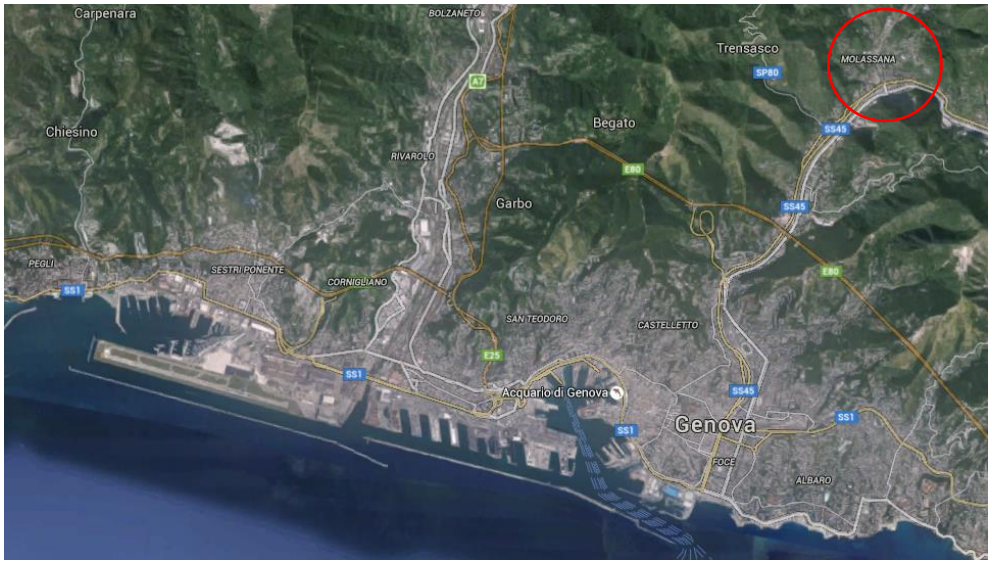
PONTI IN STRUTTURA METALLICA - PROGETTO

Ing. Luca ROMANO, libero professionista - Albenga
Direttore Tecnico I QUADRO INGEGNERIA – GENOVA

PONTE STRALLATO MOLASSANA - GENOVA

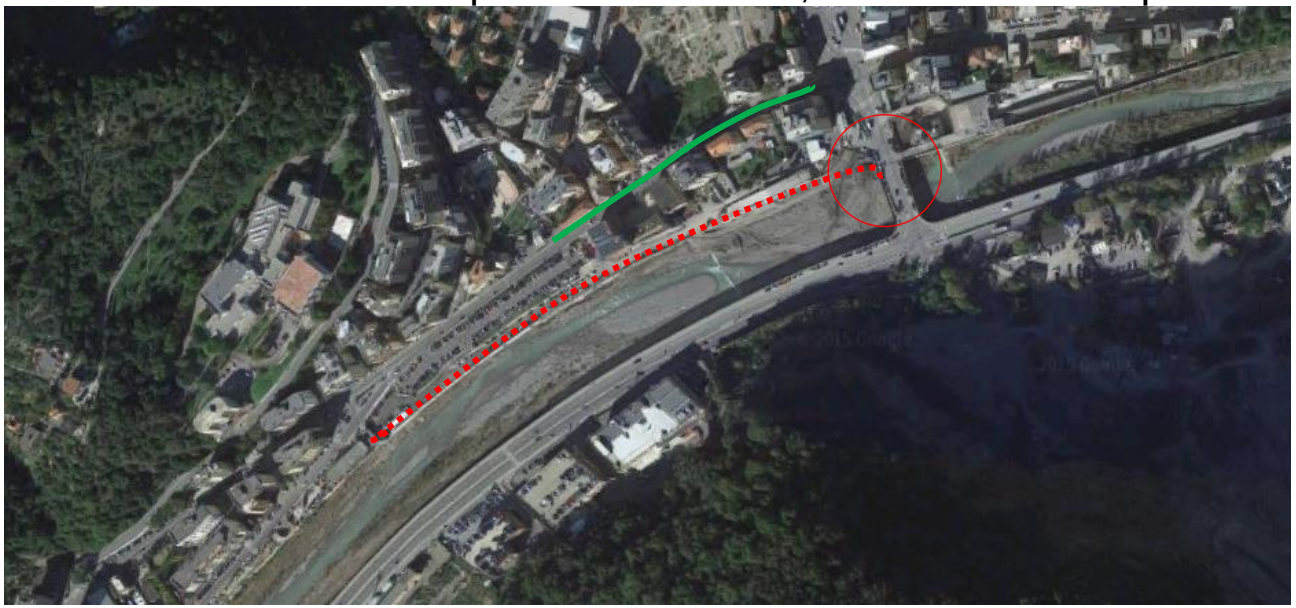
ing. Luca ROMANO – STUDIO ROMANO – ALBENGA - www.studioromano.org - luca@studioromano.org

NUOVA VIABILITA' E PONTE STRALLATO A MOLASSANA - GENOVA (2015)

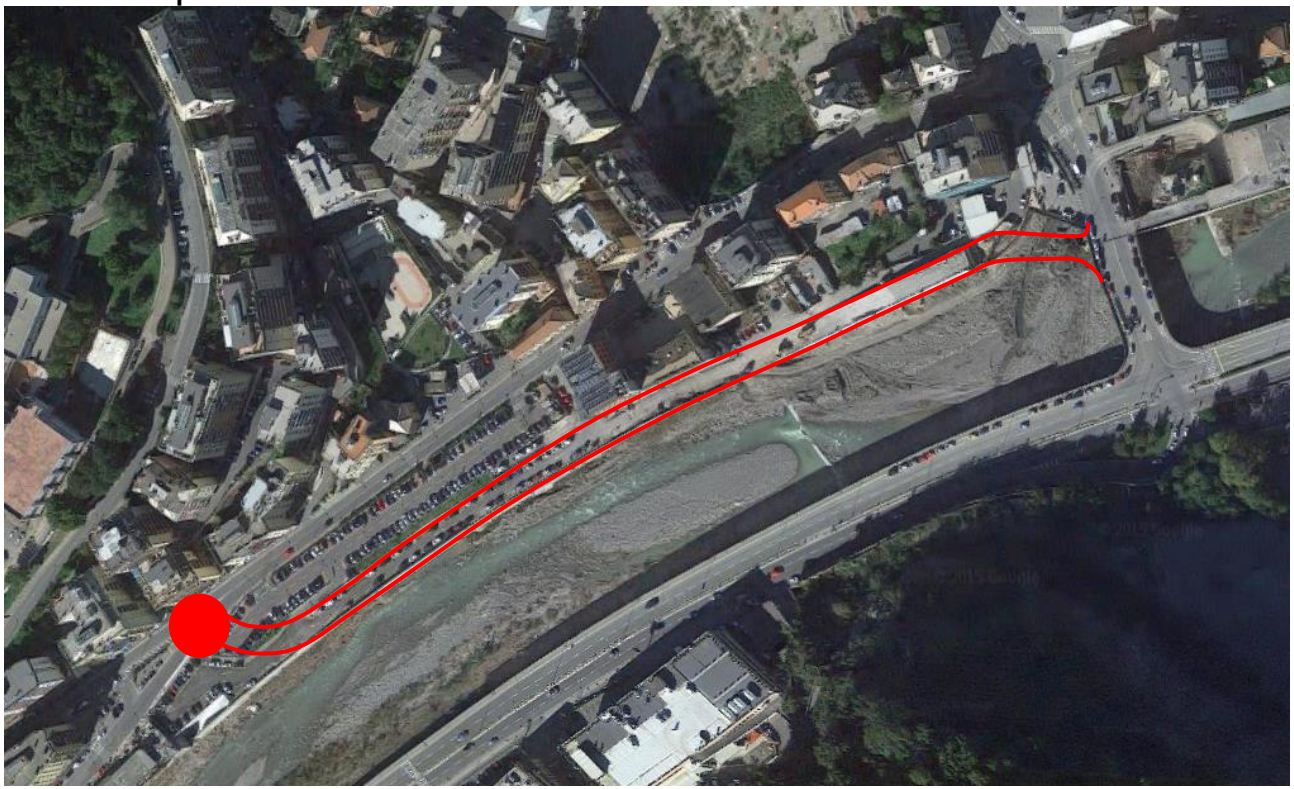


Localizzazione

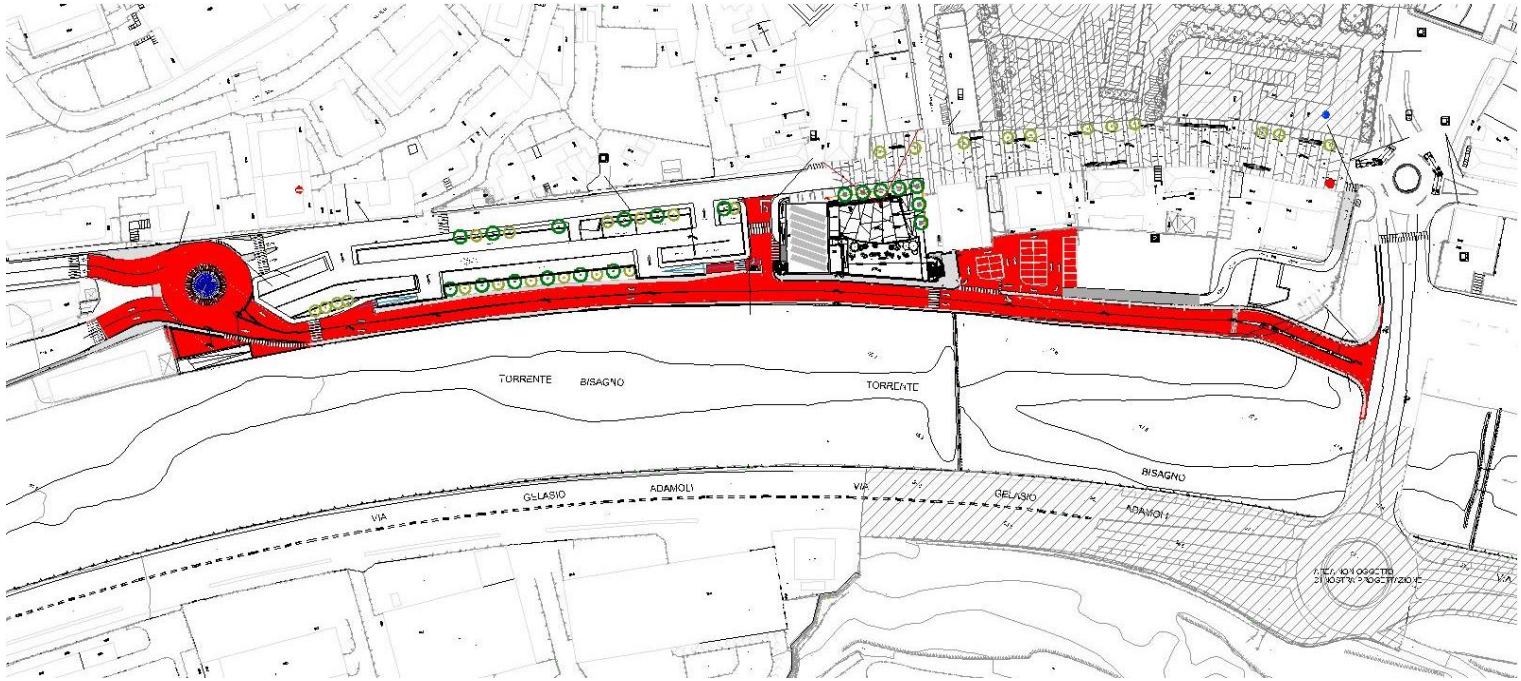
pedonalizzazione, nuova viabilità e ponte



Rotonda, nuova strada e ponte con accesso su esistente:

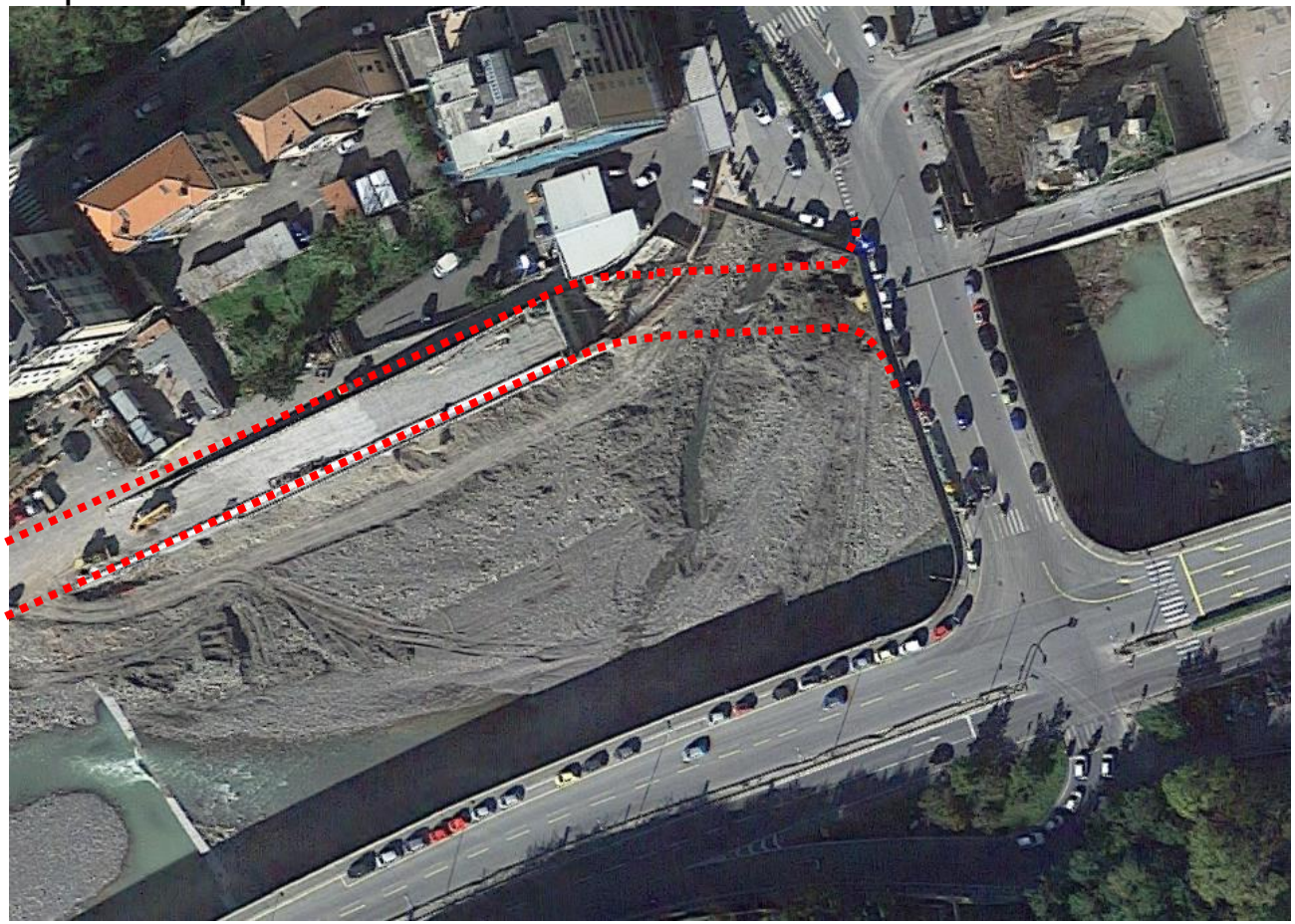


Planimetria generale di progetto:

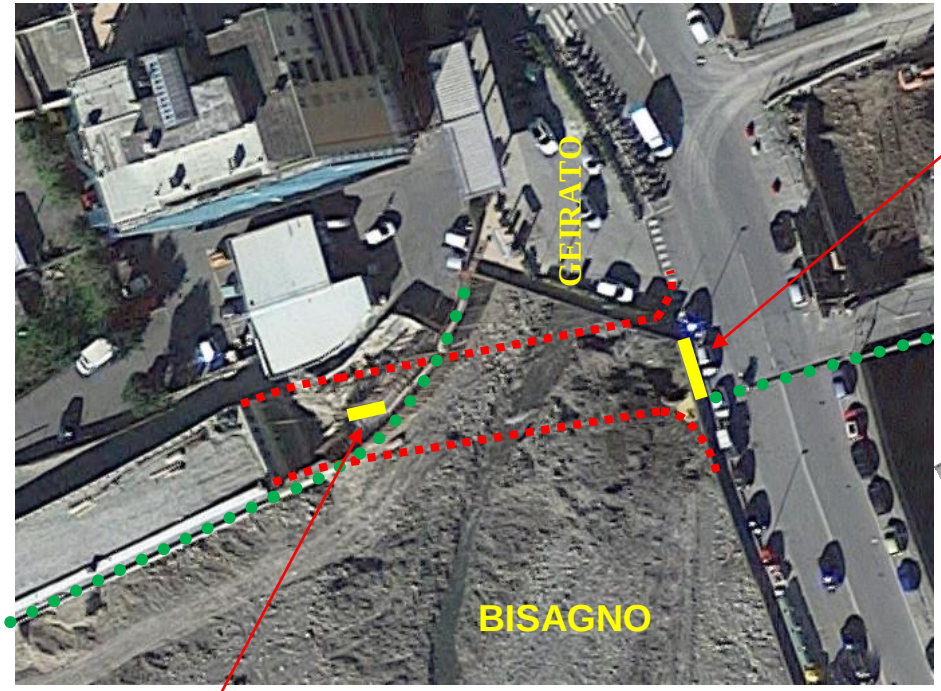


- Problemi inserimento nella viabilità esistente
- Problemi idraulici

Inserimento nuovo ponte su ponte esistente:

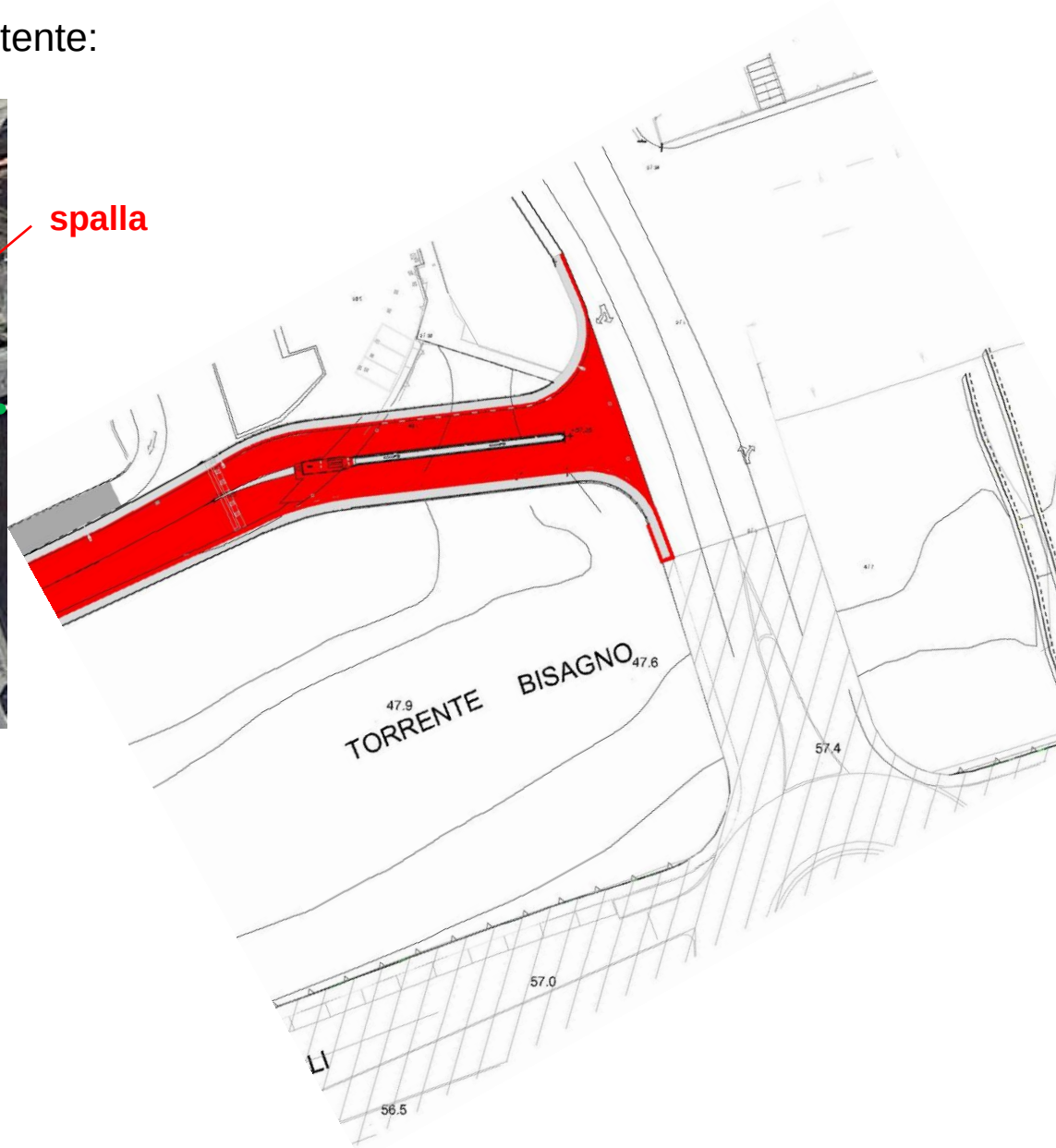


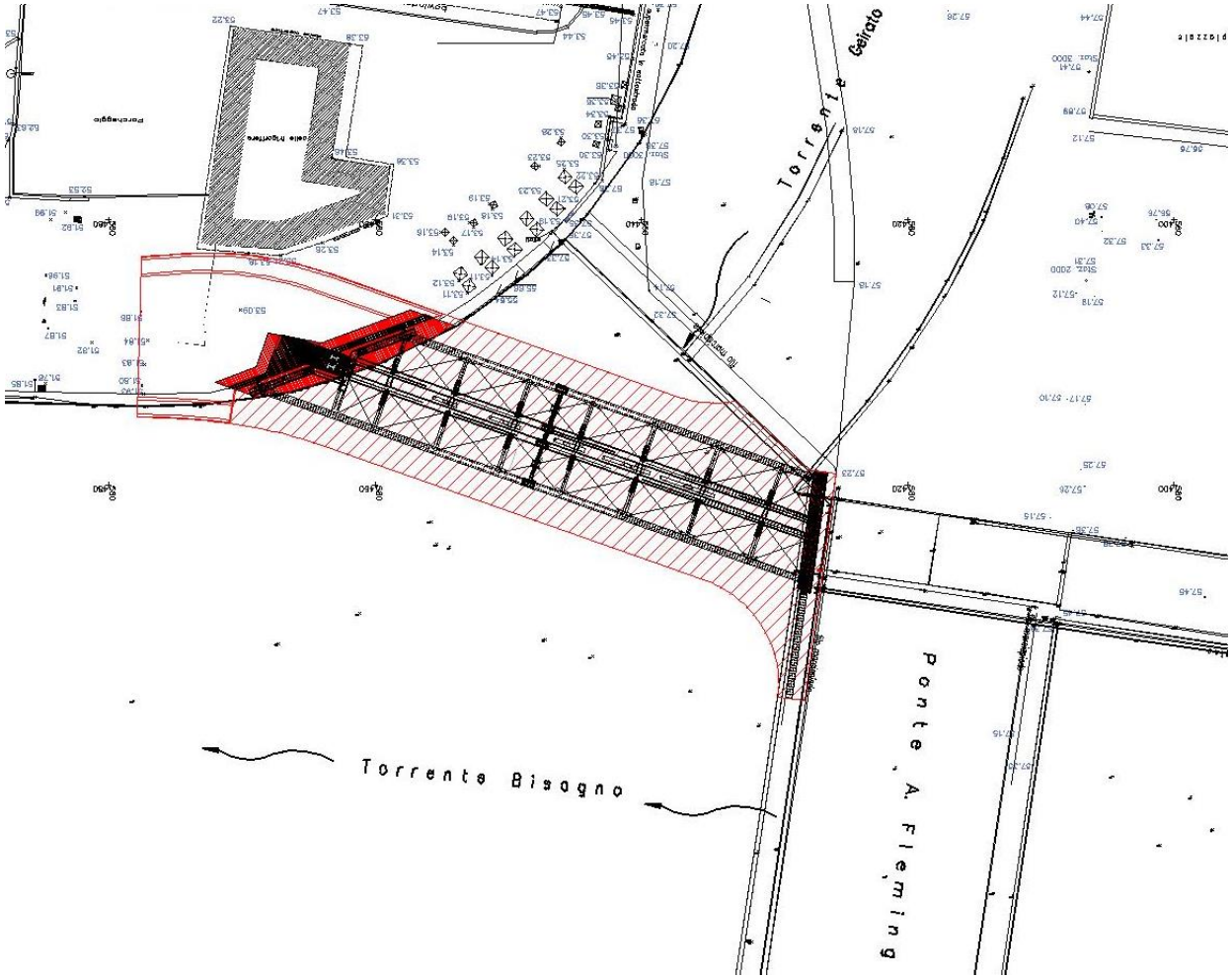
Dettaglio inserimento nuovo ponte su ponte esistente:



spalla

antenna

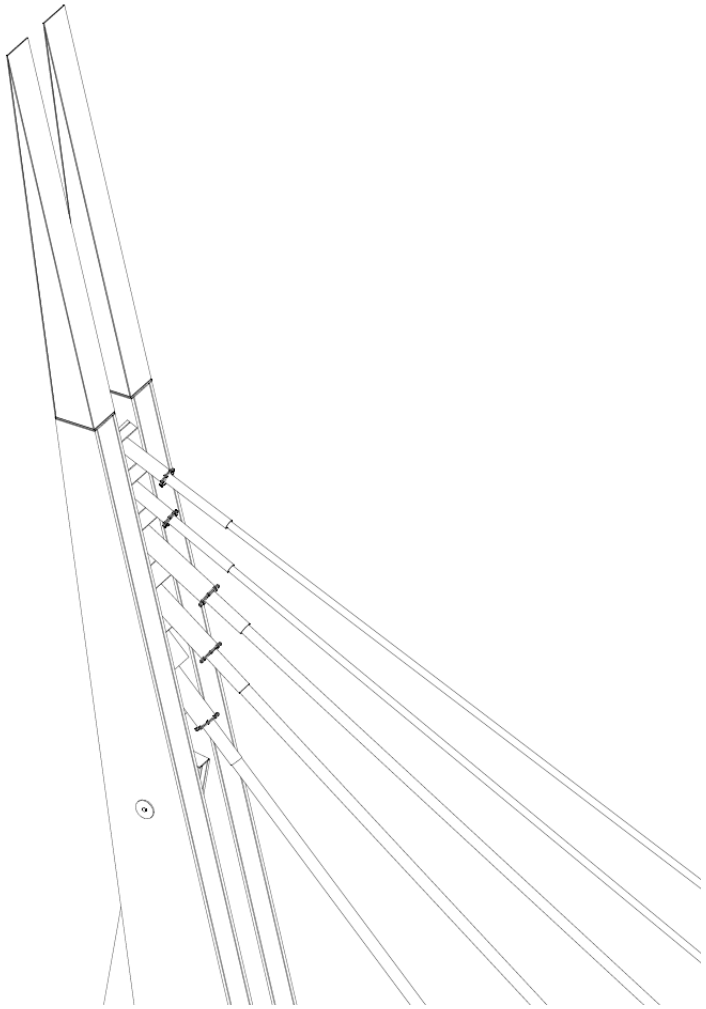




Geometria obliqua del ponte

Vista da intradosso dei raccordi e traverso a sbalzo

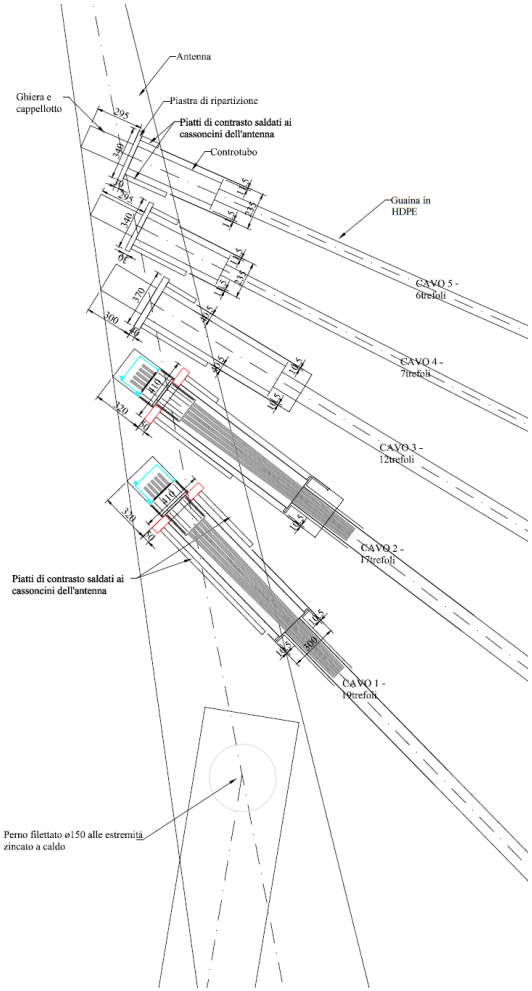
Vista del ponte strallato obliquo



Dettaglio antenna

PONTE STRALLATO A MOLASSANA – DURABILITA'

- acciaio autopatinabile sabbiato e verniciato
- cassone areato ed ispezionabile
- dettagli semplici, sezioni compatte, pendenze, scolo acque
- stralli in trefoli sostituibili e regolabili



Dettagli antenna-attacco stralli

DURABILITA': MATERIALI – CLASSE DI ESECUZIONE – SPECIFICHE PROTEZIONE

Note sui Materiali:
ACCIAIO CARPENTERIA CONFORME UNI EN 10025,
DM 14/01/2008
Materiali muniti di Certificazione CE
Qualità Acciaio Tubolari: **S355J2**
Qualità Acciaio Piatti e Piastrame: spess≤40mm **S355J2W**
spess>40mm **S355K2W**

Note sulle Bullonature:
CONFORMI D.M. 14/01/2008
CONFORMI A UNI EN 14399-1
per giunzioni a serraggio controllato - cl.10.9 (travi princ. e traversi)
CONFORMI A UNI EN 15048-1
per giunzioni non a serraggio controllato - cl 10.9 (controventi)

Note sulle Saldature:
CONFORMI D.M. 14/01/2008

Classificazione:
EXC3 - EN 1090-2

Note sulle Tolleranze di Montaggio:
SECONDO EN 1090-2

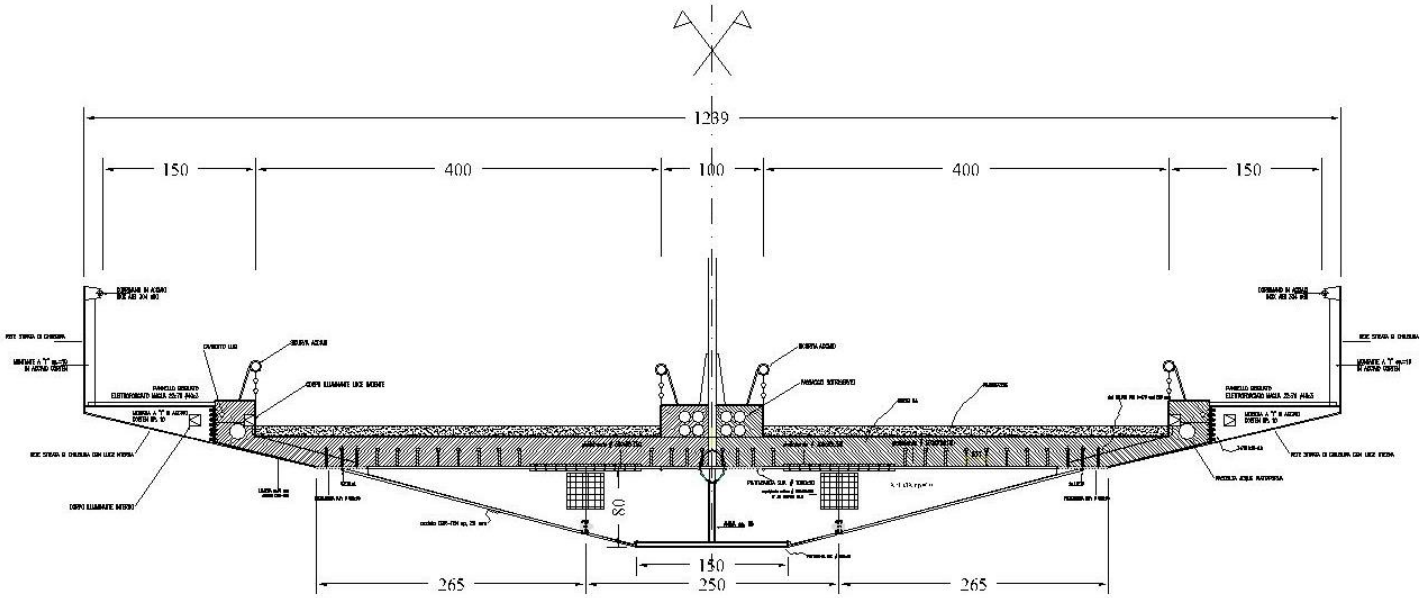
Note sui Trattamenti Superficiali:
Antenna, cavalletto e cassone verniciati (colore bianco)
Stralli guaina RAL9016
Mensola marciapiede zincata a caldo

Ciclo di verniciatura:
ciclo c4 > 15 anni
steel preparation min lvello 1
sabbiatura sa 2 1/2, rugosita' 50-75 um
primer epossidico ai fosfati di zinco 160 um
finitura acrilico poliuretanica 80 um

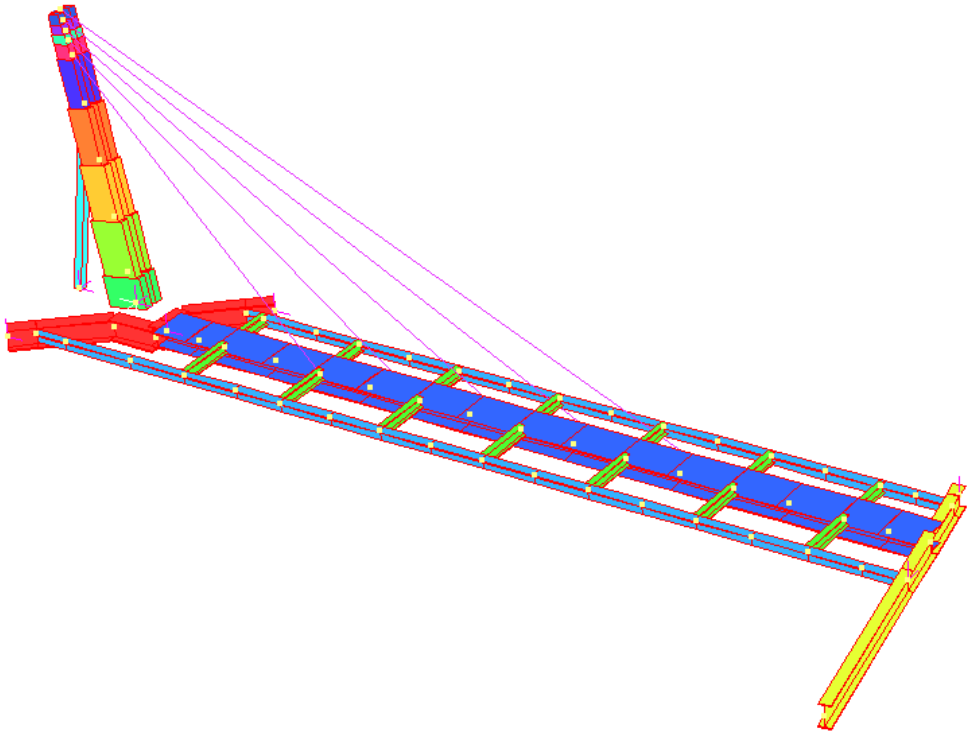
GEOMETRIA SEZIONI

Le inerzie torsionali della trave principale sono state calcolate col la teoria di Bredt.
La soletta collaborante è larga 900cm e spessa 28 cm.

Di seguito si riporta la sezione trasversale:

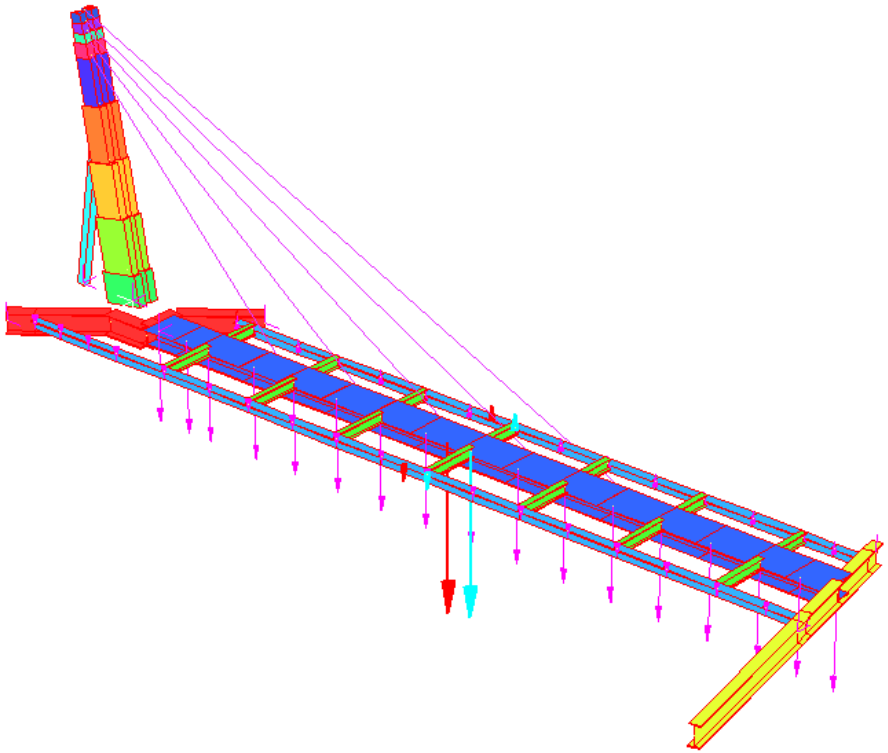


Nel seguito alcuni cenni di analisi da effettuare.



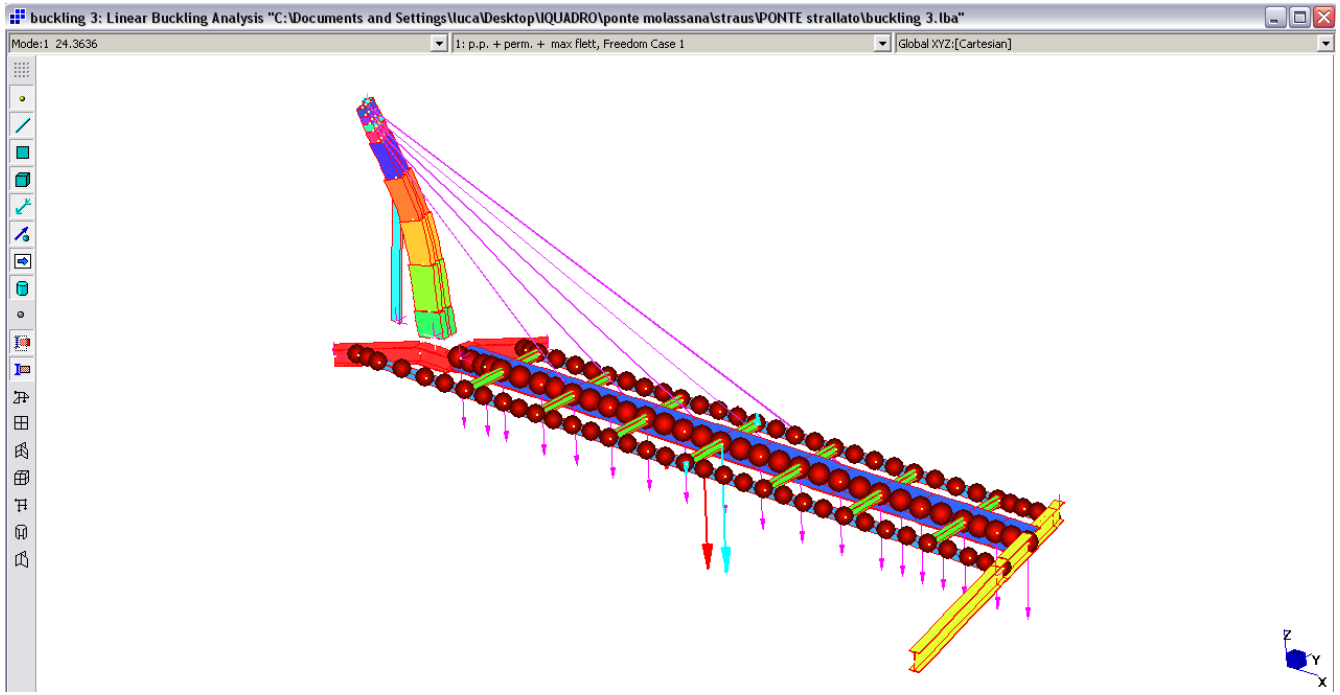
Modello agli elementi finiti del ponte

Fase 3: Sovraccarichi massimi flettenti



ANALISI DI BUCKLING.

Nella figura che segue si può vedere il modo corrispondente al primo moltiplicatore critico dei carichi, che corrisponde al valore γ = 24.36 valore decisamente superiore al valore 10 che potrebbe rappresentare un limite.



Primo moltiplicatore critico dei carichi: γ = 24.36

Stabilità globale dell'antenna considerata incastrata alla base

Si tratta di un elemento a mensola, di lunghezza significativa pari a 12.5 metri, soggetto principalmente a forza assiale.

Si riporta la verifica di resistenza e stabilità dell'antenna nella sua globalità:

Verifica a presso-flessione sezione CLASSE 1,2,3 - (secondo NTC2008 - Metodo A)

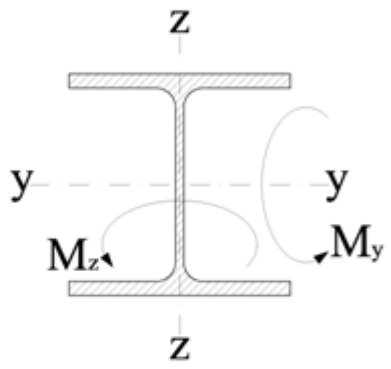
Antenna globale ponte

Trave:	antenna	
Acciaio:	S355	
E =	2100000	Kg/cm^2
G =	807692	Kg/cm^2
Tensione di snervamento f_{yk} =	3550	Kg/cm^2

γ_{M1} = 1.10 ponti

Caratteristiche geometriche

Classe sezione:	1	
Area (A) =	3008.00	cm^2
Altezza trave (h) =	140.0	cm
Larghezza trave (b) =	100.0	cm
Momento di inerzia y (J_y) =	7110000.00	cm^4
Momento di inerzia z (J_z) =	4480000.00	cm^4
Costante di ingobbamento (J_w) =		cm^6
Costante di torsione (J_t) =	2230000.00	cm^4
Modulo resistente y (W_y) =	101571.43	cm^3
Modulo resistente z (W_z) =	89600.00	cm^3



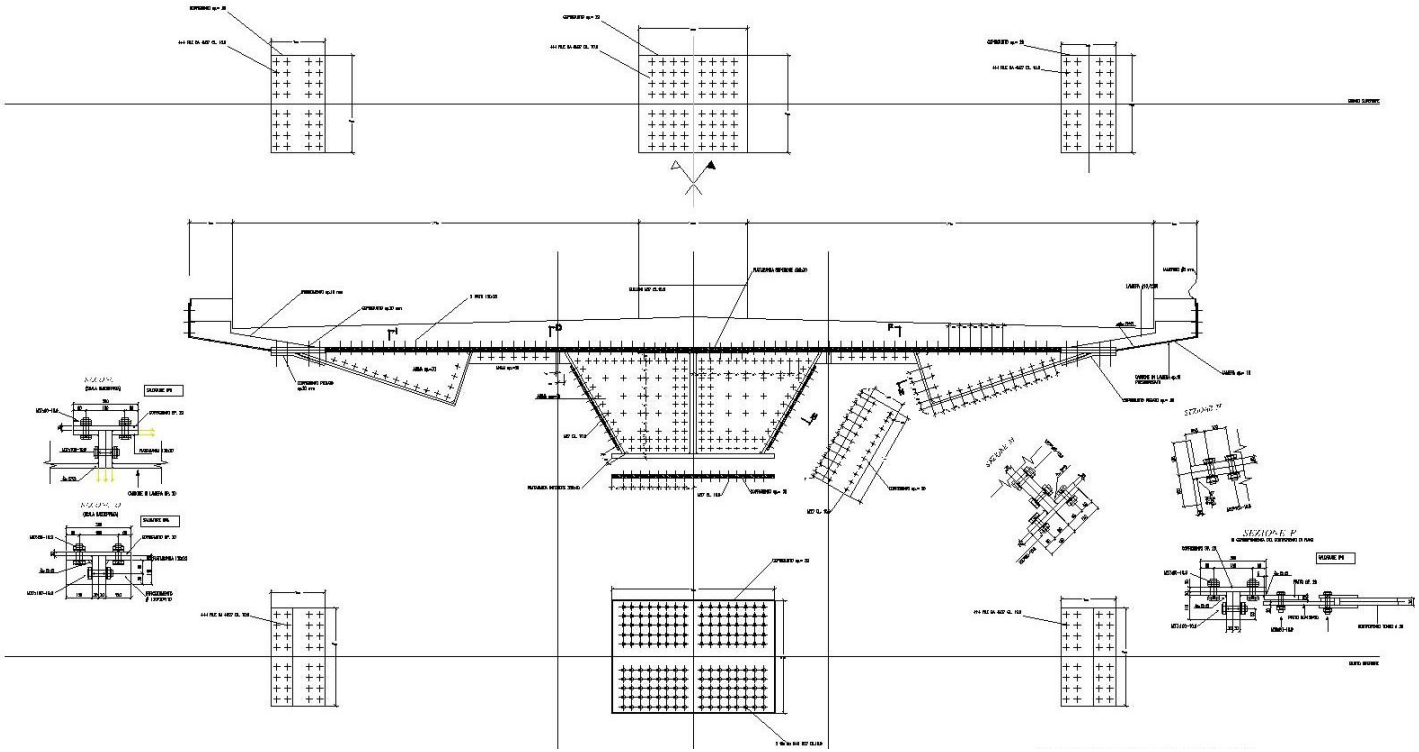
Lunghezza elemento (l) =	1250.0	cm
Coefficiente vincolare y (β_y) =	2	Mensola
Coefficiente vincolare z (β_z) =	2	Mensola
Lunghezza libera di inflessione y ($l_{0,y}$) =	2500.0	cm
Lunghezza libera di inflessione z ($l_{0,z}$) =	2500.0	cm
Forza critica euleriana y ($N_{cr,y}$) =	23578090	kg
Forza critica euleriana z ($N_{cr,z}$) =	14856518	kg

Fattore di imperfezione y (α_y) =	0.34	*Tab. 4.2.VI*	
Fattore di imperfezione z (α_z) =	0.34	*Tab. 4.2.VI*	
Snellezza adimensionale massima (λ^*_{max}) =	0.848		
Φ =	0.970		
Fattore di instabilità minimo (χ_{min}) =	0.695		
ψ =	1.000		(C4.2.31)
Momento el. critico di instab. torsionale (M_{cr}) =	6516729833	kg·cm	(C4.2.32)
Coeff. correttivo momento flettente (k_c) =	0.91	*Tab. 4.2.VIII*	
Coefficiente di snellezza (λ^*_{LT}) =	0.235		(4.2.52)
Fattore distribuzione momenti (f) =	0.984		(4.2.53)
$\lambda^*_{LT,0}$ =	0.4	*0.4 per sezioni laminate e composte saldate*	
Fattore di imperfezione (α_{LT}) =	0.49	*Tab. 4.2.VII*	
β =	0.75	*0.75 per sezioni laminate e composte saldate*	
Φ_{LT} =	0.73		
Fattore di instabilità (χ_{LT}) =	0.711		(4.2.51)
Verifica del profilo			
Sforzo normale (N_{Ed}) =	1822500	kg	
Momento equivalente y ($M_{yeq,Ed}$) =	146930000	kg·cm	
Momento equivalente z ($M_{zeq,Ed}$) =	0	kg·cm	
C.S. pressoflessione =	0.76	≤ 1	(C4.2.32)
C.S. per instabilità flessotorsionale =	0.95	≤ 1	(C4.2.36)

Verificato poiché risultano ≤ 1 i coefficienti di sicurezza sopra calcolati.

GIUNTO CASSONE

Nell'immagine che segue si riporta l'esecutivo del giunto che si verifica:

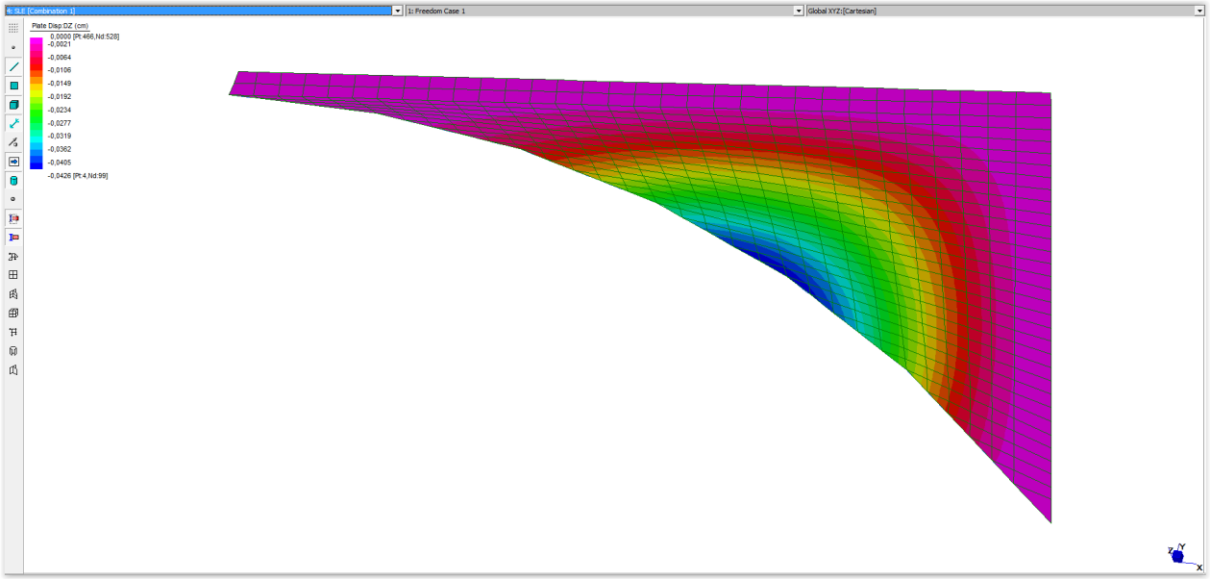


Devono essere effettuate le verifiche di tutte le bullonature e coprigiunti (SLE: attrito SLU: taglio)

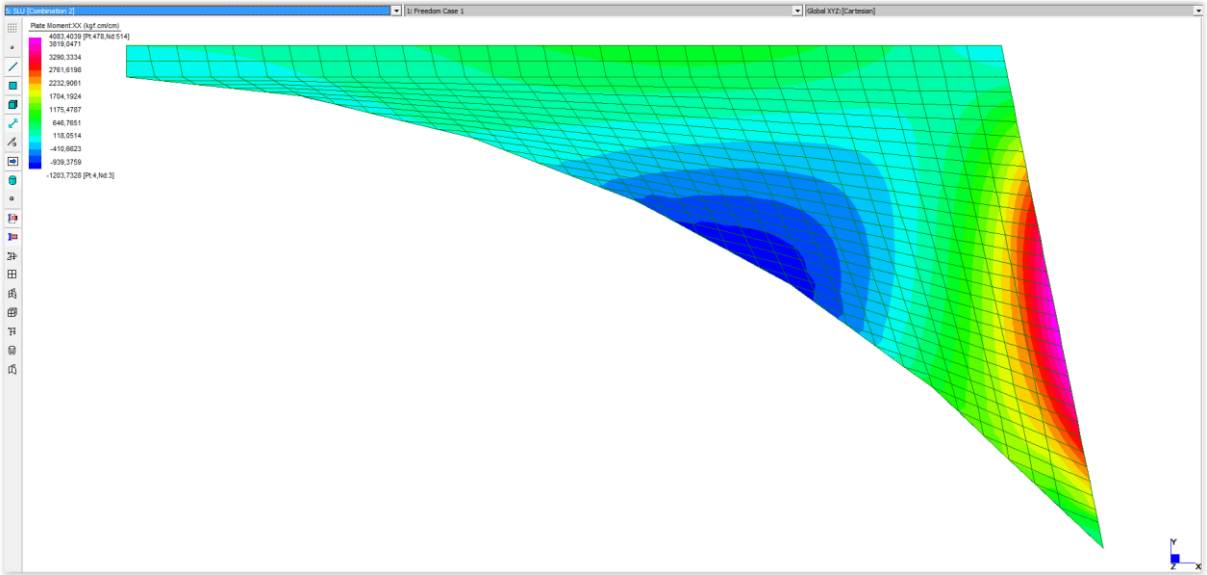
VERIFICA SOLETTA NELLA ZONA A SBALZO E RACCORDO CURVO A PONTE FLEMING.

Il raccordo curvo al ponte Fleming si regge sulla piastra in c.a. di forma triangolare spessa 25 cm, vincolata alla piattabanda dell'impalcato metallico, al traverso di testa e delimitata dalla trave di bordo poggiante sul cassone e sul traverso.

Nelle immagini che seguono si evidenzia il modello FEM di tale delicata zona:



Spostamenti massimi SLE in cm (-0.04 cm)



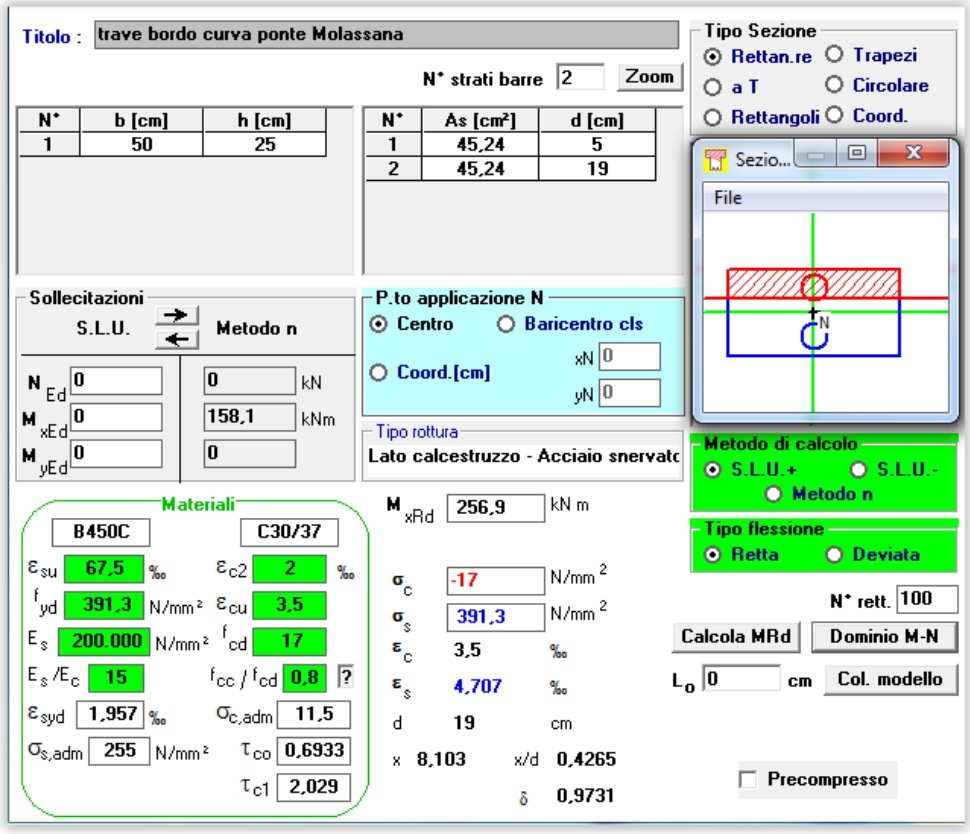
Sollecitazioni massime SLU Mx (+4083 ÷ -1204 kgm/m)

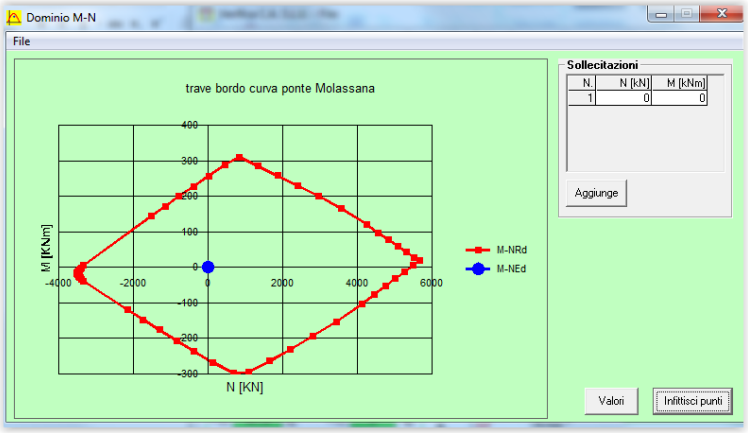
Sollecitazioni massime nella trave di bordo:

la trave di bordo è stata generosamente dimensionata con una sollecitazione calcolata con uno schema a trave, che dà sollecitazioni decisamente superiori alla schematizzazione a piastra sopra riportata. Le sollecitazioni di dimensionamento e verifica in fase progettuale sono:

M_{SLU} = ±158.1 kNm

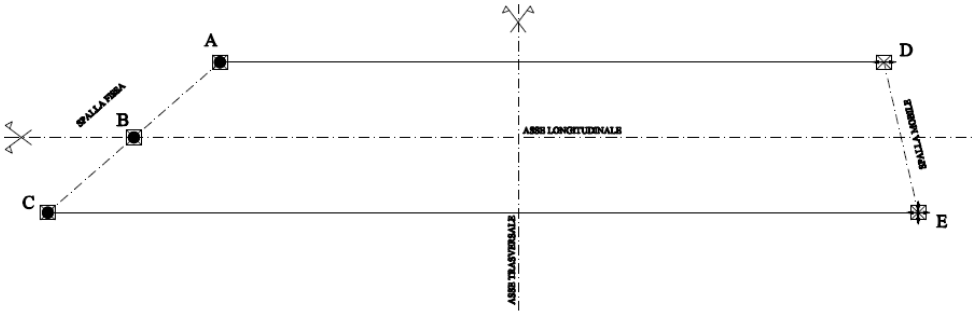
La verifica SLU della trave di bordo, armata in esecutivo con 10+10ø24 è la seguente:





RIEPILOGO AZIONI SULLE SPALLE

SPALLA FISSA (valori in kN)



SCHEMA DI VINCOLO

PONTE STRALLATO MOLASSANA

SPALLA FISSA

	fase 1	fase 2	fase 3(max)	fase 3 (min)
appoggio				
A	-26	18	250	-342
B	591	216	1549	0
C	81	24	96	-63
B-Fx	3286	489	1836	0

"x": direz. Longitud
"-" : trazione

	SLE max		SLE min	
appoggio	N(z)	F(x)	N(z)	F(x)
A	242		-350	
B	2356		807	
C	201		42	
B-Fx		5611		3775

"x": direz. Longitud
"-" : trazione

	SLU max		SLU min	
appoggio	N(z)	F(x)	N(z)	F(x)
A	330		-469	
B	3213		1122	
C	275		60	
B-Fx		7648		5170

"x": direz. Longitud
"-" : trazione

Reazioni max. sull'appoggio spalla fissa:

appoggio "B":

$N_{max\ SLE}$ = 2356 kN $N_{min\ SLE}$ = 807 kN

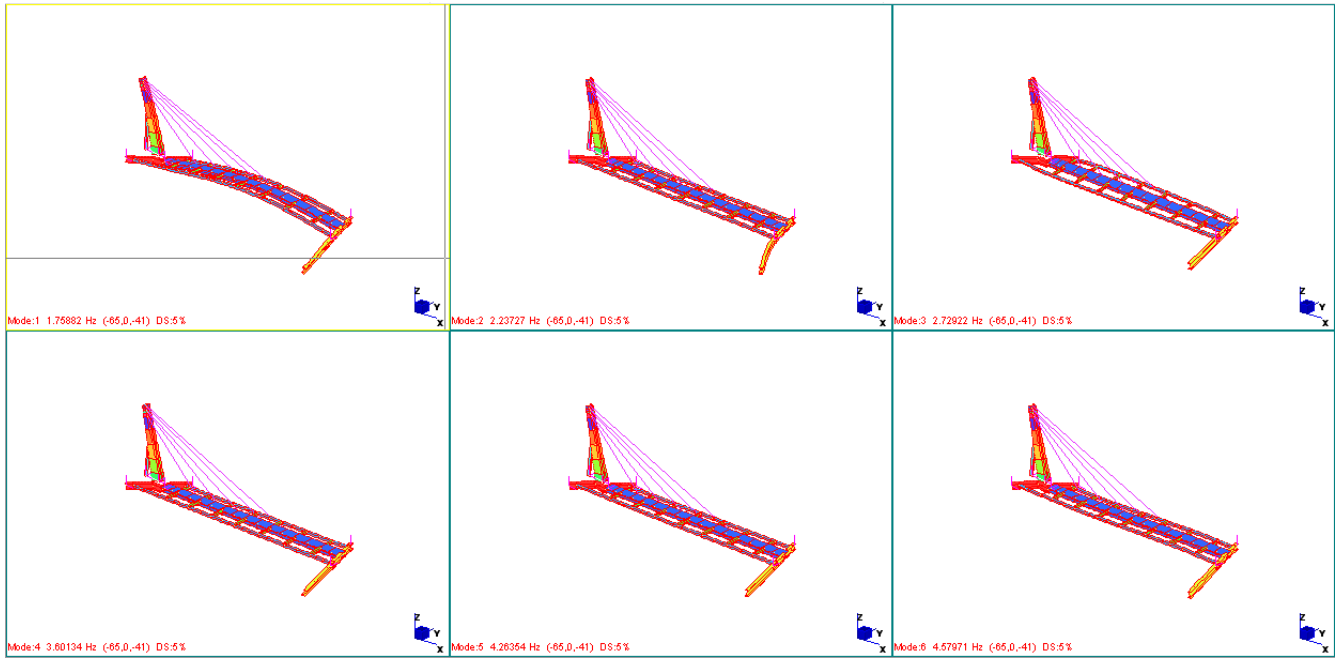
$N_{max\ SLU}$ = 3213 kN $N_{min\ SLU}$ = 1122 kN

Si adottano appoggi in PTFE tipo "vasoflon" da 3500 kN (valore SLU).

Ecc……

ANALISI DINAMICA PONTE

Analisi dinamica per determinare le frequenze principali ed il comportamento della struttura da un punto di vista vibrazionale.



primi 6 modi propri

-Il primo modo di vibrare è quello più significativo ed è il primo flessionale dell'impalcato nel piano verticale.

-Il secondo è un modo locale del traverso di testa, non significativo perché impedito dalla soletta.

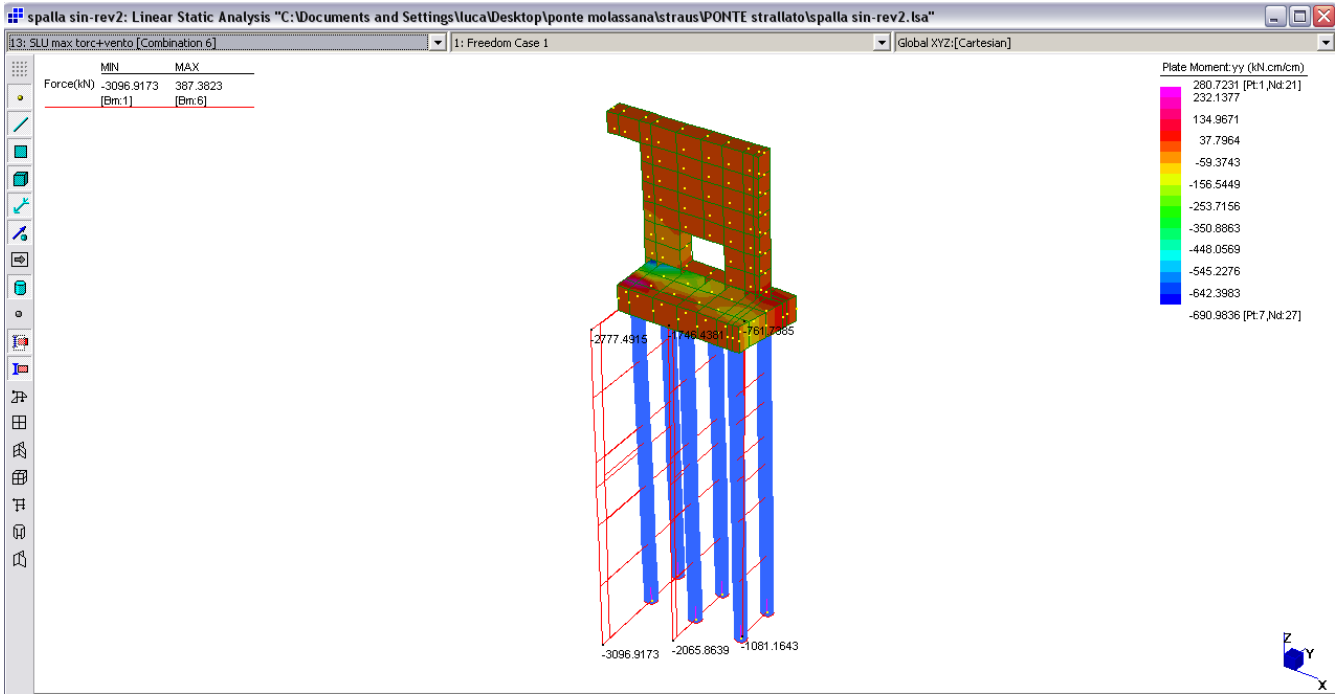
-Il terzo modo è quello torsionale dell'impalcato.

Il ponte non presenta particolare comunque sensibilità dinamica, poiché le frequenze principali sono tutte al di sotto del mezzo secondo.

SPALLA SINISTRA

La spalla è stata modellata con la sua corretta geometria con elementi plate e beam immerse in suolo elastico. Sono stati inseriti tutti i singoli carichi provenienti dal ponte strallato, combinati nei modi peggiori per massimizzare le sollecitazioni sia sui pali che sulle spalle.

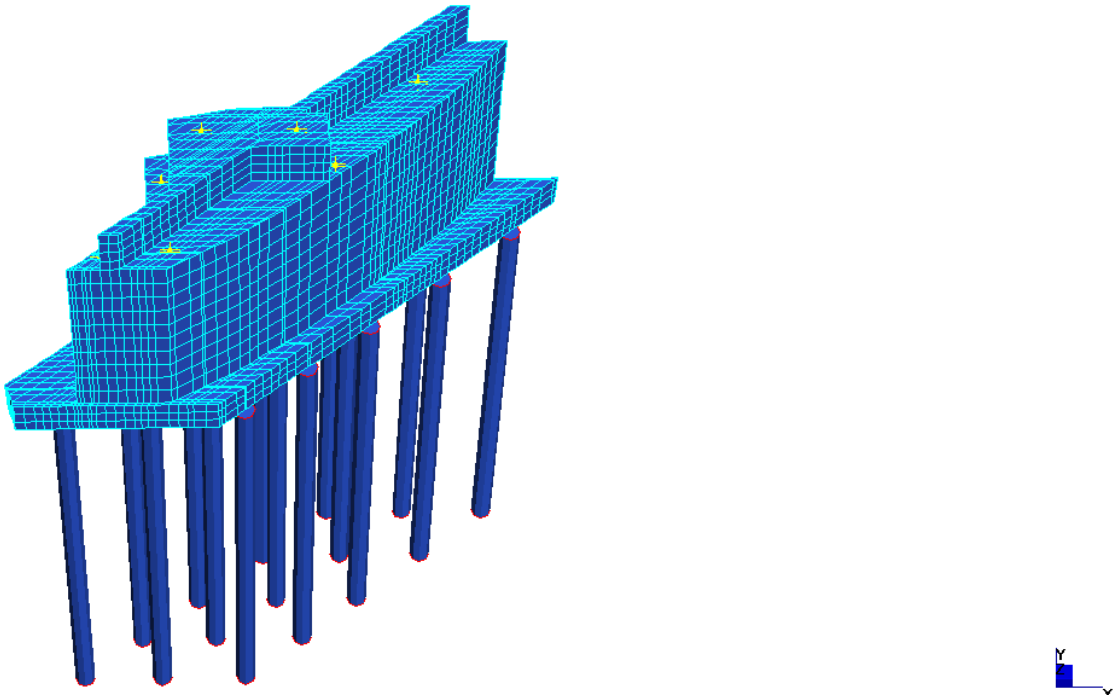
Inviluppo max SLU:



SPALLA DESTRA (SOTTO L'ANTENNA)

La spalla è stata modellata con la sua corretta geometria con elementi brick e beam immerse in suolo elastico. Sono stati inseriti tutti i singoli carichi provenienti dal ponte di approccio e dal ponte strallato, combinati nei modi peggiori per massimizzare le sollecitazioni sia sui pali che sulle spalle.

Modello di calcolo:



VERIFICHE DI MONTAGGIO

Devono contemplare modelli parziali delle fasi salienti del montaggio (configurazioni transitorie)

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI FATICA

Per il calcolo allo stato limite di fatica si fa riferimento al punto 5.1.4.3 del DM08 e in particolare alle verifiche condotte per vita illimitata controllando che il massimo delta di tensione $\Delta\sigma max=(\sigma max-\sigma min)$ indotto nei vari elementi strutturali risulti minore del limite di fatica dei corrispondenti dettagli, utilizzando il "modello di carico di fatica 1". Tale modello è costituito dallo schema di carico1 adottato nel modello con valore dei carichi concentrai ridotti del 30% e valori dei carichi distribuiti ridotti del 70%.

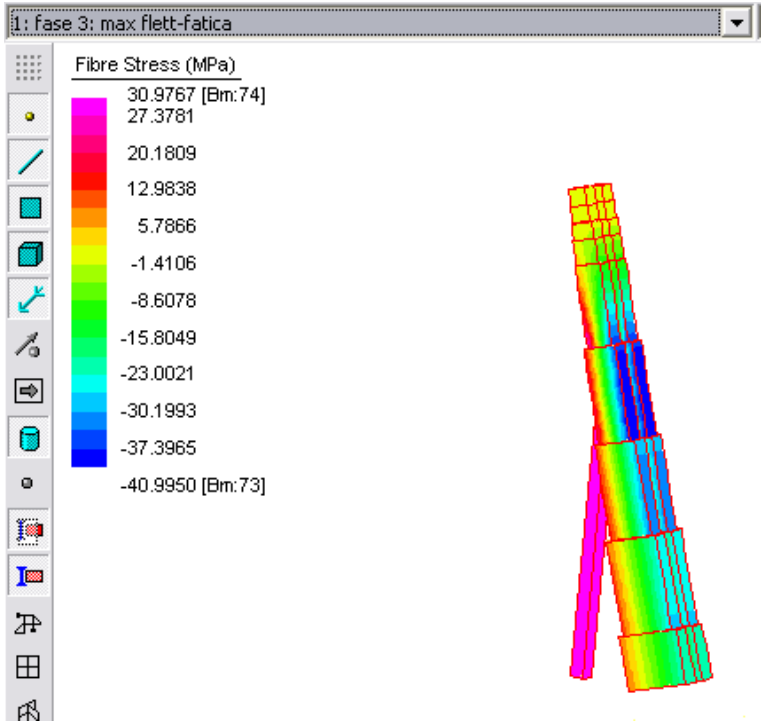
Carichi mobili di fatica 1:

si considerano 2 corsie convenzionali di carico a pieno carico, poiché le due carreggiate del ponte sono separate da barriera fisica, con i seguenti carichi per ponte di 1^ categoria:

Posizione	Carico asse Qik [kN]	Carico distribuito qik [kN/m^2]
Corsia Numero 1	300*0.7	9,00*0.3
Corsia Numero 2	300*0.7	9,00*0.3

- **Esempio: FATICA ANTENNA**

Si riportano di seguito i delta di tensioni massimi nelle condizioni di carico di fatica per verificarne i limiti:



Delta tensione massima sotto carichi di fatica

$\Delta\sigma$max flettente = (σmax-σmin) = 41 MPa

Si riporta la tabella C4.2.XII con i valori dei coefficienti parziali per verifiche a fatica che amplifica gli incrementi pensionali di fatica:

Tabella C4.2.XII – *Coefficienti parziali γ_{Mf} per verifiche a fatica*

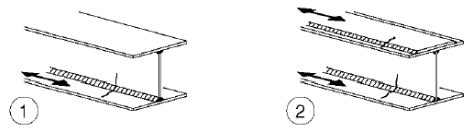
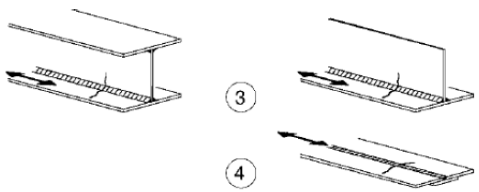
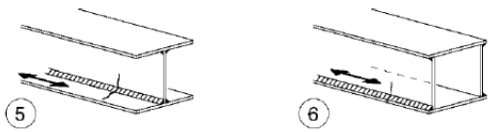
	Conseguenza della rottura per fatica	
	Moderate	Significative
Danneggiamento accettabile (strutture poco sensibili alla rottura per fatica)	γ_{Mf}=1,00	γ_{Mf}=1,15
Vita utile (strutture sensibili alla rottura per fatica)	γ_{Mf}=1,15	γ_{Mf}=1,35

deve essere verificata la seguente espressione:

$$\gamma Mf^{*}\Delta\sigma \leq \Delta\sigma D = 0.737\Delta\sigma c$$

per le travi composte in questione ricadiamo nel caso 3 della tabella seguente, classe del dettaglio 100 MPa:

Tabella C4.2.XIV *Dettagli costruttivi per sezioni saldate ($\Delta\sigma$)*

Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
125		Saldatura longitudinali continue 1) Saldatura automatica a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati 2) Saldatura automatica a cordoni d'angolo. Le parti terminali dei piatti di rinforzo devono essere verificate considerando i dettagli 5) e 6) della tabella C4.2.XXI	1) e 2) Non sono consentite interruzioni/riprese, a meno che la riparazione sia eseguita da un tecnico qualificato e siano eseguiti controlli atti a verificare la corretta esecuzione della riparazione
112		3) Saldatura automatica a cordoni d'angolo o a piena penetrazione effettuata da entrambi i lati, ma contenente punti di interruzione/ripresa. 4) Saldatura automatica a piena penetrazione su piatto di sostegno, non contenente punti di interruzione/ripresa	4) Se il dettaglio contiene punti di interruzione/ripresa, si deve far riferimento alla classe 100
100		5) Saldatura manuale a cordoni d'angolo o a piena penetrazione 6) Saldatura a piena penetrazione manuale o automatica eseguita da un sol lato, in particolare per travi a cassone	5) e 6) Deve essere assicurato un corretto contatto tra anima e piattabanda. Il bordo dell'anima deve essere preparato in modo da garantire una penetrazione regolare alla radice, senza interruzioni

Si riporta la scheda di verifica:

Verifica a fatica PONTI - (secondo NTC2008 - p.ti 5.1.4.3 e 4.2.4.1.4)			
elemento: cassone antenna			
Dettaglio	saldature di composizione		
Caratteristiche:			
Classe dettaglio ($\Delta\sigma_C$) =	100.0	*Tab. C4.2.XIII : XVIII*	
Limite Fatica ampiezza costante ($\Delta\sigma_D$= 0.737$\Delta\sigma_C$) =	73.7	Mpa	(C4.2.96)
Limite per i calcoli di Fatica ($\Delta\sigma_L$= 0.549$\Delta\sigma_C$) =	54.9	Mpa	
Sollecitazioni:			
σ max =		Mpa	
σ min =		Mpa	
$\Delta\sigma$ max=	41.0	Mpa	
Verifica a vita illimitata:			
$\gamma_{Mf} * \Delta\sigma max \leq \Delta\sigma_D$			(C4.2.100)
γ_{Mf} =	1.15	tab. 4.2.IX	
$\gamma_{Mf} * \Delta\sigma max$=	47.2	Mpa	
$\Delta\sigma_D$ =	73.70	Mpa	
verifica:	0.640	≤ 1	