

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**DIPARTIMENTO INGEGNERIA CIVILE, EDILE AMBIENTALE – ICEA**



**TESI DI LAUREA MAGISTRALE**

**GESTIONE DI PONTI E VIADOTTI NELLA PROVINCIA DI VICENZA:  
INTEGRAZIONE DEL DATABASE E APPROFONDIMENTI  
SUGLI ASPETTI ECONOMICI**

**RELATORE: PROF. ING. CARLO PELLEGRINO**  
**CORRELATORE: ING. MARIANO ANGELO ZANINI**

**LAUREANDO: CASTAGNINO FRANCESCO**  
**MATRICOLA: 1019996**

**ANNO ACCADEMICO 2012-2013**







## Indice

Introduzione .....	1
1 La manutenzione programmata di ponti e viadotti: criteri per la valutazione dell'efficienza in servizio .....	2
1.1 Sviluppo e organizzazione di un moderno sistema di gestione di ponti e viadotti .....	2
1.1.1 Il database .....	3
1.1.2 Ispezioni visive .....	3
1.2 Predisposizione delle schede di valutazione dello stato di condizione .....	4
1.2.1 Indice dello stato di condizione di un elemento (CV) .....	4
1.2.2 Elementi costitutivi di un ponte .....	4
1.2.3 Principali cause di degrado degli elementi di un ponte .....	5
1.2.4 Schede di valutazione.....	6
1.3 Indice di efficienza dell'elemento – Element Sufficiency Rating.....	12
1.3.1 Project Level Bridge Management e Network Level Bridge Management.....	12
1.3.2 Espressione dell'indice di efficienza dell'elemento (ESR).....	15
1.3.3 Livelli di efficienza degli elementi del ponte.....	15
1.4 Indice di efficienza del ponte - Total Sufficiency Rating (TSR) .....	17
1.4.1 Calcolo dell'efficienza della struttura a partire dall'efficienza dei suoi elementi .....	17
1.4.2 Coefficiente di sicurezza nella valutazione dell'efficienza del ponte.....	18
1.4.3 Calcolo del valore finale del Total Sufficiency Rating (TSR).....	18
1.4.4 Significato del Total Sufficiency Rating (TSR).....	19
1.4.5 Livelli di efficienza globale del ponte.....	19
2 Sviluppo e organizzazione generale delle schede per la valutazione tecnico-economica della manutenzione .....	22
2.1 Analisi dettagliata delle singole voci che compongono le schede di valutazione tecnico-economica .....	22
2.1.1 Elementi peculiari dei manufatti in calcestruzzo armato normale e precompresso .....	22
2.1.1.1 Elementi longitudinali .....	22
2.1.1.2 Elementi trasversali .....	24
2.1.2 Elementi peculiari dei manufatti in muratura di pietrame e/o laterizio .....	25
2.1.2.1 Elementi longitudinali .....	25
2.1.2.2 Struttura di collegamento arco-impalcato.....	25
2.1.3 Elementi peculiari dei manufatti in acciaio e in struttura mista acciaio-calcestruzzo .....	25
2.1.3.1 Elementi longitudinali .....	25
2.1.3.2 Elementi trasversali .....	26

2.1.4	Elementi comuni a tutte le tipologie di manufatto .....	26
2.1.4.1	Pile .....	26
2.1.4.2	Soletta .....	27
2.1.4.3	Appoggi .....	27
2.1.4.4	Ritegni antisismici .....	28
2.1.4.5	Spalla .....	28
2.1.4.6	Terrapieno di accesso .....	29
2.1.4.7	Muro di sostegno .....	30
2.1.4.8	Fondazioni di pile e spalle .....	30
2.1.4.9	Impermeabilizzazione.....	31
2.1.4.10	Pavimentazione.....	31
2.1.4.11	Guard-rail.....	31
2.1.4.12	Giunti .....	32
2.1.4.13	Marciapiede .....	33
2.1.4.14	Parapetto .....	34
2.1.4.15	Smaltimento delle acque.....	34
2.1.4.16	Accessori.....	35
3	Applicazione dettagliata della scheda al ponte sul “Torrente Timonchio” presso Marano Vicentino (Vicenza).....	37
3.1	Raccolta di dati e informazioni sul manufatto.....	37
3.2	Valutazione dei singoli elementi e inserimento dei dati.....	37
3.2.1	Dati generali del ponte sul “Torrente Timonchio”.....	38
3.2.2	Analisi degli elementi del ponte.....	42
3.2.2.1	Elementi longitudinali .....	42
3.2.2.2	Pila .....	42
3.2.2.3	Elementi trasversali .....	43
3.2.2.4	Soletta .....	43
3.2.2.5	Apparecchi di appoggio.....	43
3.2.2.6	Dispositivo antisismico.....	43
3.2.2.7	Spalle .....	44
3.2.2.8	Terrapieno di accesso .....	44
3.2.2.9	Muro di sostegno .....	44
3.2.2.10	Fondazione della spalla e della pila .....	44
3.2.2.11	Membrana di impermeabilizzazione.....	46

3.2.2.12	Pavimentazione.....	46
3.2.2.13	Guard-Rail .....	46
3.2.2.14	Giunto .....	47
3.2.2.15	Marciapiede .....	47
3.2.2.16	Parapetto .....	48
3.2.2.17	Smaltimento delle acque.....	48
3.2.2.18	Accessori.....	48
3.3	Calcolo dei valori di TSR e di ESR.....	49
4	Rete stradale oggetto di verifica.....	53
4.1	Localizzazione dei manufatti.....	53
4.2	Scelta dei ponti all'interno della rete stradale in gestione.....	55
4.3	Definizione del database .....	56
4.4	Normativa di riferimento.....	59
4.5	Verifica sismica.....	61
4.5.1	Descrizione e localizzazione del ponte .....	61
4.5.2	Raccolta delle informazioni a disposizione .....	61
4.5.3	Caratteristiche del ponte.....	63
4.5.4	Analisi .....	63
4.5.5	Considerazioni sulle ipotesi semplificative adottate.....	67
4.5.6	Determinazione dell'entità dei costi di intervento .....	67
5	Gestione dei dati sui ponti presenti lungo le direttrici di traffico analizzate ed inserite nel database.....	70
5.1	Sintesi delle vie di traffico ispezionate.....	70
5.2	Trattazione statistica dei dati raccolti .....	76
5.2.1	Suddivisione dei ponti in fasce di urgenza.....	76
6	Analisi dei costi.....	78
6.1	Costo di manutenzione .....	78
6.1.1	Costi di manutenzione - TSR.....	78
6.1.2	Costi di manutenzione – livelli di urgenza di intervento .....	83
6.2	Costo di adeguamento sismico .....	85
6.2.1	Costi di adeguamento sismico - TSR.....	85
6.2.2	Costi di adeguamento sismico – alfa minore .....	86
6.3	Costo totale.....	87
6.3.1	Costi totali – TSR – alfa minore .....	87

6.3.2	Disposizione ponti nella provincia di Vicenza per fasce di costo totale.....	90
7	Altre considerazioni .....	98
7.1	Correlazione alfa minore di un elemento e il relativo ESR .....	98
7.2	Andamento dei costi totali mantenendo la stessa accelerazione ag per uno specifico gruppo di ponti .....	101
7.2.1	Azione sismica .....	101
7.2.2	Analisi della risposta sismica della struttura.....	104
7.2.3	Valutazione capacità a taglio della pila.....	105
7.2.4	Verifica a taglio sisma in direzione longitudinale .....	106
7.2.5	Applicazione della medesima accelerazione ag.....	107
	Conclusioni .....	111
	Bibliografia .....	112
	Ringraziamenti .....	114



*Gestione di ponti e viadotti nella provincia di Vicenza:  
integrazione del database e approfondimenti sugli aspetti economici*

---

*Gestione di ponti e viadotti nella provincia di Vicenza:  
integrazione del database e approfondimenti sugli aspetti economici*

---

## **Introduzione**

Gli investimenti, in termini di capitali e tecnologia sulla rete stradale, sono enormi e sono concentrati particolarmente sulle opere d'arte maggiori, quali ponti e viadotti. Questi sono gli elementi più vulnerabili in termini di deterioramento e i più costosi sia in termini di valore intrinseco sia in termini di mantenimento in esercizio.

La crescente età dei ponti stradali ha prepotentemente posto in evidenza in questi ultimi anni i problemi associati al degrado delle strutture. Le cause principali, oltre alla normale usura o obsolescenza strutturale, sono da ricondursi all'incremento del volume e dei pesi del traffico veicolare, a condizioni ambientali avverse quali l'esposizione a cloruri, cicli di gelo e disgelo, a problematiche inattese conseguenti all'uso di materiali da costruzione non idonei, il cui comportamento di servizio non era perfettamente noto all'epoca della costruzione o alla scelta di soluzioni progettuali non ottimizzate alla durabilità.

In questo contesto, data anche la generale limitata disponibilità di risorse finanziarie, appare evidente l'importanza di un'attenta analisi delle condizioni di deterioramento allo scopo di disporre piani di "manutenzione programmata", termine con il quale si intende il controllo periodico dell'andamento dello stato degli elementi costituenti i manufatti, in modo da identificare tempestivamente quelli che tendenzialmente vanno verso l'ammaloramento, e intervenendo su di essi con lavori di ripristino mirati ad ottenere il massimo beneficio col minimo impegno economico.

Il presente studio si inserisce in un filone di ricerca portato avanti dal Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova per la creazione del Bridge Management Systems (BMS) per i manufatti delle vie di traffico nel Veneto.

Il lavoro consiste nell'utilizzo di schede di valutazione sulla base di ispezioni visive predisposte per ottenere un valore di un parametro globale con il quale le varie opere vengono collocate in fasce di intervento più o meno urgenti. Le schede predisposte contengono tutti i dati tecnico-descrittivi delle modalità di risanamento e specifiche analisi dei prezzi al fine di poter stimare, seppur in modo approssimativo, il costo di intervento di manutenzione su ogni opera ispezionata.

A partire da questi studi si cerca inoltre di indagare se esistono delle correlazioni con gli eventuali interventi di adeguamento sismico e quindi con i coefficienti di sicurezza, che stabiliscono se un ponte appartiene, secondo la normativa, ad un basso o alto livello di rischio.

# **1 La manutenzione programmata di ponti e viadotti: criteri per la valutazione dell'efficienza in servizio**

## **1.1 Sviluppo e organizzazione di un moderno sistema di gestione di ponti e viadotti**

I possibili campi di indagine da affrontare per la gestione di un insieme di ponti sono molteplici, ciascuno dei quali può essere organizzato in un singolo modulo.

L'architettura di un BMS (Bridge Management System) può, allora, comprendere:

- Il database;
- Il sistema delle ispezioni;
- La valutazione delle condizioni;
- La valutazione della capacità portante;
- Il sistema di previsione delle condizioni future della struttura;
- Il sistema di valutazione dei costi;
- Il sistema di programma degli interventi di manutenzione.

Ciascun modulo può contenere varie informazioni utili; nel caso del database, ad esempio, accanto alle informazioni essenziali derivanti da una procedura di rapida ispezione visiva possono essere riportati i dati scaturiti da analisi più approfondite o provenienti da archivi cartacei dell'ente amministratore dell'opera.

A partire dalle esperienze di BMS sviluppati in alcune nazioni europee e negli Stati Uniti, si è cercato di calibrare i vari modelli studiati alla realtà del Nord Italia mantenendo le caratteristiche di immediatezza e rapidità di applicazione senza, per questo, scadere di scientificità.

Dopo la raccolta delle informazioni necessarie per compilare un semplice database dei manufatti, basato essenzialmente su dati raccolti direttamente sul luogo, mediante fotografie, rilevamenti e osservazioni ci si è soffermati allo studio di una metodologia di valutazione delle condizioni dei singoli componenti del ponte e della stessa opera all'interno della rete viaria in cui è inserita.

Le indicazioni che si ricavano dall'applicazione dello studio costituiscono pertanto un primo livello di indagine per un BMS, utile per l'avvio di una programmazione della manutenzione delle opere in questione.

Nell'assicurare la migliore strategia di gestione delle opere appartenenti ad una rete di comunicazione, il sistema agisce contemporaneamente su due livelli: il *Project Level Bridge Management* ed il *Network Level Bridge Management*.

Il *Project Level* considera la gestione di ogni singolo manufatto isolando dal contesto viario in cui è inserito. Il processo decisionale è basato esclusivamente sullo stato di manutenzione del ponte e sulla sua capacità portante. L'obiettivo è assicurare che la struttura sia sicura ed efficiente dal punto di vista della funzionalità.

Il *Network Level*, maggiormente legato a considerazioni di tipo politico ed economico, coinvolge tutta la serie di opere amministrative. Permette di stabilire una priorità di intervento che tenga conto sia delle condizioni dei ponti sia della loro importanza all'interno della rete.

### **1.1.1 Il database**

Il database (o Bridge Inventory) costituisce il punto di partenza di qualsiasi sistema per la gestione di ponti e viadotti. L'inventario di un insieme di opere nasce dalla trattazione di dati raccolti attraverso procedure di tipo ispettivo o dall'utilizzo di informazioni esistenti e riportate in altri sistemi di gestione del manufatto. La raccolta dati è stata possibile mediante osservazioni visive approfondite e con l'ausilio di semplici mezzi di rilevamento quali fotografie, cordelle metriche, sistemi di localizzazione geografica su supporto cartaceo e su personal computer.

Le informazioni così ricavate riguardano due diversi aspetti del manufatto:

1. Dati identificativi e di posizione geografica;
2. Dati sullo stato di manutenzione.

Nella prima categoria di informazioni rientra tutto ciò che classifica la singola opera e la direttrice a cui appartiene, ad esempio: località, anno di costruzione, dati relativi allo schema statico e alle luci delle campate, tipologia della strada in base al volume di traffico.

I dati sullo stato di manutenzione dell'opera, ricavati da ispezioni visive dirette e con l'ausilio di fotografie scattate con una macchina digitale, costituiscono una delle parti principali della ricerca nello sviluppo di un giudizio finale dello stato di efficienza globale del manufatto rappresentato dall'indice riassuntivo TSR (Total Sufficiency Rating).

### **1.1.2 Ispezioni visive**

Il sistema di ispezioni adottato nello sviluppo della metodologia è quello del rilevamento visivo, prescritto come sistema ispettivo principale dagli standard e dalle normative di tutti i più sviluppati stati del mondo, compresa l'Italia.

Nel tentativo di eliminare la possibile soggettività della valutazione si è sviluppata una serie di definizioni che consentono di giungere ad una valutazione, quanto più possibile univoca, dello stato di condizione di ciascun elemento della struttura. Ad ogni gruppo di difetti dell'elemento corrisponde una condizione, sintetizzata dal valore assunto dall'indice di condizione proposto, Condition Value (CV), variabile tra 1 e 5 (5 classi di condizione). Le schede predisposte consentono al tecnico di giungere ad una valutazione rapida e il più possibile precisa della condizione dei singoli elementi del ponte.

## 1.2 Predisposizione delle schede di valutazione dello stato di condizione

La condizione di manutenzione di una struttura è strettamente legata allo stato di deterioramento dei singoli elementi che fisicamente lo costituiscono.

Come nella maggior parte dei paesi del mondo, si è scelto di esprimere la condizione funzionale di ogni elemento attraverso un indice. In genere variabile da 3 a 5 valori (o anche più) definisce lo stato di deterioramento del componente.

In accordo con le esperienze di Regno Unito, Stati Uniti d'America e di molti altri paesi, e tenendo presente il contesto della ricerca, si sono definiti 5 diversi livelli.

### 1.2.1 Indice dello stato di condizione di un elemento (CV)

Per ciascun elemento del ponte l'indice di condizione indica 5 possibili livelli di deterioramento.

Nel caso non sia possibile esprimere una valutazione, il Condition Value assume il valore zero: CV=0.

Si riportano nella seguente tabella, le classi di difetti e i conseguenti livelli dell'indice CV.

Indice CV - Condition Value	
Nessun giudizio formulato	0
Nessun difetto significativo	1
Difetti minori che non portano danni	2
Difetti moderati che potrebbero causare danni	3
Difetti severi che causano danni	4
Elemento non funzionale o non esistente	5

Tabella 1.1 – Espressione dello stato di condizione

### 1.2.2 Elementi costitutivi di un ponte

Si è scelto di suddividere la struttura da ponte nei suoi componenti fondamentali seguendo le più importanti linee guida mondiali.

La distinzione è tra:

- elementi strutturali, legati alla capacità portante del ponte e quindi alla sicurezza in ambito strutturale;
- elementi non strutturali, i quali non contribuiscono alla resistenza del ponte ma sono importanti dal punto di vista funzionale, per la sicurezza e per la durabilità dell'opera.

A ciascun elemento da sottoporre a giudizio è stato assegnato un diverso peso variabile da 10 (massima importanza) a 5 (minima importanza) che contribuisce al calcolo dell'efficienza globale.

### **1.2.3 Principali cause di degrado degli elementi di un ponte**

Per classificare in ordine di importanza i difetti riscontrabili negli elementi è necessario conoscere le origini del degrado andando a ricercare la possibile o le possibili cause. Si attribuisce pertanto, al tipo di difetto, un valore di gravità procedendo alla stesura di schede per la valutazione delle condizioni degli elementi (tramite il Condition Value).

I materiali degli elementi presentano comportamenti diversi nei confronti dell'ambiente, della messa in opera e delle azioni ai quali sono sottoposti nel corso della vita di progetto.

Nell'analisi dei difetti sono considerati:

- La muratura (di laterizio o pietrame);
- L'acciaio;
- Il conglomerato cementizio;
- Il legno.

Il deterioramento può essere provocato da varie cause, avere diversa gravità per la capacità portante della struttura e presentarsi con o senza segnali visibili. Può manifestarsi con rotture di parti della struttura che ne modificano la geometria, vistose deformazioni e fessurazioni nelle sezioni maggiormente sollecitate. Per contro, reazioni alcali-silice e fenomeni di corrosione delle armature del calcestruzzo possono essere in atto anche senza evidenti manifestazioni, diventando visibili solo quando raggiungono uno stato avanzato che potrebbe aver già compromesso l'affidabilità della struttura.

Si riporta nella seguente tabella, le possibili cause del processo di degrado dei componenti di un ponte che sono state oggetto di studio.

<b>Degrado di un ponte</b>
Dipendente dai materiali costituenti
Dipendente dai carichi applicati
Dipendente da errori progettuali
Dipendente da difetti di costruzione
Dipendente da scarsità di manutenzione
Dipendente dal tipo di elemento

Tabella 1.2 – Principali fattori di degrado di un ponte

#### 1.2.4 Schede di valutazione

Lo studio e le rielaborazioni delle informazioni relative ai difetti riscontrabili sugli elementi di un ponte e alle loro cause, ha permesso la compilazione di schede guida per la valutazione di ciascun elemento, attraverso il valore dell'indice di condizione Condition Value (CV).

I manufatti sono stati divisi in 4 categorie, rispetto al materiale della sovrastruttura:

- A. Muratura in laterizio e/o pietrame;
- B. Acciaio o struttura mista acciaio-calcestruzzo;
- C. C.a - c.a.p ;
- D. Legno.

Per ogni categoria si è raccolto un fascicolo di schede, relative alle componenti dell'opera, contrassegnate da una lettera da A a D (che richiama il materiale della sovrastruttura) e da un numero (secondo l'ordine di importanza dell'elemento).

A) Materiale della sovrastruttura: Muratura in laterizio e/o pietrame	
A1	Arco/Volta
A2	Pila
A3	Soletta
A4	Dispositivo antisismico
A5	Spalla
A6	Terrapieno di accesso
A7	Muro di sostegno
A8	Fondazioni della spalla
A9	Fondazioni della pila
A10	Strutture di collegamento impalcato - arco
A11	Membrana di impermeabilizzazione
A12	Pavimentazione
A13	Guard - rail
A14	Giunto
A15	Marciapiede
A16	Parapetto
A17	Smaltimento delle acque
A18	Accessori

Tabella 1.3 – Scheda per la definizione del CONDITION VALUE nel caso di muratura di laterizio e/o pietrame



Materiale della sovrastruttura: Acciaio o struttura mista acciaio - calcestruzzo	
B1	Elementi longitudinali
B2	Pila
B3	Elementi trasversali
B4	Soletta
B5	Apparecchio di appoggio
B6	Dispositivo antisismico
B7	Spalla
B8	Terrapieno di accesso
B9	Muro di sostegno
B10	Fondazioni della spalla
B11	Fondazioni della pila
B12	Membrana di impermeabilizzazione
B13	Pavimentazione
B14	Guard-rail
B15	Giunto
B16	Marciapiede
B17	Parapetto
B18	Smaltimento delle acque
B19	Accessori

Tabella 1.4 – Scheda per la definizione del CONDITION VALUE nel caso di acciaio o struttura mista acciaio-calcestruzzo.

Materiale della sovrastruttura: Ca - Cap	
C1	Elementi longitudinali
C2	Pila
C3	Elementi trasversali
C4	Soletta
C5	Apparecchio di appoggio
C6	Dispositivo antisismico
C7	Spalla
C8	Terrapieno di accesso
C9	Muro di sostegno
C10	Fondazioni della spalla
C11	Fondazioni della pila
C12	Membrana di impermeabilizzazione
C13	Pavimentazione
C14	Guard-rail
C15	Giunto
C16	Marciapiede
C17	Parapetto
C18	Smaltimento delle acque
C19	Accessori

Tabella 1.5 – Scheda per la definizione del CONDITION VALUE nel caso di sovrastruttura in ca o cap.

Materiale della sovrastruttura: Legno	
D1	Elementi longitudinali
D2	Pila
D3	Elementi trasversali
D4	Soletta
D5	Apparecchio di appoggio
D6	Dispositivo antisismico
D7	Spalla
D8	Terrapieno di accesso
D9	Muro di sostegno
D10	Fondazioni della spalla
D11	Fondazioni della pila
D12	Membrana di impermeabilizzazione
D13	Pavimentazione
D14	Guard-rail
D15	Giunto
D16	Marciapiede
D17	Parapetto
D18	Smaltimento delle acque
D19	Accessori

Tabella 1.6 – Scheda per la definizione del CONDITION VALUE nel caso di sovrastruttura in legno.

Ogni scheda presenta la stessa struttura, divisa in due blocchi (blocco di descrizione dell'elemento, blocco di definizione della condizione dell'elemento – CV).

Il primo blocco è diviso in 4 colonne:

1. *Elemento*: nome di identificazione dell'elemento considerato nella scheda di valutazione;
2. *Descrizione*: tratta l'elemento descrivendone la funzione;
3. *Tipologie*: sono segnalate le tipologie che si possono presentare durante le ispezioni. Vengono indicate da sotto-numerazioni rispetto la sigla dell'elemento, ad esempio: l'elemento A3) soletta può presentarsi come A3.1) Realizzata in opera o A3.2) Prefabbricata;
4. *Materiale*: si indicano i materiali di realizzazione. Questa voce è molto importante in quanto i difetti riscontrabili variano a seconda del materiale, richiedendo la costruzione di più tabelle per uno stesso elemento, all'interno del blocco di definizione della condizione.

Nella costruzione del blocco di descrizione, ci si è riferiti al glossario proposto dal BRIME (D14-Appendix III) basato su "Handbook for Bridge Inventory" prodotto dal Norwegian Public Roads Administration.

ELEMENTO	DESCRIZIONE	TIPOLOGIE	MATERIALE
Soletta	E' elemento...	A3.1) Realizzata...	Ca-Cap
		A3.2) Prefabbricata...	Ca-Cap

Tabella 1.7 a)

Il secondo blocco (con una o più tabelle) permette di definire l'indice CONDITION VALUE per l'elemento; presenta 5 colonne:

1. *Tipologia/Materiale*: indica a quale tipologia e/o materiale si riferisce il blocco di definizione. L'utilizzatore seguirà la tabella che reca nella prima colonna la tipologia e il materiale dell'elemento oggetto della valutazione;
2. *Descrizione*: elenca i 6 livelli di CV (0,1,2,3,4,5);
3. *Aspetti visivi*: classifica i difetti riscontrabili nell'elemento secondo le 5 classi di CV (escluso il livello CV=0 di *Nessun giudizio*, che non contiene alcun aspetto visivo);
4. *Possibili cause*: descrive le possibili cause dei difetti elencati nella colonna precedente. Ciascun difetto è posto in corrispondenza biunivoca con le sue possibili cause (sulla stessa riga).

In molte condizioni, non è semplice individuare precisamente la causa che origina un difetto, spesso originato dalla combinazione di più fenomeni. In altre situazioni questo risulta possibile, altre volte ancora il contenuto di questa quarta colonna vuole essere solo un'indicazione dei probabili fattori scatenanti. E' comunque utile conoscere la possibile causa per poter assegnare un livello di gravità al difetto riscontrato e per guidare un'eventuale analisi più approfondita delle condizioni dell'elemento, utilizzando test non distruttivi.

5. *CV*: indice di condizione dell'elemento. Può assumere i valori 0,1,2,3,4,5. Si ricava a partire dal difetto, o dai difetti, osservati sul singolo elemento.

<b>TIPOLOGIA/ MATERIALE</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>ASPETTI VISIVI</b>	<b>POSSIBILI CAUSE</b>	<b>CV</b>
A3.1),A3.2)/ Ca-Cap	Nessun giudizio formulato			
	Nessun difetto significativo			
	Difetti minori che non portano danni			
	Difetti moderati che potrebbero causare danni			
	Difetti severi che causano danni			
	Elemento non funzionale o non esistente			

Tabella 1.7 b)

### 1.3 Indice di efficienza dell'elemento – Element Sufficiency Rating

La valutazione della condizione degli elementi attraverso il Condition Value non è sufficiente per poter stabilire le priorità di intervento sulla struttura e tanto meno permette di decidere una precisa programmazione della manutenzione su tutte le opere appartenenti ad un tronco di viabilità. Queste due esigenze si riferiscono ai due livelli di gestione, già indicati precedentemente, dei ponti all'interno della rete stradale: il *Project Level Bridge Management* ed il *Network Level Bridge Management*.

#### 1.3.1 Project Level Bridge Management e Network Level Bridge Management

Nello sviluppo della metodologia si è scelto di legare i due livelli di gestione delle strutture da ponte. L'espressione finale dell'efficienza di un elemento della struttura, Element Sufficiency Rating (ESR), permette di trattare il problema della gestione della manutenzione sia per quanto riguarda il *Project Level* sia per quanto riguarda il *Network Level*.

Per affrontare entrambi questi livelli, l'indice è stato calcolato partendo da tre considerazioni:

- Il punto di inizio per esprimere l'efficienza di un elemento è il valore del CV;
- Sia a livello di singolo manufatto (Project) sia a livello di insieme di strutture (Network) gli elementi non hanno la stessa importanza: è necessario attribuire un fattore di importanza maggiore al mantenimento in servizio di un componente strutturale (ad esempio la pila) rispetto ad uno accessorio (ad esempio il marciapiede);
- A livello gestione di rete (Network), è necessario esprimere l'importanza della struttura a cui appartiene l'elemento rispetto alle altre che compongono lo stock oggetto della gestione. Lo stesso elemento (es. soletta) avrà una priorità diversa di intervento nel considerare un ponte autostradale nei confronti di un ponte posto in una strada comunale secondaria.

Hanno perciò influenzato il calcolo dell'ESR:

- La condizione dell'elemento, attraverso un fattore legato al CV convertito nell'indice **Condition Factor [CF]**, secondo la tabella che segue:

<b>CV</b>	0	1	2	3	4	5
<b>CF</b>	0	10	7	4	2	1

Tabella 1.8 – Conversione dell'indice CV a Condition Factor (CF)

- L'importanza dell'elemento all'interno del ponte, **Location Factor [LF]**, secondo la tabella che segue:

<b>ELEMENTI STRUTTURALI</b>	<b>LF</b>	<b>W</b>
Elementi principali (Travi longitudinali, cassoni, solettoni, archi,...) Pile	5	10
Elementi trasversali Soletta Apparecchi di appoggio Dispositivi antisismici	6	9
Spalle Terrapieno di accesso Muri di sostegno	7	8
Fondazioni delle spalle Fondazioni delle pile	8	7
<b>ELEMENTI NON STRUTTURALI</b>	<b>LF</b>	<b>W</b>
Strutture di collegamento impalcato - arco (archi di muratura) Membrana di impermeabilizzazione Pavimentazione Guard-rail Giunti	9	6
Marciapiedi Parapetti Smaltimento delle acque Accessori	10	5

Tabella 1.9 – Peso e Location Factor dei componenti

- Il tipo di strada di cui fa parte il ponte, **Road Type [RT]**, secondo la tabella che segue:

<b>Tipo di strada</b>	<b>RT</b>
Autostrada	0.8
Strada Statale (SS)	0.9
Strada Provinciale (SP)	0.95
Strada Comunale (SC)	1

Tabella 1.10 – Coefficienti Road Type

- Il traffico sul ponte, **Traffic Index [TI]**, misurato in traffico al giorno medio annuo (ADTV: Average Daily Traffic Volum):

Traffico	ADTV	TI
Elevato	>20000 vpd	0.9
Medio	6000-20000 vpd	0.95
Basso	<6000 vpd	1

Tabella 1.11 – Coefficienti Traffic Index

- L'importanza del ponte all'interno della rete viaria, **Network Bridge Importance [NBI]**. La struttura da ponte assume una diversa importanza strategica all'interno della viabilità a seconda che esista una strada alternativa adeguata o meno, nel caso il ponte non sia transitabile dall'utenza. La non adeguatezza al traffico si traduce in un disagio in termini di tempo perso a causa della deviazione, non facilmente quantificabile e legato a molti fattori; i più significativi sono il tipo di strada su cui la circolazione è deviata e la lunghezza della deviazione. Il parametro proposto, Network Bridge Importance (NBI), cerca pertanto di legare l'importanza della struttura al disagio per la sua chiusura: questi è tanto maggiore quanto è lunga la deviazione della strada che si stava percorrendo e quanto più la via alternativa percorribile è inadeguata al flusso veicolare.

I valori del fattore NBI sono riportati nella seguente tabella:

Situazioni che si presentano	NBI
Situazione 1: deviazione lunga su strada alternativa non adeguata	0.96
Situazione 2: deviazione breve su strada alternativa non adeguata deviazione lunga su strada alternativa adeguata	0.98
Situazione 3: deviazione breve su strada alternativa adeguata	1

Tabella 1.12 – Coefficienti Network Bridge Importance

- L'età del ponte, Age Factor [AF], secondo la tabella che segue:

Anno di costruzione	AF
Prima del 1900	0.97
1900-1945	0.98
1946-1970	0.99
1971-2013	1

Tabella 1.13 – Coefficienti Age Factor



### 1.3.2 Espressione dell'indice di efficienza dell'elemento (ESR)

La formula di calcolo dell'Element Sufficiency Rating (ESR) è la seguente:

$$ESR = CF \times LF \times (RF \times NBI \times AF)$$

con:

CF: Condition Factor;

LF: Location Factor;

RF: Road Factor;

NBI: Network Bridge Importance;

AF: Age Factor.

Tra parentesi sono indicati i termini che concorrono al fattore penalizzazione dell'ESR.

L'indice permette:

- Di definire il grado di efficienza in servizio dei componenti del ponte;
- Di stabilire un piano di priorità di intervento a livello della singola struttura (Project Level);
- Di stabilire un piano di priorità di intervento a livello dell'intera rete viaria (Network Level).

### 1.3.3 Livelli di efficienza degli elementi del ponte

Si sono stabiliti 4 livelli di efficienza (in ordine crescente), inversamente legati a 4 livelli di urgenza di intervento (in ordine decrescente):

Livello di efficienza	Livello di urgenza di intervento	ESR
1	Massima urgenza di intervento	1-10
2	Intervento a breve termine	11-20
3	Intervento a medio termine	21-30
4	Intervento a lungo termine	31-100

Tabella 1.14 – Livelli di efficienza e livelli di urgenza di intervento degli elementi del ponte

Considerando il singolo ponte, isolato dallo stock di opere oggetto della gestione, i livelli di efficienza e di priorità di intervento stabiliti forniscono una possibile indicazione sul piano di manutenzione della struttura.

Gli elementi possono essere classificati in ordine di efficienza crescente a partire dal valore più basso di ESR. Secondo questa gerarchia, seguendo le indicazioni della tabella sopra riportata, si ottiene il piano di intervento possibile. Gli elementi con  $ESR = 0$  non sono stati valutati; non è possibile quindi esprimere il loro grado di efficienza. Il valore nullo suggerisce di predisporre ispezioni più approfondite per poter indicarne lo stato di condizione.

## 1.4 Indice di efficienza del ponte - Total Sufficiency Rating (TSR)

### 1.4.1 Calcolo dell'efficienza della struttura a partire dall'efficienza dei suoi elementi

A livello di rete (Network Level) si pone il problema di fornire un unico indice per ogni struttura che permetta all'ente gestore di avere una panoramica sullo stato di efficienza complessivo delle opere.

L'indice di efficienza totale dipende:

1. Dallo stato di condizione degli elementi;
2. Dall'importanza dei componenti;
3. Dai fattori che caratterizzano la struttura (rispetto alla localizzazione e l'età).

Per ogni elemento questi 3 legami sono contenuti nell'ESR.

Anziché esprimere il TSR come media degli ESR, in accordo con le metodologie dei più importanti paesi del mondo, si è preferito calcolare il TSR come media pesata delle condizioni dei componenti (punti 1. e 2.), tenendo conto dei fattori che caratterizzano la struttura (punto 3.):

$$TSR_{reale} = \left( \frac{\sum_{i=1}^t CF_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^t W_i} \right) \cdot PF \cdot 10$$

dove:

$CF_i$ : Condition Factor degli elementi;

$W_i$ : pesi degli elementi valutati;

PF: Penalty Factor ottenuto da (RFxNBIAF);

t: elementi valutati sugli n elementi presenti;

10: fattore che permette di passare all'espressione di TSR con valore massimo 10 a quella con valore massimo 100;

$TSR_{reale}$ : indice di efficienza totale riferito agli elementi valutati. Il valore finale di TSR è calcolato a partire da questo considerando però anche gli elementi non sottoposti a valutazione.

#### **1.4.2 Coefficiente di sicurezza nella valutazione dell'efficienza del ponte**

Il TSR finale non è quello calcolato solamente sulla base degli elementi valutati; è necessario tenere in considerazione il numero e il tipo di componenti non sottoposti a valutazione.

Il fattore di sicurezza che si considera nella metodologia sviluppata prende il nome di CONFIDANCE FACTOR (CoF) e introduce i pesi  $W$  dei componenti. Assume l'espressione:

$$CoF = 100 \times \left( \frac{\sum_{i=1}^t W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \right)$$

La sicurezza della valutazione del  $TSR_{reale}$  è massima con  $CoF = 100$ , quindi quando tutti gli elementi sono valutati (obiettivo di una campagna ispettiva) e non deve mai scendere al di sotto di un certo valore prefissato.

Da un'indagine effettuata su circa 100 ponti è stato posto 70 il valore massimo di CoF per reputare affidabile il giudizio sull'opera; per  $CoF < 70$ , la valutazione non è accettabile ed è perciò da scartare.

Per fornire all'ente gestore un unico valore che permetta di cogliere la situazione del ponte, si è cercato di conglobare la sicurezza del giudizio nell'indice di efficienza totale TSR, strettamente legato a  $TSR_{reale}$ .

#### **1.4.3 Calcolo del valore finale del Total Sufficiency Rating (TSR)**

Il metodo per tenere in conto il CoF all'interno del TSR è basato sulle seguenti considerazioni:

- Il CoF non deve essere inferiore ad un certo valore, pena l'inficiarsi della valutazione;
- Poiché la sicurezza del giudizio espresso tramite il  $TSR_{reale}$  è assicurata (vale il punto  $CoF > 70$ ), il TSR finale non deve discostarsi molto da  $TSR_{reale}$  (deve esserci una penalizzazione del  $TSR_{reale}$  che non alteri troppo la valutazione basata sugli elementi giudicati).

Il criterio ritenuto più soddisfacente è stato quello di riferirsi ad una media pesata tra la situazione reale (espressa da  $TSR_{reale}$ ) e la situazione peggiore che può verificarsi (espressa da  $TSR_{minimo}$ ).

Ragionando a favore della sicurezza, la situazione peggiore è quella che presenta CV=5 per tutti gli elementi non valutati, tranne che per le fondazioni, per cui lo scenario peggiore possibile è quello per CV=3. Le fondazioni, infatti, difficilmente valutabili con ispezioni visive per CV=1,2,3, non possono essere nella condizione di CV=4 o 5: questi due livelli di danno sono stati associati nelle schede di valutazione ad aspetti visivi facilmente rilevabili quali *rottture, inclinazioni e cambiamenti di geometria* (CV=4) e *rottture diffuse e crolli importanti* (CV=5).

Attribuendo i valori suddetti per gli elementi non valutati, si calcola  $TSR_{minimo}$ .

I pesi utilizzati nel calcolo di TSR sono imposti da considerazioni riguardanti il grado di “realità” nei due coefficienti  $TSR_{reale}$   $TSR_{minimo}$ :

- Poiché tutti gli elementi che concorrono alla media pesata che calcola  $TSR_{reale}$  sono frutto di valutazione reale, il peso di  $TSR_{reale}$  è 100;
- Poiché solo alcuni (t) degli n elementi che compongono la struttura sono stati oggetto di valutazione reale nel calcolo di  $TSR_{minimo}$ , il peso di  $TSR_{minimo}$  è CoF, tenendo anche conto dell’importanza relativa degli elementi.

L’espressione finale di TSR è:

$$TSR = \left( \frac{TSR_{reale} \times 100 + TSR_{minimo} \times CoF}{100 + CoF} \right)$$

In questo modo il valore TSR è più vicino a quello di  $TSR_{reale}$  rispetto alla situazione peggiore possibile espressa da  $TSR_{minimo}$ .

L’adozione di un CoF minimo di 70 si giustifica dalla considerazione che la valutazione sull’efficienza del ponte data da  $TSR_{reale}$  e quella data da  $TSR_{minimo}$  non devono essere troppo distanti fra loro.

#### 1.4.4 Significato del Total Sufficiency Rating (TSR)

L’efficienza in servizio della struttura da ponte proposta da TSR prescinde dai concetti di valutazione del livello di sicurezza attraverso calcoli di affidabilità strutturale.

È comunque collegato alla probabilità della struttura di essere sicura. Il suo calcolo infatti è basato sulle valutazioni della condizione degli elementi (con il CV), le quali tengono conto del tipo di danno, della sua estensione e dei suoi effetti a livello strutturale e funzionale.

A rigor di logica, per assicurare la sicurezza per gli utenti, un BMS dovrebbe prevedere la determinazione della capacità portante per ogni struttura dell’insieme.

#### 1.4.5 Livelli di efficienza globale del ponte

A livello di gestione dell’insieme delle strutture (*Network Level*) è possibile stabilire 4 livelli di efficienza e di urgenza di intervento sulla struttura (TSR), seguendo quanto fatto per i livelli di ESR.

Si riportino i livelli stabiliti e di seguito i ragionamenti che hanno portato alla loro individuazione:

<b>Livello di efficienza</b>	<b>Livello di urgenza di intervento</b>	<b>TSR</b>
1	Massima urgenza di intervento	1-30
2	Intervento a breve termine	31-40
3	Intervento a medio termine	41-60
4	Intervento a lungo termine	61-100

Tabella 1.15 – Livelli di efficienza e livelli di urgenza di intervento per le strutture da ponte

La taratura delle fasce di efficienza è stata possibile grazie all'analisi di più di 100 opere situate lungo le direttrici di traffico analizzate. I risultati ottenuti, disponibili al capitolo 7, permettono di affermare:

1. La fascia di massima urgenza di intervento contiene i ponti che presentano deficienze degli elementi strutturali diffuse (CV = 4 o 5) unitamente a deficienze importanti di molti elementi accessori.
2. La fascia di urgenza di intervento a breve termine contiene ponti che presentano deficienze strutturali diffuse accanto ad efficienza ridotta di alcuni elementi accessori oppure deficienze di molti elementi accessori unitamente a problemi per alcuni componenti strutturali.
3. La fascia di urgenza di intervento a medio termine è la più delicata. Contiene in genere molti ponti che possono presentarsi in buono stato strutturale, ma che possiedono lacune riguardanti elementi accessori. Il colore giallo associato alla fascia dà una prima chiara indicazione del fatto che sul ponte in esame deve essere previsto qualche intervento. Il valore di TSR precisa se si tratta di interventi diffusi o no, nella qualità e nella quantità (valori di TSR vicini a 41 sono indicatori di una situazione peggiore rispetto a valori prossimi a 60).
4. La fascia di urgenza di intervento a lungo termine presenta strutture con una situazione di buona efficienza sia sotto il profilo strutturale che sotto il profilo dei componenti accessori. La priorità degli interventi è lasciata alle opere delle precedenti 3 fasce, limitandosi a predisporre per questi ponti piani di ispezione. Analizzando nello specifico i componenti, il numero molto limitato degli elementi che presentano qualche problema giustifica il colore verde del livello. Naturalmente lungo termine non significa abbandonare il controllo della struttura: un monitoraggio periodico assicura di non ritrovare il ponte in uno stato di pessima efficienza in esercizio.

Le quattro fasce stabiliscono un piano di priorità di intervento utile per l'ente gestore.

Nello scenario di scelta delle opere su cui indirizzare l'intervento, l'amministratore preferirà rivolgere le sue risorse alle strutture che risultano nella fascia della massima urgenza di intervento, poi a quelle nella fascia di urgenza di intervento a breve termine e così via.

Per ciascun ponte gli interventi da effettuare saranno suggeriti sulla base delle indicazioni date dagli ESR dei componenti.

Affiancando l'analisi degli ESR degli elementi e dei TSR dei manufatti posti lungo una direttrice di traffico con valutazione di tipo economico si può ottenere un piano di manutenzione che considera anche la possibile distribuzione del budget iniziale di investimento.

## **2 Sviluppo e organizzazione generale delle schede per la valutazione tecnico-economica della manutenzione**

### **2.1 Analisi dettagliata delle singole voci che compongono le schede di valutazione tecnico-economica**

Vengono qui analizzate le varie voci che compongono le schede tecnico-economiche compilate partendo da quelle per la valutazione del degrado già presenti nei precedenti lavori, inserendo per ogni CV e per ogni elemento i possibili interventi e il costo di ripristino per unità di misura.

Sono state redatte schede per ogni tipo di manufatto analizzato (in ca-cap, in muratura di pietrame e/o laterizio e in acciaio o struttura mista acciaio-clc), comprensive di tutti gli elementi che lo compongono (elementi longitudinali, soletta, pila, giunti..) che, a loro volta, possono essere di varie tipologie: gli interventi presuppongono, quindi, costi di manutenzione diversificati.

Sono presentate tutte le voci esaminate, chiarendo i vari aspetti affrontati durante la compilazione: la scelta delle diverse tipologie di elemento, le misure, i costi acquisiti da prezzari regionali o capitolati di progetti realizzati, i tipi di lavorazioni e il loro rapporto con i CV associati.

La presentazione prende inizio dagli elementi specifici delle tre diverse tipologie di ponte considerate, per poi continuare con quelli che sono comuni a tutte e che vengono, quindi, esposti insieme.

#### **2.1.1 Elementi peculiari dei manufatti in calcestruzzo armato normale e precompresso**

##### **2.1.1.1 Elementi longitudinali**

Si sono considerate 7 diverse tipologie:

- Travata in calcestruzzo armato (A1);
- Travata in calcestruzzo armato precompresso (A2);
- Cassone semplice (B1);
- Cassone multicellulare (B2);
- Solettone (C1);
- Arco a muro aperto (D1);
- Arco a muro chiuso (D2).



La quantificazione tecnico-economica delle lavorazioni necessarie inizia dalla condizione con CV=2 e termina con CV=5 che rappresenta soltanto un possibile ordine di grandezza del costo potenziale per la riparazione, anche per il fatto che non si tratta più di manutenzione bensì di un vero e proprio consolidamento strutturale, il quale necessita di opportuni calcoli ingegneristici.

Tutti gli interventi di manutenzione proposti per questa voce si possono riassumere in 4 punti generali ripetuti a seconda del CV con modalità diverse:

1. Pulizia del calcestruzzo ammalorato, che va da quella superficiale per un CV=2 fino all'idrodemolizione per CV=4;
2. Ripristino della struttura degradata: dalla rasatura superficiale di pochi mm fino alla completa ricostruzione di parti considerevoli di calcestruzzo (anche alcuni cm) previo rivestimento anticorrosivo delle barre di armatura o loro parziale sostituzione;
3. Applicazione di stagionante del materiale di ripristino e primer per la protezione successiva, in tutti i casi;
4. Applicazione di protettivo filmogeno, in tutti i casi.

Per quanto riguarda il calcestruzzo armato precompresso con CV=4 la manutenzione prevede, dove necessario, l'iniezione delle guaine di precompressione con opportune boiacche cementizie, visto che il problema dei vuoti all'interno delle guaine è spesso causa di pericolosi danni, come citato in tutta la letteratura sull'argomento (L.F. Lamanna, 1999).

Con riferimento alla condizione CV=5, la riparazione del calcestruzzo riprende in modo identico quella del CV precedente, aggiungendo l'applicazione di FRP (Fiber Reinforced Polymers) di rinforzo sia a momento flettente che a taglio: come già precedentemente indicato, il prezzo di questo intervento è puramente indicativo anche se basato su esempi applicativi reali ma non generalizzabili; in ogni caso, il foglio elettronico "segnala", attraverso il simbolo (\*\*) a lato della casella di costo dell'elemento e con un commento sotto la casella di costo totale di manutenzione, che l'elemento considerato è in condizioni critiche e che necessita di valutazioni più accurate. Quest'ultima procedura sarà propria di tutti gli elementi strutturali del manufatto oggetto di analisi.

Le misure considerate per stimare un costo di ripristino in euro/m sono state mediate in base alle più usuali geometrie degli impalcati da ponte per tutte e sette le diverse tipologie analizzate ed allo spessore di ammaloramento per i vari Condition Values, poiché molte delle voci di capitolato delle lavorazioni riportavano valori espressi in euro/m<sup>2</sup> oppure euro/dm<sup>3</sup>.

### **2.1.1.2 Elementi trasversali**

Si è concentrata l'attenzione su 2 tipologie:

- Traverso in calcestruzzo armato (A1);
- Traverso in calcestruzzo armato precompresso (A2).

Come per gli elementi longitudinali, la valutazione tecnico-economica varia da un CV=2 ad uno pari a 5 e, visto che si tratta del medesimo materiale, viene affrontata con le stesse modalità: i 4 punti citati (pulizia, ripristino, stagionante e protezione), le misure (esprese in euro/m) mediate sulle geometrie più usuali generalmente utilizzate, e la scarsa precisione per la condizione più gravosa, anche in questo caso segnalata nel foglio di calcolo.

## **2.1.2 Elementi peculiari dei manufatti in muratura di pietrame e/o laterizio**

### **2.1.2.1 Elementi longitudinali**

In questo caso la tipologia strutturale è unica: arco o volta in muratura (A1).

Gli interventi ipotizzati variano da CV=2 a CV=5: si va da un semplice trattamento di sabbiatura e successivo trattamento protettivo con resine per CV=2, alla ristrutturazione con sostituzione delle bozze ammalorate e trattamento protettivo per CV=3 fino alla ristrutturazione con risarcitura delle lesioni e trattamento protettivo finale per CV=4; per la condizione più gravosa si dà soltanto, per i motivi già espressi nel paragrafo precedente, un costo indicativo del ripristino, che consiste nel completare la ristrutturazione generale della muratura con il rinforzo della struttura tramite l'applicazione di FRP.

Le lavorazioni sono indicate in euro/m<sup>2</sup> e poi, attraverso la geometria del manufatto, opportunamente introdotta nel foglio elettronico, si giunge ad ottenere il costo totale della manutenzione.

### **2.1.2.2 Struttura di collegamento arco-impalcato**

Sono due le tipologie presenti:

- Struttura piena in muratura (A1);
- Struttura aperta con archi secondari (B1).

Le lavorazioni interessano tutte le 4 condizioni dell'elemento (escluso ovviamente il CV=1) e ricalcano quelle della voce elementi longitudinali con l'unica differenza che non è prevista l'applicazione delle fibre di carbonio e, quindi, la condizione 4 coincide con la 5.

Nonostante la struttura di collegamento arco-impalcato sia elencata tra gli elementi non strutturali, nel foglio di calcolo viene comunque segnalato un commento nel cas in cui la valutazione visiva porti ad un CV pari a 5; i costi vengono valutati in euro/m<sup>2</sup>.

## **2.1.3 Elementi peculiari dei manufatti in acciaio e in struttura mista acciaio-calcestruzzo**

### **2.1.3.1 Elementi longitudinali**

Si sono esaminate 3 tipologie strutturali:

- Travata (A1);
- Cassone (B1);
- Arco (C1).

La previsione dei costi interessa solamente i CV 2 e 3 e prevede la sabbiatura a metallo bianco dei profilati di acciaio e la loro successiva verniciatura attraverso l'applicazione di una mano di pre-trattamento di fondo, una di anticorrosivo a base di resine epossidiche e la finitura con smalto poliuretano per garantire la durata nel tempo.

Ai rimanenti due CV (4 e 5) non si è associata alcuna lavorazione poiché si tratterebbe di rinforzi tramite piatti di acciaio saldati o imbullonati alla struttura esistente oppure di sostituzione completa dell'elemento stesso e ciò comporta uno studio specifico: la voce di costo è quindi di elemento non valutato. Nel foglio di calcolo per questa tipologia di ponti la casella di costo si colora automaticamente di blu e appare il simbolo (\*\*\*) collegato ad un commento per indicare che il prezzo finale per la manutenzione non tiene conto dell'elemento in questione.

I costi vengono valutati in euro/m di elemento longitudinale.

### **2.1.3.2 Elementi trasversali**

È presente solamente la voce: traversi/diaframmi in acciaio (A1).

Questi elementi sono valutati per tutti i CV: per le condizioni 2 e 3 le lavorazioni sono le medesime del punto precedente mentre per quanto riguarda le 4 e 5 si prevede la completa sostituzione attraverso lo smontaggio e la successiva fornitura e posa in opera di nuovi traversi.

Il prezzo è fornito in euro/kg di acciaio poi trasformato in euro/m tramite l'analisi delle più frequenti geometrie comunemente utilizzate.

## **2.1.4 Elementi comuni a tutte le tipologie di manufatto**

### **2.1.4.1 Pile**

Si considerano nel complesso 4 tipologie:

- A colonna singola o multipla in calcestruzzo armato (A1);
- A muro in muratura (B1);
- A muro in calcestruzzo armato (B2);
- In acciaio (C1) (solo per i ponti in acciaio e struttura mista acciaio-calcestruzzo).

Per le prime tre tipologie i CV dal 2 al 4 hanno tutti una voce di costo associata, che riprende appieno quanto già descritto per gli elementi precedenti, sia in calcestruzzo armato che in muratura, espressa in euro/m<sup>2</sup>. Per inserire i dati geometrici è possibile distinguere i diversi tipi di colonna (a sezione circolare oppure sezione poligonale) direttamente nel foglio "geometria".

I costi e le lavorazioni per la condizione 5 e per le condizioni 4 e 5 della tipologia C1 è quella di elemento non valutato poiché per i problemi ad essa collegati si deve prevedere uno studio particolare della situazione specifica, dato che si tratta di un intervento strutturale speciale che, per di più, coinvolge sicuramente anche le fondazioni, rendendo necessaria quindi la conoscenza del tipo di terreno su cui si va ad intervenire; il foglio segnala tutto ciò con la colorazione della casella, il simbolo (\*\*\*) ed il relativo commento.

#### **2.1.4.2 Soletta**

Si è concentrata l'attenzione su 3 tipi di soletta:

- Realizzata in opera in calcestruzzo armato (A1);
- Prefabbricata in calcestruzzo armato normale o precompresso (B1);
- Piastra ortotropa in acciaio (C1) (solo per i ponti in acciaio e struttura mista acciaio-calcestruzzo).

Per A1 e B1 gli interventi sono gli stessi previsti per gli elementi precedentemente trattati espressi in euro/m<sup>2</sup>, dando un valore puramente indicativo per il CV=5.

Il foglio elettronico collega le operazioni necessarie con il CV dell'elemento impermeabilizzazione: se, infatti, quest'ultima si trova in condizione 4 o 5, alcune lavorazioni (ripristino generale e trattamenti protettivi del calcestruzzo) vengono a coincidere con quelle necessarie per la soletta; si è fatto in modo che non si sovrapponevano i costi di conteggiarli erroneamente due volte.

Per la piastra ortotropa in acciaio si esprimono i prezzi (in euro/m<sup>2</sup>) solo per CV=2 e 3, mentre per i rimanenti due l'elemento risulta non valutato, indicando adeguatamente tale fatto.

#### **2.1.4.3 Appoggi**

Le varie categorie prese in esame sono le seguenti:

- Puramente elastomerico (A1);
- Elastomerico armato (B1);
- A disco elastomerico confinato (C1);
- Completamente in acciaio (D1);
- In acciaio e teflon (E1);
- A dischi di piombo (F1).

Per le prime due e l'ultima, le lavorazioni riguardano solamente i CV=4 e 5 e consistono nel sollevamento delle testate di impalcato, nella bonifica dei piani di appoggio e nella fornitura e posa in opera di nuovi apparecchi, in gomma armata per A1 e B1, in acciaio e PTFE per F1.

Per le altre tre tipologie, se in condizione 3 si prevede una sabbiatura dell'apparecchio d'appoggio, mentre se il loro CV risulta pari a 4 o 5 sono necessari il sollevamento delle testate di impalcato, la bonifica dei piani di appoggio e la fornitura e posa in opera di nuovi apparecchi in acciaio e PTFE, poiché, tranne casi speciali, risultano essere i più affidabili.

I diversi interventi sono espressi in euro/tonnellate (tranne per la bonifica del piano d'appoggio espressa in euro/dm<sup>2</sup>): si è cercato comunque di dare, dopo aver consultato vari progetti, un costo ad appoggio, differenziato per manufatti in ca o in struttura mista acciaio-clt.

#### **2.1.4.4 Ritegni antisismici**

Nelle schede di valutazione visiva erano stati presi in considerazione 3 tipi, diversificati in base al loro comportamento:

- Reagente a forze impulsive (A1);
- A comportamento elastico (B1);
- A comportamento elasto-plastico (C1).

Non è stata assegnata, invece, alcuna valutazione sui costi di manutenzione poiché un intervento, di installazione o di eventuale sostituzione, necessiterebbe di una specifica analisi, sia per quanto riguarda le modalità di installazione che la tipologia di apparecchio necessaria nelle singole situazioni: tutto ciò esula dal carattere generale del presente studio, basato oltretutto su osservazioni visive. Non sono presenti schede di valutazione tecnico-economica in appendice per questo elemento.

#### **2.1.4.5 Spalla**

I tipi di spalla considerati sono in tutto 6:

- A mensola o a gravità in calcestruzzo armato (A1);
- A gravità in gabbioni (B1);
- A gravità in muratura (B2);
- A palo/i in calcestruzzo armato (C1);
- A contrafforti in calcestruzzo armato (D1);
- A rilevato passante (E1).

Si possono ripetere tutte le osservazioni fatte per l'elemento pila tranne per le tipologie B1 e E1: per la prima gli interventi si considerano a partire dal CV=3 fino al 5 e prevede in ogni caso la sostituzione dei gabbioni metallici e il loro nuovo riempimento, mentre per il rilevato passante ai normali interventi sul calcestruzzo si aggiungono la sistemazione del terreno della scarpata con successivo rinverdimento o la fornitura e posa in opera di blocchi di rivestimento in conglomerato cementizio.

I costi sono espressi in euro/m<sup>2</sup> di spalla.

#### **2.1.4.6 Terrapieno di accesso**

Sono 3 le tipologie esaminate:

- Senza protezioni (A1);
- Con protezioni in calcestruzzo (B1);
- Con protezioni in geogriglie o affini (B2).

Le lavorazioni variano a seconda del CV: in condizione 2 consistono nello sfalcio dell'erba, mentre in condizione 3 si prevedono la sistemazione del terreno sulla scarpata ed il suo consolidamento compreso il rinverdimento.

Per le condizioni più gravose si adottano soluzioni diverse a seconda della tipologia: rinverdimento e recupero ambientale della scarpata in terra mediante fornitura e messa in opera di pannelli in rete metallica elettrosaldata fissata al substrato mediante infissione di chiodi di ancoraggio per la A1; fornitura e posa in opera di blocchi di rivestimento in conglomerato cementizio incastrabili tra di loro per la B1; terra rinforzata utilizzando geogriglie di rinforzo e biostuoie di contenimento per la B2.

Tutti i costi sono dati in euro/m<sup>2</sup> di superficie di terreno sistemata.

#### **2.1.4.7 Muro di sostegno**

Ha la funzione di sostenere il rilevato o il materiale sul pendio della strada e differisce dal muro d'ala della spalla. Se ne sono analizzate 5 diverse tipologie:

- Di gabbioni (A1);
- Gettato in opera di muratura (B1);
- Gettato in opera o prefabbricato in calcestruzzo armato (C1);
- In terra armata (D1);
- In terra rinforzata (E1).

Le lavorazioni e i costi per le prime tre tipologie riprendono in modo identico quelle descritte per pile e spalle, considerando anche in questo caso il CV=5 come lavoro di manutenzione non valutato, per i motivi suddetti; anche per questo elemento il foglio elettronico mette opportunamente in evidenza questo fatto.

Per la terra armata, tranne per le condizioni 2 e 3 in cui si interviene semplicemente sul calcestruzzo, si è trattato di creare il costo della lavorazione perché i prezziari erano sprovvisti di una voce specifica in merito. Basando l'analisi su alcuni articoli tratti da riviste del settore (Bagozzi e altri, 2003), l'intervento consiste nel demolire la parte degradata e inserire opportune barre di armatura zincate con funzione di tiranti a cui vengono agganciati i pannelli prefabbricati in ca che fanno da contenimento al terreno.

Per il punto E1: si parte da CV=2 con lo sfalcio dell'erba e il consolidamento della scarpata, fino ad arrivare al CV=4 e 5 in cui si utilizza terra rinforzata con geogriglie e biostuoie di contenimento.

#### **2.1.4.8 Fondazioni di pile e spalle**

Nelle schede di valutazione visiva erano state prese in considerazione 6 diverse tipologie:

- Superficiali in ca (A1);
- Su pali o micropali in acciaio (B1);
- Su pali o micropali in ca (B2);
- Su pali in legno (B3);
- A pozzo (C1);
- Con tiranti in acciaio (D1).

Non è stata assegnata, invece, alcuna voce sui costi di manutenzione e, nella maggior parte, dei casi, nemmeno una precisa valutazione di degrado vista la notevole difficoltà di giudizio e l'impossibilità di prevedere un intervento di ripristino senza conoscere la natura del terreno in situ. Sarebbero, quindi, necessarie prove specifiche con adeguata strumentazione; non sono presenti schede di valutazione tecnico-economica in appendice.



#### **2.1.4.9 Impermeabilizzazione**

Le tipologie considerate sono 2 ognuna delle quali associata a due distinti tipi di pavimentazioni:

- Membrane con pavimentazione bituminosa (A1);
- A spruzzo con pavimentazione bituminosa (A2);
- Membrane con pavimentazione lapidea (B1);
- A spruzzo con pavimentazione lapidea (B2).

Si sono distinti due tipi di impermeabilizzazioni: le membrane prefabbricate per condizioni ambientali normali, a spruzzo da adottare in ambienti aggressivi.

Le lavorazioni consistono nella demolizione della pavimentazione, nella bocciardatura della soletta per asportare i residui della vecchia impermeabilizzazione, nell'impermeabilizzazione vera e propria, nella ricostruzione della pavimentazione e nelle lavorazioni di ripristino del calcestruzzo ammalorato della soletta.

Gli interventi sono legati a quelli necessari sulla pavimentazione con CV pari a 4 o a 5 (demolizione e ricostruzione), e la scheda ne tiene conto evitando di sovrapporne i costi. Le voci di manutenzione sono espresse in euro/m<sup>2</sup>.

#### **2.1.4.10 Pavimentazione**

Le 2 tipologie incontrate nelle ispezioni sono:

- Moderna flessibile in materiale bituminoso (A1);
- Tradizionale in materiale lapideo (B1).

Nel caso A1 per ogni CV da 2 a 5 si hanno le relative lavorazioni: dalla risarcitura delle lesioni (CV=2), al rifacimento dello strato di usura dopo la necessaria fresatura (CV=3), fino alla demolizione e successivo rifacimento di binder e strato di usura con conglomerato bituminoso con caratteristiche antiskid e drenanti (CV=4 e 5).

Per quanto riguarda la tipologia B1 si parte da CV=3 con la fornitura di pavimento in porfido fino ai CV=4 e 5 con demolizione e successive ripristino dei blocchetti di porfido. In entrambi i casi, i prezzi sono dati in euro/m<sup>2</sup> di pavimentazione.

#### **2.1.4.11 Guard-rail**

Si tratta di:

- Sicurvia deformabili (A1);
- New-Jersey e altre barriere in ca (B1).

In entrambi i casi le lavorazioni partono da CV pari a 3 fino a CV uguale a 5; per i sicurvia deformabili i costi sono gli stessi per le tre condizioni e prevedono la demolizione delle barriere esistenti e la fornitura di nuove del tipo H4 a tripla onda rispondenti alle richieste della normativa.

Nel caso della tipologia B1 per CV=3 si prevede il riposizionamento del New-Jersey disassato e la fornitura di mancorrente; per gli altri due CV è prevista la demolizione dell'esistente e la sostituzione con opportune barriere laterali da porre in opera su manufatti.

La voce spartitraffico centrale, presente nelle vecchie schede di valutazione nell'elemento accessori è stata inserita come facente parte del presente elemento.

In presenza di un marciapiede con ciglio di altezza 20 cm tale elemento può non esserci, anche se ne auspica comunque la presenza in ogni caso.

I costi sono espressi in euro/m di barriera.

#### **2.1.4.12 Giunti**

Sono state esaminate 3 tipologie:

- A pettine (A1);
- In gomma armata (B1);
- Di sottopavimentazione (C1).

Sono state considerate lavorazioni solo per i CV da 3 a 5, escludendo il CV pari a 2.

Per i primi due casi alla condizione 3 si è ritenuto di intervenire risistemando i bordi laterali del giunto e la parte inferiore che ha funzione di protezione delle strutture sottostanti dalla percolazione delle acque meteoriche. Nei rimanenti due casi l'intervento consiste nella completa sostituzione del giunto: poiché il prezzo varia a seconda delle escursioni massime, si è considerato una deformazione massima dell' 1% sull'interasse tra i giunti, facendo variare il costo in modo automatico nel foglio elettronico.

Nel trattare il giunto di sottopavimentazione non si è fatta distinzione di lavorazioni tra i vari CV: per tutti si prevede la demolizione dell'esistente e la posa in opera di un nuovo giunto tampone polimerico di dilatazione e continuità, senza distinzione alcuna per l'ampiezza delle escursioni, considerando che tale tipologia è adottata su luci piuttosto ridotte.

I prezzi di intervento sono espressi in euro/m di giunto.

#### **2.1.4.13 Marciapiede**

Si distinguono 2 tipologie in relazione al materiale utilizzato:

- In calcestruzzo (A1);
- In acciaio (B1).

Per la prima tipologia si considerano (a partire da CV=3) i normali interventi sul calcestruzzo; per il tipo in acciaio, in condizione 3 si prevede la sabbiatura e la riverniciatura, mentre per i CV=4 e 5 le lavorazioni consistono nella demolizione e nella ricostruzione, rispettivamente, del grigliato della passerella e di tutto l'elemento (struttura portante e grigliato). Le protezioni laterali sono comprese nella successiva voce parapetto.

In caso di assenza, l'elemento non viene valutato in quanto la sua costruzione ex novo è considerata come un intervento strutturale e questo esula dai lavori di manutenzione analizzati in questo studio; ciò non significa che un intervento in questo senso non sia necessario, visto che anche il D.M.LL.PP del 04/05/1990 fa specifico riferimento sulla necessità di tale elemento, segnalando anche le misure minime.

#### **2.1.4.14 Parapetto**

Sono 4 le tipologie prese in esame:

- Reticolo di barre o tubi in acciaio (A1);
- Reti (B1);
- Barriere antirumore (C1);
- Muri laterali in muratura (D1).

Tranne che per la tipologia C1 i CV interessati delle lavorazioni vanno dal 2 al 5; per A1 e B1 si va dalla semplice riverniciatura, alla sostituzione di sostegni danneggiati fino alla demolizione e successiva fornitura e posa in opera del parapetto.

Per la tipologia B1 si è tenuto conto nel foglio di calcolo dei diversi prezzi dovuti alla possibilità di installazione su sovrappassi autostradali o ferroviari che prevedono reti particolari con costi diversificati.

Le barriere antirumore possono essere sostituite in condizione 4 o 5 mentre per le altre non si sono forniti interventi specifici.

La tipologia D1 prevede le lavorazioni tipiche effettuabili sulla muratura a seconda del livello di degrado, mentre in condizione 5 l'intervento consiste nella demolizione completa del muro e nella sua ricostruzione.

I prezzi sono forniti in euro/m di parapetto.

#### **2.1.4.15 Smaltimento delle acque**

Rispetto alle 4 tipologie delle vecchie schede di valutazione se ne sono prese in considerazione solamente 2:

- Dalla soletta (A1);
- Dal rilevato (B1).

Quest'ultima prevede per CV=2 e 3 la ripulitura degli scarichi, per CV=4 e 5 la fornitura e posa in opera di nuove canalette in conglomerato cementizio; per queste lavorazioni il prezzo è fornito in euro/m di scarico su cui si interviene.

Per ciò che riguarda il sistema di smaltimento delle acque dalla soletta, gli interventi necessari iniziano dalla condizione 3 con la fornitura di tubazioni in PVC con tutti gli oneri necessari per un'adeguata messa in opera e di lunghezza opportuna tale da non contribuire al degrado delle strutture circostanti (Da Deppo, 1999).

I costi sono forniti in euro/m di tubazioni da sostituire o aggiungere e, nel foglio "geometria", la misura da fornire è la lunghezza di tubo danneggiato o della parte necessaria per uno smaltimento adeguato.

Per i CV pari a 4 e 5 l'intervento consiste rispettivamente nel ripristino o nella formazione ex novo di scarichi e nell'adeguamento delle tubazioni; in questo caso il prezzo è fornito in euro/scarico e la lunghezza delle tubazioni è scelta in base alle altezze di impalcato dei manufatti più ricorrenti.

#### **2.1.4.16 Accessori**

In considerazione del fatto che in un'unica voce si dovevano, in base alle vecchie schede, riassumere vari tipi di accessori anche molto diversi tra loro, si è scelto di considerarne soltanto una che ne riassume alcune e le suddivide a seconda del CV:

- Illuminazione e segnali stradali (A1).

In CV=3 troviamo il costo per il rifacimento della segnaletica orizzontale espressa in euro/m.

In corrispondenza della condizione 4 si interviene a sostituire la lampada degli eventuali punti luce distribuiti sul manufatto e il prezzo è dato in euro/punto luce.

Il CV pari a 5 è caratterizzato da un intervento più profondo sui punti luce con la verniciatura del palo, la sostituzione del proiettore e delle eventuali lampade danneggiate: anche qui il costo è fornito in euro/punto luce.

Viene qui di seguito riportato un esempio di scheda di valutazione tecnico-economica, nello specifico proprio quella relativa all'elemento accessori.

CV	Stato di deterioramento	Possibili interventi e costo di ripristino (euro/m o euro/cad)	Costo totale unitario euro/m o euro/cad
1	Nessun difetto significato	Nessun intervento	0.00
2	* Assenza o inadeguatezza degli accessi alla struttura	Nessun intervento	0.00
3	*Inadeguatezza dei segnali stradali * Problemi rilevati sui materiali costituenti condotte, impianti di illuminazione, segnali	Esecuzione di segnaletica orizzontale di nuovo impianto o ripasso costituita da strisce, larghe fino a 12 cm, continue o intermittenti, nelle forme e dimensioni previste dal Codice della Strada e dal suo Regolamento di Attuazione da eseguirsi, con vernice premiscelata rifrangente con impiego di vernice non inferiore a 1300 gr/mq, mediante applicazione a spruzzo. Detta segnaletica dovrà essere perfettamente visibile sia di giorno che di notte indipendente dallo stato di manutenzione del piano stradale e dalle condizioni atmosferiche per tutta la durata della garanzia fissata in un anno. Sono compresi e compensati nel prezzo: -la preventiva pulizia delle superfici; - la fornitura della vernice rifrangente compresi gli eventuali necessari diluenti; - l'eventuale utilizzo di macchina traccialinee; - gli oneri per la manodopera, l'attrezzatura e i macchinari necessari per la buona esecuzione delle opere, il montaggio, lo smontaggio e gli spostamenti di tutte le attrezzature e materiali occorrenti, compresi tutti gli apprestamenti e le cautele, di qualsiasi tipo e genere, che siano necessarie per una corretta esecuzione del lavoro e garantire l'incolumità delle persone e delle cose.	0.75 euro/m
4	*Non funzionamento di eventuali impianti di illuminazione	Sostituzione di lampada compresa la pulizia, la revisione dell'armatura e l'allontanamento della lampada esaurita:	52.00 euro/cad
5	*Rotture di cavi o condotte *Manacanza di segnali stradali *Danni gravi ai punti luce	Verniciatura di pali con due mani di vernice del tipo e colore che indicherà la D.L., previa asportazione e pulizia delle ossidazioni, compresa una mano di antiruggine e compreso ogni onere per l'impiego delle opportune attrezzature (euro/cad 45.00) Sostituzione di proiettore compreso lo smontaggio e l'eventuale recupero della lampada e/o del reattore (euro/cad 380.00) Sostituzione di lampada compresa la pulizia, la revisione dell'armatura e l'allontanamento della lampada esaurita (euro/cad 52.00)	477.00 euro/cad

Tabella 2.1 – Esempio di scheda di valutazione tecnico-economica

### **3 Applicazione dettagliata della scheda al ponte sul “Torrente Timonchio” presso Marano Vicentino (Vicenza)**

Con il presente capitolo si vuole chiarire, attraverso un esempio pratico, tutti i passaggi necessari alla schedatura dei manufatti, partendo dalle ispezioni, passando per la valutazione dello stato di degrado dei vari elementi, fino ad arrivare a fornire un voto sull'urgenza complessiva di intervento e un costo di massima delle lavorazioni di manutenzione, atte a riportare il ponte ad una completa efficienza e funzionalità di tutte le sue parti.

Per la notevole quantità di materiale raccolto in proposito, si è scelto di trarre nello specifico il ponte sul “Torrente Timonchio”, opera posta sulla strada SP 10, tale opera si trova nel comune di Marano Vicentino (VI).

#### **3.1 Raccolta di dati e informazioni sul manufatto**

Vi.abilità S.p.a. ha messo a disposizione del Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova l'elenco completo dei ponti oggetto di indagine, insieme alle informazioni principali ad essi inerenti. Tali dati riguardavano principalmente:

- Il nome del ponte;
- La strada nella quale esso è situato;
- Il chilometraggio corrispondente;
- Il comune di appartenenza del ponte;
- La superficie di competenza dell'impalcato;
- Indicazioni sommarie sulla tipologia strutturale;
- Un numero identificativo assegnato da Vi.abilità.

Sono stati inoltre forniti elementi fotografici, integrati con l'utilizzo di Google Maps, per permettere la valutazione dello stato delle opere in oggetto.

#### **3.2 Valutazione dei singoli elementi e inserimento dei dati**

Sulla base delle schede che associano alle singole condizioni un determinato CV (Bergo, Schiavon, 2002), si valutano tutti gli elementi e si inseriscono i valori trovati nell'apposita colonna predisposta nel foglio di calcolo.

La determinazione dei CV non ha subito variazioni di valutazione, mentre alcuni cambiamenti sono stati apportati nella suddivisione delle tipologie dei vari elementi: nelle nuove schede, ai semplici valori A1, A2, A3, ... B1, B2,... che contraddistinguevano semplicemente l'ordine degli elementi in funzione della tipologia del materiale del manufatto, si sono sostituiti specifici valori (sempre rappresentati da una lettera maiuscola e da un numero) che ad ogni elemento associano una gamma di diverse tipologie; queste vanno opportunamente specificate nella prima colonna della scheda (dal titolo "tipologie"), poiché a sigle differenti sono associate lavorazioni e costi differenti.

Il nuovo foglio di calcolo necessita, inoltre, dell'introduzione di un certo quantitativo di misure geometriche e numeriche per poter fornire il valore di massima del possibile costo totale di manutenzione del manufatto.

### **3.2.1 Dati generali del ponte sul "Torrente Timonchio"**

Si riportano i dati generali raccolti durante le ispezioni:

- Identificazione numerica:	287
- Nome:	Ponte sul "Torrente Timonchio"
- Progressiva chilometrica:	4,64 km
- Località:	Marano Vicentino
- Strada:	SP 10
- Ostacolo superato:	torrente Timonchio
- Anno di costruzione:	-
- Materiale:	ca - cap
- Tipologia:	travi semplicemente appoggiate
- Numero di campate:	2
- Massima luce della campata:	12.8 m
- Luce totale:	22.8 m
- Larghezza:	7.6 m
- Angolo di incidenza :	90°
- Marciapiedi:	SI
- Pile in alveo:	1





*Cartografia del ponte - Vi.abilità*



*Foto del ponte 1 - Vi.abilità*



*Foto del ponte 2 - Vi.abilità*



*Foto del ponte 3 – Vi.abilità*





*Foto del ponte 4 – Vi.abilità*



*Foto del ponte 5 – Vi.abilità*

### **3.2.2 Analisi degli elementi del ponte**

Vengono analizzati ad uno ad uno i singoli elementi, evidenziando, attraverso fotografie, tutte le caratteristiche e il modo in cui si è arrivati alla determinazione dei CV; inserendo poi gli aspetti geometrici e tipologici si arriva a delineare il costo di manutenzione.

#### **3.2.2.1 Elementi longitudinali**

La tipologia del componente è A2 (travata in cap): 9 travi prefabbricate semplicemente appoggiate in calcestruzzo armato precompresso.

Dall'ispezione visiva delle travi longitudinali si nota:

- Parziale scolorimento del calcestruzzo e macchie di ruggine: CV=3;
- Tracce di umidità: CV=2.

Si assegna, cercando di mediare sulle diverse valutazioni, un CV pari a 3 (difetti moderati che potrebbero causare danni), successivamente, si compila il foglio "GEOMETRIA", all'interno della scheda di valutazione, inserendo il numero (9) e la lunghezza (22.8 m) delle travi: si ottiene un costo totale di manutenzione dell'elemento di quasi 79,002.00 euro.

La voce di costo (pari a 385.00 euro/m), prevede demolizione corticale di porzioni di strutture, rivestimento anticorrosione, ripristino di strutture degradate in calcestruzzo ed il successivo trattamento protettivo.

#### **3.2.2.2 Pila**

La tipologia del componente è B2 (muro in ca): un muro di ca di larghezza 7.6m e altezza 3.5m, inoltre il pulvino ha un'altezza di 0.8m.

I difetti visibili per le pile risultano essere:

- Camicie protettive corrose: CV=2;
- Forte tracce di umidità: CV=2;
- Infiltrazioni di acqua, efflorescenze, incrostazioni, tracce di sali: CV=3.

Si assegna un CV pari a 3 (difetti moderati che potrebbero causare danni), dopo aver compilato la scheda con le misure, si ricava che il costo complessivo per le lavorazioni sulla pila è di 9,097.20 euro, partendo da un prezzo unitario di 95 euro/m<sup>2</sup>.

Nel caso di CV=5 la scheda non tiene conto della pila nel costo globale di manutenzione poiché, in tali condizioni, si tratta di interventi strutturali che coinvolgono le fondazioni e il terreno, per i quali è necessaria un'analisi specifica; nel foglio viene segnalato questo fatto da una colorazione blu della casella di costo e da una segnalazione scritta al di sotto del costo finale.

### **3.2.2.3 Elementi trasversali**

Si tratta di traversi in ca identificati con la sigla A1: ce ne sono 4 per ogni campata, due di testata e due di campata posti ai terzi delle travi.

I difetti riscontrati sono:

- Forti tracce di umidità: CV=2;
- Infiltrazioni di acqua, efflorescenze, incrostazioni, tracce di sali: CV=3;
- Scolorimento del calcestruzzo, macchie di ruggine: CV=3;
- Nidi d'ape, spugnosità: CV=4.

Considerando i punti sopra indicati si assegna agli elementi trasversali un CV pari a 3 (difetti moderati che potrebbero causare danni); dopo aver compilato la scheda con le misure, si ricava che il costo globale per la manutenzione dei traversi è 15,504.00 euro, partendo da un prezzo unitario delle lavorazioni di 255 euro/m.

### **3.2.2.4 Soletta**

La tipologia utilizzata è la B1 (realizzata in opera in ca): è stata realizzata con lastre di tipo predalles prefabbricate.

Nell'analisi visiva dell'elemento soletta si evidenziano:

- Scolorimento del calcestruzzo, macchie di ruggine, dilavamento superficiale, causati da una impermeabilizzazione non del tutto sufficiente: CV=3;
- Limitati depositi di sali: CV=3.

Per l'elemento in questione, in base all'estensione dei difetti caratterizzati da un CV=3, si assegna un coefficiente generale CV=3 (difetti moderati che potrebbero causare danni); dopo aver compilato la scheda con la misura della superficie interessata dagli interventi, si ricava che il costo complessivo per la manutenzione è di circa 22,717.92 euro, partendo da un prezzo unitario di 94 euro/m<sup>2</sup>.

Quest'ultimo valore è relazionato con il CV assegnato alla voce impermeabilizzazione in modo tale che, se quest'ultima fosse stata in condizione 4 o 5, i costi delle lavorazioni sulla soletta sarebbero stati assorbiti da quelli necessari per la sistemazione del sistema di impermeabilizzazione dell'impalcato.

### **3.2.2.5 Apparecchi di appoggio**

Per l'impossibilità di dare un giudizio visivo si assume CV=0 (nessun giudizio).

### **3.2.2.6 Dispositivo antisismico**

L'elemento in questione non fa parte del manufatto, ma, nonostante questo, non è stata assegnata alcuna valutazione né sullo stato di conservazione né sui costi di manutenzione poiché un intervento, sia di installazione sia di eventuale sostituzione, necessiterebbe di una specifica analisi, che esula dalla valutazione visiva di partenza del presente studio.

### **3.2.2.7 Spalle**

La sigla della tipologia è A1 (a mensola in ca).

In base all'osservazione si nota:

- Difetti superficiali del calcestruzzo: CV=2;
- Tracce di umidità diffuse e vistosa vegetazione: CV=2;

Si assume CV=2 (difetti minori che non portano danni); il costo complessivo per le lavorazioni sulle due spalle è di quasi 7,220.00 euro, con un prezzo unitario di 95 euro/m<sup>2</sup>.

### **3.2.2.8 Terrapieno di accesso**

Non è presente in quanto il ponte trova il dislivello da superare nel letto del fiume, mentre le due parti laterali della statale rimangono allo stesso livello senza necessità di un terrapieno.

In quanto elemento non esistente, le caselle del CV e del costo di manutenzione sono entrambe vuote.

### **3.2.2.9 Muro di sostegno**

Non è presente.

### **3.2.2.10 Fondazione della spalla e della pila**

Per l'impossibilità di dare un giudizio visivo si assume CV=0 (nessun giudizio); come nel caso dei dispositivi antisismici, non ci sono schede di valutazione tecnico-economica in appendice.



*Foto ponte di Marano Vicentino SPX - Google Maps*

### **3.2.2.11 Membrana di impermeabilizzazione**

Dalla consultazione del progetto si è venuti a conoscenza della presenza della tipologia A1 (membrana prefabbricata con pavimentazione in conglomerato bituminoso).

Si notano solo lievi ondulazioni della pavimentazione dovuti all'usura: CV=2.

Si assume quindi un CV=2 (difetti minori che non portano danni).

L'elemento in questione è strettamente connesso sia alla manutenzione della soletta (come già spiegato in precedenza) sia a quella della pavimentazione: se quest'ultima fosse in condizione 4 o 5, prevedendo cioè la demolizione e la successiva ricostruzione dello strato di collegamento e dello strato bituminoso, queste operazioni non dovrebbero essere comprese alla voce impermeabilizzazione.

### **3.2.2.12 Pavimentazione**

La tipologia è quella comunemente utilizzata di pavimentazione flessibile in materiale bituminoso che è stata identificata con la sigla A1.

Sono presenti:

- Ondulazioni superficiali: CV=2;
- Tracce di ruote solo percepibili: CV=2.

La pavimentazione a cui si assegna un CV globale pari a 2 (difetti minori che non portano danni).

Il costo complessivo risulta pari a 606.48 euro, partendo da un prezzo unitario di 3.5 euro/m<sup>2</sup>.

### **3.2.2.13 Guard-Rail**

Il ponte in oggetto non presenta alcun dispositivo di ritenuta, nonostante la presenza di marciapiede; conseguentemente la valutazione di questo aspetto ha portato all'assegnazione di un CV pari a 5 (elemento non funzionale o inesistente).

Si prevede:

Fornitura e posa in opera di barriere di sicurezza laterale bordo ponte in acciaio monofacciale con zincatura di 305 g/mq per lato, rette o curve, da porsi su opera d'arte, con caratteristiche di cui al Capitolato Speciale, compresa la fornitura in opera di eventuali piastre di ancoraggio ai manufatti e relativi tirafondi, nonché qualsiasi altro onere per dare l'opera finita a regola d'arte e conforme alla normativa vigente. Compreso, altresì, i dispositivi rifrangenti da applicarsi di norma, a distanza di ogni tre elementi o a seconda delle indicazioni della D.L. Modello a tripla onda H4.

Il costo complessivo risulta pari a 8,048.40 euro.



### 3.2.2.14 Giunto

Vi è assenza del giunto, conseguentemente il CV=5 (elemento non funzionale o inesistente).

Si prevede:

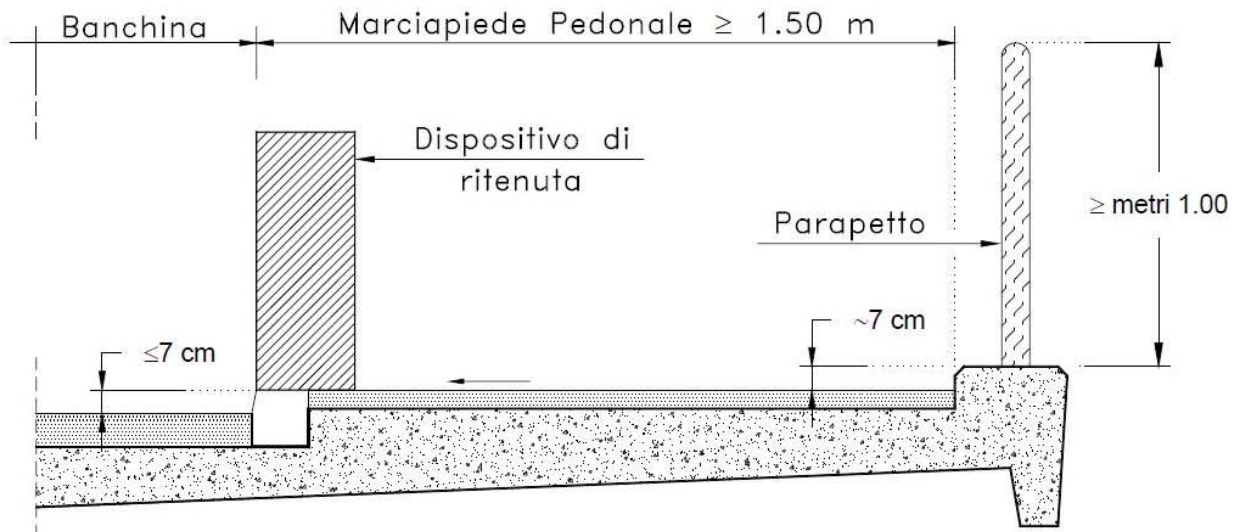
fornitura e posa in opera di giunto di dilatazione e impermeabilità per impalcati di ponti e viadotti realizzando con elementi in neoprene armato avente le caratteristiche specificate nel Capitolo Speciale d'Appalto rinforzato con inserti metallici vulcanizzati. Gli inserti metallici devono essere interamente conglobati nella gomma per evitare corrosioni; essi devono essere inoltre disposti in modo tale che in qualsiasi sezione verticale del giunto sia presente almeno un inserto metallico. Le armature metalliche in corrispondenza della fenditura della struttura devono essere dimensionate per sopportare i carichi stradali previsti. In nessun punto lo spessore del giunto deve essere inferiore a 10mm.

Il costo complessivo risulta pari a 3,739.20 euro.

### 3.2.2.15 Marciapiede

L'elemento è presente ma presenta un sottodimensionamento per quanto riguarda la larghezza, infatti come possiamo vedere dalla seguente immagine, il marciapiede pedonale dovrebbe essere largo almeno 1.5m quando invece raggiunge al massimo il metro di larghezza. Conseguentemente a ciò si è arrivati a assumere un CV pari a 5.

Il costo complessivo risulta pari 9,120.00 euro.



*Disposizione e dimensionamento dei margini stradali: banchina, marciapiede, dispositivo di ritenuta*

### **3.2.2.16 Parapetto**

Possiamo notare che ci sono parti di questo elemento in un avanzato stato corrosivo dovuto all'azione degli agenti atmosferici, quindi presenza di ruggine e danni localizzati. Lo stato di questo elemento rientra nella valutazione con CV=4 (difetti severi che causano danni).

Si prevede:

Demolizione di parapetti metallici e similari esistenti, compreso l'onere del trasporto a rifiuto del materiale inutile e del trasporto al deposito Compartimentale di quello utilizzabile che resta di proprietà dell'Amministrazione, nonché ogni altro onere per dare il lavoro finito a perfetta regola d'arte.

euro/m di parapetto 7.75

Fornitura e posa in opera di ringhiera parapetto costituita da:

- 1) Montanti INP o similari di acciaio zincato a caldo (zincatura secondo norme UNI) di altezza non inferiore a 1.10m, posti in opera su fori predisposti di cordoli e viadotti ad interasse non superiore a 2.00m;
- 2) Schermatura fra i montanti e per l'altezza prevista costituita da n.1 corrente superiore tubolare per corrimano, del diametro esterno non inferiore a 48mm e spessore non inferiore a 2.5mm e da un grigliato o lamellato avente le dimensioni della foratura atti ad impedire lo scavalco e il passaggio di bambini, secondo la normativa vigente. Tale schermatura, anch'essa zincata a caldo, dovrà essere collegata saldamente mediante appositi fermi e bulloneria che ne impediscano lo sfilamento, lo smontaggio e la rimozione.

euro/m di parapetto 38.70

Il costo totale è 2,120.40 euro.

### **3.2.2.17 Smaltimento delle acque**

Si tratta di un sistema di smaltimento delle acque dalla soletta, classificato con A1.

Per via della tubazione inadeguata per lunghezza insufficiente e/o cattiva disposizione, si assume un CV=3.

### **3.2.2.18 Accessori**

La segnaletica si ritiene adeguata, quindi CV=1.

### **3.3 Calcolo dei valori di TSR e di ESR**

Per completare la scheda relativa al ponte in oggetto devono essere identificati degli altri fattori. I Location Factor e i pesi  $W_i$  vengono automaticamente assegnati dalla tabella di calcolo secondo quanto indicato nel primo capitolo. Rimangono da definire:

*a) Road Type*

La direttrice lungo cui è posto il ponte è una strada provinciale; la tabella 1.10 indica  $RT=0.95$ .

*b) Traffic Index*

La strada provinciale SP 10, secondo la tabella 1.11 i valori medi di traffico portano a coefficienti  $TI=0.95$ .

*c) Network Bridge Importance*

Questo coefficiente fa riferimento alla direttrice lungo la quale è posto il manufatto e agli eventuali tragitti alternativi in caso di chiusura del ponte. Ci troviamo nella situazione 2 della tabella 1.12,  $NBI=0.98$ .

*d) Age Factor*

Non avendo riferimenti sulla data di costruzione si è deciso arbitrariamente di porre  $AF=1$ .

Si riportano la scheda di valutazione tecnico-economica e una tabella con la sintesi dei valori più significativi, tra cui i valori di ESR, il valore del TSR del manufatto, i costi parziali e totali e l'incidenza del costo di manutenzione in rapporto alla superficie totale d'impalcato.

**C) C.A.-C.A.P.**

Ponte:	8	vi287
--------	---	-------

Tipologia	Elementi	CV	CF	LF	Wel.valutati	Wel.presenti	RT	TI	RF	NBI	AF	ESR	Costo Elemento [€]
A2	Elem.longitudinali	3	4	5	10	10	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	17	79,002.00
B2	Pila	3	4	5	10	10	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	17	9,097.20
A1	Elem.trasversali	3	4	6	9	9	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	20	15,504.00
B1	Soletta	3	4	6	9	9	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	20	22,717.92
	App.Appoggio	0	0	6		9	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	0	0.00
	Disp.Antisismico			6			0.95	0.90	0.86	0.98	1.00		0.00 (*)
A1	Spalla	3	4	7	8	8	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	23	7,220.00
	Terrapieno accesso			7			0.95	0.90	0.86	0.98	1.00		0.00
	Muro sostegno			7			0.95	0.90	0.86	0.98	1.00		0.00
	Fond.Spalla	0	0	8		7	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	0	0.00 (*)
	Fond.Pila	0	0	8		7	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	0	0.00 (*)
A1	Impermeabilizzazione	2	7	9	6	6	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	53	0.00
A1	Pavimentazione	2	7	9	6	6	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	53	606.48
A1	Guard-rail	5	1	9	6	6	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	8	8,048.40
C1	Giunto	5	1	9	6	6	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	8	3,739.20
A1	Marcia piede	5	1	10	5	5	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	8	9,120.00
A1	Parapetti	4	2	10	5	5	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	17	2,120.40
A1	Smalt.acque	3	4	10	5	5	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	34	0.00
A1	Accessori	1	10	10	5	5	0.95	0.90	0.86	0.98	1.00	84	0.00

Σel.valutati	13
Σel.presenti	16
ΣWvalutati	90
ΣWel.presenti	113
<b>CoF</b>	80
	> 70
TSRreale	34
TSRminimo	32
<b>TSR</b>	33

Sommatoria costi singoli elementi [€]	157,175.60
Costo di impianto cantiere (3%) [€]	4,715.27
<b>Costo totale manutenzione [€]</b>	<b>161,890.87</b>

(\*) L'elemento non è stato oggetto di valutazione

**DATI GEOMETRICI**

	<b>CL.</b>	<b>Misure</b>	<b>U.M.</b>
luce totale		<b>22.8</b>	m
larghezza piano viabile		<b>7.6</b>	m
ostacolo		<b>f</b>	
campate / archi con luce costante		<b>0</b>	m
travi per ogni campata		<b>9</b>	
cassoni (event. multicellulari)		<b>0</b>	
luce campata		<b>0</b>	m
luce massima		<b>12.8</b>	m
campate / archi con luce max		<b>1</b>	
luce minima		<b>10</b>	m
campate / archi con luce min		<b>1</b>	
archi		<b>0</b>	
solettoni		<b>0</b>	
pile in alveo		<b>1</b>	
pile fuori alveo		<b>0</b>	
pile (totali)		<b>1</b>	
numero colonne circolari per pila		<b>0</b>	
numero colonne prismatiche per pila		<b>0</b>	
diametro colonne circolari		<b>0</b>	m
lato colonne prismatiche		<b>0</b>	m
larghezza pila-muro		<b>7.6</b>	m
larghezza pulvino		<b>7.6</b>	m
altezza pulvino		<b>0.8</b>	m
altezza pile		<b>3.5</b>	m
el. trasversali per campata		<b>4</b>	
sbalzo soletta (eventuale)		<b>0</b>	m
superficie soletta		241.68	m <sup>2</sup>
appoggi sulle spalle		<b>0</b>	
appoggi sulle pile		<b>0</b>	
appoggi totali		<b>0</b>	
ritegni antisismici			
spalle		<b>2</b>	
larghezza spalle		7.6	
numero pali/contrafforti per spalla		<b>0</b>	
larghezza singolo palo / contrafforte		<b>0</b>	m
altezza spalle		<b>2.5</b>	m
terrapieni		<b>0</b>	
altezza terrapieno		<b>0</b>	m
larghezza terrapieno		<b>0</b>	m
lunghezza terrapieno		<b>0</b>	m
muri di sostegno		<b>0</b>	
altezza muri		<b>0</b>	m
lunghezza singolo muro		<b>0</b>	m
superficie impermeabilizzazione		241.68	m <sup>2</sup>
superficie pavimentazione		173.28	m <sup>2</sup>
lunghezza guard-rail		22.8	m

spartitraffico		<b>0</b>	
giunti		<b>0</b>	
giunti necessari (se inesistenti)		<b>1</b>	
escursione		0.0128	mm
larghezza giunti		7.6	m
marciapiedi		<b>2</b>	
larghezza marciapiede		<b>1</b>	m
lunghezza marciapiede		22.8	m
parapetti		<b>2</b>	
lunghezza parapetto		22.8	m
punti luce danneggiati		<b>0</b>	
scarichi danneggiati o inesistenti		<b>2</b>	
lunghezza parti danneggiate		<b>0</b>	m
scarichi da rilevato		<b>0</b>	
lunghezza necessaria scarichi		<b>2</b>	m

## **4 Rete stradale oggetto di verifica**

### **4.1 Localizzazione dei manufatti**

Di seguito viene riportato uno schema della rete della provincia di Vicenza e la localizzazione dei ponti verificati.

I ponti sono in numero di 150. Lo scopo del lavoro è stato quello di determinare, per ogni singolo manufatto, il livello di sicurezza nei confronti dell'azione sismica definita dalla norma, costruendo così una "mappa" generale di vulnerabilità sismica non solo delle singole opere ma anche della rete nel suo complesso. Attraverso uno studio quantitativo è stato possibile, infatti, definire non solo il livello di sicurezza del manufatto nei confronti dell'azione sismica prevista dalla normativa attuale, ma anche l'ammontare dell'ipotetico costo di intervento necessario per la riabilitazione del singolo ponte, e di conseguenza avere una stima della distribuzione dei costi di intervento sull'intera rete di competenza.

Ad un iniziale lavoro di ricerca del materiale progettuale, presso gli archivi di Vi.Abilità S.p.A., consultazione e catalogazione, rielaborazione di tutti i dati geometrici e strutturali contenuti nelle relazioni di calcolo e nelle tavole progettuali, è seguita una campagna di indagini finalizzata al recupero delle numerose informazioni non direttamente deducibili dai progetti, quando disponibili, approfondendo opportunamente l'indagine sulle strutture di interesse prioritario in relazione alla loro importanza strategica e alla pericolosità sismica del sito.

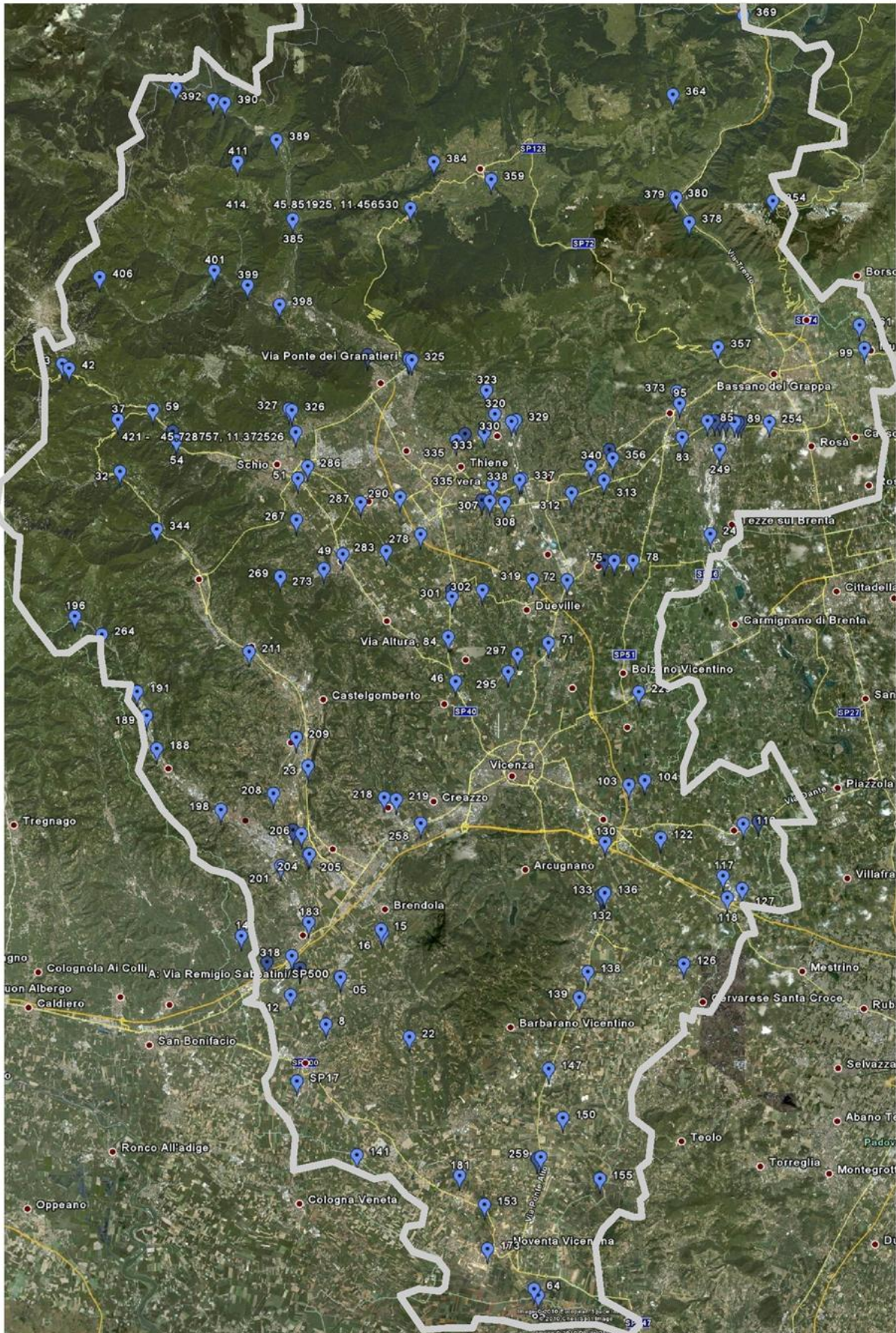
Le opere sono state classificate in funzione dei materiali costitutivi l'impalcato e le opere in elevazione (muratura, c.a., acciaio, legno, pietra) e delle principali tipologie strutturali (semplice appoggio, arco, travata continua).

Per ciascun gruppo, sono stati stabiliti gli elementi strutturali e i meccanismi sismicamente più vulnerabili. In relazione a ciascuna vulnerabilità indagata, sono stati fissati i metodi di analisi e i criteri di verifica.

Data la scala del lavoro, per i ponti semplicemente appoggiati o a travata continua, generalmente si sono svolte analisi lineari, limitando le procedure di analisi statica non lineare alla verifica delle pile e delle spalle e di analisi dinamica non lineare agli appoggi.

In particolare, poi, per i ponti ad arco in muratura e in calcestruzzo non armato, si è ottenuta iterativamente la curva di capacità attraverso la ricerca del moltiplicatore minimo dei carichi orizzontali.





Disposizione 150 ponti nella provincia di Vicenza



## **4.2 Scelta dei ponti all'interno della rete stradale in gestione**

Durante questo studio sono stati analizzati 150 ponti e viadotti localizzati nella provincia di Vicenza, la distribuzione di queste strutture si estende per l'intero territorio della provincia.

I 150 ponti oggetto di indagine sono stati scelti tra le circa 900 opere d'arte presenti lungo le strade provinciali.

La scelta di tali strutture si basa soprattutto sull'importanza dei singoli manufatti all'interno della rete stradale in cui essi sono inseriti, e quindi sul potenziale disagio che causerebbe un danneggiamento degli stessi.

I sistemi di trasporto, infatti, incluse le strade, le autostrade, le ferrovie, gli aeroporti e i porti rappresentano una componente critica dei sistemi infrastrutturali. Essi sono necessari per l'interesse pubblico generale, e in particolare per le attività commerciali, industriali e culturali su scala nazionale ed internazionale, ed anche, dopo un evento disastroso, per facilitare il trasporto di squadre mediche di soccorso, il trasferimento di feriti presso gli ospedali ed i generi di prima necessità. In caso di evento catastrofico (ad esempio terremoto, alluvione ecc.), è di fondamentale importanza che la rete di trasporto rimanga operativa o che la sua funzionalità venga ripristinata nel più breve tempo possibile. Infatti, come è noto, quando una rete stradale viene colpita da un evento sismico rilevante essa può subire un danno severo che ne interrompe il funzionamento provocando importanti conseguenze negative. In particolare l'esperienza ha mostrato come troppo spesso il danno da evento sismico agli elementi della rete stradale (ponti, gallerie, muri di contenimento ecc.) può provocare l'interruzione del traffico generando un impatto negativo sulle attività economiche di una regione ed influenzando negativamente anche sulle attività di emergenza post-sisma e di soccorso. L'entità di tali impatti negativi dipenderà non solo da cause naturali e dalla magnitudo dell'evento sismico ma anche dalle caratteristiche della rete stradale e dal livello di danno delle sue componenti. Fra le componenti ingegneristiche, i ponti sono potenzialmente i più vulnerabili in condizioni sismiche, come dimostrato durante i recenti terremoti in Nord America e in Giappone.

I criteri che hanno guidato la scelta dei ponti oggetto di indagine sono quindi legati soprattutto a:

- la pericolosità sismica del sito nel quale è localizzato il ponte;
- la vulnerabilità sismica del singolo manufatto.

Tali fattori, combinati, rappresentano il rischio sismico per il manufatto di interesse.

Oltre ai suddetti, un altro criterio di valutazione è legato all'importanza del singolo manufatto all'interno del ramo della rete, e alla presenza o meno di percorsi alternativi nel caso di inagibilità del ponte. Tale livello di analisi è di tipo globale su tutta la rete in gestione, e richiede di prendere in considerazione, dato un possibile evento sismico, gli effetti, in termini di costi generalizzati, sulla rete stradale e quindi sugli spostamenti veicolari. In una rete stradale infatti, il danneggiamento di manufatti stradali quali i ponti comportano una perdita sia in termini di tempo che di costo che gli organi amministrativi, le aziende ed i cittadini devono sostenere. Si pensi ad esempio a reti stradali situate in località montane, con poca disponibilità di reti alternative: un eventuale crollo di una struttura comporterebbe un isolamento totale della località. Queste motivazioni hanno rappresentato una base fondamentale per l'individuazione dei punti di interesse in cui la circolazione è elevata e frequente.

Sono stati privilegiati in generale:

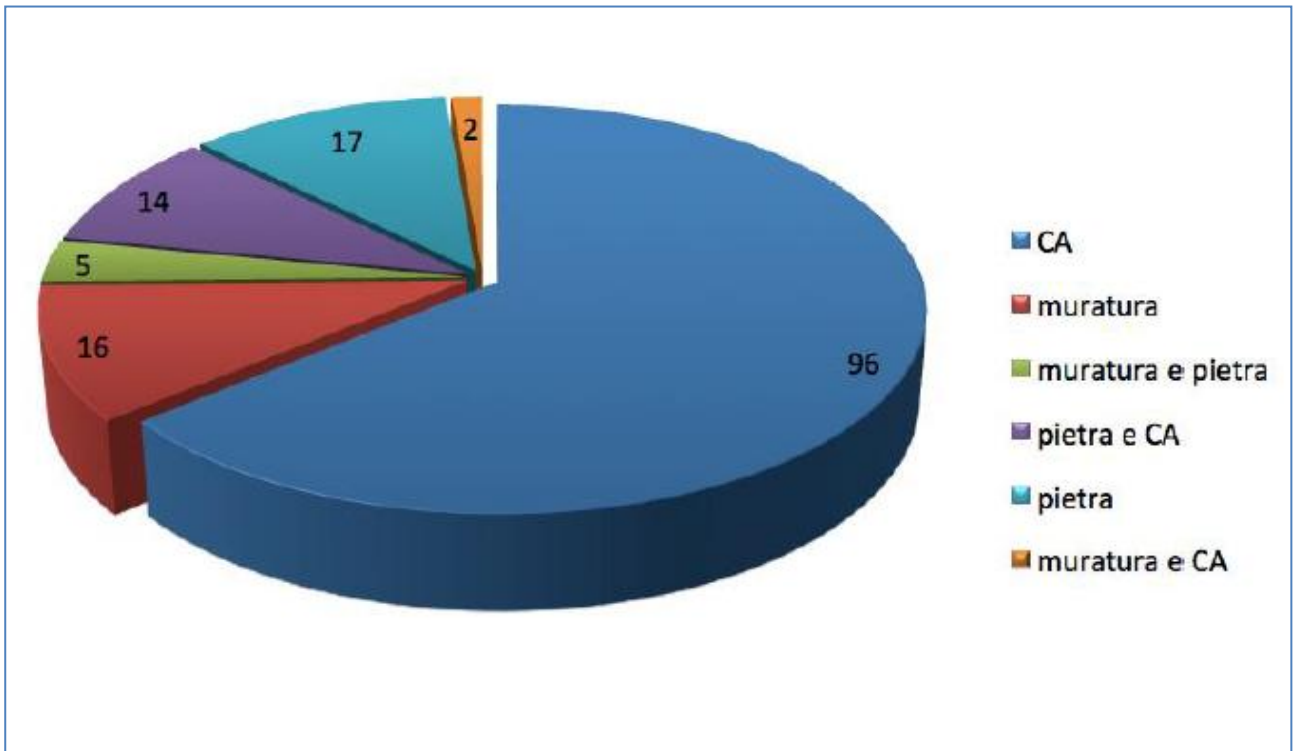
- Zone sismiche con accelerazione al suolo elevate;
- Ponti di grandi dimensioni;
- Ponti disposti in rami di strade provinciali di elevato flusso di circolazione e con velocità medio-alte;
- Tratti di rete montani con pochi percorsi alternativi;
- Ponti costruiti nella prima metà del novecento, o comunque più vecchi;
- Ponti con evidenti carenze costruttive, o fortemente degradati;
- Ponti costruiti con metodologie non adatte a resistere ad azioni sismiche.

### **4.3 Definizione del database**

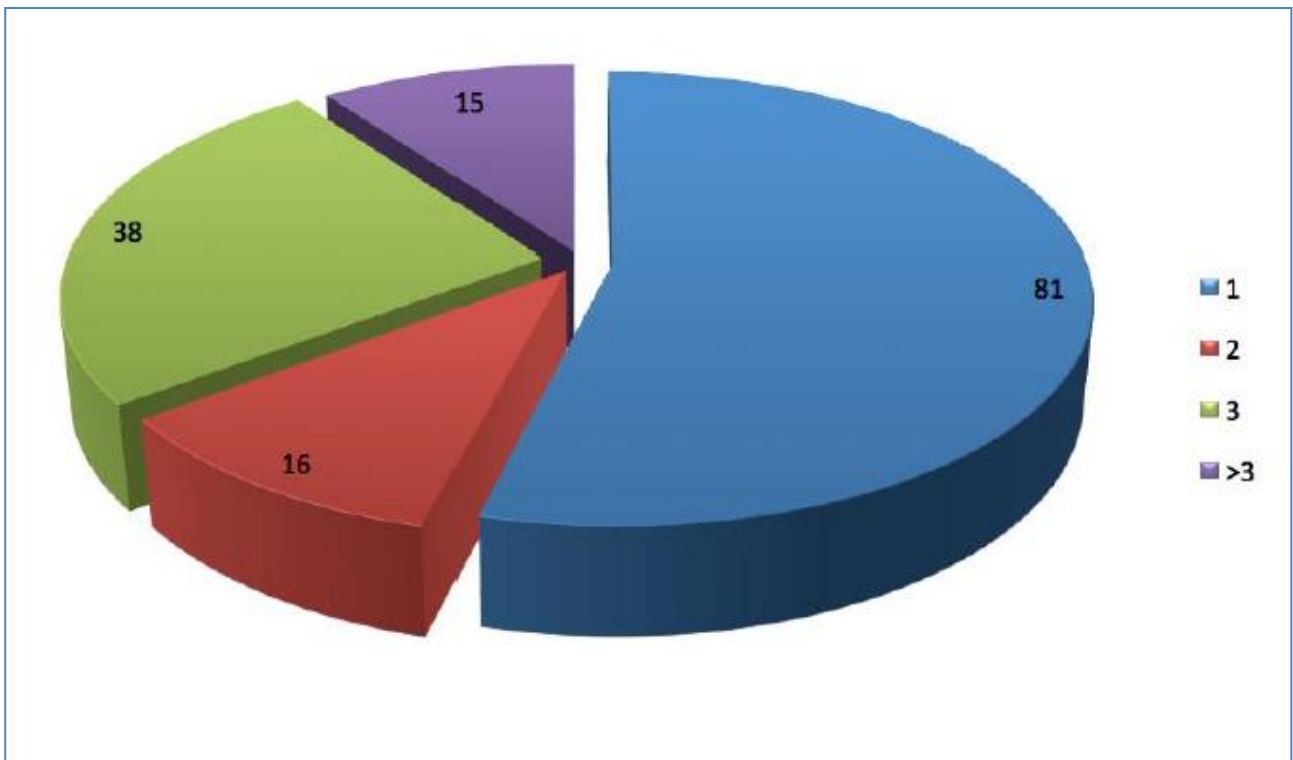
Risulta interessante classificare i ponti in funzione delle caratteristiche più significative.

Nelle figure successive vengono riportati alcuni grafici riassuntivi.

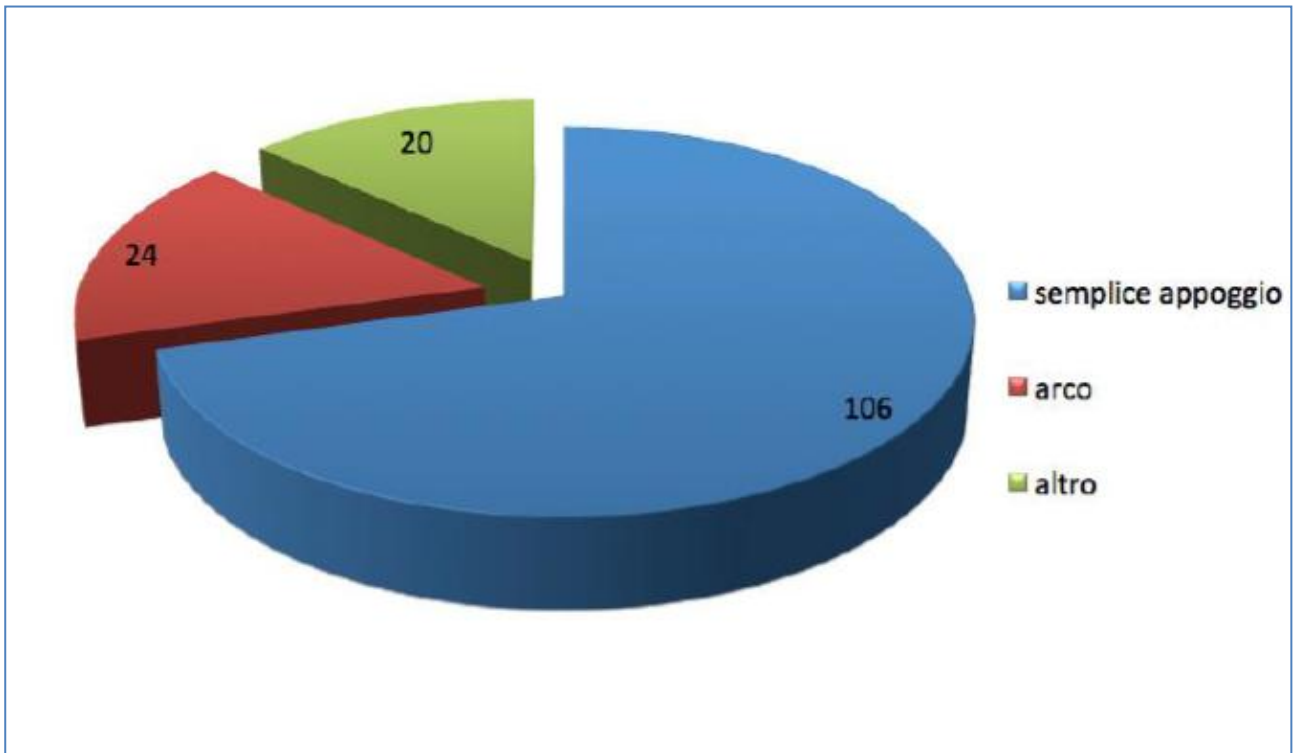
Dai grafici si può vedere come la maggior parte dei ponti si presentino in calcestruzzo armato, con impalcato in semplice appoggio su campata singola. Una percentuale minore, ma in ogni caso significativa, riguarda ponti ad arco in muratura. Di conseguenza si è deciso, per tali tipologie, di predisporre e consolidare una metodologia di analisi semi-automatica, in grado di fornire risultati quantitativi su un elevato numero di ponti.



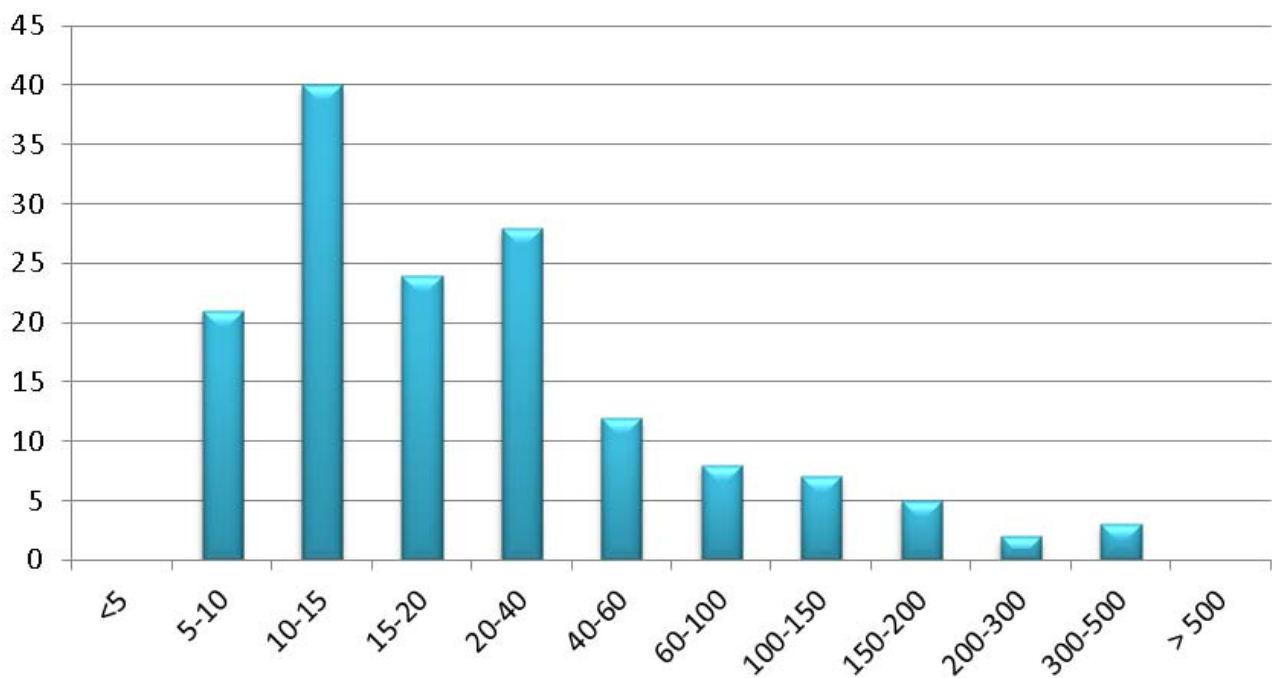
*Distribuzione 150 ponti oggetto di indagine per tipologia della sottostruttura*



*Distribuzione 150 ponti oggetto di indagine per numero di campate*



Distribuzione 150 ponti oggetto di indagine per tipologia di impalcato



Distribuzione 150 ponti oggetto di indagine per lunghezza

#### 4.4 Normativa di riferimento

Le verifiche tecniche oggetto della presente relazione sono state svolte in conformità a quanto stabilito nei commi 3 e 4 dell'art. 2 dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003:

*3. E' fatto obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei rispettivi proprietari [...] sia degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso. Le verifiche di cui al presente comma dovranno essere effettuate entro cinque anni dalla data della presente ordinanza [...].*

*4. In relazione a quanto previsto al comma 3, entro sei mesi dalla data della presente ordinanza il Dipartimento della protezione civile e le regioni provvedono, rispettivamente per quanto di competenza statale e regionale, ad elaborare, sulla base delle risorse finanziarie disponibili, il **programma temporale delle verifiche**, ad individuare le tipologie degli edifici e delle opere che presentano le caratteristiche di cui al comma 3 ed a fornire ai soggetti competenti le necessarie indicazioni per le relative verifiche tecniche, che dovranno stabilire il livello di adeguatezza di ciascuno di essi rispetto a quanto previsto dalle norme.*

Di seguito vengono elencate le norme di riferimento per la determinazione delle azioni e lo svolgimento delle verifiche delle opere in oggetto:

- OPCM 3274 della Presidenza Consiglio dei Ministri del 25 marzo 2003: Normativa sismica
  - Cap. 3;
  - Cap. 11;
  - Allegato 3 "Norme tecniche per il progetto sismico dei ponti";
- DGR - Regione Veneto n. 3645 del 28.11.2003: Allegato A "Categorie di edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali di rilievo fondamentale per la protezione civile; Allegato B "Categorie di edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso"; Allegato C "Indicazioni per le verifiche tecniche da effettuarsi su edifici e opere strategiche o importanti, ai sensi di quanto previsto ai commi 3 e 4 dell'art. 2 dell'ordinanza 3274/2003";
- OPCM 3362 del 08.07.2004: Modalità di attivazione Fondo per investimenti straordinari della Presidenza del Consiglio dei Ministri istituito ai sensi dell'art. 32-bis del decreto legge 30 settembre 2003, n. 269 convertito, con modificazioni, dalla legge 24;
- OPCM 3431 del 03.05.2005: Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";

- DPCM 06/06/2005: Assegnazione alla Regione Veneto di risorse finanziarie ai sensi dell'art. 32-bis del decreto legge 30 Settembre 2003, n. 269, convertito con modificazioni dalla legge 24 Novembre 2003, n. 326;
- DGR - Regione Veneto n. 2954 del 11.10.2005: Graduatoria delle verifiche tecniche (OPCM 3362/04, art. 1, c. 4, lettera a) finanziate con DPCM in data 6 giugno 2005;
- OPCM 3519 del 28.04.2006: Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- D.M. 14 Gennaio 2008: Norme Tecniche per le Costruzioni
  - Cap. 2;
  - Cap. 3 par. 3.2;
  - Cap. 5, par. 5.1;
  - Cap. 7, par. 7.2, 7.3, 7.9;
  - Cap. 8;
  - Cap. 11, par. 11.2, par. 11.10;
  - Allegato B "Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica."
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

## **4.5 Verifica sismica**

Sulla base delle informazioni ottenute in precedenza, l'elevato numero di ponti in esame ha imposto una classificazione tipologica al fine di redigere una serie limitata di "relazioni tipo" il cui schema potesse essere utilizzato per il maggior numero possibile di opere.

A questo proposito sono state di fondamentale importanza valutazioni di tipo qualitativo sui singoli ponti, dettate innanzitutto dall'esperienza professionale. Una volta individuato il comportamento sismico globale e il tipo di vulnerabilità strutturale, è stato possibile associare il comportamento della maggior parte dei ponti a pochi schemi semplificati, utili per l'implementazione di una procedura il più possibile "automatica", che garantisca il rispetto delle scadenze operative.

In particolari sono stati individuati due principali gruppi di ponti, per i quali è stata costruita una relazione tipo:

- Ponti in calcestruzzo armato con schema di trave semplicemente appoggiata;
- Ponti ad arco in muratura, pietra e calcestruzzo non armato.

Per valutare l'affidabilità dei metodi semplificati, per alcuni ponti di riferimento sono state condotte analisi comparative su modelli ad elementi finiti.

La metodologia adottata, qui di seguito descritta, evidenzia le diverse scelte fatte in base alle caratteristiche del ponte e dal tipo di informazioni a disposizione.

### **4.5.1 Descrizione e localizzazione del ponte**

Il ponte viene localizzato attraverso la strada e la chilometrica a disposizione, e di esso viene riportato lo schema descrittivo, realizzato in base al tipo di informazioni a disposizione.

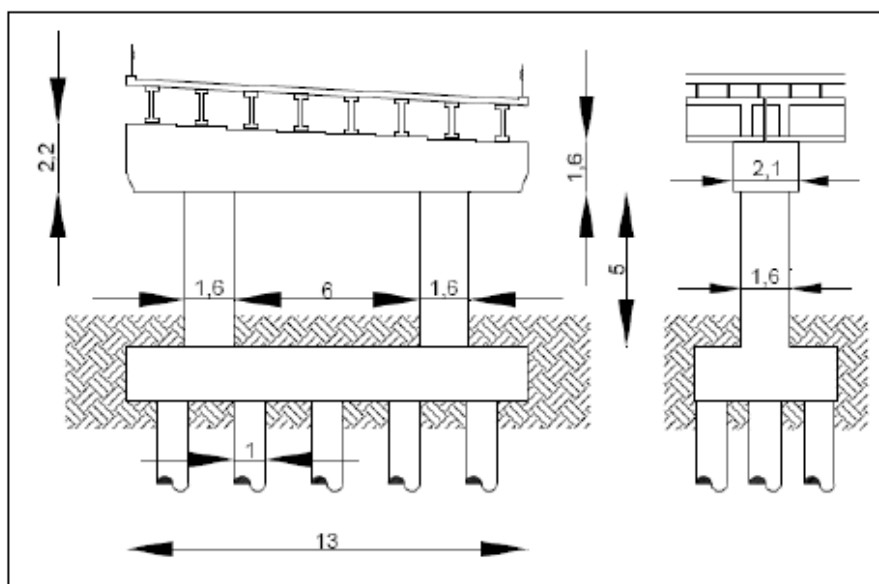
### **4.5.2 Raccolta delle informazioni a disposizione**

I dati raccolti provengono da una o più delle seguenti fonti:

- Progetto originale;
- Rilievi geometrici e fotografici;
- Indagini sperimentali.

	Da progetto originale	Da rilievo geometrico e fotografico	Da indagini sperimentali
<b>Ponti in calcestruzzo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensioni degli elementi strutturali</li> <li>- Dimensioni delle fondazioni</li> <li>- Caratteristiche dei materiali</li> <li>- Caratteristiche delle armature</li> <li>- Caratteristiche del terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensioni degli elementi strutturali (escluse spalle o parti non accessibili)</li> <li>- Livello di degrado degli elementi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensioni degli elementi strutturali</li> <li>- Dimensioni delle fondazioni</li> <li>- Caratteristiche dei materiali</li> <li>- Caratteristiche delle armature</li> <li>- Caratteristiche del terreno</li> </ul>
<b>Ponti in muratura</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensioni degli elementi strutturali</li> <li>- Dimensioni delle fondazioni</li> <li>- Caratteristiche dei materiali</li> <li>- Caratteristiche del terreno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensioni degli elementi strutturali (escluse spalle o parti non accessibili)</li> <li>- Livello di degrado degli elementi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensioni degli elementi strutturali</li> <li>- Dimensioni delle fondazioni</li> <li>- Caratteristiche dei materiali</li> <li>- Caratteristiche del terreno</li> </ul>

*Dati ottenuti da diversi tipi di fonti e di tipologie costruttive*



*Esempio di schema descrittivo del ponte*

Nella maggior parte dei casi, si aveva a disposizione soltanto un rilievo geometrico e fotografico e, pertanto, le informazioni sulla struttura risultavano insufficienti per una verifica sismica. E' stato quindi necessario provvedere alla definizione di criteri che permettessero di fare delle assunzioni il più possibile esatte sugli elementi incogniti.

Tali criteri possono essere ricondotti essenzialmente a:

- Calcolo del ponte con la normativa in vigore nell'epoca di costruzione, con lo scopo di ricondursi ai criteri di dimensionamento originari;
- Assunzione dei dati mancanti sulla base di valori conosciuti di altri ponti, associabili a quello in esame per epoca, dimensioni, caratteristiche strutturali e vicinanza geografica.



### 4.5.3 Caratteristiche del ponte

Dai dati ottenuti con le modalità sopra descritte, vengono identificate le caratteristiche del ponte necessarie per l'analisi:

- Geometria degli elementi strutturali;
- Caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati;
- Accelerazione al suolo;
- Tipo di terreno (in assenza di dati o indicazioni viene assunto un terreno di media consistenza).

Sulla base del tipo di informazioni a disposizione per i manufatti è stato assunto un livello di conoscenza *LCl*. Inoltre, per l'importanza strategica assegnata dalla ragione a questi ponti, si è assunto una classe d'uso pari a 4 e una vita nominale di 100 anni.

### 4.5.4 Analisi

Obiettivo primario dell'analisi è stato quello di determinare se la struttura fosse in grado o meno di resistere all'azione sismica di progetto. Questo obiettivo è stato tradotto nel calcolo del rapporto tra la massima accelerazione al suolo (*PGA*) sopportabile dalla struttura e l'effettiva accelerazione attesa in base alla normativa vigente, rispetto ai tre stati limite previsti: Stato Limite di Danno Limitato, Stato Limite di Danno Severo e Stato Limite di Collasso:

$$\gamma = \frac{PGA_{res}}{PGA_{soll}}$$

Usualmente le verifiche di elementi strutturali fanno riferimento ad un parametro di controllo scelto in base al tipo di elemento, che generalmente è stato identificato in una sollecitazione (per esempio un momento flettente) o un parametro di spostamento. La scelta di svolgere la verifica confrontando i *PGA* si spiega nella volontà di determinare un parametro omogeneo e confrontabile per tutti i tipi di ponti o elementi.

La determinazione del  $PGA_{res}$  della struttura è avvenuta quindi partendo dal parametro resistente generico (momento flettente, spostamento, rotazione etc.) e procedendo a ritroso fino alla corrispondente eccitazione sismica. Nel caso di analisi lineare, è possibile ricondursi al  $PGA_{res}$  tramite la formula:

$$PGA_{res} = \gamma \cdot PGA_{soll} = \frac{R_d}{E_d} \cdot PGA_{soll}$$

dove  $R_d$  ed  $E_d$  sono rispettivamente i parametri di controllo resistenti e sollecitanti.

Per ogni tipologia strutturale riscontrata sono state studiate delle verifiche diverse.

Esse vengono riassunte nella seguente tabella:

	<b>Pile e spalle incastrate al suolo</b>	<b>Pile e spalle a gravità</b>
<b>Ponti in calcestruzzo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Verifica a presso flessione della pila</li><li>- Verifica a taglio della pila</li><li>- Verifica a presso flessione alla base della spalla</li><li>- Verifica a flessione in sommità della spalla</li><li>- Verifica a taglio della spalla</li><li>- Resistenza a trazione del muro andatore (se presente)</li><li>- Perdita di appoggio trasversale (se presente)</li><li>- Urto contro il paraghiaia (se presente)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Verifica a ribaltamento della pila</li><li>- Verifica a slittamento della pila</li><li>- Verifica a ribaltamento della spalla</li><li>- Verifica a slittamento della spalla</li><li>- Perdita di appoggio trasversale (se presente)</li><li>- Urto contro il paraghiaia (se presente)</li></ul>
<b>Ponti in muratura</b>	-	<ul style="list-style-type: none"><li>- Innesco del cinematismo dell'arco</li><li>- Innesco del cinematismo del timpano</li><li>- Verifica a ribaltamento della pila</li><li>- Verifica a slittamento della pila</li><li>- Verifica a ribaltamento della spalla</li><li>- Verifica a slittamento della spalla</li></ul>

Come già detto, per la maggior parte di queste verifiche si è cercato di ricondursi a modelli di calcolo di tipo semplificato, che non implicassero modellazione ad elementi finiti, se non come verifica della affidabilità dei metodi semplificati.

E' stata condotta un'analisi semplificata di tipo statico lineare equivalente per le seguenti verifiche:

- presso flessione, flessione e taglio delle spalle;
- ribaltamento e slittamento delle spalle;
- presso flessione, flessione e taglio delle pile;
- ribaltamento e slittamento delle pile.

In caso di presso flessione di spalle e pile, sono stati utilizzati programmi per il calcolo automatico di momenti e rotazioni resistenti delle rispettive sezioni.

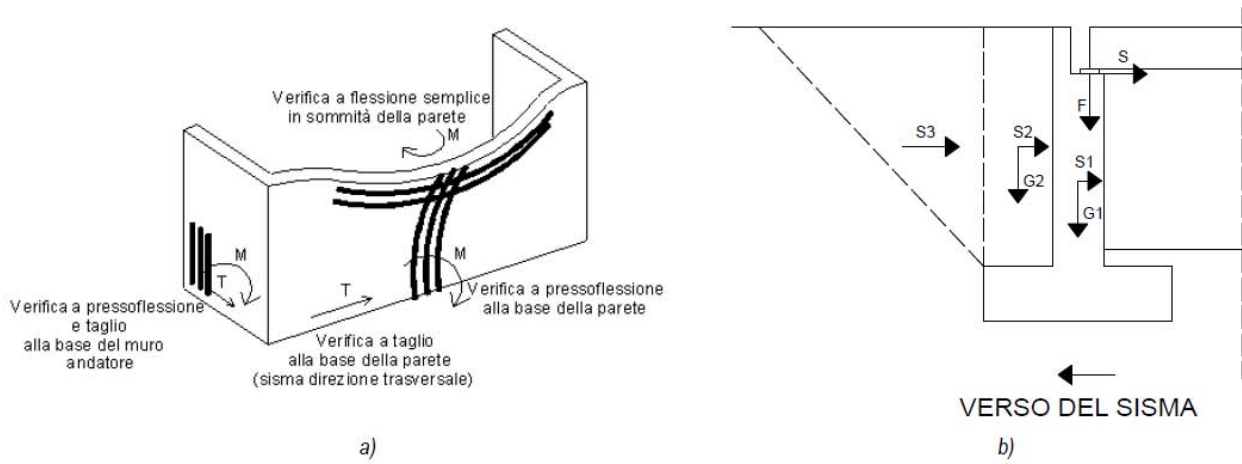
Al fine di trovare il moltiplicare dei carichi per i corrispondenti stati limite. è stata invece condotta un'analisi di

tipo statico lineare equivalente, ma iterativa per i seguenti elementi:

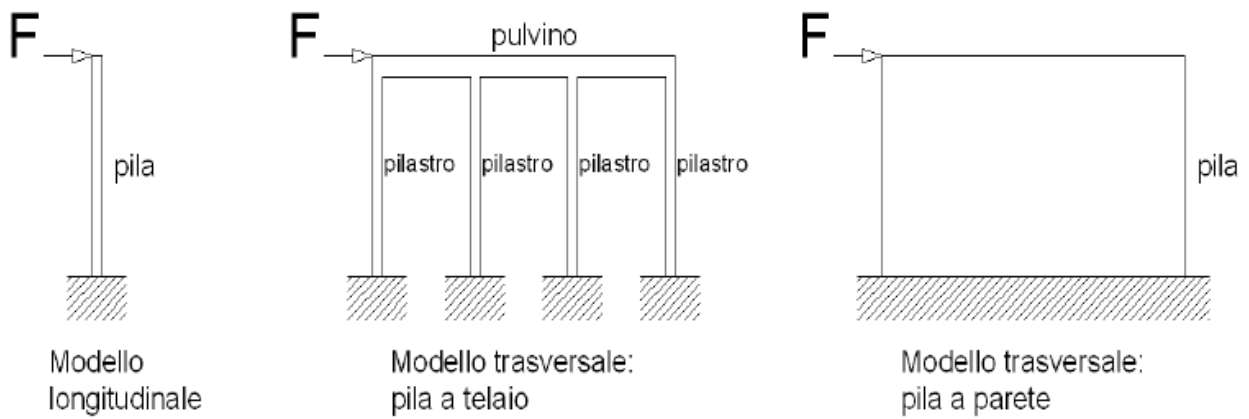
- Innesco del cinematismo dell'arco;
- Innesco del cinematismo del timpano.

E' stata infine condotta un'analisi dinamica non lineare, tramite l'uso di accelerogrammi, per i seguenti elementi:

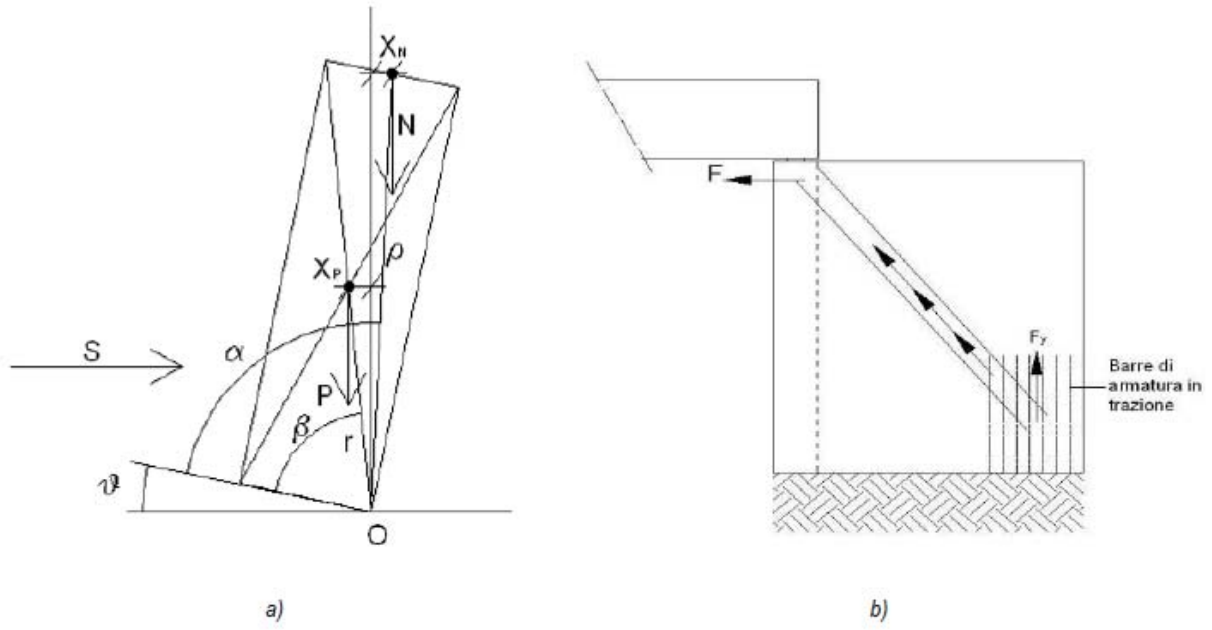
- Perdita di appoggio trasversale;
- Urto contro il paraghiaia.



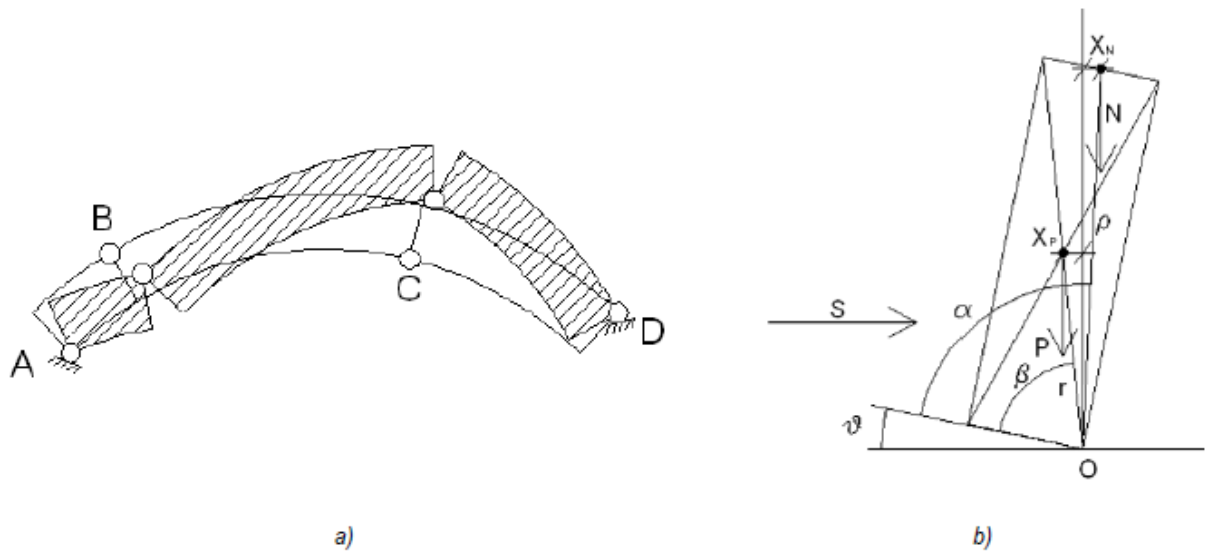
Schemi di alcuni dei modelli utilizzati per il calcolo delle spalle



Schemi di alcuni dei modelli utilizzati per il calcolo delle pile incastrate al suolo



Schemi di alcuni dei modelli utilizzati per il calcolo delle pile a gravità (a) e dei muri andatori (b)



Schemi di alcuni dei modelli utilizzati per il calcolo dell'arco (a) e del timpano (b)

#### **4.5.5 Considerazioni sulle ipotesi semplificative adottate**

Il livello di definizione e di affidabilità dei risultati conseguiti dallo studio è determinato dalle numerose ipotesi semplificative adottate.

In prima analisi, per tutti i ponti, ci si è ricondotti a schemi semplici, propri della tecnica delle costruzioni, al fine di definire una metodologia il più possibile automatica di analisi dei principali elementi costitutivi completi delle loro caratteristiche strutturali (per i ponti in calcestruzzo armato, pila, spalla, muro andatore, impalcato; per i ponti in muratura, arco e timpano). Ad essi sono state associate diverse modalità di analisi (statica/dinamica, lineare/non lineare) in funzione del diverso grado di approssimazione richiesto dal tipo di elemento considerato, come descritto nel paragrafo precedente.

La definizione delle caratteristiche geometriche e di resistenza meccanica è stata di volta in volta basata o sul calcolo del ponte con la normativa in vigore nell'epoca di costruzione, con lo scopo di ricondursi ai criteri di dimensionamento originari o sull'assunzione dei dati mancanti sulla base di valori conosciuti di altri ponti, associabili a quello in esame per epoca, dimensioni, caratteristiche strutturali e vicinanza geografica.

I risultati così ottenuti possono ritenersi esaustivi, ai fini dello studio qui descritto, per i soli ponti riconducibili a tipologie ben note e oggetto di un numero limitato di indagini.

Per i ponti di interesse prioritario, invece, è necessario condurre una serie di indagini approfondite, che permetteranno di verificare le ipotesi semplificative adottate.

#### **4.5.6 Determinazione dell'entità dei costi di intervento**

Basandosi sulle indicazioni contenute nella normativa, tramite l'OPCM 3362/04, che definiva i coefficienti di finanziamento, è stato messo a punto un metodo preliminare per la determinazione sommaria dell'entità dei costi di intervento (costi di adeguamento sismico) da assegnare al ponte sulla base dei suddetti coefficienti di sicurezza. In particolare vengono definiti due parametri, di fatto corrispondenti ai coefficienti di sicurezza già descritti: il parametro  $\alpha_u$  indicatore del rischio di collasso, e il parametro  $\alpha_e$ , indicatore del rischio di inagibilità dell'opera, definiti come:

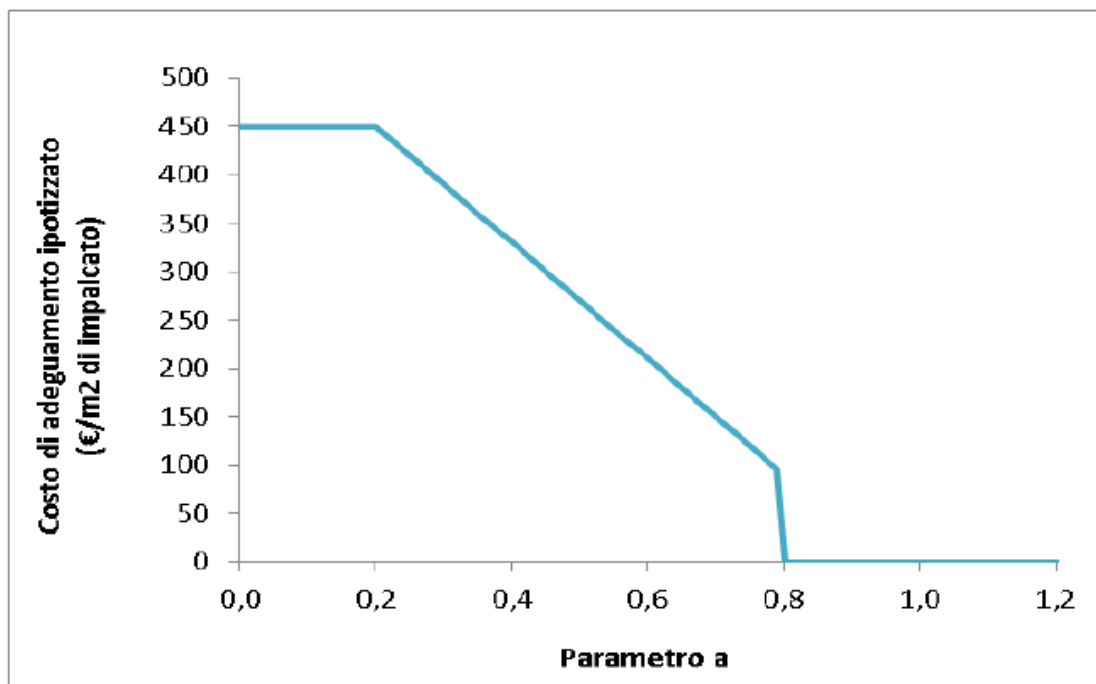
$$\alpha_u = \frac{PGA_{SLU}}{PGA_{10\%}}$$

$$\alpha_e = \frac{PGA_{SLD}}{PGA_{50\%}}$$

Valori prossimi o superiori all'unità caratterizzano casi in cui il livello di rischio è prossimo a quello richiesto dalle norme; valori bassi, prossimi a zero, caratterizzano casi ad elevato rischio.

Pertanto l'importo del costo di intervento attribuibile è proporzionale a tali parametri. Secondo la normativa sopra citata, si definisce un parametro alfa pari al minore di  $\alpha_u$  o  $\alpha_e$  nel caso di opere di interesse strategico.

L'ammontare del costo di intervento va calcolato come frazione di un costo convenzionale stimato, stabilito dalla norma in 450 euro/mq, applicato alla superficie di impalcato.



Per ciascun intervento il costo di intervento ipotizzato è pari:

- Al 100% del costo convenzionale se il parametro  $\alpha$  è inferiore a 0.2;
- A 0 se il parametro  $\alpha$  è maggiore di 0.8;
- A  $[(380-400\alpha)/3]$  % se il parametro  $\alpha$  è compreso fra 0.2 e 0.8.

Conoscendo quindi la superficie dell'impalcato, è immediata la determinazione dell'entità del costo di intervento.

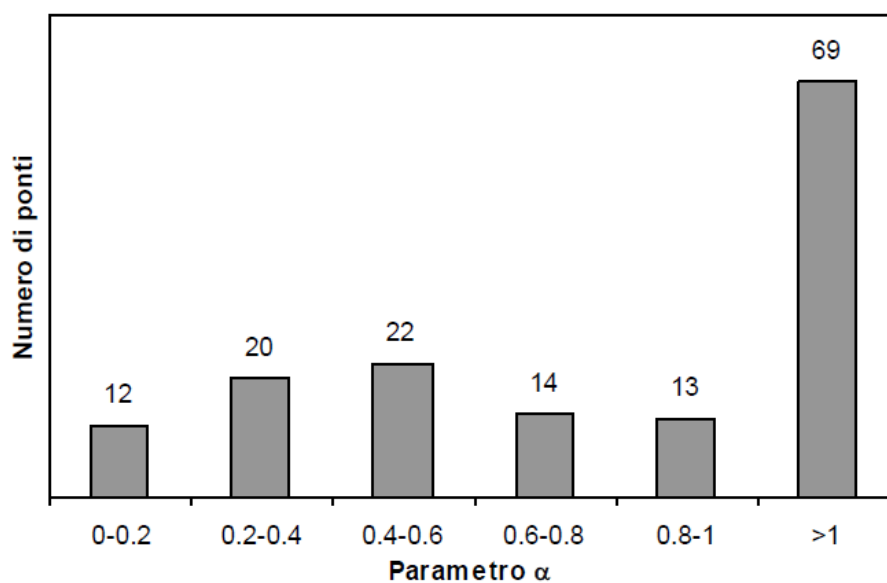
La decisione del legislatore di definire lo "stato" delle opere (e quindi l'entità del costo di intervento) mettendo sullo stesso piano il valore dell'indicatore di danno e quello di collasso, non appare immediatamente come la più logica, data il diverso peso economico dell'adeguamento necessario nei due casi.

A tale proposito, è intenzione degli autori sviluppare una metodologia per il calcolo del rischio sismico che misuri l'entità economica dell'adeguamento richiesto anche in funzione del tipo di danno causato dal sisma, oltre che in relazione alla funzionalità della stessa rete stradale e delle attività (economiche e non) che ne fanno uso.

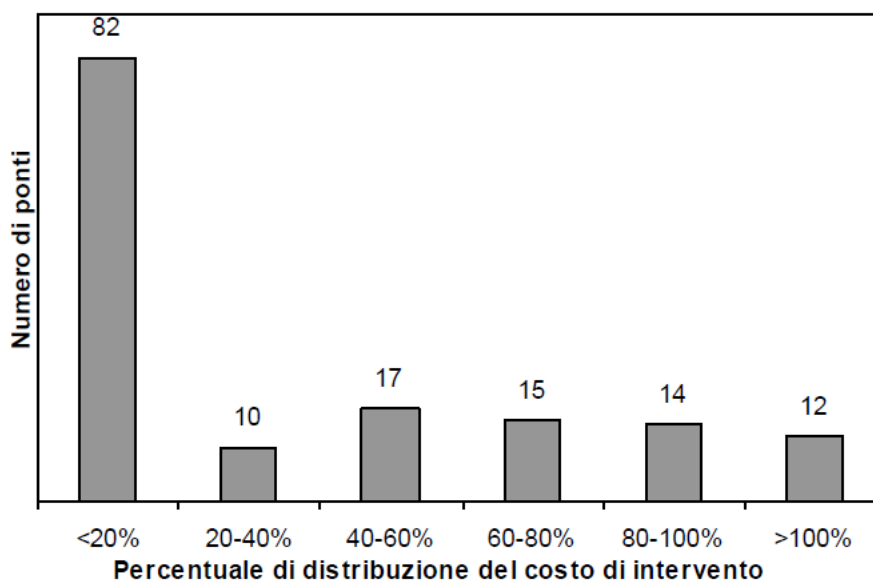
Di seguito viene riportato un sunto dei risultati ottenuti e dei relativi costi di intervento ipotizzati.

	Tipo di vulnerabilità	Numero di ponti
Ponti in calcestruzzo: pile e spalle	Pressoflessione della pila	1
	Taglio della pila	22
	Pressoflessione alla base della spalla	32
	Taglio della spalla	30
Ponti in muratura (pile e spalle a gravità)	Innesco del cinematismo dell'arco	4
	Innesco del cinematismo del timpano	20
	Ribaltamento della pila	2
	Slittamento della pila	2
	Ribaltamento della spalla	4
	Slittamento della spalla	4

Ripartizione delle vulnerabilità tra i 150 ponti oggetto di indagine



Ripartizione dei coefficienti di sicurezza per i 150 ponti oggetto di indagine



Distribuzione del costo di intervento come percentuale del costo convenzionale (450 €/m<sup>2</sup> di impalcato) per i 150 ponti oggetto di indagine

## **5 Gestione dei dati sui ponti presenti lungo le direttrici di traffico analizzate ed inserite nel database**

### **5.1 Sintesi delle vie di traffico ispezionate**

Nel seguente paragrafo si sono raccolti i dati del monitoraggio lungo le principali vie di comunicazione di tutta la regione Veneto, sintetizzando e analizzando le caratteristiche peculiari di ponti e viadotti presenti nel database messo a punto presso il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova.

Nella seguente tabella sono riportate le vie di comunicazione oggetto del database:



Gestione di ponti e viadotti nella provincia di Vicenza:  
 integrazione del database e approfondimenti sugli aspetti economici

Relazione n°	N. scheda	DENOMINAZIONE	COMUNE	SP	Spalla		Pila		Ponte ad arco		Pile/Spalle in muratura		a min.	costo di adeguamento
					T	F	T	F	A	Timp	R	S		
67	206	Torrente Poscola	Montecchio Maggiore	1	1.29	1.05	-	-	-	-	-	-	1.05	0.00
68	207	Torrente Agno	Montecchio Maggiore	1	-	-	-	-	-	-	1.86	1.61	1.61	0.00
54	110	Fiume Puina	Camisano Vicentino	3	9.35	7.45	-	-	-	-	-	-	7.45	0.00
3	65	Ponte sul Frassine	Noventa Vicentina	4	1.50	0.85	1.39	4.25	-	-	-	-	0.85	0.00
129	181	Scolo Alonte	Sossano	4	4.74	4.97	-	-	-	-	-	-	4.74	0.00
136	141	Scolo Ronego	Orgiano	5	-	-	-	-	2.38	1.30	-	-	1.30	0.00
124	155	Scolo Liona	Agugliaro	7	-	-	-	-	-	-	3.33	1.27	1.27	0.00
125	147	Canale Bisatto	Barbarano Vicentino	8	-	-	-	-	3.16	0.56	-	-	0.56	25618.48
61	150	Canale Bisatto	Albettone	10	44.64	26.53	-	-	-	-	-	-	26.53	0.00
14	287	Torrente Timonchio	Marano Vicentino	10	2.63	2.58	1.26	8.90	-	-	-	-	1.26	0.00
78	290	Autostrada Valdastico A31	Marano Vicentino	10	2.75	2.11	0.12	1.78	-	-	-	-	0.12	392904.00
77	286	Strada	Schio	10	0.64	0.42	-	-	-	-	-	-	0.42	100124.59
45	15	Canale Brendola	Brendola	12	3.32	5.28	-	-	-	-	-	-	3.32	0.00
46	16	Canale Brendola	Brendola	12	3.27	3.42	-	-	-	-	-	-	3.27	0.00
12	273	Torrente Giarra	Monte di Malo	12	-	5.35	-	-	1.61	0.85	-	-	0.85	0.00
60	139	Canale Bisatto	Nanto	15	17.25	19.79	-	-	-	-	-	-	17.25	0.00
59	138	Canale Bisatto	Castegnero	16	11.89	13.77	-	-	-	-	-	-	11.89	0.00
42	12	Scolo Rio	Lonigo	17	14.71	5.27	-	-	-	-	-	-	5.27	0.00
149	-	Torrente	Lonigo	17	1.66	1.28	1.74	20.05	-	-	-	-	1.28	0.00
2	10	Rio Acquetta	Montebello Vicentino	18	-	5.22	-	-	1.43	0.98	-	-	0.98	0.00
81	318	Autostrada A4	Montebello Vicentino	18	0.87	0.48	0.25	2.73	-	-	-	-	0.25	241984.33
1	8	Torrente Guà	Sarego	18	-	-	-	-	-	-	1.48	1.98	1.48	0.00
41	7	Torrente Guà	Sarego	18	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	152874.00
6	136	Fiume Bacchiglione	Longare	20	1.61	1.98	1.91	4.06	-	-	-	-	1.61	0.00
117	132	Canale Bisatto	Longare	20	-	-	-	-	2.58	0.30	-	-	0.30	24563.79
118	134	Scolo	Longare	20	-	-	-	-	-	-	1.00	1.11	1.00	0.00
135	133	Scolo	Longare	20	-	-	-	-	6.82	0.51	-	-	0.51	14350.98

*Gestione di ponti e viadotti nella provincia di Vicenza:  
integrazione del database e approfondimenti sugli aspetti economici*

55	117	Ferrovia Mi-Ve	Grisignano di Zocco	<b>21</b>	0.68	0.50	2.73	5.28	-	-	-	-	0.50	66185.27
56	118	Autostrada A4	Grisignano di Zocco	<b>21</b>	0.99	0.60	0.24	3.30	-	-	-	-	0.24	218549.85
57	126	Fiume Bacchiglione	Montegalda	<b>21</b>	-	-	-	-	-	-	3.33	2.71	2.71	0.00
58	130	Autostrada A4	Torri di Quartesolo	<b>21</b>	0.43	0.39	0.46	3.23	-	-	-	-	0.39	274100.71
44	14	Scolo Rio	Gambellara	<b>22</b>	6.58	8.14	-	-	-	-	-	-	6.58	0.00
43	13	Torrente Chiampo	Montebello Vicentino	<b>22</b>	2.33	2.16	-	-	-	-	-	-	2.16	0.00
119	127	Ferrovia MI - VE	Grisignano di Zocco	<b>23</b>	-	-	-	-	-	-	1.52	1.20	1.20	0.00
120	112	Fiume Ceresone	Camisano Vicentino	<b>24</b>	-	-	-	-	-	-	2.01	1.80	1.80	0.00
5	122	Ferrovia MI -VE e strada	Grumolo delle Abbadesse	<b>26</b>	1.41	0.80	1.73	3.83	-	-	-	-	0.80	208251.12
4	103	Fiume Bacchiglione	Torri di Quartesolo	<b>28</b>	2.33	0.78	0.35	2.05	-	-	-	-	0.35	380476.12
121	104	Corso d'acqua	Torri di Quartesolo	<b>28</b>	-	-	-	-	-	-	1.36	1.57	1.36	0.00
72	229	Ferrovia VI-TV	Bolzano Vicentino	<b>30</b>	0.56	1.51	0.29	1.75	-	-	-	-	0.29	291019.86
8	205	Torrente Guà	Montecchio Maggiore	<b>33</b>	2.13	3.66	3.35	4.76	-	-	-	-	2.13	0.00
66	204	Torrente Poscola	Montecchio Maggiore	<b>33</b>	-	-	-	-	-	-	6.27	0.61	0.61	26976.96
65	201	Torrente Chiampo	Montorso	<b>33</b>	0.76	0.57	-	-	-	-	-	-	0.57	63489.64
139	258	Strada	Altavilla	<b>34</b>	0.81	0.64	-	-	-	-	-	-	0.64	30489.51
138	219	Torrente Valdiezza	Creazzo	<b>35</b>	2.14	2.16	-	-	-	-	-	-	2.14	0.00
70	218	Torrente Onte	Sovizzo	<b>35</b>	2.73	2.14	-	-	-	-	-	-	2.14	0.00
69	211	Torrente Agno	Cornedo Vicentino	<b>38</b>	-	-	-	-	-	-	1.81	1.36	1.36	0.00
35	295	Fiume bacchiglione	Caldogno	<b>41</b>	0.63	0.90	0.68	7.26	-	-	-	-	0.63	64674.94
133	46	Ponte sull'Orolo	Costabissara	<b>46</b>	-	-	-	-	-	-	2.22	1.22	1.22	0.00
134	49	Pista ciclabile e condotta fognaria	Malo	<b>46</b>	-	-	-	-	-	-	2.51	1.61	1.61	0.00
33	51	Torrente leogra	Schio	<b>46</b>	0.89	1.06	0.51	9.55	-	-	-	-	0.51	236425.39
50	54	Torrente Leogra	Torrebelvicino	<b>46</b>	-	-	-	-	0.72	1.28	-	-	0.72	16789.08
51	56	Torrente Leogra	Torrebelvicino	<b>46</b>	-	-	-	-	-	-	1.41	0.49	0.49	30636.00
49	43	Ponte Verde	Valli del Pasubio	<b>46</b>	-	-	-	-	-	-	1.73	1.53	1.53	0.00
52	59	Torrente Leogra	Valli del Pasubio	<b>46</b>	-	-	-	-	-	-	0.78	1.04	0.78	23495.70
132	42	Corso d'acqua	Valli del Pasubio	<b>46</b>	-	-	-	-	-	-	0.85	0.83	0.83	0.00
75	269	Valle della Rana	Monte di Malo	<b>47</b>	0.70	0.71	-	-	-	-	-	-	0.70	20484.51
74	267	Ponte sul Giarra	San Vito di Leguzzano	<b>47</b>	2.51	2.13	-	-	-	-	-	-	2.13	0.00

*Gestione di ponti e viadotti nella provincia di Vicenza:  
integrazione del database e approfondimenti sugli aspetti economici*

13	283	Ponte sul Timonchio	Malo	<b>48</b>	0.70	0.67	1.10	2.76	-	-	-	-	0.67	110248.13
76	278	Autostrada Valdastico A31	Malo	<b>48</b>	2.75	2.27	0.12	1.81	-	-	-	-	0.12	382725.00
79	301	Torrente Timonchio	Villaverla	<b>50</b>	1.73	1.59	-	-	-	-	-	-	1.59	0.00
141	302	Torrente Igna	Villaverla	<b>50</b>	1.92	1.16	2.01	6.15	-	-	-	-	1.16	0.00
71	222	Torrente Longhella	Bassano del Grappa	<b>52</b>	6.10	6.00	2.14	4.12	-	-	-	-	2.14	0.00
38	244	Fiume Brenta	Pozzoleone	<b>54</b>	0.78	0.57	0.23	1.61	-	-	-	-	0.23	1761228.00
11	249	Fiume Brenta	Cartigliano	<b>58</b>	0.87	0.62	0.23	1.58	-	-	-	-	0.23	1184195.52
73	254	SP248	Bassano	<b>59</b>	1.46	1.19	-	-	-	-	-	-	1.19	0.00
112	356	Canale	Mason Vicentino	<b>61</b>	31.32	49.02	1.27	4.02	-	-	-	-	1.27	0.00
82	319	Autostrada Valdastico A31	Dueville	<b>63</b>	1.14	1.35	0.12	1.69	-	-	-	-	0.12	382458.60
19	411	Valle	Tonezza del Cimone	<b>64</b>	1.09	1.50	1.62	6.49	-	-	-	-	1.09	0.00
91	326	Torrente Timonchio	Timonchio	<b>65</b>	0.64	0.57	-	-	-	-	-	-	0.57	12510.85
92	327	Torrente Timonchio	Timonchio	<b>65</b>	-	-	-	-	-	-	2.00	1.22	1.22	0.00
93	334	Torrente asciutto	Grumolo delle Abbadesse	<b>67</b>	-	-	-	-	-	-	0.90	1.03	0.90	0.00
94	333	Canale	Grumolo delle Abbadesse	<b>67</b>	-	-	-	-	4.94	0.80	-	-	0.80	0.00
29	329	Fiume Astico	Zugliano	<b>67</b>	3.28	7.32	0.21	1.79	-	-	-	-	0.21	839932.62
95	330	Canale	Zugliano	<b>67</b>	-	-	-	-	-	-	1.94	1.80	1.80	0.00
30	320	Fiume Astico	Lugo di Vicenza	<b>68</b>	3.34	3.60	0.16	1.41	-	-	-	-	0.16	324324.00
96	323	Torrente	Lugo di Vicenza	<b>68</b>	1.07	1.45	-	-	-	-	-	-	1.07	0.00
83	373	Roggia	Marostica	<b>71</b>	4.80	4.18	-	-	-	-	-	-	4.18	0.00
90	359	Corso d'acqua in secca	Asiago	<b>72</b>	0.64	0.44	-	-	-	-	-	-	0.44	20288.68
89	357	Corso d'acqua	Bassano del Grappa	<b>72</b>	0.64	0.38	-	-	-	-	-	-	0.38	28087.56
16	378	Torrente	Oliero	<b>73</b>	1.43	1.61	2.46	25.87	-	-	-	-	1.43	0.00
25	380	Corso d'acqua	Valstagna	<b>73</b>	-	3.22	-	-	1.21	0.74	-	5.42	0.74	8177.40
88	379	Canale	Valstagna	<b>73</b>	1.90	1.62	-	-	-	-	-	-	1.62	0.00
99	161	Torrente Volon	Mussolente	<b>75</b>	1.41	1.16	-	-	-	-	-	-	1.16	0.00
23	369	Torrente Lastego	Enego	<b>76</b>	-	-	-	-	2.83	-	-	-	2.83	0.00
32	364	Viadotto di valgadena	Enego	<b>76</b>	0.39	9.02	-	-	-	-	-	-	0.39	1089573.12
21	384	Ponte di Roana	Roana	<b>78</b>	-	1.35	-	-	0.38	-	-	36.87	0.38	296144.64
22	385	Fiume Astico	Valdastico	<b>78</b>	-	0.14	-	-	0.21	-	-	-	0.14	68040.00

*Gestione di ponti e viadotti nella provincia di Vicenza:  
integrazione del database e approfondimenti sugli aspetti economici*

18	398	Torrente	Arsiero	<b>80</b>	-	5.09	-	-	0.73	1.52	-	-	0.73	25001.46
85	390	Torrente Astico	Pedemonte	<b>85</b>	14.02	6.71	-	1.63	-	-	-	-	1.63	35712.00
86	392	Torrente	Pedemonte	<b>85</b>	5.48	6.46	-	-	-	-	-	-	5.48	0.00
87	394	Torrente Astico	Pedemonte	<b>85</b>	2.31	1.93	-	-	-	-	-	-	1.93	0.00
10	209	Torrente Agno	Trissino	<b>87</b>	1.30	1.25	-	-	-	-	-	-	1.25	0.00
9	208	Ponte delle Tezze	Arzignano	<b>89</b>	1.98	2.89	0.33	1.09	-	-	-	-	0.33	353623.20
142	344	Torrente	Valdagno	<b>100</b>	0.96	0.49	-	-	-	-	-	-	0.49	23231.63
15	297	Torrente Timonchio	Dueville	<b>101</b>	2.62	1.86	1.32	4.81	-	-	-	-	1.32	0.00
7	198	Fiume Chiampo	Arzignano	<b>104</b>	0.17	1.38	-	-	-	-	1.50	1.25	0.17	110295.00
104	313	Torrente Lavarda	Breganze	<b>111</b>	-	-	-	-	1.94	0.59	-	-	0.59	27158.73
107	312	Torrente Chiavone	Breganze	<b>111</b>	45.61	39.15	-	-	-	-	-	-	39.15	0.00
39	311	Ponte sul astico	Sarcedo	<b>111</b>	0.76	0.55	0.23	1.61	-	-	-	-	0.23	767262.06
80	307	Torrente Igna	Sarcedo	<b>111</b>	0.92	0.91	-	-	-	-	-	-	0.91	0.00
105	305	SP "Via delle Monache"	Sarcedo	<b>111</b>	3.13	1.18	-	-	-	-	-	-	1.18	0.00
106	308	SP63 "Preara"	Sarcedo	<b>111</b>	3.96	5.61	-	-	-	-	-	-	3.96	0.00
122	259	Canale Fiumicello	Campiglia dei Berici	<b>113</b>	-	-	-	-	-	-	2.45	1.59	1.59	0.00
123	260	Canale Frassenella	Campiglia dei Berici	<b>113</b>	6.55	14.01	-	-	-	-	-	-	6.55	0.00
97	354	Torrente di S.Felicita	Solagna	<b>148</b>	-	-	-	-	-	-	0.87	1.32	0.87	0.00
48	32	Ponte Verde	Recoaro Terme	<b>246</b>	-	8.64	-	-	5.78	0.49	-	2.50	0.49	59464.20
47	23	Ponte su via Poscola	Trissino	<b>246</b>	1.10	0.96	-	-	-	-	-	-	0.96	0.00
131	37	Corso d'acqua	Valli del Pasubio	<b>246</b>	0.94	0.51	-	-	-	-	-	-	0.51	28461.56
111	71	Ferrovia Schio - VI	Dueville	<b>248</b>	6.59	6.57	1.39	6.54	-	-	-	-	1.39	0.00
100	95	Torrente Longhella	Marostica	<b>248</b>	-	-	-	-	2.41	0.61	-	-	0.61	17687.57
98	99	Torrente Giarone	Mussolente	<b>248</b>	-	-	-	-	2.41	0.58	-	-	0.58	25245.60
36	72	Ponte sull' Astico	Sandrigo	<b>248</b>	0.78	0.57	0.23	1.59	-	-	-	-	0.23	1010570.90
108	74	Fiume Tèsina	Sandrigo	<b>248</b>	12.67	25.94	0.52	2.57	-	-	-	-	0.52	60736.24
109	75	Torrente Laverda	Sandrigo	<b>248</b>	6.23	3.65	-	-	-	-	-	-	3.65	0.00
110	78	Torrente Longhella	Sandrigo	<b>248</b>	1.61	6.60	-	-	-	-	-	-	1.61	0.00
150	-	Ponte dei Granatieri	Caltrano	<b>349</b>	-	-	1.82	1.11	-	-	0.48	0.36	0.36	0.00
148	-	Torrente	Coldogno	<b>349</b>	-	-	-	-	-	-	0.85	0.92	0.85	0.00
145	414	Ponte Ghelpack	Roana	<b>349</b>	-	-	-	-	1.28	0.27	-	-	0.27	31469.26

*Gestione di ponti e viadotti nella provincia di Vicenza:  
integrazione del database e approfondimenti sugli aspetti economici*

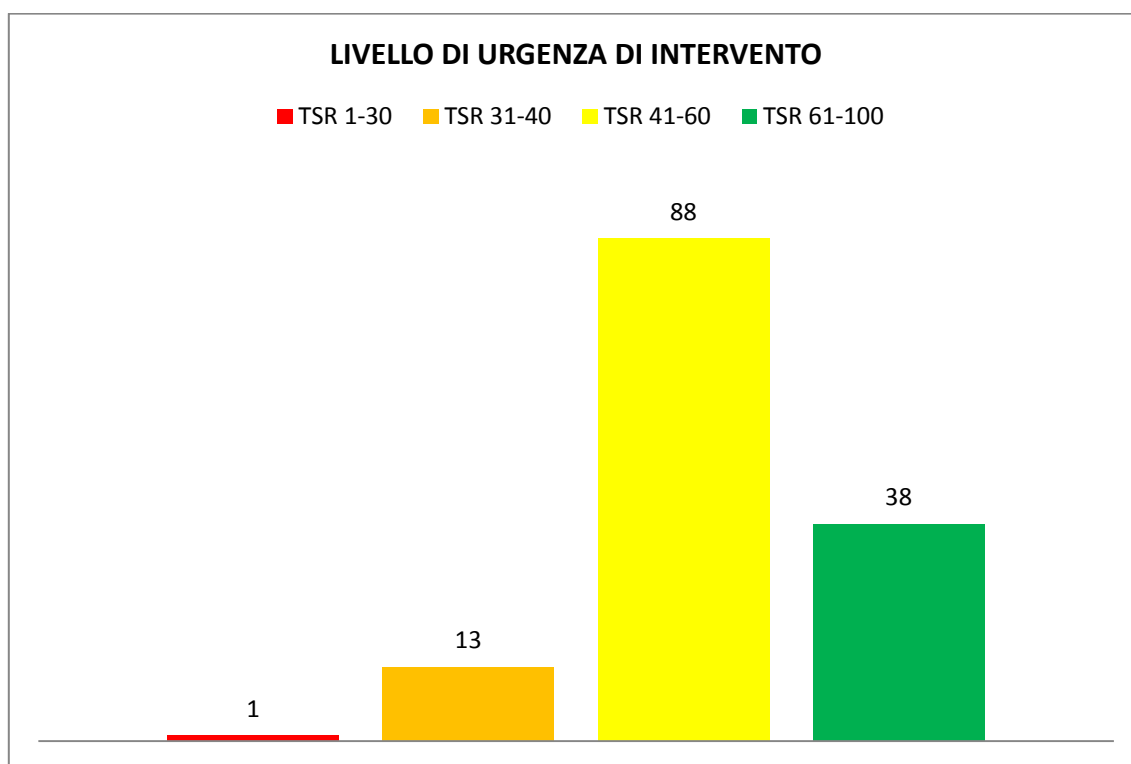
147	-	Ponte sul Timonchio	Villaverla	<b>349</b>	-	-	-	-	-	1.06	0.78	0.78	15238.80	
31	420	Viadotto di sant'agata	Piovene rocchette	<b>350</b>	0.18	4.92	-	-	-	-	-	0.18	841500.00	
146	421	Ponte sul Timonchio	Santorso	<b>350</b>	-	-	-	-	-	1.22	1.27	1.22	0.00	
40	5	Fiume Brendola	Sarego	<b>500</b>	-	-	-	-	3.34	0.46	-	0.46	73735.20	
84	401	Torrente Posina	Arsiero	<b>8182</b>	0.60	0.43	-	-	-	-	-	0.43	23790.45	
143	399	Torrente Rio Freddo	Arsiero	<b>8182</b>	-	-	-	-	4.95	0.65	-	0.65	14783.15	
144	406	Ruscello in Secca	Posina	<b>8182</b>	1.75	1.78	-	-	-	-	-	1.75	0.00	
17	389	Fiume Astico	San Pietro	<b>8493</b>	-	7.83	-	-	1.57	1.21	-	1.21	0.00	
130	22	Canale Liona	San Germano dei Berici	<b>12V</b>	1.50	0.86	-	-	-	-	-	0.86	0.00	
26	86	Bacino embrifero e due strade	Bassano del Grappa	<b>248V</b>	1.02	0.63	0.18	1.45	-	-	-	0.18	1107450.00	
27	87	Svincolo SP248	Bassano del Grappa	<b>248V</b>	1.42	1.04	-	-	-	-	-	1.04	0.00	
28	88	Fiume Brenta	Bassano del Grappa	<b>248V</b>	1.00	1.03	0.28	1.76	-	-	-	0.28	1845733.54	
37	85	Torrente Longhella	Bassano del Grappa	<b>248V</b>	0.71	0.53	0.18	1.26	-	-	-	0.18	622269.00	
101	89	Roggia Munara	Bassano del Grappa	<b>248V</b>	-	-	-	-	1.65	0.46	-	0.46	33251.68	
102	90	Strada comunale Cartigliana	Bassano del Grappa	<b>248V</b>	-	-	-	-	3.27	0.89	-	0.89	0.00	
103	91	Roggia Dolcina	Bassano del Grappa	<b>248V</b>	-	-	-	-	5.13	0.71	-	0.71	15659.03	
53	83	Strada SP60 - Nove	Marostica	<b>248V</b>	0.77	0.57	-	-	-	-	-	0.57	60319.89	
137	196	Corso d'acqua	Crespadoro	<b>31-43</b>	-	-	-	-	2.82	0.50	-	0.50	37246.79	
34	183	Torrente chiampo	Montebello Vicentino	<b>31-43</b>	0.89	1.03	0.24	1.61	-	-	-	0.24	500568.12	
62	188	Torrente Chiampo	Chiampo	<b>31-43</b>	1.32	0.99	-	-	-	-	-	0.99	0.00	
63	189	Ponte degli Zoccolari	Chiampo	<b>31-43</b>	2.23	2.23	-	-	-	-	-	2.23	0.00	
64	191	Corso d'acqua	San Pietro Mussolino	<b>31-43</b>	3.96	3.44	-	-	-	-	-	3.44	0.00	
140	264	Corso d'acqua	Crespadoro	<b>43V</b>	-	-	-	-	-	-	0.58	0.71	0.58	12166.66
24	325	Fiume Astico	Caltrano	<b>II</b>	-	-	-	-	1.52	3.79	-	-	1.52	0.00
126	64	Fiume Ronego	Noventa Vicentina	<b>IV</b>	-	-	-	-	1.80	0.58	-	-	0.58	20637.04
114	335	Fiume	Breganze	<b>VIII</b>	3.28	4.66	-	-	-	-	-	-	3.28	0.00
115	338	Canale	Breganze	<b>VIII</b>	-	-	-	-	1.89	0.36	-	-	0.36	24981.07
113	341	Canale	Mason Vicentino	<b>VIII</b>	5.56	5.53	1.30	5.88	-	-	-	-	1.30	0.00
116	340	Canale	Mason Vicentino	<b>VIII</b>	2.23	2.37	-	-	-	-	-	-	2.23	0.00
20	337	Fiume Astico	Sarcedo	<b>VIII</b>	-	0.07	-	0.18	3.99	-	-	-	0.07	457660.13
127	173	Fiume Alonte	Noventa Vicentina	<b>XI</b>	4.47	3.05	-	-	-	-	-	-	3.05	0.00

## 5.2 Trattazione statistica dei dati raccolti

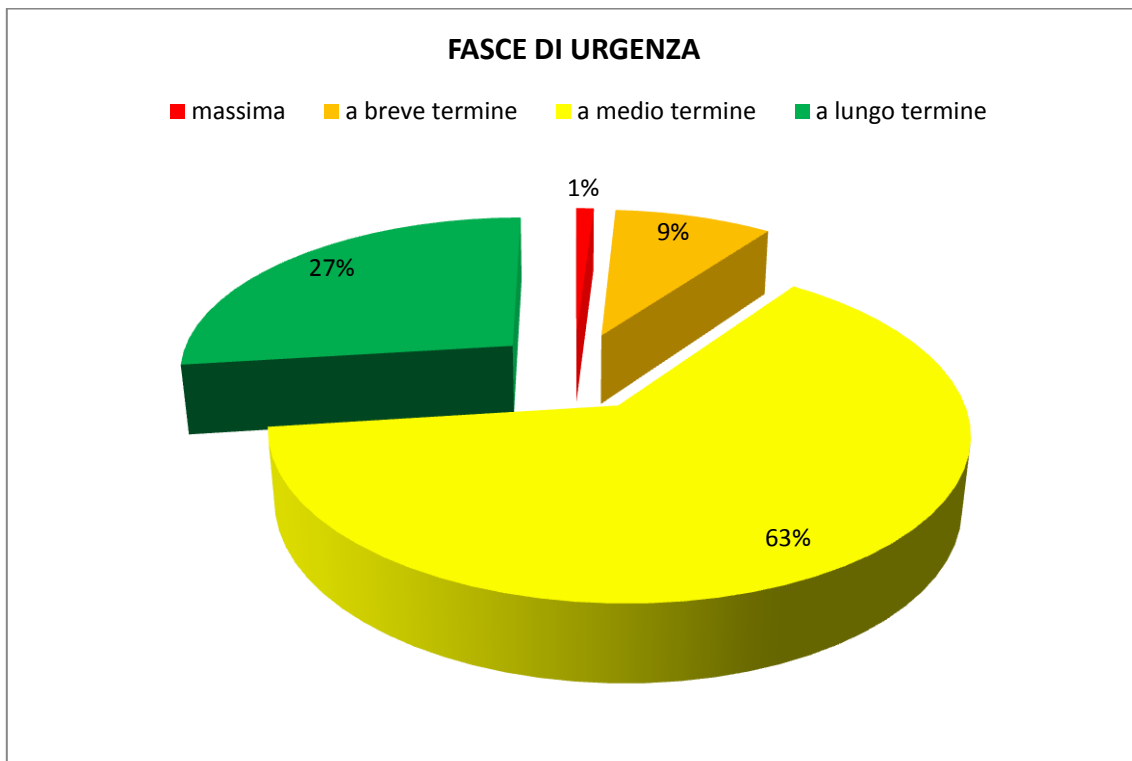
La trattazione statistica dei dati raccolti riguarda in realtà 140 ponti dei 150 iniziali presi in considerazione, in quanto il materiale fotografico era insufficiente per poter effettuare delle valutazioni significative, considerando quindi i ponti esclusi, fuorvianti ai fini del lavoro.

### 5.2.1 Suddivisione dei ponti in fasce di urgenza

I dati raccolti sono serviti anche per suddividere tutte le opere d'arte ispezionate in base alle fasce di urgenza per intervalli di manutenzione: da massima urgenza (indicato con il colore rosso) ad intervento a lungo termine (indicato con il colore verde). I seguenti grafici riportano, tramite istogramma e diagramma a torta, la suddivisione sopraccitata e le varie percentuali, evidenziando che la maggior parte dei manufatti si trova nella fascia di intervento a medio termine.



*Suddivisione della totalità dei manufatti (140) sulla base della fascia di urgenza di intervento valutata con il valore del TSR*



*Suddivisione della totalità dei manufatti (140) sulla base della percentuale di ponti presenti in ognuna delle quattro fasce*

Esaminando i dati ricavati si nota che:

- Per i ponti con urgenza di intervento massima lo stato di deterioramento è condizionato da un'inadeguatezza o inefficienza cronica degli elementi secondari, affiancata da deficienze strutturali. Causa di gravi danni è la mancanza di un adeguato impianto di smaltimento delle acque meteoriche e l'inefficienza o assenza di appoggi e giunti che vanno poi a compromettere la perfetta funzionalità degli elementi principali, poiché favoriscono corrosione e degrado dei materiali, stati di coazione non previsti, maggiori vibrazioni con fenomeni di fatica indotti.
- I manufatti con urgenza a medio termine sono strutture che dal punto di vista strutturale sono in condizioni piuttosto buone ma durante la loro vita non hanno ricevuto un'adeguata manutenzione e soprattutto hanno elementi secondari inadeguati; altre importanti cause di degrado sono rappresentate da mancanza e/o non funzionalità degli apparecchi di appoggio e appunto, rappresentano i punti deboli del sistema ponte. Ciò è causato da interventi che, in molti casi, dovrebbero prevedere la completa rimozione e successiva installazione di elementi nuovi, anziché una loro riparazione, spesso poco appropriata.
- Per la quasi totalità delle opere prese in esame, al di là della loro fascia di urgenza, i guard-rail non sono rispondenti alla normativa così come è notevole la mancanza di marciapiedi per permettere il passaggio in sicurezza di pedoni nonché degli operatori preposti al controllo, nonostante il D.M. 4/5/1990 ne faccia specifico riferimento.

## 6 Analisi dei costi

### 6.1 Costo di manutenzione

#### 6.1.1 Costi di manutenzione - TSR

Sulla base dei valori, di carattere economico, ottenuti dalle schede di valutazione (forniti in formato excel), siamo passati alla ricerca di eventuali curve di tendenza che mettono in relazione il parametro *TSR* (Total Sufficiency Rating) e il *costo/mq* di manutenzione dei ponti presi in esame.

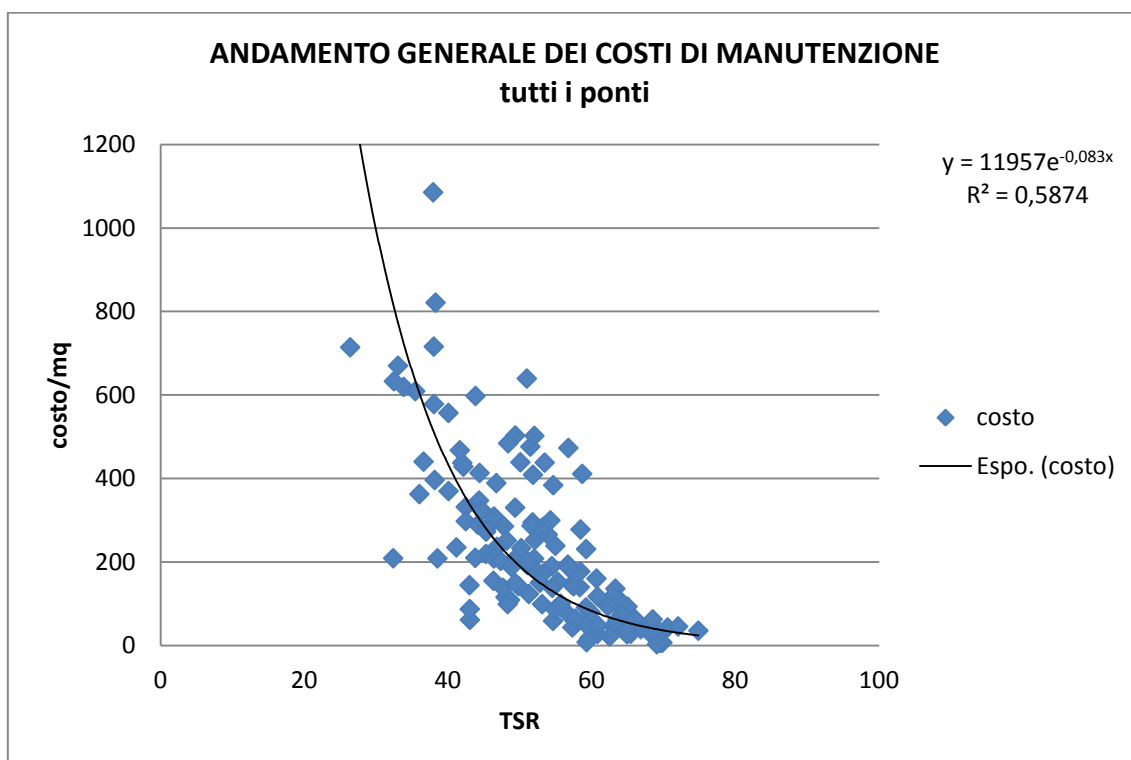
Il *costo/mq* di manutenzione è ottenuto dividendo il costo totale manutenzione con la superficie della soletta del ponte in oggetto. Il costo totale di manutenzione è la sommatoria dei costi dei singoli elementi (elementi longitudinali, pila, soletta, spalla, ...) con l'aggiunta del 3% rappresentato dal costo di impianto del cantiere.

I valori ottenuti riguardano in realtà 140 ponti dei 150 iniziali presi in considerazione, in quanto il materiale fotografico era insufficiente per poter effettuare delle valutazioni significative, considerando quindi i ponti esclusi, fuorvianti ai fini del lavoro.

Andiamo a vedere quale tipo di andamento si è ottenuto considerando tutte le tipologie dell'impalcato:

- Ponti in ca-cap;
- Ponti in muratura;
- Ponti in acciaio.

I punti del grafico corrispondono ai 140 ponti effettivi.





In ascissa è posto il parametro *TSR*, da un valore minimo di 0 a uno massimo di 100.

In ordinata si è posto come variabile dipendente costo/mq di manutenzione, qui non superiamo il valore massimo di 1200 euro/mq.

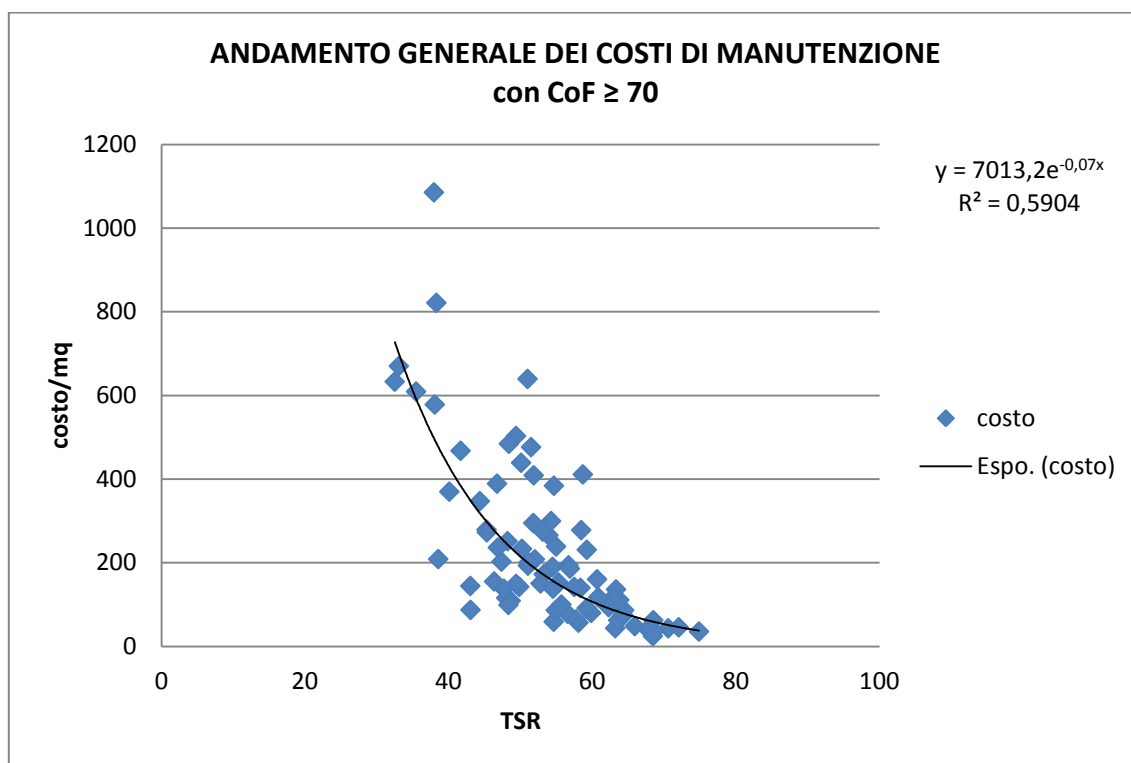
L'andamento è di tipo esponenziale, nel nostro caso abbiamo approssimato con una curva con indice di determinazione  $R^2=0.5874$ .

All'interno delle schede viene indicato il valore del coefficiente CoF (Confidence Factor), uno dei coefficienti che andrà ad influenzare il valore finale del parametro *TSR*, è una sorta di grado di significatività dipendente dal numero di elementi che siamo riusciti a valutare.

Partendo sempre dai 140 ponti effettivi si è andato a considerare quelli con una valutazione il più possibile completa, considerando quindi i ponti che presentano  $CoF \geq 70$ .

Facendo questo tipo di filtraggio dei dati otteniamo 80 ponti su cui evidenziare la tendenza.

Questi ponti sono solamente in ca-cap e in muratura, questo vuol dire che quelli in acciaio non presentano una completa documentazione tale da superare la condizione  $CoF \geq 70$ .



In ascissa è posto il parametro *TSR*, da un valore minimo di 0 a uno massimo di 100.

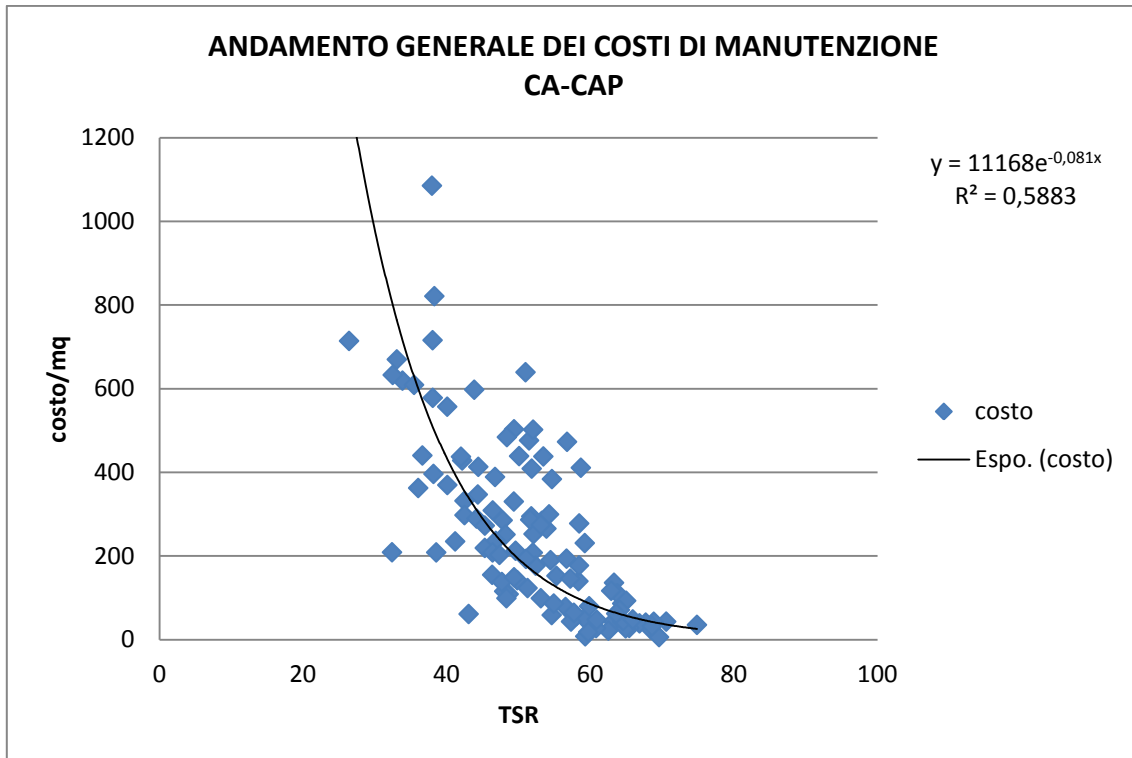
In ordinata si è posto come variabile dipendente costo/mq di manutenzione, qui non superiamo il valore massimo di 1200 euro/mq.

L'andamento rimane di tipo esponenziale, nel nostro caso abbiamo approssimato con una curva con indice di determinazione  $R^2=0.5904$ .

Andiamo a vedere ora gli andamenti dei costi nello specifico, ovvero concentrandoci solo sui ponti in ca-cap. In questi ponti rientrano quelli con schema statico:

- semplice appoggio;
- viadotti a conci;
- solettone;
- arco a muro chiuso.

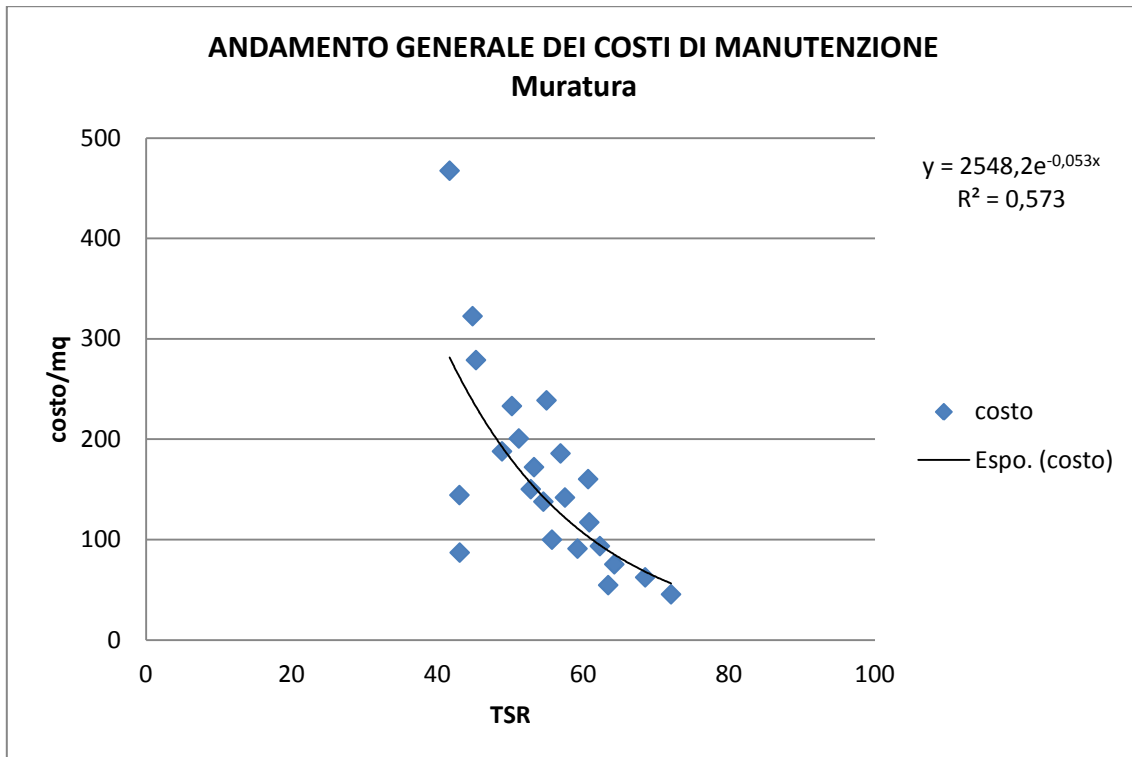
I ponti in ca- cap sono 112, quindi quasi la totalità dei dati a disposizione.



L'andamento è di tipo esponenziale, nel nostro caso abbiamo approssimato con una curva con indice di determinazione  $R^2=0.5883$ .

Andiamo a vedere ora gli andamenti dei costi nello specifico, ovvero concentrandoci solo sui ponti in muratura.

I ponti in muratura, tutti con schema ad arco, sono 23 quindi una percentuale non del tutto trascurabile.



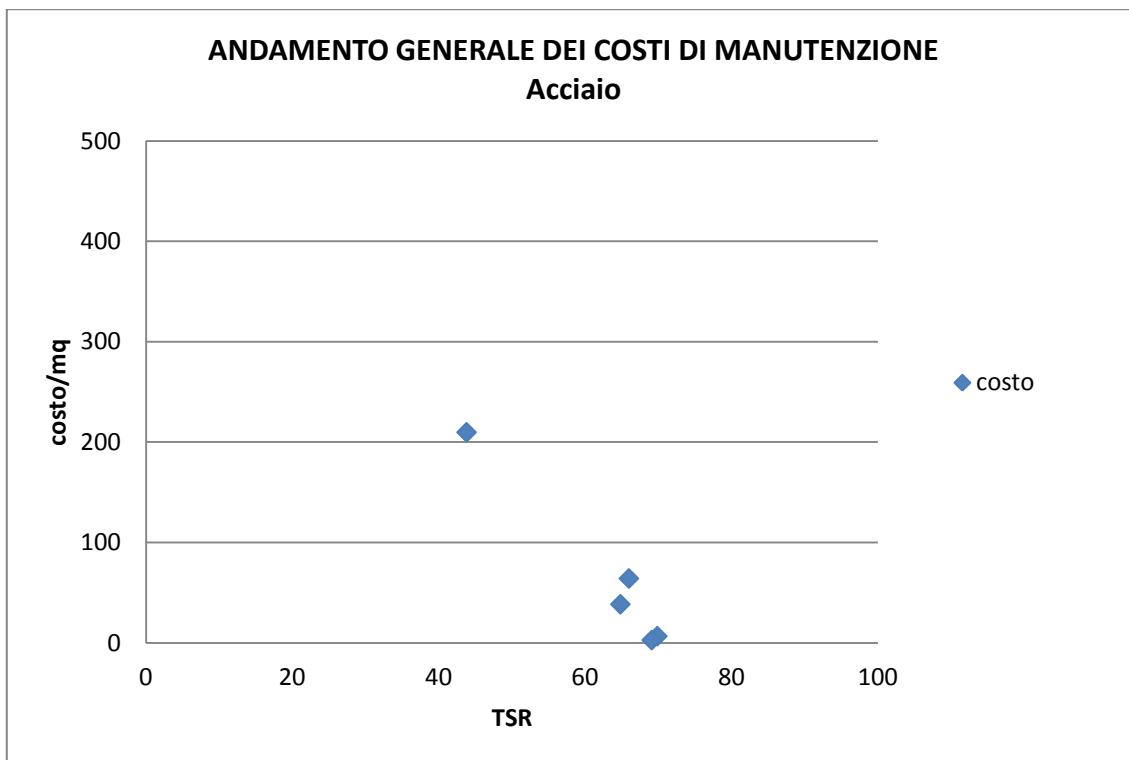
In ascissa è posto il parametro *TSR*, da un valore minimo di 0 a uno massimo di 100.

In ordinata si è posto come variabile dipendente costo/mq di manutenzione, qui non superiamo il valore massimo di 500 euro/mq.

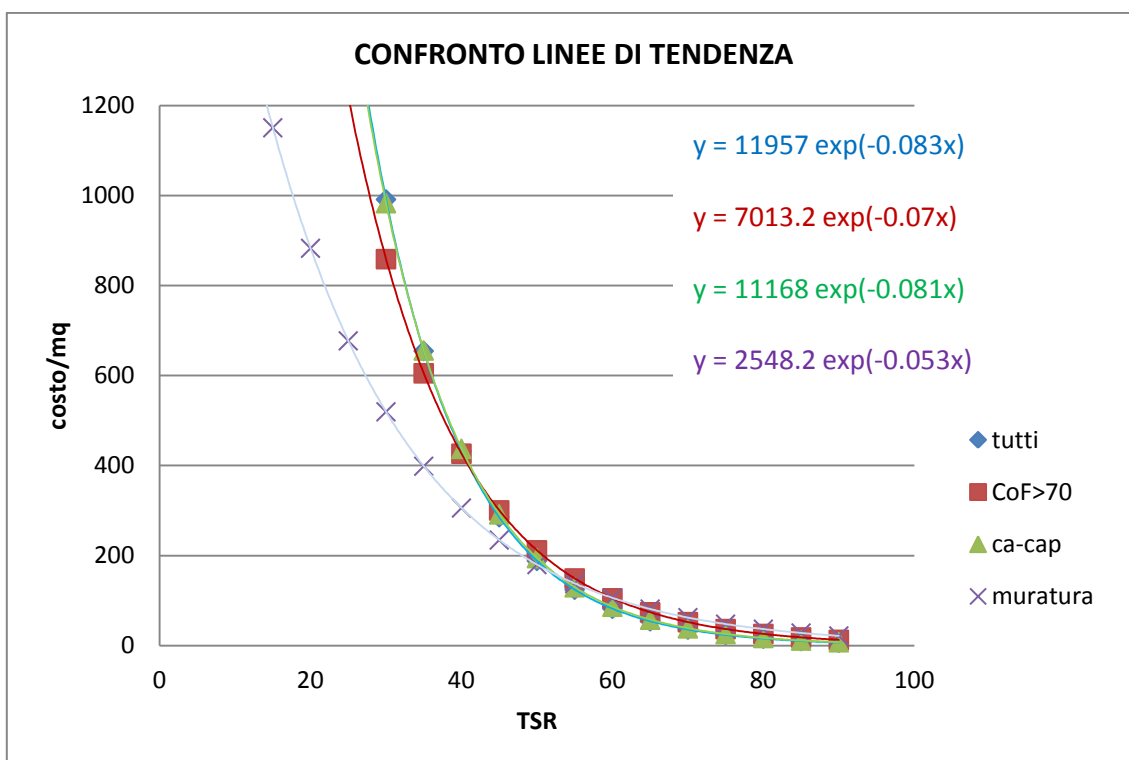
L'andamento è di tipo esponenziale, nel nostro caso abbiamo approssimato con una curva con indice di determinazione  $R^2=0.5730$ .

Andiamo a vedere ora gli andamenti dei costi nello specifico, ovvero concentrandoci solo sui ponti in acciaio.

Il numero dei ponti in acciaio è esiguo (sono 5 su 140), e non si riesce a determinare una curva di tendenza.



Vediamo ora graficamente il confronto, dove possibile, tra le varie curve ottenute dai precedenti grafici.



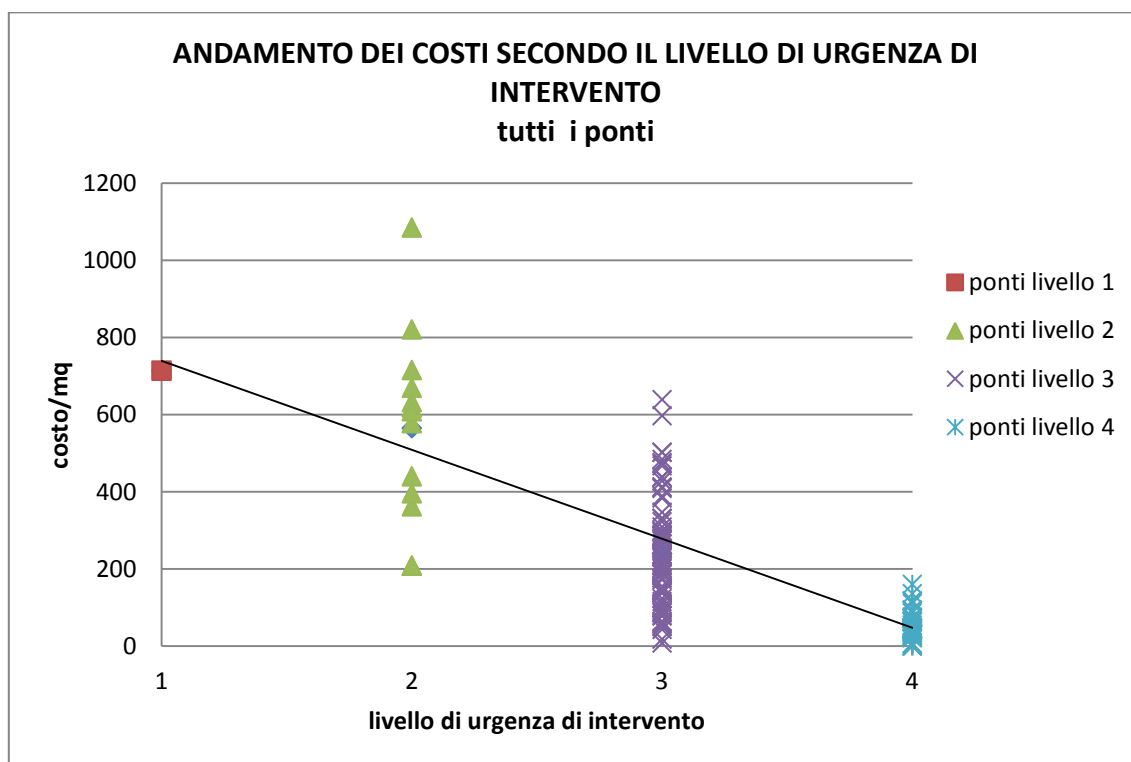
Si nota che per costi superiori a 200 euro/mq la curva *Espo.(muratura)* in violetto risulti più distaccata dalle altre; le rimanenti curve risultano reciprocamente vicine in quanto influenzate dalla massiccia presenza di ponti in ca-cap.

### 6.1.2 Costi di manutenzione – livelli di urgenza di intervento

Sulla base dell'analisi degli interventi previsti, sono nati i grafici seguenti in cui si associano alle diverse fasce di urgenza dei valori di costo al m<sup>2</sup> di superficie di impalcato.

Per costruire l'andamento qualitativo dei costi secondo il livello di urgenza di intervento si è andato a considerare, per ciascuno dei quattro livelli il costo medio dei ponti.

La scelta degli enti gestori deve essere quella di investire nella manutenzione preventiva, quando non direttamente in fase di progettazione, evitando lo stanziamento di grosse cifre in un futuro prossimo.

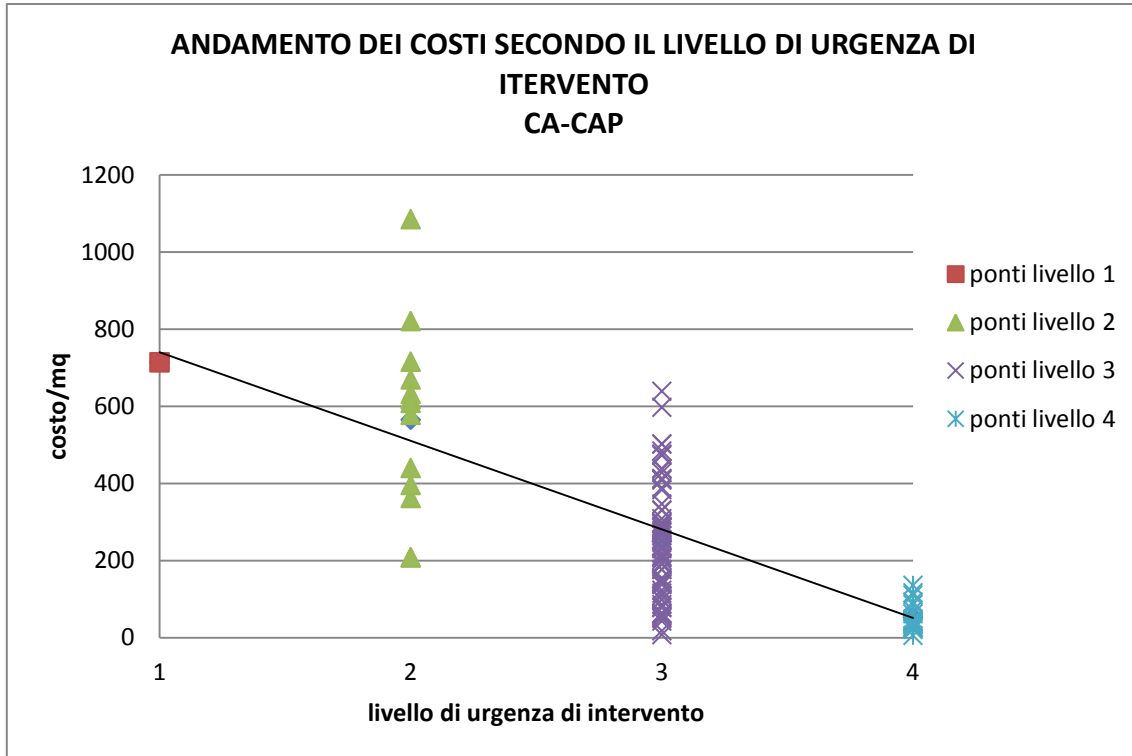


I valori di costo possono essere così suddivisi:

- Poco più di 50 euro/m<sup>2</sup> per la fascia di urgenza a lungo termine o con più alto livello di efficienza (TSR);
- circa 240 euro/m<sup>2</sup> per la fascia di urgenza a medio termine;
- poco più di 560 euro/m<sup>2</sup> per la fascia di urgenza a breve termine;
- circa 715 euro/m<sup>2</sup> per la fascia di massima urgenza.

Poiché i manufatti in ca – cap sono i più diffusi, si è ritenuto opportuno ricavarne la curva costi-livello di efficienza.

Per costruire l'andamento qualitativo dei costi secondo il livello di urgenza di intervento si è andato a considerare, per ciascuno dei quattro livelli il costo medio dei ponti.



I valori di costo possono essere così suddivisi:

- poco più 50 euro/m<sup>2</sup> per la fascia di urgenza a lungo termine o con più alto livello di efficienza (TSR);
- circa 250 euro/m<sup>2</sup> per la fascia di urgenza a medio termine;
- poco più 560 euro/m<sup>2</sup> per la fascia di urgenza a breve termine;
- circa 715 euro/m<sup>2</sup> per la fascia di massima urgenza.

In sostanza rispetto ai valori precedentemente ottenuti da tutti i ponti, cambia soltanto il costo del terzo livello d'urgenza che risulta superiore di una decina di euro al m<sup>2</sup> di superficie di impalcato.

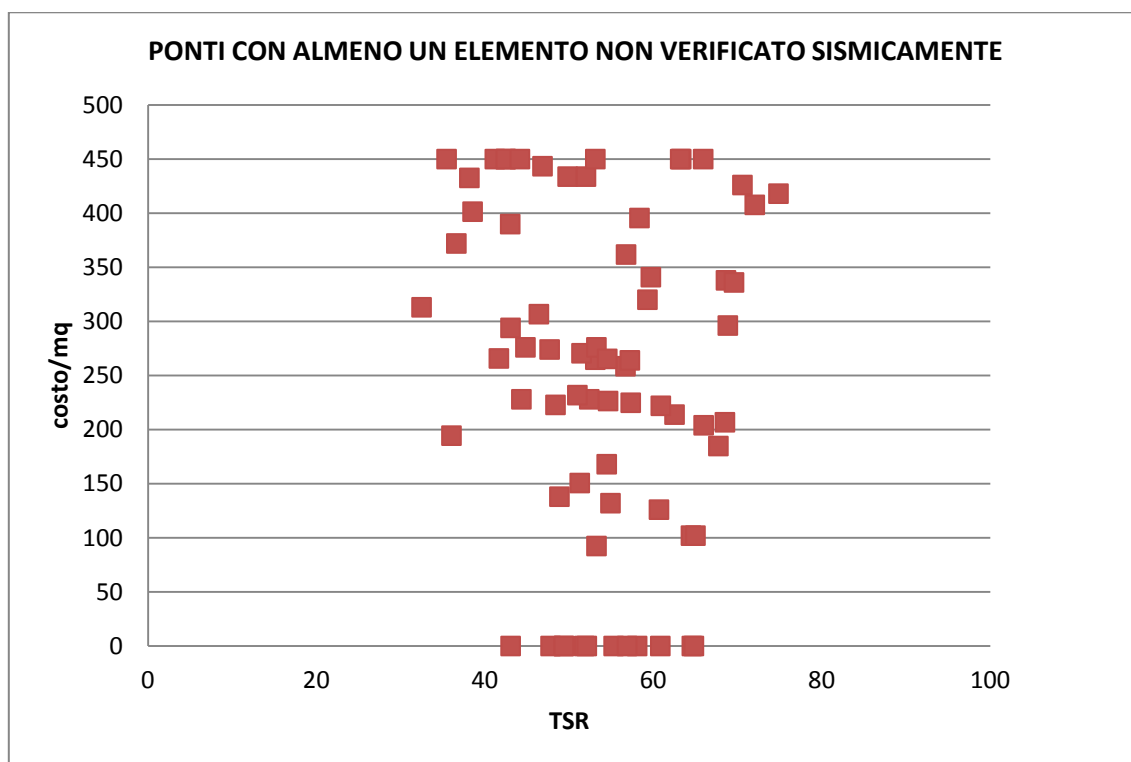
## 6.2 Costo di adeguamento sismico

### 6.2.1 Costi di adeguamento sismico - TSR

Partendo dai 140 ponti effettivi si vuole ora cercare un eventuale curva di tendenza che metta in relazione il *costo/mq* di adeguamento sismico con il parametro *TSR* relativo allo stato di manutenzione del relativo ponte. Si è preferito condurre la ricerca stringendo il campo ai ponti con *alfa minore* <1, comprendenti cioè ponti che non soddisfano le verifiche sismiche.

I ponti presi in considerazione sono tutti quelli che rispondono alla condizione *alfa minore* <1, sono presenti ponti in ca-cap, ponti in muratura e ponti in acciaio.

I ponti ottenuti con questo tipo di filtraggio risultano essere 70 su un totale di 140, quindi la metà dei ponti analizzati ha sicuramente un elemento (pila, spalla, arco, timpano) non verificato dal punto di vista sismico.



Si può notare l'evidente non correlazione tra le due variabili.

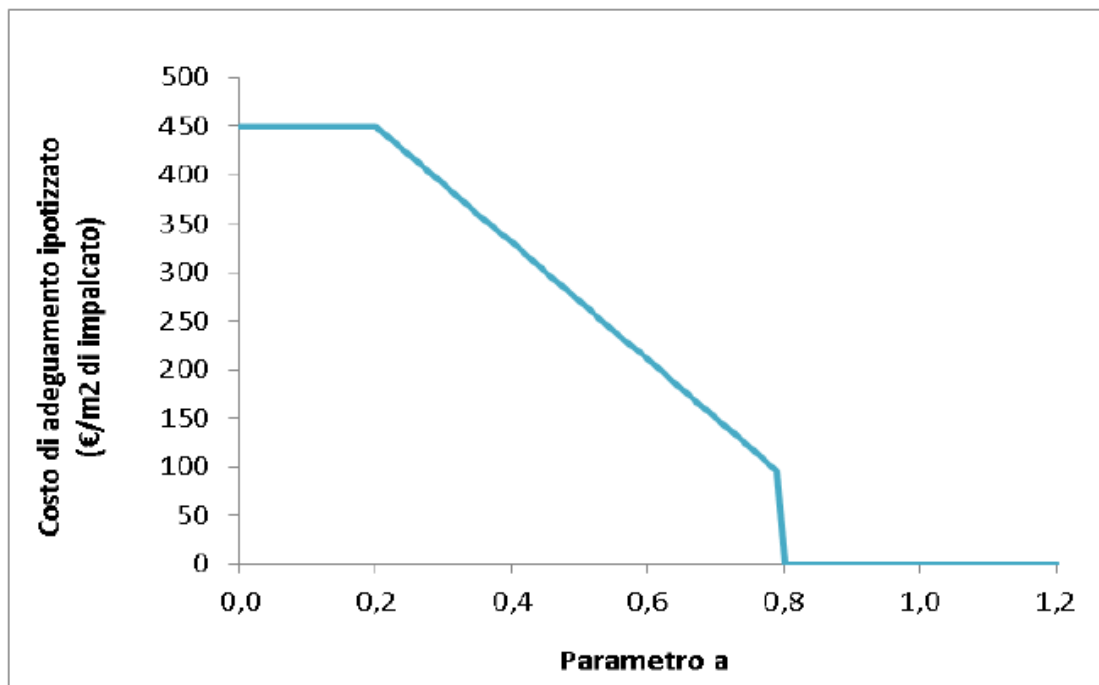
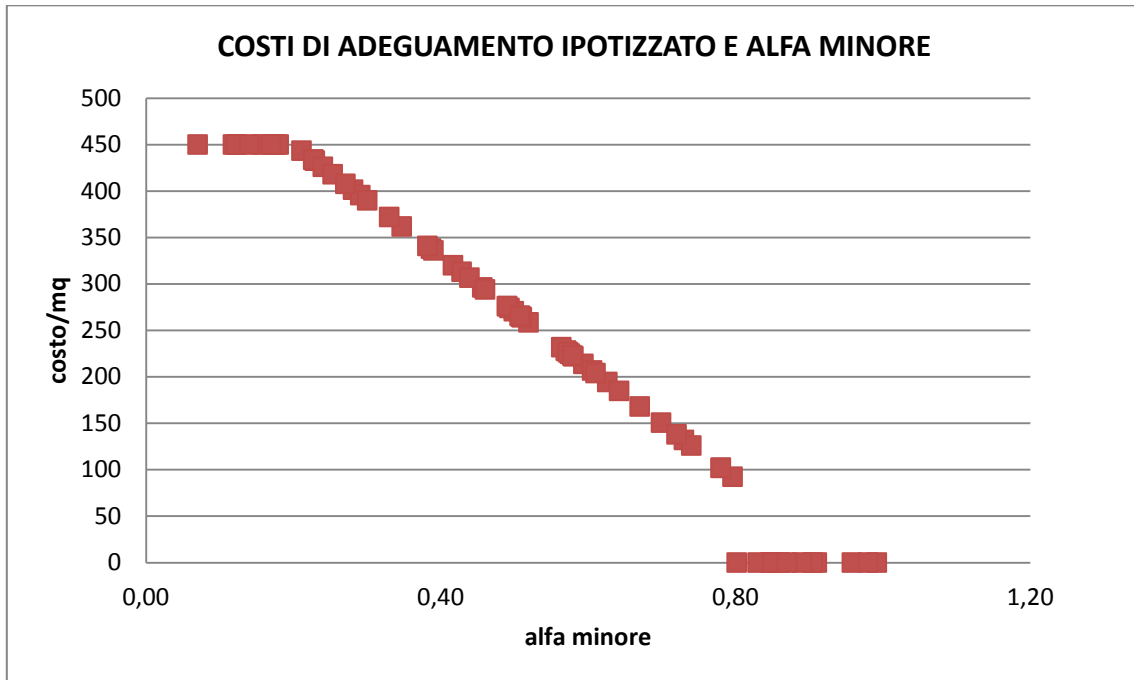
Ovviamente in questo grafico non si supera i 450 euro/mq, in quanto valore convenzionale imposto dalla normativa.

I punti che vanno a formare la striscia orizzontale di valori corrispondente a *costo/mq* = 0, hanno il parametro *alfa minore* compreso tra 0.8 e 1.

Ricordiamo che i costi di adeguamento sono funzione del parametro alfa, assunto il minore tra gli elementi verificati. Il parametro alfa è dato da un rapporto resistenza/sollecitazione.

### 6.2.2 Costi di adeguamento sismico – alfa minore

Sempre per ponti con *alfa minore* < 1, riportiamo ora il grafico costo di adeguamento – alfa, che riprodurrà fedelmente il grafico fornito dalla normativa.



*Confronto grafico della normativa con quello ottenuto dai ponti presi in considerazione*



## 6.3 Costo totale

### 6.3.1 Costi totali – TSR – alfa minore

Fino a questo punto abbiamo studiato separatamente l'intervento di manutenzione e quello di adeguamento sismico: vediamo se il costo totale, ottenuto dalla somma dei costi dei due interventi, e i parametri *TSR* e *alfa minore* hanno una qualche correlazione.

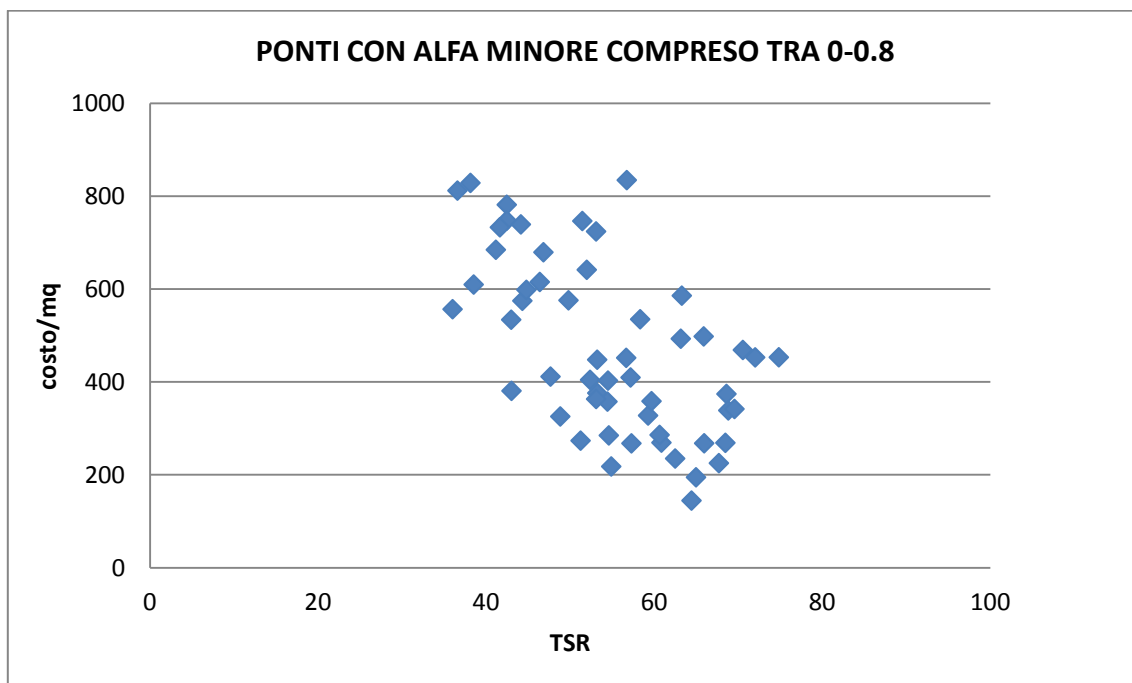
Con i dati che abbiamo possiamo andare a costruire un grafico a tre variabili, mantenendo come variabile risposta *z* il *costo/mq*. Avremo come variabili:

- Costo totale = costo adeguamento sismico + costo manutenzione;
- *TSR* (legato per sua natura al costo di manutenzione);
- *Alfa minore* (legato per sua natura al costo di adeguamento sismico).

In questo caso risulta opportuno per una rappresentazione grafica dei dati ricorrere alle curve isoparametriche del parametro *alfa minore*.

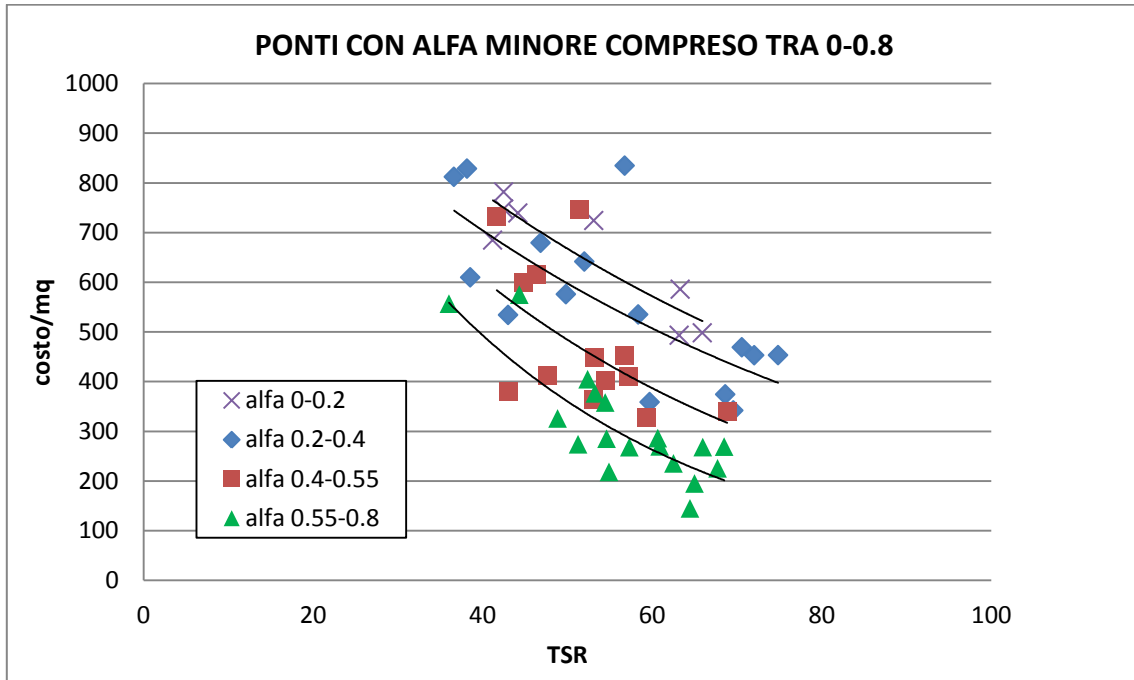
Il seguente grafico *costo/mq* – *TSR* mostra la disposizione di tutti i punti, ovvero i ponti, che riportano un valore di *alfa minore* compreso nel range 0-0.8, entro il quale il costo totale risulta dato dalla somma del costo di adeguamento sismico e costo di manutenzione; contrariamente per valori di *alfa minore* superiori a 0.8 il costo totale risulterebbe pari al solo costo di manutenzione.

I ponti ottenuti da questo tipo di filtraggio sono 51.

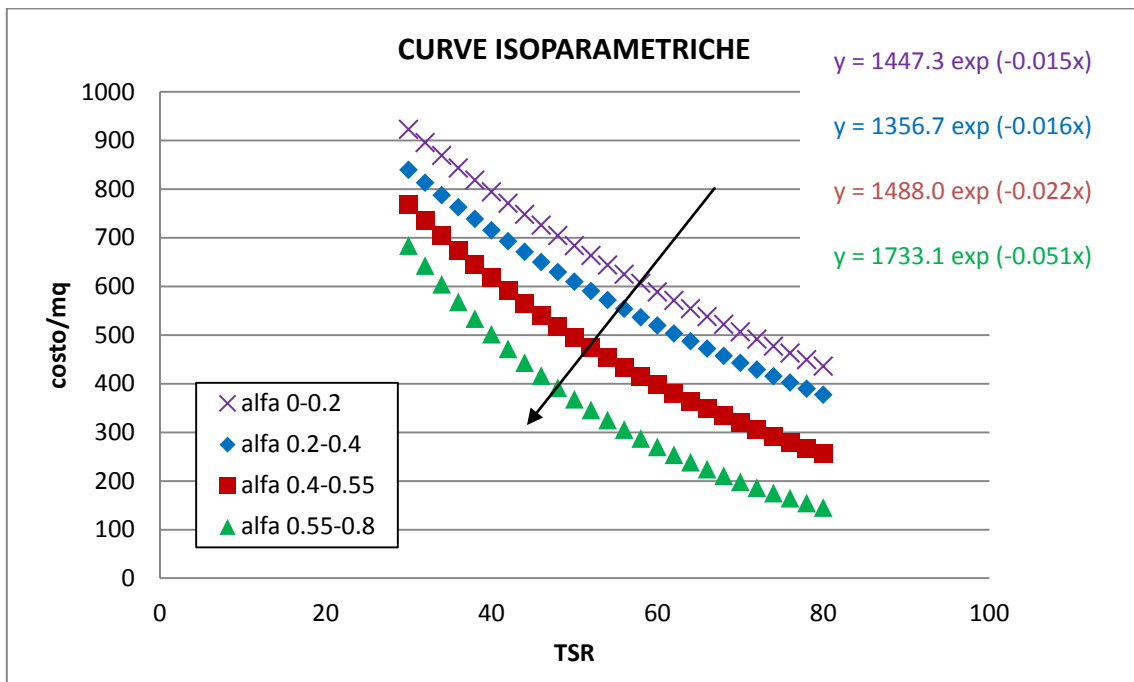


Vediamo che i costi superano di poco gli 800 euro/mq e i dati sono concentrati in intervallo di *TSR* compreso tra 30 e 80.

Passiamo ora alla creazione di curve di livello all'interno del grafico *costo/mq* – *TSR*, partendo dai punti individuati secondo fissati range di *alfa minore*. I range sono stati scelti con un'ampiezza tale da permettere di ottenere delle linee di tendenza, e quindi delle curve di livello, con un indice di determinazione  $R^2$  il più possibile alto.



Disposizione dei punti nei vari range



Curve di livello del parametro alfa minore

Le curve presentano un andamento esponenziale e la loro disposizione conferma il fatto che per valori di *alfa minore* molto piccoli e per bassi livelli di efficienza (TSR), quindi la prima curva partendo dall'alto, abbiamo costi elevati.

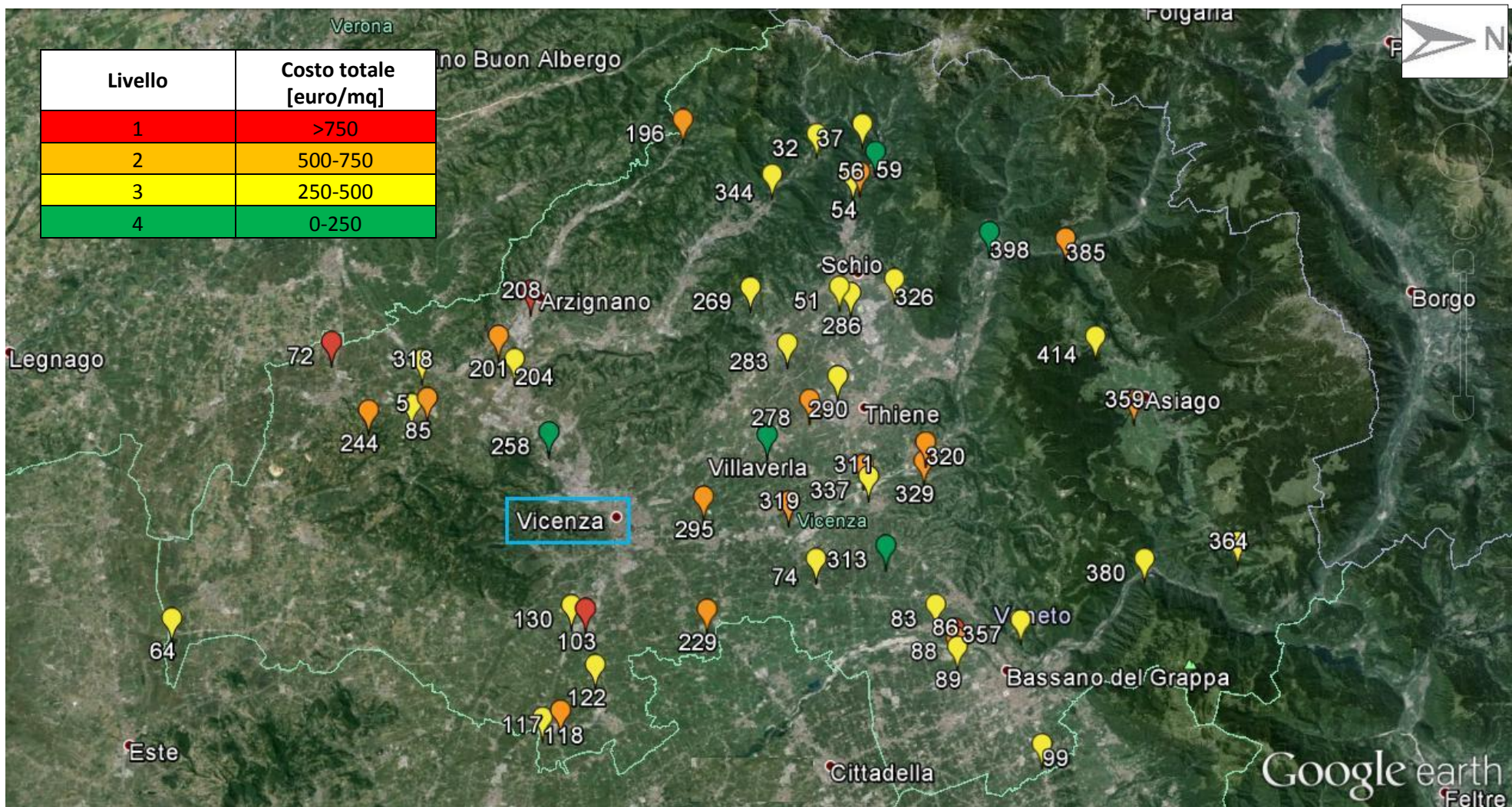
Per ponti che appartengono a curve di estremità, possiamo quantificare una differenza dei costi che si aggira intorno ai 200 euro/mq.

### **6.3.2 Disposizione ponti nella provincia di Vicenza per fasce di costo totale**

Di seguito verranno esposte le mappe, ottenute con Google earth, che mostrano la disposizione nella provincia di Vicenza dei ponti analizzati:

- Ponti con *alfa minore* compreso nel range 0-0.8;
- Ponti ca-cap;
- Ponti in muratura;
- Ponti in acciaio.

In ogni mappa i ponti presentano una colorazione differente in base alla fascia di costo totale d'appartenenza. Sono state individuate 4 fasce di costo, ognuna con un'ampiezza di 250 euro per mq di impalcato.



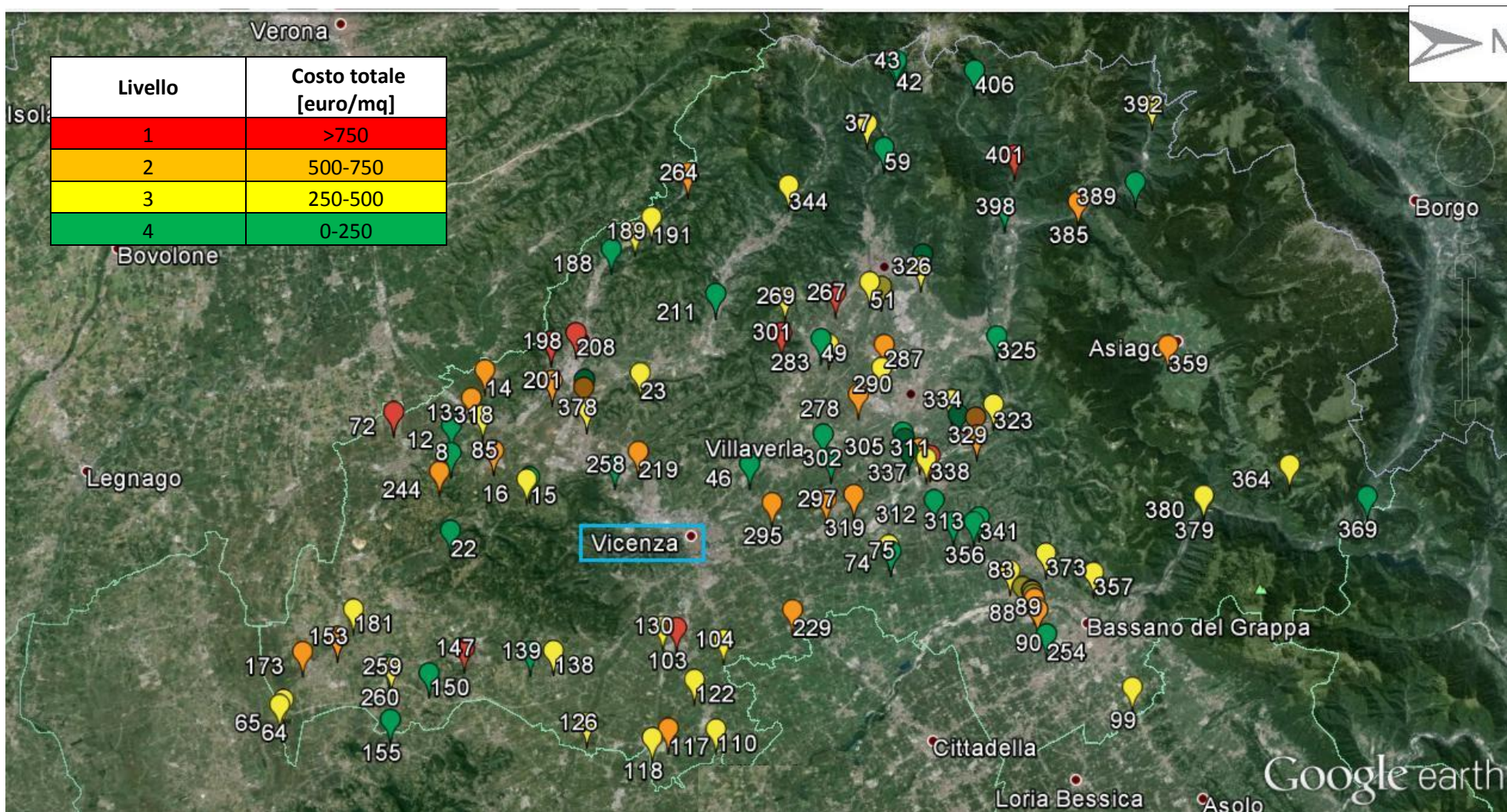
Disposizione dei 51 ponti con alfa minore compreso nel range 0-0.8

Vediamo dalla mappa che tra i ponti che per qualche loro elemento strutturale non è verificato sismicamente, quattro risultano in prima fascia e che quindi richiedono un costo di intervento superiore ai 750 euro/mq. Questi ponti si trovano nei comuni di:

- Torri di Quartesolo - Marola (103);
- Sandrigo (72)
- Arzignano (208)
- Bassano del Grappa - Marchesane (86)

La maggior parte dei ponti rientra nella terza fascia, quindi per questi si prevedono dei costi di intervento di manutenzione e di adeguamento sismico di livello medio-basso.





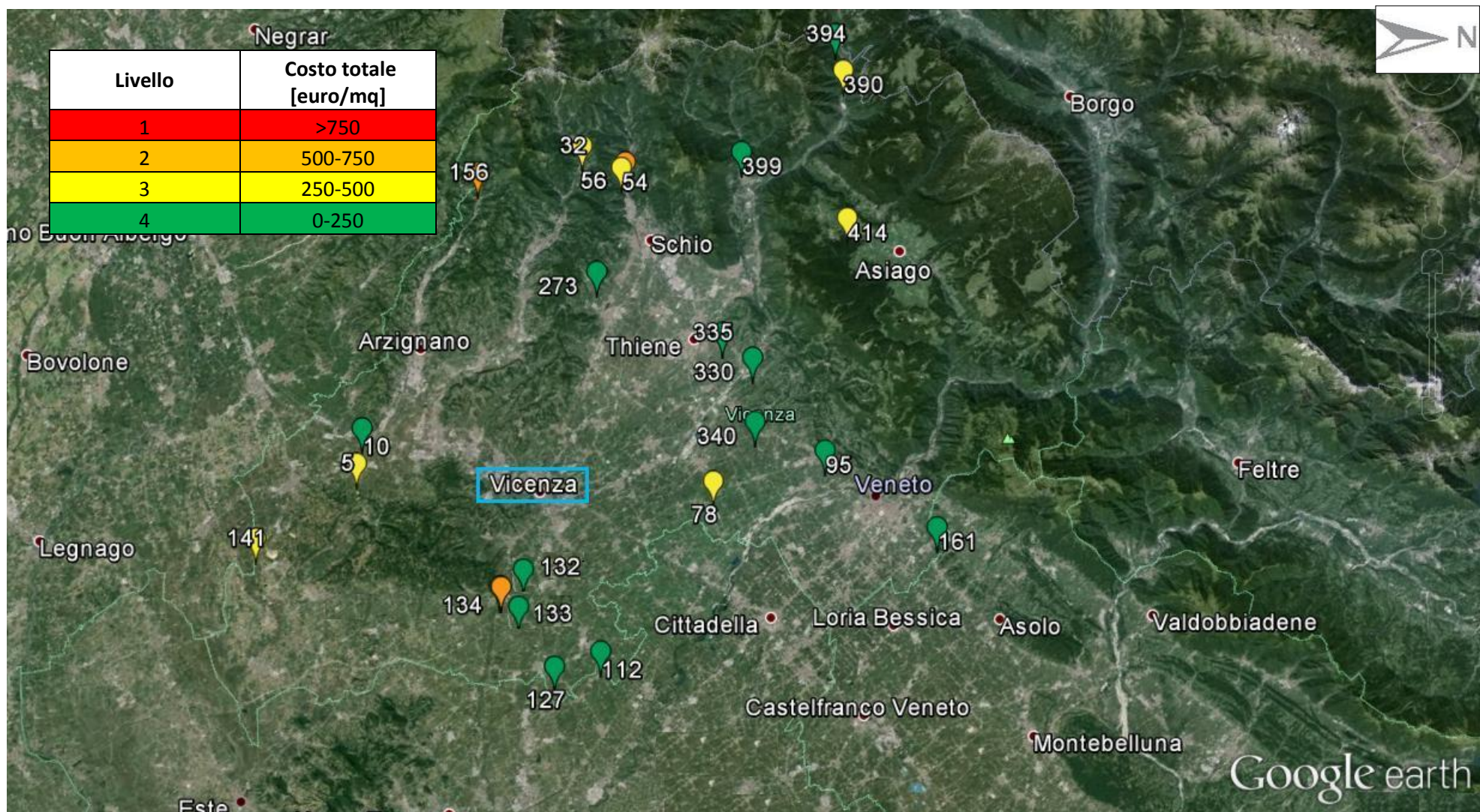
Disposizione dei 112 ponti in ca-cap

Vediamo dalla mappa che tra i ponti in ca-cap, nove risultano in prima fascia e che quindi richiedono un costo di intervento superiore ai 750 euro/mq. Questi ponti si trovano nei comuni di:

- Torri di Quartesolo - Marola (103);
- Sandrigo (72)
- Arzignano (208) e (198)
- Bassano del Grappa - Marchesane (86)
- Villaverla-Novoledo (301)
- San Vito di Leguzzano (267)
- Castana (401)
- Breganze (337)

Confrontando con la mappa precedente il numero di ponti che cadono in prima fascia sono di più, esattamente 5, e sono ponti che richiedono solo elevati costi di intervento di manutenzione.





Disposizione dei 23 ponti in muratura





Disposizione dei 5 ponti in acciaio

Vediamo che gran parte dei ponti in muratura e dei ponti in acciaio rientrano nella terza e quarta fascia, quindi per questi si prevedono dei costi di intervento di manutenzione e di adeguamento sismico di livello medio-basso e basso.

## 7 Altre considerazioni

### 7.1 Correlazione alfa minore di un elemento e il relativo ESR

Fino ad ora si è fatto riferimento all'intera struttura del ponte, riferendosi al livello di efficienza globale (TSR); andiamo ora a focalizzarci sugli elementi presi singolarmente e vediamo se il livello di efficienza dell'elemento (ESR) ottenuto da un'ispezione visiva relativa al tipo di intervento di manutenzione possa essere qualitativamente compatibile al parametro alfa dello stesso elemento, e quindi all'intervento di adeguamento sismico.

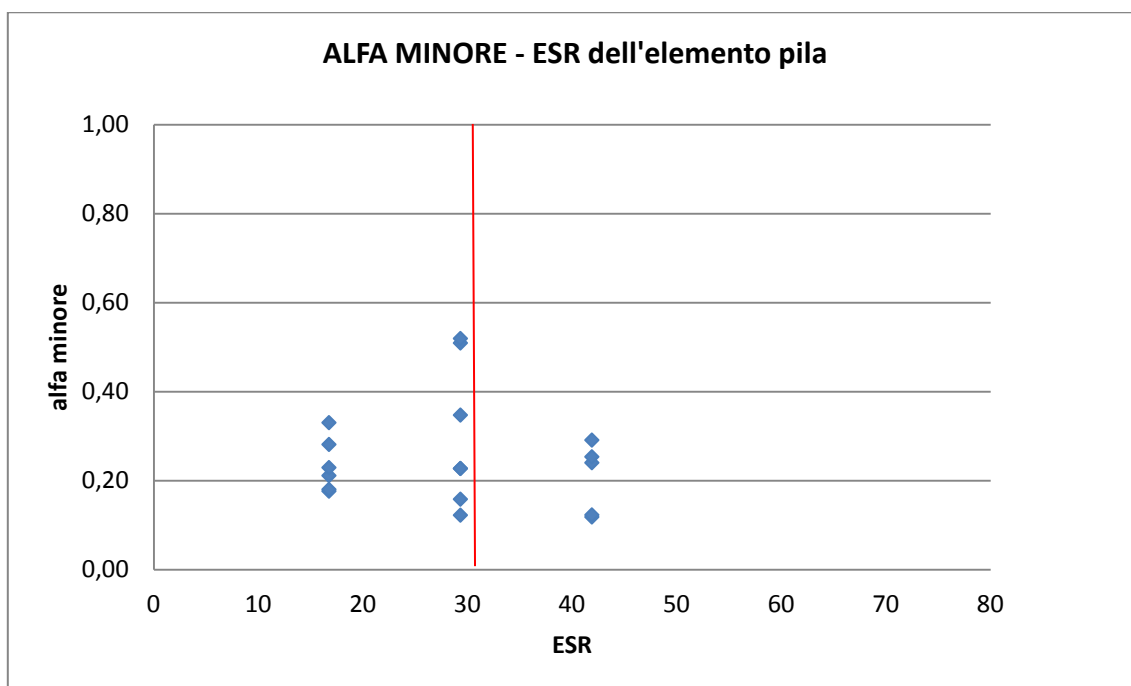
Ogni ponte ha un valore *alfa minore* riferito ad un particolare elemento (pila, spalla, pavimentazione, ...).

Andiamo a considerare valori di *alfa minore* < 1 (quelli che presentano almeno un elemento non verificato sismicamente) con questo tipo di restrizione del parametro ci aspettiamo di trovare valori di *ESR* almeno inferiori a 30, in quanto rientrano livelli di urgenza di intervento medio-alti, come rappresentato dalla seguente tabella:

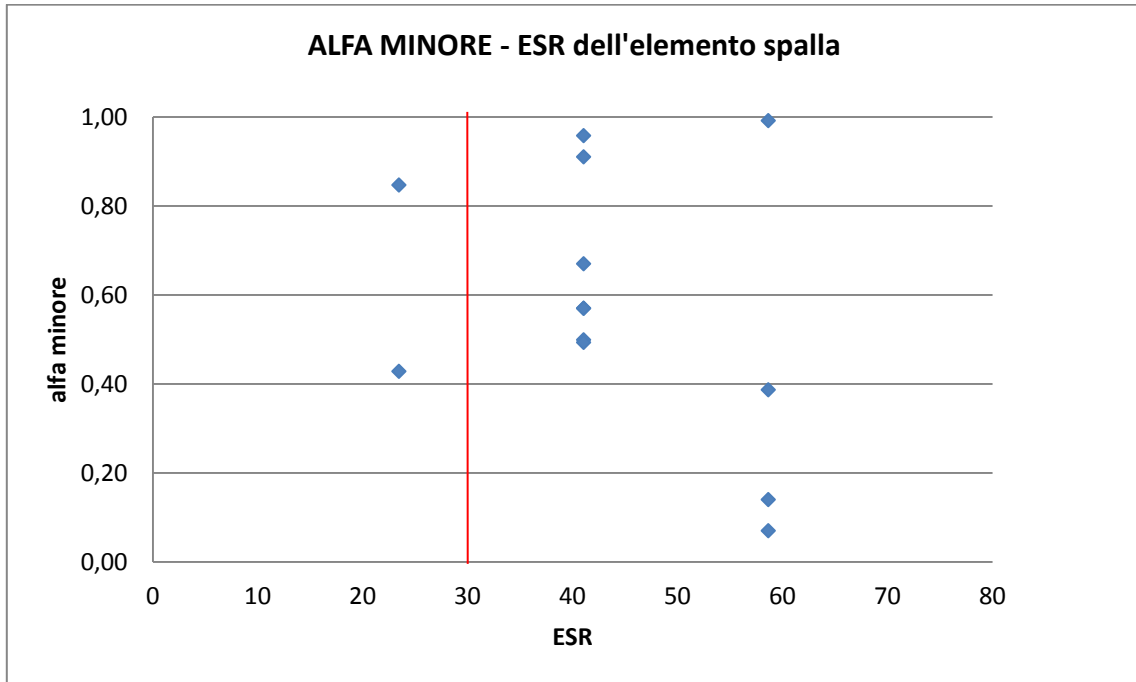
Livello di efficienza	Livello di urgenza di intervento	ESR
1	Massima urgenza di intervento	1-10
2	Intervento a breve termine	11-20
3	Intervento a medio termine	21-30
4	Intervento a lungo termine	31-100

I seguenti grafici rappresentano i valori di *alfa minore* e *ESR* relativi all'elemento.

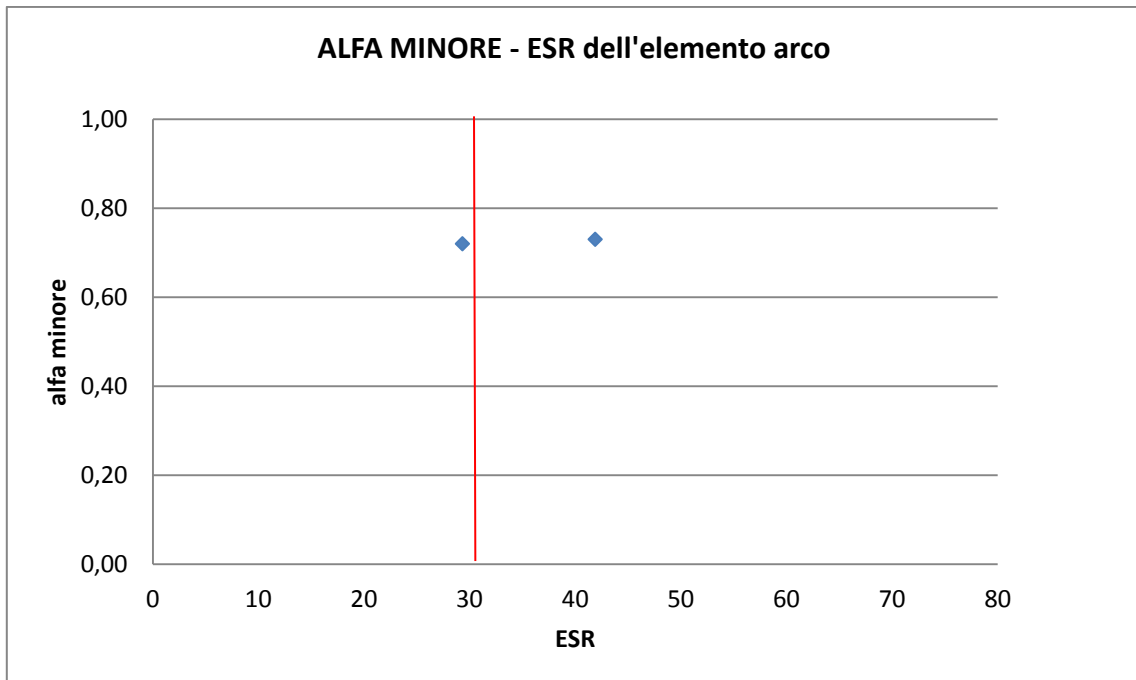
La linea rossa indica il limite entro il quale ci aspettiamo di trovare i valori di *ESR*.



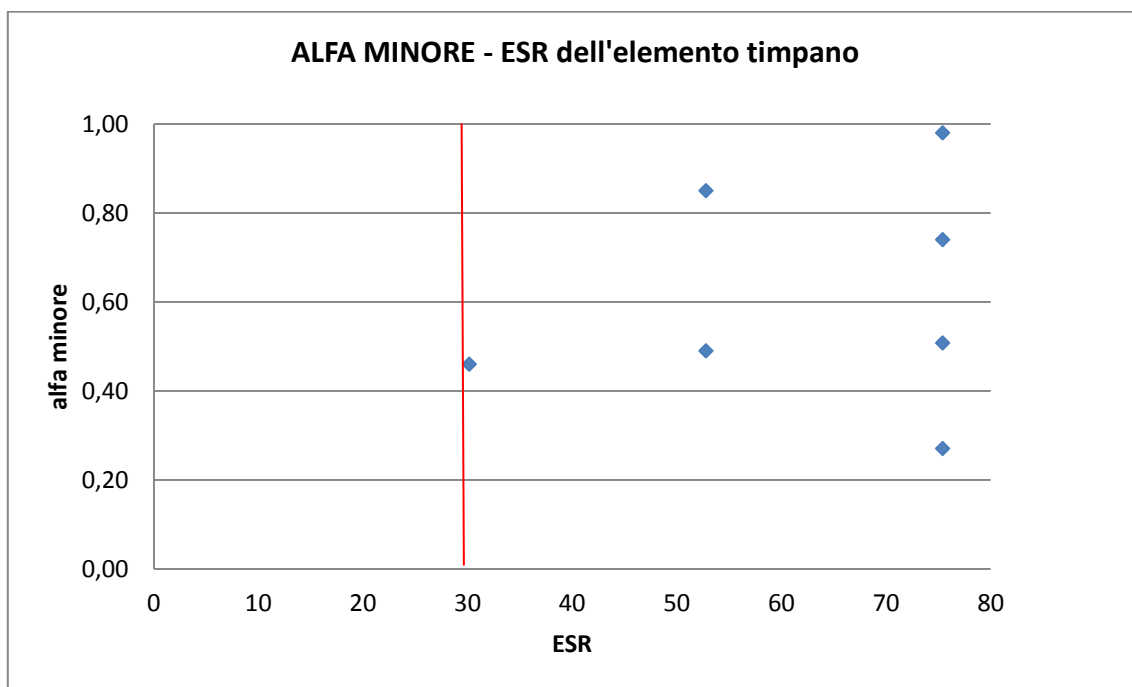
*Elemento pila*



*Elemento spalla*



*Elemento arco*



*Elemento timpano*

È evidente dai grafici che la nostra considerazione di partenza è disattesa, quindi possiamo concludere che il parametro ESR non ha alcun legame con il parametro alfa, questo conferma che da una semplice ispezione visiva non è possibile capire in anticipo se quel particolare elemento necessita di intervento di adeguamento sismico.



## 7.2 Andamento dei costi totali mantenendo la stessa accelerazione $a_g$ per uno specifico gruppo di ponti

### 7.2.1 Azione sismica

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ( $a_g$ ) in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente ( $S_e(T)$ ), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza ( $P_{vr}$ ).

Per la vigente normativa, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{vr}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_{c^*}$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il ponte 'Ponte delle Tezze' è una delle opere poste sulla strada SP 89, tale opera si trova all'interno del comune di Arzignano.

La struttura si pone nel comune di Arzignano, di coordinate Lat.45.31913 e Long.11.21673, alle corrispondono i seguenti valori:

	SLO	SLD	SLV	SLC
$a_g$	0,094	0,119	0,279	0,306
$F_o$	2,397	2,381	2,393	2,388
$T_{c^*}$	0,275	0,286	0,314	0,321

Il terreno su cui è posta l'opera oggetto di indagine è stato assunto di categoria C (cfr. NTC 2008 cap. 3.2.2).

I valori dei parametri da inserire nelle espressioni dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali, risultano:

Categoria suolo = T1	S	$T_b$	$T_c$	$T_d$
SLO	1,500	0,147	0,442	1,975
SLD	1,500	0,151	0,454	2,076
SLV	1,299	0,161	0,483	2,716
SLC	1,262	0,163	0,490	2,824

Per tutti i siti nazionali, sono forniti i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Il terreno su cui è posta l'opera oggetto di indagine è stato assunto di categoria C (cfr. NTC 2008 cap. 3.2.2).

I valori dei parametri da inserire nelle espressioni dello spettro di risposta elastico delle componenti orizzontali, risultano:

- Il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente espresso in percentuale è assunto pari a  $\xi = 5\%$ .
- Vita nominale 100 anni;
- Il coefficiente d'uso pari a  $C_u = 2$  come previsto dalle NTC 2008 per le strutture di classe 4.

Gli spettri di risposta da adottare variano in base allo "Stato Limite" in esame. Le relazioni per la costruzione dello spettro di risposta sono le seguenti (NTC 2008 cap. 3.2.3.2.1):

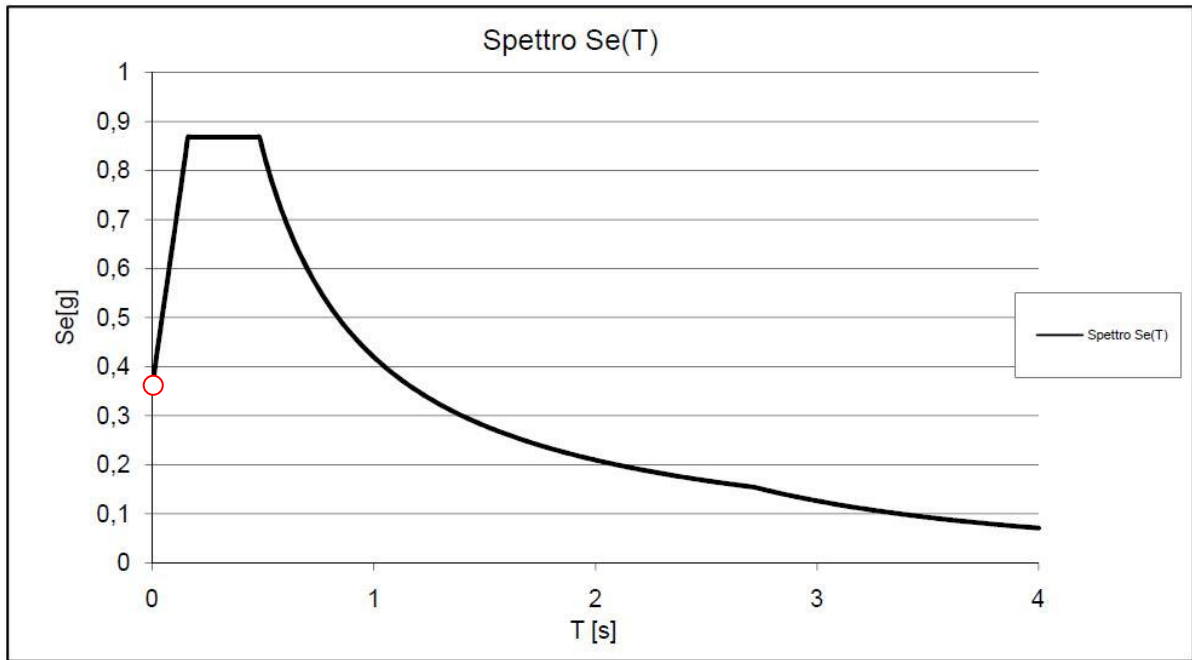
$0 \leq T < T_B$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$
$T_B \leq T < T_C$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$
$T_C \leq T < T_D$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$
$T_D \leq T$	$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$

I PGA sollecitanti ai quattro Stati Limite sono di seguito riportati:

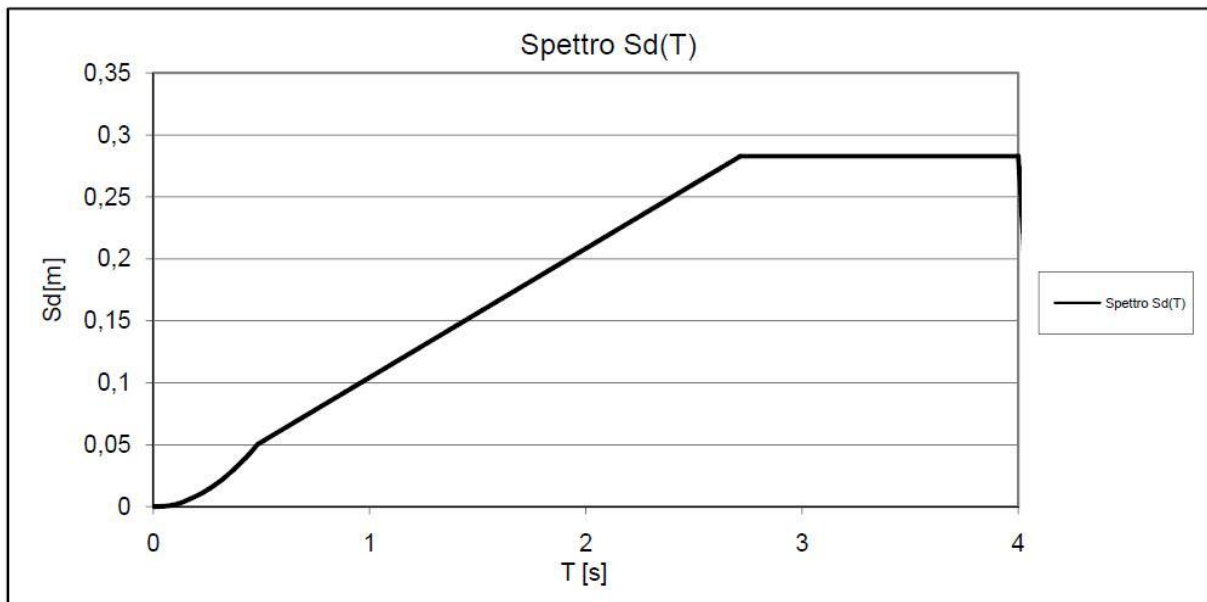
Operatività	PGA <sub>81%</sub>	[g]	0,141
Danno	PGA <sub>63%</sub>	[g]	0,179
Vita	PGA <sub>10%</sub>	[g]	0,363
Collasso	PGA <sub>5%</sub>	[g]	0,386



Si riporta in grafico lo spettro elastico orizzontale adottato per lo SLV:



In un spettro di risposta elastico, il PGA coincide con il valore dell'accelerazione spettrale  $S_e(T)$  quando il periodo proprio di oscillazione dell'oscillatore elementare di riferimento è pari a  $T=0$  poiché in questo caso l'oscillatore è infinitamente rigido e pertanto ha la stessa accelerazione del terreno.



### **7.2.2 Analisi della risposta sismica della struttura**

La valutazione dello stato di sicurezza nei confronti dell'azione sismica consiste in un processo volto a stabilire se l'infrastruttura esistente oggetto di analisi è in grado o meno di resistere alla combinazione sismica di progetto prevista dalle NTC 2008 cap. 2.5.3. A tal fine la normativa regionale definisce quattro livelli di acquisizione dati e di verifica (NTC 2008 cap. 3.2).

L'analisi del presente studio è un'infrastruttura viaria di competenza regionale considerata di rilievo fondamentale nei piani di emergenza provinciali e comunali.

L'obiettivo minimo da perseguire (Livello 1) sarà pertanto:

- la definizione di quattro livelli di accelerazione al suolo corrispondenti al raggiungimento di quattro stati limite in esame: Collasso, Vita, Danno, Operatività.

Si procederà alle verifiche ricorrendo al livello di conoscenza limitato (*LCl*) imposto dalla limitatezza di prove e verifiche in sito nonché dalla carenza di dati progettuali disponibili.

Nel caso in questione si andrà a verificare il comportamento sismico delle pile e il relativo  $PGA_{res}$ .

Una volta determinate le capacità strutturali in termini di accelerazione al suolo, si procede al confronto con le accelerazioni al suolo che rappresentano la domanda sismica, in modo da determinare il coefficiente di sicurezza della struttura.

### 7.2.3 Valutazione capacità a taglio della pila

Il meccanismo di taglio è un meccanismo di tipo fragile pertanto va effettuata una verifica in termini di pura resistenza (NTC Cap.7.4.4.2.2).

Si riportano le formule utilizzate per il calcolo della resistenza al taglio della pila.

#### Cls (Puntone)

L'espressione per la determinazione del taglio resistente per rottura del puntone è la seguente:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta)$$

#### Acciaio+cls (Tirante)

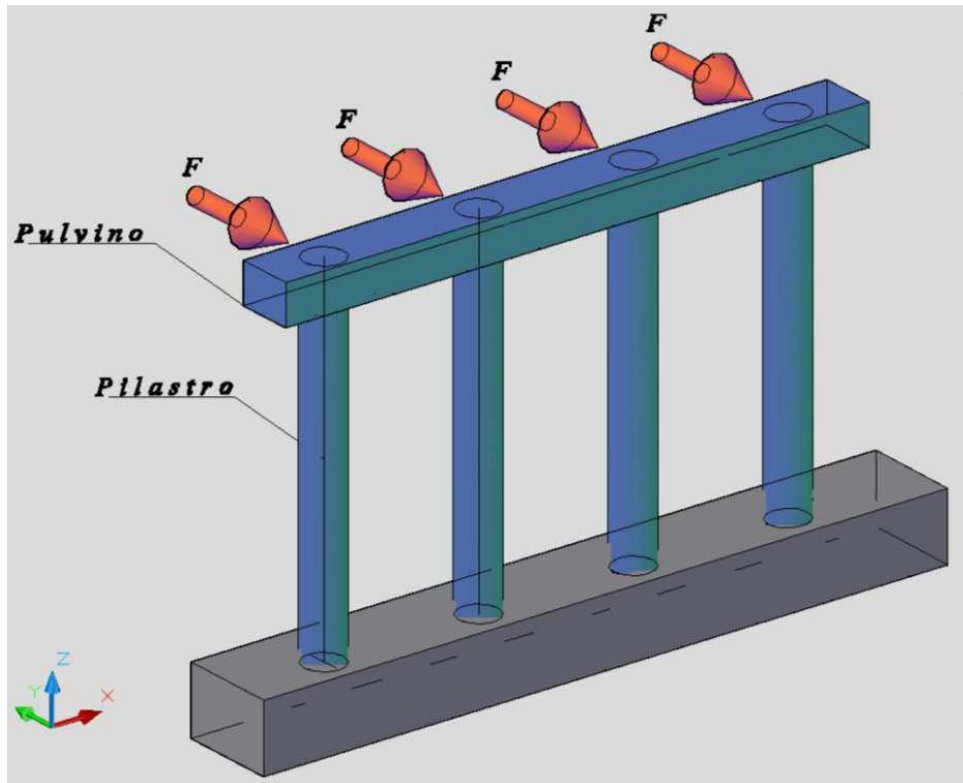
L'espressione per la determinazione del taglio resistente è la seguente:

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) \cdot \operatorname{sen}\alpha$$

La resistenza al taglio in direzione longitudinale per il singolo pilastro della pila:  $V_{Rd} = 259 \text{ KN}$ .

### 7.2.4 Verifica a taglio sisma in direzione longitudinale

La forza di taglio sollecitante si calcola mediante analisi statica equivalente per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita secondo lo schema seguente:



Esempio di modello a telaio della pila (direzione longitudinale)

La massa gravante sul singolo pilastro della pila è: 311593 Kg  
Il PGA sollecitante allo SLV è: 0.363 g  
Il taglio alla base della pila che ne deriva è pari a:  $T_x = 787 \text{ KN}$

A questo punto si passa alla verifica:

$$F_c = \frac{R}{E} = \frac{T_{Rx}}{T_{Ex}} = \frac{259 \text{ kN}}{787 \text{ kN}} = 0,33$$

$$PGA_{RES} = \gamma \cdot PGA_{SOLL} = 0,33 \cdot 0,363 \text{ g} = 0,119 \text{ g}$$

Il valore di alfa che utilizzeremo per effettuare i nostri studi risulta pari a  $F_c$  coefficiente di sicurezza.

### 7.2.5 Applicazione della medesima accelerazione ag

Consideriamo i ponti, che risultano non verificati sismicamente a taglio per l'elemento pila, e quindi con parametro *alfa minore* <1.

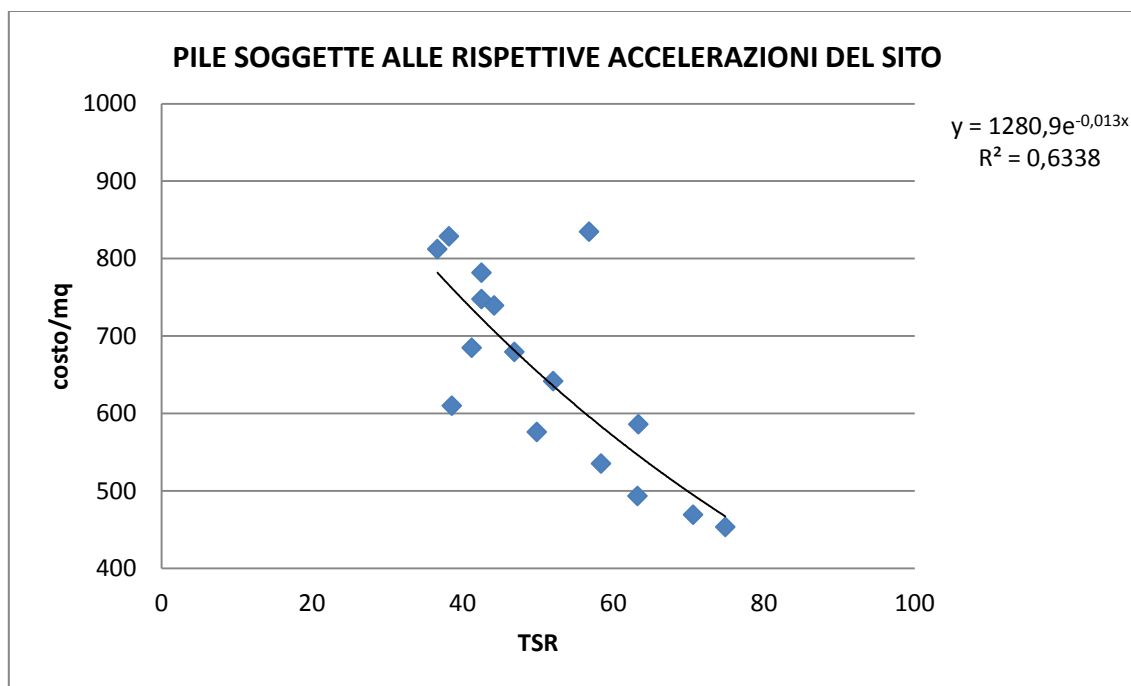
Lo scopo è quello di omogeneizzare la verifica sismica dell'elemento pila per i diversi ponti mantenendo ovviamente inalterate le caratteristiche resistenti, ma sottoponendoli ad una medesima *ag* = accelerazione orizzontale massima, le sollecitazioni saranno ottenute in base ai vari schemi statici longitudinali.

Il sito di riferimento rigido orizzontale è lo stesso del 'Ponte delle Tezze', una delle opere poste sulla strada SP 89, tale opera si trova all'interno del comune di Arzignano.

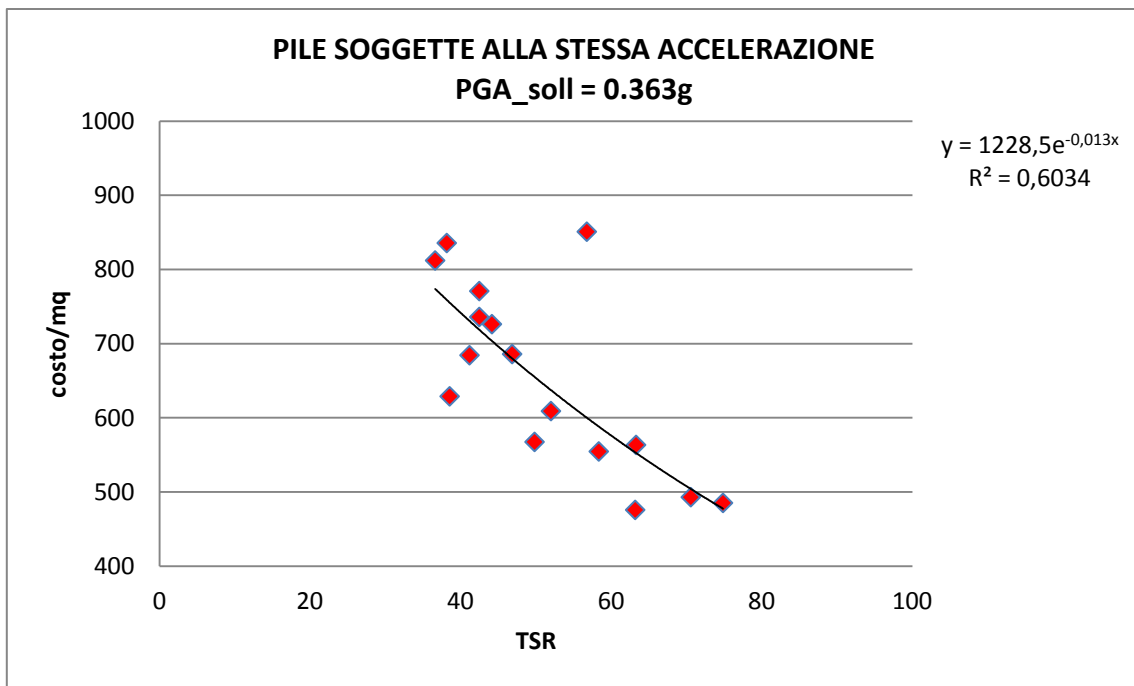
Andremo ad effettuare nuove verifiche sismiche (a taglio della base) con lo stesso procedimento mostrato precedentemente, successivamente vedremo come variano i *costi totali* rispetto al parametro TSR.

I ponti analizzati avranno TSR invariato in quanto sono cambiati solo i valori di *alfa minore* che andranno a modificare i *costi totali* finali.

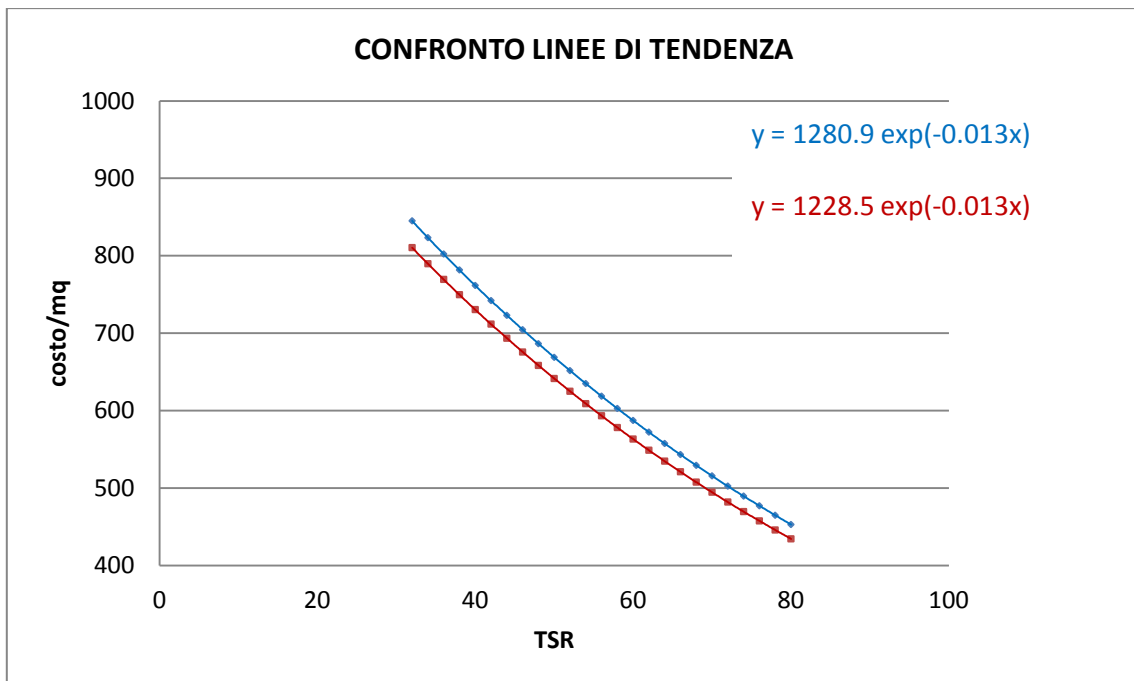
Il seguente grafico rappresenta i costi totali dei ponti che risultano non verificati sismicamente a taglio per l'elemento pila soggette alle rispettive accelerazioni del sito in cui si trovano (realmente).



Il seguente grafico rappresenta i costi totali degli stessi ponti considerati precedentemente, le cui pile sono soggette alla medesima accelerazione orizzontale massima.

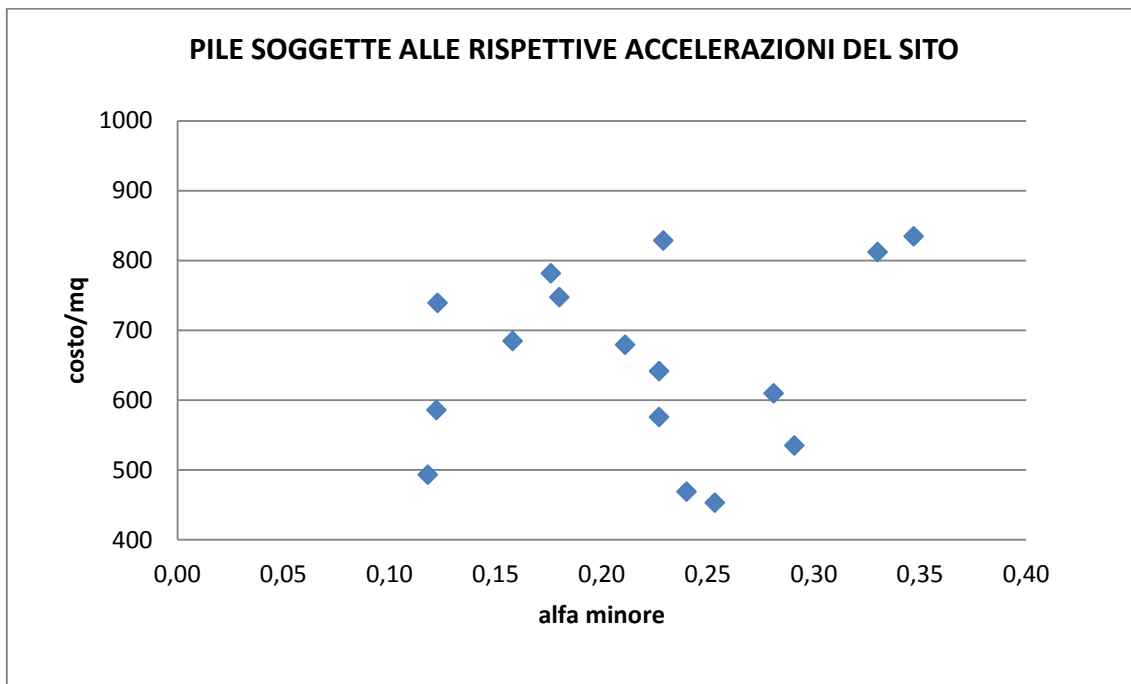


Vediamo ora graficamente il confronto tra le due curve ottenute dai precedenti grafici.

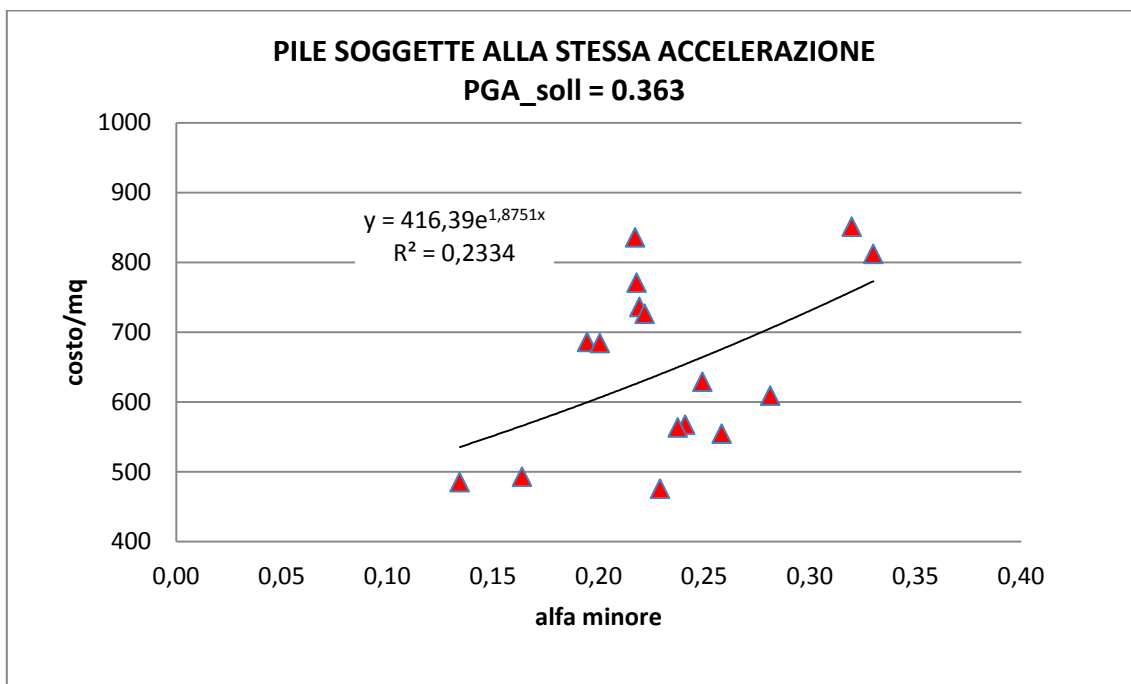


Come si può capire dall'equazioni le due curve risultano tra loro traslate di circa 50 euro/mq.

Andiamo ora a confrontare i grafici *costo totale-alfa minore*:

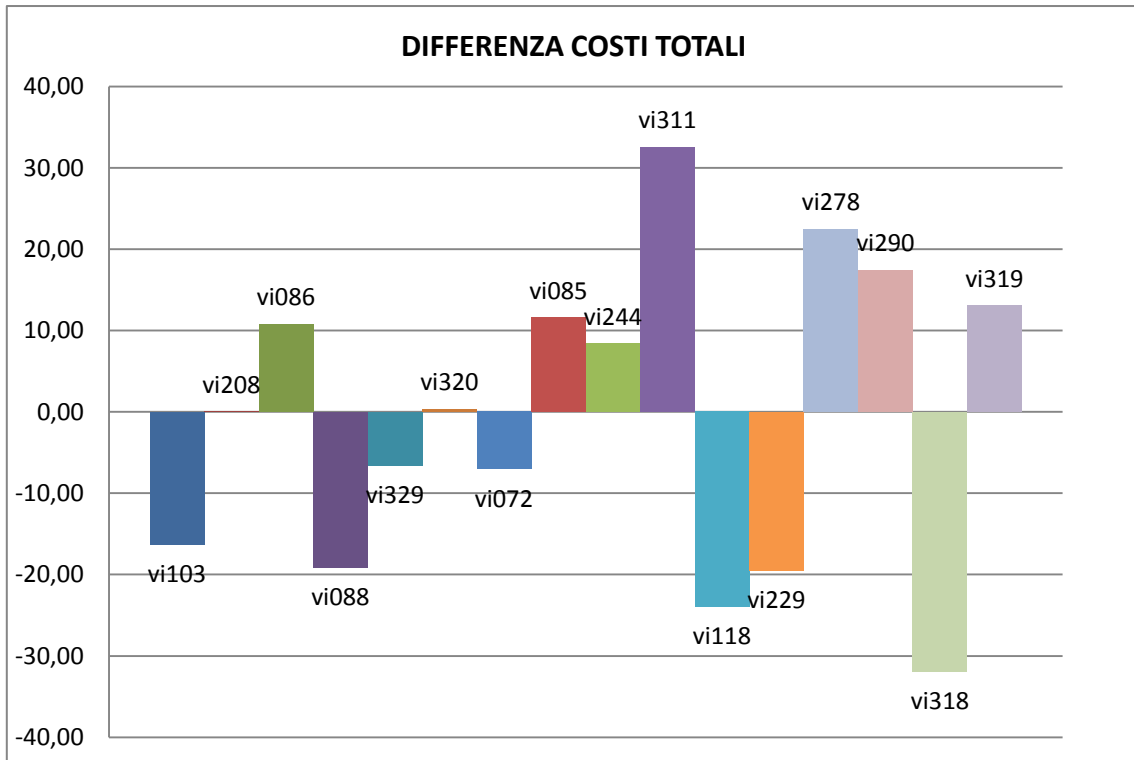


I punti non presentano alcun tipo di andamento.



Risulta una distribuzione dei costi tale da riconoscere un andamento crescente all'aumentare dell'alfa minore.

Andando a vedere nello specifico di ogni ponte la differenza dei costi totali risulta inferiore ai 35 euro/mq.



*Istogramma differenza costi totali dei 16 ponti*



## **Conclusioni**

Il lavoro svolto ha seguito due livelli: il Project Level (struttura presa singolarmente) ed il Network Level, che coinvolge l'insieme delle opere esaminate.

Dall'analisi di prezziari e di capitolati di progetti realizzati, si sono compilate le schede tecnico-economiche partendo da quelle per la valutazione del degrado, già presenti nei precedenti lavori di tesi, inserendo per ogni CV (Condition Value) e per ogni elemento i possibili interventi e il costo di ripristino per unità di misura, stimando il costo delle lavorazioni per ogni manufatto (Project Level). Si è poi determinato il piano di manutenzione generale, assegnando la priorità sulla base di un indice di condizione globale del ponte stesso, denominato TSR, e dell'incidenza dei costi a m<sup>2</sup> di implacato (Network Level).

Il contributo apportato al database permette di ricavare informazioni con un duplice scopo:

- in fase manutentoria, per dare indicazioni sugli effetti degli interventi e sulle priorità degli interventi;
- in fase progettuale, per dare indicazioni sui tipi di materiale, schema statico e tipologie di accessori più idonee all'ambiente in cui verrà costruita l'opera e al traffico e alle sollecitazioni che graveranno sulla struttura.

Per ciò che concerne il primo punto sono state redatte delle schede per ogni elemento che ad ogni possibile condizione (variabile tra 1 e 5) associano le lavorazioni necessarie e i relativi costi.

Le indicazioni progettuali derivano principalmente dall'analisi di quegli elementi che in maggiore misura si trovano in situazione di degrado o completa rottura e che più influiscono come causa di inefficienza sull'intera struttura, come il sistema di smaltimento delle acque, i giunti di espansione e gli apparecchi d'appoggio. Ma utili vantaggi, in sede di progettazione, possono venire anche dalla determinazione della funzione del costo globale di un'opera la cui minimizzazione rappresenta l'obiettivo da raggiungere. Per questo si auspica la creazione, da parte degli Enti gestori, di opportune schede di manutenzione dei manufatti, con la catalogazione di tutte le caratteristiche geometriche, strutturali e funzionali da integrare ogni qualvolta si effettuano ispezioni, ma soprattutto nelle quali devono essere inseriti tutti i dati relativi agli interventi di ripristino realizzati nel corso della vita di servizio.

## **Bibliografia**

- Petrangeli m.p, “Progettazione e costruzione di ponti – con cenni di patologia e diagnostica delle opere esistenti” – Facoltà di ingegneria – Università degli Studi “La Sapienza”.
- Calvi, G.M., and Pinto, P.E. (1996). "Experimental and numerical investigations on the seismic response of bridges and recommendations for code provisions." ECOEST/PREC8 report No. 4, LNEC, Lisbon, Portugal.
- Choi E., DesRoches R. and Nielson B., (2004), Seismic fragility of typical bridges in moderate seismic zones, *Engineering Structures*, 26, 187-199.
- Pinto P.E. and Monti G., (2001) Vulnerability evaluation and strengthening criteria for R.C. bridges, CNR-GNDT, Roma, Italy.
- Priestley M. J. N., Seible F. and Calvi G. M., (1996), *Seismic design and retrofit of bridges*, John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.
- G. Zanardo, C. Pellegrino, C. Bobisut, C. Modena (2004). Performance Evaluation of Small Span RC Arch Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, vol. 9(5), pp. 424-434 ISSN: 1084-0702.
- G. Zanardo, H. Hao, C. Modena (2002). Seismic response of multi-span simply supported bridges to a spatially varying earthquake ground motion. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. vol. 31 (6), pp. 1325-1345 ISSN: 0098-8847.
- P. Franchetti, M. Grendene, C. Modena, D. Slejko (2004), Valutazione di rischio sismico: applicazione a ponti e a viadotti nel Veneto (Italia), XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Genova 25-29 Gennaio.
- P. Franchetti, M. Grendene, C. Pellegrino, C. Modena (2004), “A methodological approach to bridge maintenance and criteria for seismic risk evaluation”, 18th Australian Conference on the Mechanics of Structures and Materials, Perth, Western Australia, 1-3 Dicembre.
- M. Grendene , P. Franchetti, G. Tecchio, C. Modena (2006), "A simplified approach to seismic vulnerability of multi-span continuous bridges.", *Proceedings of the First International Conference on Advances in Bridge Engineering* 26 - 28 Giugno.
- C. Modena, P. Franchetti, M. Grendene (2006), "Come effettuare una opportuna risk analysis per le strutture da ponte", *Convegno sulla Costruzione, Manutenzione e Cantierizzazione di Ponti e Viadotti*, Autostrade Spa, 5-6 Luglio.

- C. Modena, P. Franchetti, M. Grendene (2006), "Characterisation of the structural performance of existing r.c. bridges and basic criteria for rehabilitation and refurbishment: experiences in northern Italy", IABMAS'06 - Third International Conference on Bridge, Maintenance, Safety and Management, Porto, Portugal, 16-19 Luglio.
- M. Grendene, P. Franchetti, L. Ranzato, F. da Porto, M. Valluzzi, C. Modena (2007), "Valutazione della capacità strutturale ai carichi orizzontali dei ponti ad arco in muratura", ANIDIS; XII Convegno "L'Ingegneria Sismica in Italia", Pisa.
- M. Grendene, M. Torbol, P. Franchetti, C. Modena (2008), "Seismic damage of existing simply supported RC bridges", IABSE Conference 2008, Helsinki, 4-6 Giugno.
- Spadavecchia, Rigacci, Donferri Mitelli, "Considerazioni sull'impiego del giunto a tampone su ponti autostradali", Autostrade, 1998.
- Ragno, "Ammaloramenti e patologie dei ponti stradali", Industria delle costruzioni, 2001, n.351 e 352.
- Ryall, "Bridge Management", Butterworth-Heinemann, Oxford 2001.
- Schiavon, Bergo, Sviluppo e applicazione di una metodologia per manutenzione programmata di ponti e viadotti. Criteri per la valutazione della vulnerabilità sismica, Tesi di laurea Università di Padova, a.a 2001-2002.
- Soffiato, Gestione di ponti e viadotti lungo una direttrice di traffico. Aspetti tecnici ed economici, Tesi di laurea Università di Padova, a.a 2002-2003.
- Nicchio, "Gestione di ponti e viadotti. Integrazione del database e approfondimento degli aspetti economici", Tesi di laurea Università di Padova, a.a 2003-2004.
- C. Modena, P. Franchetti, M. Grendene, M. Frizzarin (2008), "Short and long term monitoring for maintenance and retrofitting of existing bridges", International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS'08), Seoul, Korea, 13 - 17 Luglio.
- Zanichelli, "Controllo e manutenzione delle opere d'arte, Le strade, 2003, n.4

## **Ringraziamenti**

Ringrazio il prof. Carlo Pellegrino e l'ing. Mariano A. Zanini per il tempo messomi a disposizione, per il materiale fornitomi e per i consigli che mi hanno suggerito, grazie ai quali ho avuto modo di arricchire la ricerca.