

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO E BIBLIOGRAFIA.....	2
3	IL PONTE CORLEONE – INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELLA OPERA	3
4	ANALISI STORICO-CRITICA.....	6
5	CAMPAGNA DI INDAGINI CONOSCITIVE.....	9
6	STATO DI CONSERVAZIONE - DEGRADO	10
7	RILIEVO GEOMETRICO E DETTAGLI COSTRUTTIVI.....	13
8	LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA	13
9	PROPRIETÀ DEI MATERIALI ESISTENTI	14
9.1	CLS.....	14
9.2	ACCIAIO	16
10	ANALISI TECNICA PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DEL PONTE CORLEONE	17
10.1	MODELLO AD ELEMENTI FINITI	17
10.2	VALIDAZIONE DEL MODELLO AD ELEMENTI FINITI.....	19
10.3	ANALISI DEI CARICHI	23
10.3.1	Carico Permanente Strutturale G_1	23
10.3.2	Carichi Permanenti Non Strutturali G_2	23
10.3.3	Distorsioni e Deformazioni Impresse	24
10.3.4	Azioni Variabili da Traffico	24
10.3.5	Altre Azioni Variabili	33
10.3.6	Azione Sismica E_k	36
10.4	COMBINAZIONI DI CARICO	38
10.5	VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'OPERA	41
10.6	VERIFICHE A FLESSIONE-PRESSO-FLESSIONE E TAGLIO	43
10.6.1	Travi Impalcato	43
10.6.2	Pilastrini e Ritti.....	58
10.6.3	Arco	71
10.7	VERIFICHE SELLE GERBER	82
10.7.1	Premessa.....	82
10.7.2	Verifica Selle Gerber Travi H 85 cm.....	83
10.7.3	Verifica Selle Gerber Travi H 130 cm.....	84
10.7.4	Verifiche a Taglio delle Travi in Corrispondenza delle Selle	86
10.8	RIEPILOGO VERIFICHE DI SICUREZZA	88
11	VERIFICHE DI TRANSITABILITÀ FINALI (44 t + 7,5 t)	90
12	VERIFICHE IN PRESENZA DI CORROSIONE	93
13	IL CAVEDIO NELLO SPARTITRAFFICO.....	95
14	CONCLUSIONI DELLE VALUTAZIONI DI SICUREZZA E IPOTESI DI MASSIMA DEGLI INTERVENTI	95
15	CERTIFICATO DI TRANSITABILITÀ	99

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione è l'Analisi Tecnica per la Valutazione della Sicurezza del Ponte Corleone, sito sulla circonvallazione di Palermo, sopra la vallata del fiume Oreto. L'incarico della programmazione delle indagini e della analisi di sicurezza è stato affidato dal Comune di Palermo, in qualità di proprietario ed Ente gestore dell'infrastruttura, allo Studio Associato ICARO PROGETTI arch. Benedetta Fontana, ing. Michele Fabio Granata, in data 10/05/2021. Il piano delle indagini programmate è stato consegnato al Comune di Palermo in data 31/05/2021. Nel settembre 2021, il Comune ha incaricato dell'esecuzione delle indagini il laboratorio L&R "Laboratori e Ricerche s.r.l.", che vi ha dato adempimento nei mesi di novembre-dicembre 2021 e gennaio 2022. La consegna definitiva dei risultati delle indagini e prove è stata effettuata in data 14/02/2022. Contemporaneamente, ad inizio 2022 la compagine dello Studio Associato è variata a seguito dell'uscita dell'ing. Granata e dell'ingresso dell'ing. Giovanni Culotta, il quale ha curato la parte finale dell'incarico. Lo Studio Associato si è avvalso della consulenza e collaborazione del prof. ing. Marcello Arici, già redattore di precedenti studi sul ponte Corleone. A conclusione delle attività svolte, e delle attività di verifica conseguenti all'elaborazione dei risultati delle indagini, è stata redatta la presente relazione.

Con D.P.C.M. 05 agosto 2021 l'Ing. Matteo Castiglioni è stato nominato Commissario Straordinario per alcuni interventi infrastrutturali, tra i quali il "Ponte Corleone" a Palermo, per cui le attività di indagini propedeutiche alle valutazioni tecniche sono state condotte all'interno del cronoprogramma delle attività stabilito di concerto con il Commissario Straordinario. La presente relazione riporta le valutazioni della sicurezza, a conclusione dell'incarico.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO E BIBLIOGRAFIA

Le fasi di analisi e verifica delle strutture che costituiscono il ponte in esame sono state condotte in accordo con le seguenti normative:

- **D.M. 17/01/2018** "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" (in seguito NTC 2018).
- **Circolare 21 gennaio 2019 n. 7:** Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 (in seguito Circolare 2019).
- **D.M. 17/12/2020** "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti" (in seguito Linee Guida 2020).
- **Eurocodice 1**, "Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale – Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per edifici".
- **Eurocodice 1**, "Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti".
- **Eurocodice 2** – "Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi".
- **Eurocodice 8** – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti".

Bibliografia

- Boller G., D'Acunto P., Ingold L., Muttoni A., Schwartz J. (2021). "A proposal for the structural preservation of Musmeci's Basento Bridge in Potenza". Proceedings of the IASS Annual Symposium 2020/21 and the 7th International Conference on Spatial Structures.
- Desnerck P., Leesb J. M., Morleyb C. T. (2018). Strut-and-tie models for deteriorated reinforced concrete half-joints. *Engineering Structures* 161 41–54.
- Desnerck P., Lees J. M., Morley C. T. (2017). The effect of local reinforcing bar reductions and anchorage zone cracking on the load capacity of RC half-joints. *Engineering Structures* 152 865–877.
- Recupero A., Granata M.F., Culotta G., Arici M. (2017). "Interaction between Longitudinal Shear and Transverse Bending in Prestressed Concrete Box Girders", *Journal of Bridge Engineering ASCE*, 22(1).
- Petrangeli M.P. (1997). Progettazione e costruzione di ponti. Con cenni di patologia e diagnostica delle opere esistenti, Masson, Italy.
- Walther R., Miehlabrad M. (1990). Dimensionnement des structures en béton - Bases et technologie, *Traité de Génie Civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne - Volume 7*.
- Giangreco E. (1982). Teoria e Tecnica delle costruzioni, Vol. 1, Liguori, Napoli.
- Bach F., Braestrup M.W., Nielsen M.P. (1978). Rational Analysis of Shear in Reinforced Concrete Beams *International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)*.

3 IL PONTE CORLEONE – INQUADRAMENTO E DESCRIZIONE DELLA OPERA

Il ponte Corleone si trova nel territorio del Comune di Palermo, serve la circonvallazione-tangenziale nella direzione Catania-Trapani, per lo scavalcamento della valle del fiume Oreto e rappresenta l'elemento di giunzione tra i tratti della circonvallazione verso la A19 (in direzione Catania-Messina) e la A29 (in direzione Trapani-Mazara del Vallo). Si tratta di un ponte in calcestruzzo armato ad arco a via superiore, con impalcato in c.a. ordinario a graticcio di travi e traversi sostenuto da ritti, anch'essi in c.a. e composti da coppie di pilastri connessi all'arco.



Figura 1 - Inquadramento territoriale dell'opera

Il ponte Corleone fu costruito tra il 1958 ed il 1961 durante i lavori di realizzazione della circonvallazione palermitana, per oltrepassare la valle attraverso cui scorre il fiume Oreto. Il ponte, i cui progettisti furono gli Ingg. Carlo Sola e Antonio Migliacci e l'Arch. Giancarlo Brambilla, è stato realizzato dalla Si.Co.A., impresa edile che si aggiudicò il lavoro vincendo l'appalto-concorso che era stato bandito dall'Assessorato per i Lavori Pubblici del Comune di Palermo.

Il ponte è costituito da due ponti in c.a. ad arco gemelli, indipendenti ed affiancati, uno per ogni senso di marcia, collegati trasversalmente da elementi isostatici poggiati sulle estremità laterali delle due strutture (coppelle spartitraffico). Ogni ponte è realizzato con tre archi incastrati gemelli a profilo parabolico, con sezione a cassone e traversi di collegamento su cui insiste la sovrastruttura d'impalcato, poggiante su pilastri isolati e ritti di collegamento all'arco.

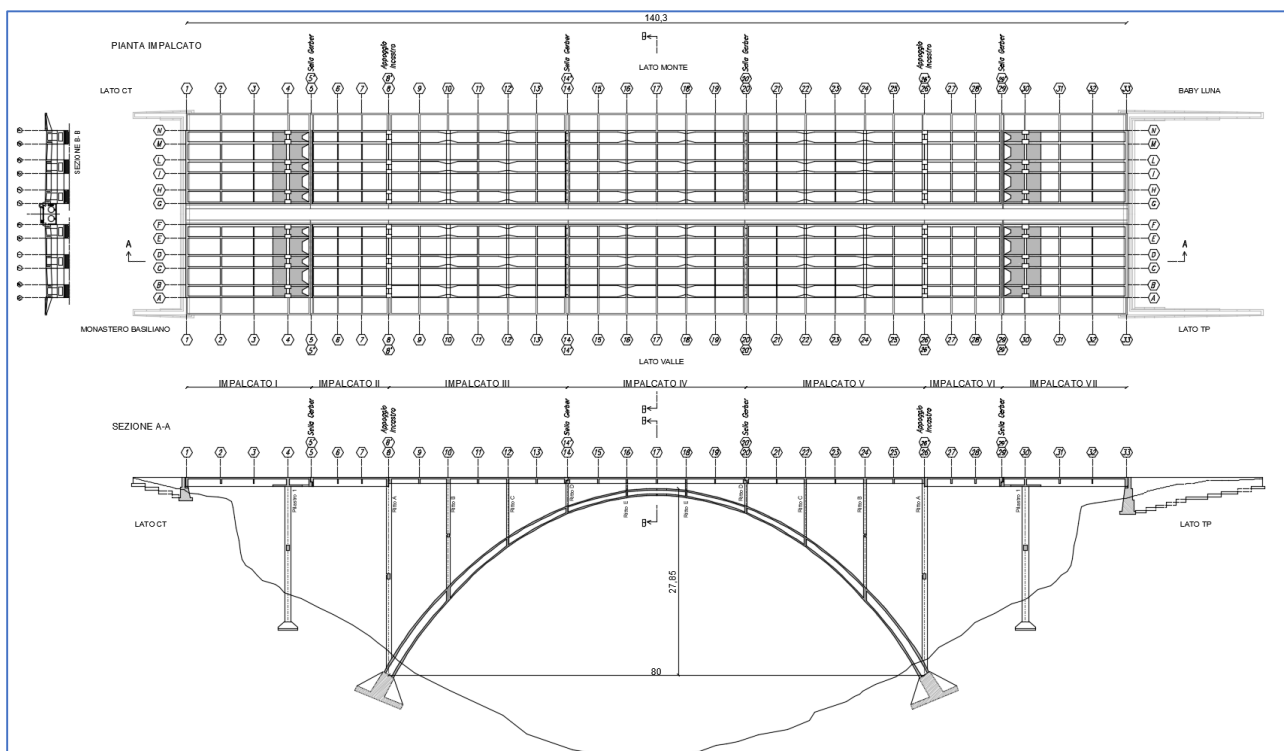


Figura 2 – Pianta e sezioni del ponte

Ogni carreggiata è costituita da sette impalcati con una lunghezza totale pari a circa 140,30 m. La larghezza di ogni carreggiata è pari a circa 10,90 m a cui si aggiunge lateralmente uno sbalzo con funzione di marciapiede di 2,50 m, in ciascuna carreggiata. Ogni campata di impalcato è costituita da 6 travi longitudinali a sezione rettangolare connesse tra di loro da traversi e da una soletta in calcestruzzo. Le travi degli impalcati I, II, VI e VII hanno una sezione trasversale con base di 0,25 m e altezza di 1,30 m (inclusa la soletta), mentre le travi degli impalcati III, IV e V hanno sezione trasversale con base di 0,20 m e altezza di 0,85 m (inclusa la soletta). In corrispondenza dei nodi con i ritto sono presenti dei ringrossi a coda di rondine che portano la base della sezione trasversale della trave dalla larghezza iniziale alla larghezza del ritto stesso. La soletta ha uno spessore di 0,18 m; mentre i traversi di collegamento, a sezione rettangolare, hanno un'altezza costante di 0,85 m e larghezza di base variabile in funzione della loro posizione nell'impalcato (larghezza variabile tra 0,20 e 0,50 m). Il primo impalcato in corrispondenza del nodo con la prima pila presenta una controsoletta inferiore, con spessore di 0,18 m circa, che realizza di fatto un tratto a cassone per l'assorbimento dei momenti flettenti negativi.



Figura 3 – Viste del ponte

Trasversalmente alle travi esterne di ciascun impalcato spiccano delle mensole di luce 2,50 m a sezione rettangolare ad altezza variabile da 0,85 m a 0,25 m e larghezza pari a 0,20 che sorreggono una soletta adibita a marciapiede. Dal lato dello spartitraffico interno invece sono presenti delle mensole di minor luce, pari a circa 0,70 m, che reggono le lastre prefabbricate di collegamento tra i due ponti gemelli e che fanno da copertura al cavedio di servizi posto tra le due carreggiate. Ogni impalcato si regge sia su pile isolate sia su ritto che spiccano dagli archi parabolici, per un totale di 72 pilastri per impalcato. Le pile isolate sono coppie di pilastri e verranno indicati nel seguito con la denominazione "Pilastro 1" mentre i primi ritto che si collegano alle fondazioni degli archi sono denominati "Ritto A" e sono connessi tra di loro ad un'altezza intermedia da traversi a sezione rettangolare di dimensioni 0,50 x 0,80 m. Più internamente all'arco ci sono poi i "Ritto B", connessi da traversi di collegamento intermedi sempre a sezione rettangolare con dimensioni 0,30 x 0,40 m. Ed infine i "Ritto C, D, E" sono connessi tra di loro soltanto alle quote dell'arco e dell'impalcato. I ritto e le pile hanno tutti sezione rettangolare o quadrata, in particolare:

Elemento	h	b
	Dimensione parallela all'asse del ponte [m]	Dimensione ortogonale all'asse del ponte [m]
Pila/Pilastro 1	1,00	0,60
Ritto A	0,80	0,60
Ritto B	0,50	0,50
Ritto C	0,35	0,50
Ritto D	0,35	0,50
Ritto E	0,25	0,50

Tabella 1 – Dimensioni Pilastri e Ritto

Gli archi hanno luce di 80,00 m e freccia di 27,85 m circa (rapporto di ribassamento dell'arco 0,348), presentano una sezione trasversale a cassone con base di 2,00 e altezza variabile da 1,66 m alle imposte ad 1,00 m in chiave. Lo spessore delle pareti del cassone è costante e pari a 0,40 m, mentre lo spessore delle solette varia da 0,33 m alle imposte a 0,20 m in chiave. Gli archi sono connessi tra di loro a tre a tre, in corrispondenza dei ritto, da traversi di collegamento che hanno

una sezione a quadrilatero, di spessore pari alla dimensione di base dei ritti, ed altezza pari all'altezza della sezione dell'arco nella posizione corrispondente.



Figura 4 – Viste arco e ritti

Il ponte presenta fondazioni di tipo diretto ovvero plinti di fondazione collegati fra di loro trasversalmente. La scelta di questa tipologia di fondazione è verosimilmente dovuta al fatto che la vallata che attraversa è prevalentemente costituita da calcarenite, materiale dalla buona resistenza meccanica, che ha permesso, appunto, l'utilizzo di questo tipo di fondazione. L'impalcato, secondo i canoni di progettazione degli anni '50 - '60, non è realizzato come una trave continua, ma realizzato in sette campate, a loro volta connesse tra di loro con delle selle di tipo Gerber. Le selle presentano traversi continui lungo tutto lo sviluppo trasversale dell'impalcato. Le travi portanti sono in parte appoggiate ed in parte incastrate ai ritti ed alle pile isolate che le sorreggono.

Tra i due ponti è presente un cavedio costituito da lastre di acciaio sostenute da profili metallici a L saldati a formare una "U" con passo medio di 50 cm e inghisati alle travi di bordo; tale cavedio contiene numerosi sottoservizi tra cui due tubi AMAP dell'acquedotto. Si precisa che tale cavedio non era previsto nel progetto originario e la sua realizzazione risale ad un'epoca più recente.



Figura 5 – Cavedio e tubazioni presenti nello spartitraffico

Infine, in corrispondenza del bordo delle mensole che realizzano il marciapiede sono presenti delle canalette porta cavi sia lato monte che lato valle.

4 ANALISI STORICO-CRITICA

Ai fini di una corretta individuazione del sistema strutturale esistente e del suo stato di sollecitazione è importante ricostruire il processo di realizzazione e le successive modifiche subite nel tempo dal manufatto, nonché gli eventi che lo hanno interessato.

Il ponte, realizzato tra 1958 e 1961, ha subito solo interventi minimi di manutenzione a partire dal 2002 e non risultano comunque interventi che hanno variato la configurazione originaria degli elementi strutturali. Pertanto, lo schema statico risulta ancora quello originale così come la geometria degli elementi strutturali.

In occasione delle prime valutazioni eseguite nel 2002 dall'Università degli Studi di Palermo, sono state condotte delle ricerche al fine di reperire gli elaborati progettuali del suddetto ponte. Si sono interpellati: l'Archivio di Stato, l'Archivio Comunale del comune di Palermo, l'Ufficio Tecnico del comune di Palermo, l'Ispettorato ai Lavori Pubblici della Regione Siciliana, gli stessi progettisti.

Purtroppo, si è potuto risalire solamente a pochi elaborati esecutivi, grazie ai quali si sono potute individuare alcune delle caratteristiche geometriche degli elementi strutturali, una parte delle armature (sia per quanto riguarda le posizioni che per i diametri delle barre e delle staffe), ed analogamente, parte delle indicazioni di progetto sui materiali da utilizzare.

Occorre precisare che le tavole del progetto originario presentano alcune differenze rispetto a quanto è poi stato realizzato. Infatti, si è riscontrato che le selle Gerber degli impalcati centrali sono speculari rispetto al progetto originario; nel quale non era prevista la trave tampone tra gli allineamenti ora denominati (5-5', 8-8') e (26-26', 29-29').

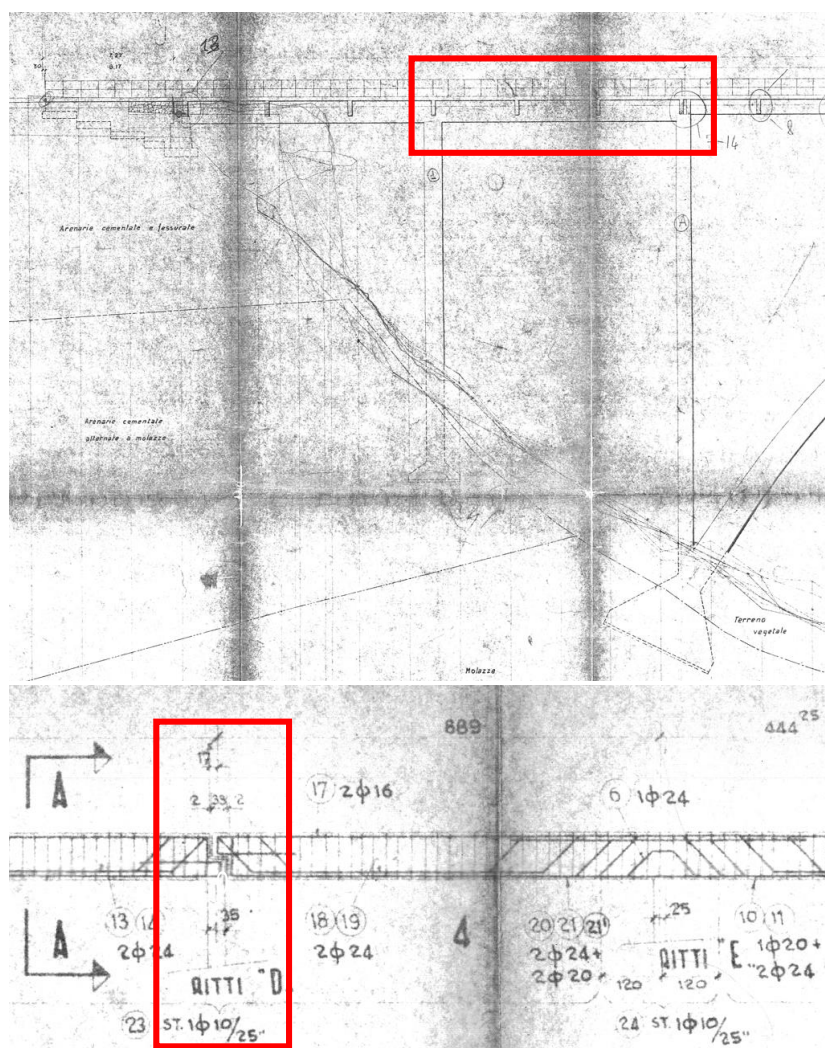


Figura 6 – Estratti degli esecutivi dell'epoca da cui si evince l'assenza della trave tampone e le selle Gerber speculari rispetto a quanto realizzato

Di tali modifiche rispetto al progetto originario, non è stata trovata nessuna documentazione. Le motivazioni di tali variazioni non sono pertanto note.

La conoscenza di base della struttura si fonda, oltre che su alcune tavole del progetto originario, anche su diversi studi che si sono succeduti nel tempo. In particolare, un primo rilievo dell'opera fu operato dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale dell'Università di Palermo nell'ambito di una convenzione del 2000 con l'Amministrazione Comunale, sui ponti di attraversamento del fiume Oreto della Città di Palermo, i cui esiti, con specifiche indicazioni per ogni ponte, sono raccolti in singole relazioni. In quella occasione, nel 2002, fu condotta una approfondita campagna di indagini sul ponte Corleone, con una vasta documentazione fotografica dei dissesti ed una valutazione complessiva dello stato del ponte e sulle motivazioni dei degradi. A seguito delle risultanze di questo studio, coordinato dal prof. Arici e a cui collaborò anche l'ing. Granata, fu riscontrato l'incipiente possibile collasso strutturale di alcuni tratti di impalcato in quanto, per una non corretta scelta dei materiali degli appoggi (legno e alluminio a strati) totalmente degradati e addirittura scomparsi, le barre passanti di fissaggio dell'appoggio nel ritto A (in entrambi i lati e in entrambi gli impalcati), in corrispondenza dell'appoggio dell'impalcato tampone, si erano instabilizzate con l'espulsione del copriferro. Questo aveva provocato la rottura della superficie di appoggio sul pilastro e la totale compromissione dell'appoggio delle travi tampone.

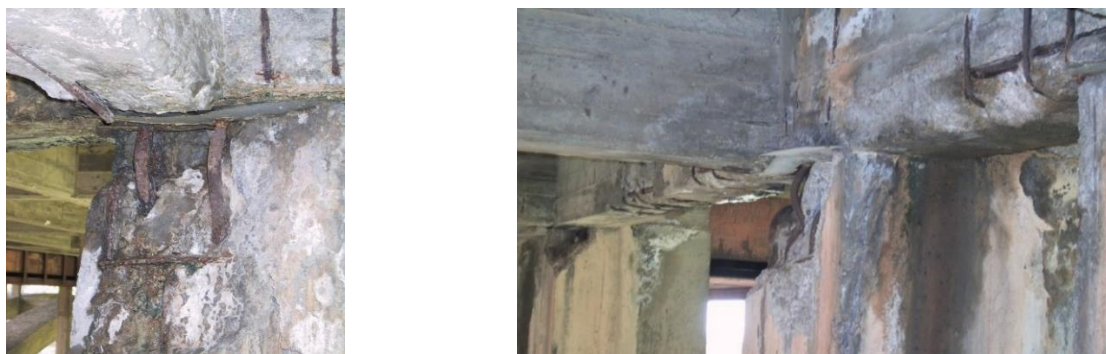


Figura 7 – Criticità riscontrate in corrispondenza del Ritto A (Anno 2002)

Si individuarono quindi gli interventi di somma urgenza per la immediata realizzazione di elementi metallici a sostegno e rinforzo degli appoggi in corrispondenza degli allineamenti ora denominati 8-8' e 26-26'. Tali interventi furono progettati dai tecnici comunali, Ingg. M. Verga ed A. Musso, con la consulenza del Prof. M. Arici. Le opere furono realizzate dall'Impresa Tecnolavori s.r.l. tra il 12 giugno del 2002 e il 6 settembre dello stesso anno.

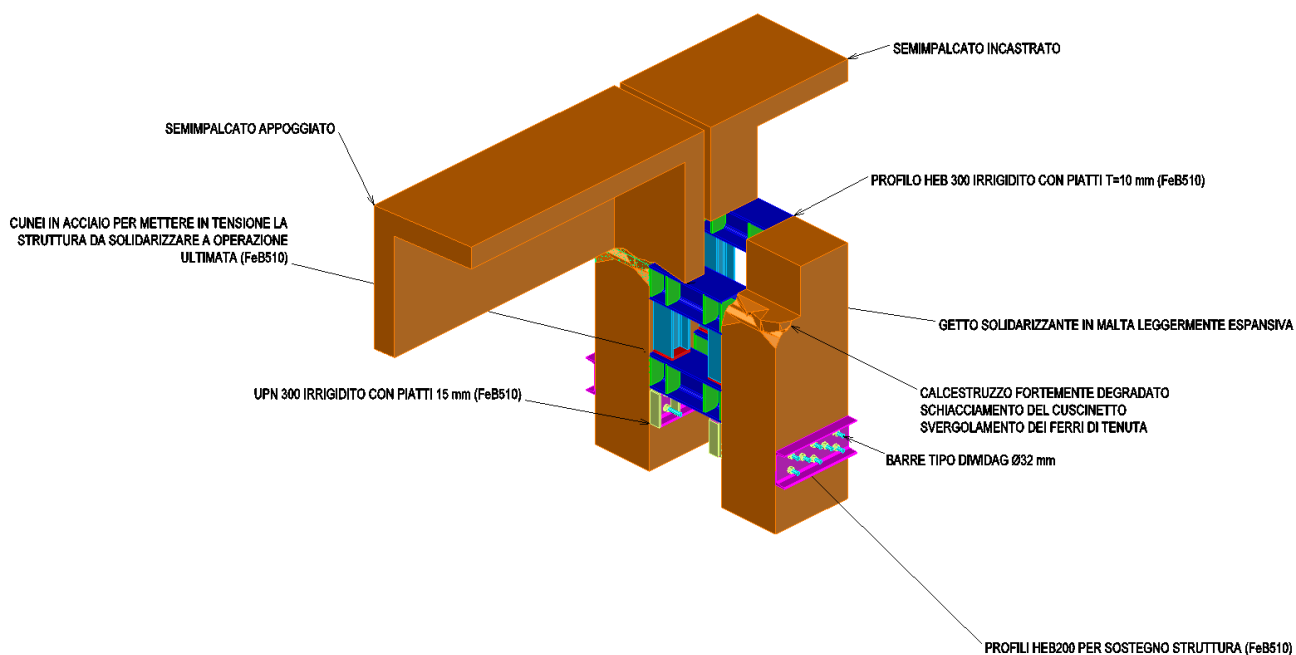


Figura 8 – Intervento di placcaggio realizzato nel 2002

Tali interventi sono evidenti ancora oggi, insieme a passerelle in tubi e giunti realizzate all'epoca per effettuare le lavorazioni necessarie ed il controllo e manutenzione delle protesi metalliche.



Figura 9 - Intervento di placcaggio realizzato nel 2002 (Foto anno 2021)

Ulteriori studi furono poi effettuati negli anni 2004-2005, posti alla base di una relazione redatta dal Prof. Luigi Palizzolo, nella quale si concludeva che il ponte poteva essere utilizzato soltanto con restrittive limitazioni del traffico. Sulla base di tale relazione fu emessa l'ordinanza dirigenziale n. 294 del 24/02/2005 da parte del Comune di Palermo, con la quale si è limitata la velocità e le corsie di traffico sul ponte con una disposizione trasversalmente eccentrica. Tale ordinanza è rimasta in vigore fino al 16/12/2021 come meglio specificato in seguito. Un ulteriore elemento di conoscenza è fornito da una relazione del gruppo di lavoro Mereu-Musso-Verga, interno al Comune di Palermo, di valutazione dello stato dei ponti della città, redatta nel 2009. Da allora furono poi preventivate altre indagini per la valutazione di sicurezza nel 2016, mai effettuate, e successivamente nel 2017-2018 fu redatta un'ulteriore relazione dal gruppo di tecnici comunali Letizia-Musso-Verga. Successivamente nel 2018 furono messi in atto interventi parziali per la sistemazione di alcuni giunti d'impalcato e limitati interventi corticali delle superfici ammalorate. Nel 2021, anche a seguito di una indagine del Vigili del Fuoco, furono completati gli interventi sui giunti e alcuni interventi per l'allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici di impalcato, che però si sono dimostrati non risolutivi.



Figura 10 – Interventi sui giunti e interventi per l'allontanamento delle acque meteoriche realizzati nel 2021

Nel corso dell'incarico del Comune ad ICARO PROGETTI (2021-2022) per la valutazione di sicurezza del ponte, durante le indagini affidate al laboratorio L&R, sono stati effettuati diversi ulteriori sopralluoghi per una migliore conoscenza ed aggiornamento dello stato attuale di degrado. Dalle prime osservazioni effettuate a dicembre 2021, si è potuto valutare che le condizioni del traffico pesante realmente transigente, in difformità delle limitazioni di traffico vigenti sul ponte (limitazione al transito in due sole corsie con interdizione ai mezzi pesanti e velocità massima di 30 Km/h) fossero in atto eccessivamente gravose, con particolare riferimento allo stato delle zone delle travi tampone. Per questo motivo, con comunicazione del 04/12/2021 si è posta all'Amministrazione Comunale la scelta se consentire il traffico, a norma delle Linee Guida e del Codice della Strada, su due corsie per carreggiata soltanto con carichi controllati, tassativamente inferiori a 26 t (per un totale massimo di 52 t), o di limitarne il traffico temporaneamente ad un'unica corsia centrale con velocità di 60 Km/h, con carico massimo di 44 t per ogni carreggiata, in attesa delle conclusioni definitive delle verifiche di sicurezza. Il Comune ha scelto la seconda soluzione con unica corsia centrale, che è la configurazione attuale di traffico, emanando l'ordinanza dirigenziale n. 1448 del 16/12/2021.

5 CAMPAGNA DI INDAGINI CONOSCITIVE

Nell'ambito dell'incarico dell'Analisi Tecnica per la Valutazione della Sicurezza del Ponte Corleone, è stato programmato un piano di specifiche prove che, associate all'analisi storico-critica del manufatto nonché ai risultati delle precedenti indagini effettuate dall'Università di Palermo e da altri professionisti che si sono succedute negli anni fino ad oggi, hanno permesso di giungere ad un buon livello di conoscenza della struttura e delle sue attuali condizioni tale da permettere la costruzione di un modello di calcolo agli Elementi Finiti affidabile, per la successiva analisi strutturale e le verifiche necessarie sugli elementi, con l'obiettivo di pervenire ad una valutazione complessiva dello stato della struttura e della sicurezza nei confronti dei carichi agenti, a norma delle Linee Guida 2020.

Nello specifico, sulla base del piano di indagini redatto dallo Studio Associato ICARO PROGETTI e inviato al Comune di Palermo il 31/05/2021, è stato incaricato il laboratorio ufficiale L&R Laboratori e Ricerche s.r.l. con sede in via Pablo Picasso n. 2 San Giovanni La Punta (CT), di eseguire le indagini al fine di raggiungere una migliore conoscenza ed aggiornamento dello stato attuale di degrado del ponte.

Le prove in situ sono state eseguite dal 19 Novembre 2021 al 4 Gennaio 2022 dai tecnici L&R, e hanno previsto:

- rilievo geometrico della struttura;
- livellazione topografica;
- n. 6 prelievi di provini cilindrici dalla struttura in c.a. e relative prove di laboratorio;
- n. 3 determinazione della profondità di carbonatazione in situ;
- n. 60 indagini magnetoscopiche con pacometro;
- n. 4 prelievi di barre di armatura e relative prove di laboratorio;
- n. 22 saggi per la rilevazione della posizione e del diametro delle armature;
- n. 31 prove endoscopiche;
- n. 4 carotaggi sulla pavimentazione stradale;
- n. 1 pozzetto esplorativo nello spartitraffico;
- n. 42 acquisizioni dinamiche sugli impalcati.

Occorre precisare che rispetto al piano di indagini, sono state eseguite prove integrative sotto indicazione degli scriventi.

Gli obiettivi della nuova campagna di indagini del 2021-2022 sono stati i seguenti:

- Completare la conoscenza dei materiali, già comunque indagati nel 2002 e 2004, con ulteriori carotaggi per la resistenza del calcestruzzo e relativi prelievi di barre di armatura (principali) per la valutazione della resistenza dell'acciaio di armatura. Nell'ambito di tali prove non si è ritenuto opportuno e necessario effettuare ulteriori saggi distruttivi sulla struttura in numero esteso, per non sottoporre la stessa ad ulteriore cimento, giudicando di buon livello la conoscenza sui materiali attraverso i precedenti studi.
- Completare la conoscenza geometrica degli elementi, in quanto erano presenti alcune importanti discrepanze sulle dimensioni degli elementi strutturali quali: lo spessore della soletta di impalcato, le dimensioni delle membrature quali travi e traversi ecc., tra la relazione dell'università del 2002 e la relazione del Prof. Palizzolo del 2004. Si sono pertanto previste le misurazioni delle distanze mutue e le lunghezze degli elementi e le relative misure caratteristiche degli elementi strutturali (sezioni degli elementi).
- Approfondire la conoscenza delle armature presenti nei vari elementi (travi e traversi, archi, pilastri) in modo da conoscere per un campione significativo la distribuzione delle armature in termini di numero, diametri e stato di conservazione (ossidazione/corrosione), anche per il confronto con gli elaborati esistenti ma soprattutto con il fine specifico di operare le necessarie verifiche di sicurezza. A tal fine sono stati realizzati diffusi rilievi con prove pacometriche sui diversi elementi e rilievi diretti con rimozione del copriferro di elementi, in aggiunta a quanto visibile nelle zone in cui il copriferro è già mancante per lo stato di degrado. Inoltre, è stato rilevato lo stato di corrosione delle armature esposte.
- Approfondire la conoscenza dello stato e della consistenza delle selle Gerber d'impalcato tramite endoscopie con introduzione di videocamera per la visione dello stato di conservazione della zona di testata degli impalcati e degli elementi della sella (mensole delle travi ospitanti od ospitate, testate dei ritti su cui insistono le selle, traversi in corrispondenza della sella) e realizzazione di documentazione fotografica e/o video. In particolare, le

- endoscopie hanno consentito di valutare lo stato di degrado dei vari elementi in termini di umidità presente, degrado materico visibile, presenza di eventuali armature esposte, degradi corticali e corrosione delle armature.
- Approfondire la conoscenza dello stato e della consistenza del cassone dell'arco e l'eventuale presenza di acqua all'interno dello stesso cassone, mediante ulteriori endoscopie a largo raggio.
 - Approfondire la conoscenza degli strati di pavimentazione esistenti per la determinazione dei carichi, tramite carotaggi della pavimentazione fino alla soletta e verifica dello spessore di soletta tramite foro di limitate dimensioni.
 - Approfondire la conoscenza degli strati esistenti al di sopra della coppella spartitraffico tra i due ponti affiancati, tramite pozzetto esplorativo e indagare la struttura del cavedio tra i due ponti nonché le tubazioni ivi presenti.
 - Effettuare una prova dinamica dell'impalcato per ambedue i ponti, volta alla determinazione dei modi di vibrare fondamentali della struttura e delle relative forme modali. Lo scopo della prova dinamica è stato quello di ausilio nella validazione del modello strutturale dal punto di vista della distribuzione di masse e rigidezze e dell'effettivo comportamento strutturale in situ.
 - Effettuare una livellazione topografica per la valutazione delle quote di estradosso della carreggiata ed in particolare delle quote relative tra i punti, al fine di avere una lettura di zero della configurazione geometrica della piattaforma stradale, da confrontare con successive campagne di misurazione.

Oltre alle prove eseguite nell'ambito del presente incarico, sono stati utilizzati i dati delle prove eseguite nel 2002 (05 e 06 maggio) dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica della Facoltà di Ingegneria di Palermo, in collaborazione con l'ufficio tecnico del comune di Palermo. Durante le suddette indagini sono stati eseguiti:

- livellazione topografica;
- n. 2 prelievi di provini cilindrici dalla struttura in c.a. e relative prove di laboratorio;
- n. 2 determinazione della profondità di carbonatazione in situ;
- n. 7 prelievi di barre di armatura e relative prove di laboratorio;
- n. 10 saggi per determinare il livello di ossidazione delle armature.

Negli anni 2004-2005 furono eseguite ulteriori indagini sui materiali nell'ambito dell'incarico affidato al Prof. Luigi Palizzolo per la valutazione tecnica delle condizioni statiche del ponte. Gli scriventi hanno richiesto alla Committenza (Comune di Palermo) tale documentazione, ma è stata fornita solo una parte da cui si evince che sono stati eseguiti 10 saggi diretti, 9 prelievi di carote e 19 prove di carbonatazione. Nella documentazione fornita a chi scrive non sono stati allegati i certificati di laboratorio e pertanto non è stato possibile risalire direttamente ai risultati dei valori di resistenza. Si precisa, tuttavia, che in quella occasione, il professionista incaricato ha riportato nella sua relazione una valutazione per il calcestruzzo di resistenza pari a $R_{ck} = 30$ MPa, valore utilizzato per le analisi del ponte.

6 STATO DI CONSERVAZIONE - DEGRADO

Come ribadito in precedenza, il ponte ha subito solo interventi minimi di manutenzione a partire dal 2002 e quindi oltre 40 anni dopo la sua realizzazione. Durante le indagini eseguite nel 2021-2022, propedeutiche all'analisi tecnica per la valutazione della sicurezza, gli scriventi hanno eseguito una mappatura del degrado. Grazie alle campagne di indagini pregresse, è stato inoltre possibile valutare l'avanzamento dello stesso nei diversi elementi strutturali che costituiscono il ponte. Occorre preliminarmente sottolineare che non sono stati riscontrati, per quanto possibile con esami visivi, particolari difetti insiti dell'opera o difetti palesi di realizzazione. In tali termini sono stati riscontrati solo alcuni limitati "nidi di ghiaia" nelle travi e nei traversi. Inoltre, si sono riscontrati in zone puntuali delle travi copriferro ridotti (1-2 cm) e staffe non perfettamente verticali sicuramente spostatesi durante il getto dell'epoca. Qualche imprecisione è riscontrabile nella verticalità dei ritti per la connessione arco-impalcato e qualche variazione della sagoma delle travi dovuta ad un possibile cedimento con spanciamento delle casseforme durante il getto.

Allo stato attuale il ponte presenta parti completamente integre e parti con ammaloramenti modesti/elevati. Nello specifico, gli elementi del singolo impalcato che trasversalmente si trovano nelle zone più interne, protette dalle piogge battenti, non presentano particolari fenomeni di degrado. Viceversa, gli elementi in prossimità dei bordi e in corrispondenza dei giunti

presentano uno stato di degrado anche estremamente avanzato dovuto agli effetti delle acque meteoriche. Infatti, l'assenza di una corretta regimentazione delle acque provenienti dalla piattaforma stradale ha innescato fenomeni di corrosione delle barre di armatura con la conseguente espulsione del copriferro. Tali fenomeni si sono estesi anche ai pilastri/ritti di bordo e hanno interessato anche zone dell'arco. Si riportano di seguito alcune foto dei degradi. Per maggiori dettagli si rimanda alla tavola grafica allegata alla presente relazione.



Figura 11 – Alcuni degradi riscontrati nel corso del 2021

Il ponte mostra ovviamente un ulteriore avanzamento del degrado rispetto a quanto riscontrato negli studi precedenti. Dalle osservazioni effettuate, tra dicembre 2021 e gennaio 2022, è emerso che in corrispondenza delle travi tampone di accesso alla parte d'impalcato che è sostenuta dall'arco, ovvero nelle zone tra il primo pilastro con fondazione autonoma ed il primo ritto sull'arco, le travi semplicemente appoggiate da un lato sulla Gerber e dall'altro sul Ritto denominato A presentano forte degrado. In particolare, sul ponte di valle (lato mare) il ritto A lato via Roccella presenta una vistosa lesione in testa, in adiacenza al giunto. Ciò evidenzia una situazione di ulteriore degrado localizzato in corrispondenza degli appoggi della trave tampone, che erano stati completamente risanati nell'intervento del 2002, sui pilastri di appoggio delle travi che sostengono l'impalcato tampone. Infatti, la lesione individuata testimonia che la zona sembra subire una sollecitazione eccessiva. L'appoggio, attualmente, è anche sostenuto dalle protesi metalliche realizzate nel 2002, che sono vincolate ai pilastri del ritto A con barre Dywidag in parti non compromesse. L'intervento risulta ancora efficace. Dall'altro lato l'intradosso dell'impalcato tampone risulta abbassato di circa 5 cm rispetto al tratto adiacente al giunto Gerber

sulla parte a sbalzo oltre il Pilastro 1. In aggiunta, le selle Gerber e le strutture metalliche di supporto mostrano infiltrazioni abbondanti di acqua dai giunti e perfino infiltrazioni che proseguono all'interno della lesione del pilastro del ritto A sopra citato. A tal proposito è emerso che gli interventi di regimentazione delle acque e i giunti realizzati nel 2018 e nel 2021 non risultano impermeabili. Infatti, non sono state previste vie per l'allontanamento delle acque raccoltesi, per la pendenza trasversale, all'estremità laterale del giunto, di conseguenza in occasione delle precipitazioni sono presenti infiltrazioni sia dagli stessi giunti che in corrispondenza dei pluviali che non allontanano le acque probabilmente a causa di una mancata sigillatura in testa alla tubazione. Durante le indagini sono state eseguite diverse endoscopie sulle selle Gerber. Tali indagini hanno evidenziato la presenza di umidità all'interno delle selle soprattutto nelle parti più esterne. Inoltre, sono stati riscontrati centimetrici assestamenti in corrispondenza degli appoggi, originariamente realizzati con alluminio-legno-ruberoid, che nel tempo si sono distrutti e sono totalmente scomparsi.



Figura 12 – Endoscopie selle Gerber

Le indagini endoscopiche sull'arco hanno invece evidenziato un discreto strato di conservazione. In particolare, sono state riscontrate poche tracce di umidità e solo in qualche tratto un'armatura leggermente corrosa al suo interno. Le indagini hanno inoltre escluso del tutto la presenza di acqua all'interno dei cassoni che costituiscono gli archi, paventata nella relazione dei Vigili del Fuoco del 2021 e nella relazione del prof. Palizzolo del 2004.



Figura 13 – Endoscopie archi

Il processo di carbonatazione interessa in maniera più o meno importante tutto il ponte, ed in modo particolare le zone in cui sono presenti fenomeni di percolazione. Nello specifico dalle prove eseguite, lo spessore del fronte di carbonatazione è risultato compreso tra 0 e 55 mm. Tali valori in alcuni casi risultano tuttavia estremamente ridotti se messi in relazione ai fenomeni di ossidazione che interessano alcuni degli elementi strutturali esaminati. Confrontando le profondità di carbonatazione con le indagini eseguite nel 2002 è possibile stimare un aumento del fenomeno nelle zone più esposte. Infatti, all'epoca erano state riscontrate profondità di carbonatazione con un massimo di 20 mm.



Figura 14 – Prove di carbonatazione

7 RILIEVO GEOMETRICO E DETTAGLI COSTRUTTIVI

Tramite la campagna di indagine e le misurazioni effettuate direttamente dagli scriventi, è stato possibile ricostruire l'intera geometria del ponte. Le misurazioni hanno confermato le dimensioni previste negli elaborati parziali del progetto dell'epoca e hanno permesso di correggere alcune discrepanze sulle dimensioni di alcuni elementi strutturali tra la relazione dell'università del 2002 e la relazione del Prof. Palizzolo del 2004. Inoltre, le indagini sulla pavimentazione stradale e il rilievo del cavedio presente nello spartitraffico hanno permesso una precisa valutazione dei carichi permanenti non strutturali.

Per quanto concerne le armature, è emerso che sono stati utilizzati due tipi di acciaio (in coerenza con il progetto). Infatti, le travi principali di impalcato presentano armature longitudinali e staffe realizzate con barre quadre del tipo **LU 3 RUMI 4400** (indicato nelle tavole di progetto come GS 42). Le armature dei restanti elementi: soletta, traversi, pilastri/ritti e arco sono del tipo **Aq 50 lisce**.

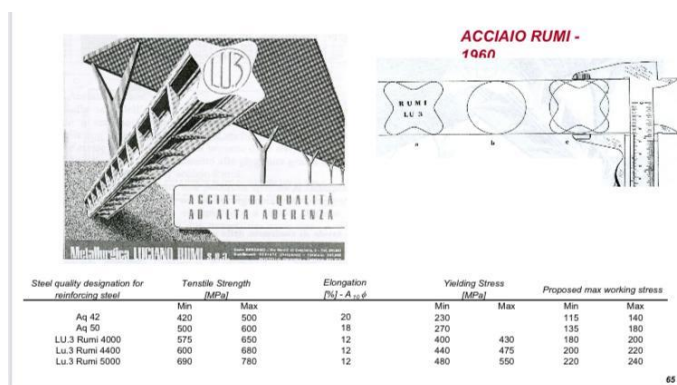


Figura 15 – Barra di armatura trave principale – Acciaio LU 3 RUMI 4400

Le indagini hanno permesso di approfondire la conoscenza delle armature presenti nei vari elementi (travi e traversi, archi, pilastri) in modo da conoscere per un campione significativo la distribuzione delle armature in termini di numero, diametri e stato di conservazione (ossidazione/corrosione). Dal confronto con gli elaborati parziali del progetto dell'epoca, sono state riscontrate piccole differenze, in genere sono stati riscontrati diametri superiori. Le indagini hanno permesso di conoscere le armature delle travi con altezza 130 cm e dell'arco, dei quali non erano stati recuperati gli elaborati di progetto dell'epoca. È stato predisposto uno specifico elaborato con le armature delle sezioni verificate a cui si rimanda per maggiori dettagli. Si precisa che nei casi in cui è stato fornito un risultato delle prove pacometriche con un range di errore, sono stati adottati i diametri minimi indicati dal laboratorio.

Sulla base di quanto osservato direttamente dagli scriventi e sulla base della documentazione fornita dal laboratorio L&R, è possibile stimare, nelle zone maggiormente degradate, una corrosione abbastanza elevata che si traduce in una perdita di sezione che può arrivare anche al 30=40 % nelle staffe e nei ferri longitudinali maggiormente degradati o all'apertura completa di alcune staffe per perdita di sezione e rottura conseguente alla corrosione. Ciò avviene in alcuni punti particolarmente degradati delle travi di bordo e dei ritti.

8 LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA

La normativa vigente definisce tre Livelli di Conoscenza, in funzione del livello di informazioni di cui si dispone in fase di verifica:

- LC1: Conoscenza Limitata.
- LC2: Conoscenza Adeguata.
- LC3: Conoscenza Accurata.

Sulla base degli approfondimenti effettuati nelle fasi conoscitive sopra riportate, sono stati individuati il Livelli di Conoscenza dei diversi parametri coinvolti nella fase di valutazione del comportamento strutturale (geometria, dettagli costruttivi e materiali), e i relativi Fattori di Confidenza FC, tramite i quali si tiene conto delle carenze nella conoscenza dei parametri di calcolo della struttura. Premesso che:

- l'Amministrazione non ha fornito i risultati delle indagini allegare alla relazione del Prof. Palizzolo del 2004;

- le armature presentano una corrosione che in alcuni punti risulta elevata;
- non è stato possibile avere una conoscenza accurata delle armature in alcune zone superiori delle travi a momento negativo, per la difficoltà di operare i saggi;

in ottemperanza a quanto previsto dalle NTC 2018 e dalle relative Istruzioni della Circolare 2019 per strutture in calcestruzzo armato o in acciaio, si adottano prudentemente: Livello di Conoscenza LC2 - Conoscenza Adeguata, e Fattore di Confidenza FC pari a 1,20.

Tabella C8.5.IV – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

Livello di conoscenza	Geometrie (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC (*)
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo	Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ	Analisi lineare statica o dinamica	1,35
LC2		Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ	Tutti	1,20
LC3		Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ	Tutti	1,00

(*) A meno delle ulteriori precisazioni già fornite nel § C8.5.4.

Figura 16 - Livelli di Conoscenza e valori dei Fattori di Confidenza

9 PROPRIETÀ DEI MATERIALI ESISTENTI

Per la definizione dei materiali esistenti si è fatto riferimento alle seguenti prove:

Prove 2002

- n. 2 prelievi di provini cilindrici dalla struttura in c.a. e relative prove di laboratorio;
- n. 7 prelievi di barre di armatura e relative prove di laboratorio.

Prove 2021-2022

- n. 6 prelievi di provini cilindrici dalla struttura in c.a. e relative prove di laboratorio;
- n. 4 prelievi di barre di armatura e relative prove di laboratorio.

Come già detto in precedenza, delle prove eseguite nel 2004 nell'ambito dell'incarico affidato al Prof. Luigi Palizzolo per la valutazione tecnica del ponte, non sono stati forniti i certificati di prova dalla Committenza e pertanto essi non sono stati presi in esame nella definizione dei materiali.

9.1 CLS

Si riportano di seguito i risultati delle prove a compressione eseguite sulle carote estratte dai diversi elementi strutturali (per maggiori dettagli si rimanda ai certificati ufficiali del Laboratorio).

I provini cilindrici prelevati nel 2002 da un pilastro e da una trave principale, presentavano un rapporto $h/d \approx 1,90$. Pertanto da tali prove è stata determinata la resistenza a compressione cilindrica.

Elemento	Sigla Provino	Numero Certificato o Data delle Prova	Diametro d [mm]	Altezza h [mm]	Resistenza a Compressione Cilindrica [MPa]
Pilastro	C1	30/05/2002	78,13	148,75	43,4
Trave	C2	30/05/2002	78,13	147,15	26,2

Tabella 2 – Risultati prove carote di calcestruzzo Anno 2002 (sottoposti a prova presso il Laboratorio dell'Università di Palermo)

Applicando un coefficiente correttivo pari a 1,20 alla resistenza a compressione misurata su carote con rapporto h/d diverso da 1 per la trasformazione nella corrispondente resistenza a compressione cubica, si ottiene:

Elemento	Sigla Provino	Numero Certificato o Data delle Prova	Diametro d [mm]	Altezza h [mm]	Resistenza a Compressione Cilindrica [MPa]	Resistenza a Compressione Cubica [MPa]
Pilastro	C1	30/05/2002	78,13	148,75	43,4	52,08
Trave	C2	30/05/2002	78,13	147,15	26,2	31,44
Media						41,76

Tabella 3 – Risultati prove carote di calcestruzzo Anno 2002

Le carote estratte nella campagna di indagine del 2021-2022 sono state trasferite presso il laboratorio L&R di Catenanuova, autorizzato ai sensi dell'ex art 59 del D.P.R. n. 380/01 per l'effettuazione di prove su materiali da costruzione con decreto n. 0000172 del 30/07/2021 – Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – STC, per essere sottoposte a prove di rottura a compressione semplice. A tal fine dalle 6 carote estratte sono stati ricavati, mediante taglio con sega circolare con disco diamantato, 1 provino cilindrico per ogni carota con rapporto h/d = 1 per ciascuna carota. Tali campioni sono stati successivamente sottoposti a prova di rottura a compressione per la determinazione della resistenza cubica del conglomerato cementizio. Si riporta di seguito il riepilogo dei risultati.

Elemento	Sigla Provino	Numero Certificato o Data delle Prova	Diametro d [mm]	Altezza h [mm]	Resistenza a Compressione Cubica [MPa]
Arco All. 23-24/A-B	C1	1472/21-a del 20/01/2022	112	112	33,20
Arco All. 21-22/M-N	C2		112	112	29,30
Trave All. 11-12/L	C3		112	112	31,80
Traverso Tra All. 28/D-E	C4		112	112	27,20
Soletta Impalcato Carreggiata Dir. CT tra Spalla e Pilastro 1	C5		112	112	47,40
Controsoletta Travi All. B-C	C6		112	112	40,50
Media					34,90

Tabella 4 – Risultati prove carote di calcestruzzo Anno 2021-2022

Dalle tavole di progetto esecutivo si è potuto risalire alle prescrizioni sui materiali da utilizzare per la costruzione del ponte. Sono state prescritte diverse tipologie di calcestruzzo distinguendo tra quelli da utilizzare per impalcato e ritti, rispetto a quelli da utilizzare per gli archi. Per le travi e per i ritti è stato prescritto un calcestruzzo del tipo 680, dosato a 3 quintali di cemento per metro cubo, con una "resistenza a compressione a 28 giorni" almeno pari a 22,5 MPa. Il calcestruzzo prescritto per la costruzione degli archi è sempre del tipo 680, dosato a 3 quintali di cemento per metro cubo, ma con una "resistenza a compressione a 28 giorni" di 27,5 MPa.

La grandezza statistica, f_k o f_m , per le caratteristiche meccaniche da considerare non è chiarita completamente dalle Norme Tecniche. Si evince, senza dubbio, come non sia possibile far riferimento al valore medio, ma si debba considerare "l'entità della dispersione", facendo ad esempio riferimento al valore caratteristico che si ottiene dall'analisi sperimentale con prove distruttive (ad esempio carote per il calcestruzzo) e non distruttive. A ciò si aggiunge che nei ponti, strutture spesso isostatiche o limitatamente iperstatiche, il riferimento al valore medio f_m come valore di calcolo sarebbe rischioso, anche in considerazione del fatto che nel caso di crisi per carichi gravitazionali (al contrario di quanto accade nel caso di azioni cicliche proprie del sisma) la distinzione fra rottura fragile e rottura duttile è poco rilevante ai fini della salvezza delle vite umane.

Sulla base dei risultati sopra riportati è stato considerato un calcestruzzo, per tutti gli elementi strutturali, con le seguenti caratteristiche:

Calcestruzzo C25/30

- resistenza cubica caratteristica $R_{ck} = 30$ MPa;
- resistenza cilindrica caratteristica $f_{ck} = 25$ MPa;
- modulo elastico $E = 30.000$ MPa;

Nelle verifiche si è adottata la seguente tensione di calcolo (dove il valore caratteristico è stato considerato coincidente il valore medio):

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c \cdot FC} = \frac{1,0 \cdot 25,0}{1,5 \cdot 1,2} = 13,89 \text{ MPa}$$

Trattandosi di struttura esistente α_{cc} è stato posto pari 1.

9.2 ACCIAIO

Si riportano di seguito i risultati delle prove a trazione eseguite sulle barre di armatura estratte dai diversi elementi strutturali (per maggiori dettagli si rimanda ai certificati ufficiali del Laboratorio).

I provini di barre prelevati nel 2002 da diversi punti dell'impalcato (travi e traversi), sono stati sottoposti a prova di trazione presso il Laboratorio dell'Università di Palermo.

Elemento	Sigla Provino	Diametro Nominale [mm]	Numero Certificato o Data delle Prova	Tensione di snervamento [MPa]	Tensione di rottura [MPa]
Impalcato (Traverso)	-	8	10/07/2002	424,00	505,00
Impalcato (Traverso)	-	10	10/07/2002	355,00	446,00
Impalcato (Traverso)	-	10	10/07/2002	331,00	429,00
Impalcato (Traverso)	-	10	10/07/2002	366,00	488,00
Impalcato (Trave)	-	12	10/07/2002	473,00	672,00
Impalcato (Trave)	-	14	10/07/2002	464,00	521,00
Impalcato (Trave)	-	14	10/07/2002	466,00	528,00

Tabella 5 – Risultati prove di trazione barre Anno 2002

Le barre di armatura estratte nella campagna di indagine del 2021-2022 sono state trasferite presso il laboratorio L&R per essere sottoposte a prova di rottura a trazione semplice. Si riportano di seguito i risultati.

Elemento	Sigla Provino	Diametro Nominale [mm]	Numero Certificato o Data delle Prova	Tensione di snervamento [MPa]	Tensione di rottura [MPa]
Arco Dir. CT tra ritto A-B Spalla TP	A1	30	1472/21-b del 20/01/2022	296,70	434,40
Trave H All. 20-21/H	A2	22		463,20	703,72
Traverso All. 5/D-E	A3	20		289,50	420,63
Traverso All. 32/D-E	A4	22		339,00	527,15

Tabella 6 – Risultati prove di trazione barre Anno 2021-2022

Considerati:

- i risultati sopra riportati;
- il periodo di costruzione della struttura (fine anni '50 - inizi anni '60);

- la normativa vigente all'epoca della costruzione (LL.PP. n. 1472/1957) e i relativi acciai previsti da quest'ultima (Aq42, Aq50, Aq60), oltre agli acciai ad alta resistenza in commercio all'epoca (LU 3 RUMI 4000, LU 3 RUMI 4400, LU 3 RUMI 5000);
- le prescrizioni previste in progetto che prevedevano diversi tipi di acciaio di armatura distinguendo tra quelli da utilizzare per impalcato rispetto ai traversi, pilastri/ritti e arco;

sono stati considerati acciai da c.a. con le seguenti caratteristiche:

Acciaio travi impalcato (barre longitudinali e staffe): **RUMI 440** (nome commerciale dell'epoca LU 3 RUMI 4400)

$$f_{yk-RUMI440} = 440,0 \text{ MPa}$$

$$f_{tk-RUMI440} = 680,0 \text{ MPa}$$

$$f_{yd-RUMI440} = \frac{f_{yk-RUMI440k}}{\gamma_s \cdot FC} = \frac{440,0}{1,15 \cdot 1,2} = 318,84 \text{ MPa}$$

Acciaio traversi, pilastri, ritti e arco (barre longitudinali e staffe): **Aq50**

$$f_{yk-Aq50} = 265,0 \text{ MPa}$$

$$f_{tk-Aq50} = 540,0 \text{ MPa}$$

$$f_{yd-Aq50} = \frac{f_{yk-Aq50}}{\gamma_s \cdot FC} = \frac{265,0}{1,15 \cdot 1,2} = 192,0 \text{ MPa}$$

Anche per gli acciai, a favore di sicurezza, si è considerato il valore caratteristico coincidente con il valore medio a cui è stato applicato il fattore di confidenza oltre al coefficiente di sicurezza dell'acciaio.

10 ANALISI TECNICA PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DEL PONTE CORLEONE

Sulla base delle indagini eseguite e di quelle pregresse è stato possibile realizzare un modello accurato della struttura, definire i carichi di progetto e successivamente procedere con le verifiche di dettaglio. Occorre preliminarmente precisare che i dati provenienti dalle indagini sono stati opportunamente analizzati e confrontati con i dati parziali del progetto dell'epoca, attualmente disponibili. Per le verifiche, nel caso di discrepanze o incertezze sono stati sempre adottati i valori più cautelativi al fine di non sovrastimare le resistenze. La valutazione dello stato di sollecitazione e di deformazione del ponte, nonché del comportamento dinamico, si è basata sulla costruzione di un modello ad elementi finiti (FEM) tramite il software Midas Gen v. 2019 in dotazione allo Studio ICARO PROGETTI. Le verifiche di dettaglio sono state eseguite con l'ausilio del software freeware VCA Slu e con specifici fogli Excel implementati dagli scriventi.

10.1 MODELLO AD ELEMENTI FINITI

Il ponte è stato modellato con elementi finiti tipo beam (travi e pilastri). La soletta che costituisce il marciapiede, invece, è stata modellata con elementi shell. Vista la simmetria del ponte, è stato modellato il singolo impalcato considerando gli archi incastrati alla base e vincoli di appoggio in corrispondenza delle spalle. Tutti gli elementi sono stati modellati considerando le sezioni resistenti integre e le relative rigidità. Le selle Gerber (così come gli appoggi in corrispondenza del ritto A lato trave tampone) sono state modellate tramite svincoli a flessione (beam release) imponendo quindi un momento nullo in corrispondenza di tali punti. Tale scelta di modellazione è stata validata sulla base della prova dinamica come meglio specificato nel Paragrafo seguente. L'analisi dinamica è stata eseguita considerando 30 modi di vibrare con calcolo degli autovalori ed analisi iterativa con precisione di 10^{-10} . Preliminarmente è stata eseguita una dettagliata analisi dei carichi riportata al Paragrafo 10.3 della presente relazione. Per i carichi mobili, avendo realizzato un modello a travi, sono stati preliminarmente determinati i coefficienti di distribuzione alla Courbon in funzione delle disposizioni dei carichi adottati e nel rispetto delle condizioni di equilibrio. Si precisa che dal punto di vista longitudinale, definite le corsie (coincidenti con le travi) e i relativi veicoli di carico, il software valuta automaticamente le linee di influenza.

Si riporta di seguito la vista 3D del modello di calcolo.

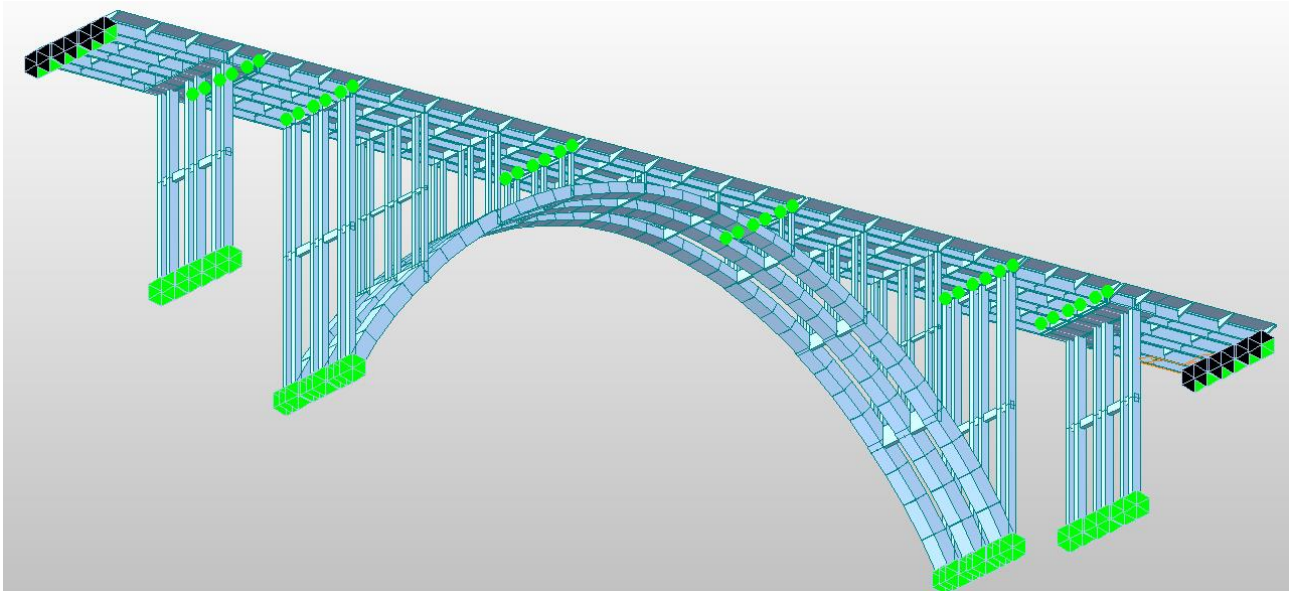
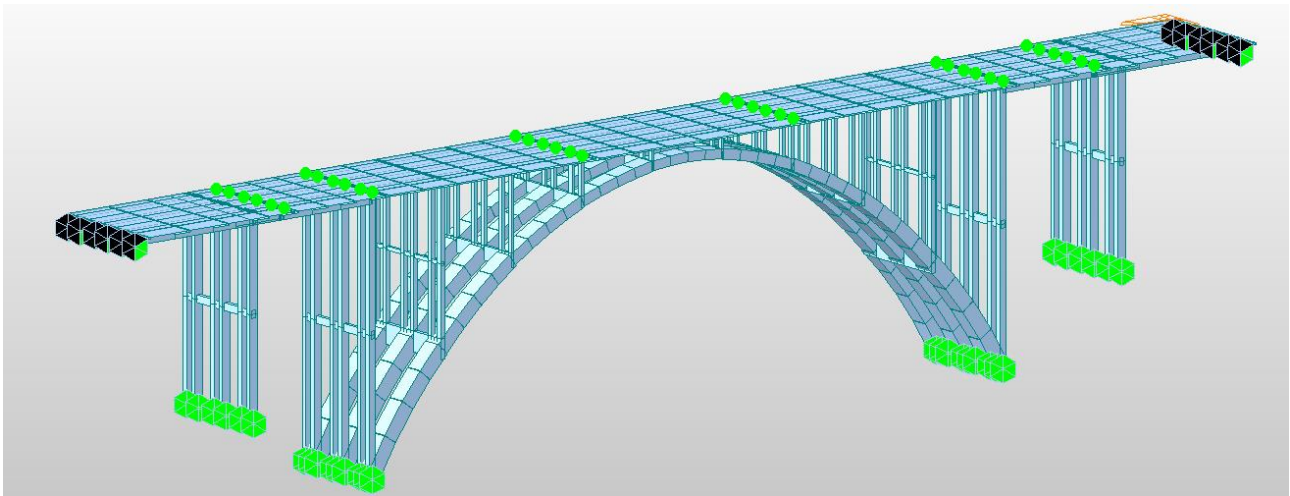


Figura 17 – Modello FEM - Viste 3D estruse

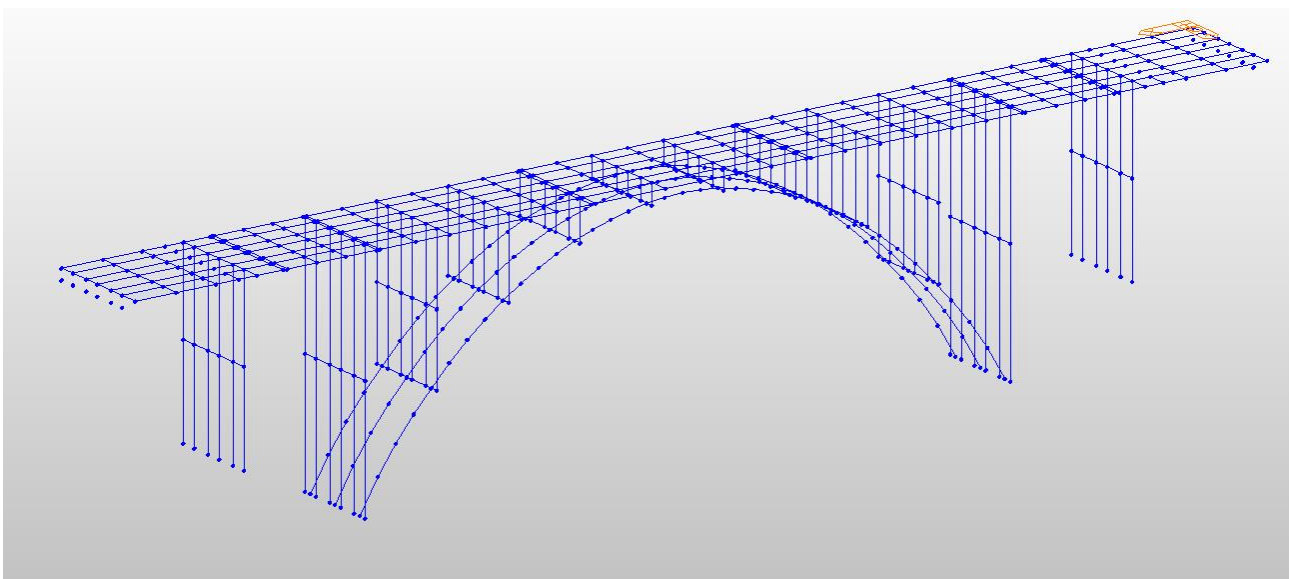
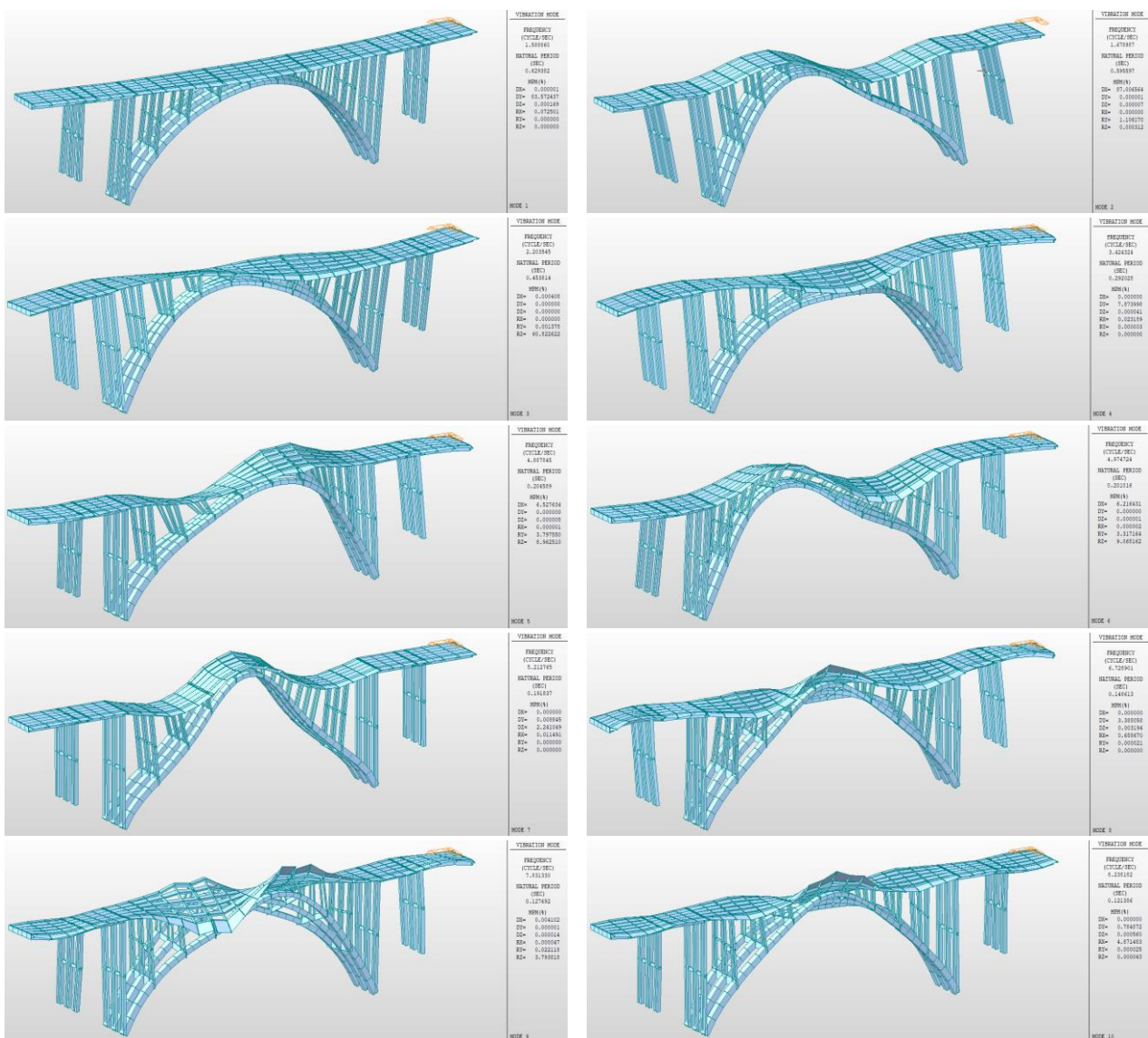


Figura 18 – Modello FEM – Vista unilaterale

10.2 VALIDAZIONE DEL MODELLO AD ELEMENTI FINITI

La campagna di indagine del 2021-2022 ha previsto una prova dinamica dell'impalcato per ambedue i ponti, volta alla determinazione dei modi di vibrare fondamentali della struttura e delle relative forme modali. Lo scopo della prova dinamica è stato quello di ausilio nella validazione del modello strutturale dal punto di vista della distribuzione di masse e rigidità e dell'effettivo comportamento strutturale in situ. Nello specifico, è stata eseguita una campagna di misurazioni finalizzate alla determinazione delle frequenze di vibrazione degli impalcati, attraverso il posizionamento di sensori lungo lo sviluppo longitudinale sui due bordi del ponte, in numero sufficiente a determinare diverse frequenze modali in base alle masse in moto. L'impulso è stato fornito su vari punti della superficie d'impalcato, tramite il passaggio di un automezzo che sobbalzava su assi di legno trasversali. Tramite la suddetta prova si è dimostrato che le selle Gerber di fatto si comportano come semplici cerniere in quanto gli impulsi sui 7 impalcati che costituiscono il ponte si risentono sull'intera struttura, confermando che il contatto tra i diversi impalcati è significativo ai fini della trasmissione delle onde, così come la connessione attraverso l'arco dei vari punti. Anche gli impulsi nelle campate di ingresso con fondazione indipendenti, si risentono sull'arco. Le frequenze ottenute dalla prova sono leggermente inferiori rispetto a quelle teoriche. Tale differenza si è attribuita alla rigidità della pavimentazione in conglomerato bituminoso che è stata considerata nel modello di calcolo solo come carico, quindi come elemento non strutturale a rigidità nulla, e al reale valore del modulo elastico del calcestruzzo dei vari elementi. Gli scostamenti sono comunque limitati e pertanto, i risultati ottenuti validano il modello di calcolo in termini di rigidità e vincoli adottati. Si riportano di seguito i primi 20 modi vibrare della struttura in forma grafica. Nella Tabella che segue sono riportati tutti i dati dell'analisi dinamica.

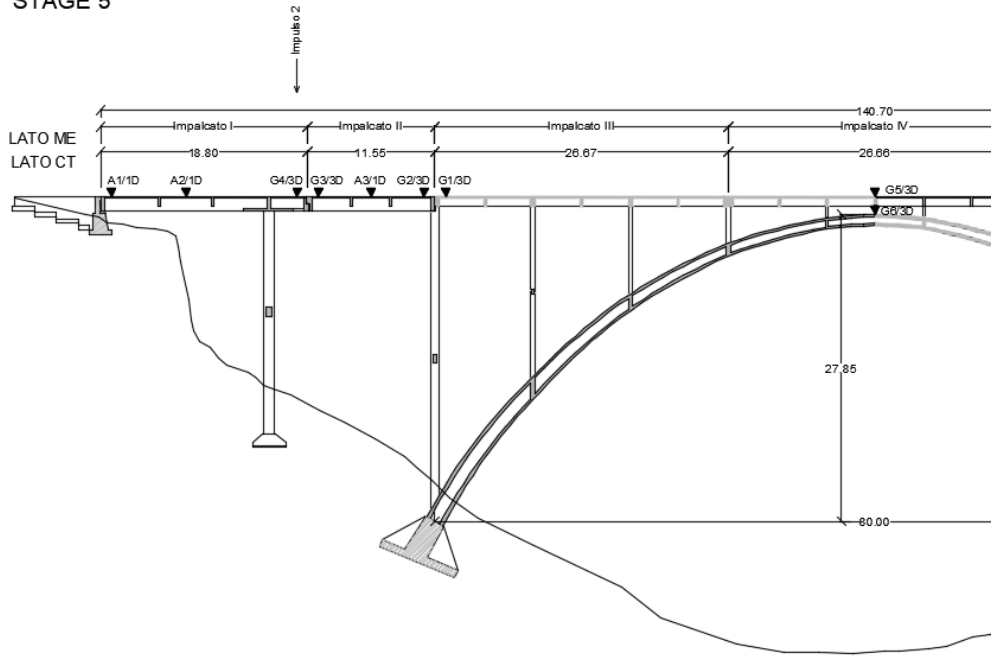


16	61,774849	9,831773	0,101711	5,96E-16									
17	62,607317	9,964264	0,100359	4,64E-16									
18	66,963374	10,657552	0,09383	2,03E-16									
19	69,082655	10,994846	0,090952	5,72E-16									
20	70,741619	11,258878	0,088819	7,27E-16									
21	73,781808	11,742739	0,085159	0,00E+00									
22	80,064988	12,742739	0,078476	1,42E-16									
23	80,211086	12,765991	0,078333	4,52E-15									
24	80,359639	12,789634	0,078188	1,23E-14									
25	81,062071	12,901429	0,077511	6,92E-15									
26	81,103158	12,907968	0,077472	1,13E-13									
27	81,669557	12,998114	0,076934	3,97E-13									
28	82,260115	13,092104	0,076382	4,24E-13									
29	82,873237	13,189685	0,075817	2,12E-11									
30	83,44498	13,280681	0,075297	6,86E-11									
MODAL PARTICIPATION MASSES PRINTOUT													
	Mode No	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-X		ROTN-Y		ROTN-Z	
		MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
	1	0	0	83,57	83,57	0	0	0,07	0,07	0	0	0	0
	2	87,01	87,01	0	83,57	0	0	0	0,07	1,11	1,11	0	0
	3	0	87,01	0	83,57	0	0	0	0,07	0	1,11	60,82	60,82
	4	0	87,01	7,87	91,45	0	0	0,02	0,1	0	1,11	0	60,82
	5	6,53	93,53	0	91,45	0	0	0	0,1	3,8	4,91	8,96	69,79
	6	6,22	99,75	0	91,45	0	0	0	0,1	3,32	8,22	9,07	78,85
	7	0	99,75	0,01	91,46	2,24	2,24	0,01	0,11	0	8,22	0	78,85
	8	0	99,75	3,39	94,84	0	2,24	0,69	0,8	0	8,22	0	78,85
	9	0	99,76	0	94,84	0	2,24	0	0,8	0,02	8,24	3,79	82,65
	10	0	99,76	0,78	95,63	0	2,25	4,87	5,67	0	8,24	0	82,65
	11	0	99,76	0	95,63	0	2,25	0,01	5,68	0,22	8,47	2	84,65
	12	0	99,76	0,04	95,67	0,05	2,3	0,73	6,42	0	8,47	0,25	84,9
	13	0,04	99,8	0	95,67	0	2,3	0,05	6,46	0,4	8,86	1,78	86,68
	14	0,08	99,88	0	95,67	0	2,3	0	6,46	5,47	14,34	0	86,68
	15	0,01	99,89	0,02	95,69	0,36	2,66	0,66	7,12	0,27	14,61	0,15	86,83
	16	0,01	99,9	0	95,69	0,12	2,78	0,17	7,3	1,49	16,1	0,91	87,75
	17	0,03	99,92	0	95,69	0,01	2,79	0,03	7,33	1,01	17,11	0,66	88,4
	18	0	99,92	0,13	95,82	4,47	7,26	5,38	12,7	0	17,11	0	88,4
	19	0	99,92	0,27	96,09	4,55	11,81	3,24	15,94	0	17,11	0	88,4
	20	0	99,92	0	96,09	0	11,81	0	15,94	0,01	17,11	0,23	88,63
	21	0	99,92	0,62	96,71	0,75	12,56	7,69	23,63	0	17,11	0	88,63
	22	0	99,92	0,01	96,72	0,91	13,47	13,28	36,91	0,15	17,26	0	88,63
	23	0	99,92	0	96,72	0,32	13,79	0,3	37,21	5,03	22,29	0,07	88,7
	24	0	99,92	0	96,73	3,46	17,25	7,07	44,28	1,01	23,31	0,01	88,72
	25	0	99,92	0	96,73	3,2	20,46	2,81	47,08	0,04	23,34	0	88,72
	26	0	99,93	0	96,73	0,04	20,5	0,07	47,15	1,42	24,76	0	88,72
	27	0	99,93	0,03	96,76	0,01	20,51	0,02	47,17	0,02	24,78	0	88,72
	28	0	99,93	0,01	96,77	1,56	22,07	4,68	51,85	0,04	24,82	0	88,72
	29	0	99,93	0	96,77	0,05	22,12	0,01	51,86	7,24	32,06	0,01	88,73
	30	0	99,93	0	96,77	0,02	22,14	0	51,86	0,43	32,5	0,01	88,74

Tabella 7 – Modi di vibrare

È stato effettuato un controllo tra le frequenze teoriche del modello ad Elementi Finiti e quelle dell'analisi dinamica in sito. Si riporta di seguito, a titolo di esempio, il risultato relativo all'impulso dato all'estremità del cantilever.

STAGE 5



ANALISI SPETTRALE DELLE POSIZIONI G1/3D – G2 /3D

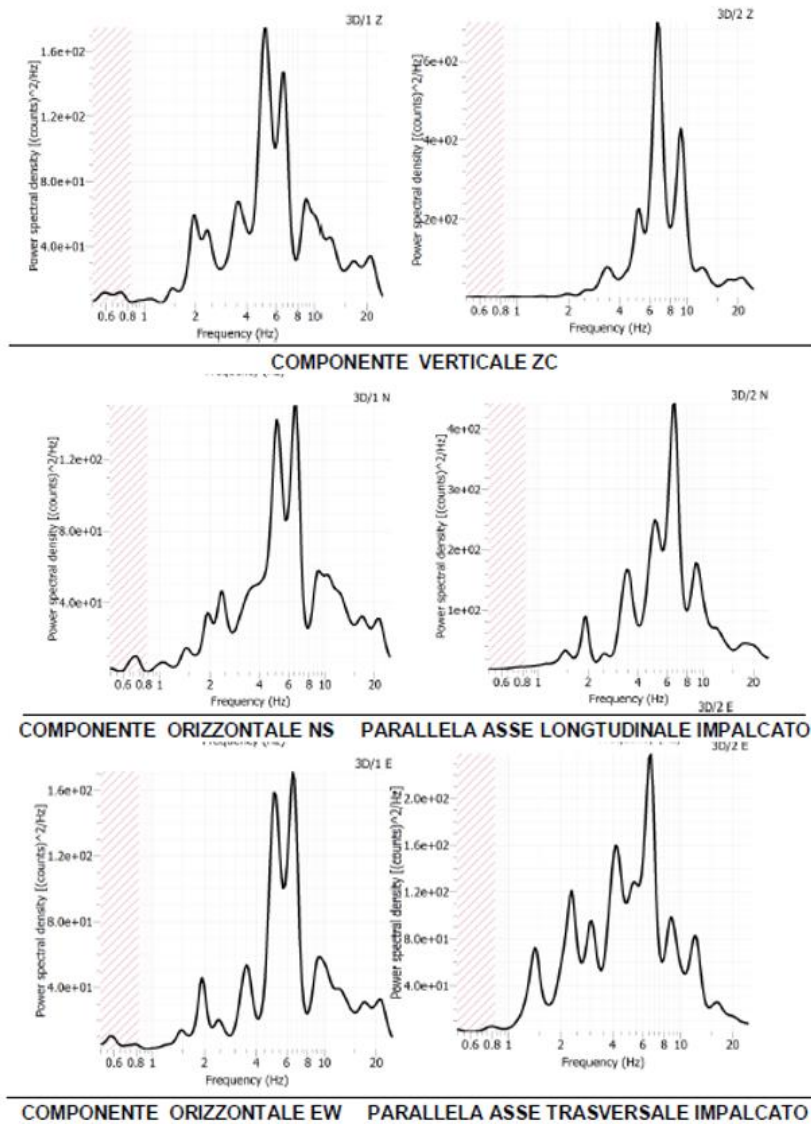


Figura 20 – Frequenze prova dinamica in situ

10.3 ANALISI DEI CARICHI

10.3.1 Carico Permanente Strutturale G_1

Il carico permanente strutturale G_1 è dovuto al peso della struttura in c.a. Il peso per l'unità di volume del calcestruzzo armato è assunto nel calcolo pari a:

peso proprio calcestruzzo armato

$$\rho_{cls} = 25,00 \text{ kN/m}^3$$

10.3.2 Carichi Permanenti Non Strutturali G_2

I carichi permanenti non strutturali agenti sulla struttura sono:

- $G_{2,1}$ pavimentazione in conglomerato bituminoso;
- $G_{2,2}$ finiture marciapiede;
- $G_{2,3}$ finiture spartitraffico e relativi impianti ivi installati.

Nel seguito sono analizzati i singoli carichi permanenti non strutturali agenti sulla struttura.

Pavimentazione in conglomerato bituminoso $G_{2,1}$

Dalle indagini eseguite si è riscontrato uno spessore medio della pavimentazione di 15 cm. Assumendo un peso del conglomerato bituminoso pari a $\rho_{cb} = 24,00 \text{ kN/m}^3$, il carico $G_{2,1}$ è pari:

$$G_{2,1} = 0,15 \text{ m} \cdot 24,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 3,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tale carico è stato applicato alle singole travi come azione lineare (kN/m) in funzione della larghezza della soletta superiore assegnata ad ogni singola membratura. In particolare:

$$G_{2,1-\text{Travi di bordo}} = 3,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1,1 \text{ m} = 3,96 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \approx 4,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$
$$G_{2,1-\text{Travi di centrali}} = 3,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2,225 \text{ m} = 8,01 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \approx 8,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Finiture marciapiede $G_{2,2}$

Le finiture sul marciapiede a sbalzo presente sul lato esterno sono realizzate con un sottofondo di calcestruzzo più uno strato di bitume colato aventi spessore medio complessivo di 10 cm. Inoltre, sul bordo interno del marciapiede sono presenti delle basole di contorno del marciapiede; mentre sul lato esterno è presente un parapetto metallico. Per le finiture sopra descritte si assume un carico di:

$$G_{2,2} = 3,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Avendo modellato la soletta del marciapiede con elementi shell, tale carico è applicato come carico di superficie.

Finiture spartitraffico e relativi impianti ivi installati $G_{2,3}$

Nello spartitraffico che divide i due impalcati sono presenti delle coppelle in cls prefabbricato (in parte danneggiate) appoggiate alle travi di bordo tramite dei piccoli sbalzi. Al di sopra delle coppelle è presente del materiale vegetale limitatamente ad alcuni punti oltre ai pali dell'illuminazione pubblica in parte divelti. Inoltre, all'interno dello spartitraffico sono presenti diversi impianti. In particolare:

- due tubazioni di diametro Φ 900 mm dell'acquedotto comunale poggiate su delle lastre di acciaio sostenute profili metallici a L saldati a formare una "U" con passo medio di 50 cm e inghisati alle travi di bordo;
- tubazione del gas di diametro Φ 450 mm e relativo bauletto in cls di protezione;
- vari cavidotti con diametro compreso tra Φ 100 mm e Φ 200 mm.

Nella Tabella seguente viene computato il carico permanente non strutturale per unità di lunghezza (kN/m) che le diverse finiture e i diversi impianti inducono sulla trave di bordo interna di ogni impalcato.

Elemento	Spessore [m]	Larghezza [m]	γ [kN/m ³]	Carico [kN/m]
Terreno vegetale	0,10	1,70	20	3,40
Coppella	0,08	1,70	25	3,40
Peso delle 2 tubazioni Φ 900 dell'acquedotto	-	-	-	2,00
Peso acqua all'interno delle 2 tubazioni Φ 900	-	-	-	12,00
Peso tubazioni varie (condotta gas e cavidotti)	-	-	-	2,00
Peso struttura di supporto				2,50
Totale [kN/m]				25,30

Tabella 8 – Analisi dei carichi finiture e impianti cavedio nello spartitraffico

Tale carico si distribuisce sulle due travi di bordo interne dei due distinti impalcati. Pertanto l'azione lineare (kN/m) sulla singola trave è:

$$G_{2_3-Trave\ di\ bordo\ interna} = 0,5 \cdot 25,30 \frac{kN}{m} = 12,65 \frac{kN}{m}$$

Inoltre tale carico genera un momento torcente distribuito sulla trave. Considerando un braccio di 1,20 metri, pari alla distanza tra il filo esterno della trave e il baricentro dello spartitraffico, l'azione torcente è:

$$G_{2_3-Trave\ di\ bordo\ interna} = 12,65 \frac{kN}{m} \cdot 1,20\ m = 15,18 \frac{kNm}{m} \approx 15,0 \frac{kNm}{m}$$

10.3.3 Distorsioni e Deformazioni Impresse


Per il caso in esame non sono presenti distorsioni o presollecitazioni (ϵ_1) di progetto; inoltre, trattandosi di una struttura esistente non sono presenti effetti dovuti al ritiro (ϵ_2). Per quanto concerne la viscosità (ϵ_3), poiché la struttura non ha subito variazioni di schema statico dall'epoca della costruzione a oggi, non sono stati considerati gli effetti dovuti al creep dal punto di vista delle sollecitazioni. In ogni caso, gli effetti della viscosità a lungo termine sono ormai stati scontati, vista l'epoca di costruzione. Durante la campagna di indagine non sono stati riscontrati cedimenti vincolari (ϵ_4) che abbiano interessato le parti iperstatiche della struttura (arco e campate d'ingresso). Si sono invece riscontrati centimetrici assestamenti in corrispondenza delle selle Gerber dove l'appoggio, realizzato con alluminio-legno-ruberoid, si è totalmente distrutto. Tuttavia, essendo l'impalcato isostatico in tali tratti, tale cedimento vincolare non ha provocato distorsioni e quindi sollecitazioni aggiuntive sulla struttura.

10.3.4 Azioni Variabili da Traffico

Le azioni variabili da traffico sono quelle relative ai carichi verticali viaggianti e alle azioni correlate agenti sull'impalcato. Trattandosi di una struttura esistente, sono state condotte analisi considerando le azioni definite dalle NTC 2018 e dal D.M. 578 del 17/12/2020 – "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti".

Carichi verticali q_1

I carichi verticali da traffico, in ottemperanza a quanto indicato dalle NTC 2018 e dalle Linee Guida 2020, sono stati disposti considerando le corsie convenzionali. La singola carreggiata del ponte in esame presenta una larghezza di 11,00 metri circa. Essendo la larghezza carrabile "w" di 11,00 metri, il numero di corsie convenzionali è pari a 3 e la zona rimanente ha una larghezza di 2,00 metri. Inoltre, per alcuni schemi connessi alla transitabilità NTC 2018 e transitabilità CdS (Vedi Linee Guida 2020), si sono considerate le reali corsie attualmente aperte e/o possibili soluzioni con disposizioni reali del traffico, assumendo una larghezza della corsia sempre pari a 3,00 metri.



Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40$ m	$n_l = 1$	3,00	$(w-3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0$ m	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$

Figura 21 – Corsie convenzionali

Per la valutazione del livello di sicurezza secondo le norme attuali (NTC 2018) e per la transitabilità NTC 2018 è stato considerato lo Schema di Carico 1. Si precisa che sul marciapiede presente sul lato esterno non è stato applicato il carico di folla compatta (Schema di carico 5) poiché tale percorso pedonale è attualmente non utilizzato ed è inoltre prevista la demolizione su entrambi i lati nell'ambito dei futuri prossimi lavori.

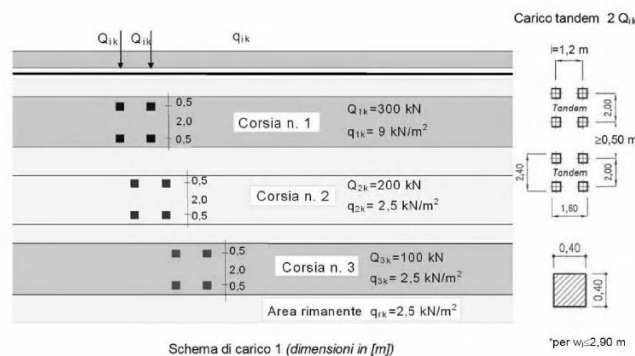


Figura 22 – Schema di carico 1 (NTC 2018)

Per la valutazione del livello di sicurezza nel caso di transitabilità CdS è stato considerato un carico corrispondente ad un autoarticolato a 5 assi da 440 kN (44 t), limitazione standard del Codice della Strada; distribuiti su una lunghezza di 11,00 m; oltre al carico distribuito. Tale caso è definito come "Transitabilità ai mezzi pesanti".

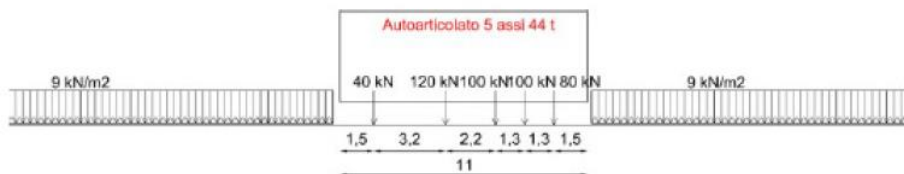


Figura 23 - Schema di carico transitabilità CdS Pesante (Linee Guida 2020)

Con riferimento alla Figura sopra, si precisa che trasversalmente i carichi concentrati sono stati assunti con interasse di 2,0 m su ogni asse. Il carico distribuito non è applicato in corrispondenza dello spazio di competenza dei carichi concentrati.

La disposizione e la numerazione delle corsie è stata determinata in modo da indurre le più sfavorevoli condizioni di progetto e/o simulare i reali scenari di traffico. Nello specifico, sono stati considerati i seguenti schemi di carico.

- Schema MOVE 1 (completa adeguatezza secondo NTC2018): schemi convenzionali previsti dalle NTC 2018 con disposizione più sfavorevole (carichi eccentrici);
- Schema MOVE 2 (transitabilità NTC 2018): una sola corsia aperta al centro della carreggiata con carico di prima corsia previsto dalle NTC 2018 e carico della parte rimanente al di fuori della corsia centrale;
- Schema MOVE 3 (transitabilità CdS a una corsia centrale da 44 t): una sola corsia aperta al centro della carreggiata con carico previsto dalla Linee guida per la "Transitabilità ai mezzi pesanti";
- Schema MOVE 4 (transitabilità CdS a due corsie centrali da 44 t): due corsie aperte al centro della carreggiata con carichi previsti dalla Linee guida per la "Transitabilità ai mezzi pesanti";
- Schema MOVE 5 (carichi dell'epoca): schemi convenzionali previsti dalla norma vigente all'epoca della costruzione (Circolare n. 820 del 15/03/1952) con disposizione più sfavorevole (carichi eccentrici) per la valutazione preliminare dell'opera (Livello 3 Linee Guida 2020).

Nel seguito sono valutati i coefficienti di Courbon per i diversi schemi sopra elencati.

Schema MOVE 1

Per lo schema MOVE 1 si sono considerati i carichi convenzionali previsti dalle NTC 2018 con disposizione più sfavorevole (carichi eccentrici). La disposizione riportata nella Figura seguente è quella che massimizza il carico sulla trave di bordo. Sul marciapiede presente sul lato esterno non è stato applicato il carico di folla compatta (Schema di carico 5) poiché tale percorso pedonale è attualmente non utilizzato ed inoltre è prevista la demolizione nell'ambito dei futuri lavori dei ponti laterali. Si precisa che il carico della parte rimanente non è stato inserito in quanto tutti i coefficienti di Courbon sono negativi per la trave di bordo denominata A.

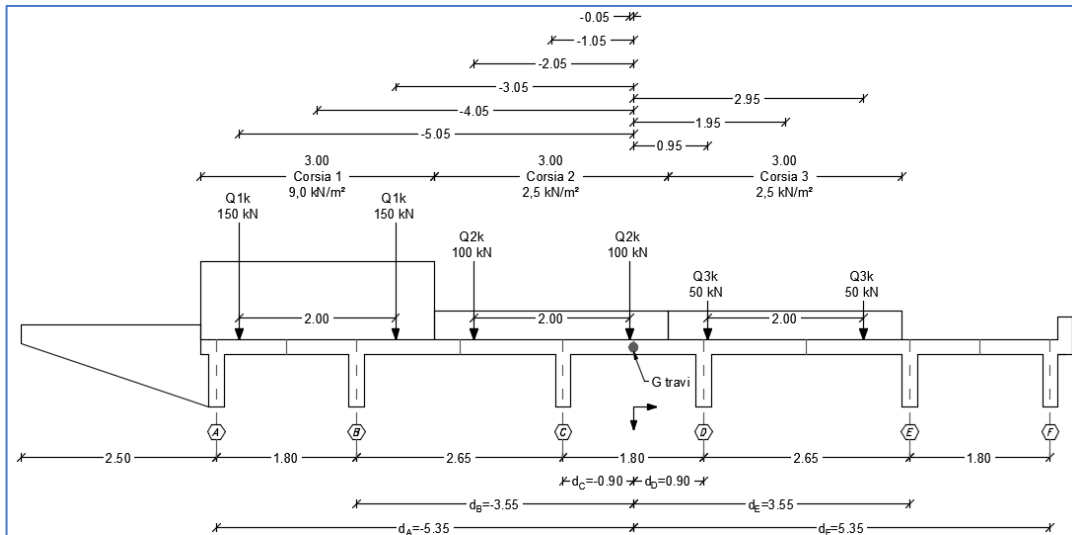


Figura 24 - Schema MOVE 1

Ripartizione Carichi Tandem (Courbon)														
Travi			Tandem 1° Corsia		Tandem 2° Corsia		Tandem 3° Corsia		Carico [kN]					
N. travi	6		Qk1_1 [kN]	150	Qk1_2 [kN]	150	Qk2_1 [kN]	100		Qk2_2 [kN]	100	Qk3_1 [kN]	50	Qk3_2 [kN]
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m ²]	e [m]	-5,05	e [m]	-3,05	e [m]	-2,05	e [m]	-0,05	e [m]	0,95	e [m]	2,95
			k1		k2		k3		k4		k5		k6	
A	-5,35	84,07	0,4880		0,3608		0,2971		0,1698		0,1062		-0,0211	178,27
B	-3,55		0,3799		0,2955		0,2532		0,1688		0,1266		0,0421	151,94
C	-0,9		0,2207		0,1993		0,1886		0,1672		0,1565		0,1351	113,17
D	0,9		0,1126		0,1340		0,1447		0,1661		0,1768		0,1982	86,83
E	3,55		-0,0466		0,0379		0,0801		0,1646		0,2068		0,2912	48,06
F	5,35		-0,1547		-0,0274		0,0362		0,1635		0,2271		0,3544	21,73

Ripartizione Carichi Distribuiti (Courbon)								
Travi			Distribuito 1° Corsia	Distribuito 2° Corsia	Distribuito 3° Corsia	Carico [kN/m]		
N. travi	6		qk1 [kN/m ²]	9	qk2 [kN/m ²]	2,5	qk3 [kN/m ²]	2,5
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m ²]	L Corsia [m]	3	L Corsia [m]	3	L Corsia [m]	3
			e [m]	-4,05	e [m]	-1,05	e [m]	1,95
			k1		k2		k3	
A	-5,35	84,07	0,4244		0,2335		0,0426	13,53
B	-3,55		0,3377		0,2110		0,0843	11,33
C	-0,9		0,2100		0,1779		0,1458	8,10
D	0,9		0,1233		0,1554		0,1875	5,90
E	3,55		-0,0044		0,1223		0,2490	2,67
F	5,35		-0,0911		0,0998		0,2908	0,47

Tabella 9 – Schema MOVE 1 - Ripartizione Carichi Tandem e Distribuiti (Courbon)

Si riporta di seguito il carico sulla trave di bordo denominata A. Per le ulteriori travi si rimanda alla Tabella sopra.

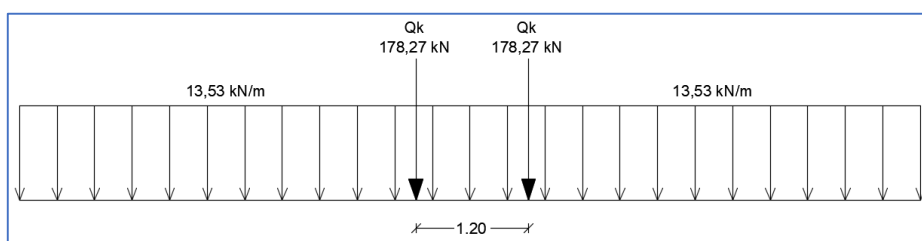


Figura 25 - Schema MOVE 1 - Carico mobile sulla trave di bordo denominata A

Schema MOVE 2

Per lo schema MOVE 2 si è considerata una sola corsia aperta al centro della carreggiata con carico di prima corsia previsto dalle NTC 2018 e carico della parte rimanente al di fuori della corsia centrale. Tale disposizione del carico (una sola corsia centrale) è funzionale alla valutazione del livello di sicurezza nel caso di transitabilità NTC 2018 in quanto rispecchia la reale disposizione delle corsie prevista nell'ordinanza dirigenziale 1448 del 16/12/2021 del Comune di Palermo attualmente in vigore.

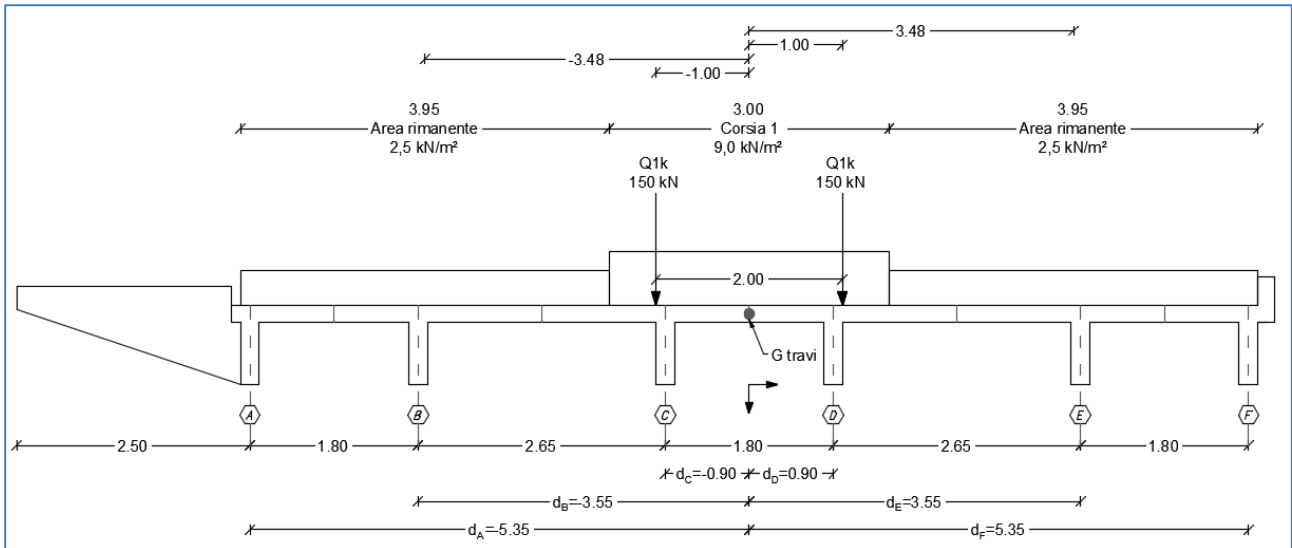


Figura 26 - Schema MOVE 2

Ripartizione Carichi Tandem (Courbon)							
Travi			Tandem 1° Corsia		Carico [kN]		
N. travi	6		Qk1_1 [kN]	150			Qk1_2 [kN]
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m²]	e [m]	1,00	e [m]	-1,00	
			k1		k2		
A	-5,35	84,07	0,1030		0,2303		50,00
B	-3,55		0,1244		0,2089		50,00
C	-0,9		0,1560		0,1774		50,00
D	0,9		0,1774		0,1560		50,00
E	3,55		0,2089		0,1244		50,00
F	5,35		0,2303		0,1030		50,00

Ripartizione Carichi Distribuiti (Courbon)								
Travi			Distribuito Parte Rimanente	Distribuito 1° Corsia	Distribuito Parte Rimanente	Carico [kN/m]		
N. travi	6		qkr [kN/m²]	2,5	qk1 [kN/m²]		9	qkr [kN/m²]
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m²]	L Corsia [m]	3	L Corsia [m]	3	L Corsia [m]	3
			e [m]	-3,48	e [m]	0	e [m]	3,48
			k1		k2		k3	
A	-5,35	84,07	0,3881		0,1667		-0,0548	7,00
B	-3,55		0,3136		0,1667		0,0197	7,00
C	-0,9		0,2039		0,1667		0,1294	7,00
D	0,9		0,1294		0,1667		0,2039	7,00
E	3,55		0,0197		0,1667		0,3136	7,00
F	5,35		-0,0548		0,1667		0,3881	7,00

Tabella 10 - Schema MOVE 2 - Ripartizione Carichi Tandem e Distribuiti (Courbon)

Il carico sulle singole travi è eguale, essendo le azioni centrate, ed è:

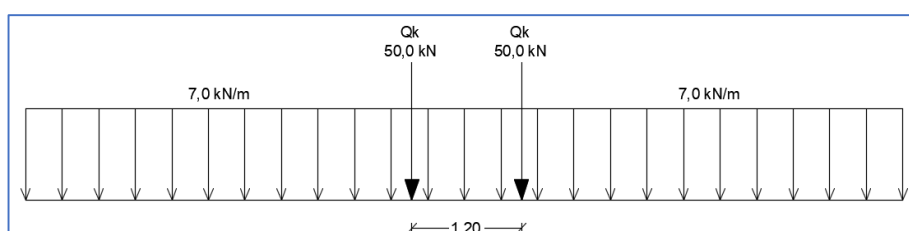


Figura 27 - Schema MOVE 2 - Carico mobile su singola trave

Schema MOVE 3

Per lo schema MOVE 3 si è considerata una sola corsia aperta al centro della carreggiata con carico previsto dalla Linee guida per la "Transitabilità ai mezzi pesanti". Tale disposizione del carico (una sola corsia centrale) è funzionale alla valutazione del livello di sicurezza nel caso di transitabilità CdS in quanto rispecchia la reale disposizione delle corsie prevista nell'ordinanza dirigenziale 1448 del 16/12/2021 del Comune di Palermo attualmente in vigore.

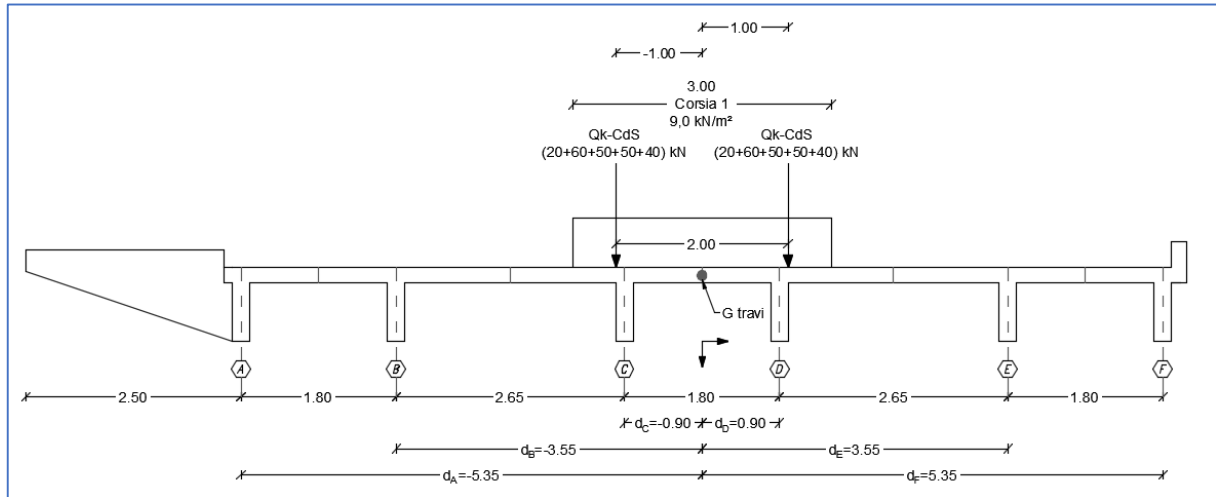


Figura 28 - Schema MOVE 3

Ripartizione Carichi Tandem (Courbon)						
Travi			Tandem 1ª Corsia			
N. travi	6		Qk-CdS [kN]	var	Qk-CdS [kN]	var
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m²]	e [m]	1,00	e [m]	-1,00
			k1		k2	
A	-5,35	84,07	0,1030		0,2303	
B	-3,55		0,1244		0,2089	
C	-0,9		0,1560		0,1774	
D	0,9		0,1774		0,1560	
E	3,55		0,2089		0,1244	
F	5,35		0,2303		0,1030	

Ripartizione Carichi Distribuiti (Courbon)						
Travi			Distribuito 1ª Corsia		Carico [kN/m]	
N. travi	6		qk1 [kN/m²]	9		
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m²]	L Corsia [m]	3	Carico [kN/m]	
			e [m]	0		
			k1			
A	-5,35	84,07	0,1667		4,50	
B	-3,55		0,1667		4,50	
C	-0,9		0,1667		4,50	
D	0,9		0,1667		4,50	
E	3,55		0,1667		4,50	
F	5,35		0,1667		4,50	

Tabella 11 - Schema MOVE 3 - Ripartizione Carichi Tandem e Distribuiti (Courbon)

Si precisa che nella Tabella per i carichi concentrati sono riportati solo i coefficienti in quanto per tale caso il carico è costituito da 5 assi con valori differenti per un totale di 440 kN (44 t). Il carico sulle singole travi è eguale, essendo le azioni centrate, ed è:

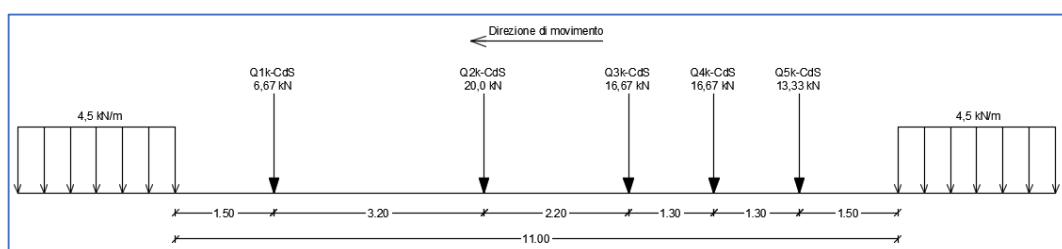


Figura 29 - Schema MOVE 3 - Carico mobile su singola trave

Schema MOVE 4

Per lo schema MOVE 4 si sono considerate due corsie aperte al centro della carreggiata con carico previsto dalla Linee guida per la "Transitabilità ai mezzi pesanti". Tale disposizione del carico (due corsie centrali) è funzionale alla valutazione del livello di sicurezza nel caso di transitabilità CdS in un possibile scenario futuro che agevoli il traffico sul ponte prima dell'inizio degli interventi di adeguamento sullo stesso.

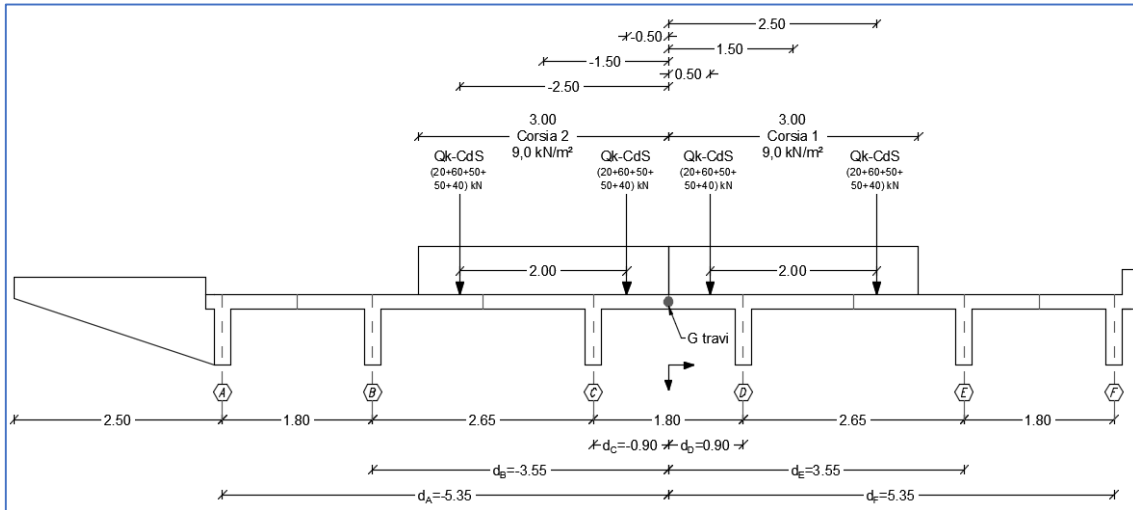


Figura 30 - Schema MOVE 4

Ripartizione Carichi Tandem (Courbon)										
Travi			Tandem 1° Corsia				Tandem 2° Corsia			
N. travi	6		Qk-CdS [kN]	var	Qk-CdS [kN]	var	Qk-CdS [kN]	var	Qk-CdS [kN]	var
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m²]	e [m]	2,5	e [m]	0,5	e [m]	-0,5	e [m]	-2,5
			k1		k2		k3		k4	
A	-5,35	84,07	0,0076		0,1348		0,1985		0,3258	
B	-3,55		0,0611		0,1456		0,1878		0,2722	
C	-0,9		0,1399		0,1613		0,1720		0,1934	
D	0,9		0,1934		0,1720		0,1613		0,1399	
E	3,55		0,2722		0,1878		0,1456		0,0611	
F	5,35		0,3258		0,1985		0,1348		0,0076	

Ripartizione Carichi Distribuiti (Courbon)							
Travi			Distribuito 1° Corsia		Distribuito 2° Corsia		Carico [kN/m]
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m²]	qk1 [kN/m²]	9	qk2 [kN/m²]	9	
			L Corsia [m]	3	L Corsia [m]	3	
			e [m]	1,5	e [m]	-1,5	
			k1		k2		
A	-5,35	84,07	0,0712		0,2621		9,00
B	-3,55		0,1033		0,2300		9,00
C	-0,9		0,1506		0,1827		9,00
D	0,9		0,1827		0,1506		9,00
E	3,55		0,2300		0,1033		9,00
F	5,35		0,2621		0,0712		9,00

Tabella 12 - Schema MOVE 4 - Ripartizione Carichi Tandem e Distribuiti (Courbon)

Si precisa che nella Tabella per i carichi concentrati sono riportati solo i coefficienti in quanto per tale caso il carico è costituito da 5 assi con valori differenti per un totale di 440 kN (44 t). Il carico sulle singole travate è eguale, essendo le azioni centrate, ed è:

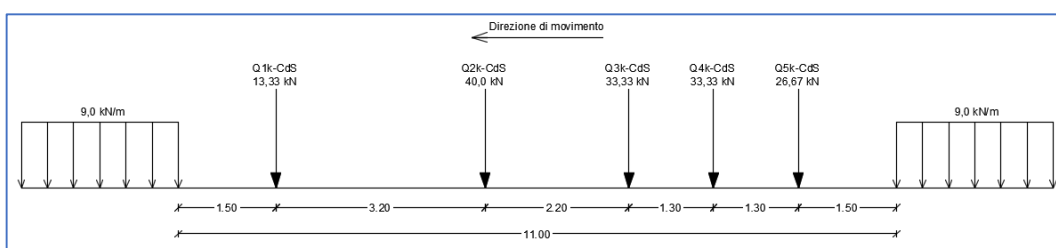


Figura 31 - Schema MOVE 4 - Carico mobile su singola trave

Schema MOVE 5

Per lo schema MOVE 5 si sono considerati gli schemi convenzionali previsti dalla norma vigente all'epoca della costruzione, con disposizione più sfavorevole (carichi eccentrici), per la valutazione preliminare dell'opera (Livello 3 Linee Guida 2020). In particolare, il progetto del ponte risale al Gennaio 1958. All'epoca della costruzione era in vigore la Circolare ANAS n. 820 del 15/03/1952. I carichi previsti da tale Circolare furono poi ripresi dalla Circolare n. 384 del 14/02/1962 emanata dal Ministero dei Lavori Pubblici. Quanto esposto sopra è corroborato da alcuni documenti parziali del progetto dell'epoca in possesso degli scriventi.

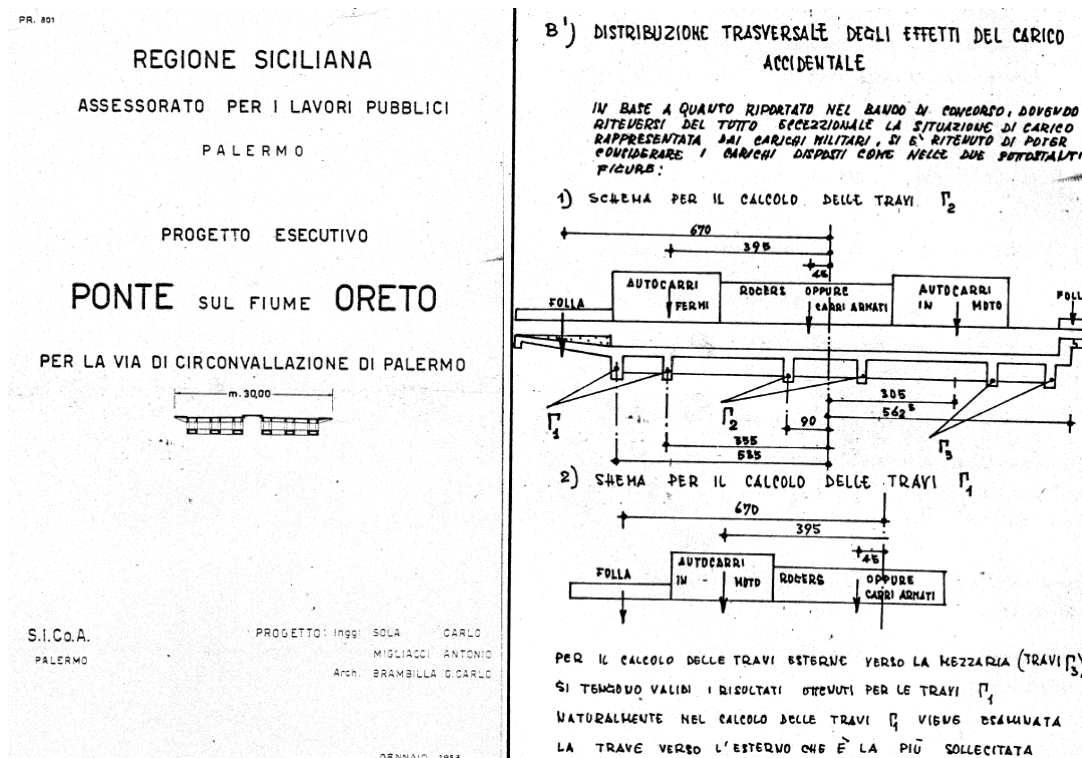
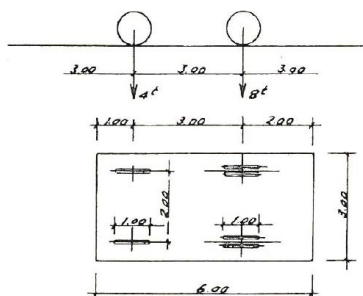


Figura 32 – Estratto della relazione di calcolo dell'epoca

In particolare, i carichi (civili e militari) adottati all'epoca sono i seguenti.

SCHEMA

Colonna indefinita di autocarri da 12t



SCHEMA 6

Carico militare isolato da 74.5t

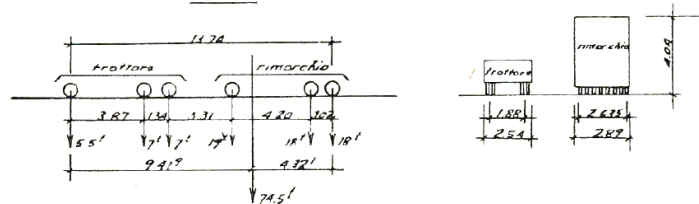


Figura 33 – Carichi adottati nel progetto originario

Al fine di eseguire un confronto tra le sollecitazioni indotte dai carichi previsti dalla normativa attuale (NTC 2018) e quella vigente all'epoca, è stato considerato uno schema di carico avente disposizione trasversale come previsto nel progetto originario (vedi schema per il calcolo delle travi Γ_1 in Figura 32), in quanto massimizza i carichi sulla trave di bordo, ma senza considerare il carico di folla al fine di confrontare le massime azioni dovute allo Schema MOVE 1 e allo Schema MOVE 5. Ai carichi dell'epoca è stato applicato un coefficiente di incremento dinamico medio pari a 1,3.

Lo schema adottato è il seguente:

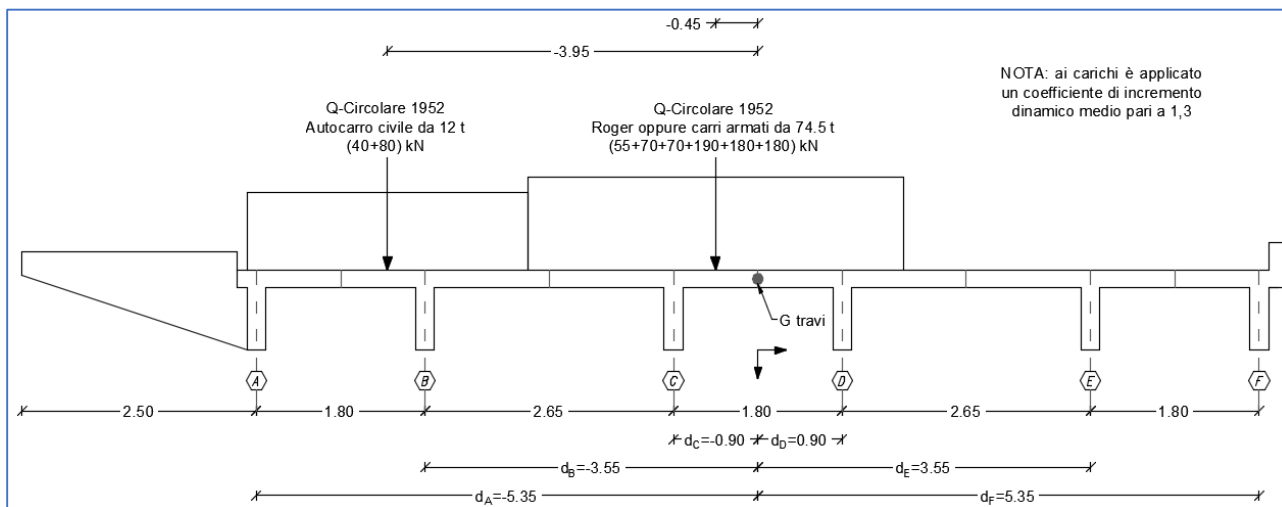


Figura 34 - Schema MOVE 5

Ripartizione Carichi Tandem (Courbon)					
Travi			Tandem Carichi Civili		Tandem Carichi Militari
N. travi			Q [kN]		Q [kN]
6			var		var
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m ²]	e [m]	-3,95	e [m]
			k1		k2
A	-5,35	84,07	0,4180		0,1953
B	-3,55		0,3335		0,1857
C	-0,9		0,2090		0,1715
D	0,9		0,1244		0,1618
E	3,55		-0,0001		0,1477
F	5,35		-0,0847		0,1380

Tabella 13 - Schema MOVE 5 - Ripartizione Carichi Tandem (Courbon)

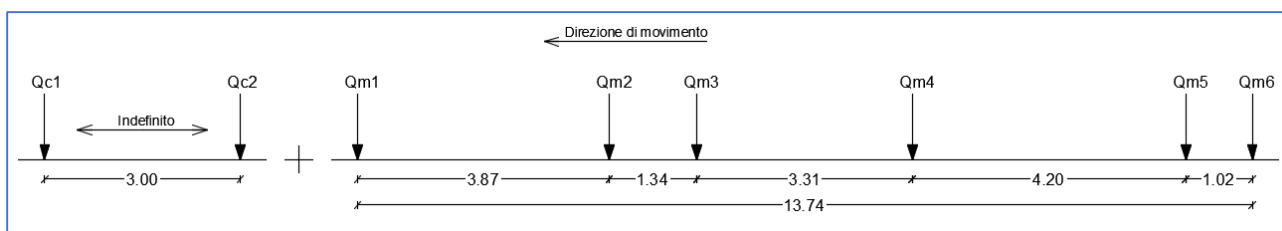


Figura 35 - Schema Move 5 - Disposizione carichi su singola trave

Con riferimento alla Figura precedente, i carichi agenti su ogni singola trave sono riportati nella Tabella seguente. Si precisa che nel caso di coefficienti negativi, il carico si è considerato nullo. I carichi includono il coefficiente di incremento dinamico medio pari a 1,3.

Id Trave	Autocarro civile		Roger oppure carri armati					
	Qc1 [kN]	Qc2 [kN]	Qm1 [kN]	Qm2 [kN]	Qm3 [kN]	Qm4 [kN]	Qm5 [kN]	Qm6 [kN]
A	21,74	43,48	13,96	17,77	17,77	48,24	45,70	45,70
B	17,34	34,68	13,28	16,90	16,90	45,86	43,45	43,45
C	10,87	21,73	12,26	15,61	15,61	42,36	40,13	40,13
D	6,47	12,94	11,57	14,73	14,73	39,98	37,87	37,87
E	0,00	0,00	10,56	13,44	13,44	36,47	34,55	34,55
F	0,00	0,00	9,87	12,56	12,56	34,09	32,30	32,30

Tabella 14 - Schema Move 5 - Carichi su singola trave

Incremento dinamico addizionale in presenza di discontinuità strutturali q_2

Essendo i carichi previsti dalla normativa attuale compresi degli effetti dinamici non si sono previsti ulteriori coefficienti dinamici addizionali. Per i carichi del 1958 si sono considerati gli effetti dinamici calcolando il corrispondente coefficiente di incremento dinamico.

Azione longitudinale di frenamento o accelerazione q_3

La forza di frenamento o di accelerazione q_3 , come indicato al § 5.1.3.5 delle NTC 2018, è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$180\text{ kN} \leq [q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0,1 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L] \leq 900\text{ kN}$$

dove:

w_1 è la larghezza della corsia;

L è la lunghezza della zona caricata.

Come indicato dalle Linee Guida 2020, le azioni di frenamento o accelerazione si ottengono analogamente a quanto previsto dalle NTC 2018 ma considerando i carichi del CdS:

$$q_3 = 0,6 \cdot (\Sigma Q_{CdS}) + 0,1 \cdot q_{CdS} \cdot w_1 \cdot L$$

Per lo Schema MOVE 5 (carichi dell'epoca), tale azione non è stata considerata, in quanto lo Schema è stato adottato solo per la valutazione preliminare dell'opera (Livello 3 Linee Guida 2020) con riferimento alle azioni di flessione e taglio.

Per il caso in esame, come lunghezza della zona caricata si assume la lunghezza dell'intero impalcato pari a $L = 140$ metri circa. La forza in esame, è applicata a livello della pavimentazione ed è agente lungo l'asse della corsia. Il carico è assunto uniformemente distribuito sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione. Nella Tabella riportata di seguito è valutata la forza di frenamento o di accelerazione q_3 per i diversi schemi di carichi mobili considerati.

Schema	2Q1k o ΣQ_{CdS} [kN]	q1k o q_{CdS} [kN/m ²]	w [m]	L [m]	q3 [kN]	q3_dis [kN/m]
MOVE 1	600,00	9,00	3,00	140,00	738,00	5,27
MOVE 2	600,00	9,00	3,00	140,00	738,00	5,27
MOVE 3	440,00	9,00	3,00	140,00	642,00	4,59
MOVE 4	440,00	9,00	3,00	140,00	642,00	4,59
MOVE 5	Non necessario					

Tabella 15 – Azione di frenamento o accelerazione

L'azione di frenamento è stata considerata centrata e quindi è stata suddivisa sulle 6 travi che costituiscono l'impalcato nel seguente modo:

$$q_{3_NTC(\text{Schema MOVE1 \& MOVE2})} = \frac{q_{3_dis}}{n.travi} = \frac{5,27\text{ kN/m}}{6} = 0,87\text{ kN/m}$$

$$q_{3_CdS(\text{Schema MOVE3 \& MOVE4})} = \frac{q_{3_dis}}{n.travi} = \frac{4,59\text{ kN/m}}{6} = 0,77\text{ kN/m}$$

Considerata l'intensità di tali azioni, queste possono essere trascurate. Tale ipotesi è anche giustificata dal fatto che l'azione di frenamento/accelerazione q_3 è minore dell'azione di attrito in corrispondenza delle due spalle. Infatti, in corrispondenza delle spalle, la somma delle reazioni verticali dovute al peso proprio e ai carichi permanenti moltiplicate per un coefficiente di attrito calcestruzzo-calcestruzzo di 0,5 è pari:

$$2021\text{ kN} \cdot 0,5 = 1010,5\text{ kN} > [738\text{ kN}; 642\text{ kN}]$$

Azione centrifuga q_4

Non vengono considerati effetti associati all'azione centrifuga, in quanto la struttura in esame presenta un asse rettilineo.

10.3.5 Altre Azioni Variabili

Nei paragrafi seguenti si esaminano le azioni variabili non strettamente legate al traffico.

Azione del vento $q_{5.1}$

L'azione del vento è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al Capitolo 3.3 delle NTC 2018 e secondo le istruzioni della Circolare del 2019 e della UNI EN 1991-1-4:2010. In accordo alle suddette normative, si sono considerati i seguenti casi:

- Vento su struttura scarica, e cioè azione del vento agente sul ponte in assenza di veicoli;
- Vento su struttura carica, e cioè azione del vento agente sul ponte durante il transito dei veicoli.

La superficie esposta al vento dei carichi transitanti sul ponte si assimila ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3 m a partire dal piano stradale in accordo al § 5.1.3.7 delle NTC 2018.

L'azione del vento si è valutata sulla base dei seguenti parametri:

Zona vento = 4 (Sicilia e provincia di Reggio Calabria - $v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$; $a_0 = 500 \text{ m}$; $k_s = 0,36 \text{ 1/s}$)

Altitudine del sito: $A_s = 60 \text{ m}$ (Quota impalcato)

Classe di rugosità del terreno: D (Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati...)

Categoria esposizione: Categoria II (Zona costiera entro 10 km dal mare - $k_r = 0,19$; $z_0 = 0,05 \text{ m}$; $z_{min} = 4 \text{ m}$)

La velocità base di riferimento del vento v_b , dato che la costruzione sorge ad una quota dal livello del mare minore di 500 m, è

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a = v_{b,0} \cdot 1 = 28 \text{ m/s} \quad (c_a = 1 \text{ per } a_s < a_0)$$

La velocità di riferimento del vento v_r , assumendo un periodo di ritorno $T_R = 50$ anni, corrisponde alla velocità base di riferimento v_b , essendo il coefficiente di ritorno c_r pari a 1. La pressione cinetica di riferimento è

$$q_r = 0,5 \cdot \rho \cdot v_r^2 = 0,49 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{con } \rho \text{ densità dell'aria assunta pari a } 1,25 \text{ kg/m}^3)$$

La pressione del vento è valutata tramite la formula:

$$p = q_r \cdot c_d \cdot c_e \cdot c_p$$

dove:

- q_r è la pressione cinetica di riferimento;
- c_d è il coefficiente dinamico *posto pari a 1*;
- c_e è il coefficiente di esposizione e vale:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

in cui k_r , z_0 e z_{min} sono parametri valutati in funzione della categoria di esposizione. c_t è il coefficiente di topografia *posto pari a 1*.

- c_p è il coefficiente di pressione o di forza (c_f). Il valore di $c_p = c_f$ è definito al Capitolo 8 dalla UNI EN 1991-1-4:2010 Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento (Eurocodice 1).

Collaborazione e consulenza: Prof. Ing. Marcello Arici

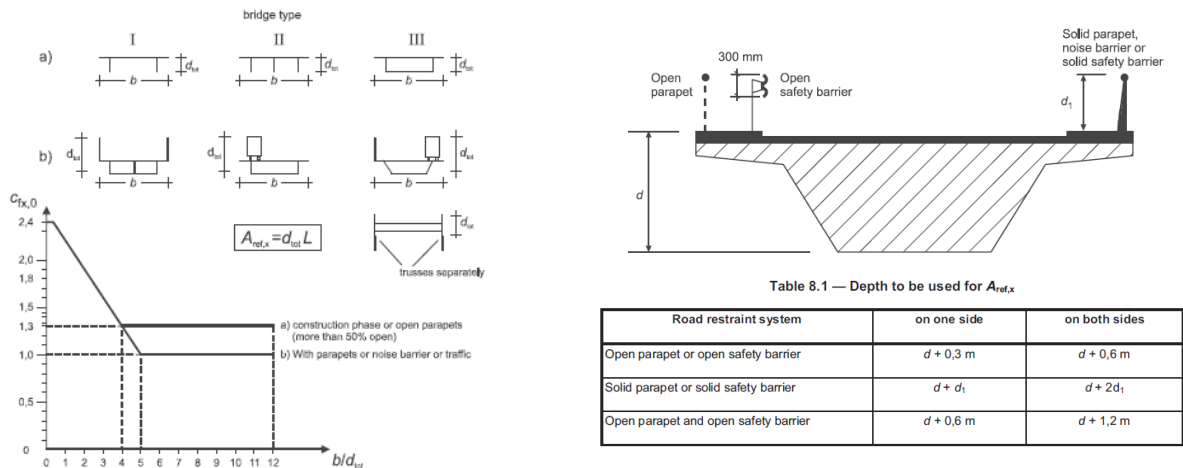


Figura 36 Coefficiente di pressione o di forza

Per il caso in esame la larghezza totale dell'impalcato b (inclusa la mensola del marciapiede) è pari a 13,4 m circa. Come altezza dell'impalcato si considerano i seguenti casi.

1. Ponte scarico. $d + 0,3 = 1,0$ m + $0,3 = 1,3$ m - con d pari all'altezza media delle travi che costituiscono l'impalcato pari a $(1,3 + 0,85) / 2 \approx 1,0$ m.
2. Ponte carico. $d + 0,3 + 3,0$ m = $1,0$ m + $0,3 + 3,0$ m = $4,3$ m - con d pari all'altezza media delle travi che costituiscono l'impalcato pari a $(1,3 + 0,85) / 2 \approx 1,0$ m e altezza del veicolo pari a 3,0 m.

Pertanto, il rapporto b/d_{tot} e i relativi coefficienti di pressione sono pari:

1. Ponte scarico. $b/d_{tot} = 13,4$ m / $1,3$ m ≈ 10 . Considerando la curva a) in Figura sopra (parapetto con aperture maggiori del 50 % della superficie), il coefficiente di pressione o forza è pari a 1,3.
2. Ponte carico. $b/d_{tot} = 13,4$ m / $4,3$ m ≈ 3 . Considerando la curva b) in Figura sopra (presenza di traffico), il coefficiente di pressione o forza è pari a 1,5.

Considerata la modesta differenza dei coefficienti di pressione sopra calcolati, si assume il valore massimo pari a 1,5. Definiti i parametri per il calcolo dell'azione del vento, si riporta di seguito l'andamento delle pressioni. Nello specifico, il piano viario dell'impalcato è posto ad una *distanza massima* di circa 40,0 metri dal piano campagna in corrispondenza della mezzeria. L'andamento delle pressioni, in funzione dell'altezza, è il seguente:

$$p = q_r \cdot c_d \cdot c_e(z) \cdot c_p = 0,49 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \cdot c_e(z) \cdot 1,5$$

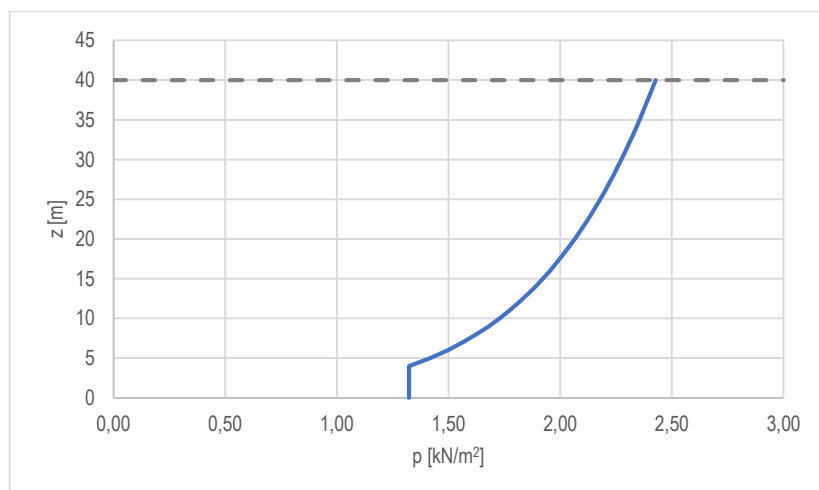


Figura 37 – Andamento pressioni

L'azione del vento è stata assimilata ad un sistema di carichi statici, la cui componente orizzontale è diretta ortogonalmente all'asse del ponte. Il valore della pressione sopra riportato è stato applicato ai singoli elementi (travi, arco, ritti e pilastri) come carico lineare considerando la dimensione investita dal vento dei singoli elementi.

Nello specifico è stata considerata una pressione media (funzione dell'altezza) pari a $1,97 \text{ kN/m}^2 \approx 2,00 \text{ kN/m}^2$ e una dimensione media investita dal vento dei singoli elementi (travi, arco, ritti e pilastri) pari a $0,75 \text{ m}$. Il carico lineare è applicato a tutti gli elementi investiti e vale

$$q_{\text{vento}} = \rho_{\text{media}} \cdot b_{\text{media}} = 2,00 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,75 \text{ m} = 1,50 \text{ kN/m}$$

Nel caso di transito dei veicoli (ponte carico), oltre alle azioni presenti sugli elementi direttamente investiti dal vento sopra definiti, è stata considerata un'azione aggiuntiva su uno schermo virtuale di altezza pari a 3 m dal piano viario e lungo tutta la lunghezza del ponte. Tale azione genera una coppia distribuita sull'impalcato a causa dell'eccentricità rispetto al centro di torsione (assunto per semplicità coincidente con il baricentro della soletta). La ripartizione del momento torcente di impalcato segue le regole tipiche della redistribuzione alla Courbon.

Si precisa che in direzione parallela all'asse stradale, l'azione del vento è trascurabile. Lo stesso vale in direzione verticale.

Azione della neve $q_{5.2}$

L'azione della neve è stata valutata in accordo con il paragrafo § 3.4 delle NTC 2018. La struttura è sita nella Zona III ad una quota minore di 200 m s.l.m. (quota pari a 60 m s.l.m. circa) e quindi $q_{\text{sk}} = 0,60 \text{ kN/m}^2$. Assimilando la struttura ad una copertura piana ($\mu_1 = 0,8$), l'azione della neve è pari a $0,48 \text{ kN/m}^2$. Tale azione può essere trascurata.

Azioni idrodinamiche q_6

Per il caso in esame non sono presenti pile poste in alveo. Inoltre le imposte dell'arco sono fondate sul pendio della vallata a debita distanza dal decorso delle acque. Pertanto, per il caso in esame non sono presenti azioni idrodinamiche sulla struttura. Si precisa altresì che non sussistono indizi di fenomeni di scalzamento idraulico, né di movimenti di versante potenzialmente interagenti per cui nella verifica di sicurezza si omette l'inquadramento dell'ambito idraulico e l'inquadramento dell'assetto geo-morfologico (Linee Guida 2020).

Azione della temperatura q_7

L'azione della temperatura è stata valuta in accordo con il paragrafo § 3.5 delle NTC 2018. La struttura ricade in Zona IV e la temperatura dell'aria, considerando un'altitudine pari a zero (livello del mare) si possono assumere i seguenti valori:

$$T_{\text{min}} = -2 - a_s / 1000 = -2 - 9 \cdot 0 / 1000 = -2 \text{ C}^\circ$$
$$T_{\text{max}} = 42 - 2 \cdot a_s / 1000 = 42 - 2 \cdot 0 / 1000 = +42 \text{ C}^\circ$$

Considerando una temperatura di riferimento pari a $15 \text{ }^\circ\text{C}$, a favore di sicurezza, si è scelto di adottare una variazione termica uniforme pari a $\Delta T = \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Azioni sui parapetti e urto dei veicoli in svio q_8

Non è stata considerata nessuna azione derivante dall'urto dei veicoli in svio in quanto la barriera, presente solo sul lato interno e solo nella carreggiata in direzione Trapani, è disconnessa dalla struttura portante del ponte, mentre il parapetto dal lato dello sbalzo è preceduta dal marciapiede alto almeno 20 cm .

Resistenze passive dei vincoli q_9

La struttura in esame presentava appoggi realizzati con alluminio-legno-ruberoid, ora scomparsi. Si trascurano gli effetti di tali resistenze passive.

10.3.6 Azione Sismica E_k

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al paragrafo § 3.2 delle NTC 2018. L'azione sismica è caratterizzata da tre componenti traslazionali, due orizzontali e una verticale, da considerarsi indipendenti tra di loro. Le singole campate hanno lunghezza massima di 15,0 metri circa, mentre l'arco ha una luce di 80 metri e quindi maggiore di 20 metri (§ 7.2.2 NTC 2018). Pertanto, è stata considerata la componente verticale del sisma oltre a quelle orizzontali.

Il procedimento per la definizione degli spettri di progetto per i vari stati limite per cui sono state effettuate le verifiche è il seguente:

- Definizione della vita nominale e della classe d'uso della struttura, il cui uso combinato ha portato alla definizione del periodo di riferimento dell'azione sismica.
- Individuazione, tramite latitudine e longitudine, dei parametri sismici di base a_g , F_o , F_v e T_c^* per tutti gli stati limite previsti.
- Determinazione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.
- Calcolo del periodo T_C corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.
- Calcoli dei periodi T_B e T_D corrispondenti rispettivamente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro e all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro.

I dati così calcolati sono stati utilizzati per determinare gli spettri di progetto nelle verifiche agli stati limite considerati.

Trattandosi di un ponte ricadente nella Circonvallazione di Palermo e quindi riconducibile a reti viarie di tipo A o B di cui al D.M. 5/11/2001, è stata considerata una vita nominale di 50 anni e una classe d'uso IV. Si precisa che trattandosi di una struttura esistente, è stata considerata una vita nominale pari a 50 anni come indicato al § C.2.4.1 della Circolare del 2019. Si precisa altresì che la categoria di sottosuolo adottata è stata desunta dalla Relazione Geologica allegata al progetto esecutivo del 2003 dei ponti laterali a cui si rimanda per maggiori dettagli. Gli spettri di progetto fanno riferimento ai seguenti dati:

Parametri della struttura					
Vita Nominale V_N [anni]	Classe d'uso	Coefficiente d'uso C_U	Periodo di Riferimento V_R [anni]	Categoria di sottosuolo	Categoria topografica
50,0	IV	2,0	100,0	B	T1

Tabella 16 - Parametri della struttura e del suolo per la definizione dello spettro di risposta

Stato Limite	Probabilità di superamento	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [sec]	S [-]	T_B [sec]	T_c [sec]	T_D [sec]
SLO	81.0	60.0	0.067	2.323	0.257	1.200	0.124	0.372	1.868
SLD	63.0	101.0	0.089	2.314	0.267	1.200	0.127	0.382	1.959
SLV	10.0	949.0	0.225	2.417	0.303	1.182	0.141	0.424	2.502
SLC	5.0	1950.0	0.284	2.484	0.315	1.117	0.146	0.437	2.740

Tabella 17 - Parametri spettri di risposta componenti orizzontali

Stato Limite	Probabilità di superamento	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	F_v [-]	S [-]	T_B [sec]	T_c [sec]	T_D [sec]
SLO	81.0	60.0	0.067	2.323	0.812	1.000	0.050	0.150	1.000
SLD	63.0	101.0	0.089	2.314	0.936	1.000	0.050	0.150	1.000
SLV	10.0	949.0	0.225	2.417	1.550	1.000	0.050	0.150	1.000
SLC	5.0	1950.0	0.284	2.484	1.791	1.000	0.050	0.150	1.000

Tabella 18 - Parametri spettri di risposta componente verticale

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico S_e , è definito dalle espressioni seguenti:

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

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

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

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

La struttura in esame è stata considerata non dissipativa e quindi con **fattore di comportamento pari a 1**. Si riportano di seguito gli spettri di progetto.

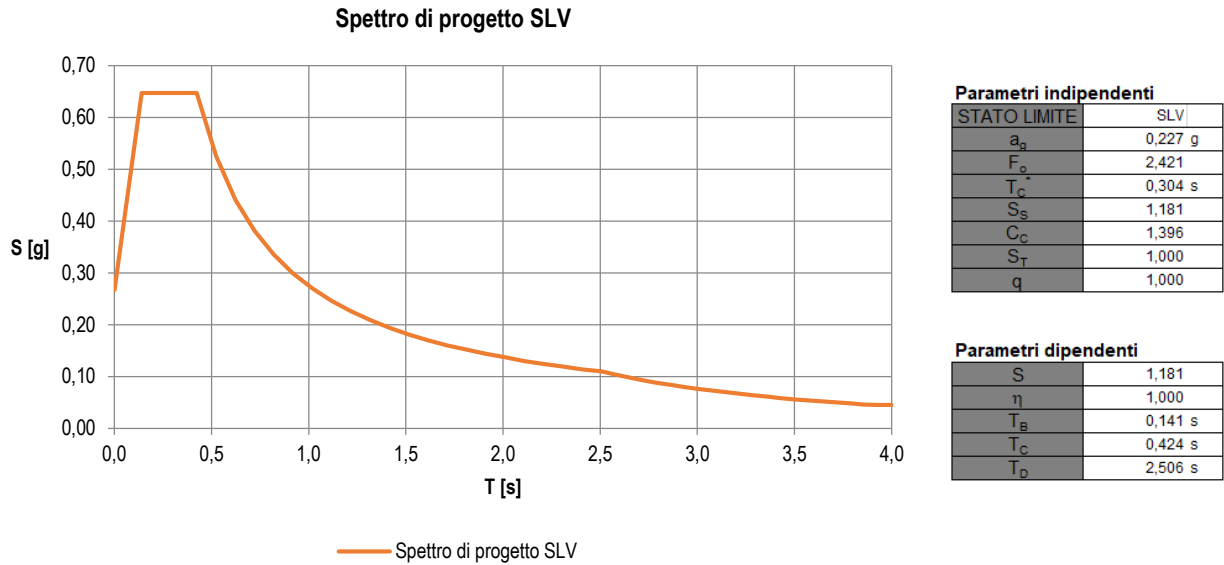


Figura 38 - Spettri di risposta orizzontali

Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale del moto sismico S_{ve} , è definito dalle espressioni seguenti:

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

La struttura in esame è stata considerata non dissipativa e quindi con **fattore di comportamento pari a 1**. Si riportano di seguito gli spettri di progetto.

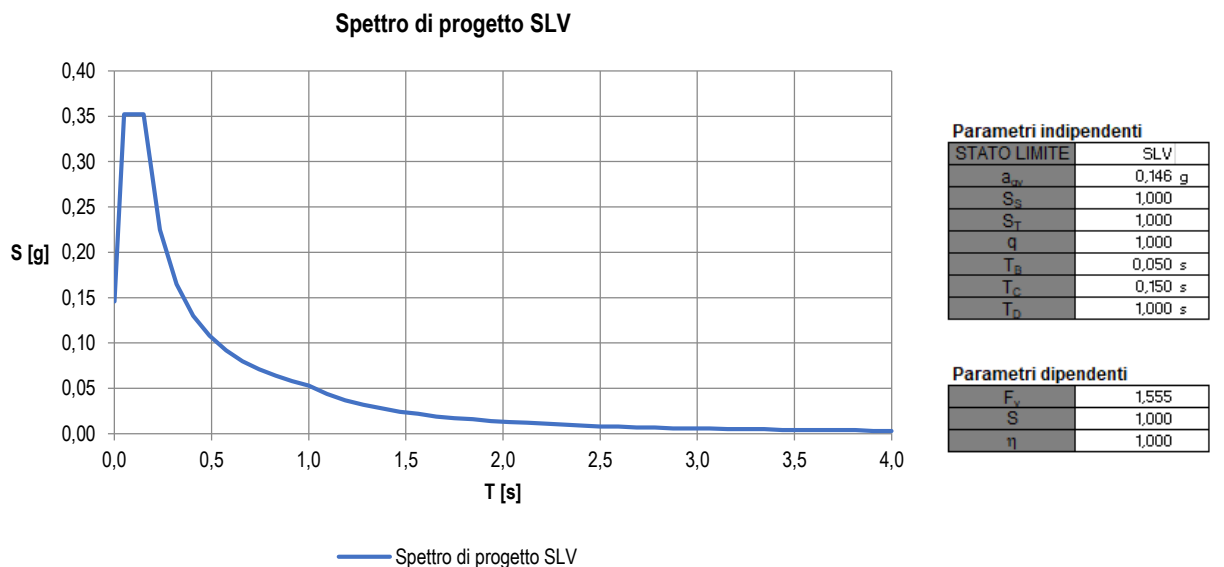


Figura 39 - Spettri di risposta verticale

Effetti della variabilità spaziale del moto

Per il caso in esame l'opera ha uno sviluppo complessivo di circa 140 metri, inoltre i terreni coinvolti sono omogenei e presentano le stesse caratteristiche meccaniche e sismiche lungo tutto lo sviluppo dell'opera. Per tali motivi non sono stati considerati gli effetti della variabilità spaziale del moto.

10.4 COMBINAZIONI DI CARICO

Le verifiche sono state condotte nei confronti delle azioni statiche verticali, del vento e della temperatura allo stato limite ultimo e allo stato limite di esercizio; oltre che nei confronti dell'azione sismica. Ai fini delle verifiche degli stati limite si fa riferimento alle seguenti combinazioni di carico, secondo quanto previsto dalla normativa:

Combinazione fondamentale SLU

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica (SLE rara)

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente (SLE)

$$G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente (SLE)

$$G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica (stati limite connessi all'azione sismica)

$$E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad \rightarrow \quad \text{Masse associate: } G_1 + G_2 + \sum \psi_{2i} Q_{ki}$$

I coefficienti parziali per le azioni sono quelli definiti dalle NTC 2018 e dalle Linee Guida 2020. Nello specifico, si sono adottati i seguenti coefficienti parziali relativi allo Stato Limite Ultimo:

NTC 2018	Linee Guida 2020	
Completa adeguatezza	Transitabilità NTC 2018	Transitabilità CdS
$\gamma_{G1} = 1,35$	$\gamma_{G1} = 1,26$	$\gamma_{G1} = 1,26$
$\gamma_{G2} = 1,50$	$\gamma_{G2} = 1,26$	$\gamma_{G2} = 1,26$
$\gamma_{Q \text{ MOVE}} = 1,35$	$\gamma_{Q \text{ MOVE}} = 1,20$	$\gamma_{Q \text{ MOVE}} = 1,60$
$\gamma_{Q \text{ Temperatura e Vento}} = 1,50$	$\gamma_{Q \text{ Temperatura e Vento}} = 1,26$	$\gamma_{Q \text{ Temperatura e Vento}} = 1,26$

Tabella 19 – Coefficienti parziali azioni

I coefficienti di combinazione adottati sono i seguenti:

Azioni	Gruppo di azioni	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni da traffico	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,00
	Schema 1 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,00
Vento	Ponte scarico	0,60	0,20	0,00
	Ponte carico	0,60	0,20	0,00
Temperatura	Variazioni Termiche	0,60	0,50	0,50

Tabella 20 - Valori dei coefficienti di combinazione

Considerati i diversi coefficienti di combinazione per la valutazione del livello di sicurezza nel caso di completa adeguatezza e nel caso di transitabilità, nel seguito si riportano le combinazioni adottate, distinte per i diversi casi esaminati. Si precisa che la combinazione sismica è univoca per tutti i casi in quanto il coefficiente ψ_{2i} relativo ai carichi dovuti al transito dei mezzi è stato posto pari a zero. Infine per i casi di transitabilità si sono considerate le combinazioni più gravose allo SLU.

Combinazioni NTC 2018 (Completa adeguatezza)

Combinazione	G1	G2	MOVE 1		q ₅ Vento	q ₇ Temp.	Sisma X	Sisma Y	Sisma Z	
			Qk Tandem	Qk Distribuiti						
SLU	LCB1	1,35	1,50	1,35	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	LCB2	1,35	1,50	1,35	1,35	1,50x0,6	0,00	0,00	0,00	0,00
	LCB3	1,35	1,50	1,35	1,35	0,00	1,50x0,6	0,00	0,00	0,00
	LCB4	1,35	1,50	1,35	1,35	0,00	-1,50x0,6	0,00	0,00	0,00
	LCB5	1,35	1,50	1,35	1,35	1,50x0,6	1,50x0,6	0,00	0,00	0,00
	LCB6	1,35	1,50	1,35	1,35	1,50x0,6	-1,50x0,6	0,00	0,00	0,00
	LCB7	1,35	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00
	LCB8	1,35	1,50	0,75x1,35	0,40x1,35	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00
	LCB9	1,35	1,50	0,75x1,35	0,40x1,35	1,50	1,50x0,6	0,00	0,00	0,00
	LCB10	1,35	1,50	0,75x1,35	0,40x1,35	1,50	-1,50x0,6	0,00	0,00	0,00
	LCB11	1,35	1,50	0,75x1,35	0,40x1,35	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00
	LCB12	1,35	1,50	0,75x1,35	0,40x1,35	0,00	-1,50	0,00	0,00	0,00
	LCB13	1,35	1,50	0,75x1,35	0,40x1,35	1,50x0,6	1,50	0,00	0,00	0,00
	LCB14	1,35	1,50	0,75x1,35	0,40x1,35	1,50x0,6	-1,50	0,00	0,00	0,00
SLE Rara	LCB15	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	LCB16	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	0,60	0,00	0,00	0,00
	LCB17	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	-0,60	0,00	0,00	0,00
	LCB18	1,00	1,00	0,75	0,40	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	LCB19	1,00	1,00	0,75	0,40	1,00	0,60	0,00	0,00	0,00
	LCB20	1,00	1,00	0,75	0,40	1,00	-0,60	0,00	0,00	0,00
	LCB21	1,00	1,00	0,75	0,40	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	LCB22	1,00	1,00	0,75	0,40	0,00	-1,00	0,00	0,00	0,00
	LCB23	1,00	1,00	0,75	0,40	0,60	1,00	0,00	0,00	0,00
	LCB24	1,00	1,00	0,75	0,40	0,60	-1,00	0,00	0,00	0,00
SLE Freq. & Quasi Perm.	LCB25	1,00	1,00	0,75	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	LCB26	1,00	1,00	0,75	0,40	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00
	LCB27	1,00	1,00	0,75	0,40	0,00	-0,50	0,00	0,00	0,00
	LCB28	1,00	1,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
	LCB29	1,00	1,00	0,00	0,00	0,20	0,50	0,00	0,00	0,00
	LCB30	1,00	1,00	0,00	0,00	0,20	-0,50	0,00	0,00	0,00
Sisma	LCB31	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,30	0,30
	LCB32	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,00	0,30
	LCB33	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	1,00

Azione variabile principale

Tabella 21 - Combinazioni NTC 2018 (Completa adeguatezza)

Combinazioni Transitabilità NTC 2018 (1 corsia centrale)

Combinazione	G1	G2	MOVE 2		q ₅ Vento	q ₇ Temp.	
			Qk Tandem	Qk Distribuiti			
SLU	LCB34	1,26	1,26	1,20	1,20	0,00	0,00
	LCB35	1,26	1,26	1,20	1,20	1,26x0,6	1,26x0,6
	LCB36	1,26	1,26	1,20	1,20	1,26x0,6	-1,26x0,6
	LCB37	1,26	1,26	0,00	0,00	1,26	0,00
	LCB38	1,26	1,26	0,75x1,20	0,40x1,20	1,26	1,26x0,6
	LCB39	1,26	1,26	0,75x1,20	0,40x1,20	1,26	-1,26x0,6
	LCB40	1,26	1,26	0,75x1,20	0,40x1,20	1,26x0,6	1,26
	LCB41	1,26	1,26	0,75x1,20	0,40x1,20	1,26x0,6	-1,26

Azione variabile principale

Tabella 22 - Combinazioni Transitabilità NTC 2018 (1 corsia centrale)

Combinazioni Transitabilità CdS (1 corsia centrale da 44 t)

Combinazione	G1	G2	MOVE 3		q ₅ Vento	q ₇ Temp.
			Qk Tandem	Qk Distribuiti		
LCB42	1,26	1,26	1,60	1,60	0,00	0,00
LCB43	1,26	1,26	1,60	1,60	1,26x0,6	1,26x0,6
LCB44	1,26	1,26	1,60	1,60	1,26x0,6	-1,26x0,6
SLU LCB45	1,26	1,26	0,00	0,00	1,26	0,00
LCB46	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26	1,26x0,6
LCB47	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26	-1,26x0,6
LCB48	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26x0,6	1,26
LCB49	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26x0,6	-1,26

Azione variabile principale

Tabella 23 - Combinazioni Transitabilità CdS (1 corsia centrale da 44 t)

Combinazioni Transitabilità CdS (2 corsie centrali da 44 t)

Combinazione	G1	G2	MOVE 4		q ₅ Vento	q ₇ Temp.
			Qk Tandem	Qk Distribuiti		
LCB50	1,26	1,26	1,60	1,60	0,00	0,00
LCB51	1,26	1,26	1,60	1,60	1,26x0,6	1,26x0,6
LCB52	1,26	1,26	1,60	1,60	1,26x0,6	-1,26x0,6
SLU LCB53	1,26	1,26	0,00	0,00	1,26	0,00
LCB54	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26	1,26x0,6
LCB55	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26	-1,26x0,6
LCB56	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26x0,6	1,26
LCB57	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26x0,6	-1,26

Azione variabile principale

Tabella 24 - Combinazioni Transitabilità CdS (2 corsie centrali da 44 t)

Combinazioni carichi dell'epoca

Combinazione	G1	G2	MOVE 5		q ₅ Vento	q ₇ Temp.
			Qk Tandem	Qk Distribuiti		
Tens. Amm. LCB58	1,00	1,00	1,00	Assenti	0,00	0,00

Nota: i carichi includono il coefficiente di incremento dinamico medio pari a 1,3

Tabella 25 - Combinazioni carichi dell'epoca

10.5 VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'OPERA

Le valutazioni preliminari di Livello 3 previste dalle Linee Guida 2020 mirano a stimare, preliminarmente, le risorse dell'opera tramite il rapporto tra la domanda indotta sui vari elementi che compongono il ponte e dovuta ai carichi da traffico previsti dalle norme dell'epoca e la domanda ottenuta utilizzando i modelli di traffico previsti dalle norme attualmente vigenti (NTC 2018). In tal modo la domanda originaria è intesa in realtà come minima capacità garantita dalla norma di progettazione originaria. Tale analisi consente di stimare, seppur preliminarmente, le risorse minime garantite dalle diverse normative al variare dei modelli di traffico rispetto alle normative vigenti. In termini generali, mentre gli effetti indotti dai carichi associati ai mezzi militari di progetto dell'epoca sono tuttora paragonabili, se non talvolta superiori, agli schemi di traffico previsti dalle vigenti Norme Tecniche, quelli indotti dai carichi civili, con cui erano progettati i ponti di 2^a categoria sono invece spesso inferiori. Al fine di eseguire tale confronto, tra i diversi schemi di carichi mobili, è stato considerato anche quello relativo ai carichi dell'epoca (Circolare ANAS n. 820 del 15/03/1952). Il ponte fu progettato considerato una colonna indefinita di autocarri da 12 t (carico mezzi civili) e un carico militare isolato da 74,5 t. A tali carichi, come prassi dell'epoca era applicato un coefficiente dinamico funzione della luce che per il caso in esame ha un valore medio di 1,30. Per il confronto tra le sollecitazioni indotte dai carichi previsti dalla normativa attuale (NTC 2018) in combinazione frequente (confrontabile con il metodo delle tensioni ammissibili dell'epoca in quanto riferita a una condizione reversibile) e quella vigente all'epoca, è stato considerato uno schema di carico avente disposizione trasversale come previsto nel progetto originario, in quanto massimizza i carichi sulla trave di bordo, ma senza considerare il carico di folla al fine di confrontare le massime azioni dovute allo Schema MOVE 1 e allo Schema MOVE 5 (Paragrafo 10.3.4). Con riferimento agli elementi di bordo (trave impalcato, ritti e pilastri, arco), maggiormente sollecitati per gli schemi MOVE 1 (NTC 2018 combinazione frequente) & MOVE 5 (Carichi dell'epoca) si riporta il confronto tra le sollecitazioni indotte dai carichi mobili. Si precisa che le sollecitazioni dello schema MOVE 1 sono quelle corrispondenti alla combinazione frequente, mentre allo schema MOVE5 è applicato un coefficiente dinamico di 1,30. Si precisa che un tale confronto, sebbene previsto dalla Linee Guida 2020, non va inteso come riduzione del coefficiente sicurezza tout court rispetto alla situazione originaria, in quanto affetto dai coefficienti di combinazione a stato limite rispetto alle precedenti norme (tensioni ammissibili).

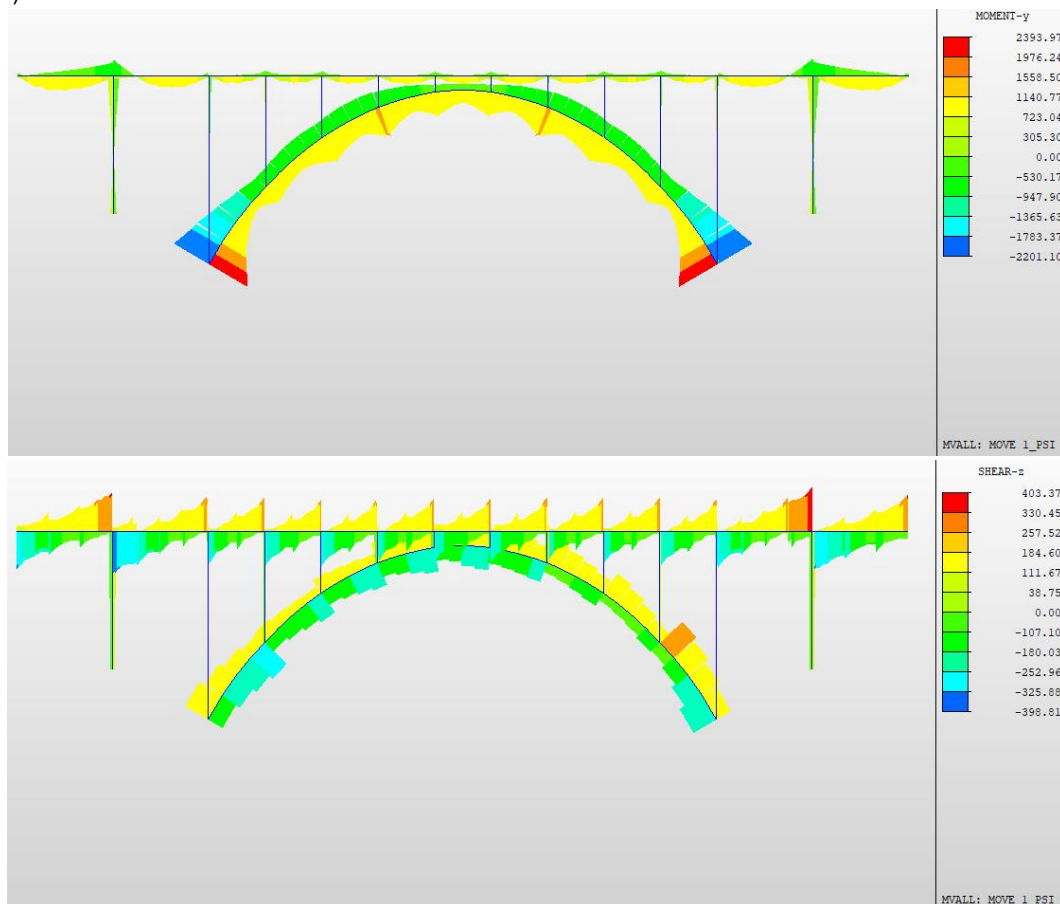


Figura 40 - Sollecitazioni di flessione e taglio NTC 2018 – Schema MOVE 1 di combinazione (Max & Min - momenti in kNm e tagli in kN)

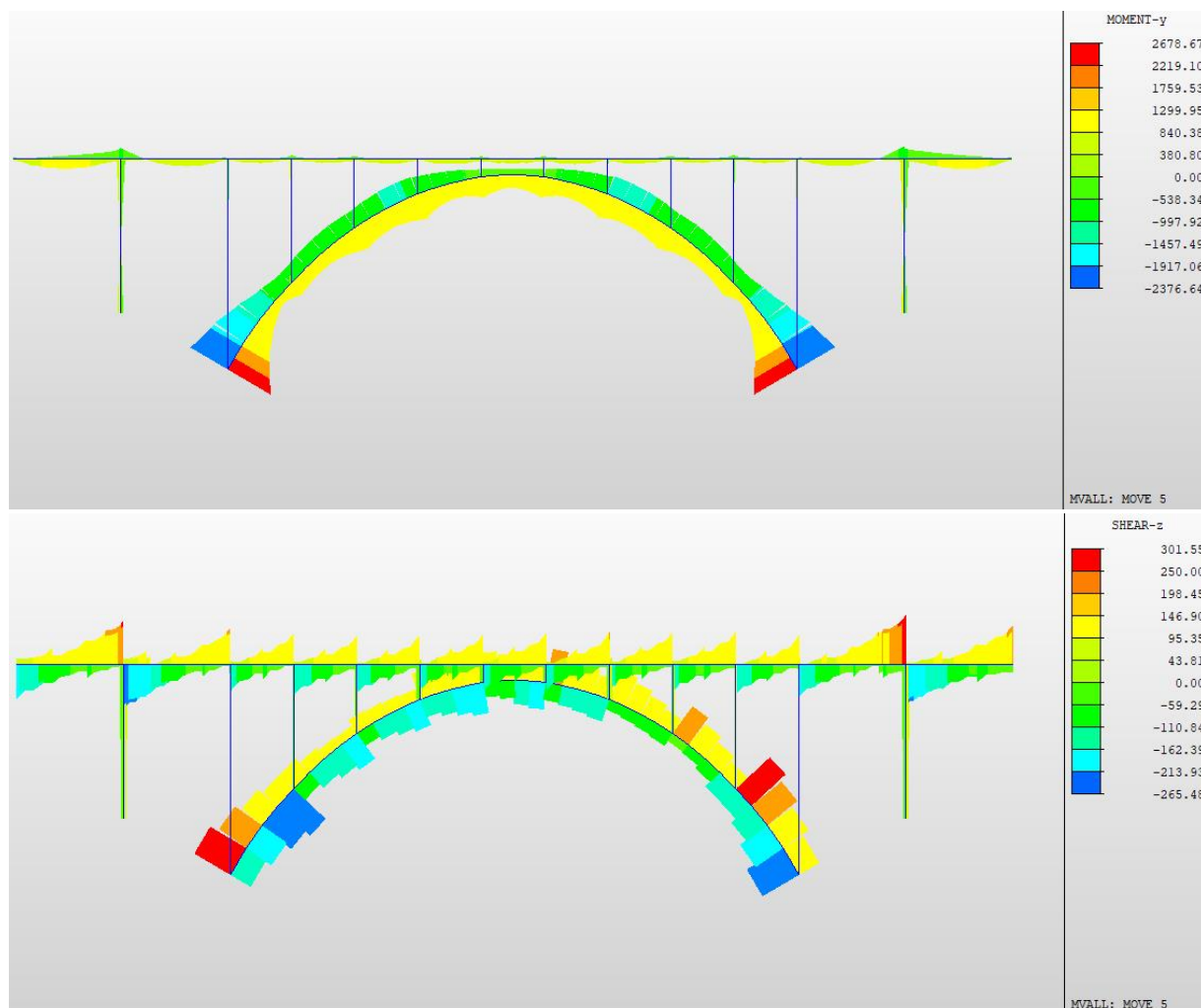


Figura 41 - Sollecitazioni di flessione e taglio Carichi dell'Epoca – Schema MOVE 5 (Max & Min - momenti in kNm e tagli in kN)

Si riportano di seguito i rapporti tra le sollecitazioni.

Momento flettente positivo			
Elemento	M _{max_Circolare 1952}	M _{max_NTC 2018}	M _{max_Circolare 1952} / M _{max_NTC 2018}
Travi Impalcato	535,93	787,32	0,68
Pilastr/Ritti	242,78	310,14	0,78
Arco	2678,67	2393,97	1,12

Momento flettente negativo			
Elemento	M _{min_Circolare 1952}	M _{min_NTC 2018}	M _{min_Circolare 1952} / M _{min_NTC 2018}
Travi Impalcato	-698,33	-941,68	0,74
Pilastr/Ritti	-250,90	-325,06	0,77
Arco	-2376,64	-2201,10	1,08

Taglio			
Elemento	V _{Circolare 1952}	V _{NTC 2018}	V _{Circolare 1952} / V _{NTC 2018}
Travi Impalcato	301,55	403,37	0,75
Pilastr/Ritti	27,96	32,63	0,86
Arco	281,21	227,12	1,24

Tabella 26 – Confronto sollecitazioni NTC 2018 e Carichi dell'Epoca (momenti in kNm e tagli in kN)

10.6 VERIFICHE A FLESSIONE-PRESSO-FLESSIONE E TAGLIO

10.6.1 Travi Impalcato

Con riferimento alle sezioni maggiormente sollecitate indicate nella Figura seguente, si riportano le verifiche a flessione e taglio della trave di bordo e della trave centrale. L'azione assiale nelle travi è stata trascurata anche in condizione sismica. In funzione della posizione della sezione, la verifica è condotta per momento positivo o negativo. Inoltre, a favore di sicurezza le armature della soletta (superiore o inferiore) sono state trascurate.

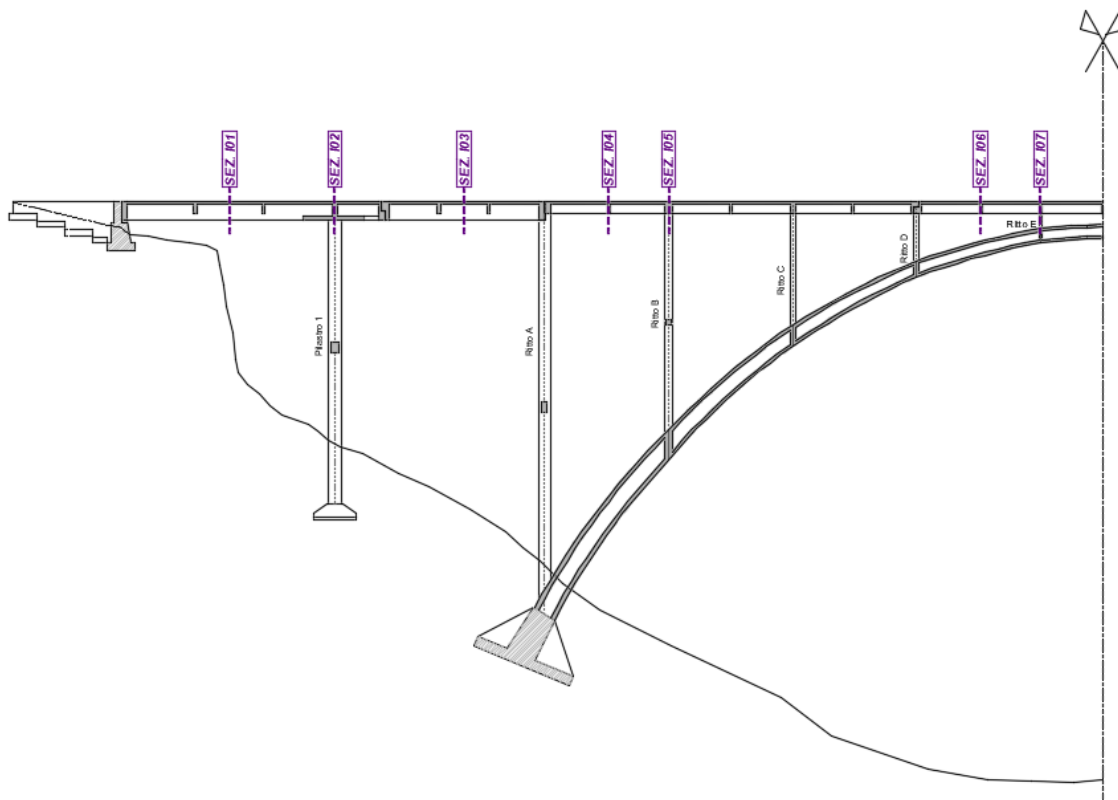


Figura 42 – Sezioni di travi impalcato

Il riepilogo delle verifiche è il seguente.

Caso di carico	Mrd/Med													
	Sez. I01		Sez. I02		Sez. I03		Sez. I04		Sez. I05		Sez. I06		Sez. I07	
	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C
SLU Completa adeguatezza	0,586	0,622	0,561	0,605	0,681	0,704	0,645	0,791	0,633	0,715	0,591	0,687	0,739	0,887
SLV Completa adeguatezza	1,912	1,870	2,371	2,377	2,204	2,156	2,632	3,713	3,128	3,487	2,302	3,191	3,011	3,483
SLU Transitabilità NTC2018	1,045	1,000	0,864	0,850	1,141	1,077	1,374	1,377	1,148	1,066	1,278	1,217	1,245	1,216
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	1,439	1,442	1,112	1,102	1,480	1,416	1,833	2,029	1,504	1,473	1,731	1,832	1,584	1,576
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	1,064	1,030	0,907	0,890	1,150	1,092	1,392	1,405	1,207	1,142	1,295	1,222	1,292	1,250

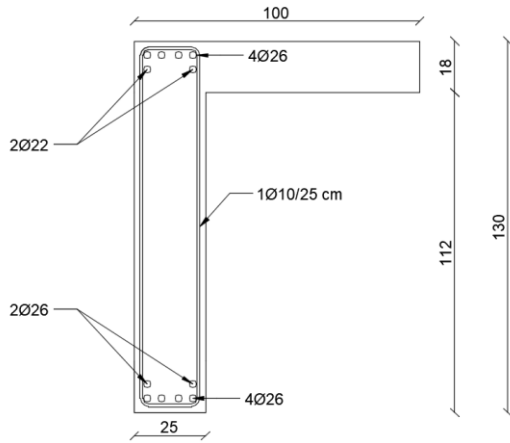
Tabella 27 – Riepilogo verifiche a flessione travi (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO) – (B: trave di bordo – C: trave centrale)

Caso di carico	Vrd/Ved													
	Sez. I01		Sez. I02		Sez. I03		Sez. I04		Sez. I05		Sez. I06		Sez. I07	
	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C
SLU Completa adeguatezza	1,472	1,928	0,492	0,669	2,767	3,877	0,898	1,182	0,443	0,595	0,926	1,175	0,452	0,615
SLV Completa adeguatezza	5,325	6,913	1,615	2,109	18,348	29,501	3,547	10,352	2,201	2,684	3,342	9,067	1,931	2,234
SLU Transitabilità NTC2018	3,015	3,240	0,882	1,017	7,802	8,283	1,928	2,401	0,972	1,037	1,923	2,375	0,980	1,057
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	4,187	4,720	1,098	1,327	11,966	15,188	2,657	4,263	1,293	1,479	2,624	4,252	1,302	1,501
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	3,112	3,386	0,896	1,063	6,677	7,813	2,050	2,642	0,972	1,068	2,041	2,581	0,982	1,096

Tabella 28 - Riepilogo verifiche a taglio travi (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO) – (B: trave di bordo – C: trave centrale)

Nel seguito sono riportate le verifiche di dettaglio di ogni singola sezione.

SEZIONE I01
 Trave di bordo



CIs							Acciaio						VRd [kN]
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc1} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUM1440	680	440	1,15	1,2	318,84
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	563,48
250	1300	25	1250	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	673,46
												Eq	-109,979

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Figura 43 – Sezione I01 trave di bordo

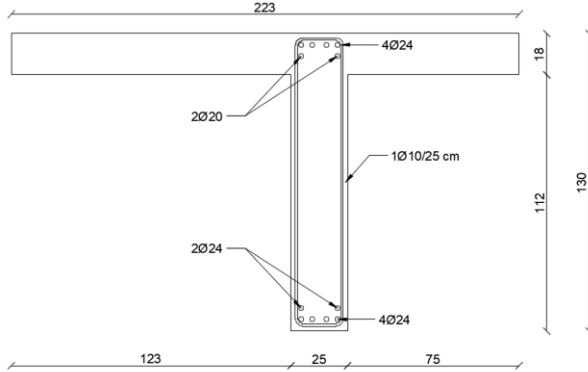
Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(max)	2097,64	1229	0,586	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	642,69		1,912	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	1175,63		1,045	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	853,84		1,439	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	1155,61		1,064	VERIFICA

Tabella 29 – Riepilogo verifiche a flessione Sezione I01 trave di bordo

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(min)	382,68	563,48	1,472	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	105,81		5,325	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	186,9		3,015	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	134,59		4,187	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	181,05		3,112	VERIFICA

Tabella 30 - Riepilogo verifiche a taglio Sezione I01 trave di bordo

Trave centrale



Verifica C.A. S.L.U. - File: 01b_Sezione 1 Centrale

Titolo: Ponte Corleone - Sezione 2 - Trave H130 centrale

N° Vertici: 8 N° barre: 12

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	1	4,52	4,5	5
2	0	112	2	4,52	9,5	5
3	-123	112	3	4,52	15,5	5
4	-123	130	4	4,52	20,5	5
5	100	130	5	4,52	4,5	10
6	100	112	6	4,52	20,5	10

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro

Materiali: RUMI440, C25/30

Metodo di calcolo: S.L.U., Metodo n

Tipo flessione: Retta

Calcola MRd, Dominio M-N, M-curvatura

Cls							Acciaio					VRd [kN]		
Type	f _{ck} [Mpa]	γ _c [-]	FC [-]	α _{cc1} [-]	f _{cd} [Mpa]	v [-]	f _{cd2} [Mpa]	Type	f _{yt} [Mpa]	f _{yk} [Mpa]	γ _s [-]		FC [-]	f _{yd} [Mpa]
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata			θ [°]	21,8		
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	φ [mm]	Step [mm]	A _{tw} [mm²]	n. [no.]	φ [mm]	Alfa [°]	A _{tw} [mm²]	V _r sd [kN]	563,48	
250	1300	25	1250	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	V _r cd [kN]	673,46	
													Eq	-109,979

Nota: se θ < 21,8° → assumere 21,8°; se θ > 45° → assumere 45°

Figura 44 – Sezione I01 trave centrale

Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(max)	1706,61	1067	0,622	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	567,92		1,870	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	1061,95		1,000	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	736,42		1,442	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	1031,37		1,030	VERIFICA

Tabella 31 – Riepilogo verifiche a flessione Sezione I01 trave centrale

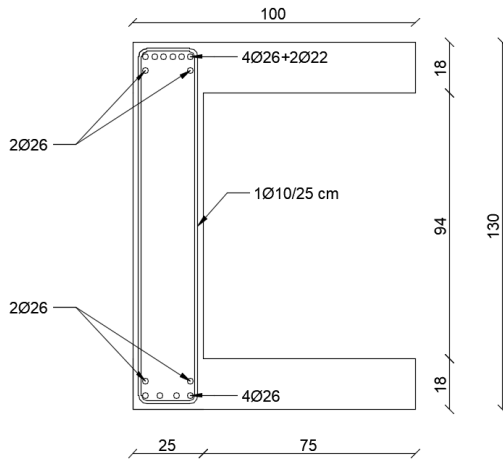
Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB6(min)	292,2	563,48	1,928	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	81,51		6,913	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	173,93		3,240	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	119,37		4,720	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	166,43		3,386	VERIFICA

Tabella 32 - Riepilogo verifiche a taglio Sezione I01 trave centrale

SEZIONE I02

Si precisa che come azioni di calcolo (momento e taglio) si sono adottate quelle a 50 cm di distanza dal filo del Pilastro 1.

Trave di bordo



Cls								Acciaio					VRd [kN]	
Type	f _{ck} [Mpa]	γ _c [-]	FC [-]	α _{cc1} [-]	f _{cd} [Mpa]	v [-]	f _{cd2} [Mpa]	Type	f _{yt} [Mpa]	f _{yk} [Mpa]	γ _s [-]	FC [-]		f _{yd} [Mpa]
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	21,8	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	φ [mm]	Step [mm]	A _{tw} [mm ²]	n. [no.]	φ [mm]	Alfa [°]	A _{tw} [mm ²]	V _r sd [kN]	563,48	
250	1300	25	1250	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	V _r cd [kN]	673,46	
													Eq	-109,979

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Figura 45 – Sezione I02 trave di bordo

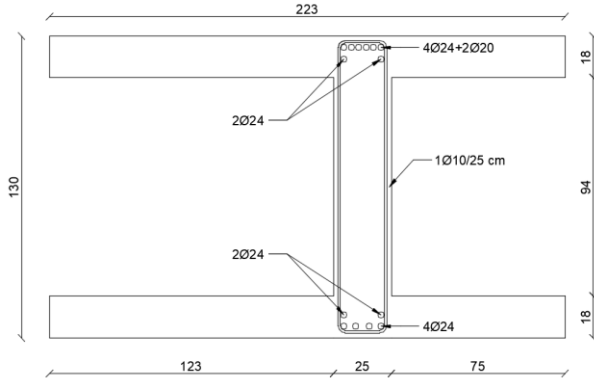
Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB6(min)	-2703,06	-1517	0,561	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB33	-639,88		2,371	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	-1755,35		0,864	NON VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	-1363,65		1,112	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	-1672,25		0,907	NON VERIFICA

Tabella 33 – Riepilogo verifiche a flessione Sezione I02 trave di bordo

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	1146,26	563,48	0,492	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB32	348,9		1,615	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	638,61		0,882	NON VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	513,2		1,098	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	629,16		0,896	NON VERIFICA

Tabella 34 - Riepilogo verifiche a taglio Sezione I02 trave di bordo

Trave centrale



Verifica C.A. S.L.U. - File: 02b_Sezione 2 Centrale

Titolo: Ponte Corleone - Sezione 2 Trave H130 centrale con contro-solette

N° Vertici: 13 Zoom N° barre: 14 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	8	4,52	7,7	125
2	-123	0	9	4,52	10,9	125
3	-123	18	10	4,52	14,1	125
4	0	18	11	4,52	17,3	125
5	0	112	12	3,14	20,5	125
6	-123	112	13	4,52	4,5	120

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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

M_{xRd} -1314 kNm

Materiali: RUM1440 C25/30

Proprietà	RUM1440	C25/30
E _{su}	67,5	2
f _y	318,8	3,5
E _s	200 000	13,89
E _s /E _c	75	0,8
E _{sy}	1,594	9,75
G _{s,adm}	260	0,6
τ _{co}		1,829

σ_c -13,89 N/mm²
 σ_s 318,8 N/mm²
 ε_c 2,993 ‰
 ε_s 67,5 ‰
 d 125 cm
 x 5,307 x/d 0,04246
 δ 0,7

Metodo di calcolo: S.L.U. Metodo n
 Tipo flessione: Retta Deviata
 N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello
 M-curvatura
 Precompresso

Cls								Acciaio					VRd [kN]
Type	f _{ck} [Mpa]	γ _c [-]	FC [-]	α _{cc1} [-]	f _{cd} [Mpa]	v [-]	f _{cd2} [Mpa]	Type	f _{yt} [Mpa]	f _{yk} [Mpa]	γ _s [-]	FC [-]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUM1440	680	440	1,15	1,2	318,84
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				Rottura lato Acciaio	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	φ [mm]	Step [mm]	A _{tw} [mm²]	n.	φ [mm]	Alfa [°]	A _{tw} [mm²]		θ [°]
250	1300	25	1250	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00		21,8
												Vrsd [kN]	563,48
												Vrcd [kN]	673,46
												Eq	-109,979

Nota: se θ < 21,8° → assumere 21,8°; se θ > 45° → assumere 45°

Figura 46 – Sezione I02 trave centrale

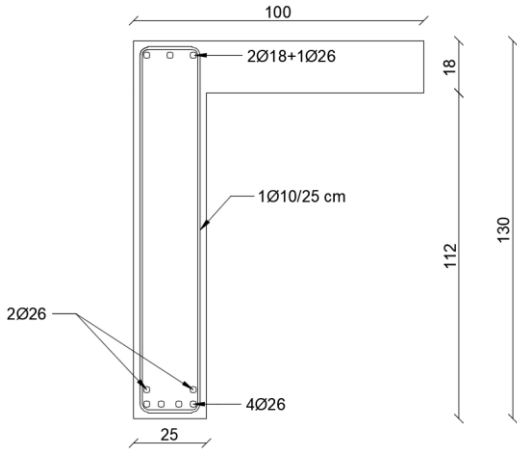
Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB6(min)	-2172,51	-1314	0,605	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB33	-552,91		2,377	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	-1545,41		0,850	NON VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	-1192,6		1,102	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	-1476,12		0,890	NON VERIFICA

Tabella 35 - Riepilogo verifiche a flessione Sezione I02 trave centrale

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(max)	842,82	563,48	0,669	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	267,19		2,109	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	554,04		1,017	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	424,77		1,327	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	529,84		1,063	VERIFICA

Tabella 36 - Riepilogo verifiche a taglio Sezione I02 trave centrale

SEZIONE I03
 Trave di bordo



Cis								Acciaio						VRd [kN]
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc1} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUM1440	680	440	1,15	1,2	318,84	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	21,8	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n.	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	563,48	
250	1300	25	1250	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	673,46	
													Eq	-109,979

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Figura 47 – Sezione I03 trave di bordo

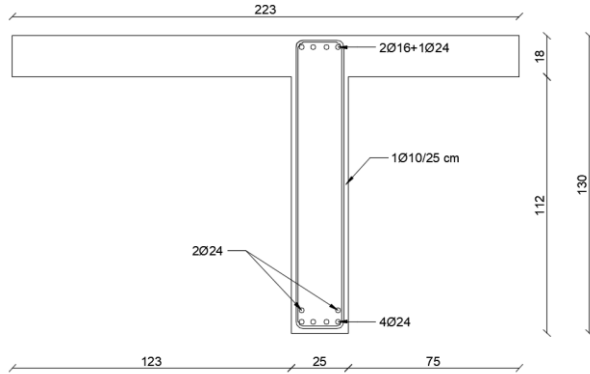
Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	1787,64	1218	0,681	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	552,62		2,204	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	1067,58		1,141	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	822,98		1,480	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	1059,31		1,150	VERIFICA

Tabella 37 – Riepilogo verifiche a flessione Sezione I03 trave di bordo

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(max)	203,67	563,48	2,767	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB32	30,71		18,348	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	72,22		7,802	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	47,09		11,966	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	84,39		6,677	VERIFICA

Tabella 38 – Riepilogo verifiche a taglio Sezione I03 trave di bordo

Trave centrale



Verifica C.A. S.L.U. - File: 03b_Sezione 3 Centrale

TITOLO: Ponte Corleone - Sezione 3 - Trave H130 centrale

N° Vertici: 8 N° barre: 9

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	1	4,52	4,5	5
2	0	112	2	4,52	9,5	5
3	-123	112	3	4,52	15,5	5
4	-123	130	4	4,52	20,5	5
5	100	130	5	4,52	4,5	10
6	100	112	6	4,52	20,5	10

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro

M_{xRd} = 1054 kNm

Materiali: RUM1440, C25/30

ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰ σ_c -13,89 N/mm²

f_y 318,8 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰ σ_s 318,8 N/mm²

E_s 200.000 N/mm² f_c 13,89 ε_c 2,344 ‰

ε_s/E_c 75 ‰ f_{cc}/f_c 0,8 ε_s 67,5 ‰

ε_{sy} 1,594 ‰ τ_{co,adm} 9,75 d 125 cm

σ_{s,adm} 260 N/mm² τ_{co} 0,6 x 4,195 x/d 0,03356

τ_{c1} 1,829 δ 0,7

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

Tipo flessione: Retta

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

M-curvatura

Precompresso

Cls								Acciaio					VRd [kN]
Type	f _{ck} [Mpa]	γ _c [-]	FC [-]	α _{cc1} [-]	f _{cd} [Mpa]	v [-]	f _{cd2} [Mpa]	Type	f _{yt} [Mpa]	f _{yk} [Mpa]	γ _s [-]	FC [-]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUM1440	680	440	1,15	1,2	318,84
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	φ [mm]	Step [mm]	A _{tw} [mm²]	n.	φ [mm]	Alfa [°]	A _{tw} [mm²]		Vrsd [kN]
250	1300	25	1250	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	673,46
												Eq	-109,979

Nota: se θ < 21,8° → assumere 21,8°; se θ > 45° → assumere 45°

Figura 48 – Sezione I03 trave centrale

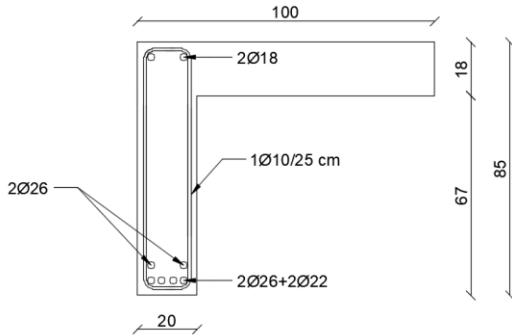
Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(max)	1497,24	1054	0,704	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	488,97		2,156	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	978,95		1,077	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	744,34		1,416	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	965,63		1,092	VERIFICA

Tabella 39 - Riepilogo verifiche a flessione Sezione I03 trave centrale

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB6(max)	145,34	563,48	3,877	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	19,1		29,501	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	68,03		8,283	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	37,1		15,188	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	72,12		7,813	VERIFICA

Tabella 40 - Riepilogo verifiche a taglio Sezione I03 trave centrale

SEZIONE I04
 Trave di bordo



Cis								Acciaio						VRd [kN]
Type	f _{ck} [Mpa]	γ _c [-]	FC [-]	α _{cc1} [-]	f _{cd} [Mpa]	v [-]	f _{cd2} [Mpa]	Type	f _{yk} [Mpa]	f _{yk} [Mpa]	γ _s [-]	FC [-]	f _{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]		
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	φ [mm]	Step [mm]	A _{tw} [mm ²]	n. [no.]	φ [mm]	Alfa [°]	A _{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	351,33	
200	850	25	800	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	351,33	
												Eq	2,36E-07	

Nota: se θ < 21,8° → assumere 21,8°; se θ > 45° → assumere 45°

Figura 49 – Sezione I04 trave di bordo

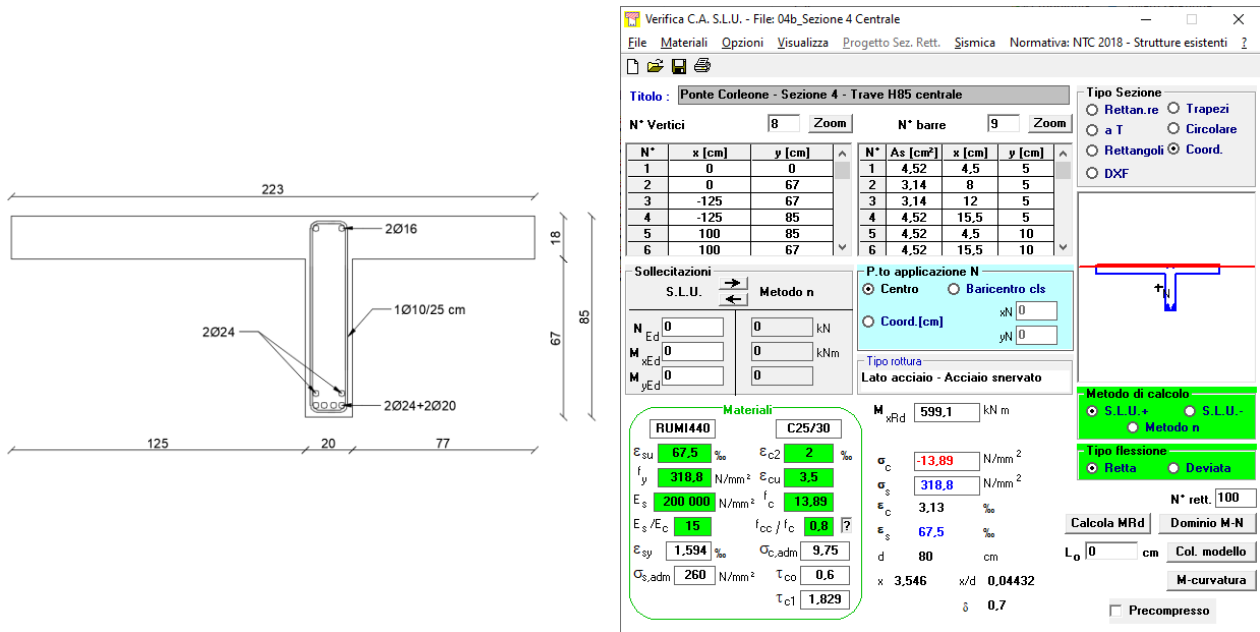
Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	1068,54	688,8	0,645	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB32	261,67		2,632	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	501,32		1,374	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	375,75		1,833	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	494,67		1,392	VERIFICA

Tabella 41 – Riepilogo verifiche a flessione Sezione I04 trave di bordo

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(max)	391,13	351,33	0,898	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB32	99,04		3,547	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	182,25		1,928	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	132,24		2,657	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	171,38		2,050	VERIFICA

Tabella 42 – Riepilogo verifiche a taglio Sezione I04 trave di bordo

Trave centrale



CIS								Acciaio						VRd [kN]
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc1} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUM1440	680	440	1,15	1,2	318,84	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]		
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	351,33	
200	850	25	800	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	351,33	
												Eq	2,36E-07	

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Figura 50 – Sezione I04 trave centrale

Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(max)	757,74	599,1	0,791	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	161,37		3,713	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	434,93		1,377	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	295,2		2,029	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	426,52		1,405	VERIFICA

Tabella 43 - Riepilogo verifiche a flessione Sezione I04 trave centrale

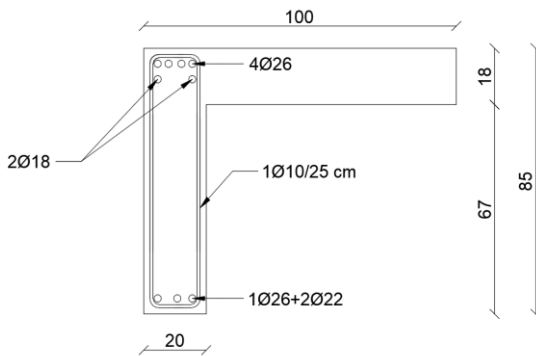
Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(max)	297,36	351,33	1,182	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	33,94		10,352	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	146,34		2,401	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	82,42		4,263	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	132,97		2,642	VERIFICA

Tabella 44 - Riepilogo verifiche a taglio Sezione I04 trave centrale

SEZIONE I05

Si precisa che come azioni di calcolo (momento e taglio) si sono adottate quelle a 50 cm di distanza dal filo del Ritto B.

Trave di bordo



Cls								Acciaio					VRd [kN]
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc1} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	22,32065
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	351,33
200	850	25	800	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	351,33
												Eq	2,36E-07

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Figura 51 – Sezione I05 trave di bordo

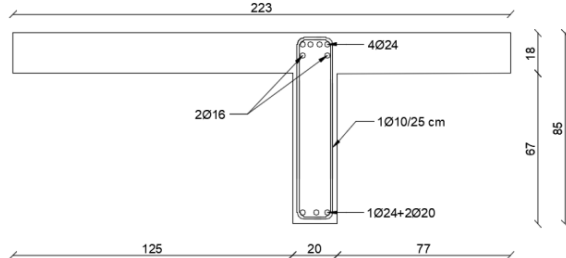
Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(min)	-961,12	-608,8	0,633	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB33	-194,62		3,128	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	-530,31		1,148	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	-404,72		1,504	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	-504,39		1,207	VERIFICA

Tabella 45 – Riepilogo verifiche a flessione Sezione I05 trave di bordo

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(max)	793,8	351,33	0,443	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	159,66		2,201	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	361,31		0,972	NON VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	271,62		1,293	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	361,52		0,972	NON VERIFICA

Tabella 46 – Riepilogo verifiche a taglio Sezione I05 trave di bordo

Trave centrale



Verifica C.A. S.L.U. - File: 05b_Sezione 5 Centrale

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2018 - Strutture esistenti ?

Titolo: Ponte Corleone - Sezione 5 - Trave H85 centrale

N° Vertici: 8 Zoom N° barre: 9 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	5	4,52	8	80
2	0	67	6	4,52	12	80
3	-125	67	7	4,52	15,5	80
4	-125	85	8	2,01	4,5	75
5	100	85	9	2,01	15,5	75
6	100	67				

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

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

Tipologia: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} -516 kNm

Materiali: RUMI440 C25/30

Proprietà	RUMI440	C25/30
ϵ_{cu}	67,5 ‰	2 ‰
f_y	318,8 N/mm²	3,5 ‰
E_s	200 000 N/mm²	13,89 ‰
E_s/E_c	15	
ϵ_{sy}	1,594 ‰	
$\sigma_{s,adm}$	260 N/mm²	
τ_{c1}	0,6	
τ_{c1}	1,829	

σ_c -13,89 N/mm²
 σ_s 318,8 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 13,99 ‰
 d 80 cm
 x 16,01 x/d 0,2001
 δ 0,7

Metodo di calcolo: S.L.U. Metodo n
 Tipo flessione: Retta Deviato
 N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello
 M-curvatura
 Precompresso

Cls								Acciaio					VRd [kN]
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc1} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm²]	n.	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm²]	Vrsd [kN]	351,33
200	850	25	800	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	351,33
												Eq	2,36E-07

Rottura Bilanciata

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Figura 52 – Sezione I05 trave centrale

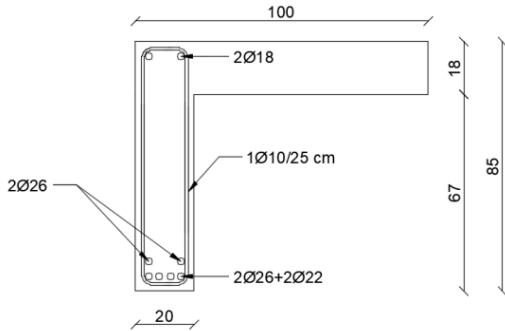
Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB6(min)	-721,52	-516	0,715	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB33	-147,97		3,487	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	-483,84		1,066	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	-350,33		1,473	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	-451,92		1,142	VERIFICA

Tabella 47 - Riepilogo verifiche a flessione Sezione I05 trave centrale

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB6(max)	590,11	351,33	0,595	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	130,9		2,684	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	338,94		1,037	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	237,53		1,479	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	329,06		1,068	VERIFICA

Tabella 48 - Riepilogo verifiche a taglio Sezione I05 trave centrale

SEZIONE I06
 Trave di bordo



Cls								Acciaio					VRd [kN]	
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc1} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]		f_{yd} [Mpa]
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				Rottura Bilanciata		
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n.	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]		θ [°]	
200	850	25	800	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00		22,32065	
													Vrsd [kN]	351,33
													Vrcd [kN]	351,33
													Eq	2,36E-07

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Figura 53 – Sezione I06 trave di bordo

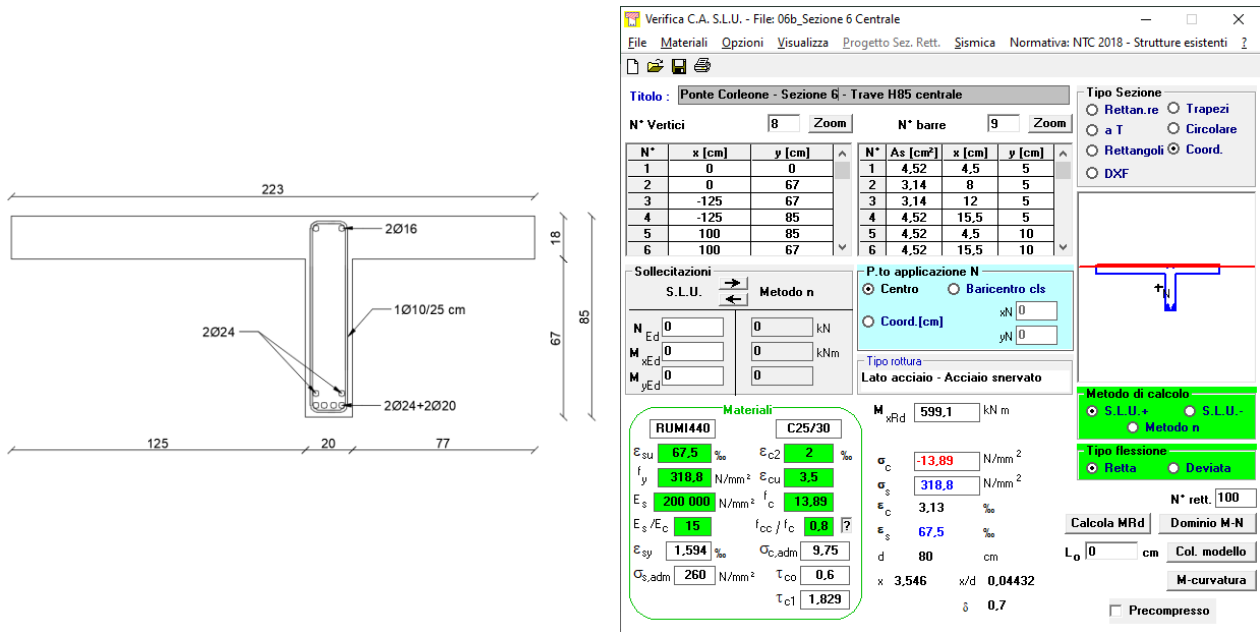
Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(max)	1164,58	688,8	0,591	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB32	299,24		2,302	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	539		1,278	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	397,89		1,731	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	531,95		1,295	VERIFICA

Tabella 49 – Riepilogo verifiche a flessione Sezione I06 trave di bordo

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(max)	379,23	351,33	0,926	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB32	105,13		3,342	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	182,73		1,923	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	133,9		2,624	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	172,11		2,041	VERIFICA

Tabella 50 – Riepilogo verifiche a taglio Sezione I06 trave di bordo

Trave centrale



CIS								Acciaio						VRd [kN]
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc1} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUM1440	680	440	1,15	1,2	318,84	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]		
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	351,33	
200	850	25	800	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	351,33	
												Eq	2,36E-07	

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Figura 54 – Sezione I06 trave centrale

Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB6(max)	872,13	599,1	0,687	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	187,72		3,191	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	492,17		1,217	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	327,07		1,832	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	490,38		1,222	VERIFICA

Tabella 51 - Riepilogo verifiche a flessione Sezione I06 trave centrale

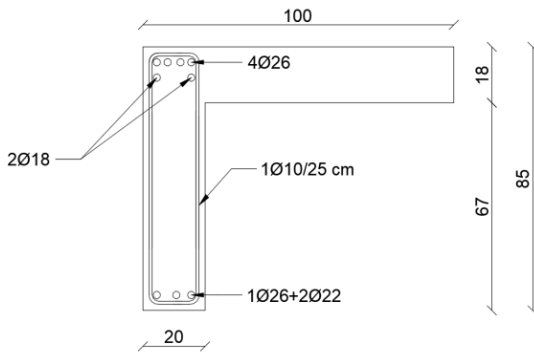
Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	298,99	351,33	1,175	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	38,75		9,067	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	147,93		2,375	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	82,63		4,252	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	136,12		2,581	VERIFICA

Tabella 52 – Riepilogo verifiche a flessione Sezione I06 trave centrale

SEZIONE I07

Si precisa che come azioni di calcolo (momento e taglio) si sono adottate quelle a 50 cm di distanza dal filo del Ritto E.

Trave di bordo



Cls								Acciaio					VRd [kN]	
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc1} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]		f_{yd} [Mpa]
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	f_{yd}	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	θ [°]	22,32065	
200	850	25	800	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	Vrsd [kN]	351,33	
													Vrcd [kN]	351,33
													Eq	2,36E-07

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Figura 55 – Sezione I07 trave di bordo

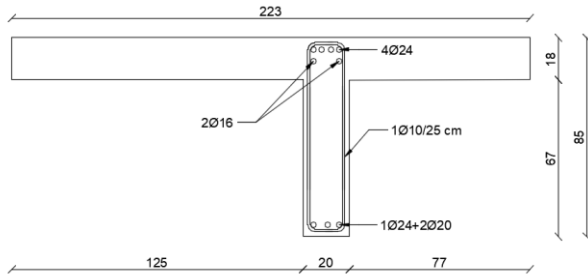
Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(min)	-824,36	-608,8	0,739	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB33	-202,2		3,011	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	-489,05		1,245	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	-384,3		1,584	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	-471,32		1,292	VERIFICA

Tabella 53 – Riepilogo verifiche a flessione Sezione I07 trave di bordo

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	776,56	351,33	0,452	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	181,9		1,931	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	358,42		0,980	NON VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	269,82		1,302	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	357,78		0,982	NON VERIFICA

Tabella 54 – Riepilogo verifiche a taglio Sezione I07 trave di bordo

Trave centrale



Verifica C.A. S.L.U. - File: 07b_Sezione 7 Centrale

Titolo: Ponte Corleone - Sezione 7 - Trave H85 centrale

N° Vertici: 8 Zoom N° barre: 9 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	1	3,14	4,5	5
2	0	67	2	4,52	10	5
3	-125	67	3	3,14	15,5	5
4	-125	85	4	4,52	4,5	80
5	100	85	5	4,52	8	80
6	100	67	6	4,52	12	80

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls

Materiali: RUM1440 C25/30

Proprietà	RUM1440	C25/30
E_{su}	67,5	2
f_y	318,8	3,5
E_s	200.000	13,89
E_s/E_c	75	0,8
E_{sy}	1.594	9,75
$G_{s,adm}$	260	0,6
τ_{c1}		1,829

M_{xRd}: -516 kNm

Calcola MRd Dominio M-N

Cis								Acciaio						VRd [kN]
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc1} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUM1440	680	440	1,15	1,2	318,84	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	22,32065	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm²]	Vrsd [kN]	351,33	
200	850	25	800	2	10	250	157,08	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	351,33	
												Eq	2,36E-07	

Rottura Bilanciata

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Figura 56 – Sezione I07 trave centrale

Caso di carico	Combinazione	Med [kNm]	Mrd [kNm]	Mrd/Med	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(min)	-581,99	-516	0,887	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB32	-148,14		3,483	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	-424,23		1,216	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	-327,37		1,576	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	-412,65		1,250	VERIFICA

Tabella 55 - Riepilogo verifiche a flessione Sezione I07 trave centrale

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(max)	571,08	351,33	0,615	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	157,3		2,234	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	332,34		1,057	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	234,02		1,501	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	320,54		1,096	VERIFICA

Tabella 56 - Riepilogo verifiche a taglio Sezione I07 trave centrale

10.6.2 Pilastrì e Ritti

Con riferimento alle sezioni maggiormente sollecitate indicate nella Figura seguente, si riportano le verifiche a presso-flessione, a presso-flessione deviata e le verifiche a taglio dei pilastrì e dei ritti. Si precisa che lo sforzo normale è positivo se di compressione.

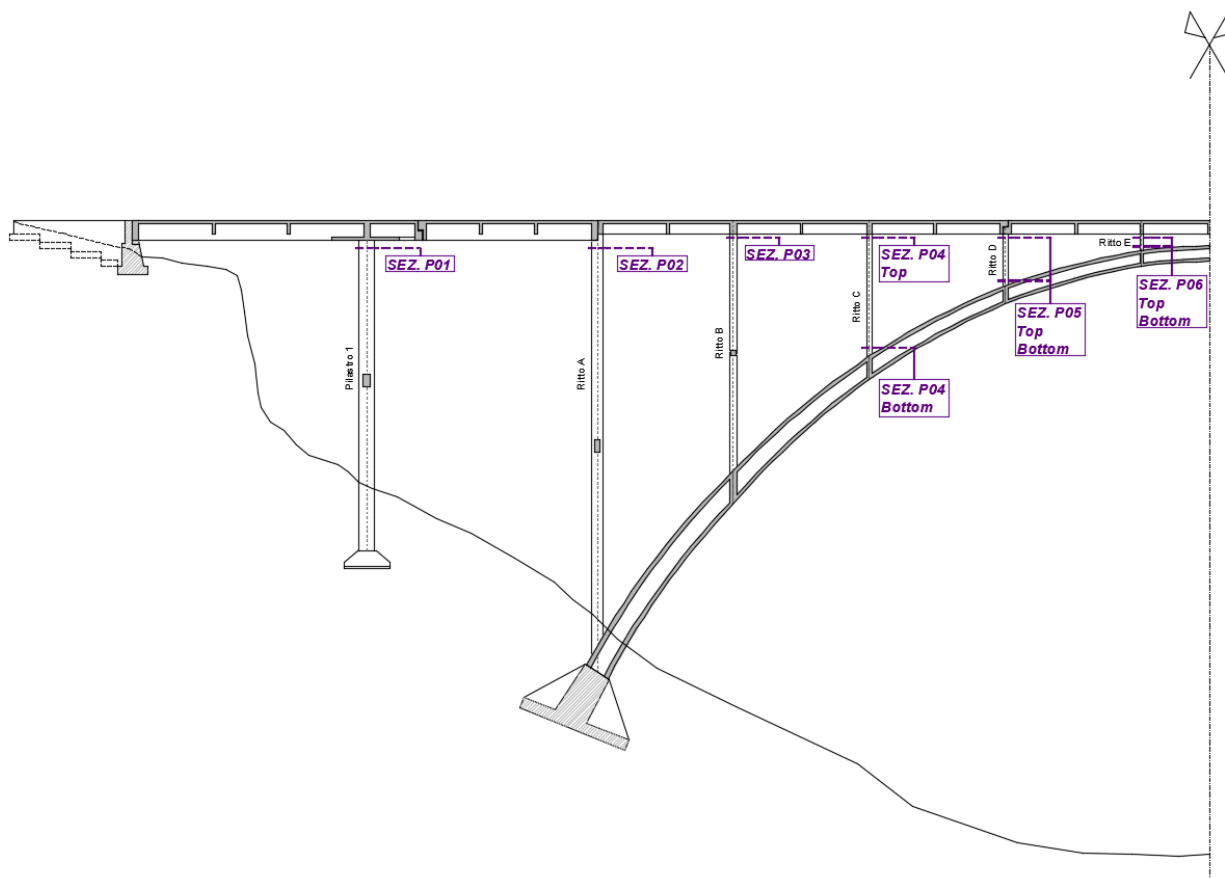


Figura 57 - Sezioni di verifica pilastrì e ritti

Allo SLU le verifiche sono state condotte considerando le due presso-flessioni rette; mentre allo SLV (sisma) è stata considerata la presso flessione-deviata. Nel caso di presso-flessione deviata è stata utilizzata la formula 4.1.19 prevista al § 4.1.2.3.4.2 delle NTC2018. In particolare:

$$\frac{1}{\left(\frac{M_{Eyd}}{M_{Ryd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ezd}}{M_{Rzd}}\right)^\alpha} \geq 1$$

dove:

M_{Eyd} , M_{Ezd} sono i valori di progetto delle due componenti di flessione retta della sollecitazione attorno agli assi y e z;
 M_{Ryd} , M_{Rzd} sono i valori di progetto dei momenti resistenti di presso-flessione retta corrispondenti a N_{Ed} valutati separatamente attorno agli assi y e z.

L'esponente α , trattandosi di sezioni rettangolari o quadrate, è stato così assunto:

N_{Ed}/N_{Rd}	0,1	0,7	1,0
α	1,0	1,5	2,0

Tabella 57 - Valori di α

con $N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd}$.

Si riportano si seguito le verifiche.

SEZIONE P01 (PILASTRO 1)

Verifiche a flessione

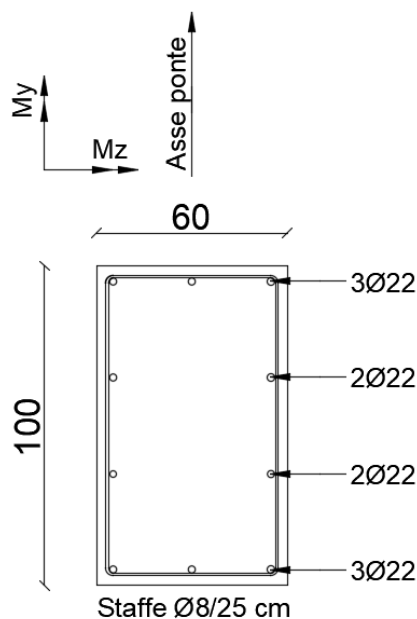


Figura 58 – Sezione e armatura Pilastro 1

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]	NRd [kN]	MRd-y [kNm]	MRd-z [kNm]	Ned/NRd	α	Rd/Ed	Stato	
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB14(max)	715,71	413,04	36,14	8333,333	637,9	-	-	-	1,544	VERIFICA	
	N max	LCB4(min)	2115,83	-148,33	-28,83		-1035,0	-	-	-	-	6,978	VERIFICA
	My max	LCB4(max)	983,73	785,56	31		734,0	-	-	-	-	0,934	NON VERIFICA
	My min	LCB4(min)	1888,58	-808,44	-68,43		-987,2	-	-	-	-	1,221	VERIFICA
	Mz max	LCB14(max)	726,73	370,03	69,84		642,4	-	-	-	-	1,736	VERIFICA
	Mz min	LCB6(min)	1449,04	-390,96	-84,78		-880,5	-	-	-	-	2,252	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	522,08	160,33	215,28		563,0	329,7	0,06	1,00	1,066	VERIFICA	
	N max	LCB31	859,93	29,01	51,1		691,1	410,0	0,10	1,00	6,040	VERIFICA	
	My max	LCB31	703,18	540,53	37,62		633,3	373,9	0,08	1,00	1,048	VERIFICA	
	My min	LCB33	700,42	4,89	69,2		632,2	373,2	0,08	1,00	5,177	VERIFICA	
	Mz max	LCB32	547,04	143,45	252,64		573,0	335,9	0,07	1,00	0,998	NON VERIFICA	
	Mz min	LCB33	720,02	10,51	35,71		639,7	377,9	0,09	1,00	9,015	VERIFICA	
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB34(max)	676,07	258,8	13,3	623,1	-	-	-	-	2,408	VERIFICA	
	N max	LCB34(all)	1446,35	-55,62	24,47	-879,7	-	-	-	-	15,816	VERIFICA	
	My max	LCB36(all)	1061,05	447,7	-36,62	760,5	-	-	-	-	1,699	VERIFICA	
	My min	LCB36(all)	1051,94	-465,59	-35,38	-757,2	-	-	-	-	1,626	VERIFICA	
	Mz max	LCB34(all)	1046,3	-316,3	47,67	-755,5	-	-	-	-	2,389	VERIFICA	
	Mz min	LCB39(all)	939,71	228,72	-58,34	719,0	-	-	-	-	3,144	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB42(max)	688,2	127,35	3,34	627,7	-	-	-	-	4,929	VERIFICA	
	N max	LCB42(all)	1276,67	-27,44	17,55	-829,6	-	-	-	-	30,233	VERIFICA	
	My max	LCB44(all)	893,64	272,66	-21,83	702,8	-	-	-	-	2,578	VERIFICA	
	My min	LCB44(all)	885,63	-291,73	-20,74	-700,0	-	-	-	-	2,399	VERIFICA	
	Mz max	LCB46(all)	1156,46	41,93	43,36	791,6	-	-	-	-	18,879	VERIFICA	
	Mz min	LCB47(all)	853,54	150,13	-51,55	688,5	-	-	-	-	4,586	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB50(max)	675,76	267,8	14,25	623,1	-	-	-	-	2,327	VERIFICA	
	N max	LCB50(all)	1422,93	-53,17	24,75	-873,0	-	-	-	-	16,419	VERIFICA	
	My max	LCB52(all)	1036,95	445,54	-34,58	752,1	-	-	-	-	1,688	VERIFICA	
	My min	LCB52(all)	1026,56	-465,5	-33,35	-748,8	-	-	-	-	1,609	VERIFICA	
	Mz max	LCB50(all)	1017,17	-327,98	47,8	-745,7	-	-	-	-	2,274	VERIFICA	
	Mz min	LCB55(all)	962,04	225,81	-59,09	726,9	-	-	-	-	3,219	VERIFICA	

Tabella 58 – Riepilogo verifiche a presso-flessione Pilastro 1 – Nota: per le verifiche relative al momento Med-z si rimanda al dominio

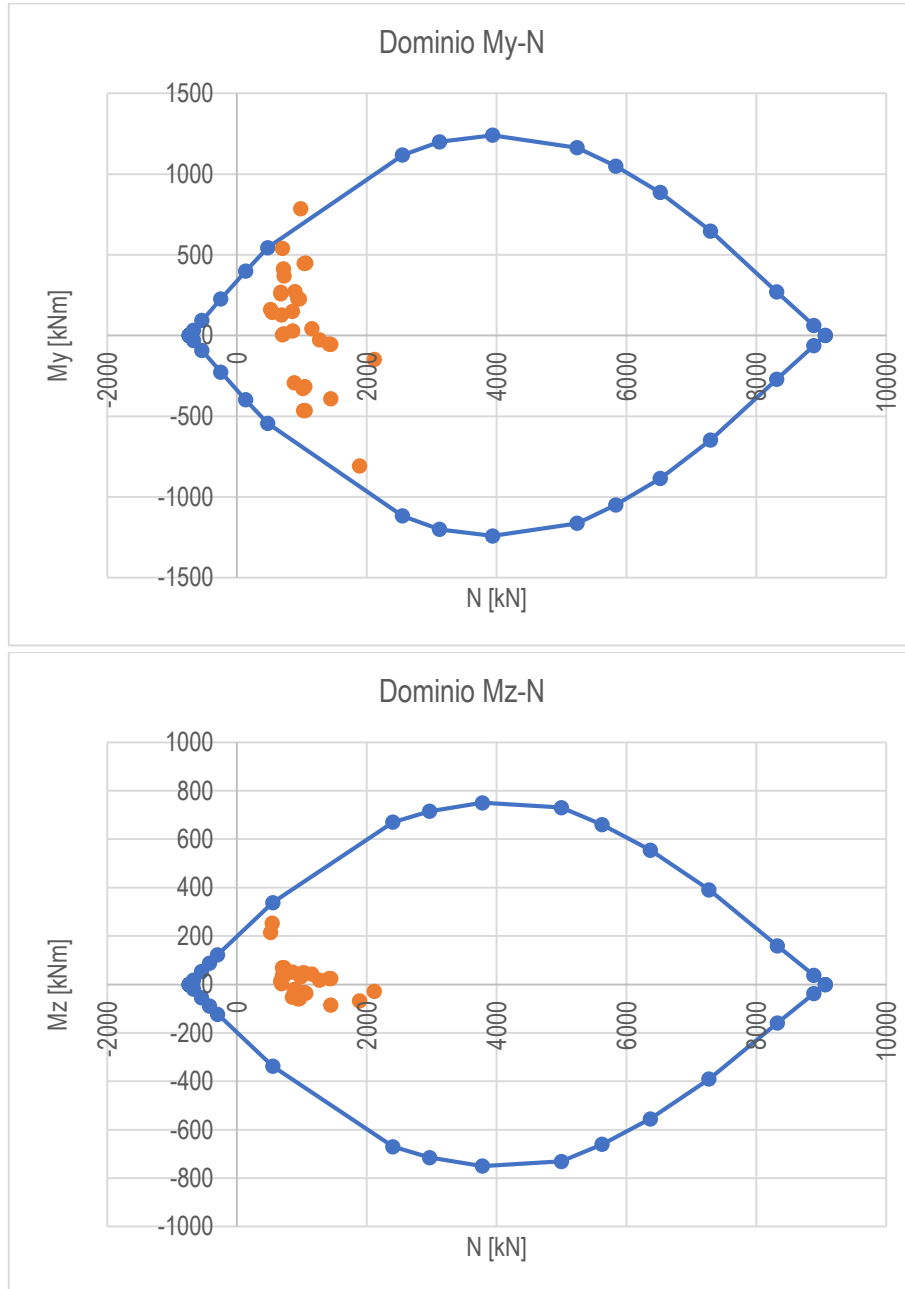


Figura 59 – Domini M-N Pilastro 1

Verifica a taglio

Cls								Acciaio						VRd [kN] 156,38
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	21,8	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	Eq	
600	1000	50	900	2	8	250	100,53	0	0	0	0,00	Vrsd [kN]	1163,73	
													Eq	-1007,35

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(max)	72,65	156,38	2,153	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	55,02		2,842	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	43,49		3,596	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	28,2		5,545	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	43,75		3,574	VERIFICA

Tabella 59 - Riepilogo verifiche a taglio Pilastro 1

SEZIONE P02 (RITTO A)

Verifiche a flessione

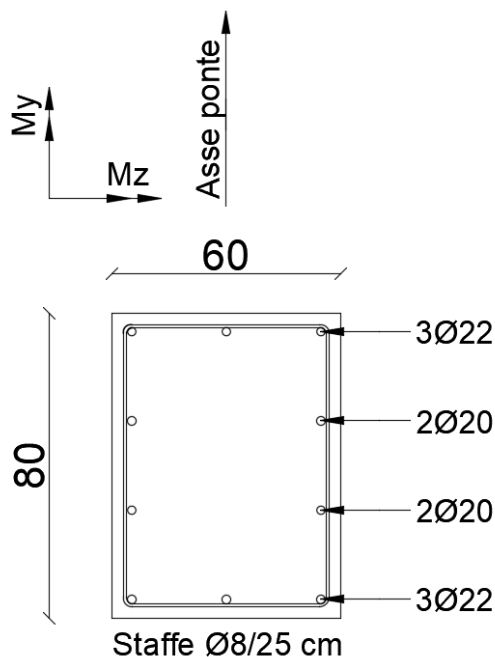


Figura 60 – Sezione e armatura Ritto A

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]	NRd [kN]	MRd-y [kNm]	MRd-z [kNm]	Ned/NRd	α	Rd/Ed	Stato
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB14(max)	315,14	123,44	11,52	6666,667	356,6	-	-	-	2,889	VERIFICA
	N max	LCB4(min)	1433,56	-47,62	-17,81		-646,4	-	-	-	13,574	VERIFICA
	My max	LCB4(max)	487,52	404,51	17,27		411,9	-	-	-	1,018	VERIFICA
	My min	LCB4(min)	1195,1	-402,07	-48,31		-600,5	-	-	-	1,494	VERIFICA
	Mz max	LCB9(max)	698,21	42,03	68,83		474,5	-	-	-	11,290	VERIFICA
	Mz min	LCB6(min)	779,52	-286,11	-64,25		-497,2	-	-	-	1,738	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	150,16	123,63	165,92		300,2	220,6	0,02	1,00	0,859	NON VERIFICA
	N max	LCB31	540,55	-9,2	43,92		-428,0	317,2	0,08	1,00	6,252	VERIFICA
	My max	LCB31	285,03	270,54	52,04		346,6	254,5	0,04	1,00	1,015	VERIFICA
	My min	LCB31	409,17	-17,11	60,86		-387,2	285,4	0,06	1,00	3,884	VERIFICA
	Mz max	LCB32	216,45	9,31	195,7		323,1	237,2	0,03	1,00	1,171	VERIFICA
	Mz min	LCB31	358,73	262,32	30,45		371,0	272,7	0,05	1,00	1,221	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB34(max)	300,01	169,24	-0,15	351,6	-	-	-	2,078	VERIFICA	
	N max	LCB34(all)	930,48	-32,76	18,6	-537,1	-	-	-	16,395	VERIFICA	
	My max	LCB36(all)	602,22	257,57	19,63	446,6	-	-	-	1,734	VERIFICA	
	My min	LCB36(all)	608,01	-256,82	19,8	-448,4	-	-	-	1,746	VERIFICA	
	Mz max	LCB38(all)	799,89	29,07	52,03	502,8	-	-	-	17,296	VERIFICA	
	Mz min	LCB36(all)	543,79	-196,96	-42,76	-429,2	-	-	-	2,179	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB42(max)	308,78	113,4	-5,97	354,2	-	-	-	3,123	VERIFICA	
	N max	LCB42(all)	817,26	-24,04	12,74	-507,4	-	-	-	21,106	VERIFICA	
	My max	LCB44(all)	489,15	189,63	11,58	412,4	-	-	-	2,175	VERIFICA	
	My min	LCB44(all)	495,28	-190,39	11,76	-414,2	-	-	-	2,176	VERIFICA	
	Mz max	LCB46(all)	746,72	24,85	48,77	488,0	-	-	-	19,638	VERIFICA	
	Mz min	LCB47(all)	417,1	-119,73	-35,43	-389,7	-	-	-	3,255	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB50(max)	301,57	167,58	0,12	351,9	-	-	-	2,100	VERIFICA	
	N max	LCB50(all)	921,19	-33,35	18,83	-534,8	-	-	-	16,036	VERIFICA	
	My max	LCB52(all)	591,15	254,54	19,8	443,3	-	-	-	1,742	VERIFICA	
	My min	LCB52(all)	598,82	-255,78	19,99	-445,4	-	-	-	1,741	VERIFICA	
	Mz max	LCB54(all)	831,51	-32,33	52,23	-511,2	-	-	-	15,812	VERIFICA	
	Mz min	LCB52(all)	535,26	-195,8	-42,31	-426,5	-	-	-	2,178	VERIFICA	

Tabella 60 – Riepilogo verifiche a presso-flessione Ritto A - Nota: per le verifiche relative al momento Med-z si rimanda al dominio

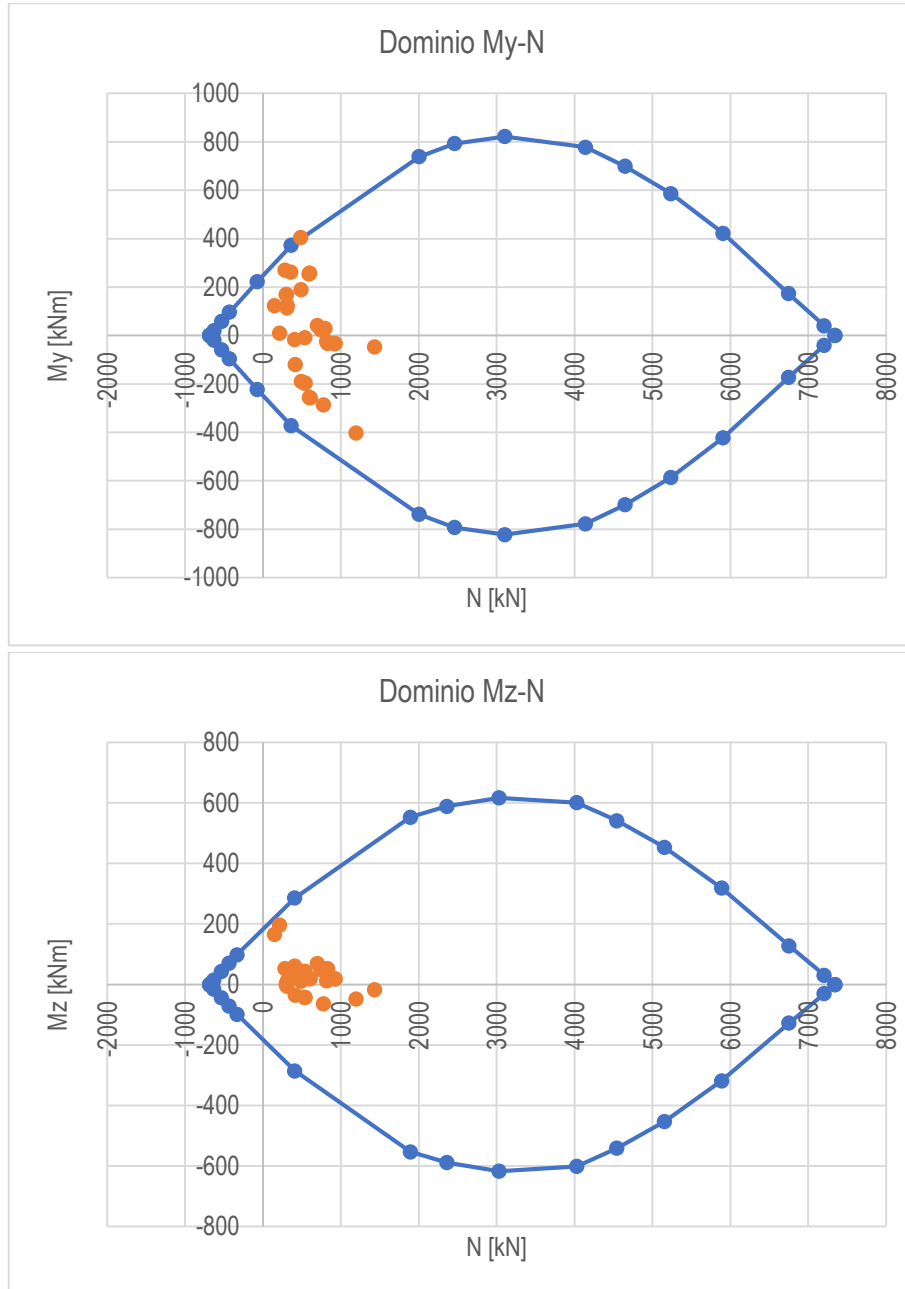


Figura 61 - Domini M-N Ritto A

Verifica a taglio

C/c								Acciaio						VRd [kN] 121,63
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]		
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{sw} [mm ²]	Vrsd [kN]	Vrcd [kN]	
600	800	50	700	2	8	250	100,53	0	0	0	0,00	Eq	-783,496	

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere $21,8^\circ$; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(min)	26,22	121,63	4,639	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	17,51		6,946	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	16,52		7,363	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	12,04		10,102	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	16,47		7,385	VERIFICA

Tabella 61 - Riepilogo verifiche a taglio Ritto A

SEZIONE P03 (RITTO B)

Verifiche a flessione

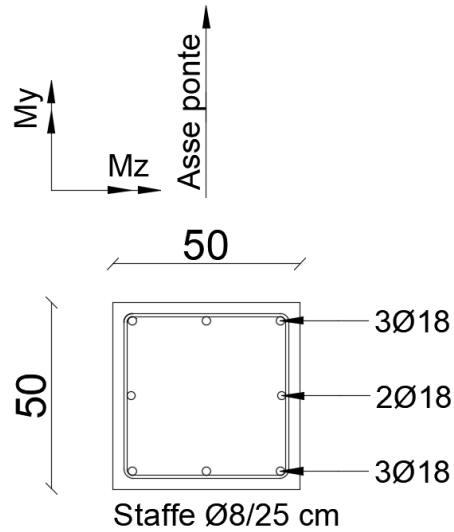


Figura 62 – Sezione e armatura Ritto B

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]	NRd [kN]	MRd-y [kNm]	MRd-z [kNm]	Ned/NRd	α	Rd/Ed	Stato
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB3(max)	262,92	118,17	39,98	3472,222	139,0	-	-	-	1,176	VERIFICA
	N max	LCB4(min)	1224,87	-7,5	-7,96		-251,2	-	-	-	33,493	VERIFICA
	My max	LCB3(max)	456,88	138,94	7,06		174,4	-	-	-	1,255	VERIFICA
	My min	LCB3(min)	1137,44	-138,96	-72,49		-251,9	-	-	-	1,813	VERIFICA
	Mz max	LCB3(max)	274,4	105,02	50,15		141,1	-	-	-	1,344	VERIFICA
	Mz min	LCB3(min)	1137,44	-138,96	-72,49		-251,9	-	-	-	1,813	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	157,05	20,24	135,06		117,9	117,9	0,05	1,00	0,759	NON VERIFICA
	N max	LCB33	362,98	-0,49	24		-158,0	158,0	0,10	1,00	6,500	VERIFICA
	My max	LCB31	290,81	33,01	11,34		144,3	144,3	0,08	1,00	3,254	VERIFICA
	My min	LCB32	201,23	-2,4	144,47		-126,7	126,7	0,06	1,00	0,863	NON VERIFICA
	Mz max	LCB32	206,94	-1,52	153,57		-127,7	126,7	0,06	1,00	0,817	NON VERIFICA
	Mz min	LCB33	293,98	-0,83	9,86		-144,9	144,9	0,08	1,00	13,555	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB34(max)	251,03	70,01	26,15	136,6	-	-	-	1,951	VERIFICA	
	N max	LCB34(all)	747,88	7,86	18,12	216,9	-	-	-	27,595	VERIFICA	
	My max	LCB35(all)	558,53	71,31	26,33	195,1	-	-	-	2,736	VERIFICA	
	My min	LCB35(all)	558,65	-71,31	26,28	-195,1	-	-	-	2,736	VERIFICA	
	Mz max	LCB34(all)	519,45	69,78	39	184,5	-	-	-	2,644	VERIFICA	
	Mz min	LCB34(all)	679,76	-68,88	-45,95	-208,0	-	-	-	3,020	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB42(max)	262,79	39,49	14,15	138,8	-	-	-	3,515	VERIFICA	
	N max	LCB42(all)	639,08	4,89	13,96	202,5	-	-	-	41,411	VERIFICA	
	My max	LCB43(all)	452,12	40,92	17,6	173,6	-	-	-	4,242	VERIFICA	
	My min	LCB43(all)	452,13	-41,29	17,58	-173,6	-	-	-	4,204	VERIFICA	
	Mz max	LCB42(all)	402,73	39,35	25,64	164,9	-	-	-	4,191	VERIFICA	
	Mz min	LCB42(all)	570,96	-40,64	-36,98	-192,4	-	-	-	4,734	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB50(max)	246,88	65,65	27,31	135,6	-	-	-	2,065	VERIFICA	
	N max	LCB50(all)	744,58	7,75	18,5	216,5	-	-	-	27,935	VERIFICA	
	My max	LCB51(all)	556,95	69,4	27,25	190,3	-	-	-	2,742	VERIFICA	
	My min	LCB51(all)	556,87	-70,14	27,26	-190,3	-	-	-	2,713	VERIFICA	
	Mz max	LCB50(all)	515,64	65,81	40,07	183,9	-	-	-	2,794	VERIFICA	
	Mz min	LCB50(all)	676,46	-67,26	-46,75	-207,6	-	-	-	3,087	VERIFICA	

Tabella 62 – Riepilogo verifiche a presso-flessione Ritto B - Nota: per le verifiche relative al momento Med-z si rimanda al dominio

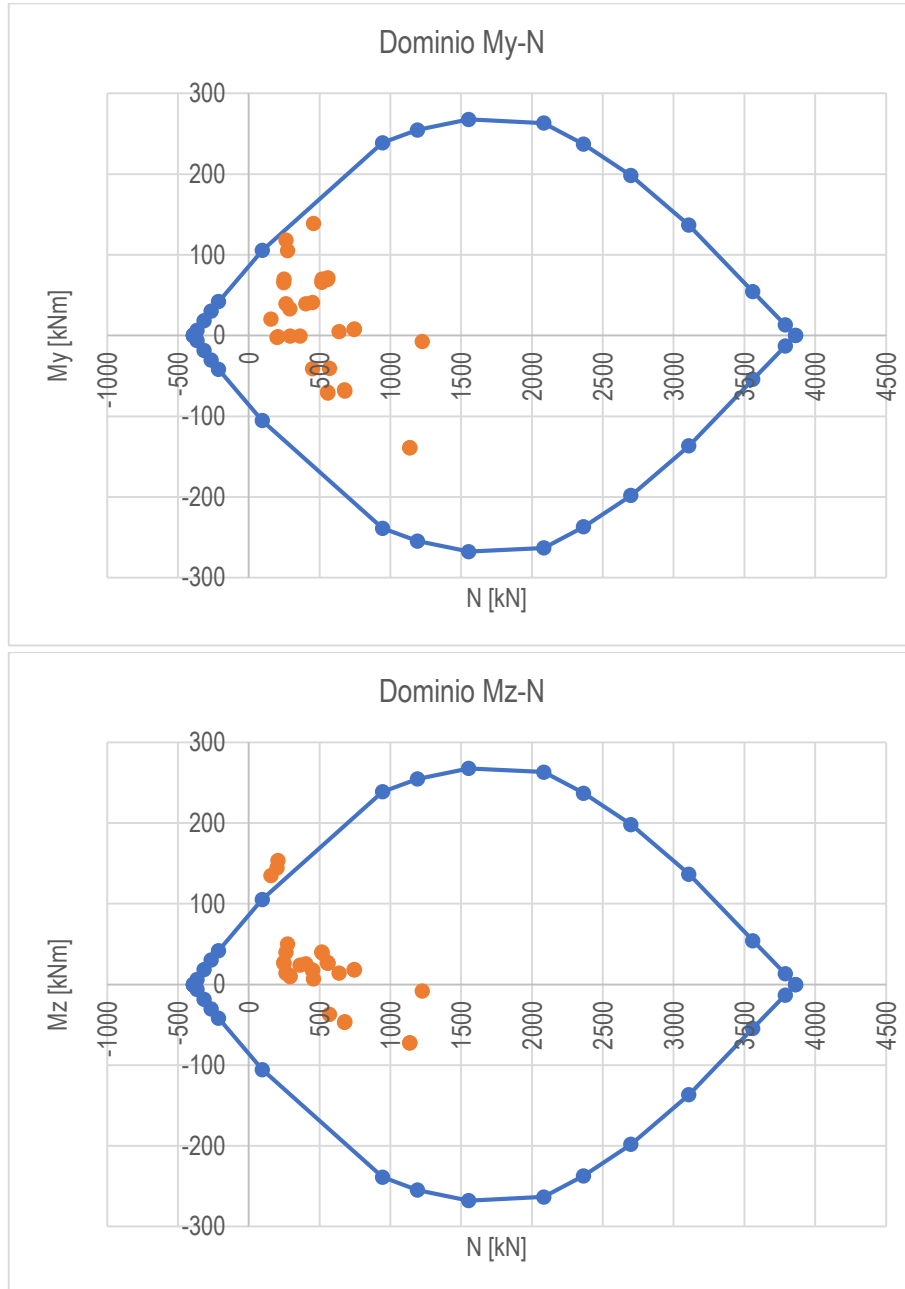


Figura 63 - Domini M-N Ritto B

Verifica a taglio

Cls								Acciaio					VRd [kN] 69,50
Type	f_{ck} [Mpa]	ν_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{ctd} [Mpa]	ν [-]	f_{ctd2} [Mpa]	Type	f_{yk} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				Rottura lato Acciaio	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]		θ [°]
500	500	50	400	2	8	250	100,53	0	0	0	0,00		21,8
												Vrsd [kN]	69,50
												Vrzd [kN]	431,01
												Eq	-361,51

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere 21,8°; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	VRd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	15,94	69,50	4,360	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	4,1		16,952	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	8,4		8,274	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	4,97		13,984	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	8,27		8,404	VERIFICA

Tabella 63 - Riepilogo verifiche a taglio Ritto B

SEZIONE P04 (RITTO C)

Verifiche a flessione

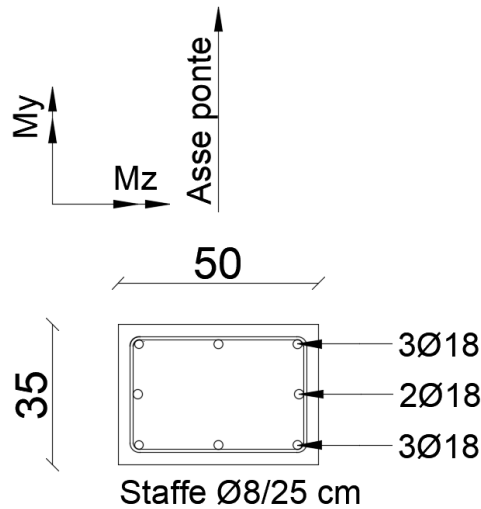


Figura 64 – Sezione e armatura Ritto C

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]	NRd [kN]	MRd-y [kNm]	MRd-z [kNm]	Ned/NRd	α	Rd/Ed	Stato
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB4(max)	230,51	30,6	41,61	2430,556	85,9	-	-	-	2,808	VERIFICA
	N max	LCB3(min)	1140,64	-101,07	-16,4		-139,6	-	-	-	1,381	VERIFICA
	My max	LCB4(max)	399,09	126,84	6,66		105,2	-	-	-	0,829	NON VERIFICA
	My min	LCB4(min)	1078,82	-126,78	-82,63		-138,8	-	-	-	1,095	VERIFICA
	Mz max	LCB6(max)	417,02	108,13	77,83		107,0	-	-	-	0,990	NON VERIFICA
	Mz min	LCB4(min)	1078,82	-126,78	-82,63		-138,8	-	-	-	1,095	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	136,9	-0,41	110,45		-78,2	111,3	0,06	1,00	1,002	VERIFICA
	N max	LCB33	324,06	20,96	47,49		97,2	145,1	0,13	1,03	1,909	VERIFICA
	My max	LCB31	184,87	39,49	48,81		80,2	120,5	0,08	1,00	1,114	VERIFICA
	My min	LCB32	176,7	-6,76	127,83		-79,2	119,0	0,07	1,00	0,862	NON VERIFICA
	Mz max	LCB32	176,9	20,93	127,84		79,2	119,0	0,07	1,00	0,747	NON VERIFICA
	Mz min	LCB31	273,53	36,56	13,42		91,2	136,6	0,11	1,01	2,029	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB34(max)	222,85	16,76	29	84,9	-	-	-	5,068	VERIFICA	
	N max	LCB34(all)	697,82	-57,76	38,9	-128,4	-	-	-	2,223	VERIFICA	
	My max	LCB36(all)	533,31	71,26	30,07	117,5	-	-	-	1,649	VERIFICA	
	My min	LCB36(all)	533,12	-71,17	30,06	-117,5	-	-	-	1,651	VERIFICA	
	Mz max	LCB36(all)	663,17	60,46	51,73	126,9	-	-	-	2,099	VERIFICA	
	Mz min	LCB34(all)	644,58	-64,57	-52,16	-125,7	-	-	-	1,947	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB42(max)	238,37	1,55	13,84	86,9	-	-	-	56,077	VERIFICA	
	N max	LCB42(all)	592,65	35,68	27,72	122,1	-	-	-	3,422	VERIFICA	
	My max	LCB44(all)	428,5	45,93	18,39	108,1	-	-	-	2,354	VERIFICA	
	My min	LCB44(all)	428,67	-46,09	18,35	-108,1	-	-	-	2,345	VERIFICA	
	Mz max	LCB47(all)	507,25	31,94	44,55	115,3	-	-	-	3,610	VERIFICA	
	Mz min	LCB42(all)	539,59	40,67	-40,22	118,0	-	-	-	2,901	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB50(max)	224,5	20,51	29,05	85,2	-	-	-	4,154	VERIFICA	
	N max	LCB50(all)	692,65	55,3	38,84	128,2	-	-	-	2,318	VERIFICA	
	My max	LCB52(all)	528,06	69,33	30,45	117,1	-	-	-	1,689	VERIFICA	
	My min	LCB52(all)	528,56	-69,73	30,39	-117,1	-	-	-	1,679	VERIFICA	
	Mz max	LCB52(all)	657,84	-57,92	51,65	-126,5	-	-	-	2,184	VERIFICA	
	Mz min	LCB50(all)	639,27	62,48	-52,31	125,3	-	-	-	2,005	VERIFICA	

Tabella 64 – Riepilogo verifiche a presso-flessione Ritto C - Nota: per le verifiche relative al momento Med-z si rimanda al dominio

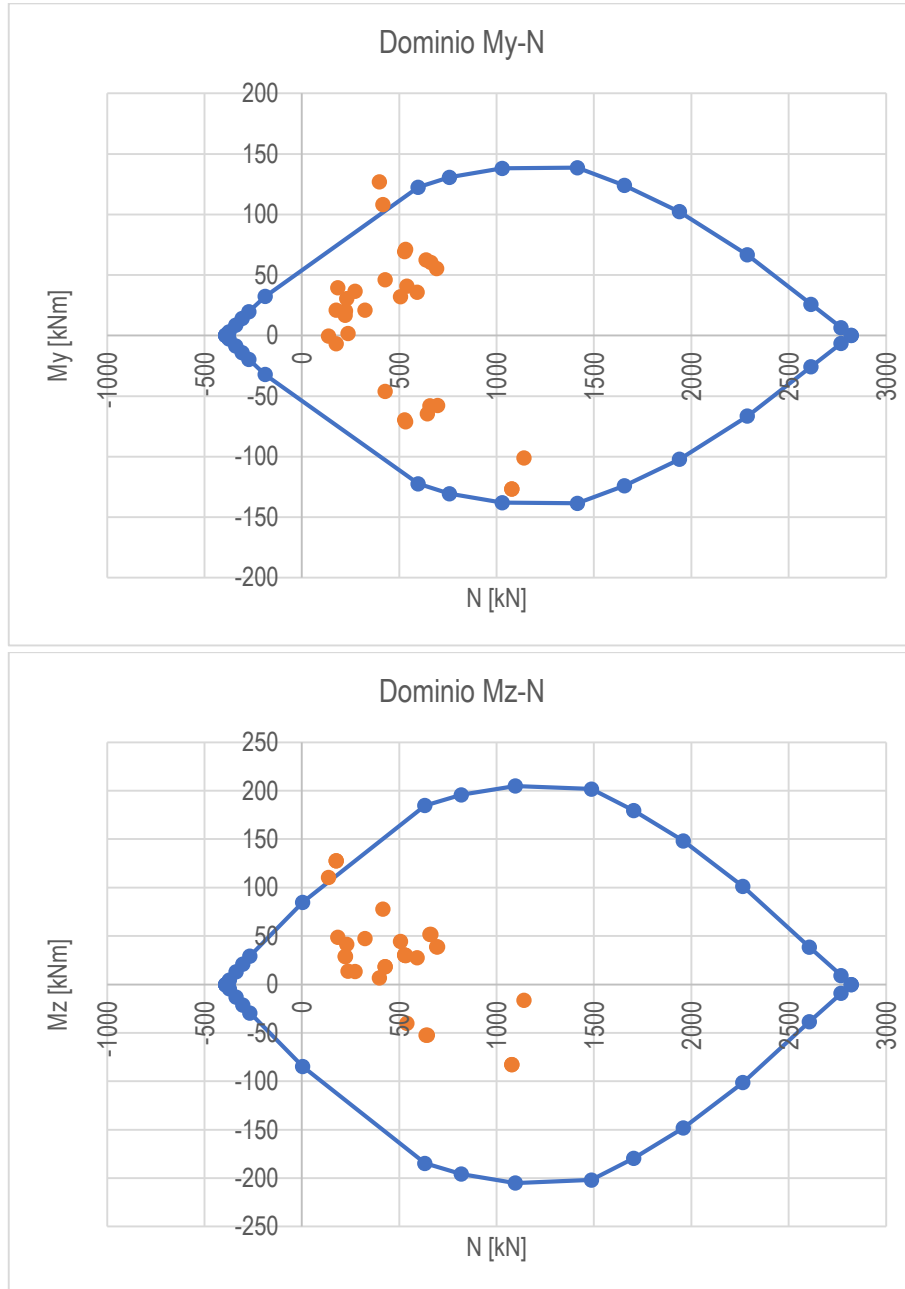


Figura 65 - Domini M-N Ritto C

Verifica a taglio

Cls								Acciaio						VRd [kN] 43,44
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]		
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	Vrcd [kN]	
500	350	50	250	2	8	250	100,53	0	26	0	0,00	21,8	43,44	
												Eq	-225,944	

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere 21,8°; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(max)	24,44	43,44	1,777	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	7,72		5,627	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	13,78		3,152	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	8,87		4,897	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	13,43		3,234	VERIFICA

Tabella 65 - Riepilogo verifiche a taglio Ritto C

SEZIONE P05 (RITTO D)

Verifiche a flessione

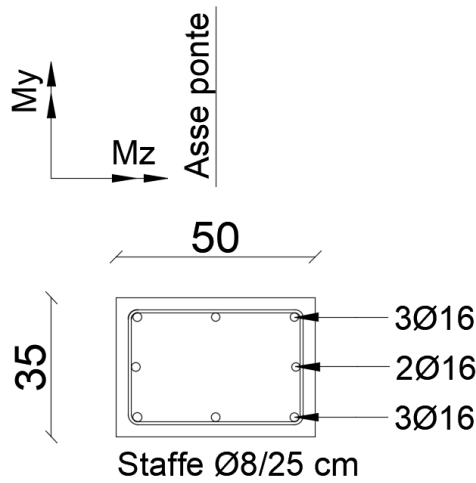


Figura 66 – Sezione e armatura Ritto D

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]	NRd [kN]	MRd-y [kNm]	MRd-z [kNm]	Ned/NRd	α	Rd/Ed	Stato
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB3(max)	168,11	60,6	30,57	2430,556	68,0	-	-	-	1,122	VERIFICA
	N max	LCB4(min)	1057,34	-69,29	-12,25		-130,9	-	-	-	1,889	VERIFICA
	My max	LCB6(max)	312,56	158,21	25,44		85,8	-	-	-	0,543	NON VERIFICA
	My min	LCB6(min)	998,99	-157,67	-68,4		-129,8	-	-	-	0,823	NON VERIFICA
	Mz max	LCB6(max)	220,84	49,35	122,55		74,5	-	-	-	1,510	VERIFICA
	Mz min	LCB6(min)	689,03	-86,27	-145,8		-119,6	-	-	-	1,386	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	48,94	32,52	136,28		52,8	77,4	0,02	1,00	0,421	NON VERIFICA
	N max	LCB32	268,41	41,3	136,78		80,8	120,0	0,11	1,01	0,606	NON VERIFICA
	My max	LCB31	110,54	119,83	48,43		60,6	89,7	0,05	1,00	0,397	NON VERIFICA
	My min	LCB33	146,62	23,89	45,84		65,2	96,8	0,06	1,00	1,191	VERIFICA
	Mz max	LCB32	70,24	43,23	178,61		55,5	81,6	0,03	1,00	0,337	NON VERIFICA
	Mz min	LCB31	197,77	107,59	11,13		71,7	106,9	0,08	1,00	0,623	NON VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB34(max)	157,74	61,08	50,21	66,6	-	-	-	1,090	VERIFICA	
	N max	LCB34(all)	597,85	65,27	48,91	113,3	-	-	-	1,736	VERIFICA	
	My max	LCB35(all)	457,85	83,54	30,1	101,3	-	-	-	1,213	VERIFICA	
	My min	LCB35(all)	457,69	-82,9	30,1	-101,3	-	-	-	1,222	VERIFICA	
	Mz max	LCB34(all)	418,31	63,8	78,07	97,5	-	-	-	1,527	VERIFICA	
	Mz min	LCB36(all)	426,88	-70,3	-82,01	-98,3	-	-	-	1,398	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB42(max)	174,98	24,43	27,25	68,8	-	-	-	2,814	VERIFICA	
	N max	LCB42(all)	494,34	35,14	34,88	104,8	-	-	-	2,982	VERIFICA	
	My max	LCB43(all)	358,15	55,08	19,55	91,1	-	-	-	1,654	VERIFICA	
	My min	LCB43(all)	357,99	-54,45	19,54	-91,1	-	-	-	1,673	VERIFICA	
	Mz max	LCB42(all)	313,8	-35,97	53,1	-86,0	-	-	-	2,390	VERIFICA	
	Mz min	LCB47(all)	305,9	25,55	-57,29	85,0	-	-	-	3,327	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB50(max)	156,71	54,94	47,71	66,5	-	-	-	1,210	VERIFICA	
	N max	LCB50(all)	593,46	62,42	46,86	113,0	-	-	-	1,810	VERIFICA	
	My max	LCB51(all)	453,68	85,28	29,97	100,9	-	-	-	1,183	VERIFICA	
	My min	LCB51(all)	453,51	-84,59	29,97	-100,9	-	-	-	1,193	VERIFICA	
	Mz max	LCB50(all)	412,51	-65,53	77,38	-96,8	-	-	-	1,478	VERIFICA	
	Mz min	LCB52(all)	420,55	65	-80,78	97,7	-	-	-	1,502	VERIFICA	

Tabella 66 – Riepilogo verifiche a presso-flessione Ritto D - Nota: per le verifiche relative al momento Med-z si rimanda al dominio

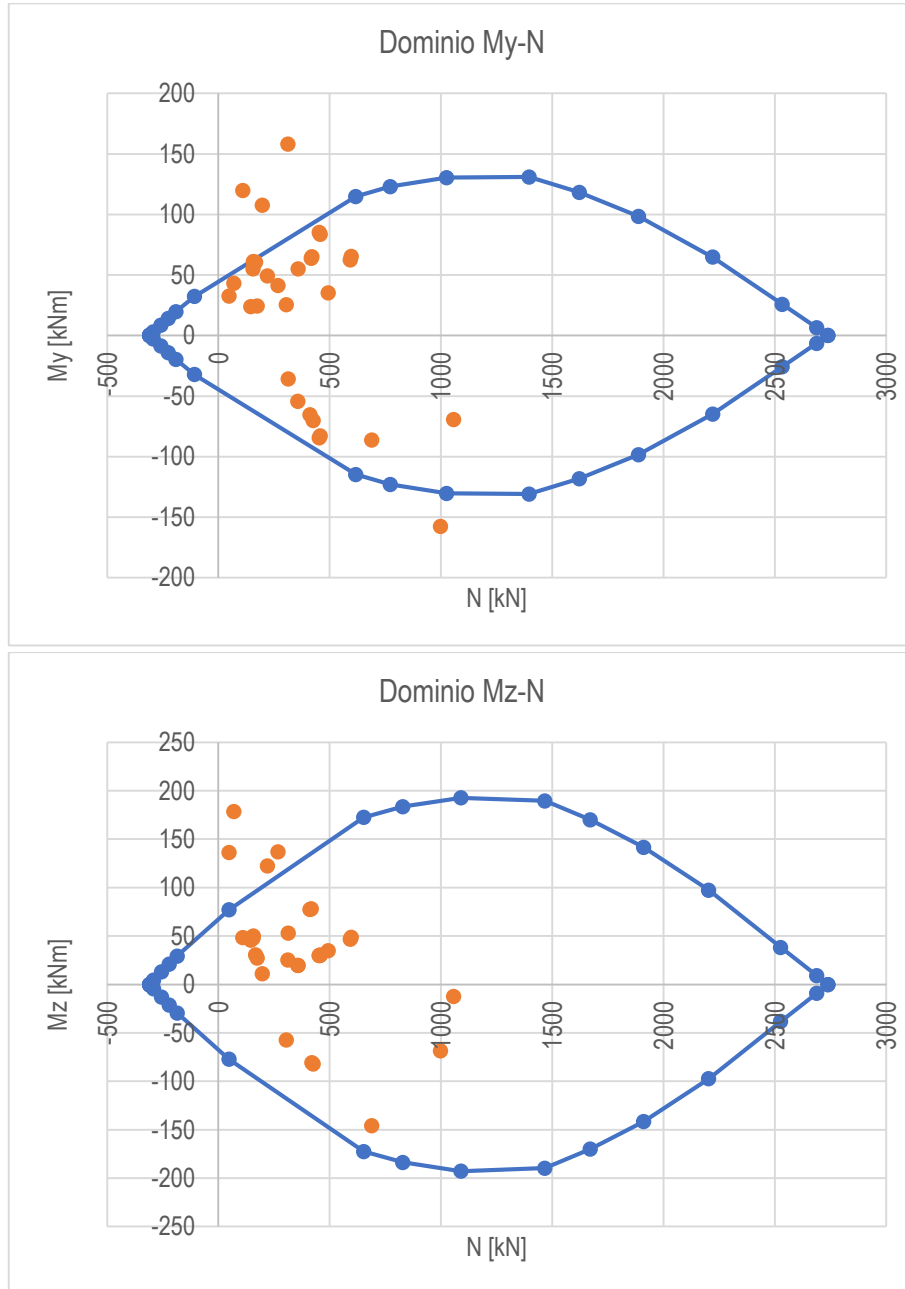


Figura 67 - Domini M-N Ritto D

Verifica a taglio

Cls								Acciaio						VRd [kN] 43,44
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]		
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n.	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrscd [kN]	Vrscd [kN]	
500	350	50	250	2	8	250	100,53	0	26	0	0,00	Eq	-225,944	

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere 21,8°; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB6(max)	62,02	43,44	0,700	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	47,18		0,921	NON VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	30,38		1,430	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	16,81		2,584	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	29,25		1,485	VERIFICA

Tabella 67 - Riepilogo verifiche a taglio Ritto D

SEZIONE P06 (RITTO E)

Verifiche a flessione

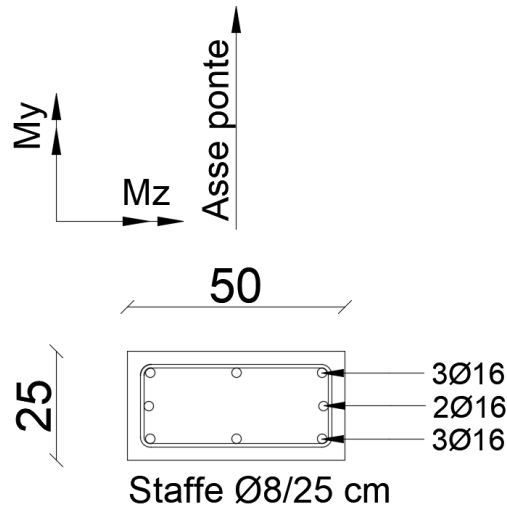


Figura 68 – Sezione e armatura Ritto E

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]	NRd [kN]	MRd-y [kNm]	MRd-z [kNm]	Ned/NRd	α	Rd/Ed	Stato	
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB6(max)	233,07	39,37	64,98	1736,111	49,1	-	-	-	1,246	VERIFICA	
	N max	LCB3(min)	1133,96	-56,16	7,29		-63,9	-	-	-	-	1,138	VERIFICA
	My max	LCB6(max)	392,91	91,39	2,31		59,7	-	-	-	-	0,653	NON VERIFICA
	My min	LCB6(min)	1082,46	-90,08	-116,44		-65,9	-	-	-	-	0,731	NON VERIFICA
	Mz max	LCB3(max)	444,08	37,36	105,52		62,4	-	-	-	-	1,671	VERIFICA
	Mz min	LCB14(min)	941,34	-34,63	-142,22		-70,0	-	-	-	-	2,022	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	85,35	81,07	40,01		37,8	83,0	0,05	1,00	0,380	NON VERIFICA	NON VERIFICA
	N max	LCB33	312,74	59,56	47,51		54,8	121,2	0,18	1,07	0,684	NON VERIFICA	NON VERIFICA
	My max	LCB31	138,31	256,57	35,52		41,9	93,3	0,08	1,00	0,154	NON VERIFICA	NON VERIFICA
	My min	LCB33	312,74	59,56	47,51		54,8	121,2	0,18	1,07	0,684	NON VERIFICA	NON VERIFICA
	Mz max	LCB32	165,09	78,64	85,97		43,9	98,2	0,10	1,00	0,375	NON VERIFICA	NON VERIFICA
	Mz min	LCB31	282,1	247,77	-42,22		52,7	-117,0	0,16	1,05	0,184	NON VERIFICA	NON VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB34(max)	234,13	33,94	32,36	49,1	-	-	-	-	1,448	VERIFICA	
	N max	LCB34(all)	677,71	-35,59	73,79	-68,3	-	-	-	-	1,918	VERIFICA	
	My max	LCB36(all)	636,05	49,81	-80,08	67,5	-	-	-	-	1,356	VERIFICA	
	My min	LCB36(all)	635,76	-48,63	-80,06	-67,5	-	-	-	-	1,389	VERIFICA	
	Mz max	LCB34(all)	677,71	-35,59	73,79	-68,3	-	-	-	-	1,918	VERIFICA	
	Mz min	LCB34(all)	668,02	46,13	-99,87	68,1	-	-	-	-	1,476	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB45	251,16	1,17	-9,01	50,4	-	-	-	-	43,077	VERIFICA	
	N max	LCB42(all)	567,17	-18,52	59,17	-66,1	-	-	-	-	3,568	VERIFICA	
	My max	LCB44(all)	525,52	26,68	-65,46	65,1	-	-	-	-	2,440	VERIFICA	
	My min	LCB44(all)	525,16	-25,75	-65,45	-65,1	-	-	-	-	2,528	VERIFICA	
	Mz max	LCB42(all)	567,17	-18,52	59,17	-66,1	-	-	-	-	3,568	VERIFICA	
	Mz min	LCB42(all)	557,48	23	-85,26	65,9	-	-	-	-	2,863	VERIFICA	
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB50(max)	236,3	35,76	31,25	49,3	-	-	-	-	1,378	VERIFICA	
	N max	LCB50(all)	673,41	-35,1	71,54	-68,2	-	-	-	-	1,943	VERIFICA	
	My max	LCB52(all)	631,76	48,62	-79,07	67,4	-	-	-	-	1,387	VERIFICA	
	My min	LCB52(all)	631,32	-47,81	-79,05	-67,4	-	-	-	-	1,410	VERIFICA	
	Mz max	LCB50(all)	673,41	-35,1	71,54	-68,2	-	-	-	-	1,943	VERIFICA	
	Mz min	LCB50(all)	663,73	44,94	-98,86	68,0	-	-	-	-	1,514	VERIFICA	

Tabella 68 – Riepilogo verifiche a presso-flessione Ritto E - Nota: per le verifiche relative al momento Med-z si rimanda al dominio

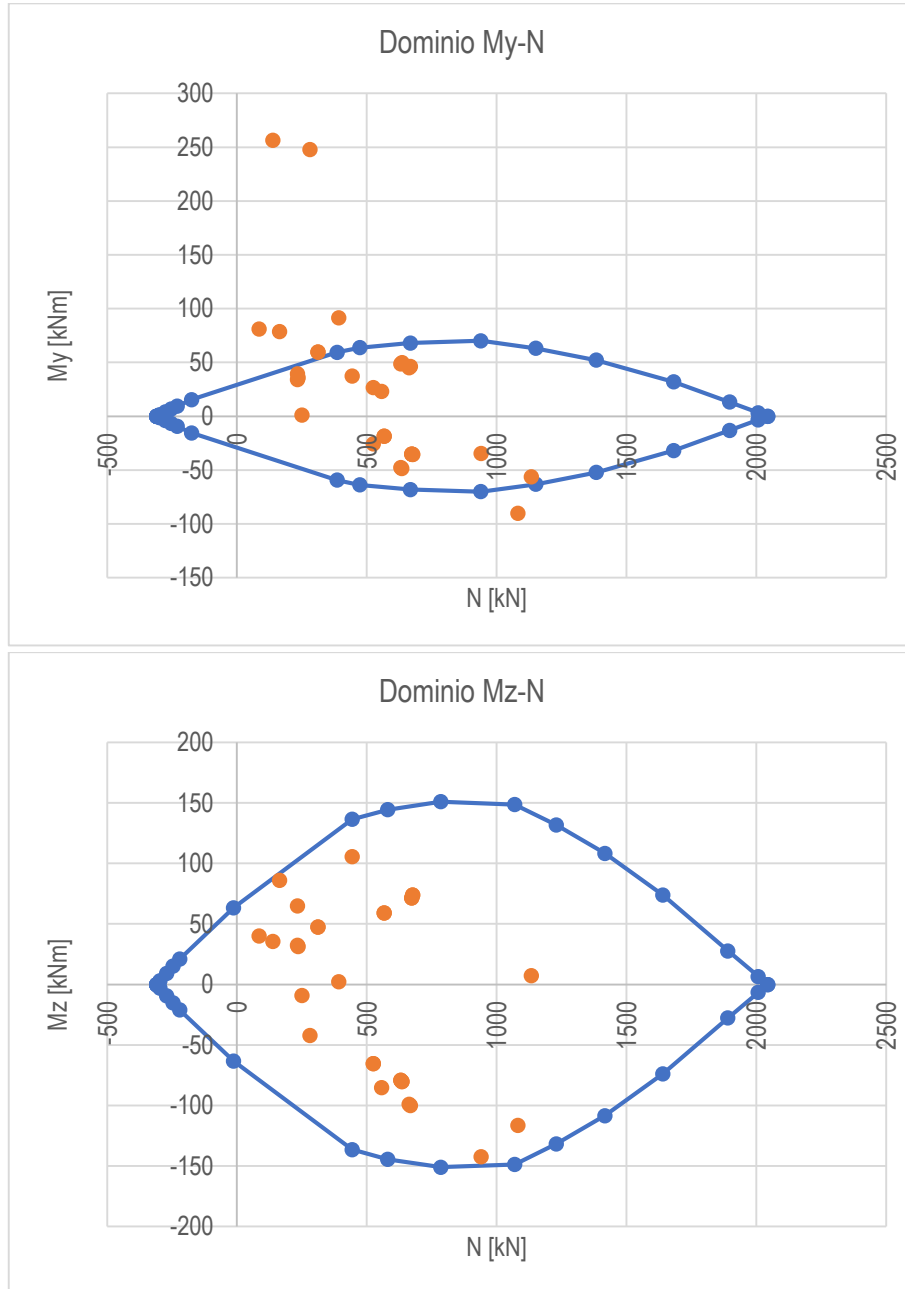


Figura 69 - Domini M-N Ritto E

Verifica a taglio

Cis								Acciaio					VRd [kN] 26,06
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yk} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	ν_s [-]	FC [-]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	21,8
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrzd [kN]	26,06
500	250	50	150	2	8	250	100,53	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	161,63
												Eq	-135,566

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere 21,8°; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB6(min)	62,49	26,06	0,417	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	186,26		0,140	NON VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB36(all)	35,77		0,729	NON VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB44(all)	19,41		1,343	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB52(all)	34,94		0,746	NON VERIFICA

Tabella 69 - Riepilogo verifiche a taglio Ritto E

10.6.3 Arco

Con riferimento alle sezioni maggiormente sollecitate indicate nella Figura seguente, si riportano le verifiche a presso-flessione e le verifiche a taglio dell'arco. Si precisa che lo sforzo normale è positivo se di compressione.

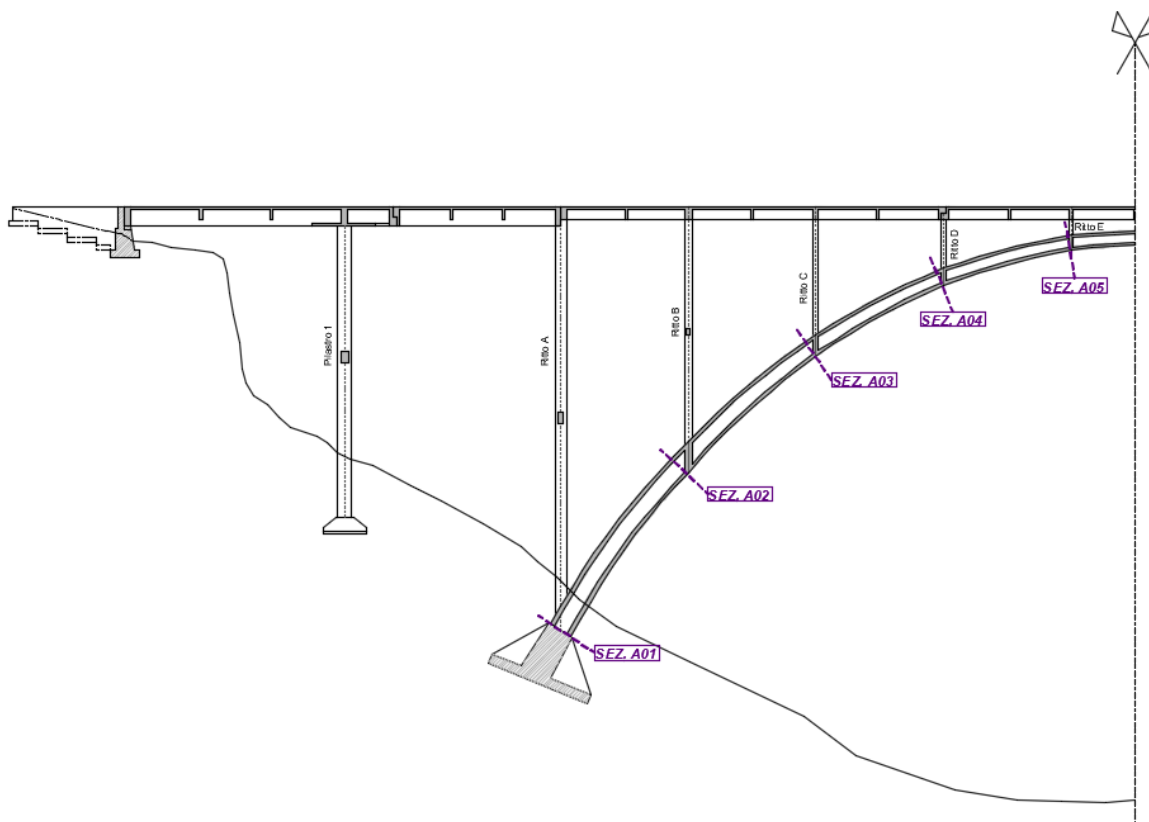


Figura 70 - Sezioni di verifica arco

Le verifiche sono state condotte considerando le due presso-flessioni rette. I risultati delle verifiche sono riportati in termini di domini M-N.

Per quanto concerne il taglio, le NTC prevedono un incremento di resistenza indotto dallo sforzo normale solo per la biella compressa (V_{rd}) non considerando l'incremento di resistenza lato acciaio sempre indotto dalla compressione. Infatti, la presenza della compressione modifica le tensioni principali di trazione e quindi anche l'angolo di prima fessurazione da cui dipendono i limiti dell'angolo θ per le verifiche a taglio. Ne consegue che inclinazione del campo tensionale nel calcestruzzo è collegata all'angolo di prima fessurazione. In particolare l'intervallo dell'angolo può assumersi pari a (Walther, Miehlbradt 1990):

$$(\theta_i - 20^\circ) \leq \theta \leq (\theta_i + 20^\circ)$$

dove θ_i è l'angolo di prima fessurazione.

Il campo di variazione dell'angolo calcolato tramite l'equazione sopra riportata può essere considerata una generalizzazione degli effetti che contribuiscono alla resistenza a taglio al fine di voler considerare anche gli effetti di un'eventuale compressione/precompressione nella struttura. Per il caso in esame è stato quindi valutato il massimo valore di θ_i per i soli carichi permanente (strutturali e non) con il quale si è determinato l'intervallo di θ . In particolare:

$$\theta_i = \text{arccot} \left(\frac{\tau}{\sigma_n} \right) \approx 11^\circ \quad \text{con} \quad \sigma_n = \frac{\sigma}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

Sulla base delle valutazioni sopra riportate, è stato considerato un limite inferiore dell'angolo θ pari a:

$$\theta_{\text{inf}} = \theta_i - 20^\circ = 11^\circ - 20^\circ = -9^\circ \rightarrow \text{si assume } \theta_{\text{inf}} = 0^\circ$$

SEZIONE A01
 Verifiche a flessione

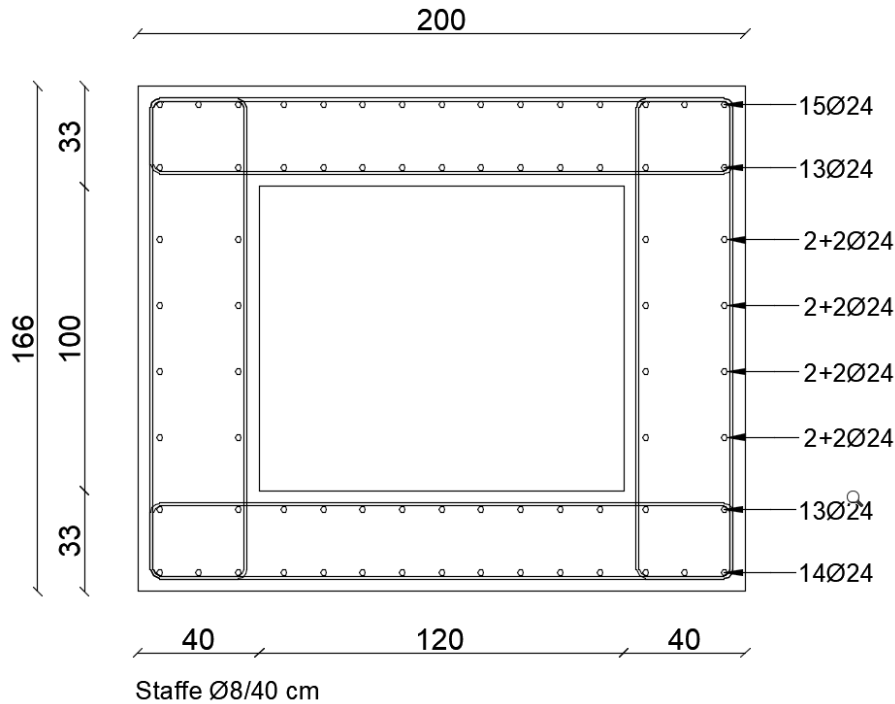


Figura 71 - Sezione e armatura Arco Sezione A01

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB15(all)	5853,2	-3001	235,91
	N max	LCB3(min)	10718,32	-2608,93	311,88
	My max	LCB3(max)	8251,62	7908,51	717,32
	My min	LCB4(min)	10398,95	-5432,55	-354,9
	Mz max	LCB14(max)	8615,65	5976,63	1495,69
	Mz min	LCB10(min)	8961,89	-2185,67	-1473,74
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	2954	308,57	2595,98
	N max	LCB32	5396,08	2306,35	3996,01
	My max	LCB31	4939,04	5815,61	1182,34
	My min	LCB32	5192,35	122,22	2617,03
	Mz max	LCB32	5396,08	2306,35	3996,01
	Mz min	LCB33	4474,48	222,96	801,64
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB34(max)	6660,59	1006,16	173,56
	N max	LCB34(all)	8710,64	4725,83	159,23
	My max	LCB35(all)	8446,32	5138,59	-217,2
	My min	LCB36(all)	8083,11	-3617,1	-253,06
	Mz max	LCB41(all)	7752,57	2052,05	255,73
	Mz min	LCB39(all)	7641,21	2409,79	-1224,26
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB42(max)	6694,93	110	94,67
	N max	LCB42(all)	8323,26	3326,48	89,46
	My max	LCB43(all)	8058,94	3739,25	-154,39
	My min	LCB44(all)	7700,12	-2584,29	-180,94
	Mz max	LCB49(all)	7508,21	1137,35	223,08
	Mz min	LCB47(all)	7394,05	1489,02	-1193,8
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB50(max)	6638,6	1289,71	170,2
	N max	LCB50(all)	9053,46	5257,49	152,46
	My max	LCB51(all)	8789,14	5670,25	-211,88
	My min	LCB52(all)	8426,03	-3661,49	-252,36
	Mz max	LCB57(all)	7799,24	1923,08	267,23
	Mz min	LCB55(all)	7686,81	2276,76	-1230,88

Figura 72 – Sollecitazioni Arco Sezione A01

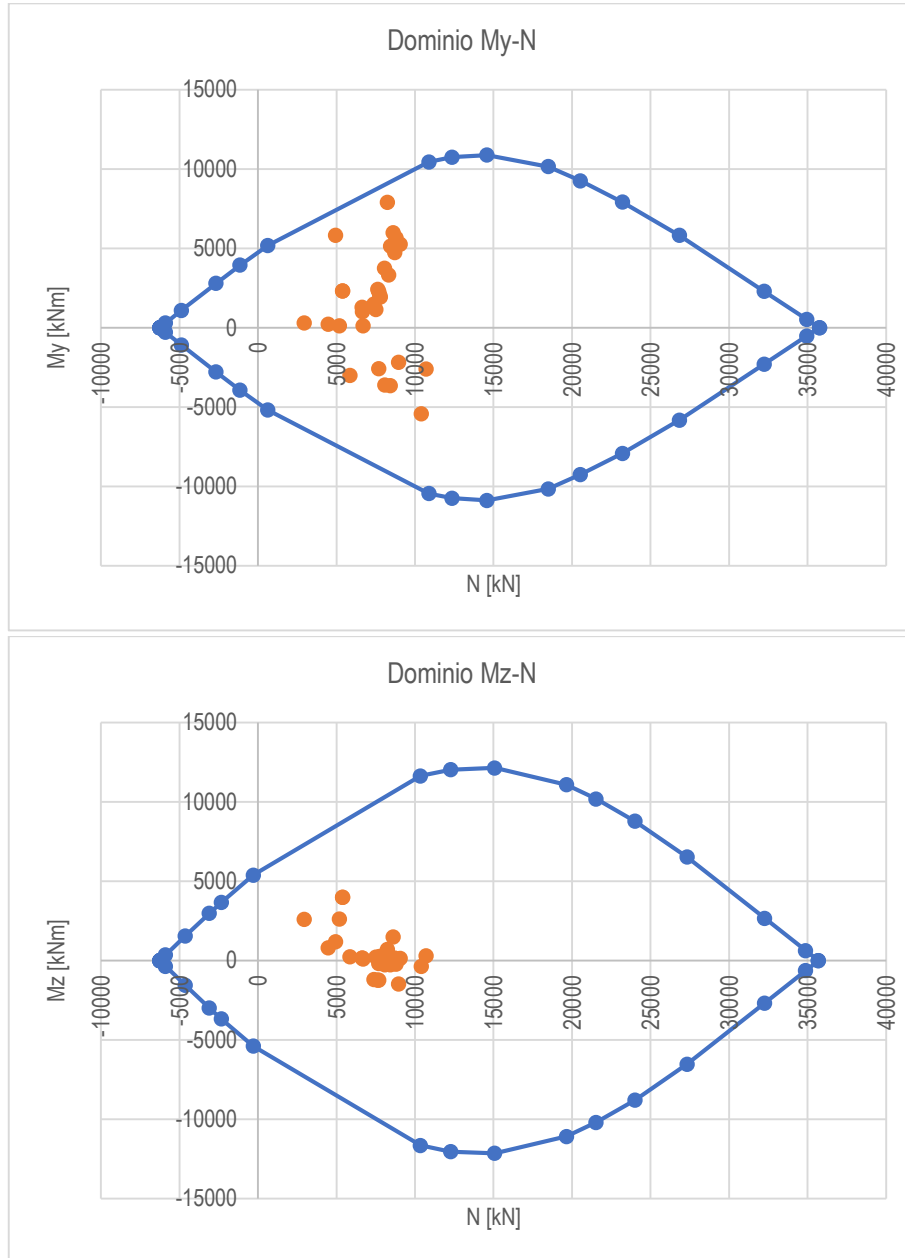


Figura 73 Domini M-N Arco Sezione A01

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

Verifica a taglio

CIS								Acciaio						VRd [kN] 1051,83
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	7,57431	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{rw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{rw} [mm ²]	Vrsd [kN]	1051,83	
800	1660	50	1610	4	8	400	201,06	0	0	0	0,00	Vrzd [kN]	1051,83	
												Eq	-0,00078	

Nota: per il caso in esame $0^\circ \leq \theta \leq 31^\circ$

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	VRd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	1322,34	1051,83	0,795	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	908,23		1,158	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	955,59		1,101	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	831,52		1,265	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	1019,98		1,031	VERIFICA

Tabella 70 - Riepilogo verifiche a taglio Arco Sezione A01

SEZIONE A02

Verifiche a flessione

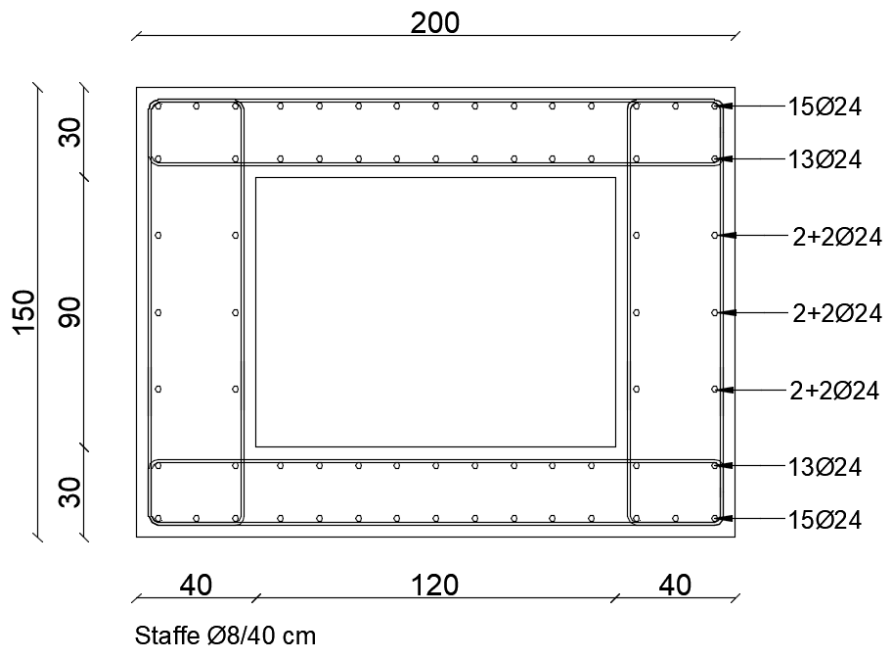


Figura 74 - Sezione e armatura Arco Sezione A02

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]
	N	LCB			
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB14(max)	5619,64	917,03	644,76
	N max	LCB3(min)	8650,26	-436,05	-393,78
	My max	LCB3(max)	6446,91	3477,65	177,39
	My min	LCB6(min)	8263,87	-1976,14	-163,08
	Mz max	LCB14(max)	5769,99	1982,17	854,54
	Mz min	LCB9(min)	7328,6	103	-718,51
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	2777,73	245,26	1413,96
	N max	LCB32	4103,36	835,96	2718,73
	My max	LCB32	3278,34	1207,85	2036,27
	My min	LCB32	3991,99	155,54	1796,29
	Mz max	LCB32	4103,36	835,96	2718,73
	Mz min	LCB33	3585,24	232,22	444,75
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB34(max)	5227,34	843,47	212,69
	N max	LCB34(all)	6909,92	1967,36	211,85
	My max	LCB35(all)	6567,51	2099,54	213,78
	My min	LCB36(all)	6590,16	-1091,86	274,86
	Mz max	LCB34(all)	6192,67	-898,26	281,62
	Mz min	LCB38(all)	6160,82	1625,49	-590,31
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB49(max)	5239,38	135,17	-53,14
	N max	LCB42(all)	6554,49	1419,2	123,93
	My max	LCB43(all)	6213,9	1547,97	125,96
	My min	LCB44(all)	6234,73	-643,4	171,84
	Mz max	LCB49(all)	5845,04	-485,05	223,87
	Mz min	LCB46(all)	5928,29	1374,26	-549,63
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB50(max)	5214,14	815,33	210,35
	N max	LCB50(all)	7179,44	1884,01	208,9
	My max	LCB51(all)	6836,88	2015,71	210,52
	My min	LCB52(all)	6859,68	-1145,22	269,87
	Mz max	LCB57(all)	6095,14	-746,98	284,51
	Mz min	LCB54(all)	6178,39	1710,04	-600,34

Figura 75 - Sollecitazioni Arco Sezione A02

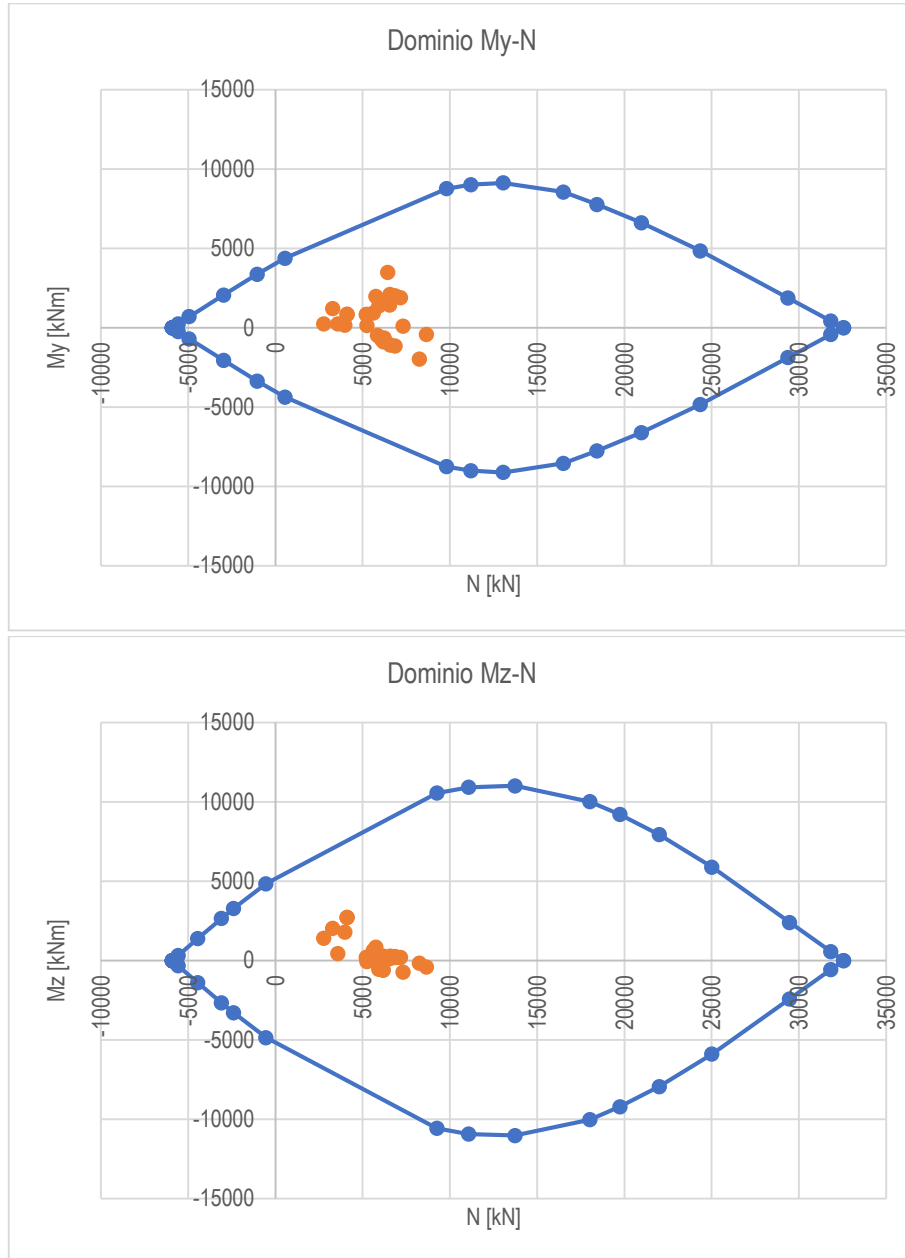


Figura 76 Domini M-N Arco Sezione A02

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

Verifica a taglio

CIS								Acciaio						VRd [kN]
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03	914,63
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	7,574307	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	Vrcd [kN]	Rottura Bilanciata
800	1500	50	1400	4	8	400	201,06	0	0	0	0,00	Eq	-1,4E-07	

Nota: per il caso in esame $0^\circ \leq \theta \leq 31^\circ$

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	VRd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	721,74	914,63	1,267	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	485,66		1,883	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	527,6		1,734	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	466,25		1,962	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	562,79		1,625	VERIFICA

Tabella 71 - Riepilogo verifiche a taglio Arco Sezione A02

SEZIONE A03

Verifiche a flessione

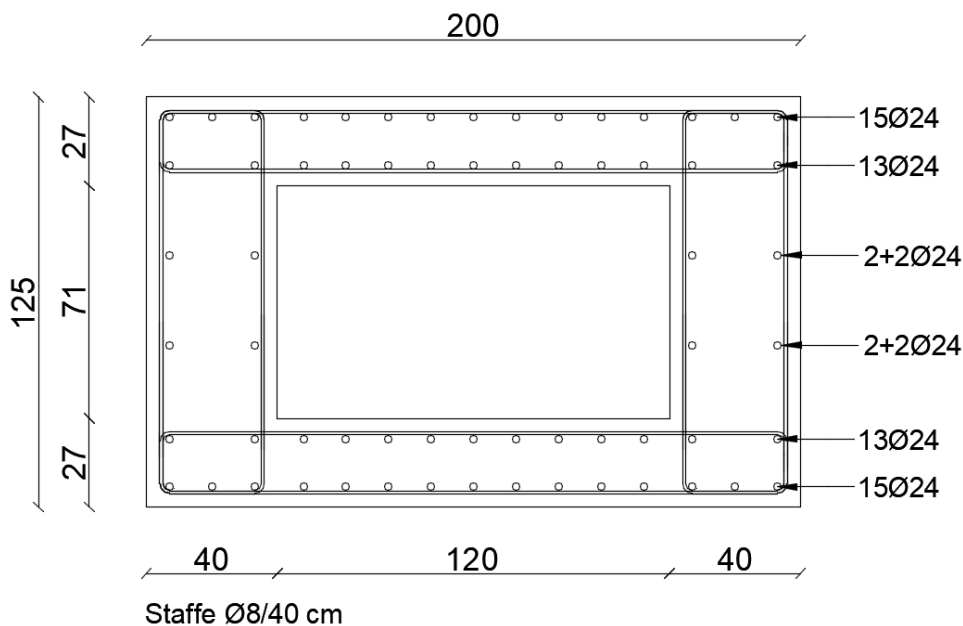


Figura 77 - Sezione e armatura Arco Sezione A03

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB4(max)	4724,46	2032,27	343,69
	N max	LCB3(min)	7368,98	-981,62	-79,16
	My max	LCB3(max)	5402,82	3877,34	468,64
	My min	LCB5(min)	7147,93	-1872,02	-55,08
	Mz max	LCB5(max)	5184,81	2684,43	562,63
	Mz min	LCB14(min)	5179,96	-773,1	-230,22
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	2476,32	663,57	133,66
	N max	LCB33	3440,44	1070,31	174,62
	My max	LCB31	3179,11	1787,68	178,69
	My min	LCB32	3348,81	602,11	205,02
	Mz max	LCB32	2880,12	1160,41	419,74
	Mz min	LCB33	3049,34	678,42	48,6
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB34(max)	4400,99	1511,17	155,06
	N max	LCB34(all)	5828,33	2192,97	232,6
	My max	LCB35(all)	5520,92	2207,85	-190,79
	My min	LCB35(min)	5658,45	-1027,94	-32,3
	Mz max	LCB35(all)	5658,45	1442,36	317,24
	Mz min	LCB35(all)	5523,73	2202,78	-190,82
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB49(max)	4407,82	659,01	134,41
	N max	LCB42(all)	5501,08	1440,85	151,45
	My max	LCB42(all)	5501,08	1440,85	151,45
	My min	LCB43(min)	5331,19	-507,83	56,16
	Mz max	LCB43(all)	5328,64	771,86	224,05
	Mz min	LCB43(all)	5196,69	1438,38	-112,02
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB50(max)	4390,01	1445,69	150,21
	N max	LCB50(all)	6039,15	2138,84	229,62
	My max	LCB51(all)	5734,15	2150,37	-187,21
	My min	LCB51(min)	5869,26	-1172,19	-26,8
	Mz max	LCB51(all)	5866,5	1381,58	308,97
	Mz min	LCB51(all)	5734,15	2150,37	-187,21

Figura 78 – Sollecitazioni Arco Sezione A03

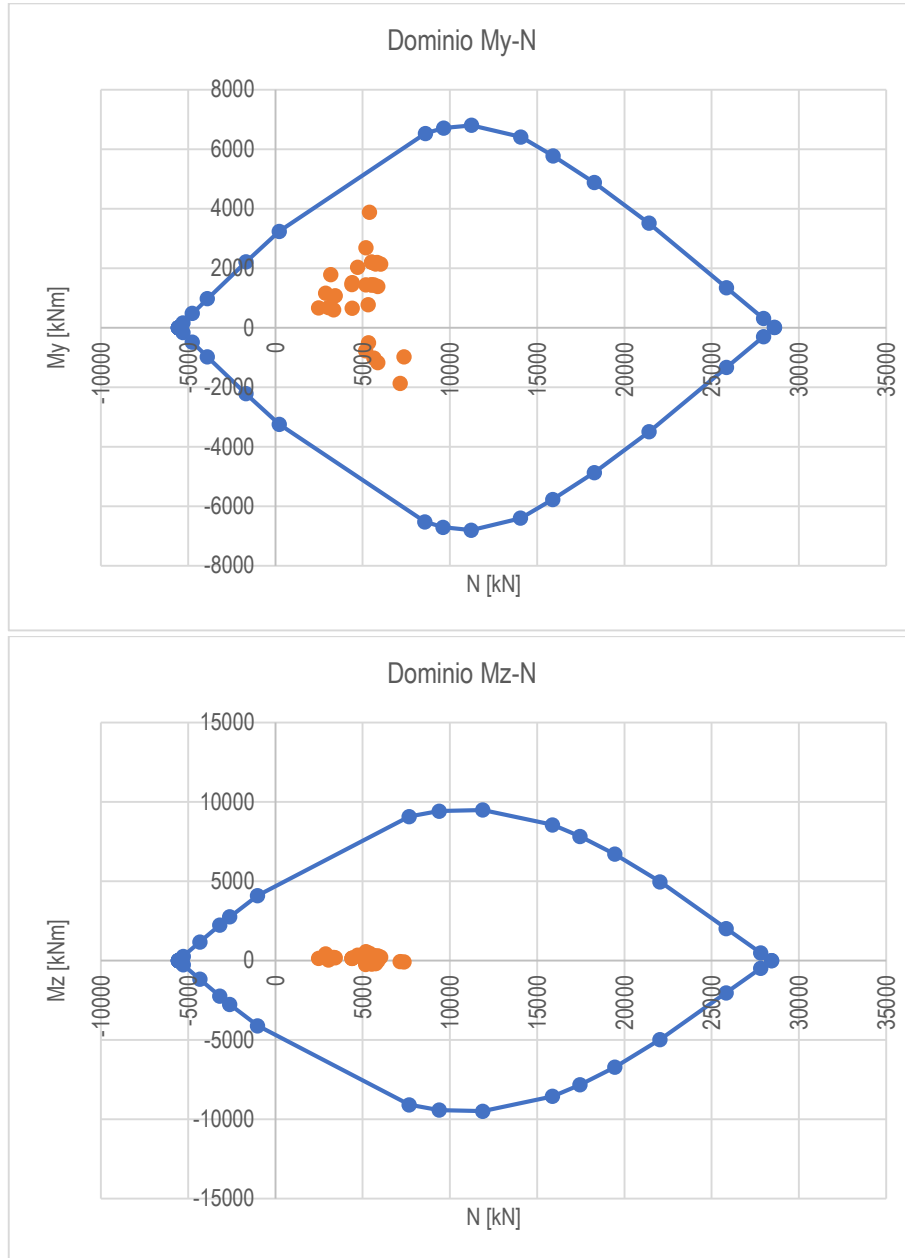


Figura 79 Domini M-N Arco Sezione A03

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

Verifica a taglio

Cls								Acciaio						VRd [kN] 783,97
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	7,574307	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	Vrcd [kN]	
800	1250	50	1200	4	8	400	201,06	0	0	0	0,00	783,97	783,97	
												Eq	-1,2E-07	

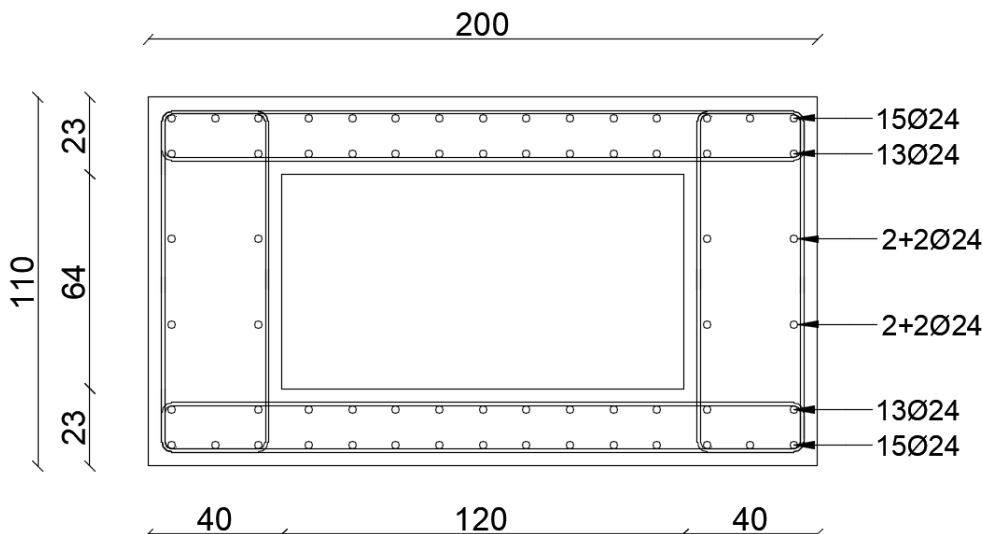
Nota: per il caso in esame $0^\circ \leq \theta \leq 31^\circ$

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	618,09	783,97	1,268	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	342,1		2,292	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	415,05		1,889	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	347,98		2,253	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	421,34		1,861	VERIFICA

Tabella 72 - Riepilogo verifiche a taglio Arco Sezione A03

SEZIONE A04

Verifiche a flessione



Staffe Ø8/40 cm

Figura 80 - Sezione e armatura Arco Sezione A04

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]
	N	M			
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB4(max)	4268,33	1885,38	183,87
	N max	LCB3(min)	6712,46	-1609,49	-125,65
	My max	LCB4(max)	4812,79	3809,21	430,09
	My min	LCB3(min)	6676	-1801,6	-77,61
	Mz max	LCB6(max)	4658,23	2585,28	575,8
	Mz min	LCB14(min)	5053,12	-812,92	-294,39
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	2373,23	609,87	1226,46
	N max	LCB33	3129,76	1009,59	429,55
	My max	LCB31	2883,53	2361,41	444,15
	My min	LCB32	2659,47	544,9	1351,1
	Mz max	LCB32	2659,47	544,9	1351,1
	Mz min	LCB33	2844,3	1024,34	333,64
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB41(max)	3978,18	907,9	241,02
	N max	LCB34(all)	5283,1	2004,21	247,58
	My max	LCB36(all)	5146,29	2074,31	347,36
	My min	LCB35(min)	5181,12	-1075,64	61,27
	Mz max	LCB39(all)	4644,13	833,4	372,83
	Mz min	LCB34(min)	4802,93	-807,12	-200,06
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB49(max)	3980,88	597,62	193,64
	N max	LCB42(all)	4979,53	1138,93	172,28
	My max	LCB44(all)	4844,88	1200,76	272,12
	My min	LCB43(all)	4877,55	-608,1	291,28
	Mz max	LCB47(all)	4446,48	523,19	334,73
	Mz min	LCB42(all)	4565,01	605,84	-122,01
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB57(max)	3977,57	1005,94	246,23
	N max	LCB50(all)	5476,03	1899,38	254,03
	My max	LCB52(all)	5341,38	1961,21	353,87
	My min	LCB51(all)	5374,05	-1147,1	365,89
	Mz max	LCB55(all)	4646,14	934,43	376,82
	Mz min	LCB50(min)	4982,86	-932,08	-207,58

Figura 81 – Sollecitazioni Arco Sezione A04

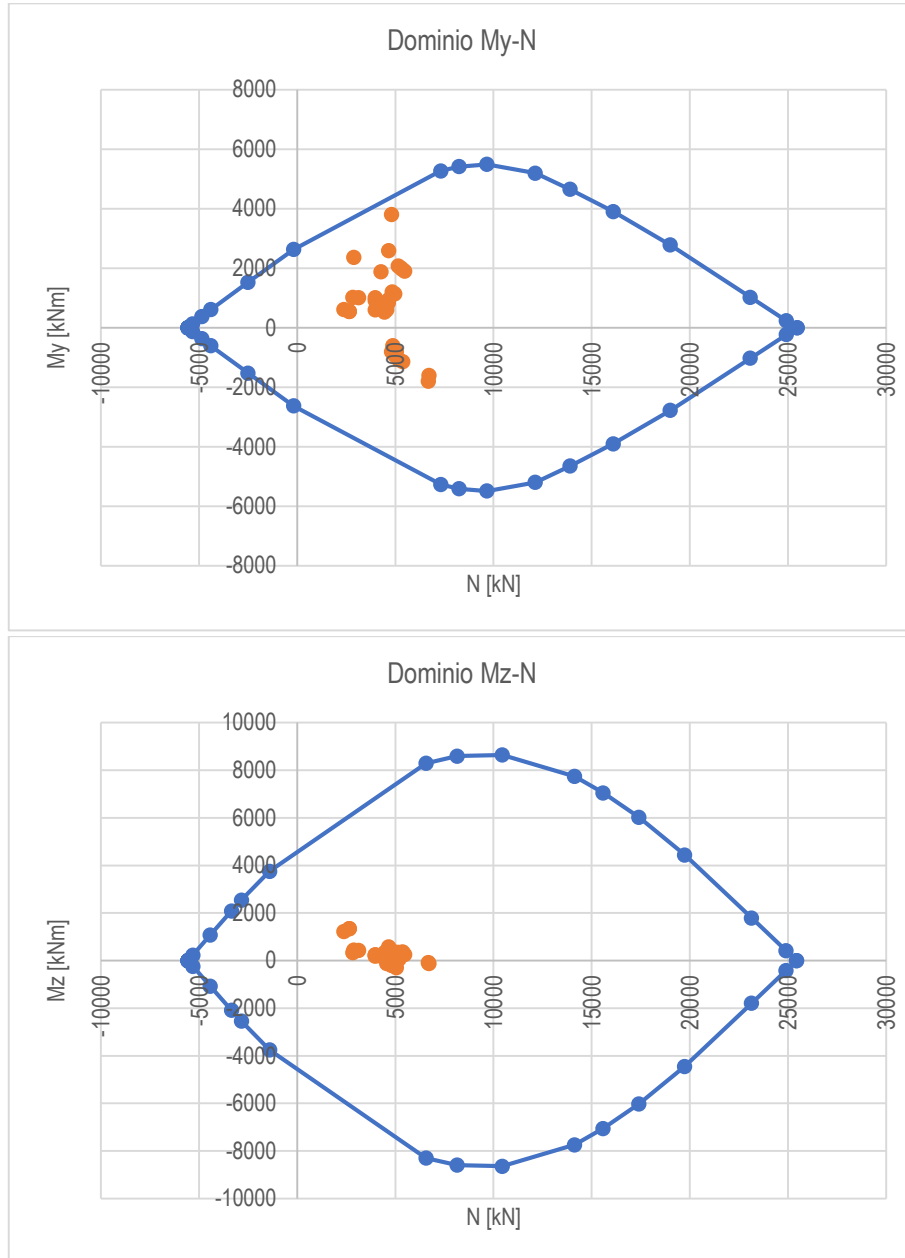


Figura 82 Domini M-N Arco Sezione A04

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

Verifica a taglio

CIS								Acciaio					VRd [kN]	
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{ctd} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]		f_{yd} [Mpa]
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03	685,97
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	7,574312	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	Vrcd [kN]	Rottura Bilanciata
800	1100	50	1050	4	8	400	201,06	0	0	0	0,00	685,97	685,97	
													Eq	-0,00095

Nota: per il caso in esame $0^\circ \leq \theta \leq 31^\circ$

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	614,13	685,97	1,117	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	333,68		2,056	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	381,29		1,799	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	284,1		2,415	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	365,33		1,878	VERIFICA

Tabella 73 - Riepilogo verifiche a taglio Arco Sezione A04

SEZIONE A05
 Verifiche a flessione

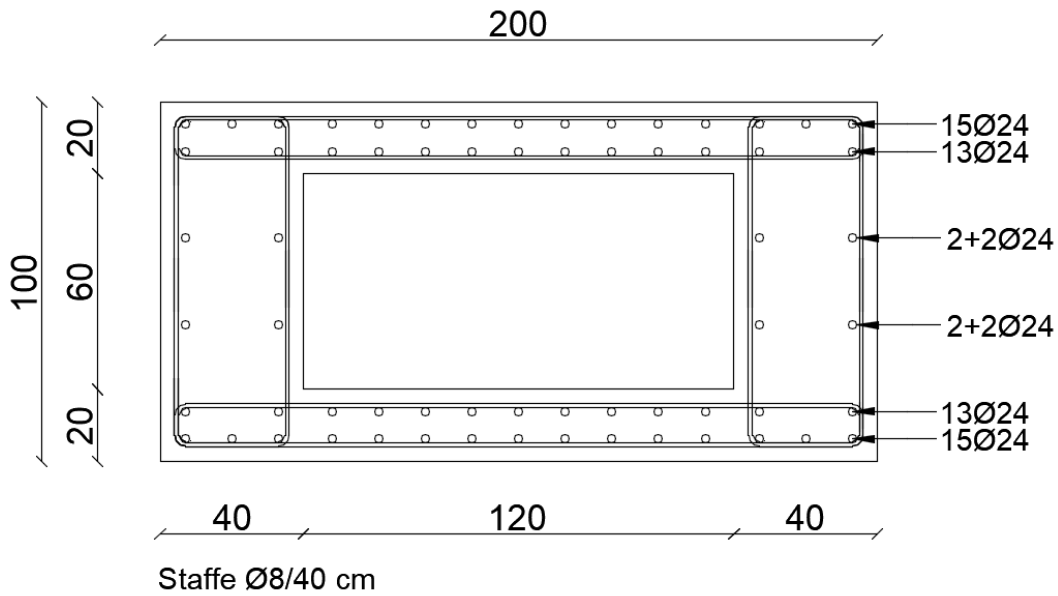


Figura 83 - Sezione e armatura Arco Sezione A05

Caso di carico	Combinazione		Ned [kN]	Med-y [kNm]	Med-z [kNm]
	N	LCB			
SLU Completa adeguatezza	N min	LCB4(max)	4120,32	1025,43	83,39
	N max	LCB3(min)	6285,75	-683,86	-54,45
	My max	LCB4(max)	4600,24	3204,95	512,19
	My min	LCB3(min)	6276,97	-1242,62	-14,27
	Mz max	LCB5(max)	4577,24	2930,19	653,47
	Mz min	LCB14(min)	4534,27	-331,24	-324,97
SLV Completa adeguatezza	N min	LCB32	2403,59	30,91	1572,08
	N max	LCB31	3149,84	1033,41	644,8
	My max	LCB31	3149,76	1035,63	644,45
	My min	LCB32	3031,38	-37,26	1775,83
	Mz max	LCB32	3037,88	456,21	1784,3
	Mz min	LCB33	2821,81	17,8	448,98
SLU Transitabilità NTC2018	N min	LCB41(max)	3811,53	459,52	239,62
	N max	LCB34(all)	4984,88	1516,52	300,48
	My max	LCB36(all)	4849,94	1609,29	400,82
	My min	LCB35(all)	4724,09	-858,16	197,51
	Mz max	LCB38(all)	4488,75	-595,03	418,65
	Mz min	LCB34(all)	4626,8	1455,96	-231,15
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	N min	LCB49(max)	3811,63	259,56	199,04
	N max	LCB42(all)	4733,95	910,42	220,83
	My max	LCB44(all)	4599	1000,91	321,18
	My min	LCB43(all)	4471,44	-646,53	142,96
	Mz max	LCB45	4180,93	-228,04	390,64
	Mz min	LCB42(all)	4374,19	838,44	-146,63
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	N min	LCB57(max)	3811,5	576,16	245,51
	N max	LCB50(all)	5194,34	1488,2	290,51
	My max	LCB52(all)	5059,45	1578,01	390,98
	My min	LCB51(all)	4932,42	-922,15	204,32
	Mz max	LCB54(all)	4520,16	1059,15	426,54
	Mz min	LCB50(all)	4835,19	1424,17	-217,73

Figura 84 – Sollecitazioni Arco Sezione A05

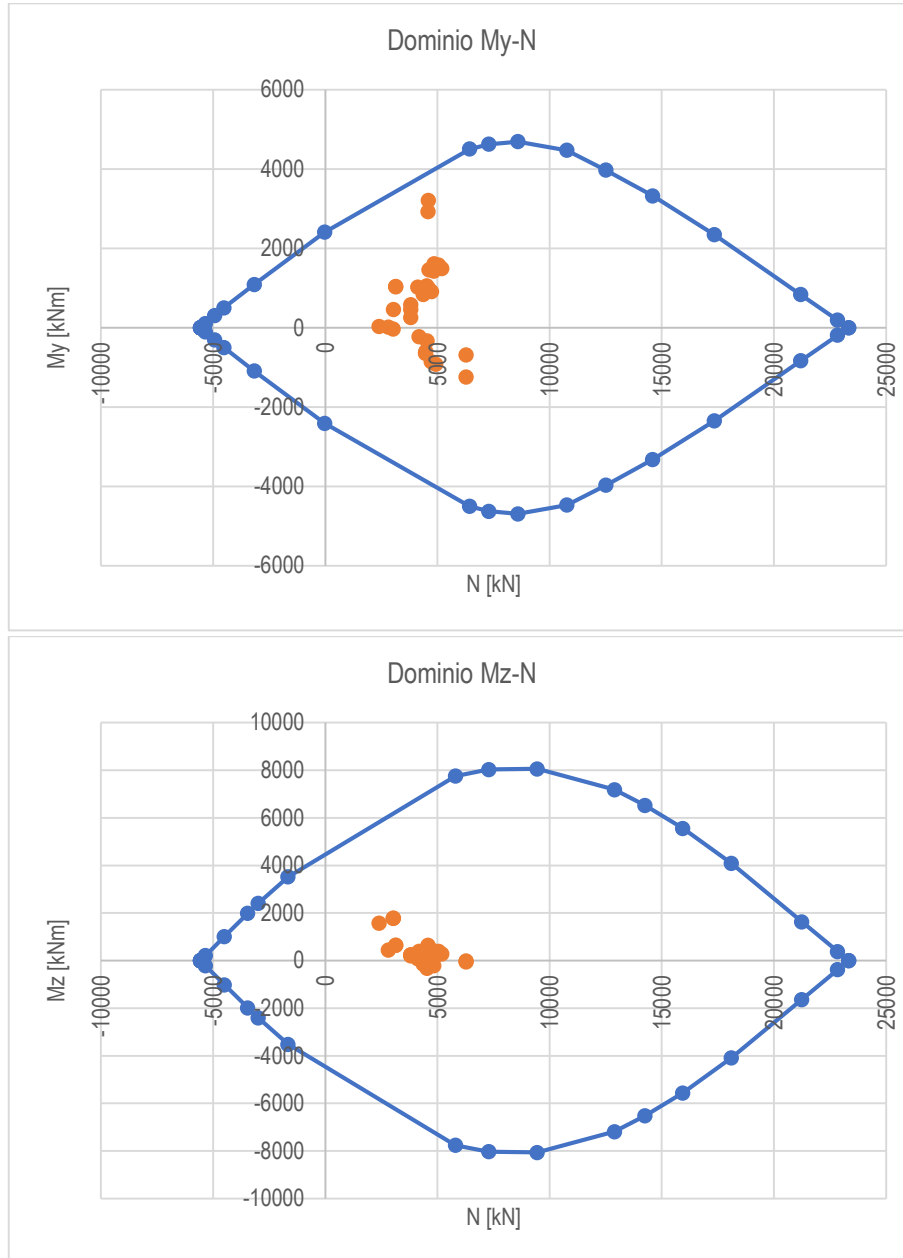


Figura 85 Domini M-N Arco Sezione A05

Tutte le verifiche sono soddisfatte.

Verifica a taglio

Cis								Acciaio						VRd [kN] 620,64
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc} [-]	f_{cd} [Mpa]	ν [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]	f_{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	Aq50	550	265	1,15	1,2	192,03	
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	7,574312	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n.	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	620,64	
800	1000	50	950	4	8	400	201,06	0	0	0	0,00	Vrcd [kN]	620,64	
												Eq	-0,00086	

Nota: per il caso in esame $0^\circ \leq \theta \leq 31^\circ$

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(min)	769,22	620,64	0,807	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	417,07		1,488	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	487,24		1,274	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	384,65		1,614	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	469,29		1,323	VERIFICA

Tabella 74 - Riepilogo verifiche a taglio Arco Sezione A05

10.7 VERIFICHE SELLE GERBER

10.7.1 Premessa

La presenza di traversi continui in corrispondenza delle selle Gerber non permette l'applicazione del Metodo Strut & Tie previsto dall'Eurocodice 2 in quanto si sottostimerebbe la reale resistenza. Infatti, il metodo è applicabile nel caso di appoggio con dimensioni finite dal punto di vista della profondità.

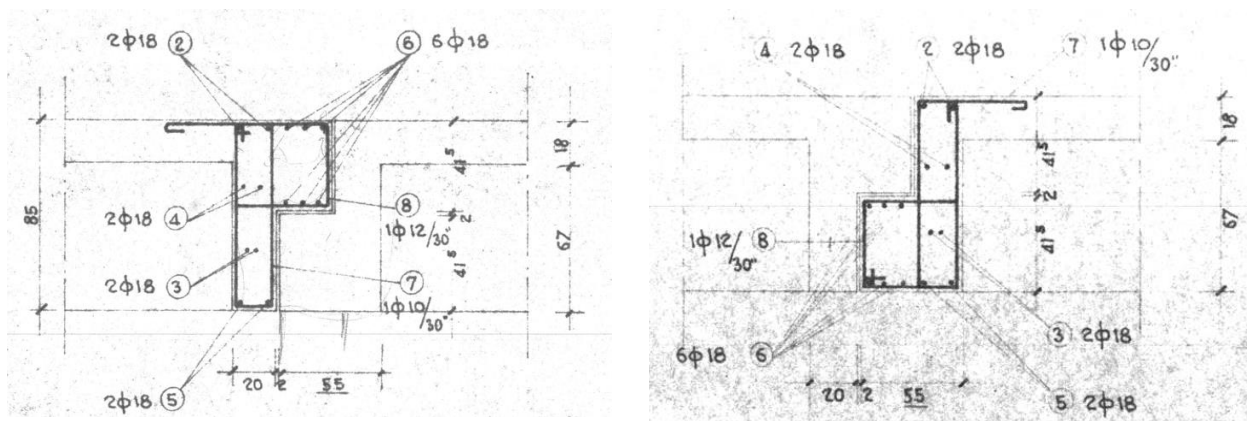


Figura 86 – Armatura trasverso in corrispondenza delle selle Gerber delle travi con H 85 cm (Progetto dell'Epoca)

Per tale motivo si ipotizza un meccanismo di rottura che coinvolge parte del traverso e la trave principale. I meccanismi adottati sono i seguenti:

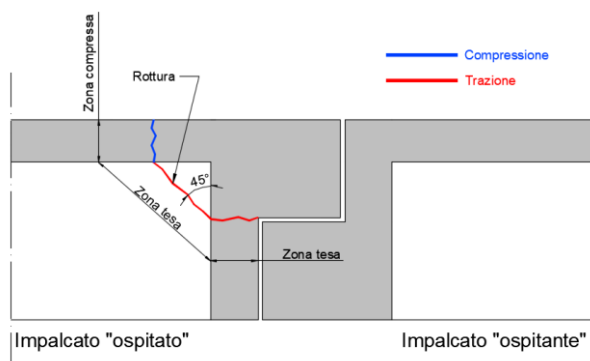


Figura 87 – Meccanismo di rottura sella "ospitata"

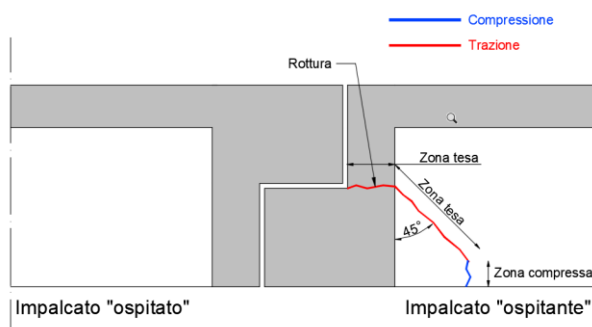


Figura 88 - Meccanismo di rottura sella "ospitante"

Per la verifica delle selle appartenenti all'impalcato "ospitato" (Figura 87) si assume una superficie di rottura che coinvolge il traverso in prossimità dello spessore minimo (si assume quindi una superficie orizzontale); mentre nella trave la superficie si considera inclinata di 45°. Vista la presenza della soletta superiore, la zona compressa si assume coincidente con quest'ultima.

Per la verifica delle selle appartenenti all'impalcato "ospitante" (Figura 88) si assume una superficie di rottura che coinvolge il traverso in prossimità dello spessore minimo (anche in questo caso orizzontale); mentre nella trave la superficie si considera inclinata di 45°. In tale caso la parte compressa è presente solo nella trave e l'altezza del puntone di calcestruzzo è pari alla distanza dell'asse neutro dal lembo inferiore nel caso di momento negativo.

Per entrambi i casi si è considerata una profondità del traverso pari alla metà dell'interesse tra le travi.

Nel caso di specie sono presenti travi e quindi selle con due dimensioni differenti. In particolare sono presenti travi con altezza di 85 cm e di 130 cm. Nel caso di travi con altezza 85 cm, la sella "ospitante" presenta sempre alla base un ritto (pilastro) e pertanto si è considerato solo il meccanismo di rottura relativo alla sella "ospitata". Per le travi di altezza 130 sono stati considerati i due meccanismi sopra definiti. Infine, poiché le travi di bordo presentano un'armatura differente rispetto a quelle centrali si è proceduto alle verifiche in funzione delle diverse armature. Si riportano di seguito le verifiche delle selle Gerber.

10.7.2 Verifica Selle Gerber Travi H 85 cm

Nel caso di travi con altezza 85 cm, la sella "ospitante" presenta sempre alla base un ritto (Ritto D) è pertanto si è considerato solo il meccanismo di rottura relativo alla sella "ospitata". Per tale tipologia di trave le selle sono presenti in corrispondenza degli allineamenti 14-14' & 20-20' (simmetrici). Si riporta di seguito lo schema di calcolo.

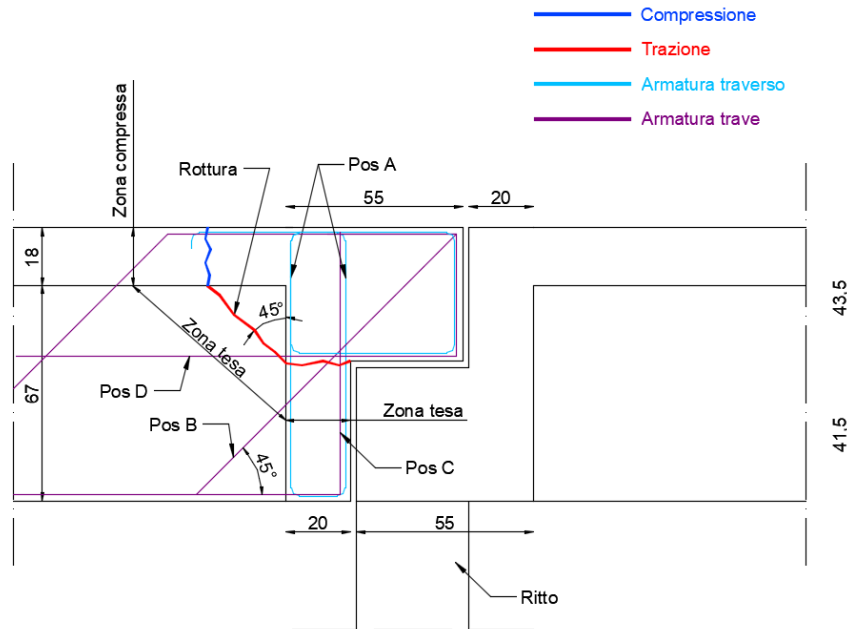


Figura 89 – Schema di calcolo sella ospitata H 85 cm

Dati comuni

$b_{Traverso} = 200 \text{ mm}$	$f_{yd} \text{ acciaio Aq50} = \frac{f_{yk-Aq50}}{\gamma_s \cdot FC} = \frac{265}{1,15 \cdot 1,2} = 192,03 \text{ MPa}$
$d = 1000 \text{ mm}$	$f_{yd} \text{ acciaio RUMI440} = \frac{f_{yk-RUMI440}}{\gamma_s \cdot FC} = \frac{440}{1,15 \cdot 1,2} = 318,84 \text{ MPa}$
$\gamma_{Mod} = 1,10$	

Trave/Sella di bordo	Trave/Sella centrale
$A_{f-PosA} = 2\Phi10 = 157 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: Aq50}$	$A_{f-PosA} = 2\Phi10 = 157 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: Aq50}$
$A_{f-PosB} = 1\Phi26 = 531 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$	$A_{f-PosB} = 1\Phi24 = 452 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$
$A_{f-PosC} = 1\Phi26 = 531 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$	$A_{f-PosC} = 1\Phi24 = 452 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$
$A_{f-PosD} = 1\Phi26 + 2\Phi18 = 1039 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$	$A_{f-PosD} = 1\Phi24 + 2\Phi16 = 854 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$

Tabella 75 – Resistenza selle Trave H 85 cm

Si precisa che nello schema riportato in Figura sopra sono indicate solo le armature del traverso e della trave (Pos. A-B-C & D) interessate dal meccanismo di rottura.

La resistenza della sella è:

$$R_d = \frac{A_{f-PosA} \cdot f_{yd} \cdot \frac{d}{passo} + A_{f-PosB} \cdot f_{yd} \cdot \sin 45^\circ + A_{f-PosC} \cdot f_{yd} + A_{f-PosD} \cdot f_{yd} \cdot \cos 45^\circ}{\gamma_{Mod}}$$

Nell'espressione sopra con "d" si indica la profondità del traverso interessato dal meccanismo che si assume pari alla metà dell'interesse tra le travi; mentre γ_{Mod} è un coefficiente di modello pari a 1,10. Si riporta di seguito il calcolo delle resistenze per la trave di bordo e per la trave centrale.

Si precisa che nella verifica sono state utilizzate a favore di sicurezza le tensioni di snervamento dell'acciaio piuttosto che quelle di rottura. Inoltre, per le travi centrali è stato considerato un valore di "d" uguale a quello della trave di bordo.

Si riportano di seguito i rapporti tra le azioni di progetto e le resistenze per le diverse combinazioni considerate.

Caso di carico	Trave/Sella di Bordo					Trave/Sella Centrale				
	Combinazione	Ed [kN]	Rd [kN]	Ed/Rd	Stato	Combinazione	Ed [kN]	Rd [kN]	Ed/Rd	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB4(max)	834,28	722,64	0,866	NON VERIFICA	LCB6(max)	526,47	645,78	1,227	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	211,71		3,413	VERIFICA	LCB32	142,00		4,548	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	383,50		1,884	VERIFICA	LCB36(all)	288,51		2,238	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	292,80		2,468	VERIFICA	LCB43(all)	194,73		3,316	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	384,97		1,877	VERIFICA	LCB52(all)	279,38		2,311	VERIFICA

Tabella 76 – Verifiche selle Trave H 85 cm

10.7.3 Verifica Selle Gerber Travi H 130 cm

Nel caso di travi con altezza 130 cm sono stati considerati i due meccanismi che coinvolgono rispettivamente la sella appartenente all'impalcato "ospitato" e la sella appartenente all'impalcato "ospitante". Per tale tipologia di trave le selle sono presenti in corrispondenza degli allineamenti 5-5' & 29-29' (simmetrici).

Sella appartenente all'impalcato "ospitato"

Si riporta di seguito lo schema di calcolo.

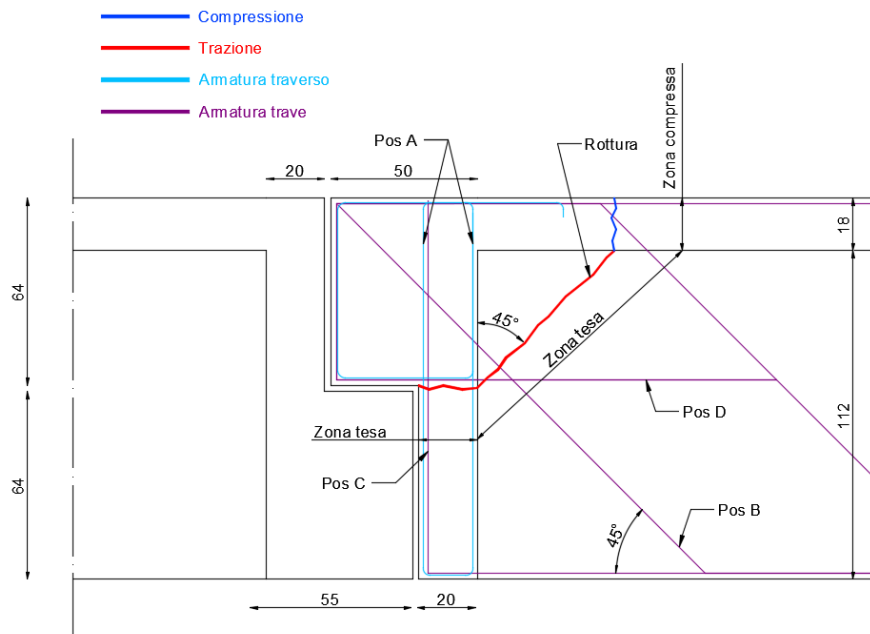


Figura 90 - Schema di calcolo sella ospitata H 130 cm

Dati comuni

$$b_{\text{Traverso}} = 200 \text{ mm}$$

$$d = 1000 \text{ mm}$$

$$\gamma_{\text{Mod}} = 1,10$$

$$f_{\text{yd acciaio Aq50}} = \frac{f_{\text{yk-Aq50}}}{\gamma_s \cdot FC} = \frac{265}{1,15 \cdot 1,2} = 192,03 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{yd acciaio RUMI440}} = \frac{f_{\text{yk-RUMI440}}}{\gamma_s \cdot FC} = \frac{440}{1,15 \cdot 1,2} = 318,84 \text{ MPa}$$

Trave/Sella di bordo

$$A_{f-Pos A} = 2\Phi 10 = 157 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: Aq50}$$

$$A_{f-Pos B} = 1\Phi 26 = 531 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$$

$$A_{f-Pos C} = 1\Phi 26 = 531 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$$

$$A_{f-Pos D} = 1\Phi 26 = 531 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$$

Trave/Sella centrale

$$A_{f-Pos A} = 2\Phi 10 = 157 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: Aq50}$$

$$A_{f-Pos B} = 1\Phi 24 = 452 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$$

$$A_{f-Pos C} = 1\Phi 24 = 452 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$$

$$A_{f-Pos D} = 1\Phi 24 = 452 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Tipo di acciaio: RUMI440}$$

Tabella 77 – Resistenza selle ospitate Trave H 130 cm

Si precisa che nello schema riportato in Figura sopra sono indicate solo le armature del traverso e della trave (Pos. A-B-C & D) interessate dal meccanismo di rottura. La resistenza della sella è:

$$R_d = \frac{A_{f-PosA} \cdot f_{yd} \cdot \frac{d}{passo} + A_{f-PosB} \cdot f_{yd} + A_{f-PosC} \cdot f_{yd} + A_{f-PosD} \cdot f_{yd} \cdot \cos 45^\circ}{\gamma_{Mod}}$$

Per la verifica di tali selle sono state fatte le stesse ipotesi del caso precedente. In particolare, sono state utilizzate le tensioni di snervamento dell'acciaio piuttosto che quelle di rottura. Per tale caso, non disponendo dell'esecutivo dell'epoca e non avendo potuto indagare la sella in termini di armatura, per la posizione D è stato considerato un ferro $\Phi 26$ nella trave di bordo e un ferro $\Phi 24$ nella trave centrale trascurando gli ulteriori risvolti eventualmente presenti. Inoltre, per le travi centrali è stata considerato un valore di "d" uguale a quello della trave di bordo.

Si riportano si seguito i rapporti tra le azioni di progetto e le resistenze per le diverse combinazioni considerate.

Caso di carico	Trave/Sella di Bordo					Trave/Sella Centrale				
	Combinazione	Ed [kN]	Rd [kN]	Rd/Ed	Stato	Combinazione	Ed [kN]	Rd [kN]	Rd/Ed	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	896,92	663,40	0,740	NON VERIFICA	LCB5(max)	621,7	601,77	0,968	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB33	260,74		2,544	VERIFICA	LCB31	171,4		3,511	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	476,63		1,392	VERIFICA	LCB35(all)	390,91		1,539	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	383,82		1,728	VERIFICA	LCB43(all)	292,95		2,054	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	477,43		1,390	VERIFICA	LCB51(all)	384,78		1,564	VERIFICA

Tabella 78 – Verifiche selle ospitate Trave H 130 cm

Sella appartenente all'impalcato "ospitante"

Per il caso in esame, preliminarmente, è necessario calcolare l'asse neutro nel caso di momento resistente negativo al fine di determinare l'altezza del puntone compresso. Si precisa che nella sella ospitante del tratto cantilever, la controsoletta inferiore ha la coda di rondine, per cui nel meccanismo di rottura scelto la controsoletta è assente. Si considera, a favore di sicurezza, l'altezza del puntone pari a 2 volte il copriferro pari a circa 5 cm = 50 mm. Si riporta di seguito lo schema di calcolo della sella.

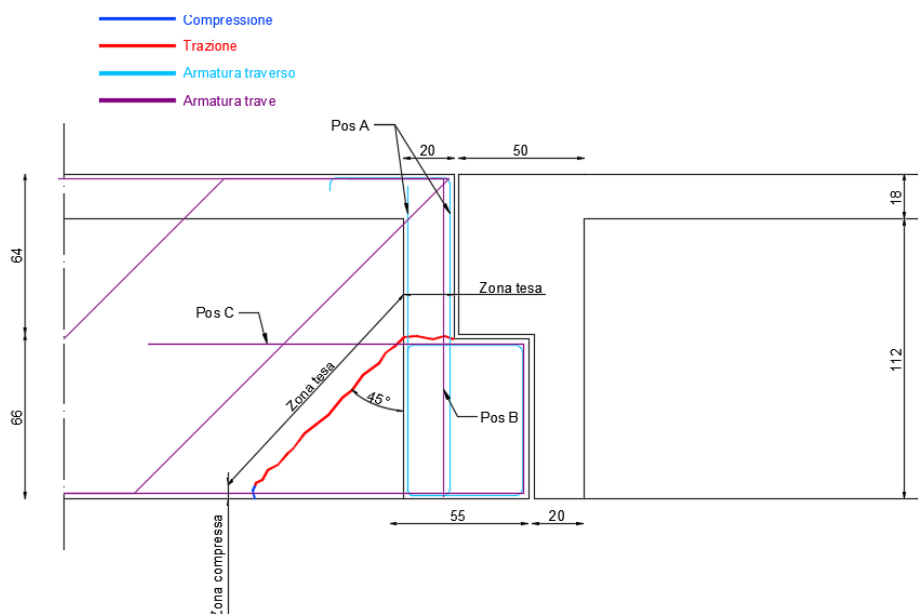


Figura 91 - Schema di calcolo sella ospitante H 130 cm

Dati comuni

$b_{Traverso} = 200 \text{ mm}$	$f_{yd} \text{ acciaio Aq50} = \frac{f_{yk-Aq50}}{\gamma_s \cdot FC} = \frac{265}{1,15 \cdot 1,2} = 192,03 \text{ MPa}$
$d = 1000 \text{ mm}$	$f_{yd} \text{ acciaio RUMI440} = \frac{f_{yk-RUMI440}}{\gamma_s \cdot FC} = \frac{440}{1,15 \cdot 1,2} = 318,84 \text{ MPa}$
$\gamma_{Mod} = 1,10$	

Trave/Sella di bordo	Trave/Sella centrale
$A_{f-PosA} = 2\Phi 10 = 157 \text{ mm}^2$ – Passo 300 mm → Tipo di acciaio: Aq50	$A_{f-PosA} = 2\Phi 10 = 157 \text{ mm}^2$ – Passo 300 mm → Tipo di acciaio: Aq50
$A_{f-PosB} = 1\Phi 26 = 531 \text{ mm}^2$ → Tipo di acciaio: RUMI440	$A_{f-PosB} = 1\Phi 24 = 452 \text{ mm}^2$ → Tipo di acciaio: RUMI440
$A_{f-PosC} = 2\Phi 22 + 1\Phi 26 = 1291 \text{ mm}^2$ → Tipo di acciaio: RUMI440	$A_{f-PosC} = 2\Phi 20 + 1\Phi 24 = 1080 \text{ mm}^2$ → Tipo di acciaio: RUMI440

Tabella 79 – Resistenza selle ospitanti Trave H 130 cm

Si precisa che nello schema riportato in Figura sopra sono indicate solo le armature del traverso e della trave (Pos. A-B & C) interessate dal meccanismo di rottura. La resistenza della sella è:

$$R_d = \frac{A_{f-PosA} \cdot f_{yd} \cdot \frac{d}{passo} + A_{f-PosB} \cdot f_{yd} + A_{f-PosC} \cdot f_{yd} \cdot \cos 45^\circ}{\gamma_{Mod}}$$

Per la verifica di tali selle sono state fatte le stesse ipotesi del caso precedente. Anche per questo caso, non disponendo dell'esecutivo dell'epoca e non avendo potuto indagare la sella in termini di armatura, per la posizione C sono state considerate le armature in analogia con le selle di H 85 cm trascurando gli ulteriori risvolti eventualmente presenti.

Si riportano di seguito i rapporti tra le azioni di progetto e le resistenze per le diverse combinazioni considerate.

Caso di carico	Trave/Sella di Bordo					Trave/Sella Centrale				
	Combinazione	Ed [kN]	Rd [kN]	Rd/Ed	Stato	Combinazione	Ed [kN]	Rd [kN]	Rd/Ed	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	896,92	665,33	0,742	NON VERIFICA	LCB5(max)	621,70	599,42	0,964	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB33	260,74		2,552	VERIFICA	LCB31	171,40		3,497	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	476,63		1,396	VERIFICA	LCB35(all)	390,91		1,533	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	383,82		1,733	VERIFICA	LCB43(all)	292,95		2,046	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	477,43		1,394	VERIFICA	LCB51(all)	384,78		1,558	VERIFICA

Tabella 80 – Verifiche selle ospitanti Trave H 130 cm

10.7.4 Verifiche a Taglio delle Travi in Corrispondenza delle Selle

Oltre alle verifiche riportate nei Paragrafi precedenti, nel seguito sono riportate le verifiche a taglio delle travi in corrispondenza delle selle.

Trave H 85 cm

Trave di bordo

Cis								Acciaio					VRd [kN]	
Type	f_{ck} [Mpa]	γ_c [-]	FC [-]	α_{cc1} [-]	f_{cd} [Mpa]	v [-]	f_{cd2} [Mpa]	Type	f_{yt} [Mpa]	f_{yk} [Mpa]	γ_s [-]	FC [-]		f_{yd} [Mpa]
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84	
Geometria								Armatura inclinata					Rottura Bilanciata	
Staffe				n. of arms				Alfa				θ [°]		
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	ϕ [mm]	Step [mm]	A_{tw} [mm ²]	n. [no.]	ϕ [mm]	Alfa [°]	A_{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]		421,10
200	850	25	800	2	10	250	157,08	1	26	45	530,93	Vrcd [kN]	421,10	
Eq														0,000264

Nota: se $\theta < 21,8^\circ \rightarrow$ assumere 21,8°; se $\theta > 45^\circ \rightarrow$ assumere 45°

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	Vrd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(max)	654,13	421,10	0,644	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	128,4		3,280	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	269,02		1,565	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	188,91		2,229	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	264,04		1,595	VERIFICA

Tabella 81 – Verifica a taglio trave H 85 cm di bordo (in prossimità della sella)

Trave centrale

Cls								Acciaio						VRd [kN]
Type	f _{ck} [Mpa]	γ _c [-]	FC [-]	α _{cc1} [-]	f _{cd} [Mpa]	v [-]	f _{cd2} [Mpa]	Type	f _{yt} [Mpa]	f _{yk} [Mpa]	γ _s [-]	FC [-]	f _{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84	412,67
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	27,81101	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	φ [mm]	Step [mm]	A _{tw} [mm ²]	n. [no.]	φ [mm]	Alfa [°]	A _{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	412,67	Rottura Bilanciata
200	850	25	800	2	10	250	157,08	1	24	45	452,39	Vrcd [kN]	412,67	
												Eq	6,46E-05	

Nota: se θ < 21,8° → assumere 21,8°; se θ > 45° → assumere 45°

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	VRd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(max)	472,21	412,67	0,874	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	105,58		3,909	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	257,81		1,601	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	170,31		2,423	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	247,39		1,668	VERIFICA

Tabella 82 - Verifica a taglio trave H 85 cm centrale (in prossimità della sella)

Trave H 130 cm

Trave di bordo

Cls								Acciaio						VRd [kN]
Type	f _{ck} [Mpa]	γ _c [-]	FC [-]	α _{cc1} [-]	f _{cd} [Mpa]	v [-]	f _{cd2} [Mpa]	Type	f _{yt} [Mpa]	f _{yk} [Mpa]	γ _s [-]	FC [-]	f _{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84	757,35
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	25,42617	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	φ [mm]	Step [mm]	A _{tw} [mm ²]	n. [no.]	φ [mm]	Alfa [°]	A _{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	757,35	Rottura Bilanciata
250	1300	25	1250	2	10	250	157,08	1	26	45	530,93	Vrcd [kN]	757,35	
												Eq	-5,4E-07	

Nota: se θ < 21,8° → assumere 21,8°; se θ > 45° → assumere 45°

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	VRd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB3(max)	968,4	757,35	0,782	NON VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB32	301,94		2,508	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB34(all)	544,54		1,391	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB42(all)	440,59		1,719	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB50(all)	543,1		1,394	VERIFICA

Tabella 83 - Verifica a taglio trave H 130 cm di bordo (in prossimità della sella)

Trave centrale

Cls								Acciaio						VRd [kN]
Type	f _{ck} [Mpa]	γ _c [-]	FC [-]	α _{cc1} [-]	f _{cd} [Mpa]	v [-]	f _{cd2} [Mpa]	Type	f _{yt} [Mpa]	f _{yk} [Mpa]	γ _s [-]	FC [-]	f _{yd} [Mpa]	
C25/30	25	1,5	1,2	1	13,89	0,50	6,94	RUMI440	680	440	1,15	1,2	318,84	740,68
Geometria				Staffe				Armatura inclinata				θ [°]	24,6643	
b [mm]	H [mm]	c [mm]	d [mm]	n. of arms [no.]	φ [mm]	Step [mm]	A _{tw} [mm ²]	n. [no.]	φ [mm]	Alfa [°]	A _{tw} [mm ²]	Vrsd [kN]	740,68	Rottura Bilanciata
250	1300	25	1250	2	10	250	157,08	1	24	45	452,39	Vrcd [kN]	740,68	
												Eq	-4E-06	

Nota: se θ < 21,8° → assumere 21,8°; se θ > 45° → assumere 45°

Caso di carico	Combinazione	Ved [kN]	VRd [kN]	Vrd/Ved	Stato
SLU Completa adeguatezza	LCB5(max)	635,55	740,68	1,165	VERIFICA
SLV Completa adeguatezza	LCB31	184,81		4,008	VERIFICA
SLU Transitabilità NTC2018	LCB35(all)	408,36		1,814	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	LCB43(all)	306,21		2,419	VERIFICA
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	LCB51(all)	396,75		1,867	VERIFICA

Tabella 84 - Verifica a taglio trave H 130 cm centrale (in prossimità della sella)

10.8 RIEPILOGO VERIFICHE DI SICUREZZA

Con riferimento alle sezioni esaminate (travi, pilastri/ritti, arco e selle), indicate nella Figura seguente, si riporta un riepilogo delle verifiche.

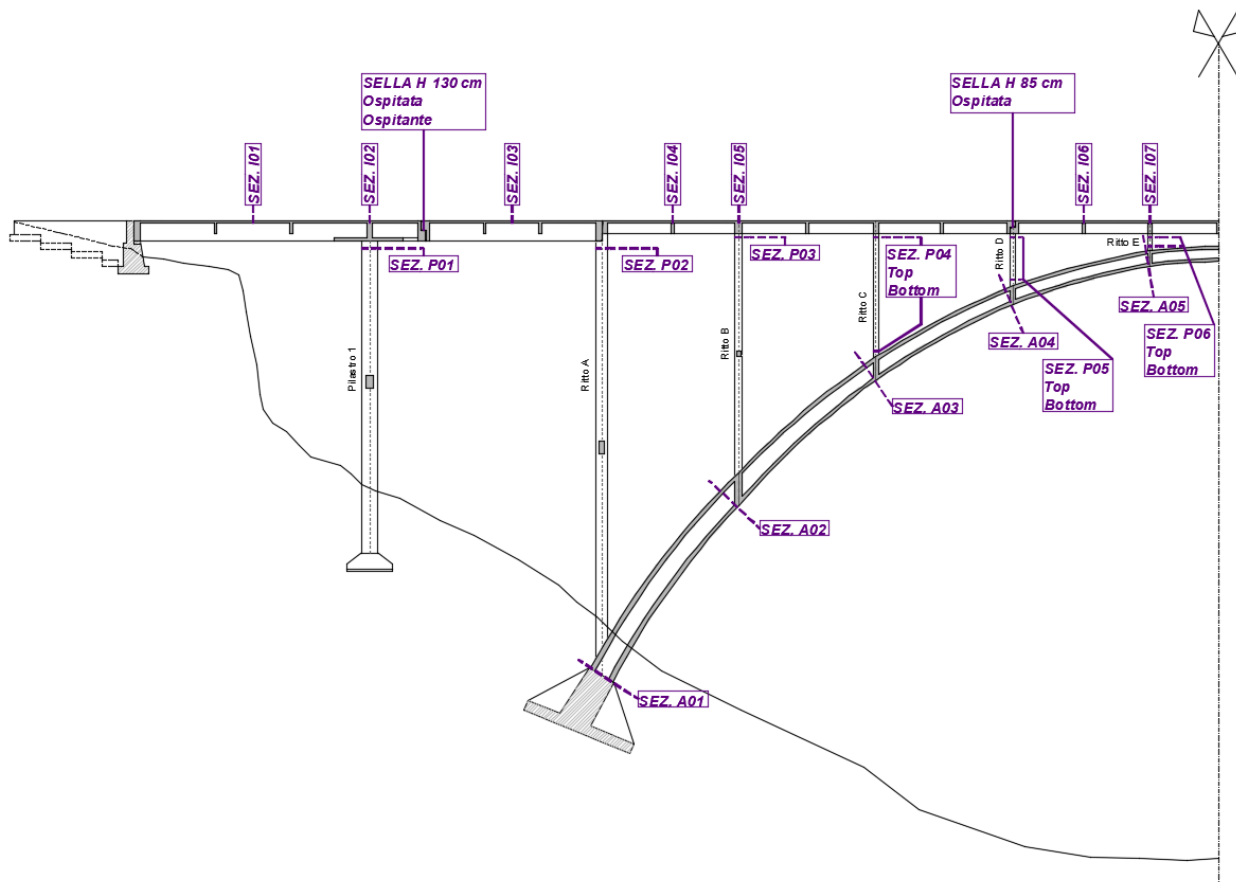


Figura 92 – Sezione di verifica

Si precisa che per le verifiche a presso-flessione dei pilastri/ritti e dell'arco è riportato il rapporto minimo di R_d/E_d del singolo caso di carico considerato.

Travi

Caso di carico	Mrd/Med													
	Sez. I01		Sez. I02		Sez. I03		Sez. I04		Sez. I05		Sez. I06		Sez. I07	
	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C
SLU Completa adeguatezza	0,586	0,622	0,561	0,605	0,681	0,704	0,645	0,791	0,633	0,715	0,591	0,687	0,739	0,887
SLV Completa adeguatezza	1,912	1,870	2,371	2,377	2,204	2,156	2,632	3,713	3,128	3,487	2,302	3,191	3,011	3,483
SLU Transitabilità NTC2018	1,045	1,000	0,864	0,850	1,141	1,077	1,374	1,377	1,148	1,066	1,278	1,217	1,245	1,216
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	1,439	1,442	1,112	1,102	1,480	1,416	1,833	2,029	1,504	1,473	1,731	1,832	1,584	1,576
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	1,064	1,030	0,907	0,890	1,150	1,092	1,392	1,405	1,207	1,142	1,295	1,222	1,292	1,250

Tabella 85 – Riepilogo verifiche a flessione travi (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO) – (B: trave di bordo – C: trave centrale)

Caso di carico	Vrd/Ved													
	Sez. I01		Sez. I02		Sez. I03		Sez. I04		Sez. I05		Sez. I06		Sez. I07	
	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C
SLU Completa adeguatezza	1,472	1,928	0,492	0,669	2,767	3,877	0,898	1,182	0,443	0,595	0,926	1,175	0,452	0,615
SLV Completa adeguatezza	5,325	6,913	1,615	2,109	18,348	29,501	3,547	10,352	2,201	2,684	3,342	9,067	1,931	2,234
SLU Transitabilità NTC2018	3,015	3,240	0,882	1,017	7,802	8,283	1,928	2,401	0,972	1,037	1,923	2,375	0,980	1,057
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	4,187	4,720	1,098	1,327	11,966	15,188	2,657	4,263	1,293	1,479	2,624	4,252	1,302	1,501
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	3,112	3,386	0,896	1,063	6,677	7,813	2,050	2,642	0,972	1,068	2,041	2,581	0,982	1,096

Tabella 86 - Riepilogo verifiche a taglio travi (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO) – (B: trave di bordo – C: trave centrale)

Pilastri e Ritti

Caso di carico	Rd/Ed (Presso-Flessione)					
	Sez. P01 (Pilastro 1)	Sez. P02 (Ritto A)	Sez. P03 (Ritto B)	Sez. P04 (Ritto C)	Sez. P05 (Ritto D)	Sez. P06 (Ritto E)
SLU Completa adeguatezza	0,934	1,018	1,176	0,829	0,543	0,653
SLV Completa adeguatezza	0,998	0,859	0,759	0,747	0,337	0,154
SLU Transitabilità NTC2018	1,626	1,734	1,951	1,649	1,090	1,356
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	2,399	2,175	3,515	2,345	1,654	2,440
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	1,609	1,741	2,065	1,679	1,183	1,378

Tabella 87 - Riepilogo verifiche a presso-flessione pilastri e ritti (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Caso di carico	Vrd/Ved					
	Sez. P01 (Pilastro 1)	Sez. P02 (Ritto A)	Sez. P03 (Ritto B)	Sez. P04 (Ritto C)	Sez. P05 (Ritto D)	Sez. P06 (Ritto E)
SLU Completa adeguatezza	2,153	4,639	4,360	1,777	0,700	0,417
SLV Completa adeguatezza	2,842	6,946	16,952	5,627	0,921	0,140
SLU Transitabilità NTC2018	3,596	7,363	8,274	3,152	1,430	0,729
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	5,545	10,102	13,984	4,897	2,584	1,343
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	3,574	7,385	8,404	3,234	1,485	0,746

Tabella 88 - Riepilogo verifiche a taglio pilastri e ritti (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Arco

Caso di carico	Rd/Ed (Presso-Flessione)				
	A01	A02	A03	A04	A05
SLU Completa adeguatezza	1,204	2,164	1,424	1,207	1,275
SLV Completa adeguatezza	1,338	2,993	2,561	1,639	3,478
SLU Transitabilità NTC2018	1,870	3,612	2,522	2,273	2,586
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	2,524	4,789	3,780	3,838	4,082
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	1,720	3,825	2,629	2,437	2,676

Tabella 89 - Riepilogo verifiche a presso-flessione arco (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Caso di carico	Vrd/Ved				
	A01	A02	A03	A04	A05
SLU Completa adeguatezza	0,795	1,267	1,268	1,117	0,807
SLV Completa adeguatezza	1,158	1,883	2,292	2,056	1,488
SLU Transitabilità NTC2018	1,101	1,734	1,889	1,799	1,274
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	1,265	1,962	2,253	2,415	1,614
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	1,031	1,625	1,861	1,878	1,323

Tabella 90 - Riepilogo verifiche a taglio arco (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Selle

Caso di carico	Rd/Ed (Rottura Generalizzata)					
	Sella H 85 cm di Bordo	Sella H 85 cm Centrale	Sella H 130 cm di Bordo "Ospitata"	Sella H 130 cm Centrale "Ospitata"	Sella H 130 cm di Bordo "Ospitante"	Sella H 130 cm Centrale "Ospitante"
SLU Completa adeguatezza	0,866	1,227	0,740	0,968	0,742	0,964
SLV Completa adeguatezza	3,413	4,548	2,544	3,511	2,552	3,497
SLU Transitabilità NTC2018	1,884	2,238	1,392	1,539	1,396	1,533
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	2,468	3,316	1,728	2,054	1,733	2,046
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	1,877	2,311	1,390	1,564	1,394	1,558

Tabella 91 - Riepilogo verifiche rottura generalizzata selle (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Caso di carico	Vrd/Ved					
	Sella H 85 cm di Bordo	Sella H 85 cm Centrale	Sella H 130 cm di Bordo "Ospitata"	Sella H 130 cm Centrale "Ospitata"	Sella H 130 cm di Bordo "Ospitante"	Sella H 130 cm Centrale "Ospitante"
SLU Completa adeguatezza	0,644	0,874	0,782	1,165	0,782	1,165
SLV Completa adeguatezza	3,280	3,909	2,508	4,008	2,508	4,008
SLU Transitabilità NTC2018	1,565	1,601	1,391	1,814	1,391	1,814
SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44 t	2,229	2,423	1,719	2,419	1,719	2,419
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da 44 t	1,595	1,668	1,394	1,867	1,394	1,867

Tabella 92 - Riepilogo verifiche a taglio travi in corrispondenza delle selle (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Come si evince dai risultati riportati nelle Tabelle precedenti, l'arco non presenta criticità dal punto di vista flessionale per tutti i casi di carico esaminati. Nell'arco sono presenti solo criticità a taglio per il caso di carico "SLU Completa adeguatezza – MOVE 1" che, considerata la presenza di un nodo molto rigido in fondazione e di traversi rigidi in corrispondenza delle sezioni esaminate, sono da ritenersi poco rilevanti. Si può quindi concludere che per quanto concerne l'arco non sono presenti carenze per tutti i casi di carico esaminati.

I pilastri/ritti presentano carenze a flessione per i casi di carico "SLU Completa adeguatezza" & "SLV Completa adeguatezza (Sisma)"; mentre risultano verificati per i casi di carico relativi alla transitabilità. Dal punto di vista delle azioni taglianti sono presenti carenze nei ritto più tozzi (Ritto D & Ritto E), fatta eccezione per il caso di carico "SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44".

Le travi di impalcato presentano carenze diffuse a flessione e taglio per i diversi casi di carico considerati, fatta eccezione per il caso di carico "SLU Transitabilità CdS 1 Corsia da 44". Infine, le selle Gerber presentano criticità per il solo caso di carico "SLU Completa adeguatezza".

Con riferimento alla transitabilità per carichi del codice della strada, è possibile concludere che per il caso di carico "SLU Transitabilità CdS a una corsia centrale da 44 t" tutte le verifiche risultano soddisfatte, mentre, per il caso di carico "SLU Transitabilità CdS a due corsie centrali da 44 t" sono presenti alcune carenze nei confronti delle azioni flettenti negative sulle travi di impalcato e alcune carenze a taglio sulle travi e sui pilastri/ritti.

Sulla base dei risultanti ottenuti, si è deciso quindi di considerare un ulteriore schema di carico relativo alla transitabilità del Codice della Strada che prevede due corsie centrali rispettivamente di 44 t e 7,5 t con divieto di sorpasso ai mezzi pesanti per evitare che due autoarticolati da 44 t possano viaggiare affiancati sul ponte. Tale disposizione del carico, con due corsie centrali di cui quella di marcia (lato marciapiede) destinata a tutti i mezzi inclusi quelli pesanti (44 t) e quella di sorpasso destinata ai soli mezzi leggeri (7,5 t), è funzionale alla valutazione del livello di sicurezza nel caso di transitabilità CdS in un possibile scenario futuro che agevoli il traffico sul ponte prima dell'inizio degli interventi di risanamento.

11 VERIFICHE DI TRANSITABILITÀ FINALI (44 t + 7,5 t)

Poiché tutte le verifiche per il caso di carico "SLU Transitabilità CdS a una corsia centrale da 44 t" risultano soddisfatte con discreto/buono margine di sicurezza, mentre per il caso di carico "SLU Transitabilità CdS (Codice della Strada) a due corsie centrali da 44 t" sono presenti alcune carenze; è stata analizzata una soluzione intermedia che prevede due corsie centrali da 44 t e 7,5 t, con il preciso scopo di agevolare il traffico sul ponte nel rispetto delle condizioni minime di sicurezza. Occorre precisare che tale soluzione prevede un carico totale sulla singola carreggiata del ponte di $44\text{ t} + 7,5\text{ t} = 51,5\text{ t}$. Tale carico risulta inferiore a quello già indicato da chi scrive nella nota del 04/12/2021 in cui si erano prospettati alla Committenza due possibili scenari sulla base dei risultati delle prime indagini e delle prime valutazioni di sicurezza:

1. Due corsie centrali da 26 t (carico totale su singola carreggiata di 52 t).
2. Una corsia centrale da 44 t, qualora non fosse possibile controllare in continuo la massa degli autoveicoli.

Per la valutazione del livello di sicurezza nel caso di transitabilità CdS 44 t + 7,5 t è stato considerato un carico corrispondente ad un autoarticolato a 5 assi da 440 kN (44 t), limitazione standard del Codice della Strada; distribuiti su una lunghezza di 11,00 m; oltre al carico distribuito. Tale caso è definito come "Transitabilità ai mezzi pesanti".

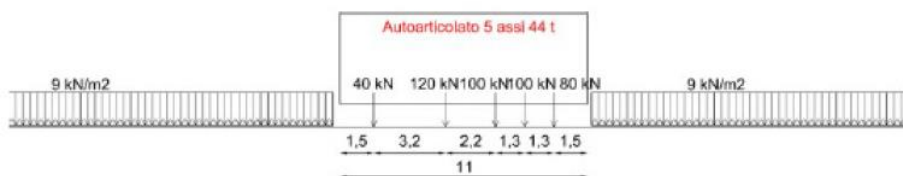


Figura 93 - Schema di carico transitabilità CdS Pesante (Linee Guida 2020)

Tale carico è stato considerato in una delle due corsie centrali (corsia di marcia destra lato marciapiede). Nell'ulteriore corsia di sorpasso è stato considerato uno schema di carico corrispondente ad un'altra limitazione da Codice della Strada, costituita dal mezzo da 75 kN ovvero un mezzo "leggero". La definizione dello schema di carico corrispondente è riportata nella Figura seguente. Tale caso è definito anche come "Transitabilità ai mezzi leggeri".

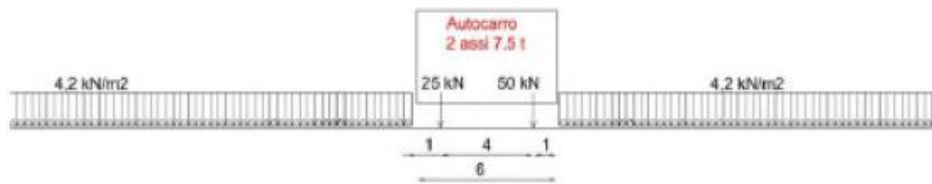


Figura 94 - Schema di carico transibilità CdS mezzi leggeri (Linee Guida 2020)

Con riferimento alle Figura sopra, si precisa che trasversalmente i carichi concentrati sono stati assunti con interasse di 2,0 m. Il carico distribuito non è applicato in corrispondenza dei carichi concentrati.

Come ribadito in precedenza, per lo schema in esame si sono considerate due corsie aperte al centro della carreggiata con carico previsto dalla Linee guida per la "Transitabilità ai mezzi pesanti" in una corsia, e "Transitabilità ai mezzi leggeri" nell'altra. Nel seguito sono valutati i coefficienti di Courbon per lo schema in esame.

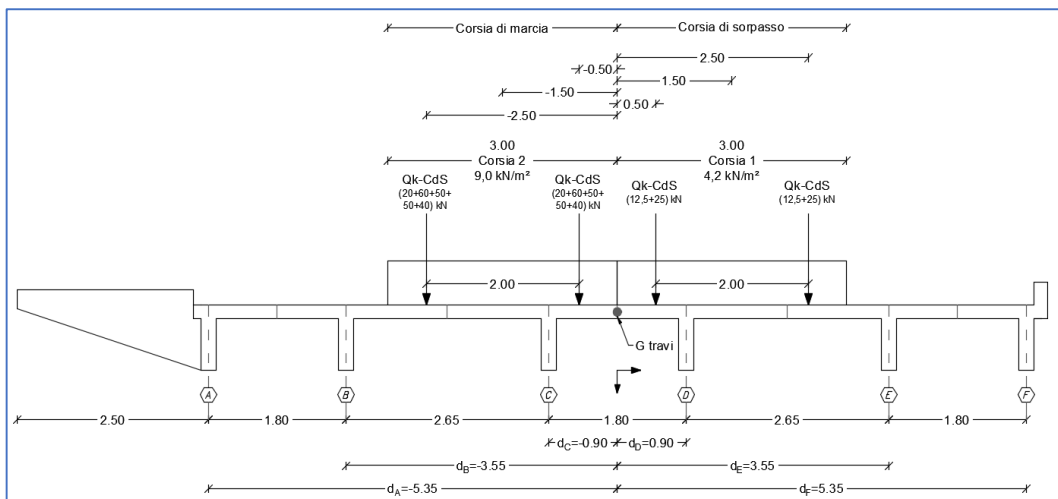


Figura 95 - Schema Transitabilità CdS 44 t + 7,5 t

Ripartizione Carichi Tandem (Courbon)										
Travi			Tandem 1° Corsia (Transitabilità Mezzi Leggeri)		Tandem 2° Corsia (Transitabilità Mezzi Pesanti)					
N. travi	6		Qk-CdS [kN]	var	Qk-CdS [kN]	var	Qk-CdS [kN]	var		
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m²]	e [m]	2,5	e [m]	0,5	e [m]	-0,5	e [m]	-2,5
			k1		k2		k3		k4	
A	-5,35	84,07	0,0076		0,1348		0,1985		0,3258	
B	-3,55		0,0611		0,1456		0,1878		0,2722	
C	-0,9		0,1399		0,1613		0,1720		0,1934	
D	0,9		0,1934		0,1720		0,1613		0,1399	
E	3,55		0,2722		0,1878		0,1456		0,0611	
F	5,35		0,3258		0,1985		0,1348		0,0076	

Ripartizione Carichi Distribuiti (Courbon)								
Travi			Distribuito 1° Corsia (Transitabilità Mezzi Leggeri)		Distribuito 2° Corsia (Transitabilità Mezzi Pesanti)			
N. travi	6		L. Corsia [m]	3		L. Corsia [m]	3	
Id Trave	di [m]	$\sum d_i^2$ [m²]	e [m]	1,5		e [m]	-1,5	
			k1		k2			
A	-5,35	84,07	0,0712		0,2621			
B	-3,55		0,1033		0,2300			
C	-0,9		0,1506		0,1827			
D	0,9		0,1827		0,1506			
E	3,55		0,2300		0,1033			
F	5,35		0,2621		0,0712			

Tabella 93 - Schema Transitabilità CdS 44 t + 7,5 t - Ripartizione Carichi Tandem e Distribuiti (Courbon)

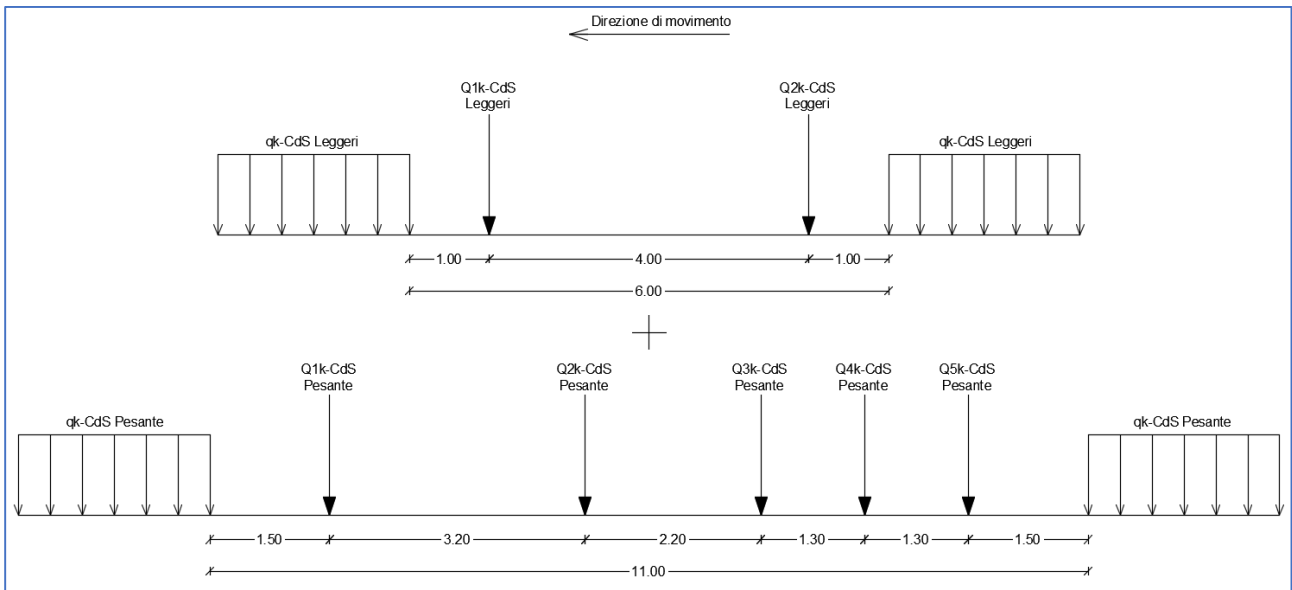


Figura 96 – Schema Transitabilità CdS 44 t + 7,5 t – Disposizione carichi su singola trave

Con riferimento alla Figura precedente, i carichi agenti su ogni singola trave sono riportati nella Tabella seguente.

Id Trave	Transitabilità Mezzi Leggeri			Transitabilità Mezzi Pesanti					
	Concentrati		Distribuiti	Concentrati					Distribuiti
	Q1k [kN]	Q2k [kN]	qk [kN/m]	Q1k [kN]	Q2k [kN]	Q3k [kN]	Q4k [kN]	Q5k [kN]	qk [kN/m]
A	1,78	3,56	0,90	10,48	31,45	26,21	26,21	20,97	7,08
B	2,58	5,17	1,30	9,20	27,60	23,00	23,00	18,40	6,21
C	3,77	7,53	1,90	7,31	21,93	18,27	18,27	14,62	4,93
D	4,57	9,14	2,30	6,02	18,07	15,06	15,06	12,05	4,07
E	5,75	11,50	2,90	4,13	12,40	10,33	10,33	8,27	2,79
F	6,55	13,11	3,30	2,85	8,55	7,12	7,12	5,70	1,92

Tabella 94 - Schema Transitabilità CdS 44 t+ 7,5 t – Carichi su singola trave

Le combinazioni adottate sono le seguenti:

Combinazione	G1	G2	MOVE			
			Qk Tandem	Qk Distribuiti	qs Vento	q ₇ Temp.
LCB01_Def	1,26	1,26	1,60	1,60	0,00	0,00
LCB02_Def	1,26	1,26	1,60	1,60	1,26x0,6	1,26x0,6
LCB03_Def	1,26	1,26	1,60	1,60	1,26x0,6	-1,26x0,6
LCB04_Def	1,26	1,26	0,00	0,00	1,26	0,00
LCB05_Def	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26	1,26x0,6
LCB06_Def	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26	-1,26x0,6
LCB07_Def	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26x0,6	1,26
LCB08_Def	1,26	1,26	0,75x1,60	0,40x1,60	1,26x0,6	-1,26

Azione variabile principale

Tabella 95 - Combinazioni Transitabilità CdS (2 corsie centrali 44 t + 7,5 t)

Per i carichi permanenti, vento e temperatura si rimanda al Paragrafo 10.3 della presente relazione.

Si riportano di seguito le verifiche delle travi di impalcato e dei pilastri/ritti in corrispondenza delle sezioni già analizzate nei casi precedenti. Si omettono le verifiche dell'arco e delle selle in quanto tali elementi risultano verificati per carichi maggiori di quello ora in esame.

Travi

Caso di carico	Mrd/Med													
	Sez. I01		Sez. I02		Sez. I03		Sez. I04		Sez. I05		Sez. I06		Sez. I07	
	B	C	B	C	B	C	B	B	C	B	C	B	C	B
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da (44 t + 7,5 t)	1,351	1,318	1,016	1,001	1,425	1,342	1,561	1,854	1,369	1,318	1,463	1,649	1,427	1,399

Tabella 96 - Riepilogo verifiche a flessione travi (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO) – (B: trave di bordo – C: trave centrale)

Caso di carico	Vrd/Ved													
	Sez. I01		Sez. I02		Sez. I03		Sez. I04		Sez. I05		Sez. I06		Sez. I07	
	B	C	B	C	B	C	B	B	C	B	C	B	C	B
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie (44 t + 7,5t)	3,464	4,274	1,005	1,240	10,082	12,242	2,278	3,606	1,159	1,356	2,261	3,514	1,163	1,381

Tabella 97 - Riepilogo verifiche a taglio travi (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO) – (B: trave di bordo – C: trave centrale)

Pilastrini e Ritti

Caso di carico	Rd/Ed (Presso-Flessione)					
	Sez. P01 (Pilastrino 1)	Sez. P02 (Ritto A)	Sez. P03 (Ritto B)	Sez. P04 (Ritto C)	Sez. P05 (Ritto D)	Sez. P06 (Ritto E)
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie (44 t + 7,5t)	2,064	1,915	2,838	1,891	1,177	1,593

Tabella 98 - Riepilogo verifiche a presso-flessione pilastrini e ritti (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Caso di carico	Vrd/Ved					
	Sez. P01 (Pilastrino 1)	Sez. P02 (Ritto A)	Sez. P03 (Ritto B)	Sez. P04 (Ritto C)	Sez. P05 (Ritto D)	Sez. P06 (Ritto E)
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie (44 t + 7,5t)	4,632	9,306	10,776	4,048	1,864	1,028

Tabella 99 - Riepilogo verifiche a taglio pilastrini e ritti (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Le verifiche sono tutte soddisfatte, con valori quasi unitari del rapporto capacità/domanda in alcuni casi, soprattutto nei ritti, ma sempre all'interno dei coefficienti di sicurezza adottati per le verifiche a SLU.

12 VERIFICHE IN PRESENZA DI CORROSIONE

Le verifiche di transitabilità considerando due corsie centrali da 44 t e 7,5 t, sono tutte soddisfatte. Tuttavia tali risultati sono riferiti ad una condizione integra delle sezioni e delle relative armature (barre longitudinali e staffe), con i relativi coefficienti di sicurezza a SLU e un fattore di confidenza $FC = 1,20$. Si reputa che questi siano sufficienti a coprire le situazioni di corrosione diffusa di lieve entità, ma come ampiamente discusso nel "Paragrafo 6 – Stato di Conservazione – Degrado", è possibile stimare nelle zone maggiormente degradate una corrosione elevata, che si traduce in una perdita di sezione che può arrivare anche al 30÷40 % nelle staffe e nei ferri longitudinali più esterni, maggiormente degradati. In alcuni casi è anche presente un'apertura completa di alcune staffe per perdita di sezione e rottura conseguente alla corrosione. Ciò avviene in alcune sezioni particolarmente degradate delle travi di bordo e dei ritti a causa della percolazione delle acque. Quindi si è ritenuto necessario operare alcune ulteriori verifiche locali in queste sezioni, considerando la corrosione in modo più specifico, alla luce delle risultanze delle indagini in situ.

Considerata tale situazione, con riferimento alla transitabilità 44 + 7,5 t, sono state eseguite delle verifiche per:

- i ritti maggiormente degradati (Ritti D e Ritti E);
- le travi di bordo in corrispondenza dell'attacco con il Ritto C;
- le travi di bordo in corrispondenza dell'attacco con il Ritto D;
- le travi di bordo della campata tampone in corrispondenza del cantilever.

Le sezioni delle travi prese in esame sono quelle che presentano un rapporto più elevato tra sollecitazione indotta dai carichi e corrosione. Nelle verifiche, la corrosione è stata considerata applicando le seguenti riduzioni:

Ritti

- una riduzione in massa di tutte le barre longitudinali del 30% (70% di area residua, rispetto alle armature integre);
- l'assenza di staffe, in quanto aperte e non più efficaci a taglio.

Travi

- una riduzione di tutte le barre longitudinali del 30% (70% di area residua, rispetto alle armature integre);

- una riduzione delle staffe dell'80% (20% di area residua, rispetto alle armature integre).

Tali verifiche sono state condotte allo stato limite ultimo, al fine di valutare il coefficiente di sicurezza secondo la norma. Nelle verifiche a presso-flessione dei ritti, la resistenza caratteristica del calcestruzzo è stata ridotta del 30% al fine di tenere in conto la riduzione della sezione di cls per la mancanza del copriferro. Sempre nei ritti, l'assenza delle staffe in prossimità del nodo, dovuta alla corrosione, modifica il comportamento resistente a taglio. Se infatti si adottasse il modello resistente a traliccio con inclinazione variabile, si avrebbe un contributo dell'armatura a taglio insufficiente con coefficienti di sicurezza non accettabili. In presenza di sforzo normale invece, nei ritti, è possibile pensare che il comportamento resistente si avvicini maggiormente a quello degli elementi non specificatamente armati a taglio, per cui le verifiche possono essere condotte valutando la resistenza con la formula prevista dalla normativa per elementi non armati a taglio (§ 4.1.2.3.5.1 NTC 2018). Per le travi, essendo presente l'armatura inclinata all'interno dell'elemento nelle sezioni esaminate (considerata non corrosa) e non essendo presente sforzo normale, le verifiche a taglio sono state condotte invece mantenendo il comportamento resistente del traliccio ad inclinazione variabile. Le sezioni di verifica sono le seguenti:

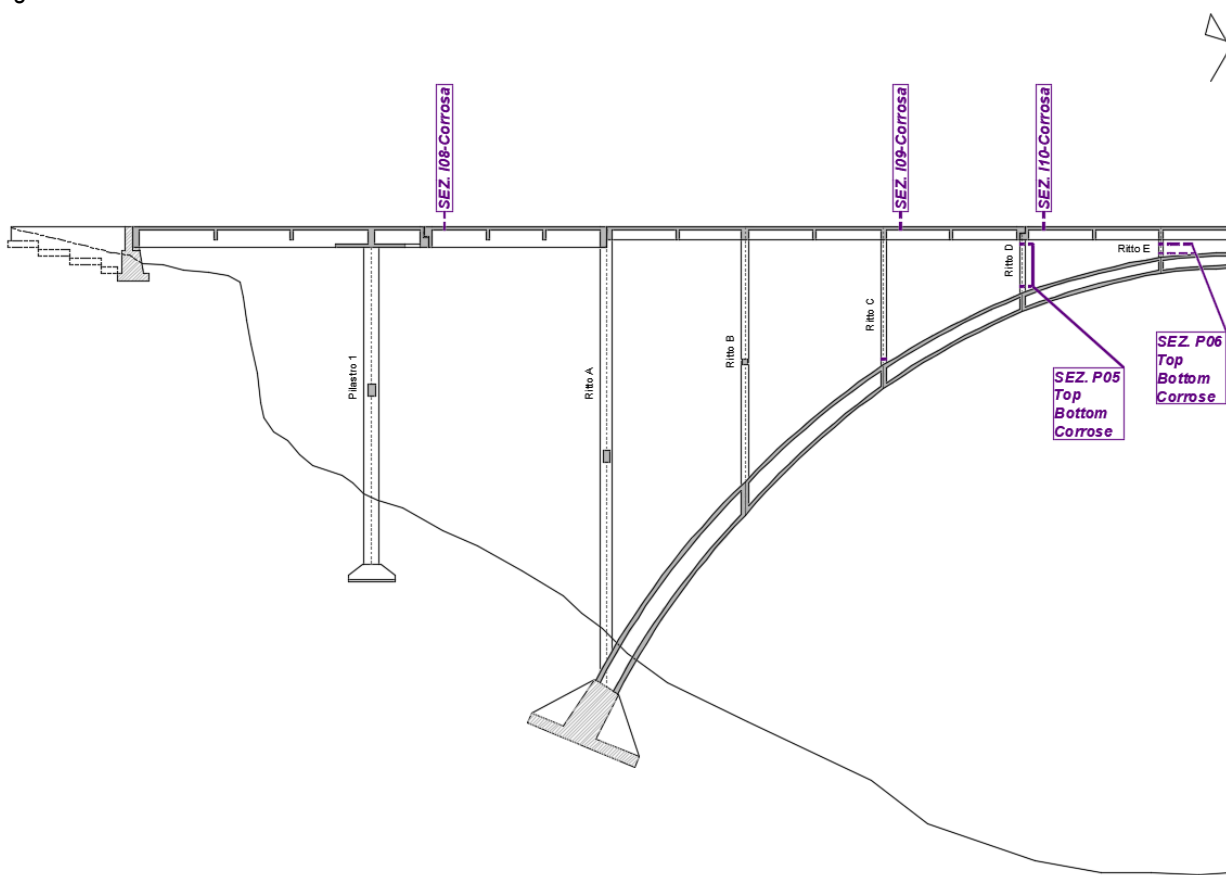


Figura 97 – Sezioni di verifica zone corrose

Si riportano di seguito i risultati.

Ritti corrosi – Verifiche NTC SLU

Caso di carico	Rd/Ed (Presso-Flessione)	
	Sez. P05 Corrosa (Ritto D)	Sez. P06 Corrosa (Ritto E)
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie (44 t + 7,5t)	1,001	1,438

Tabella 100 - Riepilogo verifiche SLU a presso-flessione ritto corrosi (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Caso di carico	Vrd/Ved	
	Sez. P05 Corrosa (Ritto D)	Sez. P06 Corrosa (Ritto E)
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie (44 t + 7,5t)	2,048	1,225

Tabella 101 - Riepilogo verifiche SLU a taglio ritto corrosi (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Travi corrose – Verifiche NTC SLU

Caso di carico	Mrd/Med		
	Sez. I08 Corrosa	Sez. I09 Corrosa	Sez. I10 Corrosa
	Bordo	Bordo	Bordo
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da (44 t + 7,5 t)	2,732	1,959	1,497

Tabella 102 - Riepilogo verifiche SLU a flessione travi corrose (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Caso di carico	Vrd/Ved		
	Sez. I08 Corrosa	Sez. I09 Corrosa	Sez. I10 Corrosa
	Bordo	Bordo	Bordo
SLU Transitabilità CdS 2 Corsie da (44 t + 7,5 t)	1,458	1,183	1,732

Tabella 103 - Riepilogo verifiche SLU a taglio travi corrose (Rosso: NON VERIFICATO - Verde: VERIFICATO)

Tutte le verifiche risultano soddisfatte, sebbene in alcuni casi con coefficienti molto vicini all'unità (ritto D).

13 IL CAVEDIO NELLO SPARTITRAFFICO

Come ribadito più volte, tra i due ponti è presente un cavedio costituito da lastre di acciaio sostenute da profili metallici a L saldati a formare una "U" con passo medio di 50 cm e inghisati alle travi di bordo; tale cavedio contiene numerosi sottoservizi tra cui due tubi AMAP dell'acquedotto. Pur non avendo una funzione strutturale e non essendo correlato alle azioni da traffico, occorre segnalare che il cavedio presenta un forte stato di degrado. Infatti, le coppelle in cls superiori in alcuni tratti risultano rotte e i frammenti, anche di grandi dimensioni, sono all'interno dello stesso cavedio. Inoltre, le lastre di acciaio su cui sono appoggiati i tubi AMAP non sono più fissate ai profili metallici e versano in condizione di equilibrio precario, con qualche pannello mancante, che è precipitato nella valle sottostante. Infine, è stato riscontrato che molti dei tirafondi che collegano i profili metallici a L risultano privi di dado di serraggio oltre a essere ossidati come anche tutti gli elementi metallici che costituiscono il cavedio. La struttura va quindi del tutto revisionata e rinforzata, sia negli elementi di sostegno degli impianti, sia nel fissaggio agli elementi strutturali del ponte.



Figura 98 – Foto cavedio

14 CONCLUSIONI DELLE VALUTAZIONI DI SICUREZZA E IPOTESI DI MASSIMA DEGLI INTERVENTI

In definitiva, dalle valutazioni effettuate, è possibile fare le seguenti considerazioni generali.

Nello stato attuale il ponte è soggetto ad estesi fenomeni di degrado ancora in progresso e nonostante gli interventi recenti sui giunti si evidenziano ancora vistose e dannose infiltrazioni d'acqua che ne accelerano il degrado. Inoltre, alcuni elementi strutturali appaiono compromessi e necessitano opere di risanamento urgenti. In particolare, i ritti "A" in corrispondenza dell'intervento del 2002 lato Roccella presentano un elevato stato di degrado, così come la trave tampone tra il pilastro 1 e il ritto A per tutti gli impalcati. Questa risulta la situazione maggiormente significativa nei riguardi della sicurezza. Tutta la campata di approccio, anche per le verifiche a flessione e taglio degli elementi più sollecitati presenta vistose carenze. Altre carenze dipendono dal degrado del calcestruzzo e delle armature per corrosione, in particolare per tutte le stilate gravanti sull'arco, nelle zone inferiori di incastro sugli arconi, e per le travi di bordo all'attacco con Ritti C e

D. Alcune verifiche dei ritti inoltre segnalano coefficienti di sicurezza ridotti per questi elementi. Lo stato di degrado per carbonatazione e per dilavamento dovuto agli agenti atmosferici è diffuso ed è progredito in modo evidente confrontando le ispezioni del 2002, del 2009, del 2016-2018 ed attuali. Va inoltre segnalata una corrosione significativa delle armature più esposte nelle travi di bordo in prossimità delle selle Gerber, dove maggiore è stata la percolazione delle acque.

Nelle sezioni correnti la struttura ha mostrato insufficienze diffuse solo nei riguardi dell'attuale normativa, ovvero nelle combinazioni delle azioni che corrispondono ad un completo adeguamento alle Norme Tecniche del 2018. Dalle valutazioni tecniche sopra effettuate, nelle varie configurazioni di traffico considerate, il coefficiente di sicurezza si ritiene accettabile per una condizione di transitabilità, secondo quanto previsto dalle Linee Guida 2020, limitata a due corsie di $44 + 7,5$ t centrate trasversalmente su ogni carreggiata. In tale situazione, tutte le verifiche di sicurezza sono soddisfatte con coefficienti di sicurezza maggiori dell'unità ma con la limitazione che l'arco temporale di validità delle valutazioni di transitabilità è un periodo di riferimento $T_{ref} = 5$ anni, entro cui vanno realizzati gli interventi di adeguamento della struttura. Resta inteso che la tempistica è da rispettare in modo rigoroso, diversamente occorre valutare se consentire o meno l'ulteriore esercizio del ponte. Gli esiti delle verifiche, e l'iter di pianificazione, progettazione ed esecuzione degli interventi devono essere segnalati in banche dati istituzionali regionali o nazionali.

Tuttavia, sebbene lo stato di degrado sia diffuso ed alcuni elementi presentino una maggiore vulnerabilità con coefficienti di sicurezza ridotti che compromettono l'attuale operatività del ponte, si deve riconoscere una certa robustezza complessiva della struttura, dovuta ai traversi continui nelle selle Gerber, alle luci limitate delle campate tra i ritti, ad un limitato ma efficace grado di iperstaticità della zona centrale dell'impalcato e alle dimensioni degli archi.

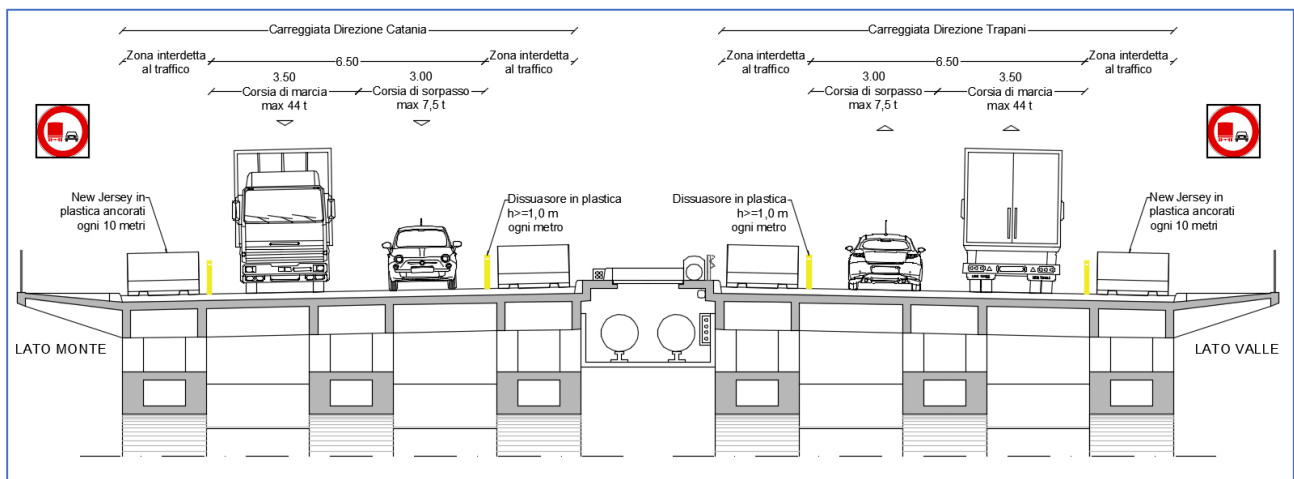


Figura 99 – Disposizione corsie transitabilità 44 + 7,5 t

La situazione rilevata sul ponte Corleone è, del resto, comune a molti ponti costruiti tra il 1950 ed il 1970, che hanno segnato la storia della ricostruzione post-bellica e del successivo periodo d'oro delle infrastrutture italiane.

La conservazione delle strutture in calcestruzzo armato del XX secolo costituisce infatti uno dei temi più rilevanti nella conservazione architettonica e infrastrutturale contemporanea nonché dell'adeguamento funzionale e strutturale, per ponti in cui l'incremento dei livelli di traffico reale negli anni incide in maniera significativa. Ma è evidente anche che in progetti infrastrutturali come i ponti, ci si trova all'interfaccia tra le discipline dell'architettura e dell'ingegneria civile, per cui gli aspetti tecnici diventano significativi per la conservazione. Attualmente, un gran numero di ponti europei costruiti durante lo sviluppo infrastrutturale all'indomani della Seconda guerra mondiale stanno ora raggiungendo il loro valore nominale della vita utile di progetto. La maggior parte di essi presenta problemi di manutenzione e ciò costituisce una problematica strutturale significativa. Questo vale anche per molti ponti "storici" progettati e costruiti da ingegneri italiani di grande valore come Riccardo Morandi, Silvano Zorzi, Sergio Musmeci, Carlo Cestelli Guidi, Pier Luigi Nervi, Fabrizio De Miranda e tanti altri. I loro approcci erano basati su una combinazione molto particolare di tecnologie costruttive innovative, come la prefabbricazione e il cemento armato precompresso con post-tensione, insieme alle pratiche edilizie tradizionali. Questo straordinario risultato dell'Italia nel boom economico del secondo dopoguerra rappresenta ancora oggi un riferimento importante per la progettazione dei ponti contemporanei.

Dopo il crollo del Viadotto Polcevera di Morandi a Genova nel 2018, particolare attenzione viene posta sui ponti esistenti in cemento armato, al fine di trovare strategie per la loro conservazione e per il loro adeguamento. Il ponte Corleone rappresenta un'opera ingegneristica di grande impegno, appartenente alla famiglia dei grandi ponti ad arco in calcestruzzo armato, utilizzati non solo nell'Autostrada del Sole nelle vallate dell'Appennino e nella Salerno-Reggio Calabria ma anche in Sicilia a Ragusa e Porto Empedocle, facendo sicuramente parte del gruppo di ponti, molto importanti nella storia e nell'evoluzione delle infrastrutture italiane e di grande valore tecnico. È necessario quindi porre l'attenzione sugli obiettivi di conservazione, risanamento ed adeguamento. Non è infatti pensabile una demolizione e ricostruzione di opere di questo tipo solo perché presentano stati di degrado come quelli rilevati nel ponte oggetto di studio, specialmente alla luce delle tecnologie moderne disponibili per gli interventi di risanamento.

La sua demolizione non risulta giustificabile per diversi motivi:

- perdita del patrimonio infrastrutturale di pregio italiano e di tecnologie all'avanguardia nonché di conoscenza della storia tecnica del Paese;
- perdita economica dovuta alla distruzione di opere risanabili;
- perdita economica dovuta ai tempi di chiusura di un'opera che si demolisce e ricostruisce con enormi disagi dell'utenza;
- impatto sull'ambiente e sul territorio per spreco di energia e materiali, nonché problemi di smaltimento delle macerie post-demolizione;
- impatto economico e sulle risorse disponibili, dovuto agli enormi costi sia delle demolizioni che delle ricostruzioni di ponti di queste dimensioni.

Nel caso specifico una demolizione e ricostruzione del ponte porterebbe a forti impatti sulla Valle dell'Oreto (futuro Parco dell'Oreto) da un punto di vista ambientale, un impatto eccessivo alla circolazione veicolare in una situazione con bassissima resilienza delle rete infrastrutturale, per cui una chiusura prolungata, anche parziale, di una sola carreggiata porterebbe a eccessivi disagi per gli utenti, in assenza di reali alternative per il traffico, tranciando di fatto il collegamento da Messina e Catania per Trapani e con l'aeroporto Falcone-Borsellino di Palermo creando un caos irrisolvibile nel traffico della città. Naturalmente ciò va correlato con la situazione che emerge dalle verifiche di sicurezza, la quale non giustificerebbe un tale dispendio di risorse.

Per quanto sopra, la situazione complessiva del ponte fa protendere per un intervento integrale di risanamento conservativo delle strutture o anche di adeguamento strutturale alle norme attuali. Tale situazione è di gran lunga preferibile ad una parziale o totale demolizione e ricostruzione del ponte, che per la situazione attuale non è certamente giustificabile. Infatti, la soluzione di risanamento conservativo o adeguamento strutturale consente di ricondurre l'opera alla sua completa funzionalità, con tempi ridotti di realizzazione degli interventi, limitando anche i disagi per il traffico cittadino ed i tempi di chiusura parziale delle carreggiate, rispetto ad interventi più invasivi.

Per quanto riguarda la tipologia degli interventi che si giudicano necessari e possibili, si individuano le seguenti direttrici, lasciando al progettista del risanamento del ponte i necessari approfondimenti progettuali ed esecutivi:

- Realizzazione di un efficace sistema di captazione e allontanamento delle acque di piattaforma stradale, attualmente del tutto insufficiente ed anzi dannoso in quanto favorisce il degrado delle strutture.
- Demolizione degli sbalzi laterali di 2.50 m per carreggiata (marciapiedi), con riduzione in larghezza della piattaforma stradale di circa il 20%, comunque necessaria e già prevista per la realizzazione dei ponti laterali. Orientativamente tale demolizione comporta una riduzione del peso strutturale di circa 2000 kg/m per un totale di 280 t su ognuno dei ponti gemelli e l'eliminazione del relativo carico mobile agente con la massima eccentricità di altri 1000 kg/m. Ciò indurrebbe anche una maggiore simmetria di comportamento trasversale, in quanto la struttura è al momento trasversalmente asimmetrica proprio in virtù dello sbalzo del marciapiede, presente solo da un lato su ognuno dei ponti gemelli. La riduzione può risultare molto significativa anche nella verifica alle azioni sismiche orizzontali non previste nel progetto originario del 1958.
- Sostituzione delle quattro campate tampone con un nuovo impalcato misto acciaio-calcestruzzo e connessione con le strutture tra la campata di approccio (di tipo cantilever con sbalzo) e i primi ritzi sopra l'arco. Ciò riduce ulteriormente i pesi nella zona più delicata del ponte ed oggi maggiormente compromessa, facilitando anche le

connessioni tra la nuova struttura metallica e le strutture in calcestruzzo esistenti, con la possibilità di realizzare una continuità strutturale.

- Eliminazione dei giunti, modificando l'attuale assetto statico dell'impalcato in struttura a trave continua per eliminare radicalmente le infiltrazioni sulle sottostrutture; ciò comporta la nuova progettazione e realizzazione dei nodi di collegamento tra le travi di impalcato e le teste delle pile che lo sostengono, con un nuovo ed opportuno dimensionamento delle armature dei nodi e delle staffe per incrementarne la duttilità. La riduzione dei pesi strutturali complessivi di cui ai punti precedenti, associata con l'aumento del grado di iperstaticità delle strutture costituisce un decisivo miglioramento strutturale dell'esistente ed un incremento significativo di robustezza strutturale.
- Solidarizzazione delle selle Gerber trasversalmente continue, tra traversi adiacenti, con getti di malte tixotropiche sigillanti, previa eliminazione di tutte le impurità, e cucitura con precompressione della coppia di traversi con barre Dywidag.
- Inserimento di setti trasversali tra i pilastri accoppiati delle stilate di collegamento tra impalcato ed archi nelle zone centrali di impalcato, che si presentano fortemente degradate alle estremità a causa del percolamento delle acque meteoriche. I setti potrebbero costituire un benefico irrigidimento alle azioni sismiche trasversali.
- Ricostituzione corticale ed eventuale integrazione di armature, staffe e copriferro mancanti negli archi, soprattutto nelle zone più colpite dal degrado per percolamento delle acque e carbonatazione.
- Realizzazione e ricostituzione delle nuove superfici di giunto e appoggio con inserimento di nuovi appoggi in neoprene o acciaio-teflon e nuovi giunti nelle travi delle campate di approccio, sulle spalle.
- Rinforzo delle sezioni più sollecitate di travi e pilastri, e delle travi delle campate di approccio con incremento di armatura o con eventuale precompressione esterna delle travi più cementate.
- Interventi diffusi relativi a cerchiature e rinforzi, da prevedere nelle parti più deboli della struttura, quali le campate di accesso al corpo dell'opera, le zone delle travi maggiormente soggette a taglio e i ritti di collegamento tra impalcato ed arco.
- Risanamento e rinforzo del cavedio contenente i sottoservizi esistenti, revisione di tali sottoservizi ed eventuale parziale o totale trasferimento sui nuovi ponti laterali nel progetto di raddoppio della Circonvallazione di Palermo.

Si ritiene che si debba intervenire con priorità sui ritti A, D ed E particolarmente degradati. Sarebbe consigliabile effettuare una cerchiatura di tali ritti o comunque un risanamento delle zone più degradate ed un rinforzo a flessione e taglio degli elementi maggiormente compromessi, seppure in presenza delle protesi metalliche del 2002 attualmente sottoposte a ulteriore degrado, poiché tali situazioni costituiscono criticità localizzate su cui porre immediata attenzione. È essenziale che a tale situazione sia posto rimedio nel tempo più breve possibile rispetto alla certificazione di transitabilità ed in particolare entro un anno dalla presente relazione, e comunque nel rispetto del cronoprogramma della Struttura Commissariale.



Figura 100 – Ritto A in corrispondenza dell'appoggio della trave tampone lato via Roccella, ritto D all'attacco dell'arco

15 CERTIFICATO DI TRANSITABILITÀ

In conclusione, si emette il seguente certificato di transitabilità.

A tal fine, si definisce preliminarmente, ai sensi dell'art. 6.1.5 del DM 17/12/2020 (Linee guida sui ponti del 2020), **TRANSITABILE, un ponte per cui siano soddisfatte le verifiche eseguite su un orizzonte temporale ridotto (5 anni), entro il quale si progettino e realizzino lavori di adeguamento o operatività, adottando i provvedimenti di limitazione dei carichi consentiti o di restrizione d'uso del ponte.** La programmazione temporale dettagliata con cronoprogramma dei lavori di adeguamento deve essere nota e ciò è a carico della Committenza di concerto con la Struttura Commissariale, con segnalazione alle banche dati istituzionali regionali e nazionali. Nella valutazione dei fattori parziali relativi ai carichi e ai materiali si adotta quindi un tempo di riferimento ridotto non maggiore di $T_{ref} = 5$ anni.

Le linee guida del 2020 stabiliscono che qualora dalla valutazione del livello di sicurezza statico secondo le norme attuali emergano situazioni critiche tali da rendere necessaria in tempi brevi la progettazione di interventi strutturali finalizzati a raggiungere livelli di sicurezza accettabili, è comunque possibile, al fine di garantire una minima transitabilità sul ponte, nel periodo necessario alla progettazione e realizzazione degli interventi, adottare provvedimenti di limitazione d'uso o di limitazione dei carichi. Entro il tempo di riferimento assunto, al massimo pari a 5 anni, si provvede alla progettazione degli interventi ed alla loro realizzazione. Resta inteso che la tempistica va rispettata in modo rigoroso, diversamente occorre valutare se consentire o meno l'ulteriore esercizio del ponte.

**Per quanto sopra detto con il presente CERTIFICATO DI TRANSITABILITÀ, si
CERTIFICA**

che il Ponte Corleone, sito sulla circonvallazione di Palermo per il superamento del fiume Oreto, secondo le verifiche condotte ed in riferimento alle Linee Guida 2020 è transitabile per un massimo di 5 anni a partire dalla data di emissione del presente certificato e sotto la condizione di realizzazione degli interventi di risanamento e/o adeguamento della struttura entro tale periodo di tempo. La transitabilità è soggetta alle seguenti restrizioni d'uso e limitazioni dei carichi consentiti:

due corsie di veicoli di 3,5 + 3 m per una larghezza massima totale di 6,5 m, disposte centralmente per ogni carreggiata, e destinate ai veicoli a pieno carico di 44 t sulla corsia di destra (larga 3,5 m) e 7,5 t sulla corsia di sorpasso (larga 3,0 m), con divieto di sorpasso tra automezzi pesanti, adeguatamente segnalato prima dell'attraversamento, e controllo del carico massimo transitante. La velocità dei mezzi che transitano sul ponte dovrà essere limitata ad un massimo di 50 km/h, che dovrà essere ampiamente segnalata e controllata.

La limitazione della larghezza delle corsie ad un totale di 6,5 m dovrà essere fisicamente realizzata lungo tutto lo sviluppo del ponte, impedendo l'ingresso di automezzi nelle zone laterali alle due corsie e dovrà essere guidata da dispositivi di ritegno opportunamente disposti. Il progressivo restringimento sulle due corsie del traffico, nei due sensi di marcia, dovrà essere accompagnato da una distanza di almeno 200 m, prima dell'ingresso al ponte.

Gli interventi previsti dovranno essere realizzati entro un tempo massimo di 5 anni dando priorità alle situazioni critiche riscontrate sui ritti A, D ed E di connessione tra arco ed impalcato a cui dovrà essere posto rimedio nel tempo più breve possibile ed in particolare entro un anno dalla presente relazione, e comunque nel rispetto del cronoprogramma della Struttura Commissariale. Inoltre, dovrà essere garantito il controllo del carico transitante nel rispetto delle limitazioni e dovrà essere effettuato un monitoraggio con misurazione semestrale della configurazione geometrica della piattaforma stradale tramite livellazione topografica, da confrontare con quella eseguita in questo studio.

Palermo, 28/02/2022

Prof. Ing. Michele Fabio Granata
(associato di Icaro Progetti fino a dicembre 2021)

Ing. Giovanni Culotta
(associato di Icaro Progetti da gennaio 2022)

Prof. Ing. Marcello Arici
(collaboratore e consulente esperto)

ALLEGATI

Documentazione allegata alla relazione:

1. Rapporto tecnico di prova indagini 2021/2022 e relativi annessi (L&R Laboratorio e Ricerca S.r.l.);
2. Documentazione fornita dalla Committenza:
 - A. Relazione delle indagini conoscitive – Anno 2002 - redatta dall'Università degli Studi di Palermo;
 - B. Relazione geologica del progetto dei ponti laterali;
 - C. Consulenza tecnica finalizzata all'individuazione delle condizioni statiche del Ponte Corleone sul Fiume Oreto – Anno 2004 – redatta dal Prof. Ing. Luigi Palizzolo (documentazione parziale fornita);
 - D. Ordinanza dirigenziale n. 294 del 24/02/2005 del Comune di Palermo;
 - E. Relazione sul Ponte Corleone – Anno 2009 – redatta dal gruppo di lavoro temporaneo composto dall'Ing. Massimo Verga, Ing. Antonio Musso, Arch. Francesco Mereu, appartenenti all'Amministrazione Comunale di Palermo;
 - F. Relazione sull'intervento di ispezione del Ponte Corleone sul Fiume Oreto per l'accertamento delle cause del degrado e la proposizione degli interventi di recupero strutturale – Anno 2018 – redatta dal gruppo di lavoro: Ing. Giuseppe Letizia, Ing. Antonio Musso, Ing. Massimo Verga, appartenenti all'Amministrazione Comunale di Palermo;
 - G. Relazione dell'ausiliario di P.G. sulle condizioni di sicurezza del Ponte Corleone sulla circonvallazione – Anno 2018 – redatta dall'Ing. Antonio Musso;
3. Stato delle indagini e comunicazioni urgenti riguardo le prime risultanze delle ispezioni in situ:
 - A. Nota del 04/12/2021 dello Studio Associato Icaro Progetti;
 - B. Ordinanza dirigenziale n. 1448 del 16/12/2021 del Comune di Palermo.

Elaborati grafici:

- E.01 - Pianta prospetto e sezioni (Tavola 1 di 2);
- E.02 - Pianta prospetto e sezioni (Tavola 2 di 2);
- E.03 - Armature elementi strutturali e particolari selle;
- E.04 - Indicazione del degrado, report fotografico.