

RELAZIONE TECNICA

Con Determina Dirigenziale n.2809, in data 15 luglio 2020 il Comune di L'Aquila mi ha affidato l'incarico per *"la verifica tecnico-economica della riparazione e consolidamento strutturale ovvero della demolizione e ricostruzione del Ponte Belvedere"*.

A tal fine mi sono state fornite le seguenti documentazioni:

- Relazione sul Progetto Esecutivo, a firma dell'ing. Aldo Arcangeli - luglio 1962
- Relazione dei Calcoli Statici – luglio 1962
- Nota di Variante ai Calcoli Statici - aprile 1963
- Ulteriore integrazione ai Calcoli Statici
- Tavole di Progetto datate agosto 1962:
 - nn. S2 – da S4 a S12
- Tavole "as built" datate 1964/65:
 - nn. S14bis – da S15 a S28 – sa S31 a S34 – Sezione A-B
- Documenti relativi alle prove di collaudo statico del Ponte eseguite nel maggio 1966
- Indagini sperimentali sul Ponte di Belvedere – Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura, Ambientale dell'Università degli Studi di L'Aquila – data ottobre 2013-novembre 2014
- Indagine per la caratterizzazione geotecnica dei terreni do fondazione - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura, Ambientale dell'Università degli Studi di L'Aquila – data novembre 2015
- Valutazione dello stato di danneggiamento e soluzioni per la progettazione di intervento strutturale e rammodernamento architettonico del Ponte Belvedere a L'Aquila – D.I.C.E.A.A. dell'Università degli Studi di L'Aquila:
 - tav. A.07 – Relazione
 - tav. R.2 – Relazione di progetto strutturale
- Relazione Geologica a firma del Dott. Geol. Giuseppe Germani – data 10.09.2017
- Indagini integrative a cura della S2R srl – data luglio 2018
- Nota dello Studio Ingegneria Romolini – Sansepolcro (AR), circa l'opportunità di operare varianti al Progetto messo a gara a seguito di riscontrate criticità nello stesso.

ANTEFATTI

Per avere un quadro sintetico ma esauriente, è necessario riportare un breve riassunto della storia delle progettazioni e degli interventi, desunto in gran parte dal Documento Preliminare alla Progettazione a firma del RUP ing. Angelo Longo in data aprile 2018.

- Il Ponte Belvedere è stato progettato, per il suo aspetto strutturale, dall'ing. Aldo Arcangeli nel 1962, *"in completo accordo con tutte le vigenti (dell'epoca) prescrizioni regolamentari e d'intesa con i competenti Organi Tecnici della Cassa del Mezzogiorno (che finanziava l'opera)"*:
 - Il Ponte era stato classificato di 2° categoria, con i conseguenti carichi di progetto previsti dalla Circolare n.384 del 14.2.1962 del Min. LL.PP.
 - Le Norme che regolamentavano le azioni sismiche erano quelle riportate nell'art.31 del Regio decreto n.2105 del 22.11.1937

- Il Ponte è stato collaudato nel maggio 1966, con piena rispondenza tra le risultanze delle prove di carico e le previsioni progettuali.
- A seguito dell'evento sismico del 6 aprile 2009, il Ponte ha avuto indubbi danni, riscontrabili anche visivamente, prevalentemente in corrispondenza degli appoggi Gerber del sistema trave appoggiata/mensola di supporto in aggetto dalla Spalla lato Viale Papa Giovanni XXIII e dal cavalletto lato Via Persichetti. Ne è stata quindi disposta la chiusura al traffico.
- Nei mesi successivi all'evento sismico, il D.I.C.E.E.A dell'Università degli Studi di L'Aquila effettuava delle indagini che evidenziavano *“uno slittamento degli appoggi tra la campata centrale in c.a.p. e quelle laterali e condizioni di diffuso degrado ed ammaloramento nella soletta, nelle pile e in generale nelle strutture in c.a.”*. In particolare rilevava che per le mensole Gerber *“le cause del degrado del cls e conseguentemente delle armature vanno imputate soprattutto all'effetto del dilavamento a seguito di un inefficiente smaltimento delle acque meteoriche..... Lesioni diagonali diffuse interessano la mensola in c.a..... imputabili probabilmente a elevati sforzi di taglio derivanti dall'evento sismico che, fra l'altro, è stato contrassegnato da una marcata componente verticale”*
- Lo studio del D.I.C.E.E.A. proponeva quindi i seguenti interventi:
 - Sostituzione dei dispositivi di appoggio della travata centrale;
 - Interventi di rinforzo strutturale degli elementi del ponte tramite l'utilizzo di fibre di acciaio;
 - Rifacimento del manto stradale;
 - Rifacimento del sistema di illuminazione;
 - Manutenzione, riparazione e rifacimento di impianti tecnologici;
 - Manutenzione rivestimenti ammalorati;
 - Opere di drenaggio e finiture.
- Lo studio del D.I.C.E.E.A., in qualità di Progetto Preliminare, veniva quindi messo a base di gara per l'affidamento dell'incarico di Progettazione Definitiva ed esecutiva, aggiudicata in data 7/06/2016 ed affidata con disciplinare d'incarico sottoscritto il 26/08/2016 all'ing. Luca Romolini.
- Il suddetto Ingegnere, riscontrate e segnalate criticità al Progetto Preliminare, formulava la proposta di una nuova soluzione progettuale che sostanzialmente prevedeva lo smontaggio della campata in c.a.p. e la sua sostituzione con un nuovo impalcata a struttura mista acciaio-cls.
- Successivamente si è proceduto alla rescissione consensuale del contratto di affidamento della Progettazione Definitiva ed Esecutiva all'ing. Luca Romolini.

INDIRIZZI PROGETTUALI DA CONSIDERARE NELL'INCARICO

Le Norme Tecniche di riferimento sono le “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018” (NTC2018) DM 17.01.2018. (che costituiscono aggiornamento normativo del DM 14.01.2008 - NTC2008).

I sovraccarichi mobili da considerare sull'intera opera sono quindi quelli previsti nel Cap.7 – Ponti del suddetto NTC2018.

L'opera strutturale del Ponte è inserita nel Piano di emergenza Comunale di protezione Civile in quanto infrastruttura di connessione fra edifici strategici ed aree di emergenza ed infrastruttura di accessibilità che mette in relazione il sistema di emergenza interno con la viabilità principale esterna.

La vita nominale del Ponte è individuata in VN=50 anni, se di importanza normale, ed in VN= 100 anni se di importanza strategica, ai sensi del pgf.2.4.1 dell'NTC2018.

Ai sensi del pgf. 2.4.2 dell'NTC2018 il Ponte è da considerarsi in Classe d'uso IV.

METODOLOGIA UTILIZZATA PER IL CORRETTO SVILUPPO DELL'INCARICO

Per lo svolgimento dell'incarico si è ritenuto necessario sottoporre l'opera esistente alle seguenti analisi, queste in modo sequenziale:

- CAP. 1 Modellazione della struttura nella sua interezza sulla base delle tavole del progetto originario a disposizione e con l'ausilio di un software idoneo quale il SAP2000;
- CAP. 2 Analisi della campata centrale in c.a.p. ("trave tampone"), modellata sulla base dei disegni del progetto originario e delle armature di precompressione e lente in esso previste, ma sottoposta ai carichi mobili non già del progetto originario ma di quelli previsti dall'NTC2018; ciò al fine di stabilirne il conseguente stato tensionale per i carichi previsti dalla normativa attuale, ed esprimere quindi corrette considerazioni circa l'opportunità di salvare la struttura esistente o la necessità di una sua sostituzione;
- CAP. 3 Analisi del modello globale del Ponte secondo lo schema statico esistente la notte del 6 aprile 2009, sollecitato quindi dai pesi propri e dai sovraccarichi permanenti e dalle azioni sismiche prodotte dal sisma, che, sulla scorta di vari studi effettuati successivamente da varie Fonti, hanno suggerito l'adozione dei seguenti valori di PGA
- Componente orizzontale del sisma = 0,35 g
 - Componente verticale del sisma = 0,35 g

In tale analisi si è ben tenuto conto del fatto che le strutture originarie non presentano alcuna caratteristica di duttilità, peraltro neanche lontanamente perseguite nelle Norme Tecniche in vigore all'epoca della progettazione iniziale.

La presente analisi è stata condotta al fine di individuare lo stato tensionale nel cls e nelle armature lente a seguito dell'evento sismico per le sezioni di verifica più importanti e significative, e quindi sviluppare le conseguenti considerazioni del caso.

- CAP. 4 Analisi del modello globale del Ponte, anch'esso secondo lo schema statico esistente e con la sola variante di sostituire il vincolo degli appoggi della campata centrale da quello a cerniera sferica originario, conseguente all'ormai degradato comportamento dei dispositivi di appoggi originali (vedere pag. 16 della Relazione R.2 del D.I.C.E.E.A.), con lo schema di appoggi, conseguente

ad appoggi nuovi, che prevede vincolo a carrello con deformazione longitudinale per quelli posti sulla mensola lato Spalla di Viale Duca degli Abruzzi, e vincolo a cerniera sferica per quelli sulla mensola lato Cavalletto con la Pila centrale.

La struttura è stata analizzata sulla base della Normativa attuale NTC2018 (si tenga comunque conto che essa è solo un aggiornamento dell'NTC2008 vigente già prima dell'evento sismico del 2009): sono stati quindi considerati i carichi e sovraccarichi attualmente esistenti ed i carichi da traffico e quant'altro previsto dall'NTC2018, così come le azioni sismiche attualmente prescritte.

Considerando che l'opera è da considerarsi con Classe d'uso IV, trattandosi di *"ponte di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico"*, sono state verificate tutte le sezioni più significative del Ponte, sulla base delle armature esistenti e per tutte le combinazioni di carico previste dalla Normativa ed in particolare agli SLU (Stati Limite Ultimi) per il sisma SLV ed agli SLE (Stati Limite di Servizio) per il sisma SLO.

Al termine del capitolo sono riportate le risultanze delle verifiche e le considerazioni conseguenti.

CONCLUSIONI

Le strutture del Ponte Belvedere sono state progettate negli anni 1962/63 dall'ing. Aldo Arcangeli in base alle Normative vigenti all'epoca, ed in particolare alle "Norme Tecniche di Edilizia Asismica per i paesi colpiti da terremoti" (Regio Decreto 22.11.1937, n.2015) ed alle "Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato" (Regio Decreto 16.11.1939 n.2229).

La progettazione è di sicura qualità per i mezzi tecnici al tempo disponibili ed è stata svolta in completo rispetto di tutte le prescrizioni regolamentari di cui sopra e d'intesa con i competenti Organi Tecnici della Cassa del Mezzogiorno, che ne aveva finanziata l'esecuzione classificando il Ponte come di 2° categoria, con i conseguenti carichi di progetto previsti dalla Circolare n.384 del 14.2.1962 del Min. LL.PP.

L'opera è stata realizzata *dall'Impresa di Costruzioni Edili e Stradali del geom. Pasquale Martella* e risulta di ottima qualità come si è potuto constatare dalle indagini sui materiali effettuate e dalla sua ottima risposta ad un evento sismico di eccezionale violenza, peraltro non previsto dalla progettazione; tutto ciò specialmente se si tiene conto che è stata realizzata negli anni 60 dello scorso secolo e che l'opera non è stata mai oggetto di particolare manutenzione negli ultimi 60 anni.

Christian Menn, famoso progettista di ponti in Svizzera sosteneva che "la statica di un ponte deve essere visibile, semplice e così diventa anche estetico" ed il Ponte Belvedere è opera di estetica decisamente gradevole; presenta, però, alcune peculiarità che, pur essendo di uso comune all'epoca, vale la pena che ora vengano sottolineate per le successive considerazioni:

- Le fondazioni sono tutte del tipo diretto, con i plinti al disotto delle pile in elevazione che scaricano le loro azioni su sottofondazioni in blocchi di calcestruzzo magro;
- Alle estremità del Ponte, sia verso Viale Papa Giovanni XIII che verso Via Persichetti, l'impalcato costituisce, tramite il trasverso di testata, l'elemento "paraghiaia" di collegamento al rilevato a tergo, e poggia direttamente, senza alcun mezzo intermedio, ad un non ben individuato blocco di sottofondazione, presumibilmente in calcestruzzo magro;
- Gli apparecchi d'appoggio posti al disotto delle travi costituenti la campata centrale sono costituiti ciascuno da "n.4 piastre di gomma cerchiata tipo Freyssinet sovrapposte, di impronta pari a 1350 cm²" (termine che può essere tradotto nell'attuale "piastre con 4 strati di elastomero armato"); gli appoggi presentano un forte stato di degrado ed hanno perso quindi le caratteristiche di deformazione orizzontale volute dal Progettista e sicuramente necessarie;

La campata centrale ha quindi perso la sua caratteristica di "trave tampone" a se stante tra i due sistemi a telaio che completano il Ponte, saldando quindi il tutto in un sistema strutturale equivalente ad una catena cinematica tra il terrapieno di Viale Papa Giovanni XIII e quello lato Via Persichetti: conseguentemente tale insieme strutturale ha avuto un comportamento monolitico oscillando, per le azioni sismiche secondo l'asse longitudinale del Ponte, con deformazioni non già coerenti con la risposta sismica relativa alla rigidità del solo insieme strutturale, ma con quelle, di gran lunga inferiori, permesse dalla deformazione dei terrapieni.

E' opinione dello scrivente che questo sia stato il motivo per il quale la struttura ha risposto in modo soddisfacente ad azioni sismiche di intensità (0,35 g) ben superiori a quelle (0,05 g) per le quali era stata progettata come da Normativa dell'epoca, senza arrivare al possibile collasso e dimostrando danni sicuramente circoscritti, se si escludono gli appoggi tipo Gerber delle travi della campata centrale e delle mensole che le sorreggono, già degradate dal dilavamento dovuto ad un inefficiente smaltimento delle acque meteoriche nel tempo, e che sono sicuramente risultate il punto più delicato dell'intera struttura per la marcata componente verticale dell'evento sismico che le ha sollecitate.

Dai calcoli effettuati è risultato che le strutture in c.a. dei telai laterali del Ponte hanno sopportato uno stress tensionale dovuto all'azione sismica del 6 aprile 2009 perfettamente in linea con le caratteristiche dei materiali adottati, e mantenendosi nel campo elastico.

Rimaneva quindi da controllare con quale grado di affidabilità la struttura del Ponte, una volta inseriti appoggi di nuovo tipo per la campata centrale ed una volta effettuati gli interventi di contenimento dei terrapieni a tergo delle spalle svincolati dall'impalcato del ponte che ne assicurassero una corretta progettazione, potesse rispondere alle prescrizioni della Normativa vigente NTC2018; e questo nonostante il vulnus iniziale di progettazione che prevedeva l'applicazione di carichi da traffico ed azioni sismiche di gran lunga inferiori a quelli conseguenti al fatto che il Ponte è chiamato ora ad essere "*Opera strutturale inserita nel Piano di emergenza Comunale di protezione Civile in quanto infrastruttura di connessione fra edifici strategici ed aree di emergenza ed infrastruttura di accessibilità che mette in relazione il sistema di emergenza interno con la viabilità principale esterna*".

L'analisi dello schema strutturale del Ponte esistente, con sistema di vincoli adeguato alle necessità di una buona progettazione ed in base a quanto previsto dall'NTC2018, in particolar modo per i carichi da traffico e le azioni sismiche previste in detta Normativa, ha portato alle seguenti risultanze:

- La campata centrale non è assolutamente atta a sopportare i carichi da traffico della vigente Normativa per i seguenti motivi:
 - La precompressione attuale delle travi, anche nell'ipotesi favorevole di perfetta integrità dei cavi con mantenimento della tensione di progetto, cosa però tutta da dimostrare, non è sufficiente e richiederebbe l'applicazione di cavi esterni di supporto e altri interventi strutturali conseguenti, evidentemente invasivi;
 - La soletta di impalcato di spessore pari a cm 16, quindi modesto, risulta insufficiente con necessità di rinforzo;
 - Gli 8 apparecchi d'appoggio di estremità risultano notevolmente danneggiati, e quindi sono da sostituire;
 - I giunti di dilatazioni a livello impalcato sono anch'essi da sostituire perché ormai inservibili.
- Le strutture di appoggio delle travi della campata centrale sulle mensole laterali aggettanti dalle pile (cosiddetti denti "Gerber"), elementi strutturali fondamentali, sono da restaurare completamente perché fortemente danneggiati.
- Come risulta dalle Tavole di progetto e dalle poche indagini dirette effettuate, le fondazioni del Ponte sono di tipo diretto con plinti poggianti su blocchi di calcestruzzo magro che, come d'uso all'epoca, raggiungeva la quota dei terreni consistenti: dai calcoli eseguiti le fondazioni esistenti hanno dimensioni insufficienti e quindi non sono in grado di trasmettere alle sottofondazioni pressioni accettabili;

- Per quanto risulta dalle Tavole di progetto le cosiddette “spalle” del Ponte lato rilevati laterali, sono costituite da blocchi di fondazione di incerta costituzione e dimensione, sui quali è posto l’impalcato senza l’interposizione di particolari appoggi. L’impalcato stesso fa da “paraghiaia” ai rilevati laterali, sia lato Viale Papa Giovanni XXIII che lato Via Persichetti, cosa che tecnicamente allo stato attuale andrebbe risolta con nuove Spalle fornite di “paraghiaia” e svincolate dall’impalcato con idonei apparecchi d’appoggio.
- L’analisi effettuata per le sezioni principali più significative delle strutture in c.a. del Ponte ha evidenziato la loro “non verifica” alla Normativa per la quasi totalità delle strutture, richiedendo quindi interventi molto ma molto estesi di rinforzo, anche in considerazione del fatto che la staffatura delle travi e dei pilastri risulta rada, come d’uso all’epoca, e quindi non in linea con le prescrizioni normative attuali. Praticamente sarebbe necessario applicare un “esoscheletro” diffuso, costituito da sistemi di rinforzo FRP applicati sulle strutture esistenti in modo da mantenere l’estetica originale.
- E’ ovviamente necessario prevedere il rifacimento di tutte le opere di impermeabilizzazione dell’impalcato, nella sua interezza.

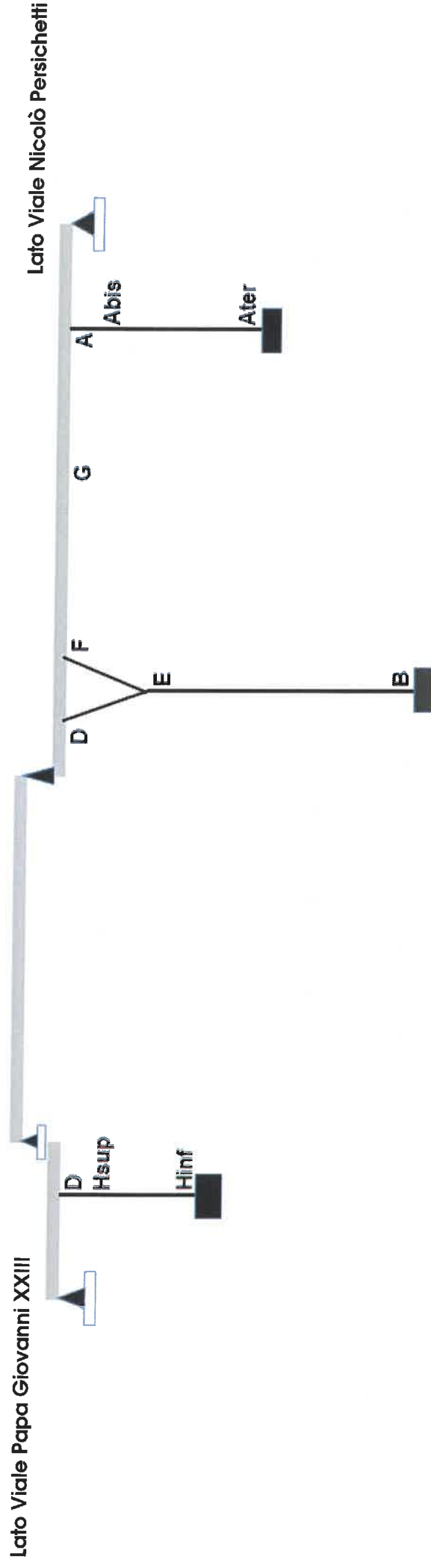
Come si può constatare trattasi di interventi molto estesi ed anche invasivi, che giustamente pongono l’interrogativo se sia conveniente rinforzare il Ponte esistente, considerando che comunque la struttura deve assicurare una durata di vita pari a 50 anni, o provvedere direttamente al suo abbattimento con integrale sostituzione.

Suffragare tale scelta con un raffronto economico tra la quantizzazione dei necessari interventi più sopra descritti, sicuramente importanti e molto estesi, per il mantenimento del Ponte esistente, e il costo di un nuovo Ponte, richiederebbe però un serio sviluppo di due progettazioni parallele ben compiute e ben contabilizzate, cosa che evidentemente non può essere considerata parte del presente incarico, e che, a mio modesto parere, sarebbe anche inutile perché con risultato scontato.

Si faccia questa semplice considerazione: il restauro e l’ammodernamento tecnico di un’auto progettata e costruita negli anni 60 dello scorso secolo, potrebbero mai renderla atta a competere con una di pari classe attuale, assicurando nel contempo la sua affidabilità per i prossimi 50 anni?

Per quanto sopra, credo che la Città dell’Aquila e gli Aquilani tutti meritino un Ponte Belvedere solido e sicuro, che tenga conto della Normativa più attuale, e quindi sicuramente affidabile per gli anni a venire, cosa difficilmente perseguibile con l’attuale struttura.

SCHEMA STRUTTURALE



I materiali sono stati desunti dalle indagini Sperimentali eseguite dal D.I.C.E.E.A. dell'Università degli studi di L'Aquila e sono i seguenti:

Calcestruzzo: 30 Mpa (Valore Medio)

Acciaio: Barre aderenza migliorate $f_y = 455$ Mpa $f_t = 684$ Mpa

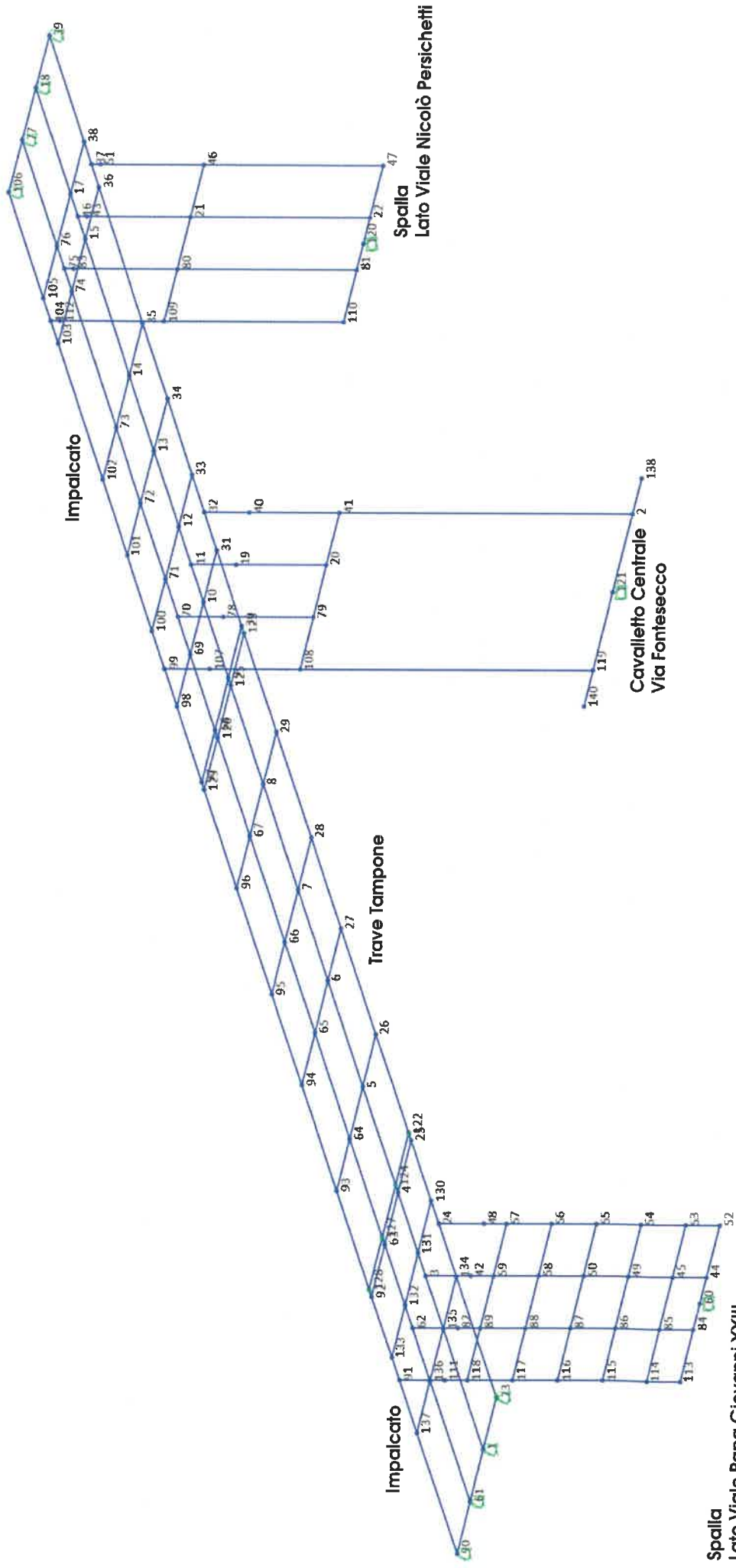
Viste tridimensionali del modello



Viale Nicolò Persichetti



Viale Papa Giovanni XXIII



Schema Strutturale Tridimensionale

Spalla
Lato Viale Papa Giovanni XXIII

Impalcato

Trave Tampone

Impalcato

Spalla

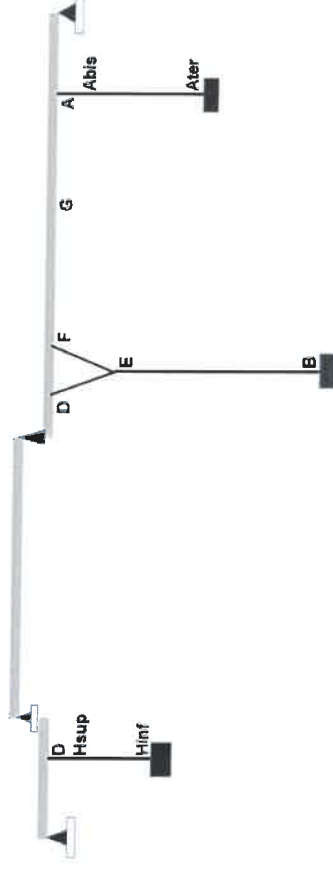
Lato Viale Nicolò Persichetti

Cavalletto Centrale
Via Fontesecco

TABELLA RIASSUNTIVA DELLE VERIFICHE PER LE SEZIONI PIU' SIGNIFICATIVE E PER LE COMBINAZIONI PIU' GRAVOSE.

	Sezione	Risultati	
PILA VIALE PAPA GIOVANNI XXIII MENSOLE A SUPPORTO CAMPATA CENTRALE CAVALLETTO - PILA	Base Pila	H inf	NON VERIFICA
	Testa Pila	D	VERIFICA
	Base Pila	E	NON VERIFICA
CAVALLETTO - CAMPATA LATERALE	Lato Pila	B	NON VERIFICA
	Mezzeria	F	VERIFICA
	Testa Pila	G	NON VERIFICA
PILA VIALE PERSICHELLI	Base Pila	A bis	NON VERIFICA
		A ter	NON VERIFICA

SCHEMA STRUTTURALE



Le verifiche delle pressioni trasferite sul magrone dalle strutture in elevazione hanno dato i seguenti risultati:

- Plinto in corrispondenza della Pila lato Spalla di Viale Papa Giovanni XXIII

Sono state rilevate per la Combinazione di carico SLV_X pressioni di entità importante, da controllare previe indagini geotecniche.

- Plinto della Pila Centrale

E' insufficiente perché per la Combinazione di carico SLV_X l'eccentricità del carico verticale risultante cade al di fuori dell'impronta della fondazione.

- Plinto in corrispondenza della Pila lato Spalla di Via Persichetti

E' insufficiente perché per la Combinazione di carico SLV_X l'eccentricità del carico verticale risultante cade al di fuori dell'impronta della fondazione.