

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROV. DI TRENTO

dott.ing. **ROBERTO BOSETTI**

INSCRIZIONE ALBO N° 1027

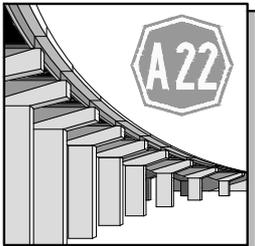
IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

dott. ing. Roberto Bosetti

autostrada del brennero

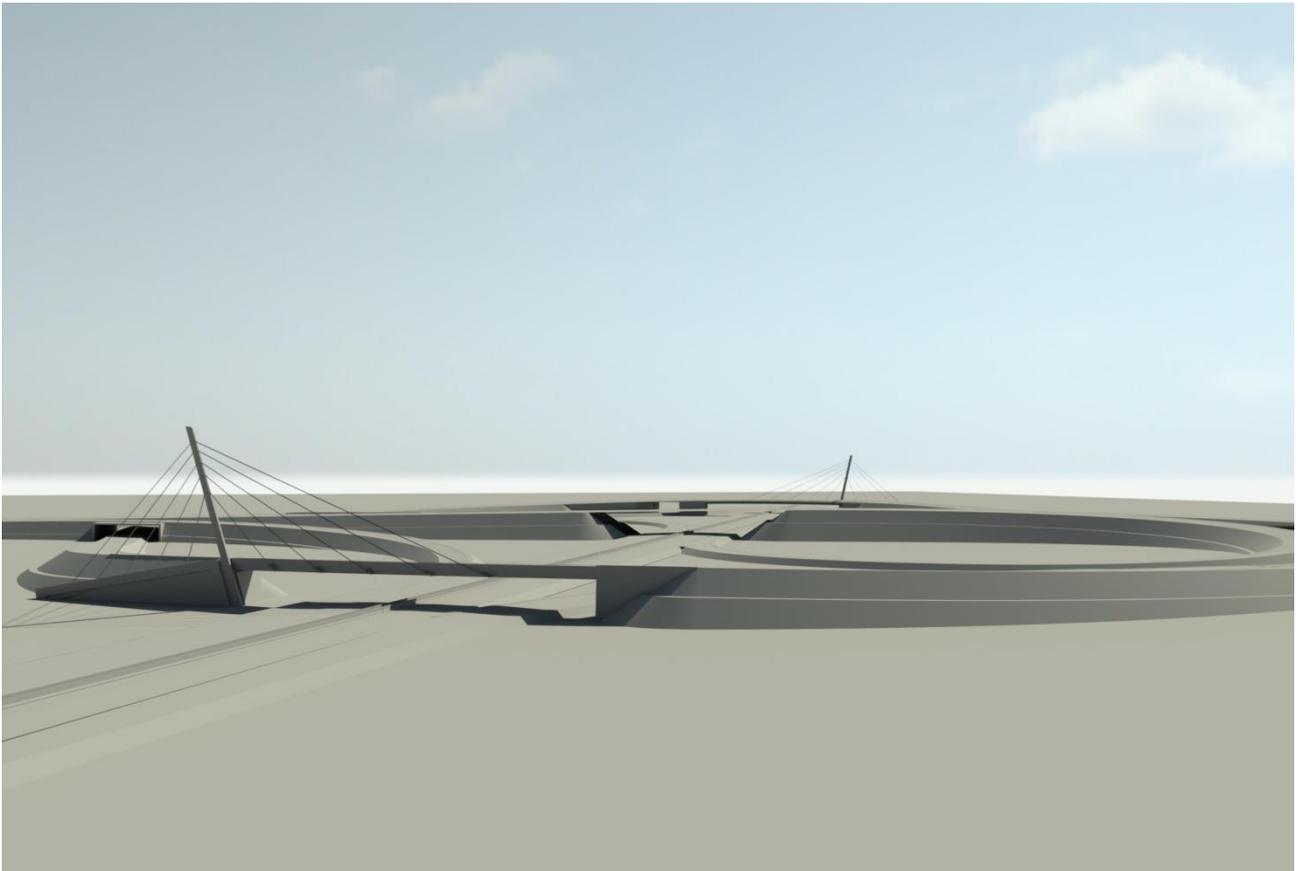
PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE
DELLA TERZA CORSIA NEL TRATTO COMPRESO
TRA VERONA NORD (KM 223) E L'INTERSEZIONE
CON L'AUTOSTRADA A1 (KM 314)

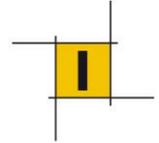
C	LOTTO 1 - da Campogalliano (km 312+200) al km 313+710
7.2.1.3.	OPERE D'ARTE PRINCIPALI SOVRAPPASSO PISTA MODENA-SASSUOLO - B02 RELAZIONI Relazione sulle metodologie di varo delle strutture

0	MAR. 2021	EMISSIONE	M. PETRANGELI	L. LEARDINI	C. COSTA
REVISIONE:	DATA:	DESCRIZIONE:	REDAZIONE:	VERIFICA:	APPROVAZIONE:
DATA PROGETTO: LUGLIO 2009			DIREZIONE TECNICA GENERALE		IL DIRETTORE TECNICO GENERALE E PROGETTISTA: 
NUMERO PROGETTO: 31/09					

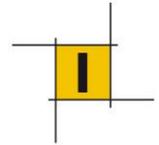
Cavalcavia B02 del nuovo svincolo della Autostrada del Brennero con la A1

RELAZIONE DI CALCOLO DELL'IMPALCATO DURANTE LE FASI DI COSTRUZIONE





1	GENERALITA'	2
2	DESCRIZIONI DELLE FASI	5
3	ANALISI STRUTTURALE DELLE PRINCIPALI FASI DI VARO	9
3.1	MODELLO DI CALCOLO PER FASI	9
3.1.1	Fase 1B.....	9
3.1.2	Fase 2B.....	11
3.1.3	Confronto col modello in esercizio.....	13
3.1.4	Considerazioni sulle pile provvisorie	18
4	DISORSIONI IMPOSTE TRAMITE GLI APPOGGI SPALLA B.....	20
5	CALIBRAZIONE DEGLI STRALLI	21
5.1	Tesatura iniziale.....	21
5.2	Regolazione finale	22



1 GENERALITA'

L'opera in progetto si inquadra nella realizzazione della nuova intersezione della A22 Autobrennero con l'autostrada A1, pochi chilometri a nord dello svincolo di Modena NORD.

Detti lavori prevedono la realizzazione di tre distinte opere che permettono di sorpassare in quota la sede della A1: un'opera principale e due opere laterali. Oggetto del presente incarico è la progettazione strutturale delle due opere laterali.

I due cavalcavia in progetto sono concepiti secondo una logica coerenza formale facilitata anche dal fatto che le caratteristiche plano-altimetriche risultano pressoché identiche. Essi sono individuati dalla seguente nomenclatura:

- Scavalco OVEST: B02;
- Scavalco EST: B03.

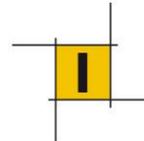
Planimetricamente ciascun viadotto si sviluppa secondo un raggio costante di circa 180m, mentre altimetricamente la livelletta stradale presenta un raggio di circa 3500m per l'opera B02 e 3000m per l'opera B03; i flessi altimetrici sono raggiunti in corrispondenza dei viadotti.

Ciascuna opera è costituita da un impalcato metallico a cassone monocellulare di luce pari a circa 87m, il quale viene sostenuto da 5 stralli, equispaziati con interasse circa 12m e posizionati sul lato esterno curva e pertanto eccentrici. Alle estremità il ponte risulta solidarizzato alla spalla lato cavi di ammarro, mediante un trasverso d'acciaio a cassone inglobato nel muro frontale della spalla stessa, mentre lato spalla opposta l'impalcato presenta uno schema di semplice appoggio con 3 appoggi multidirezionali e un sistema di ritegno trasversale.

Le due spalle sono di tipo scatolare con fondazioni profonde su pali del 1200. La platea di fondazione della spalla lato ammarro è costituita da un unico elemento che accoglie sia la torre che i muri di elevazione della spalla ed infine anche la struttura del massivo di ancoraggio. Quest'ultimo è rappresentato da un muro di spessore 2.3m con profilo curvo sia in elevazione che planimetricamente. La geometria planimetrica del muro è stata stabilita in modo che ciascun cavo eserciti solo effetti di compressione sull'antenna, ovvero che l'antenna ed i due segmenti del cavo (lato impalcato e lato ammarro) giacciono sullo stesso piano. Unica eccezione è stata fatta per i primi due cavi (quelli con inclinazione maggiore) la cui geometria è stata studiata in modo che essi presentino una leggera componente trasversale tale da stabilizzare il peso della torre stessa, che come detto possiede una eccentricità rispetto al piano medio degli stralli.

L'impalcato metallico è costituito da un cassone trapezio di altezza 220cm e basi 500 e 610cm. Il cassone è posizionato eccentrico rispetto all'asse stradale, ovvero sul lato esterno curva. La struttura che supporta il piano di rotolamento è realizzata da una lastra ortotropa, che lato interno curva viene sostenuta da mensoloni di lunghezza circa 660cm che prolungano il corrente superiore dei diaframmi del cassone. Questi ultimi sono realizzati mediante piatti trasversali a T perimetrali alle lastre del cassone e irrigiditi da due diagonali a V in profili a doppio T.

L'antenna è realizzata con una sezione cava circolare variabile con diametro massimo alla base pari a 2200mm e in testa di 1900mm, anche lo spessore varia da 40mm a 30mm. L'elemento sviluppa una lunghezza di poco superiore a 31m e presenta una inclinazione rispetto all'asse verticale di circa 28°, planimetricamente



l'inclinazione di detta antenna è orientata verso l'esterno curva dal lato degli ammarri dei cavi. Superiormente è prevista la realizzazione di un puntale non strutturale a carattere architettonico.

Sono presenti 5 ordini di cavi con inclinazioni variabili tra 30 e 15° sull'orizzontale lato impalcato e tra 65° e 50° lato ammarro e lunghezze comprese tra 25 e 75m circa. Il ponte pertanto si configura ai limiti dello schema stallato data la limitata inclinazione degli stralli più esterni.

I cavi sono composti in trefoli di diametro 15.7mm (Sezione 1.5cm²) rivestiti in resina e viplati, sono presenti due configurazioni: 31 trefoli per i due cavi maggiormente inclinati e più corti e 37 trefoli per i restanti. Il cavo è passante sull'antenna, ovvero gli unici ancoraggi previsti sono sull'impalcato metallico e sul muro di ancoraggio dal lato opposto.

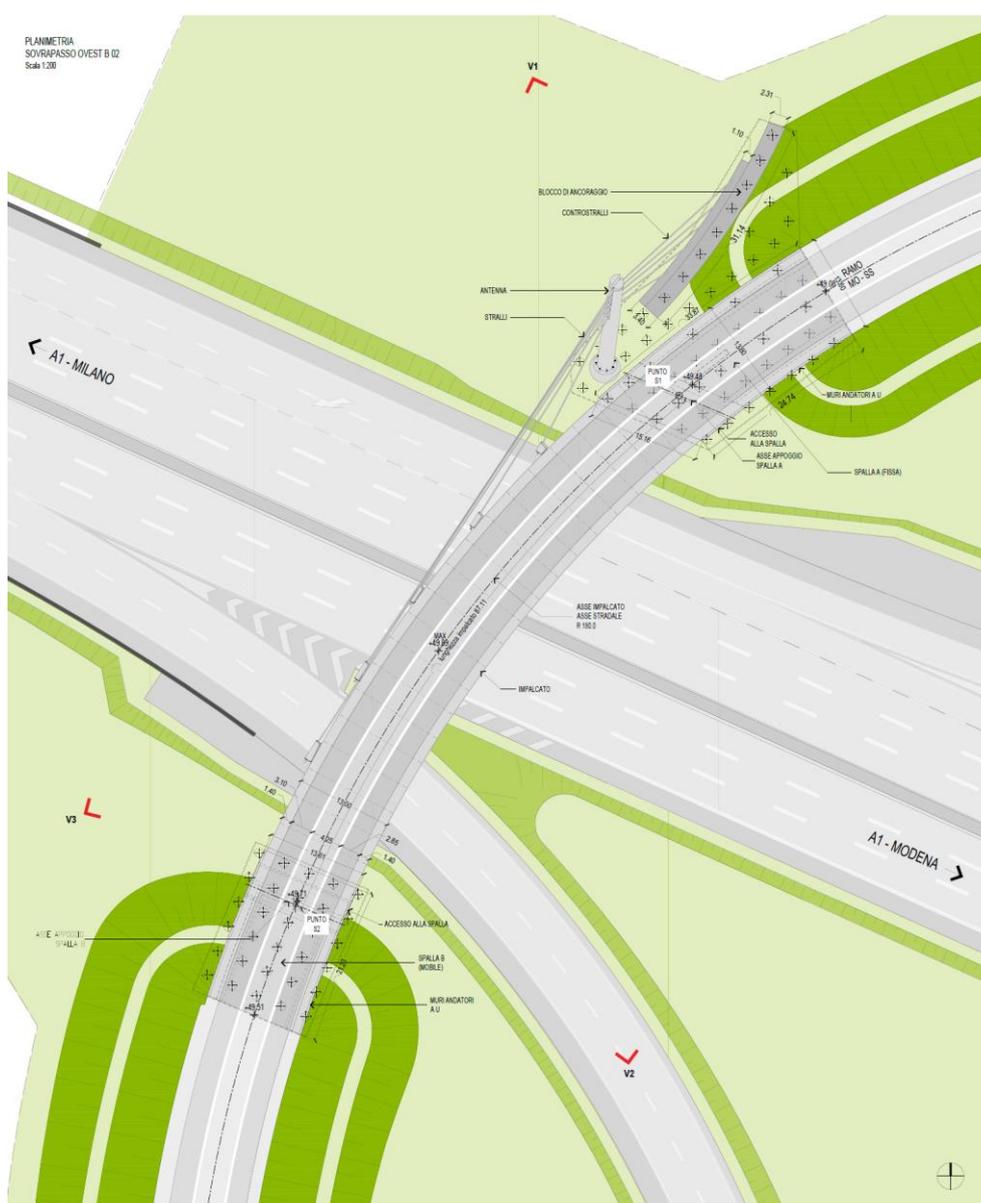


Figura 1: planimetria scavalco B02

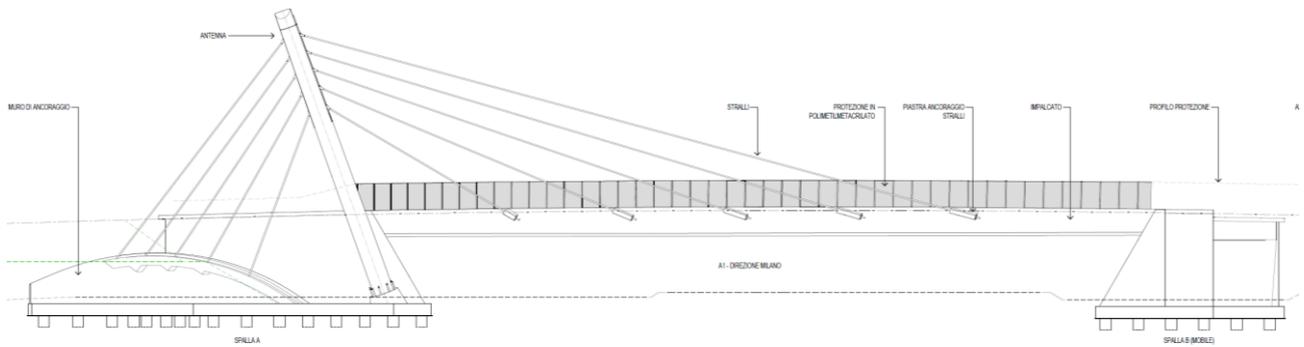
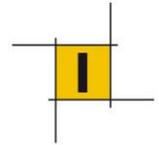


Figura 2: prospettiva

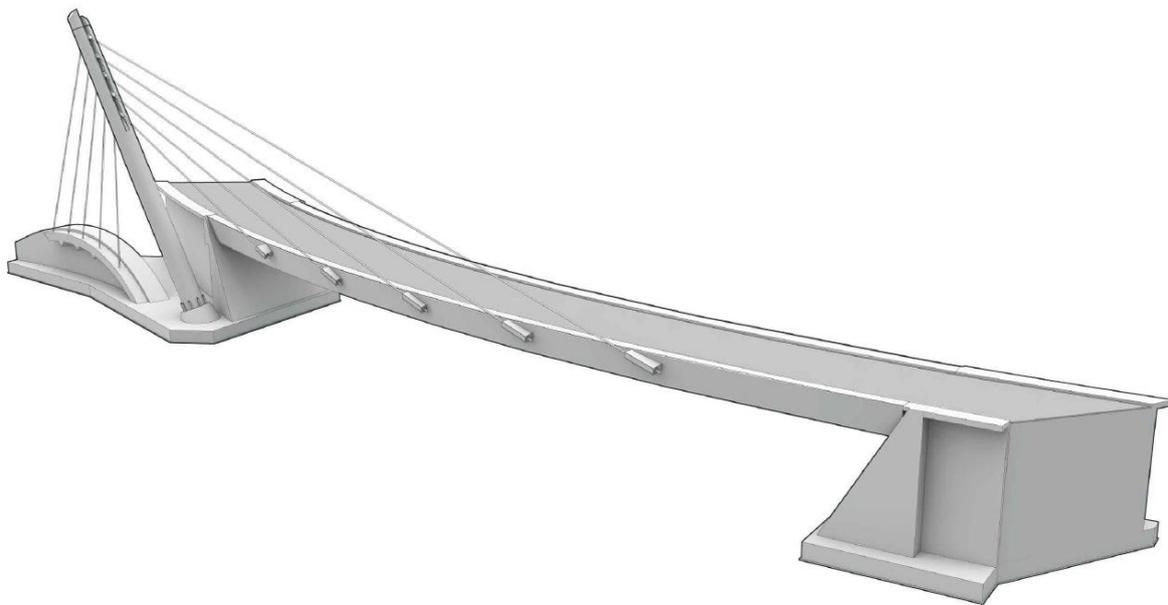
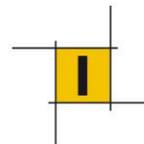


Figura 3: render

La presente relazione si pone l'obiettivo di illustrare la fasizzazione della messa in opera dell'impalcato e fornire i principali dati tecnici utili per gli opportuni approfondimenti rimandati al progetto di varo del ponte.



2 DESCRIZIONI DELLE FASI

Le principali fasi realizzative dell'opera possono essere sintetizzate nei seguenti momenti.

1. Realizzazione delle opere in c.a.
2. Assemblaggio delle carpenterie metalliche in una opportuna area di cantiere in prossimità del sito di costruzione.
3. Montaggio dell'antenna e realizzazione di due pile provvisorie ubicate per quanto possibile in maniera simmetrica allo sviluppo del ponte compatibilmente con i vincoli della viabilità sottostante.
4. Varo dell'impalcato metallico (che potrà avvenire indifferentemente mediante spinta dalla spalla A (lato ancoraggi) oppure con una movimentazione della struttura pre-assemblata su carrelloni gommati).
5. Solidarizzazione dell'impalcato al muro frontale della spalla A.
6. Montaggio e tesatura dei trefoli.
7. Rimozione delle pile provvisorie.
8. Applicazione delle distorsioni sugli appoggi della spalla B ed introduzione dei dispositivi di appoggio definitivi più esterni.
9. Realizzazione dei marciapiedi e delle pavimentazioni.
10. Introduzione del dispositivo di appoggio centrale con calibrazione del carico secondo quanto indicato nelle relazioni di calcolo.
11. Completamento delle opere di finitura del ponte, controllo delle tensioni nei cavi e rilievo topografico della geometria dell'opera.
12. Eventuale ricalibratura dei tiri degli stalli.

Le immagini seguenti rappresentano schematicamente le fasi descritte in precedenza:

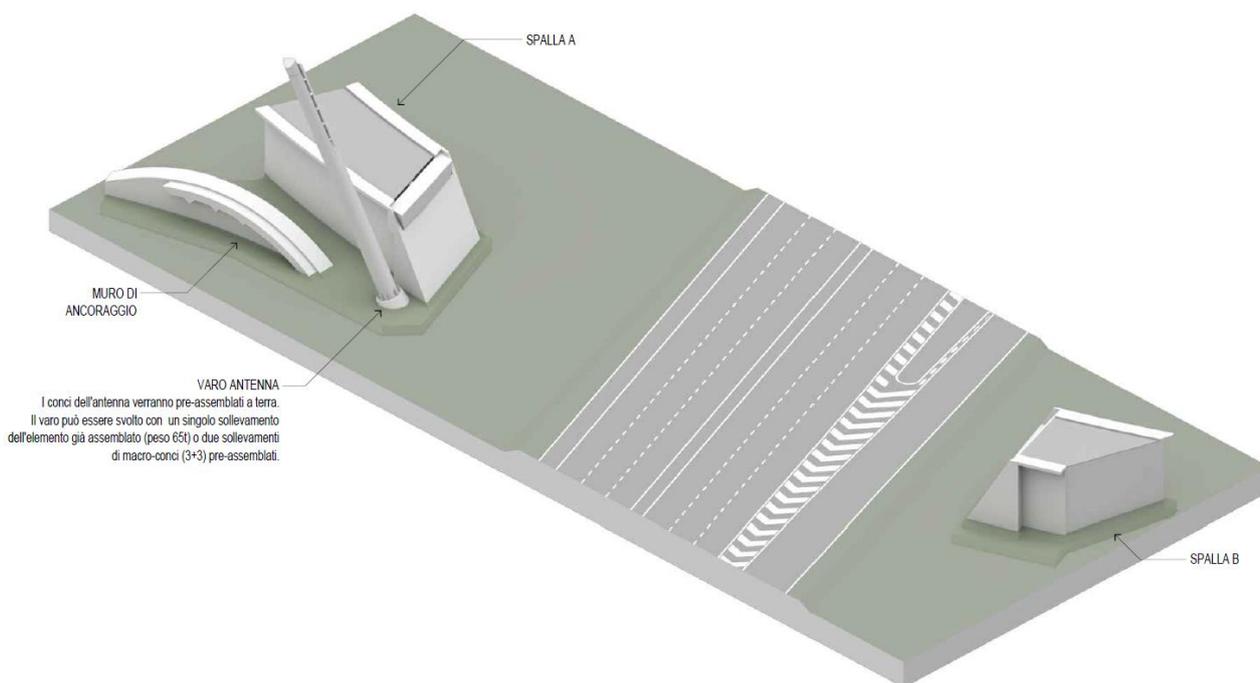


Figura 4: Realizzazione delle sottostrutture in c.a.

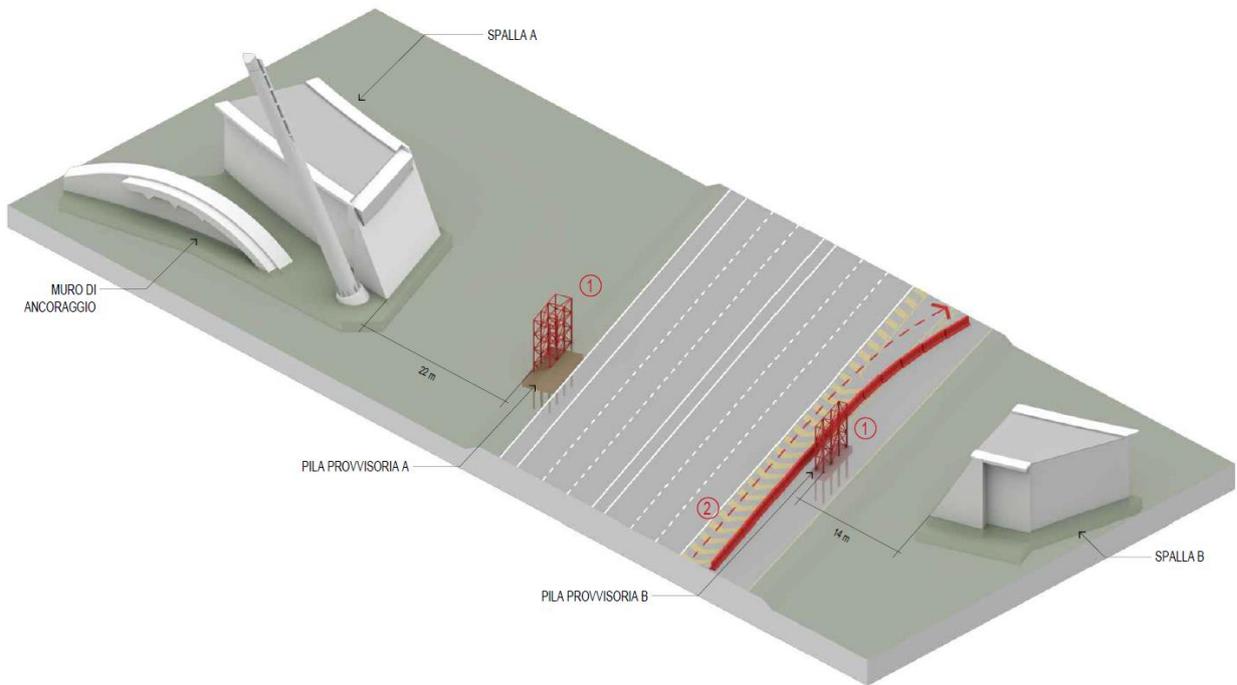
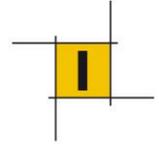


Figura 5: Realizzazione pile provvisorie e eventuali modifiche alla viabilità interferita.

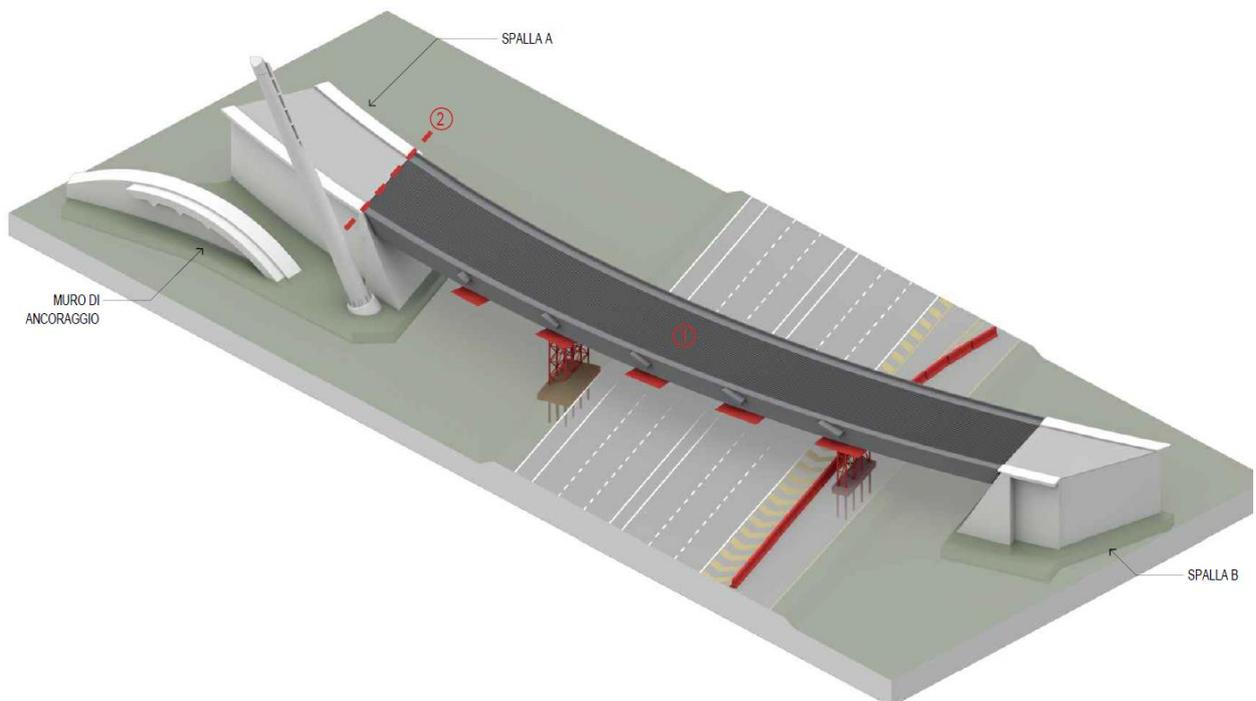


Figura 6: Montaggio dell'impalcato e solidarizzazione alla spalla A.

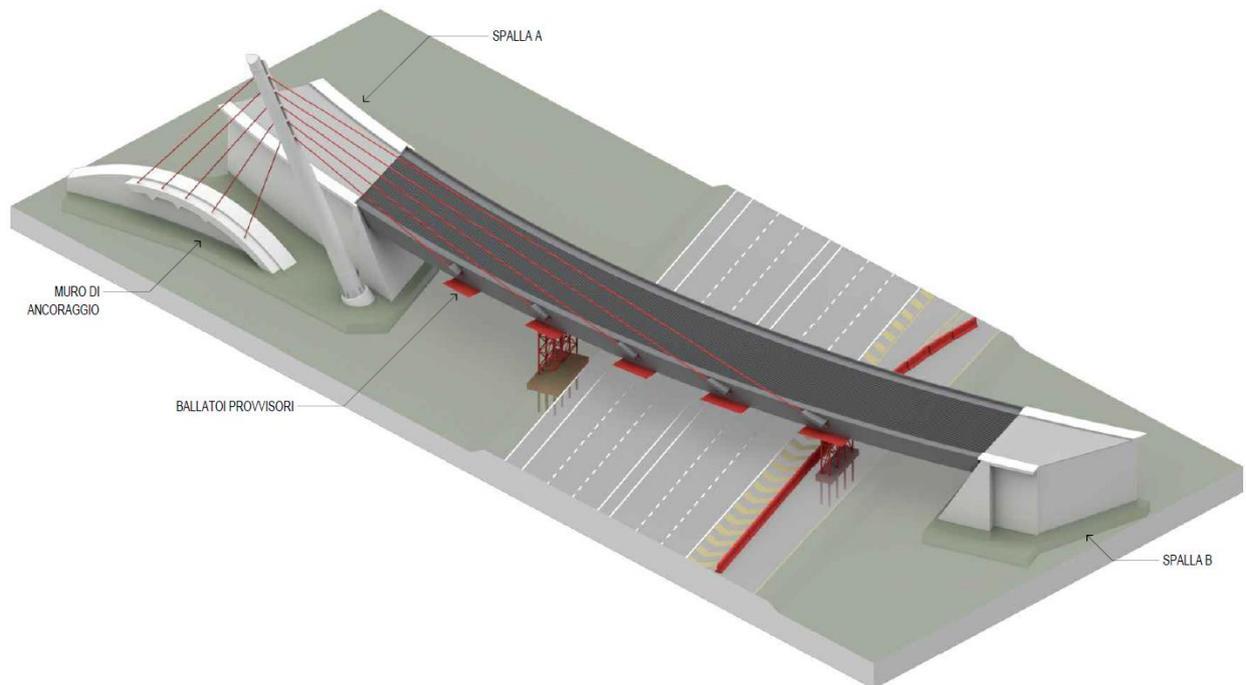
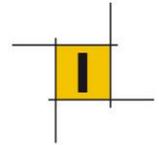


Figura 7: Tiro degli stralli e rimozione delle pile provvisorie.

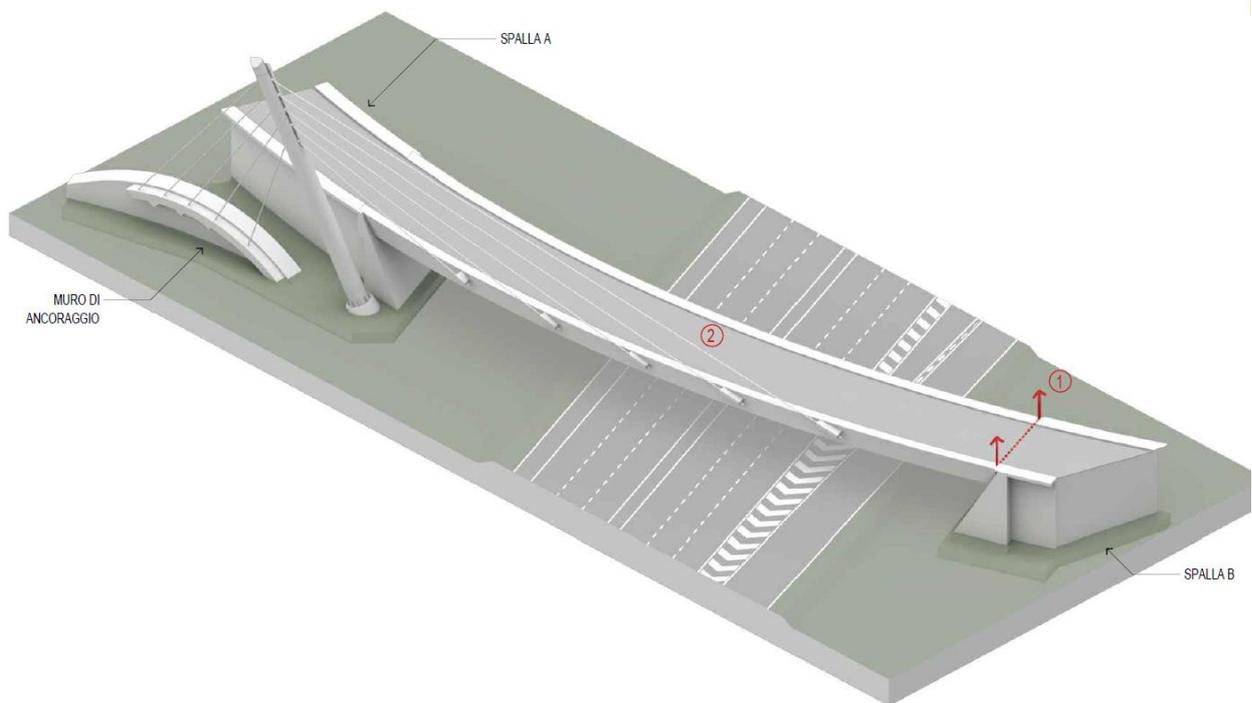


Figura 8: Applicazione delle distorsioni di progetto dell'impalcato per tramite degli appoggi spalla B; realizzazione dei marciapiedi, pavimentazioni

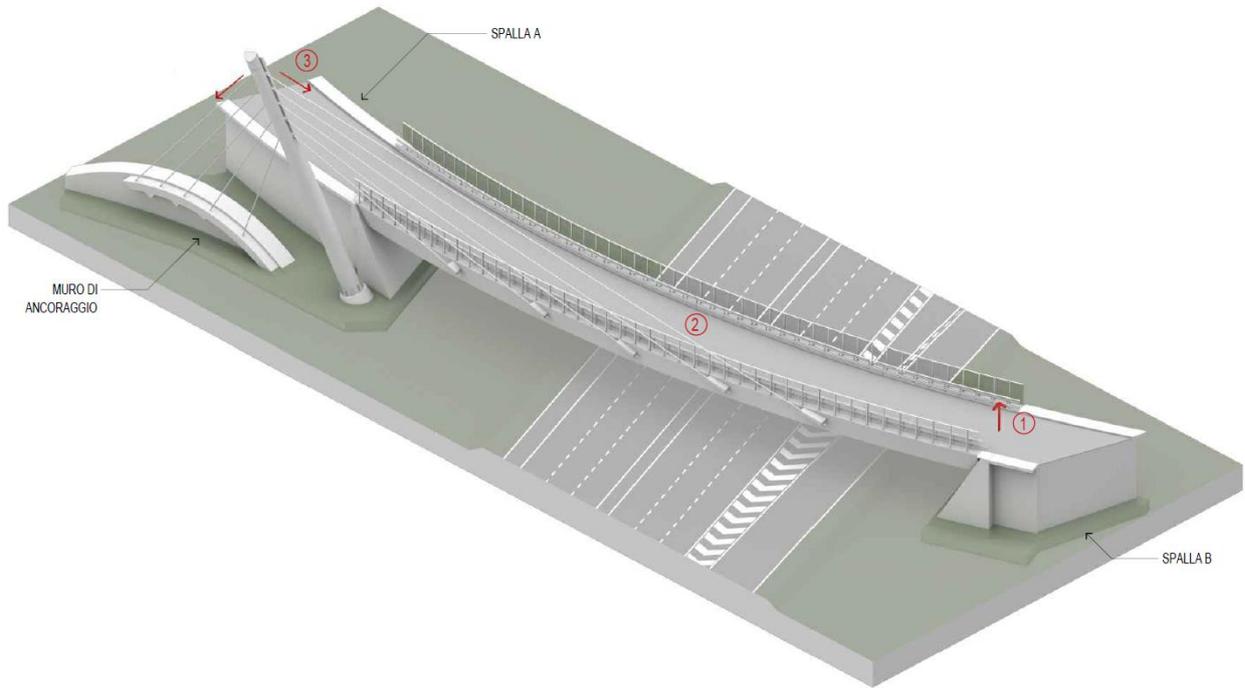
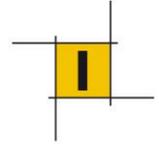
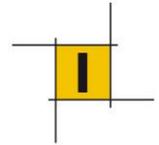


Figura 9: Introduzione dell'appoggio centrale spalla B, completamento delle finiture del ponte e (eventuale) regolazione finale degli stralli.



3 ANALISI STRUTTURALE DELLE PRINCIPALI FASI DI VARO

3.1 MODELLO DI CALCOLO PER FASI

In questa sezione si procede alla valutazione da risposta strutturale dell'opera conseguenti alle fasi realizzative sotto indicate:

1B. Impalcato metallico poggiato sulle due spalle e le due pile provvisorie (4 appoggi);

2B. Cambiamento dello schema vincolare legato alla solidarizzazione dell'impalcato alla spalla e rimozione delle torri provvisorie (ovvero sollevamento dell'impalcato a seguito del tiro degli stralli).

3.1.1 Fase 1B

Questa fase fotografa la situazione in cui l'impalcato metallico gravato dal solo peso proprio (assunto pari a 64 kN/m) si trova sotto uno schema statico di trave continua su 4 appoggi.

La scansione delle luci provvisorie è indicata nella tabella sottostante e risulta compatibile con la viabilità della A1 sovrappassata dalla costruenda opera con minime interferenze.

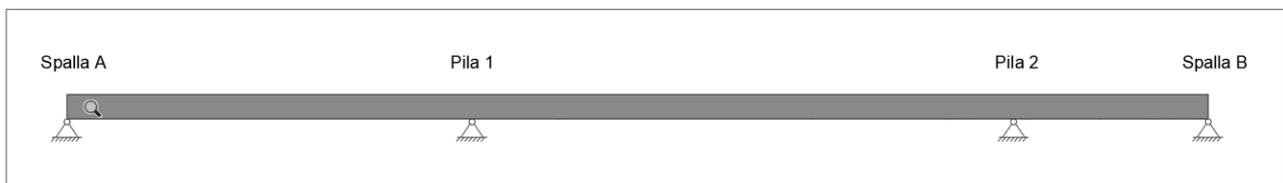
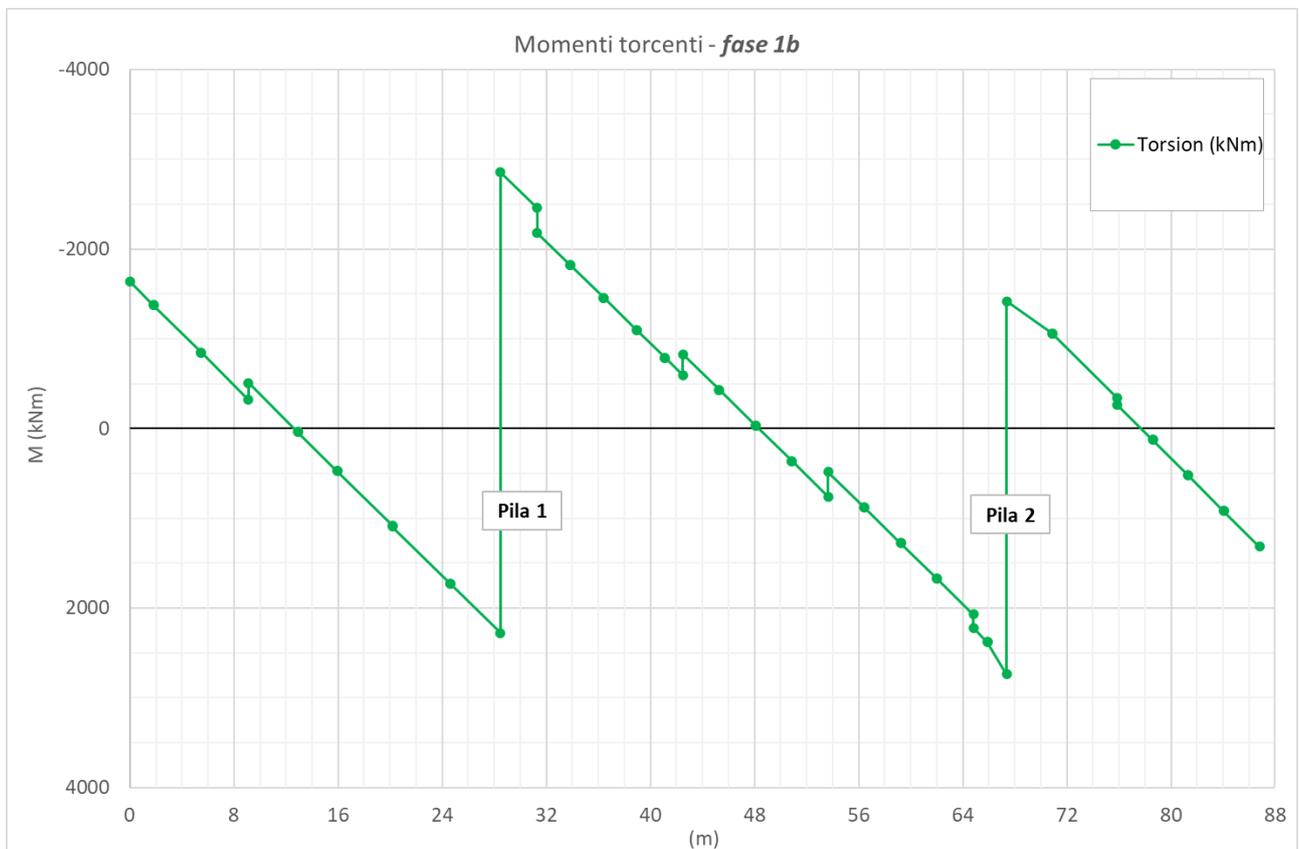
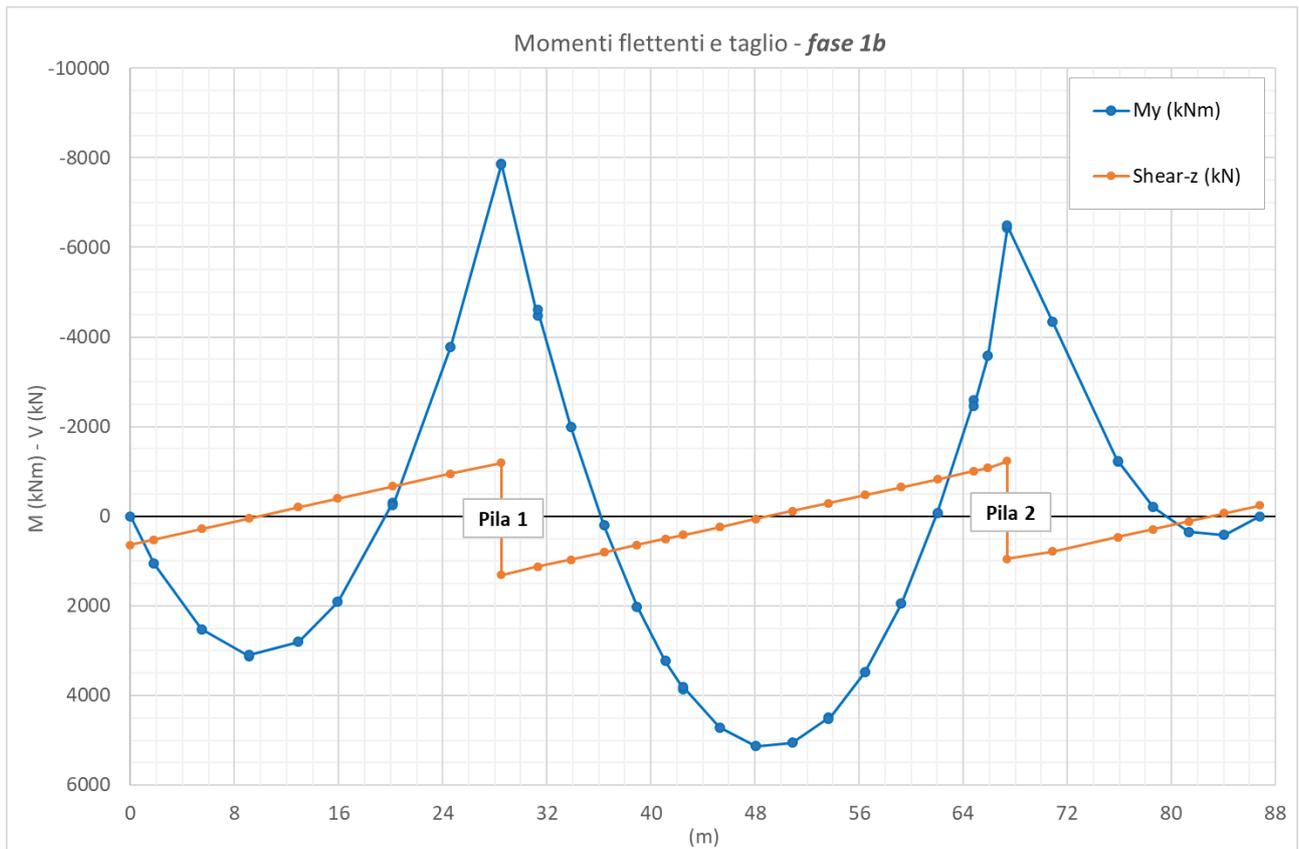
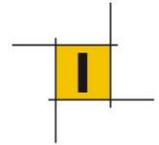
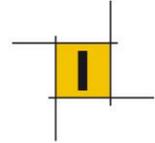


Figura 10: Schema statico - fase 1b

	Sp.A-P1	P1-P2	P2-Sp.B
L (m)	29	39	19

I diagrammi delle principali sollecitazioni dell'impalcato sono rappresentati nei seguenti grafici.





Le reazioni agli appoggi sono indicate nella seguente tabella:

	Sp.A	P1	P2	Sp.B
Rz (kN)	635	2495	2176	241
Mt (kNm)	1639	5136	4152	1318

Analizzando i valori su esposti ed ipotizzando che il cassone venga poggiato su due appoggi provvisori posti in corrispondenza delle anime (interasse circa 5m) ad eccezione della spalla B dove l'appoggio interno curva sarà posto nella posizione di quello definitivo (interasse circa 8.5m), si otterrebbero la seguente ripartizione dei carichi, che indicherebbe la possibilità di sollevamento dell'appoggio interno curva sulle due spalle.

Dovranno essere previste le opportune contromisure (dispositivi anti-sollevamento) al fine di evitare/controllare il fenomeno.

Rz (kN)	Sp.A	P1	P2	Sp.B
est curva	645	2275	1918	276
int curva	-10	220	257	-35

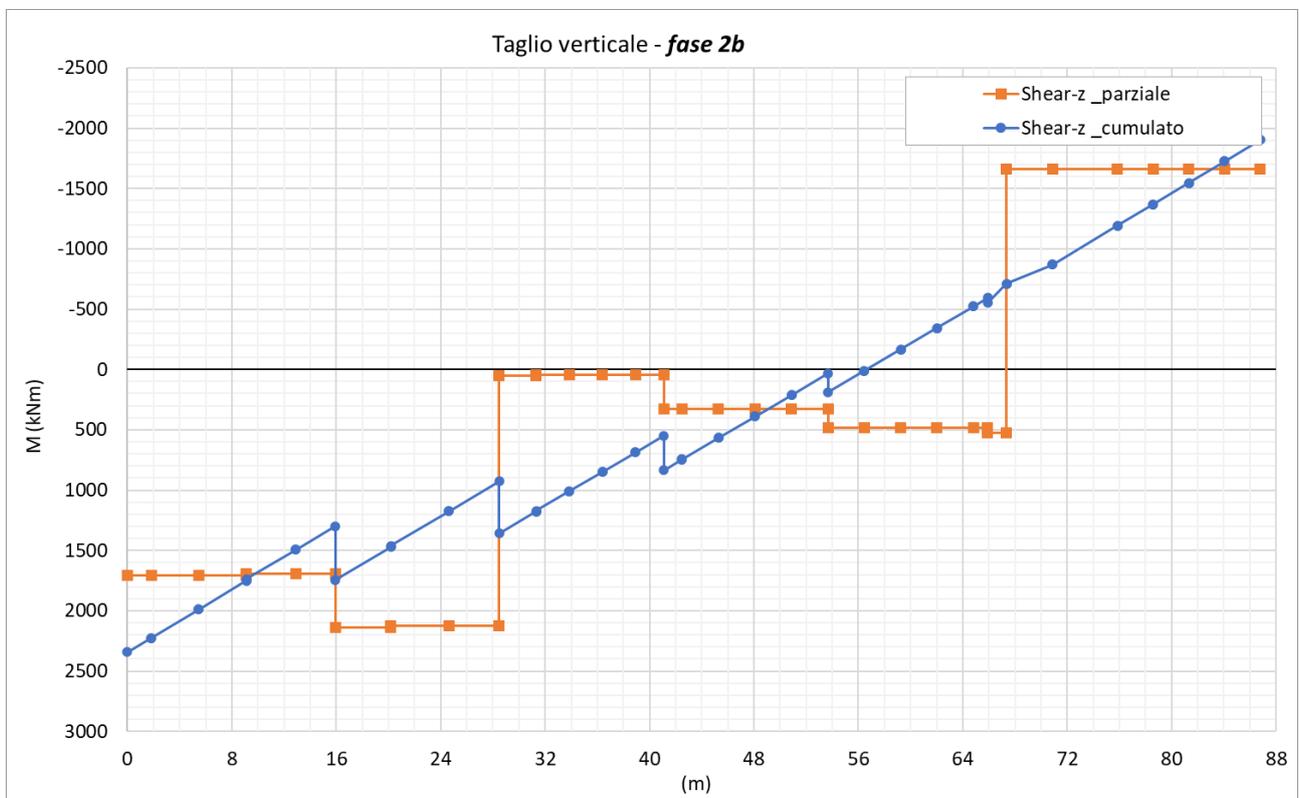
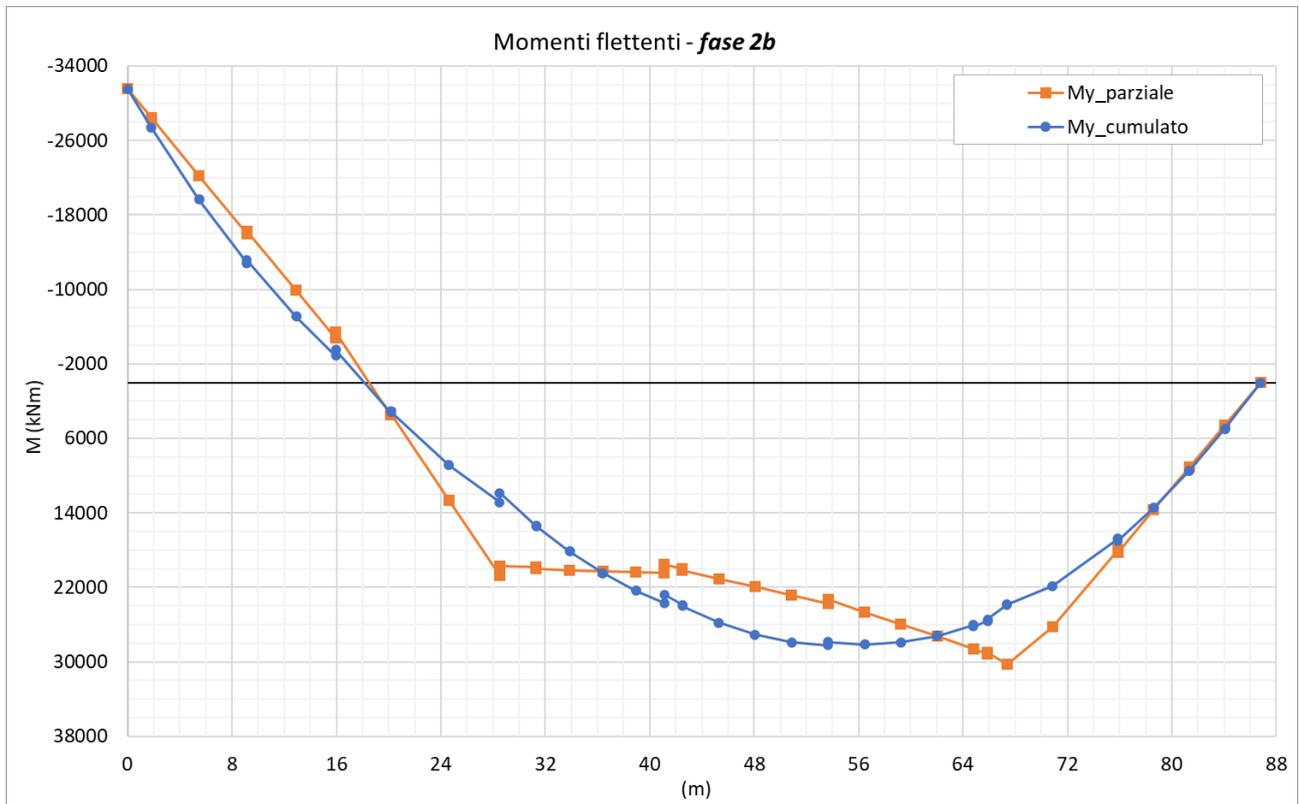
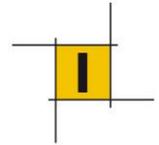
Si tiene inoltre a specificare che detti risultati possono essere considerati quali valori limite in eccesso, in quanto valutati su un peso della struttura d'acciaio di progetto che orientativamente è stimabile superiore di circa il 15% rispetto a quello effettivo risultato dal computo finale dell'opera metallica.

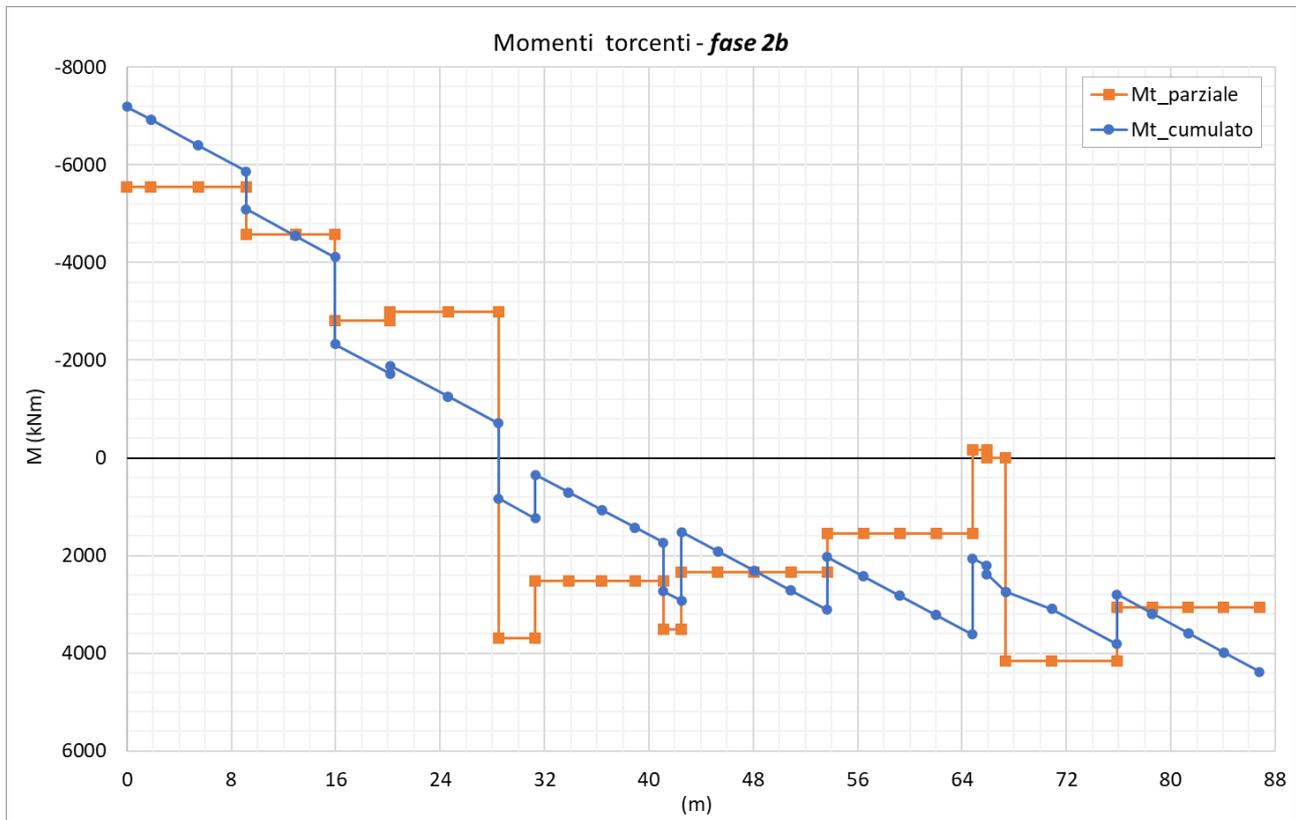
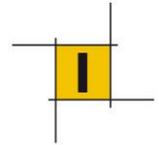
3.1.2 Fase 2B

Questa fase fotografa la situazione in cui l'impalcato metallico subisce il cambiamento di vincolo susseguente alla solidarizzazione della spalla A e all'introduzione degli stralli (vale a dire l'acquisizione dello schema statico finale).

In questa condizione quindi le reazioni delle pile provvisorie diventano il carico esterno applicato (con ovvia inversione del segno).

I risultati delle analisi sono rappresentati nelle immagini seguenti



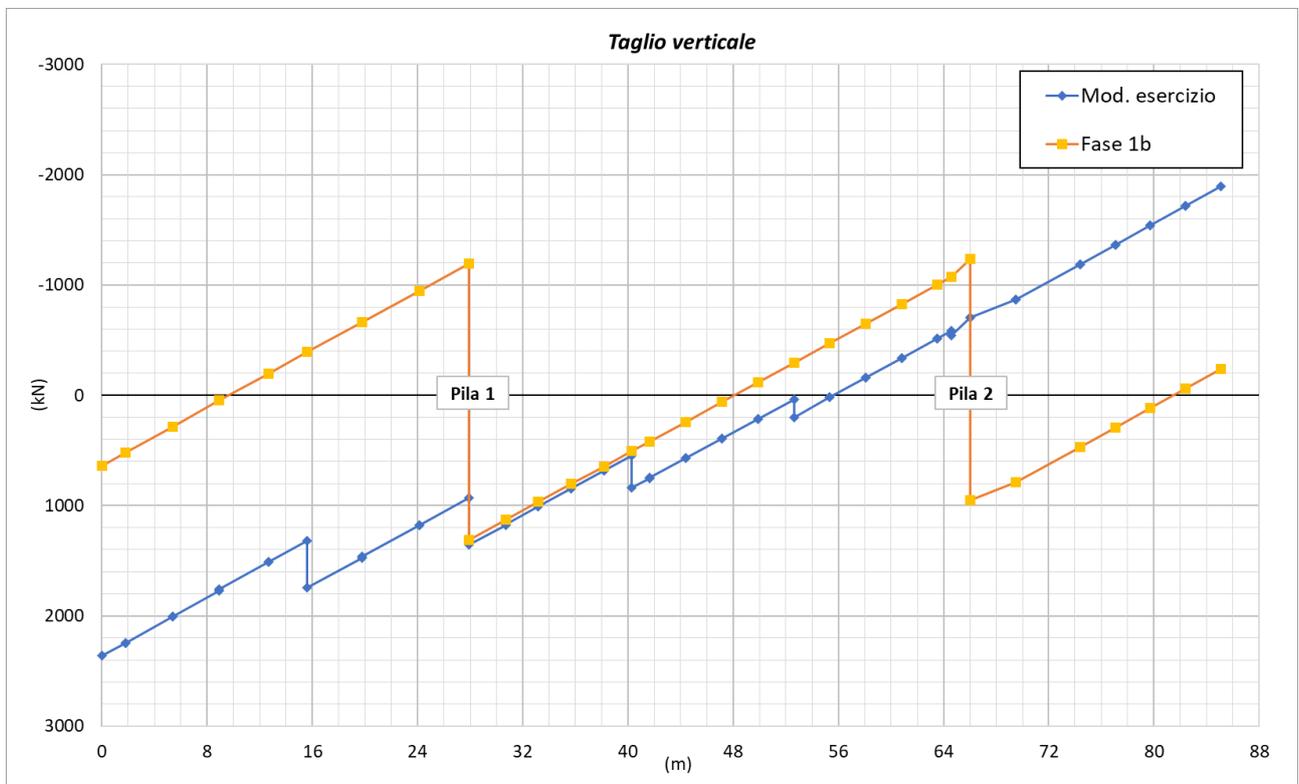
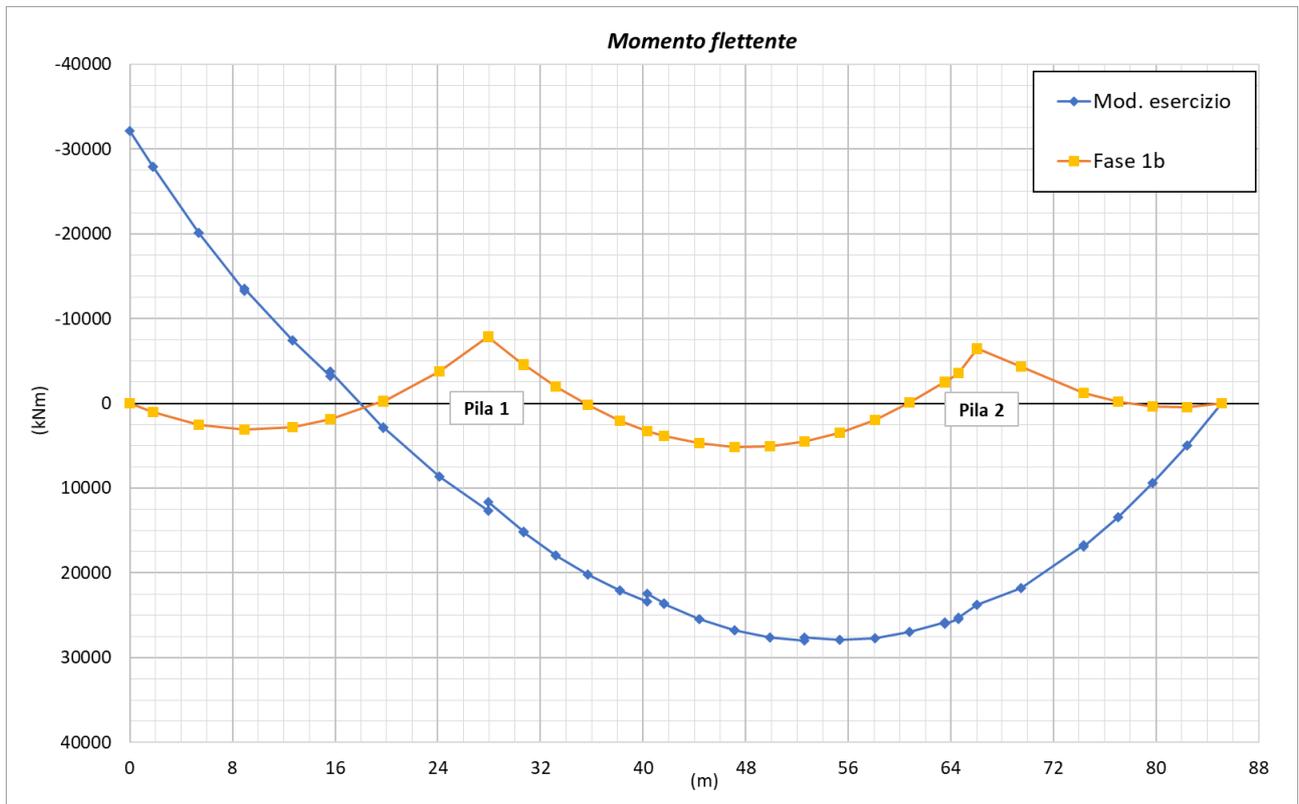
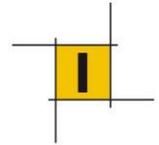


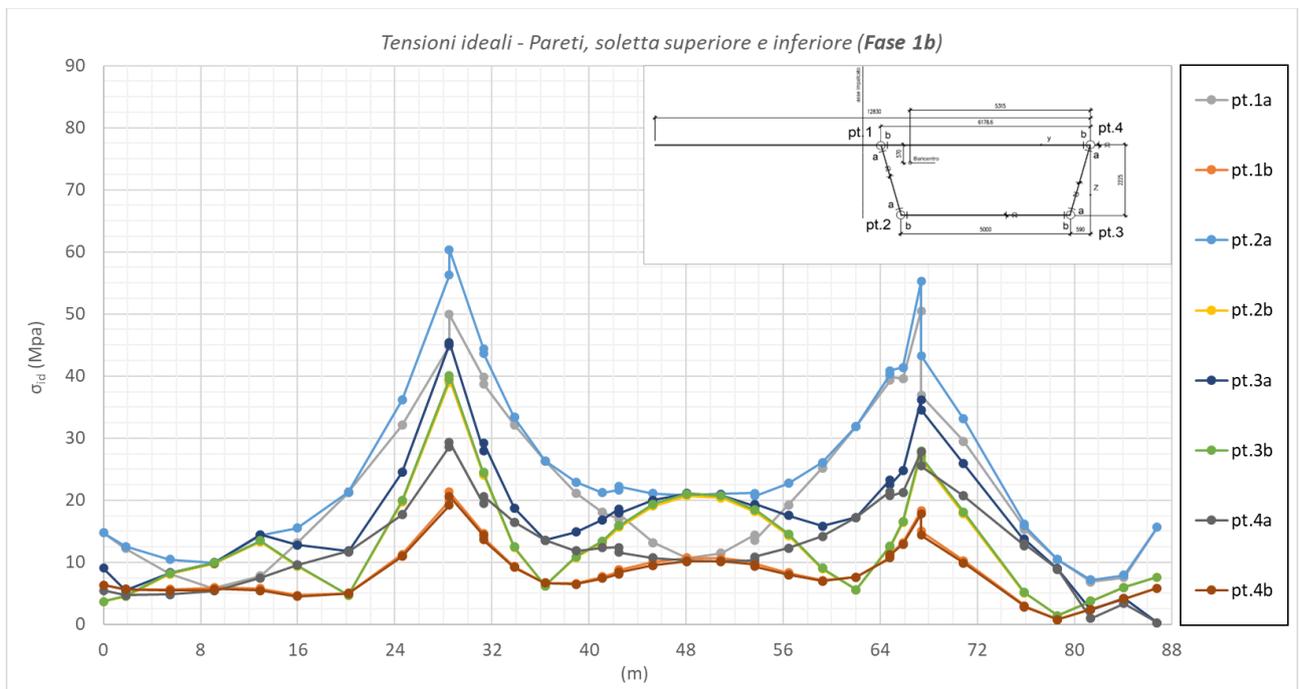
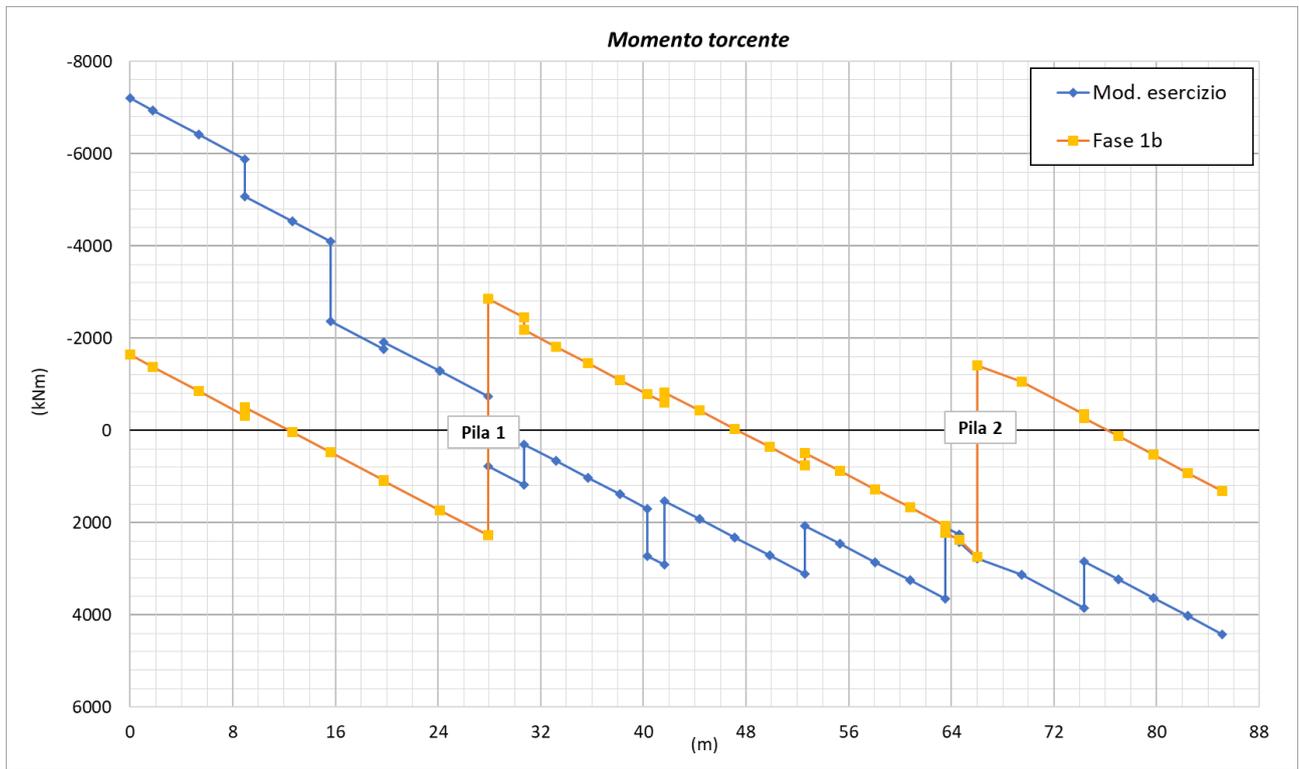
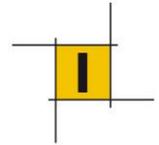
3.1.3 Confronto col modello in esercizio

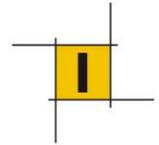
In conclusione si procede al confronto dei risultati ottenuti dall'analisi delle fasi con quelli impiegati nel progetto strutturale dell'impalcato, in cui non era stato eseguito tale approfondimento ovvero l'impalcato sempre nello schema vincolare definitivo.

I grafici seguenti, che riportano le principali sollecitazioni della fase 1B (impalcato su 4 appoggi gravato dal solo peso proprio) e del modello in esercizio, evidenziano, in corrispondenza delle pile provvisorie, delle variazioni tra le due situazioni che risultano comunque contenute.

Le massime tensioni ideali negli elementi d'impalcato (solette e pareti d'anima) relative alla fase 1B, risultano inferiori a 60 MPa e ampiamente al di sotto del limite tensionale per l'acciaio in condizioni di esercizio pari a 270 MPa (CNR-UNI 10011/88).





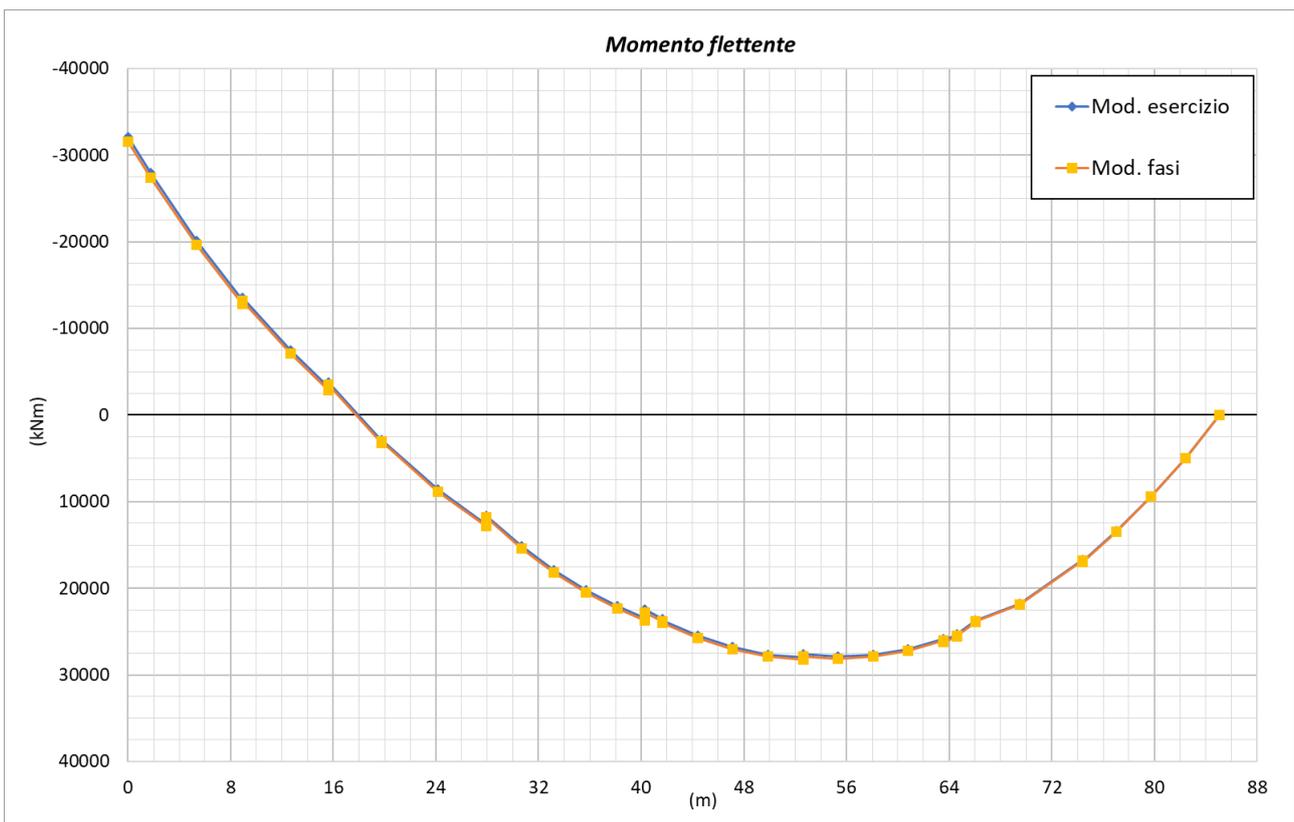


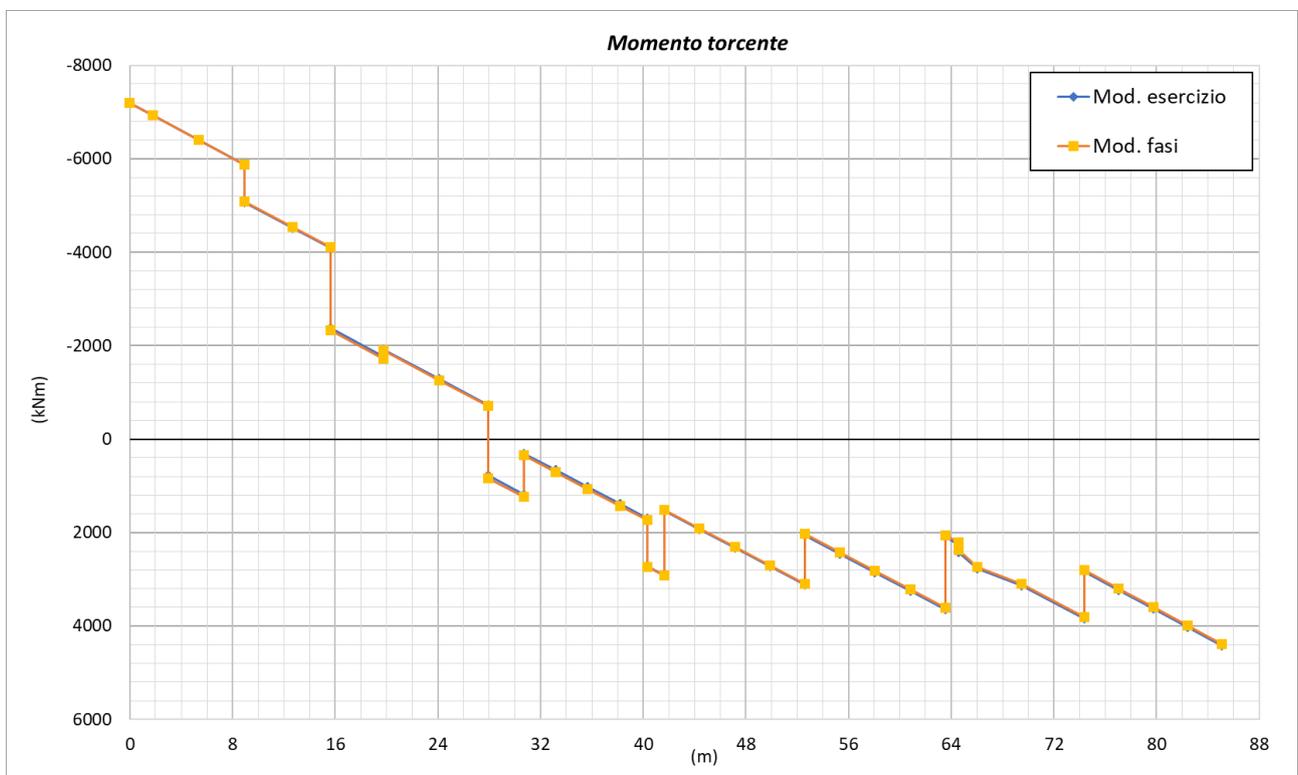
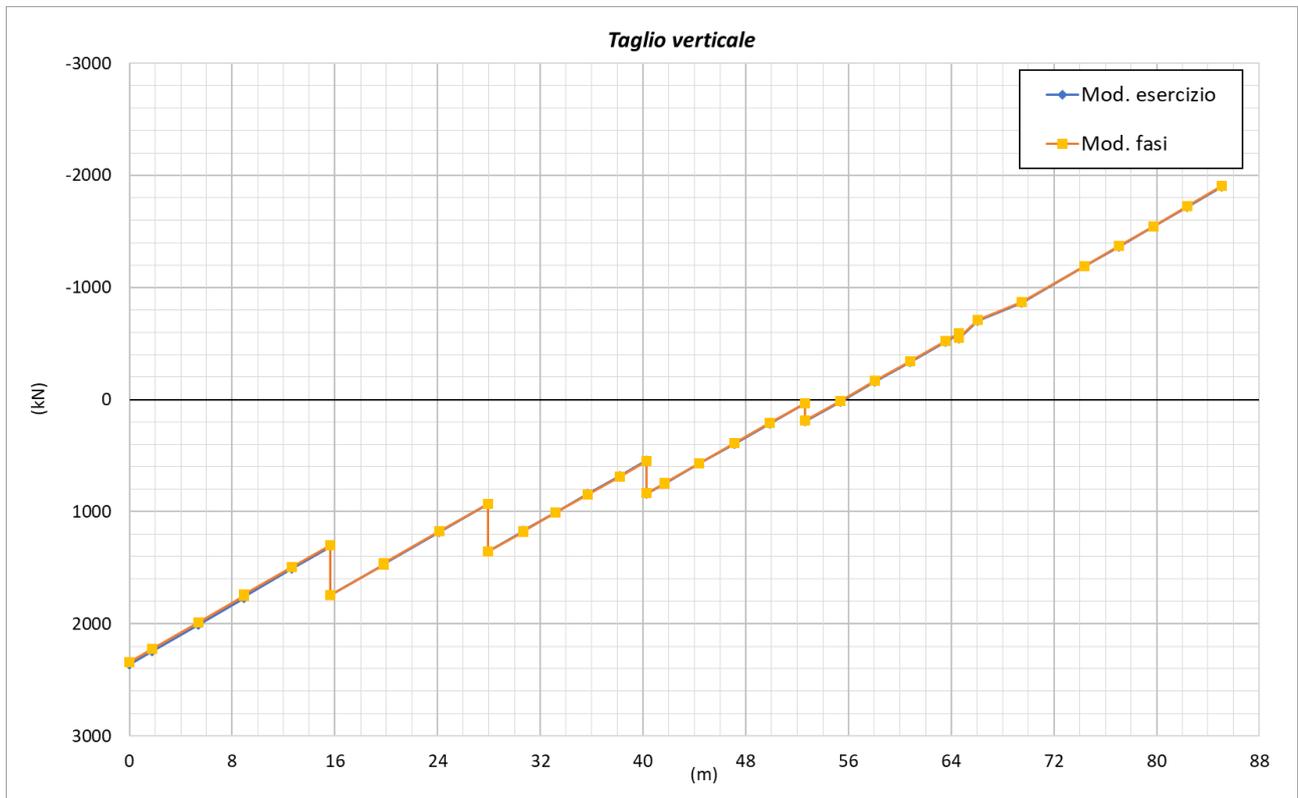
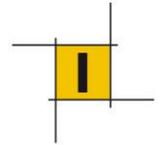
Infine, si esegue il confronto dei risultati ottenuti dall'analisi delle fasi (fase 1B+fase 2B) con quelli impiegati nel progetto strutturale dell'impalcato.

Dai grafici seguenti, che riportano le principali sollecitazioni, si evince una sostanziale invarianza tra le due situazioni. In particolare prendendo a riferimento la sezione d'incastro sulla spalla A e quella di massimo momento positivo, si ha:

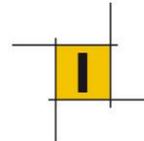
<i>SpA</i>	<i>My (kNm)</i>	<i>Vz (kN)</i>	<i>Mt (kNm)</i>	<i>N (kN)</i>
Mod. fasi	-31542	2344	6876	-3405
Mod. Esercizio	-32129	2362	6776	-3389
<i>diff.</i>	-1.8%	-0.8%	1.5%	0.5%

<i>Campata</i>	<i>My (kNm)</i>	<i>Vz (kN)</i>	<i>Mt (kNm)</i>	<i>N (kN)</i>
Mod. fasi	27909	211	-7418	-756
Mod. Esercizio	27643	215	-7384	-759
<i>diff.</i>	1.0%	-1.9%	0.5%	-0.4%





Tale confronto consente di validare il modello di calcolo impiegato per il progetto dell'impalcato, dimostrando ininfluenti le variazioni in termini di sollecitazioni legate alle fasi costruttive.



3.1.4 Considerazioni sulle pile provvisorie

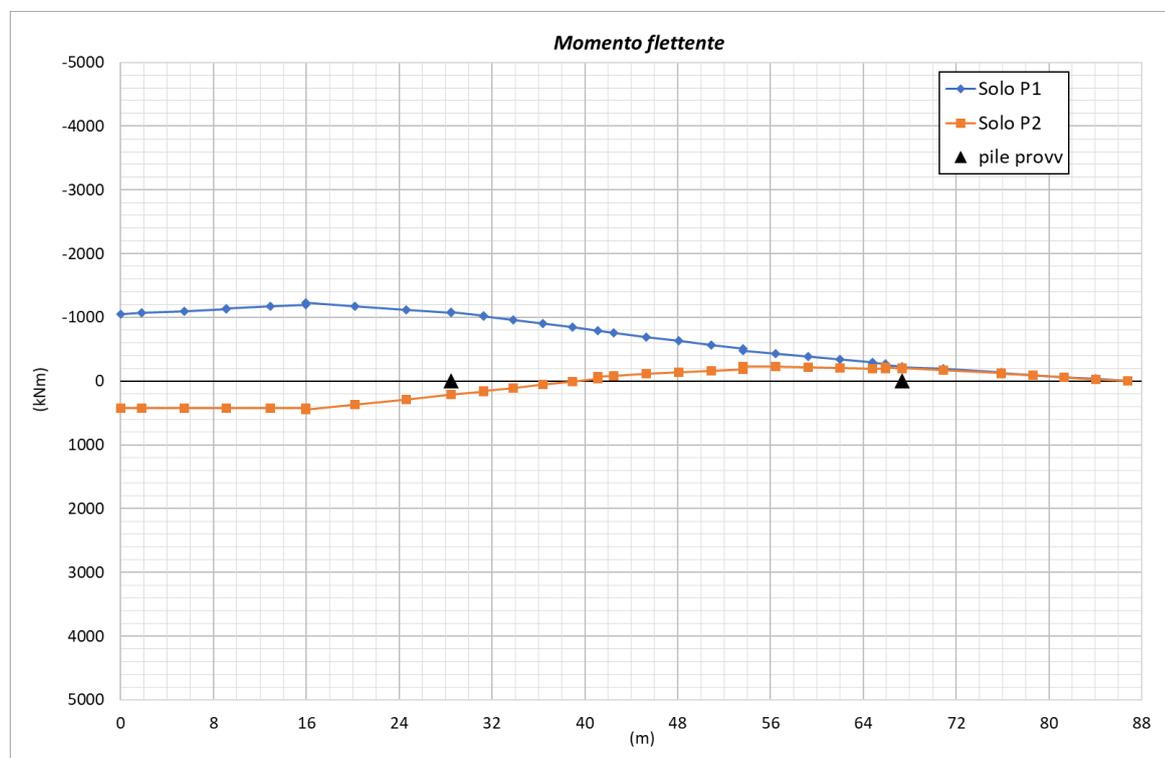
Come è intuibile gli effetti teorici calcolati tramite la modellazione numerica, potranno essere discosti da quelli effettivi, soprattutto per tecnicamente più complesse quali quelle della messa in posizione dell'impalcato. Pertanto si è voluto eseguire uno studio di sensibilità sugli effetti di una variazione delle reazioni delle pile provvisorie.

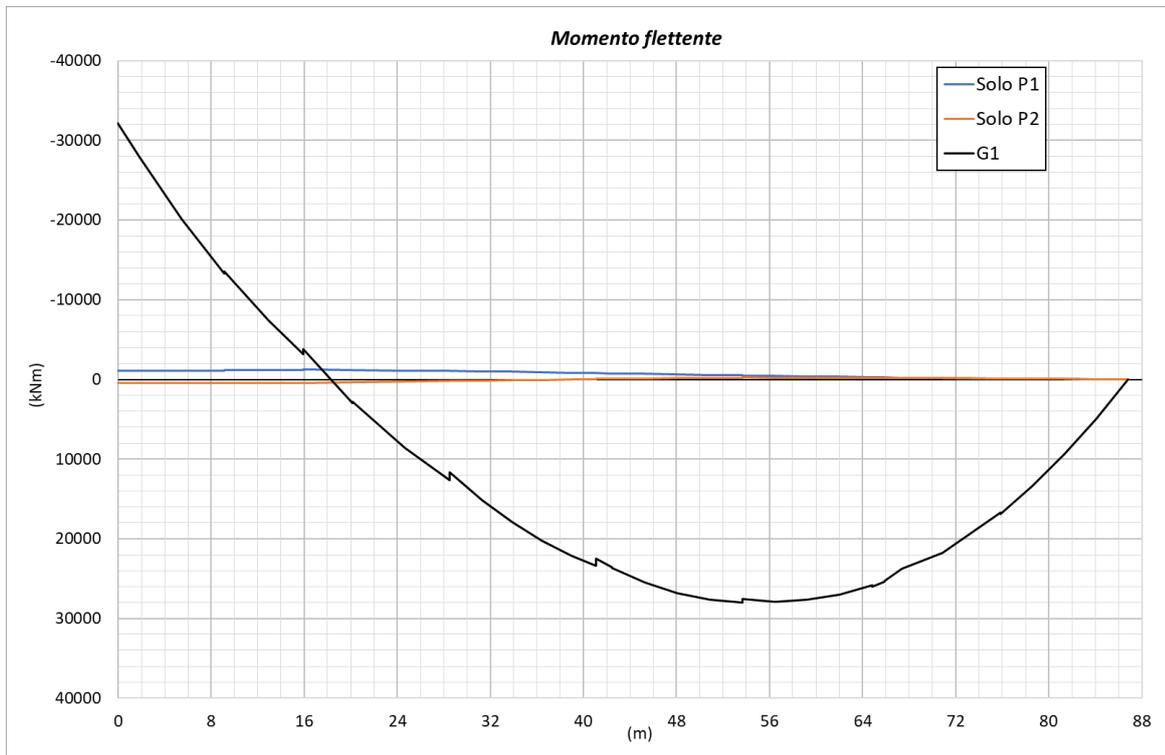
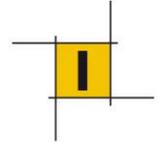
L'analisi è stata condotta imponendo separatamente uno spostamento verticale di 1cm su ciascuna pila provvisoria.

I coefficienti di rigidità ottenuti sono i seguenti (rapporto carico spostamento)

- Pila 1 $K_1 = 260 \text{ kN/cm}$
- Pila 2 $K_2 = 440 \text{ kN/cm}$

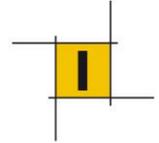
Gli effetti di tali cedimenti sulla trave d'impalcato a fine montaggio risultano minimali quando messi a confronto con le sollecitazioni dovute al peso proprio della struttura. I diagrammi seguenti riportano il confronto per il momento flettente verticale, dalla quale si evince che per raggiungere l'ordine di grandezza del momento d'incastro legato al peso proprio servirebbe un sollevamento della pila 1 di 30 cm.





Analoghi risultati si ottengono raffrontando le altre caratteristiche di sollecitazione.

In conclusione, l'analisi condotta dimostra che il sistema strutturale possiede un ampio margine di sicurezza nei confronti di possibili non perfette condizioni di allineamento degli appoggi durante il montaggio dell'impalcato. Tuttavia si consiglia di adottare in fase di cantierizzazione un monitoraggio topografico e con controllo statico delle reazioni delle sotto le pile provvisorie, prima di procedere alla solidarizzazione dell'impalcato alla spalla.



4 DISORSIONI IMPOSTE TRAMITE GLI APPOGGI SPALLA B

Come illustrato nella relazione di calcolo dell'impalcato, le analisi hanno evidenziato che potrebbero insorgere fenomeni di sollevamento dell'appoggio esterno curva per alcune situazioni di carico.

Al fine di ovviare a tale problematica, si è deciso di mettere in atto degli accorgimenti durante le fasi di montaggio atte a precaricare l'appoggio in questione (appoggio A1).

In estrema sintesi tali accorgimenti consistono in:

1. Applicazione di una distorsione all'impalcato (torsione pari ad una rotazione di 1.8%), ottenuta mediante sollevamento del pinto di appoggio esterno curva.
2. Regolazione del carico sotto pesi permanenti dell'appoggio centrale al valore di 1000 kN.

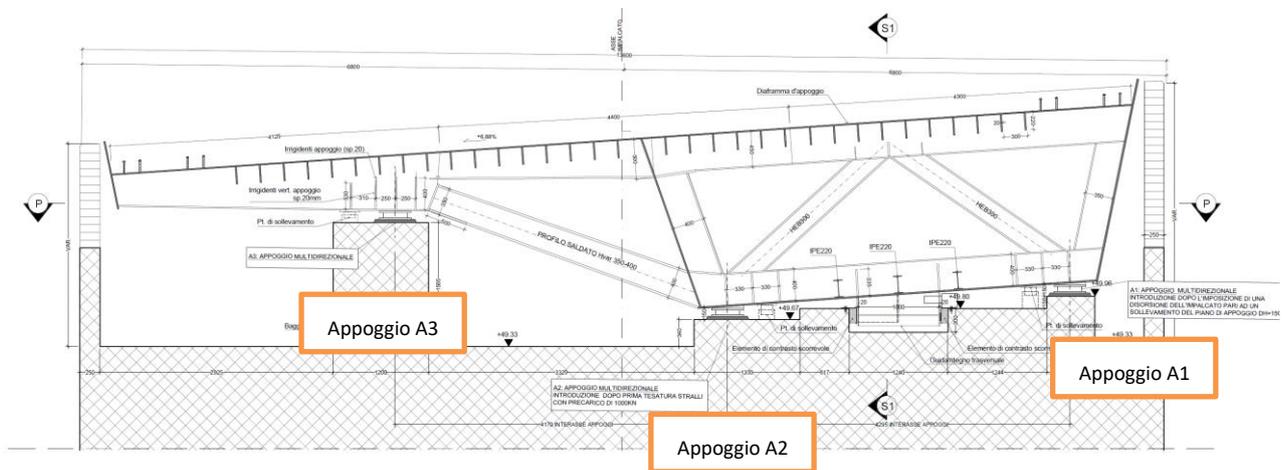


Figura 11: Sezione asse appoggi

Segue una breve illustrazione di tale procedura.

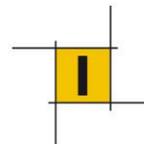
La carpenteria metallica sulla spalla B verrà poggiata su due punti (in asse appoggio 1 e appoggio 3), prevedendo che il piano di imposta sia più basso di quello definitivo di almeno 15 cm. Saranno impiegati appoggi provvisori ad esempio in gomma dura oppure in legno, si attendono reazioni massime in questa fase di 1500-1600 kN.

Seguirà la fase di solidarizzazione dell'altro estremo dell'impalcato e la messa in tiro degli stralli, che alleggerirà fortemente la reazione sull'appoggio esterno curva (A1).

A questo punto verrà introdotta la distorsione dell'impalcato, sollevando il punto d'appoggio di 15 cm, facendo perno sull'appoggio provvisorio A3, conseguentemente saranno montati gli appoggi definitivi A1 e A3.

Infine dopo l'applicazione di tutti gli altri carichi permanenti sarà possibile introdurre il dispositivo di appoggio centrale (A2), calibrandolo al valore di progetto di 1000 kN.

Per maggiori dettagli e verifiche si rimanda alla Relazione di calcolo dell'impalcato.



5 CALIBRAZIONE DEGLI STRALLI

Nella presente sezione si forniscono i dati principali per tesare secondo le ipotesi di progetto gli stralli dell'opera.

Si distingue pertanto la prima fase di tesatura da quella finale di regolazione.

5.1 Tesatura iniziale

Per la fase di tesatura risulta conveniente lavorare in termini di deformazione, si forniscono pertanto gli accorciamenti da imporre a ciascun capo dello strallo.

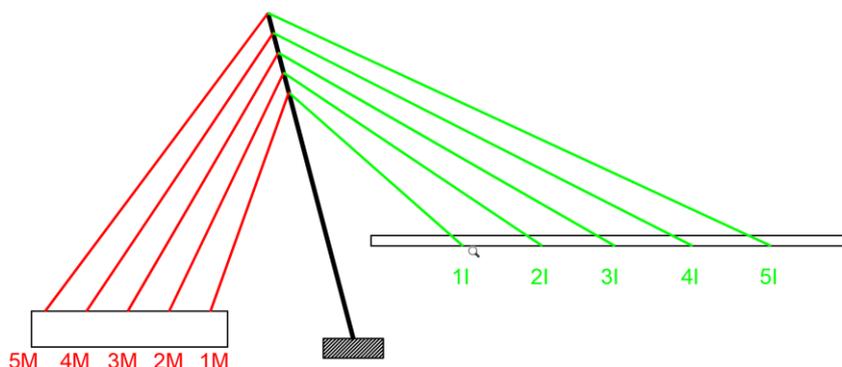
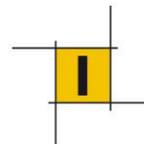


Figura 12: Nomenclatura stralli

Strallo	L TEORICA [m]	N. trefoli (T15.7)	ΔL [cm]	Pretiro [KN]
1I	23.88	31	3	1200
2I	36.38	31	4	900
3I	49.38	37	6	1300
4I	62.63	37	12	2000
5I	75.89	37	19	2700
1M	22.62	31	3	1600
2M	25.00	31	4	1600
3M	28.00	37	4	1700
4M	31.32	37	7	1900
5M	34.81	37	7	1900



5.2 Regolazione finale

Al fine rendere possibile un controllo del tasso di lavoro degli stralli a fine costruzione si forniscono le forze teoriche attese derivate dalla modellazione agli elementi finiti e valutate con riferimento alla combinazione quasi permanente (SLE), considerando il peso effettivo dell'impalcato.

Si fornisce un range di valori entro cui il tasso di lavoro può essere considerato conforme alle ipotesi di progetto.

Strallo	L_{TEORICA} [m]	N. trefoli (T15.7)	T_{TARGET} [kN]
1I	23.88	31	2600 - 2850
2I	36.38	31	2550 - 2850
3I	49.38	37	2550 - 2850
4I	62.63	37	2650 - 2900
5I	75.89	37	2600 - 2800
1M	22.62	31	2500 - 2750
2M	25.00	31	2550 - 2800
3M	28.00	37	2600 - 2850
4M	31.32	37	2700 - 2950
5M	34.81	37	2600 - 2900

Come specificato in precedenza a fine costruzione la lettura dei tiri degli stralli dovrà essere accompagnata da un rilievo topografico completo dell'opera.