

LAVORO:

**D.M. 49/2018 - INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL  
PONTE MASIERA SUL FIUME SENIO AL KM 5+274 DELLA S.P. 9 MASIERA  
CUP J33D18000100001**

**Progetto Definitivo - Esecutivo**

COMMESSA: **J21001**

COMMITTENTE:

**Provincia di Ravenna  
Settore lavori pubblici, manutenzione  
e gestione rete stradale  
Piazza dei Caduti per la libertà, 2  
Ravenna**

*Dirigente e RUP: Ing. Paolo Nobile*

TITOLO:

Relazione di verifica struttura esistente e valutazione sicurezza  
Relazione di progetto interventi di adeguamento

PROGETTISTA:

Ing. Michelangelo Micheloni

COLLABORATORI PER LA PROGETTAZIONE:

Arch. Anna Livia Ciuffreda

Dott. Mattia Faiulo

COLLABORATORE PER ELABORATI ECONOMICI:

Arch. Leonardo Donatelli

2		
1		
0	EMISSIONE	1 agosto 2022
REV	DESCRIZIONE	DATA
Il presente documento è di proprietà dello Studio Micheloni Srl Le proprietà intellettuali sono dei rispettivi autori. A termini di legge ogni diritto è riservato.		ELABORATO: <b>DOC.04</b>
		N. PAG 55

## **INDICE GENERALE**

1.	PREMESSA	4
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
3.	DESCRIZIONE DEL PROCESSO CONOSCITIVO	9
3.1.	FASI DEL PROCESSO CONOSCITIVO	9
3.2.	LIVELLO DI CONOSCENZA	9
4.	QUADRO NORMATIVO ATTUALE E DEL PROGETTO ORIGINALE	11
5.	PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI IN OPERA	14
5.1.	I MATERIALI ESISTENTI	14
5.2.	I MATERIALI NUOVI PER CEMENTO ARMATO	15
5.3.	I MATERIALI NUOVI PER CARPENTERIE METALLICHE	16
5.4.	I MATERIALI NUOVI PER RINFORZI CON MATERIALI COMPOSITI	17
6.	INTERVENTI DI RISANAMENTO DEL CALCESTRUZZO	20
7.	I CARICHI ADOTTATI PER LE VERIFICHE DELL'OPERA CON LE ATTUALI NORME	22
7.1.	I CARICHI DELLE AZIONI PERMANENTI E DA TRAFFICO	22
7.2.	I CARICHI DOVUTI ALL'AZIONE DEL VENTO	24
7.3.	I CARICHI DELLE AZIONI SISMICHE	25
7.4.	LE COMBINAZIONI DI CARICO ED I COEFFICIENTI PARZIALI	27
8.	I MODELLI DI CALCOLO E LE CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE	28
8.1.	DESCRIZIONE DEL MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI	28
8.2.	LE CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE SULL'IMPALCATO	29
8.2.1.	LE CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE SULLE TRAVI	29
8.3.	LE CARATTERISTICHE DELLA SOLLECITAZIONE SU APPOGGI E PILE	33
9.	LE VERIFICHE DI RESISTENZA DELLE STRUTTURE	34
9.1.	LE VERIFICHE DI RESISTENZA DELLE TRAVI	34
9.2.	LE VERIFICHE DI RESISTENZA DELLE SOLETTE	40

---

9.3.	LE VERIFICHE DI RESISTENZA DELLE PILE	44
10.	LE VERIFICHE DELLE FONDAZIONI	47
11.	PROGETTO DI SOSTITUZIONE DEGLI APPOGGI	52
12.	CARATTERISTICHE ED AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO	53
12.1.	TIPO DI ANALISI SVOLTA	53
12.2.	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO PER L'IMPALCATO	53
12.3.	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO PER LE FONDAZIONI PROFONDE	53
12.4.	ALTRI SOFTWARE UTILIZZATI	54
12.5.	AFFIDABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO	54
12.6.	MODALITÀ DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	54
12.7.	INFORMAZIONI GENERALI SULL'ELABORAZIONE	54
12.8.	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI	54

## **1. Premessa**

La presente relazione descrive e verifica gli interventi di adeguamento funzionale e strutturale progettati per il “Ponte Masiera” in attraversamento del fiume Senio al km 5+274 della Strada Provinciale 9 nel Comune di Fusignano (RA).

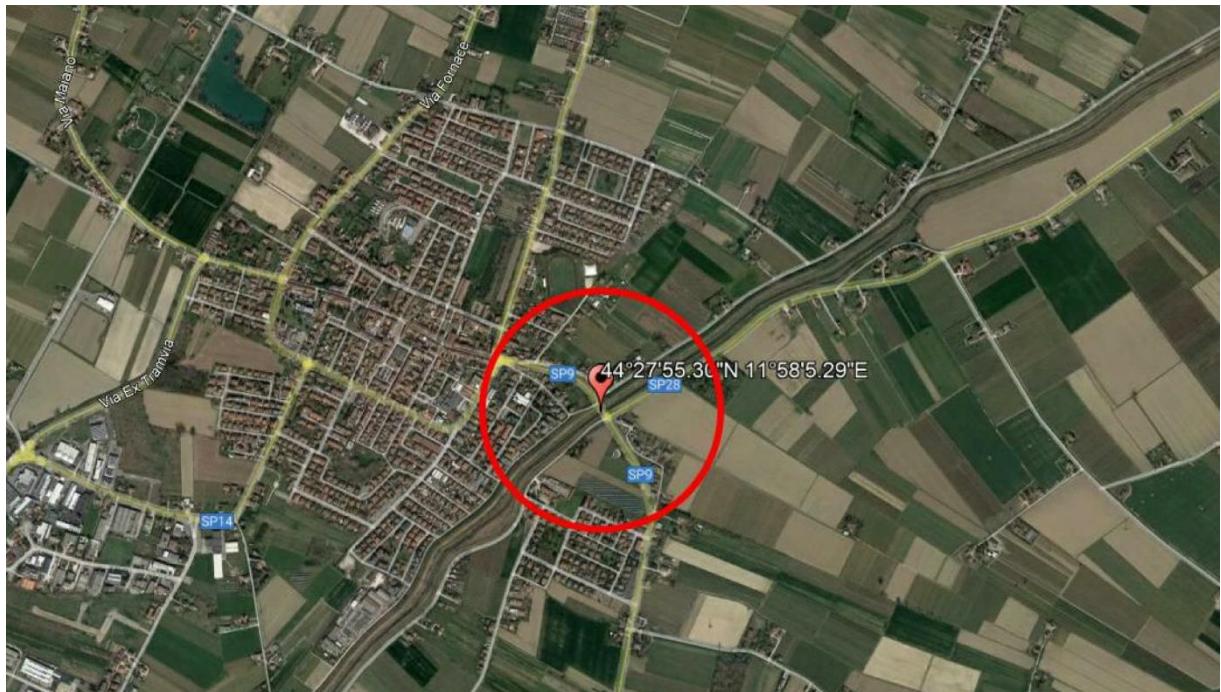
L'opera richiede un intervento di adeguamento funzionale della carreggiata con l'adeguamento della larghezza delle corsie e con l'inserimento di una sede protetta ciclo-pedonale.

Oltre a tali interventi risulta necessario l'adeguamento strutturale dell'opera sia nei confronti dei carichi mobili da traffico sia nei confronti delle azioni sismiche previste dalle vigenti norme NTC2018.

Nella presente relazione vengono descritti i calcoli eseguiti per la determinazione delle sollecitazioni agenti sull'opera ed infine vengono condotte le verifiche richieste dalla normativa.

## 2. Descrizione dell'opera

Il "Ponte Masiera" in attraversamento del fiume Senio si trova al km 5+274 della Strada Provinciale 9 nel Comune di Fusignano (RA).



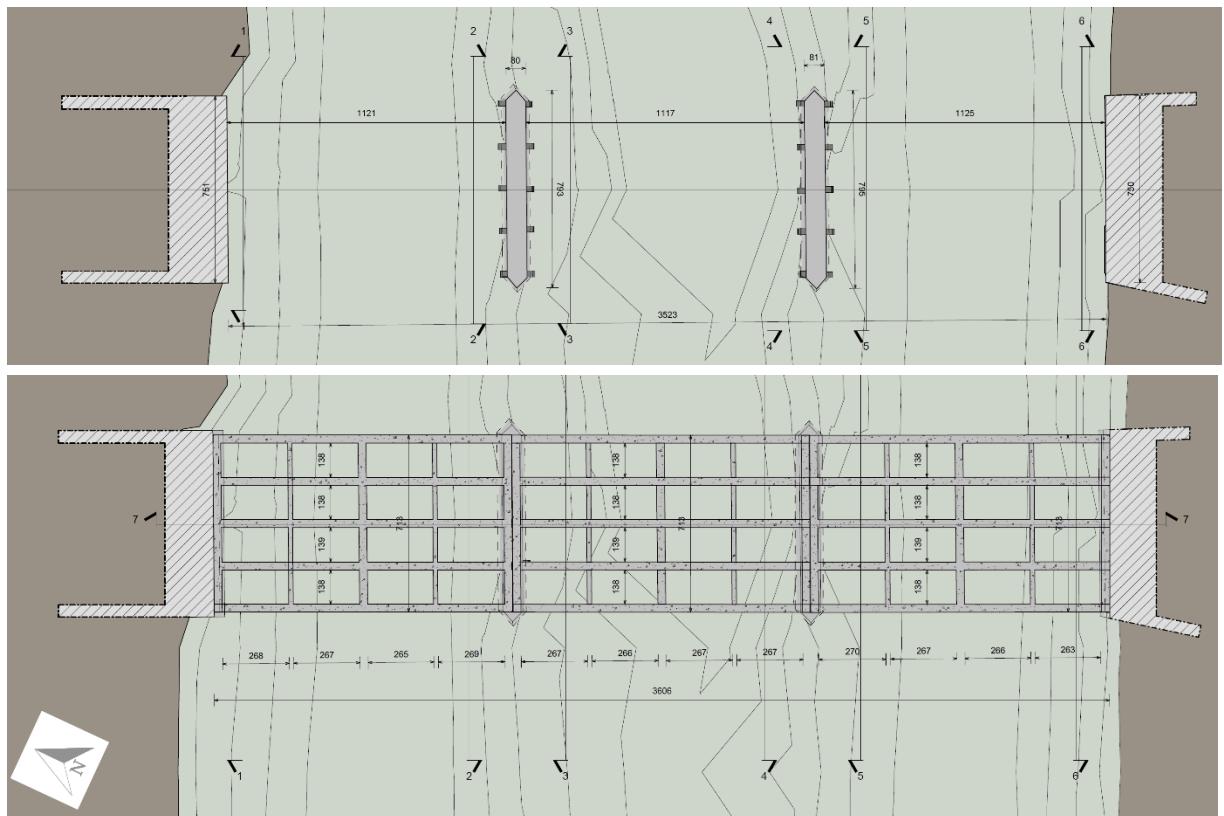
L'opera supera il sottostante fiume Senio con 3 campate, ciascuna con luce di 12 metri e larghezza di 9 metri. Le campate sono sostenute da 2 spalle laterali e da due pile in alveo.

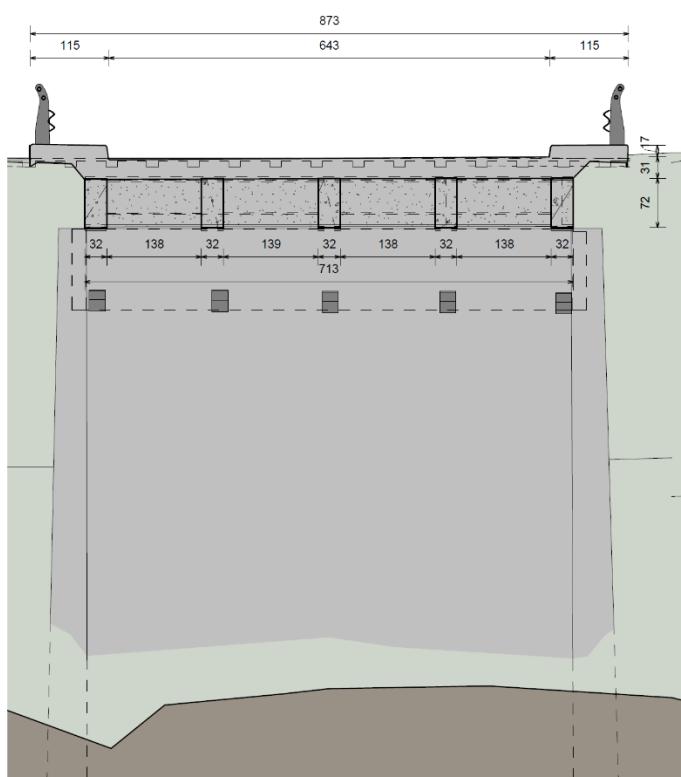
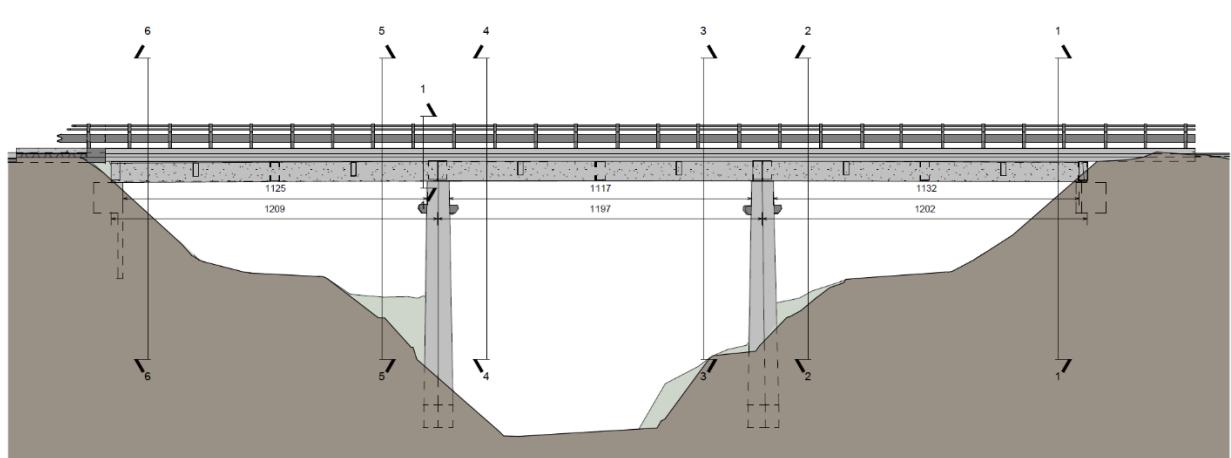
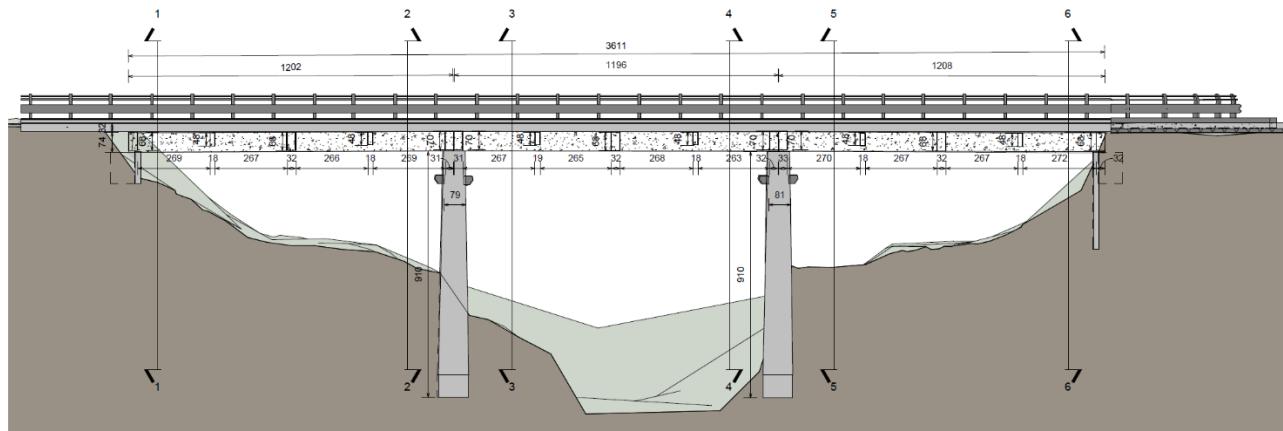


Utilizzando una tecnica combinata di laser scanner da terra e rilievo fotogrammetrico da drone con posizionamento RTK è stato possibile ricostruire una precisa nuvola di punti di rilievo delle strutture esistenti.



Da tali nuvole di punti si è quindi derivato il rilievo geometrico completo della struttura esistente, rappresentato nelle rispettive tavole di dettaglio.





L'impalcato è formato da 5 travi ad armatura lenta interrotte da 3 traversi intermedi e da dei traversi di chiusura in corrispondenza degli appoggi.

Le travi hanno una sezione con base di circa 32cm e ricalo di circa 74cm, mentre i traversi sugli appoggi e nelle mezzerie hanno sezione con base di circa 32cm e ricalo di circa 70cm ed i traversi intermedi ai quarti delle campate hanno sezione con base di circa 18cm e ricalo di circa 48cm.

La soletta d'impalcato ha uno spessore di 22cm così come risulta dai rilievi effettuati mediante carotaggio dal laboratorio incaricato, il cui report è allegato al documento Doc.03.

Le pile sono realizzate con elementi prismatici in calcestruzzo armato con sezione variabile con misure in sommità di 795x80cm, che si allargano leggermente scendendo verso il basso, ed hanno un'altezza di circa 9 m. Le spalle sono realizzate con muri in cemento armato.

Le fondazioni sono su pali che non è stato possibile indagare.

## 3. Descrizione del processo conoscitivo

### 3.1. Fasi del processo conoscitivo

Il processo conoscitivo necessario al raggiungimento di un quadro completo di dati, tale da permettere la corretta valutazione dello stato di sicurezza dell'opera, si articola attraverso varie fasi, di seguito elencate.

- Ricerca storica sull'opera
- Studio del progetto originale e dei documenti allegati
- Studio dei documenti relativi alla realizzazione dell'opera
- Rilievi geometrici in sito
- Prove sui materiali che compongono l'opera

Per ognuna delle fasi sopra elencate è stato fatto un accurato lavoro di studio i cui risultati vengono riportati di seguito nel presente documento.

### 3.2. Livello di conoscenza

Ai fini della scelta del tipo di analisi e dei valori dei fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali si prevede di utilizzare l'approccio delle attuali normative quali il DM 17.01.2018 e successive integrazioni.

Sebbene il nuovo aggiornamento delle norme tecniche non dia indicazione sul livello di conoscenza suggerito nel caso di ponti, risulta possibile far sempre riferimento a quanto riportato al paragrafo C8A.8.4 della precedente Circolare 2/2/2009 n. 617 CSLLPP, per la quale il livello di conoscenza da perseguire nel caso di ponti esistenti è quello massimo, ovvero un livello di **"Conoscenza Accurata - LC3"** a cui corrisponde un **fattore di confidenza FC = 1,00**.

Come previsto dalle vigenti norme NTC2018 e relativa circolare, tale livello di conoscenza LC3 *si intende raggiunto quando siano stati effettuati l'analisi storico-critica, commisurata al livello considerato, il rilievo geometrico, completo ed accurato in ogni sua parte, indagini esaustive sui dettagli costruttivi, prove esaustive sulle caratteristiche meccaniche dei materiali.*

Come previsto dalle vigenti norme, *per raggiungere il livello di conoscenza LC3, la disponibilità di un rilievo geometrico completo e l'acquisizione di una conoscenza esaustiva dei dettagli costruttivi sono da considerarsi equivalenti alla disponibilità di documenti progettuali originali, comunque da verificare opportunamente nella loro completezza e rispondenza alla situazione reale.*

Considerando quindi la disponibilità dei disegni del progetto originale dell'opera sono state condotte delle verifiche dimensionali e dei dettagli costruttivi a campione in modo da confermare la rispondenza dei disegni con la situazione reale.

Ecco quindi che *per gli elementi aventi funzione strutturale la geometria esterna deve essere sempre descritta in maniera la più completa possibile, allo scopo di ottenere un modello di calcolo affidabile, mentre i dettagli, spesso occultati alla vista (ad esempio la disposizione delle armature), possono essere rilevati a campione, estendendo poi le valutazioni agli altri elementi operando per analogia, anche in forza delle norme vigenti e dei prodotti in commercio all'epoca della costruzione.*

Per tale livello di conoscenza **LC3** il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1**.

## 4. Quadro normativo attuale e del progetto originale

Il quadro normativo considerato sarà rappresentato sia dalle attuali normative, per quanto riguarda i risultati finali della ricerca, ma anche dalle normative vigenti all'epoca della costruzione del ponte, necessarie per una completa comprensione del progetto dell'opera.

### Normativa vigente al momento della redazione del presente documento – Anno 2019

- D.M. Infrastrutture del 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 Consiglio Superiore Lavori Pubblici “Istruzioni per l'applicazione delle <Aggiornamento delle nuove norme tecniche per le costruzioni> di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- “Linee Guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera” approvate con Decreto del Presidente CSLLPP n. 361 del 26 settembre 2017.
- “Linee Guida per la Classificazione e Gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza ed il Monitoraggio dei Ponti Esistenti” allegate al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.88/2019, espresso dall'Assemblea Generale in data 17.04.2020 e pubblicate in data 23.04.2020.

### Normativa vigente al momento del progetto e realizzazione del ponte – Anni 1946-52

Poiché i progetti del ponte, oggi disponibili presso gli uffici della Provincia di Ravenna, riportano la data del **settembre 1946** e la data del **febbraio 1952**, è possibile considerare il seguente quadro legislativo all'epoca vigente.

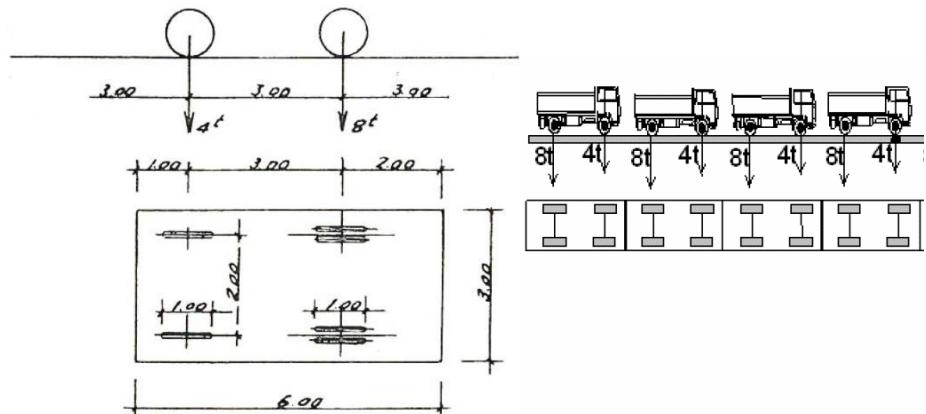
- Regio Decreto Legge del 16 novembre 1939 n. 2229 “Norme per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato”
- Normale N.8 del 15 settembre 1933 del Ministero dei Lavori Pubblici per i carichi stradali.
- Normale del 9 giugno 1945 n. 6081 del Ministero dei Lavori Pubblici per le strade di grande traffico con importanza militare

In particolare, lo schema di carico previsto dalla Normale n. 6081 del 9/6/1945 è probabilmente quello utilizzato per il progetto originale dell'opera ed identifica i seguenti schemi di carico.

- Schema 1°

Colonna indefinita di autocarri

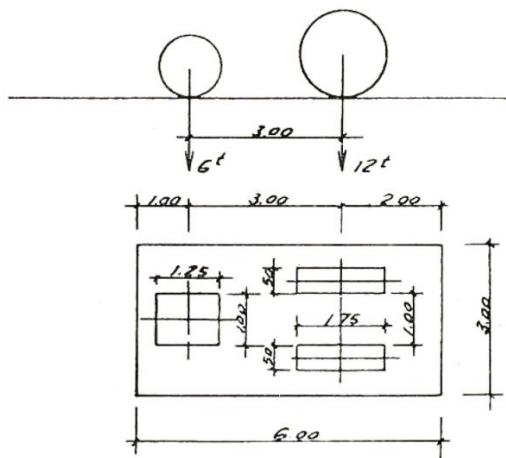
*Colonna indefinita di autocarri da 12t*



- Schema 2°

Rullo compressore isolato da 18 ton.

*Rullo compressore isolato da 18 t*



- Frenamento

La forza frenante sarà valutata pari ad 1/10 del sovraccarico costituito da una sola colonna indefinita di autocarri (schema 1).

## Confronto storico critico tra i due quadri normativi

Le principali differenze tra i due quadri normativi sono le seguenti.

- ✓ Le attuali norme prevedono verifiche secondo il metodo degli Stati Limite mentre le vecchie normative prevedevano verifiche con il metodo delle Tensioni Ammissibili.
- ✓ La Normale n. 6081 del 9/6/1945 è la prima norma del dopo guerra che abolisce lo schema di carico militare, prevedendo solo lo schema di carichi civili, che consistente in una colonna indefinita di autocarri da 12 ton (assi da 8 ton e 4 ton alternati ed equidistanti di 3 m) oltre al transito di un rullo compressore di 18 ton. Nelle attuali normative invece non c'è più il riferimento a carichi reali che sono stati sostituiti con carichi formali.
- ✓ I carichi previsti dalla normativa vigente al momento della realizzazione del ponte sono minori di quelli previsti dalle attuali norme sia per quanto riguarda i carichi verticali sia per quanto riguarda le azioni orizzontali da frenamento.
- ✓ Le nuove norme prevedono dei carichi che comprendono già l'amplificazione dinamica, mentre le vecchie norme prevedevano un'amplificazione dinamica dei carichi in base alla luce del ponte.
- ✓ Le nuove norme prevedono materiali con caratteristiche meccaniche diverse rispetto alle vecchie.
- ✓ Le vecchie norme non prevedevano una verifica sismica dell'opera.

## 5. Proprietà meccaniche dei materiali in opera

### 5.1. I materiali esistenti

Obiettivo della campagna di prove sui materiali è stato quello di eseguire delle *verifiche esaustive* in modo da ottenere un livello di “**Conoscenza Accurata - LC3**”, in base a quanto già anticipato nel precedente paragrafo 3.2.

Per quanto riguarda i materiali esistenti si rimanda alla estesa analisi e trattazione riportata nel documento Doc.03, mentre di seguito vi riporta la sintesi dei risultati.

Per quanto riguarda i calcestruzzi esistenti, si ottengono i seguenti valori di raffronto secondo le trattazioni sopra riportate, evidenziando in rosso i valori minori e quindi da considerare secondo le più recenti e restrittive “Linee Guida per la Classificazione e Gestione del Rischio, la Valutazione della Sicurezza ed il Monitoraggio dei Ponti Esistenti”.

	Valore medio $R_{cm,is}$	Valore medio / coeff. Sicurezza $R_d = R_{cm,is} / \gamma_m$	Valore caratteristico $R_{ck,is}$ (linee guida cls in opera)	Valore caratteristico $R_{ck,is}$ (linee guida ponte esistenti)
Pile e spalle	29.92	19.94	22.92	22.25
Impalcato	22.81	15.20	15.04	14.89
Solette	26.19	17.46	15.22	14.09

Quindi, secondo le linee guida sui ponti esistenti, è quindi lecito eseguire le verifiche considerando i valori medi divisi per i fattori di sicurezza. In realtà tali valori sono molto simili ai valori caratteristici, ovvero per l’impalcato praticamente coincidono nel valore  $R_{cm,is}/\gamma_m = R_{ck,is} = 15$  MPa.

Quindi si ottengono i seguenti valori da inserire nelle verifiche:

- Impalcato               $R_d = R_{cm,is}/\gamma_m = R_{ck,is} = 15$  MPa
- Solette                   $R_d = R_{cm,is}/\gamma_m = 17$  MPa
- Pile e spalle             $R_d = R_{cm,is}/\gamma_m = 20$  MPa

Per quanto riguarda le barre di armatura da cemento armato esistenti, considerando i valori delle norme dell'epoca, i valori risultanti dalle prove sulle barre prelevate in situ e i valori di letteratura è lecito considerare i seguenti valori per le verifiche di resistenza della presente relazione.

- $f_y = 318 \text{ MPa}$ ;
- $f_t = 430 \text{ MPa}$

## 5.2. I materiali nuovi per cemento armato

Per quanto riguarda i nuovi materiali per strutture in cemento armato previsti dal progetto si riportando di seguito le relative caratteristiche.

Tutti i calcestruzzi prodotti devono corrispondere alle Norme Tecniche per le costruzioni in conglomerato cementizio di cui alla legge 1086 del 5 novembre 1971, al D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare ed alle norme tecniche in vigore all'atto della costruzione ed avere inoltre tutti i requisiti richiesti dal Committente e dalla D.L., nonché dalle norme UNI, ENV, ecc. in materia.

Le norme di esecuzione descritte nei punti seguenti si riferiscono a tutti indistintamente i calcestruzzi impiegati nelle opere.

### Calcestruzzo C35/45, da utilizzare per fondazioni e spalle.

- Calcestruzzo a prestazione garantita (UNI EN 206-1, UNI11104)
- Resistenza caratteristica cilindrica  $f_{ck} = 35 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$
- Resistenza caratteristica cubica  $R_{ck} = 45 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$
- Classe di esposizione XC4
- Classe di consistenza S4

### Calcestruzzo per magrone C12/15

- Calcestruzzo a prestazione garantita (UNI EN 206-1)
- Resistenza caratteristica cilindrica  $f_{ck} = 12 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$
- Resistenza caratteristica cubica  $R_{ck} = 15 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$

In merito alla durabilità dell'opera le strutture in cemento armato dovranno rispettare le classi di esposizione considerate in conformità con quanto previsto dalla UNI EN 206 e dalla UNI EN 1991-1-1.

Le barre d'armatura per le strutture in cemento armato devono rispondere alle caratteristiche richieste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M.17/01/2018 e relativa circolare, che specificano le caratteristiche tecniche, i metodi di prova, le condizioni di prova e il sistema per l'attestazione di conformità per gli acciai destinati alle costruzioni in cemento armato che ricadono sotto la Direttiva Prodotti CPD (89/106/CE).

L'acciaio deve essere qualificato all'origine, deve portare impresso, come prescritto dalle suddette norme, il marchio indelebile che lo renda costantemente riconoscibile e riconducibile inequivocabilmente allo stabilimento di produzione.

### Acciaio per getti in barre ad aderenza migliorata B450C

- Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} = 450 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$
- Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} = 540 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$

### **5.3. I materiali nuovi per carpenterie metalliche**

Per quanto riguarda i nuovi materiali per strutture in carpenteria metallica previsti dal progetto si riportando di seguito le relative caratteristiche.

#### Acciaio da carpenteria metallica: classe minima S355

- Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} = 510 \text{ N/mm}^2$

Bulloni con caratteristiche dimensionali secondo UNI 4016:2011 ("Viti a testa esagonale con gambo parzialmente filettato - Categoria C") con filettatura metrica a passo grosso e classe di resistenza **10.9** secondo UNI 898-1:2013

Dadi con caratteristiche dimensionali secondo UNI 5592:1968 ("Dadi esagonali normali – filettatura metrica ISO a passo grosso e a passo fine Categoria C") con filettatura metrica a passo grosso e classe di resistenza **10** secondo UNI 898-1:2013  
Rondelle con caratteristiche dimensionali secondo UNI EN 14399-5 ("Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico – Parte 5: Rondelle piane").

In acciaio C50 secondo UNI 10083-2:2006 temprato e rinvenuto HRC 32-40.

Le saldature eseguite in officina ed in cantiere dovranno rispettare le prescrizioni NTC2008 (DM 14/01/2008 e Circ. n.617 02/02/2009).

Le saldature saranno eseguite secondo la norma UNI EN ISO 3834-1:2006.

Per le saldature a completa penetrazione i lembi di saldatura devono essere preparati secondo la norma UNI 11001:1962.

Per quanto riguarda l'identificazione della classe di esecuzione delle carpenterie metalliche si fa riferimento all'Eurocodice 0 e alla norma EN 1090.

- Classe di conseguenza CC: **CC2**  
in quanto con conseguenze medie per la perdita di vite umane, conseguenze considerevoli in termini economici, sociali o ambientali
- Classe di servizio SC: **SC2**  
in quanto componente strutturale suscettibile a carichi dinamici
- Categoria di produzione PC: **PC2**  
in quanto componenti saldati fabbricati con classe di acciaio uguale o superiore alla S355

Come conseguenza la classe di esecuzione viene identificata secondo il seguente schema.

Determinazione della classe di esecuzione: (EXC Execution Classes).

Consequence Classes		CC1		CC2		CC3	
Service Categories		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Production Categories	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3*	EXC3*
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3*	EXC4

\* EXC4 should be applied to special structures or structures with extreme consequences of a structural failure as required by national provision

La classe di esecuzione identificata è quindi EXC3.

## 5.4. I materiali nuovi per rinforzi con materiali compositi

Per quanto riguarda i nuovi materiali compositi per il rinforzo di strutture in cemento armato si prevede l'utilizzo di compositi fibrorinforzati in carbonio C-FRP formati da

tessuti in fibra di carbonio impregnati con resina epossidica tixotropica bicomponente strutturale.

Viste le alte prestazioni richieste dal rinforzo si prevede di utilizzare più strati di tessuto di carbonio da 500 gr/mq.

In merito alle caratteristiche del tessuto in fibra di carbonio vengono considerati i seguenti valori per il tessuto secco.

- Peso del tessuto: 500 gr/mq
- Modulo elastico: 240 GPa
- Resistenza a trazione: 3800 MPa
- Spessore di calcolo: 0,273 mm
- Numero di strati: da 1 a 3

Mentre per il composito vengono considerati i seguenti valori.

- Classe del rinforzo 210C (tab. 4 delle linee guida qualif. CSLLP)
- Modulo elastico a trazione nella direzione delle fibre 210 GPa
- Resistenza a trazione nella direzione delle fibre 2700 MPa

Considerando delle strisce alte 20cm e 30cm disposte all'intradosso delle travi oppure in fasciatura continua si ottengono quindi le seguenti caratteristiche del composito utilizzate per le verifiche.

$t_f$	0.273 mm	spessore striscia
$b_f$	200 e 300 mm	larghezza striscia
$n_f$	da 1 a 3	numero strisce
$E_{fib}$	240000 N/mm <sup>2</sup>	elasticità fibre
$\alpha_{fE}$	0.875	coef. ridut. rigidezza
<b><math>E_f</math></b>	<b>210000 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>elasticità composito</b>
$f_{fib}$	3800 N/mm <sup>2</sup>	resistenza fibre
$\alpha_{ff}$	0.711	coef. ridut. resist.
<b><math>f_{fk}</math></b>	<b>2700 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>resistenza composito</b>

### Nota di installazione del sistema

Dopo aver effettuato la preparazione del supporto, secondo le fasi identificate in precedenza, e dopo aver preparato i prodotti, secondo le fasi identificate in precedenza, la posa deve essere effettuata secondo le seguenti fasi e modalità.

1. stesura sulla superficie da rinforzare, mediante cazzuola e/o rullino a pelo corto, di resina epossidica bicomponente per la posa;

2. pre-impregnazione del tessuto in fibra di carbonio mediante immersione nelle vaschette rettangolari riempite con la resina pre-impregnazione;
3. posizionamento del tessuto in fibra di carbonio sulla superficie, favorendo l'impregnazione dei tessuti esercitando un'energica pressione con l'apposito rullino metallico.
4. stesura sulla superficie da rinforzare, mediante cazzuola e/o rullino a pelo corto, di resina epossidica bicomponente per la posa;
5. ripetizione del ciclo di cui ai punti precedenti per ognuno degli strati di CFRP previsti nel progetto;

Dopo la completa asciugatura del rinforzo (7 giorni) possono essere applicate eventuali finiture quali intonaci, rivestimenti, vernici, ecc, avendo cura di non forare o danneggiare meccanicamente i rinforzi in fibra di carbonio.

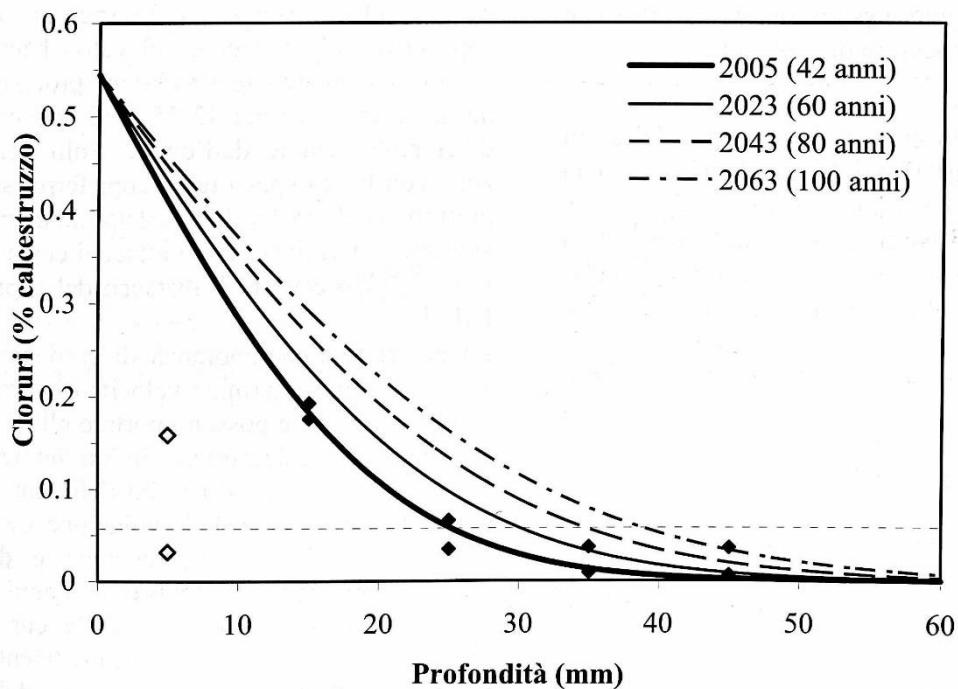
## 6. Interventi di risanamento del calcestruzzo

A seguito dell'analisi delle prove sui calcestruzzi risulta quindi importante intervenire con un profondo ed esteso intervento di risanamento corticale del calcestruzzo che permetta di bloccare il fenomeno di degrado e garantire che l'attuale situazione di verifica delle sezioni resistenti permanga nel tempo.

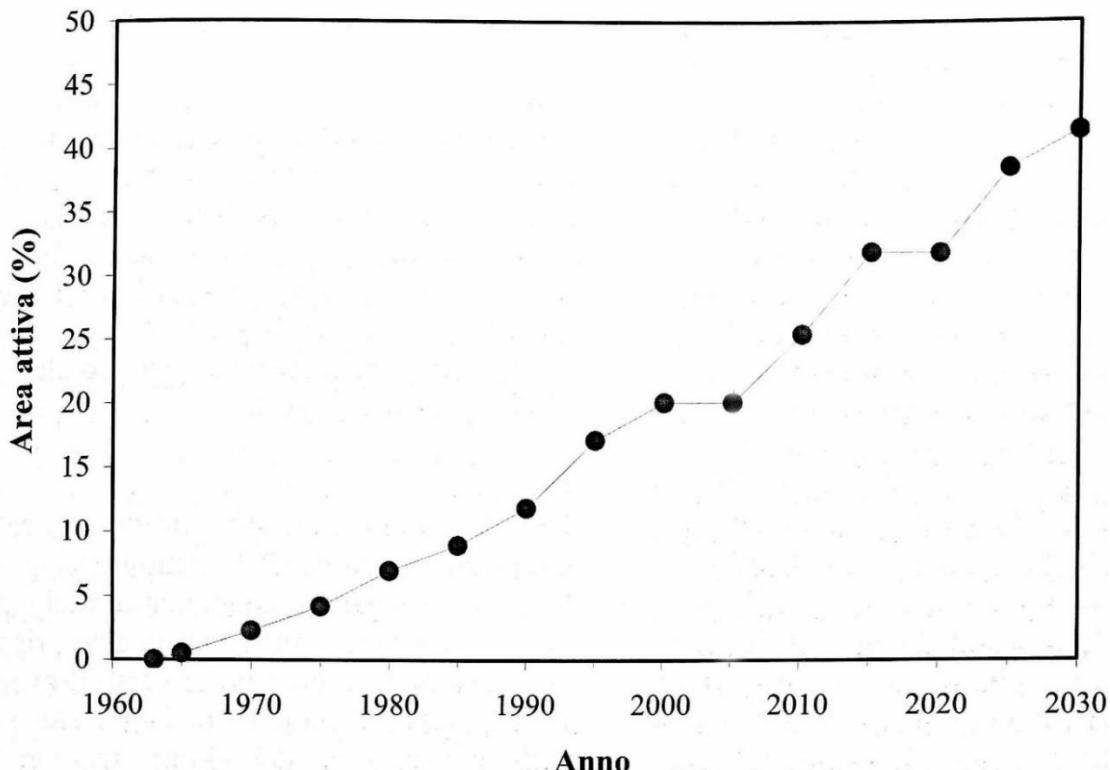
Infatti in base a dati di letteratura è possibile verificare che mentre la profondità di carbonatazione di attacco dei cloruri si stabilizza quando raggiunge una profondità critica superiore ai 40-50mm. la superficie di area attiva soggetta a corrosione e deterioramento continua invece ad aumentare in modo lineare.

In realtà nel nostro caso abbiamo identificato che la profondità di carbonatazione ed attacco dei cloruri è ben più profonda arrivando a circa 7÷8 cm.

Nel seguente grafico di letteratura viene mostrato come la profondità di attacco da parte dei cloruri si stabilizzi negli anni, soprattutto una volta raggiunta una profondità superiore ai quaranta millimetri.



Per quanto riguarda invece la percentuale di area interessata dall'innesto alla corrosione, si ha invece un andamento lineare nel tempo e quindi col passare degli anni si ha un costante aumento della corrosione e del deterioramento, come mostrato nel seguente grafico di letteratura.



I dati sopra riportati evidenziano quindi l'importanza di bloccare il fenomeno corrosivo allo stato attuale, in modo che le verifiche di resistenza condotte abbiano valore non solo nell'immediato, ma risultino valide anche negli anni a venire a seguito di un intervento che va a bloccare l'avanzamento del deterioramento e quindi della perdita di caratteristiche meccaniche.

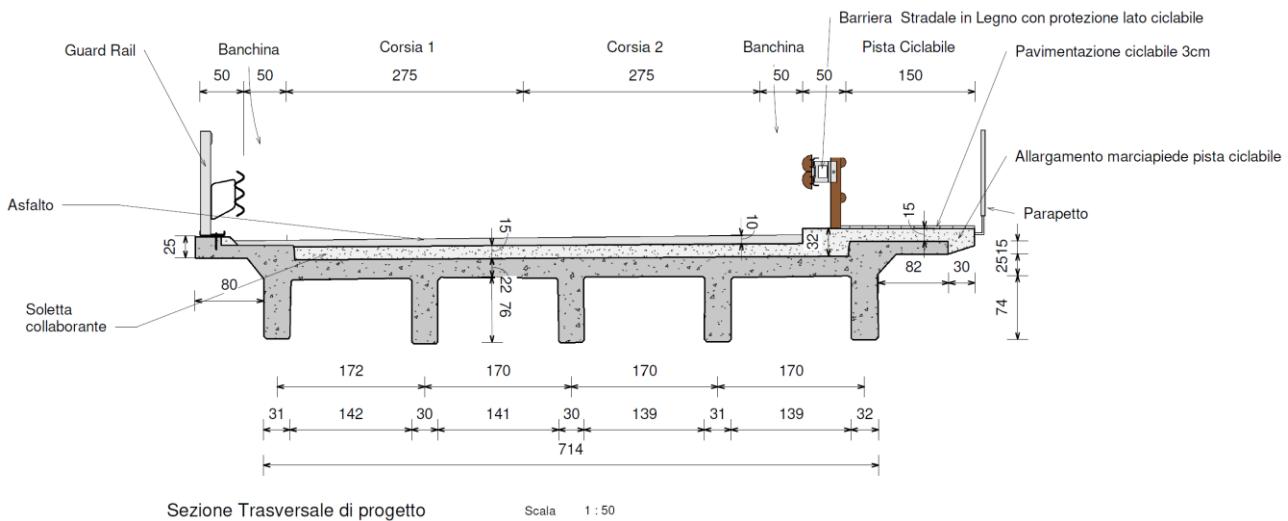
Per quanto riguarda la protezione delle strutture nei confronti della loro futura durabilità si prevede di dimensionare gli spessori dei copriferri considerando un **ambiente aggressivo** in riferimento alle condizioni ambientali definite al § 4.1.2.2.4.2 delle NTC2018.

Di conseguenza in base alla tabella C4.1.IV della Circolare NTC considerando la presenza di un calcestruzzo con resistenza inferiore a  $C_0$  ed un ambiente aggressivo si ottiene un **copriferro minimo pari a 35mm**.

## 7. I carichi adottati per le verifiche dell'opera con le attuali norme

### 7.1. I carichi delle azioni permanenti e da traffico

Per la verifica dell'opera sono stati considerati i seguenti carichi così come risultanti dalla geometria della struttura e come definiti al paragrafo 2.5.1.3 e al paragrafo 5.1 delle NTC2018.



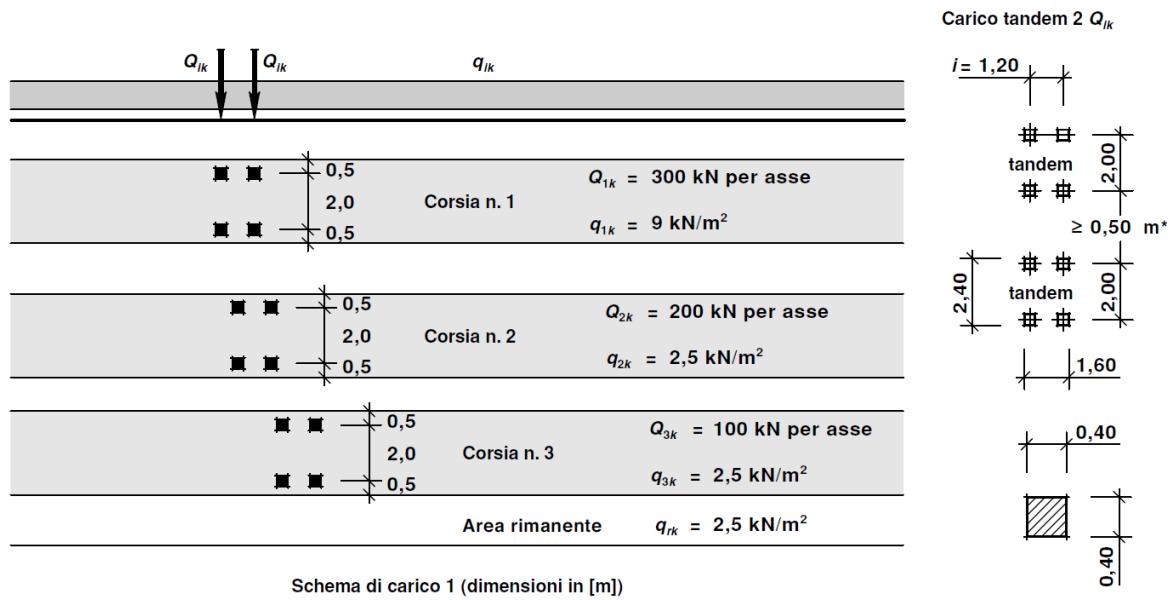
- **Permanenti G**

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (**G1**);
  - Soletta strutturale esistente ( $\gamma = 25\text{kN/m}^3$ )  
con spessore 22cm. 5,50 kN/m<sup>2</sup>
  - Soletta strutturale nuova ( $\gamma = 25\text{kN/m}^3$ )  
con spessore 15cm. 3,75 kN/m<sup>2</sup>
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (**G2**);
  - Pacchetto di asfalto ( $\gamma = 22\text{kN/m}^3$ ) spessore medio 7cm. 1,54 kN/m<sup>2</sup>

- **Variabili Q da traffico**

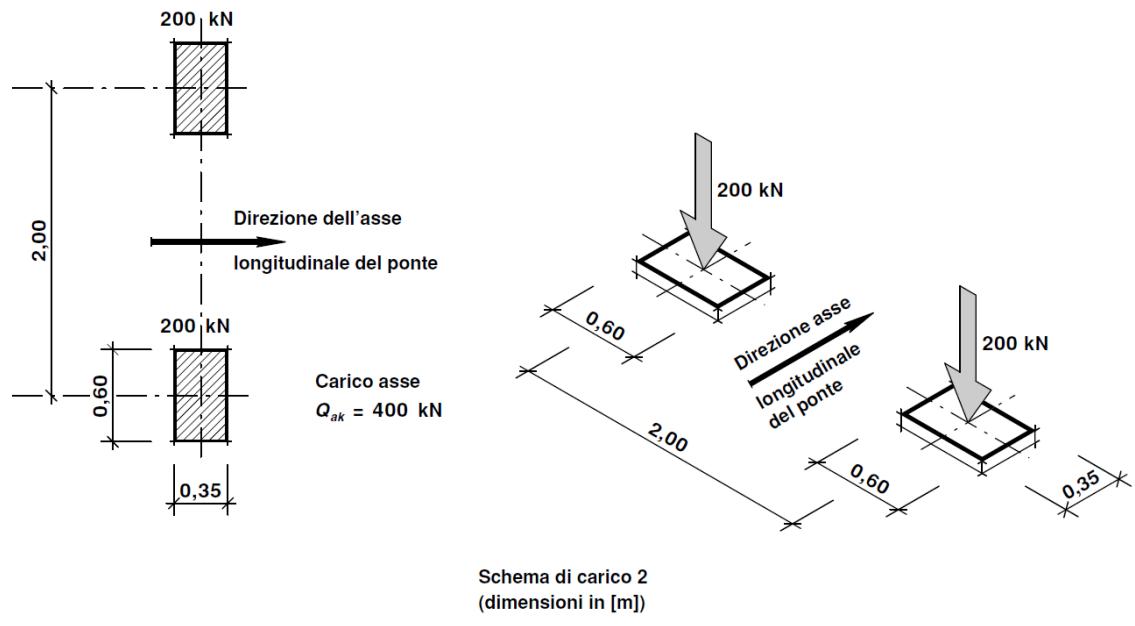
- Sovraccarichi da traffico per un ponte di prima categoria così come identificati al paragrafo 5.1.3.3.5 delle NTC2018.

I carichi variabili considerati si riferiscono ai ponti di prima categoria. Gli schemi di carico applicati sono lo schema 1 e lo schema 2. Si riporta di seguito lo schema di carico 1:



\* per  $w_i \leq 2,90 \text{ m}$

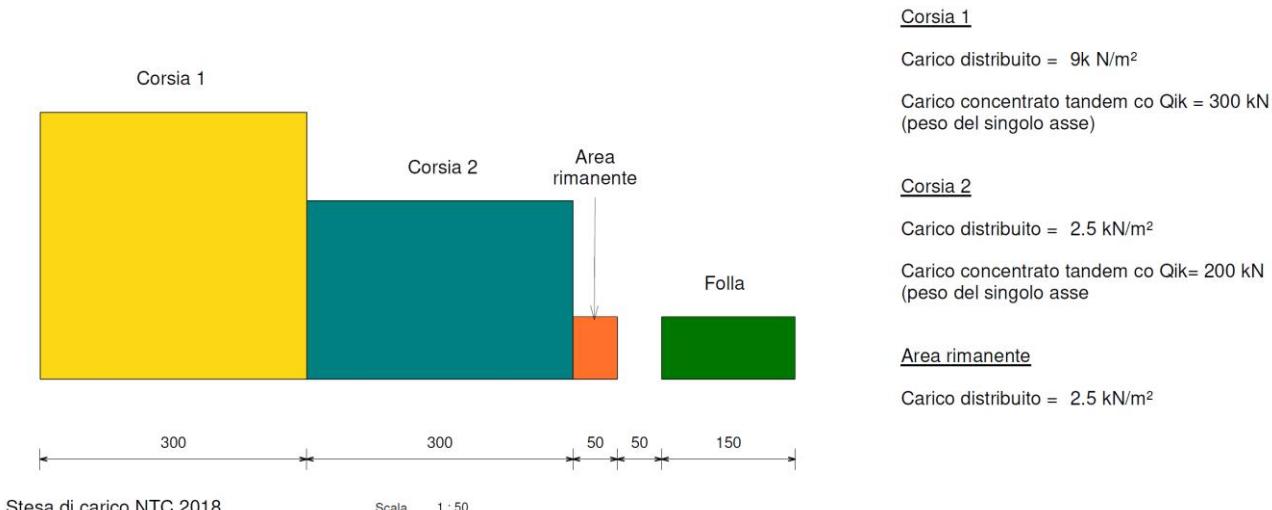
Si riporta quindi lo schema di carico 2:



Lo schema 1 è usato per le verifiche globali delle strutture principali mentre lo schema 2 è utilizzato per la verifica locale della soletta di impalcato.

Il ponte in oggetto presenta una larghezza utile di impalcato pari a 6.50 m, di conseguenza si prevedono due stese di carico con una parte rimanente pari a 0.50 m. A fianco si trova la pista ciclo-pedonale protetta con larghezza 1,5m.

Lo schema di carico adottato è quindi il seguente



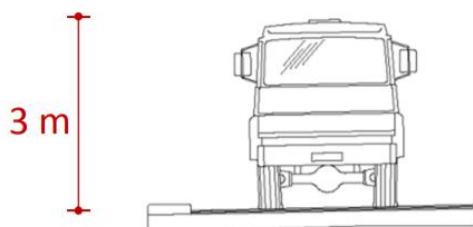
- Per quanto riguarda i **carichi orizzontali** da traffico sono state considerate le azioni del frenamento per un ponte di 1° categoria individuate al paragrafo 5.1.3.5 del DM 17.01.2018.

Nel caso in questione si considera la seguente azione

$$V = 0.6 \cdot (2 \cdot Q_1) + 0.1 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L = 360 \text{ kN} + 97 \text{ kN} = \mathbf{457 \text{ kN}}$$

## 7.2. I carichi dovuti all'azione del vento

Per quanto riguarda i **carichi orizzontali** dovuti al vento si considera la condizione in cui una colonna di mezzi alti 3 metri sta transitando sul ponte ed è investita dal vento di progetto.



Oltre ai 3m della colonna convenzionale di automezzi si considera l'ingombro della struttura del ponte pari a circa 1 metro per un ingombro totale con altezza 4 metri.

L'azione del vento viene calcolata a 10 metri di altezza rispetto al livello del terreno con una categoria di esposizione II ottenendo così un coefficiente di esposizione pari a:  $c_e=2.35$

Si considera inoltre un coefficiente di pressione pari a  $c_p=2$ .

$q_r = 391 \text{ N/m}^2$  considerando la velocità di riferimento  $v_r = 25 \text{ m/s}$  per la regione Emilia-Romagna

$$p = c_e \times c_p \times q_r = 2,35 \times 2.00 \times 391 \text{ N/m}^2 = 1.838 \text{ kN/m}^2$$

Considerando l'ingombro di 4 m e valutando l'azione allo stato limite ultimo abbiamo:

$$q_{Ed} = p \times 4 \text{ m} \times 1.5 = 11.03 \text{ kN/m}$$

Il taglio massimo che deve assorbire ciascuna **pila** è quindi pari a:

$$V_{Ed} = q_{Ed} \times L_{inf} = 11.03 \text{ kN/m} \times 12 \text{ m} / = 132,4 \text{ kN}$$

Il taglio massimo che deve assorbire ciascuna **spalla** è quindi pari a:

$$V_{Ed} = q_{Ed} \times L_{inf} = 11.03 \text{ kN/m} \times 6 \text{ m} / = 66,2 \text{ kN}$$

### 7.3. I carichi delle azioni sismiche

Per quanto riguarda i **carichi orizzontali** da sisma viene considerata un'azione con una vita nominale  $V_n=50$  anni e ad un fattore d'uso IV con  $C_u=2.0$  essendo il ponte lungo una strada provinciale.

Purtroppo, non è stato possibile eseguire delle indagini geofisiche profonde a causa della non disponibilità dei luoghi, tuttavia sono state condotte delle prove di superficie che hanno riportato una velocità pari a 274 m/s, che quindi collocherebbe il terreno in **categoria C**, che corrisponderebbe anche alla stratigrafia di terrenti a grana grossa mediamente addensati individuati da un sondaggio effettuato nell'area.

Le coordinate geografiche del sito, e che verranno utilizzate per le valutazioni sismiche sono:

**44.46537°N - 11.96820° E**

La pericolosità sismica può essere quindi valutata considerando:

Vita nominale dell'opera,	$V_n = 50$ anni;
Classe d'uso,	$C_u = IV$ ;
Vita di riferimento,	$V_r = 100$ anni.
Il sottosuolo di	categoria sismica C

Si ottengono quindi i seguenti parametri dell'azione sismica

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL**

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	120	0.096	2.439	0.287
SLD	201	0.121	2.460	0.286
SLV	1898	0.286	2.412	0.308
SLC	2475	0.315	2.394	0.315

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.286 g
$F_o$	2.412
$T_c^*$	0.308 s
$S_s$	1.286
$C_c$	1.549
$S_T$	1.000
q	1.200

Per quanto riguarda le azioni sismiche viene considerata la massa globale dell'impalcato, della spalla e del terreno sopra di essa, amplificata per  $a_g \cdot S$ , dove i parametri sismici sono stati in precedenza identificati.

L'accelerazione sismica su suolo rigido vale quindi:

$$a_{\max} = a_g \cdot S = 0,224 \text{ g} \cdot 1,370 \approx 0,3069 \text{ g}.$$

Considerando il peso G del ponte, l'azione sismica massima in direzione longitudinale vale:

$$E_x = G \times 0,3069$$

Avendo calcolato il peso dell'impalcato e della nuova soletta di rinforzo mediante il modello FEM per un peso pari a 4640 kN e avendo stimato un peso del plinto di ancoraggio pari a 160 kN in un totale pari a **G = 4800 kN** si ottiene la seguente azione orizzontale.

$$E_x = 4800 \times 0,3069 = 1473 \text{ kN}$$

#### **7.4. Le combinazioni di carico ed i coefficienti parziali**

Per la verifica dell'opera sono stati considerate le combinazioni di azioni previste dalle NTC2018 per i ponti stradali.

Sempre nelle NTC2018 la Tab. 5.1.V, con riferimento al § 2.6.1, fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni  $\gamma_F$  da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi, ovvero vengono considerati i seguenti coefficienti.

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{G1}$ e $\gamma_{G3}$	0,90 1,10	1,00 1,35	1,00 1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_Q$	0,00 1,35	0,00 1,35	0,00 1,15
Azioni variabili	favorevoli sfavorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00 1,50	0,00 1,50	0,00 1,30

Per la determinazione delle caratteristiche della sollecitazione di seguito calcolate vengono quindi considerati i coefficienti sopra riportati.

## 8. I modelli di calcolo e le caratteristiche della sollecitazione

### 8.1. Descrizione del modello agli elementi finiti

Nell'ambito del presente progetto è stato elaborato un modello agli elementi finiti dell'intera struttura con lo scopo di valutare le caratteristiche della sollecitazione agenti sulle strutture del ponte sotto diversi schemi di carico.

Il modello riguarda l'intera struttura del ponte, modellata con elementi di tipo "frame" in modo da cogliere il comportamento bidimensionale dell'opera.

Il modello di calcolo è stato elaborato mediante il software agli elementi finiti SAP2000 Plus della Computers and Structures Inc. concesso in licenza allo Studio Micheloni Srl.



**SAP2000 Plus 64-bit**

Version 24.0.0 Build 1862

Structural Analysis Program

Copyright (c) 1976-2022 Computers and Structures, Inc.

A product of:

Computers and Structures, Inc.

[www.csiamerica.com](http://www.csiamerica.com)

---

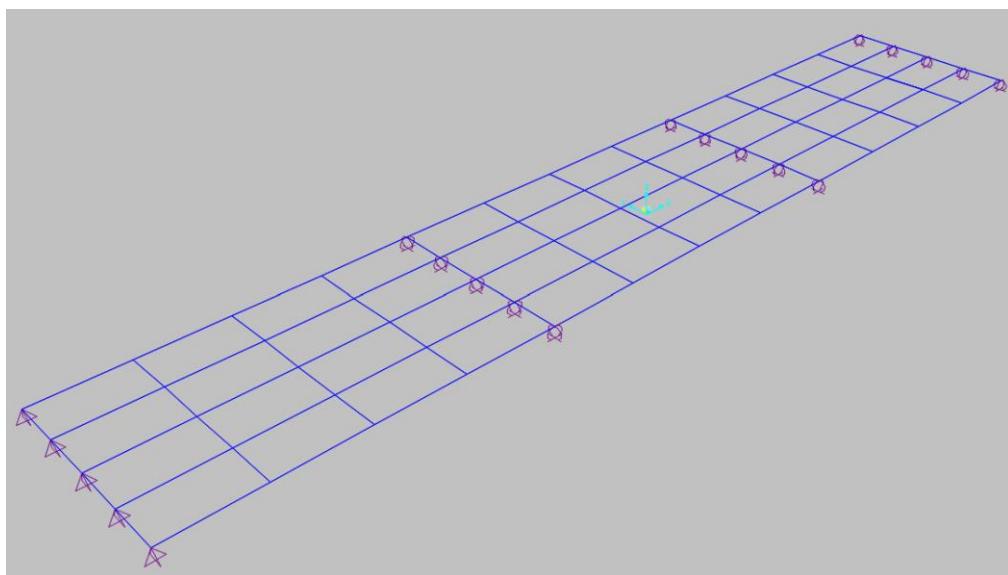
This product is licensed to:

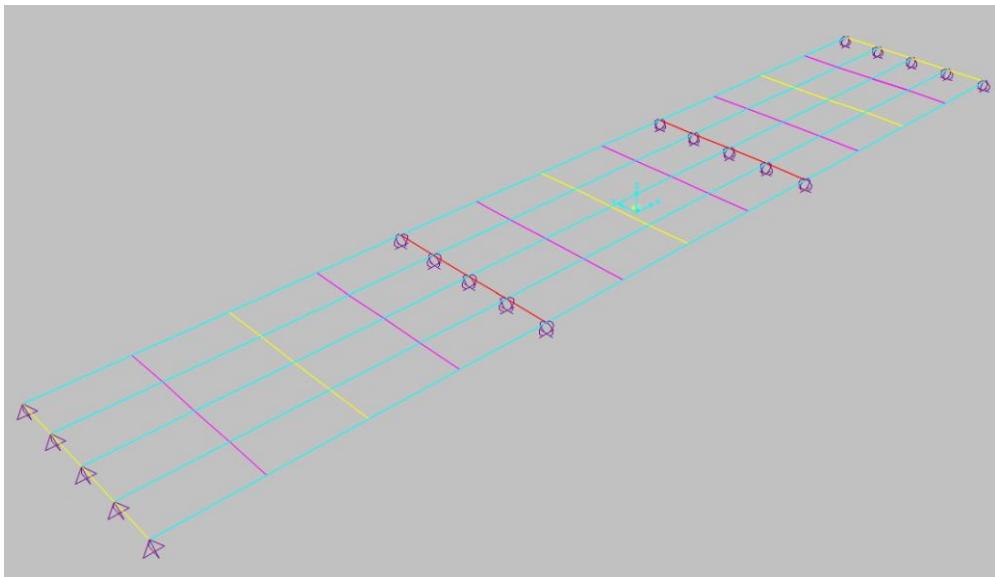
Ing Michelangelo Micheloni

Studio Micheloni Srl

---

Di seguito vengono riportate alcune immagini del modello.





Al modello sono stati applicati i carichi descritti nel precedente paragrafo e inseriti secondo gli schemi di carico previsti dalla normativa.

Per le pile viene invece adottato uno schema a mensola essendo queste incastrate alla base nel piano di fondazione e collegate in sommità con l'implacato mediante un carrello scorrevole.

## 8.2. Le caratteristiche della sollecitazione sull'impalcato

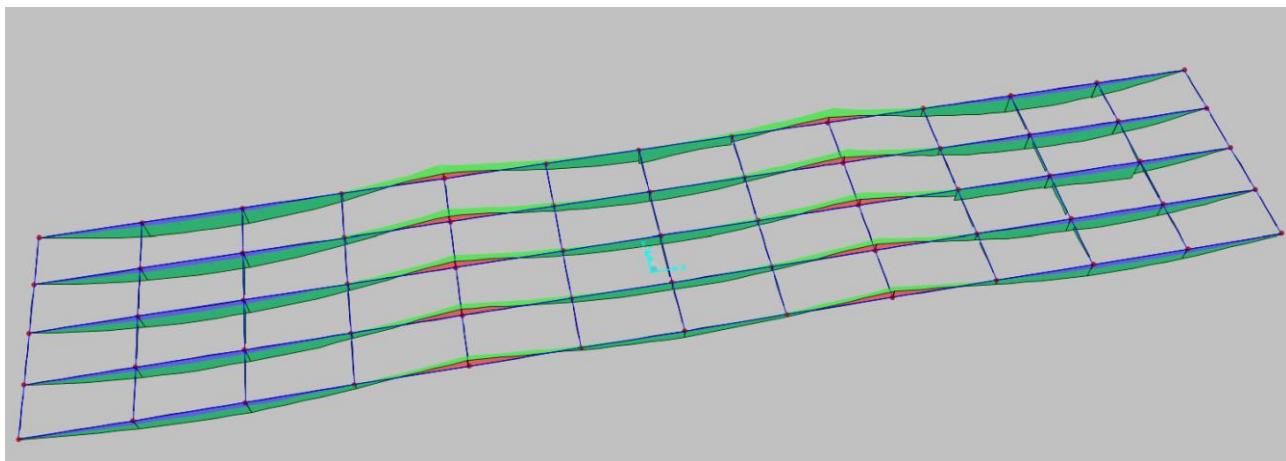
Dal modello agli elementi finiti sono state ricavate le principali caratteristiche della sollecitazione utili per la verifica della struttura, utilizzando i coefficienti parziali  $\alpha_F$  secondo Tab.5.1.V.

Una completa mappatura di tutte le caratteristiche della sollecitazione è riportata nei tabulati di calcolo.

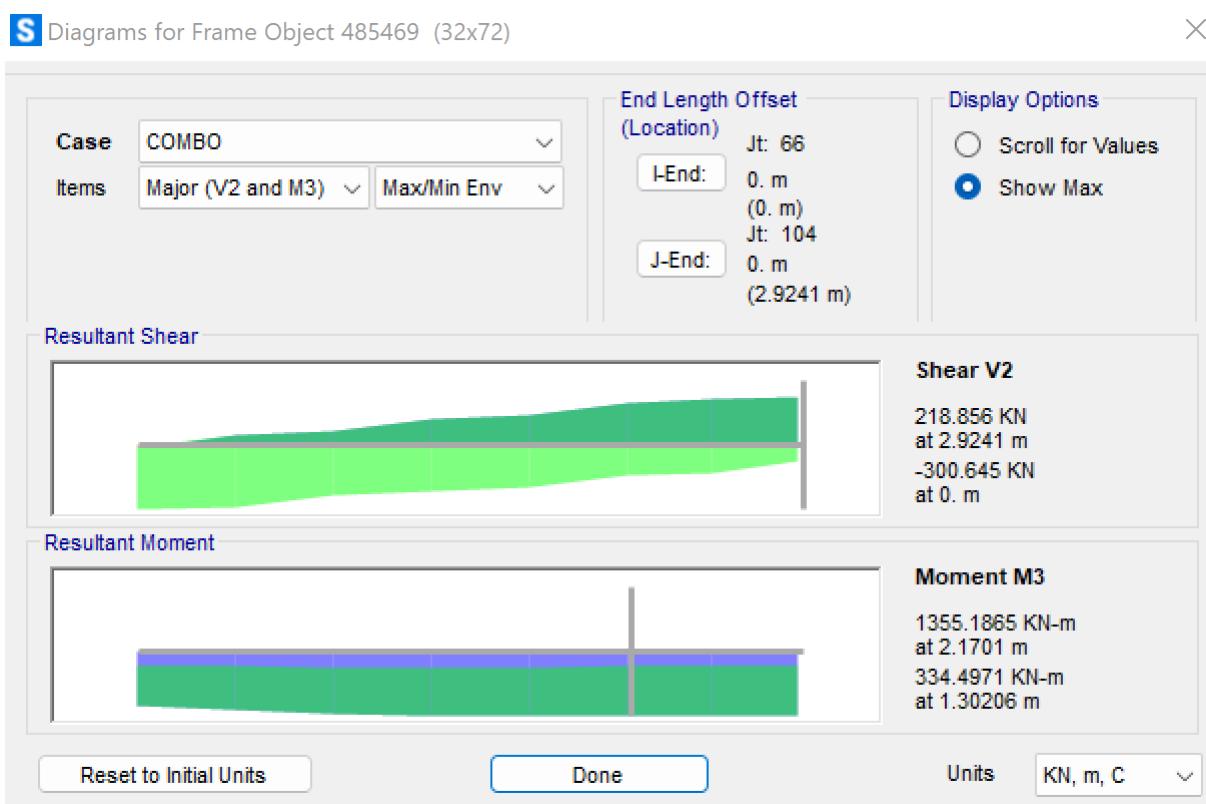
### 8.2.1. Le caratteristiche della sollecitazione sulle travi

#### Momento flettente campata laterale

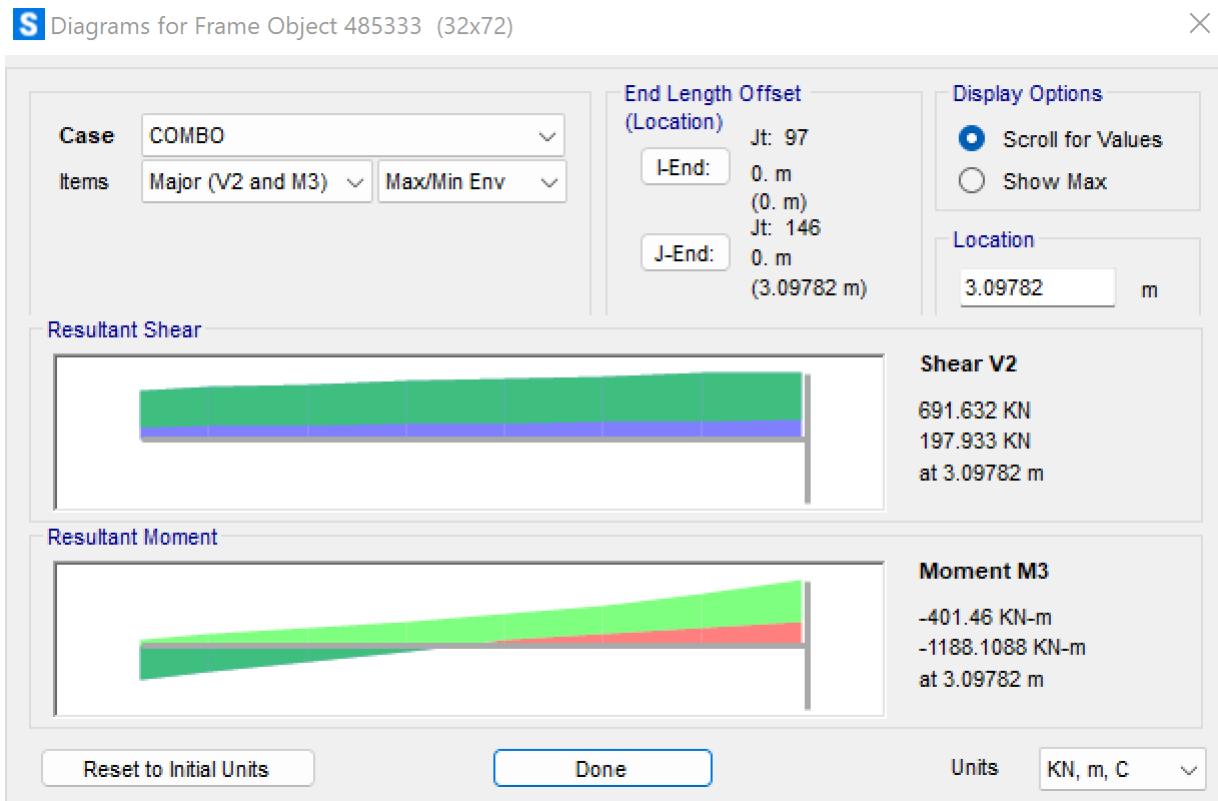
Viene identificato il valore della sollecitazione di momento flettente nella sezione più sollecitata ovvero quella della sezione di mezzeria.



Massimo momento flettente positivo in campata:



Massimo momento flettente negativo in appoggio.

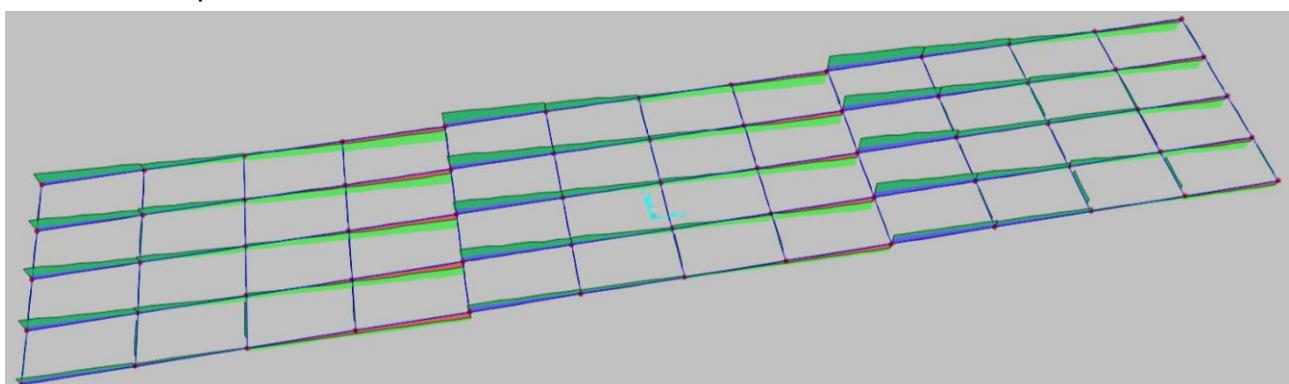


Il massimo momento flettente positivo sollecitante nella sezione di mezzeria risulta quindi pari a **M<sub>sd</sub> = 1355 kNm**

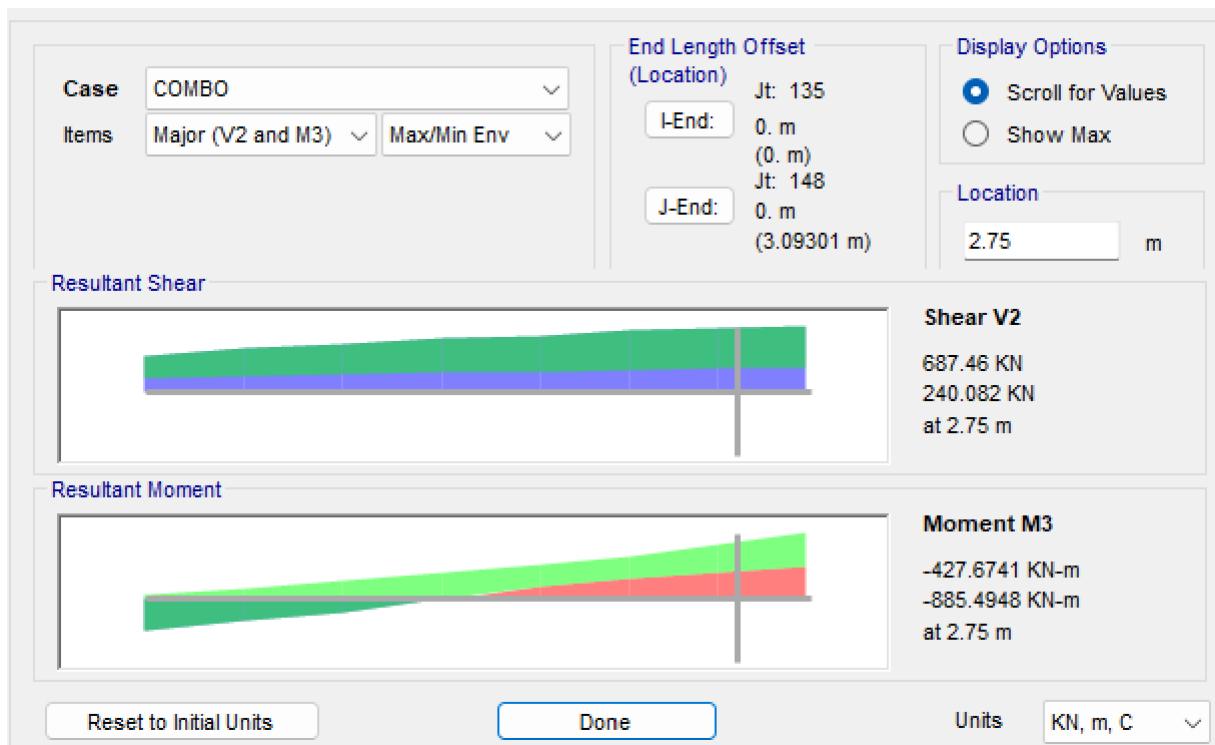
Il massimo momento flettente negativo sollecitante nella sezione di mezzeria risulta quindi pari a **M<sub>sd</sub> = - 1188 kNm**

### Taglio campata laterale

Viene identificato il valore della sollecitazione di taglio nella sezione più sollecitata ovvero quella della sezione di estremità.



**S** Diagrams for Frame Object 485854 (32x72) X

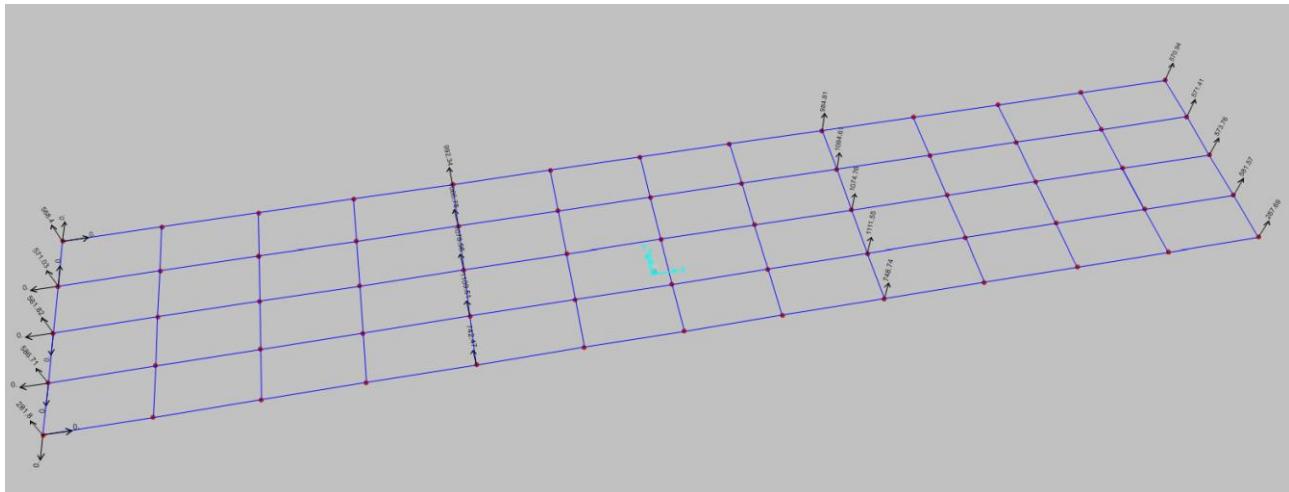


Il massimo taglio sollecitante nella sezione di appoggio risulta quindi pari a  
**V<sub>sd</sub> = 687 kN**

### 8.3. Le caratteristiche della sollecitazione su appoggi e pile

Dal modello agli elementi finiti sono state ricavate le principali caratteristiche della sollecitazione utili per la verifica degli appoggi e delle pile.

In particolare, vengono di seguito riportate le reazioni vincolari agli appoggi delle travi delle campate.



**TABLE: Joint Reactions**

Joint	OutputCase	F3	Joint	OutputCase	F3	Joint	OutputCase	F3
Text	Text	KN	Text	Text	KN	Text	Text	KN
65	SLU	571	65	SLE	422	65	SLE_PERMANENTI	94
75	SLU	574	75	SLE	424	75	SLE_PERMANENTI	127
81	SLU	582	81	SLE	429	81	SLE_PERMANENTI	132
87	SLU	288	87	SLE	212	87	SLE_PERMANENTI	137
106	SLU	568	106	SLE	420	106	SLE_PERMANENTI	93
107	SLU	571	107	SLE	422	107	SLE_PERMANENTI	129
108	SLU	571	108	SLE	422	108	SLE_PERMANENTI	129
119	SLU	562	119	SLE	415	119	SLE_PERMANENTI	124
120	SLU	587	120	SLE	433	120	SLE_PERMANENTI	132
121	SLU	282	121	SLE	207	121	SLE_PERMANENTI	136
141	SLU	992	141	SLE	733	141	SLE_PERMANENTI	269
142	SLU	1067	142	SLE	787	142	SLE_PERMANENTI	342
143	SLU	1079	143	SLE	795	143	SLE_PERMANENTI	347
144	SLU	1110	144	SLE	818	144	SLE_PERMANENTI	362
145	SLU	742	145	SLE	546	145	SLE_PERMANENTI	372
146	SLU	985	146	SLE	727	146	SLE_PERMANENTI	267
147	SLU	1085	147	SLE	800	147	SLE_PERMANENTI	348
148	SLU	1075	148	SLE	792	148	SLE_PERMANENTI	346
<b>149</b>	<b>SLU</b>	<b>1112</b>	<b>149</b>	<b>SLE</b>	<b>820</b>	<b>149</b>	<b>SLE_PERMANENTI</b>	<b>364</b>
150	SLU	749	150	SLE	551	<b>150</b>	<b>SLE_PERMANENTI</b>	<b>373</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>15149</b>		<b>TOTAL</b>	<b>11176</b>		<b>TOTAL</b>	<b>4623</b>
	MEDIA	757		MEDIA	559		MEDIA	231

La massima azione allo SLU in testa alla pila è pari a 5004,47 kN.

La massima azione allo SLV in testa alla pila è pari a 1697,42 kN

## 9. Le verifiche di resistenza delle strutture

Di seguito vengono calcolati i momenti ed i tagli resistenti nelle sezioni significative dell'impalcato, per poi procedere con il confronto con le sollecitazioni calcolate nel precedente paragrafo con le combinazioni di carico previste dalle NTC2018.

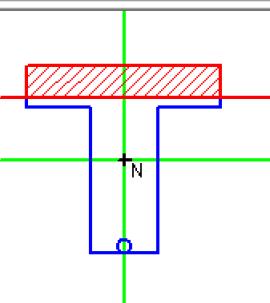
### 9.1. Le verifiche di resistenza delle travi

#### Verifica a momento positivo in mezzeria

Le travi delle campate presentano una sezione a T con soletta esistente di spessore 22 cm, incrementata a 37cm con i nuovi rinforzi e spessore dell'anima pari a 35 cm. La larghezza efficace è assunta a favore di sicurezza pari a quella delle travi di bordo con dimensione pari a 100cm.

L'armatura a momento positivo consiste in 6Ø30 con area di 42,36 cmq.

Per il **calcolo del momento flettente resistente** viene utilizzato il software VcaSLU del Prof. Gelfi.

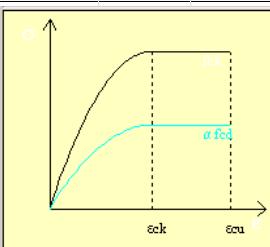
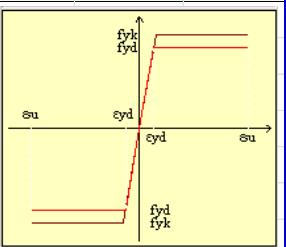
Titolo :			<input type="radio"/> Rettang.re <input type="radio"/> Trapezi <input checked="" type="radio"/> a T <input type="radio"/> Circolare <input type="radio"/> Rettangoli <input type="radio"/> Coord. <input type="radio"/> DXF																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">N*</td> <td style="width: 15%;">b [cm]</td> <td style="width: 15%;">h [cm]</td> <td style="width: 15%; text-align: right;">N* strati barre</td> <td style="width: 15%; text-align: right;">1</td> <td style="width: 15%; text-align: right;">Zoom</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>100</td> <td>22</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>35</td> <td>75</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			N*	b [cm]	h [cm]	N* strati barre	1	Zoom	1	100	22				2	35	75					
N*	b [cm]	h [cm]	N* strati barre	1	Zoom																	
1	100	22																				
2	35	75																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">N*</td> <td style="width: 15%;">As [cm<sup>2</sup>]</td> <td style="width: 15%;">d [cm]</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>42.36</td> <td>93</td> <td colspan="3"></td> </tr> </table>			N*	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]				1	42.36	93											
N*	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]																				
1	42.36	93																				
<b>Sollecitazioni</b> S.L.U. → Metodo n <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">N<sub>Ed</sub> <input type="text" value="0"/></td> <td style="width: 50%;">0 <input type="text" value="0"/> kN</td> </tr> <tr> <td>M<sub>xEd</sub> <input type="text" value="0"/></td> <td>0 <input type="text" value="0"/> kNm</td> </tr> <tr> <td>M<sub>yEd</sub> <input type="text" value="0"/></td> <td>0 <input type="text" value="0"/></td> </tr> </table> <b>P.to applicazione N</b> <input checked="" type="radio"/> Centro <input type="radio"/> Baricentro cls <input type="radio"/> Coord.[cm]    xN <input type="text" value="0"/> yN <input type="text" value="0"/> <b>Tipo rottura</b> Lato calcestruzzo - Acciaio snervato					N <sub>Ed</sub> <input type="text" value="0"/>	0 <input type="text" value="0"/> kN	M <sub>xEd</sub> <input type="text" value="0"/>	0 <input type="text" value="0"/> kNm	M <sub>yEd</sub> <input type="text" value="0"/>	0 <input type="text" value="0"/>												
N <sub>Ed</sub> <input type="text" value="0"/>	0 <input type="text" value="0"/> kN																					
M <sub>xEd</sub> <input type="text" value="0"/>	0 <input type="text" value="0"/> kNm																					
M <sub>yEd</sub> <input type="text" value="0"/>	0 <input type="text" value="0"/>																					
<b>Materiali</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Acc</td> <td style="width: 50%;">Cis</td> </tr> <tr> <td>ε<sub>su</sub> <input type="text" value="67.5"/> %</td> <td>ε<sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> %</td> </tr> <tr> <td>f<sub>y</sub> <input type="text" value="276.5"/> N/mm<sup>2</sup></td> <td>ε<sub>cu</sub> <input type="text" value="3.5"/></td> </tr> <tr> <td>E<sub>s</sub> <input type="text" value="200.000"/> N/mm<sup>2</sup></td> <td>f<sub>c</sub> <input type="text" value="8.667"/></td> </tr> <tr> <td>E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> <input type="text" value="15"/></td> <td>f<sub>cc</sub> / f<sub>c</sub> <input type="text" value="0.8"/></td> </tr> <tr> <td>ε<sub>sy</sub> <input type="text" value="1.383"/> %</td> <td>σ<sub>c,adm</sub> <input type="text" value="6.5"/></td> </tr> <tr> <td>σ<sub>s,adm</sub> <input type="text" value="0"/> N/mm<sup>2</sup></td> <td>τ<sub>co</sub> <input type="text" value="0.4267"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>τ<sub>c1</sub> <input type="text" value="1.457"/></td> </tr> </table>					Acc	Cis	ε <sub>su</sub> <input type="text" value="67.5"/> %	ε <sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> %	f <sub>y</sub> <input type="text" value="276.5"/> N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub> <input type="text" value="3.5"/>	E <sub>s</sub> <input type="text" value="200.000"/> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> <input type="text" value="8.667"/>	E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> <input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> / f <sub>c</sub> <input type="text" value="0.8"/>	ε <sub>sy</sub> <input type="text" value="1.383"/> %	σ <sub>c,adm</sub> <input type="text" value="6.5"/>	σ <sub>s,adm</sub> <input type="text" value="0"/> N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>co</sub> <input type="text" value="0.4267"/>		τ <sub>c1</sub> <input type="text" value="1.457"/>	<b>Metodo di calcolo</b> <input checked="" type="radio"/> S.L.U.+ <input type="radio"/> S.L.U.- <input type="radio"/> Metodo n  <b>Tipo flessione</b> <input checked="" type="radio"/> Retta <input type="radio"/> Deviata  N* rett. <input type="text" value="100"/>  Calcola MRd    Dominio M-N L <sub>0</sub> <input type="text" value="0"/> cm    Col. modello  M-curvatura <input type="checkbox"/> Precompresso	
Acc	Cis																					
ε <sub>su</sub> <input type="text" value="67.5"/> %	ε <sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> %																					
f <sub>y</sub> <input type="text" value="276.5"/> N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>cu</sub> <input type="text" value="3.5"/>																					
E <sub>s</sub> <input type="text" value="200.000"/> N/mm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> <input type="text" value="8.667"/>																					
E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> <input type="text" value="15"/>	f <sub>cc</sub> / f <sub>c</sub> <input type="text" value="0.8"/>																					
ε <sub>sy</sub> <input type="text" value="1.383"/> %	σ <sub>c,adm</sub> <input type="text" value="6.5"/>																					
σ <sub>s,adm</sub> <input type="text" value="0"/> N/mm <sup>2</sup>	τ <sub>co</sub> <input type="text" value="0.4267"/>																					
	τ <sub>c1</sub> <input type="text" value="1.457"/>																					

Il momento resistente è pari a 1008 kNm < 1355 kNm, da cui segue  $\rho=0,74 < 1,00$ .  
La verifica NON è pertanto soddisfatta.

Si prevede quindi di rinforzare la sezione procedendo con:

- Integrazione delle barre di armatura longitudinali qualora queste risultino inferiore all'area di  $6 \phi 30 = 42,36 \text{ cm}^2$ , desunta dal progetto originale dell'opera e dalle indagini a campione eseguite in sito.
- Ricostruzione della sezione ammalorata in calcestruzzo e getto di nuova soletta di estradosso con spessore 15cm in calcestruzzo C35/45
- Applicazione di 3 strati di tessuto in fibra di carbonio con larghezza 30cm e peso di 500 gr/mq.

Ne consegue il seguente calcolo del momento resistente della sezione rinforzata con tre strati di tessuto in fibra di carbono da 500 gr/mq.

Rinforzo a flessione di una sezione in c.a. (base= 35cm, altezza= 112cm) con strisce in fibra di carbonio		
Calcestruzzo	C35/45	
$E_{cm}$	34000 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ck}$	35.00 N/mm <sup>2</sup>	
$\gamma_c$	1.50	
$f_{cd}$	23.33 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ctm}$	3.20 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{ctd}$	1.49 N/mm <sup>2</sup>	
$\varepsilon_{cu}$	0.35 %	
		
Acciaio		
$f_{yk}$	318 N/mm <sup>2</sup>	
$\gamma_s$	1.15	
$f_{yd}$	277 N/mm <sup>2</sup>	
$E_s$	206000 N/mm <sup>2</sup>	
$\varepsilon_{yd}$	0.2 %	
$\varepsilon_u$	23 %	
		
CFRP		
500 g/mq		
$t_f$	0.273 mm	spessore striscia
$b_f$	300 mm	larghezza striscia
$n_f$	3	numero strisce
$A_f$	245.90 mm <sup>2</sup>	area CFRP
$E_{fib}$	240000 N/mm <sup>2</sup>	elasticità fibre
$\alpha_{fE}$	0.875	coef. ridut. rigidezza
$E_f$	210000 N/mm <sup>2</sup>	elasticità composto
$f_{fib}$	3800 N/mm <sup>2</sup>	resistenza fibre
$\alpha_{ff}$	0.711	coef. ridut. resist.
$f_{fk}$	2700 N/mm <sup>2</sup>	resistenza composto
tipo di applicazione	A	
condizione di esposizione	Ambiente esterno	
Geometria e armatura trave		
$b$	350 mm	base trave
$h$	1120 mm	altezza trave
$d$	30 mm	coprifero inferiore
$d'$	30 mm	coprifero superiore
$A_{s1}$	42.36 cm <sup>2</sup>	armatura tesa
$A_{s2}$	0 cm <sup>2</sup>	armatura compressa
Normativa generale di riferimento NTC2018 Normativa per calcolo CFRP CNR-DT 200/2004		
Il contributo del CFRP è calcolato secondo le indicazioni riportate nel CNR-DT 200/2004 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibrorinforzati"		
Lunghezza ottimale di ancoraggio		$L_e = 16 \text{ cm}$

$\gamma_f$	1.10	coeff. per collasso a rottura			
$\gamma_{fd}$	1.20	coeff. per collasso a delaminazione			
$\eta_a$	0.85	fattore di conversione ambientale			
$\varepsilon_{fk}$	0.0128571				
$k_b$	1.00				
$\Gamma_{fk}$	0.32 N/mm <sup>2</sup>				
$f_{fdd,2}$	823 N/mm <sup>2</sup>				
$\varepsilon_{fdd}$	0.0039				
$\varepsilon_{fd}$	<b>0.0039</b>	deform. massima progetto FRP			
$\mu_f$	<b>0.0268</b>	percentuale meccanica rinforzo			
$\mu_s$	0.1548				
$u$	0.0000				
$\varepsilon_0$	0.0004				
$\mu_{fl-2}$	<b>0.2154</b>	percentuale meccanica limite			
<b>Rottura nel campo 1 per raggiungimento della deformazione elastica limite di progetto nelle fibre</b>					
x	247.38 mm	<i>posizione assse neutro</i>			
$M_{rd}$	1367.57 KNm	<i>Momento resistente</i>		<b>VERIFICATO</b>	
<b>Acciaio tesò in campo plastico allo SLU</b>					

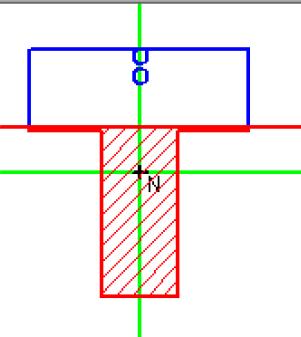
Il momento resistente è pari a 1368 kNm > 1355 kNm, da cui segue  $p=1,11 > 1,00$ .  
La verifica è pertanto soddisfatta.

### Verifica a momento negativo in appoggio

Per quanto riguarda la verifica a momento negativo sull'appoggio, si considera una sezione a T con soletta esistente di spessore 22 cm, incrementata a 37cm con i nuovi rinforzi e spessore dell'anima pari a 35 cm. La larghezza efficace è assunta a favore di sicurezza pari a quella delle travi di bordo con dimensione pari a 100cm.

L'armatura nuova inserita per presidiare il momento negativo sugli appoggi è formata da due strati di barre  $\phi 24/10"$  e a favore di sicurezza per la trave di bordo si considerano collaboranti 8+8  $\phi 24$ .

Per il **calcolo del momento flettente resistente** viene utilizzato il software VcaSLU del Prof. Gelfi.

<p><b>Titolo :</b> <input type="text"/></p> <p style="text-align: right;"><b>N° strati barre</b> <input type="text" value="2"/> <b>Zoom</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <th style="width: 10%;">N°</th> <th style="width: 20%;">b [cm]</th> <th style="width: 20%;">h [cm]</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>100</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>35</td> <td>75</td> </tr> </table>	N°	b [cm]	h [cm]	1	100	37	2	35	75	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <th style="width: 10%;">N°</th> <th style="width: 20%;">As [cm<sup>2</sup>]</th> <th style="width: 20%;">d [cm]</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>36.19</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>36.19</td> <td>12</td> </tr> </table>	N°	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]	1	36.19	3	2	36.19	12	<p><b>Tipo Sezione</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> Rettan.re <input type="radio"/> Trapezi</li> <li><input checked="" type="radio"/> a T <input type="radio"/> Circolare</li> <li><input type="radio"/> Rettangoli <input type="radio"/> Coord.</li> <li><input type="radio"/> DXF</li> </ul> 
N°	b [cm]	h [cm]																		
1	100	37																		
2	35	75																		
N°	As [cm <sup>2</sup> ]	d [cm]																		
1	36.19	3																		
2	36.19	12																		
<p><b>Sollecitazioni</b></p> <p style="text-align: center;"><b>S.L.U.</b> <input type="button" value="→"/> <b>Metodo n</b> <input type="button" value="←"/></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>N<sub>Ed</sub></b> <input type="text" value="0"/></td> <td style="width: 50%;"><b>0</b> kN</td> </tr> <tr> <td><b>M<sub>xEd</sub></b> <input type="text" value="0"/></td> <td><b>0</b> kNm</td> </tr> <tr> <td><b>M<sub>yEd</sub></b> <input type="text" value="0"/></td> <td></td> </tr> </table> <p><b>P.to applicazione N</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> Centro <input type="radio"/> Baricentro cls</li> <li><input type="radio"/> Coord.[cm] <input type="text" value="0"/> xN <input type="text" value="0"/> yN</li> </ul> <p><b>Tipo rottura</b> <b>Lato calcestruzzo - Acciaio elastico</b></p>			<b>N<sub>Ed</sub></b> <input type="text" value="0"/>	<b>0</b> kN	<b>M<sub>xEd</sub></b> <input type="text" value="0"/>	<b>0</b> kNm	<b>M<sub>yEd</sub></b> <input type="text" value="0"/>													
<b>N<sub>Ed</sub></b> <input type="text" value="0"/>	<b>0</b> kN																			
<b>M<sub>xEd</sub></b> <input type="text" value="0"/>	<b>0</b> kNm																			
<b>M<sub>yEd</sub></b> <input type="text" value="0"/>																				
<p><b>Materiali</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>B450C</b></td> <td style="width: 50%;"><b>CLS</b></td> </tr> <tr> <td><math>\varepsilon_{su}</math> <b>67.5</b> %</td> <td><math>\varepsilon_{c2}</math> <b>2</b> %</td> </tr> <tr> <td><math>f_y</math> <b>391.3</b> N/mm<sup>2</sup></td> <td><math>\varepsilon_{cu}</math> <b>3.5</b></td> </tr> <tr> <td><math>E_s</math> <b>200,000</b> N/mm<sup>2</sup></td> <td><math>f_c</math> <b>8.667</b></td> </tr> <tr> <td><math>E_s/E_c</math> <b>15</b></td> <td><math>f_{cc}/f_c</math> <b>0.8</b> <input style="width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="button" value="?"/></td> </tr> <tr> <td><math>\varepsilon_{sy}</math> <b>1.957</b> %</td> <td><math>\sigma_{c,adm}</math> <b>6.5</b></td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_{s,adm}</math> <b>255</b> N/mm<sup>2</sup></td> <td><math>\tau_{co}</math> <b>0.4267</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td><math>\tau_{c1}</math> <b>1.457</b></td> </tr> </table>			<b>B450C</b>	<b>CLS</b>	$\varepsilon_{su}$ <b>67.5</b> %	$\varepsilon_{c2}$ <b>2</b> %	$f_y$ <b>391.3</b> N/mm <sup>2</sup>	$\varepsilon_{cu}$ <b>3.5</b>	$E_s$ <b>200,000</b> N/mm <sup>2</sup>	$f_c$ <b>8.667</b>	$E_s/E_c$ <b>15</b>	$f_{cc}/f_c$ <b>0.8</b> <input style="width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="button" value="?"/>	$\varepsilon_{sy}$ <b>1.957</b> %	$\sigma_{c,adm}$ <b>6.5</b>	$\sigma_{s,adm}$ <b>255</b> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <b>0.4267</b>		$\tau_{c1}$ <b>1.457</b>		
<b>B450C</b>	<b>CLS</b>																			
$\varepsilon_{su}$ <b>67.5</b> %	$\varepsilon_{c2}$ <b>2</b> %																			
$f_y$ <b>391.3</b> N/mm <sup>2</sup>	$\varepsilon_{cu}$ <b>3.5</b>																			
$E_s$ <b>200,000</b> N/mm <sup>2</sup>	$f_c$ <b>8.667</b>																			
$E_s/E_c$ <b>15</b>	$f_{cc}/f_c$ <b>0.8</b> <input style="width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="button" value="?"/>																			
$\varepsilon_{sy}$ <b>1.957</b> %	$\sigma_{c,adm}$ <b>6.5</b>																			
$\sigma_{s,adm}$ <b>255</b> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <b>0.4267</b>																			
	$\tau_{c1}$ <b>1.457</b>																			
<p><b>M<sub>xRd</sub></b> <b>-1.377</b> kNm</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 50%;"><math>\sigma_c</math> <b>-8.667</b> N/mm<sup>2</sup></td> <td style="width: 50%;"><math>\sigma_s</math> <b>300.4</b> N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td><math>\varepsilon_c</math> <b>3.5</b> %</td> <td><math>\varepsilon_s</math> <b>1.502</b> %</td> </tr> <tr> <td><math>d</math> <b>109</b> cm</td> <td><math>x</math> <b>76.27</b> x/d <b>0.6998</b></td> </tr> <tr> <td></td> <td><math>\delta</math> <b>1</b></td> </tr> </table> <p><b>Metodo di calcolo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> S.L.U.+ <input checked="" type="radio"/> S.L.U.-</li> <li><input checked="" type="radio"/> Metodo n</li> </ul> <p><b>Tipo flessione</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> Retta <input type="radio"/> Deviata</li> </ul> <p style="text-align: right;"><b>N° rett.</b> <b>100</b></p> <p><b>Calcola MRd</b> <b>Dominio M-N</b></p> <p><b>L<sub>0</sub></b> <b>0</b> cm <b>Col. modello</b></p> <p><b>M-curvatura</b></p> <p><input type="checkbox"/> Precompresso</p>			$\sigma_c$ <b>-8.667</b> N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_s$ <b>300.4</b> N/mm <sup>2</sup>	$\varepsilon_c$ <b>3.5</b> %	$\varepsilon_s$ <b>1.502</b> %	$d$ <b>109</b> cm	$x$ <b>76.27</b> x/d <b>0.6998</b>		$\delta$ <b>1</b>										
$\sigma_c$ <b>-8.667</b> N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_s$ <b>300.4</b> N/mm <sup>2</sup>																			
$\varepsilon_c$ <b>3.5</b> %	$\varepsilon_s$ <b>1.502</b> %																			
$d$ <b>109</b> cm	$x$ <b>76.27</b> x/d <b>0.6998</b>																			
	$\delta$ <b>1</b>																			

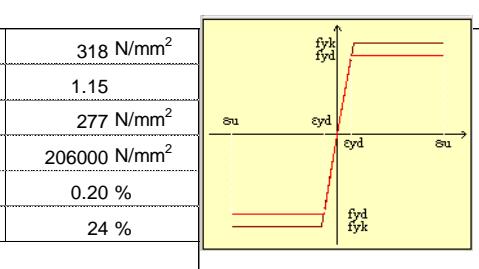
Il momento resistente è pari a 1377 kNm > 1188 kNm, da cui segue  $p=1,16 > 1,00$ .  
La verifica è pertanto soddisfatta.

### Verifica a taglio in appoggio

Per quanto riguarda la verifica a taglio si considera esclusivamente la sezione resistente dell'anima della trave a T, inoltre assume un'altezza pari all'altezza totale della trave, ovvero pari a 112 cm. Le travi sono armate con staffe Ø8/100mm a due bracci in acciaio con  $f_y = 318$  MPa", così come identificato nei precedenti paragrafi. Si prevede di rinforzare le travi con una fasciatura continua in completo avvolgimento realizzata con tre strati di tessuti in fibra di carbonio da 500 gr/mq.

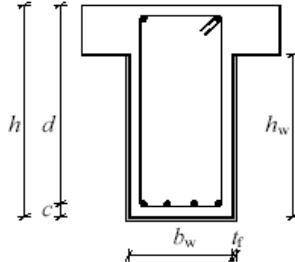
Per il **calcolo del taglio resistente** viene utilizzato un foglio di calcolo Excel.

Rinforzo a taglio di una sezione in c.a. (base= 35cm, altezza= 112cm) con staffe in fibra di carbonio					
Calcestruzzo		Acciaio			
E <sub>cm</sub>	27000 N/mm <sup>2</sup>	f <sub>yk</sub>	318 N/mm <sup>2</sup>		
f <sub>ck</sub>	12.00 N/mm <sup>2</sup>	γ <sub>s</sub>	1.15		
γ <sub>c</sub>	1.50	f <sub>yd</sub>	277 N/mm <sup>2</sup>		
f <sub>cd</sub>	8.00 N/mm <sup>2</sup>	E <sub>s</sub>	206000 N/mm <sup>2</sup>		
f <sub>ctm</sub>	1.60 N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>yd</sub>	0.20 %		
f <sub>ctd</sub>	0.75 N/mm <sup>2</sup>	ε <sub>u</sub>	24 %		
ε <sub>cu</sub>	0.35 %				
<b>CFRP</b>		500 g/mq	↓ verifiche dimensionali ↓		
t <sub>f</sub>	0.273 mm	FRP strip thickness			
w <sub>f</sub>	200 mm	strip width	verificato		
n <sub>f</sub>	3	number of layers			
β	90 °				
θ	45 °				
p <sub>f</sub>	200 mm	distance between strips	verificato		
r <sub>c</sub>	30 mm	corner radius	verificato		
A <sub>f</sub>	163.93 mm <sup>2</sup>	CFRP area			
E <sub>fib</sub>	240000 N/mm <sup>2</sup>	fiber elastic modulus			
α <sub>FE</sub>	0.875	stiffness reduction coef.			
E <sub>f</sub>	210000 N/mm <sup>2</sup>	FRP elastic modulus			
f <sub>fib</sub>	3800 N/mm <sup>2</sup>	fiber resistance			
α <sub>ff</sub>	0.711	resistance reduction coef.			
f <sub>fk</sub>	2700 N/mm <sup>2</sup>	FRP resistance			
<b>Geometria e armatura trave</b>					
b	350 mm	base trave			
h	1120 mm	altezza trave			
h <sub>w</sub>	750 mm	ricalo trave			
A <sub>sw</sub>	100 mm <sup>2</sup>	area staffe			
s	100 mm	passo staffe			
θ	0.4605				
tan(θ)	0.4961				
cotan(θ)	2.5000	1 ≤ cotan(θ) ≤ 2.5			
<b>Sollecitazioni</b>					
V <sub>sd</sub>	687 KNm	taglio SLU			
<b>Taglio resistente sezione non rinforzata</b>					
V <sub>Rd,c</sub>	486.62 KN				
V <sub>Rd,s</sub>	696.83 KN				
V <sub>Rd</sub>	486.62 KN	NON VERIFICATO	Rottura lato calcestruzzo		



Normativa generale di riferimento NTC2018  
Normativa per calcolo CFRP Linee C.S. LL. PP.

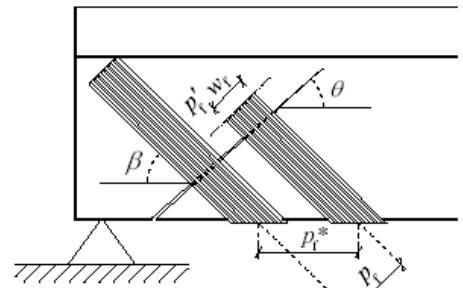
Il contributo del CFRP è calcolato secondo le indicazioni riportate nelle "Linee Guida per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo di Interventi di Rinforzo di strutture di c.a., c.a.p. e murarie mediante FRP" - Consiglio Superiore Lavori Pubblici 24 Luglio 2009.



1146.1

26.39

2.015662



$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta)$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

tipo di applicazione	Ambiente esterno	
condizione di esposizione	Persistente (viscosità e rilassamento)	
modalità di carico		
$\gamma_f$	1.10	coeff. per collasso a rottura
$\gamma_{fd}$	1.20	coeff. per collasso a delaminazione
$\eta_a$	0.85	fattore di conversione ambientale
$\eta_l$	0.80	fattore di conversione per effetti di lunga durata
$f_{rd}$	1669 N/mm <sup>2</sup>	
$l_e$	232 mm	lunghezza di ancoraggio
$k_b$	1.00	
$\Gamma_{fk}$	0.13 N/mm <sup>2</sup>	
$f_{rdd}$	177 N/mm <sup>2</sup>	
$r_c/b$	0.09	
$\Phi_r$	0.3371429	
disposizione rinforzo: "U" per disposizione ad U "A" per disposizione in avvolgimento		A
resistenza di calcolo efficace del rinforzo		
$f_{fed}$	158 N/mm <sup>2</sup>	per disposizione ad U
$f_{fed}$	301 N/mm <sup>2</sup>	per disposizione in avvolgimento
$f_{fed}$	301 N/mm <sup>2</sup>	considerata per il calcolo
$\theta$	0.7854	45 °
$\tan(\theta)$	1.0000	
$\cotan(\theta)$	1.0000	1 ≤ cotan( $\theta$ ) ≤ 2.5
Taglio resistente sezione rinforzata		
$V_{Rd,c}$	705.60 kN	
$V_{Rd,s}$	278.73 kN	
$V_{Rd,f}$	414.29 kN	
$V_{Rd}$	<b>693.02 kN</b>	<b>VERIFICATO</b>
		Rottura lato acciaio + fibre

ad U
in avvolgimento

Il taglio resistente della sezione NON rinforzata è pari a 486 kN < 687 kN, da cui segue  **$\rho=0,71 < 1,00$** .

La verifica NON è pertanto soddisfatta.

Il taglio resistente della sezione rinforzata è pari a 693 kN > 687 kN, da cui segue  **$\rho=1,01 > 1,00$** .

La verifica è pertanto soddisfatta.

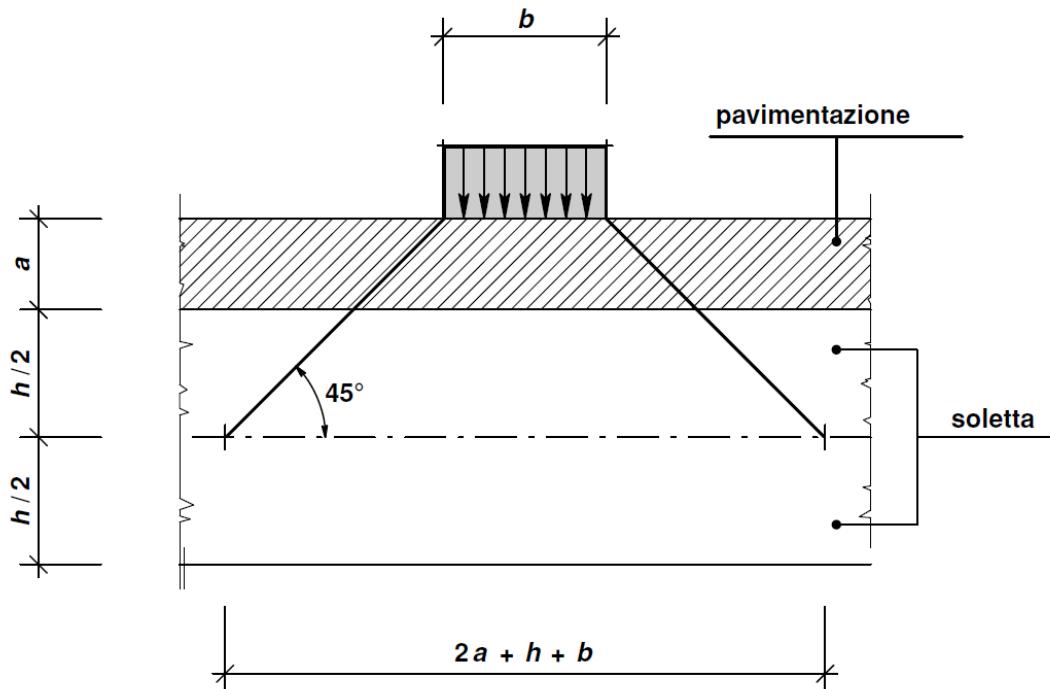
## 9.2. Le verifiche di resistenza delle solette

La soletta tra le travi ed i traversi presenta uno spessore originale di 22 cm, che viene aumentato a 37cm con l'inserimento della nuova soletta di rinforzo con spessore 15cm. La larghezza efficace della soletta è stata dedotta come segue:

$$B^* = B + L/2$$

Dove B è la larghezza del carico concentrato diffusa a 45° fino all'asse baricentrico della soletta, ovvero pari a:

$$B = 0.35 \text{ m} + 2 \cdot h_{\text{pavimentazione}} + h_{\text{soletta}} = 0.35 \text{ m} + 0.10 \text{ m} + 0.37 \text{ m} = 0.82 \text{ m}$$



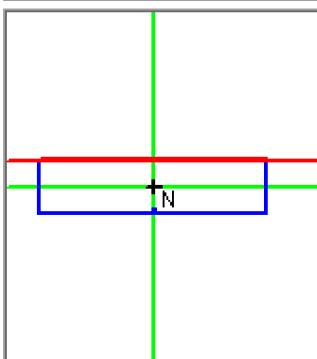
Mentre L è corrisponde con l'interasse delle travi pari a 1.40 m, quindi la larghezza efficace della soletta è risultata pari a:

$$B^* = 1.52 \text{ m}$$

Considerando lo schema di carico 2 riportato al precedente paragrafo 7.1 e considerando a favore di sicurezza uno schema di carico in semplice appoggio si ottiene il seguente massimo momento flettente.

$$M = 200 \times 1,4^2 / 8 = 49 \text{ kNm}$$

La soletta in campata è armata inferiormente con  $\varnothing 12/200\text{mm}$  in acciaio con resistenza a snervamento di 318 MPa.

<b>Titolo :</b> <input type="text"/>	<b>N° strati barre</b> <input type="text" value="1"/> <input type="button" value="Zoom"/>	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Tipo Sezione</b>  <input checked="" type="radio"/> Rettang.re <input type="radio"/> Trapezi  <input type="radio"/> a T <input type="radio"/> Circolare  <input type="radio"/> Rettangoli <input type="radio"/> Coord.  <input type="radio"/> DXF         </div> 																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; padding: 5px;"><b>N°</b></td> <td style="width: 33%; padding: 5px;"><b>b [cm]</b></td> <td style="width: 33%; padding: 5px;"><b>h [cm]</b></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">152</td> <td style="padding: 5px;">37</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; padding: 5px;"><b>N°</b></td> <td style="width: 33%; padding: 5px;"><b>As [<math>\text{cm}^2</math>]</b></td> <td style="width: 33%; padding: 5px;"><b>d [cm]</b></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">1</td> <td style="padding: 5px;">7.92</td> <td style="padding: 5px;">35</td> </tr> </table>	<b>N°</b>	<b>b [cm]</b>	<b>h [cm]</b>	1	152	37	<b>N°</b>	<b>As [<math>\text{cm}^2</math>]</b>	<b>d [cm]</b>	1	7.92	35	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Sollecitazioni</b> <input type="button" value="S.L.U."/> <input type="button" value="Metodo n"/> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"><b>N Ed</b> <input type="text" value="0"/></td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"><b>M xEd</b> <input type="text" value="0"/> kNm</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>M yEd</b> <input type="text" value="0"/></td> <td style="padding: 5px;"><b>M zEd</b> <input type="text" value="0"/> kNm</td> </tr> </table> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Punto applicazione N</b>  <input checked="" type="radio"/> Centro <input type="radio"/> Baricentro cls  <input type="radio"/> Coord.[cm] <input type="radio"/> Coordinata  <span style="float: right;">xN <input type="text" value="0"/> yN <input type="text" value="0"/></span> </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Tipo rottura</b>  Lato calcestruzzo - Acciaio snervato </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Materiali</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"><b>Acc</b></td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"><b>Cls</b></td> </tr> <tr> <td><math>\epsilon_{su}</math> <input type="text" value="67.5"/> %</td> <td><math>\epsilon_{c2}</math> <input type="text" value="2"/> %</td> </tr> <tr> <td><math>f_y</math> <input type="text" value="276.5"/> N/mm<sup>2</sup></td> <td><math>\epsilon_{cu}</math> <input type="text" value="3.5"/></td> </tr> <tr> <td><math>E_s</math> <input type="text" value="200,000"/> N/mm<sup>2</sup></td> <td><math>f_c</math> <input type="text" value="8.667"/></td> </tr> <tr> <td><math>E_s/E_c</math> <input type="text" value="15"/></td> <td><math>f_{cc}/f_c</math> <input type="text" value="0.8"/> <input data-bbox="603 1235 635 1280" type="button" value="?"/></td> </tr> <tr> <td><math>\epsilon_{sy}</math> <input type="text" value="1.383"/> %</td> <td><math>\sigma_{c,adm}</math> <input type="text" value="6.5"/></td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_{s,adm}</math> <input type="text" value="0"/> N/mm<sup>2</sup></td> <td><math>\tau_{co}</math> <input type="text" value="0.4267"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td><math>\tau_{cl}</math> <input type="text" value="1.457"/></td> </tr> </table> </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Metodo di calcolo</b>  <input checked="" type="radio"/> S.L.U.+ <input type="radio"/> S.L.U.-  <input type="radio"/> Metodo n </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Tipo flessione</b>  <input checked="" type="radio"/> Retta <input type="radio"/> Deviata </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Momento resistente</b> <input type="text" value="74.76"/> kNm </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Parametri</b>  <math>\sigma_c</math> <input type="text" value="-8.667"/> N/mm<sup>2</sup>  <math>\sigma_s</math> <input type="text" value="276.5"/> N/mm<sup>2</sup>  <math>\epsilon_c</math> <input type="text" value="3.5"/> %  <math>\epsilon_s</math> <input type="text" value="56.49"/> % </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Dimensioni</b>  d <input type="text" value="35"/> cm  x <input type="text" value="2.042"/> x/d <input type="text" value="0.05835"/>  <math>\delta</math> <input type="text" value="0.7"/> </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <b>Calcoli</b>  <input type="button" value="Calcola MRd"/> <input type="button" value="Dominio M-N"/>  <input type="text" value="100"/> N° rett.  <input type="text" value="0"/> cm L<sub>0</sub>  <input type="button" value="Col. modello"/> <input type="button" value="M-curvatura"/> </div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <input type="checkbox"/> Precompresso </div>	<b>N Ed</b> <input type="text" value="0"/>	<b>M xEd</b> <input type="text" value="0"/> kNm	<b>M yEd</b> <input type="text" value="0"/>	<b>M zEd</b> <input type="text" value="0"/> kNm	<b>Acc</b>	<b>Cls</b>	$\epsilon_{su}$ <input type="text" value="67.5"/> %	$\epsilon_{c2}$ <input type="text" value="2"/> %	$f_y$ <input type="text" value="276.5"/> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ <input type="text" value="3.5"/>	$E_s$ <input type="text" value="200,000"/> N/mm <sup>2</sup>	$f_c$ <input type="text" value="8.667"/>	$E_s/E_c$ <input type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_c$ <input type="text" value="0.8"/> <input data-bbox="603 1235 635 1280" type="button" value="?"/>	$\epsilon_{sy}$ <input type="text" value="1.383"/> %	$\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="6.5"/>	$\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="0"/> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <input type="text" value="0.4267"/>		$\tau_{cl}$ <input type="text" value="1.457"/>
<b>N°</b>	<b>b [cm]</b>	<b>h [cm]</b>																															
1	152	37																															
<b>N°</b>	<b>As [<math>\text{cm}^2</math>]</b>	<b>d [cm]</b>																															
1	7.92	35																															
<b>N Ed</b> <input type="text" value="0"/>	<b>M xEd</b> <input type="text" value="0"/> kNm																																
<b>M yEd</b> <input type="text" value="0"/>	<b>M zEd</b> <input type="text" value="0"/> kNm																																
<b>Acc</b>	<b>Cls</b>																																
$\epsilon_{su}$ <input type="text" value="67.5"/> %	$\epsilon_{c2}$ <input type="text" value="2"/> %																																
$f_y$ <input type="text" value="276.5"/> N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cu}$ <input type="text" value="3.5"/>																																
$E_s$ <input type="text" value="200,000"/> N/mm <sup>2</sup>	$f_c$ <input type="text" value="8.667"/>																																
$E_s/E_c$ <input type="text" value="15"/>	$f_{cc}/f_c$ <input type="text" value="0.8"/> <input data-bbox="603 1235 635 1280" type="button" value="?"/>																																
$\epsilon_{sy}$ <input type="text" value="1.383"/> %	$\sigma_{c,adm}$ <input type="text" value="6.5"/>																																
$\sigma_{s,adm}$ <input type="text" value="0"/> N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$ <input type="text" value="0.4267"/>																																
	$\tau_{cl}$ <input type="text" value="1.457"/>																																

Il momento resistente è pari a 75 kNm > 49 kNm, da cui segue  $\rho = 1,53 > 1,00$ .

La verifica è pertanto soddisfatta.

Per quanto riguarda la verifica a taglio si considera una sezione non armata a taglio.

SEZIONE	
b [mm]	1520
h [mm]	370
d' [mm]	30
A <sub>sl</sub> (mm <sup>2</sup> )	792
d [mm]	340

$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	13
$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	7.366667
$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	318
$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	276.5217

k	1.766965
$\rho_l$	0.001533
$\sigma_{cp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.958
$v_{min}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.296402

$V_{Rd}$ [ kN ]	444.7081
$V_{Rd,min}$ [kN]	460.0049
<b><math>V_{Rd}</math> [kN]</b>	<b>460.0049 (VRd,min) taglio resistente</b>

Il taglio resistente è pari a 460 kN > 200 kN, da cui segue  **$p=2,30 > 1,00$** .  
La verifica è pertanto soddisfatta.

Si riporta adesso la verifica a punzonamento della soletta dove a favore di sicurezza si considera la sola soletta esistente con spessore 22cm.

#### DATI SOLETTA

Lunghezza piastra direzione x	$L_x$	1400	mm
Lunghezza piastra direzione y	$L_y$	2700	mm
Altezza totale della sezione	h	220	mm
Copriferro	c	30	mm
Dimensione armatura x	$\emptyset_x$	12	mm
Dimensione armatura y	$\emptyset_y$	8	mm
Altezza utile media	d	178	mm
Passo armatura posta in direzione x	//x	200	mm
Passo armatura posta in direzione y	//y	500	mm
Perc. armatura longitudinale direzione x	$\rho_x$	0.318	%
Perc. Armatura longitudinale direzione y	$\rho_y$	0.056	%

#### DIMENSIONI IMPRONTA

Altezza pavimentazione	$h_{pav}$	50	mm
Dimensione carico da normativa x	$a_x$	600	mm
Dimensione carico da normativa y	$a_y$	350	mm
Dimensione impronta x	$c_x$	700	mm
Dimensione impronta y	$c_y$	450	mm

Perimetro critico da EC2-2004

u<sub>1</sub>

4537

mm

## VERIFICA A PUNZONAMENTO

Resistenza a compressione del cls	f <sub>ck</sub>	13	MPa
Perentuale geometrica di arm. di progetto	p	0.13	%
Fattore di scala	k	2.00	-
Resistenza minima di punzonamento	v <sub>min</sub>	0.357	MPa
Resistenza ultima di punzonamento	v <sub>Rd</sub>	0.357	MPa
Carico ultimo di punzonamento	V <sub>Rd</sub>	288	MPa

La resistenza a punzonamento è pari a 288 kN > 200 kN, da cui segue **p=1,44 >1,00**.

La verifica è pertanto soddisfatta.

## 9.3. Le verifiche di resistenza delle pile

Le pile sono realizzate con elementi prismatici in calcestruzzo armato con sezione variabile con misure in sommità di 795x80cm, che si allargano leggermente scendendo verso il basso, ed hanno un'altezza di circa 9 m.

La massima azione allo SLU in testa alla pila è pari a 5004,47 kN.

Considerando un'asimmetria del carico verticale data dal movimento dell'appoggio unidirezionale si ha un momento flettente pari a  $5004,47 \times 0,1 = 500,45$  kNm.

Per quanto riguarda il taglio l'azione da considerare è quella del vento trasversale per lo stato limite SLU di 132,4 kN.

Per quanto riguarda lo statolo limite ultimo SLV i ha un sisma trasversale di 982,0 kN ed un carico verticale di 1697,42 kN.

### Stato limite ultimo SLU

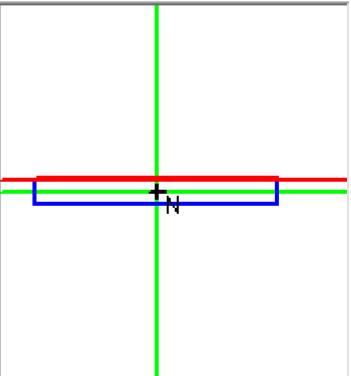
- **$N_{SLU} = 5004$  kN**
- **$V_{SLU} = 132$  kN**
- **$M_{SLU} = 500$  kNm**

### Stato limite ultimo SLV

- **$N_{SLU} = 1697$  kN**
- **$V_{SLU} = 982$  kN**
- **$M_{SLU} = 170$  kNm**

Per quanto riguarda le verifiche a pressoflessione anche senza considerare la presenza dell'armatura la pila risulta verificata come riportato nella seguente verifica di resistenza.

# Studio Micheloni

<b>Titolo :</b>	<input type="text"/>																															
<b>N° strati barre</b> <input type="button" value="0"/> <input type="button" value="Zoom"/>																																
<table border="1"> <tr> <th>N°</th> <th>b [cm]</th> <th>h [cm]</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>700</td> <td>80</td> </tr> </table>		N°	b [cm]	h [cm]	1	700	80	<b>Tipo Sezione</b> <input checked="" type="radio"/> Rettang.re <input type="radio"/> Trapezi <input type="radio"/> a T <input type="radio"/> Circolare <input type="radio"/> Rettangoli <input type="radio"/> Coord. <input type="radio"/> DXF																								
N°	b [cm]	h [cm]																														
1	700	80																														
																																
<b>Sollecitazioni</b> S.L.U. <input type="button" value="→"/> <input type="button" value="←"/> <b>Metodo n</b> <table border="1"> <tr> <td><b>N<sub>Ed</sub></b></td> <td><b>5004</b></td> <td><b>0</b> kN</td> </tr> <tr> <td><b>M<sub>xEd</sub></b></td> <td><b>500</b></td> <td><b>0</b> kNm</td> </tr> <tr> <td><b>M<sub>yEd</sub></b></td> <td><b>0</b></td> <td><b>0</b></td> </tr> </table> <b>Punto applicazione N</b> <input checked="" type="radio"/> Centro <input type="radio"/> Baricentro cls <input type="radio"/> Coord.[cm] <input type="radio"/> <b>xN 0</b> <input type="radio"/> <b>yN 0</b> <b>Tipo rottura</b> <b>Solo cls - Sez. parzializzata</b>			<b>N<sub>Ed</sub></b>	<b>5004</b>	<b>0</b> kN	<b>M<sub>xEd</sub></b>	<b>500</b>	<b>0</b> kNm	<b>M<sub>yEd</sub></b>	<b>0</b>	<b>0</b>																					
<b>N<sub>Ed</sub></b>	<b>5004</b>	<b>0</b> kN																														
<b>M<sub>xEd</sub></b>	<b>500</b>	<b>0</b> kNm																														
<b>M<sub>yEd</sub></b>	<b>0</b>	<b>0</b>																														
<b>Materiali</b> <table border="1"> <tr> <td>Duro 1939</td> <td>C16/20</td> </tr> <tr> <td><math>\varepsilon_{su}</math></td> <td>67.5 %</td> <td><math>\varepsilon_{c2}</math></td> <td>2 %</td> </tr> <tr> <td><math>f_y</math></td> <td>265.2 N/mm<sup>2</sup></td> <td><math>\varepsilon_{cu}</math></td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td><math>E_s</math></td> <td>200.000 N/mm<sup>2</sup></td> <td><math>f_c</math></td> <td>10.67</td> </tr> <tr> <td><math>E_s/E_c</math></td> <td>15</td> <td><math>f_{cc}/f_c</math></td> <td>0.8 <input data-bbox="659 1073 690 1140" type="button" value="?"/></td> </tr> <tr> <td><math>\varepsilon_{sy}</math></td> <td>1.326 %</td> <td><math>\sigma_{c,adm}</math></td> <td>7.25</td> </tr> <tr> <td><math>\sigma_{s,adm}</math></td> <td>195 N/mm<sup>2</sup></td> <td><math>\tau_{co}</math></td> <td>0.4667</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td><math>\tau_{c1}</math></td> <td>1.543</td> </tr> </table>			Duro 1939	C16/20	$\varepsilon_{su}$	67.5 %	$\varepsilon_{c2}$	2 %	$f_y$	265.2 N/mm <sup>2</sup>	$\varepsilon_{cu}$	3.5	$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_c$	10.67	$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_c$	0.8 <input data-bbox="659 1073 690 1140" type="button" value="?"/>	$\varepsilon_{sy}$	1.326 %	$\sigma_{c,adm}$	7.25	$\sigma_{s,adm}$	195 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0.4667			$\tau_{c1}$	1.543
Duro 1939	C16/20																															
$\varepsilon_{su}$	67.5 %	$\varepsilon_{c2}$	2 %																													
$f_y$	265.2 N/mm <sup>2</sup>	$\varepsilon_{cu}$	3.5																													
$E_s$	200.000 N/mm <sup>2</sup>	$f_c$	10.67																													
$E_s/E_c$	15	$f_{cc}/f_c$	0.8 <input data-bbox="659 1073 690 1140" type="button" value="?"/>																													
$\varepsilon_{sy}$	1.326 %	$\sigma_{c,adm}$	7.25																													
$\sigma_{s,adm}$	195 N/mm <sup>2</sup>	$\tau_{co}$	0.4667																													
		$\tau_{c1}$	1.543																													
<b>Metodo di calcolo</b> <input checked="" type="radio"/> S.L.U.+ <input type="radio"/> S.L.U.- <input type="radio"/> <b>Metodo n</b> <b>Tipo flessione</b> <input checked="" type="radio"/> Retta <input type="radio"/> Deviata <b>N° rett.</b> <b>100</b> <input type="button" value="Calcola MRd"/> <input type="button" value="Dominio M-N"/> <b>L<sub>o</sub></b> <b>0</b> cm <input type="button" value="Col. modello"/> <input type="button" value="M-curvatura"/> <input type="checkbox" value="Precompresso"/>																																

Il momento resistente è pari a 1829 kNm > 500 kNm, da cui segue  $\rho = 3,66 > 1,00$ .

La verifica è pertanto soddisfatta.

Come evidenziato in precedenza la pila presenta uno spessore di 80 cm e una larghezza di 700 cm. Trascurando la presenza delle armature si calcola il seguente taglio resistente.

SEZIONE	
b [mm]	800
h [mm]	7000
d' [mm]	30
A <sub>sl</sub> (mm <sup>2</sup> )	0
d [mm]	6970

$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	16
$f_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	9.066667
$f_{yk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	450
$f_{yd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	391.3043

k	1.169394
$\rho_l$	0
$\sigma_{cp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	3.958
$v_{min}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0.177039

$V_{Rd}$ [ kN ]	3310.471
$V_{Rd,min}$ [kN]	4297.642
$V_{Rd}$ [kN]	<b>4297.642 (VRd,min) taglio resistente</b>

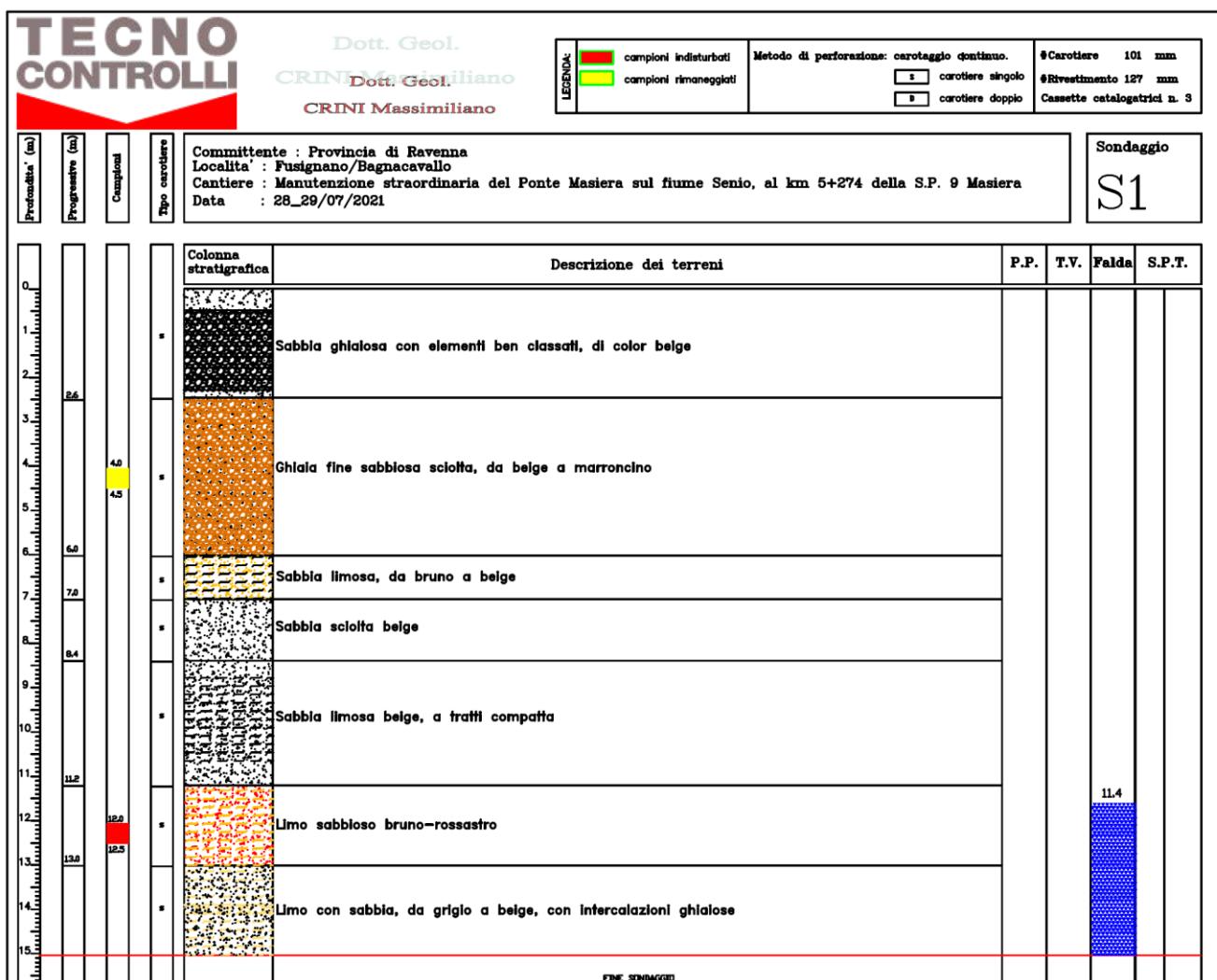
Il taglio resistente è pari a 4297 kN > 982 kN, da cui segue **p=4,38 > 1,00**.  
La verifica è pertanto soddisfatta.

## 10. Le verifiche delle fondazioni

Per le verifiche della portata dei pali è stato utilizzato il software Aztec Carl del quale sono allegati tutti i listati di calcolo.

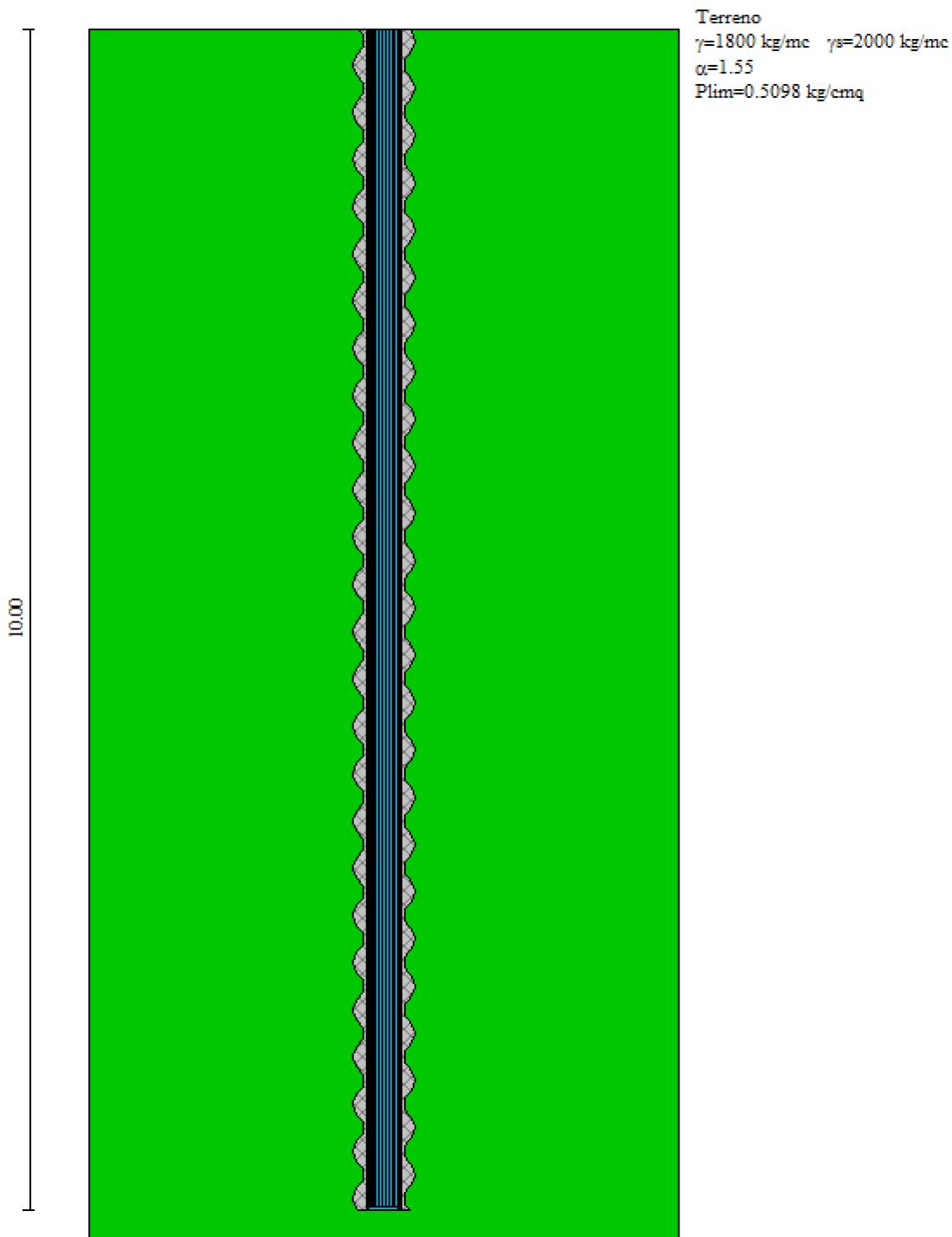


La colonna litotecnica considerata è quella dell'unico sondaggio che è stato possibile effettuare nell'area



Le unità di terreno interessate dai pali sono quindi dei litotipi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi con buone caratteristiche di angolo di attrito.

Si prevede quindi di verificare dei micropali con diametro reso pari a 28cm e profondità 10m. armati con un profilo tubolare in acciaio valvolato con diametro 177.8mm e spessore 12,5mm in acciaio S355.



Per la determinazione della resistenza laterale dei micropali si fa riferimento al metodo di Bustamente e Doix (1985):

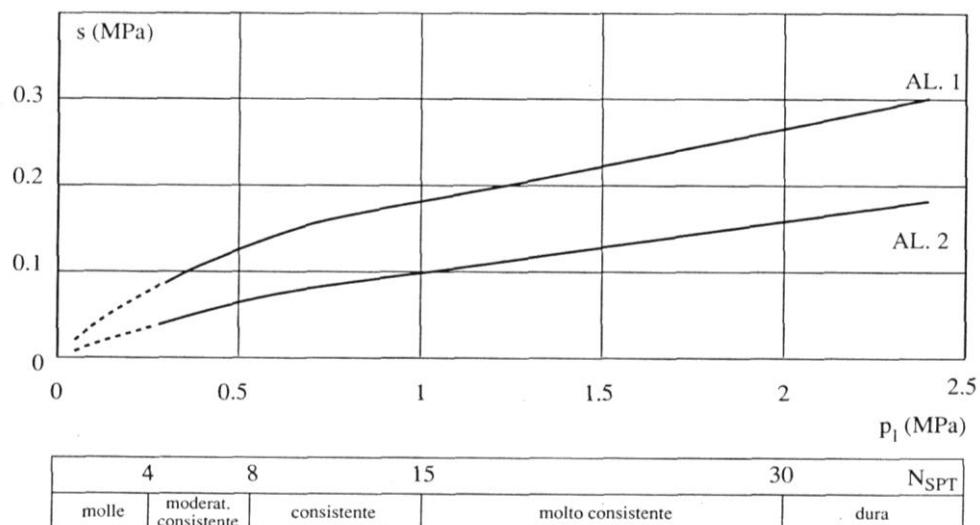


Fig. 13.17. Abaco per il calcolo di s per argille e limi

A vantaggio di sicurezza si sceglie  $s=0.05$  MPa nonostante le ghiaie presentino caratteristiche migliori.

Viene considerato quindi un diametro complessivo del palo pari a 250 mm, un tubo in acciaio di 177.8 mm e spessore 12,5 mm, ed una lunghezza di 10m.

Il plinto di ritegno delle azioni orizzontali è fondato su 14 micropali con le caratteristiche sopra descritte su cui gravano i seguenti carichi.

#### Stato limite ultimo SLU sul singolo palo per frenamento

- $N_{SLU,palo} = 20 \text{ kN}$
- $V_{SLU,palo} = 457 \text{ kN /14 pali} = 33 \text{ kN}$

#### Stato limite di salvaguardia della vita SLV sul singolo palo per sisma

- $N_{SLU,palo} = 20 \text{ kN}$
- $V_{SLU,palo} = 1473 \text{ kN /14 pali} = 105 \text{ kN}$

Per la verifica viene quindi considerata l'azione orizzontale maggiore in presenza di sisma.

 Dettagli risultati palo [comb 1] SLU A1-M1-R3	<span style="font-size: 2em;">×</span>
<b>Geometria palo</b>	
L = 10.00 m	D = 25.00 cm
<b>Portanza verticale</b>	
P <sub>p</sub> min = 9309 kg	P <sub>p</sub> med = 9309 kg
P <sub>l</sub> min = 62061 kg	P <sub>l</sub> med = 62061 kg
W <sub>p</sub> = 509 kg	
P <sub>d</sub> = 35292 kg	N = 2000 kg $\eta$ = 17.65
<b>Coefficienti di capacità portante</b>	
N <sub>c</sub> = --	N <sub>q</sub> = --
N' <sub>c</sub> = --	N' <sub>q</sub> = --
<b>Portanza trasversale</b>	
T <sub>d</sub> = 10682 kg	T = 10521 kg $\eta$ = 1.02
M <sub>u</sub> = 11570 kgm	
<b>Armatura palo (primo tratto)</b>	
<b>Armatura palo (secondo tratto) - y =</b>	
<b>Cedimenti</b>	
w = 0.020 cm	u = 1.081 cm

Il coefficiente di sicurezza nei confronti della portata verticale risulta quindi pari a:

**$\rho=17,65 > 1,00$ .**

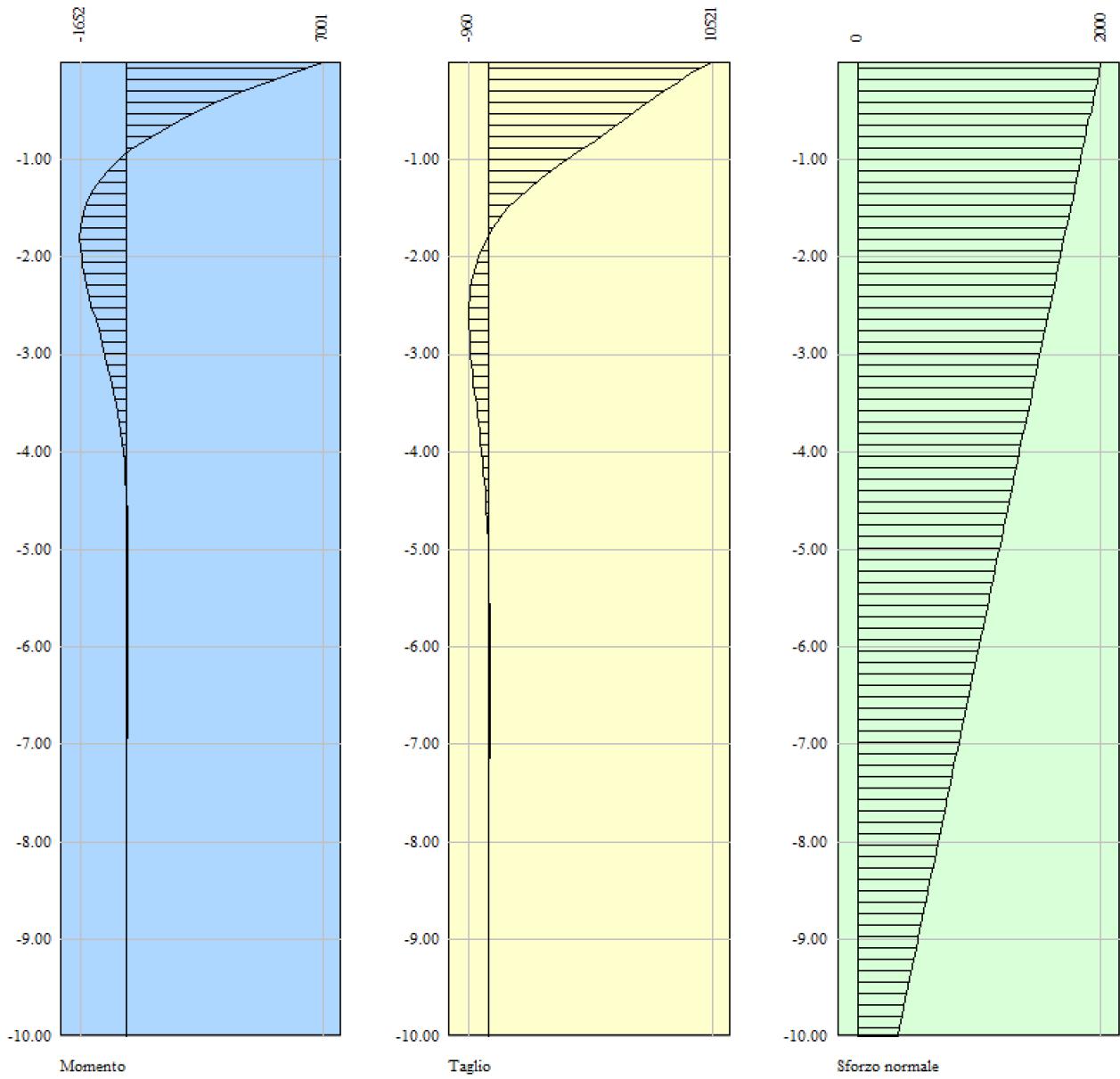
La verifica è pertanto soddisfatta.

Il coefficiente di sicurezza nei confronti della portata trasversale risulta quindi pari a:

**$\rho=1,02 > 1,00$ .**

La verifica è pertanto soddisfatta.

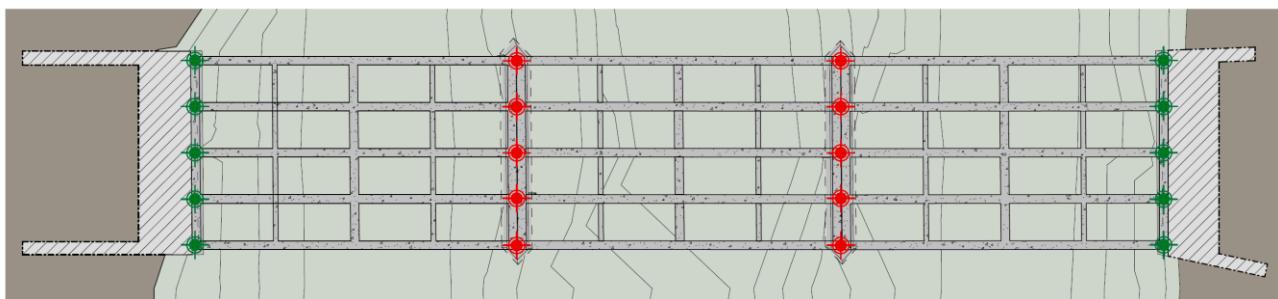
Nei seguenti grafici vengono riportati per completezza gli andamenti di sforzo normale, momento e taglio sul palo.



## 11. Progetto di sostituzione degli appoggi

L'esistente sistema di appoggio dell'impalcato su pile e spalle non è più in grado di garantire il corretto trasferimento dei carichi previsto all'epoca del progetto originale e non è in grado di soddisfare le verifiche previste dalle vigenti normative.

Il progetto di adeguamento delle strutture prevede l'inserimento di nuovi appoggi a disco elastomerico confinato che permettono lo scorrimento unidirezionale nella direzione longitudinale del ponte, rimandando così le spinte orizzontali di frenamento e sisma al sistema di ritegno posto a tergo della spalla sinistra.



Sulle spalle vengono previsti degli appoggi unidirezionali a disco elastomerico confinato tipo "Vasoflon VU100/100 - 10" e sulle pile vengono previsti degli appoggi unidirezionali a disco elastomerico confinato tipo "Vasoflon VU150/100 - 15", con le caratteristiche riportate nella seguente tabella.



Appoggi in elastomero confinato unidirezionali tipo "Vasoflon VU 100/100 - 10"



Appoggi in elastomero confinato unidirezionali tipo "Vasoflon VU 150/100 - 15"



VU NORMAL	DESIGN VERTICAL LOAD kN	MAXIMUM HORIZONTAL LOAD kN	BASE ELEMENT DIAMETER mm	n	n <sub>b</sub>	DOWELS (UPPER/LOWER)
BEARING TYPE	N <sub>sd</sub> ULS kN	V <sub>ULS</sub> kN	D <sub>o</sub> mm			
VU 100/100-10	1.000	100	245	4/4	1	270   335   280   280   98   36
VU 150/100-15	1.500	150	275	4/4	1	275   365   300   300   97   44

## **12. Caratteristiche ed affidabilità dei codici di calcolo**

In conformità con quanto previsto al paragrafo 10.2 delle NTC2018 e al paragrafo B.2.2 dell'allegato B al DGR 1373 del 2011 si riportano di seguito le caratteristiche e le dichiarazioni sull'affidabilità dei codici di calcolo.

### **12.1. Tipo di analisi svolta**

L'analisi strutturale e le verifiche sono state condotte con l'ausilio di codici di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo delle strutture d'impalcato viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo delle sollecitazioni, dovute al carico applicato;
- Verifiche delle sezioni resistenti.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

### **12.2. Origine e caratteristiche dei codici di calcolo per l'impalcato**

Titolo	SAP2000 Plus
Versione	24
Produttore	Computer and Structures, Inc.
Utente	Studio Micheloni S.r.l.
Licenza	15ZMHEZ8622MWB2

### **12.3. Origine e caratteristiche dei codici di calcolo per le fondazioni profonde**

Il codice di calcolo utilizzato è il seguente.

Titolo	CARL - Carico Limite e Cedimenti
Versione	14.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	Studio Micheloni S.r.l.
Licenza	AIU5325AI

## **12.4. Altri software utilizzati**

Oltre ai codici di calcolo sopra riportati è stato utilizzato per la verifica delle sezioni in cemento armato il software Vca.Slu Ver.7.7 del Prof. Piero Gelfi.

Sono inoltre stati utilizzati dei fogli di calcolo “Excel” elaborati dal progettista che ha avuto cura di verificarne l'affidabilità.

## **12.5. Affidabilità dei codici di calcolo**

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrici dei software hanno verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

## **12.6. Modalità di presentazione dei risultati**

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi.

## **12.7. Informazioni generali sull'elaborazione**

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

## **12.8. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati**

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal progettista ed utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle

scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.