</sub> caratt</b>	<b>M<sub>rib</sub> caratt</b>	<b>F<sub>H</sub> M2</b>	<b>M<sub>rib</sub> M2</b>
<b>[kN/m]</b>	<b>[kNm/m]</b>	<b>[kN/m]</b>	<b>[kNm/m]</b>
<b>180.00</b>	<b>489.00</b>	<b>228.12</b>	<b>619.73</b>
<b>F<sub>V</sub> caratt PORTATO</b>	<b>M<sub>stab</sub> caratt</b>		
<b>[kN/m]</b>	<b>[kNm/m]</b>		
<b>179.70</b>	<b>503.93</b>		

La spinta della porzione del terreno a valle è valutata come funzione della spinta a riposo ed anch'essa è depurata in funzione della geometria delle aperture della spalla passante.

**Tabella 3-7 - Spinta delle terre a valle - Spalla esistente**

$F_H$ caratt	$M_{stab}$ caratt	$F_H$ M2	$M_{stab}$ M2
[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]
0.00	0.00	0.00	0.00
$F_V$ caratt PORTATO	$M_{stab}$ caratt		
[kN/m]	[kNm/m]		
0.00	0.00		

Analogamente per la spalla in ampliamento.

**Tabella 3-8 - Spinta delle terre a monte - Spalla in ampliamento**

$F_H$ caratt	$M_{rib}$ caratt	$F_H$ M2	$M_{rib}$ M2
[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]
290.23	798.14	347.99	956.98
$F_V$ caratt PORTATO	$M_{stab}$ caratt		
[kN/m]	[kNm/m]		
312.90	1079.51		

**Tabella 3-9 - Spinta delle terre a valle - Spalla in ampliamento**

$F_H$ caratt	$M_{stab}$ caratt	$F_H$ M2	$M_{stab}$ M2
[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]
0.00	0.00	0.00	0.00
$F_V$ caratt PORTATO	$M_{stab}$ caratt		
[kN/m]	[kNm/m]		
0.00	0.00		

### 3.2.3 Sovraccarico accidentale a tergo spalla

L'azione del sovraccarico accidentale a tergo spalla valutata convenzionalmente in 20.0 kN/m<sup>2</sup> è applicata con coefficiente di spinta attiva o a riposo a seconda che sia applicata alla spalla esistente o in ampliamento.

Anche in questo caso si valuta l'azione depurata in funzione della geometria delle aperture della spalla passante.

Si valuta anche l'effetto del carico verticale da 20 kN/m<sup>2</sup> sulla suola di monte.

**Tabella 3-10 - Sovraccarico accidentale a tergo spalla - Spalla esistente**

$F_{Z_{Acc}}$ Tergo	$F_H$ caratt	$M_{rib}$ caratt	$F_H$ M2	$M_{rib}$ M2
[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]
-24.00	44.17	112.70	55.98	160.82

**Tabella 3-11 - Sovraccarico accidentale a tergo spalla - Spalla in ampliamento**

$F_{Z_{Acc}}$ Tergo	$F_H$ caratt	$M_{rib}$ caratt	$F_H$ M2	$M_{rib}$ M2
[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]
-42.00	70.36	145.33	84.36	203.09

### 3.2.4 Azioni sismiche Ed

L'incremento sismico della spinta delle terre è valutato come differenza tra la spinta delle terre secondo Mononobe-Okabe e la spinta attiva valutata secondo la teoria di Rankine.

Coefficiente di spinta sismico secondo Mononobe-Okabe

$$K_{a,e} = \frac{\cos^2(\varphi - \beta - \theta)}{\cos\theta \cdot \cos^2\beta \cdot \cos(\beta + \delta + \theta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \varphi) \cdot \text{sen}(\varphi - \varepsilon - \theta)}{\cos(\beta + \delta + \theta) \cdot \cos(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Coefficiente di spinta attiva secondo Rankine

$$K_a = \frac{1 - \text{sen}\varphi}{1 + \text{sen}\varphi} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Anche in questo caso si valuta l'azione depurata in funzione della geometria delle aperture della spalla passante.

**Tabella 3-12 - Sovrappinta sismica - Spalla esistente**

Spinte parametri caratteristici		
S <sub>H_Stat. Attiva</sub>	S <sub>H_Sism. Attiva</sub>	ΔS <sub>sismica</sub>
[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
180.00	241.70	61.71
Spinte parametri abbattuti (M2)		
S <sub>H_Stat. Attiva</sub>	S <sub>H_Sism. Attiva</sub>	ΔS <sub>sismica</sub>
[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
228.12	298.29	70.17

**Tabella 3-13 - Sovrappinta sismica - Spalla in ampliamento**

Spinte parametri caratteristici		
S <sub>H_Stat. Attiva</sub>	S <sub>H_Sism. Attiva</sub>	ΔS <sub>sismica</sub>
[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
184.44	248.46	64.02
Spinte parametri abbattuti (M2)		
S <sub>H_Stat. Attiva</sub>	S <sub>H_Sism. Attiva</sub>	ΔS <sub>sismica</sub>
[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
233.76	306.57	72.81

Cautelativamente non si valuta una sovrappinta sismica di valle.

Le inerzie sismiche del corpo spalla e del terreno portato a monte sono valutate come:

$$F_{h\_INERZIA} = \text{massa [kg]} \times a_g [\text{m/s}^2] \times S [-]$$

Complessivamente risulta:

**Tabella 3-14 - Addendi azioni sismiche (inerzie + sovrappinte) - Spalla esistente**

	Peso	h <sub>G</sub>	F <sub>H_Long</sub>	M <sub>Long</sub>
	[kN/m]	[m]	[kN/m]	[kNm/m]
PP spalla	212.56	2.90	<b>30.99</b>	<b>89.97</b>
PP Terreno a monte	179.70	4.41	<b>26.20</b>	<b>115.43</b>
Sovrasp. terr. monte (k)	0.00	4.08	<b>61.71</b>	<b>251.45</b>
Sovrasp. terr. monte (M2)	0.00	4.08	<b>70.17</b>	<b>285.94</b>

**Tabella 3-15 - Addendi azioni sismiche (inerzie + sovraspinte) - Spalla in ampliamento**

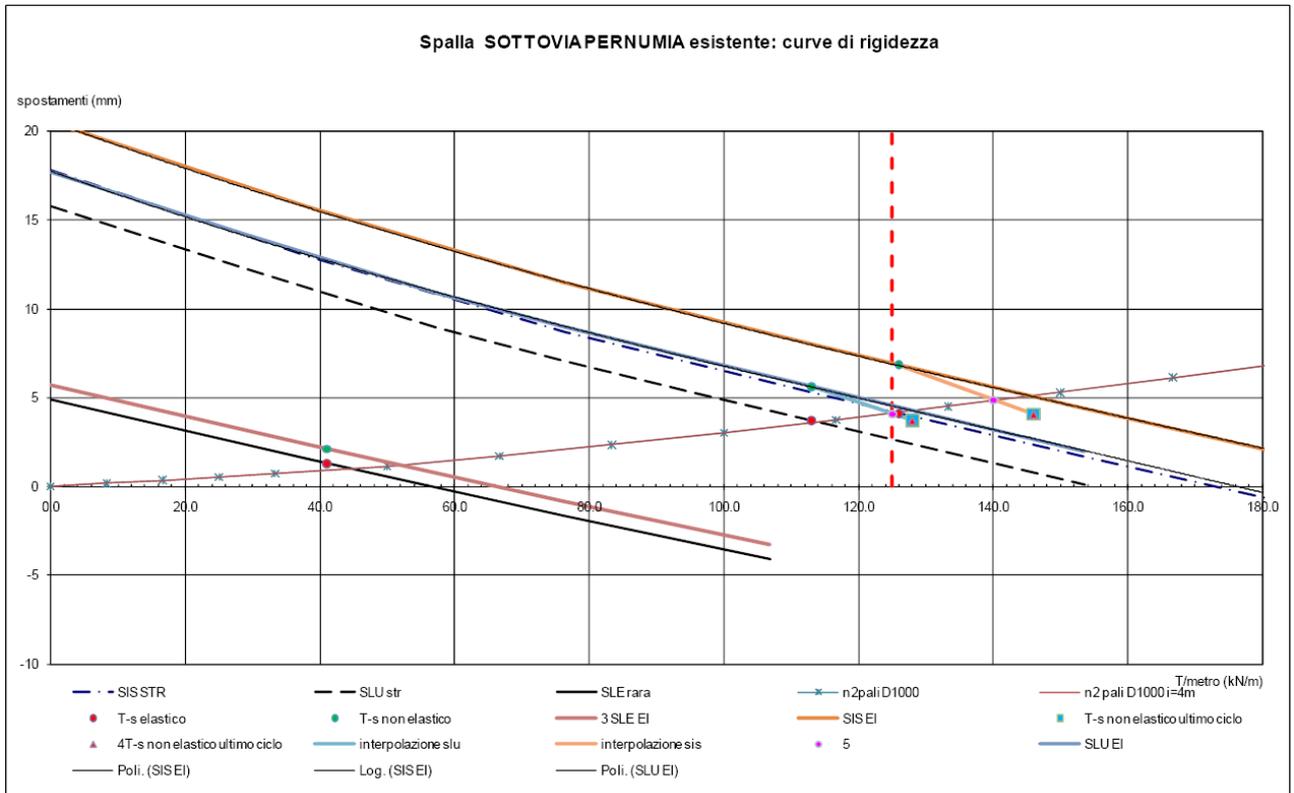
	Peso [kN/m]	h <sub>G</sub> [m]	F <sub>H_Long</sub> [kN/m]	M <sub>Long</sub> [kNm/m]
PP spalla	273.19	2.78	<b>39.83</b>	<b>110.53</b>
PP Terreno a monte	312.90	4.53	<b>45.62</b>	<b>206.43</b>
Sovrasp. terr. monte (k)	0.00	4.13	<b>64.02</b>	<b>264.08</b>
Sovrasp. terr. monte (M2)	0.00	4.13	<b>72.81</b>	<b>300.36</b>

### 3.2.5 Azione equilibrante dei tiranti a tergo spalla esistente

L'azione dei tiranti a tergo spalla esistente è valutata sulla base delle curve caratteristiche del corpo spalla e del sistema di tiranti a monte.

Per il corpo spalla e per il sistema di tiranti, tali curve di capacità diagrammano rispettivamente lo spostamento orizzontale in sommità a paramento e lo spostamento in testa ai pali con il carico assiale applicato.

Il punto di incrocio delle due curve indica l'equilibrio dei due sistemi, ovvero il tiro nel dispositivo a tergo spalla esistente per una data combinazioni di carico.



Punto di equilibrio finale ..... 5

In base a quanto appena esposto, dopo aver analizzato la spalla senza l'azione del tirante a monte, si ricavano i seguenti valori di carico del tirante che vanno distribuiti sulla loro larghezza di competenza.

$$N_{SISMICO} = 840 \text{ kN} / 6.00 \text{ m} = \dots\dots\dots 140.00 \text{ kN/m}$$

$$N_{SLU} = 750 \text{ kN} / 6.00 \text{ m} = \dots\dots\dots 125.00 \text{ kN/m}$$

## 4 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico vengono elaborate con riferimento a:

- EN 1990 tab. A.2.4.B + N.A.D./NTC-08, tab. 5.1.V per i coefficienti moltiplicativi
- EN 1990 tab. A.2.1+N.A.D./NTC-08 tab. 5.1.VI per i coefficienti di combinazione

Per la formulazione generale delle combinazioni di carico si rimanda a EN 1990-annex.A2, cap. A2.3, A2.4/.NTC-08 cap. 2.5.3.+ N.A.D..

Con riferimento alle ipotesi semplificative effettuate ai punti precedenti, a seconda dell'elemento studiato si alterneranno come dominanti (se presenti) le seguenti azioni variabili:

- carichi mobili  $Q_k$  (Gruppo 1)
- carichi mobili  $Q_k$  (Gruppo 2a)
- variazioni termiche  $T_k$

Esse verranno considerate di volta in volta dominanti, nell'elaborazione delle combinazioni S.L.U., S.L.E. caratteristica e S.L.E. frequente.

In dettaglio:

S.L.U. - STR

Si considera l'involuppo delle seguenti combinazioni.

S.L.U. -  $Q_k$  dominante (Gr. 1)

$$E_d = \gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{G3} G_{k,ep} + \gamma_{sett.} G_{ksett.} + \gamma_{sh} G_{sh} + \gamma_{q,1} Q_{k,gr1} + \gamma_{q,2} 0.6 T_k$$

S.L.U. -  $Q_k$  dominante (Gr. 2a)

$$E_d = \gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{G3} G_{k,ep} + \gamma_{sett.} G_{ksett.} + \gamma_{sh} G_{sh} + \gamma_{q,1} [(0.75 Q_{k,TS} + 0.4 Q_{k,UDL}) + Q_{k,gr2a}] + \gamma_{q,2} 0.6 T_k$$

S.L.U. -  $T_k$  dominante

$$E_d = \gamma_{G1} G_{k1} + \gamma_{G2} G_{k2} + \gamma_{G3} G_{k,ep} + \gamma_{sett.} G_{ksett.} + \gamma_{sh} G_{sh} + \gamma_{q,2} T_k + \gamma_{q,1} (0.75 Q_{k,TS} + 0.4 Q_{k,UDL})$$

I parametri di scelta nazionale indicati dal N.A.D. sono i seguenti:

$\gamma_{G1}$	1.00 ÷ 1.35	coefficiente moltiplicativo sovraccarichi di peso proprio
$\gamma_{G2}$	1.00 ÷ 1.35	coefficiente moltiplicativo sovraccarichi di peso permanente
$\gamma_{G3}$	1.00 ÷ 1.35	coefficiente moltiplicativo per l'effetto della spinta delle terre
$\gamma_{sh}$	1.20	coefficiente moltiplicativo per le azioni dovute al ritiro
$\gamma_{sett.}$	0.00 ÷ 1.20	coefficiente moltiplicativo per le azioni dovute ai cedimenti vincolari
$\gamma_{Q1}$	0.00 ÷ 1.35	coefficiente moltiplicativo per i carichi da traffico.
$\gamma_{Q2}$	1.20	coefficiente moltiplicativo per i carichi di origine termica.

S.L.U. - GEO

Ai soli fini delle verifiche geotecniche, si considerano le medesime combinazioni viste per lo S.L.U. - STR, impiegando i seguenti coefficienti di combinazione:

$\gamma_{G1}$	1 - 1	coefficiente moltiplicativo sovraccarichi di peso proprio
$\gamma_{G2}$	1 - 1	coefficiente moltiplicativo sovraccarichi di peso permanente
$\gamma_{G3}$	1 - 1	coefficiente moltiplicativo per l'effetto della spinta delle terre
$\gamma_{sh}$	1 - 1	coefficiente moltiplicativo per le azioni dovute al ritiro
$\gamma_{sett.}$	0 - 1	coefficiente moltiplicativo per le azioni dovute ai cedimenti vincolari
$\gamma_{Q1}$	1.15 - 0	coefficiente moltiplicativo per i carichi da traffico.
$\gamma_{Q2}$	1.0 - 0	coefficiente moltiplicativo per i carichi di origine termica.

## S.L.E. – Caratteristica (Rara)

Si considera l'involuppo le seguenti combinazioni.

S.L.E. fond. -  $Q_k$  dominante

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{k,ep} + G_{ksett.} + G_{sh} + Q_{k,gr1} + 0.6 T_k$$

S.L.E. fond. -  $T_k$  dominante

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{k,ep} + G_{ksett.} + G_{sh} + T_k + (0.75 Q_{k,TS} + 0.4 Q_{k,UDL})$$

## S.L.E. - Frequente

Si considera l'involuppo le seguenti combinazioni.

S.L.E. freq. -  $Q_k$  dominante

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{k,ep} + G_{ksett.} + G_{sh} + (0.75 Q_{k,TS} + 0.4 Q_{k,UDL}) + 0.5 T_k$$

S.L.E. freq. -  $T_k$  dominante

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{k,ep} + G_{ksett.} + G_{sh} + 0.6 T_k$$

## S.L.E. - Quasi Permanente

Si considera la seguente combinazione.

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{k,ep} + G_{ksett.} + G_{sh} + 0.5 T_k$$

## S.L.U. - sismica

Ai fini delle verifiche in fase sismica, si considera la seguente combinazione:

$$E_d = G_{k1} + G_{k2} + G_{k,ep} + G_{ksett.} + G_{sh} + 0.5 T_k + E_d$$

,  $E_d$ : sollecitazione sismica.

Per le analisi delle sottostrutture tutte le combinazioni ed involuppi indicati vengono effettuati in automatico dai fogli di calcolo in modo da massimizzare/minimizzare le sollecitazioni volute.

## 5 Verifica spalla esistente

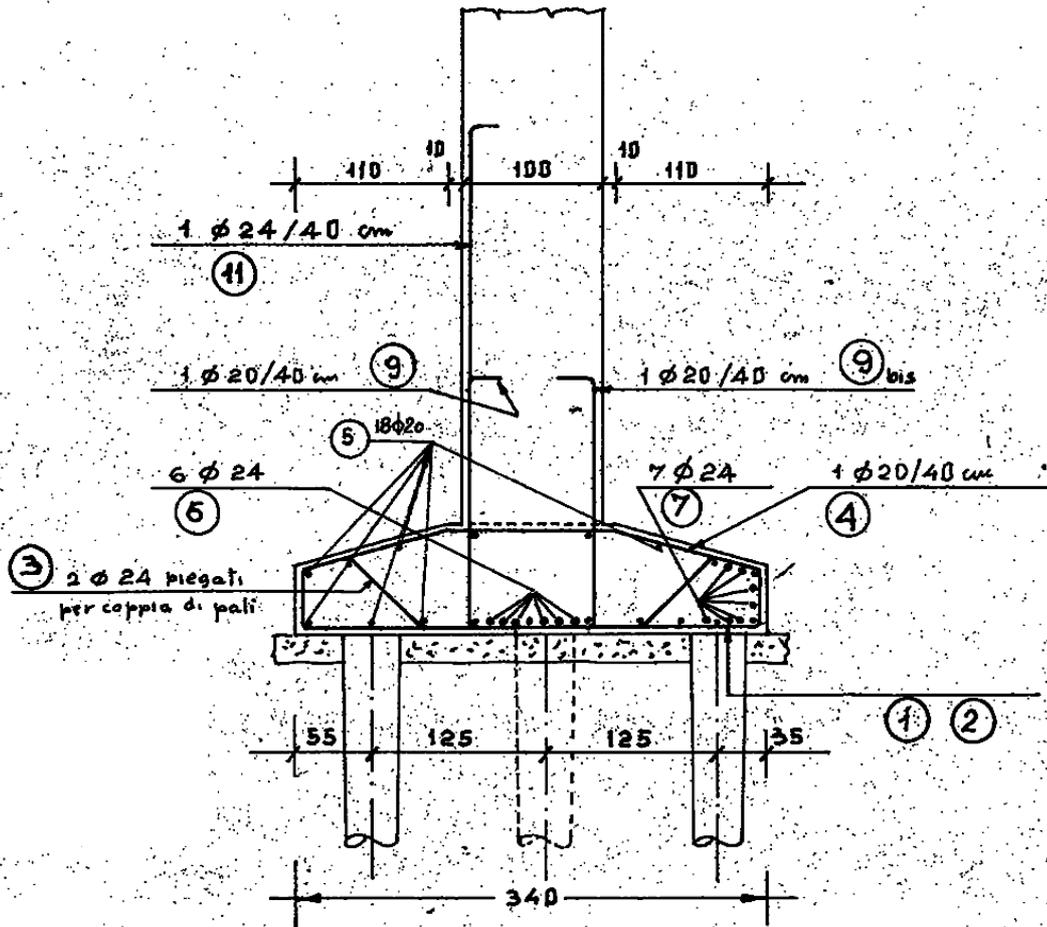
Si riportano di seguito i risultati delle analisi effettuata per gli elementi caratterizzanti le spalle esistenti.

### 5.1 Paramento

Sezione di verifica alla base ..... (1.00 m x) 1.00 m

Armatura longitudinale di monte .....  $(1\varnothing 24 + 1\varnothing 20)/40 \text{ cm} = 19.15 \text{ cm}^2/\text{m}$

Armatura longitudinale di valle .....  $1\varnothing 20/40 \text{ cm} = 7.85 \text{ cm}^2/\text{m}$



#### 5.1.1 Sollecitazioni

		Fx [kN/m]	Fz [kN/m]	My [kNm/m]			Fx [kN/m]	Fz [kN/m]	My [kNm/m]
SLU_STR	min Fx	197.63	-206.30	478.98	Sisma STR	min Fx	124.12	-152.81	285.78
	max Fx	135.52	-326.29	90.51		max Fx	123.41	-272.81	91.29
	min Fy	0.00	0.00	0.00		min Fy	0.00	0.00	0.00
	max Fy	0.00	0.00	0.00		max Fy	0.00	0.00	0.00
	min Fz	195.86	-456.73	493.89		min Fz	105.39	-272.81	191.02
	max Fz	135.52	-326.29	90.51		max Fz	123.41	-272.81	91.29
	min Mx	0.00	0.00	0.00		min Mx	0.00	0.00	0.00
	max Mx	0.00	0.00	0.00		max Mx	0.00	0.00	0.00
	min My	195.86	-456.73	493.89		min My	105.39	-272.81	191.02
	max My	135.52	-326.29	90.51		max My	123.41	-272.81	91.29

### 5.1.2 Verifica a pressoflessione

**Verifica C.A. S.L.U. - File: 01\_Paramento (05)**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** PERNUMIA - Paramento

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	100

N°	As [cm²]	d [cm]
1	7.85	3
2	19.15	97

**Sollecitazioni**  
 S.L.U.    Metodo n

N<sub>Ed</sub> 272.81    0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 91.29    0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0    0

**P.to applicazione N**  
 Centro     Baricentro cls  
 Coord.[cm]    xN 0    yN 0

**Tipo rottura**  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

**Materiali**  
 A.L.E.    C45/55  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰     $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  443.5 N/mm²     $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm²     $f_{cd}$  25.5 ‰  
 $E_s/E_c$  15     $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  2.218 ‰     $\sigma_{c,adm}$  16  
 $\sigma_{s,adm}$  260 N/mm²     $\tau_{co}$  0.9333  
                                   $\tau_{c1}$  2.543

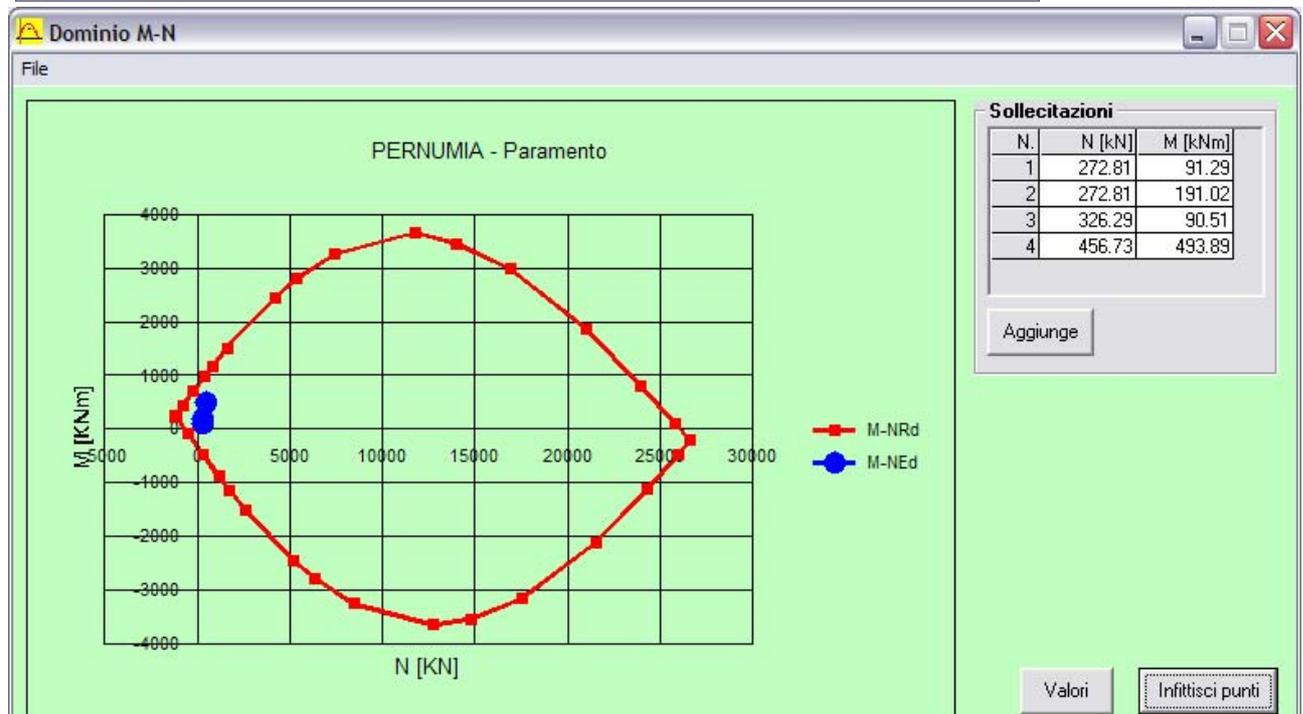
M<sub>xRd</sub> 936.7 kNm  
 $\sigma_c$  -25.5 N/mm²  
 $\sigma_s$  443.5 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.344 ‰  
 $\epsilon_s$  67.5 ‰  
 d 97 cm  
 x 4.579    x/d 0.0472  
 $\delta$  0.7

**Tipo Sezione**  
 Rettan.re     Trapezi  
 a T     Circolare  
 Rettangoli     Coord.

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+     S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta     Deviata

N° rett. 100  
 Calcola MRd    Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm    Col. modello  
 Precompresso



Verifica soddisfatta.

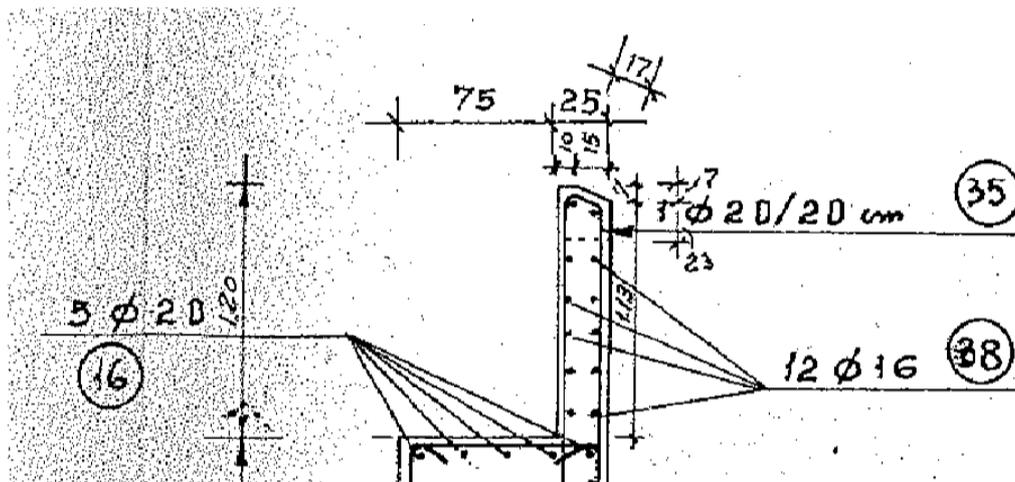
### 5.1.3 Verifica a taglio

B	1 000	mm		fck	45.0	N/mm <sup>2</sup>
H	1 000	mm		$\gamma_c$	1.50	-
				fcd	25.50	N/mm <sup>2</sup>
As,long	19.16	cm <sup>2</sup>				
	2.5	$\Phi$	20			
	2.5	$\Phi$	24			
Copriferro	30.0	mm				
d	970.0	mm				
$\sigma_{cp}$	0.000	N/mm <sup>2</sup>		NSd	0	[N]
k	1.454	-				
$\rho_l$	0.00192	-				
$v_{min}$	0.41	N/mm <sup>2</sup>				
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>399.33</b>	<b>kN</b>	<b>Sezioni non armate a taglio</b>			

$V_{Sd,max} = 197.63$  kN

Verifica soddisfatta.

## 5.2 Paraghiaia (non rinforzato)



Sezione di verifica alla base ..... (1.00 m) x 0.25 m  
 Armatura longitudinale ..... 1+1Ø20/20 = 2 x 15.71 cm<sup>2</sup>/m

### 5.2.1 Sollecitazioni

		Fx [kN/m]	Fz [kN/m]	My [kNm/m]			Fx [kN/m]	Fz [kN/m]	My [kNm/m]
SLU_STR	min Fx	9.96	-13.92	5.48	Sisma STR	min Fx	5.87	-10.31	2.82
	max Fx	22.03	-13.92	15.44		max Fx	17.18	-10.31	12.15
	min Fy					min Fy			
	max Fy					max Fy			
	min Fz	9.96	-13.92	5.48		min Fz	5.87	-10.31	2.82
	max Fz	22.03	-13.92	15.44		max Fz	17.18	-10.31	12.15
	min Mx					min Mx			
	max Mx					max Mx			
	min My	9.96	-13.92	5.48		min My	5.87	-10.31	2.82
	max My	22.03	-13.92	15.44		max My	17.18	-10.31	12.15

### 5.2.2 Verifica a pressoflessione

**Verifica C.A. S.L.U. - File: 02\_Paraghiaia (03)**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** PERNUMIA - Paraghiaia

N° figure elementari: 1 Zoom      N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	25

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	3
2	15.71	22

**Sollecitazioni**  
S.L.U.    Metodo n

N<sub>Ed</sub> 10.31    0 kN  
M<sub>xEd</sub> 12.15    0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0        0

**P.to applicazione N**  
 Centro     Baricentro cls  
 Coord.[cm]    xN 0    yN 0

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
 S.L.U.+     S.L.U.-  
 Metodo n

**Tipo flessione**  
 Retta     Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd    Dominio M-N

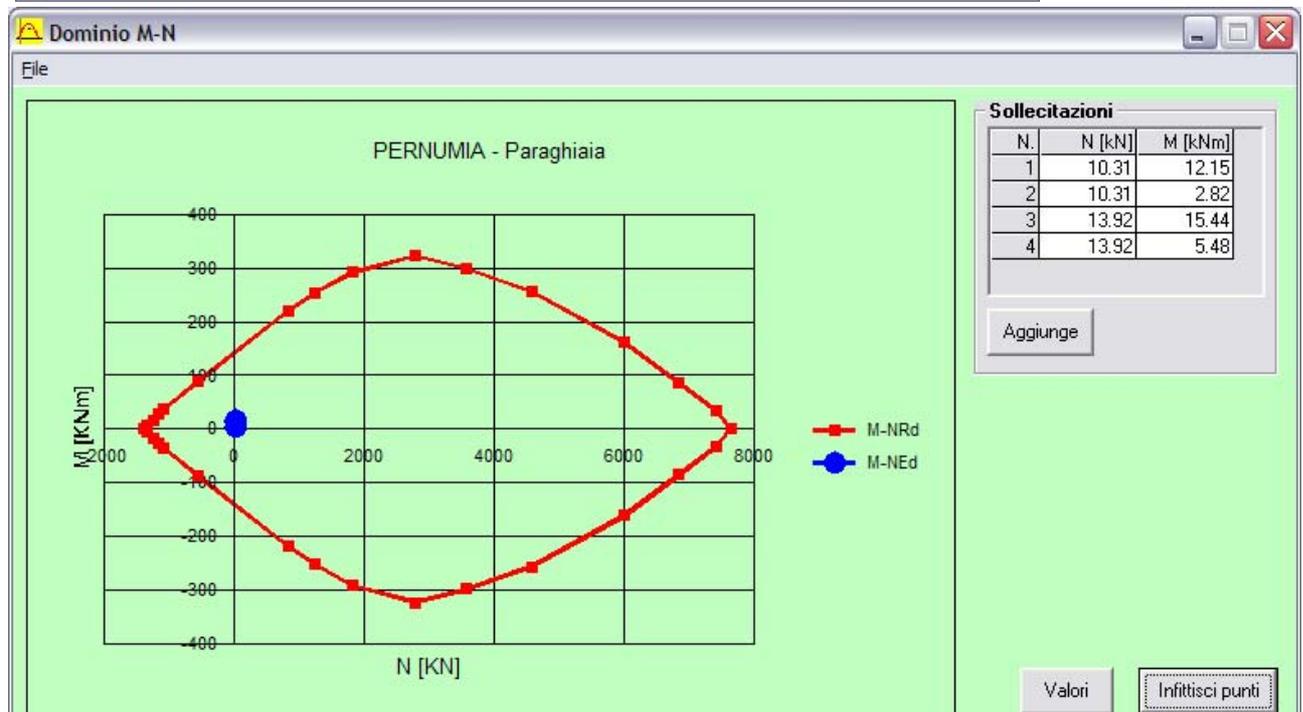
L<sub>0</sub> 0 cm    Col. modello

Precompresso

**Materiali**  
A.L.E.    C45/55

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰     $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  443.5 N/mm²     $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm²     $f_{cd}$  25.5 ‰  
 $E_s/E_c$  15     $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  2.218 ‰     $\sigma_{c,adm}$  16  
 $\sigma_{s,adm}$  260 N/mm²     $\tau_{co}$  0.9333  
 $\tau_{c1}$  2.543

M<sub>xRd</sub> 144.3 kNm  
 $\sigma_c$  -25.5 N/mm²  
 $\sigma_s$  443.5 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  20.89 ‰  
d 22 cm  
x 3.157    x/d 0.1435  
 $\delta$  0.7



Verifica soddisfatta.

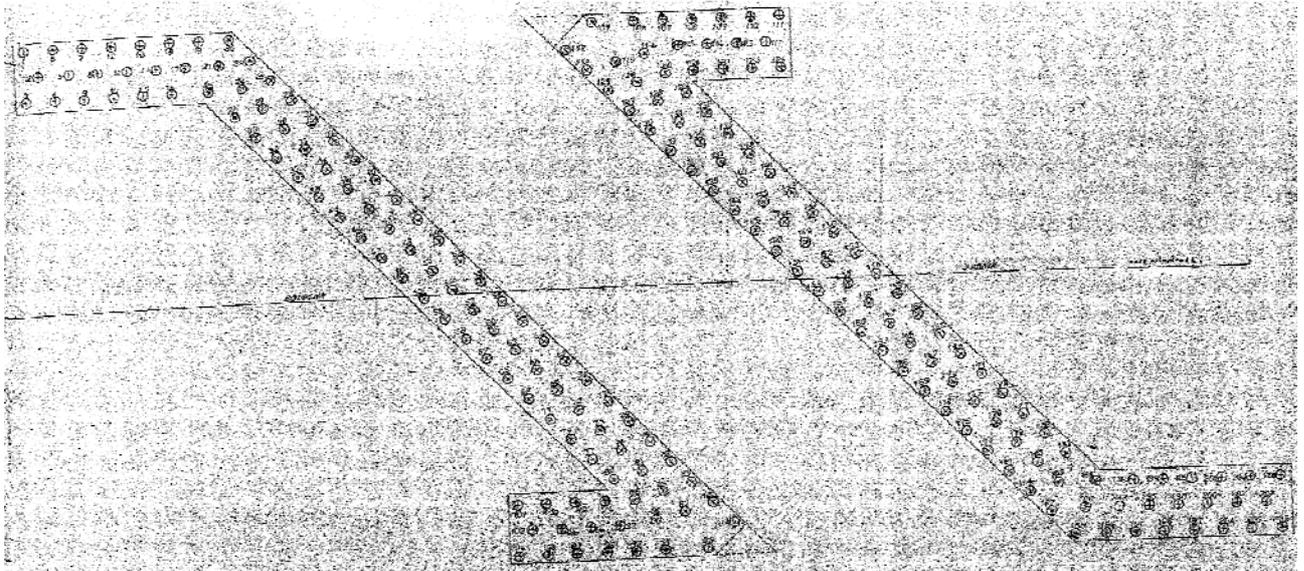
### 5.2.3 Verifica a taglio

B	1 000	mm		fck	45.0	N/mm <sup>2</sup>
H	250	mm		$\gamma_c$	1.50	-
				fcd	25.50	N/mm <sup>2</sup>
As,long	15.71	cm <sup>2</sup>				
	5	$\Phi$	20			
Copriferro	30.0	mm				
d	220.0	mm				
$\sigma_{cp}$	0.000	N/mm <sup>2</sup>		NSd	0	[N]
k	1.953	-				
$\rho$	0.00628	-				
$v_{min}$	0.64	N/mm <sup>2</sup>				
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>157.11</b>	<b>kN</b>	<b>Sezioni non armate a taglio</b>			

$V_{Sd,max} = 22.03$  kN/m

Verifica soddisfatta.

### 5.3 Pali spalla esistente



Pali SCAC (Rck~50 - Armatura assimilabile a B450C)

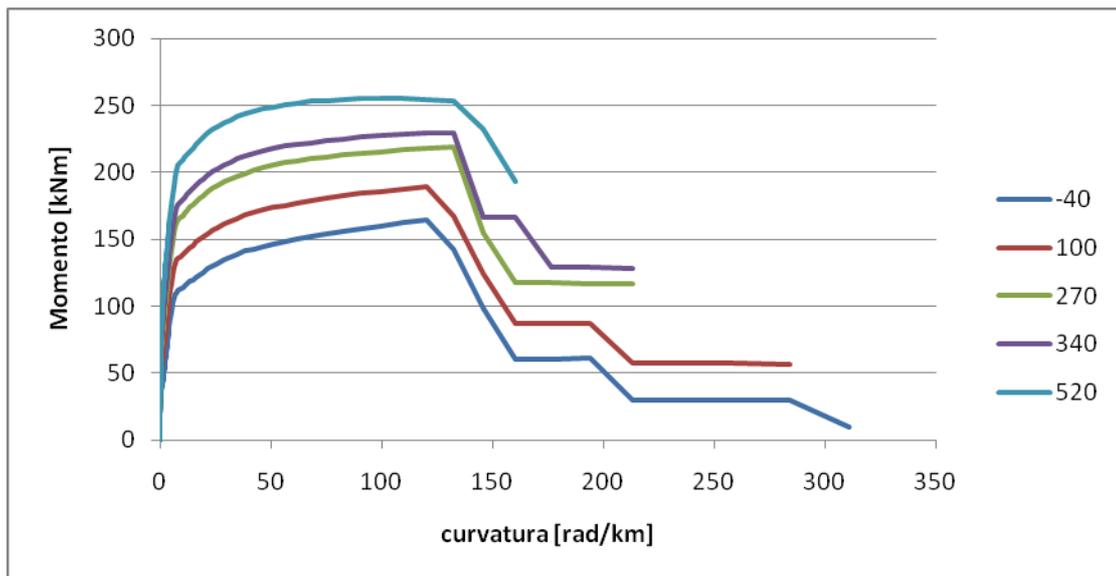
Øest .....	48 cm
Øint .....	26 cm
As,long .....	14Ø12
As,trasv .....	Ø10/20

#### 5.3.1 Sollecitazioni

Le sollecitazioni sui pali delle spalle esistenti sono derivate da un'analisi NON LINEARE funzione delle sollecitazioni agenti alla base del piede della spalla.

Si riportano di seguito i grafici di momento-curvatura per i pali in oggetto in funzione delle azioni assiali agenti divise per famiglie.

	Spalle esistenti					
	N [kN] (+: compressione)					
	monte		centr		valle	
Viadotto	SIS	SLU	SIS	SLU	SIS	SLU
Pernumia	-40	100	270	340	520	550



Le sollecitazioni riportate di seguito sono state calcolate implementando i grafici precedenti nelle leggi costitutive dei pali.

N.B.: Per tenere in conto della fessurazione e delle ridistribuzioni delle sollecitazioni al superamento del limite elastico, per la sola fase sismica si sono ridotte le sollecitazioni di un fattore pari a 1.50.

	Palo	Azione assiale [kN]		Monemto [kNm]		Taglio [kN]	
		SISstr	SLUstr	SISstr	SLUstr	SISstr	SLUstr
monte	1	58.3	201.0	77.5	136.2	59.7	99.3
monte	2	9.0	143.0	73.5	127.2	52.9	87.2
monte	3	-29.4	95.2	74.1	129.2	53.8	88.8
monte	4	-26.6	99.7	72.1	124.2	51.3	84.0
monte	5	-23.5	105.0	73.5	127.2	52.7	86.7
monte	6	-20.5	109.0	73.5	127.2	52.9	87.1
monte	7	-17.4	114.0	73.4	128.2	53.1	87.3
monte	8	-14.4	119.0	73.4	128.1	53.1	87.4
monte	9	-11.3	124.0	73.4	128.1	53.1	87.4
monte	10	-8.3	128.0	74.1	128.1	53.1	87.5
monte	11	-5.2	133.0	74.1	128.1	53.2	87.6
monte	12	-2.1	138.0	74.1	128.1	53.2	87.6
monte	13	1.2	143.0	74.1	128.1	53.3	87.7
monte	14	4.7	147.0	74.1	128.1	53.3	87.7
monte	15	7.9	152.0	74.0	129.1	53.3	87.8
monte	16	11.2	157.0	74.0	129.1	53.3	87.9
monte	17	14.5	162.0	74.0	129.1	53.4	87.9
monte	18	17.7	166.0	74.0	129.1	53.4	88.0
monte	19	20.9	171.0	74.0	129.0	53.5	88.1
monte	20	24.1	176.0	74.0	129.0	53.5	88.1
monte	21	27.4	181.0	74.0	129.0	53.3	87.8
monte	22	30.6	185.0	74.0	128.0	52.9	87.0
monte	23	33.6	190.0	76.7	135.0	57.5	95.3
monte	24	-7.9	141.0	81.3	142.0	66.0	109.0
monte	25	-54.9	80.8	84.0	147.0	72.0	119.0
centrale	26	192.0	348.0	101.6	158.3	67.4	103.0
centrale	27	148.7	294.0	98.3	152.3	63.6	96.2
centrale	28	151.3	298.0	95.6	149.3	60.8	91.6
centrale	29	153.3	302.0	94.3	146.3	59.1	88.9
centrale	30	156.0	306.0	96.2	149.2	61.1	92.1
centrale	31	158.7	309.0	96.9	150.2	61.9	93.5
centrale	32	161.3	313.0	96.9	150.2	61.9	93.6
centrale	33	163.3	317.0	96.9	151.2	62.0	93.6
centrale	34	166.0	320.0	96.8	151.2	62.1	93.7
centrale	35	168.7	324.0	96.8	151.2	62.1	93.8
centrale	36	170.7	328.0	97.5	151.2	62.2	93.9
centrale	37	173.3	332.0	97.5	151.1	62.3	94.0
centrale	38	176.0	335.0	97.5	151.1	62.3	94.1
centrale	39	178.7	339.0	97.5	151.1	62.3	94.1
centrale	40	180.7	343.0	97.4	152.1	62.4	94.2
centrale	41	183.3	347.0	97.4	152.1	62.5	94.3
centrale	42	186.0	350.0	97.4	152.1	62.5	94.4
centrale	43	188.0	354.0	98.1	152.1	62.5	94.5
centrale	44	190.7	358.0	98.1	152.1	62.6	94.5
centrale	45	193.3	361.0	98.1	152.1	62.6	94.5
centrale	46	196.0	365.0	98.1	152.1	62.5	94.3
centrale	47	198.0	369.0	97.4	151.0	61.9	93.5
centrale	48	200.7	372.0	102.7	160.0	68.7	104.0
centrale	49	203.3	377.0	108.0	169.0	74.7	115.0
centrale	50	167.3	333.0	118.0	185.0	93.4	143.0
valle	51	288.7	468.0	132.9	199.3	90.7	135.0
valle	52	291.3	472.0	131.6	197.2	89.4	133.0
valle	53	294.0	475.0	127.6	191.2	84.0	125.0
valle	54	296.0	479.0	128.9	192.2	85.3	126.0
valle	55	298.0	482.0	130.9	195.2	87.3	130.0
valle	56	300.7	486.0	132.2	197.2	89.3	133.0
valle	57	303.3	490.0	132.2	197.2	89.3	133.0
valle	58	305.3	493.0	132.1	197.1	89.3	133.0
valle	59	308.0	497.0	132.1	198.1	89.3	133.0
valle	60	310.7	501.0	132.1	198.1	89.3	133.0
valle	61	313.3	505.0	132.8	198.1	89.3	133.0
valle	62	315.3	508.0	132.8	198.1	89.3	133.0
valle	63	318.0	512.0	132.8	198.1	90.0	133.0
valle	64	320.7	516.0	132.7	198.1	90.0	133.0
valle	65	322.7	519.0	132.7	199.1	90.0	134.0
valle	66	325.3	523.0	133.4	199.1	90.0	134.0
valle	67	328.0	527.0	133.4	199.0	90.0	134.0
valle	68	330.7	531.0	133.4	199.0	90.0	134.0
valle	69	332.7	534.0	133.4	199.0	90.0	134.0
valle	70	335.3	538.0	133.4	199.0	90.7	134.0
valle	71	338.0	542.0	133.4	200.0	90.7	134.0
valle	72	340.0	546.0	132.7	198.0	89.3	133.0
valle	73	342.7	549.0	133.3	200.0	90.0	134.0
valle	74	345.3	553.0	134.0	200.0	91.4	135.0
valle	75	347.3	556.0	142.0	212.0	107.4	159.1

### 5.3.2 Verifica a pressoflessione

**Verifica C.A. S.L.U. - File: 05\_Pali spalla esist (10b)**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo:** PERNUMIA - Pali spalla esistente

**Sezione circolare cava**

- Raggio esterno: 24 [cm]
- Raggio interno: 13 [cm]
- N° barre uguali: 14
- Diametro barre: 1.2 [cm]
- Copriferro (baric.): 2 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipo Sezione**

- Rettan.re
- Trapezi
- a T
- Circolare
- Rettangoli
- Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

**P.to applicazione N**

- Centro
- Baricentro cls
- Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**

- S.L.U.+
- S.L.U.-
- Metodo n

**Tipo flessione**

- Retta
- Deviata

Vertici: 50 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

Precompresso

**Materiali**

B450C C40/50

- $\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰
- $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰
- $f_{yd}$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>
- $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰
- $E_s$ : 200 000 N/mm<sup>2</sup>
- $f_{cd}$ : 22.67
- $E_s/E_c$ : 15
- $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8
- $\epsilon_{syd}$ : 1.957 ‰
- $\sigma_{c,adm}$ : 14.75
- $\sigma_{s,adm}$ : 255 N/mm<sup>2</sup>
- $\tau_{co}$ : 0.8667
- $\tau_{c1}$ : 2.4

M<sub>xRd</sub>: 123 kNm

$\sigma_c$ : -22.67 N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$ : 391.3 N/mm<sup>2</sup>

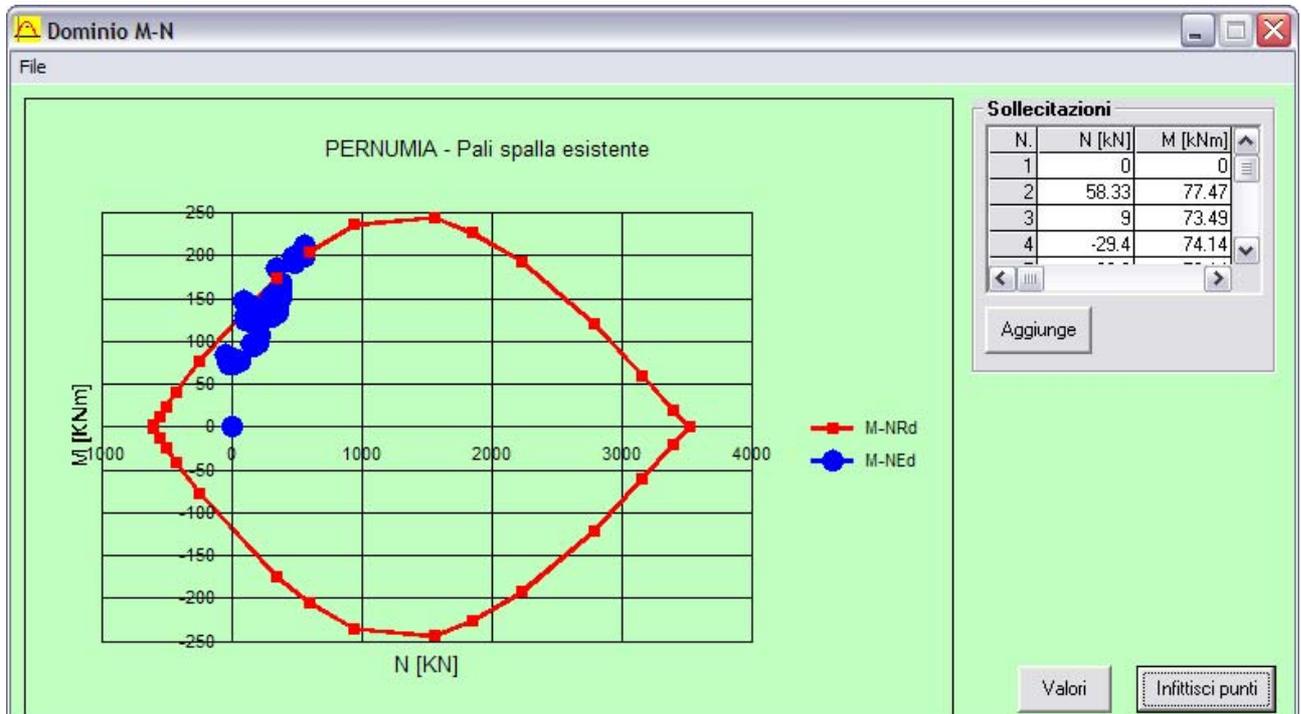
$\epsilon_c$ : 3.5 ‰

$\epsilon_s$ : 16.87 ‰

d: 46 cm

x: 7.905 x/d: 0.1718

$\delta$ : 0.7



Verifica soddisfatta.

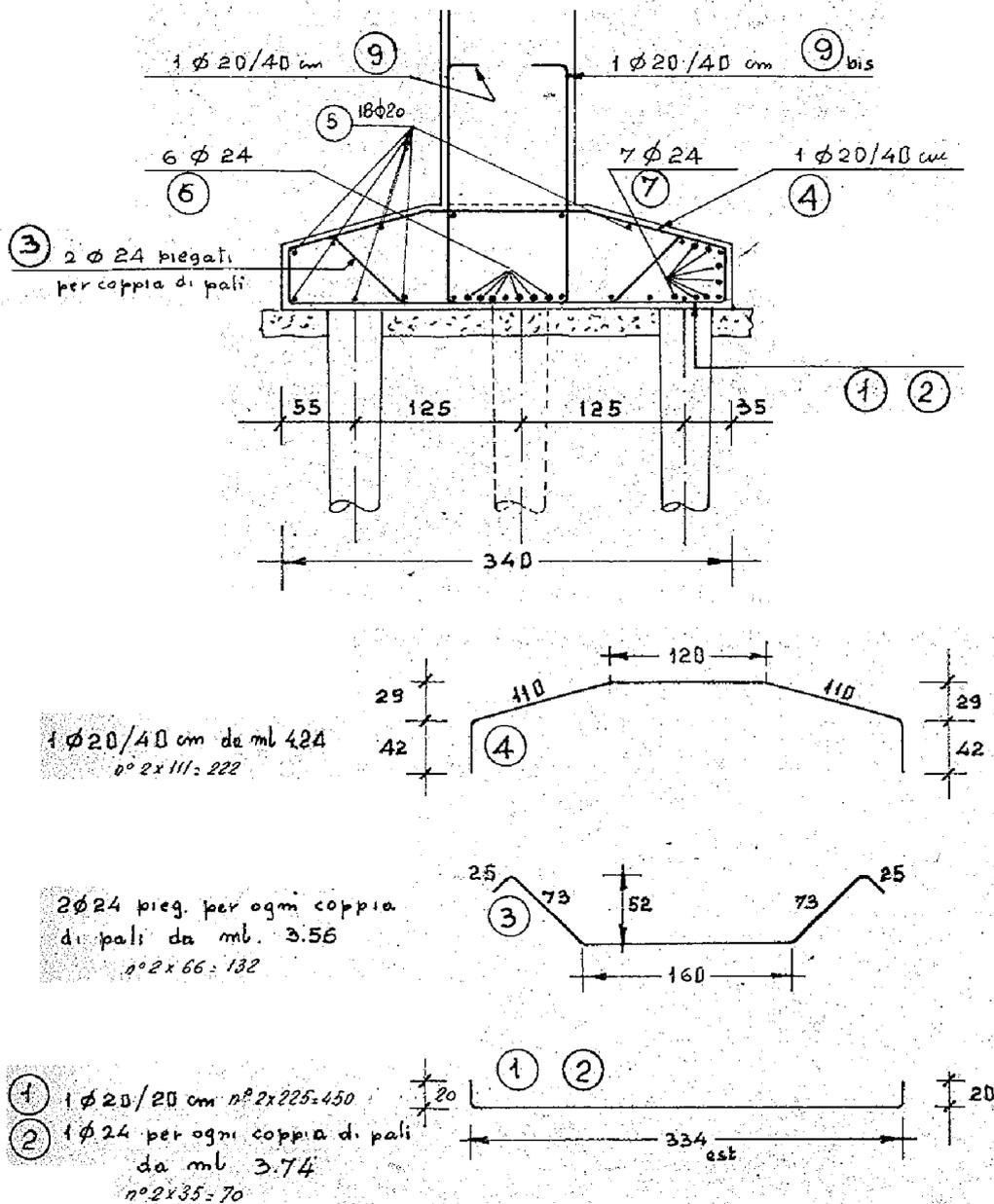
### 5.3.3 Verifica a taglio

D esterno	480	A reale	180 956
d	444	D interno	260
bw	309.8	(PI.GRECO()*(diam^2-diam_cavo^2)/4)/(d+coprif)	
d	392.8	diam/2+diam/PI.GRECO()	
Aeq	121 668		
B	310 mm	fck	40.0 N/mm <sup>2</sup>
H	413 mm	$\gamma_c$	1.50 -
		fcd	22.67 N/mm <sup>2</sup>
As,long	10.18 cm <sup>2</sup>		
	9 $\Phi$	12	
Copri ferro	20.0 mm		
d	392.8 mm		
$\sigma_{cp}$	0.000 N/mm <sup>2</sup>	N appl	0 N
k	1.714 -		
$\rho$	0.00796 -		
$V_{min}$	0.50 N/mm <sup>2</sup>		
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>79.30 kN</b>	<b>Sezioni non armate a taglio</b>	
<b>Staffe</b>			
$\Phi$	10	passo	20 cm
n° bracci	2	-	
Asw	1.57	cm <sup>2</sup>	
f <sub>yd</sub>	391.3	N/mm <sup>2</sup>	B450C
$\alpha$	90.0 °	ctg( $\alpha$ )	0.00
$\theta$	21.8 °	ctg( $\theta$ )	2.50
<b><math>V_{Rsd}</math></b>	<b>271.61 kN</b>	<b>Resistenza di calcolo a "taglio trazione"</b>	
$\alpha_c$	1.00 -		
f <sub>cd</sub>	11.33	N/mm <sup>2</sup>	
<b><math>V_{Rcd}</math></b>	<b>427.93 kN</b>	<b>Resistenza di calcolo a "taglio compressione"</b>	
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>271.61 kN</b>		

$V_{Sd,max} = 159.10$  kN

Verifica soddisfatta.

### 5.4 Piede di fondazione



Superficie di verifica .....	(1.00 m x) 0.80 m
B .....	1.80 m
As,long sup = 1Ø20/40 = .....	7.85 cm <sup>2</sup> /m
As,long inf = 2+1Ø24/1.40 m + 1Ø20/20 cm = .....	(6.46 + 3.23 + 15.70) cm <sup>2</sup> /m
As,trasv (ferri piegati) .....	Ø20/0.50 m (2/1.40 = 1.43 br.)

### 5.4.1 Sollecitazioni

Le sollecitazioni agenti sul piede della spalla sono funzione delle azioni trasmesse dei pali di fondazione alla suola in c.a. (v, § 5.3.1).

N.B.: Per tenere in conto della fessurazione e delle ridistribuzioni delle sollecitazioni al superamento del limite elastico, per la sola fase sismica si sono ridotte le sollecitazioni di un fattore pari a 1.50.

Palo	Sismica			SLU			
	N [kN]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	M [kNm]	V [kN]	
monte	1	42.7	-90.8	41.7	70.9	-219.3	143.6
monte	2	37.8	-58.0	6.4	62.3	-177.7	102.1
monte	3	38.4	-35.1	21.0	63.4	-150.1	68.0
monte	4	36.6	-35.4	19.0	60.0	-149.3	71.2
monte	5	37.7	-38.2	16.8	61.9	-154.6	75.0
monte	6	37.8	-40.0	14.6	62.2	-157.0	77.9
monte	7	37.9	-41.9	12.4	62.4	-160.8	81.4
monte	8	37.9	-43.7	10.3	62.4	-163.8	85.0
monte	9	38.0	-45.6	8.1	62.4	-166.8	88.6
monte	10	38.0	-47.9	5.9	62.5	-169.2	91.4
monte	11	38.0	-49.8	3.7	62.6	-172.3	95.0
monte	12	38.0	-51.6	1.5	62.6	-175.3	98.6
monte	13	38.0	-53.6	0.8	62.6	-178.3	102.1
monte	14	38.0	-55.8	3.4	62.6	-180.7	105.0
monte	15	38.1	-57.7	5.7	62.7	-184.5	108.6
monte	16	38.1	-59.7	8.0	62.8	-187.5	112.1
monte	17	38.1	-61.7	10.3	62.8	-190.5	115.7
monte	18	38.1	-63.6	12.6	62.9	-193.0	118.6
monte	19	38.2	-65.6	15.0	62.9	-196.0	122.1
monte	20	38.2	-67.5	17.2	62.9	-199.0	125.7
monte	21	38.1	-69.5	19.6	62.7	-202.1	129.3
monte	22	37.8	-71.4	21.9	62.1	-203.8	132.1
monte	23	41.1	-75.2	24.0	68.1	-211.8	135.7
monte	24	47.2	-53.3	5.7	77.9	-187.0	100.7
monte	25	51.4	-26.7	39.2	85.0	-154.1	57.7
valle	51	-64.8	-80.3	206.2	-96.4	-141.8	334.3
valle	52	-63.8	-82.9	208.1	-95.0	-145.7	337.1
valle	53	-60.0	-87.4	210.0	-89.3	-151.8	339.3
valle	54	-61.0	-87.7	211.4	-90.0	-153.5	342.1
valle	55	-62.4	-87.5	212.9	-92.9	-153.2	344.3
valle	56	-63.8	-88.1	214.8	-95.0	-154.2	347.1
valle	57	-63.8	-89.8	216.7	-95.0	-156.7	350.0
valle	58	-63.8	-91.0	218.1	-95.0	-158.5	352.1
valle	59	-63.8	-92.6	220.0	-95.0	-160.2	355.0
valle	60	-63.8	-94.2	221.9	-95.0	-162.7	357.9
valle	61	-63.8	-95.4	223.8	-95.0	-165.1	360.7
valle	62	-63.8	-96.6	225.2	-95.0	-166.9	362.9
valle	63	-64.3	-98.2	227.1	-95.0	-169.4	365.7
valle	64	-64.3	-99.9	229.0	-95.0	-171.8	368.6
valle	65	-64.3	-101.1	230.5	-95.7	-172.9	370.7
valle	66	-64.3	-102.2	232.4	-95.7	-175.4	373.6
valle	67	-64.3	-103.9	234.3	-95.7	-177.8	376.4
valle	68	-64.3	-105.5	236.2	-95.7	-180.2	379.3
valle	69	-64.3	-106.7	237.6	-95.7	-182.0	381.4
valle	70	-64.8	-108.3	239.5	-95.7	-184.5	384.3
valle	71	-64.8	-110.0	241.4	-95.7	-186.2	387.1
valle	72	-63.8	-111.7	242.9	-95.0	-190.1	390.0
valle	73	-64.3	-112.8	244.8	-95.7	-190.5	392.1
valle	74	-65.3	-113.9	246.7	-96.4	-192.9	395.0
valle	75	-76.7	-109.5	248.1	-113.6	-186.1	397.1

### 5.4.2 Verifica a pressoflessione

Verifica C.A. S.L.U. - File: 03b\_Suola spalla esist (05)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : **PERNUMIA - Suola valle spalla**

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	80

N°	As [cm²]	d [cm]
1	7.85	3
2	6.46	77
3	15.7	77
4	3.23	77

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma della sezione rettangolare con barre d'acciaio e asse N.

Sollecitazioni  
 S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

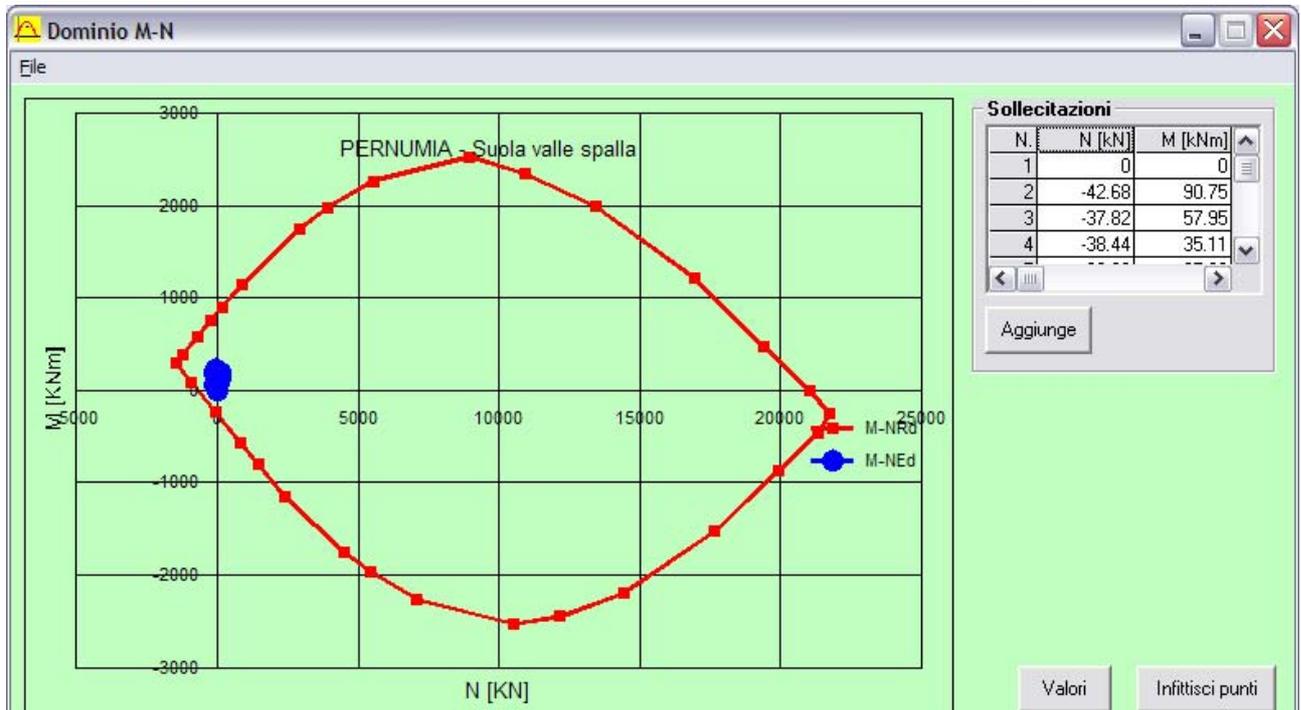
N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>o</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Materiali  
 A.L.E. C45/55  
 $\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   ‰  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   ‰  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$    $\tau_{c1}$

M<sub>xRd</sub>  kN m  
 $\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 $\delta$



Verifica soddisfatta.

## 5.4.3 Verifica a taglio

B	1 000	mm	fck	45.0	N/mm <sup>2</sup>							
H	800	mm	$\gamma_c$	1.50	-							
			fcd	25.50	N/mm <sup>2</sup>							
As,long	7.85	cm <sup>2</sup>										
	2.5	$\Phi$	20									
Copriferro	30.0	mm										
d	770.0	mm										
$\sigma_{cp}$	0.000	N/mm <sup>2</sup>	NSd	0	[N]							
k	1.510	-										
$\rho_l$	0.00098	-										
$v_{min}$	0.44	N/mm <sup>2</sup>										
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>335.33</b>	<b>kN</b>	<b>Sezioni non armate a taglio</b>									
<b>Staffe</b>					<b>Ferri piegati</b>							
	$\Phi$	0.00	passo	30	cm		$\Phi$	24	passo	50	cm	
n° bracci	8	-				n° bracci	1.43	-				
Asw	0.00	cm <sup>2</sup>				Asw	6.46	cm <sup>2</sup>				
f <sub>yd</sub>	443.5	N/mm <sup>2</sup>				f <sub>yd</sub>	443.5	N/mm <sup>2</sup>				
$\alpha$	90.0	°	ctg( $\alpha$ )	0.00		$\alpha$	45.0	°	ctg( $\alpha$ )	1.00		
$\theta$	21.8	°	ctg( $\theta$ )	2.50		$\theta$	45.0	°	ctg( $\theta$ )	1.00		
<b><math>V_{Rsd}</math></b>	<b>0.00</b>	<b>kN</b>	<b>Resistenza di calcolo a "taglio trazione"</b>				<b><math>V_{Rsd}</math></b>	<b>561.81</b>	<b>kN</b>	<b>Resistenza di calcolo a "taglio trazione"</b>		
$\alpha_c$	1.00	-										
fcd	12.75	N/mm <sup>2</sup>										
<b><math>V_{Rcd}</math></b>	<b>3 046.81</b>	<b>kN</b>	<b>Resistenza di calcolo a "taglio compressione"</b>									
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b>561.81</b>	<b>kN</b>										

$V_{Sd,max} = 397.10$  kN

Verifica soddisfatta.

### 5.5 Tirante a tergo spalla

Nel tirante a tergo spalla si mobilita una trazione/compressione funzione dello stato di sollecitazione della spalla:

-tiro di congruenza per la combinazione statica (SLU): 750 kN per cavalletto

-tiro di congruenza per la combinazione sismica: 840 kN per cavalletto

Azioni assiali resistenti del tirante:

$$N_{c,Rd} = A_{CLS} \times f_{cdCOMPR} = (500 \times 700) \text{ mm}^2 \times 15.87 \text{ MPa} = \dots\dots\dots 5\,554.5 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = A_s \times f_{yd} = 3 \times 3\varnothing 26 \times 391.3 \text{ MPa} = 3186 \text{ mm}^2 \times 391.3 \text{ MPa} = \dots\dots\dots 1\,246.7 \text{ kN}$$

### 5.6 Spalla nel piano trasversale

A causa della presenza dei tiranti a tergo, la spalla esistente subisce delle sollecitazioni nel piano orizzontale di "spanciamento".

Tali sollecitazioni sono assorbite dall'armatura orizzontale presente nella spalla e in questo particolare caso la sezione resistente coincide con la trave di testa.

Le sollecitazioni di verifica si determinano con un metodo semplificato il quale prevede l'applicazione alla trave equivalente (spalla sul piano orizzontale) di un carico uniformemente distribuito che generi una reazione pari all'azione di trazione massima nel tirante (v. Figura 5-1).

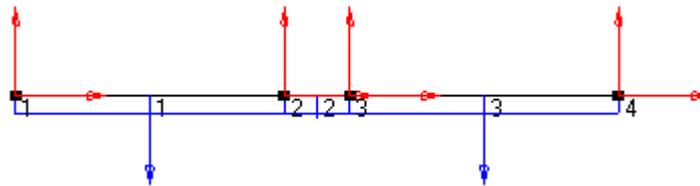
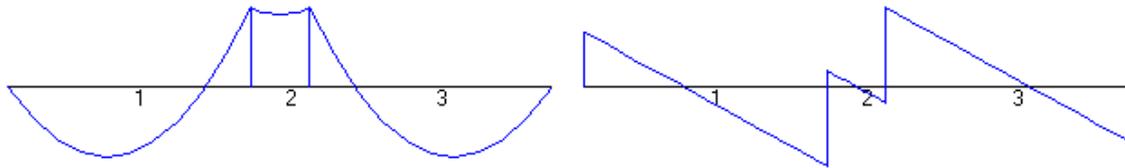


Figura 5-1 - Schema statico della trave equivalente alla spalla sul piano orizzontale

Lo schema statico della trave equivalente tiene conto della mutua distanza tra i tiranti e della loro inclinazione sul piano orizzontale:

$$R_{MAX} = R_{MAX} \times \cos \alpha = 840 \text{ kN} \times \cos (43.02^\circ) = \dots\dots\dots 604 \text{ kN}$$

Applicando un carico q unitario alla trave equivalente otteniamo:



	Reazione media [N]	M max [Nm]	M min [Nm]	V max [N]
Trave equivalente	7.835	+16.153	-18.012	8.266
Caso reale	604 000	+ 1 245 230	-1 388 500	637 230

### 5.6.1 Verifica a pressoflessione

Verifica C.A. S.L.U. - File: 06\_ParamentoSpallaTrasv (03)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: **PERNUMIA - Paramento SPALLA TRASVERSALE**

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	650	100

N°	As [cm²]	d [cm]
1	50.27	3
2	50.27	97

Tipo Sezione  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Sollecitazioni  
 S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 0 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 0

P.to applicazione N  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

Metodo di calcolo  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipo flessione  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N  
 L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali  
 A.L.E. C45/55  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  443.5 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  25.5 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  2.218 ‰  $\sigma_{c,adm}$  16 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$  260 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.9333  
 $\tau_{c1}$  2.543

M<sub>xRd</sub> 2 149 kN m  
 $\sigma_c$  -25.17 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  443.5 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  1.771 ‰  
 $\epsilon_s$  67.5 ‰  
 d 97 cm  
 x 2.48 x/d 0.02557  
 $\delta$  0.7

MSd(+) = +1 245.23 kNm < MRd(+) = +2 149 kNm

MSd(-) = -1 388.50 kNm < MRd(-) = -2 149 kNm

Verifica soddisfatta.

### 5.6.2 Verifica a taglio

B	6 500	mm	fck	45.0	N/mm <sup>2</sup>
H	1 000	mm	$\gamma_c$	1.50	-
			fcd	25.50	N/mm <sup>2</sup>
As,long	50.27	cm <sup>2</sup>			
	16	Φ	20		
Copriferro	30.0	mm			
d	970.0	mm			
$\sigma_{cp}$	0.000	N/mm <sup>2</sup>	NSd	0	[N]
k	1.454	-			
$\rho_l$	0.00077	-			
V <sub>min</sub>	0.41	N/mm <sup>2</sup>			
<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>2 595.62</b>	<b>kN</b>	<b>Sezioni non armate a taglio</b>		

V<sub>Sd,max</sub> = 637.23 kN

Verifica soddisfatta.

## 6 Ritegni sismici

### 6.1 Ritegno longitudinale

Il vincolo di ritegno sismico longitudinale viene garantito dal tratto di paraghiaia della spalla ricostruito. Su di esso agisce l'intera azione sismica la quale, nel presente caso, consiste nell'azione longitudinale trasmessa dalla campata di impalcato.

L'azione sismica è ridistribuita sul paraghiaia nuovo per metro di larghezza in funzione dell'effettiva larghezza della parte ricostruita e nuova:

$$F_{\text{LONG,EFF}} [\text{N/m}] = F_{\text{LONG,tot}} [\text{N}] \times b_{\text{PARAGH\_RICOSTR+NUOVO}} [\text{m}] = \alpha [\%] \times F_{\text{LONG,tot}} [\text{N}] / b_{\text{PARAGH,tot}} [\text{m}]$$

$$\alpha [\%] = b_{\text{PARAGH,tot}} [\text{m}] / b_{\text{PARAGH\_RICOSTR+NUOVO}} [\text{m}]$$

In base a quanto indicato in § 3.1.5, l'azione sismica totale sul ritegno risulta:

$$F_{\text{LONG,tot}} = \Sigma (m_{\text{imp},i} \times a_g \times S) =$$

$$= (1\,229\,464 \text{ kg}) \times 0.79 \text{ m/s}^2 \times 1.80 = \dots\dots\dots 1\,748.3 \text{ kN}$$

$$\alpha = 51.23 / (51.23 - 2 \times 7.2 / \cos(43.02^\circ)) = \dots\dots\dots 162 \%$$

$$F_{\text{LONG,EFF}} = 162 \% \times 1\,748.3 \text{ kN} / 51.23 \text{ m} = \dots\dots\dots 55.28 \text{ kN/m}$$

$$M_{\text{LONG,EFF}} = F_{\text{LONG,EFF}} \times h_{\text{RIT}} = 55.28 \text{ kN/m} \times 0.60 \text{ m} / 2 = \dots\dots\dots 16.58 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Superficie di verifica} \dots\dots\dots (1.00 \text{ m} \times) 0.45 \text{ m}$$

$$\text{As, long sup} \dots\dots\dots 4\emptyset 26/\text{m} = 21.24 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{As, long inf} \dots\dots\dots 4\emptyset 26/\text{m} = 21.24 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{As, trasv} \dots\dots\dots \emptyset 10/20 (2 \text{ br.})$$

### 6.1.1 Verifica a pressoflessione

MSd ..... 16.58 kNm/m

MRd ..... 332.80 kNm/m

Verifica soddisfatta.

### 6.1.2 Verifica a taglio

	1 000 mm		fck	32.0 N/mm <sup>2</sup>
H	450 mm		γC	1.50 -
			fcd	18.13 N/mm <sup>2</sup>
As,long	21.24 cm <sup>2</sup>			
	4.0 φ	26		
Copriferro	30.0 mm			
d	420.0 mm			
σcp	0.000 N/mm <sup>2</sup>		NSd	0 [N]
k	1.690 -			
ρ	0.00472 -			
V <sub>min</sub>	0.44 N/mm <sup>2</sup>			
<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>210.55 kN</b>		<b>Sezioni non armate a taglio</b>	

VSd,max = 55.28 kN

Verifica soddisfatta.

## 6.2 Ritegni trasversali

Il vincolo di ritegno sismico trasversale viene garantito da nuovi ritegni in c.a. predisposti tra i due impalcati esistenti, tra le travi nuove ed esistenti ed esternamente alle travi nuove (v. Figura 6-1).

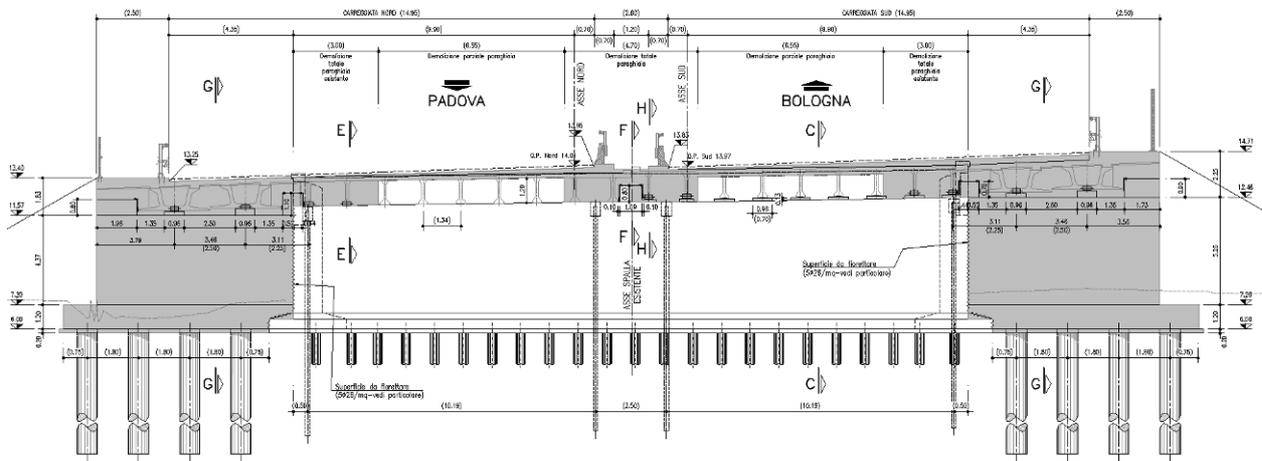


Figura 6-1 - Prospetto spalla con notazione ritegni trasversali

### 6.2.1 Sollecitazioni

In base a quanto indicato in § 3.1.5, l'azione sismica totale sul ritegno è calcolata come segue.

$$F_{TRASV,tot} = m_{imp} \times a_g \times S / (n^\circ \text{ lati considerati} \times n^\circ \text{ ritegni per lato})$$

$$M_{TRASV} = F_{TRASV,EFF} \times h_{RIT}$$

$$F_{TRASV,tot} = 614\,732 \text{ kg} \times 0.79 \text{ m/s}^2 \times 1.80 / (2 \times 2) = \dots\dots\dots 218.537 \text{ kN}$$

$$M_{TRASV} = 218.537 \times 0.60 \text{ m} / 2 = \dots\dots\dots 65.56 \text{ kNm}$$

Superficie di verifica (minore) ..... 0.70 m x 0.89 m

As,long ..... 3+3Ø26 = 2 x 15.93 cm<sup>2</sup>

As,trasv ..... Ø10/20 (2 bracci)

### 6.2.2 Verifica a pressoflessione

Verifica C.A. S.L.U. - File: 12a\_Ritegno trasversale spalla (04)

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : SOTTOVIA SP PERNUMIA - Rit trasv spalla

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	75	89	1	15.93	3
			2	15.93	86

Tipologia Sezione:  
 Rettan.re  Trapezi  
 a T  Circolare  
 Rettangoli  Coord.

Diagramma della sezione trasversale con barre e assi di riferimento.

Sollecitazioni:  
 S.L.U.  Metodo n   
 N<sub>Ed</sub> 0 kN  
 M<sub>xEd</sub> 65.56 kNm  
 M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N:  
 Centro  Baricentro cls  
 Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura:  
 Lato acciaio - Acciaio snervato

Metodo di calcolo:  
 S.L.U.+  S.L.U.-  
 Metodo n

Tipologia flessione:  
 Retta  Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali:  
 B450C C35/45  
 ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 19.83 N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
 ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 13.5 N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.8  
 τ<sub>c1</sub> 2.257

M<sub>xRd</sub> 523.7 kNm  
 σ<sub>c</sub> -19.83 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
 ε<sub>c</sub> 3.049 ‰  
 ε<sub>s</sub> 67.5 ‰  
 d 86 cm  
 x 3.717 x/d 0.04322  
 δ 0.7

MSd ..... 65.56 kNm

MRd ..... 523.70 kNm

Verifica soddisfatta.

### 6.2.3 Verifica a taglio

B	750	mm	f <sub>ck</sub>	45.0	N/mm²
H	890	mm	γ <sub>c</sub>	1.50	-
			f <sub>cd</sub>	25.50	N/mm²
As,long	15.93	cm²			
	3	φ	26		
Copriferro	30.0	mm			
d	860.0	mm			
σ <sub>cp</sub>	0.000	N/mm²	NSd	0	[N]
k	1.482	-			
ρ <sub>t</sub>	0.00239	-			
v <sub>min</sub>	0.42	N/mm²			
<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>273.28</b>	<b>kN</b>	<b>Sezioni non armate a taglio</b>		

V<sub>Sd,max</sub> = 238.537 kN

Verifica soddisfatta.

## 7 Spostamenti

### 7.1 Perdita d'appoggio

Data la trasmissione delle azioni orizzontali e la particolare disposizione dei ritegni sismici, si verificano gli spostamento controllando solo che non avvenga la perdita d'appoggio.

$$\delta_{\text{varchi}} = 2 \times 50 \text{ mm} = \dots\dots\dots 100 \text{ mm}$$

$$B \text{ appoggio singolo} \dots\dots\dots \sim 700 \text{ mm}$$

La verifica è soddisfatta.

### 7.2 Escursioni termiche

In base a quanto riportato nel paragrafo § 3.1.2, si ottiene:

$$\delta_{\text{term}} = 5.82 \text{ mm} - (-4.00 \text{ mm}) = \dots\dots\dots 9.82 \text{ mm}$$