

Valutazione del ciclo di vita delle infrastrutture sensibili con selezione degli interventi necessari

Pubblicazione non in vendita

Nessuna riproduzione, traduzione o adattamento può essere pubblicata senza citarne la fonte

Éupolis Lombardia

Istituto superiore per la ricerca, la statistica e la formazione

via Taramelli 12/F - Milano

www.eupolislombardia.it

Contatti:info@eupolislombardia.it

VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA DELLE
INFRASTRUTTURE SENSIBILI CON SELEZIONE DEGLI
INTERVENTI NECESSARI

Rapporto finale

Codice: 2012B016

Il documento è prodotto nell'ambito della ricerca (codice 2012B016) affidata a Éupolis Lombardia da Regione Lombardia, Direzione Generale Mobilità e Infrastrutture.

Dirigente responsabile
Alberto Ceriani

Gruppo di lavoro tecnico

Aldo Colombo - Dirigente Unità Organizzativa Infrastrutture viarie e aeroportuali - D.G. Infrastrutture e mobilità.; Paola Vigo, Fiorella Daniele - D.G. Infrastrutture e mobilità. Andrea Zaccone, Carmela Melzi D.G. Protezione Civile.

Gruppo di lavoro

Pier Giorgio Malerba, Luca Sgambi, Gianfranco Becciu, Manuel Quagliaroli, Noemi Basso, Maria Pia Boni, Elsa Garavaglia, Maurizio Lualdi, Politecnico di Milano
Fabio Torta, Espedito Saponaro, Giuseppe Galli, Raffaele Bruno, TRT Trasporti e Territorio; Alberto Ceriani, Lorenzo Penatti, Éupolis Lombardia

Introduzione	7
Capitolo 1	
<i>Analisi dello stato di conservazione strutturale</i>	9
1.1 Lo stato dei ponti	10
1.2 Considerazioni sulla vita residua dei ponti esaminati	13
1.3 Risultati dell'analisi	19
Capitolo 2	
<i>Analisi economico-trasportistica</i>	25
2.1 Analisi dello stato di fatto	26
2.2 Analisi multicriteria: metodologia sviluppata	28
2.3 Classifica dei ponti nello scenario base	35
2.4 Analisi di sensitività	38
2.5 Risultati dell'analisi	46
Capitolo 3	
<i>Definizione delle priorità</i>	49
Allegato A	
<i>Schede analitiche dei ponti-analisi dello stato di conservazione strutturale</i>	
Allegato B	
<i>Schede analitiche sui ponti – analisi economico – territoriale e trasportistica</i>	
Allegato C	
<i>Note tecniche</i>	

All'efficienza ed adeguatezza del sistema infrastrutturale lombardo, quello che disegna la maglia fondamentale delle reti viabilistiche e ferroviarie della Lombardia, concorrono due elementi:

- la realizzazione di nuovi interventi infrastrutturali;
- il mantenimento della funzionalità delle infrastrutture viabilistiche e ferroviarie esistenti.

Il secondo livello è di particolare rilievo a causa delle caratteristiche costruttive delle opere, che in molti casi trovano origine nella prima metà del secolo scorso.

Alcuni di questi impianti infrastrutturali, in particolare i ponti di attraversamento sul fiume Po, assumono una valenza strategica se non vitale, non solo per il sistema infrastrutturale ma soprattutto per il sistema economico lombardo.

Recentemente proprio una parte di questi ponti (ad esempio il ponte della Becca, il ponte di Casalmaggiore e il ponte di Piacenza) ha manifestato cedimenti strutturali con conseguenti eventi di crollo che hanno causato importanti disagi alla regolare circolazione, presumibili effetti negativi per le economie locali e, persino, il ferimento di alcuni automobilisti. Si è trattato di "eventi sentinella" che fortunatamente non si sono trasformati in ben più gravi tragedie, ma che hanno segnalato la necessità di una verifica dello stato infrastrutturale del più ampio insieme dei ponti di attraversamento del fiume Po, e la stima delle eventuali ricadute sul sistema dei trasporti e sull'economia locale.

La ricerca ha preso come oggetto d'indagine tali ponti, stradali e ferroviari, presenti in Lombardia o prossimi al confine regionale in relazione al loro stato di conservazione strutturale, alle implicazioni dell'azione idraulica, ai flussi di traffico insistenti e alle economie locali gravitanti nell'intorno. L'analisi sviluppata ha considerato anche l'exkursus storico delle strutture partendo dai dati oggettivi quali: anno di realizzazione, interventi di manutenzione straordinaria, ampliamenti realizzati, limitazioni di capacità, tipologia dei flussi. Con un metodo innovativo sono stati valutati l'attuale stato manutentivo e l'impatto prestazionale sui flussi di mobilità e proposte indicazioni di priorità rispetto ai possibili interventi.

La restituzione degli esiti degli studi effettuati è costituita:

- dal presente rapporto che nei capitoli primo e secondo presenta metodo ed esiti rispettivamente dell'analisi strutturale e dell'analisi economico-transportistica sui ponti oggetto d'indagine. Il successivo capitolo propone invece una definizione delle priorità d'intervento attraverso una lettura integrata degli esiti delle differenti linee di approfondimento;
- da tre documenti allegati: il primo, l'allegato A, è collegato al primo capitolo e presenta schede di analisi strutturale per ciascun ponte indagato; il secondo, l'allegato B, è collegato al secondo capitolo e presenta le schede di analisi economico-transportistica di ciascun ponte; il terzo, l'allegato C, propone invece delle note tecniche di approfondimento rispetto all'oggetto di studio.

La realizzazione dello studio è stata resa possibile dalla fattiva collaborazione delle Province interessate, di AIPO, di ANAS, RFI e delle Società Autostradali, che qui ringraziamo.

ANALISI DELLO STATO DI CONSERVAZIONE STRUTTURALE

Scopo principale dell'attività è stato quello di comporre un quadro generale dello stato dei ponti di attraversamento del Fiume Po, sia ai fini di avere una prima stima in merito all'affidabilità (o vulnerabilità) degli stessi, sia per valutare le ricadute del loro grado di vulnerabilità sulla rete infrastrutturale e sulle conseguenze che riguardano i trasporti e gli aspetti socio - economici dei territori nell'intorno di questi ponti e più in generale in tutta la Regione.

Si precisa che le informazioni raccolte e i risultati presentati non sono valutazioni di idoneità statica e sismica. Specifiche valutazioni di idoneità statica e sismica riguardanti la sicurezza dei ponti vanno svolte secondo quanto indicato dalle Nuove Norme Tecniche, con particolare riferimento ai Capitoli 8 "Costruzioni esistenti" e 5 "Ponti":

- D.M. Infrastrutture 14.01. 2008 - "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. Infrastrutture 06.05.2008 - "Integrazione al decreto 14.01.08 di approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Circolare 02.02.2009 n. 617 C.S.LL.PP. - "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14.01.2008".

Tali valutazioni devono riguardare in modo specifico ogni singola opera e richiedono:

- la definizione di un adeguato livello di conoscenza attraverso rilievi e indagini sulla struttura e sui materiali e lo svolgimento di analisi strutturali e di verifiche conseguenti;
- misure quantitative che documentino o meno l' idoneità statica e sismica dell'opera;
- l'indicazione degli interventi di riabilitazione per il miglioramento o l'adeguamento statico e sismico.

Le attività svolte sono consistite in sopralluoghi, ricerca, esame e selezione di documentazione, elaborazione delle informazioni e dei dati raccolti, redazione di una scheda riassuntiva per ognuno dei ponti (si veda Allegato A) e sintesi dei risultati.

L'esame di ponti si è articolato su tre livelli:

1. Ponti soggetti a cicli di ispezione e manutenzione programmata, quali i ponti ferroviari e autostradali. Per questi ponti è ragionevole ipotizzare un buono stato di conservazione. Si aggiunge il fatto che l'accesso a questi stessi ponti può avvenire

- solo con l'assistenza di personale dell'amministrazione che ha in carico il ponte e compatibilmente ai transiti in esercizio;
2. Ponti per i quali sono reperibili notizie di attività ispettive già svolte in passato;
 3. Ponti per i quali non sono disponibili informazioni.

È stata data quindi maggiore attenzione a questi ultimi. Per i ponti del gruppo 2 è stata fatta una sintesi delle informazioni disponibili. Per quelli del gruppo 1 sono stati riassunti i dati essenziali reperibili sul web.

1.1 Lo stato dei ponti

Il paragrafo propone una valutazione sullo stato dei ponti, elencando i danneggiamenti e le criticità più severe e/o più ricorrenti, che riguardano:

- Ponti a struttura metallica in profili chiodati;
- Selle Gerber;
- Convogliamento raccolta e smaltimento delle acque meteoriche e di piattaforma;
- Sezioni critiche di travi precomprese;
- Appoggi e Giunti;
- Altri Aspetti (idraulica e sismica).

Molte delle informazioni sono state tratte dalle schede compilate dagli Uffici Tecnici delle Province interessate dal corso del Fiume Po.

Ponti a struttura metallica in profili chiodati.

Si tratta di strutture metalliche realizzate con profili composti (assiemi di profili angolari e lamiera piatte) chiodate a contatto, cioè prive di spazi che consentano ispezione/pulizia/manutenzione/verniciatura tra un elemento e l'altro.

In queste zone, si innescano e si sviluppano, tra gli elementi composti per chiodatura, stati corrosivi importanti, con formazione di placche di ruggine interstiziale. Un primo effetto è la riduzione della sezione utile dei profili resistenti. Un secondo effetto è costituito dall'azione di tali placche, che continuano ad espandersi nel tempo. L'espansione dei prodotti di ossidazione (ruggine) dà luogo a rigonfiamenti tra una chiodatura e la successiva, e distorce in modo permanente i profili metallici. Nei profili insorgono stati di sovrassollecitazione locale che li fanno lavorare in modo difforme dalle ipotesi di progetto.

La valutazione dell'affidabilità strutturale di tali elementi composti è difficoltosa. Vanno intraprese azioni di ispezione e indagine e poi gli interventi necessari, almeno sugli elementi che rivestono le funzioni portanti principali (p.e. i tiranti di appensione del Ponte di Cornale).

Selle Gerber.

La sella Gerber è un particolare costruttivo presente in quasi tutti i ponti in Cemento Armato Precompresso (C.A.P) costruiti lungo il Po tra gli anni '60 e '80, con tipologia cantilever (stampelle con sbalzi, collegate da travi tampone). Nelle selle Gerber sono visibili le facce laterali e la superficie inferiore di intradosso. Meno accessibile e meno

ispezionabile è la superficie orizzontale superiore, sulla quale è impostato il baggiolo che porta il dispositivo di appoggio. Immediatamente sotto questa superficie vi sono le armature portanti principali che lavorano secondo lo schema di mensola tozza.

Quasi tutte le facce visibili hanno segni di colature d'acqua piovana e di piattaforma. Molte presentano zone di ristagno. Queste superfici si rivelano ammalorate a vario grado, mostrando:

- espulsioni locali di copriferro;
- perdite di tutto copriferro ;
- disgregazione superficiale e degli spigoli del calcestruzzo;
- segni visibili di corrosione delle armature.

La valutazione più difficile riguarda lo stato delle facce superiori di appoggio. In quella zona lo spigolo della sella è il punto più vulnerabile nei riguardi della fessurazione e sotto il profilo della penetrazione di agenti ammaloranti.

Nell'attività di ispezione è da controllare, come segnale premonitore, l'insorgenza di stati fessurativi di natura meccanica in corrispondenza della sezione di attacco della mensola.

In presenza di fessure va indagato lo stato delle armature interne e, se del caso, vanno eseguiti i rinforzi necessari.

Convogliamento raccolta e smaltimento delle acque meteoriche e di piattaforma.

Fenomeno diffuso è un carente sistema di convogliamento, raccolta e smaltimento delle acque meteoriche e di piattaforma. In particolare si rilevano:

- tubi di scarico troppo corti o diretti in modo errato;
- tubi di scarico totalmente mancanti (staccati o rotti);
- imbocchi dei tubi mal sigillati, con sversamento dei liquidi all'esterno e non all'interno dei tubi;
- formazione di zone di ristagno in sezioni e /o particolari sensibili (gole delle selle Gerber e relative armature, appoggi, giunti).

Questi fenomeni provocano azioni di dilavamento continue e con alternanze (bagnato/asciutto), deleterie per le superfici in calcestruzzo. In particolare tali azioni, esaltate dai rigonfiamenti e dalle contrazioni associate ai cicli di gelo e disgelo, esaltano i fenomeni fessurativi, innescano la corrosione delle armature, creano spessori interstiziali di ruggine e danno luogo all'espulsione di zone localizzate o di intere placche di copriferro.

Sezioni critiche di travi precomprese.

Nella maggior parte delle travi dei ponti esaminati, le sezioni più sollecitate sono quelle in mezzera. Per effetto delle azioni di dilavamento accennate in precedenza, in molte sezioni di mezzera si riscontrano segni visibili di colature di ruggine e/o di importanti distacchi di copriferro con ferri di armatura lenta corrosi in vista.

In due casi (Ponte di Pieve Porto Morone e Ponte di S. Daniele) sono in vista anche le guaine che racchiudono i fili dei cavi di precompressione. In entrambi i casi è stato possibile esaminare solo campate dei viadotti di accesso in sponda dx. Nel caso di Pieve Porto Morone si è avuto evidenza dell'inizio del processo. Nel caso di San Daniele il danno è generalizzato e il ponte è già stato oggetto di massicci interventi di

rinforzo con l'applicazione di piattabande di acciaio lungo i correnti inferiori di molte delle travi precomprese.

Stati di danno incipiente si sono riscontrati anche in alcune zone delle anime delle travi verso le zone di appoggio, dove la corrosione può ridurre la sezione resistente dei cavi di compressione nelle zone dove danno il loro contributo nel sopportare l'azione tagliante.

Dispositivi cinematici. Appoggi e Giunti.

Per dispositivi cinematici si intendono i dispositivi di giunto e di appoggio, che consentono al ponte di mantenere la continuità della sede stradale e, contemporaneamente, di deformarsi per effetto dell'azione dei carichi, dei cicli termici giornalieri e stagionali e degli effetti differiti associati alle strutture in Cemento Armato (C.A.) e Cemento Armato Precompresso (C.A.P.).

Giunti. I giunti sono visibili. Parte sono già stati sostituiti, parte sono stati resi in qualche modo continui, intasandoli con riempimenti in bitume e parte sono danneggiati. Il malfunzionamento dei giunti riduce il comfort di viaggio, dà luogo a sovrassollecitazioni di carattere dinamico ed accelera il danneggiamento delle parti strutturali in adiacenza al giunto, in particolare delle solette. In generale la sostituzione dei giunti è ormai accettata come un'operazione di manutenzione "quasi ordinaria", nel senso che è accettato che essi vengano sostituiti a intervalli di cinque - dieci anni.

L'adozione di giunti con piano di transito continuo (cioè con una copertura continua ma scorrevole del varco) potrebbe aumentare di molto la vita di servizio di questi dispositivi. Nei casi in esame, andrebbero individuate per le singole opere quali siano i giunti che possono danneggiare le altre parti di struttura, in modo da pianificare la sostituzione in funzione del loro grado di criticità.

Appoggi. Un giudizio sugli appoggi richiede un accesso ravvicinato a questi dispositivi e quindi ispezioni mirate a questo scopo. Sui ponti esaminati ci sono diversi tipi di appoggi: appoggi in gomma (formati da strati di gomma con interposti lamierini metallici e ottenuti mediante vulcanizzazione in appositi stampi) e appoggi meccanici, cioè dotati di rotule per consentire le rotazioni e di guide a coulisse per consentire le traslazioni. L'efficienza degli appoggi è fondamentale per un comportamento regolare del ponte. Diversamente, un malfunzionamento degli appoggi darebbe luogo a stati di sollecitazione anomali e quindi a danni.

Ad esempio, se gli appoggi trattengono longitudinalmente gli estremi di una trave in C.A.P., questa, per effetto di ritiro, viscosità e raffreddamento termico, subisce un regime di decompressione/trazione che porta all'insorgere di fessure ad andamento subverticale, come se fosse tesa, con tutte le successive conseguenze associate all'insorgere di uno stato fessurativo. Una situazione di questo tipo potrebbe essere quella del Ponte di Guastalla.

Altri aspetti

Indagini specifiche andrebbero dedicate a:

- Verifiche sismiche, in accordo alle nuove Norme NTC 2008;
- Verifiche idrauliche (confronto tra lo stato dell'alveo attuale e quello all'epoca della costruzione, Franco Minimo. Forma e orientamento delle Pile. Vulnerabilità allo scalzamento in fase transitoria rapida).

1.2 Considerazioni sulla vita residua dei ponti esaminati

In sintesi, i ponti esaminati sono raggruppabili in tre classi:

- a) Ponti storici, costruiti circa cento anni fa, quali La Becca (1912) e Cornale (1916), a struttura metallica e con membrature portanti realizzate per composizione di profilati e piatti di acciaio;
- b) Ponti costruiti nel periodo 1960-1980, prevalentemente in calcestruzzo armato precompresso (C.A.P.);
- c) Ponti recenti, quali quelli autostradali o comunque ponti di età pluridecennale, di tipologia varia, ma soggetti a ispezioni e manutenzioni frequenti, come richiesto da convenzioni tra Concessionarie e Concedenti o come stabilito da norme interne dell'Ente di gestione (Ferrovie).

Per i ponti di classe (c) (Ponti recenti o assimilabili), il rispetto delle procedure di ispezione e di manutenzione svolte secondo i rispettivi manuali, come ormai previsto per legge, dovrebbe assicurare il raggiungimento di una vita utile quantificabile in cento anni dalla data di costruzione.

Per i ponti delle fasce (a) e (b), si sottopone una serie di considerazioni sulla vita utile residua.

Ponti di Fascia a - Ponti storici a struttura metallica.

Come già accennato, nelle zone con vuoti e varchi dei profili composti di profili angolari e lamiera si innescano e si sviluppano stati corrosivi importanti, con formazione di placche di ruggine interstiziale. Un primo effetto è la riduzione della sezione utile dei profili resistenti. Un secondo effetto è costituito dall'azione di queste placche che continuano ad espandersi nel tempo, provocando rigonfiamenti tra una chiodatura e la successiva. Oltre a distorcere in modo permanente i profili, queste azioni danno luogo a stati di sovrassollecitazione locale, difformi da quelli previsti in progetto.

Si aggiunge che, dopo un periodo di servizio di cento anni vi sono effetti di danno cumulato che rendono estremamente difficoltosa una valutazione di affidabilità strutturale secondo i criteri di sicurezza previsti dalle normative più recenti.

Per questi ponti vanno intraprese azioni di ispezione e di indagine e poi gli interventi necessari, almeno sugli elementi che rivestono le funzioni portanti principali (p.e. i tiranti di appensione del Ponte di Cornale).

Ponti di Fascia b - Ponti del periodo 1960-1980, prevalentemente in C.A.P.

La vita residua di questo tipo di ponti dipende in gran parte dall'insorgere e dal diffondersi di stati di corrosione nelle armature ordinarie e soprattutto nei fili e nei trefoli che compongono i cavi di precompressione. Si è già accennato che i processi corrosivi sono molto spesso aggravati da un cattivo o mancante deflusso delle acque meteoriche.

Si esaminano nel seguito gli aspetti salienti che riguardano questi fenomeni mettendo in evidenza la loro dipendenza dal tempo e cercando poi di stabilire delle correlazioni con l'età delle strutture.

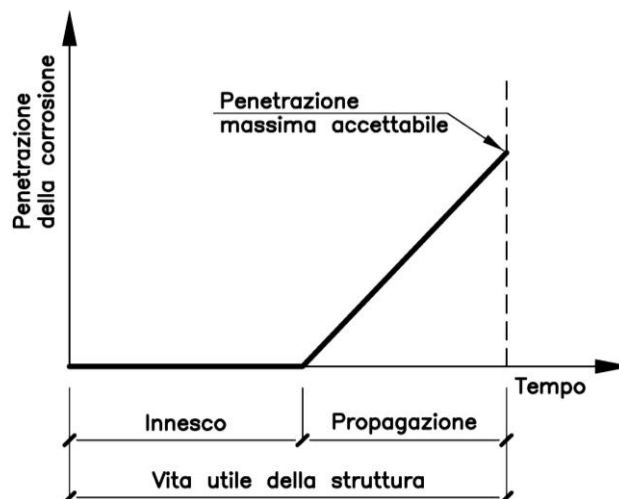
Il passaggio dallo stato integro allo stato di incipiente corrosione. La fase di innesco. Nelle strutture in C.A. o C.A.P., il passaggio dallo stato integro allo stato di incipiente corrosione è causato da un naturale fenomeno di alterazione degli strati superficiali del calcestruzzo, definito carbonatazione. Quando lo strato carbonatato raggiunge la superficie metallica delle armature, ne provoca la cosiddetta depassivazione, rendendo l'acciaio vulnerabile all'azione corrosiva degli agenti esterni. I principali agenti corrosivi nel caso dei ponti sono i sali disciolti nelle acque che, dalla piattaforma stradale vengono a contatto per colatura con le strutture.

In questo processo di degrado si possono evidenziare due distinte fasi temporali:

1. una fase di innesco, durante la quale l'evoluzione dei fenomeni naturali o antropici portano alla distruzione dell'ambiente chimico che protegge le armature dalla corrosione (depassivazione);
2. un periodo di propagazione dell'attacco, che inizia a partire dal momento in cui l'ambiente protettivo viene distrutto.

I fenomeni corrosivi si manifestano solo nel secondo periodo. Con riferimento ad una struttura in calcestruzzo armato soggetta a corrosione uniforme, la Figura 1.1 rappresenta schematicamente la nascita e l'evoluzione del processo corrosivo nel tempo.

Figura 1.1 - Evoluzione del fenomeno corrosivo. Periodo di innesco e periodo di propagazione della corrosione.



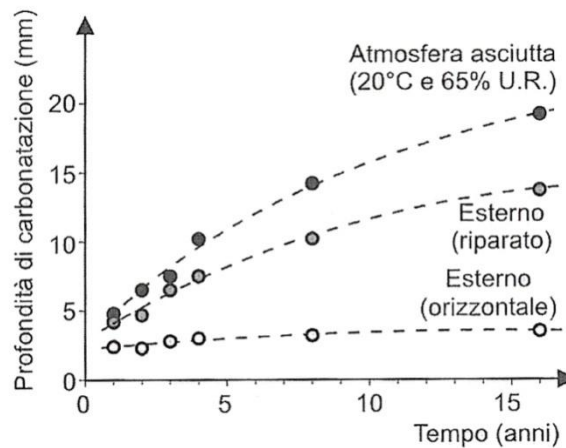
Per le opere esaminate, la durata del periodo di innesco della corrosione è governata principalmente dalla velocità di penetrazione della carbonatazione, ovvero dal tempo richiesto per una penetrazione comparabile con lo spessore dello strato di copriferro.

Una semplice relazione semiempirica, ricavata sulla base di raccolte di dati sperimentali, stima la profondità di carbonatazione $x(t)$ come proporzionale, tramite una costante k , alla radice quadrata del tempo:

$$x(t) = k\sqrt{t}$$

Il valore della costante k dipende sia dalle caratteristiche del calcestruzzo, sia da fattori ambientali. Esso può essere definito tramite approcci deterministici o probabilistici. In figura 1.2, è mostrata l'evoluzione della profondità dello strato carbonatato in funzione del tempo (anni) per diverse condizioni di esposizioni delle superfici di calcestruzzo.

Figura 1.2 - Profondità di carbonatazione nel tempo, per diversi tipi di esposizione.

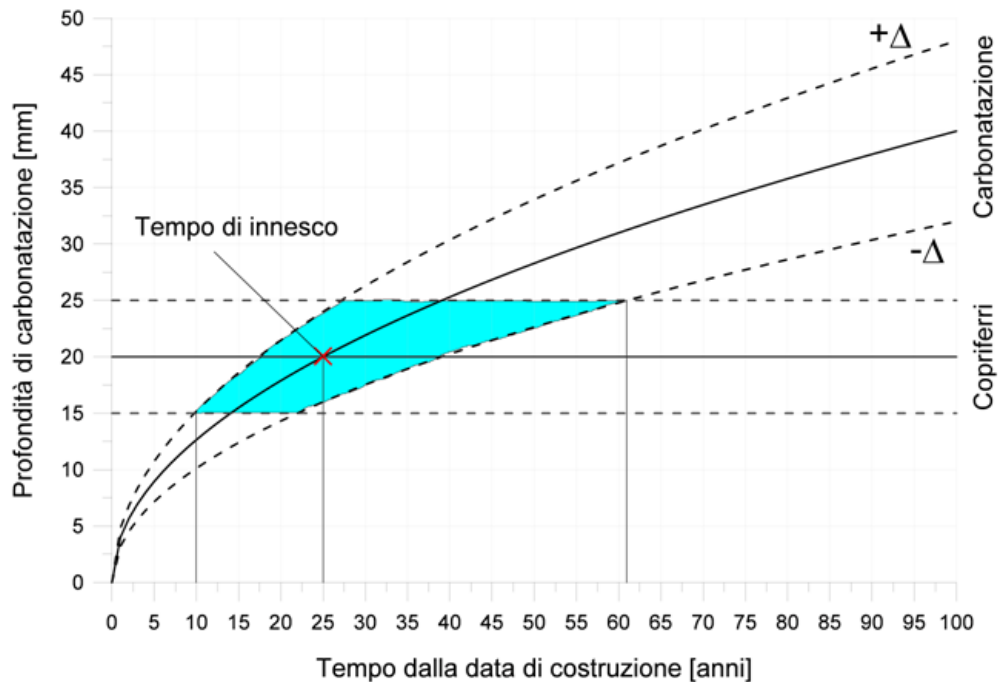


In questo processo, il contenuto di umidità riveste il ruolo più importante. Infatti sia per calcestruzzo secco, sia per un calcestruzzo saturo d'acqua, la velocità di carbonatazione è trascurabile. Nel primo caso, a causa dell'assenza dell'umidità, l'anidride carbonica non può reagire con i costituenti alcalini del calcestruzzo, mentre nel secondo caso viene impedita la diffusione dell'anidride carbonica attraverso i pori saturi d'acqua.

Con riferimento alle caratteristiche dei normali calcestruzzi per cemento armato precompresso (calcestruzzi ad elevata compattezza e con un contenuto di cemento superiore a 350 kg/m³) si può adottare un valore di k pari a 4. Per un valore medio $k = 4$ e una sua variazione di $\pm 20\%$, si ottiene la situazione di Figura 3.

I valori (nominali) di spessore di copriferro associabili alle strutture dei ponti esaminati possono essere compresi nella banda 15 ÷ 25 mm. Il dominio di intersezione tra le curve di carbonatazione $k \pm \Delta$ e la banda dei copriferri 15 ÷ 25 mm, rappresentata dalle due linee orizzontali, rappresenta le possibili profondità raggiungibili tra i 10 e i 60 anni. Mediamente, per $t=25$ anni la profondità di carbonatazione è di 20mm, quindi assai probabile per la maggior parte delle strutture esaminate.

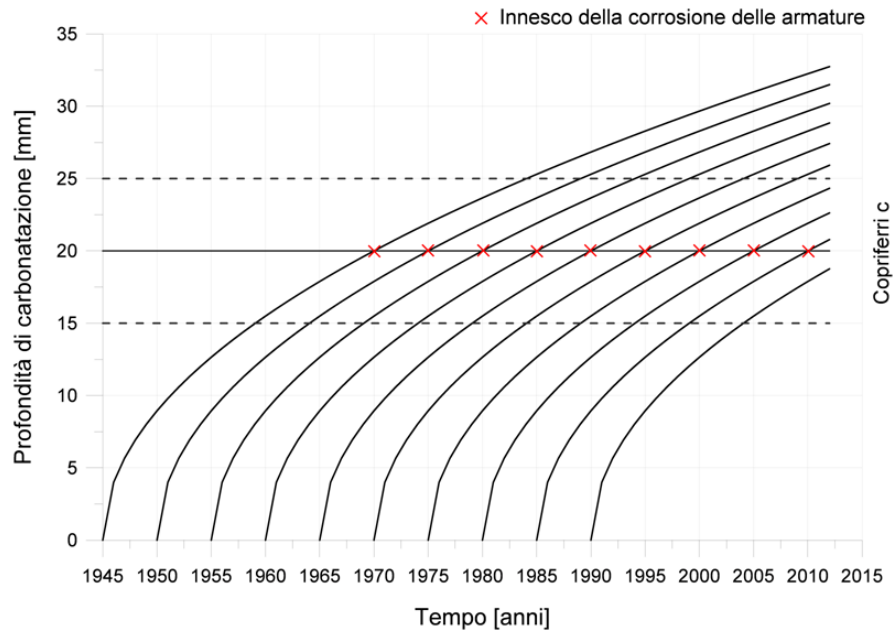
Figura 1.3 - Evoluzione tipo della profondità di carbonatazione e individuazione della fascia dei tempi di innesco, il cui valore centrale è 25 anni.



Con riferimento allo stesso valore $k = 4$, il diagramma di Figura 4 riporta una serie di curve spiccate da ascisse che rappresentano l'anno di costruzione del ponte nell'intervallo $t = 1945 \div 1990$. Ciascuna curva rappresenta l'evoluzione della profondità dello spessore di carbonatazione in funzione dell'anno di costruzione. Le due rette orizzontali delimitano nuovamente la banda dei copriferri (nominali).

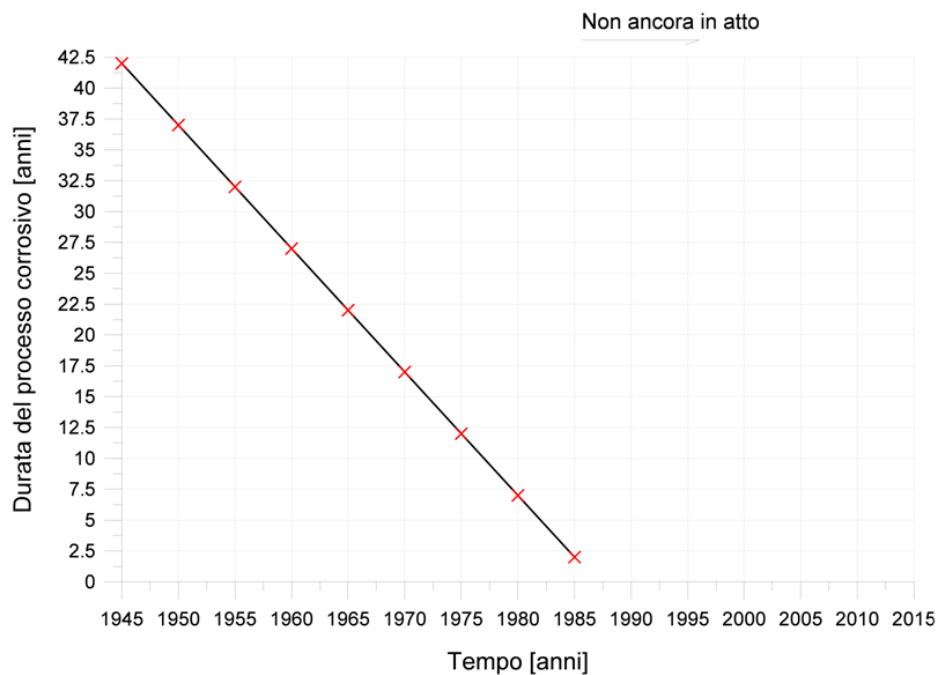
Facendo ad esempio riferimento a un copriferro $c = 20$ mm, un'opera in calcestruzzo gettata nel 1960 intercetta la retta $c=20$ mm in corrispondenza dell'ascissa 1985, cioè la carbonatazione raggiunge la superficie delle armature più esterne dopo 25 anni. In modo analogo, il grafico può essere utilizzato per altri valori di copriferro e età di costruzione.

Figura 1.4 - Carbonatazione in funzione dell'anno di costruzione e individuazione del tempo di innesco. $x(t) = k\sqrt{t}$, con $k = 4$ e $t = \text{anni}$.



Il diagramma di Figura 1.5 riporta direttamente in ordinate la profondità dello spessore di carbonatazione in funzione dell'anno di costruzione del ponte.

Figura 1.5 - Durata del processo corrosivo in funzione dell'anno di costruzione del ponte. $x(t) = k\sqrt{t}$, con $k = 4$ e $t = \text{anni}$, $c = 20$ mm.



La fase di propagazione della corrosione.

Maturato il tempo di innesco, inizia la fase di corrosione delle armature metalliche. Tale processo è influenzato da diversi fattori, quali:

- le condizioni di esposizione ambientali (zona geografica, uso più meno intenso di agenti disgelanti)
- la giacitura del sistema di armature (intradosso di una soletta, intradosso di una trave, anima di una trave, etc..)
- le caratteristiche del calcestruzzo e dell'acciaio in quella particolare posizione;

Facendo riferimento alle caratteristiche medie delle opere esaminate, si può comunque illustrare in termini qualitativi l'intero processo come indicato in Figura 6.

Si fa riferimento a un copriferro $c = 20$ mm e a un'opera in calcestruzzo gettata nel 1960, per la quale il periodo di innesco termina nel 1985. In ascisse è riportata la scala del tempo in anni, dalla data di costruzione. Dopo 25 anni la carbonatazione raggiunge la superficie delle armature più esterne e inizia la propagazione della corrosione, rappresentata dalla retta inclinata spiccata da $t=25$ anni. Una seconda scala delle ascisse, traslata verso il basso rispetto alla prima, riporta il tempo in anni a partire dalla data di innesco della corrosione. La retta orizzontale $S = R$ rappresenta la penetrazione massima accettabile. Oltre tale valore, per effetto della riduzione delle sezioni di acciaio, la caratteristica resistente è superata dalla caratteristica sollecitante ed è la crisi. La condizione ($S = R$) per la quale la sollecitazione S va ad eguagliare la resistenza R rappresenta il limite massimo accettabile dal punto di vista strutturale.

In testa al diagramma sono evidenziati con due segmenti orizzontali il periodo di innesco e il periodo di propagazione. L'unione dei due segmenti rappresenta la vita utile della struttura. Nel periodo di propagazione, l'entità della penetrazione della corrosione è tanto minore quanto più recente è la data di costruzione, come mostrato dalla scala interna ($t = 1985 \rightarrow 1945$): le strutture più datate sono le più prossime al raggiungimento della vita utile.

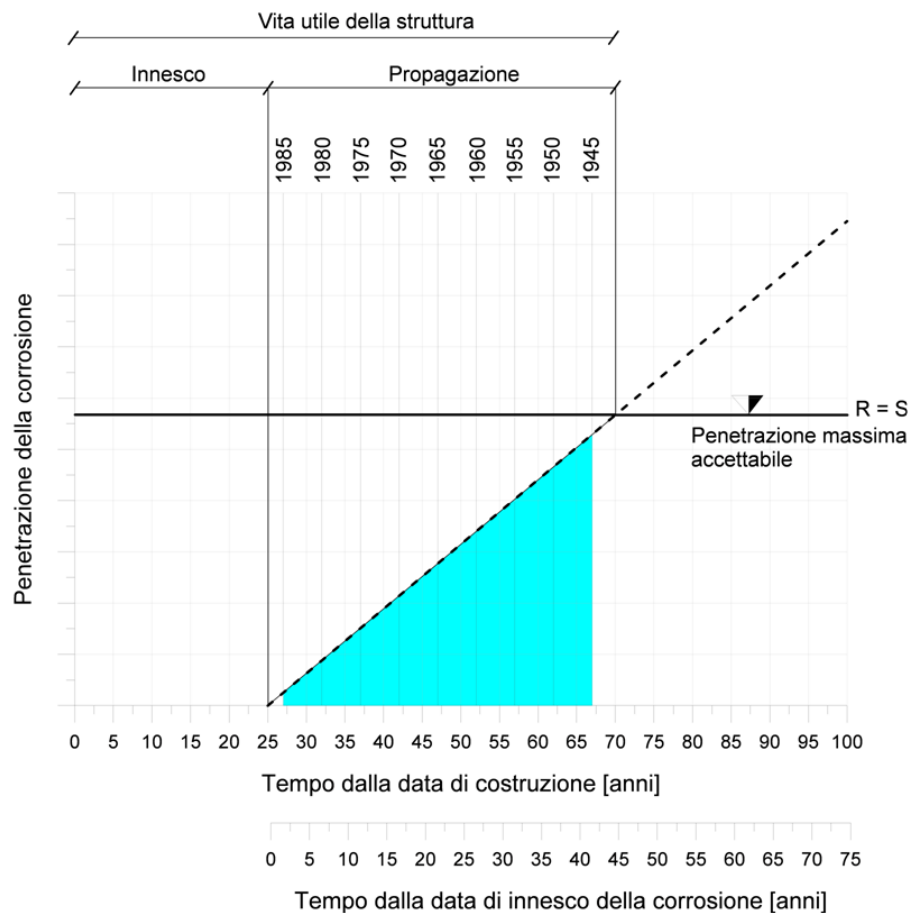
Riscontro con quanto rilevato in situ

I fenomeni sopra richiamati riguardano principalmente i ponti delle classe (b - Ponti costruiti nel periodo 1960-1980, prevalentemente in calcestruzzo armato precompresso). Quanto rilevato in situ su questi ponti conferma un'evoluzione del passaggio dallo stato integro allo stato di incipiente corrosione coerente con la sintesi ora esposta (fase di innesco, fase di propagazione). I ponti della classe (c) esaminati furono progettati con criteri diversi da quelli attuali. Se correttamente eseguiti (cura dei copriferri, efficaci iniezioni delle guaine dei cavi, corretto convogliamento e scarico delle acque di piattaforma) e se soggetti ad una periodica manutenzione ordinaria, questi ponti possono avere una vita utile pari 100 anni. Esecuzioni poco curate o scarsa manutenzione inducono a ridurre tale vita utile a 75 anni.

Sommando 75 anni all'anno di costruzione, si ottiene l'anno della fine della vita utile nominale, che partendo dal periodo 1960-1980, si colloca tra il 2035 e il 2055.

Significa che occorre pensare sin d'ora ad un piano di manutenzione straordinaria e/o di sostituzione di questi ponti. In alcuni casi, con interventi adeguati, si può ottenere un'estensione della vita utile. In altri casi, il mantenimento del ponte esistente è discutibile non tanto e non solo per lo stato di degrado, quanto perché obsoleto dal punto di vista funzionale dei transiti (il caso di due TIR affiancati in sedi stradali larghe 6-7m).

Figura 1.6 - Evoluzione dei fenomeni di degrado. Periodo di innesco e periodo di propagazione della corrosione.



1.3 Risultati dell'analisi

Con riferimento ai ponti esaminati i danneggiamenti e le criticità più severe e/o più ricorrenti, riguardano:

- Ponti a struttura metallica in profili chiodati;
- Selle Gerber;
- Convogliamento raccolta e smaltimento delle acque meteoriche e di piattaforma;
- Sezioni critiche di travi precomprese;
- Dispositivi cinematici.
- Appoggi e Giunti;
- Necessità di verifica sismica
- Necessità di aggiornate verifiche idrauliche e geotecniche, che tengano in conto delle azioni trasmesse in condizioni sismiche.

Classificazione dei ponti in fasce di vulnerabilità

Criteri di classificazione

Ferme restando le precisazioni esposte in precedenza, nel classificare la vulnerabilità dei ponti esaminati si è tenuto conto dei seguenti fattori:

- età del ponte;
- tipologia costruttiva (struttura in calcestruzzo armato precompresso o metallica, schema statico con selle Gerber, etc.);
- risultanze delle ispezioni e delle informazioni raccolte;
- interventi di riabilitazione eseguiti su parti o su tutto il ponte;
- influenza di eventi sismici recenti.

Sulla base di questi fattori sono state individuate le seguenti quattro fasce vulnerabilità ordinate da "A" (bassa vulnerabilità) a "D" (alta vulnerabilità).

In questa classificazione si è assunto che i ponti ferroviari e autostradali siano soggetti ai cicli di ispezione e manutenzione programmata, secondo quanto previsti dai rispettivi protocolli adottati dalle Amministrazioni che hanno in carico il ponte e che quindi sia ragionevole ipotizzare per queste opere un buono stato di conservazione.

A ciascuna delle quattro fasce (A, B, C, D) è stato associato un indice, utile a consentire successive elaborazioni numeriche in associazione con i risultati dell'indagine trasportistica. Il range di ogni fascia è abbastanza ampio (0,00÷0,25 - 0,25÷0,50 - 0,50÷0,75 - 0,75÷1,00, passo 0,25). Si intende che successive e più dettagliate indagini, oltre a confermare la fascia A÷D di appartenenza, possano contribuire ad una più fine quantificazione di tale indice.

GRUPPO A (Indice 0,00 - 0,25)

Stato:	Struttura in buono o discreto stato di conservazione.
Estensione dei danneggiamenti:	Localizzati o diffusi, ma non riguardanti elementi critici per la statica principale del viadotto.
Effetti di un cedimento locale: Elementi per la valutazione della sicurezza della struttura. Livello di conoscenza	Localizzati (pluviali, giunti, appoggi, marciapiedi, parapetti) Buono o discreto
Tipo di Provvedimenti	Mantenere attività di sorveglianza e ispezione periodica e relativa archiviazione dei dati raccolti. Analisi della serie storica delle informazioni archiviate.

GRUPPO B (Indice 0,25 - 0,50)

Stato:	Struttura con elementi in via di ammaloramento (p.e. per carenze nel convogliamento e deflusso delle acque di piattaforma).
Estensione dei danneggiamenti: Effetti di un cedimento locale:	Localizzati, ma in estensione. Innesco azioni ammaloranti, che poi si accrescono nel tempo a velocità crescente.
Elementi per la valutazione della sicurezza della struttura. Livello di conoscenza	Buono o discreto. Da mantenere in costante aggiornamento.
Tipo di Provvedimenti	Mantenere attività di sorveglianza e ispezione periodica e relativa archiviazione dei dati raccolti. Analisi della serie storica delle informazioni archiviate. Verificare e, se del caso, sistemare i sistemi di convogliamento e raccolta delle acque.

GRUPPO C (Indice 0,50-0,75)

Stato:	Struttura con elementi ammalorati (p.e. fenomeni corrosivi in atto nelle armature principali o nei cavi di precompressione nella sezione in mezzera di una trave).
Estensione dei danneggiamenti:	Localizzati sull'elemento strutturale, ma ripetuti in più elementi strutturali (p.e. campi di soletta o sezioni di mezzera di travi di viadotto a più campate).
Effetti di un cedimento locale: Elementi per la valutazione della sicurezza della struttura. Livello di conoscenza	Conseguenze sull'intera struttura. Parziali e non aggiornati. Insufficiente per i danneggiamenti localizzati riscontrati.
Tipo di Provvedimenti	Mantenere attività di sorveglianza e ispezione periodica e relativa archiviazione dei dati raccolti. Analisi della serie storica delle informazioni archiviate. Ispezioni localizzate. Valutazioni integrità statica e sismica. Manutenzione per ripristino ammaloramenti. Interventi specializzati per gli ammaloramenti critici.

GRUPPO D (Indice 0,75-1,00)

Stato:	Struttura con evidenti segni di faticenza o con problemi idraulici.
Estensione dei danneggiamenti:	A carattere diffuso.
Effetti di un cedimento locale: Elementi per la valutazione della sicurezza della struttura. Livello di conoscenza	Conseguenze sull'intera struttura. Parziali e insufficienti, ovvero probabilmente esistenti ma non aggiornati. Livello di conoscenza insufficiente.
Tipo di Provvedimenti	Necessità di approfondimento su eventuale materiale disponibile. Ispezioni e rilievi ad hoc. Raccolta e archiviazione dati. Definizione del livello di conoscenza come da D.M.NTC 2008. Valutazioni integrità statica e sismica. Valutazione in merito a dismissione del ponte, ovvero all'esecuzione di radicali lavori di ripristino statico e sismico.

Classificazione dei ponti in termini di vulnerabilità strutturale

Nel quadro seguente i ponti esaminati sono stati raggruppati nelle diverse fasce. A fianco dell'identificativo di ogni ponte è posto l'anno di costruzione o di ricostruzione dopo eventi bellici. Se sono presenti due date, la prima l'anno di costruzione e la seconda quello di lavori di riabilitazione.

GRUPPO	STRADALE	AUTOSTRADALE	FERROVIARIO	TOTALI
A	VALENZA (1946) PIACENZA (2010) OSTIGLIA (1949-2010)	A 1 (1959) A 7 (1960) A 21 (1968) A 22 (1971)	VALENZA (1946) BORGOFORTE CASALMAGGIORE CREMONA PIACENZA	12
B	BORGOFORTE (1963 - 2005) CASALMAGGIORE (1955 - 2011) CREMONA – CASTELVETRO (1946) PIEVE DEL CAIRO (1968) SPESSA (1973)			5
C	BRESSANA – BOTTARONE (1949) FICAROLO (1970) GUASTALLA (1965) PIEVE PORTO MORONE (1961) SAN DANIELE (1976) SAN NAZZARO (1970) SERMIDE (1971) VIADANA (1965)		BRESSANA - BOTTARONE	9
D	CORNALE (1916) LA BECCA (1912) SAN BENEDETTO (1964 – 2004 -sisma)			3

Commenti

Fascia A

Alla fascia A sono stati collocati i ponti autostradali e quelli ferroviari per i motivi già esposti (più intense attività di ispezione e manutenzione).

A questi si aggiungono:

Il ponte di Piacenza, in quanto ricostruito e aperto al traffico a fine 2011

- i ponti ferroviario e stradale di Valenza (luci corte e sovrastruttura robusta. Sarebbe bene approfondire le conoscenze sull'assetto idraulico e sullo stato delle fondazioni).
- Il ponte di Ostiglia, sul quale ANAS nella riunione del novembre 2012 ha comunicato di aver effettuato importanti lavori di risanamento della struttura metallica.

Fasce B e C

Alle fasce B e C appartengono prevalentemente ponti costruiti tra il 1961 e il 1973. Questi ponti sono per la maggior parte realizzati in calcestruzzo armato precompresso e hanno schema statico costituito da stampelle impostate su pali pila e collegate tra loro da impalcati tampone, poggianti su selle Gerber. I ponti di entrambe queste fasce sono accomunati dagli effetti dell'età, che comportano progressione della carbonatazione e tracce di innesco di fenomeni corrosivi. Nella fascia B si segnala che sul Ponte di Borgoforte tra il 2005 e il 2007 sono stati eseguiti lavori di rinforzo delle pile in alveo

(Amm.ne Prov. di Mantova) e che sul ponte di Casalmaggiore sono in corso lavori di riabilitazione (Amm.ne Prov. di Cremona).

I ponti della fascia C si presentano in condizioni più gravi. In questi si riscontrano evidenti segni di corrosione, con riduzione della sezione resistente dei ferri di armatura e dei cavi più esposti. Alcuni di questi ferri e cavi possono essere critici per le funzioni portanti (cavi corrosi nelle sezioni di mezzera delle travi, fessurazioni e corrosione nelle gole delle selle Gerber, ...). Il ponte in condizioni più gravi è il ponte di San Daniele. Il ponte di Bressana Bottarone, tra i più importanti dal punto di vista trasportistico, è un ponte a struttura metallica che deve essere oggetto di attente ispezioni periodiche soprattutto nelle parti nascoste, più sensibili alla formazione di ruggine.

Fascia D

Nella fascia D vi sono due ponti a sovrastruttura metallica che hanno circa 100 anni e che sono ora soggetti a intensità di carico e a frequenze di transito non prevedibili all'epoca della costruzione. Gli stessi ponti sono stati oggetto di ripetuti interventi di manutenzione e di riparazione, ma, a questo stadio della loro vita, prevalgono gli effetti dell'età. A questi ponti va data un'attenzione speciale. In particolare è necessaria una aggiornata valutazione dell'integrità statica e sismica, accompagnata dalle indagini e dagli accertamenti che queste valutazioni comportano. Va anche valutata l'opzione di una loro dismissione nel caso che i lavori di miglioramento/adeguamento che risultassero necessari fossero eccessivamente costosi e poco risolutivi soprattutto dal punto di vista funzionale ai transiti. Il ponte di San Benedetto, anch'esso importante dal punto di vista trasportistico, fu costruito nel 1964 e fu soggetto a importanti lavori di rinforzo negli anni 2001-2004. Ora per effetti del sisma si è verificato uno spostamento relativo lungo l'asse dl ponte. Il ponte è attualmente soggetto a limitazioni di traffico. Alla luce degli ultimi avvenimenti si ritiene necessaria, anche in questo caso, una aggiornata valutazione dell'integrità statica e sismica.

ANALISI ECONOMICO-TRASPORTISTICA

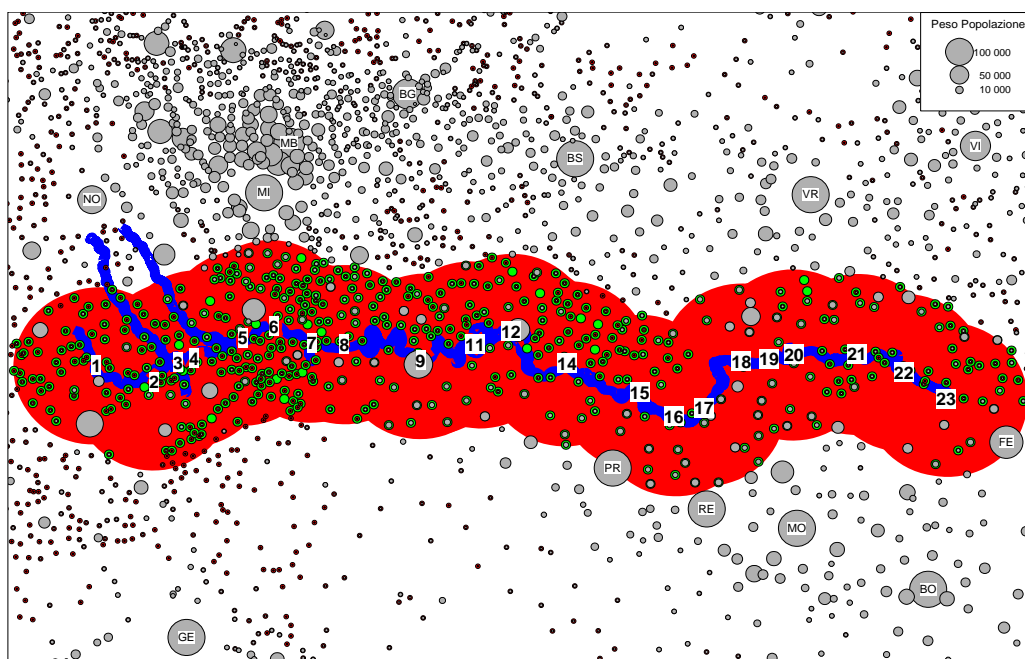
Oggetto dell'approfondimento sono i ponti autostradali, stradali e ferroviari di attraversamento del fiume Po presenti in Lombardia o prossimi al confine regionale in relazione in particolare agli aspetti trasportistici, ai flussi di traffico insistenti e alle economie locali di riferimento.

Le attività svolte sono state:

- analisi dello stato di fatto: inquadramento territoriale, raccolta dei dati socio-economici delle aree attraversate dai ponti sul fiume Po, raccolta dei dati di traffico, ecc.;
- individuazione degli indicatori e dei pesi per lo sviluppo dell'analisi multicriteria;
- lettura delle interrelazioni esistenti tra eventi che porterebbero alla chiusura di un ponte e gli effetti sul sistema dei flussi di traffico, considerando le possibili ricadute sull'occupazione e sull'economia locale: analisi dei percorsi alternativi, incremento costi e tempi di viaggio.

Nella figura di seguito sono localizzati i ponti analizzati ed elencati nella successiva tabella.

Figura 2.1 - Area di studio e localizzazione dei ponti analizzati



I numeri rappresentano l'ID (identificativo) del ponte - Le sigle appaiono solo sui comuni con popolazione > 100.000 abitanti.

In verde i comuni compresi nella fascia di distanza dei 20 km dai ponti e con popolazione inferiore a 10.000 abitanti.

Tabella 2.1 - Elenco ponti analizzati

Num.	ID	Nome
1	1	1-Valenza - ferroviario
2	1	1-Valenza
3	2	2-Pieve del Cairo
4	3	3-Ponte della Gerola - Cornale
5	4	4-A7
6	5	5-Bressana Bottarone - ferroviario
7	5	5-Bressana Bottarone
8	6	6-Ponte della Becca
9	7	7-Spessa
10	8	8-Pieve Porto Morone - Mezzano
11	9	9-Piacenza
12	9.5	9A Piacenza
13	10	10-A1
14	10.5	10A AV/AC
15	11	11-San Nazzaro
16	12	12-Cremona - ferroviario
17	12	12-Cremona - Castelvetro
18	13	13-A21
19	14	14-San Daniele Po
20	15	15B-Casalmaggiore stradale
21	15	15A-Casalmaggiore Ferroviario
22	16	16-Viadana
23	17	17-Guastalla
24	18	18B-Borgoforte stradale
25	18	18A-Borgoforte ferroviario
26	19	19-A22
27	20	20-San Benedetto Po
28	21	21-Revere-Ostiglia
29	21.5	21A Ostiglia-Poggio Rusco
30	22	22-Sermide
31	23	23-Ficarolo

2.1. Analisi dello stato di fatto

I ponti sono stati classificati in autostradali e ferroviari di elevata importanza a servizio degli spostamenti di lunga e lunghissima distanza, stradali di grande importanza legate alla viabilità sovraregionale (ex statali, o primarie regionali) e locali/ secondari tutti gli altri.

L'analisi dello stato di fatto ha consentito di individuare alcuni indicatori rispetto ai quali, una volta quantificati, è stato possibile effettuare le classifiche di prioritizzazione. Le classifiche analizzate consentono, in regime di scarsità di risorse, di scegliere i ponti principali su cui effettuare gli interventi di manutenzione.

Per ciascun ponte si è realizzata una scheda di sintesi, articolata secondo le voci dettagliate di seguito e corredata di immagini e mappe a supporto dell'analisi e delle valutazioni effettuate (vedi Allegato B):

- Localizzazione – Sintetica descrizione della collocazione geografico-territoriale del ponte, con particolare focalizzazione sulle relazioni tra ponte e territorio (descrizione corografica e foto del ponte, fonte Google Maps);
- Caratteristiche del ponte – Descrizione delle principali caratteristiche qualitative e geometrico-prestazionali del ponte e della presenza di eventuali limitazioni;
- Bacino di influenza – Quadro descrittivo dei Comuni che rientrano nel bacino di riferimento del ponte (raggio di 20 km, salvo considerare in aggiunta anche agglomerati urbani di una certa rilevanza) e stima della popolazione e degli addetti presenti nel territorio oggetto di analisi;
- Analisi economico-territoriale – Analisi delle prevalenti attività presenti sul territorio (industria, agricoltura, servizi, commercio) con focalizzazione su poli significativi (poli produttivi rilevanti, centri commerciali, poli logistici, infrastrutture sanitarie di rilievo, ecc.) e sulle specificità produttive e merceologiche del territorio (analisi di filiera e di distretto);
- Analisi della rete ferroviaria e stradale - Individuazione delle principali relazioni servite dai ponti, con stima di massima delle origini/destinazioni e/o direttrici che utilizzano l'infrastruttura;
- Analisi del traffico – Stima dei flussi via strada transitanti per tipologia di veicolo (leggeri/pesanti) e per possibile provenienza (breve/medio/lunga percorrenza) ed eventuale analisi del traffico ferroviario (passeggeri/merci);
- Analisi di scenario con/senza ponte – Individuazione dei percorsi alternativi stradali e autostradali ad est e ad ovest di ciascun ponte e calcolo semplificato, per ciascun percorso, delle variazioni di costo generalizzato¹, ipotizzandola chiusura completa del ponte;
- Infrastrutture future - Lo scenario regionale infrastrutturale di riferimento, con le previsioni di realizzazione in particolare delle opere di attraversamento del Po, è stato utilizzato per effettuare le previsioni di massima della variazione del traffico futuro sui ponti oggetto dello studio.

La raccolta dei dati disponibili è finalizzata alla stima quantitativa dei principali indicatori che descrivono le caratteristiche del ponte e che saranno utilizzati nell'analisi multicriteria come descritto nel capitolo di seguito.

¹ Il costo generalizzato è la somma del costo del trasporto chilometrico (carburanti, lubrificanti ecc.) e del costo del tempo (valore del tempo Euro/ora*ore di viaggio*numero dei veicoli).
Valore dei pesanti=1,5 volte valore dei leggeri.

2.2. Analisi multicriteria: metodologia sviluppata

A valle della fase di analisi effettuata ponte per ponte, si è sviluppata una procedura di valutazione con una metodologia assimilabile ad un'analisi multicriteria, necessaria per stilare una classifica di prioritizzazione degli interventi da effettuarsi sulle infrastrutture.

I passaggi metodologici seguiti per l'elaborazione dell'analisi multicriteria sono così sintetizzati:

1. individuazione delle macroaree e degli indicatori da calcolare;
2. assegnazione di un peso a ciascuna macroarea e ad un sottopeso a ciascun indicatore;
3. Stima dei singoli indicatori (quantitativa o qualitativa);
4. Punteggio: attribuzione e calcolo finale dello scenario base;
5. Analisi di sensitività per tre scenari alternativi.

Individuazione delle macroaree e degli indicatori da analizzare

Le dimensioni di analisi prese in considerazione sono tre:

1. **infrastruttura/generale**, finalizzata a fornire le informazioni essenziali relative al ponte, alle sue caratteristiche principali e alle sue relazioni con le infrastrutture adiacenti/alternative presenti e future;
2. **trasportistica**, che considera, per ciascun ponte, gli aspetti connessi ai livelli di traffico e alle sue caratteristiche;
3. **socio-economica**, che analizza gli aspetti socio-economici in un'area di 20 km attorno al ponte e gli impatti derivanti dalla chiusura del ponte.

Rispetto a ciascuno di questi assi di approfondimento, si sono definiti indicatori specifici che, per la loro rappresentatività, permettono di fornire una stima dell'importanza di ciascun ponte.

Assegnazione di un peso a ciascuna macroarea e a ciascun indicatore

L'assegnazione dei pesi è funzionale alla rilevanza che si intende attribuire sia alle macroaree, che, per ciascuna macroarea, ai singoli indicatori.

La tabella successiva mostra l'assegnazione dei pesi utilizzata nello Scenario Base, effettuata sulla base di una condivisione di intenti con il committente e dell'esperienza e competenza del gruppo di lavoro.

Tabella 2.2 - Macroaree, indicatori e pesi assegnati: Scenario Base

Macro-Area	Indicatore	Scenario Base
Infrastruttura/Generale	Tipologia, Classe, Categoria	3%
	Distanza da ponte Autostradale	2%
	Distanza da ponti vicini	5%
	Nuove infrastrutture	2%
	Intra/extra regione	3%
	Sub Totale Infrastruttura/Generale	15%
Trasportistica	Traffico (TGM)	30%
	Percentuale Pesanti	15%
	Sub Totale Trasportistica	45%
Impatti socio-economici	Abitanti(entro 20 km)	10%
	Addetti(entro 20 km)	10%
	Pendolari(entro 20 km)	5%
	Impianti, Poli, Servizi rilevanti(entro 20 km)	5%
	Costi deviazione traffico	10%
	Sub Totale Infrastruttura/Generale	40%
Totale		100%

Nei paragrafi seguenti si esplicitano le motivazioni che hanno portato all'assegnazione dei pesi a ciascun indicatore.

La prima suddivisione è stata effettuata a livello di macroarea, considerando quella trasportistica la più importante. Tale area ricopre infatti un ruolo guida nel classificare i ponti prioritari e i relativi indicatori (Traffico Giornaliero Medio - TGM e percentuale dei mezzi pesanti) già danno l'idea dell'importanza del ponte stesso.

L'altra area principale è quella legata alla dimensione del bacino servito dal ponte e degli impatti attesi in caso di chiusura del ponte stesso.

Infine, in ordine di importanza assegnata, l'area generale, che identifica la classe della strada di cui il ponte fa parte e la collocazione territoriale che facilita o meno l'utilizzo delle infrastrutture alternative. Più il ponte presenta alternative poco agevoli sul territorio interessato, maggiore sarà il punteggio assegnato facendolo così salire nelle posizioni alte della classifica che saranno quelle occupate dai ponti su cui assegnare le risorse disponibili.

Punteggio: attribuzione e calcolo finale

La fase finale dell'analisi multicriteria vede, per ogni ponte esaminato, l'attribuzione dei punteggi a ciascuna voce, fino a giungere ad un unico valore di sintesi, che tiene conto dei punteggi e dei pesi assegnati alle singole voci e alle tre macroaree.

Macroarea infrastruttura/generale (Ipotesi base 15%)

Tipologia, Classe, Categoria (Peso 3%): i ponti sono classificati in funzione della tipologia: Autostradali, Ferroviari, R2 e P1 (classificazioni regionali). Valore dell'indicatore = 0 per autostrade e 1 per classi più basse (minore stato manutentivo, minore disponibilità di fondi e quindi si assegna un maggior vantaggio per la prioritizzazione).

Distanza da ponti autostradali limitrofi (Peso 2%) e Distanza da ponti limitrofi (Peso 5%): i ponti con distanza più elevata dal ponte più prossimo (si è tenuto conto anche della distanza dal ponte autostradale più vicino) hanno valori più alti dell'indicatore. Per ogni ponte si utilizza la distanza minima tra i due ponti limitrofi. L'indicatore viene normalizzato rapportando il valore minimo misurato sul singolo ponte rispetto al più grande dei valori minimi registrati su tutti i ponti.

Nuove infrastrutture (Peso 2%): si è ipotizzato che la realizzazione delle 3 infrastrutture autostradali Broni-Mortara, nuovo Ponte di Castelvetro e Ti.Bre. riducano gli effetti di una chiusura dei ponti limitrofi (Bressana-Bottarone, Becca, San Nazzaro, Castelvetro, San Daniele Po, Casalmaggiore). I valori assegnati sono 0 e 1. Il peso assegnato è basso date le previsioni di realizzazione a lungo termine.

Intra/extra regione (Peso 3%): con questo indicatore si vuole dare priorità ai ponti che ricadono completamente in territorio regionale (quelli pavesi e quelli mantovani), che connettono quindi i comuni della stessa provincia. I valori assegnati sono 0 e 1.

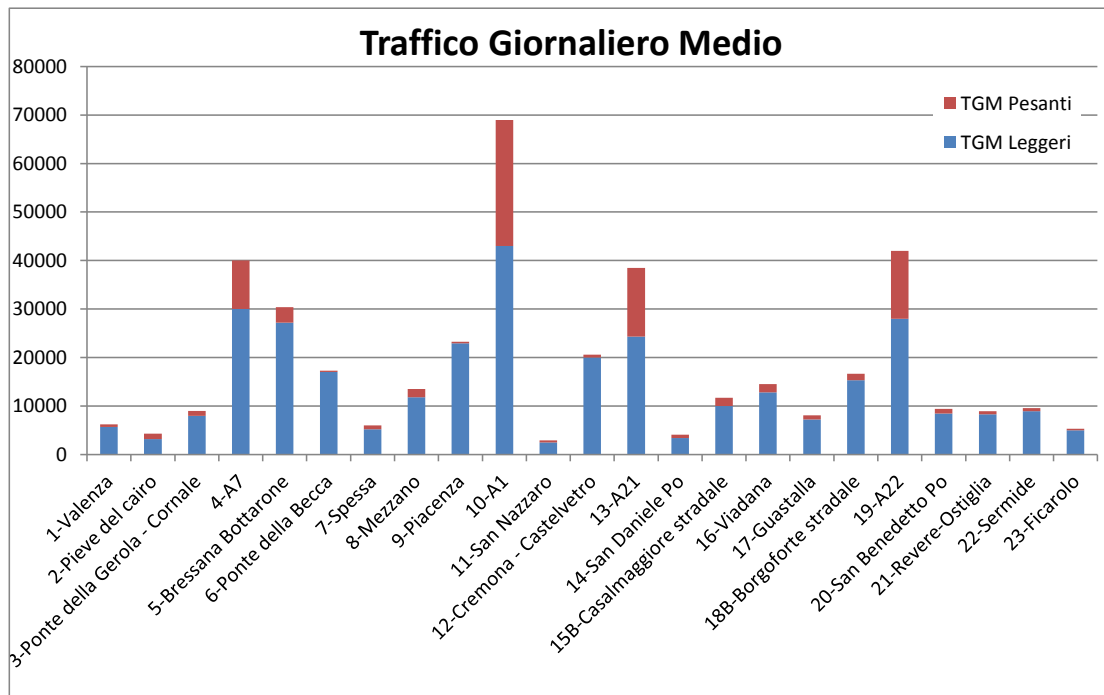
Macroarea trasportistica (Ipotesi base 45%)

Traffico (TGM) (Peso 30%): i ponti con TGM più elevato hanno punteggio più elevato. L'indicatore è normalizzato sul valore massimo di TGM registrato su tutti i ponti. Per i ponti ferroviari si considerano i treni/giorno in servizio.

Percentuale Pesanti (Peso 15%): i ponti con percentuale di veicoli pesanti più elevata hanno punteggio più elevato. L'indicatore è normalizzato sulla percentuale massima registrata su tutti i ponti. Per i ponti ferroviari conta la percentuale dei treni/giorno merci in servizio su tutti i treni transitanti.

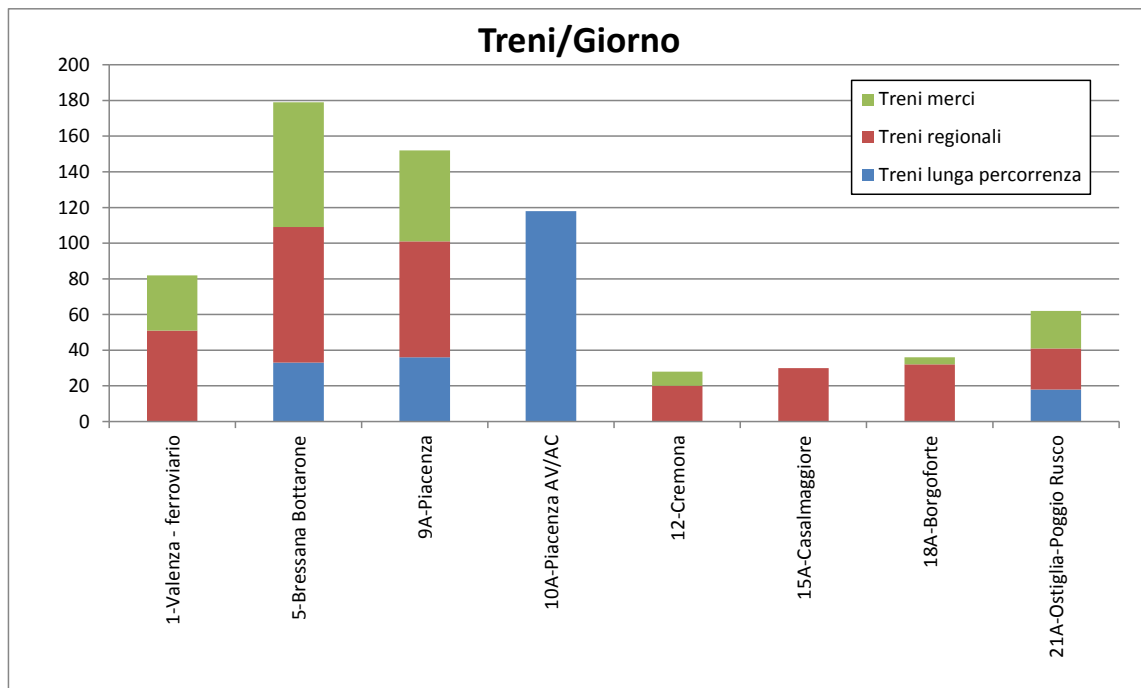
Nelle figure seguenti si riportano, per ogni ponte, i valori di traffico utilizzati, distinguendo tra leggeri e pesanti.

Figura 2.2 - I volumi di traffico di un giorno medio feriale invernale.



Fonte: Regione Lombardia, Province di Pavia, Cremona, Lodi e Mantova - Elaborazioni TRT

Figura 2.3 - Numero dei treni/giorno che transitano sui ponti in un giorno medio feriale invernale



Fonte: Servizio Ferroviario Regionale - Regione Lombardia

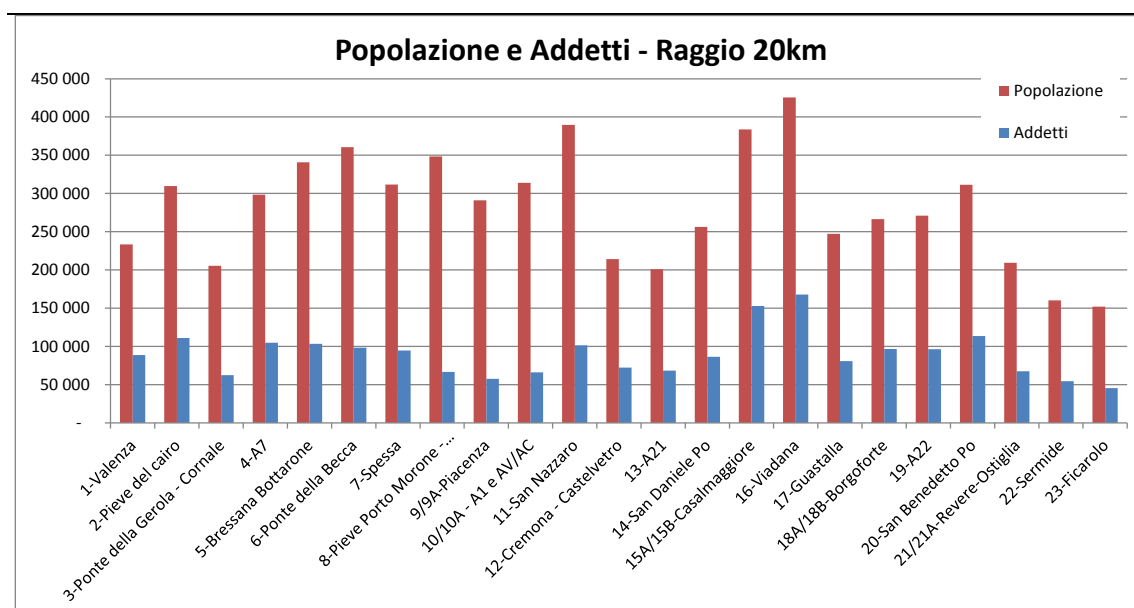
Macroarea socio-economica (Ipotesi base 40%)

Per questa macroarea l'analisi è stata effettuata in un raggio di 20 km dal ponte. Questi indicatori infatti si focalizzano sull'analisi di impatto sulle aree circostanti i ponti «regionali». I ponti autostradali e ferroviari, per i quali è importante anche la quota di spostamenti di lunga percorrenza, ricadono già nella condizione di essere strategici, di rango sovregionale e con finanziamenti disponibili per la manutenzione/gestione diversi dalle fonti regionali.

Abitanti (Peso 10%): numero degli abitanti dei comuni gravitanti sul ponte nel raggio di 20 km (valore normalizzato).

Addetti (Peso 10%): numero degli addetti dei comuni gravitanti sul ponte nel raggio di 20 km (valore normalizzato).

Figura 2.4 - Dati socio-economici di bacino



Fonte: Elaborazioni TRT

Pendolari (Peso 5%): numero degli spostamenti per lavoro tra le due sponde del Po (ISTAT 2001) per i comuni gravitanti sul ponte nel raggio di 20 km². Peso basso anche per qualità bassa del dato legata alla sua vetustà (valore normalizzato).

Impianti, Poli, Servizi rilevanti (Peso 5%): Ogni impianto nel raggio di 20 km vale 1 punto. L'indicatore è normalizzato sul massimo valore raggiunto da un ponte (es. 3 per i ponti di Gerola, A7, A22, San Benedetto Po). Si sono presi in considerazione centri commerciali, distretti industriali, centri intermodali, impianti industriali rilevanti (valore normalizzato).

Analisi "whatif" (Peso 10%):

Per ogni ponte si sono analizzati gli effetti che si determineranno per la sua chiusura temporanea (costo/giorno) o definitiva (costo/anno) con riferimento in particolare agli

² Non sono stati usati i dati OD Lombardia 2002 poiché non hanno un dettaglio comunale (solo provinciale) fuori dalla Regione Lombardia.

impatti trasportistici e socio-economici. Più elevato è il costo stimato maggiore sarà il punteggio attribuito (valore normalizzato).

La stima effettuata tiene conto dei costi carburanti e Valore del tempo e non delle tariffe autostradali

Contestualmente, si sono ipotizzati anche degli itinerari alternativi da utilizzare in caso di inagibilità di ciascun ponte. L'analisi di dettaglio per ciascun ponte è riportata nelle corrispondenti schede in allegato.

Identificati i percorsi alternativi più vicini al ponte (ad est e ad ovest), si sono calcolate in maniera semplificata le variazioni di costo generalizzato³ nel trasporto nel caso di chiusura completa del ponte. In presenza di alternative autostradali prossime al ponte si è tenuto conto anche di queste.

La stima consente di confrontare gli impatti che gli allungamenti dei percorsi generano su ogni ponte.

Non avendo a disposizione un modello di simulazione di traffico, in grado di ricalcolare l'equilibrio sulla rete stradale completa, si è ipotizzato di distribuire sui percorsi alternativi il flusso di traffico misurato sul ponte in maniera inversamente proporzionale alla lunghezza dell'alternativa. Ad esempio, se le due alternative misurano entrambe 40 km il TGM del ponte sarà diviso esattamente a metà tra i 2 percorsi. Se l'alternativa est presenta la metà dei chilometri dell'alternativa ovest, allora su questa andranno a riposizionarsi i due terzi del traffico⁴.

I limiti di questa semplificazione chiaramente risiedono nell'assenza dei vincoli di capacità della rete stradale che, soprattutto in presenza di grossi flussi e di tratti di strada congestionati, potrebbero portare ad una configurazione di equilibrio della rete anche molto diversa da quanto ipotizzato.

In particolare, poi, molto più difficile risulta essere la stima della riconfigurazione dei percorsi alternativi nel caso in cui vengano a chiudersi i ponti autostradali e ferroviari (strategici per definizione).

Nel caso dei ponti autostradali, si sono identificati due generi di percorsi alternativi per la lunga percorrenza (percorsi autostradali su polarità/direttrici di rilievo nazionale) e per la breve distanza, distribuendo i valori del traffico sul ponte prima tra queste due grandi famiglie (ad esempio, 60% del traffico su percorsi autostradali alternativi di lunga percorrenza e 40% su quelli di breve) e poi, per ciascuna tipologia di traffico, si sono redistribuiti i flussi tra l'alternativa ad est e ad ovest del ponte interrotto in maniera inversamente proporzionale alla lunghezza del percorso alternativo (si rinvia all'annota precedente).

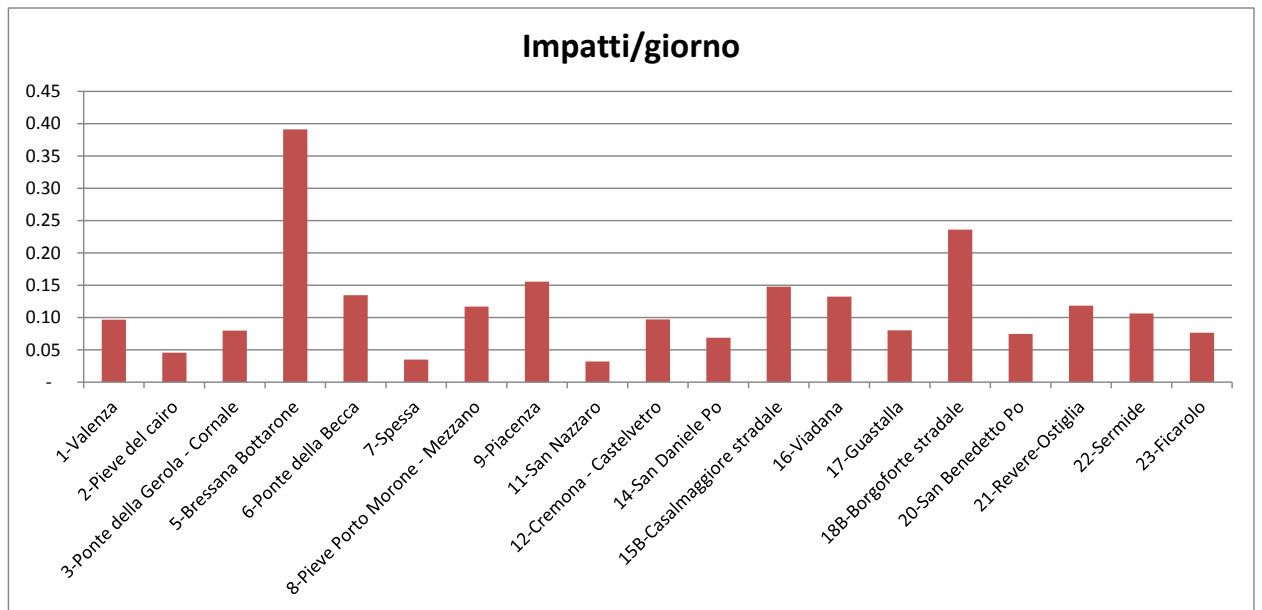
Per i ponti ferroviari, invece, si è usata come *proxy* il numero dei treni/giorno transitanti sulla linea per definire l'impatto in termini di costo generalizzato. Il livello di approfondimento di questa ricerca non consente peraltro di effettuare stime più raffinate che dovrebbero basarsi sulla conoscenza del modello di esercizio ferroviario regionale e nazionale.

Nella figura seguente si riportano i risultati delle stime effettuate sui ponti della viabilità ordinaria, laddove la metodologia di stima adottata risulta essere più solida.

³ Il costo generalizzato è la somma del costo del trasporto kilometrico (carburanti, lubrificanti ecc.) e del costo del tempo (valore del tempo Euro/ora*ore di viaggio*numero dei veicoli). Valore dei pesanti=1,5 volte valore dei leggeri.

⁴ Esempio: Probabilità alternativa est= $1 - ((\text{km est})/((\text{km est})+(\text{km ovest})))$

Figura 2.5 - Stima dei costi giornalieri per la chiusura dei singoli ponti stradali (mln Euro)



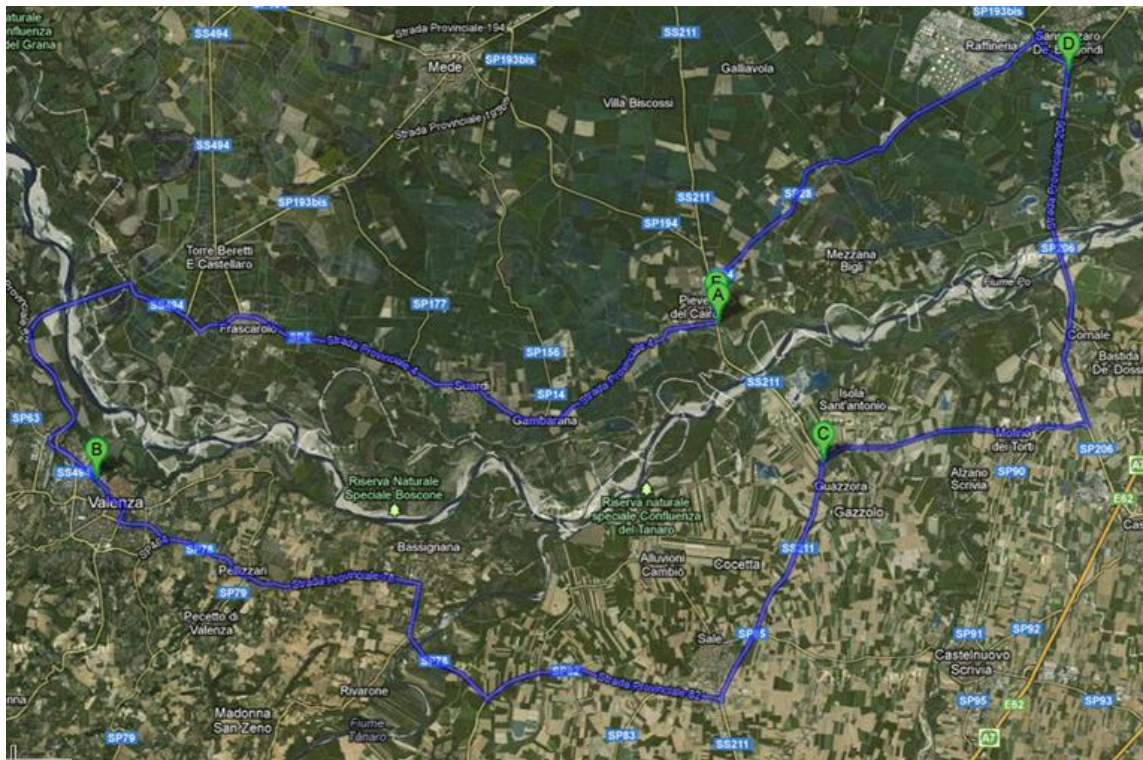
Fonte: Elaborazioni TRT

L'entità del costo sarà tanto più elevata quanto maggiore sarà il valore del traffico giornaliero medio (TGM) e quanto più lunghi e lenti saranno i percorsi alternativi.

Un altro elemento molto importante da considerare, ma che un'analisi di questo tipo non può cogliere, risiede nel fatto che, nel tempo, il traffico interrotto tra le due sponde del fiume in quell'area, invece di ridistribuirsi sui percorsi alternativi, andrà a ridursi o a riconfigurarsi anche in maniera drastica con lo spostamento di residenze, poli logistici e/o produttivi, ecc..

Nella figura seguente un esempio di calcolo dell'impatto del detour: confronto tra il percorso A-C con il ponte di Pieve del Cairo in esercizio ed i percorsi alternativi A-B-C e A-D-C. In allegato si riportano le analisi effettuate ponte per ponte.

Figura 2.6 - Itinerari alternativi al ponte di Pieve del Cairo - Guazzora



Fonte: Google Map

Tabella 2.3 - Itinerari alternativi al ponte di Pieve del Cairo - Guazzora: distanze e tempi

	km	minuti
Ponte Pieve del Cairo (A-C)	3,9	3
Ponte a Ovest (A-B-C)	44,6	52
Ponte a Est (A-D-C)	25,2	31

Fonte: Elaborazioni TRT

2.3. Classifica dei ponti nello scenario base

La tabella e il grafico seguenti riportano la classifica dei ponti in ordine decrescente di punteggio totale ottenuto, con dettaglio per singola macroarea. Le celle in grigio evidenziano il punteggio massimo ottenuto in ogni macroarea. Le prime posizioni sono naturalmente occupate dai ponti autostradali e ferroviari principali, date le dimensioni del traffico giornaliero che vanno ad interessarli (punteggio >0,50).

Per quanto riguarda i ponti sulla viabilità ordinaria si rileva un primo gruppo con punteggio compreso tra 0,44 e 0,53 (Bressana Bottarone, Casalmaggiore, Viadana, Pieve

del Cairo, Borgoforte e San Benedetto Po), premiati per i valori del traffico più elevati, per la presenza di alte percentuali di traffico pesante e per la maggiore distanza dai ponti limitrofi.

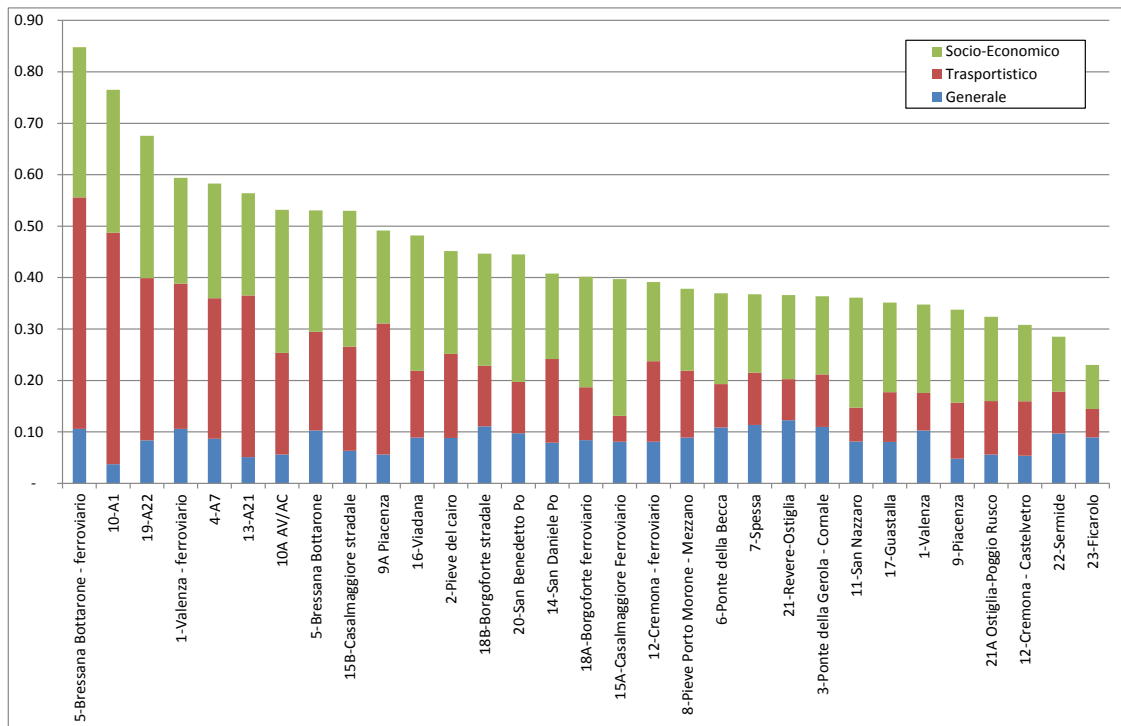
In fondo alla classifica risultano i ponti con punteggio <0,35: Piacenza e Cremona-Castelvetro, nella cui valutazione pesano in particolare l'assenza del traffico pesante, la vicinanza del ponte autostradale e il fatto di essere di recente costruzione, e i ponti di Sermide e Ficarolo che presentano valori di traffico molto bassi.

Tabella 2. 4. - Scenario Base - Classifica dei ponti

		Generale	Trasportistico	Socio-Economico	Totale
ID	Nome	15%	45%	40%	100%
5	5-Bressana Bottarone - ferroviario	0.11	0.45	0.29	0.85
10	10-A1	0.04	0.45	0.28	0.77
19	19-A22	0.08	0.32	0.28	0.68
1	1-Valenza - ferroviario	0.11	0.28	0.21	0.59
4	4-A7	0.09	0.27	0.22	0.58
13	13-A21	0.05	0.31	0.20	0.56
11	10A AV/AC	0.06	0.20	0.28	0.53
5	5-Bressana Bottarone	0.10	0.19	0.24	0.53
15	15B-Casalmaggiore stradale	0.06	0.20	0.26	0.53
9.5	9A Piacenza	0.06	0.25	0.18	0.49
16	16-Viadana	0.09	0.13	0.26	0.48
2	2-Pieve del Cairo	0.09	0.16	0.20	0.45
18	18B-Borgoforte stradale	0.11	0.12	0.22	0.45
20	20-San Benedetto Po	0.10	0.10	0.25	0.44
14	14-San Daniele Po	0.08	0.16	0.17	0.41
18	18A-Borgoforte ferroviario	0.08	0.10	0.21	0.40
15	15A-Casalmaggiore Ferroviario	0.08	0.05	0.27	0.40
12	12-Cremona - ferroviario	0.08	0.16	0.15	0.39
8	8-Pieve Porto Morone - Mezzano	0.09	0.13	0.16	0.38
6	6-Ponte della Becca	0.11	0.08	0.18	0.37
7	7-Spessa	0.11	0.10	0.15	0.37
21	21-Revere-Ostiglia	0.12	0.08	0.16	0.37
3	3-Ponte della Gerola - Cornale	0.11	0.10	0.15	0.36
11	11-San Nazzaro	0.08	0.07	0.21	0.36
17	17-Guastalla	0.08	0.10	0.17	0.35
1	1-Valenza	0.10	0.07	0.17	0.35
9	9-Piacenza	0.05	0.11	0.18	0.34
22	21A Ostiglia-Poggio Rusco	0.06	0.10	0.16	0.32
12	12-Cremona - Castelvetro	0.05	0.11	0.15	0.31
22	22-Sermide	0.10	0.08	0.11	0.28
23	23-Ficarolo	0.09	0.06	0.09	0.23

In celeste i ponti autostradali - in giallo i ponti ferroviari - in bianco i ponti sulla viabilità ordinaria

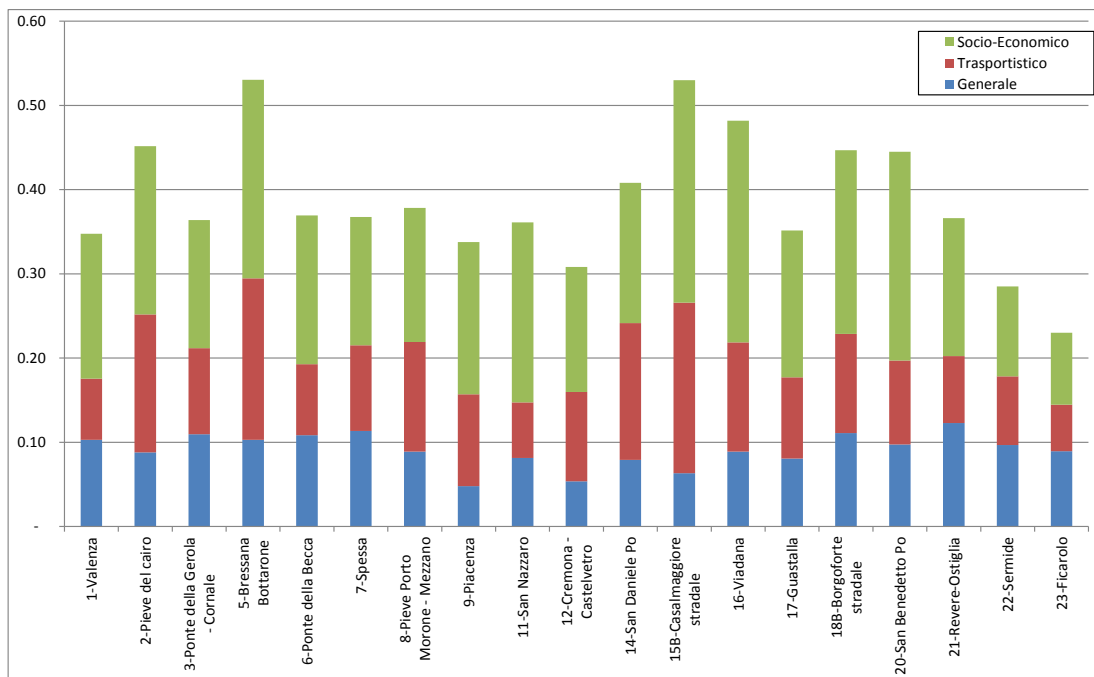
Figura 2.7 - Scenario Base - Classifica dei ponti



Fonte: Elaborazioni TRT

Nel grafico seguente sono rappresentati i risultati dei ponti sulla viabilità ordinaria, secondo l'ordine territoriale da ovest ad est.

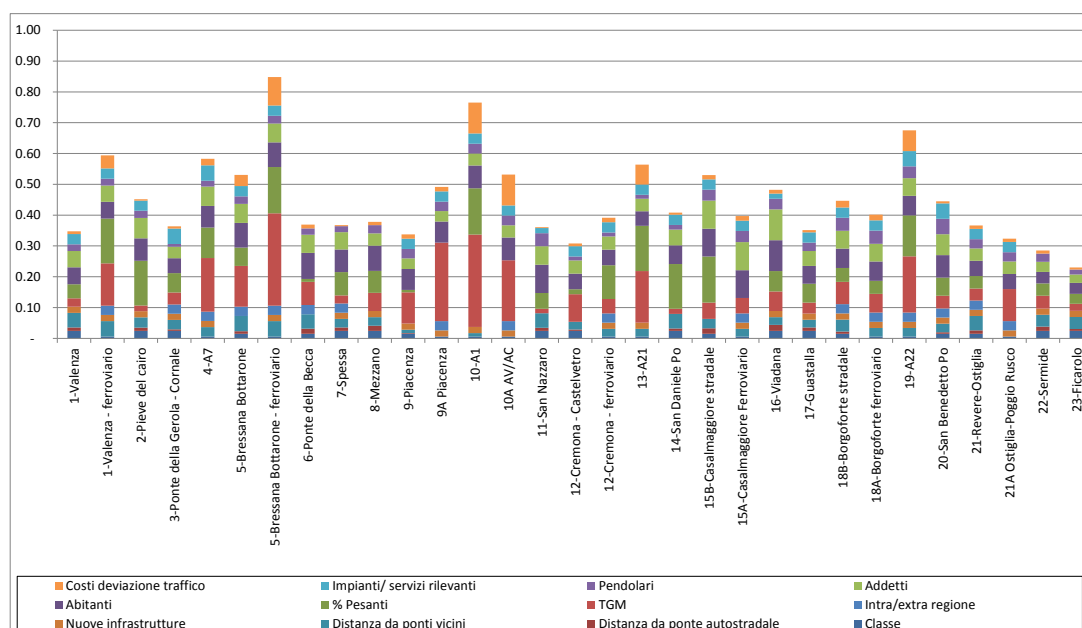
Figura 2.8 - Scenario Base - I punteggi ottenuti dai ponti sulla viabilità ordinaria



Fonte: Elaborazioni TRT

Nel grafico seguente, si riportano per ogni ponte secondo l'ordine territoriale da ovest ad est i valori dei singoli indicatori come esempio di una possibile analisi di dettaglio.

Figura 2.9 Esempio di analisi di dettaglio sui singoli indicatori



Fonte: Elaborazioni TRT

2.4. Analisi di sensitività

A conclusione dell'analisi multicriteria, si sono effettuati alcuni test di sensitività variando i pesi assegnati alle singole macroaree attraverso la modifica dei pesi dei singoli indicatori.

La modifica dei termini di priorità ha permesso di mettere in luce valori soglia e di consolidare i principali risultati dell'analisi.

Nel presente capitolo si mostrano i risultati ottenuti dall'analisi di sensitività effettuata.

Tabella. 2.5 - Pesi assegnati agli scenari di sensitività

Macro-Area	Indicatore	Base %	sensitività 1 %	sensitività 2 %	sensitività 3 %
Infrastruttura/ Generale	Tipologia, Classe, Categoria	3	10	2	2
	Distanza da ponte Autostradale	2	10	2	2
	Distanza da ponti vicini	5	10	2	2
	Nuove infrastrutture	2	10	2	2
	Intra/extra regione	3	10	2	2

	Sub Totale	15	50	10	10
	Infrastruttura/Generale				
Trasportistica	Traffico (TGM)	30	10	45	15
	Percentuale Pesanti	15	15	25	10
	Sub Totale Trasportistica	45	25	70	25
Impatti socio-economici (entro 20 km)	Abitanti	10	5	4	15
	Addetti	10	5	4	15
	Pendolari	5	5	4	10
	Impianti, Poli, Servizi rilevanti	5	5	4	10
	Costi deviazione traffico	10	5	4	15
	Sub Totale	40	25	20	65
	Infrastruttura/Generale				
Totale		100	100	100	100

Sensitività 1 - predominante la Macroarea Generale

La tabella e il grafico seguenti riportano la classifica dei ponti in ordine decrescente di punteggio totale ottenuto, con dettaglio per singola macroarea ed evidenziato in grigio il punteggio massimo di ogni macroarea.

Le prime posizioni sono occupate da ponti di diversa tipologia. Venendo meno la preponderanza dei valori di traffico, a causa del peso ridotto che gli viene assegnato, i ponti autostradali e quelli ferroviari principali perdono posizione e la classifica è meno connotata secondo la tipologia delle reti.

Per quanto riguarda i ponti sulla viabilità ordinaria, abbiamo una conferma di prioritizzazione sui ponti di Viadana, Pieve del Cairo, Borgoforte e San Benedetto Po premiati in particolare per la maggiore distanza dai ponti limitrofi. Invece i ponti di Bressana Bottarone e di Casalmaggiore scendono rispettivamente a metà classifica e nel gruppo di coda.

In fondo alla classifica risultano ancora confermati i ponti di Piacenza e Cremona-Castelvetto nella cui valutazione pesano in particolare l'assenza del traffico pesante, la vicinanza del ponte autostradale e, per quello di Piacenza, il fatto di essere di recente costruzione.

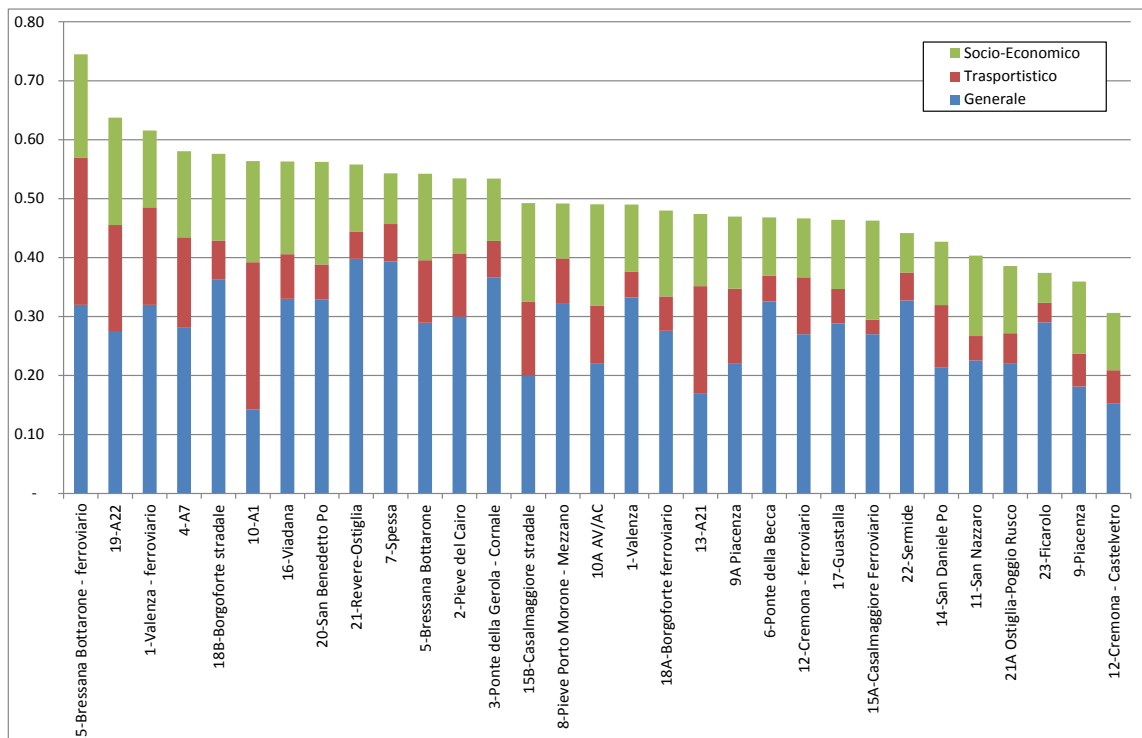
I ponti di Sermide e Ficarolo, pur guadagnando qualche posizione, rimangono in coda alla classifica.

Tabella 2.6 - Sensitività 1 - Classifica dei ponti

		Generale	Trasportistico	Socio- Economico	Totale
ID	Nome	50%	25%	25%	100%
5	5-Bressana Bottarone - ferroviario	0.32	0.25	0.17	0.74
19	19-A22	0.28	0.18	0.18	0.64
1	1-Valenza - ferroviario	0.32	0.17	0.13	0.62
4	4-A7	0.28	0.15	0.15	0.58
18	18B-Borgoforte stradale	0.36	0.07	0.15	0.58
10	10-A1	0.14	0.25	0.17	0.56
16	16-Viadana	0.33	0.08	0.16	0.56
20	20-San Benedetto Po	0.33	0.06	0.17	0.56
21	21-Revere-Ostiglia	0.40	0.05	0.11	0.56
7	7-Spessa	0.39	0.06	0.09	0.54
5	5-Bressana Bottarone	0.29	0.11	0.15	0.54
2	2-Pieve del Cairo	0.30	0.11	0.13	0.53
3	3-Ponte della Gerola - Cornale	0.37	0.06	0.11	0.53
15	15B-Casalmaggiore stradale	0.20	0.13	0.17	0.49
8	8-Pieve Porto Morone - Mezzano	0.32	0.08	0.09	0.49
11	10A AV/AC	0.22	0.10	0.17	0.49
1	1-Valenza	0.33	0.04	0.11	0.49
18	18A-Borgoforte ferroviario	0.28	0.06	0.15	0.48
13	13-A21	0.17	0.18	0.12	0.47
9.5	9A Piacenza	0.22	0.13	0.12	0.47
6	6-Ponte della Becca	0.33	0.04	0.10	0.47
12	12-Cremona - ferroviario	0.27	0.10	0.10	0.47
17	17-Guastalla	0.29	0.06	0.12	0.46
15	15A-Casalmaggiore Ferroviario	0.27	0.03	0.17	0.46
22	22-Sermide	0.33	0.05	0.07	0.44
14	14-San Daniele Po	0.21	0.11	0.11	0.43
11	11-San Nazzaro	0.23	0.04	0.14	0.40
22	21A Ostiglia-Poggio Rusco	0.22	0.05	0.11	0.39
23	23-Ficarolo	0.29	0.03	0.05	0.37
9	9-Piacenza	0.18	0.06	0.12	0.36
12	12-Cremona - Castelvetro	0.15	0.06	0.10	0.31

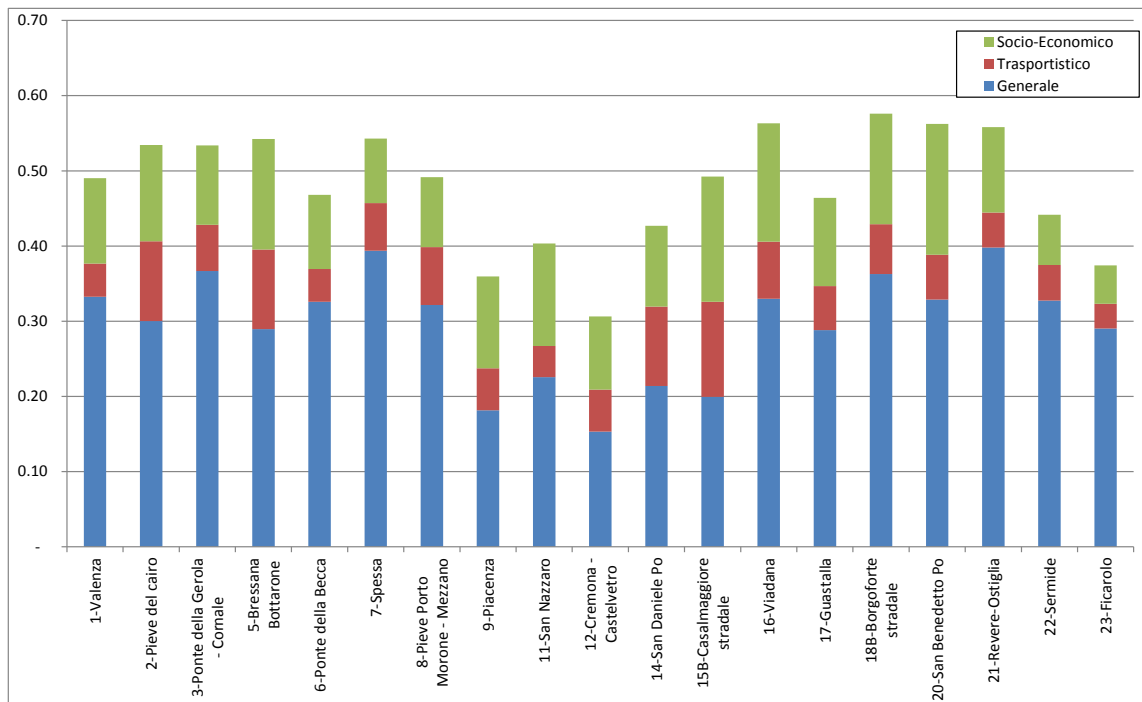
In celeste i ponti autostradali - in giallo i ponti ferroviari - in bianco i ponti sulla viabilità ordinaria

Figura 2.10 - Sensitività 1 - Classifica dei ponti



Nel grafico seguente sono rappresentati i risultati dei ponti sulla viabilità ordinaria, secondo l'ordine territoriale da ovest ad est.

Figura 2.11 - Sensitività 1 - I punteggi ottenuti dai ponti sulla viabilità ordinaria



Fonte: Elaborazioni TRT

Sensitività 2 - predominante la Macroarea Trasportistica

La tabella e il grafico seguenti riportano la classifica dei ponti in ordine decrescente di punteggio totale ottenuto, con dettaglio per singola macroarea ed evidenziato in grigio il punteggio massimo di ogni macroarea.

Le prime posizioni ritornano ad essere occupate dai ponti strategici autostradali e ferroviari.

Per quanto riguarda i ponti sulla viabilità ordinaria si ha una conferma di prioritizzazione simile allo Scenario Base con ai primi posti i ponti di Casalmaggiore, Bressana Bottarone e Pieve del Cairo.

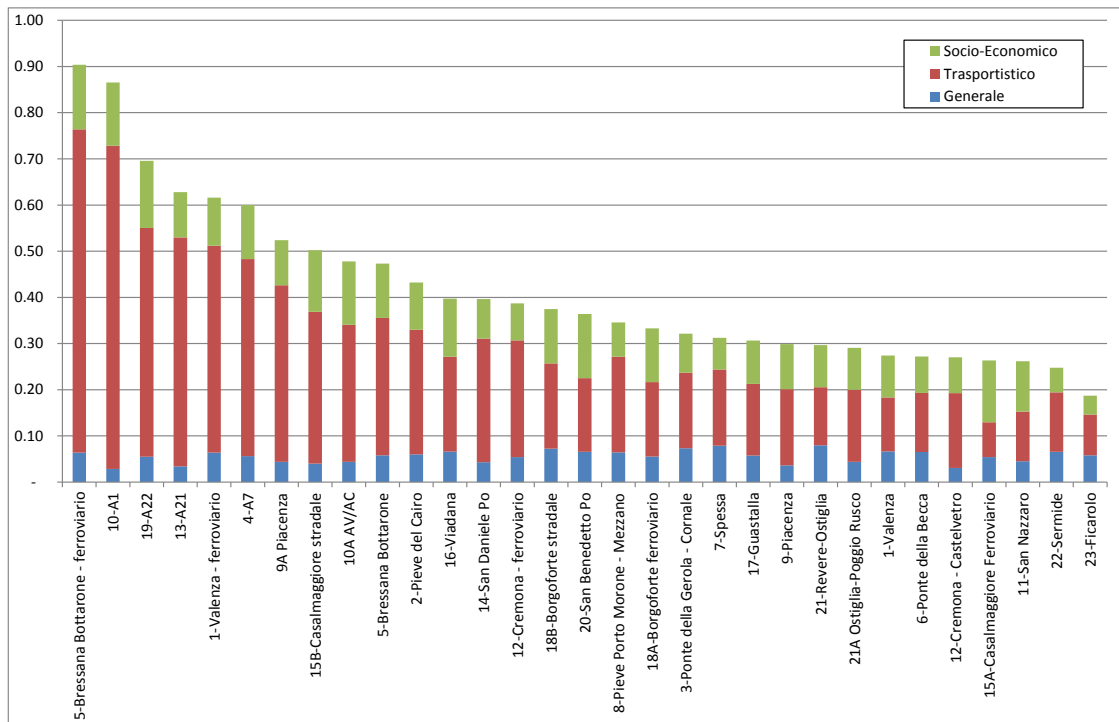
In fondo alla classifica risultano confermati i ponti di Sermide, Ficarolo e Cremona-Castelvetto aggiungendosi San Nazzaro.

Tabella 2.7 - Sensitività 2 - Classifica dei ponti

		Generale	Trasportistico	Socio-Economico	Totale
ID	Nome	10%	70%	20%	100%
5	5-Bressana Bottarone - ferroviario	0.06	0.70	0.14	0.90
10	10-A1	0.03	0.70	0.14	0.87
19	19-A22	0.06	0.50	0.15	0.70
13	13-A21	0.03	0.50	0.10	0.63
1	1-Valenza - ferroviario	0.06	0.45	0.10	0.62
4	4-A7	0.06	0.43	0.12	0.60
9.5	9A Piacenza	0.04	0.38	0.10	0.52
15	15B-Casalmaggiore stradale	0.04	0.33	0.13	0.50
11	10A AV/AC	0.04	0.30	0.14	0.48
5	5-Bressana Bottarone	0.06	0.30	0.12	0.47
2	2-Pieve del Cairo	0.06	0.27	0.10	0.43
16	16-Viadana	0.07	0.21	0.13	0.40
14	14-San Daniele Po	0.04	0.27	0.09	0.40
12	12-Cremona - ferroviario	0.05	0.25	0.08	0.39
18	18B-Borgoforte stradale	0.07	0.18	0.12	0.37
20	20-San Benedetto Po	0.07	0.16	0.14	0.36
8	8-Pieve Porto Morone - Mezzano	0.06	0.21	0.07	0.35
18	18A-Borgoforte ferroviario	0.06	0.16	0.12	0.33
3	3-Ponte della Gerola - Cornale	0.07	0.16	0.08	0.32
7	7-Spessa	0.08	0.17	0.07	0.31
17	17-Guastalla	0.06	0.16	0.09	0.31
9	9-Piacenza	0.04	0.16	0.10	0.30
21	21-Revere-Ostiglia	0.08	0.13	0.09	0.30
22	21A Ostiglia-Poggio Rusco	0.04	0.16	0.09	0.29
1	1-Valenza	0.07	0.12	0.09	0.27
6	6-Ponte della Becca	0.07	0.13	0.08	0.27
12	12-Cremona - Castelvetro	0.03	0.16	0.08	0.27
15	15A-Casalmaggiore Ferroviario	0.05	0.08	0.13	0.26
11	11-San Nazzaro	0.05	0.11	0.11	0.26
22	22-Sermide	0.07	0.13	0.05	0.25
23	23-Ficarolo	0.06	0.09	0.04	0.19

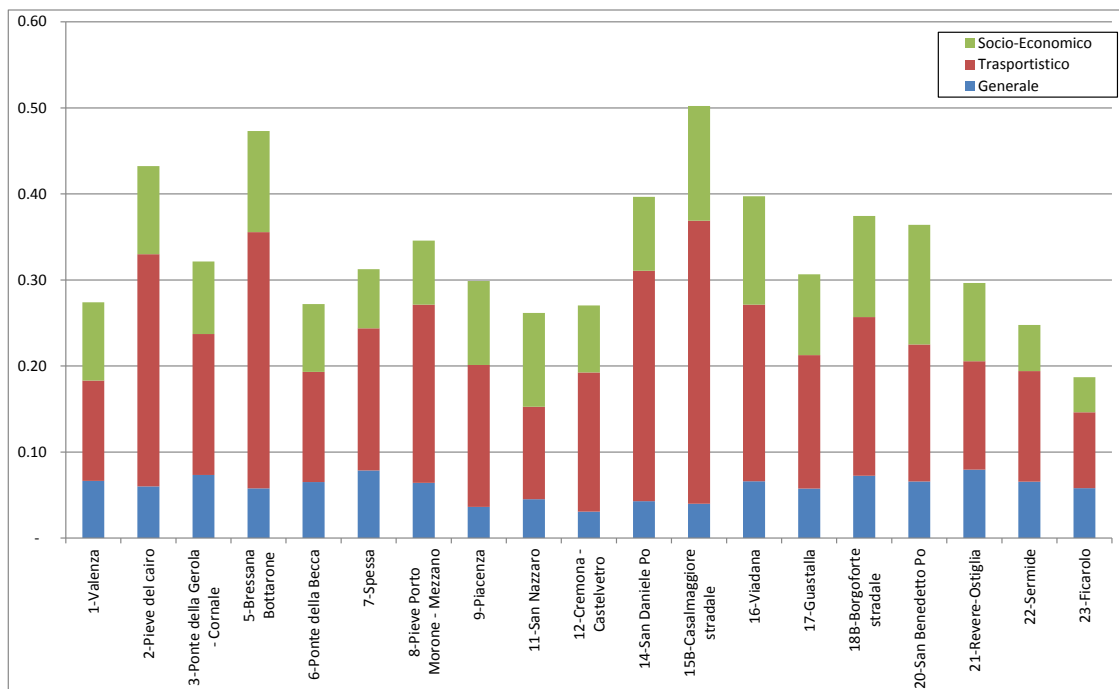
In celeste i ponti autostradali - in giallo i ponti ferroviari - in bianco i ponti sulla viabilità ordinaria

Figura 2.12 - Sensività 2 - Classifica dei ponti



Nel grafico seguente sono rappresentati i risultati dei ponti sulla viabilità ordinaria, secondo l'ordine territoriale da ovest ad est.

Figura 2.13 Sensività 2 - I punteggi ottenuti dai ponti sulla viabilità ordinaria



Fonte: Elaborazioni TRT

Sensitività 3 - predominante la Macroarea Impatti Socio-economici

La tabella e il grafico seguenti riportano la classifica dei ponti in ordine decrescente di punteggio totale ottenuto, con dettaglio per singola macroarea ed evidenziato in grigio il punteggio massimo di ogni macroarea. Le prime posizioni sono occupate ancora dai ponti autostradali, mentre i ferroviari si distribuiscono nella classifica (la stima degli impatti socio-economici su questi ponti risulta più approssimativa e richiederebbe ulteriori approfondimenti). La tipologia dell'arco influisce meno nella stesura della classifica (il peso della macroarea generale è basso) mentre questa dipende molto dal bacino di traffico di corto raggio e dalla stima dei costi di cambio di itinerario.

Per quanto riguarda i ponti sulla viabilità ordinaria, si evidenzia anche in questo caso la conferma di prioritizzazione sui ponti di Casalmaggiore, Viadana, San Benedetto Po, Bressana Bottarone seguiti da Borgoforte e Pieve del Cairo.

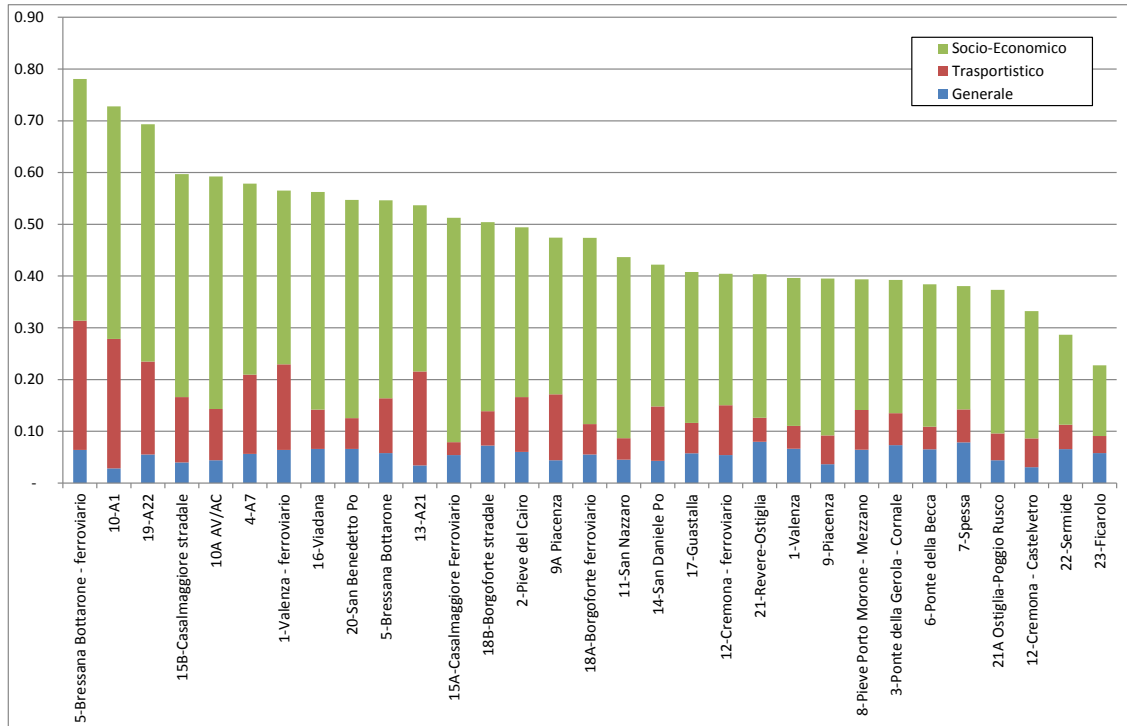
In fondo alla classifica risultano ancora confermati i ponti con punteggio <0,35: Cremona-Castelvetto, Sermide e Ficarolo.

Tabella 2.8 - Sensitività 3 - Classifica dei ponti

		Generale	Trasportistico	Socio-Economico	Totale
ID	Nome	10%	25%	65%	100%
5	5-Bressana Bottarone - ferroviario	0.06	0.25	0.47	0.78
10	10-A1	0.03	0.25	0.45	0.73
19	19-A22	0.06	0.18	0.46	0.69
15	15B-Casalmaggiore stradale	0.04	0.13	0.43	0.60
11	10A AV/AC	0.04	0.10	0.45	0.59
4	4-A7	0.06	0.15	0.37	0.58
1	1-Valenza - ferroviario	0.06	0.17	0.34	0.57
16	16-Viadana	0.07	0.08	0.42	0.56
20	20-San Benedetto Po	0.07	0.06	0.42	0.55
5	5-Bressana Bottarone	0.06	0.11	0.38	0.55
13	13-A21	0.03	0.18	0.32	0.54
15	15A-Casalmaggiore Ferroviario	0.05	0.03	0.43	0.51
18	18B-Borgoforte stradale	0.07	0.07	0.37	0.50
2	2-Pieve del Cairo	0.06	0.11	0.33	0.49
9.5	9A Piacenza	0.04	0.13	0.30	0.47
18	18A-Borgoforte ferroviario	0.06	0.06	0.36	0.47
11	11-San Nazzaro	0.05	0.04	0.35	0.44
14	14-San Daniele Po	0.04	0.11	0.27	0.42
17	17-Guastalla	0.06	0.06	0.29	0.41
12	12-Cremona - ferroviario	0.05	0.10	0.25	0.40
21	21-Revere-Ostiglia	0.08	0.05	0.28	0.40
1	1-Valenza	0.07	0.04	0.29	0.40
9	9-Piacenza	0.04	0.06	0.30	0.40
8	8-Pieve Porto Morone - Mezzano	0.06	0.08	0.25	0.39
3	3-Ponte della Gerola - Cornale	0.07	0.06	0.26	0.39
6	6-Ponte della Becca	0.07	0.04	0.28	0.38
7	7-Spessa	0.08	0.06	0.24	0.38
22	21A Ostiglia-Poggio Rusco	0.04	0.05	0.28	0.37
12	12-Cremona - Castelvetro	0.03	0.06	0.25	0.33
22	22-Sermide	0.07	0.05	0.17	0.29
23	23-Ficarolo	0.06	0.03	0.14	0.23

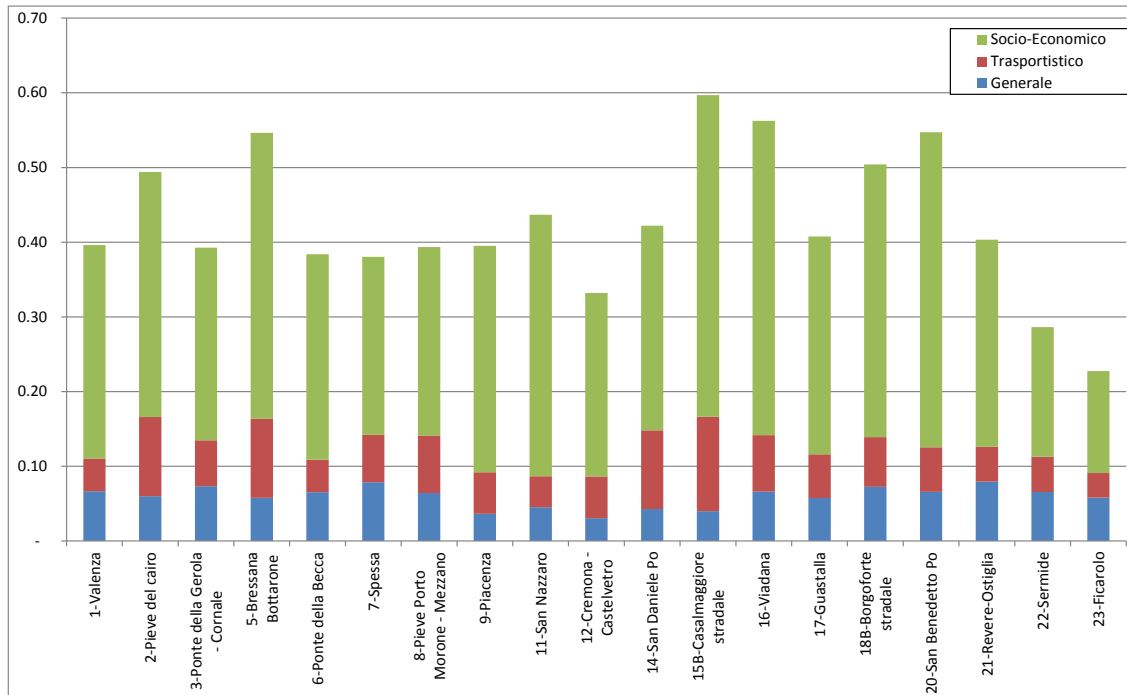
In celeste i ponti autostradali - in giallo i ponti ferroviari - in bianco i ponti sulla viabilità ordinaria

Figura 2.14 - Sensività 3 - Classifica dei ponti



Nel grafico seguente sono rappresentati i risultati dei ponti sulla viabilità ordinaria, secondo l'ordine territoriale da ovest ad est.

Figura 2.15 Sensività3- I punteggi ottenuti dai ponti sulla viabilità ordinaria



Fonte: Elaborazioni TRT

Confronto classifiche viabilità ordinaria

La tabella seguente riporta, per lo Scenario Base e per gli scenari di sensitività analizzati, le rispettive classifiche ottenute per i ponti sulla viabilità locale.

I ponti sono evidenziati con lo stesso colore nei diversi scenari, in questo modo si mostra il loro movimento nelle diverse posizioni per ogni classifica:

- i colori caldi evidenziano i ponti con alta priorità/importanza sul fronte trasportistico e degli impatti socioeconomici;
- i colori più freddi evidenziano i ponti in fondo alla classifica.

Tabella 2.9 - Ponti sulla viabilità ordinaria: classifiche degli scenari analizzati

Base	Sensitività 1	Sensitività 2	Sensitività 3
5-Bressana Bottarone	18B-Borgoforte stradale	15B-Casalmaggiore stradale	15B-Casalmaggiore stradale
15B-Casalmaggiore stradale	16-Viadana	5-Bressana Bottarone	16-Viadana
16-Viadana	20-San Benedetto Po	2-Pieve del cairo	20-San Benedetto Po
2-Pieve del cairo	21-Revere-Ostiglia	16-Viadana	5-Bressana Bottarone
18B-Borgoforte stradale	7-Spessa	14-San Daniele Po	18B-Borgoforte stradale
20-San Benedetto Po	5-Bressana Bottarone	18B-Borgoforte stradale	2-Pieve del cairo
14-San Daniele Po	2-Pieve del cairo	20-San Benedetto Po	11-San Nazzaro
8-Pieve Porto Morone - Mezzano	3-Ponte della Gerola - Cornale	8-Pieve Porto Morone - Mezzano	14-San Daniele Po
6-Ponte della Becca	15B-Casalmaggiore stradale	3-Ponte della Gerola - Cornale	17-Guastalla
7-Spessa	8-Pieve Porto Morone - Mezzano	7-Spessa	21-Revere-Ostiglia
21-Revere-Ostiglia	1-Valenza	17-Guastalla	1-Valenza
3-Ponte della Gerola - Cornale	6-Ponte della Becca	9-Piacenza	9-Piacenza
11-San Nazzaro	17-Guastalla	21-Revere-Ostiglia	8-Pieve Porto Morone - Mezzano
17-Guastalla	22-Sermide	1-Valenza	3-Ponte della Gerola - Cornale
1-Valenza	14-San Daniele Po	6-Ponte della Becca	6-Ponte della Becca
9-Piacenza	11-San Nazzaro	12-Cremona - Castelvetro	7-Spessa
12-Cremona - Castelvetro	23-Ficarolo	11-San Nazzaro	12-Cremona - Castelvetro
22-Sermide	9-Piacenza	22-Sermide	22-Sermide
23-Ficarolo	12-Cremona - Castelvetro	23-Ficarolo	23-Ficarolo

Fonte: Elaborazioni TRT

2.5. Risultati dell'analisi

Punti di forza dell'analisi

Il processo di scelta dei pesi può essere condiviso tra i diversi attori in gioco: Regione Lombardia, enti locali, enti gestori delle infrastrutture, consulenti, ecc.. Questo consente di rafforzare i risultati dell'analisi e di costruire diversi scenari di sensitività confrontando i risultati ottenuti. I test di sensitività proposti in questa ricerca hanno evidenziato un gruppo di ponti rispetto ai quali sono da ritenersi prioritari eventuali interventi e che mantengono le prime posizioni in classifica in ogni test effettuato.

Il calcolo e la scelta degli indicatori sono frutto di un processo trasparente ed eventualmente modificabile/migliorabile nel corso dell'analisi.

La messa a punto dello strumento di analisi sul foglio di calcolo consente di variare i pesi, aggiungere macroaree e indicatori, modificare il calcolo di indicatori esistenti in modo molto rapido.

Limiti

I dati di traffico utilizzati risultano molto disomogenei, a volte datati 2007. Il risultato ottenuto, ad esempio, relativo al ponte di Bressana Bottarone potrebbe risultare inficiato dal fatto che manca una rilevazione diretta sul ponte, il dato di monitoraggio della Regione Lombardia che risale al 2007 risulta essere prossimo all'abitato di Pavia.

Anche i dati relativi al pendolarismo sono molto vecchi (ISTAT 2001), mentre l'indagine OD Lombardia del 2002 non consente di avere un dettaglio comunale della mobilità oltre il confine regionale lombardo. Anche per questo motivo si è data molta rilevanza al valore del traffico giornaliero ed alla quota dei veicoli pesanti quali elementi principali per valutare l'importanza del ponte.

Per la stima degli impatti relativi all'interruzione totale del traffico su ogni singolo ponte, non avendo a disposizione un modello di simulazione di traffico che fosse in grado di ricalcolare l'equilibrio sulla rete stradale completa, si è ipotizzato di distribuire sui percorsi alternativi il flusso di traffico misurato sul ponte in maniera inversamente proporzionale alla lunghezza dell'alternativa. I limiti di questa semplificazione chiaramente risiedono nell'assenza dei vincoli di capacità della rete stradale che, soprattutto in presenza di rilevanti flussi e di tratti di strada congestionati, potrebbero portare ad una configurazione di equilibrio della rete diversa da quanto ipotizzato.

In particolare, poi, molto più difficile risulta essere la stima della riconfigurazione dei percorsi alternativi nel caso in cui vengano a chiudersi i ponti autostradali ferroviari (strategici per definizione) e con riassegnazioni dei flussi di traffico su percorsi alternativi di lunga/lunghissima distanza.

Esiti

La metodologia adottata consente di visualizzare le classifiche di prioritizzazione degli interventi grazie alla quantificazione degli indicatori ed alla loro pesatura.

Lo strumento di visualizzazione delle classifiche, implementato in MS Excel, consente rapidamente di testare diverse configurazioni dei pesi e quindi differenti scenari di valutazione raccogliendo in un unico file sia i dati di input, che le elaborazioni, che le tabelle ed i grafici di output.

Lo Scenario Base, con i relativi pesi delle macroaree e degli indicatori prescelti, rappresenta il punto di vista del consulente, condiviso con il committente, che meglio dovrebbe rappresentare l'ordine di priorità degli interventi sulla viabilità ordinaria regionale.

L'analisi appare più significativa nel momento in cui si separano le diverse classi infrastrutturali, confrontando i risultati secondo 3 classifiche di priorità:

- i ponti autostradali, strategici per definizione facendo parte della rete stradale nazionale e sovranazionale, la cui gestione e manutenzione è regolata dai rapporti concessionari e le cui condizioni di esercizio risultano buone;
- i ponti ferroviari, anch'essi strategici e di valenza nazionale e con caratteristiche trasportistiche e di organizzazione del servizio molto diverse dal trasporto stradale (la rete ferroviaria ha vincoli di percorso notevolmente diversi rispetto alle reti stradali). In questo caso, le risorse disponibili per la gestione/manutenzione

dell'infrastruttura dovrebbero derivare da RFI assicurandone la buona qualità di esercizio;

- i ponti stradali della rete ordinaria, per i quali l'analisi ha evidenziato diversi livelli di importanza in funzione del traffico attualmente servito, dei bacini di influenza e degli impatti socio-economici sul territorio derivanti da un loro eventuale default. In questo caso, le risorse disponibili deriverebbero dalla Regione Lombardia e da quelle limitrofe, dalle province che hanno in gestione la grande maggioranza di questi e dall'ANAS per i ponti tuttora a suo carico.

I risultati delle analisi di sensitività confermano l'esistenza di 2 gruppi di ponti relativi alla viabilità ordinaria ben connotati:

- gruppo di testa della classifica - i primi 5 ponti dello scenario base Bressana Bottarone, Casalmaggiore, Viadana, Pieve del Cairo e Borgoforte risultano essere anche nelle prime 6 posizioni negli scenari 2 e 3 dell'analisi di sensitività. Nella Sensitività 1, invece, si confermano solo i ponti di Pieve del Cairo, Viadana e Borgoforte;
- gruppo di coda della classifica - Sermide, Ficarolo, Piacenza e Cremona-Castelvetto risultano essere i ponti di secondaria importanza, rimanendo sempre in fondo alle classifiche di sensitività sebbene per motivi differenti. I primi due hanno volumi di traffico molto limitati, mentre per Piacenza e per Cremona Castelvetto i fattori che li rendono meno prioritari risiedono nel fatto che hanno limitazioni al transito dei veicoli pesanti e sono molto vicini alla A1 e alla A21, riducendo quindi gli impatti del detour che potrebbe essere causati dalla loro inagibilità.

L'analisi potrebbe essere resa più sintetica accorpendo, quanto più possibile, alcuni indicatori che presentano delle dipendenze (esempio TGM e pendolarismo). Laddove, individuate queste dipendenze, se ne è ridotto l'effetto moltiplicatore, adottando dei pesi minori per quelli considerati di secondaria importanza (come proprio nel caso del pendolarismo). In questa fase si è ritenuto più utile evidenziare tutti gli indicatori che hanno contribuito alla definizione delle priorità.

DEFINIZIONE DELLE PRIORITA'

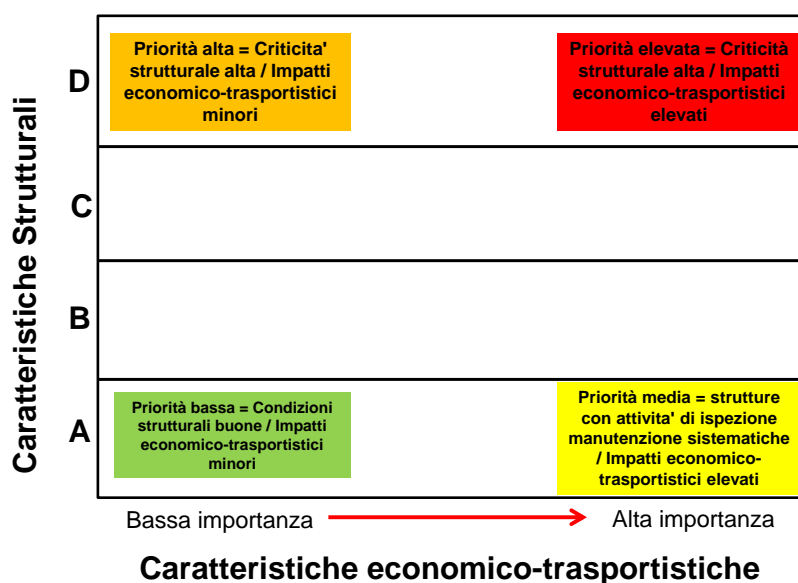
La fase finale della ricerca svoltasi nei primi mesi del 2013 ha visto la messa a fattor comune dei risultati ottenuti dall'analisi trasportistica e degli impatti socioeconomici nel caso di una temporanea inagibilità dei ponti con i risultati dell'analisi in merito allo stato di "salute" infrastrutturale dei singoli manufatti e della loro manutenzione.

Nella impossibilità di rendere congruenti i risultati delle analisi e di riuscire ad assegnare dei pesi comuni per far rientrare l'analisi strutturale nell'analisi multicriteria si è ipotizzato di agire mettendo in un unico piano cartesiano i risultati delle due analisi (cfr. la figura seguente):

- in ascissa si riportano i valori ottenuti dell'analisi multicriteria sugli indicatori trasportistici;
- in ordinata i ponti sono stati suddivisi in 4 classi per descriverne il loro stato infrastrutturale⁵ da D in cui si è rilevata una criticità della struttura alta al riquadro A per le strutture soggette ad solo ad attività di ispezione e manutenzione sistematiche con 2 posizioni intermedie B e C.

Le quattro aree del grafico così come individuate nella figura seguente ci consentono di effettuare la classificazione dei ponti sotto tutti gli aspetti della ricerca.

Figura 2.16 - Classificazione dei ponti



Fonte: Elaborazioni TRT e Politecnico di Milano.

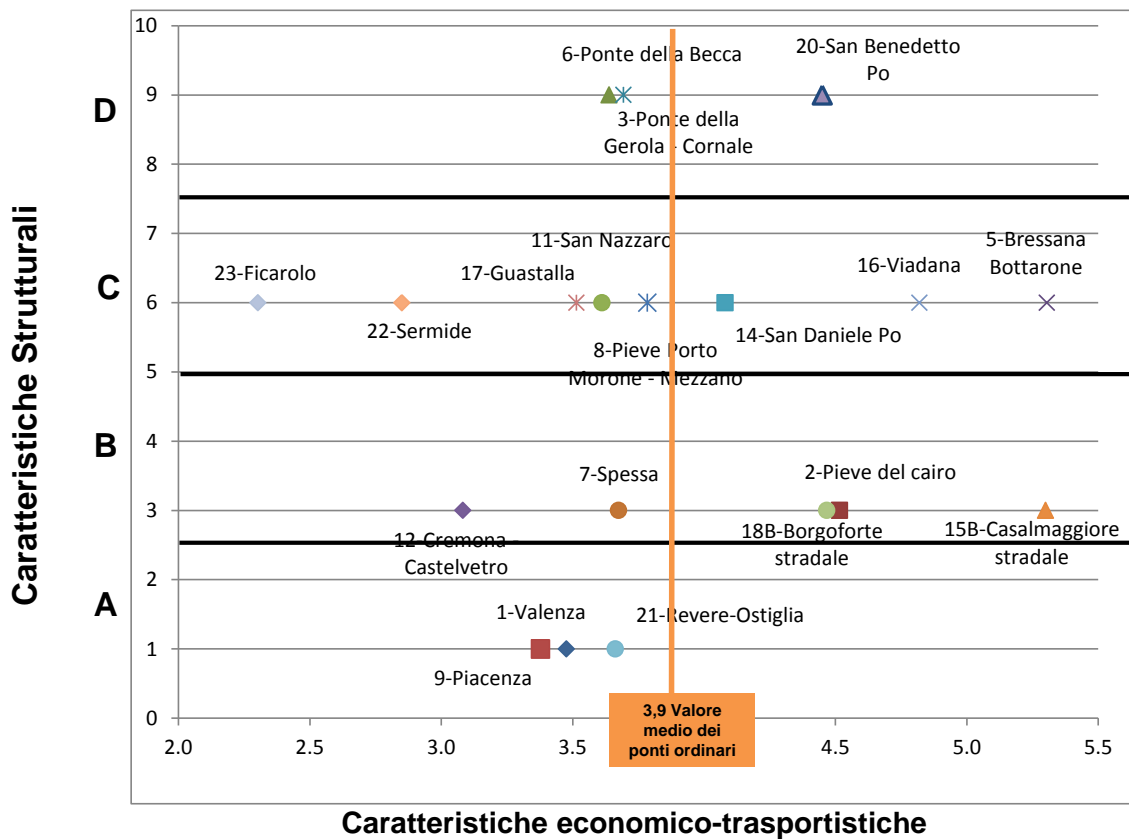
La figura successiva localizza la posizione di ogni singolo ponte della viabilità ordinaria evidenziando in questo modo in alto a destra il gruppo dei ponti su cui effettuare gli adeguati approfondimenti di indagine e sui quali convogliare le risorse disponibili.

⁵ Per un maggiore approfondimento si rimanda al report del Politecnico di Milano relativo all'analisi strutturale dei ponti.

In alto a sinistra abbiamo i ponti un po' meno importanti dal punto di vista trasportistico ma che necessitano di un'attenzione particolare per essere sicuri che possano essere utilizzati in sicurezza.

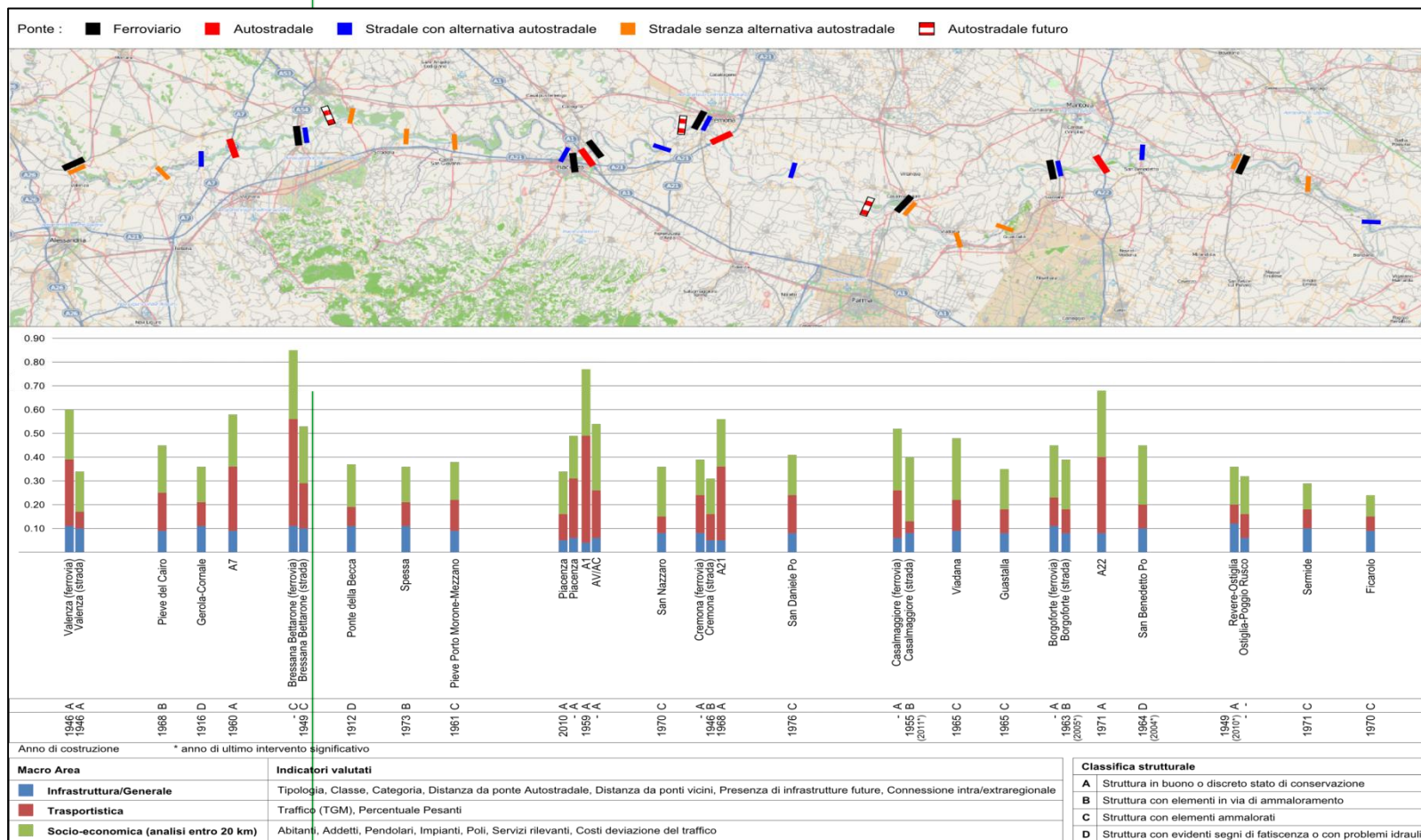
In basso sia a destra che a sinistra, invece, abbiamo i ponti che non necessitano di particolari attenzioni se non di attività di ispezione e manutenzione sistematiche ordinarie.

Figura 2.17 - Classificazione dei ponti - Risultato finale per la viabilità ordinaria



Fonte: Elaborazioni TRT e Politecnico di Milano.

Figura 2.17 - Mappa sintetica con i risultati integrati delle due ricerche



Fonte: Elaborazioni TRT e Politecnico di Milano.

