

SEMINARI SULLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DM 14.01.2008

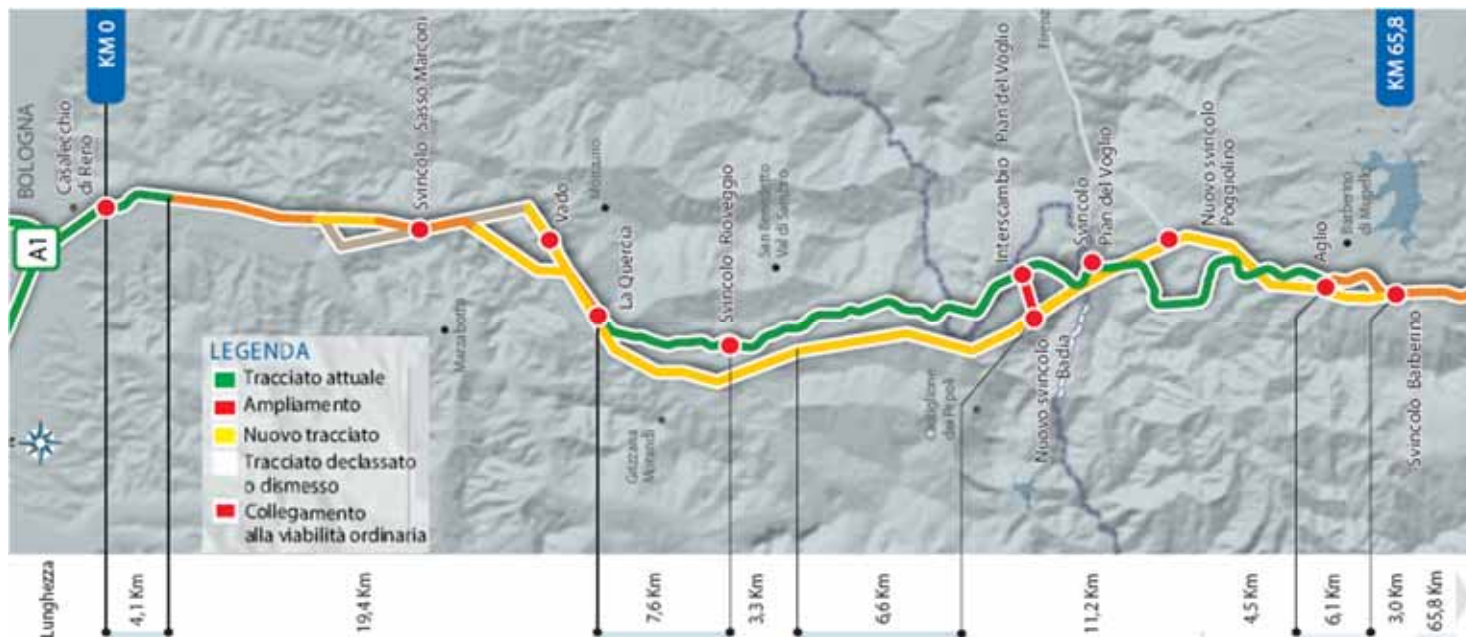


I VIADOTTI DELLA VARIANTE DI VALICO: LE TIPOLOGIE STRUTTURALI ADOTTATE

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici
Servizio Tecnico Centrale
27 Novembre 2014

Ing. Mario Bergamo
Direzione Investimenti Infrastrutture
Responsabile Gestione Tecnica Progettuale

Variante di Valico - Quadro d'insieme



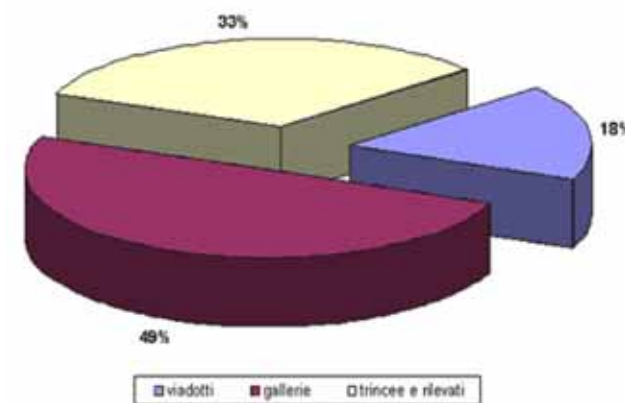
La realizzazione degli oltre 60 km della Variante di Valico ha rappresentato da sempre un intervento prioritario nell'ambito del piano di potenziamento avviato da Autostrade per l'Italia; l'opera, attualmente in fase di ultimazione, interessa il territorio dell'Emilia Romagna e della Toscana. L'importo totale dell'investimento è stato di circa **4 miliardi di euro**.

I lavori sono stati caratterizzati da **un'elevata difficoltà tecnica** poiché inseriti in uno dei territori morfologicamente più complessi d'Europa per la presenza di valli strette e tratti montuosi.



Numerosi ponti, viadotti e gallerie, la cui costruzione è stata resa ancora più difficoltosa per la presenza di gas sotterraneo e per le **caratteristiche geologiche dei terreni**.

L'intervento comprende 82 opere di notevole rilievo, tra i quali **41 viadotti** e 41 gallerie (per le due carreggiate), si sviluppa per circa 28,7 km in galleria, per circa 10,6 km in viadotto, pertanto circa il 70% dello sviluppo è realizzato in sede artificiale e solo il restante 30 % in sede naturale.



Variante di Valico – Suddivisione in tratte

13 lotti suddivisi in tre macro tratte:

1. Casalecchio-La Quercia (23,5km): ampliamento alla terza corsia per carreggiata
2. La Quercia-Aglio (33,2km): nuova sede autostradale con due carreggiate separate (2 C + E)
3. Aglio-Barberino (6,1km): nuova carreggiata Sud (3C + E)



Interconnessione La Quercia

Tratto	Lotto	Comune	Struttura	Località	Spesa (m)
tratto Sasso Marconi - La Quercia	1	Sasso Marconi	viadotto	Reno	718 m
	2		galleria	Monte Mario	2300 m
	3	Marzabotto	viadotto	Lama di Setta	530 m
			galleria	Allocco	1730 m
4	Monzuno	viadotto	Vado	88 m	
		galleria	Vado	1137 m	
		viadotto	Campolungo	290 m	
		galleria	Campolungo	250 m	
tratto La Quercia - Badia	5a	Marzabotto	viadotto	Quercia	352 m
			galleria	Quercia	330 m
			galleria	Rioveggio 1°	340 m
			galleria	Rioveggio 2°	80 m
	5b	Monzuno	viadotto	Casino	117 m
			galleria	artificiale Casino	340 m
	6	Grizzana	viadotto	Rioveggio	330 m
			viadotto	Pian di Setta	633 m
	7	San Benedetto Val di Sambro	galleria	Grizzana	1790 m
			viadotto	Lagaro	1435 m
			galleria	Val di sambro	3770 m
			viadotto	Sparvo	700 m
	8	Castiglione dei Pepoli	galleria	Sparvo	1950 m
viadotto			Molino di Setta 1°	550 m	
viadotto			Molino di Setta 2°	270 m	
Lotto in fase di progettazione					
tratto Badia - Aglio	9	Castiglione dei Pepoli	viadotto	Badia Nuova	320 m
			viadotto	Setta 1°	300 m
			galleria	Poggio Civitella	235 m
			viadotto	Setta 2°	62 m
	9 - 11	Castiglione dei Pepoli - Barberino di Mugello	galleria	di Base	8600 m
	10	Castiglione dei Pepoli	galleria	Discenderia della galleria di Base	754 m
	12		viadotto	Casaglia	670 m
			galleria	artificiale Bollone 1°	118 m
			galleria	artificiale Bollone 2°	260 m
			galleria	artificiale Bollone 3°	148 m
viadotto			Bollone	500 m	
galleria			Buttoli	620 m	
13	Barberino di Mugello	viadotto	Navale	290 m	
		galleria	Largnano	720 m	
		viadotto	Fiunicello	690 m	
		galleria	artificiale di Sottopasso A1	300 m	
tratto Aglio - Barberino di Mugello	13		viadotto	Aglio	730 m
			galleria	Puliana	1353 m
			viadotto	Lora	416 m
			galleria	Alteta	240 m
			galleria	Poggio Manganaccia	2037 m
			viadotto	Sieve	292 m

Variante di Valico – Storia del progetto e iter approvativo



Prescrizioni rilevanti sulla scelta dei viadotti, per

- IMPATTO PAESAGGISTICO: altezza e colorazione degli impalcati
- IMPATTO IDRAULICO franco verticale per attraversamento idraulico, con prescrizioni sulle lavorazioni
- IMPATTO ACUSTICO installazione di barriere acustiche di H = 5,0 – 6,0m

INQUADRAMENTO NORMATIVO:

Norme previgenti quelle attuali, in particolare:

- per i Carichi e per il Sisma i DM 16.01.1996
- per i Sovraccarichi sui ponti il DM 04.05.1990
- per Geotecnica 04.03.1988
- per la Geometria stradale Istruzioni CNR n. 78/1980

PER LA SISMICA DEI VIADOTTI SONO STATI PRESI COME RIFERIMENTO NORMATIVO GLI EUROCODICI (norma nazionale pensata solo per edifici)



Viadotto Aglio

Sono stati condotti inoltre studi specifici relativi alla caratterizzazione sismica della zona in esame, da cui si sono ricavati gli **accelerogrammi** e i valori di accelerazione massima al suolo (SGI).

Si è assunto un valore di accelerazione di picco del terreno ('Peak Ground Acceleration') pari a 0,19 – 0,20g

Variante di Valico – Caratteristiche geometriche

La sezione stradale è così composta:

tratto 1: **3 corsie da 3,75m** + E per senso di marcia con spartitraffico centrale (ampliamento in sede)

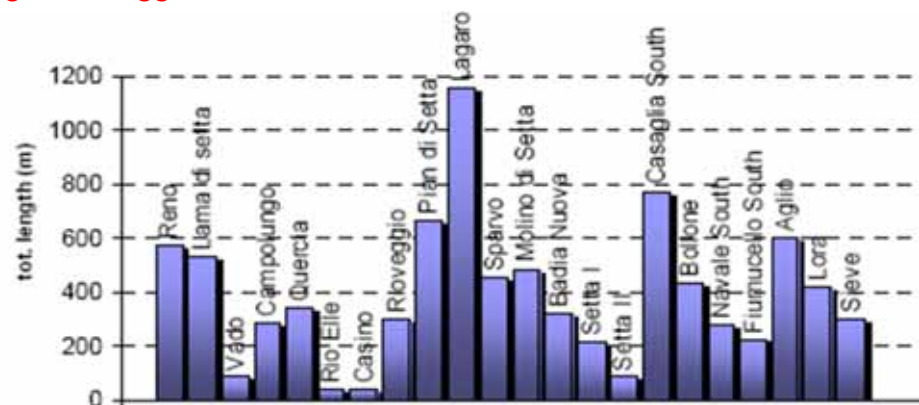
tratto 2: **2 corsie da 3,75m** + E

tratto 3: **3/4 corsie da 3,75m** + E

Larghezza della sezione stradale di una singola carreggiata: varia da un **minimo di 11,50m** ad un **massimo di 18,60m**.

La quota di valico, rispetto agli attuali 716m è abbassata a 490m e ha pendenze longitudinali inferiori.

Per l'inserimento dell'opera nell'ambito di un territorio così complesso, la carreggiata in direzione nord ha un andamento piano altimetrico differente da quella in direzione sud, perciò tutti i viadotti sono concepiti come **strutture indipendenti per ogni carreggiata**.



La **lunghezza totale** dei viadotti va da un minimo da 100m ad un massimo di quasi 1200m (viadotto Lagaro).



Il **viadotto Lagaro**, che è il più lungo della Variante, possiede 12 campate di cui 3 da 120m, 7 da 100m e 2 da 70m.



Viadotto Lagaro

Variante di Valico – Criteri per la definizione dei Viadotti e Obiettivi da raggiungere

STUDIO DEL TIPOLOGICO

La ricerca della soluzione standard è stata effettuata tenendo conto:

- della particolare morfologia del territorio, caratterizzato da zona montuosa con versanti in frana
- delle aree difficilmente accessibili e raggiungibili

il viadotto «tipo» doveva possedere luci più lunghe possibile e di altezza ragionevole con scarichi in fondazione sufficientemente contenuti.



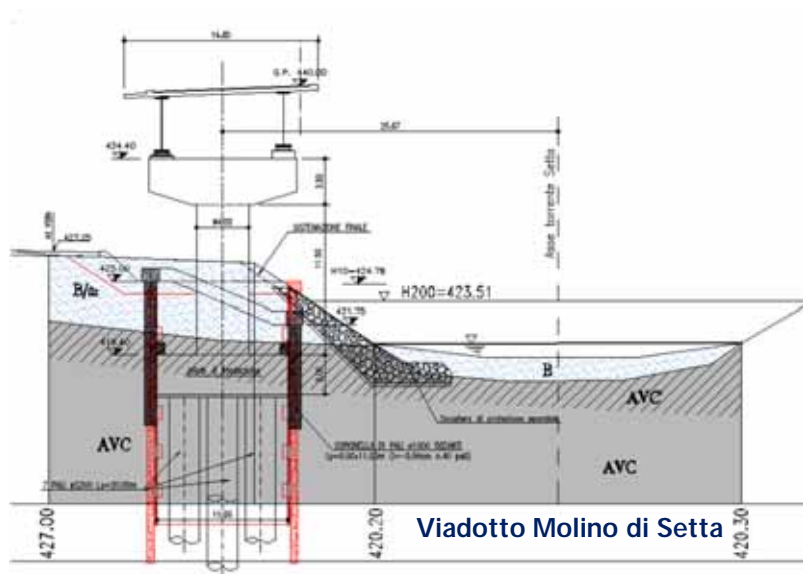
1. Ridurre il numero (e le dimensioni) di sottostrutture;
2. Garantire un buon comportamento statico e sismico della struttura;
3. Contenere l'altezza dell'impalcato, garantendo un adeguato franco;
4. Soddisfare le prescrizioni degli enti (ambiente);
5. Ottenere soluzioni omogenee e durevoli;
6. Soluzioni economicamente sostenibili.



Viadotto Lama di Setta

Variante di Valico – Attraversamento del torrente Setta

Nella prima parte del tracciato è di significativa importanza **l'impatto con il torrente Setta, che viene intercettato una decina volte**; la tutela di tale corso d'acqua è risultata essere di fondamentale importanza in quanto esso costituisce una fonte di approvvigionamento di acqua potabile per il comune di Bologna.



PRESCRIZIONI DI ENTI (Servizio Tecnico di Bacino del fiume Reno):

1. Pile esterne all'alveo con $Tr = 200$ anni;
2. Quota fondazione a $-3.00m$ rispetto al fondo del paleo alveo;
3. Demolizione di parte delle opere provvisorie, in caso di interferenza con la piena $Tr = 200$ anni (senza riattivazione di corpi di frana quiescenti);
4. Opere di protezione idraulica (spondali e/o delle pile).



SOLUZIONI INTRAPRESE

1. Quota di imposta dei micropali delle coronelle abbassata, al fine di evitare le demolizioni richieste.
2. Predisposizione di una specifica procedura di sicurezza per regolamentare le attività lavorative in caso di piena.
3. Le fasi di scavo all'interno del pozzo sono state comunque concentrate nei periodi di magra del fiume.

Variante di Valico – Obiettivi da raggiungere: l'omogeneità delle soluzioni

Sulla base dell'esperienza maturata con l'attività di manutenzione sul tracciato storico, che si presenta difficoltosa a causa delle soluzioni differenti adottate dalle varie imprese costruttrici, che hanno avuto totale libertà nelle scelte e tipologie costruttive, si è cercato di proporre per tutti i viadotti della variante una soluzione **standardizzabile, ripetibile, facilmente realizzabile** e soprattutto di **semplice e agevole manutenzione, e con costi contenuti**.



Viadotto Navale

Variante di Valico – Obiettivi da raggiungere: l'omogeneità delle soluzioni



Viadotto Fiumicello

COSTI MEDI

30 mln €/km solo la struttura; 55 mln €/km costo totale (struttura + arredi + costi accessori)

2000 €/m² incidenza della sola struttura ; 3700 €/m² incidenza totale (struttura + arredi + costi accessori)

Incidenza costi strutturali / costo totale = 54%

Variante di Valico – Obiettivi da raggiungere: l'omogeneità delle soluzioni



Viadotto Lagaro

Variante di Valico – Le soluzioni del passato

Il **tracciato storico della A1 tra Bologna e Firenze** presenta una grande varietà di soluzioni e di tecniche costruttive: si passò dal cemento armato (travate con grandi archi) al precompresso (sia a cavi aderenti che scorrevoli). Fu poi applicata a larga scala la prefabbricazione delle travi da 32m e il varo con carro ponte. Sono infine presenti strutture in acciaio con soletta collaborante.

Le scelte effettuate allora, così differenti, hanno comportato nel corso della gestione dell'infrastruttura **significative difficoltà**, in particolare nelle **operazioni di manutenzione**; alcuni interventi di manutenzione straordinaria si sono rivelati di una **complessità** tale da comportare un costo di ingente entità.

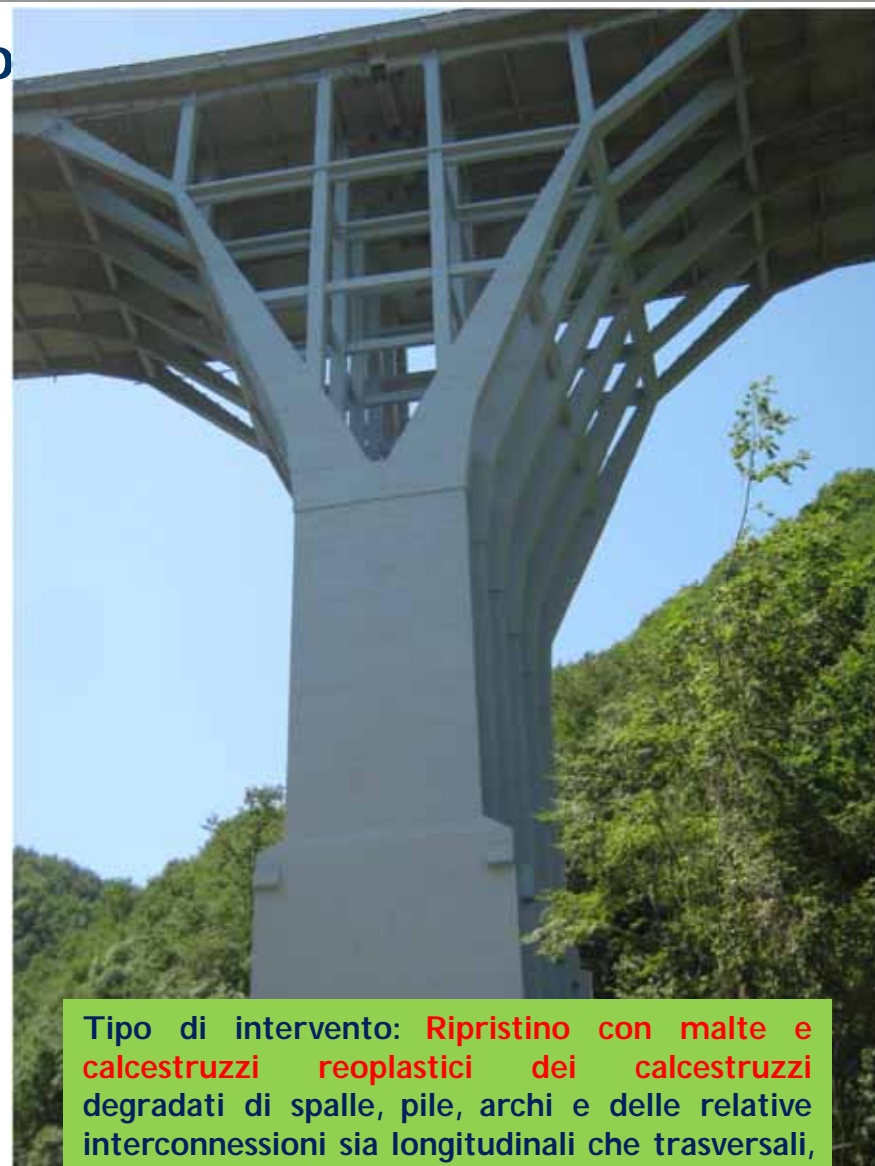


Variante di Valico – Interventi sullo storico

Viadotto Pecora Vecchia (progr. km 244+487 A1 Milano – Napoli)

Tipologia strutturale: l'opera si sviluppa per circa 285 m ed è formata da **cinque archi reticolari** in c.a. costituiti da un complesso di pile, pilastri, interconnessioni trasversali e longitudinali e puntoni che formano degli archi a sesto acuto. Le pile a sostegno degli archi reticolari sono a pettine e poggiano su fondazioni dirette.

Ultimazione lavori: giugno 2013



Tipo di intervento: **Ripristino con malte e calcestruzzi reoplastici dei calcestruzzi degradati di spalle, pile, archi e delle relative interconnessioni sia longitudinali che trasversali, nonché ripristino della funzionalità del sistema di smaltimento delle acque meteoriche.**

Costo intervento: 4.472.700,98 €

Variante di Valico – Obiettivi da raggiungere: la vita utile

VITA NOMINALE DELLE OPERE DELLA VARIANTE: 50 anni

Le **CLASSI DI ESPOSIZIONE** degli elementi in calcestruzzo (UNI EN 206)



Plinti e pali:	XC2	BAGNATO, RARAMENTE ASCIUTTO	PARTI DI STRUTTURE DI CONTENIMENTO LIQUIDI, FONDAZIONI. CALCESTRUZZO ARMATO ORDINARIO O PRECOMPRESSO PREVALENTEMENTE IMMERSO IN ACQUA O TERRENO NON AGGRESSIVO.
Pile, pulvini elevazioni:	XF1	MODERATA SATURAZIONE DI ACQUA, IN ASSENZA DI AGENTE DISGELANTE	SUPERFICI VERTICALI DI CALCESTRUZZO COME FACCIATE E COLONNE ESPOSTE ALLA PIOGGIA ED AL GELO. SUPERFICI NON VERTICALI E NON SOGGETTE ALLA COMPLETA SATURAZIONE MA ESPOSTE AL GELO, ALLA PIOGGIA O ALL'ACQUA.
Solette:	XD1	UMIDITA' MODERATA	CALCESTRUZZO ARMATO ORDINARIO O PRECOMPRESSO IN SUPERFICI O PARTI DI PONTI E VIADOTTI ESPOSTI A SPRUZZI DI ACQUA CONTENENTE CLORURI.

Le azioni ambientali agenti sulle opere sono particolarmente aggressive:

- cicli di gelo e disgelo
- utilizzo di sali disgelanti
- presenza di acqua / umidità



LA **COMPOSIZIONE** DEL CALCESTRUZZO (Norme tecniche d'appalto)

E' stata studiata attentamente la formulazione del calcestruzzo attraverso la definizione di:

- Classe di resistenza e Classe di consistenza (slump)
- Aggregati (caratteristiche mineralogiche e diametro massimo)
- Rapporto acqua cemento
- Tipo di cemento



Variante di Valico – Obiettivi da raggiungere: la durabilità



Durabilità delle travi: Nell'acciaio patinabile (**Cor-ten**) la resistenza alla corrosione è garantita da una patina protettiva di ossido a forte aderenza.

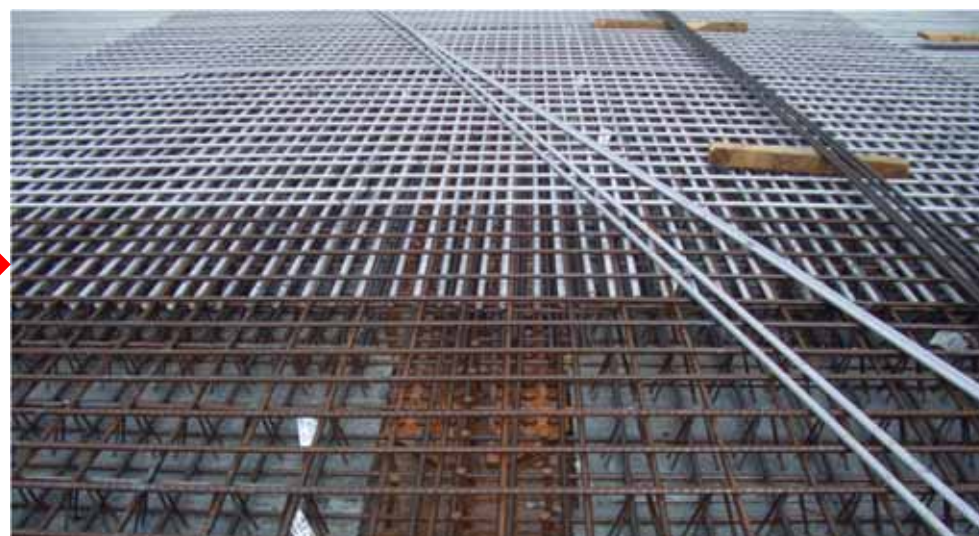
In normali condizioni ambientali il processo di formazione della patina avviene in 18-36 mesi, con una diminuzione di spessore di circa 0,05mm.

Per la corretta formazione della patina:

- cicli alternati asciutto/bagnato
- contatto con l'atmosfera,
- azione fotocatalitica della luce solare
- assenza di ristagni permanenti con l'acqua.

La **durabilità della soletta** d'impalcato è stata garantita mediante le precauzioni seguenti:

- classe elevata di calcestruzzo: $R_{ck} > 450 \text{ kg/cm}^2$
- **copriferro** netto minimo 3cm
- armatura fitta in zona tesa
- impiego di fluidificanti nel getto
- **acciaio inox** per le zone a momento negativo
- manto impermeabile (elastomero poliuretano spruzzato protetto con conglomerato bituminoso)



Viadotto Sieve – particolare soletta con armatura inox

Variante di Valico – Scelta dello standard: luci e altezze di impalcato

Poiché il territorio ha una **morfologia complessa**, le altezze delle sottostrutture -e quindi la quota dell'impalcato rispetto al piano campagna - possono essere importanti oppure ridotte.



Viadotto Bollone

La luce media dei viadotti varia da un minimo di 40-60m ad un massimo di 100-120m.

L'altezza (costante) delle travi è pari a 4.00 – 4.20m.



Viadotto Molino di Setta



Viadotto Casaglia

Variante di Valico – Scelta dello standard: sezione trasversale

La tipologia ordinaria di attraversamento è costituita da un impalcato con **struttura composta acciaio – calcestruzzo** con schema statico di trave continua appoggiata su pile in calcestruzzo.

In direzione trasversale, lo schema proposto è quello di:

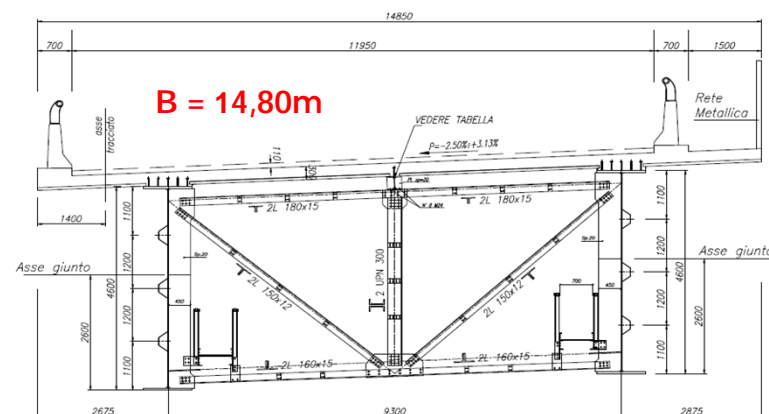
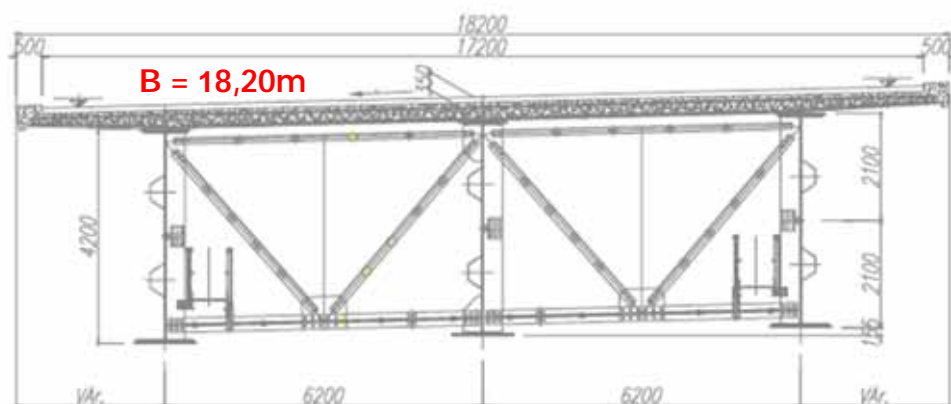
tre travi collegate con diaframmi reticolari (**graticcio**)



Viadotto Bollone

L'incidenza media dell'acciaio da carpenteria è compresa tra 360kg/m^2 e 430kg/m^2

oppure di **cassone torsio-rigido** (alla Bredt)



Variante di Valico – Scelta dello standard: sezione trasversale

La definizione del tipologico è stata orientata verso scelte sufficientemente "semplici" in modo da rendere l'appalto il più possibile competitivo.

Sezione trasversale di impalcato:

TRE TRAVI

DUE TRAVI + TRAVE DI SPINA

Per l'ottimizzazione della sezione:

- differenti spessori delle piattabande e delle anime delle travi
- spessore costante dell'anima (per ogni campo)
- larghezza di piattabanda superiore costante
- dimensioni delle piattabande suddivise in gruppi, con transizioni sempre alla stessa distanza rispetto agli appoggi
- dimensioni dei piatti commerciali, ove possibile.

Lo studio della posizione e della tipologia dei diaframmi è stato particolarmente ottimizzato, per le difficoltà delle lavorazioni dovute alle giunzioni e ai dettagli.

In generale è stato previsto di adottare diaframmi di tipo K.

SEZIONE APERTA: DURABILITA' + ISPEZIONABILITA'



IRRIGIDIMENTI:

- Trasversali (piatti saldati a tutta altezza)
- Longitudinali (canalette a U saldate esternamente)
- Appoggio (piatti a tutta altezze e di altezze minori)

Variante di Valico – Sistema di vincolo e analisi sismica

Considerando il **grado di sismicità** delle zone in esame, che si presenta **medio alto**, sono stati effettuati approfondimenti allo scopo di pervenire alla migliore soluzione sia come prestazione dell'opera da un punto di vista sismico, che sotto l'aspetto economico. Si è cercato inoltre di adottare sistemi che non richiedessero un ingente numero di interventi sulla struttura nel corso della vita utile.

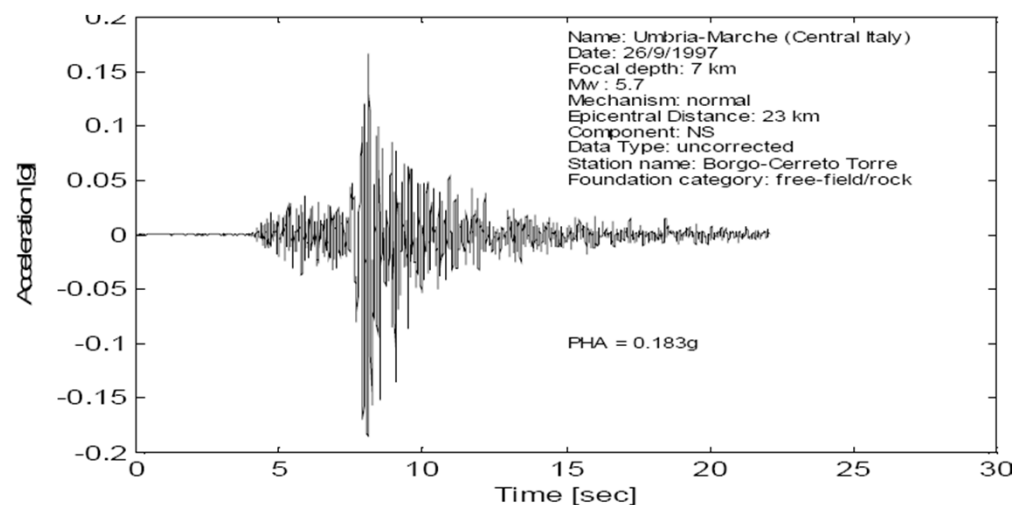
Sono state adottate due differenti strategie: la prima, che ha previsto l'utilizzo di **dispositivi sismici** (detti **shock transmitters**) (1), per consentire, per la determinazione della risposta sismica dell'opera, la collaborazione di tutti gli elementi strutturali, evitando di concentrare le reazioni in pochi punti; l'altra strategia ha previsto invece l'adozione di **isolatori** (2).

In entrambi i casi è stata effettuata **un'analisi statica della struttura sotto i carichi di peso proprio e permanenti portati**.

In tutti i casi, le azioni sismiche sono state valutate mediante le seguenti analisi dinamiche:

- **analisi modale**: finalizzata alla **determinazione delle frequenze più significative** in base alle quali sono stati valutati gli effetti di smorzamento delle strutture degli impalcati e dei sostegni.

- **analisi con applicazione di accelerazioni** al suolo secondo le "time-history" degli eventi sismici reali. Gli effetti delle azioni sismiche di risposta sono stati valutati con analisi "step by step".



Viadotto Lora – accelerogramma registrato

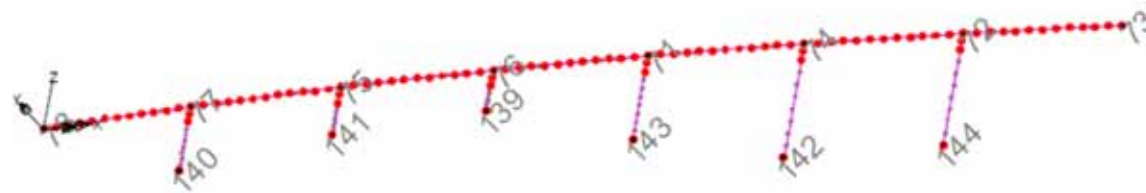
INPUT SISMICO: Sono stati utilizzati accelerogrammi registrati e si è considerata l'azione sismica con riferimento al periodo di ritorno pari a 475 anni. Tutte le analisi sismiche sono state eseguite secondo i criteri esposti nell'Eurocodice 8.

Variante di Valico – Sistema di vincolo e analisi sismica 1/2

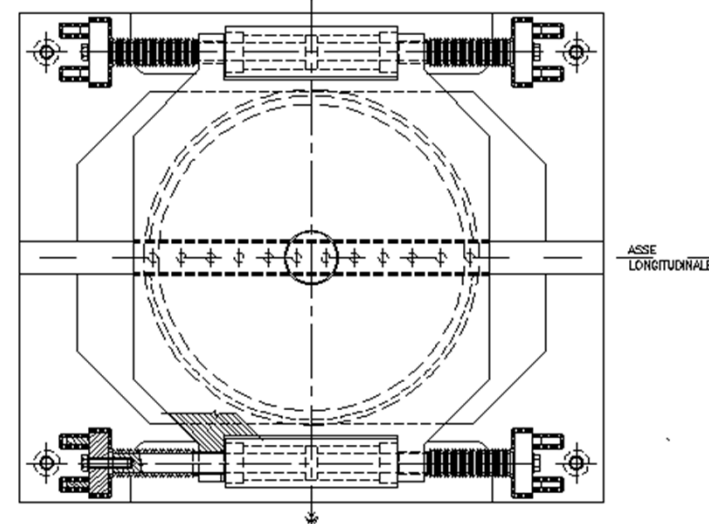
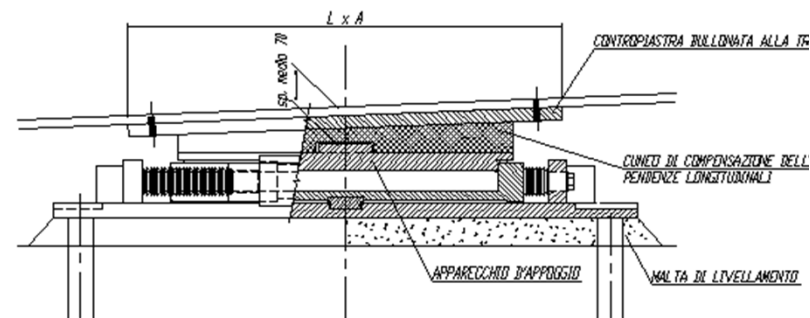
LA RISPOSTA SISMICA: I **dispositivi sismici** sono stati ampiamente adottati, in quanto hanno permesso di **distribuire l'azione sismica su tutte le pile**, mantenendo al contempo un comportamento isostatico del viadotto per azioni longitudinali di lunga durata, come la temperatura.

Il progetto dei dispositivi sismici è stato sviluppato per assicurare una distribuzione delle sollecitazioni che fosse il più possibile uniforme tra le pile di differente altezza.

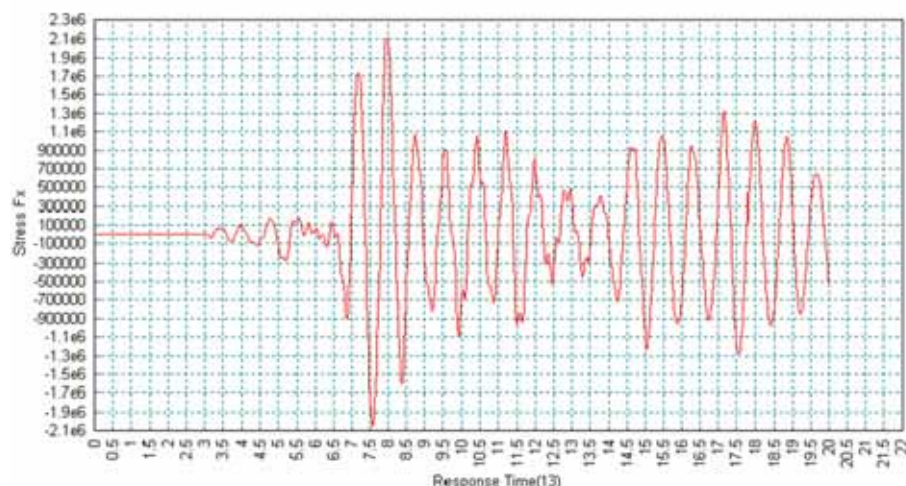
Sono stati inseriti dei **dissipatori sismici** ove **l'altezza ridotta delle pile** non consentiva l'inserimento dei dispositivi sismici, in particolare sono stati previsti appoggi in acciaio unidirezionali accoppiati con smorzatori (tradizionali o elastomerici).



Viadotto Lora – modello longitudinale



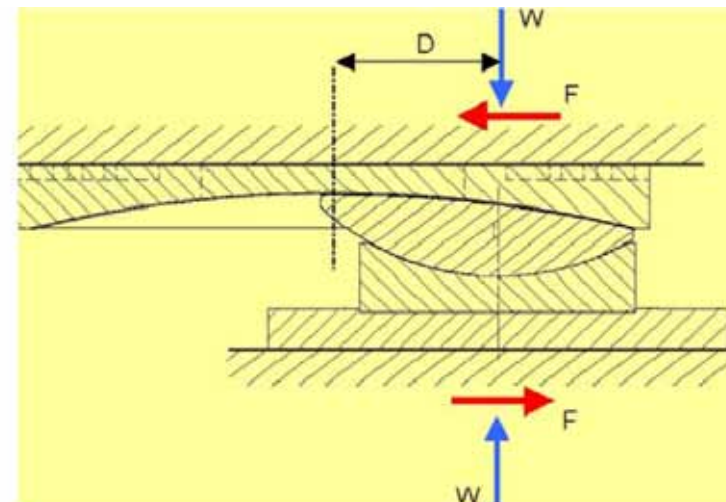
Lora - appoggio pile P3 - sisma1 long - Fx



Viadotto Lora - reazione appoggio pile 3 - sisma longitudinale

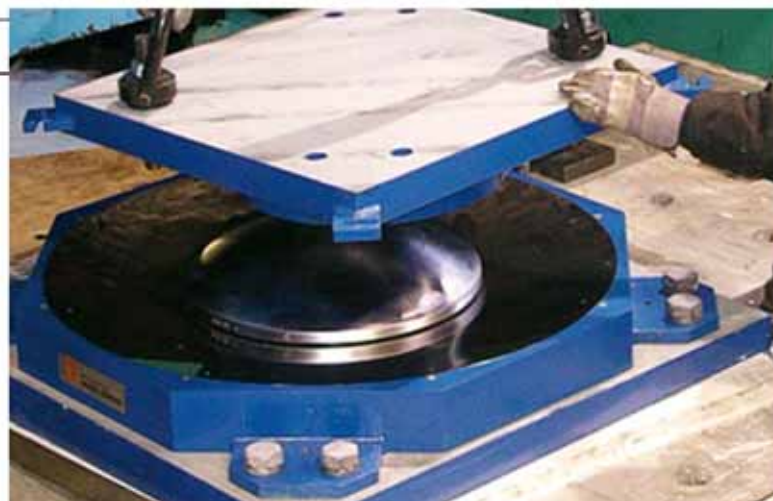
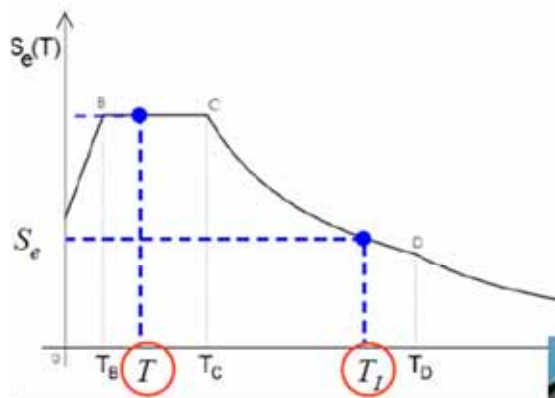
Variante di Valico – Sistema di vincolo e analisi sismica 2/2

LA DOMANDA SISMICA: il secondo approccio utilizzato su alcuni viadotti della Variante di Valico è stato quello di adottare gli **isolatori** (del tipo «friction pendulum»), al fine di ridurre le azioni sismiche aumentando il periodo proprio di vibrazione della struttura (da T a T_1).



PROPRIETA' DEL DISPOSITIVO A PENDOLO : $S_e(T)$

- RAGGIO = 3000 mm
- COEFFICIENTE DI ATTRITO DINAMICO = 3 %
- COEFFICIENTE DI ATTRITO STATICO = min 3 % - max 9 %
- ROTAZIONI INTORNO AD ASSI ORIZZONTALI = max 0.01 rad
- PERIODO PROPRIO DELLA STRUTTURA ISOLATA = 2.5 s
- SMORZAMENTO VISCOSO EQUIVALENTE = 30%



Ai fini dell'analisi modale in campo lineare della struttura è stata definita una rigidità efficace pari a: $W/R + mW / D$, ove

- D è il massimo spostamento ammissibile
- W sono le azioni verticali permanenti

La particolare geometria della superficie di scorrimento determina un comportamento di tipo auto-ricentrante in campo statico.

Variante di Valico – Sottostrutture

Sono state utilizzate due principali categorie di pile:

-Le **pile a T** (in caso di altezza limitata)



-Le **pile a parete** (in caso di altezza maggiore)

Nel primo caso è stata prevista una trave – pulvino di forma rettangolare poggiante su una colonna circolare

Nel secondo caso è stata prevista una parete rettangolare di spessore costante (in caso di impalcati con due travi) o con un pulvino appena estradossato (in caso di impalcati con tre travi).



Variante di Valico – Fondazioni speciali

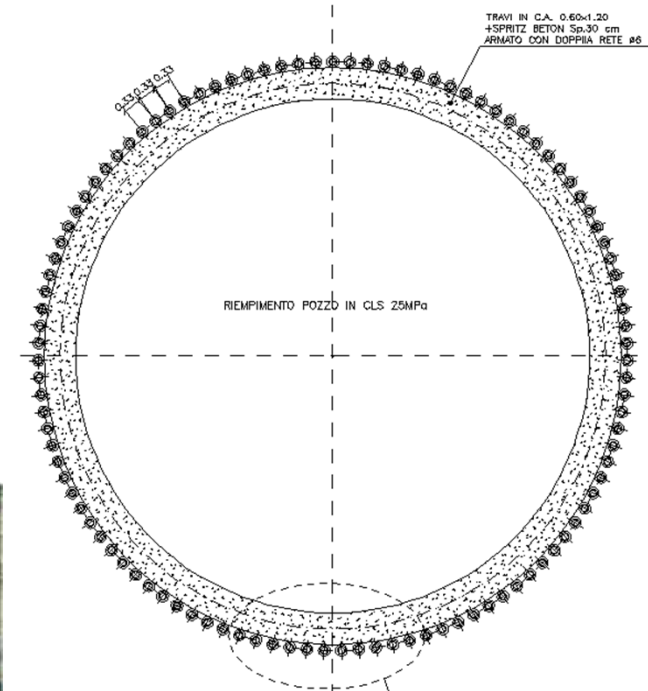


Sasso Marconi - Barberino; marzo_2007; Lotto 12; Viadotto Fiumicello Nord

Variante di Valico – Fondazioni speciali

Le fondazioni sono costituite da **POZZI di grande diametro**, in grado di resistere alla eventuali spinte orizzontali dovute sia ai versanti in frana che al sisma. La scelta dei pozzi è stata dettata anche dalle caratteristiche litologiche dei terreni di fondazione, caratterizzati spesso da formazioni alluvionali con parametri geotecnici scadenti e poggianti su uno strato di argillite/siltite a profondità maggiori di 20 – 30 m.

I pozzi stati sono realizzati con **coronelle esterne di micropali**, rinforzati con anelli in calcestruzzo armato e riempiti con calcestruzzo di resistenza > 25 MPa; in alcuni casi è stata prevista una coronella interna in jet grouting (vedi slide successiva).



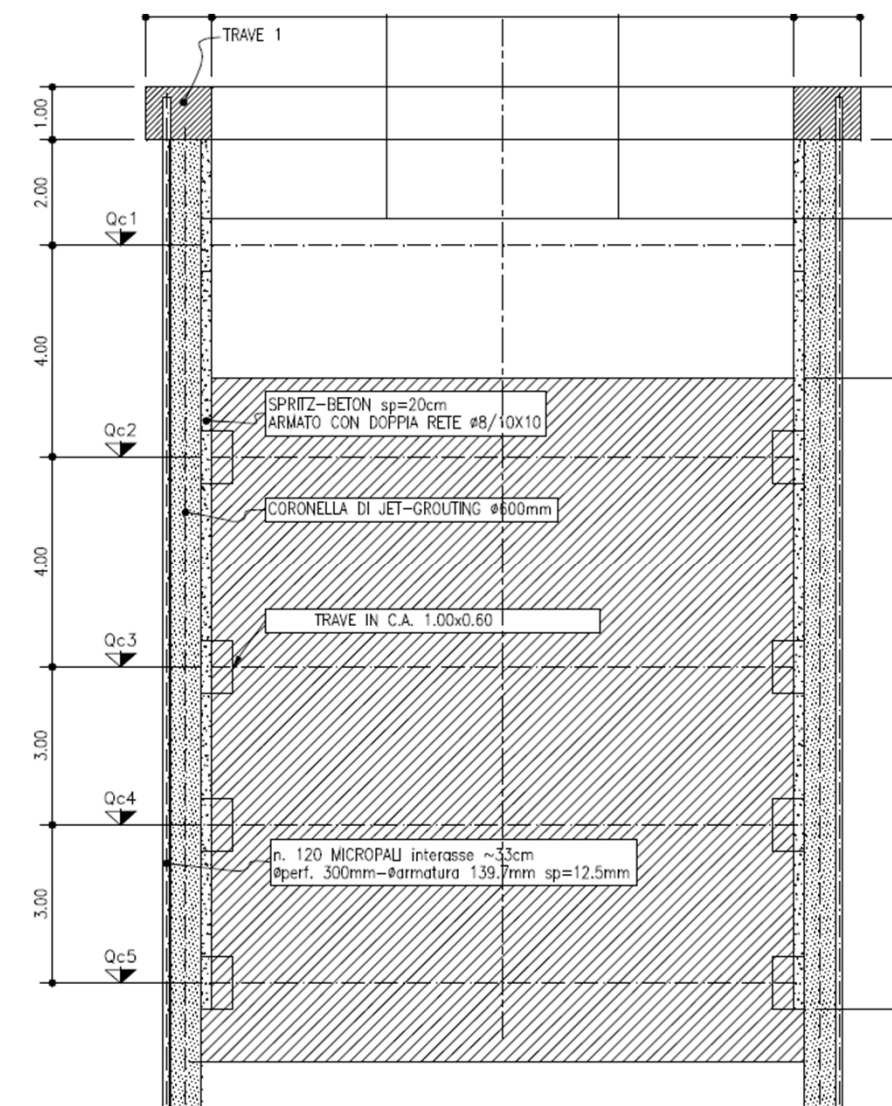
Diametro medio pozzi: 11 m

Profondità media: 15 – 20 m

Variante di Valico – Fondazioni speciali

FASI ESECUTIVE POZZI

1. Esecuzione di una coronella circolare di micropali;
2. Esecuzione di una coronella di colonne in jet grouting compenstrate;
3. Scavo all'interno della coronella, per conci successivi con altezza massima di scavo pari all'interasse delle travi di contrasto in c.a. e/o delle centine. Al termine di ogni fase scavo è stato realizzato il rivestimento della parete interna del pozzo, costituito da centine metalliche e da uno strato di spritz-beton armato;
4. Riempimento del pozzo, senza interruzione del getto, con conglomerato cementizio fino alla quota di intradosso del plinto di fondazione;
5. Realizzazione del plinto di fondazione e della struttura in elevazione;
6. rimodellamento del terreno interessato dai lavori fino al raggiungimento della quota di progetto.



La cinturazione esterna con micropali -oltre a contribuire con la coronella in jet grouting al sostegno delle pareti di scavo del pozzo- ha avuto la finalità di protezione contro possibili problematiche di inquinamento delle acque di falda e/o del torrente Setta e di garantire la buona riuscita delle colonne in jet grouting contro possibili dilavamenti per filtrazione di acqua.

Variante di Valico – Fondazioni speciali

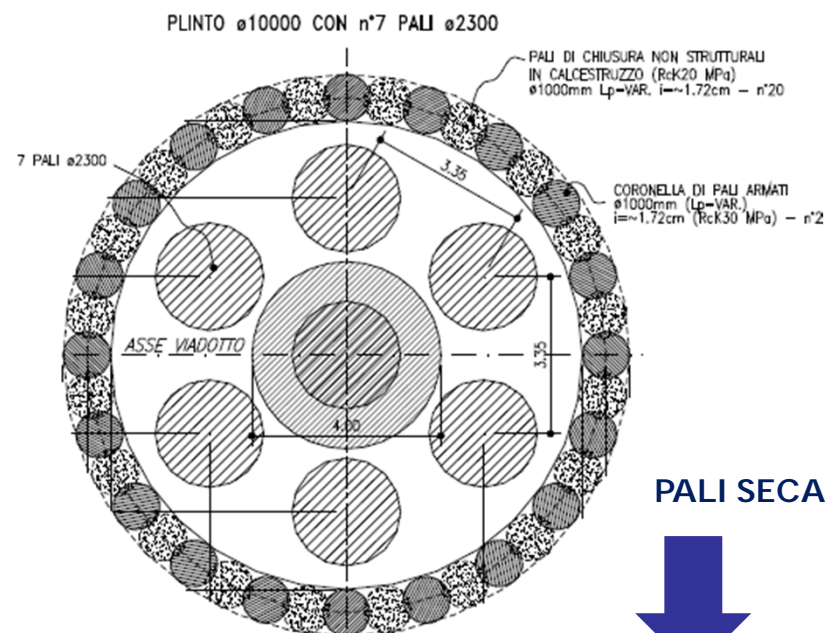
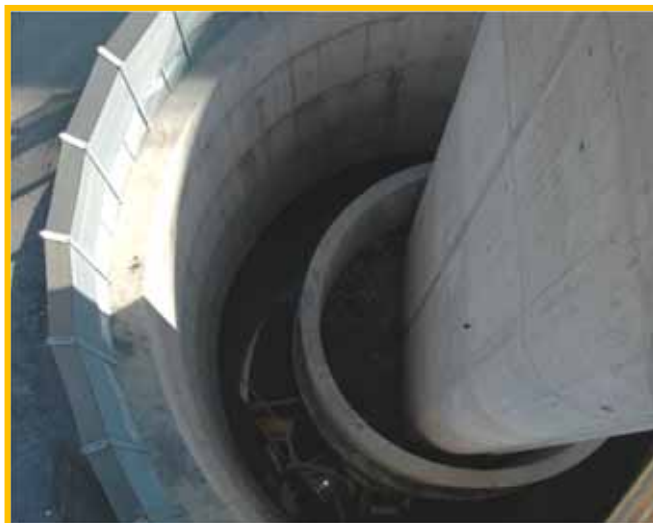
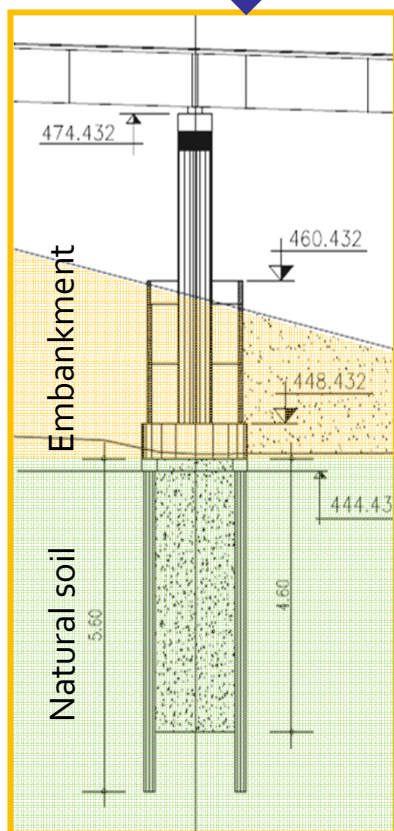
VIADOTTO CASAGLIA: le **fondazioni «indipendenti»**



Le fondazioni del viadotto Casaglia sono state realizzate all'interno di un rilevato di ingente altezza.

Per evitare il fenomeno **dell'attrito negativo** è stato scelto di rendere le **fondazioni delle pile del viadotto indipendenti** dal terreno circostante: è stato pertanto realizzato un guscio esterno in calcestruzzo all'interno del quale è stata posizionata la pila con le fondazioni.

Per le spalle è stata adottata la stessa tecnica, prevedendo a tergo delle stesse un rilevato in "terra rinforzata".

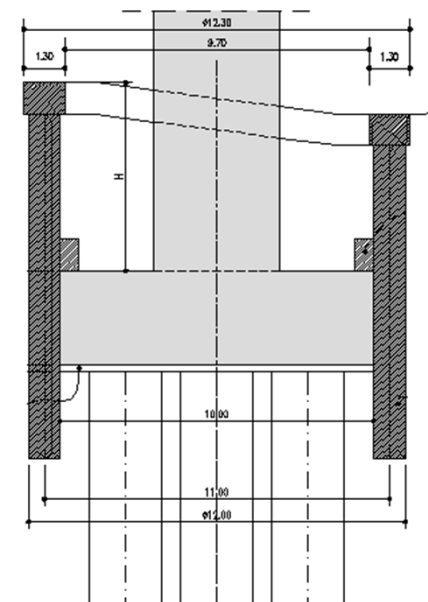


PALI SECANTI



In alcuni casi i pozzi sono stati sostituiti con **pali di grande diametro** (teoria del "pozzo equivalente") la coronella esterna di micropali e/o jet grouting è stata sostituita da pali secanti.

Tali pali -di diametro 2300mm- sono stati rivestiti all'interno, al fine di garantire la massima tenuta d'acqua in fase di scavo all'interno del pozzo.



Variante di Valico – Assemblaggio

Per facilitare i trasporti dei **conci** di trave questi ultimi hanno dimensioni massime pari a **13,0m di lunghezza e 2,20m di altezza**.

Prima del varo, si è proceduto all'assemblaggio dei vari elementi costituenti l'impalcato:

- Unioni di conchi di trave per formare macroconci di lunghezza pari a 70m mediante saldature a piena penetrazione;
- Assemblaggio delle travi con i diaframmi mediante unioni bullonate (a taglio);
- Dopo il posizionamento in opera -nel caso di varo dal basso- si è proceduto con l'unione tra macroconci di trave, mediante bulloni (ad attrito).



Viadotto Badia Nuova



Il **comportamento a fatica** dell'impalcato: efficienza dei dettagli costruttivi, ed in particolare dei giunti saldati.

Per le verifiche a fatica sono state considerate le seguenti saldature:

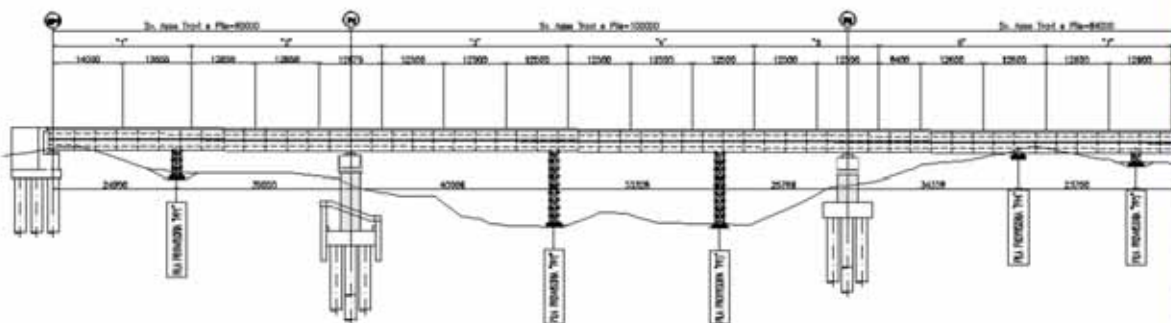
- cordone d'angolo tra irrigidimenti trasversali e piattabande;
- cordone d'angolo tra anime e piattabande;
- tra pioli e piattabanda superiore (rottura in lamiera).



Variante di Valico – Tecniche di varo



In condizioni ordinarie si è preferito eseguire il **varo delle travi dal basso**, anche con l'adozione di appoggi provvisori in acciaio, in corrispondenza delle giunzioni, ove possibile.



Variante di Valico – Tecniche di varo



Viadotto Navale

La **tecnica di varo per spinta** è stata utilizzata molto spesso, sia a causa di aree inaccessibili che al fine di eliminare i tempi di realizzazione delle sottostrutture provvisorie e ottimizzare quelli del montaggio dell'impalcato.

La base di assemblaggio (e spinta) è solitamente posta in corrispondenza di una spalla.

Un avambecco è stato agganciato davanti la prima campata e l'intero impalcato già montato, comprensivo dei diaframmi, è stato spinto da un sistema idraulico, con l'aiuto di apposite guide scorrevoli.

Nel progetto sono state considerate tutte le fasi, che comportano schemi statici della struttura differenti rispetto alla configurazione finale.



Viadotto Casaglia



Variante di Valico – I viadotti in precompresso - Viadotto Reno e Aglio

Il **viadotto Reno** e il **viadotto Aglio** sono le due opere simbolo della Variante di Valico e costituiscono le porte di accesso all'intera opera, rispettivamente da nord e da sud; sono due opere eccezionali sia da un punto di vista architettonico che strutturale, e si differenziano da tutti gli altri viadotti della Variante sia per le caratteristiche geometriche che per le scelte adottate.

Per le particolari condizioni al contorno del contesto in cui sono inserite le suddette opere è stato necessario -in questi due casi specifici- raggiungere **luci di campate superiori** rispetto agli altri viadotti della variante (135m per il viadotto Reno e 148m per il viadotto Aglio).

In entrambi i casi è stato previsto l'utilizzo di strutture in **calcestruzzo armato precompresso**.



Variante di Valico – Il viadotto Aglio

Il viadotto Aglio è stato realizzato all'interno di una vallata larga solo 600m **in adiacenza all'omonimo viadotto del tracciato storico**, caratterizzata da una struttura ad arco; anche per questo, la struttura nuova ha voluto richiamare l'impronta del viadotto esistente.

LA GEOMETRIA DELL'IMPALCATO: 148m per le tre campate centrali e 79m per le due campate laterali. La larghezza della carreggiata è variabile da 19,70m a 22m mentre l'altezza massima rispetto al fondovalle risulta essere pari a 87m.

LA SOLUZIONE ADOTTATA: un impalcato a **sezione scatolare in calcestruzzo precompresso** costruito con carrelloni a sbalzo, che non necessitano di puntelli a terra. I carrelloni consentono un procedimento realizzativo con «conci a sbalzi simmetrici» rispetto alle pile (cantilever) di altezza via via ridotte (da 7,50m a 3,0m). Le sezioni a sbalzo si congiungono in corrispondenza della chiave della campata.

LO SCHEMA STATICO: una **successione di telai incastrati**, con le estremità poste in corrispondenza delle spalle che risultano longitudinalmente scorrevoli.



A1 Bologna Firenze Viadotto Aglio

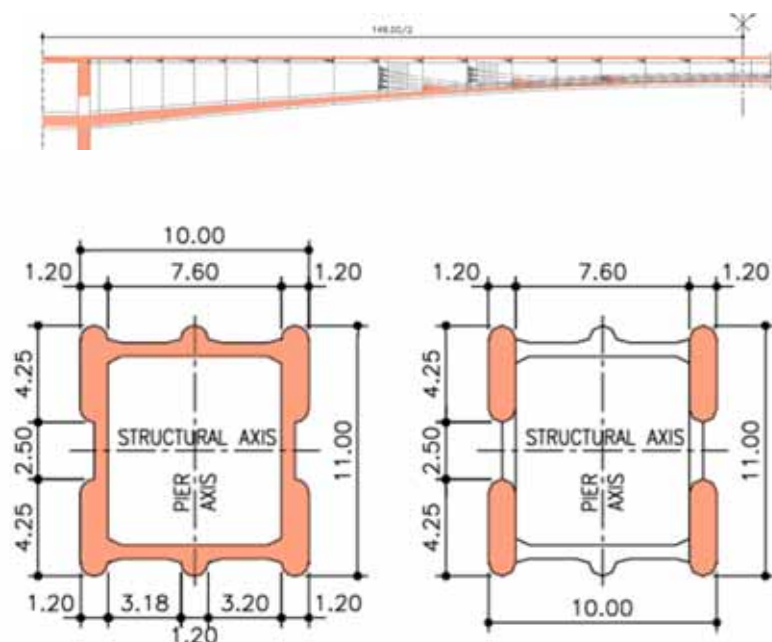
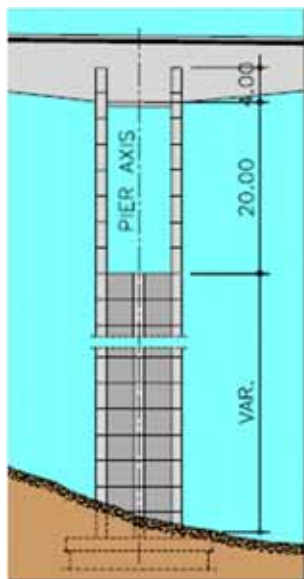


Viadotto Aglio

Variante di Valico – Il viadotto Aglio

Durante la realizzazione l'opera ha subito **4 differenti schemi statici**:

- stampelle isolate e isostatiche, con getto dei conci a sbalzo simmetrici e con precompressione di prima fase
- stampelle di riva appoggiate alle spalle
- coppie di stampelle laterali collegate in chiave e appoggiate alle spalle e precompressione di seconda fase
- getto della chiave centrale, con funzionamento finale a telaio



LE SEZIONI DELLE PILE



L'impalcato è precompresso longitudinalmente, trasversalmente in soletta e verticalmente nelle anime (mediante **barre dywidag** diametro 36mm a interasse 50cm).

Variante di Valico – Il viadotto Aglio



Variante di Valico – Il viadotto Reno

Condizioni al contorno: lo scavalco del fiume Reno, il tracciato particolarmente curvilineo e il repentino cambiamento dell'altimetria del terreno, inizialmente costante in golena per subire una brusca variazione in prossimità dell'imbocco della galleria Monte Mario.

LA SOLUZIONE ADOTTATA: ciascuna via di corsa è stata realizzata mediante una **travata continua in c.a.p. a cassone unicellulare**. L'adozione di **due pile sdoppiate a forma di V** riduce le luci teoriche di impalcato e consente l'impiego di una sezione di altezza pari a 4,50 m.



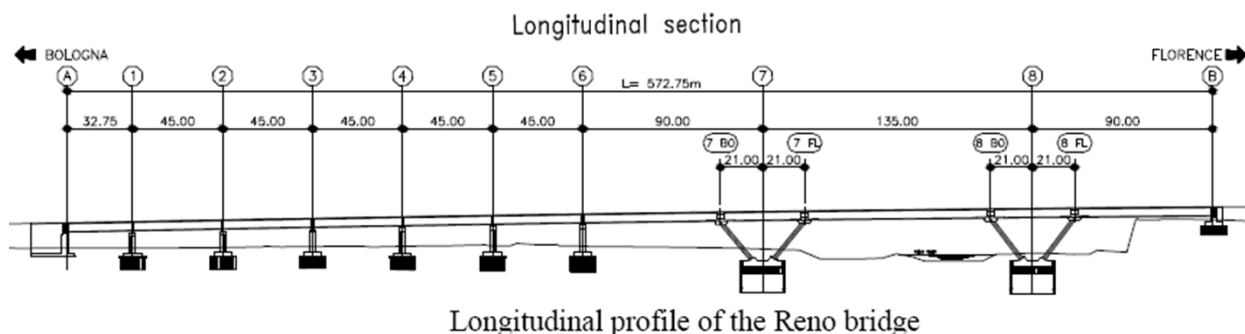
Le **pile** tipo presentano una sezione cellulare di forma rettangolare mentre i sostegni speciali sono formati da una **coppia di steli inclinati** realizzati mediante un guscio in acciaio di forma ellittica riempito con **calcestruzzo reodinamico**.

Durante la fase di varo sono state predisposte delle pile provvisorie (fusti in calcestruzzo) sia per ridurre la luce massima che per sostenere le estremità superiori degli steli.



SPINTA MASSIMA: 13.000kN

Gli appoggi hanno portata verticale massima pari a 16.000kN.



Variante di Valico – Il viadotto Reno

Il cassone è stato precompresso longitudinalmente utilizzando cavi a trefoli post tesi da 0,62" in due fasi distinte:

1. La **Precompressione di prima fase** (andamento rettilineo e risultante baricentrica), che si evolve contestualmente alla realizzazione dei conci. Forza di precompressione di prima fase: 77.000kN che corrisponde ad un'azione di compressione pari a circa 4,40MPa.
2. La **Precompressione di seconda fase**, attivata al termine del varo del cassone, dopo la realizzazione delle connessioni in testa alle pile speciali e prima della rimozione delle pile provvisorie (con andamento curvilineo, in contrasto con le azioni esterne). Forza di precompressione di seconda fase sulle campate centrali: 5+5 cavi da 31 trefoli che offrono un'azione pari a 6.600kN ciascuno.

I cavi sono tesati da ambo i lati in prossimità delle varie sezioni di giunto.



Il peso medio del concio tipo completo è pari a 1.500kN.

Il peso complessivo della struttura estrusa nell'ultima fase di varo è pari a circa 19.500kN.

Variante di Valico – Il viadotto Reno



Variante di Valico – Tecnologie e materiali innovativi

Per il **viadotto Aglio** è stato previsto l'utilizzo di **calcestruzzo autocompattante**, sia per l'impalcato che per le pile, la cui composizione è stata dettagliatamente studiata insieme ai tecnici della BASF.

Tale scelta è stata adottata per garantire **elevata lavorabilità**, per evitare vibrazioni in sito e per la facilità di posa in opera, con riferimento alla presenza di armature particolarmente fitte.



In corrispondenza della giunzione tra pulvino ed estradosso impalcato delle pile a V del **viadotto Reno**, a causa delle importanti sollecitazioni taglienti in gioco, è stato prioritario realizzare la perfetta «chiusura» dell'interfaccia:

in una prima fase è stato gettato il pulvino con l'ausilio del **calcestruzzo reodinamico**, poi dopo l'indurimento del getto è stata effettuata l'iniezione di malta cementizia ad elevata fluidità, tramite tubi fessurati in PVC posizionati proprio lungo la superficie di contatto pulvino – impalcato.

Variante di Valico – Le opere ultimate



Viadotto Fiumicello



Viadotto Pian di Setta



Viadotto Lagaro

VARIANTE DI VALICO				aggiornamento al 15.10.2014
Lotto	Lunghezza [Km]	Avanzamento al 30.09.2014	Status	Fine lavori
Casalecchio - Sasso Marconi (Lotto 0)	4,1	100,0%	Lavori ultimati	2009
Sasso Marconi - La Quercia (Lotti 1, 2, 3, 4)	19,4	100,0%	Lavori ultimati	2007
La Quercia - Badia Nuova (Lotto 5A)	7,6	100,0%	Lavori ultimati	2013
La Quercia - Badia Nuova (Lotto 5B)	3,3	82,0%	Lavori in corso (1)	2015
La Quercia - Badia Nuova (Lotto 6-7)	6,6	71,0%	Lavori in corso (1)	2015
Badia Nuova - Aglio Galleria di Base (Lotto 9-10-11)	11,2	95,9%	Lavori in corso (1)	2015
Badia Nuova - Aglio (Lotto 12 e Svincolo di Barberino)	4,5	100,0%	Lavori ultimati (2)	2011
Aglio - Barberino (Lotto 13)	6,1	94,1%	Lavori in corso (1)	2015
Altre Opere sul Territorio (*)	3,0	69,0%	Lavori in corso	(3)
TOTALE	58,7	88,4%		