

Università degli Studi di Padova
Facoltà di Ingegneria
Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
Curricula: Strutture

TESI DI LAUREA

**INFLUENZA DELLE CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SULLA
VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' SISMICA DI PONTI
STRADALI ESISTENTI**

*(INFLUENCE OF GEOMETRICAL CHARACTERISTICS ON THE
ASSESSMENT OF THE SEISMIC VULNERABILITY OF EXISTING
ROAD BRIDGES)*

Candidato: Marco Temporin

Relatori: ch.mo prof. ing. Claudio Modena

prof. ing. Carlo Pellegrino

Correlatore: ing. Mariano Angelo Zanini

Anno Accademico 2014-2015

Alla mia cara famiglia...

alle mie nonne...

Indice

1. Cenni introduttivi.....	1
1.1 Scopo del lavoro di tesi	4
2. Tipologie di danneggiamento dei ponti a seguito di un evento sismico.....	9
2.1 Spostamenti dovuti al sisma.....	10
2.1.1 Perdita di appoggio.....	10
2.1.2 Martellamento	12
2.1.3 Amplificazione degli spostamenti per effetto del suolo.....	12
2.2 Sottostima delle forze sismiche: rottura delle pile	13
2.2.1 Rottura per flessione delle pile.....	14
2.2.2 Rottura per taglio delle pile	16
2.2.3 Rottura della fondazione di una pila.....	18
2.2.4 Rottura dei traversi nelle pile a telaio	19
2.2.5 Rottura degli elementi in acciaio	19
2.2.6 Rottura delle spalle	20
2.2.7 Rottura degli appoggi e dei dispositivi	21
2.3 Interventi di adeguamento sismico su ponti a travata	22
2.3.1 Allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato.....	23
2.3.2 Vincoli aggiuntivi realizzati con barre e cavi	25
2.3.3 Ritegni longitudinali e trasversali.....	26
2.3.4 Rinforzo delle pile	27
2.3.5 Trasformazione in pila a setto.....	31
2.3.6 Rinforzo dei traversi.....	32
2.3.7 Rinforzo delle fondazioni	33
2.3.8 Isolamento e smorzamento	34
3. Valutazione della vulnerabilità sismica.....	37

3.1	Definizione dei livelli prestazionali e del rischio sismico.....	37
3.2	Valutazione della sicurezza per strutture esistenti	39
3.2.1	<i>Livello di conoscenza e fattore di confidenza</i>	42
3.3	Metodi di analisi.....	43
3.3.1	<i>Ponti iperstatici: analisi dinamica lineare</i>	48
3.3.2	<i>Ponti iperstatici: analisi statica non lineare</i>	49
3.3.3	<i>Analisi dinamica non lineare</i>	53
3.3.4	<i>Verifiche di sicurezza</i>	53
3.4	Curve di fragilità	57
3.4.1	<i>Curve di fragilità analitiche: Metodo 1</i>	59
3.4.2	<i>Curve di fragilità analitiche: Metodo 2</i>	61
3.4.3	<i>Curve di fragilità empiriche: Metodo RISK-UE</i>	63
3.4.4	<i>La distribuzione log-normale</i>	68
4.	Caso studio: il ponte di Fener	71
4.1	Modello numerico del ponte	76
4.2	Caratterizzazione probabilistica dei materiali	84
4.3	Legami costitutivi per analisi non lineari.....	87
4.3.1	<i>Legame costitutivo per il calcestruzzo: il legame di Mander</i>	87
4.3.2	<i>Legame costitutivo per l'acciaio: il legame di Menegotto-Pinto</i>	88
4.3.3	<i>Legame costitutivo per il calcestruzzo confinato: il legame di Kent & Park</i>	89
4.4	Valutazione dell'azione sismica.....	91
4.5	Costruzione delle curve di fragilità	93
4.6	Confronto fra modelli numerici del ponte.....	113
4.7	Approfondimenti: inclinazione in pianta della forza sismica e sghembatura in pianta dell'impalcato.....	116
5.	Analisi dei risultati	123
5.1	Introduzione all'analisi statistica.....	123
5.1.1	<i>Metodo delle superfici di risposta</i>	124
5.1.2	<i>Metodo dell'analisi della regressione</i>	125
5.2	Modello a 3 parametri: H, D, L.....	132
5.2.1	<i>Acquisizione dei dati</i>	132
5.2.2	<i>Creazione modello</i>	134

5.2.3 Riassunto output derivanti dal modello	140
5.2.4 Grafici al variare del fattore "L"	144
5.3 Modello a 3 parametri: H/D, L, N.....	152
5.3.1 Acquisizione dei dati	152
5.3.2 Creazione modello.....	160
5.3.3 Riassunto output derivanti dal modello	165
5.3.4 Grafici al variare del fattore "N"	175
5.4 Confronto tra i due modelli ottenuti.....	189
5.5 Approfondimenti: variazione della direzione dell'azione sismica.....	190
6. Conclusioni.....	217
Allegato 1: Output analisi non lineari	i
Allegato 2: Dataset per modelli di regressione	xli
Bibliografia	A

1 Cenni introduttivi

Il rapido sviluppo socio-economico di molte aree urbane moderne è stato spesso accompagnato dalla costruzione di nuove infrastrutture per soddisfare la relativa richiesta di mobilità.

I sistemi di trasporto, intendendo inclusi in questa macro categoria le strade, le autostrade, le ferrovie, i porti e gli aeroporti, per loro natura risultano quindi elementi di rilevanza strategica e di fondamentale importanza per la collettività; sono infatti indispensabili per l'interesse pubblico generale, nello specifico per le attività commerciali, industriali, culturali su scala nazionale e internazionale, ma anche nell'immediato arco di tempo susseguente un evento disastroso, al fine di facilitare il trasporto di squadre mediche di soccorso, il trasferimento di feriti presso gli ospedali e la mobilitazione dei generi di prima necessità.

È proprio in quest'ultimo contesto (ad esempio a seguito di un terremoto o di un'inondazione, di un uragano, di una valanga) che è di fondamentale importanza che la rete di trasporto rimanga operativa o per lo meno che la sua funzionalità venga ripristinata nel più breve tempo possibile.

Dall'analisi dei fenomeni estremi accaduti nel corso del tempo è infatti acclarato che, nel caso in cui una rete stradale sia colpita da un evento sismico di rilevante portata, ci sia la possibilità che si producano danneggiamenti severi, diffusi o localizzati, che vadano ad interrompere l'esercizio della rete stessa, provocando quindi rilevanti conseguenze negative. In particolare, sulla base dell'esperienza maturata in regioni ad alta pericolosità sismica, quali la California e il Giappone, è ormai noto che il danno da evento sismico si concentra nelle singolarità della rete stradale come ponti, gallerie, muri di contenimento, e può, spesso, provocare l'interruzione del traffico, creando notevoli disservizi sia a breve termine (sulle attività di emergenza post-sisma e di soccorso) che a lungo termine, intaccando il complesso delle attività umane sociali ed economiche riguardanti anche aree molto vaste.

L'entità di tali impatti negativi dipende non solo da cause naturali e dall'intensità con cui si è presentato l'evento sismico, ma anche dalle caratteristiche proprie della rete stradale e dal livello di danno delle sue singole componenti.



Figura 1.1 - Esempi sull'importanza delle reti infrastrutturali nelle aree urbane moderne.

Tra le varie componenti di una rete stradale, i ponti risultano essere potenzialmente gli elementi più vulnerabili in condizioni sismiche, come si è potuto constatare anche a seguito dei recenti terremoti in Nord America e Giappone. Anche l'Italia non è esclusa da questa pericolosità sismica, in quanto è uno dei paesi a maggior rischio sismico del Mediterraneo per la frequenza dei terremoti che hanno storicamente interessato il suo territorio e per l'intensità che alcuni di essi hanno raggiunto, determinando un impatto sociale ed economico rilevante.

Il Bel Paese, come molti altri paesi occidentali, risulta essere caratterizzato da un cospicuo patrimonio di opere viarie che hanno più di 50-60 anni di vita, essendo state costruite nell'immediato dopoguerra o durante la costruzione della rete autostradale. Questi ponti, che sono nella quasi totalità dei casi in cemento armato o in cemento armato precompresso, sono stati progettati quando ancora non si tenevano in debita considerazione i problemi di durabilità dei materiali, nella convinzione che il calcestruzzo fosse un materiale eterno; in seguito, sono rimasti in servizio per moltissimo tempo, senza che si operasse un'adeguata manutenzione.

Negli ultimi anni tutto questo ha portato ad una elevatissima domanda di interventi di ripristino e di riparazione per riportare la sicurezza delle opere a livelli accettabili; in altri casi gli interventi sono stati resi necessari dalle maggiori conoscenze acquisite nell'arco degli anni sull'effettiva sismicità del territorio italiano e sulla reale risposta delle opere all'evento tellurico: in tal caso l'intervento viene classificato come intervento di adeguamento sismico. Vi sono infine casi di ponti che devono essere adeguati geometricamente per soddisfare la

nascita di nuove esigenze di traffico quali, ad esempio, l'eventuale ampliamento delle corsie esistenti per renderle conformi ai dettami del nuovo codice della strada o l'aggiunta di una o più corsie.

Soffermandoci in maniera particolare sulle situazioni che si possono verificare dopo un evento sismico e sugli interventi di adeguamento sismico in generale, la vulnerabilità degli altri elementi della rete, come le strade e i muri di contenimento, risulta essere inferiore rispetto al singolo ponte: basti pensare a quali ripercussioni può avere il crollo di un ponte appartenente ad un'arteria di grande scorrimento, in quanto il danno subito dai ponti si ripercuote in modo maggiore anche sui tempi di ripristino della rete stessa, molto più lunghi e onerosi rispetto alle medesime operazioni di ripristino o eventuale ricostruzione aventi come oggetto un muro di contenimento o un tratto di strada.

Questa serie di considerazioni ha spinto ingegneri e studiosi di varie comunità scientifiche ad elaborare delle procedure di valutazione oggettiva del rischio, in modo tale da poter stimare le conseguenze sulla rete di trasporto che un evento naturale può provocare e quindi porre in essere dei piani di prevenzione del danno, in modo tale da ridurre al minimo i disservizi creati al complesso delle attività socio-economiche operanti nell'area soggetta all'evento catastrofico.

Sono quindi state elaborate varie procedure di natura empirica e analitica per andare a determinare una correlazione tra il possibile evento sismico e le sue probabili conseguenze in termini di stati di danno, definiti a priori, per ciascun ponte. Queste procedure devono essere replicate per ciascun manufatto poiché al loro interno entrano in gioco i dati geografici e topografici relativi all'ubicazione, ma soprattutto le caratteristiche geometriche e i parametri di resistenza dei materiali che lo costituiscono.

Dette analisi permettono di determinare l'efficienza sismica dei ponti, consentendo quindi di supporre quale livello di danno ci si debba aspettare per un dato evento sismico e quali siano i manufatti più soggetti al danno a parità d'intensità sismica agente.

Tutto ciò ha lo scopo di poter definire e calendarizzare quali siano gli interventi strutturali di adeguamento pre-sisma da effettuare e come questi vadano a migliorare la capacità di resistenza dei manufatti; tali informazioni risultano essere molto importanti per gli enti gestori delle reti infrastrutturali che oggi devono più che mai confrontarsi non più con la costruzione di nuove reti stradali, ma con la gestione e la manutenzione del patrimonio costruito.

È infatti di grande attualità il tema della determinazione dei criteri di allocazione ottimale delle risorse finanziarie da parte degli enti preposti alla manutenzione delle reti infrastrutturali, per andare ad effettuare il maggior numero possibile di interventi e migliorie, determinandone anche la loro successione temporale, in modo tale da ridurre il rischio sismico globale delle reti di trasporto e allo stesso tempo rispettare le condizioni di vincolo di bilancio, imposte dalla limitata disponibilità di risorse economiche presenti, stanziare per il recupero e ripristino delle opere infrastrutturali.

1.1 Scopo del lavoro di tesi

Per quanto riguarda il presente lavoro di tesi, si è andati a consultare la letteratura tecnica in materia, in modo tale da identificare i vari metodi presenti per la valutazione dell'efficienza sismica di ponti e viadotti, in particolare per la tipologia comprendente i ponti multi-campata a campate isostatiche costituiti da travi in cemento armato e pile composte da più colonne, schema strutturale molto comune in Italia. La metodologia più accreditata e più performante per valutare la vulnerabilità sismica di ponti e viadotti esistenti consiste nella costruzione delle cosiddette "curve di fragilità", ovvero delle relazioni che vanno a rappresentare la probabilità di eccedere un predefinito livello di danno per un determinato valore di intensità sismica.



Figura 1.2 - Alcuni dei ponti presenti nel Veneto caratterizzati dalla tipologia strutturale analizzata: il ponte di San Nicolò Complico, il ponte di attraversamento della SS52, il ponte di attraversamento ferroviario di Villafranca, il ponte di attraversamento della SS434.

La natura probabilistica del problema in esame è data dall'aleatorietà delle variabili in gioco, dall'effettiva intensità sismica agente e dalle reali proprietà dei materiali costituenti il manufatto: non avendo infatti la certezza matematica di determinare gli effettivi parametri, si opta per l'uso di distribuzioni di probabilità nella descrizione delle proprietà di ciascun materiale.

Tra i vari metodi citati in letteratura, il metodo empirico denominato *RISK-UE*, che si basa su dati raccolti di terremoti passati (come da procedura descritta nel metodo americano *HAZUS 99*, sviluppato dall'agenzia statunitense per la gestione delle emergenze), ha il vantaggio principale di fornire in maniera immediata dette curve, senza bisogno di alcuna analisi sismica; altri metodi riportati in letteratura comprendono quelli denominati analitici, in cui risulta fondamentale, al fine di simulare l'azione sismica e ricavare quindi le curve di fragilità, svolgere delle analisi sismiche, solitamente di carattere non lineare. Considerando che le analisi dinamiche non lineari sono solite richiedere tempi computazionali molto lunghi, ciò che ad un primo approccio fa prediligere l'impiego del metodo empirico è l'immediatezza con cui fornisce i risultati, aspetto fondamentale quando ci si deve confrontare con situazioni critiche che possono mettere a serio rischio vite umane, come quelle causate ad esempio da un evento sismico; d'altro canto si è potuto osservare nel tempo che il metodo *Risk-UE* non è in grado di valutare correttamente la fragilità sismica della struttura, pertanto con questo lavoro di tesi si vuole presentare uno studio atto a modificare tale metodo empirico attraverso dei coefficienti correttivi, fornendo uno strumento di applicazione immediata e al contempo affidabile in termini di risultati.

Tale studio sarà affrontato mettendo a confronto le due procedure (empirica e analitica), in particolare studiando l'influenza dei parametri caratteristici di una determinata tipologia strutturale di ponti ricorrente all'interno della rete infrastrutturale veneta sulla vulnerabilità sismica del ponte o viadotto interessato, ponendo maggior attenzione allo studio della variazione delle curve di fragilità correlata al mutamento delle caratteristiche geometriche che identificano la parte più vulnerabile al sisma del manufatto, ossia la pila: nell'ordine si analizzerà come la variazione simultanea e non dell'altezza della pila, del diametro della pila, della lunghezza della campata ed infine del numero di campate influenza la costruzione delle curve di fragilità appena introdotte.

Attraverso l'impiego di metodi statistici, si andranno a definire dei modelli in grado di fornire per tutte le possibili configurazioni geometriche reali appartenenti alla medesima

tipologia strutturale di ponti e viadotti, i valori corretti dei due parametri caratteristici del metodo empirico considerato, in maniera tale da avere un rapido riscontro sulla vulnerabilità sismica valida per la tipologia strutturale analizzata.



Figura 1.3 - La previsione dei possibili scenari di danno permette di agevolare gli interventi di primo soccorso negli immediati istanti successivi all'evento eccezionale.

Il lavoro è presentato seguendo l'impostazione riportata qui sotto.

Nel capitolo 2, "*Tipologie di danneggiamento dei ponti a seguito di un evento sismico*", è riportata una rapida descrizione dei danneggiamenti più frequenti che si sono potuti osservare nei manufatti in seguito ad un evento sismico, in particolare per la sottostima degli spostamenti dovuti al sisma e per la sottostima delle forze sismiche che generano rotture di vari elementi tra cui pile, fondazioni, traversi, elementi in acciaio, spalle, appoggi. A tal proposito si elencheranno una serie di interventi di adeguamento atti a sopperire ad eventuali errori dovuti ad una progettazione inadeguata.

Nel capitolo 3, "*Valutazione della vulnerabilità sismica*", dopo aver definito il concetto di vulnerabilità sismica, ossia la propensione di una struttura a subire un danno di un determinato livello a fronte di un evento sismico di una data intensità, si elencheranno alcune verifiche di sicurezza che comportano un'analisi strutturale di tipo lineare o non lineare e successive verifiche puntuali di deformabilità e resistenza in tutte le parti critiche dell'opera. Successivamente si introdurranno le curve di fragilità, che sono considerate uno degli strumenti più performanti per valutare la vulnerabilità sismica di ponti e viadotti esistenti e possono essere utilizzate per una corretta pianificazione della fase di emergenza post-terremoto e per definire una strategia per gli interventi di retrofit (riabilitazione).

Nel capitolo 4, "*Caso studio: il ponte di Fener*", si analizzerà un caso pratico, ossia il ponte di Fener, situato nel comune di Alano di Piave, in provincia di Belluno; in particolare sarà presentato uno studio approfondito del rischio sismico di tale tipologia di ponte, attraverso analisi dinamiche non lineari e la successiva costruzione delle relative curve di

fragilità nelle due direzioni principali (longitudinale e trasversale all'asse dell'impalcato), per estendere poi i risultati ad altri ponti e viadotti appartenenti alla stessa tipologia strutturale, in funzione dei parametri caratteristici del singolo ponte analizzato di volta in volta: altezza H e diametro D della pila, lunghezza L della campata, numero di campate N . Interessante sarà vedere come variano dette curve di fragilità in funzione delle possibili configurazioni geometriche assunte dal ponte, caso per caso. Inoltre si confronteranno le curve di fragilità analitiche ottenute da due diverse strategie numeriche di modellazione del medesimo ponte: il modello numerico del solo portale (considerando come elemento più vulnerabile del ponte la singola pila) e il modello più completo dell'intero ponte (pile, impalcato, spalle, etc.); infine si determineranno le curve di fragilità analitiche di un ponte avente l'azione sismica inclinata rispetto all'asse longitudinale, confrontandole con quelle ottenute da un ponte sghembo con azione sismica agente lungo l'asse longitudinale, per valutare se la sghembatura influisce sulla risposta sismica oppure se quello che conta è solamente la giacitura dell'azione sismica rispetto all'asse delle pile.

Nel capitolo 5, “*Analisi dei risultati*”, si farà ricorso a dei metodi statistici per poter meglio rappresentare ed elaborare i dati ottenuti dalle varie analisi dinamiche non lineari usate per la costruzione delle curve di fragilità, al fine di creare un modello che meglio si adatti ai dati riportati e che, in maniera rapida e attendibile, consenta di ricavare le curve di fragilità del ponte a partire dalle sole caratteristiche geometriche dello stesso. Si studieranno due differenti modelli: uno a 3 parametri, considerando come variabili indipendenti l'altezza H della pila, il diametro D della pila e la lunghezza L della campata, mentre le variabili di risposta del modello saranno date dai parametri caratteristici del metodo *Risk-UE* modificato, ossia la mediana μ e la deviazione standard β_c ; l'altro modello, sempre a 3 parametri al fine di poterlo rappresentare graficamente nello spazio, avrà le stesse variabili di risposta del precedente modello, ma come variabili indipendenti si terranno in considerazione la snellezza H/D della pila, la luce L della campata e il numero di campate N . Infine si faranno ulteriori approfondimenti riguardanti la variazione in pianta della direzione dell'azione sismica, creando un modello “ad hoc” in maniera analoga a quelli già citati e confrontando i risultati ottenuti da quest'ultimo modello con quelli ottenuti attraverso la combinazione degli effetti del modello a 3 parametri (H/D , L , N) per le due direzioni (longitudinale e trasversale) opportunamente scomposte, ammesso che vi sia una correlazione tra i vari modelli.

Nel capitolo 6, “Conclusioni”, si riporteranno in maniera completa i risultati e i confronti tra i vari modelli analizzati con eventuali commenti, traendo le opportune conclusioni su tutto il lavoro di tesi svolto.

Infine, negli allegati 1 e 2, sono elencati tutti gli input e gli output derivanti dalle varie analisi svolte, in particolare nell’allegato 1 sono riportati i valori di spostamento derivanti dalle analisi dinamiche non lineari svolte, relativi ai vari ponti-campione nelle due direzioni principali per ogni caso analizzato, mentre nell’allegato 2 sono riportati gli input dei due modelli studiati (mediana μ e deviazione standard β_c del metodo *Risk-UE* modificato) per varie configurazioni geometriche del ponte analizzato, per le due direzioni principali e per ogni livello di danno.

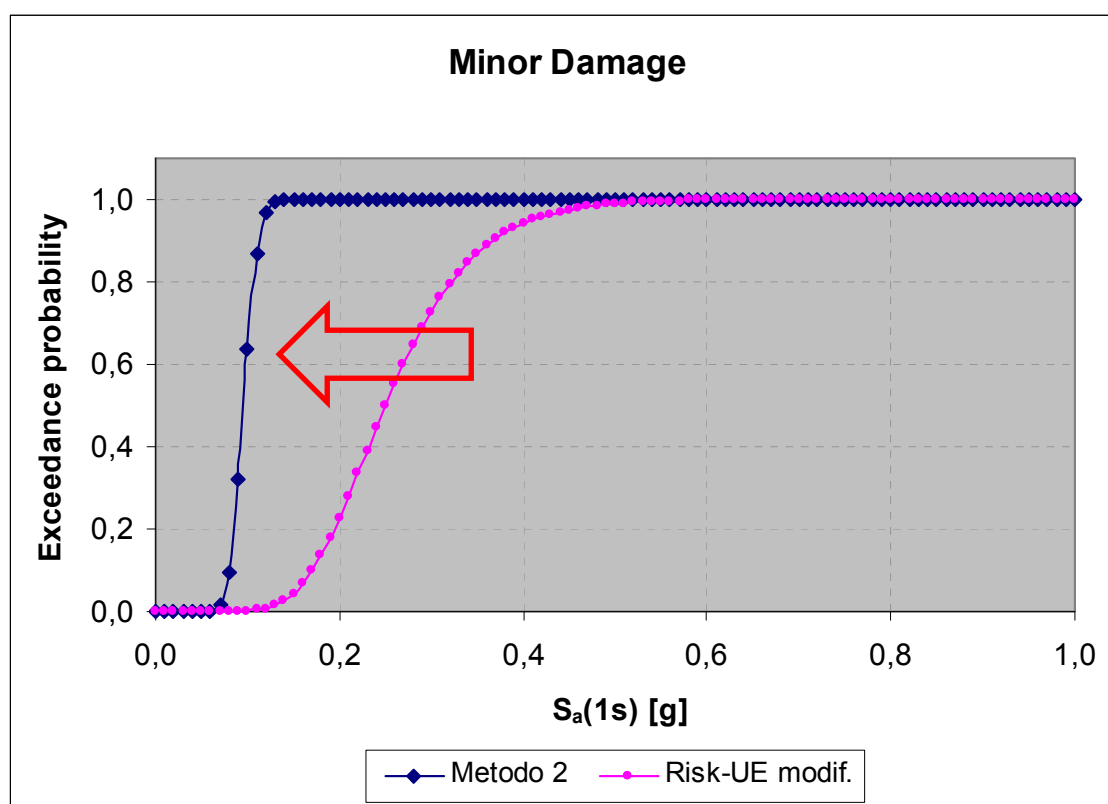


Figura 1.3 - Esempio di curve ottenute con i due metodi: lo scopo del lavoro di tesi proposto è quello di cercare, attraverso dei coefficienti correttivi da applicare al metodo empirico (curva magenta), di “sovrapporre” le due curve, in maniera tale da avere una equipollenza nei due metodi al fine di poter valutare la vulnerabilità sismica ed ovviamente poter utilizzare il metodo meno dispendioso in termini di risorse.

2 **Tipologie di danneggiamento dei ponti a seguito di un evento sismico**

I ponti, in generale, sono caratterizzati da sistemi strutturali molto semplici o come tali schematizzabili. Questa caratteristica sicuramente favorisce lo sviluppo di analisi teoriche in grado di produrre una risposta coerente con quella reale, soprattutto se confrontata con altri sistemi più complessi come gli edifici.

Nonostante questo, i ponti, soprattutto quelli in cemento armato, non risultano così performanti come ci si aspetterebbe, come dimostrato dai recenti terremoti in California, Giappone e Sud America: la giustificazione sta molto probabilmente nella filosofia di calcolo e nella poca attenzione alla cura dei dettagli costruttivi, ma anche nel basso livello di iperstaticità. I sistemi strutturali presenti negli edifici molto spesso evitano conseguenze disastrose anche per terremoti molto forti proprio per l'elevato numero di vincoli sovrabbondanti che permettono ampie escursioni oltre il campo elastico.

Analizzando i danni provocati dai principali terremoti, anche recenti, si può notare come questi siano in generale riconducibili a difetti progettuali: la maggior parte delle inefficienze strutturali sono diretta conseguenza delle modalità di analisi e di progetto che fanno riferimento ad una risposta strutturale in campo elastico, generalmente adottata prima degli anni 70 ed ancora in vigore in molti stati.

Le conseguenze dell'approccio elastico sono:

- *sottostima degli spostamenti*: la stima degli spostamenti in presenza di forze orizzontali, associato all'uso di sezioni interamente reagenti piuttosto che fessurate, risulta fortemente sottostimato rispetto a quelli reali attesi;
- *sottostima delle forze sismiche*: l'assunzione di forze sismiche sottostimate produce un rapporto tra carichi statici e forze sismiche non corretto, che condiziona negativamente il dimensionamento degli elementi strutturali;

- *non presa in conto delle riserve strutturali in campo plastico*: assenza di un'analisi della struttura in campo plastico, associato a concetti di duttilità e progettazione secondo i criteri del capacity design.

Qui di seguito si riporta una rapida descrizione dei danneggiamenti più frequenti che si sono potuti osservare nei manufatti in seguito ad un evento sismico.

2.1 Spostamenti dovuti al sisma

L'effetto negativo principale della sottostima degli spostamenti si riscontra nella definizione delle lunghezze delle sedi di appoggio di travi e impalcati e nel dimensionare i giunti strutturali: in generale risultano sempre troppo corte e in presenza di terremoti importanti generano conseguenze disastrose; inoltre si possono verificare fenomeni di martellamento e scivolamento della spalla.

2.1.1 Perdita di appoggio

Questa causa è data dai movimenti longitudinali delle campate del ponte che a volte provocano degli spostamenti che producono il disarcionamento delle campate e la rottura del collegamento tra esse, con il conseguente crollo della campata stessa. In particolare è stato osservato che le campate inclinate sono soggette a spostamenti di entità maggiore rispetto a quelle rettilinee in quanto il movimento di traslazione longitudinale si combina in questo caso con quello rotazionale.

Si riportano di seguito alcune foto rappresentanti esempi di crisi delle connessioni con perdita di appoggio.



Figura 2.1 - Perdita di appoggio e rottura dei dispositivi di collegamento di un viadotto a campate in semplice appoggio (Nishinomiya-ko bridge, terremoto di Kobe, Giappone, 1995).



Figura 2.2 - Tipico collasso dell'impalcato per perdita di appoggio (terremoto di Niigata, Giappone, 1964).



Figura 2.3 - Perdita di appoggio di un ponte dopo un terremoto in Turchia.

2.1.2 Martellamento

Il fenomeno del martellamento consiste nell'impatto fra strutture adiacenti dovuto alle forze inerziali; la causa di tale impatto risiede nell'errata progettazione del giunto fra le due strutture. Il fenomeno diventa più grave quando le strutture che vengono a contatto sono di diversa altezza, per esempio quando l'urto avviene tra la sovrastruttura di un viadotto e le pile di quello adiacente: la conseguenza causata dall'impatto è un brusco aumento delle forze di taglio, che possono portare ad una rottura di tipo fragile.



Figura 2.4 - Fenomeno di martellamento in corrispondenza della spalla (terremoto di Kobe, 1995).

2.1.3 Amplificazione degli spostamenti per effetto del suolo

Se in corrispondenza del ponte si ha un terreno con consistenza molle, in seguito all'azione sismica, si possono avere delle oscillazioni rilevanti della struttura, aumentando la probabilità di perdita di appoggio. Se inoltre il terreno in corrispondenza dei pali di fondazione è costituito da sabbie limose o limi sabbiosi saturi, è possibile che si manifesti il fenomeno di liquefazione del terreno, con conseguenti spostamenti delle fondazioni dell'ordine delle decine di centimetri fino al metro.

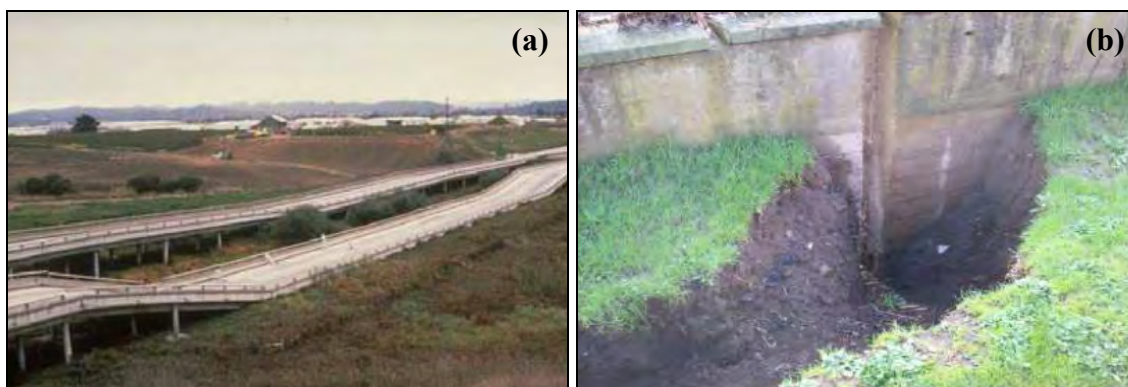


Figura 2.5 - (a) Collasso delle pile dovuto al fenomeno della liquefazione (West Grand Viaduct, terremoto di Loma Prieta, 1989); (b) liquefazione del terreno ai piedi della fondazione di una pila.

2.2 Sottostima delle forze sismiche: rottura delle pile

La rottura delle pile di un ponte è data da una serie di carenze progettuali, in quanto la rottura avviene per la mancata duttilità della pila quando questa è sottoposta ad un evento sismico. Per sopperire a questa mancanza, gli attuali criteri di progettazione si basano sul Capacity Design, secondo cui viene prevista la formazione di cerniere plastiche, ovvero di zone ad elevata duttilità, dove si possono concentrare le sollecitazioni, in modo tale da fornire all'elemento strutturale una resistenza nei confronti della rottura di tipo fragile superiore alla capacità flessionale.

Quando le forze orizzontali sono maggiori di quelle previste da progetto, l'involuppo dei diagrammi di sollecitazione effettivo può essere invertito di segno e i punti di annullamento dei momenti possono essere spostati: questo comporta una distribuzione inadeguata delle armature e una rottura prematura.

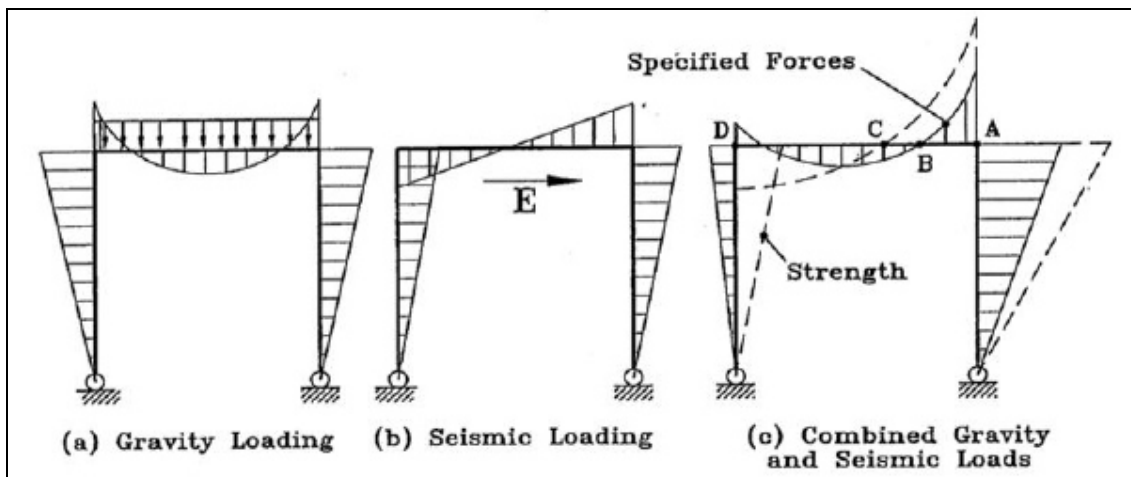


Figura 2.6 - Distribuzione elastica dei momenti flettenti.

2.2.1 Rottura per flessione delle pile

La crisi per flessione delle pile si ha quando la resistenza flessionale è inadeguata. Sui ponti esistenti è possibile osservare che, grazie all'effetto di strain-hardening dell'acciaio, le forze resistenti laterali effettive risultano 3-4 volte superiori rispetto a quelle di progetto e possono corrispondere a circa il 25% dei pesi gravitazionali. Questa sarebbe una soglia corretta se la progettazione sfruttasse le risorse anelastiche, ma nel caso di ponti esistenti, poiché non esistono dettagli costruttivi adeguati, la duttilità richiesta dall'azione sismica non è sufficiente.

Altri problemi legati alla crisi per flessione possono essere dovuti all'inadeguata lunghezza di sovrapposizione o di ancoraggio dei ferri d'armatura longitudinale, per esempio alla base della pila, dove solitamente si forma la cerniera plastica; anche la prematura interruzione delle barre longitudinali, calcolate considerando l'involuppo dei momenti senza però considerare gli effetti di sovrarresistenza dell'acciaio, che comportano una traslazione del diagramma di momento flettente, può portare alla crisi per flessione. Un altro motivo legato a questo tipo di crisi può essere la non adeguata staffatura, che non garantisce l'opportuno confinamento del calcestruzzo oltre a favorire l'instabilità delle barre d'armatura longitudinali.

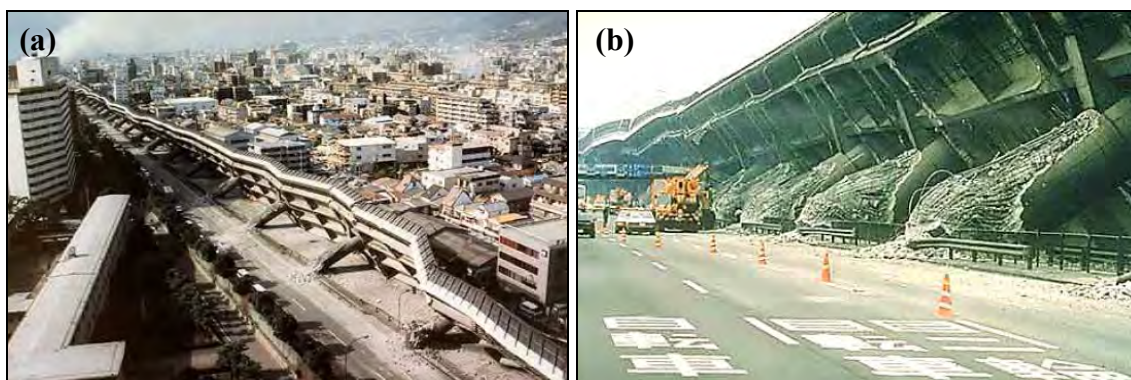


Figura 2.7 - (a) Vista dell'intera infrastruttura danneggiata; (b) rottura per interruzione prematura delle barre longitudinali e limitata presenza di staffe (Hanshin expressway, terremoto di Kobe, Giappone, 1995).

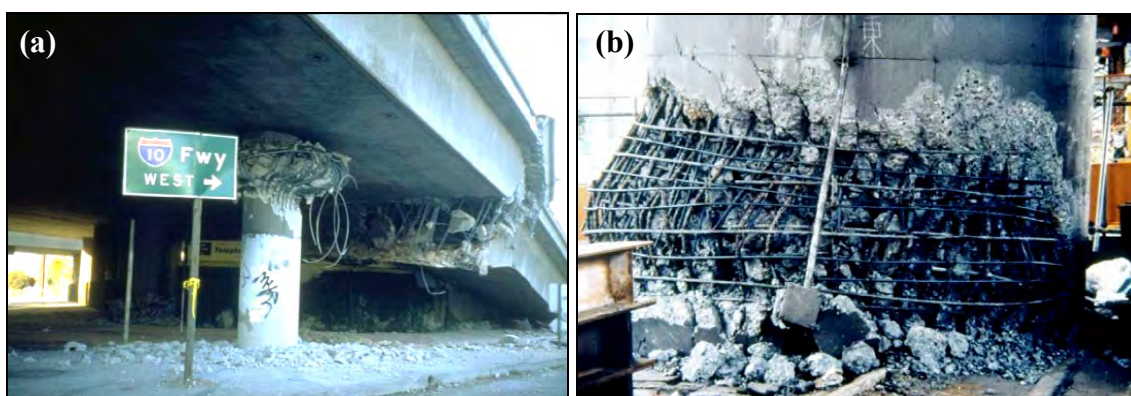


Figura 2.8 - (a) Crisi in sommità della pila per instabilità delle barre d'acciaio, dovuta all'insufficiente staffatura (viadotto dell'autostrada Santa Monica, terremoto di Northbridge, California, 1994); (b) rottura per inadeguata resistenza flessionale causata da errata sovrapposizione dei ferri d'armatura (Hanshin expressway, terremoto di Kobe, Giappone, 1995).



Figura 2.9 - Corretta progettazione e formazione di cerniera plastica a seguito di evento sismico (terremoto di Chuetsu, Niigata Prefecture, Giappone, 2004).

2.2.2 Rottura per taglio delle pile

Questo tipo di crisi è il risultato principalmente della riduzione dei meccanismi secondari di resistenza a taglio a causa di un'eccessiva deformazione. Oltre al meccanismo resistente principale alla Morsch, vengono interessati il meccanismo arco-tirante dovuto allo sforzo normale agente, l'effetto "spinotto" dovuto all'armatura in zona tesa, l'effetto "ingranamento" degli inerti, l'effetto "pettine" dovuto all'incastro dei denti di calcestruzzo nel corrente compresso tra due fessure consecutive e l'effetto "corrente teso", che chiama in causa la resistenza a taglio dell'area di calcestruzzo che avvolge ed è solidale con l'armatura longitudinale tesa.

La crisi per taglio porta ad una rottura di tipo "fragile": lo snervamento dell'armatura longitudinale causa un aumento della larghezza delle fessure da taglio comportando una riduzione degli effetti secondari di resistenza. Le pile non molto alte, che hanno un elevato rapporto taglio-momento, sono le più suscettibili a questo tipo di rottura; in generale il problema è anche legato ad un progetto meno conservativo per gli effetti di taglio rispetto a quelli flessionali.

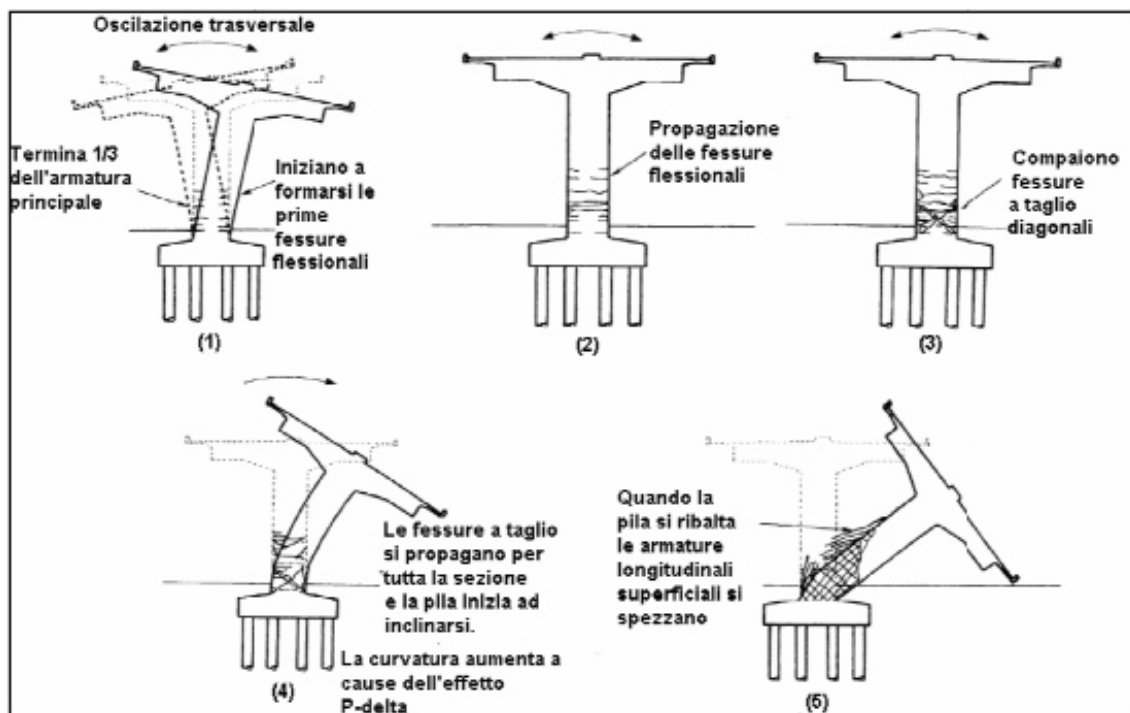


Figura 2.10 - Esempio di meccanismo di rottura per taglio.



Figura 2.11 - (a) Rottura per taglio delle pile (terremoto di Chi Chi, Taiwan, 1999); (b) classica rottura per taglio di una pila da ponte.

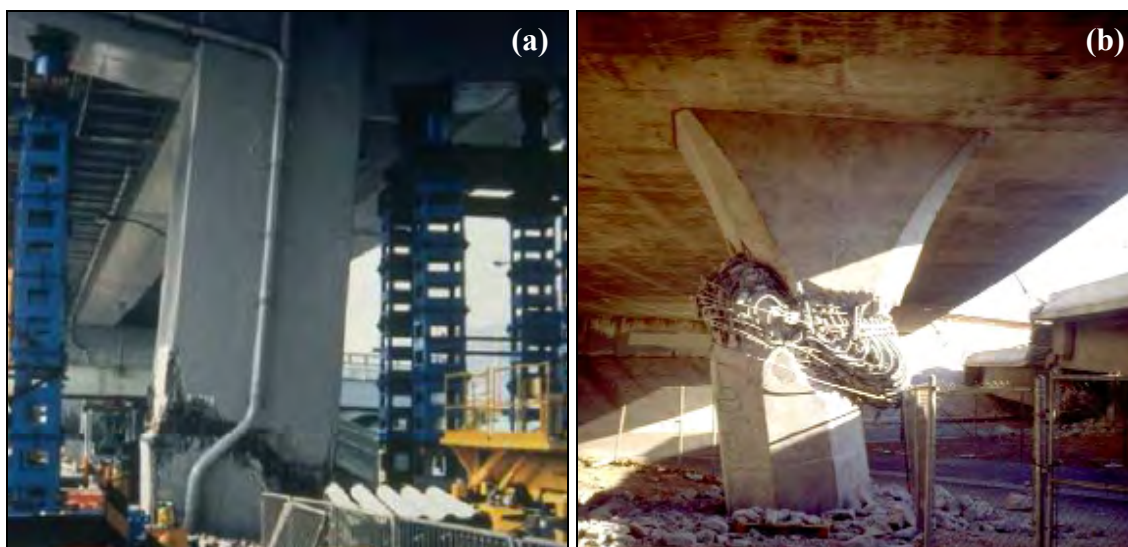


Figura 2.12 - Rottura per taglio delle pile: (a) terremoto di Kobe, Giappone, 1995; (b) San Fernando Bridge, California, terremoto di Northridge, 1994.

2.2.3 Rottura della fondazione di una pila

Le rotture delle strutture di fondazione si sono osservate con minor frequenza rispetto a quelle degli elementi fuori terra, probabilmente per la rottura anticipata delle pile. Le possibili cause sono ancora legate ad una insufficiente resistenza a taglio (assenza di staffatura) o a flessione o ad una carenza degli ancoraggi delle barre delle pile e delle armature dei pali e, più in generale, alla progettazione dei dettagli costruttivi del nodo pila-zoccolo di fondazione.



Figura 2.13 - Rottura per insufficiente ancoraggio delle barre nelle fondazioni (Golden State Freeway, terremoto di San Fernand, 1971).

2.2.4 Rottura dei traversi nelle pile a telaio

Questo tipo di rottura si può ricondurre principalmente a carenze progettuali già trattate nelle tipologie di crisi precedenti: inadeguata resistenza a taglio, insufficiente ancoraggio dell'armatura nei nodi e prematura interruzione dell'armatura longitudinale per momenti negativi.



Figura 2.14 - Rottura per insufficiente ancoraggio delle barre dei traversi (Cypress Viaduct, terremoto di Northridge, 1994).

2.2.5 Rottura degli elementi in acciaio

Il danneggiamento sismico subito dagli elementi di un ponte è strettamente legato alla loro capacità di subire deformazioni ed è indipendente dalla tipologia di materiale che li

costituisce; sia che si tratti di acciaio sia di calcestruzzo, l'importante è che l'elemento sia dotato di adeguati dettagli costruttivi in modo tale da poter subire cicli di deformazione senza che la sua resistenza sia compromessa.

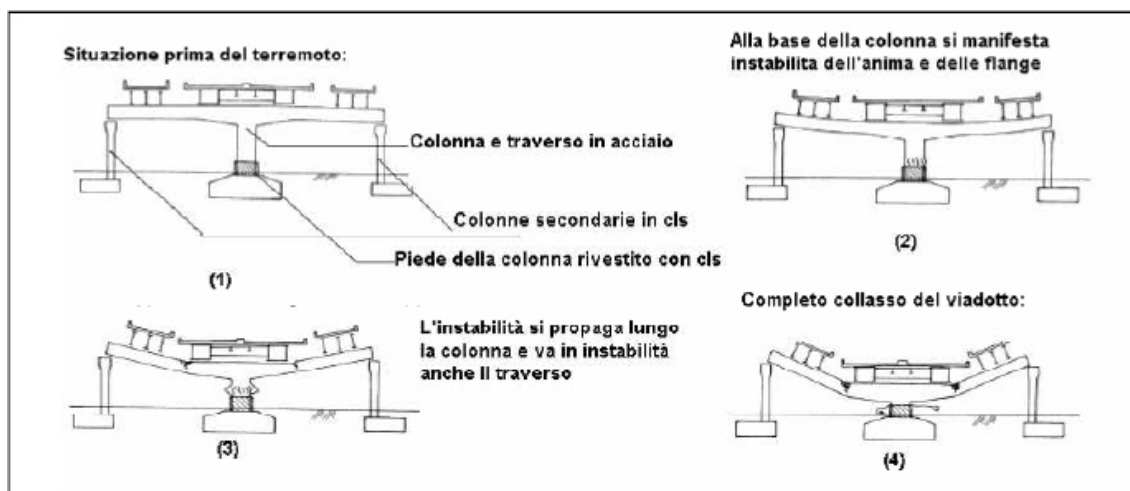


Figura 2.15 - Meccanismo di collasso per instabilità della pila in acciaio del viadotto di Tateishi, terremoto di Kobe, 1995.

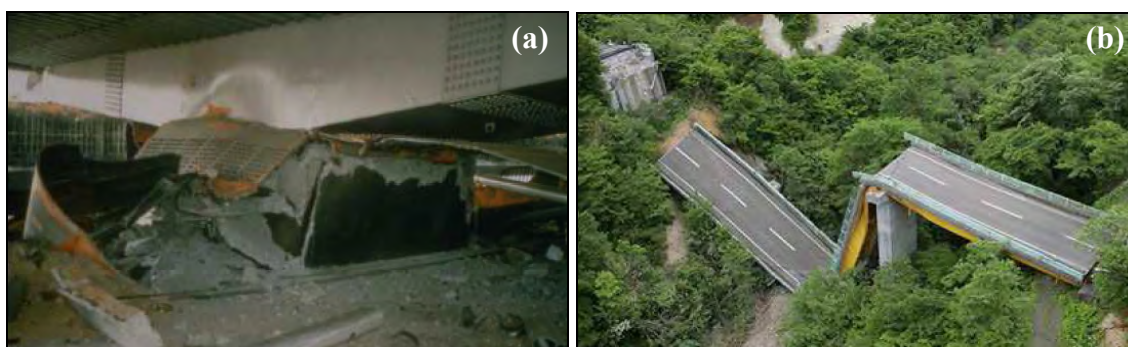


Figura 2.16 - (a) Collasso per instabilità della pila in acciaio del viadotto di Tateishi, terremoto di Kobe, 1995; (b) collasso delle campate in acciaio di un viadotto dopo un terremoto.

2.2.6 Rottura delle spalle

Il collasso delle spalle, essendo tali strutture piuttosto resistenti in generale, è legato non tanto alla crisi strutturale da flessione o taglio, quanto piuttosto al tipo di terreno di fondazione: se il suolo è molle o il terreno di riempimento non è consolidato a sufficienza, sotto le accelerazioni longitudinali, un eventuale impatto dell'impalcato con il muro frontale della spalla può determinare pressioni negative molto elevate; le pressioni laterali aumentano a livello inferiore al punto di contatto e il terreno tende a scivolare in avanti, spingendo la parte inferiore delle pile, mentre gli spostamenti per la parte superiore rimangono limitati in

conseguenza del contatto con la sovrastruttura: ne consegue una rotazione con conseguenti danni ai pali di fondazione.



Figura 2.17 - Rottura delle spalle: (a) Changgan Bridge (terremoto di Chi Chi, Taiwan, 1999); (b) Three Cherry Trees Lane Bridge.

2.2.7 Rottura degli appoggi e dei dispositivi

È importante che le forze orizzontali generate dall'eccitazione della sovrastruttura siano trasmesse interamente alle pile, secondo lo schema degli appoggi, in modo da poter generare i meccanismi di dissipazione previsti; se questo non accade, per esempio a causa di spostamenti richiesti maggiori di quelli di progetto, avviene la crisi dei dispositivi di appoggio e dei rispettivi giunti.



Figura 2.18 - (a) e (b) Dispositivi di appoggio danneggiati; (c) collasso di un dispositivo di smorzamento viscoso rotante, dovuto a eccessivi spostamenti (Higashi-Kobe Bridge, terremoto di Kobe, 1995).

2.3 Interventi di adeguamento sismico su ponti a travata

Ai fini di sopperire ad eventuali errori di una progettazione inadeguata, si può procedere con l'adeguamento sismico dei ponti esistenti, che in generale per ponti a travata consiste in:

- allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato;
- vincoli aggiuntivi realizzati con barre e cavi;
- ritegni longitudinali e trasversali;
- rinforzo delle pile;
- rinforzo dei traversi;
- rinforzo delle fondazioni;
- isolamento e smorzamento.

Nella maggioranza dei casi il rinforzo sismico deve essere realizzato in soggezione di traffico, quindi non solo in tempi molto stretti per ridurre il disagio alla viabilità, ma anche con notevoli condizionamenti sui metodi di rinforzo. Le soluzioni particolari o più innovative,

come ad esempio l'impiego di materiali ad alta resistenza o prestazioni, trovano spesso il terreno naturale di impiego nei casi di rinforzo, diventando competitive proprio a causa delle restrizioni sopra citate.

2.3.1 Allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato

Dal punto di vista sismico, le carenze più comunemente rilevate nei ponti di costruzione meno recente riguardano l'inadeguatezza degli appoggi e delle lunghezze di appoggio, fattori che possono facilmente portare alla perdita di supporto e al conseguente collasso di intere campate negli impalcato semplicemente appoggiati. Non è un caso se i primi programmi di rinforzo negli Stati Uniti, a seguito del terremoto di San Fernando, si siano concentrati proprio sulla correzione di questi problemi.

Gli interventi per adeguare il sistema di appoggio sono molto vari e dipendono dalla tipologia dell'impalcato e dalla qualità dell'intervento che si intende realizzare. L'intervento di allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato ha la finalità di fornire una lunghezza di appoggio maggiore all'impalcato e, per determinare la lunghezza delle selle di appoggio, bisogna considerare i movimenti degli impalcato non in fase. Si tratta di interventi semplici e non costosi.

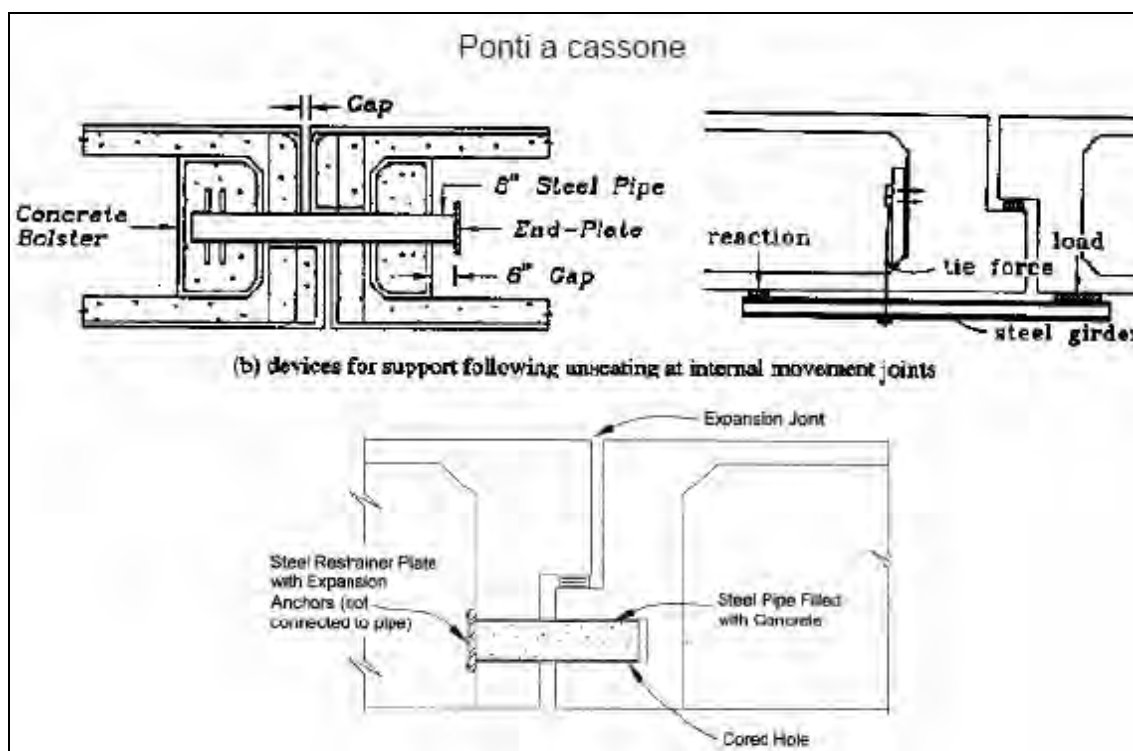


Figura 2.19 - Intervento di allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato per ponti a cassone.

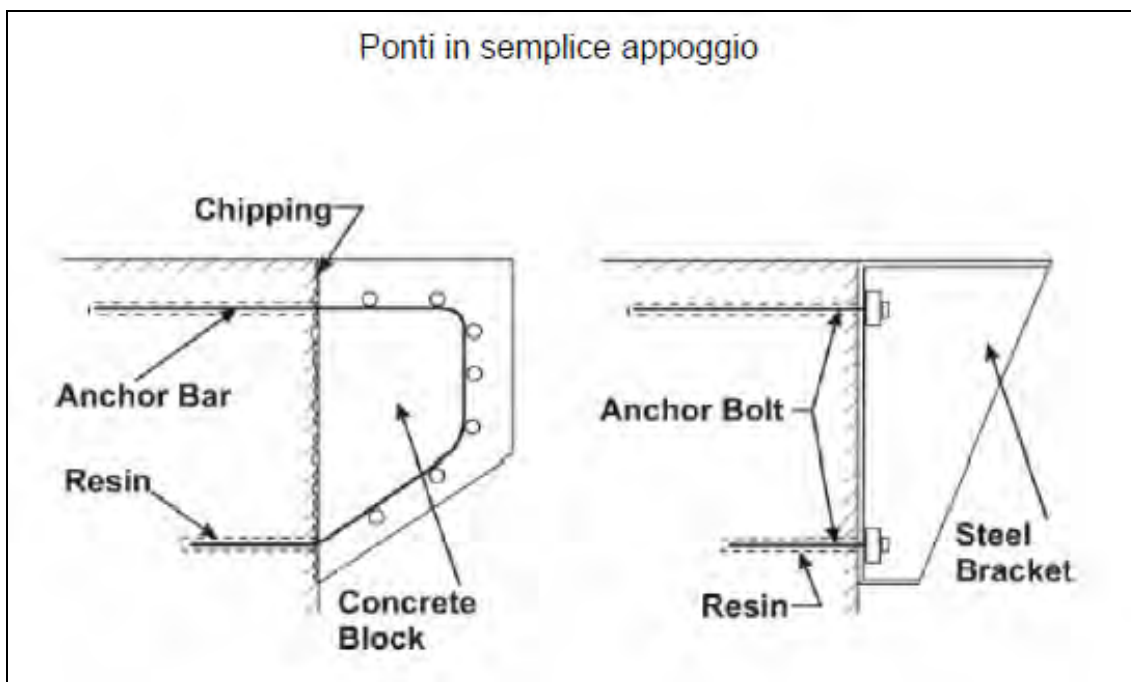


Figura 2.20 - Intervento di allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato per ponti in semplice appoggio.



Figura 2.21 - Intervento di allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato per ponti in semplice appoggio mediante selle metalliche.

2.3.2 Vincoli aggiuntivi realizzati con barre e cavi

Questo tipo di intervento ha la finalità di evitare le fuori uscite degli impalcati dagli appoggi, limitando gli spostamenti; per determinare le caratteristiche dei cavi di vincolo, bisogna considerare i movimenti degli impalcati non in fase. Si tratta anche in questo caso di interventi semplici e non costosi.

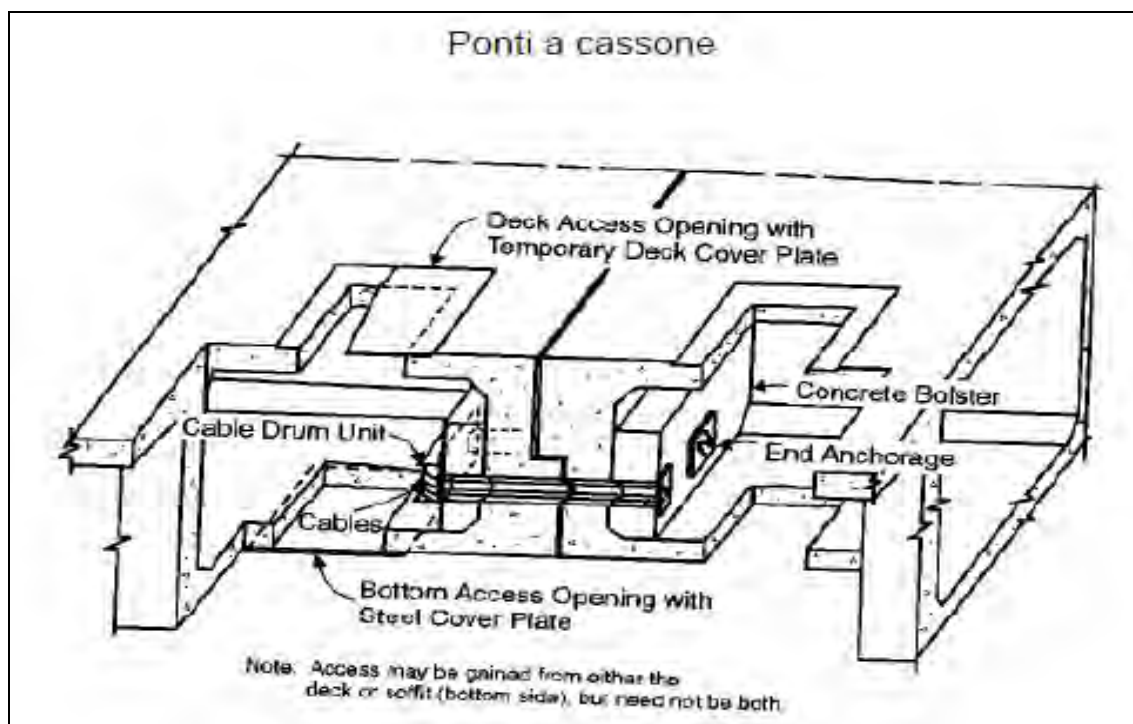


Figura 2.22 - Intervento di aggiunta di vincoli realizzati con barre e cavi per ponti a cassone.

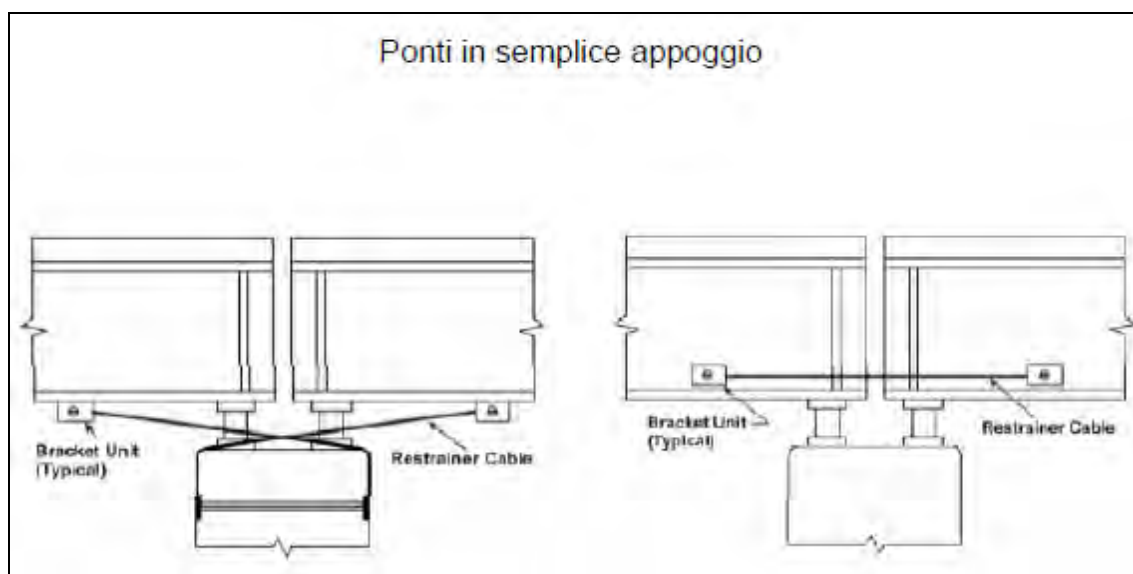


Figura 2.23 - Intervento di aggiunta di vincoli realizzati con barre e cavi per ponti in semplice appoggio.



Figura 2.24 - Intervento di aggiunta di vincoli realizzati con barre e cavi per ponti in semplice appoggio.

2.3.3 Ritegni longitudinali e trasversali

Questo tipo di intervento ha la finalità di limitare gli spostamenti agli appoggi; si tratta anche in questo caso di interventi semplici e non costosi.



Figura 2.25 - Intervento di aggiunta di ritegni longitudinali e trasversali.

2.3.4 Rinforzo delle pile

Le pile in cemento armato progettate secondo criteri non sismici presentano spesso inadeguate lunghezze di sovrapposizione o di ancoraggio delle barre longitudinali e ridotto quantitativo di armatura trasversale, peraltro non ancorata nel nucleo: ne risultano un difetto di resistenza a taglio e di duttilità (confinamento del calcestruzzo e delle barre longitudinali compresse inadeguati, sfilamento delle barre tese).

L'intervento di rinforzo delle pile ha la finalità di aumentare la resistenza a taglio degli appoggi, limitando gli spostamenti, e aumentare la capacità di duttilità della pila stessa. I possibili interventi includono: piatti metallici, aumento della sezione con camicie in c.a., precompressione con cavi o barre in acciaio ad alta resistenza, rinforzi con materiali compositi.

In particolare l'intervento di rinforzo della pila attraverso il confinamento con piatti metallici fa aumentare la resistenza e la deformazione ultima del calcestruzzo confinato; inoltre si registra un aumento del 20-40% della rigidità della pila per tutta l'altezza del rinforzo (*Priestley at al.*).

La tecnica dell'incamiciatura in acciaio è stata una delle prime usate per il rinforzo delle pile in cemento armato; utilizzata per migliaia di pile da ponte in California, ha dimostrato di essere molto efficace durante il terremoto di Northridge del 1994: oltre cinquanta ponti rinforzati in questo modo hanno superato senza danni alle pile accelerazioni di picco alla base superiori a 0,3g. In Giappone la tecnica è stata utilizzata per oltre 40.000 pile dopo il terremoto di Kobe del 1995, durante il quale pile rinforzate con camicie in acciaio e soggette ad accelerazioni di picco superiori a 0,8g non hanno riportato danni.

La camicia, normalmente di spessore intorno ai 6÷12 mm, viene saldata in opera e lo spessore che la separa dalla pila (12,5÷25 mm) viene iniettato con malta cementizia o resine; in alternativa alla saldatura, sono stati sviluppati anche giunzioni meccaniche. Il campo di applicazione preferenziale è quello delle pile circolari piene. L'efficienza del confinamento per pile di diametro superiore ai 4,0 m non è stata ancora suffragata sperimentalmente. Dati gli spessori utilizzati, il quantitativo di acciaio è considerevole, specialmente se confrontato con l'acciaio presente nella pila.

Al di là dell'aspetto economico, che rende meno competitiva questa soluzione, è necessario osservare che l'incremento di resistenza flessionale e a taglio con questa soluzione di rinforzo è molto elevato e il distacco dalla base della pila è quasi obbligato (normalmente nella misura di 50÷100 mm). Se si vuole incrementare anche la resistenza a flessione è necessario ancorarla alla fondazione. Per le pile rettangolari le camicie, di forma ellittica, hanno effetto sulla resistenza a taglio e possono averlo su quella a flessione, ma non sul confinamento.

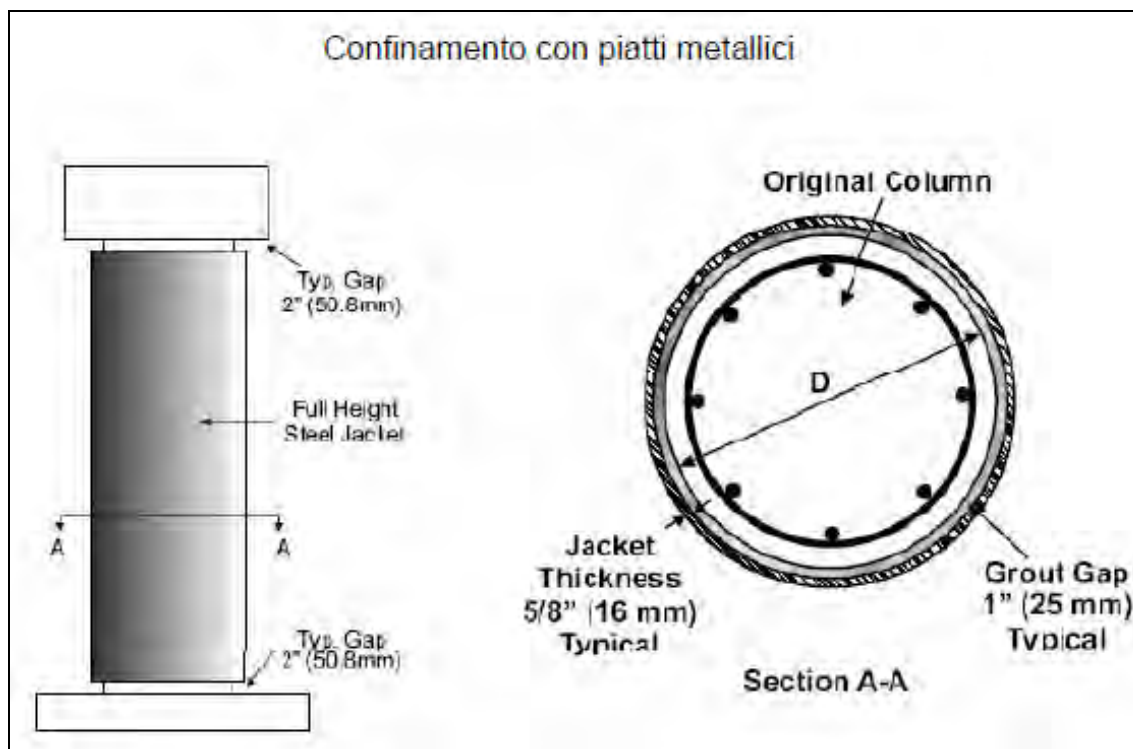


Figura 2.26 - Intervento di rinforzo delle pile con piatti metallici.

Le ragioni principali che invece portano a scegliere il rinforzo mediante incamiciatura in c.a. sono due: generalmente esso risulta competitivo da un punto di vista economico e presenta un comportamento più favorevole in acqua rispetto alle alternative; per questo motivo si tratta di una delle soluzioni più utilizzate, in particolare per le pile in alveo. Tale intervento consiste nella costruzione intorno alla pila esistente di una nuova sezione in cemento armato; la buona connessione tra le due porzioni di calcestruzzo è essenziale per la riuscita del rinforzo: questo avviene attraverso una serie di barre inserite in appositi fori, praticati nel calcestruzzo esistente dopo la rimozione del copriferro e iniettati con malta cementizia o resine epossidiche.

La camicia può essere di due tipi: staccata dalla base, mediamente di 100÷150 mm, nel qual caso fornisce un incremento di duttilità e di resistenza a taglio, oppure connessa con la fondazione e dotata di barre longitudinali ancorate nella fondazione, nel qual caso fornisce anche un contributo alla resistenza flessionale. L'incremento del confinamento migliora sia il comportamento del calcestruzzo compresso che la trasmissione delle forze nelle zone di sovrapposizione tra le barre.

Questo tipo di intervento risulta molto efficace per pile con sezione circolare; nel caso di pile a sezione rettangolare esso presenta invece una riduzione di efficienza, crescente con le

dimensioni della sezione da incamiciare. Il problema è particolarmente sentito nel rinforzo delle pile a setto, che possono presentare deficit di resistenza, nonostante la grande sezione, perché sono caratterizzate da quantitativi di armatura spesso ridotti.



Figura 2.27 - Intervento di rinforzo delle pile: (a) e (b) confinamento con piatti metallici; (c) aumento della sezione con getti in c.a..



Figura 2.28 - Intervento di rinforzo delle pile mediante l'utilizzo di materiali compositi.

La fasciatura con FRP consiste nell'uso di molte varianti di polimeri/plastiche fibrorinforzate; la scelta della tipologia di materiale dipende dalla rigidità, dalla resistenza e dalla deformazione di rottura del tipo specifico di materiale utilizzato (fibre di carbonio, aramidio, vetro, etc). Questi materiali, pur avendo un costo generalmente ancora elevato, risultano economicamente competitivi in quei casi in cui il loro utilizzo permette un notevole accorciamento dei tempi di realizzazione del rinforzo e quindi dell'interferenza con il traffico; inoltre, essendo normalmente leggeri e facilmente maneggiabili, sono un'ottima alternativa alle camicie in c.a. o acciaio in tutte quelle situazioni in cui lo spazio operativo è limitato o disagiato.

L'intervento di recupero delle pile dei ponti mediante fasciature può avere scopi diversi: incrementare la resistenza e incrementare la duttilità. Nel primo caso, il confinamento del calcestruzzo può essere adottato ad esempio nel caso di calcestruzzo fortemente ammalorato, per riportare la resistenza al livello di sicurezza previsto in fase di progetto, oppure la fasciatura può essere finalizzata ad aumentare la sezione resistente; nel caso di strutture realizzate in zona sismica, l'intervento è concepito più per aumentare la duttilità e la capacità dissipativa piuttosto che la resistenza.

2.3.5 Trasformazione in pila a setto

Un intervento realizzato in alcuni casi di pile a portale basse è quello consistente nella realizzazione di un riempimento in c.a. tra i due ritti, la fondazione e il pulvino. Il nuovo getto viene connesso alla pila esistente mediante fiorettature praticate sul contorno e il risultato finale è una pila a setto di rigidità e resistenza molto elevate nel piano del nuovo muro.

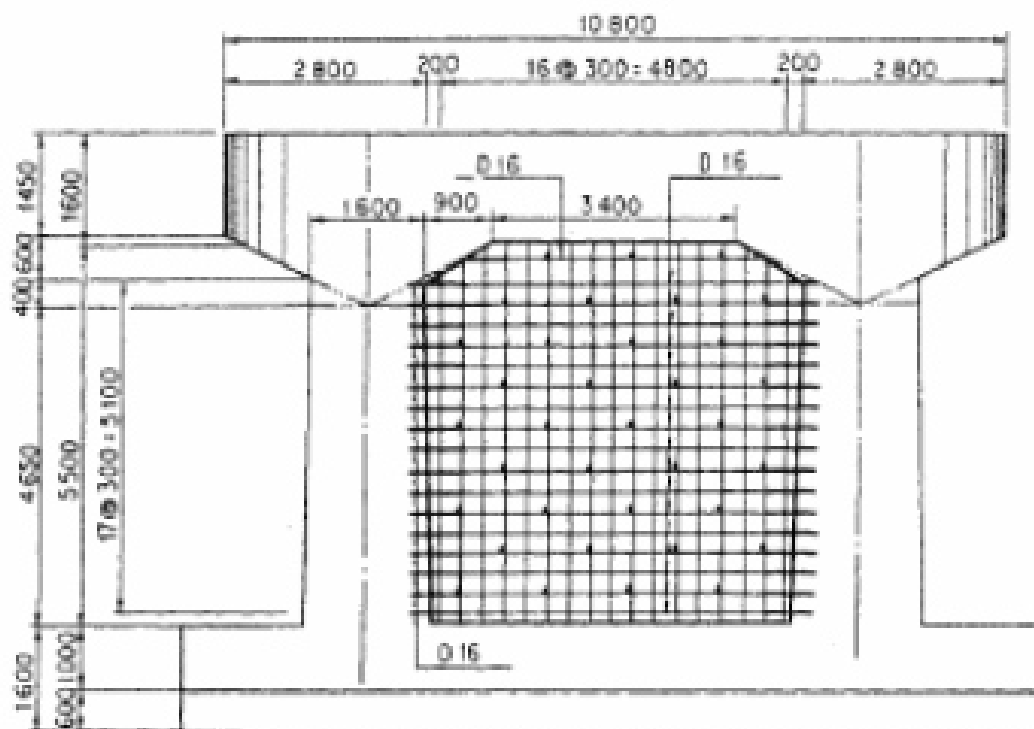


Figura 2.29 - Realizzazione di un setto tra i due ritti di una pila a portale.

2.3.6 Rinforzo dei traversi

L'intervento di rinforzo dei traversi ha la finalità di aumentare la resistenza a taglio, aumentare la duttilità e infine aumentare la resistenza a flessione. Gli approcci includono: piatti metallici, rinforzi in c.a. e precompressione con cavi ad alta resistenza.

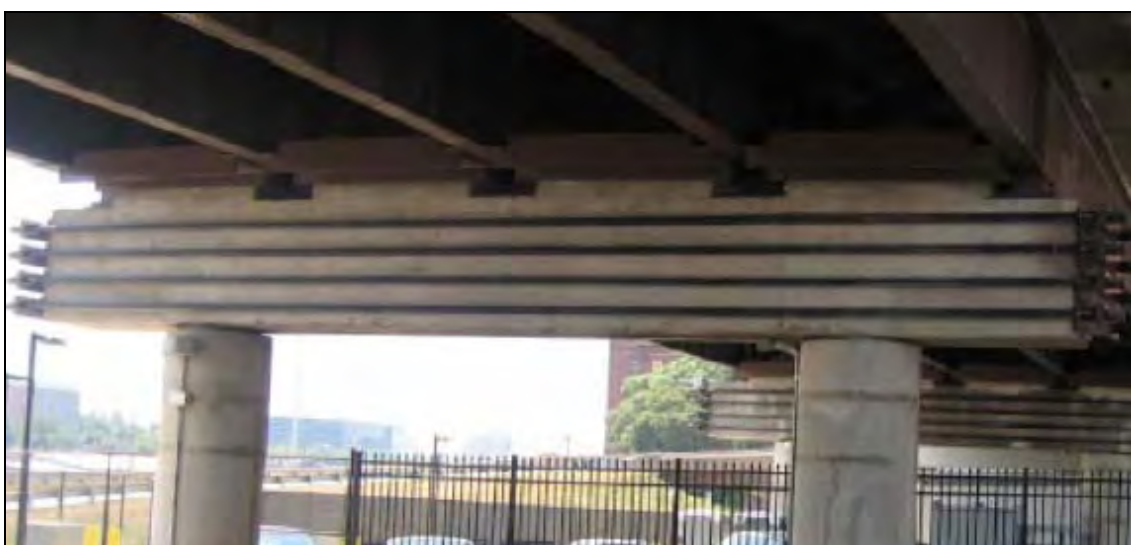


Figura 2.30 - Intervento di rinforzo dei traversi tramite l'utilizzo di cavi di precompressione.

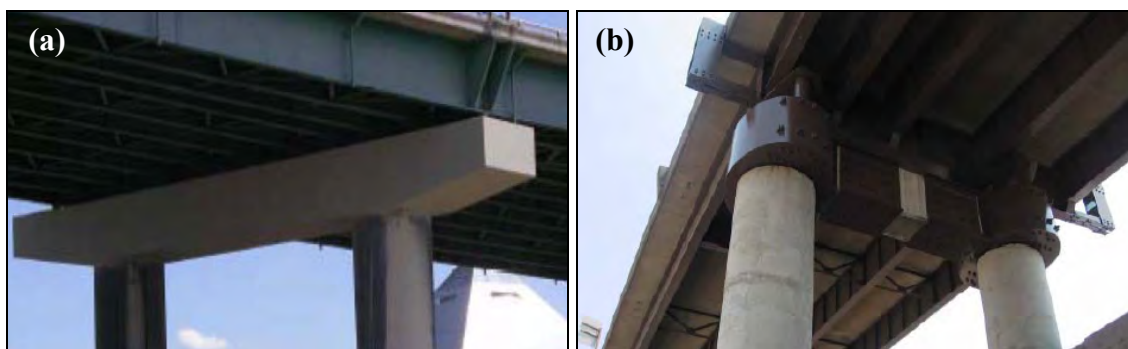


Figura 2.31 - Intervento di rinforzo dei traversi: (a) aumento della sezione in c.a.; (b) rinforzo con piatti metallici.

2.3.7 Rinforzo delle fondazioni

L'intervento sulle fondazioni può rendersi necessario nel caso in cui la fondazione esistente non sia adeguata a trasmettere al terreno le forze provenienti dalla sovrastruttura, valutate per un'azione sismica di verifica che è in generale maggiore di quella del progetto originale. Nel caso in cui la pila o la spalla sia stata rinforzata, occorre, in ossequio al principio di gerarchia delle resistenze, verificare che la fondazione sia in grado di sopportare le nuove aumentate forze che l'elevazione può trasmettere. L'intervento è infine sempre necessario quando la pila viene allargata per accogliere un impalcato di larghezza maggiore.

La porzione di fondazione di nuova realizzazione è costituita da un plinto normalmente fondato su micropali. La geometria del plinto riprende quella del plinto esistente nel caso di allargamento e lo ingloba, quando occorre, nel caso di rinforzo; in entrambi i casi il problema principale è quello della solidarizzazione delle due porzioni del plinto in modo da garantire un comportamento monolitico. La soluzione più comune consiste nell'uso di una fitta serie di fiorettature; nel caso sia necessario trasmettere sollecitazioni elevate si può ricorrere anche alla precompressione trasversale.

Un caso particolare è costituito da quelle pile, in particolare quelle a setto di altezza modesta, che per ragioni costruttive presentano una naturale sovra capacità flessionale rispetto alle richieste: in questi casi, per salvaguardare le fondazioni, si può procedere a un indebolimento della pila interrompendo la continuità nella sezione di base di parte dell'armatura verticale; in tal modo si accetta che la pila sfrutti in parte la duttilità disponibile per trasmettere alla fondazione forze ridotte compatibili con la sua resistenza.

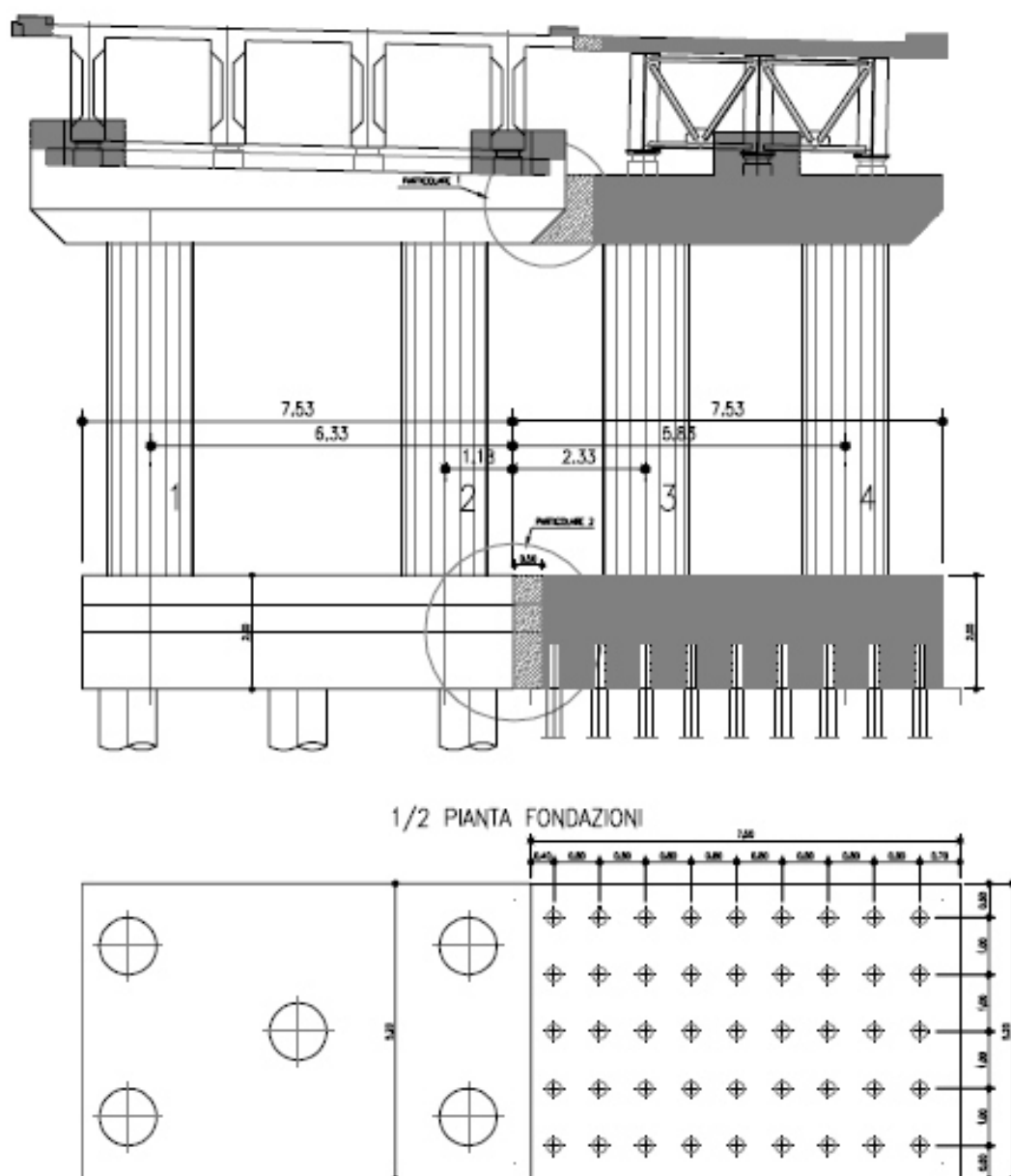


Figura 2.32 - Fondazione di un viadotto allargato (progetto SPEA, A14).

2.3.8 Isolamento e smorzamento

Quest'ultimo tipo di intervento ha la finalità di incrementare il periodo proprio della struttura, incrementare la capacità dissipativa e limitare le forze trasmesse. I dispositivi di isolamento e smorzamento vengono utilizzati per ridurre le forze trasmesse alla sottostruttura e per ridurre gli spostamenti.

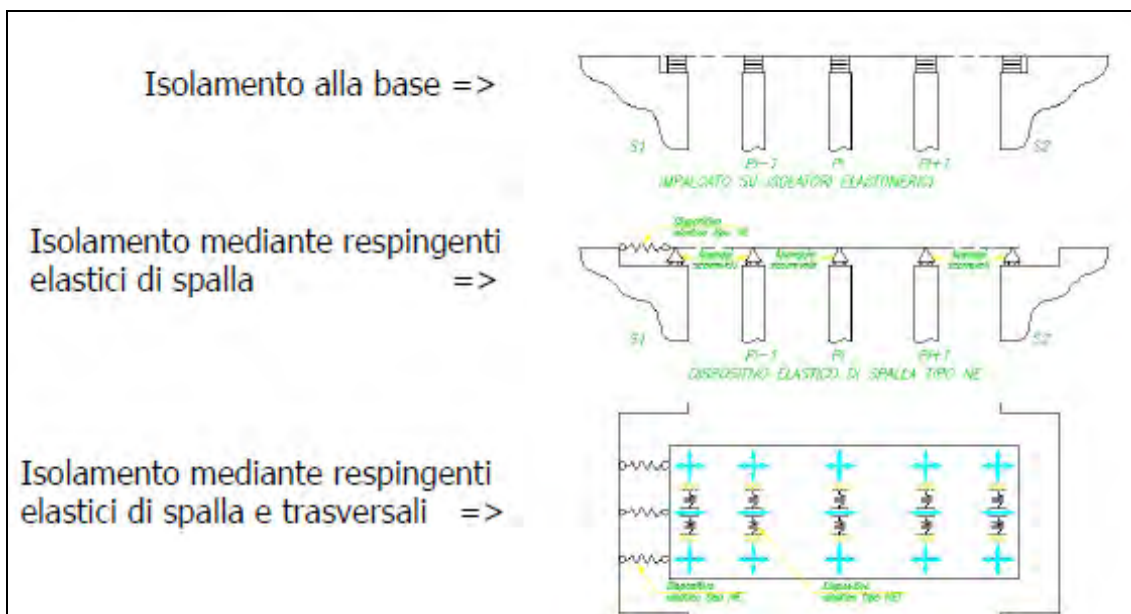


Figura 2.33 - Intervento di isolamento e smorzamento: tecnica dell'incremento del periodo.

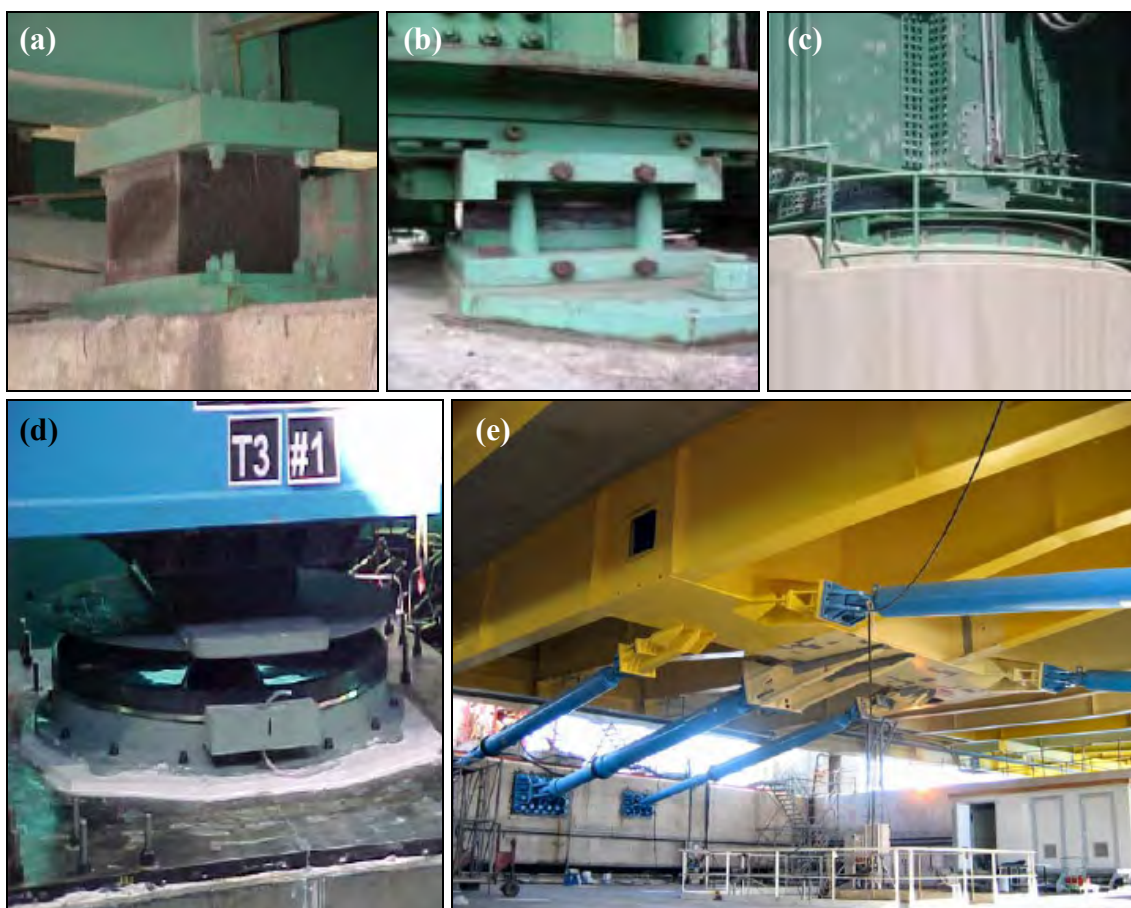


Figura 2.34 - Tipi di dispositivi di isolamento e smorzamento: (a) elastomerici; (b) sliding; (c) e (d) friction pendulum; (e) dissipatori installati sul ponte Rion-Antirion, Grecia.

3

Valutazione della vulnerabilità sismica

3.1 Definizione dei livelli prestazionali e del rischio sismico

In questo studio i livelli prestazionali sono stati determinati in relazione alla duttilità cinematica richiesta dalla pila. La duttilità cinematica è stata così definita:

$$D = \mu_{\delta} = \frac{x_{\max}}{x_y}$$

dove x_{\max} è lo spostamento massimo del punto di controllo (nel caso della pila il punto in sommità della stessa) raggiunto durante l'escursione ciclica e con x_y lo spostamento del medesimo punto in relazione allo snervamento di una sezione significativa della pila stessa. Si sono considerati quattro livelli prestazionali (*Choi, 2002*):

- PL1: $D = 1$ danno lieve
- PL2: $D = 2$ danno moderato
- PL3: $D = 4$ danno esteso
- PL4: $D = 7$ danno completo

Definiti i vari livelli prestazionali, si introduce il concetto di rischio sismico, ossia la probabilità che una struttura -sistema funzionale- superi un prefissato stato limite -danno- a causa di un terremoto -evento- nel corso di un assegnato periodo di tempo. Tale definizione è la trasposizione, all'ambito dell'ingegneria sismica, del più generale concetto di affidabilità di un sistema.

Evidentemente, come detto, il rischio è legato alla probabilità che si verifichi un evento di date caratteristiche, e al danno che tale evento può arrecare; per quanto riguarda il danno, è necessario distinguere il danno alle persone e il danno alle strutture. Per ridurre entro limiti ragionevoli il rischio, occorre imporre due diverse condizioni di progetto:

- *Stato Limite di Danno*: le strutture devono essere progettate in modo da poter sopportare in regime elastico le sollecitazioni indotte dall'evento la cui intensità corrisponde ad un periodo di ritorno dell'ordine della vita nominale della struttura (nel caso di terremoti si assume in generale per gli edifici normali adibiti a semplice abitazione un periodo di ritorno di 50 anni), con riferimento alle caratteristiche della zona in esame;
- *Stato Limite Ultimo*: le strutture devono possedere sufficienti riserve di resistenza, oltre il limite elastico, per sopportare senza crolli le azioni di un evento di intensità tale da fare ritenere estremamente improbabile il verificarsi di un evento di intensità maggiore. L'evento che deve essere considerato in questa seconda condizione di progetto è quindi caratterizzato da un periodo di ritorno di 475 anni.

È evidente, in base a quanto riportato sopra, che la prima condizione tende soprattutto a limitare i danni per le costruzioni, mentre la seconda condizione fa chiaro riferimento alla salvaguardia della vita umana. Per questo motivo, per determinare l'impatto che i futuri terremoti potrebbero avere sulle costruzioni presenti in una determinata regione, si fa riferimento alla valutazione del rischio sismico, che richiede un'analisi separata di tre distinte componenti di base: la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione, la cui convoluzione definisce il rischio.

Secondo quanto riportato nell'EC8 parte 2 (ponti), lo Stato Limite Ultimo è definito come requisito di non-collasso: “dopo il verificarsi dell'evento sismico di progetto, il ponte deve mantenere la sua integrità strutturale ed un'adeguata resistenza residua, sebbene in alcune sue parti possa verificarsi un danno considerevole. Il ponte deve essere in grado di tollerare danni, cioè le parti del ponte suscettibili di danno a causa del loro contributo alla dissipazione di energia durante l'evento sismico di progetto, devono essere progettate in modo da assicurare che la struttura possa portare le azioni del traffico di emergenza e che le ispezioni e le riparazioni possano essere eseguite agevolmente. A questo fine, il raggiungimento del limite plastico per flessione in specifiche sezioni (cioè la formazione di cerniere plastiche) è consentito nelle pile, ed è in genere necessario in regioni di alta sismicità, allo scopo di ridurre l'azione sismica di progetto ad un livello che richieda costi aggiuntivi di costruzione ragionevoli. L'impalcato del ponte d'altronde, deve essere in genere protetto nei confronti della formazione di cerniere plastiche e della perdita di appoggio sotto spostamenti sismici estremi.”

Sempre secondo quanto riportato nell'EC8 parte 2 (ponti) lo Stato Limite di Esercizio è definito come minimizzazione del danno: “dopo azioni sismiche con alta probabilità di verificarsi durante la vita di progetto del ponte, le parti del ponte che si intende far contribuire alla dissipazione di energia durante l'evento sismico di progetto devono subire solo danno limitato senza dar luogo alla necessità di riduzione del traffico o di riparazione immediata.”

La *pericolosità* di un territorio è rappresentata dalla frequenza e dalla forza dei terremoti che lo interessano, ovvero dalla sua sismicità. La conoscenza della sismicità della nostra Penisola è resa possibile dal grande numero di studi e documenti sugli effetti che i terremoti hanno provocato in passato nelle diverse aree geografiche, che rappresentano un patrimonio storico unico al mondo. La pericolosità sismica viene definita come la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto di intensità superiore ad una certa soglia, magnitudo o accelerazione di picco (*PGA*) di nostro interesse.

La *vulnerabilità* sismica è la propensione di una struttura a subire un danno di un determinato livello a fronte di un evento sismico di una data intensità. La penisola italiana però, rispetto ad altri Paesi come la California o il Giappone, nei quali la pericolosità è anche maggiore, ha una vulnerabilità molto elevata, per la notevole fragilità del suo patrimonio edilizio, nonché del sistema infrastrutturale, industriale, produttivo e delle reti dei servizi. La vulnerabilità mette quindi in relazione da un lato l'azione sismica e dall'altro il danno che essa provoca sul sistema fisico: in particolare la fragilità (vulnerabilità), in senso probabilistico, esprime la probabilità di superamento di un prefissato stato limite per una prefissata intensità sismica.

L'*esposizione* indica le qualità e le quantità dei beni esposti al pericolo sismico, il numero di persone coinvolte e la loro capacità. Definito così il rischio, è intuibile che il verificarsi di un evento catastrofico nel deserto, ad esempio, comporta un rischio praticamente nullo, visto che sono pressoché nulli i beni a rischio.

3.2 Valutazione della sicurezza per strutture esistenti

Gli elementi strutturali delle costruzioni esistenti in cemento armato, quando sollecitati da azioni sismiche, tendono ad attivare delle capacità e dei meccanismi propri che possono

essere “duttili” o “fragili”, a seconda della predisposizione di ciascuno di essi nello sviluppare l’uno o l’altro tipo di comportamento strutturale.

A tal proposito, la Normativa identifica la necessità di distinguere, per i due casi sopraccitati, i metodi di verifica: i meccanismi “duttili” si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di deformazione, i meccanismi “fragili” invece si verificano controllando che la domanda non superi la corrispondente capacità in termini di resistenza.

Per il calcolo della capacità degli elementi/meccanismi duttili o fragili si impiegano le proprietà dei materiali esistenti, divise per il fattore di confidenza in relazione al livello di conoscenza raggiunto. Per il calcolo delle capacità di resistenza degli elementi fragili primari, le resistenze dei materiali si dividono per i corrispondenti coefficienti parziali e per i fattori di confidenza in relazione al livello di conoscenza raggiunto.

La valutazione della capacità, oltre che dalle proprietà dei materiali, dal livello di conoscenza raggiunto, dallo stato limite richiesto (SL) e dalla tipologia di elemento (duttile o fragile), risulta influenzata anche dal metodo di analisi impiegato (lineare o non lineare), eseguito utilizzando i valori medi delle proprietà dei materiali direttamente ottenute da prove in situ e da eventuali informazioni aggiuntive.

I metodi di analisi sono comunque vincolati da alcune condizioni di applicabilità che, qualora non fossero rispettate, possono pregiudicare l’affidabilità dei risultati.

La verifica di sicurezza può essere eseguita sostanzialmente in due modi:

- utilizzando lo spettro elastico (non ridotto) relativo alla zona sismica in esame;
- utilizzando lo spettro elastico ridotto di un fattore di struttura q .

Con lo spettro elastico non ridotto è possibile condurre sia analisi lineari che analisi non lineari, mentre attraverso lo spettro ridotto si possono effettuare solo analisi in campo lineare, unicamente per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Le verifiche di sicurezza elencate in seguito comportano una analisi strutturale di tipo lineare oppure non lineare e successive verifiche puntuali di deformabilità e resistenza in tutte le parti critiche dell’opera. Questo richiede la disponibilità dei valori di tutte le grandezze geometriche e meccaniche che consentono di poter svolgere le analisi. Nella generalità dei casi l’impalcato non è significativamente impegnato nella risposta sismica della struttura: ne discende che le indagini conoscitive sono da indirizzare in modo prevalente alle sottostrutture

(pile e spalle) e alle fondazioni, oltre che ovviamente ai sistemi di vincolo e interconnessione tra gli elementi strutturali (appoggi, giunti, etc).

In particolare è necessario disporre di:

- *Geometria* dell'opera nel suo stato attuale. Essa può essere desunta dai disegni costruttivi originali o, a vantaggio di più sicura attendibilità, dai disegni di contabilità. Ciò si estende naturalmente anche alle eventuali variazioni introdotte a seguito di interventi di rilevanza strutturale successivi alla costruzione. In mancanza della documentazione suddetta, è necessario procedere ad un rilievo completo della geometria e ad indagini conoscitive a campione sulle fondazioni.
- *Dettagli costruttivi*, ovvero disposizione e quantità delle armature. Essa può essere desunta nelle stesse modalità elencate al punto precedente. In mancanza di ciò, è necessario procedere ad un numero di saggi che consenta la determinazione delle armature presenti in un numero di sezioni sufficiente per costruire un modello strutturale adeguato al tipo di analisi e alle successive verifiche.
- *Proprietà meccaniche* dei materiali: conglomerato e acciai. Le informazioni devono provenire, oltre che dalle indicazioni iniziali di progetto, da risultati di prove sperimentali eseguite all'atto del collaudo strutturale o successivamente ad esso. In mancanza della documentazione suddetta, per il conglomerato è necessario effettuare prelievi di campioni da sottoporre a prove di laboratorio. Prove di tipo non distruttivo eseguite a più larga scala sono un utile complemento, ma non possono essere utilizzate in sostituzione di quelle distruttive. Per l'acciaio, in assenza di dati sperimentali adeguati, è consentito far riferimento alle caratteristiche del materiale prescritto in sede di progetto previa limitata verifica a campione dell'effettivo utilizzo dello stesso. Le prescrizioni di cui sopra si riferiscono alle strutture di sostegno degli impalcati, ossia a pile e spalle. Per quanto riguarda gli impalcati, qualunque sia la loro tipologia, è sufficiente la verifica del loro buono stato di conservazione, anche senza rilevazioni sperimentali, se ritenute non necessarie dal progettista.
- *Caratterizzazione geotecnica* (stratigrafia e parametri meccanici) adeguata all'attribuzione del sito a una categoria di suolo in accordo con NTC '08 e allo svolgimento delle verifiche delle spalle (spinta del terreno retrostante) e delle fondazioni.

3.2.1 Livello di conoscenza e fattore di confidenza

Si definiscono i seguenti tre livelli di conoscenza:

- *LC1*: conoscenza limitata;
- *LC2*: conoscenza adeguata;
- *LC3*: conoscenza accurata.

Il livello di conoscenza acquisito sulla base delle indagini e degli approfondimenti elencati in precedenza, determina il metodo di analisi e il valore del fattore di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali.

Per le opere da ponte si deve in generale acquisire un livello di conoscenza accurata (*LC3*), salvo casi eccezionali per i quali, su indicazione della Committenza, è ammesso acquisire un livello di conoscenza adeguato (*LC2*). La richiesta del livello di conoscenza accurato è giustificata in primo luogo dall'importanza strategica delle opere da ponte e, in secondo luogo, dalle considerazioni sull'assenza di elementi non strutturali che limitino l'accessibilità delle strutture.

Le verifiche in-situ limitate servono per verificare la corrispondenza tra le armature o le caratteristiche dei collegamenti effettivamente presenti e quelle riportate nei disegni costruttivi, oppure ottenute mediante il progetto simulato. Le verifiche in-situ estese servono quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali come alternativa al progetto simulato seguito da verifiche limitate, oppure quando i disegni costruttivi originali sono incompleti. Le verifiche in-situ esaustive: servono quando non sono disponibili i disegni costruttivi originali e si desidera un livello di conoscenza accurata.

Le prove in-situ limitate servono a completare le informazioni sulle proprietà dei materiali ottenute o dalle normative in vigore all'epoca della costruzione, o dalle caratteristiche nominali riportate sui disegni costruttivi, o da certificati originali di prova. Le prove in-situ estese servono per ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, che dei certificati originali di prova, oppure quando i valori ottenuti dalle prove limitate risultano inferiori a quelli riportati nei disegni o certificati originali. Le prove in-situ esaustive servono per ottenere informazioni in mancanza sia dei disegni costruttivi, che dei certificati originali di prova, oppure quando i valori ottenuti dalle prove limitate risultano inferiori a quelli riportati nei disegni o certificati originali, e si desidera un livello di conoscenza accurata (*LC3*).

La definizione dei requisiti quantitativi per il raggiungimento di ogni livello di rilievo e prove è riportata nella tabella seguente; nel controllo del raggiungimento della percentuale di elementi indagati si può tener conto delle eventuali condizioni di ripetitività.

LC	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC2	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione	Disegni costruttivi incompleti con <i>limitate</i> verifiche in-situ oppure <i>estese</i> verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con <i>limitate</i> prove in-situ oppure <i>estese</i> prove in-situ	Tutti	1,20
LC3	oppure rilievo ex-novo completo	Disegni costruttivi completi con <i>limitate</i> verifiche in-situ oppure <i>esaustive</i> verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con <i>estese</i> prove in-situ oppure <i>esaustive</i> prove in-situ	Tutti	1,00

	Rilievo (dei dettagli costruttivi)	Prove (sui materiali)
Verifiche Limitate	La quantità e la disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 20% delle pile (ma non meno di 2 pile)	1 provino di cls e 1 campione di armatura per almeno il 20% delle pile (ma non meno di 2 pile)
Verifiche Estese	La quantità e la disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 40% delle pile (ma non meno di 3 pile)	1 provino di cls e 1 campione di armatura per almeno il 40% delle pile (ma non meno di 3 pile)
Verifiche esaustive	La quantità e la disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 60% delle pile (ma non meno di 4 pile)	1 provino di cls e 1 campione di armatura per almeno il 60% delle pile (ma non meno di 4 pile)

Tabella 3.1 e 3.2 - Livelli di conoscenza e requisiti quantitativi relativi ai rilievi e alle prove sui materiali.

3.3 Metodi di analisi

La grande maggioranza delle opere esistenti sulla rete viaria nazionale è costituito da ponti a travata con impalcati semplicemente appoggiati su pile a fusto unico.

Le Normative tecniche indicano di utilizzare l'analisi non lineare per sistemi dissipativi che tengano conto della non linearità del materiale e quella geometrica: quest'ultima può, in alcuni casi, essere trascurata. La Norma contempla sostanzialmente due tipi di analisi non

lineare: quella statica e quella dinamica; la prima è soggetta a limitazioni e condizioni di applicabilità, mentre la seconda può essere sempre utilizzata.

Nell'ipotesi che la strategia di intervento non preveda di modificare sostanzialmente lo schema statico, ad esempio mediante solidarizzazione degli impalcati o sostituzione integrale degli stessi con uno continuo, ed eventuale introduzione di apparecchi di isolamento/dissipazione, per tali ponti è possibile definire una metodologia specifica di analisi, che rappresenta un buon compromesso di semplicità e accuratezza, da usare in alternativa ai metodi più accurati.

Il modello di riferimento è costituito da una mensola verticale a massa distribuita lungo l'altezza sulla quale grava la massa del pulvino e dell'impalcato. In direzione trasversale all'asse del ponte ogni pila costituisce in tutti i casi un oscillatore indipendente, mentre in direzione longitudinale, nell'ipotesi che siano previsti dei ritegni sismici, il sistema è ancora ad un grado di libertà, caratterizzato dalla somma delle masse afferenti alle singole pile e dalla forza di richiamo somma delle forze delle singole pile.

Il procedimento proposto consiste in un'analisi statica non lineare semplificata, nella quale il legame forza-spostamento in sommità dell'oscillatore considerato si ottiene con semplici passaggi a partire dai legami momento-curvatura alla base delle pile.

La massa efficace della pila da considerare concentrata in sommità è data, per pile a sezione costante, dalla somma del 30% della massa della pila e della massa del pulvino. La massa totale per la generica pila vale quindi:

$$m = 0,3 \cdot m_{pila} + m_{pulgino} + m_{impalcato}$$

L'altezza di tale massa dalla base per l'analisi in direzione trasversale è data dall'espressione:

$$H \cong \frac{(m_{pulgino} + 0,3 \cdot m_{pila}) \cdot H_p + m_{impalcato} \cdot H_{impalcato}}{m}$$

Per l'analisi in direzione longitudinale, l'altezza efficace è pari alla distanza del piano degli apparecchi di appoggio dall'estradosso della fondazione.

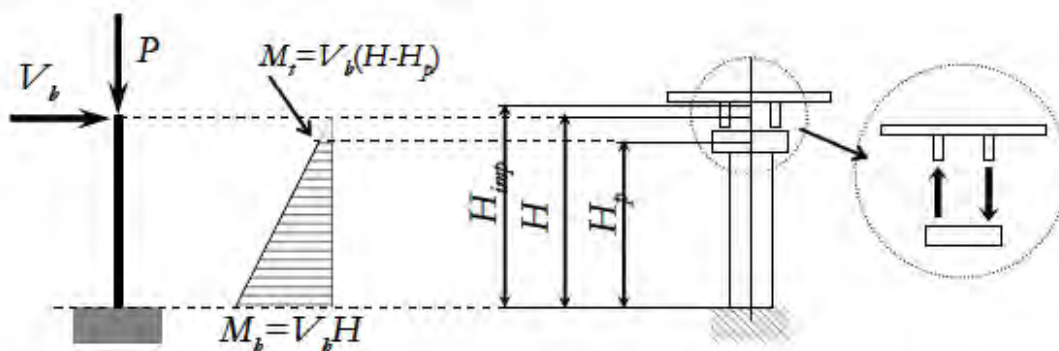


Figura 3.1 - Altezza efficace per analisi in direzione trasversale.

Il primo passo consiste nella determinazione del legame momento-curvatura della sezione di base nel piano di flessione considerato e per il valore del carico assiale agente. La curva così ottenuta viene successivamente bilinearizzata come indicato schematicamente nella figura sottostante.

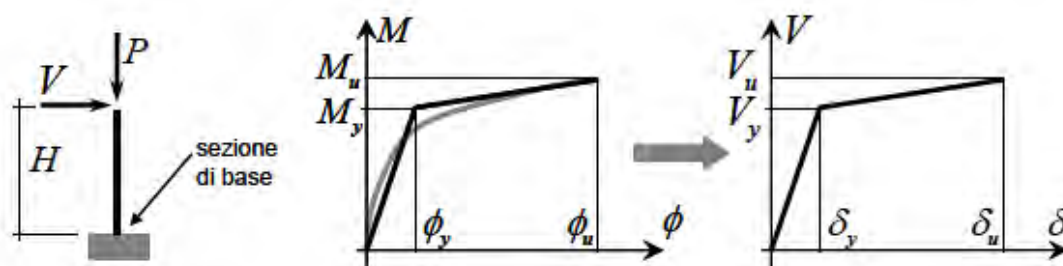


Figura 3.2 - Passaggio dal legame momento-curvatura a quello taglio-spostamento.

Nell'ipotesi che la pila si mantenga in campo elastico fino al raggiungimento del momento di snervamento M_y alla base, il corrispondente spostamento in sommità è dato dall'espressione:

$$\delta_y = \frac{1}{\nu} \phi_y \frac{H^2}{3}$$

dove la curvatura di snervamento ϕ_y risulta dalla bilinearizzazione del legame di sezione e $\nu = 1, 2$ è il fattore di correzione che tiene conto della maggiore rigidezza della porzione al di sopra della zona plasticizzata.

Lo spostamento ultimo in sommità della pila si ottiene aggiungendo a quello di snervamento il contributo della rotazione plastica nella zona plasticizzata alla base:

$$\delta_u = \delta_y + (\phi_u - \phi_y) \cdot l_p \left(H - \frac{l_p}{2} \right)$$

dove ϕ_u è la curvatura minima tra quelle corrispondenti allo schiacciamento del calcestruzzo, $\varepsilon_{c,max} = \varepsilon_{c,um}$, e alla rottura per trazione dell'acciaio, $\varepsilon_{s,max} = \varepsilon_{s,um}$. In assenza di più accurate determinazioni i valori delle deformazioni medie a rottura di calcestruzzo e acciaio possono essere assunti pari a $\varepsilon_{c,um} = 0,5\%$ e $\varepsilon_{s,um} = 4\%$. Per l'estensione della porzione di pila soggetta a plasticizzazione si può fare riferimento all'espressione:

$$l_p = 0,10 \cdot H_p + 0,015 \cdot f_y \cdot d_b \cong 0,10 \cdot H_p$$

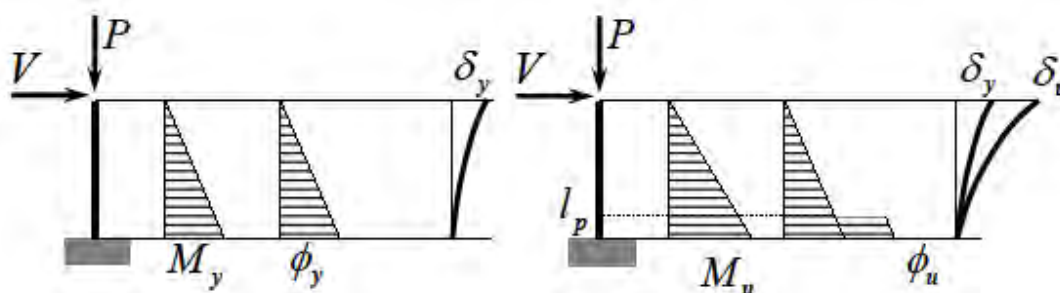


Figura 3.3 - Pile a fusto unico: distribuzione di momento e curvatura.

In direzione trasversale il periodo elastico della singola pila si ottiene dall'espressione:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_i}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{m_i \cdot \delta_y}{V_y}}$$

Il corrispondente spostamento massimo, da utilizzare ai fini della verifica di deformabilità della pila, è fornito dallo spettro di risposta elastico in spostamento:

$$\delta_{max} = S_{De}(T) \quad T \geq T_C \text{ o } q^* \leq 1$$

$$\delta_{max} = \frac{S_{De}(T)}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_C}{T} \right] \quad T < T_C$$

dove $q^* = m \frac{S_e(T)}{V_y}$.

La forza di taglio per la verifica della pila si ottiene direttamente dal diagramma forza-spostamento in corrispondenza dello spostamento massimo di risposta d_{max} . La forza di taglio per la verifica degli apparecchi di appoggio vale:

$$V_{app} = 1,25 \frac{m_{imp}}{m_i} V(\delta_{max})$$

dove il fattore 1,25 ha lo scopo di garantire un maggiore livello di protezione agli apparecchi di appoggio e il taglio $V(\delta_{max})$ è la forza fornita dal legame V - δ in corrispondenza dello spostamento di risposta.

In direzione longitudinale la massa totale è data dall'espressione: $m = \sum m_i$ e il legame forza-spostamento si ottiene sommando i legami delle singole pile come schematicamente mostrato in figura:

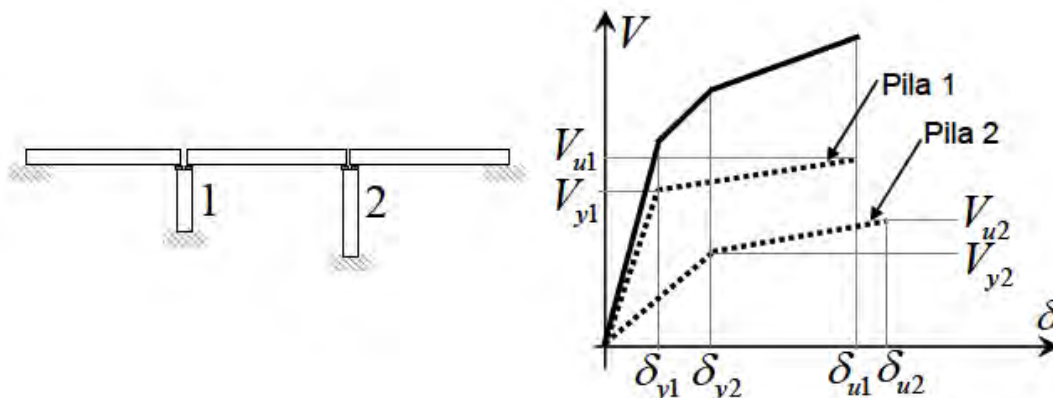


Figura 3.4 - Direzione longitudinale: legame complessivo a partire dai legami di pila.

Effettuata la bilinearizzazione della curva risultante, il procedimento segue in modo analogo al caso precedente. Ai fini delle verifiche a taglio delle pile, la forza di taglio competente a ciascuna di esse si ricava in corrispondenza di δ_{max} dal relativo diagramma forza-spostamento. Ai fini del calcolo della forza di taglio agente sugli appoggi, la massa dell'impalcato da considerare è quella afferente alla pila in esame.

Nel caso di appoggi mobili su pile e spalle è necessario verificare che non vi sia rischio di perdita d'appoggio dell'impalcato; tale verifica si ritiene superata se la lunghezza di appoggio è pari o superiore a: $L_{min} = L_0 + d_{rel,g} + d_{rel,s}$,

dove L_0 è un margine di sicurezza non inferiore a 40cm, $d_{rel,g}$ è lo spostamento relativo del suolo alla base degli elementi verticali adiacenti considerati, valutato in accordo a $d_g = 0,025a_g S_s S_T T_C T_D$, e $d_{rel,s}$ è lo spostamento relativo tra gli elementi verticali adiacenti considerati, valutabile mediante la radice quadrata della somma dei quadrati degli spostamenti massimi delle due pile.

La verifica dev'essere eseguita sotto gli effetti di entrambe le componenti orizzontali dell'azione sismica, secondo le modalità illustrate in seguito.

3.3.1 Ponti iperstatici: analisi dinamica lineare

I metodi illustrati nel seguito si applicano a ponti iperstatici di tipologia generica, comprese le strutture con impalcati semplicemente appoggiati che presentino pile con struttura iperstatica (portali multipli, telaio, etc.).

Il metodo lineare di riferimento consiste nell'impiego dell'analisi modale (DM2008, § 7.3.3.1) associata allo spettro elastico non ridotto (§ 2.3.1). Le verifiche degli elementi sono eseguite in termini di capacità deformativa per i meccanismi/elementi duttili e di resistenza per quelli fragili. Questo tipo di analisi è applicabile quando è verificata la seguente condizione legata alla uniformità della domanda inelastica ($\rho_{max} > 1$): definito $\rho_i = \frac{D_i}{C_i}$ il rapporto tra il momento flettente D_i fornito dall'analisi della struttura soggetta alla combinazione di carico sismica, e il corrispondente momento resistente C_i nell' i -esima sezione di verifica, si indicano con ρ_{max} e ρ_{min} rispettivamente i valori massimo e minimo di ρ . Il rapporto ρ_{max}/ρ_{min} non deve superare il valore 2,5.

La verifica di applicabilità del metodo, che deve essere svolta a posteriori, potrebbe risultare negativa a causa di un numero ridotto di elementi. In tal caso il metodo potrebbe comunque venire applicato, nell'ipotesi che si effettuino interventi su questi elementi tali da riportare il rapporto ρ_{max}/ρ_{min} entro il limite indicato.

In alternativa è anche consentito di eseguire la verifica mediante analisi modale con spettro di risposta ridotto del fattore di struttura q (§ 3.2.3.5 del DM2008): in questo caso le verifiche sono di resistenza per tutti i meccanismi/elementi. I valori delle resistenze si calcolano come nelle situazioni non sismiche e il valore massimo utilizzabile per q è pari a 1,5.

Per quanto riguarda il calcolo delle quantità di risposta, gli spostamenti massimi prodotti dall'azione sismica di verifica si assumono eguali a quelli forniti dall'analisi nell'ipotesi di comportamento lineare elastico.

I massimi delle grandezze di risposta derivate, quali ad esempio deformazioni flessionali e spostamenti relativi in corrispondenza dei giunti, devono essere calcolati modo per modo e successivamente combinati con la regola di combinazione modale adottata.

In particolare per la verifica degli elementi duttili, la grandezza di verifica è generalmente rappresentata dalla rotazione rispetto alla corda θ . Per ogni piano di flessione, questa è pari al rapporto δ/H per elementi verticali a mensola (pile a fusto unico) o doppiamente incastrati (ritti), come mostrato in Fig. 3.5, casi (a) e (b), e approssimativamente uguale alla rotazione

del nodo per elementi orizzontali (traversi), come mostrato in Fig. 3.5, caso (c); nel caso (c) la rotazione rispetto alla corda per i ritti è solo approssimativamente uguale al rapporto δ/H .

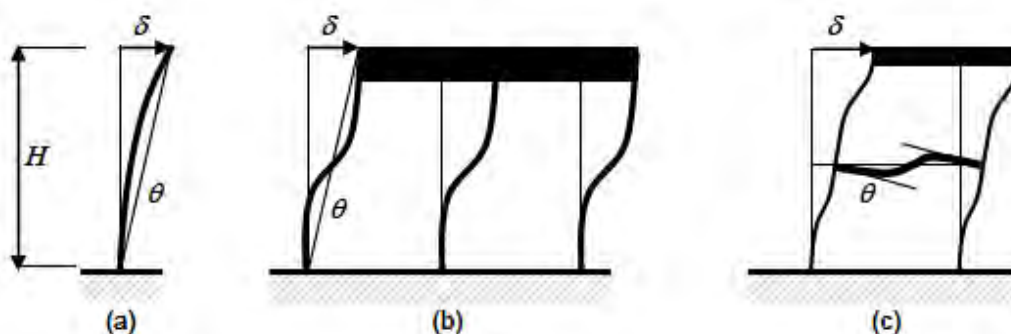


Figura 3.5 - Rotazione rispetto alla corda: (a) fusto unico, (b) portale multiplo, (c) a telaio.

Per ogni piano di flessione dell'elemento, lo sforzo di taglio agente V è dato da:

- il valore ottenuto dall'analisi nel caso in cui i momenti alle estremità dell'elemento non raggiungono il rispettivo valore plastico ($\rho \leq I$);
- il valore:
$$V = V_G + \frac{M_{R1}(N) + M_{R2}(N)}{L}$$

dove V_G è il taglio dovuto ai carichi gravitazionali agenti sull'elemento, $M_{R1}(N_G)$ ed $M_{R2}(N_G)$ sono i momenti resistenti (calcolati per il valore corrispondente ai carichi gravitazionali dello sforzo normale N_G , sommati se equiversi) alle estremità dell'elemento (calcolati utilizzando i valori medi delle caratteristiche meccaniche del conglomerato e dell'acciaio) ed L è la sua lunghezza.

3.3.2 Ponti iperstatici: analisi statica non lineare

In generale diversi modi di vibrazione contribuiscono alla risposta sismica di ponti. Quando un singolo modo di vibrazione è caratterizzato da una massa partecipante pari o superiore all'80%, è possibile fare uso dell'analisi statica non lineare mono-modale; in caso contrario è necessario fare ricorso a una versione avanzata dell'analisi statica non lineare, di tipo multi-modale. Nel seguito si illustrano i metodi di analisi statica non lineare mono-modale e multi-modale con distribuzione di forze invarianti (*adaptive pushover analysis*, ossia è ammesso l'uso di metodi in cui la distribuzione delle forze applicate segue l'evoluzione della deformata inelastica della struttura).

Analisi mono-modale

Il metodo consiste nell'applicazione a un modello non lineare del ponte di un sistema di forze statiche di intensità crescente fino al raggiungimento della capacità massima del sistema in termini di resistenza o di deformabilità, nella successiva trasformazione della curva taglio alla base - spostamento di un grado di libertà di controllo in un sistema bilineare equivalente, e quindi nella determinazione della risposta di tale sistema al sisma di verifica. Ciò avviene applicando alla struttura un sistema di forze di intensità crescente dato da: $f = \lambda \cdot M\varphi$, dove M è la matrice delle masse e la prima forma modale φ deve essere normalizzata ponendo pari a 1 lo spostamento del grado di libertà di controllo: quest'ultimo coincide con il grado di libertà caratterizzato dal massimo spostamento modale; l'intensità cresce fino al raggiungimento della capacità ultima della struttura. Il risultato dell'analisi viene espresso in termini di curva taglio alla base (somma delle forze applicate $V_b = \sum f_i$) - spostamento in sommità u . Si definisce quindi il coefficiente di partecipazione modale: $\Gamma = \frac{\varphi^T M 1}{\varphi^T M \varphi}$.

La forza V^* e lo spostamento u^* del sistema a un grado di libertà equivalente sono dati da:

$$V^* = \frac{V_b}{\Gamma} \quad u^* = \frac{u}{\Gamma}$$

La relazione $V^* - u^*$ rappresenta il legame costitutivo del sistema equivalente, la cui massa è data invece da $m^* = \varphi^T M 1 = \sum_i m_i \phi_i$.

La determinazione della risposta del sistema equivalente richiede la bilinearizzazione della curva $V^* - u^*$; un criterio per effettuare questa operazione è quello di trovare un legame bilineare che sottenda la stessa area (energia) di quello ottenuto dall'analisi.

Nella Fig. 3.6 sono mostrati due casi, uno in cui l'incrudimento è trascurabile, l'altro in cui non lo è. Nella Fig. 3.6 (a) V_y^* rappresenta la resistenza del sistema equivalente ed è uguale alla forza in corrispondenza dello spostamento u_u^* ; lo spostamento di snervamento u_y^* del sistema bilineare si ottiene dall'espressione:

$$\frac{1}{2} V_y^* u_y^* + V_y^* (u_u^* - u_y^*) = E \quad \Rightarrow \quad u_y^* = 2 \cdot \left(u_u^* - \frac{E}{V_y^*} \right)$$

in cui E è l'area sottesa dalla curva $V^* - u^*$ e si calcola per integrazione numerica.

In Fig. 3.6 (b) V_u^* rappresenta la resistenza ultima del sistema equivalente, mentre V_y^* è la resistenza allo snervamento; lo spostamento di snervamento u_y^* del sistema bilineare si ottiene dall'espressione:

$$\frac{1}{2}V_y^*u_y^* + \frac{1}{2}(V_y^* + V_u^*)(u_u^* - u_y^*) = E \quad \Rightarrow \quad u_y^* = \frac{2V_u^*u_u^* - k_y(u_u^*)^2 - 2E}{V_u^* - k_y u_u^*}$$

Noto u_y^* la rigidità elastica risulta pari a: $k = \frac{V_y^*}{u_y^*}$, da cui segue il periodo elastico del

sistema bilineare T^* : $T^* = 2\pi\sqrt{\frac{m^*}{k}}$.

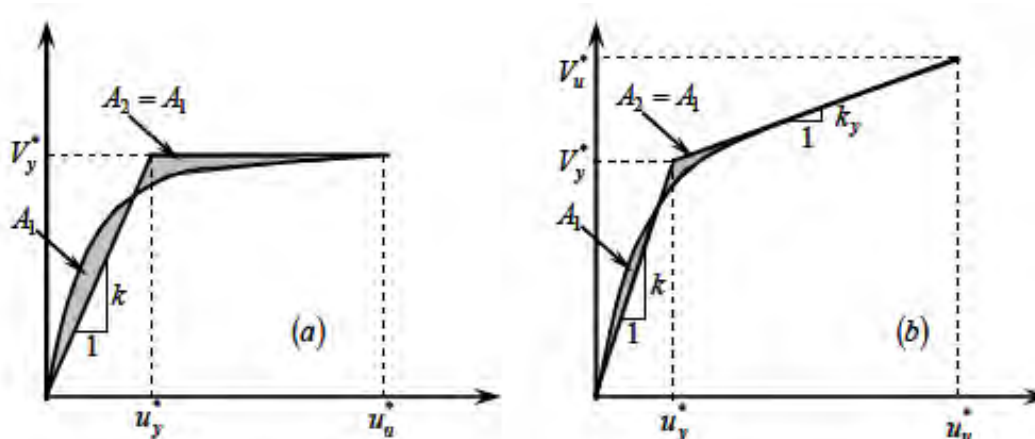


Figura 3.6 - Bilinearizzazione con il criterio delle aree uguali: a) incrudimento nullo, b) incrudimento non nullo.

La risposta massima del sistema equivalente in termini di spostamento è data in funzione del periodo e dello spettro elastico in spostamento dalle espressioni:

$$\begin{aligned} u_{\max}^* &= S_{De}(T^*) & T^* \geq T_C \text{ o } q^* \leq 1 \\ u_{\max}^* &= \frac{S_{De}(T^*)}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_C}{T^*} \right] & T^* < T_C \end{aligned}$$

con $q^* = m^* \frac{S_e(T^*)}{V_y^*}$.

Si osserva che le caratteristiche del sistema bilineare equivalente dipendono dalla scelta dello spostamento ultimo u_u^* a partire dal quale si impone l'equivalenza delle aree, il quale deve coincidere con il valore della risposta u_{\max}^* : ciò comporta l'esigenza di iterare fino al raggiungimento di tale condizione.

Una volta determinata la risposta massima dell'oscillatore equivalente, è possibile determinare quella della struttura moltiplicando per il fattore di partecipazione Γ , $u_{\max} = \Gamma u_{\max}^*$: lo stato della struttura è quello corrispondente a tale spostamento massimo nel punto di controllo. La verifica consiste nel controllare che in tale configurazione della struttura le domande di duttilità siano compatibili con le rispettive capacità e che le forze di taglio siano minori delle rispettive resistenze.

Analisi multi-modale

Il metodo consiste nei seguenti passi:

1. effettuazione dell'analisi modale e selezione dei modi significativi;
2. per ciascun modo selezionato, effettuazione dell'analisi statica non lineare in modo analogo a quanto indicato con riferimento al caso mono-modale e in particolare:
 - a) applicazione di una distribuzione di forze modali crescenti $f_i = \lambda \cdot M\phi_i$ fino al raggiungimento di uno spostamento massimo predefinito o di un significativo degrado nel taglio alla base V_b ;
 - b) determinazione del sistema a un grado di libertà equivalente nelle due direzioni principali del sisma mediante le relazioni:

$$V_{iX}^* = \frac{V_b}{\Gamma_{iX}} \quad u_{iX}^* = \frac{u_{i,c}}{\Gamma_{iX} \cdot \phi_{i,c}}$$

$$V_{iY}^* = \frac{V_b}{\Gamma_{iY}} \quad u_{iY}^* = \frac{u_{i,c}}{\Gamma_{iY} \cdot \phi_{i,c}}$$

dove $\Gamma_{iX} = \frac{\phi_i^T M t_X}{\phi_i^T M \phi_i}$ e $\Gamma_{iY} = \frac{\phi_i^T M t_Y}{\phi_i^T M \phi_i}$, t_X e t_Y sono i vettori di trascinamento nelle

direzioni X e Y , $\phi_{i,c}$ è l'ordinata modale nel grado di libertà di controllo (che deve essere scelto per ogni modo come il grado di libertà con massima ordinata modale);

- c) bilinearizzazione dei diagrammi $V_{iX}^* - u_{iX}^*$;

- d) determinazione dei periodi $T_{iX,Y}^* = 2\pi \sqrt{\frac{m_i^*}{k_{iX,Y}^*}}$ e delle corrispondenti risposte

massime $u_{i,\max,X,Y}^* = S_{De}(T_{iX,Y}^*)$;

- e) determinazione degli spostamenti massimi effettivi $u_{i,c,max,X,Y} = \Gamma_{iX,Y} \phi_{i,c} u_{i,max,X,Y}^*$ e delle corrispondenti configurazioni deformate della struttura;
 - f) calcolo delle grandezze di risposta di interesse $D_{E_x,i}$ e $D_{E_y,i}$ per ciascun modo e direzione dell'azione sismica;
3. combinazione delle grandezze di risposta $D_{E_x,i}$ e $D_{E_y,i}$ ottenute mediante la regola indicata in seguito.

3.3.3 Analisi dinamica non lineare

Ai fini delle verifiche, gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, etc.) sono rappresentati dai valori medi ottenuti dalle analisi.

Il numero minimo di accelerogrammi da utilizzare è pari a cinque per quelli artificiali e dieci per quelli naturali o simulati a partire da modelli sismogenetici; la differenza nel numero richiesto è giustificata dalla inferiore dispersione intorno alla media degli accelerogrammi del primo tipo rispetto a quelli degli altri due. Il rispetto di tali minimi è sufficiente a garantire una adeguata stabilità della media degli effetti sulla struttura.

3.3.4 Verifiche di sicurezza

Sotto l'effetto dell'azione sismica di verifica, tutti gli elementi dell'impalcato devono soddisfare le verifiche come per le situazioni non sismiche.

Indicando con D_x e D_y le quantità di domanda determinate dall'analisi (spostamenti, rotazioni, forze di taglio) nei due piani principali di flessione di un elemento, e con C_x e C_y le corrispondenti capacità, la forma generale di verifica è data dall'espressione:

$$\sqrt{\left(\frac{D_x}{C_x}\right)^2 + \left(\frac{D_y}{C_y}\right)^2} \leq 1$$

Nel caso delle verifiche di deformabilità e di resistenza, l'espressione precedente assume la forma:

$$\sqrt{\left(\frac{\theta_x}{\theta_{u,x}}\right)^2 + \left(\frac{\theta_y}{\theta_{u,y}}\right)^2} \leq 1 \qquad \sqrt{\left(\frac{V_x}{V_{u,x}}\right)^2 + \left(\frac{V_y}{V_{u,y}}\right)^2} \leq 1$$

dove le grandezze di domanda, ad esempio di deformazione, sono ottenute mediante le regole di combinazione:

$$\theta_x = \theta_{xG} \pm \sqrt{\sum_{i=1}^N [(\theta_{xE_x,i})^2 + (\theta_{xE_y,i})^2]} \quad \text{per l'analisi dinamica lineare, e}$$

$$\theta_x = \theta_{xG} \pm \sqrt{\sum_{i=1}^N [(\theta_{xE_x,i} - \theta_G)^2 + (\theta_{xE_y,i} - \theta_G)^2]} \quad \text{per l'analisi statica non lineare, dove la}$$

sottrazione dell'effetto dei carichi gravitazionali dalla risposta modale per ciascuna direzione del sisma è necessaria in quanto l'applicazione delle forze orizzontali per ogni distribuzione modale è preceduta da quella dei carichi gravitazionali. Analogamente per la domanda nel piano di flessione ortogonale θ_y .

Nel caso particolare dei ponti isostatici con pile a fusto unico (punto 0), le verifiche di deformabilità e resistenza assumono rispettivamente la forma:

$$\sqrt{\left(\frac{\delta_T}{\delta_{u,T}}\right)^2 + \left(\frac{\delta_L}{\delta_{u,L}}\right)^2} \leq 1$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_T}{V_{u,T}}\right)^2 + \left(\frac{V_L}{V_{u,L}}\right)^2} \leq 1$$

dove i pedici “L” e “T” indicano l'analisi in direzione longitudinale e trasversale, mentre le capacità di spostamento da utilizzare per la verifica allo *SLC* sono date dalle espressioni:

$$\delta_{u,T} = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\delta_{y,T} + (\phi_{u,T} - \phi_{y,T}) \cdot l_p \left(H - \frac{l_p}{2} \right) \right]$$

$$\delta_{u,L} = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\delta_{y,L} + (\phi_{u,L} - \phi_{y,L}) \cdot l_p \left(H - \frac{l_p}{2} \right) \right]$$

dove $\gamma_{el} = 1,5$. Per la verifica allo *SLV*, il valore limite degli spostamenti si assume pari a $\frac{3}{4}$ di quello ultimo; la resistenza a taglio si calcola come indicato in precedenza.

Nel caso di analisi dinamica non lineare, è possibile utilizzare un formato di verifica più accurato in cui si calcola il rapporto domanda/capacità tenendo conto ad ogni passo dell'analisi della variazione delle capacità con lo sforzo normale N :

$$\max_t \sqrt{\left(\frac{D_x(t)}{C_x(N(t))}\right)^2 + \left(\frac{D_y(t)}{C_y(N(t))}\right)^2} \leq 1$$

Pile

Per quanto riguarda la capacità deformativa, il valore ultimo della rotazione rispetto alla corda da utilizzare per la verifica allo *SLC* è dato dall'espressione:

$$\theta_y = \phi_y \frac{L_V}{3}$$

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} \left[\theta_y + (\phi_u - \phi_y) \cdot l_p \left(1 - \frac{l_p}{2L_V} \right) \right]$$

dove $\gamma_{el} = 1,5$ e $L_V = M/V$ è la luce di taglio, pari a H per una mensola e approssimabile ad $H/2$ negli altri casi. Le curvature di snervamento ϕ_y e ultima ϕ_u si ottengono dalla bilinearizzazione del legame momento-curvatura di sezione. La curvatura ultima è la minima tra quelle corrispondenti allo schiacciamento del calcestruzzo, $\varepsilon_{c,max} = \varepsilon_{c,um}$, e alla rottura per trazione dell'acciaio, $\varepsilon_{s,max} = \varepsilon_{s,um}$. In assenza di più accurate determinazioni, i valori delle deformazioni medie a rottura di calcestruzzo e acciaio possono essere assunti pari a $\varepsilon_{c,um} = 0,5\%$ e $\varepsilon_{s,um} = 4\%$. Per l'estensione della porzione di pila soggetta a plasticizzazione si può fare riferimento all'espressione $l_p = 0,10H + 0,015f_y d_b \cong 0,10H$.

Per la verifica allo *SLV*, il valore limite della rotazione si assume pari a $3/4$ di quello ultimo. Per quanto riguarda la resistenza a taglio, in ogni piano di flessione, la resistenza a taglio sotto azione ciclica, V_R , di elementi prismatici con sezione compatta è data dalla formula seguente (unità di misura MN e m):

$$V_R = \frac{1}{\gamma_{el}} \left\{ \frac{h-x}{2L_V} \min(N; 0,55A_c f_c) + (1 - 0,05 \min(5; \mu_{\Delta,pl})) \cdot \left[0,16 \max(0,5; 100\rho_{tot}) \left(1 - 0,16 \min\left(5; \frac{L_V}{h}\right) \right) \sqrt{f_c} A_c \right] + V_w \right\}$$

dove:

$$\gamma_{el} = 1,15;$$

h = altezza totale della sezione;

d = altezza efficace della sezione;

x = profondità dell'asse neutro;

N = sforzo normale, positivo se di compressione, posto uguale a zero se di trazione;

$L_V = M/V$ luce di taglio;

A_c = area della sezione pari a hd per sezioni rettangolari, $\pi D_c^2 / 4$ per sezioni circolari;

D_c = diametro nucleo confinato;

ρ_{tot} = percentuale geometrica totale di armatura longitudinale;

V_w = contributo dell'armatura pari a $\rho_w \cdot b \cdot z \cdot f_y$ per sezioni rettangolari e

$$\frac{\pi}{2} \frac{A_{sw}}{s} f_y (D - 2c) \text{ per sezioni circolari;}$$

A_{sw} = area delle staffe circolari;

s = passo delle staffe;

D = diametro della sezione;

c = copriferro.

Il termine $\mu_{\Delta,pl} = \mu_{\Delta} - 1 \cong \frac{\theta}{\theta_y} - 1$ rappresenta la parte plastica della duttilità richiesta

all'elemento.

In ogni piano di flessione, la resistenza a taglio sotto azione ciclica, V_R , di setti (ad esempio pareti di una pila a sezione cava rettangolare, mono o pluri-cellulare) è non superiore alla forza di taglio corrispondente allo schiacciamento delle bielle diagonali $V_{R,max}$, data dalla formula seguente:

$$V_{R,max} = \frac{0,85(1 - 0,06 \min(5; \mu_{\Delta,pl}))}{\gamma_{el}} \left(1 + 1,8 \min\left(0,15; \frac{N}{A_c f_c}\right) \right) \cdot (1 + 0,25 \max(1,75; 100 \rho_{tot})) \left(1 - 0,2 \min\left(2; \frac{L_V}{h}\right) \right) \sqrt{f_c} b_w z$$

Appoggi

Gli apparecchi di appoggio fissi devono essere in grado di trasmettere, mantenendo la piena funzionalità, le forze di taglio in testa alle pile indotte dall'azione sismica di verifica, incrementate del fattore $\gamma_R = 1,20$.

Gli appoggi mobili devono essere in grado di consentire, mantenendo la piena funzionalità, lo scorrimento massimo indotto dall'azione sismica di verifica. Nel caso di appoggi mobili su pile e spalle è necessario verificare che non vi sia rischio di perdita d'appoggio dell'impalcato; tale verifica si ritiene superata se la lunghezza d'appoggio è pari o superiore a:

$$L_{min} = L_0 + d_{rel,g} + d_{rel,s}$$

dove L_0 è un margine di sicurezza non inferiore a 40cm, $d_{rel,g}$ è lo spostamento relativo del suolo alla base degli elementi verticali adiacenti considerati e $d_{rel,s}$ è lo spostamento relativo tra gli elementi verticali adiacenti considerati.

Spalle e fondazioni

Per la verifica delle spalle e delle fondazioni sotto l'azione sismica trasmessa dalla sovrastruttura e dal terreno, valgono le indicazioni applicabili alle opere di nuova progettazione, di cui ai punti §§ 7.11.5 e 7.11.6 del DM2008.

3.4 Curve di fragilità

Le curve di fragilità sono considerate uno degli strumenti più performanti per valutare la vulnerabilità sismica di ponti e viadotti esistenti e possono essere utilizzate per una corretta pianificazione della fase di emergenza del post-terremoto e per definire una proprietà per gli interventi di retrofit. Queste esprimono la probabilità condizionata, di un manufatto, di eguagliare o eccedere un certo livello di danno per diverse intensità dell'azione sismica. Da questa definizione si può dedurre che il problema deve essere affrontato a livello probabilistico a causa dell'aleatorietà delle variabili che si considerano, come per esempio l'intensità del sisma atteso e le proprietà dei materiali che costituiscono la struttura portante dell'opera.

La figura qui di seguito (*Mander, 1999*) evidenzia queste incertezze mostrando come i diagrammi di capacità e di domanda siano ottenibili mediante l'utilizzo di distribuzioni probabilistiche: ne consegue che il "punto di performance" della struttura, cioè il punto d'intersezione tra la curva di capacità e quella di domanda, non è identificabile con un unico valore, bensì da un intervallo di punti di intersezione.

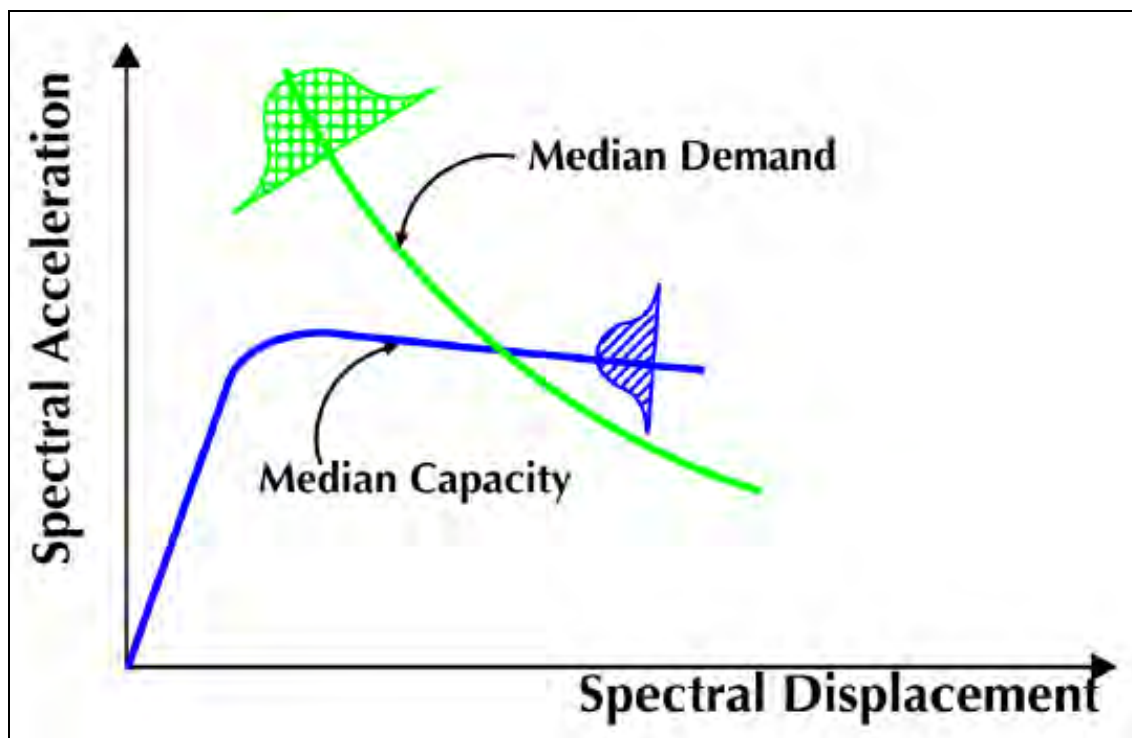


Figura 3.7 - Intersezione tra curva di domanda e curva di capacità: casualità ed incertezza del comportamento strutturale e della risposta sismica.

Le curve di fragilità possono essere sviluppate con metodi empirici o analitici: le curve di fragilità empiriche solitamente si costruiscono in base a dati ricavati da terremoti passati (*HAZUS99*, 2001, *Risk-UE*, 2004). Per generare questa tipologia di curve sono stati sviluppati diversi metodi: per esempio alcuni autori propongono di utilizzare il metodo della massima probabilità basato sull'osservazione di ponti danneggiati durante il terremoto di Kobe del 1995 (*Shinozuka et al.*, 2000a); un altro metodo utilizzato in Europa è il metodo RISK-UE basato sulla procedura descritta in HAZUS 99 (2001).

Le curve di fragilità analitiche invece si costruiscono per mezzo di dati ricavati da analisi sismiche dei ponti. Tutti i metodi analitici sono composti principalmente da tre fasi: simulazione dell'azione sismica, costruzione del modello analitico del ponte (considerando le incertezze sui materiali) e generazione delle curve di fragilità dai dati ricavati dalla risposta sismica del manufatto stesso. La risposta sismica può essere ottenuta da differenti tipi di analisi sismica: analisi dinamica lineare (*Hwang et al.*, 2000), analisi statica non lineare (*Shinozuka et al.*, 2000b) o analisi dinamica non lineare (*Choi et al.*, 2003, *Shinozuka et al.*, 2000a).

3.4.1 Curve di fragilità analitiche: Metodo 1

Le curve di fragilità possono essere considerate come distribuzioni cumulate condizionate (come ad esempio in *Monti e Nisticò, 2002*), che esprimono la probabilità di eguagliare o eccedere un certo livello prestazionale PL data la misura d'intensità dell'accelerogramma (in questo studio $Sa(Is)$).

Introducendo la fragilità $P_{f,PL}$ si ha:

$$P_{f,PL}(a) = P[D > d_{PL} | a]$$

dove D rappresenta la funzione di danno, che in questo studio coincide con la duttilità cinematica.

Tale metodo consente di valutare sia la variabilità sull'azione sismica da attendersi in sito, sia l'incertezza sui parametri dei materiali che influenzano la capacità della struttura. La pila è assunta come elemento caratterizzante la vulnerabilità dell'intero ponte, quindi prendendo in considerazione il modello meccanico G della pila stessa e adottati come parametri statistici le proprietà di base p dei materiali (la resistenza a compressione f_c del calcestruzzo e la resistenza a snervamento f_y dell'acciaio), si definisce la funzione di danno come:

$$D = D(G(p), S_a | a)$$

che dipende dai parametri meccanici e dallo spettro di risposta S_a che varia in funzione dell'accelerogramma utilizzato.

Sostituendo quest'ultima espressione in quella precedente si ottiene:

$$P_{f,PL}(a) = P[D(G(p), S_a | a) > d_{PL}] = \int_{D(a) > d_{PL}} f_D(d|a) dd$$

Per ogni valore dell'accelerazione a , il corrispondente punto sulla curva di fragilità relativa ad un dato d_{PL} si determina secondo il seguente procedimento:

- si stimano la media e la varianza degli n parametri statistici p e li si descrive con opportune funzioni di densità di probabilità pdf ;
- si discretizza ciascuna pdf in m intervalli Δp_i^k i cui valori centrali p_i^k hanno probabilità di occorrenza uguale a $f_{p_i}(p_i^k) \Delta p_i^k$;
- si seleziona la k -esima combinazione p^k degli $i = 1 \dots n$ parametri, si calcola poi la probabilità di occorrenza di tale combinazione, nell'ipotesi di indipendenza, come:

$$\prod_{i=1}^n f_{p_i}(p_i^k) \Delta p_i^k ;$$

- si esegue l'analisi della struttura mediante il modello G adottato e si calcola il danno come definito precedentemente;
- si identifica la funzione densità di probabilità pdf del danno $f_D(d|a)$ attraverso una funzione a due parametri, stimando media e varianza come:

$$E[D] = \sum_{k=1}^{m^n} d_k \left[\prod_{i=1}^n f_{p_i}(p_i^k) \Delta p_i^k \right]$$
$$Var[D] = \sum_{k=1}^{m^n} (d_k - E[D])^2 \left[\prod_{i=1}^n f_{p_i}(p_i^k) \Delta p_i^k \right]$$

La distribuzione adottata è di tipo log-normale (Monti e Nisticò, 2002), ma il metodo è generale e può essere impiegata qualsiasi distribuzione;

- si calcola numericamente l'integrale:

$$\int_{D(a) > d_{PL}} f_D(d|a) dd$$

dove l'estremo inferiore di integrazione, per ciascun PL , è dato dal corrispondente valore di duttilità cinematica.

La curva di fragilità così costruita si riferisce ad una singola pila; considerando un ponte costituito da N pile indipendenti fra loro, come nel caso di un ponte con campate in semplice appoggio, la probabilità di eccedere un certo livello di danno PL è la seguente:

$$P_{f,PLsystem} = 1 - \prod_{pier=1}^N (1 - P_{f,PLpier}(a))$$

Questa ipotesi è valida per ponti a campate semplicemente appoggiate dove ogni pila si può schematizzare con un sistema ad un grado di libertà. Non è valida invece per ponti continui nei quali l'impalcato accoppia la risposta delle pile in funzione della sua rigidezza: in questo caso si può definire la rottura del sistema quando avviene la rottura della prima pila, ipotesi largamente accettata poiché la pila è considerata l'elemento più vulnerabile del ponte e solitamente arriva a rottura prima dell'impalcato. Se il sistema quindi viene considerato "in serie" (Melchers, 1999), cioè la rottura del sistema è definita dalla rottura della prima pila, allora si può definire un intervallo entro il quale c'è probabilità di fallimento della struttura, definito dai limiti qui di seguito:

$$\max_{i=1}^n [P_{f,PLpier}] \leq P_{f,PLsystem} \leq 1 - \prod_{pier=1}^N (1 - P_{f,PLpier}(a))$$

dove il limite inferiore corrisponde alla probabilità di superamento di un certo PL per un sistema in cui le componenti sono totalmente dipendenti, mentre il limite superiore

corrisponde alla probabilità di superamento di un certo PL per un sistema con componenti indipendenti (sistema isostatico), come visto sopra.

3.4.2 Curve di fragilità analitiche: Metodo 2

Numerosi studi hanno indicato come la distribuzione log-normale costituisca un modello che ben si adatta alla descrizione della domanda sismica: una volta calcolati i valori che definiscono la risposta massima (in termini di duttilità) della struttura in funzione della domanda sismica, generalmente espressa da un parametro IM (Intensity Measure) che solitamente è la PGA (Peak Ground Acceleration), è possibile descrivere la domanda media con una legge del tipo:

$$S_d = IM^B \cdot e^A$$

che nel piano bi-logaritmico è rappresentata dalla retta di regressione:

$$\ln(S_d) = A + B \ln(IM)$$

I coefficienti di regressione A e B vengono definiti dalla regressione dei dati sul piano $\ln(IM)-\ln(S_d)$ calcolando la deviazione standard dei valori di domanda sull'intero insieme di dati, considerando gli scarti rispetto alla retta di regressione per il dato IM .

La retta di regressione assume, graficamente, la seguente forma:

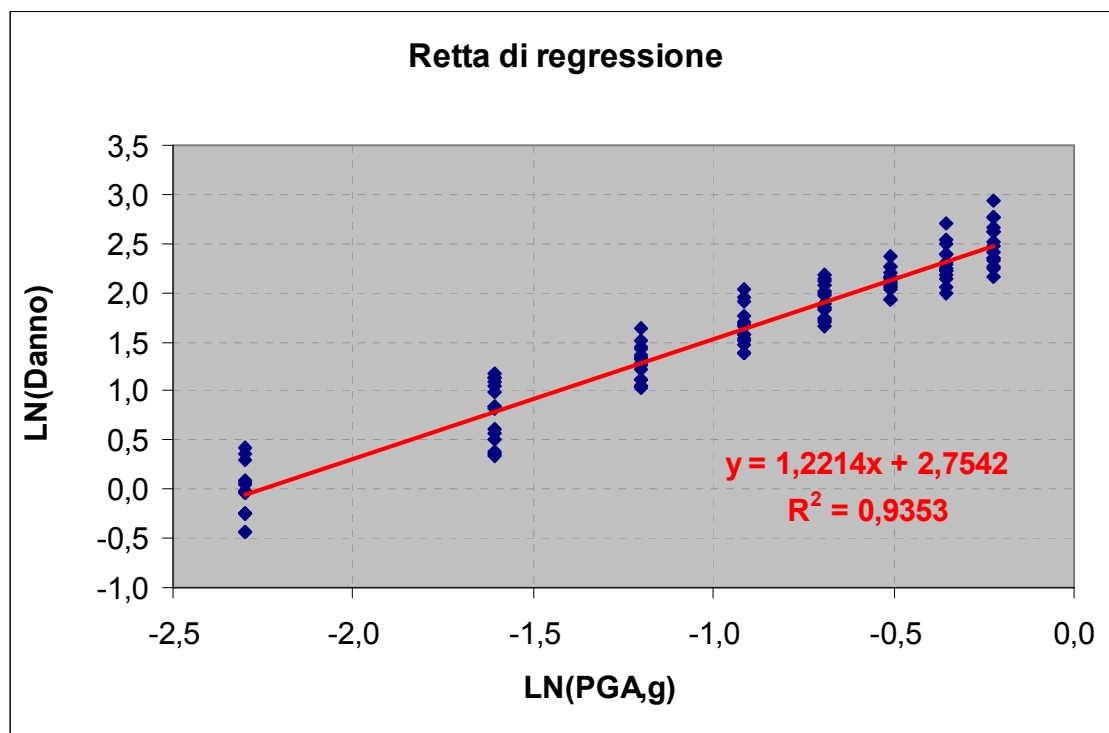


Figura 3.8 - Esempio di retta di regressione per il Metodo 2.

Una volta determinati i coefficienti A e B e la dispersione ε , la curva di fragilità diventa una semplice distribuzione cumulata log-normale, e la probabilità

$$P_{f,PL}(a) = P[D > d_{LP}|a]$$

viene calcolata risolvendo per via numerica il seguente integrale (o attraverso l'utilizzo delle tavole per la distribuzione di tipo normale):

$$\int_{D(a) > d_{PL}} f_D(d|a) dd$$

dove la funzione di densità di probabilità del danno è data dalla distribuzione log-normale:

$$f_D(d) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\varepsilon d}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln d - \lambda}{\varepsilon}\right)^2\right]$$

indicando con:

- $\lambda = A + B \ln(IM)$ il valore medio valutato sulla retta di regressione in corrispondenza ad un dato valore di IM ;

- ε la dispersione calcolata come $\varepsilon = S_{YX} = \sqrt{\frac{SQE}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2}}$.

Si può notare che il vantaggio principale di questa procedura è dato dal fatto che, assumendo una forma chiusa per la curva di fragilità (log-normale) ed avendo a disposizione analisi effettuate con un numero limitato di valori di PGA (nello specifico 8 valori, da 0,1g a 0,8g, con intervalli di 0,1g), risulta comunque possibile andare ad estrapolare la probabilità di superamento della soglia di danno per qualsiasi valore di PGA , senza ulteriori analisi aggiuntive. Con pochi valori di PGA le analisi permettono quindi di dare risultati più attendibili per qualsiasi valore di PGA rispetto a quelli che si potrebbero ottenere con il Metodo 1.

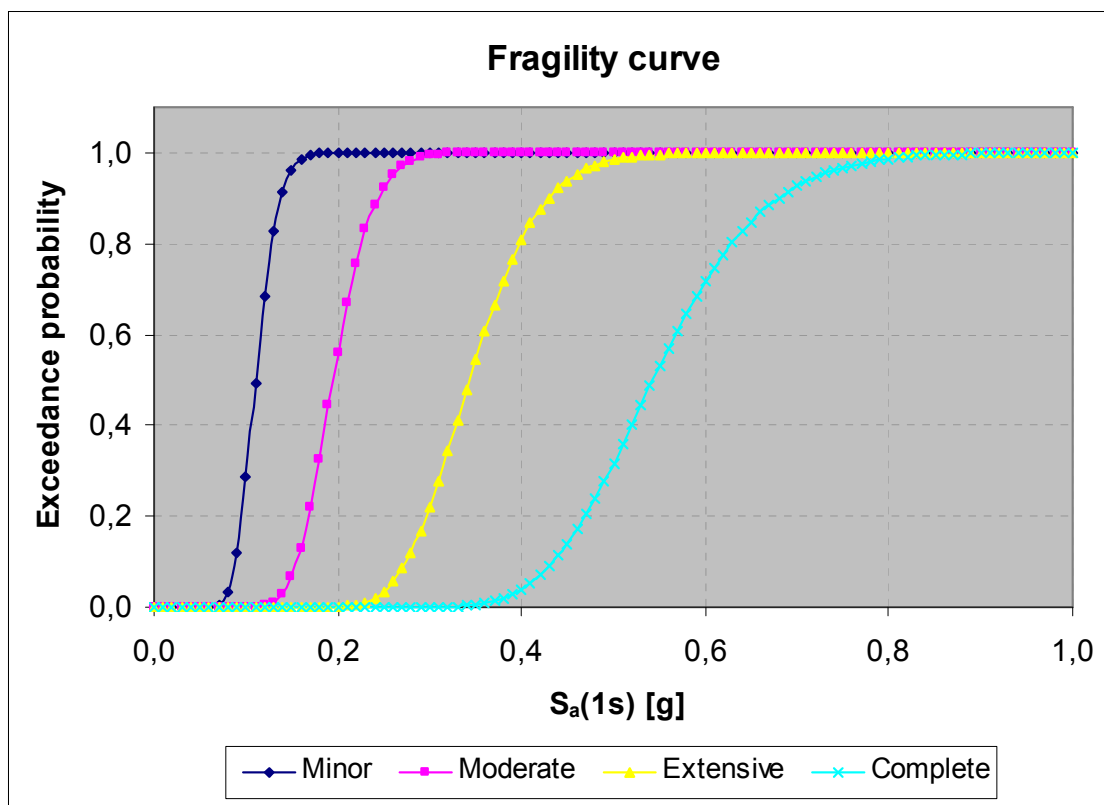


Figura 3.9 - Esempio di curve di fragilità ottenute con il Metodo 2.

Si evidenzia infine come, anche per il Metodo 2, si faccia riferimento alla costruzione delle curve di fragilità per una singola pila: le curve di fragilità relative all'intero ponte si potranno ottenere tramite considerazioni analoghe a quelle effettuate col Metodo 1.

3.4.3 Curve di fragilità empiriche: Metodo RISK-UE

Questa procedura prende spunto dal sistema americano di gestione delle infrastrutture "Hazus" ed ha lo scopo di ottenere le curve di fragilità di un ponte specifico utilizzando un limitato numero di dati senza dover ricorrere a complesse analisi strutturali con la costruzione dei relativi modelli numerici.

Acclarato che la capacità strutturale e la richiesta sismica siano delle variabili aleatorie che si adattano ad una distribuzione probabilistica di tipo log-normale, alla luce del postulato del teorema del limite centrale (sia data una popolazione avente media μ e varianza σ^2 e da essa si estraggano campioni casuali di ampiezza n ; indicando con x la media campionaria, la variabile Z è una variabile aleatoria la cui distribuzione tende alla distribuzione normale standardizzata per $n \rightarrow \infty$, con media pari a μ e deviazione standard pari a $\sqrt{V(x)} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$), il

loro punto d'intersezione risulta essere rappresentabile attraverso una distribuzione di tipo log-normale.

Considerando tale rappresentazione si può quindi ottenere una funzione di densità di probabilità cumulativa che si identifica con la curva di fragilità.

Per costruire tale curva sono necessari due parametri:

- il valore medio o mediana, ovvero il valore con probabilità di accadimento pari al 50%;
- la deviazione standard.

La funzione che descrive la probabilità cumulativa ha quindi la forma seguente:

$$F(S_a) = \Phi \left[\frac{1}{\beta_c} \ln \left(\frac{S_a}{A_l} \right) \right]$$

dove:

- Φ è la funzione di distribuzione log-normale;
- S_a è l'accelerazione spettrale;
- A_l è la media dell'accelerazione spettrale necessaria per ottenere il livello di danno richiesto;
- β_c è la deviazione standard che incorpora tutti gli aspetti di incertezza e casualità della capacità e della richiesta; tale valore, oggetto di numerosi studi, viene assunto pari a 0,6 (ipotesi proposta da *Mander*).

In questo metodo lo sviluppo delle curve è basato su tre tipi di dati:

- dati relativi alle caratteristiche geometrico-strutturali del ponte e della sua collocazione geografica;
- dati sul sisma atteso per quel sito;
- informazioni sul tipo di suolo dove poggia la struttura.

Per facilitare la costruzione delle curve si opera preventivamente una suddivisione dei ponti in diverse categorie in funzione della loro tipologia e delle loro caratteristiche geometrico-strutturali, secondo la tabella seguente:

Material	Column bent type	Span continuity	Design	Category
All	Single Span	-	Conventional	1
			Seismic	2
Concrete bridges	Single	Simple Support	Conventional	3
			Seismic	4
		Continuous	Conventional	5
			Seismic	6
	Multiple	Simple Support	Conventional	7
			Seismic	8
		Continuous	Conventional	9
			Seismic	10
Steel bridges	Multiple	Simple Support	Conventional	11
			Seismic	12
	All	Continuous	Conventional	13
			Seismic	14
	Other			15

Tabella 3.3 - Suddivisione Risk-UE dei ponti in relazione alle caratteristiche geometrico-strutturali.

La costruzione della curva di uno specifico ponte avviene attraverso l'adattamento della curva riferita ad un "ponte standard", ovvero ad un ponte abbastanza lungo da poter trascurare gli effetti tridimensionali. Per ciascuno dei "ponti standard" individuati dalla suddivisione precedente vengono individuate le medie delle accelerazioni spettrali a 1 secondo $[S_a(1s)]$ necessarie ad individuare i diversi livelli di danno: questi valori poi vengono modificati per ciascun ponte specifico con l'utilizzo di fattori che tengono conto delle caratteristiche e della collocazione del ponte oggetto di studio.

I fattori che entrano in gioco sono:

- $K_{skew} = \sqrt{\sin \alpha_{skew}}$, che considera la sghembatura del ponte in pianta;
- $K_{shape} = 2,5 \frac{S_a(1,0)}{S_a(0,3)}$, che considera il sito dove è collocata la struttura: le accelerazioni spettrali vengono ricavate dallo spettro del sito di riferimento;
- $K_{3D} = f(N)$, che considera gli effetti tridimensionali e dipende dal numero N di campate del ponte.

I valori dei fattori e delle medie modificate per la costruzione delle curve relative ad un ponte specifico sono riportati nella tabella seguente:

Skew angle (K_{skew})	3-dimensional arch action in the deck (K_{3D})						
	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
$\sqrt{\sin(90 - \alpha)}$	$1 + \frac{0,25}{N-1}$	$1 + \frac{0,33}{N}$	$1 + \frac{0,33}{N-1}$	$1 + \frac{0,33}{N-1}$	$1 + \frac{0,05}{N}$	$1 + \frac{0,20}{N-1}$	$1 + \frac{0,10}{N}$

Typology	Damage state			
	Minor	Moderate	Extensive	Complete
Category	Median S_a at 1.0 s (g) with $\beta=0.6$			
1-2	$0.80 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{S_a(1.0)}{S_a(0.3)}\right)$	$1.0 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.2 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.7 \times K_{skew} \times EQ1$
3	0.25	$0.35 \times K_{skew} \times EQ1$	$0.45 \times K_{skew} \times EQ1$	$0.70 \times K_{skew} \times EQ1$
4	0.50	$0.80 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.70 \times K_{skew} \times EQ1$
5	0.35	$0.45 \times K_{skew} \times EQ2$	$0.55 \times K_{skew} \times EQ2$	$0.80 \times K_{skew} \times EQ2$
6	0.60	$0.90 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.30 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.60 \times K_{skew} \times EQ3$
7	0.25	$0.35 \times K_{skew} \times EQ1$	$0.45 \times K_{skew} \times EQ1$	$0.70 \times K_{skew} \times EQ1$
8	0.50	$0.80 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.70 \times K_{skew} \times EQ1$
9	$0.60 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{S_a(1.0)}{S_a(0.3)}\right)$	$0.90 \times K_{skew} \times EQ2$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ2$	$1.50 \times K_{skew} \times EQ2$
10	$0.90 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{S_a(1.0)}{S_a(0.3)}\right)$	$0.90 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.50 \times K_{skew} \times EQ3$
11	0.25	$0.35 \times K_{skew} \times EQ4$	$0.45 \times K_{skew} \times EQ4$	$0.70 \times K_{skew} \times EQ4$
12	0.50	$0.80 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.70 \times K_{skew} \times EQ1$
13	$0.75 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{S_a(1.0)}{S_a(0.3)}\right)$	$0.75 \times K_{skew} \times EQ5$	$0.75 \times K_{skew} \times EQ5$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ5$
14	$0.90 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{S_a(1.0)}{S_a(0.3)}\right)$	$0.90 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.10 \times K_{skew} \times EQ3$	$1.50 \times K_{skew} \times EQ3$
15	0.80	1.00	1.20	1.70

Tabella 3.4 - Valori dei fattori e delle medie modificate per la costruzione delle curve di fragilità (Risk-UE).

In conclusione, per la costruzione delle curve secondo questo metodo, bisogna seguire i seguenti passaggi:

- individuazione delle caratteristiche del ponte: localizzazione, tipologia strutturale secondo le classi definite sopra, numero di campate N , angolo d'incidenza α_{skew} , larghezza impalcato W , lunghezza totale L , lunghezza massima della campate l_{max} ;
- valutazione del tipo di suolo del sito dove è situata la struttura per la costruzione dello spettro e l'individuazione delle accelerazioni spettrali $S_a(1,0s)$ e $S_a(0,3s)$;

- calcolo dei fattori del ponte specifico e delle medie modificate rispetto ai “ponti standard”;
- tracciamento delle curve di fragilità per ciascun livello di danno, assumendo la deviazione standard pari a 0,6.

I livelli di danno (*Performance Level, PL*) sono sostanzialmente quattro: Minor, Moderate, Extensive, Complete; la descrizione di ciascun livello è riportata qui di seguito:

Damage state description (Hazus '99)	
Complete	Any column collapsing and connection losing all bearing support, which may lead to imminent deck collapse, tilting of substructure due to foundation failure.
Extensive	Any column degrading without collapse - shear failure - (column structurally unsafe), significant residual movement at connections, or major settlement approach, vertical offset of the abutment, differential settlement at connections, shear key failure at abutments.
Moderate	Any column experiencing moderate (shear cracks) cracking and spalling (column structurally still sound), moderate movement of the abutment (<5cm), extensive cracking and spalling of shear keys, any connection having cracked shear keys or bent bolts, keeper bar failure without unseating, rocker bearing failure or moderate settlement of the approach.
Minor	Minor cracking and spalling to the abutment, cracks in shear keys at abutments, minor spalling and cracks at hinges, minor spalling at the column (damage requires no more than cosmetic repair) or minor cracking to the deck.
None	/

Tabella 3.5 - Possibili conseguenze di un sisma su un ponte in termini di livelli di danno (Risk-UE).

La forma tipica delle curve di fragilità costruite secondo questo metodo è riportata nella figura sottostante:

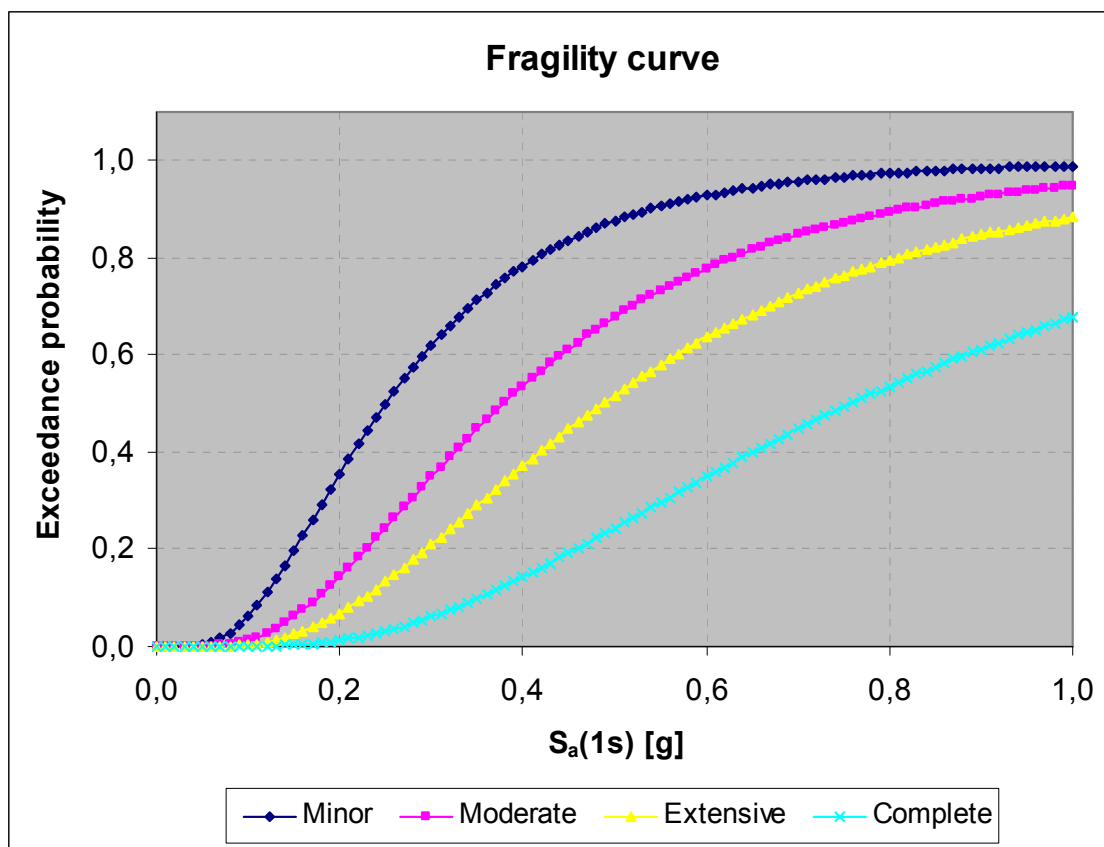


Figura 3.10 - Esempio di curve di fragilità ottenute con il metodo Risk-UE.

3.4.4 La distribuzione log-normale

Nei metodi di costruzione delle curve di fragilità fin qui descritti, la distribuzione log-normale assume una particolare importanza visto che si adatta in maniera opportuna alle variabili di domanda sismica.

Tali variabili seguono una relazione esponenziale del tipo $x = \exp(w)$; se l'esponente è una variabile aleatoria W , allora $X = \exp(W)$ è anch'essa una variabile aleatoria: un'importante caso si verifica quando W ha distribuzione normale e di conseguenza X segue una distribuzione log-normale. Il nome di questa distribuzione deriva dalla trasformazione $\ln(X) = W$, cioè il logaritmo naturale di X è normalmente distribuito e il suo range varia nell'intervallo $(0, \infty)$.

Supponendo che W sia normalmente distribuita con media μ e varianza σ^2 , la distribuzione cumulativa per X è data da:

$$F(x) = P[X \leq x] = P[\exp(W) \leq x] = P[W \leq \ln(x)] = P\left[Z \leq \frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right] = \Phi\left[\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right]$$

con $x > 0$ e Z una variabile aleatoria normale standard.

La funzione densità di probabilità invece assume la forma seguente:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi x}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad 0 < x < \infty$$

dove la media e la varianza di X sono:

$$E(X) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad e \quad V(X) = e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1)$$

È da notare che i parametri di una distribuzione log-normale sono μ e σ^2 , che sono la media e la varianza della variabile aleatoria normale $W = \ln(X)$, da non confondere con la media e la varianza di X date dalle espressioni appena citate qui sopra.

Inoltre è bene porre attenzione che nei fogli di calcolo del programma “Excel”, utilizzato in questo lavoro di tesi, la funzione statistica per la distribuzione log-normale è presente solo in forma cumulativa e, affinché possa essere definita, è necessario introdurre i valori μ e σ , cioè media e deviazione standard di $\ln(X)$. Poiché risulta utile, ai fini dei calcoli, trovare la media e la varianza della variabile aleatoria X , risolvendo un semplice sistema lineare è possibile ricavare i due valori da introdurre in “Excel” che fanno riferimento a $\ln(X)$; esplicitando si ottiene:

$$\sigma_{\log}^2 = \ln\left[\left(\frac{\sigma}{\mu}\right)^2 + 1\right] \quad \mu_{\log} = \ln \mu - \frac{1}{2} \sigma_{\log}^2$$

Qui di seguito è rappresentato un tipico andamento (asimmetrico) della funzione di densità di probabilità log-normale, che ben rappresenta in questo caso la resistenza caratteristica a snervamento dell'acciaio:

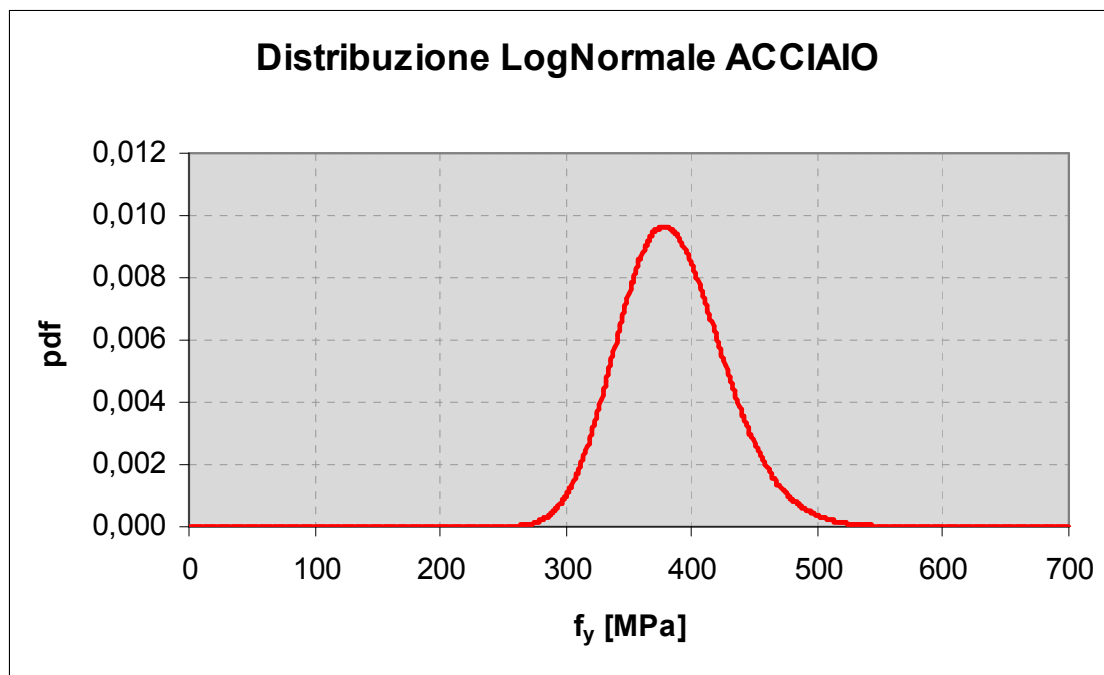


Figura 3.11 - Andamento della funzione densità di probabilità log-normale.

Il ponte di Fener è situato in provincia di Belluno nei pressi di Fener, nel comune di Alano di Piave, e funge da attraversamento sul fiume Piave, quindi di notevole importanza per la rete viaria provinciale, collegando tra loro le due principali strade, la strada regionale SR348 e la strada provinciale SP28. Il ponte risale ai primi anni Settanta e si trova in buono stato di conservazione: rappresenta il tipico attraversamento infrastrutturale realizzato nel periodo compreso tra gli anni '60 - '70 in termini di caratteristiche geometriche e tipologia strutturale. Si è voluto fare uno studio più approfondito del rischio sismico proprio relativamente a tale tipologia, scegliendo un ponte-tipo, per estendere i risultati agli altri in funzione dei parametri caratteristici che si sono analizzati (altezza H e diametro D della pila, lunghezza L della campata, numero di campate N).

Il manufatto è costituito da un impalcato con travi in precompresso semplicemente appoggiate (sistema isostatico) e si sviluppa per una lunghezza complessiva di 579 m, articolandosi in 24 campate, ciascuna di lunghezza pari a 24,75 m, eccetto quelle di riva, dove, da una parte si ha una campata lunga 23,75 m, mentre dall'altra si hanno le ultime due campate di lunghezza rispettivamente 18,00 e 17,50 m.

L'impalcato è largo 9 m ed è stato realizzato mediante il getto in opera di una soletta in c.a. dello spessore pari a 0,2 m, mentre le travi in c.a.p. sono collegate ed irrigidite mediante traversi gettati in opera in c.a.; l'effetto dei pesi propri e dei carichi permanenti della sovrastruttura è pari a 84,90 kN/m e i traversi pesano 164,10 kN ciascuno.

Le pile sono costituite da una struttura a telaio, ciascuna composta da due colonne circolari di diametro 1,5 m e altezza variabile (altezza massima 9 m) in relazione alla quota variabile dell'alveo e degli argini golenali in cui sono posti i portali; l'interasse fra le pile del telaio è di 5,5 m. L'armatura delle pile è costituita da 23Ø20 longitudinali e staffe circolari 1Ø10/20 cm con copriferro pari a 5 cm.

Il traverso in sommità, caratterizzato da una sezione a T rovescia, risulta alto 2 m e si sviluppa per una larghezza di 2,5 m inferiormente, mentre complessivamente corona il portale per una lunghezza totale di 9 m.

La zattera di fondazione è caratterizzata da un dado di fondazione alto 4,75 m e poggiate su 4 pali di diametro 1,25 m, lunghi mediamente 16 m ciascuno.

Le caratteristiche meccaniche dei materiali sono: per il calcestruzzo delle pile e del pulvino $R_{ck} = 30$ MPa, mentre per l'acciaio le caratteristiche sono compatibili con quelle del tipo FeB32k a barre tonde e lisce.

PRINCIPALI CARATTERISTICHE PONTE DI FENER	
<i>Tipologia:</i>	ponete a travata
<i>Schema statico:</i>	semplice appoggio
<i>Materiali:</i>	travi in c.a.p. - soletta, traversi, pile in c.a.
<i>Lunghezza totale:</i>	579 m
<i>N° campate:</i>	24
<i>Lunghezza campate:</i>	24,75 m (23,75 m campata riva sx; 18,00 m e 17,50 m campate riva dx)
<i>N° corsie di marcia:</i>	2
<i>Larghezza impalcato:</i>	9 m
<i>Traversi:</i>	c.a. gettati in opera, $f_{ck} = 25$ MPa
<i>Soletta:</i>	c.a. gettata in opera, spessore 0,2 m
<i>Pile:</i>	sezione circolare $D = 1,5$ m - $H_{max} = 9$ m - $f_{ck} = 25$ MPa armatura longitudinale 23 Ø20 - staffe 1 Ø10/20 cm - $f_{yk} = 430$ MPa - copriferro = 5 cm

Qui di seguito si riportano alcune figure che possono chiarificare la struttura appena descritta.



Figura 4.1 - Vista aerea del ponte di Fener.



Figura 4.2 - Vista delle pile in alveo durante una piena del fiume Piave.



Figura 4.3 - Vista delle pile a telaio e dell'impalcato del ponte di Fener.

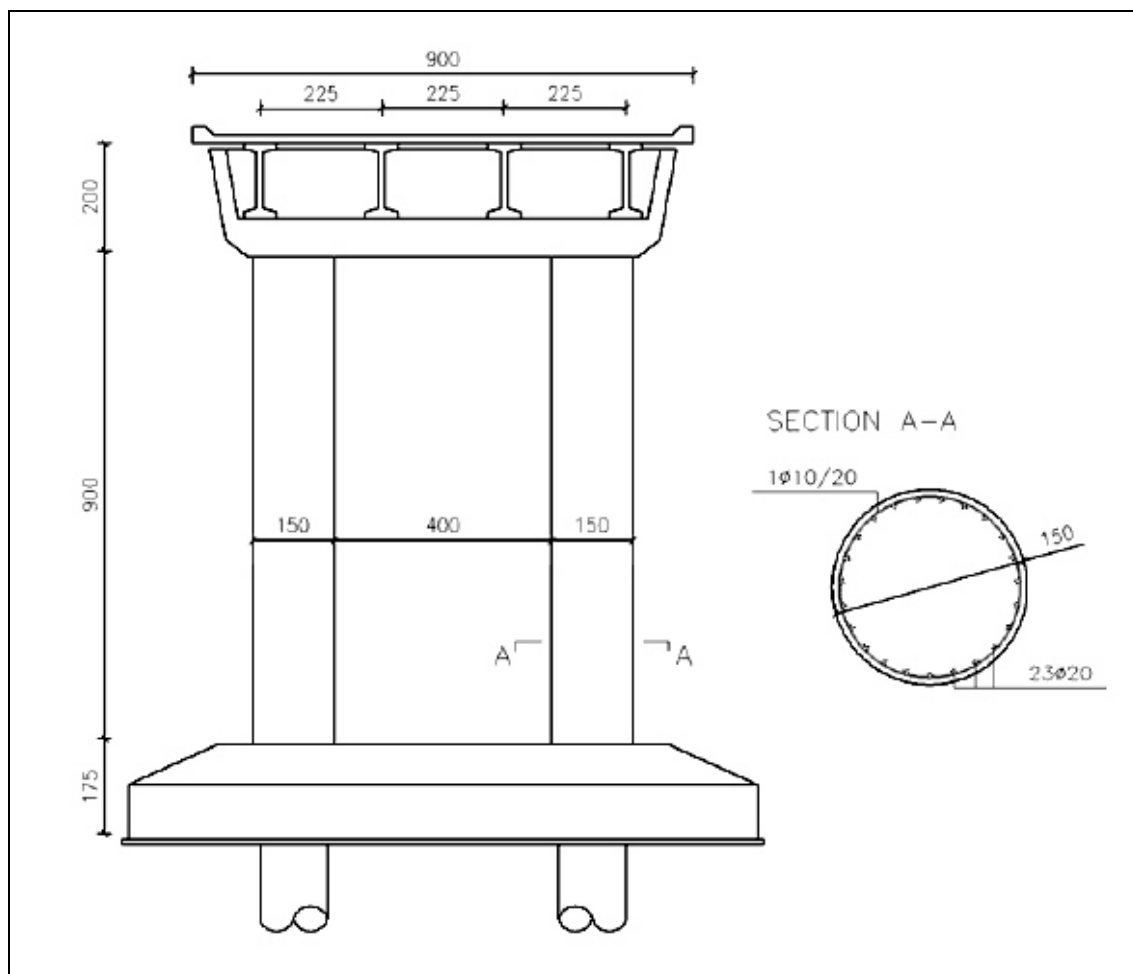


Figura 4.4 - Carpenteria relativa alla pila più alta del ponte di Fener.

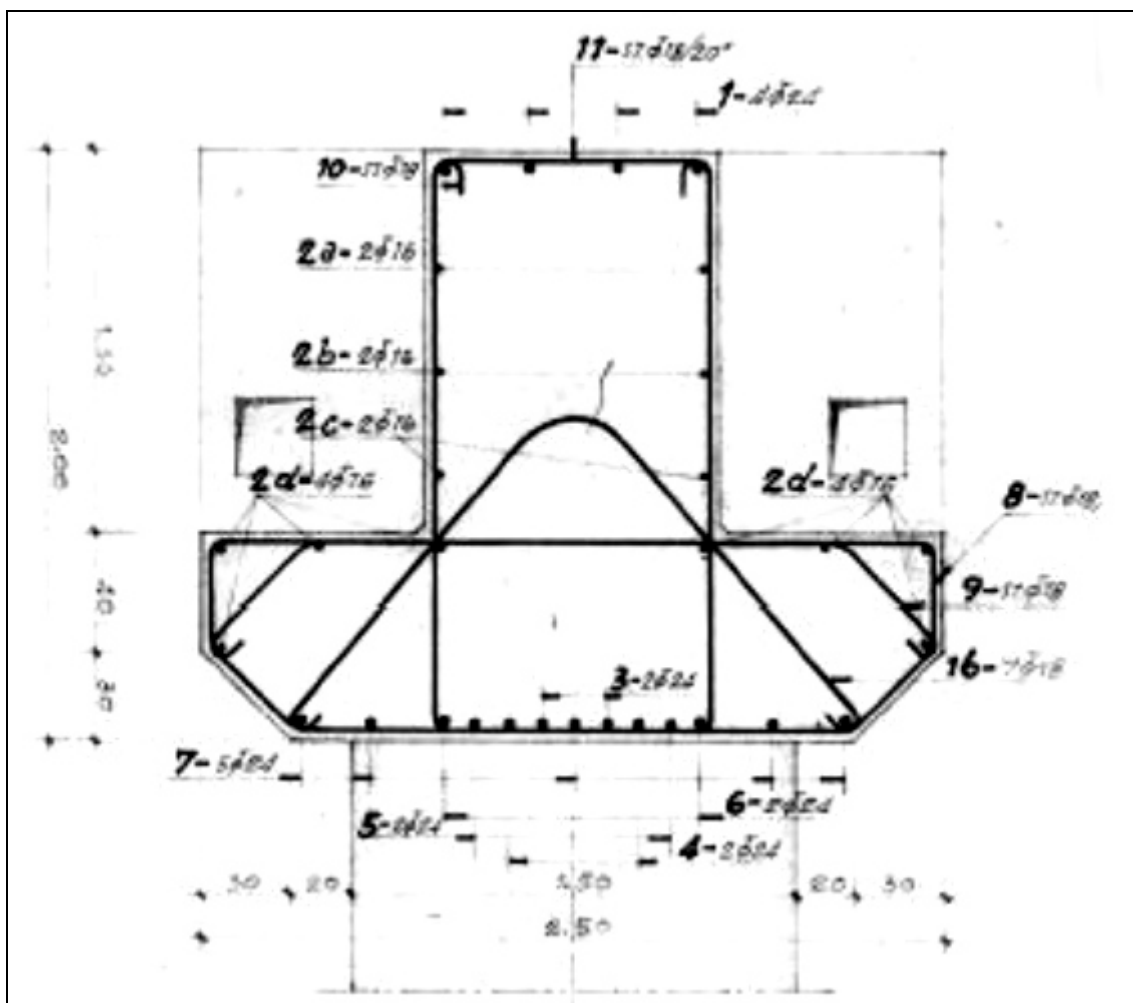


Figura 4.5 - Tavola relativa alle dimensioni ed alla carpenteria del traverso a T rovescia del ponte di Fener.

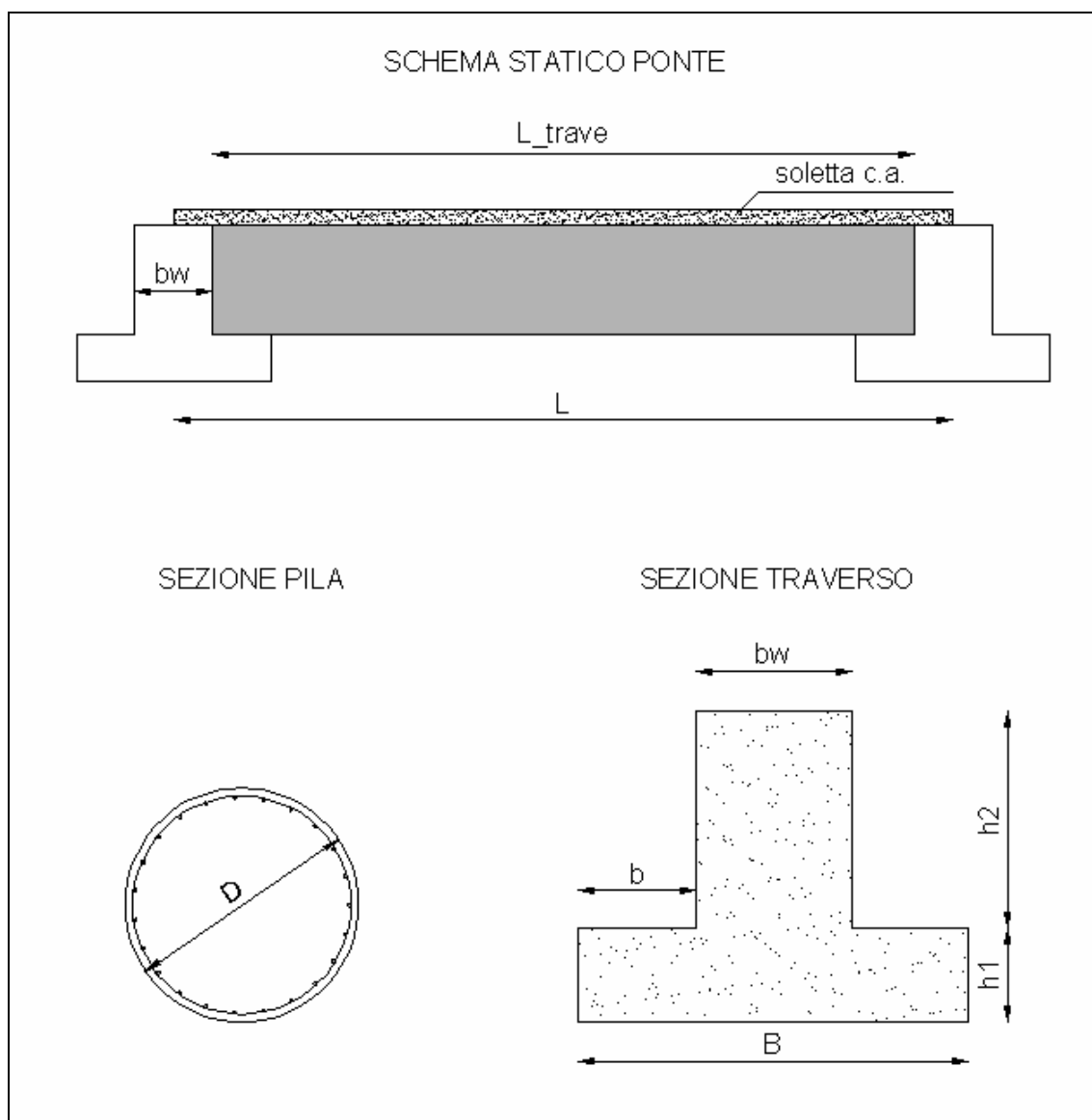


Figura 4.6 - Sezioni tipo degli elementi costituenti il ponte di Fener.

Per questo caso studio, si è deciso di analizzare un ponte di Fener “fittizio”, ossia costituito da 4 campate anziché 24, tenendo invariate tutte le altre caratteristiche geometriche, meccaniche e strutturali.

4.1 Modello numerico del ponte

Lo schema statico del ponte è con campate in semplice appoggio, per cui è stato possibile rappresentarlo come una serie di sistemi indipendenti: per questa ragione ciascuna pila può

essere rappresentata come un oscillatore semplice. Modellando la sola pila si considera che la massa gravante su di essa sia la metà di quella corrispondente a ciascuna campata afferente alla pila stessa.

Ogni pila, costituita da un portale, risponde alle azioni orizzontali, cui è sollecitata durante un sisma, in modo differenziato lungo le due direzioni principali: trasversalmente si ha il funzionamento a telaio con il traverso che ha un'inerzia notevolmente superiore rispetto alle pile e che impone sostanzialmente un vincolo di incastro in sommità delle stesse; in direzione longitudinale invece, le pile si inflettono come mensole incastrate solamente alla zattera di fondazione. Ciò ha reso possibile studiare la fragilità del sistema in modo differenziato per la risposta longitudinale e trasversale, utilizzando modelli piani; a priori è difficile dire quale sia la direzione di carico che controlla la fragilità del ponte, per la diversa rigidità dei sistemi nelle due direzioni, a parità di massa coinvolta (che significa forze sollecitanti maggiori in campo elastico per il sistema più rigido), e per la diversa duttilità della pila nelle due direzioni (in direzione longitudinale ci sono due potenziali cerniere plastiche, in direzione trasversale quattro, mentre gli effetti $P-\Delta$ che portano ad un anticipo del collasso sono in qualche modo significativi solo in direzione longitudinale, dove si hanno spostamenti maggiori).

Per la verifica del viadotto in esame è stato impiegato il metodo dell'analisi dinamica non lineare. Tale metodo è il più impegnativo per la valutazione delle strutture da ponte: esso richiede l'impiego di un codice di calcolo affidabile ed un'accurata modellazione della struttura e delle sue connessioni. I risultati, sotto forma di storie temporali delle risposte (forze, spostamenti, tensioni, deformazioni), sono molto voluminosi e richiedono un idoneo strumento di post-processing affinché possano essere utilmente usati per la verifica dell'opera.

La terza componente (verticale) del moto è stata trascurata, avendo ritenuto che fosse scarsamente influente sul comportamento della struttura.

Il modello della struttura, sommariamente descritta in precedenza, è stato inserito nel codice ad elementi finiti *OpenSEES* (The Open System for Earthquake Engineering Simulation): si tratta di un software per la simulazione del comportamento strutturale non lineare e geotecnica di elementi sottoposti ad azione sismica. L'applicazione è stata sviluppata originariamente per essere impiegata come strumento computazionale per ricerche di ingegneria sismica presso il Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) e dal 2004 viene utilizzato dal Network for Earthquake Engineering Simulation (NEES), i quali sono due tra i più importanti centri di ricerca sui terremoti a livello mondiale.

Il grande successo di questo software deriva da alcuni aspetti, come la grande quantità di modelli, sia di analisi che sui materiali, già implementati, ma soprattutto la sua distribuzione di tipo “open-source” e la possibilità di modificare a proprio piacimento il codice di calcolo.

Il primo aspetto è di fondamentale importanza in quanto grazie alla vasta libreria di modelli già disponibili, è possibile eseguire simulazioni estremamente precise, eliminando quindi gran parte delle approssimazioni che si trovano nei software commerciali: è possibile quindi modellare il comportamento di un elemento realizzato con un certo materiale introducendo gradi di complessità sempre maggiori; allo stesso modo il modello matematico applicato alla schematizzazione dell'elemento stesso può essere variato nella sua complessità, valutandone il comportamento, con l'obiettivo di raggiungere la massima precisione possibile, compatibilmente con i tempi e le intrinseche condizioni numeriche. Tutto questo permette di avere un programma in continua evoluzione e sempre al passo con le nuove teorie formulate.

Detto ciò, gli elementi delle pile (fusti, traversi, pulvini) sono stati modellati mediante elementi a fibre: alle fibre di calcestruzzo è stato assegnato un modello basato su quello di *Kent e Park* (1971) modificato da *Park et al.*, 1982, privo di resistenza a trazione, mentre per l'acciaio d'armatura è stata utilizzata una legge elasto-plastica con incrudimento, la legge *Giuffré-Menegotto-Pinto*. Le caratteristiche dei materiali sono state dedotte dalle informazioni contenute nella documentazione tecnica: in particolare al calcestruzzo non confinato è stata assegnata una resistenza media di 41MPa ed un modulo elastico tangente di 30GPa (calcestruzzo tipo C25/30), mentre all'acciaio, previsto di classe FeB32k, è stata assegnata una tensione di snervamento media di 385MPa ed un modulo elastico di 210GPa. Si è ritenuto che le informazioni disponibili fossero sufficientemente attendibili e dettagliate da poter raggiungere il livello di conoscenza 3 ($FC = I$).

L'azione sismica (*ground motion*) viene applicata in maniera uniforme ai nodi di base delle pile, a cui è stato attribuito il vincolo di incastro perfetto.

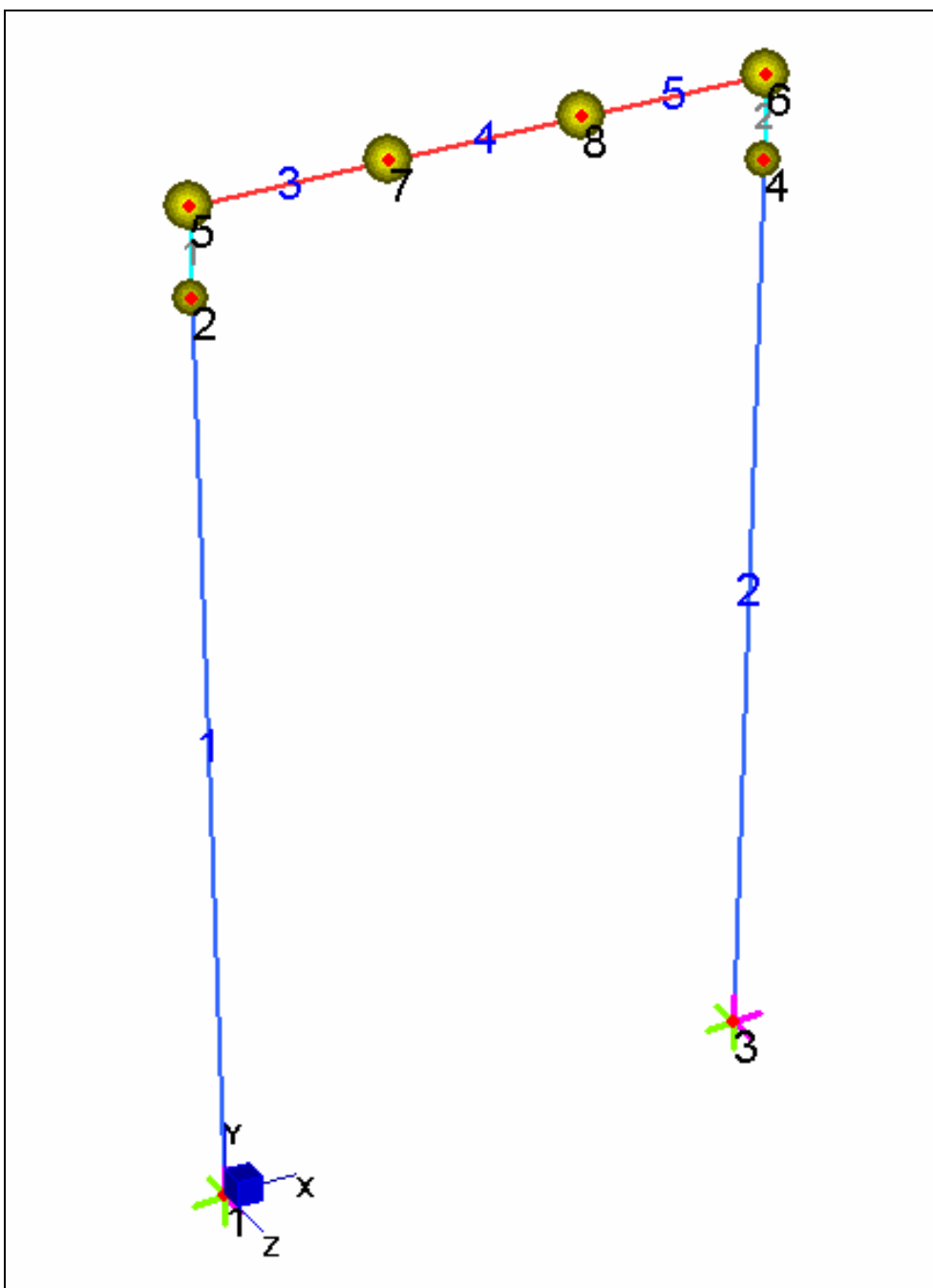
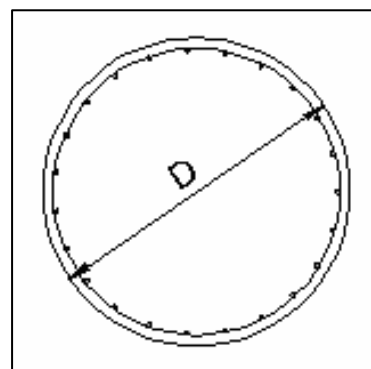


Figura 4.7 - Modello numerico del ponte implementato nel codice di calcolo OpenSEES.

Si riporta in seguito il calcolo delle masse sismiche relative agli elementi costitutivi del portale, che successivamente sono state assegnate al relativo modello implementato nel codice di calcolo; inoltre vengono riportate schematicamente le masse relative ai vari casi analizzati (variazione di H , D , L e variazione simultanea dei parametri citati).

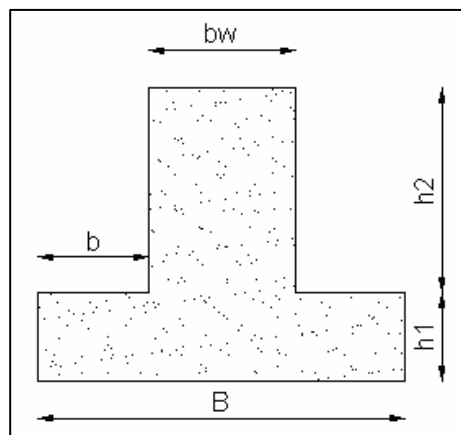
MASSA PILA

$D = 1,50$	m	[diametro pila]
$H = 9,00$	m	[altezza pila]
$\gamma_{cls} = 2.500$	kg/mc	[peso specifico cls]
$V = 15,90$	mc	[volume pila]
$M_{pila} = 39,76$	t	[massa pila]



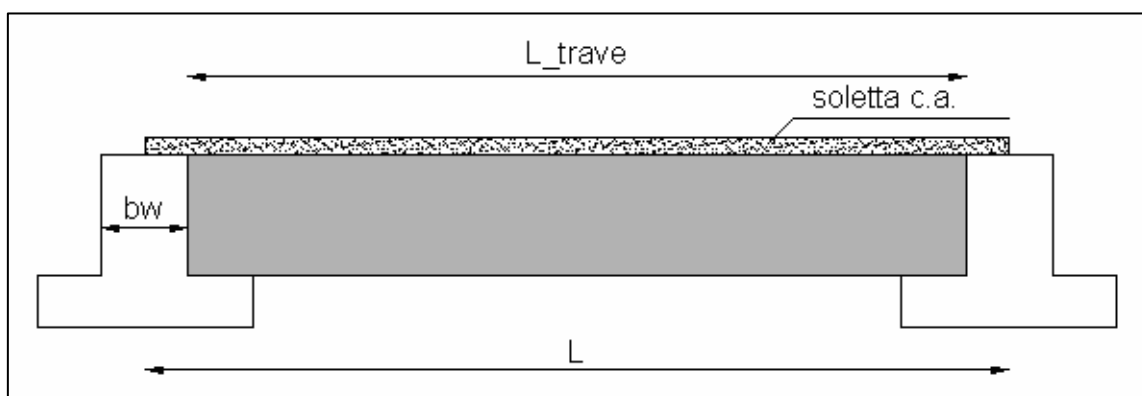
MASSA PULVINO

$B = 2,50$	m	[base inferiore]
$b_w = 1,00$	m	[base superiore]
$b = 0,75$	m	[alette laterali]
$h_1 = 0,60$	m	[altezza 1° battolo]
$h_2 = 1,40$	m	[altezza 2° battolo]
$L = 9,00$	m	[lunghezza pulvino]
$\gamma_{cls} = 2.500$	kg/mc	[peso specifico cls]
$V = 26,10$	mc	[volume pulvino]
$M_{pulvino} = 65,25$	t	[massa pulvino]



MASSA IMPALCATO

$L = 25,00$	m	[luce campata]
-------------	---	----------------



- traversi

sp =	0,30	m	[spessore traversi]
L =	7,20	m	[lunghezza traversi]
H =	1,40	m	[altezza traversi]
γ_{cls} =	2.500	kg/mc	[peso specifico cls]
$n^{\circ}_{traversi}$ =	3	---	[numero traversi]
V =	9,07	mc	[volume traversi]
M =	22,68	t	[massa traversi]

- soletta c.a.

sp =	0,20	m	[spessore soletta]
L =	24,75	m	[luce soletta] → tale luce è dovuta alla presenza di giunti di dilatazione, stimati in 25cm.
B =	9,00	m	[larghezza soletta]
γ_{cls} =	2.500	kg/mc	[peso specifico cls]
V =	44,55	mc	[volume soletta]
M =	111,30	t	[massa soletta]

- travi pcp

L_{trave} =	24,00	m	[luce trave]
h_{trave} =	1,40	m	[altezza trave = 1/18]
b =	0,70	m	[lunghezza ali]
b_w =	0,10	m	[spessore anima]
h_l =	0,15	m	[spessore ali]
h_w =	1,10	m	[lunghezza anima]
n°_{travi} =	4	---	[numero travi]
γ_{cls} =	2.500	kg/mc	[peso specifico cls]
V =	30,72	mc	[volume travi]
M =	76,80	t	[massa travi]
$M_{impalc.}$ =	210,78	t	[massa impalcato]

PONTE STANDARD							
DATI GEOMETRICI			ARMAT. LONGIT.		MASSA ELEMENTI		
$H [m]$	$D [m]$	$L [m]$	N_ϕ	$\phi [mm]$	$M_{pila} [t]$	$M_{pulvino} [t]$	$M_{impalcato} [t]$
9,00	1,50	25,00	23	20	39,76	65,25	210,78

VARIAZIONE ALTEZZA PILA H							
DATI GEOMETRICI			ARMAT. LONGIT.		MASSA ELEMENTI		
$H [m]$	$D [m]$	$L [m]$	N_ϕ	$\phi [mm]$	$M_{pila} [t]$	$M_{pulvino} [t]$	$M_{impalcato} [t]$
5,00	1,50	25,00	23	20	22,09	65,25	210,78
7,00	1,50	25,00	23	20	30,93	65,25	210,78
11,00	1,50	25,00	23	20	48,60	65,25	210,78
13,00	1,50	25,00	23	20	57,43	65,25	210,78

VARIAZIONE DIAMETRO PILA D							
DATI GEOMETRICI			ARMAT. LONGIT.		MASSA ELEMENTI		
$H [m]$	$D [m]$	$L [m]$	N_ϕ	$\phi [mm]$	$M_{pila} [t]$	$M_{pulvino} [t]$	$M_{impalcato} [t]$
9,00	1,00	25,00	23	20	17,67	65,25	210,78
9,00	1,25	25,00	23	20	27,61	65,25	210,78
9,00	1,75	25,00	23	20	54,12	65,25	210,78
9,00	2,00	25,00	23	20	70,69	65,25	210,78

VARIAZIONE LUCE CAMPATA L							
DATI GEOMETRICI			ARMAT. LONGIT.		MASSA ELEMENTI		
$H [m]$	$D [m]$	$L [m]$	N_ϕ	$\phi [mm]$	$M_{pila} [t]$	$M_{pulvino} [t]$	$M_{impalcato} [t]$
9,00	1,50	15,00	23	20	39,76	51,75	103,09
9,00	1,50	20,00	23	20	39,76	58,50	153,18
9,00	1,50	30,00	23	20	39,76	72,00	275,87
9,00	1,50	35,00	23	20	39,76	76,50	338,35

VARIAZIONE PARAMETRO H/D							
DATI GEOMETRICI			ARMAT. LONGIT.		MASSA ELEMENTI		
$H [m]$	$D [m]$	$L [m]$	N_ϕ	$\phi [mm]$	$M_{pila} [t]$	$M_{pulvino} [t]$	$M_{impalcato} [t]$
5,00	1,00	25,00	23	20	9,82	65,25	210,78
7,00	1,25	25,00	23	20	21,48	65,25	210,78
11,00	1,75	25,00	23	20	66,15	65,25	210,78
13,00	2,00	25,00	23	20	102,10	65,25	210,78

VARIAZIONE PARAMETRO L/D							
DATI GEOMETRICI			ARMAT. LONGIT.		MASSA ELEMENTI		
$H [m]$	$D [m]$	$L [m]$	N_ϕ	$\phi [mm]$	$M_{pila} [t]$	$M_{pulvino} [t]$	$M_{impalcato} [t]$
9,00	1,00	15,00	23	20	17,67	51,75	103,09
9,00	1,25	20,00	23	20	27,61	58,50	153,18
9,00	1,75	30,00	23	20	54,12	72,00	275,87
9,00	2,00	35,00	23	20	70,69	76,50	338,35

VARIAZIONE PARAMETRO H/L							
DATI GEOMETRICI			ARMAT. LONGIT.		MASSA ELEMENTI		
$H [m]$	$D [m]$	$L [m]$	N_ϕ	$\phi [mm]$	$M_{pila} [t]$	$M_{pulvino} [t]$	$M_{impalcato} [t]$
5,00	1,50	15,00	23	20	22,09	51,75	103,09
7,00	1,50	20,00	23	20	30,93	58,50	153,18
11,00	1,50	30,00	23	20	48,60	72,00	275,87
13,00	1,50	35,00	23	20	57,43	76,50	338,35

VARIAZIONE PARAMETRO $H \cdot L / D^2$							
DATI GEOMETRICI			ARMAT. LONGIT.		MASSA ELEMENTI		
$H [m]$	$D [m]$	$L [m]$	N_ϕ	$\phi [mm]$	$M_{pila} [t]$	$M_{pulvino} [t]$	$M_{impalcato} [t]$
5,00	1,00	15,00	23	20	9,82	51,75	103,09
7,00	1,25	20,00	23	20	21,48	58,50	153,18
11,00	1,75	30,00	23	20	66,15	72,00	275,87
13,00	2,00	35,00	23	20	102,10	76,50	338,35

4.2 Caratterizzazione probabilistica dei materiali

Per la costruzione delle curve di fragilità, sono state utilizzate due variabili aleatorie di base: la resistenza a compressione del calcestruzzo f_c e la resistenza a snervamento dell'acciaio f_y . Il calcestruzzo si è supposto di classe C25/30 associando una distribuzione di probabilità normale (*Melchers*, 1999) con valore medio di 41 MPa e deviazione standard di 10 MPa; questa distribuzione è stata suddivisa in cinque intervalli aventi i seguenti valori centrali: 13, 27, 41, 55 e 69 MPa.

Per l'acciaio d'armatura si è associata una distribuzione di probabilità log-normale (*Mirza e MacGregor*, 1979) con un valore medio pari a 385 MPa e una deviazione standard di 42 MPa; questa distribuzione è stata suddivisa in tre intervalli aventi i seguenti valori centrali: 303, 385 e 467 MPa.

Infine, combinando gli intervalli delle due distribuzioni di probabilità, si sono ottenuti 15 ponti-campione, nominalmente identici fra loro, ma statisticamente differenti; nella tabella seguente vengono riportati detti ponti-campione con le relative caratteristiche di ognuno.

Valori medi intervalli			
CLS		ACCIAIO	
x	$f(x)$	x	$f(x)$
13	7,92 E-04	303	1,12 E-03
27	1,50 E-02	385	9,51 E-03
41	3,99 E-02	467	1,47 E-03
55	1,50 E-02		
69	7,92 E-04		

Ponti-campione	f_y [MPa]	E_s [MPa]	G_s [MPa]	v_{acc}	ϵ_{sy} [%o]	ϵ_{su} [%o]	$p_k(f_y)$	f_c [MPa]	E_{cm} [MPa]	G_c [MPa]	v_{dis}	ϵ_{cy} [%o]	ϵ_{cu} [%o]	$p_k(f_c)$	$p_k(f_y; f_c)$
PC1	303	210.000	80.769	0,3	1,44	40	0,09891	13	23.802	9.917	0,2	2	5	0,01108	0,00110
PC2	385	210.000	80.769	0,3	1,83	40	0,09891	13	23.802	9.917	0,2	2	5	0,20962	0,02073
PC3	467	210.000	80.769	0,3	2,22	40	0,09891	13	23.802	9.917	0,2	2	5	0,55852	0,05524
PC4	303	210.000	80.769	0,3	1,44	40	0,09891	27	29.637	12.349	0,2	2	5	0,20962	0,02073
PC5	385	210.000	80.769	0,3	1,83	40	0,09891	27	29.637	12.349	0,2	2	5	0,01108	0,00110
PC6	467	210.000	80.769	0,3	2,22	40	0,78004	27	29.637	12.349	0,2	2	5	0,01108	0,00864
PC7	303	210.000	80.769	0,3	1,44	40	0,78004	41	33.594	13.997	0,2	2	5	0,20962	0,16351
PC8	385	210.000	80.769	0,3	1,83	40	0,78004	41	33.594	13.997	0,2	2	5	0,55852	0,43567
PC9	467	210.000	80.769	0,3	2,22	40	0,78004	41	33.594	13.997	0,2	2	5	0,20962	0,16351
PC10	303	210.000	80.769	0,3	1,44	40	0,78004	55	36.689	15.287	0,2	2	5	0,01108	0,00864
PC11	385	210.000	80.769	0,3	1,83	40	0,12079	55	36.689	15.287	0,2	2	5	0,01108	0,00134
PC12	467	210.000	80.769	0,3	2,22	40	0,12079	55	36.689	15.287	0,2	2	5	0,20962	0,02532
PC13	303	210.000	80.769	0,3	1,44	40	0,12079	69	39.271	16.363	0,2	2	5	0,55852	0,06746
PC14	385	210.000	80.769	0,3	1,83	40	0,12079	69	39.271	16.363	0,2	2	5	0,20962	0,02532
PC15	467	210.000	80.769	0,3	2,22	40	0,12079	69	39.271	16.363	0,2	2	5	0,01108	0,00134
SOMMA:														1,00000	

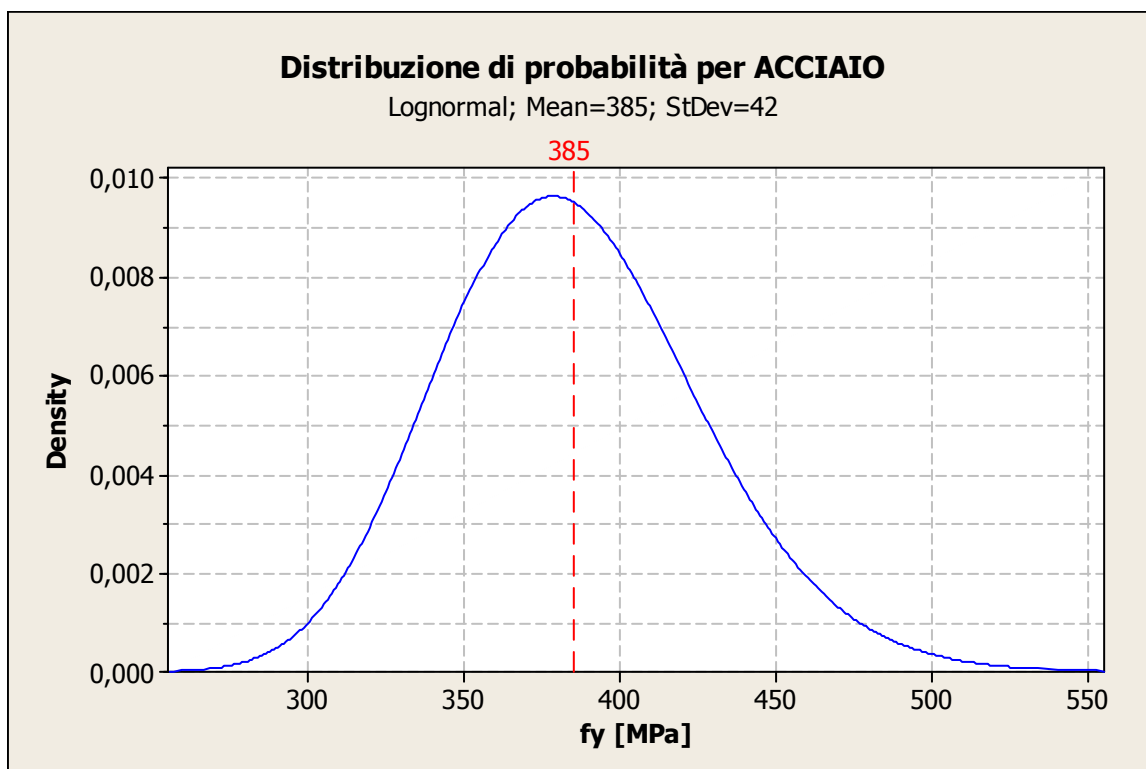
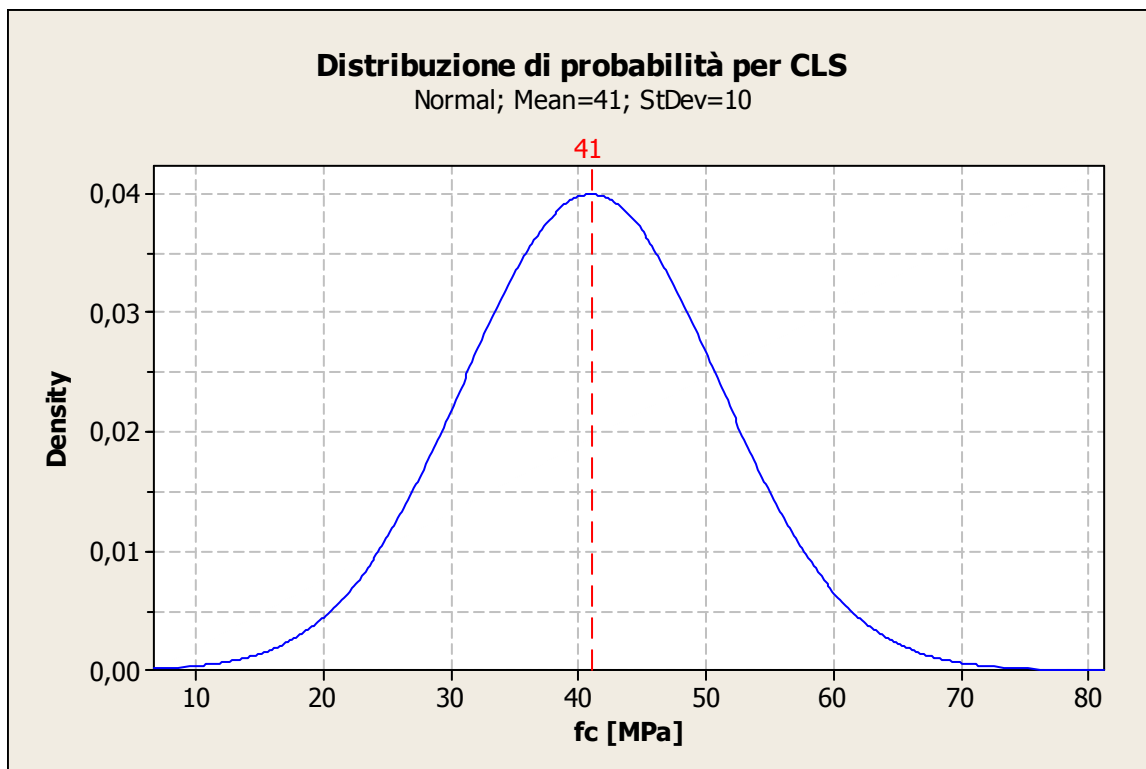


Figura 4.8 - Rappresentazione probabilistica dei materiali in esame.

4.3 Legami costitutivi per analisi non lineari

I legami costitutivi riportati nel seguito costituiscono un riferimento consolidato ai fini dell'analisi non lineare e delle verifiche degli elementi strutturali. È possibile utilizzare legami alternativi riportati in letteratura se adottati in codici di calcolo di comprovata affidabilità.

4.3.1 Legame costitutivo per il calcestruzzo: il legame di Mander

Il legame costitutivo di *Mander*, proposto per il conglomerato, è riportato nella *Fig. 4.9(a)*: la definizione di tale legame per un conglomerato non confinato richiede la conoscenza della resistenza cilindrica f_c e del modulo elastico iniziale E_c ; in presenza di confinamento sono necessari in aggiunta il valore della percentuale geometrica di armatura trasversale ρ della relativa tensione di snervamento f_y .

Il legame è descritto dalla relazione:
$$\frac{\sigma_c}{f_{cc}} = \frac{xr}{r-1+x^r},$$

dove:

$$\begin{aligned} x &= \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1c}} & ; & \quad r = \frac{E_c}{E_c - E_{\text{sec}}} \\ E_{\text{sec}} &= \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{c1c}} & ; & \quad f_{cc} = f_c \lambda_c \\ \lambda_c &= 2,254 \sqrt{1 + 7,94 \frac{\sigma_e}{f_c}} - 2 \frac{\sigma_e}{f_c} - 1,254 & ; & \quad \varepsilon_{c1c} = 0,002[1 + 5(\lambda_c - 1)] \end{aligned}$$

La tensione di confinamento σ_e e i fattori da cui essa dipende sono riportati in funzione della forma della sezione e della tipologia di staffe nella *Tabella 4.1*, dove α è il fattore di efficienza del confinamento, s è l'interasse delle staffe, b_c , h_c sono le dimensioni del nucleo confinato, n è il numero di barre longitudinali direttamente trattenute da staffe o cravatte, b_i è la distanza tra barre trattenute adiacenti, D_c il diametro del nucleo confinato, A_s rappresenta l'area complessiva dei bracci di staffe presenti in ciascuna delle due direzioni (per sezioni rettangolari, il valore della tensione di confinamento si prenderà pari a $\sigma_e = \sqrt{\sigma_{ex} \sigma_{ey}}$) o l'area della staffa circolare/spirale.

Sezione	Rettangolare		Circolare	
			Staffe circolari	Spirale
σ_e	$\alpha \cdot \rho \cdot f_y$		$0,5 \cdot \alpha \cdot \rho \cdot f_y$	
ρ	$\rho_x = \frac{A_{sx} b_c}{b_c h_c s} \quad ; \quad \rho_y = \frac{A_{sy} h_c}{b_c h_c s}$		$\rho = \pi D_c A_s / \left(\frac{\pi D_c^2}{4} s \right) = 4 A_s / (D_c s)$	
α	$\alpha = \left(1 - \frac{s}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s}{2h_c} \right) \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n b_i^2}{6b_c h_c} \right)$		$\alpha = \left(1 - \frac{s}{2D_c} \right)^2$	$\alpha = \left(1 - \frac{s}{2D_c} \right)$

Tabella 4.1 - Modello di Mander: tensione di confinamento e relativi fattori.

4.3.2 Legame costitutivo per l'acciaio: il legame di Menegotto-Pinto

Per quanto riguarda l'acciaio, vengono dati come riferimento due legami costitutivi, quello bilineare e quello non lineare isteretico di *Menegotto-Pinto*: il primo rappresenta un'approssimazione accettabile per l'analisi momento-curvatura monotona di sezione; il secondo è uno di quelli indicati per lo svolgimento di analisi dinamiche non lineari.

La definizione del legame bilineare richiede la conoscenza del valore della tensione di snervamento f_y , del modulo elastico E_s e del rapporto di incrudimento b .

Il legame di *Menegotto-Pinto* è mostrato in *Fig. 4.9(b)*: la definizione di tale legame richiede la conoscenza del valore della tensione di snervamento f_y , del modulo elastico E_s , del rapporto di incrudimento b , delle costanti della funzione di transizione R che regola l'effetto Bauschinger (R_0, a_1, a_2). Il legame è descritto dalla relazione:

$$\sigma^* = b \varepsilon^* + \frac{(1-b)\varepsilon^*}{(1 + \varepsilon^{*R})^{\frac{1}{R}}},$$

dove: $\varepsilon^* = \frac{\varepsilon - \varepsilon_r}{\varepsilon_0 - \varepsilon_r} \quad ; \quad \sigma^* = \frac{\sigma - \sigma_r}{\sigma_0 - \sigma_r} \quad ; \quad R(\xi) = R_0 - \frac{a_1 \xi}{a_2 + \xi}$

con ξ indicato nella figura, ε_0 e σ_0 sono le coordinate del punto di snervamento nel diagramma bilineare di involuppo, ε_r e σ_r sono le coordinate dell'ultimo punto di inversione del segno della velocità di deformazione. Dalla costante b dipende l'inclinazione del ramo incrudente, mentre R controlla il raggio del ramo di raccordo tra il ramo elastico e quello plastico; elevati valori di R corrispondono ad una transizione brusca, di tipo elasto-plastico.

Ai fini dell'analisi strutturale, sia essa lineare o non lineare, si utilizzano le caratteristiche meccaniche medie dei materiali; nelle espressioni precedenti pertanto $f_c = f_{cm}$, $E_c = E_{cm}$, etc.

Se il modulo iniziale di deformazione del conglomerato non è determinato sperimentalmente, si può fare uso delle correlazioni tra il modulo e la resistenza disponibili in letteratura, quale ad esempio quella fornita dal DM2008 (§ 11): $E_{cm} = 22.000 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3}$ con f_{cm} e E_{cm} espresse in MPa.

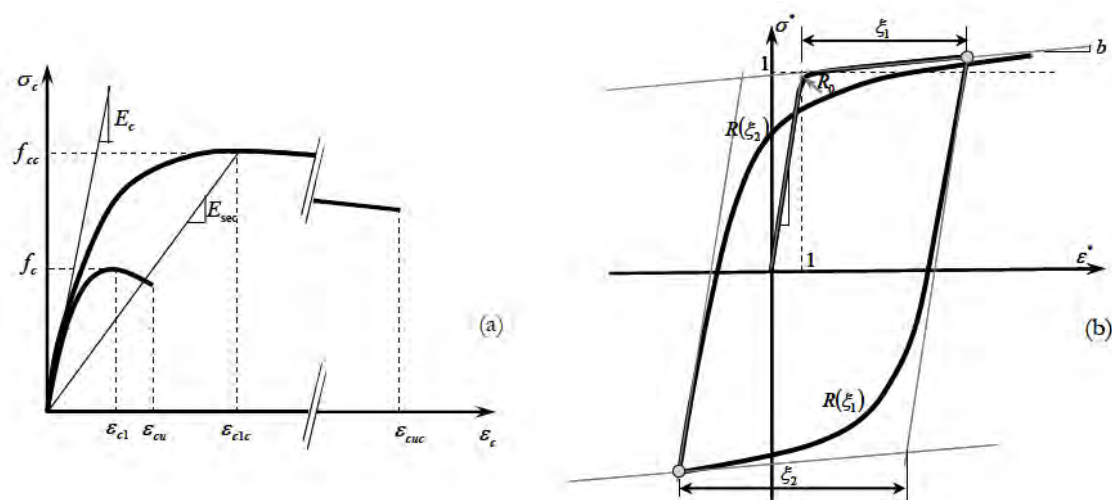


Figura 4.9 - Legami costitutivi dei materiali: (a) mander, (b) Menegotto-Pinto.

4.3.3 Legame costitutivo per il calcestruzzo confinato: il legame di Kent & Park

L'armatura trasversale svolge diversi ruoli, in particolare le staffe, se abbastanza fitte e opportunamente conformate, possono svolgere il ruolo di confinare il calcestruzzo; infatti quando la tensione assiale si avvicina a quella di collasso, la deformazione trasversale del calcestruzzo diviene molto grande e le staffe, ostacolando questa deformazione, provocano l'insorgere di tensioni di coazione simili a quelle idrostatiche: ne deriva un aumento della resistenza a schiacciamento e della duttilità del calcestruzzo.

La legge tensioni-deformazioni per il calcestruzzo confinato mediante armatura trasversale prende il nome di *Kent & Park*, che appunto hanno proposto una legge schematica per correggere quella del calcestruzzo libero in funzione dell'armatura trasversale.

I dati sperimentali da cui questa legge è ricavata non hanno evidenziato un sensibile aumento della resistenza a compressione del calcestruzzo confinato con staffe rettangolari (l'effetto del contenimento si evidenzia solo nel caso di staffe circolari, disposte a spirale e con un passo abbastanza fitto), ma da essi risulta un netto miglioramento della duttilità, sia in termini di allungamento massimo sia in termini di pendenza del ramo instabile. La curva di *Kent & Park*, mostrata in Fig. 4.9, è formata da un tratto ascendente parabolico fino al

raggiungimento della resistenza f_c per la deformazione $\varepsilon_{cl} = 2 \times 10^{-3}$, seguito da un tratto lineare decrescente fino al valore di una resistenza residua $0,2f_c$, che si assume permanga per qualunque deformazione.

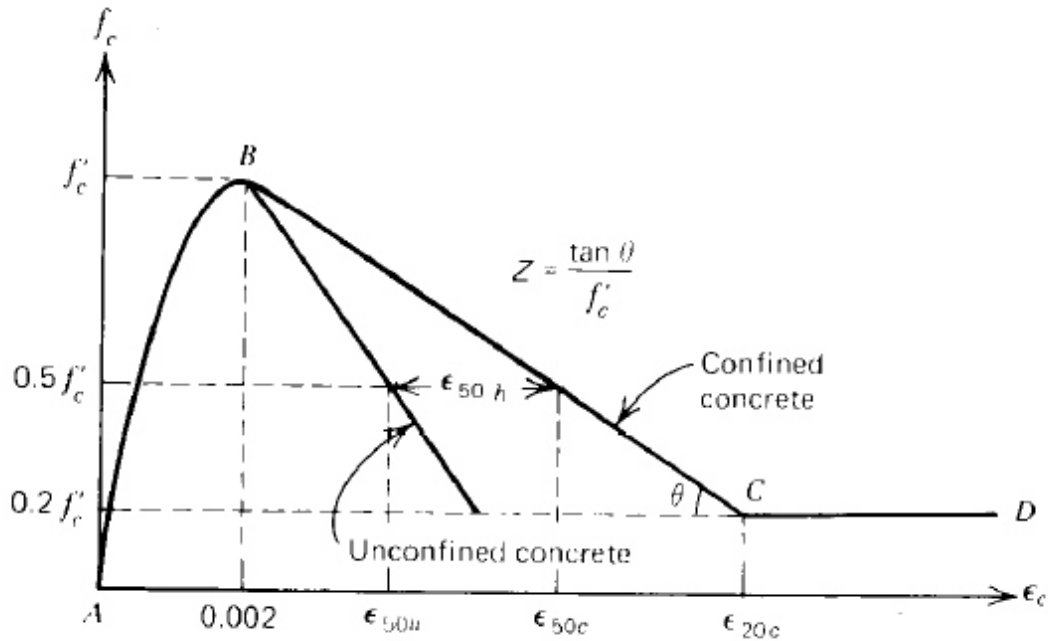


Figura 4.10 - Curva tensione-deformazione del calcestruzzo confinato secondo il modello di *Kent & Park*.

La parabola del ramo ascendente ha equazione:

$$\sigma_c = 2f_c \left[\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cl}} \right)^2 \right] \quad (\varepsilon_c \leq \varepsilon_{cl})$$

mentre il tratto lineare è:

$$\sigma_c = f_c [1 - z(\varepsilon_c - \varepsilon_{cl})] \quad (\varepsilon_{cl} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c20})$$

in cui ε_{c20} è la deformazione corrispondente a $\sigma_c = 0,20f_c$; l'inclinazione z è data dalla

relazione: $z = \frac{0,5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_{cl}}$, in cui $\varepsilon_{50u} = \frac{0,0207 + \varepsilon_{cl} f_c}{f_c - 6,89}$ e $\varepsilon_{50h} = \frac{3}{4} \rho_s \sqrt{\frac{b''}{s_h}}$.

La resistenza del calcestruzzo f_c è espressa in N/mm^2 , mentre ρ_s indica la percentuale in volume dell'armatura trasversale rispetto al nucleo del calcestruzzo confinato, b'' è la larghezza della sezione della zona confinata e s_h è l'interasse tra le staffe.

4.4 Valutazione dell'azione sismica

Per le analisi dinamiche non lineari svolte in questo studio sono stati presi in considerazione diversi accelerogrammi. Per generare il sisma atteso mediante un approccio di tipo probabilistico è stato utilizzato il metodo seguente: gli spettri orizzontale e verticale sono stati costruiti in accordo con il DM 14-01-2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”; così facendo si è trovata l'accelerazione spettrale ad 1 secondo ($S_a(1s)$) relativa al sito considerato. Per la costruzione degli accelerogrammi sintetici, con un contenuto in frequenza molto prossimo a quello descritto dallo spettro di risposta a pericolosità uniforme, è stato utilizzato l'approccio delle vibrazioni stocastiche (*Vanmarcke, 1976*), secondo il quale ogni funzione periodica può essere espansa con una serie di funzioni sinusoidali di varia ampiezza e fase. Questo metodo è implementato nel codice SIMQKE (*Gasparini e Vanmarcke, 1976*) che presenta le seguenti caratteristiche: calcola la funzione di densità di potenza spettrale a partire da uno spettro bersaglio e genera serie temporali accelerometriche indipendenti compatibili con lo spettro di risposta stesso (spettro-compatibili).

Dopo aver generato diversi accelerogrammi per mezzo del metodo appena descritto, in maniera casuale si sono scelte tre terne di accelerogrammi: ciascuna terna è formata da due accelerogrammi orizzontali, nelle due direzioni principali, e un accelerogramma verticale; queste terne poi sono state utilizzate per le analisi sismiche sulla struttura. La normativa, per le analisi dinamiche non lineari, suggerisce di utilizzare almeno tre combinazioni di accelerogrammi per individuare la terna più gravosa.

Infine ciascun accelerogramma è stato moltiplicato di volta in volta per uno specifico fattore numerico al fine di analizzare le strutture con accelerogrammi spettro-compatibili aventi differenti $S_a(1s)$; si sono considerati 8 valori di $S_a(1s)$: 0,1g, 0,2g, 0,3g, 0,4g, 0,5g, 0,6g, 0,7g, 0,8g.

Si riportano i dati relativi alla costruzione dello spettro di risposta secondo Normativa; inoltre si può notare che è riportato un rapporto tra accelerazioni spettrali $S_a(1s) / PGA$: questo perché, come si vedrà in seguito, permette di confrontare le curve di fragilità ottenute con metodi diversi, uniformando la scala di misura dell'asse delle ascisse dei vari grafici.

$V_R = 50$ anni
 Stato Limite: SLV
 Fattore q_0 : 1
 Cat. sottosuolo: B
 Cat. topograf.: T4
 $h/H = 0,2$

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,217
F_0	2,389
T_C^*	0,319
S_S	1,193
C_C	1,383
S_T	1,080
q	1,000

$S = 1,288$
 $\eta = 1,000$
 $T_B = 0,147s$
 $T_C = 0,441s$
 $T_D = 2,467s$
 $S_a(1,0s) = 0,294m/s^2$
 $S_a(0,3) = 0,667m/s^2$

T [s]	S_E [g]
0,000	0,279
0,147	0,667
0,441	0,667
0,537	0,547
0,634	0,464
0,730	0,402
0,827	0,356
0,923	0,318
1,020	0,288
1,116	0,263
1,212	0,242
1,309	0,224
1,405	0,209
1,502	0,196
1,598	0,184
1,695	0,173
1,791	0,164
1,888	0,156
1,984	0,148
2,081	0,141
2,177	0,135
2,274	0,129

► T_B
 ► T_C

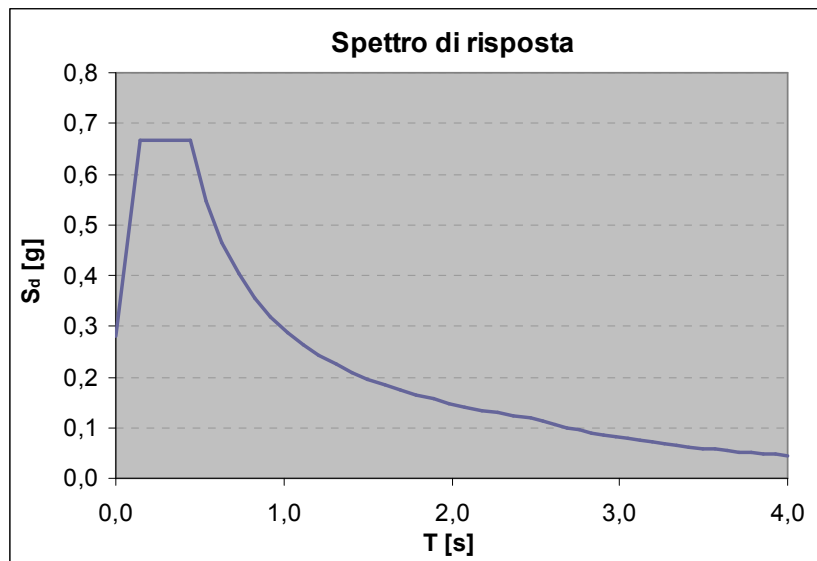


Figura 4.11 - Spettro di risposta elastico in accelerazione per il caso analizzato (comune di Alano di Piave).

$$\frac{S_a(1s)}{PGA} = \frac{y(PGA)}{y(S_a)} = 1,05264$$

2,370	0,124	
2,467	0,119	► T _D
2,540	0,112	
2,613	0,106	
2,686	0,100	
2,759	0,095	
2,832	0,090	
2,905	0,086	
2,978	0,082	
3,051	0,078	
3,124	0,074	
3,197	0,071	
3,270	0,068	
3,343	0,065	
3,416	0,062	
3,489	0,060	
3,562	0,057	
3,635	0,055	
3,708	0,053	
3,781	0,051	
3,854	0,049	
3,927	0,047	
4,000	0,045	

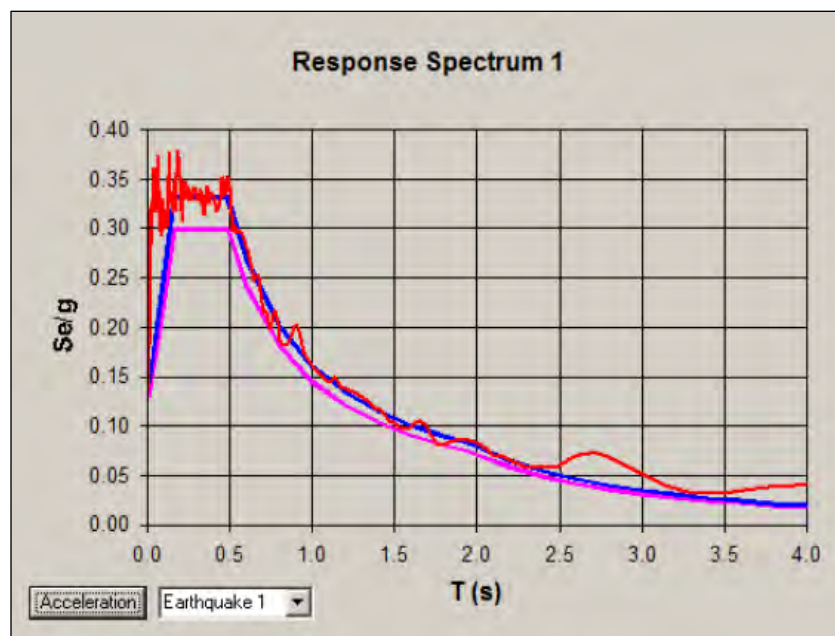


Figura 4.12 - Spettro compatibilità dell'accelerogramma sintetico con lo spettro di progetto fornito dalle normative vigenti.

4.5 Costruzione delle curve di fragilità

Per ricavare le curve di fragilità con i metodi di analisi statica non lineare, si sono utilizzate le curve di capacità del ponte in direzione longitudinale e trasversale. Si ribadisce che lo schema statico delle pile è a mensola per l'azione in direzione longitudinale, quindi il sistema è isostatico e la curva $F-\delta$ è semplicemente una bilineare, con annullamento della resistenza in corrispondenza alla crisi della cerniera plastica alla base; in direzione trasversale il sistema è

un telaio iperstatico, quindi il collasso della struttura avviene per successive perdite di resistenza anche se, sostanzialmente, le cerniere alla base e in sommità arrivano a rottura quasi contemporaneamente, in ragione dello schema di doppio incastro per la colonna. La rottura posticipata di due delle quattro cerniere è legata invece al differente valore dello sforzo N con cui sono state dimensionate le cerniere alla base: per l'effetto del telaio infatti, N è variabile nelle colonne in funzione dell'azione ciclica orizzontale sotto sisma, e quindi la capacità flessionale varia continuamente per la sezione di base, essendo questa legata al valore di N sollecitante; per risolvere questo problema o si utilizza un codice che aggiorni iterativamente ad ogni step di carico il valore della capacità flessionale della cerniera, o, in modo semplificato, si dimensiona la cerniera sulla base degli N previsti in condizioni di collasso.

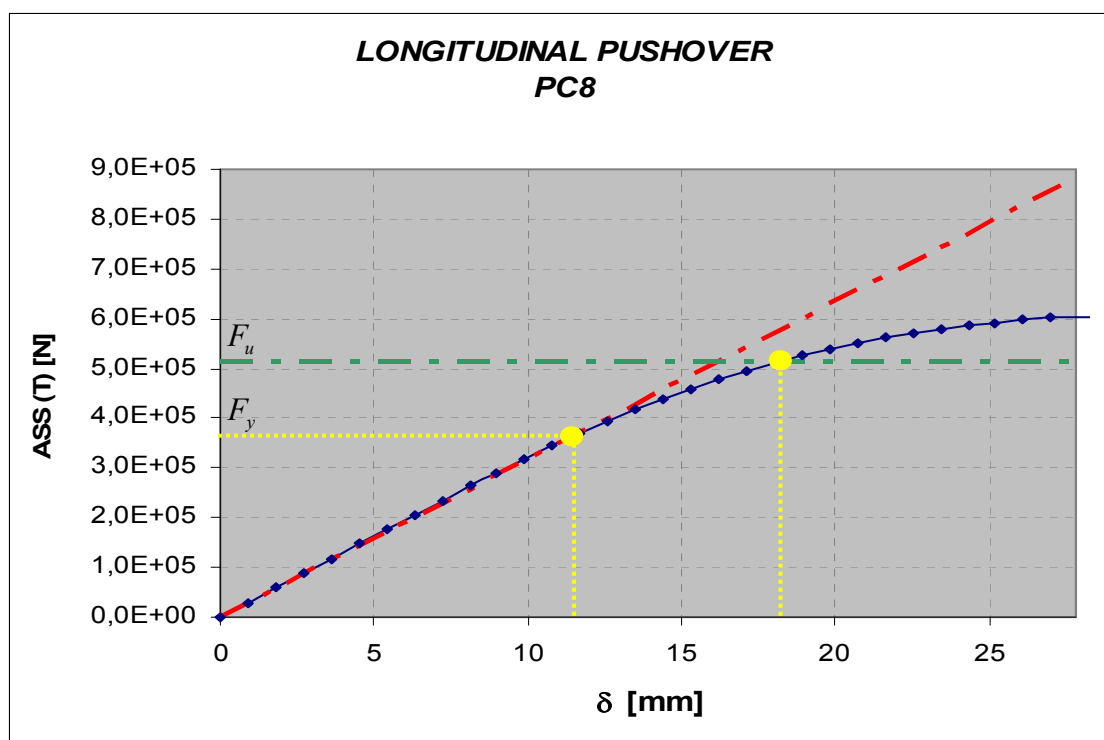


Figura 4.13 - Curva pushover in direzione longitudinale per il ponte di Fener (PC8, $f_y=385\text{MPa}$ - $f_c=41\text{MPa}$).

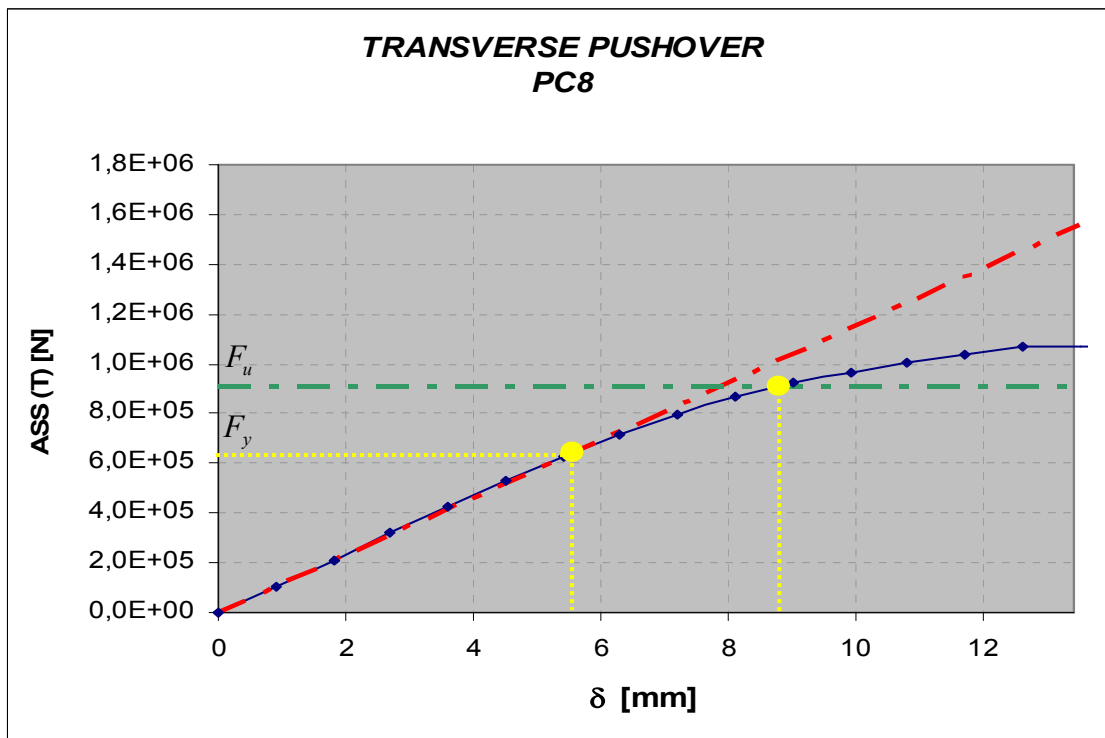


Figura 4.14 - Curva pushover in direzione trasversale per il ponte di Fener (PC8, $f_y=385\text{MPa}$ - $f_c=41\text{MPa}$).

Dal raffronto delle due curve di capacità che si ottengono, si osserva come la duttilità del sistema pila sia maggiore in direzione trasversale.

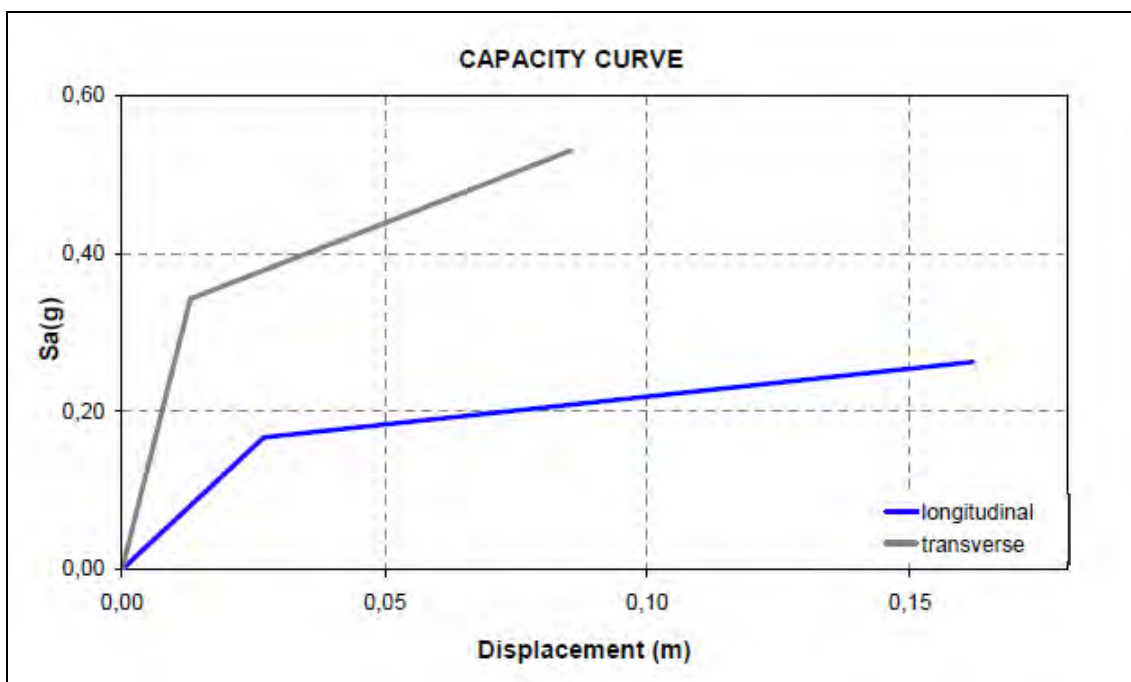


Figura 4.15 - Curve di capacità nelle due direzioni per il ponte di Fener.

Dato che la duttilità cinematica, parametro fondamentale per la costruzione delle curve di fragilità analitiche e che coincide con la funzione di danno, è stata definita come rapporto tra

gli spostamenti $D = \mu_{\delta} = \frac{x_{max}}{x_y}$, si dovrà determinare l'entità di tali spostamenti, in particolare

x_{max} è lo spostamento massimo del punto di controllo (nel caso della pila il punto in sommità della stessa) raggiunto durante l'escursione ciclica e registrato durante l'analisi non lineare, mentre x_y rappresenta lo spostamento del medesimo punto in relazione allo snervamento di una sezione significativa della pila stessa e deducibile dall'analisi di pushover.

Una volta definiti i ponte-campione, come visto in precedenza, si vanno a lanciare le analisi dinamiche non lineari in time history andando a registrare l'output desiderato, ovvero lo spostamento del nodo in sommità della pila (punto di controllo) nella direzione in cui agisce l'azione sismica; successivamente si effettua un'analisi statica non lineare (pushover) registrando nella stessa direzione del sisma simulato, i valori del taglio alla base della pila e quelli di spostamento del punto di controllo. Si va quindi a rappresentare l'andamento in un grafico: tramite la procedura descritta nelle vigenti normative NTC '08, si effettua la bilinearizzazione della curva, in modo tale da poter determinare i valori di spostamento in prossimità dello snervamento e della rottura del materiale ed i corrispondenti valori di taglio alla base.

A questo punto si possono determinare gli indici di danno μ per ciascuna analisi effettuata, che sarà contraddistinta da uno specifico ponte-campione e da una determinata accelerazione di picco; si ricorda inoltre che il valore di spostamento ottenuto per ciascuna analisi è frutto della media dei valori di spostamento massimi ottenuti dai 7 accelerogrammi sintetici spettro compatibili, generati per ottemperare alle richieste di normativa vigente.

In sostanza sono state effettuate un numero di analisi pari al prodotto del numero di ponti-campione (15) per il numero di accelerazioni di picco considerate (8), per ciascun numero di accelerogrammi sintetici generati (7), per un totale di 840 analisi per la costruzione della curva di fragilità: è evidente come l'uso di programmi di calcolo, quali i software adoperati in questo lavoro, snellisca l'onere computazionale dovuto alle serie di cicli generati dalla combinazione delle caratteristiche dei materiali e dagli accelerogrammi sintetici da utilizzare.

Dette analisi vengono ripetute due volte, facendo variare la direzione del sisma, per poter costruire le curve di fragilità sia in direzione longitudinale che in direzione trasversale.

Vengono ora rappresentate le curve di fragilità costruite per il ponte di Fener a quattro campate, seguendo entrambi i metodi proposti in letteratura (analitico e empirico) in entrambe le direzioni (longitudinale e trasversale); inoltre sono riportate le curve di fragilità ottenute con il Metodo 2, per tutti i casi analizzati, ossia variazione dell'altezza della pila, del diametro della stessa, della luce della campata, variazione simultanea di più parametri, infine variazione del numero di campate.

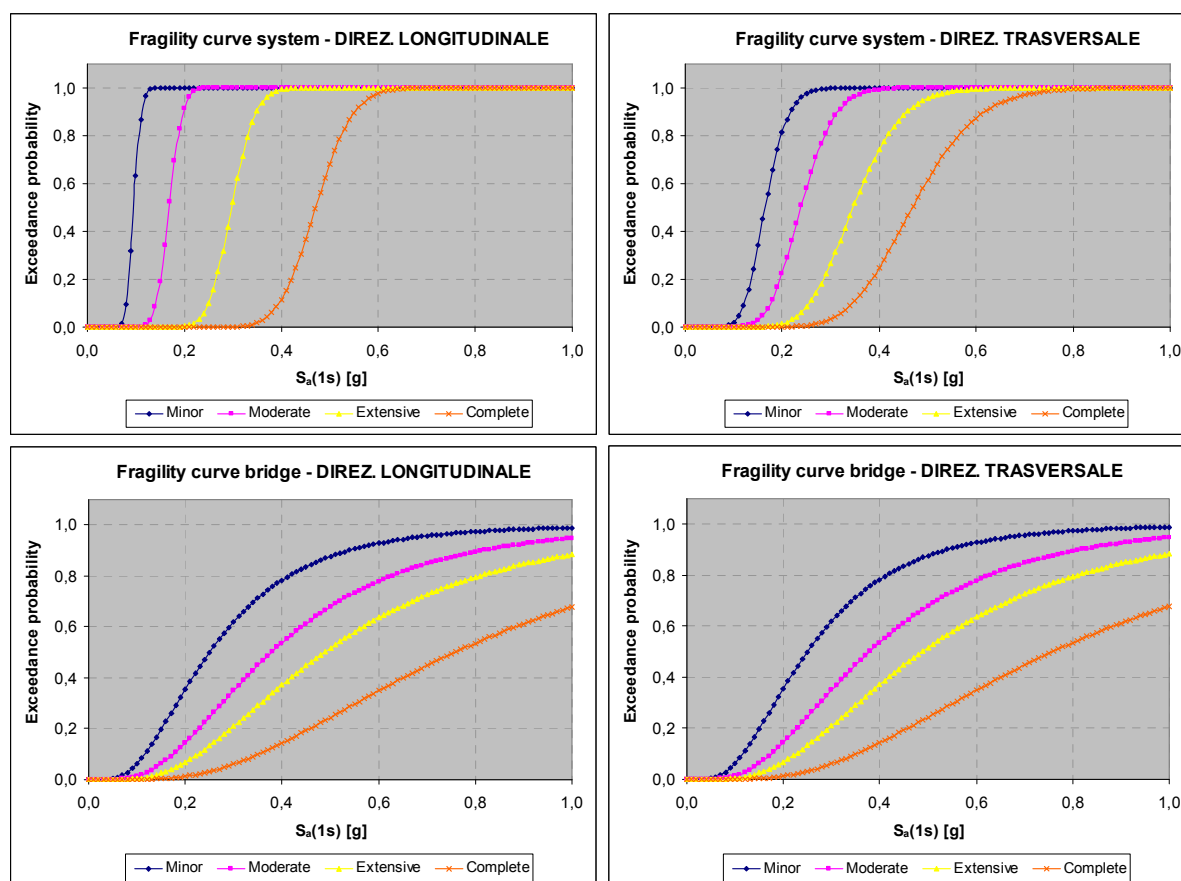


Figura 4.16 - Curve di fragilità per il ponte di Fener a 4 campate ottenute con il Metodo 2 (sopra) e con il Metodo Risk-UE (sotto) per entrambe le direzioni.

Dall'analisi dei risultati ottenuti, si può osservare come le curve di fragilità ottenute con il Metodo 2 (analitico) evidenzino una maggior vulnerabilità del manufatto all'azione sismica in direzione longitudinale rispetto alla direzione trasversale; questo perché, come ipotizzato già in fase di descrizione del modello, il comportamento strutturale risulta differente nelle due direzioni: maggiormente vulnerabile in direzione longitudinale, dato il comportamento a mensola, meno vulnerabile in direzione trasversale, a ragion dell'accoppiamento tra le due

pile dato dal traverso di collegamento in c.a.. Aumentando il livello prestazionale, le curve tendono a traslare verso destra, ossia verso valori di accelerazione più elevati.

Le curve ottenute con il metodo *Risk-UE* invece non presentano differenze nelle due direzioni, in quanto tale parametro non viene preso in considerazione per questo metodo. Quest'ultimo, come si può vedere dai grafici, è meno conservativo rispetto al Metodo 2 e quindi meno preciso, d'altro canto ha il grosso vantaggio che è di rapida e immediata applicazione con significative riduzioni in termini di tempi di applicazione.

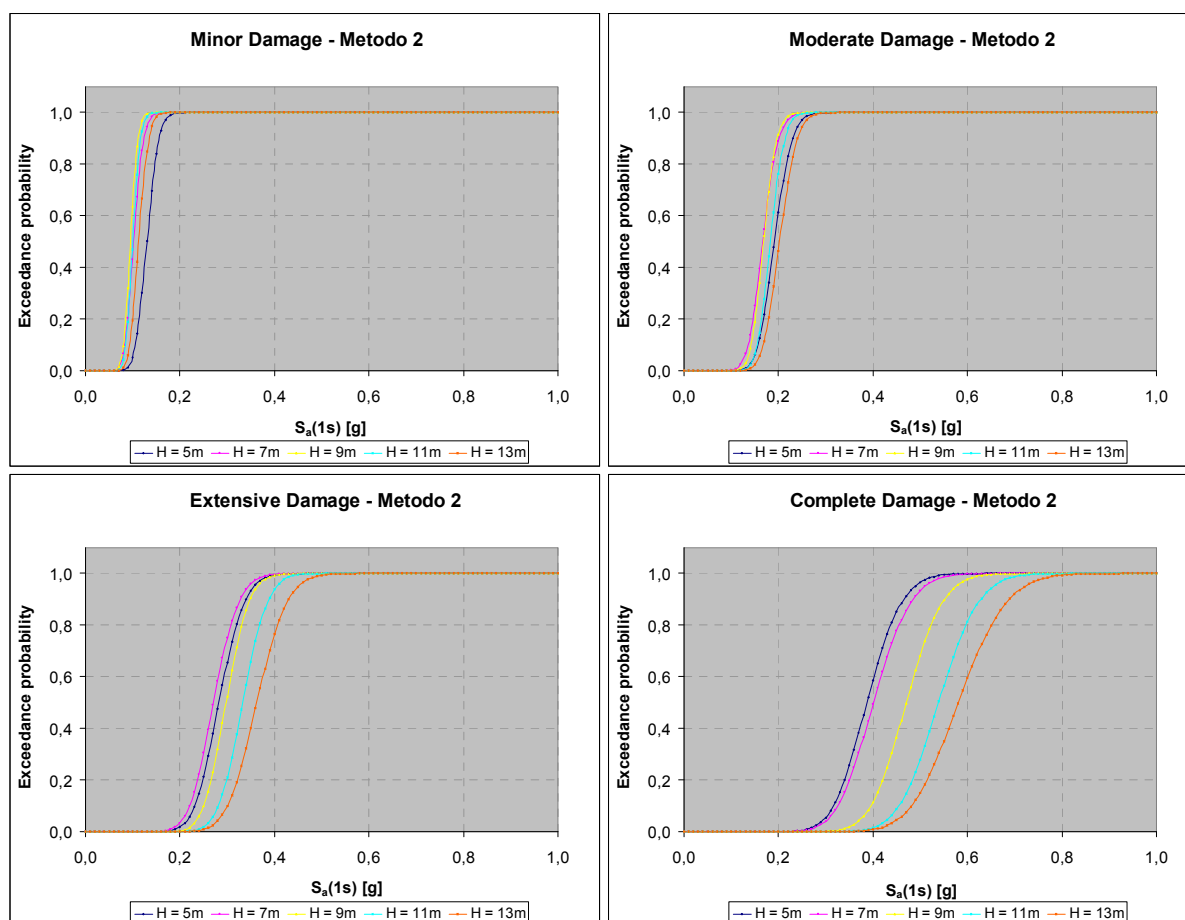


Figura 4.17 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il Metodo 2 per il ponte di Fener a 4 campate, al variare dell'altezza della pila, in direzione LONGITUDINALE.

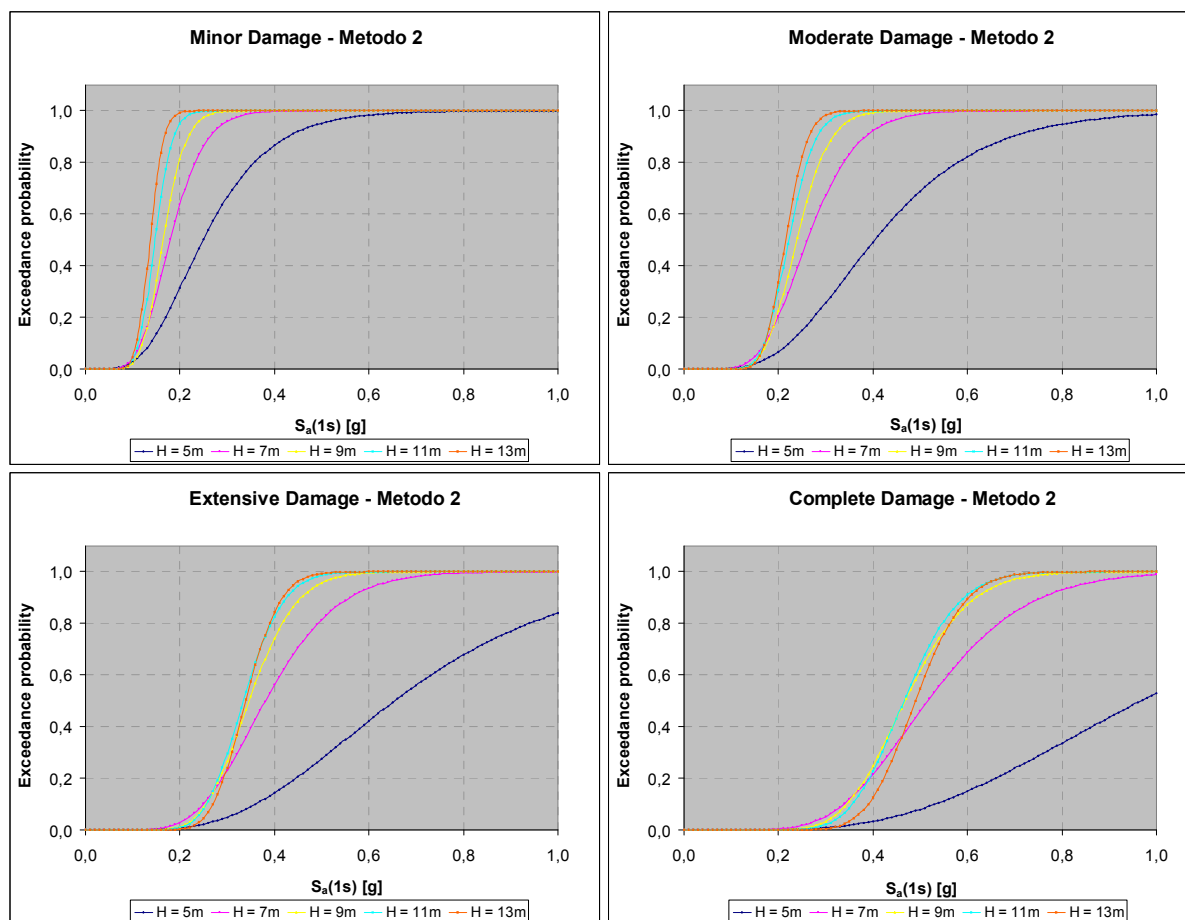


Figura 4.18 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare dell'altezza della pila, in direzione TRASVERSALE.

Da un rapido sguardo ai grafici riportati sopra, si può notare come, in direzione longitudinale, la differenza di vulnerabilità tra le varie altezze della pila è poco accentuata e pertanto poco rilevante per i livelli di danno più bassi (Minor, Moderate), mentre risulta più marcata man mano che si aumenta il livello di danno: il caso più vulnerabile tra quelli analizzati, per il livello prestazionale più elevato, è quello con l'altezza della pila minore, ossia $H = 5m$; questo comportamento è giustificato dal fatto che, nonostante la pila con altezza inferiore abbia una massa minore rispetto agli altri casi analizzati e quindi meno sollecitata sismicamente, entrano in gioco dei meccanismi di rottura a taglio che ne determinano la maggior vulnerabilità.

In direzione trasversale invece, dato il diverso comportamento strutturale, la situazione risulta capovolta, nel senso che il ponte più vulnerabile tende ad essere quello con l'altezza della pila più elevata, mentre il caso $H = 5 m$ è di gran lunga il meno vulnerabile.

Resta confermato il fatto che, nonostante la variazione dell'altezza della pila tra i vari casi analizzati, risulta una maggior vulnerabilità del manufatto all'azione sismica in direzione longitudinale rispetto alla direzione trasversale.

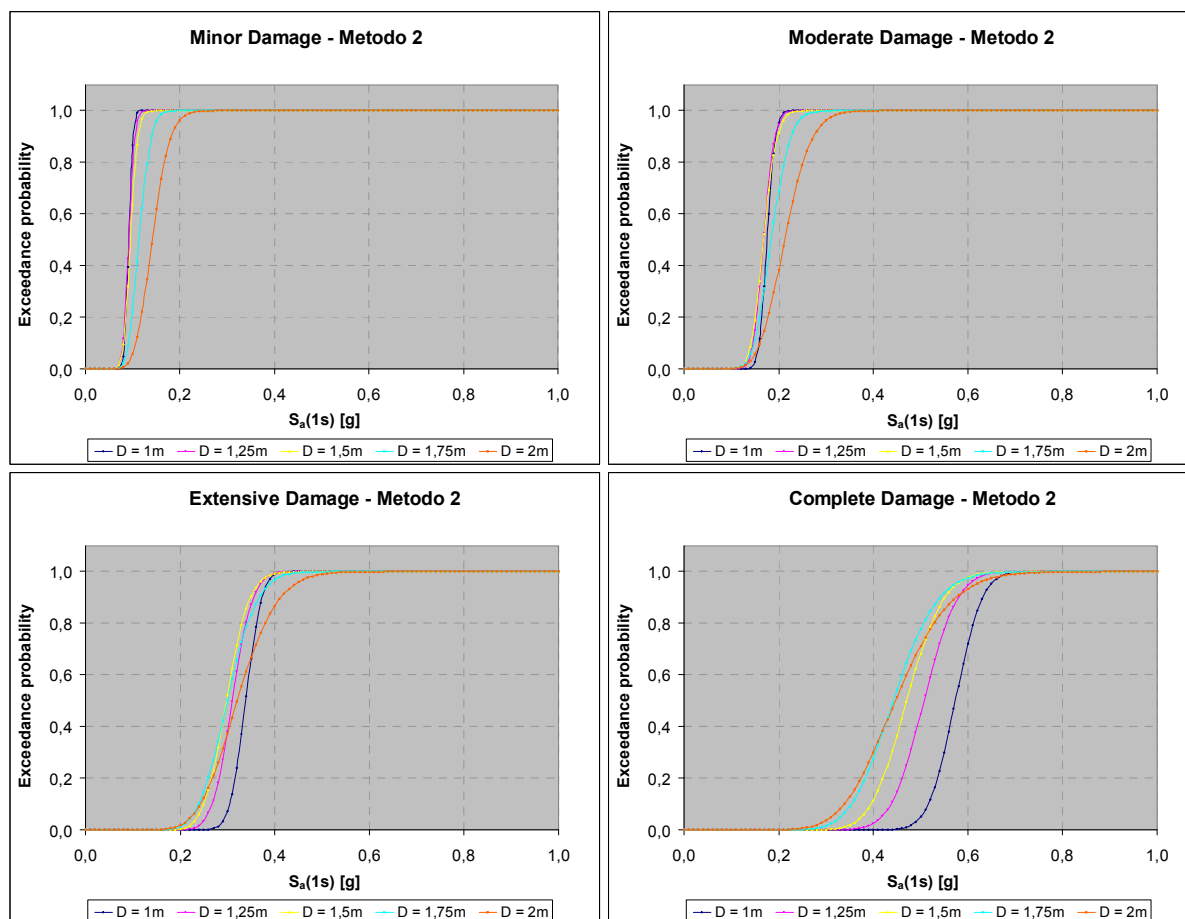
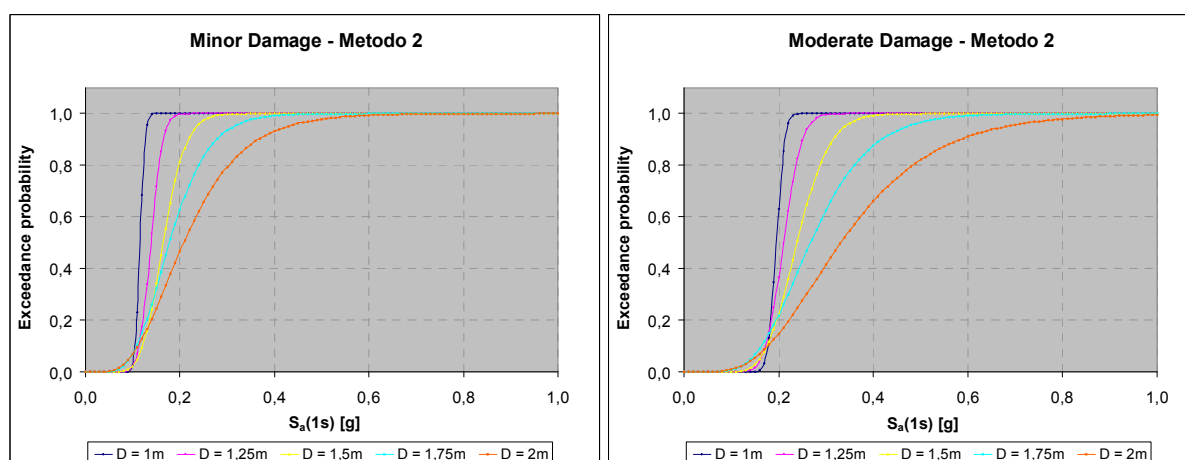


Figura 4.19 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il Metodo 2 per il ponte di Fener a 4 campate, al variare del diametro della pila, in direzione LONGITUDINALE.



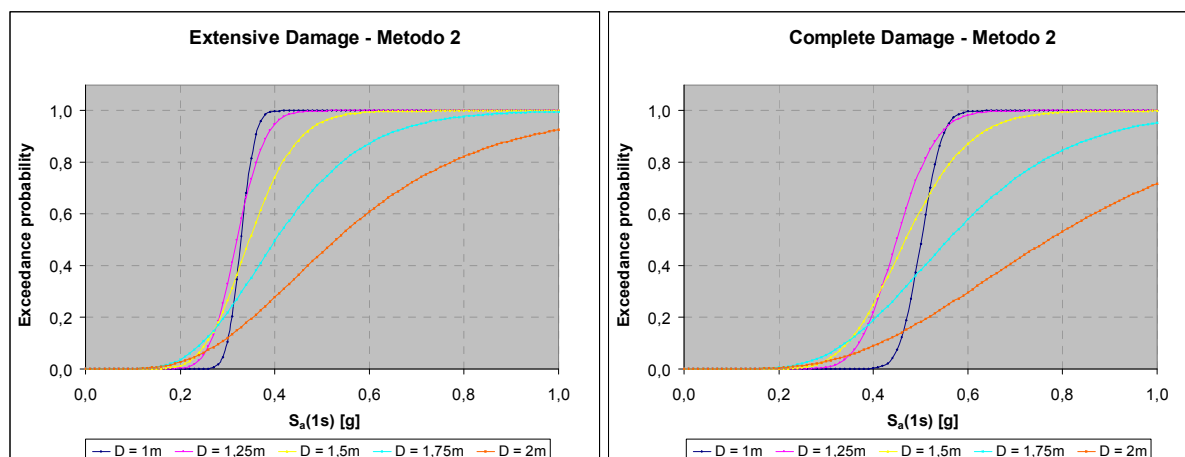
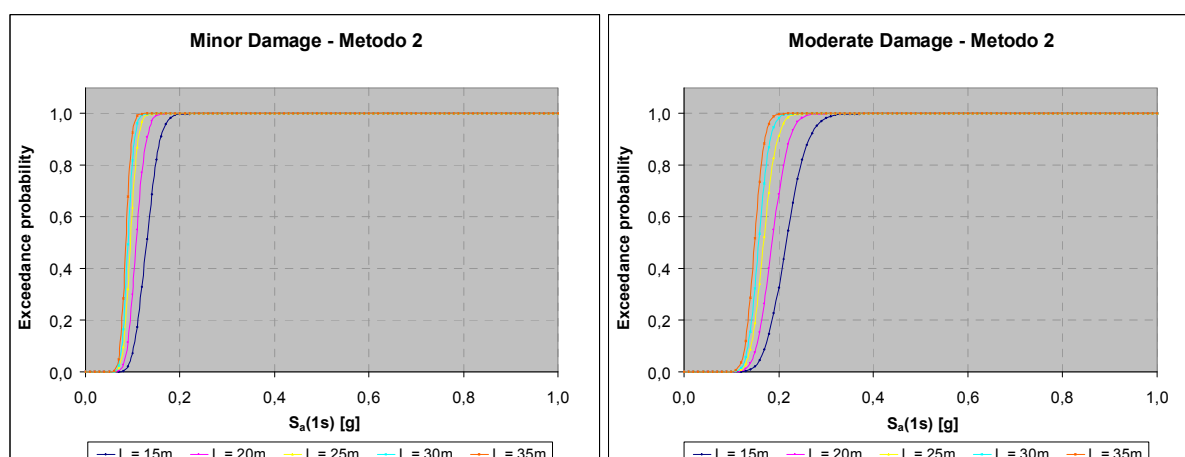


Figura 4.20 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare del diametro della pila, in direzione TRASVERSALE.

Dai grafici riportati, si può notare che, in direzione longitudinale e per i livelli di danno minori, il ponte avente diametro della pila inferiore ($D = 1m$) generalmente risulta più vulnerabile, mentre la situazione si capovolge per il livello di danno massimo (*PLA*).

In direzione trasversale, nonostante i casi analizzati siano meno vulnerabili rispetto agli stessi casi presi in direzione longitudinale a parità di livello di danno e di diametro della pila, si può dedurre che, tendenzialmente, minore è il diametro della pila, maggiore sarà la vulnerabilità sismica del manufatto, anche se si presenta un tratto di ambiguità del grafico (dove inizia il tratto ascendente) in cui le curve relative ai vari casi si intersecano e si scambiano di posizione in maniera più o meno random.



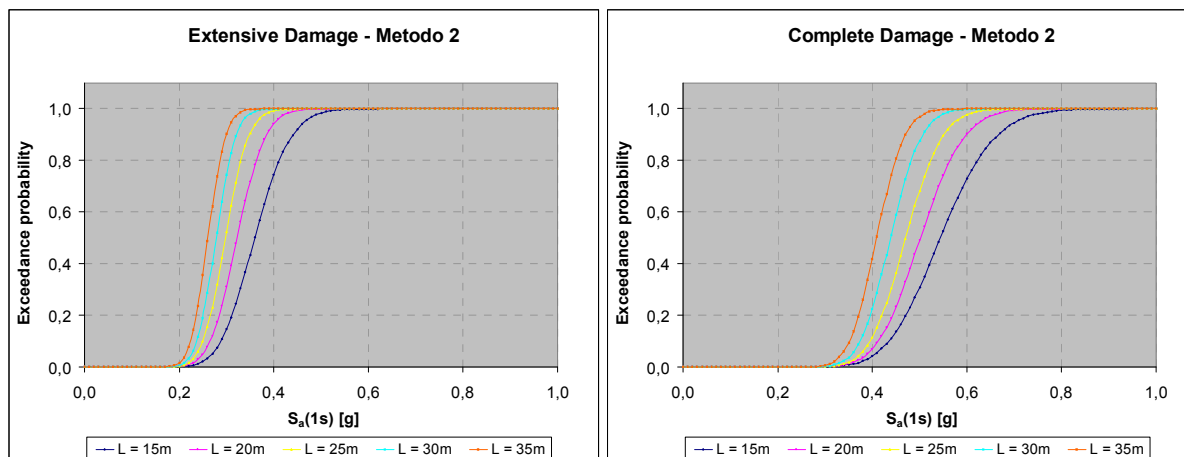


Figura 4.21 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare della luce della campata, in direzione LONGITUDINALE.

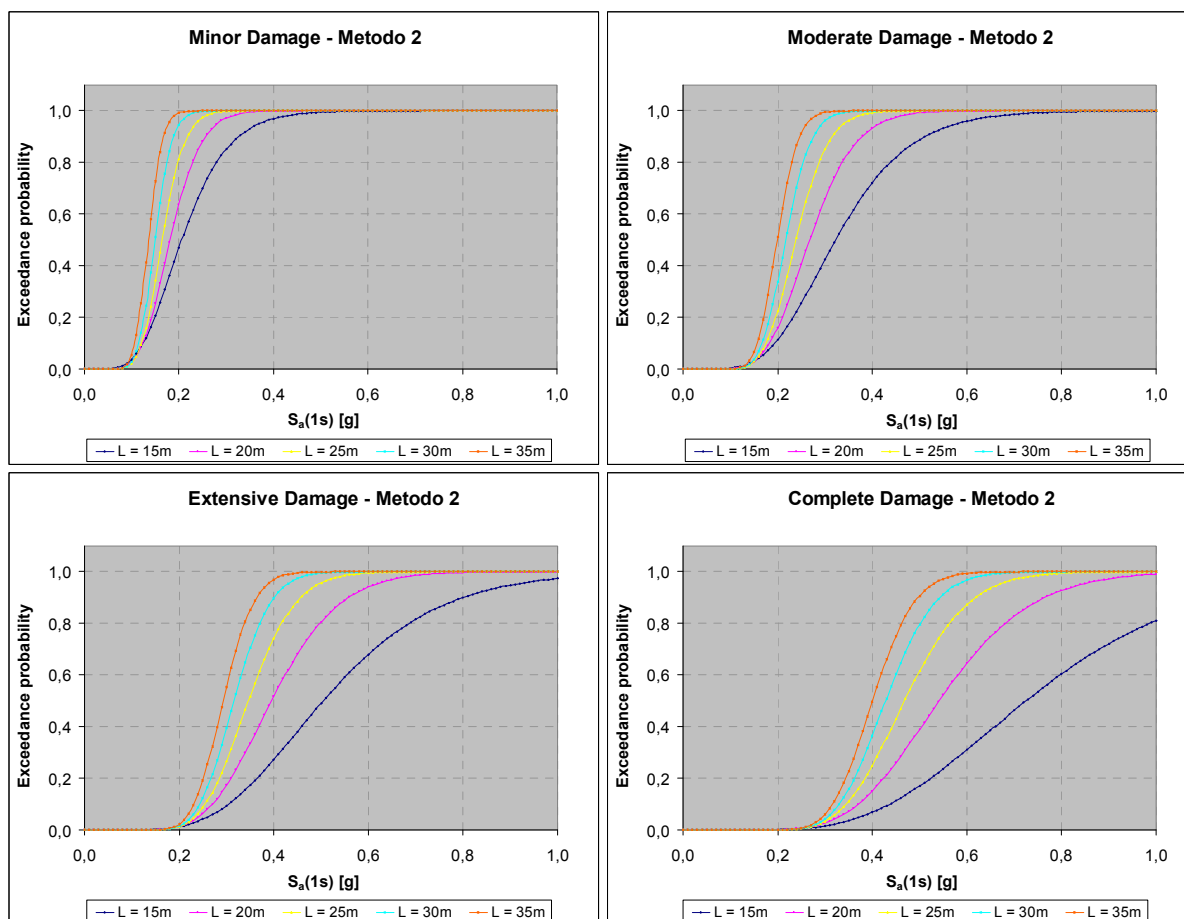


Figura 4.22 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare della luce della campata, in direzione TRASVERSALE.

Per tutti i casi analizzati, in entrambe le direzioni, risulta che maggiore è la luce della campata, maggiore sarà la vulnerabilità sismica del manufatto, pur evidenziando una maggior

vulnerabilità del manufatto all'azione sismica in direzione longitudinale rispetto alla direzione trasversale, come è lecito aspettarsi. Questa maggior vulnerabilità dei casi con la luce della campata più elevata è dovuta al fatto che, aumentando la campata, aumentano le masse in gioco, dovute principalmente all'impalcato, con il conseguente aumento della forza sismica sollecitante.

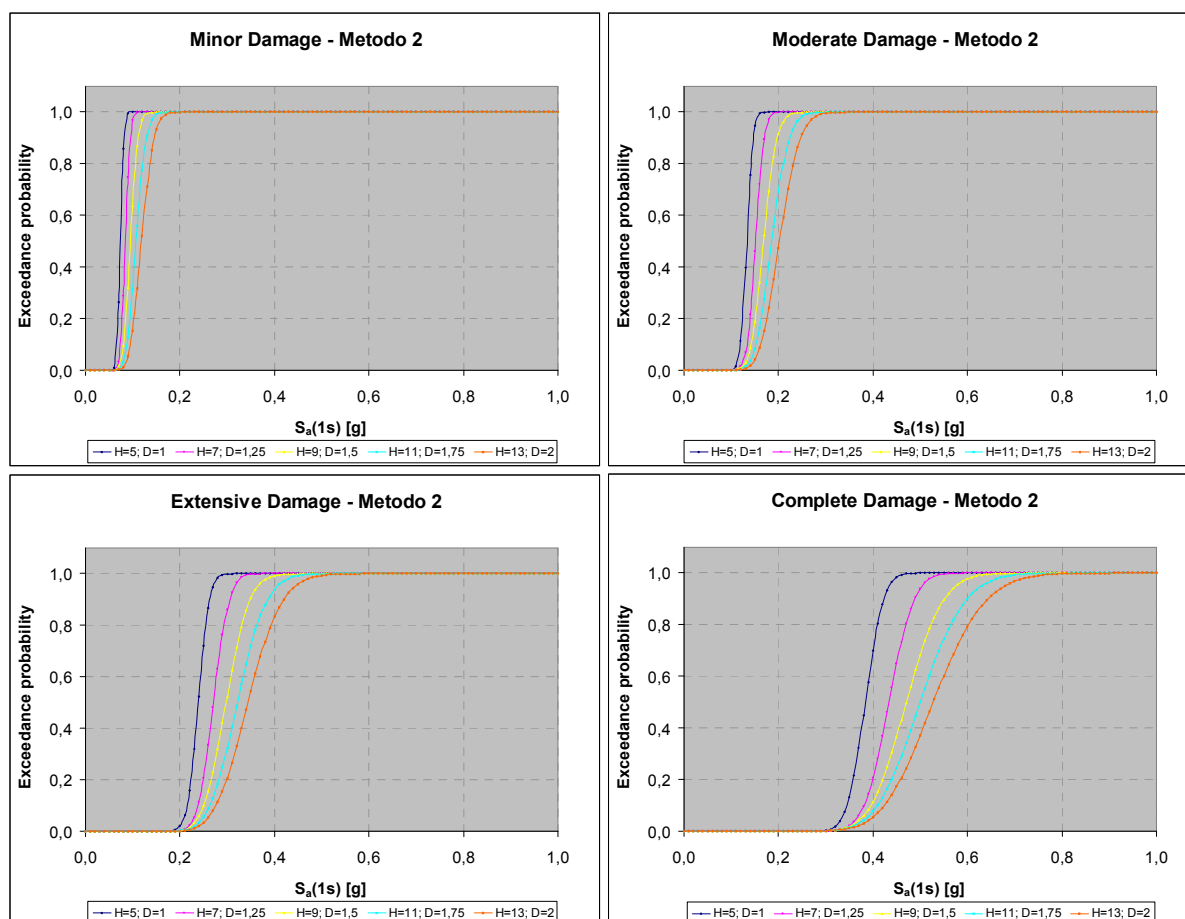


Figura 4.23 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare dell'altezza e del diametro della pila, in direzione LONGITUDINALE.

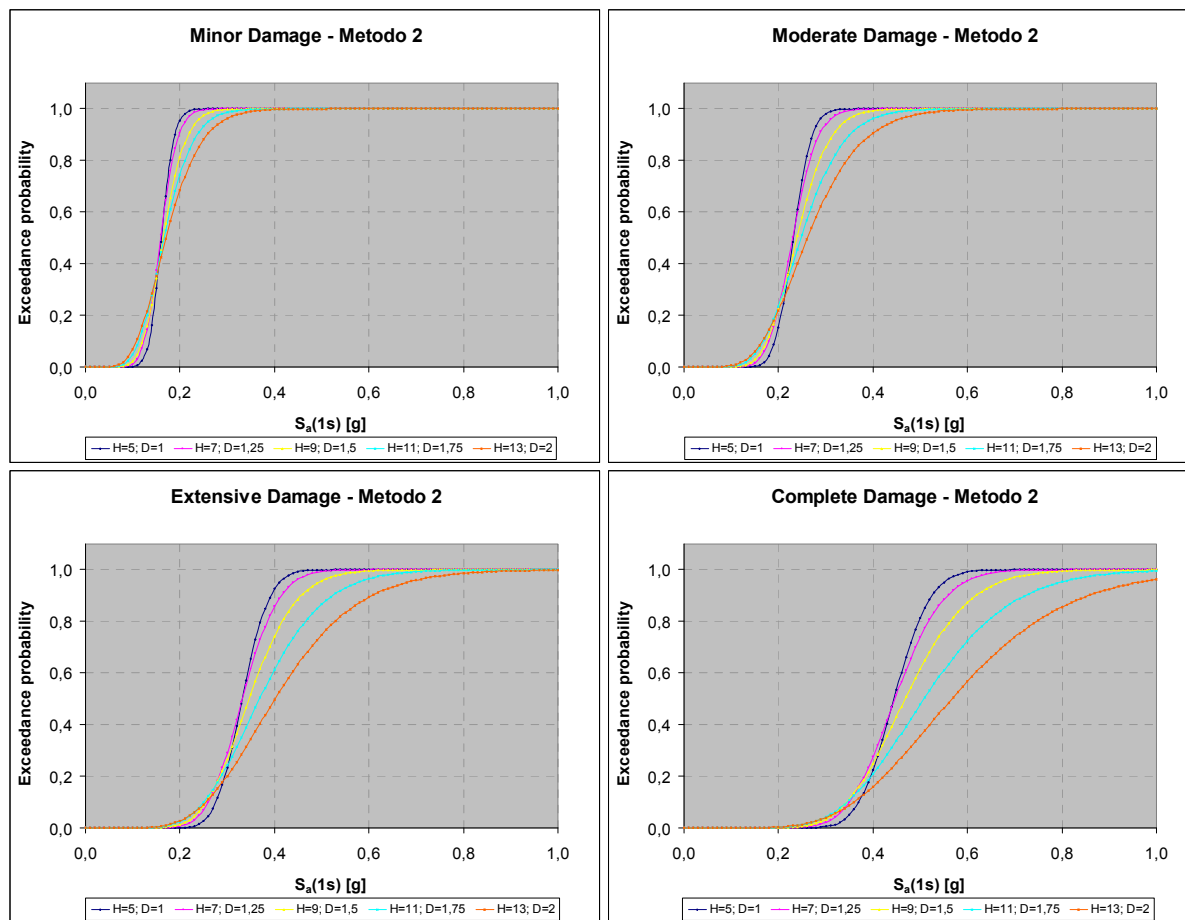


Figura 4.24 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il Metodo 2 per il ponte di Fener a 4 campate, al variare dell'altezza e del diametro della pila, in direzione TRASVERSALE.

Dai grafici delle curve di fragilità ottenute in direzione longitudinale, si può notare che, per i casi analizzati facendo variare l'altezza e il diametro della pila e mantenendo costante la luce della campata, minori sono il diametro e l'altezza della pila, maggiore sarà la vulnerabilità della stessa e di conseguenza quella dell'intero sistema-ponte.

Quanto appena descritto non si può esattamente confermare per la direzione trasversale, in quanto, fino ad un certo valore di accelerazione spettrale, che si può leggere in ascissa dei vari grafici, la situazione risulta totalmente capovolta (maggiori altezza e diametro della pila, maggior vulnerabilità del manufatto) e soltanto superato questo valore le curve si scambiano tra di loro; tali punti si identificano coi seguenti valori:

- PL1 $S_a(1s) = 0,15g$
- PL2 $S_a(1s) = 0,20g$
- PL3 $S_a(1s) = 0,27g$
- PL4 $S_a(1s) = 0,35g$

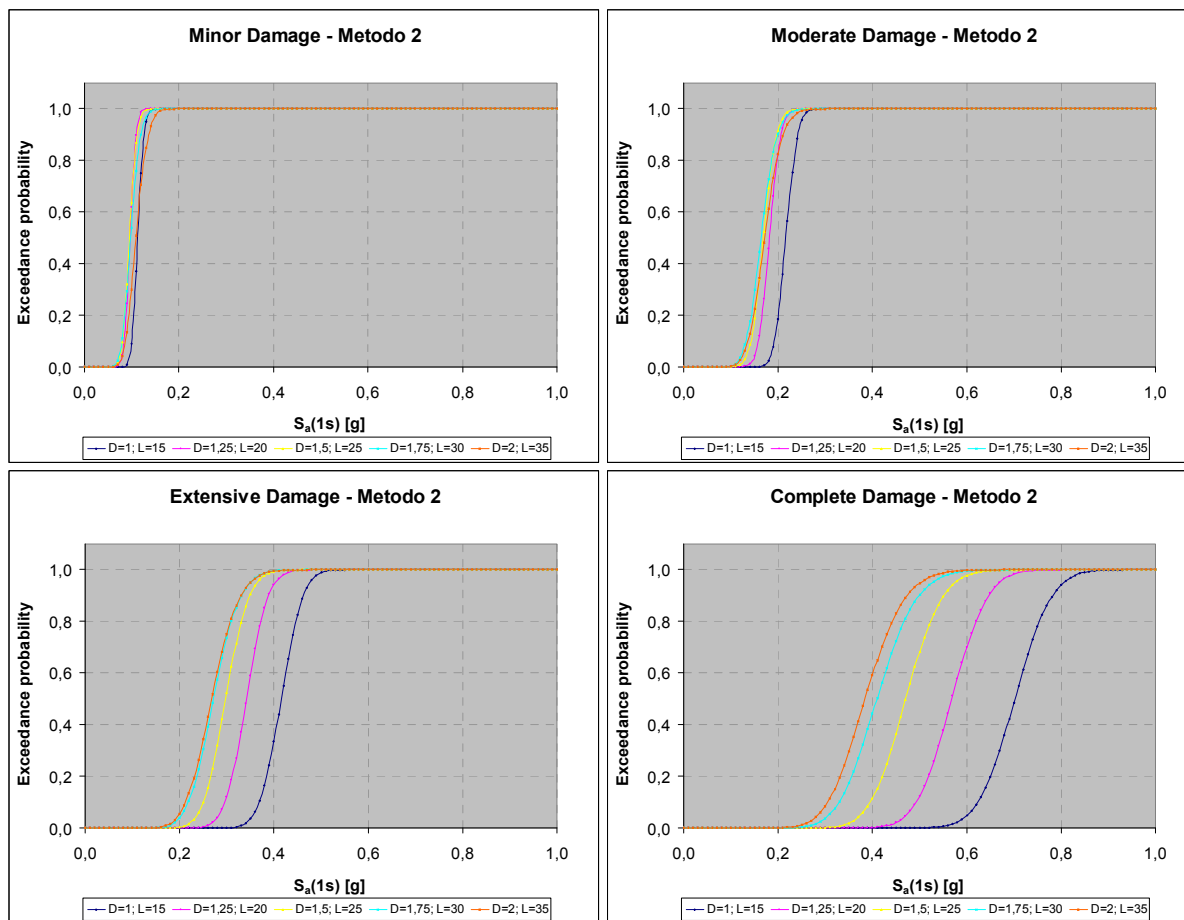
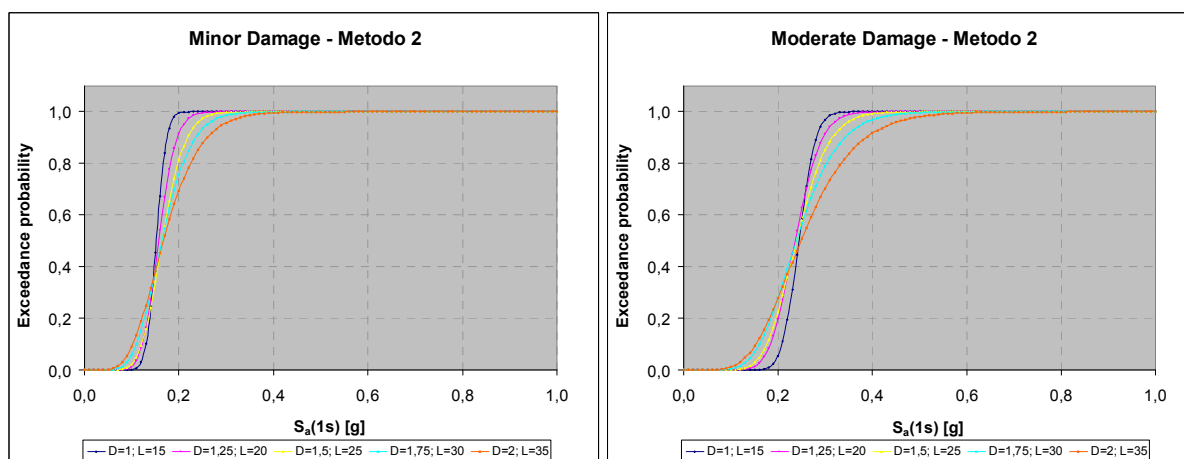


Figura 4.25 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare del diametro della pila e della luce della campata, in direzione LONGITUDINALE.



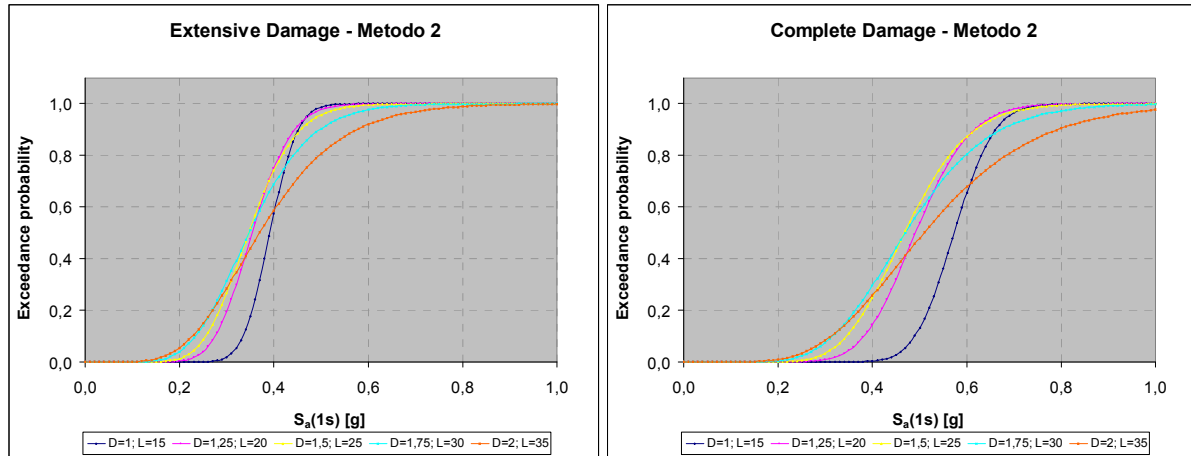
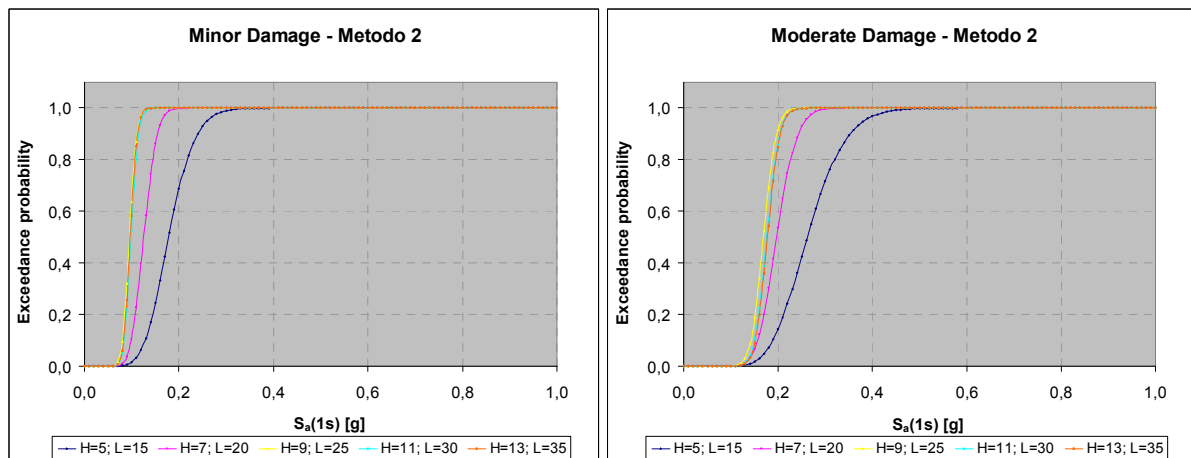


Figura 4.26 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare del diametro della pila e della luce della campata, in direzione TRASVERSALE.

Dalle curve di fragilità riportate per la direzione longitudinale, si può notare che, per i casi analizzati facendo variare il diametro della pila e la luce della campata e mantenendo costante l'altezza della pila, man mano si sale con il livello di danno, risulta più accentuata la differenza di vulnerabilità dei manufatti analizzati, in particolare il caso con diametro maggiore ($D = 2m$) e luce campata maggiore ($L = 35m$) risulta il più vulnerabile, date le notevoli masse che entrano in gioco rispetto agli altri casi.

Tali considerazioni non possono essere fatte per la direzione trasversale, in quanto, dai grafici, non si denota chiaramente un vero e proprio trend, bensì nei tratti ascendenti delle curve riportate per i vari casi, la loro posizione si scambia senza apparentemente una logica precisa.



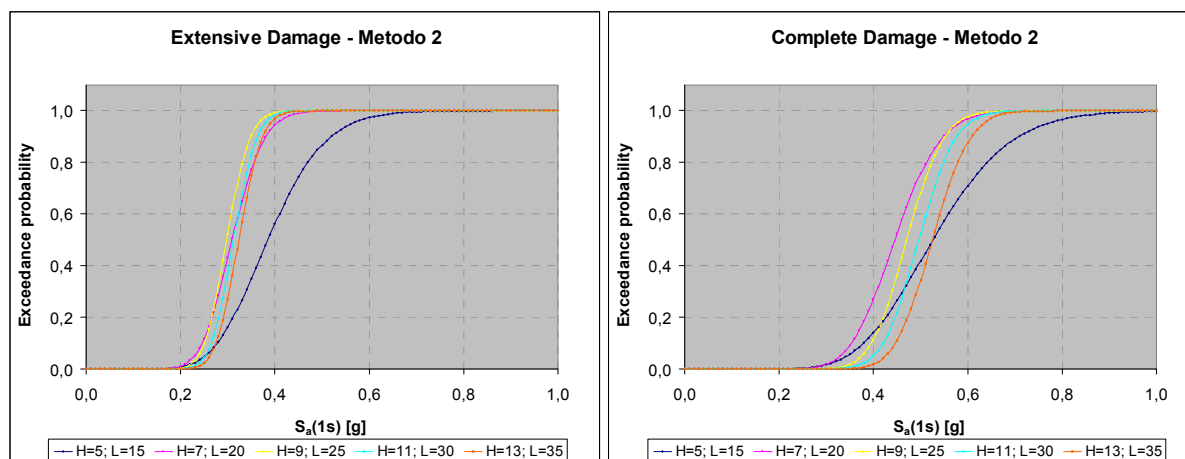


Figura 4.27 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare dell'altezza della pila e della luce della campata, in direzione LONGITUDINALE.

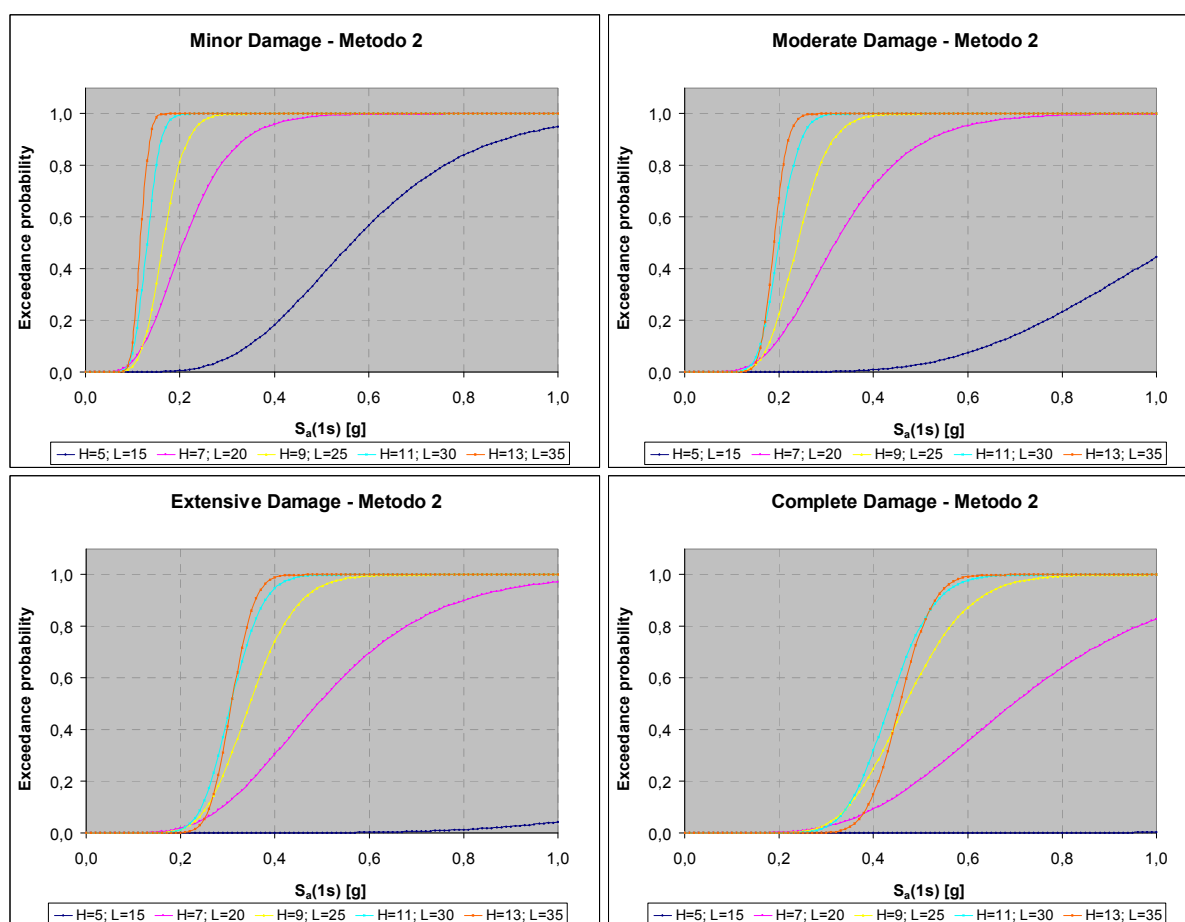


Figura 4.28 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare dell'altezza della pila e della luce della campata, in direzione TRASVERSALE.

Dalle curve di fragilità ottenute facendo variare l'altezza della pila e la luce della campata, si può notare che c'è una tendenza comune per entrambe le direzioni, ossia il caso con altezza

della pila maggiore ($H = 13m$) e luce della campata maggiore ($L = 35m$) tende ad essere il più vulnerabile sismicamente; in particolare si denota che il caso con altezza della pila pari a $5m$ e luce della campata pari a $15m$, in direzione trasversale, per alti livelli di danno ($PL3$ e $PL4$) il manufatto risulta “insensibile” al sisma, ovvero la sua vulnerabilità tende ad avere percentuali di probabilità di superamento del livello di danno molto basse ($<0,1$).

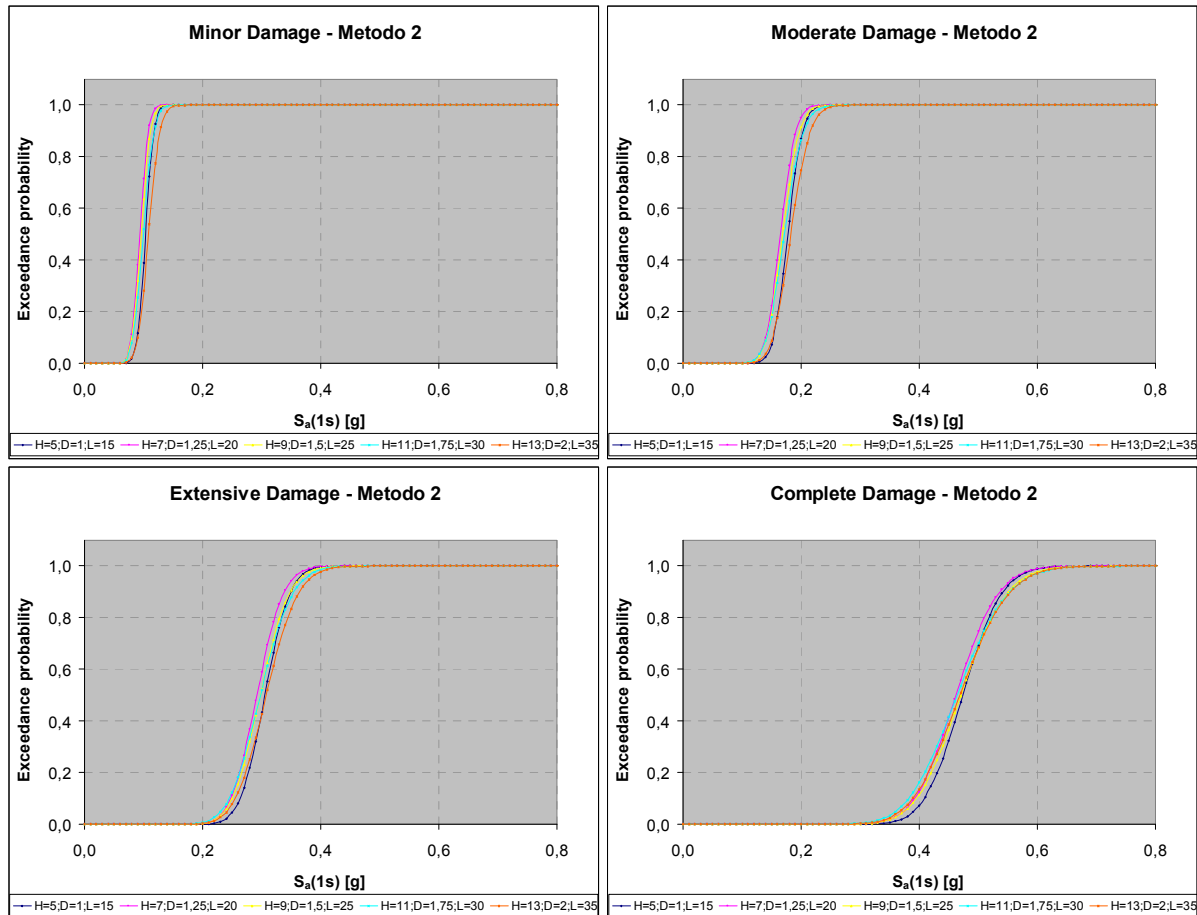


Figura 4.29 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare dell’altezza e del diametro della pila e della luce della campata, in direzione LONGITUDINALE.

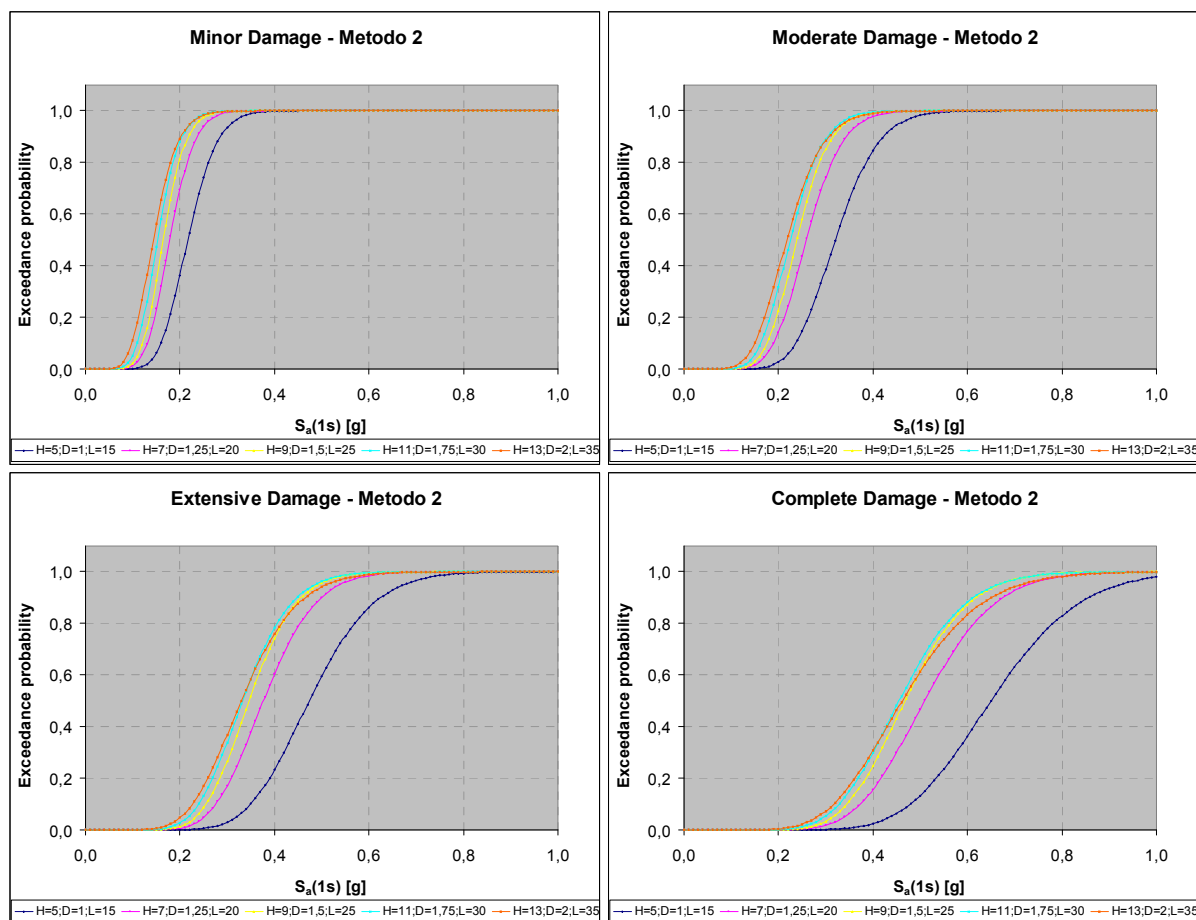


Figura 4.30 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener a 4 campate, al variare dell'altezza e del diametro della pila e della luce della campata, in direzione TRASVERSALE.

Dalle curve di fragilità ottenute facendo variare tutti e tre i parametri caratteristici dei casi analizzati, ossia l'altezza e il diametro della pila e la luce della campata, si può notare che per la direzione longitudinale, non si evidenziano particolari differenze di comportamento per i casi analizzati dato che le curve sono all'incirca sovrapposte, pertanto la vulnerabilità dei manufatti e conseguentemente la probabilità di superamento del danno sono all'incirca uguali: questo può essere spiegato dal fatto che, variando la geometria in maniera ragionevole, si mantiene pressoché costante il rapporto tra la capacità del sistema (dato principalmente dalla sua rigidità, oltre che dai vincoli imposti) e la domanda (determinata come conseguenza dell'applicazione del sisma, il quale è direttamente proporzionale alle masse che entrano in gioco).

In direzione trasversale invece si denota una maggiore vulnerabilità per il caso avente i parametri con i valori più elevati ($H = 13m$; $D = 2m$; $L = 35m$); tale vulnerabilità risulta più marcata man mano che si aumenta il livello di danno.

Vengono ora rappresentate le curve di fragilità costruite per il ponte di Fener standard ($H = 9m$; $D = 1,5m$; $L = 25m$), seguendo entrambi i metodi proposti in letteratura (analitico e empirico) in entrambe le direzioni (longitudinale e trasversale), analizzando il loro andamento al variare del numero di campate costituenti il sistema-ponte, da un minimo di 2 campate fino ad un massimo di 24.

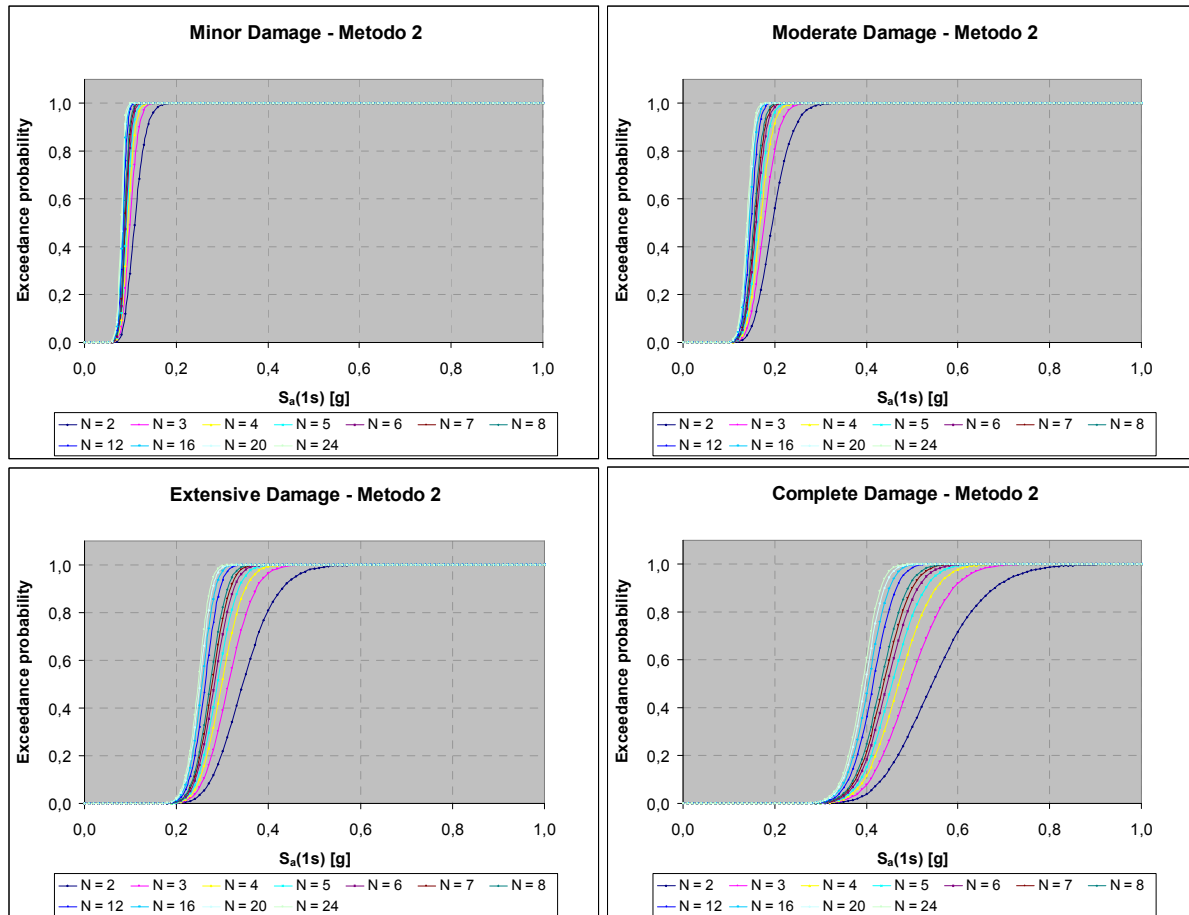


Figura 4.31 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener standard, al variare del numero di campate, in direzione LONGITUDINALE.

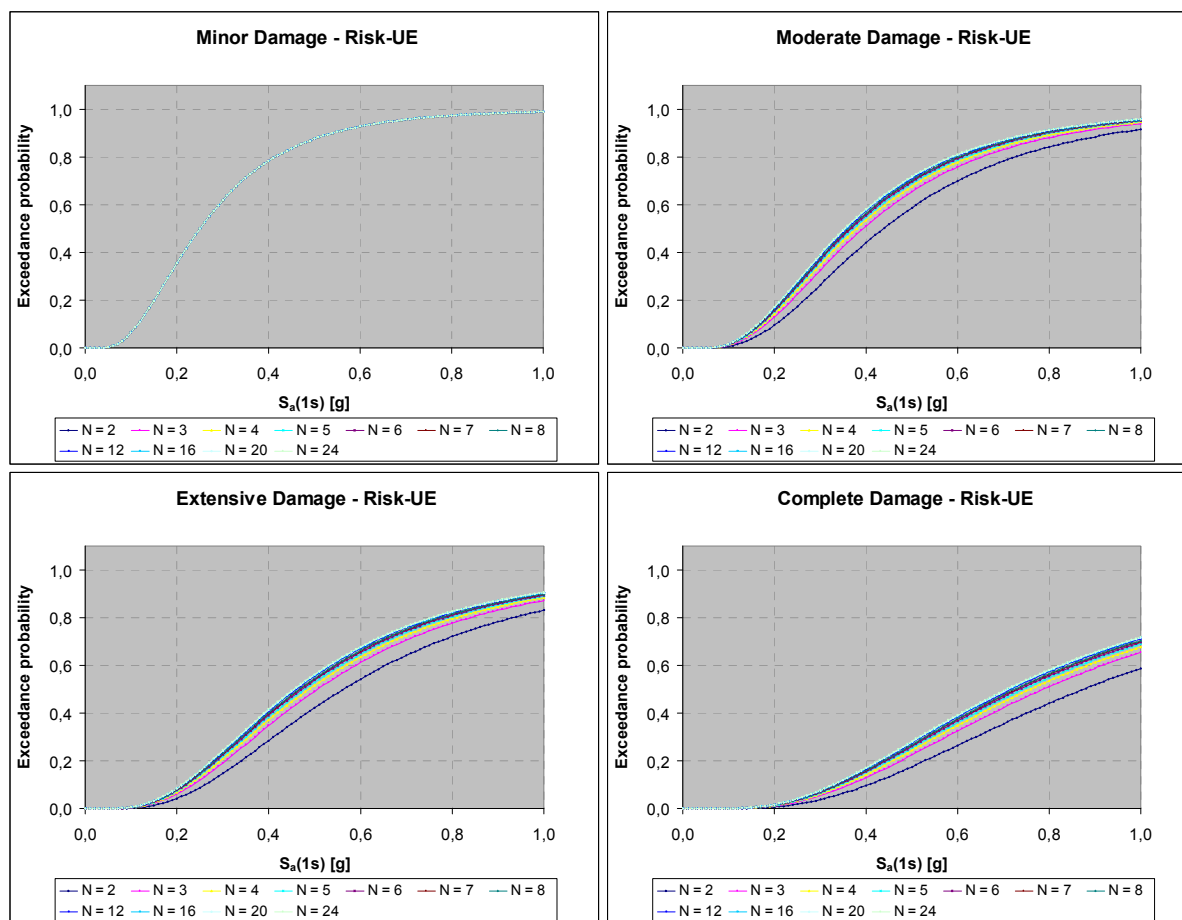


Figura 4.32 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il Metodo *Risk-UE* per il ponte di Fener standard, al variare del numero di campate, in direzione LONGITUDINALE.

Dalle curve di fragilità riportate per la direzione longitudinale, si può notare come la vulnerabilità dell'intero manufatto costituito da N pile indipendenti fra loro (campate in semplice appoggio), aumenti man mano che aumentano il numero di campate: questo si ha perché, dato che la probabilità di eccedere un certo livello di danno è data come differenza tra l'unità e la produttoria della probabilità di eccedere lo stesso livello di danno delle singole pile costituenti il sistema-ponte nel suo complesso, più pile formano il manufatto, maggiori elementi potenzialmente vulnerabili vengono sollecitati dal sisma aumentando di conseguenza il rischio di danni e collassi.

Per le curve ottenute con il metodo *Risk-UE* si evidenzia la stessa tendenza precedentemente descritta nell'andamento delle curve, con l'unica differenza che, per il livello prestazionale più basso (*PLI*), le curve relative ai vari casi risultano sovrapposte: questo perché, nella costruzione di tali curve, vi è un parametro che entra in gioco ($K_{3d} = f(N)$) che dipende dal numero di campate N del ponte, ad eccezione del livello *Minor*, in cui

tale coefficiente è dato da una costante. In particolare, per tali curve si nota che, a parità di accelerazione, man mano che aumenta il livello prestazionale, la probabilità di superamento del danno diminuisce, come è lecito aspettarsi.

Da un confronto tra i due metodi utilizzati, come già visto in precedenza, viene confermato il fatto che le curve di fragilità ottenute con il metodo empirico *Risk-UE* tendano a sottostimare la vulnerabilità del ponte analizzato, indipendentemente dal numero di campate che costituiscono l'intero sistema.

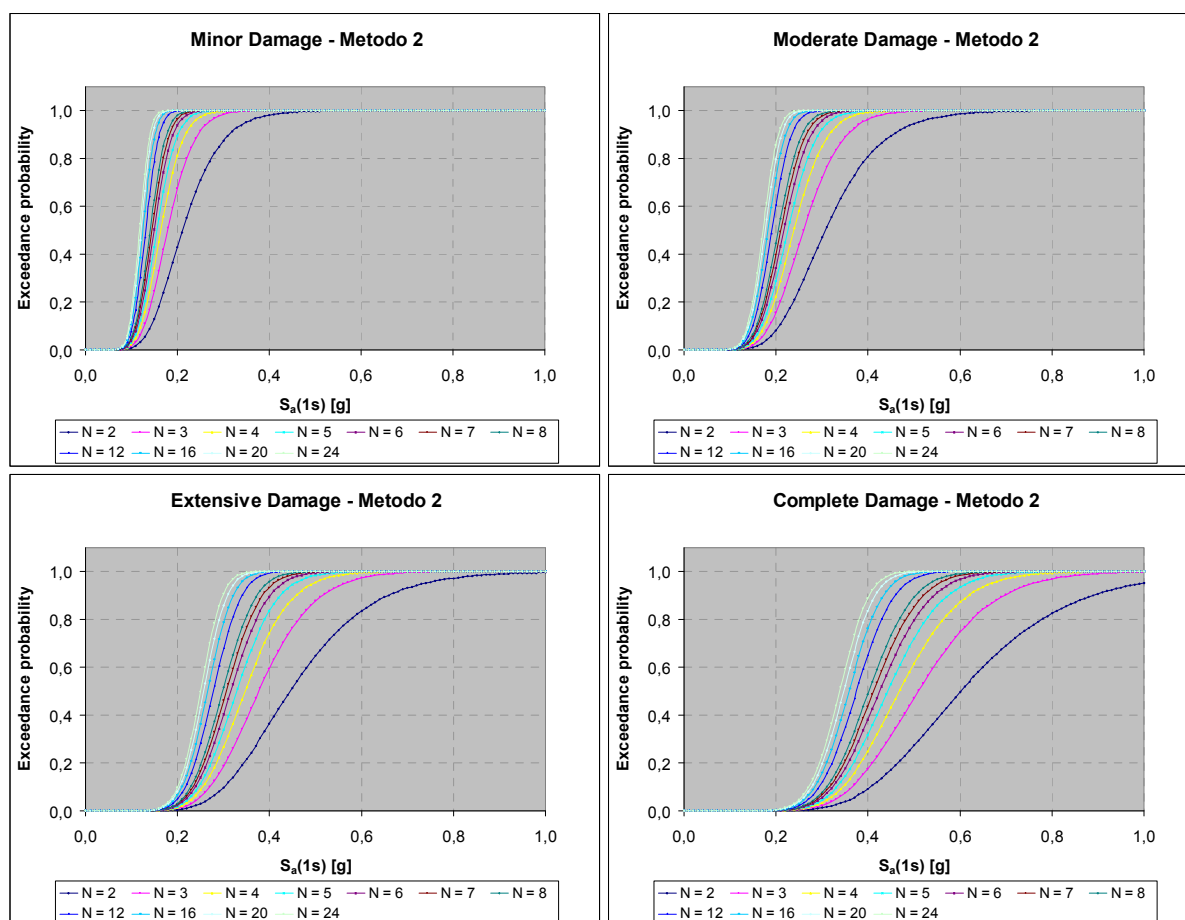


Figura 4.33 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il ponte di Fener standard, al variare del numero di campate, in direzione TRASVERSALE.

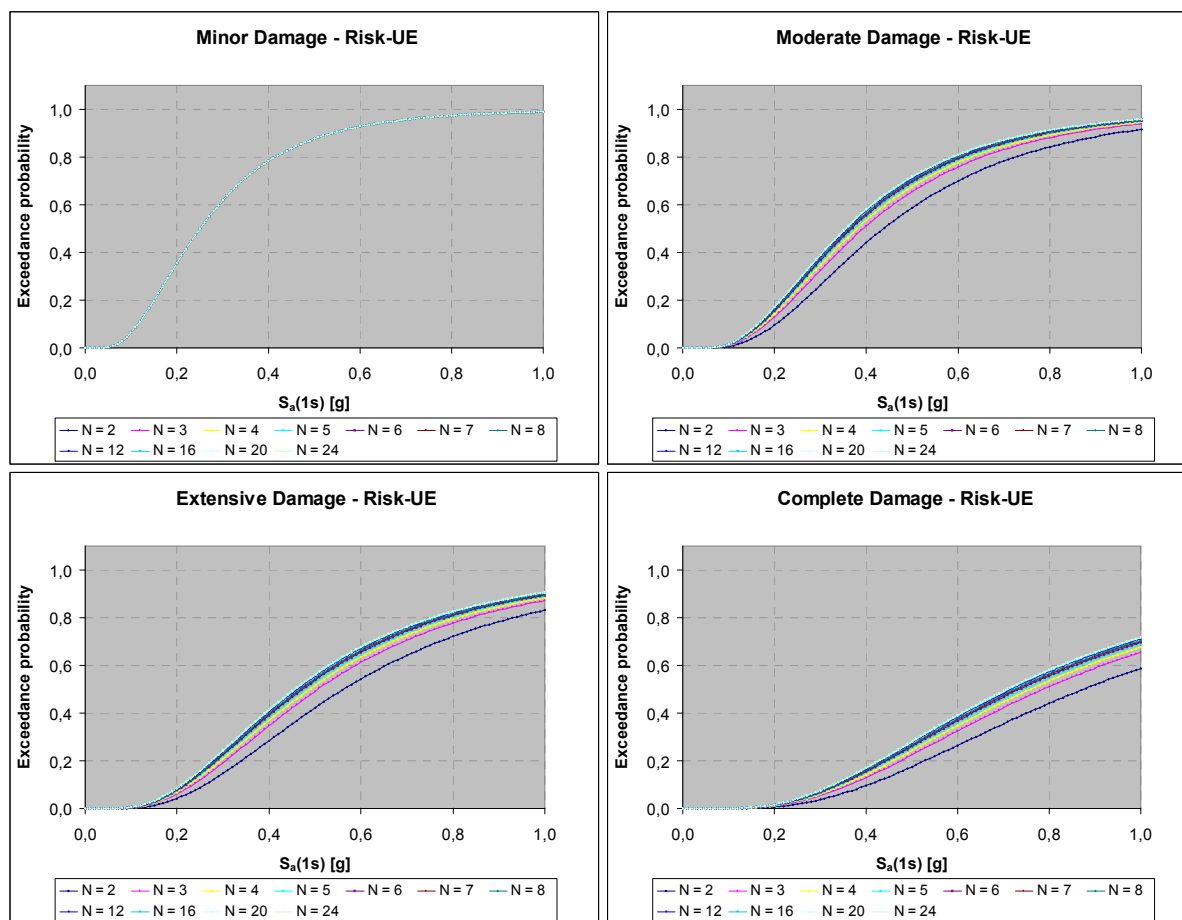


Figura 4.34 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il Metodo *Risk-UE* per il ponte di Fener standard, al variare del numero di campate, in direzione TRASVERSALE.

Per quanto riguarda le curve di fragilità ottenute in direzione trasversale, valgono gli stessi commenti fatti per la direzione longitudinale, con l'unica differenza che le curve di fragilità ottenute con il Metodo 2 (analitico) evidenziano una maggior vulnerabilità del manufatto all'azione sismica in direzione longitudinale rispetto alla direzione trasversale, mentre le curve di fragilità ottenute con il metodo empirico non risentono della direzione in cui agisce il sisma.

4.6 Confronto fra modelli numerici del ponte

In questa parte si vogliono valutare eventuali differenze nella costruzione delle curve di fragilità analitiche utilizzando diverse strategie numeriche di modellazione: in particolare la vulnerabilità di un manufatto può non essere correttamente stimata se viene considerato il

modello numerico della sola pila (considerata come elemento più vulnerabile del ponte) per determinare la vulnerabilità dell'intero ponte. Considerando come in precedenza lo schema statico del ponte con campate semplicemente appoggiate, si sono modellate sia le colonne che il pulvino tramite elementi finiti con formulazione a fibre a plasticità distribuita, mentre l'impalcato è stato rappresentato con elementi elastici lineari; il vincolo alla base delle pile è assunto di incastro perfetto come anche nei nodi in prossimità delle spalle. Le cerniere alle estremità delle travi dell'impalcato sono modellate attraverso degli elementi speciali chiamati "zero-length elements" che consentono di lasciare libero solamente il grado di libertà flessionale.

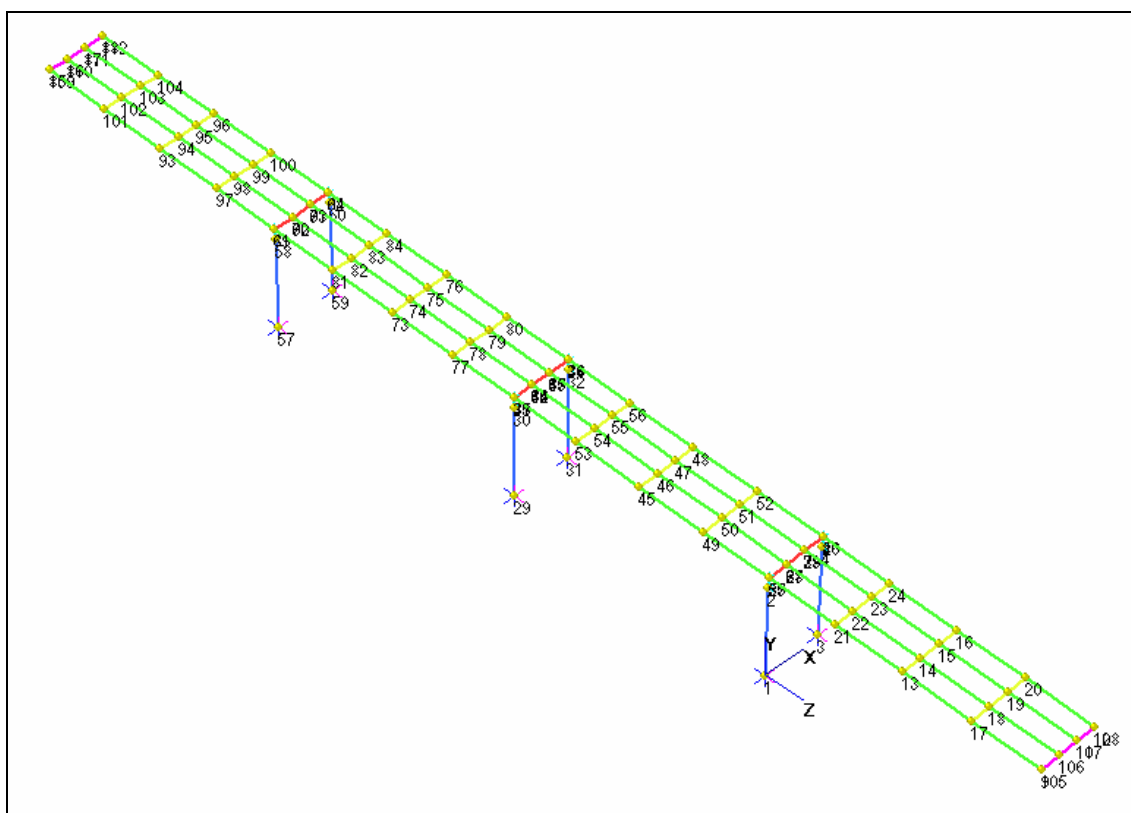


Figura 4.35 - Modello numerico dell'intero ponte implementato nel codice di calcolo OpenSEES.

Dopo aver costruito le curve di fragilità analitiche con la procedura descritta in precedenza, si sono confrontati i risultati ottenuti nelle due direzioni principali (longitudinale e trasversale). Allo scopo di ottenere elementi utili alla valutazione del grado di approssimazione dell'approccio semplificato basato sulla modellazione della sola pila, assunta come elemento più vulnerabile del ponte, si è effettuato un confronto tra i risultati del modello numerico della sola pila e quelli del modello numerico del ponte intero.

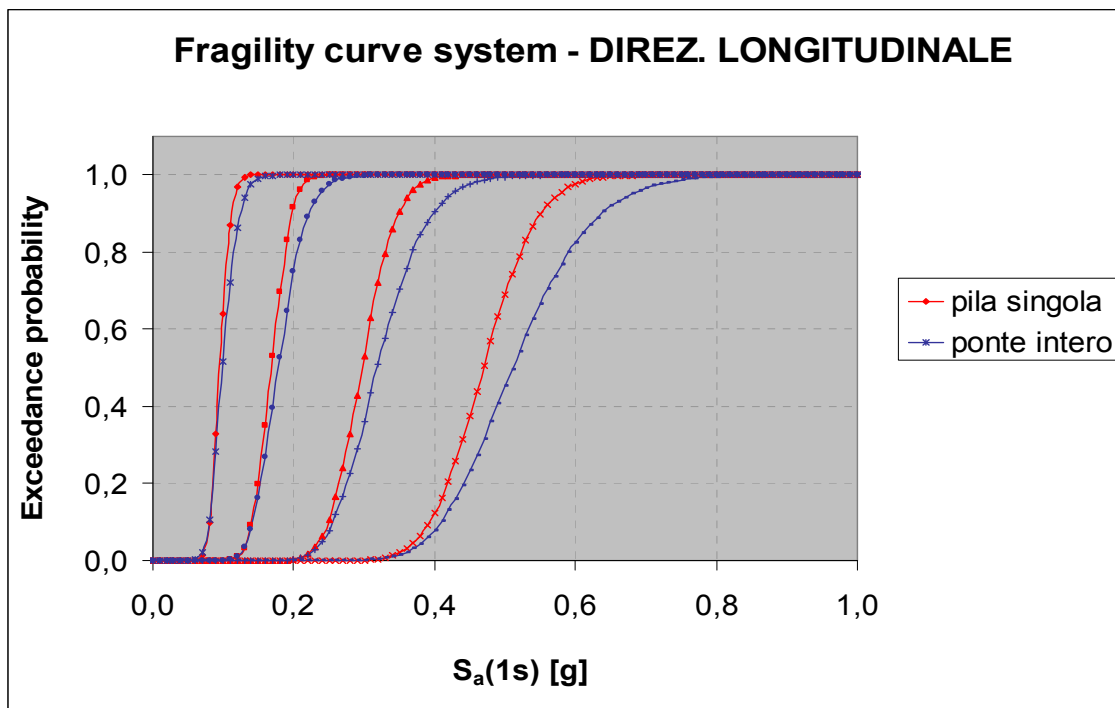


Figura 4.36 - Confronto tra le curve di fragilità analitiche ottenute con il modello numerico della sola pila e con il modello numerico del ponte intero a 4 campate, in direzione LONGITUDINALE.

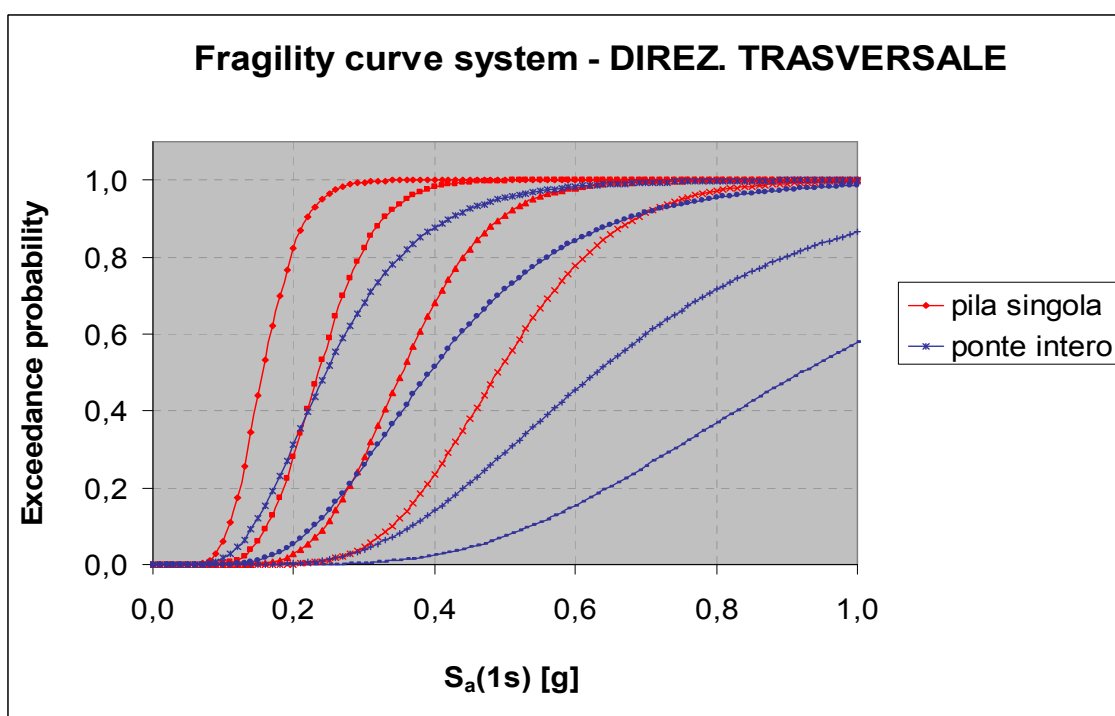


Figura 4.37 - Confronto tra le curve di fragilità analitiche ottenute con il modello numerico della sola pila e con il modello numerico del ponte intero a 4 campate, in direzione TRASVERSALE.

Dall'analisi delle curve di fragilità ottenute dal modello numerico della singola pila si nota che la vulnerabilità del ponte è sovrastimata, specialmente per quanto riguarda la direzione trasversale dove si ha il comportamento a telaio della pila stessa; tali differenze sono dovute principalmente al fatto che gli elementi che nel modello della pila singola entrano in gioco soltanto come masse afferenti alla pila, nel modello intero subentrano con le loro rigidità e quindi deformazioni effettive, creando una situazione più verosimile alla realtà.

D'altro canto il metodo di analisi dinamica non lineare risulta il più avanzato per il calcolo della risposta strutturale, ma allo stesso tempo esso è il più oneroso da un punto di vista computazionale, di conseguenza i tempi vanno attentamente valutati in relazione al livello di accuratezza richiesto dall'indagine di vulnerabilità.

4.7 Approfondimenti: inclinazione in pianta della forza sismica e sghembatura in pianta dell'impalcato

In questa parte si vogliono determinare le curve di fragilità di un ponte a 4 campate con azione sismica inclinata di un angolo α rispetto all'asse longitudinale delle pile e successivamente quelle di un ponte a 4 campate avente le medesime caratteristiche, ad eccezione della sghembatura in pianta di un angolo α , e azione sismica lungo l'asse longitudinale delle pile: questo per valutare se la sghembatura influisce sulla risposta sismica del manufatto oppure se in realtà ciò che influisce maggiormente sulla vulnerabilità sismica è la giacitura dell'azione sismica rispetto all'asse delle pile. Il modello numerico assunto per le analisi è quello del ponte intero (di seguito si riporta uno schema per capire la geometria del ponte e come viene applicata la forza sismica).

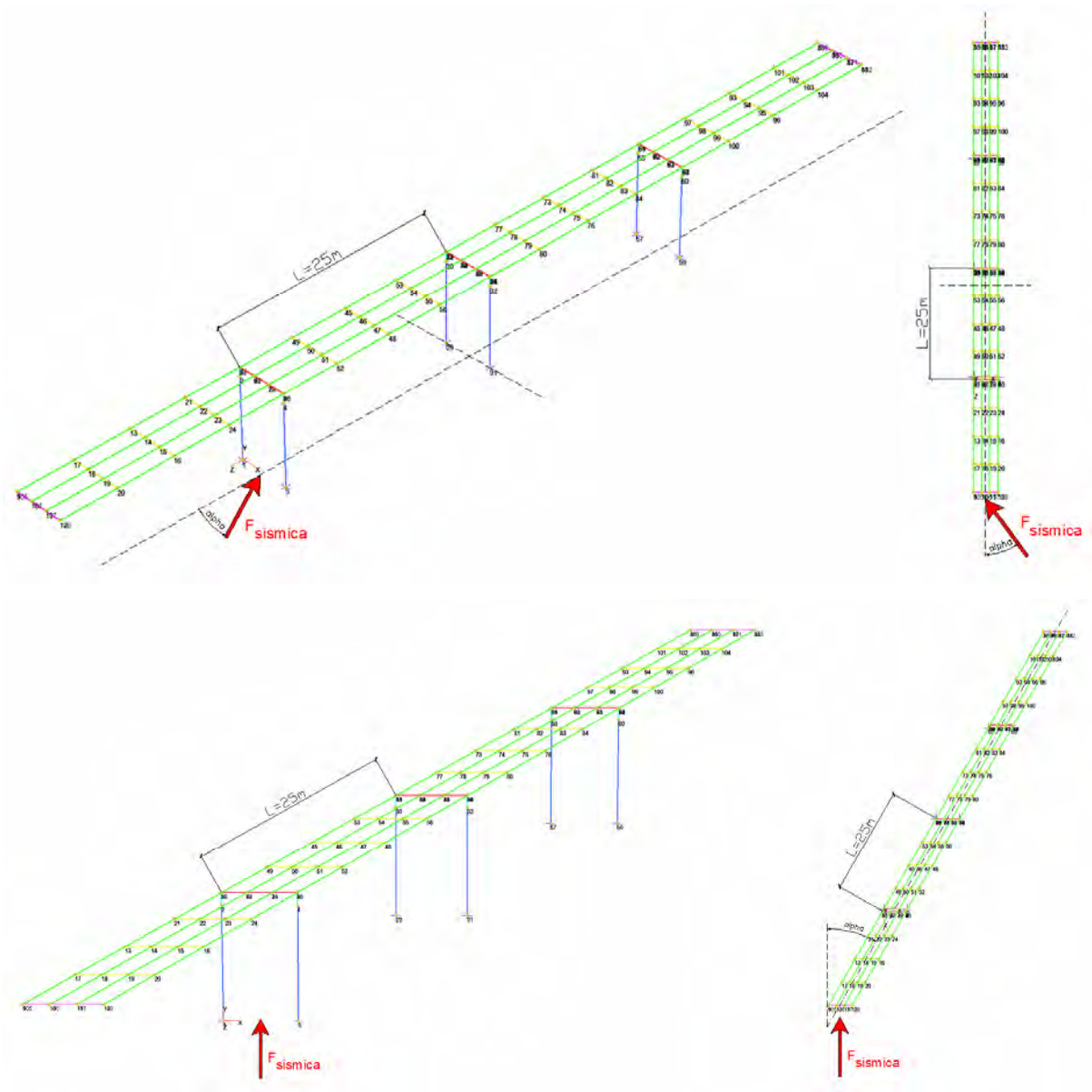


Figura 4.38 - Schematizzazione dei due modelli numerici analizzati, facendo variare α nei vari casi studio.

Vengono ora rappresentate le curve di fragilità ottenute con il metodo analitico 2 e costruite per il ponte di Fener a 4 campate, a partire dal modello numerico del ponte intero, nella direzione longitudinale all'asse delle pile, analizzando il loro andamento al variare dell'angolo α : tale angolo rappresenta nel primo caso l'inclinazione in pianta della forza sismica rispetto all'asse longitudinale delle pile, mentre nel secondo caso rappresenta la sghembatura in pianta sempre rispetto all'asse longitudinale delle pile.

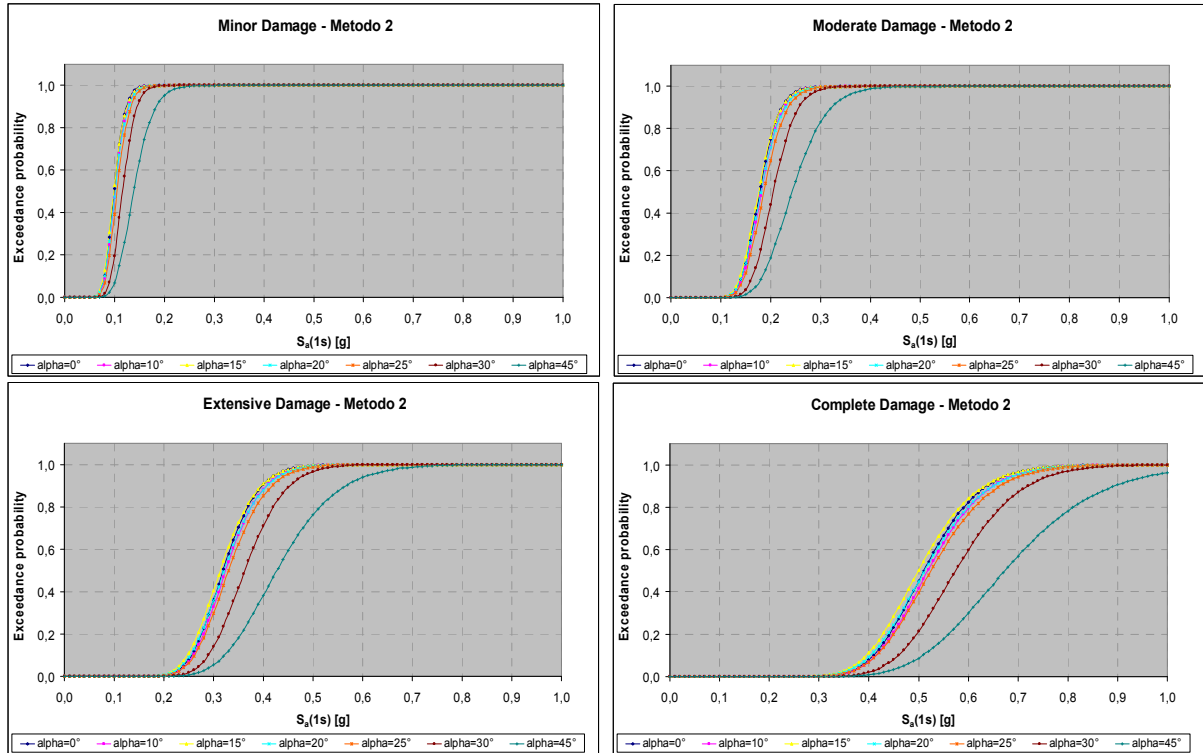


Figura 4.39 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il modello del ponte a 4 campate, al variare dell'angolo α di inclinazione della forza sismica in pianta, in direzione LONGITUDINALE all'asse delle pile.

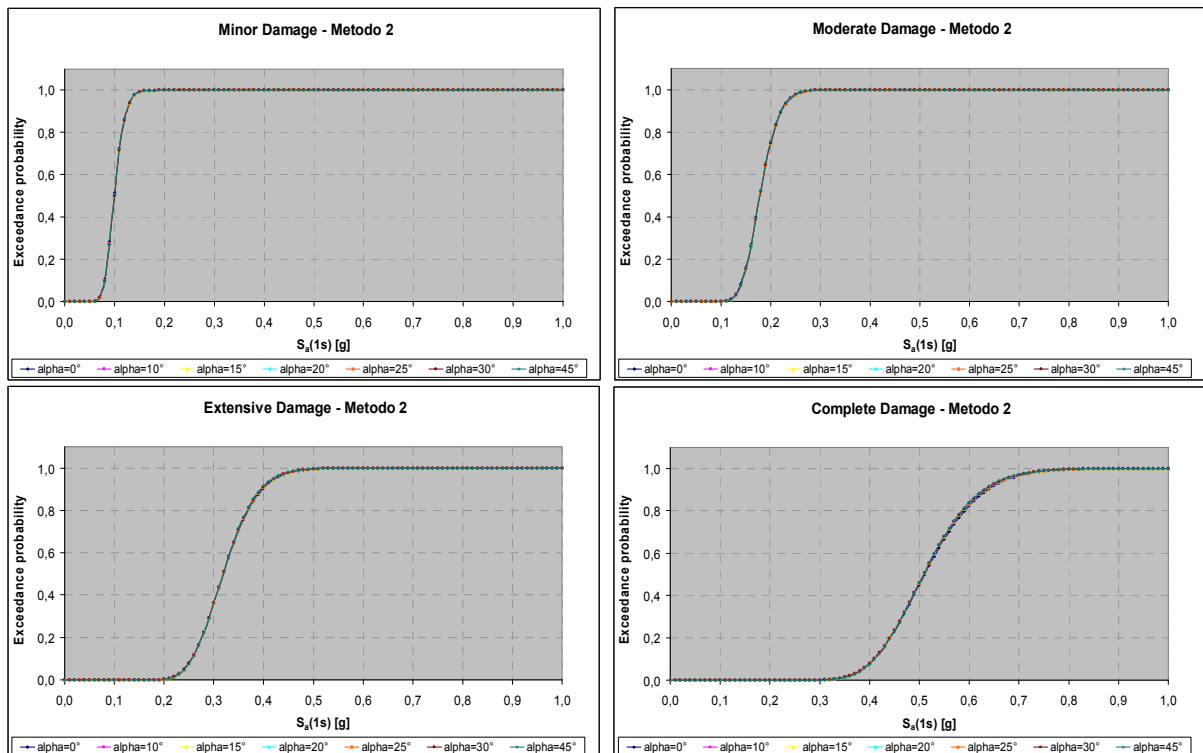


Figura 4.40 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il modello del ponte a 4 campate, al variare dell'angolo α di sghematura in pianta, in direzione LONGITUDINALE all'asse delle pile.

Dai confronti delle varie curve per i quattro livelli di danno e per i due casi studiati si può apprezzare che, nel modello con inclinazione in pianta della forza sismica, più aumenta l'angolo di inclinazione rispetto all'asse longitudinale, minore è la vulnerabilità del manufatto in tale direzione, in quanto subentra il comportamento a telaio delle pile che dà maggior rigidità al sistema, mentre nel secondo caso con sghembatura in pianta dell'impalcato, non si rilevano differenze rilevanti al variare dell'angolo α .

Ora si farà un confronto incrociato tra i due modelli, fissando caso per caso l'angolo α , per valutare se ciò che influenza la vulnerabilità sismica è principalmente la direzione di applicazione dell'azione sismica oppure se anche la sghembatura in pianta gioca un ruolo rilevante in queste considerazioni.

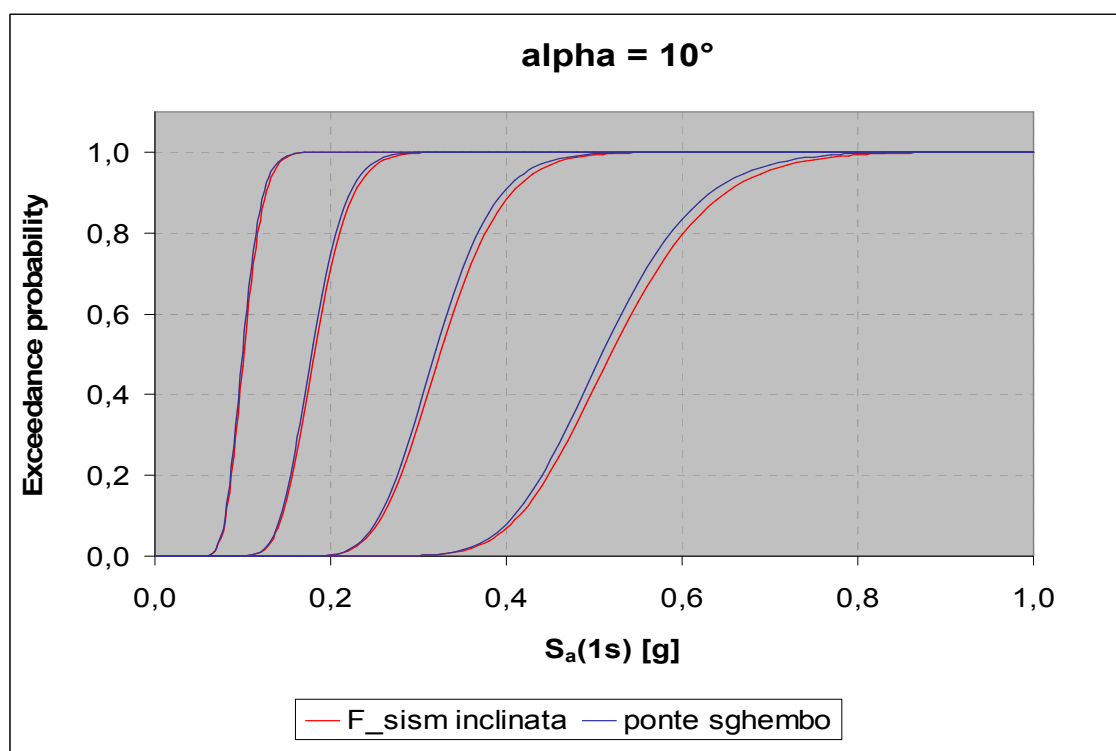


Figura 4.41 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il Metodo 2 per il modello del ponte a 4 campate per i 2 differenti casi studio, fissato l'angolo $\alpha=10^\circ$, in direzione LONGITUDINALE all'asse delle pile.

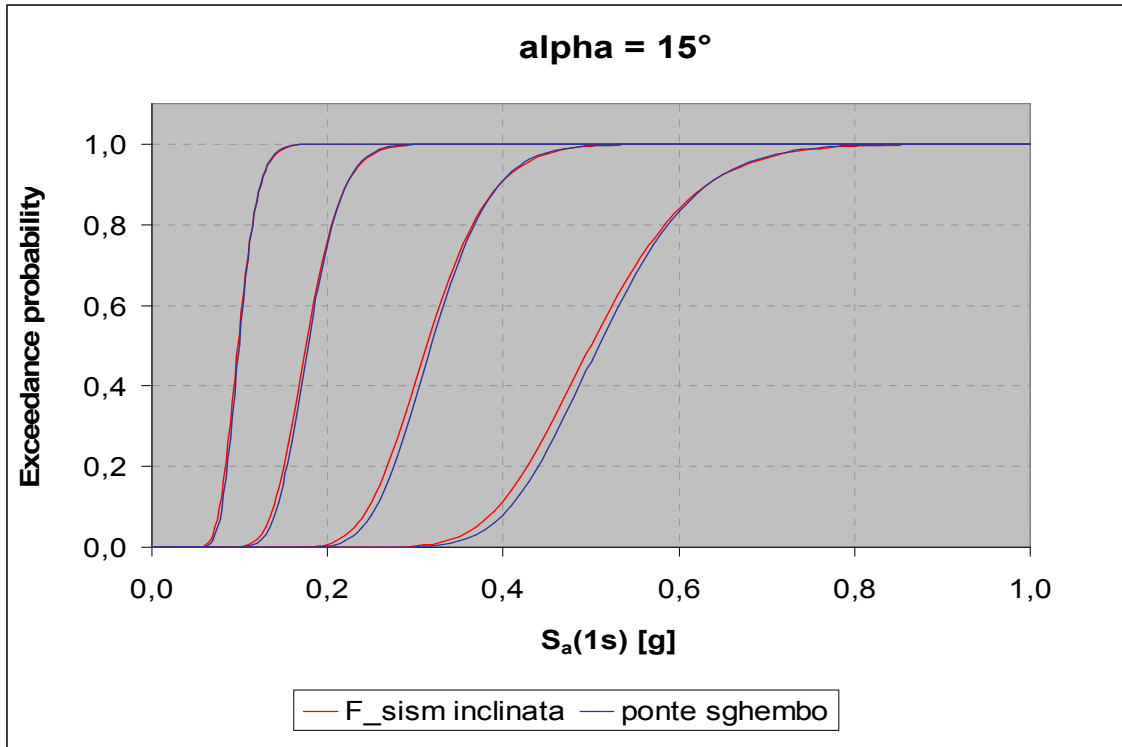


Figura 4.42 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il Metodo 2 per il modello del ponte a 4 campate per i 2 differenti casi studio, fissato l'angolo $\alpha=15^\circ$, in direzione LONGITUDINALE all'asse delle pile.

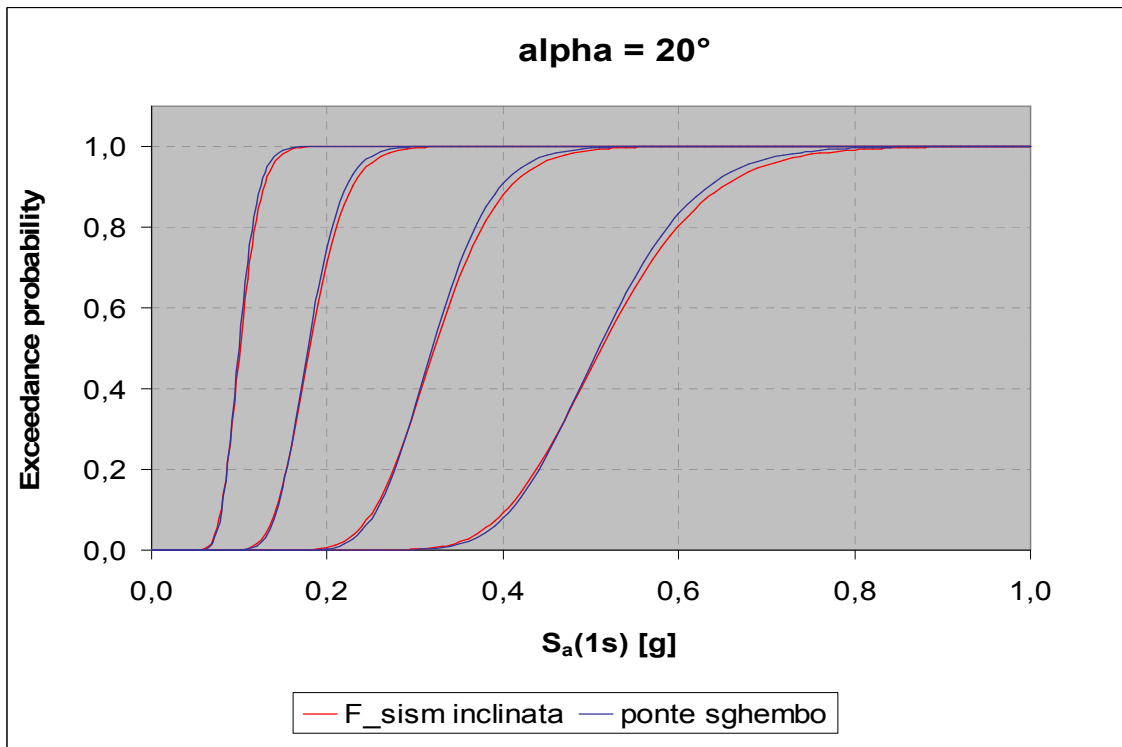


Figura 4.43 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il Metodo 2 per il modello del ponte a 4 campate per i 2 differenti casi studio, fissato l'angolo $\alpha=20^\circ$, in direzione LONGITUDINALE all'asse delle pile.

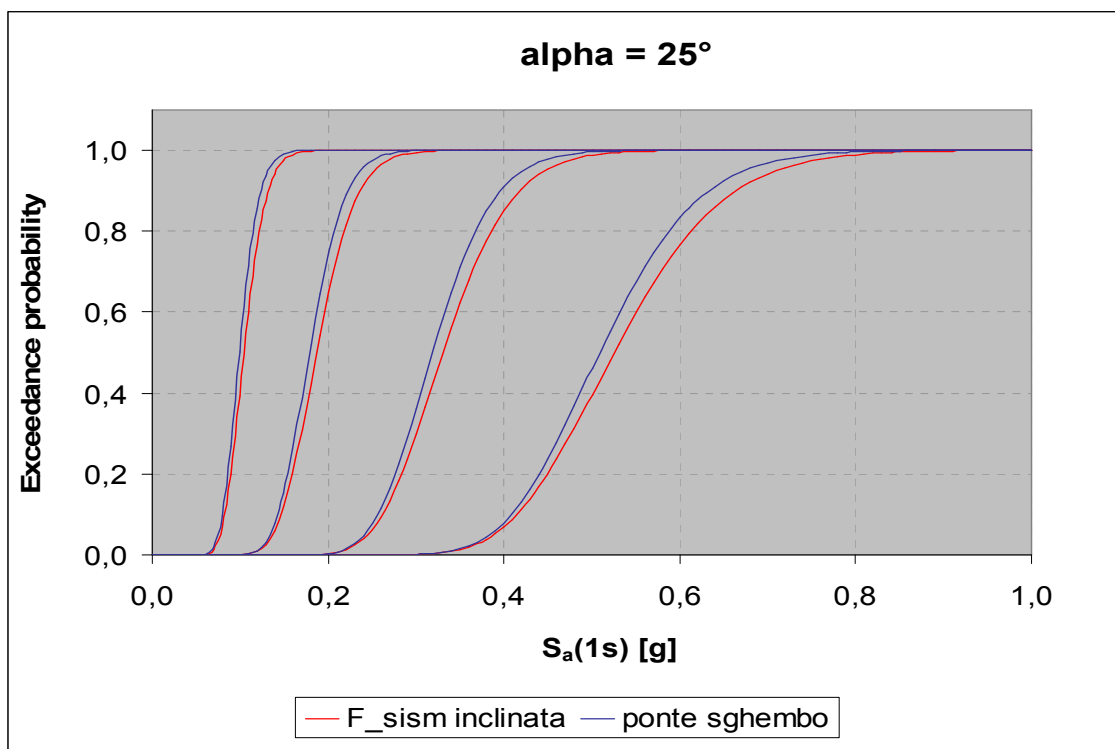


Figura 4.44 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il modello del ponte a 4 campate per i 2 differenti casi studio, fissato l'angolo $\alpha=25^\circ$, in direzione LONGITUDINALE all'asse delle pile.

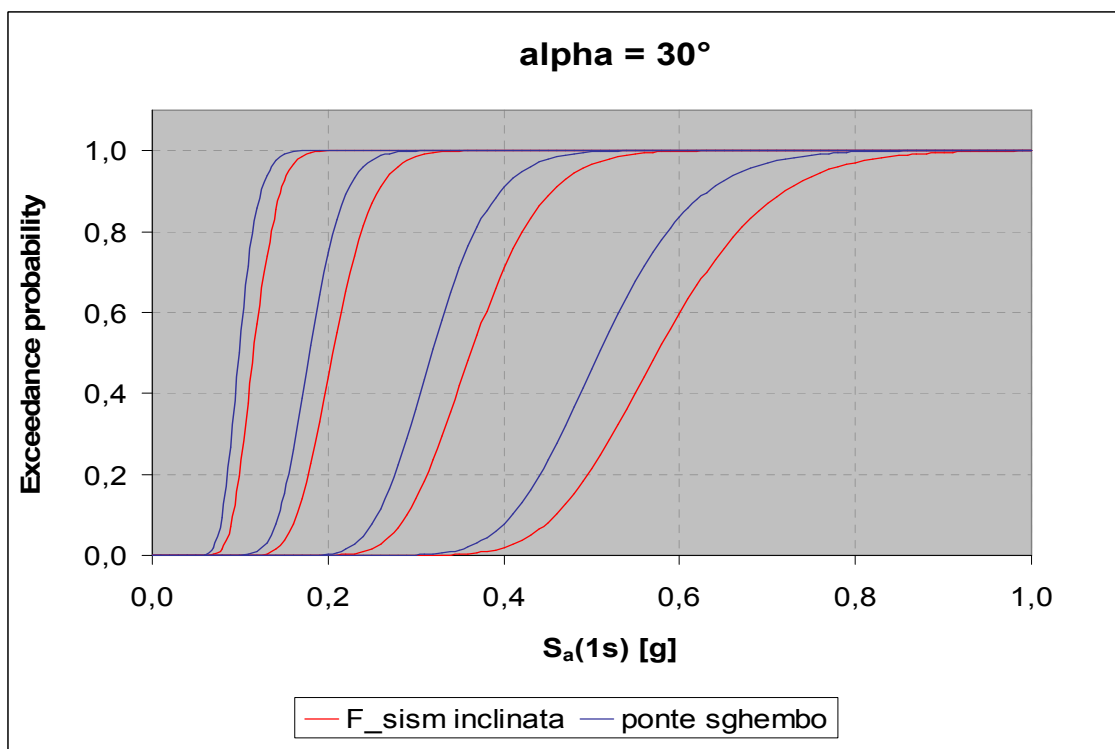


Figura 4.45 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il modello del ponte a 4 campate per i 2 differenti casi studio, fissato l'angolo $\alpha=30^\circ$, in direzione LONGITUDINALE all'asse delle pile.

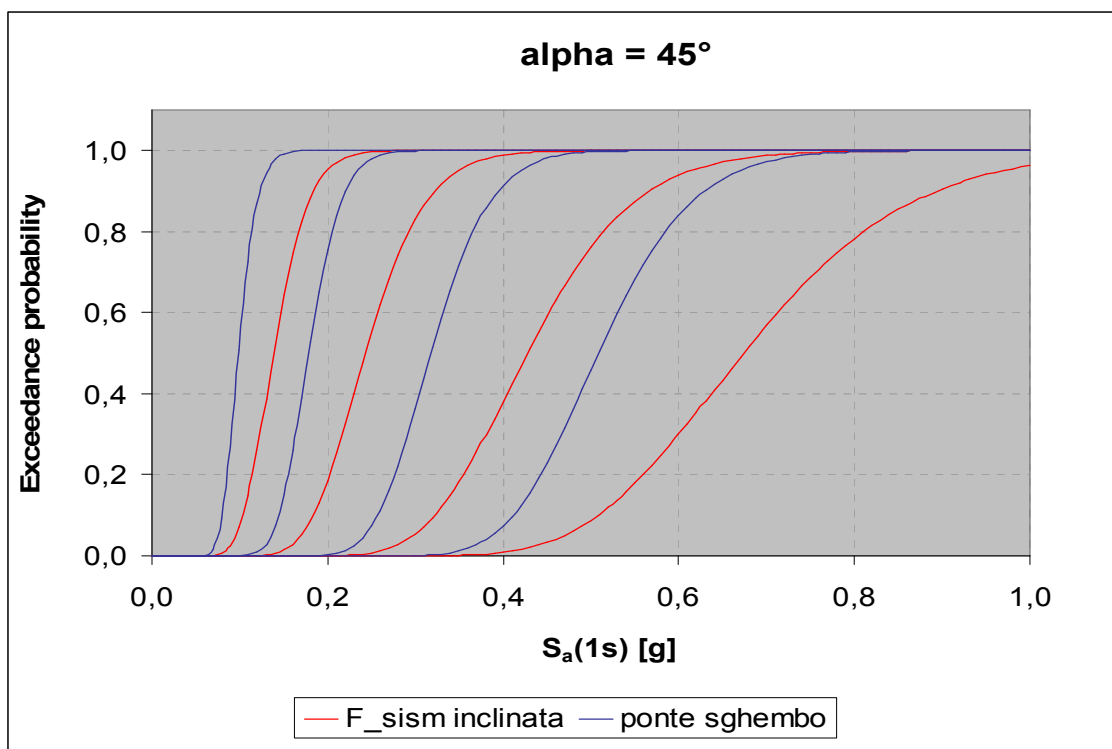


Figura 4.46 - Confronto tra le curve di fragilità ottenute con il *Metodo 2* per il modello del ponte a 4 campate per i 2 differenti casi studio, fissato l'angolo $\alpha=45^\circ$, in direzione LONGITUDINALE all'asse delle pile.

Dai due diversi casi studio analizzati, si può constatare che, per angoli α relativamente bassi (fino a 20°), le differenze associate alle curve di fragilità ottenute in direzione longitudinale all'asse delle pile, sono minime, mentre per angoli α maggiori o uguali a 25° , la differenza tra i due casi risulta via via più marcata, evidenziando una minore vulnerabilità sismica del viadotto associata al modello con forza sismica inclinata rispetto all'asse delle pile, in quanto per tali valori dell'angolo il comportamento è influenzato in maniera sempre più preponderante dall'effetto dovuto al traverso in c.a. (comportamento a telaio).

5.1 Introduzione all'analisi statistica

In questo studio si è ricorso a dei metodi statistici per poter meglio rappresentare ed elaborare i dati ottenuti dalle varie analisi dinamiche non lineari usate per la costruzione delle curve di fragilità col metodo analitico (*Metodo 2*) e quelli ottenuti dal metodo empirico *Risk-UE*. A tal proposito vengono introdotte le tecniche di *DoE* (*Design of Experiment*), attraverso l'uso delle superfici di risposta, e il metodo della regressione, ai fini di creare un modello che meglio si adatti ai dati riportati.

Un esperimento programmato è una prova o una serie di prove in cui vengono fatte variare deliberatamente le variabili di ingresso di un processo (fattori), in modo da poter osservare e identificare le corrispondenti variazioni della risposta in uscita. I metodi della programmazione degli esperimenti possono essere usati sia nello sviluppo sia nella messa a punto del processo per migliorarne le prestazioni o per ottenere un processo robusto, ovvero insensibile alle sorgenti esterne di variabilità. Gli obiettivi dell'esperimento possono comprendere:

- determinare quali variabili hanno più influenza sulla risposta;
- come aggiustare le variabili per ottimizzare la risposta;
- come aggiustare le variabili per minimizzare la variabilità della risposta.

Il metodo del *DoE*, potente strumento per il miglioramento e l'ottimizzazione del processo, è un metodo statistico attivo: si faranno in effetti una serie di prove sul processo, effettuando cambiamenti negli ingressi e osservando i corrispondenti cambiamenti nelle uscite, cosa che produce informazioni che possono condurre ad un miglioramento del processo.

Il *DoE* gioca un ruolo essenziale nelle attività di progetto, quando si sviluppano nuovi prodotti o si migliorano quelli esistenti; alcune applicazioni del *DoE* comprendono: il

confronto di configurazioni di progetto; la valutazione di alternative sui materiali; la determinazione dei parametri chiave in quanto ad influenza sulle prestazioni.

5.1.1 Metodo delle superfici di risposta

La tecnica utilizzata in questo studio è quella delle superfici di risposta: tale metodologia (*Response Surface*) è costituita da un gruppo di tecniche matematiche e statistiche utilizzate per la modellazione e l'analisi in applicazioni in cui la risposta di interesse è influenzata da un certo numero di variabili di ingresso e l'obiettivo è di ottimizzare questa risposta. Mediante la metodologia delle superfici di risposta si è in grado di comprendere come è influenzata una particolare risposta dal gruppo di variabili in ingresso, all'interno di una certa regione di interesse; la valutazione degli effetti di vari fattori sul comportamento della risposta è resa possibile dall'analisi della regressione: nell'analisi della regressione i dati, inizialmente raccolti da un esperimento, vengono successivamente utilizzati per quantificare, mediante l'utilizzo di un certo modello, la relazione tra la variabile di risposta e le variabili di ingresso.

I metodi delle superfici di risposta sono delle tecniche che vengono impiegate prima, durante e dopo che si è effettuata l'analisi della regressione sui dati: prima dell'analisi occorre pianificare l'esperimento e quindi è necessario scegliere le variabili esplicative e determinare i valori da utilizzare durante la sperimentazione; dopo l'analisi della regressione devono essere applicate le tecniche di ottimizzazione.

La metodologia delle superfici di risposta include quindi l'applicazione della regressione e di altre tecniche allo scopo di ottenere una migliore comprensione delle caratteristiche del sistema di risposta oggetto di studio.

In molti problemi, la relazione tra la risposta e le variabili indipendenti è sconosciuta. Il primo passo è quindi di trovare una funzione che approssimi localmente la vera relazione tra la risposta e le variabili indipendenti: se la risposta è ben modellata da una funzione lineare delle variabili indipendenti, allora la funzione approssimante è un modello del primo ordine, se invece è presente una curvatura nel sistema, allora deve essere utilizzato un polinomio di grado superiore, quale ad esempio un modello del secondo ordine. Ovviamente non è verosimile che modelli polinomiali come questi rappresentino un'adeguata approssimazione della reale relazione nell'intero spazio delle variabili indipendenti, ma per una regione relativamente piccola essi funzionano abbastanza bene. Il metodo dei minimi quadrati viene utilizzato per stimare i parametri nel polinomio approssimante: l'analisi della superficie di

risposta è quindi fatta in termini di superficie adattata. Se la superficie adattata è un'approssimazione adeguata della vera funzione della risposta, allora l'analisi della superficie adattata sarà approssimativamente equivalente all'analisi del sistema reale.

La strategia seguita si basa su una sperimentazione sequenziale che facilita un'efficiente ricerca dello spazio del fattore d'ingresso mediante la realizzazione di un esperimento di primo ordine al quale segue un esperimento del secondo ordine. L'analisi dell'esperimento di secondo ordine può essere eseguita approssimando la relazione della superficie di risposta con un modello di regressione del secondo ordine.

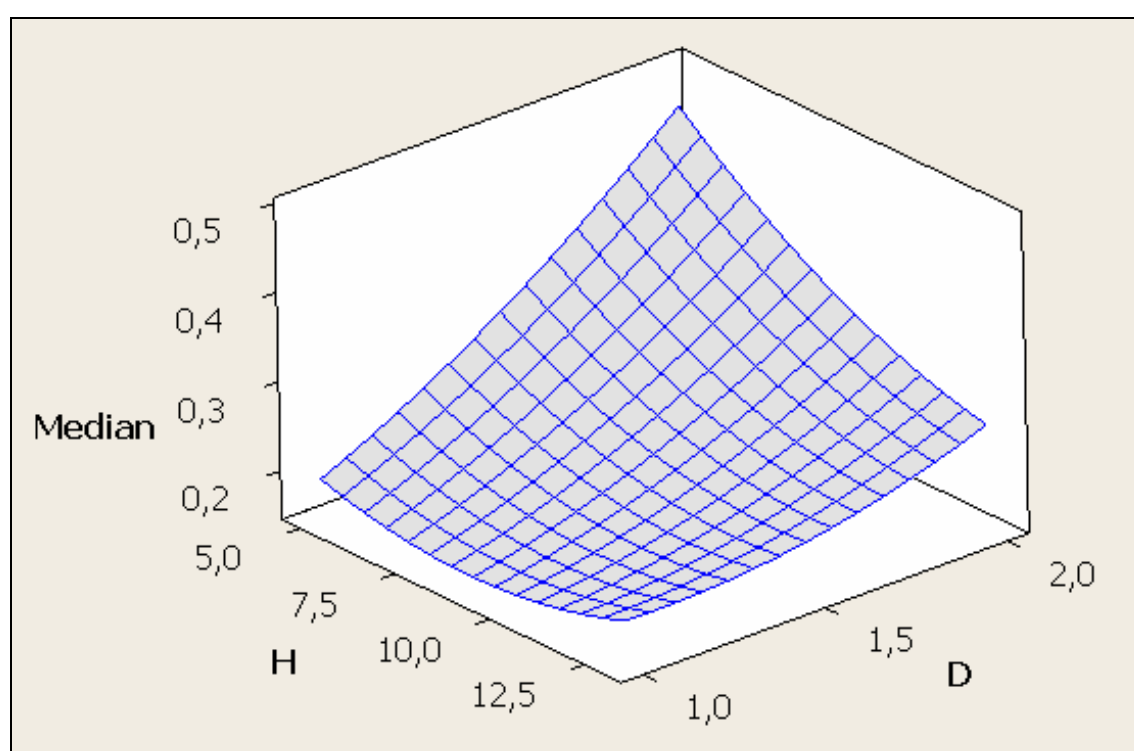


Figura 5.1 - Esempio di response surface a 2 variabili indipendenti (H e D) e sistema di risposta costituito dalla variabile $Median$, parametro caratteristico del metodo $Risk-UE$.

5.1.2 Metodo dell'analisi della regressione

Molti problemi in ingegneria e scienze coinvolgono l'esplorazione delle relazioni tra due o più variabili e la modellazione del possibile legame esistente tra queste: il modello e l'analisi di regressione rappresenta una tecnica statistica molto utile per questi tipi di problemi.

In generale, si suppone che vi sia una sola variabile dipendente o risposta y , dipendente da k variabili indipendenti (esplicative/regressori) x_1, x_2, \dots, x_k ; la variabile dipendente nell'equazione di regressione è modellata come una funzione delle variabili indipendenti più un termine d'errore: quest'ultimo è una variabile casuale e rappresenta una variazione non

controllabile e imprevedibile nella variabile dipendente. I parametri sono stimati in modo da descrivere al meglio i dati: il metodo più comunemente utilizzato per ottenere le migliori stime è il metodo dei “minimi quadrati”, ma sono utilizzati anche altri metodi.

L’analisi di regressione è utilizzata anche per capire quali specifiche variabili, tra un insieme di diverse variabili indipendenti, sono legate alla variabile dipendente e per esplorare le forme di queste relazioni; tale analisi viene molto spesso utilizzata al fine di ottenere delle previsioni. Le prestazioni dei metodi di analisi di regressione, in pratica, dipendono dalla forma del processo di generazione dei dati e come questo si relaziona all’approccio di regressione utilizzato: dal momento che la vera forma del processo di generazione dei dati non è noto, l’analisi di regressione dipende in qualche misura dal fare assunzioni su questo processo.

Il data modeling può essere usato senza alcuna conoscenza dei processi sottostanti che hanno generato i dati; in questo caso il modello è un modello empirico. Inoltre, nella modellazione, non è richiesta la conoscenza della distribuzione di probabilità degli errori. L’analisi della regressione richiede ipotesi riguardanti la distribuzione di probabilità degli errori: test statistici vengono effettuati sulla base di tali ipotesi. Nell’analisi della regressione il termine “modello” comprende sia la funzione usata per modellare i dati che le assunzioni concernenti la distribuzione di probabilità.

L’analisi della regressione, come già detto, può essere usata per effettuare previsioni (ad esempio per prevedere dati futuri di una serie temporale), inferenza statistica, per testare ipotesi o per modellare delle relazioni di dipendenza; inoltre il modello di regressione può essere applicato anche come analisi aggiuntiva a quella ANOVA (*analysis of variance*) a dataset provenienti da esperimenti programmati. Questi usi della regressione dipendono fortemente dal fatto che le assunzioni di partenza siano verificate.

Le assunzioni classiche per l’analisi di regressione sono:

- il campione deve essere rappresentativo della popolazione verso la quale si vuol fare inferenza;
- l’errore è assunto essere una variabile casuale con media condizionata alle variabili esplicative pari a zero;
- le variabili indipendenti sono prive di errore (deterministiche); se così non fosse, la modellazione deve prendere in considerazione le tecniche per i modelli con errori nelle variabili;

- le variabili predittive devono essere linearmente indipendenti, ossia non deve essere possibile esprimere un qualunque predittore come combinazione lineare degli altri (multicollinearità);
- gli errori sono incorrelati, cioè la matrice di varianze/covarianze degli errori è diagonale e ogni elemento non nullo è la varianza dell'errore;
- la varianza dell'errore è costante rispetto alle osservazioni (omoschedasticità); se così non fosse, si dovrebbero utilizzare la tecnica dei minimi quadrati pesati o altri metodi idonei a queste condizioni;
- gli errori seguono una distribuzione normale; in caso contrario dovrebbe essere usato il modello lineare generalizzato.

Queste condizioni sono sufficienti (ma non tutte necessarie) perché lo stimatore dei minimi quadrati goda di buone proprietà; in particolare queste assunzioni implicano che lo stimatore sia non distorto, consistente ed efficiente nella classe degli stimatori lineari non distorti. Molte di queste assunzioni possono essere rilassate in analisi più avanzate.

Una volta costruito un modello di regressione, è importante confermare la bontà di adattamento del modello e la significatività statistica dei parametri stimati. I controlli della bontà di adattamento comunemente usati includono l'indice *R-quadro*, analisi dei residui e test di ipotesi. La significatività statistica è verificata con un *test F* dell'adattamento globale, seguito da *t-test* per ogni singolo parametro.

L'interpretazione di questi test dipende fortemente dalle assunzioni sul modello; nonostante l'analisi dei residui sia usata per determinare la bontà di un modello, i risultati dei *test-t* e dei *test-F* sono difficili da interpretare nel caso in cui le assunzioni di partenza non siano soddisfatte. Ad esempio, se la distribuzione degli errori non è normale, può accadere che in campioni di numerosità ridotta le stime dei parametri non seguano una distribuzione normale, cosa che complica l'inferenza. Per grandi campioni, il teorema del limite centrale permette di effettuare i test usando un'approssimazione asintotica delle distribuzioni.

La regressione polinomiale è una forma di regressione lineare in cui la relazione tra la variabile indipendente x_i e la variabile dipendente y viene modellata da un polinomio; tale regressione adatta una relazione non lineare tra il valore di x e la corrispondente media condizionata di y , indicata con $E(y|x)$. Anche se la regressione polinomiale adatta ai dati un modello non lineare, il problema di stima statistica è lineare, nel senso che la funzione di

regressione $E(y|x)$ è lineare nei parametri ignoti che sono stimati dai dati, quindi tale regressione è considerata un caso particolare di regressione lineare multipla.

I modelli di regressione assumono le forme seguenti:

- modello semplice:	lineare	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n$
- modello quadratico:		$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \beta_2 \cdot x_i^2 + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n$
- modello cubico:		$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \beta_2 \cdot x_i^2 + \beta_3 \cdot x_i^3 + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n$
- modello di ordine p :	polinomiale	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_i + \beta_2 \cdot x_i^2 + \dots + \beta_p \cdot x_i^p + \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, n$

Un modello spesso usato è il modello di regressione lineare multipla con due variabili indipendenti: $y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \varepsilon$ con $\varepsilon_i \approx IID(0, \sigma^2)$.

Il modello descrive un piano nello spazio tridimensionale (y, x_1, x_2) . In generale, quando la variabile di risposta y può essere legata a k variabili esplicative, è possibile specificare il seguente modello lineare: $y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_k \cdot x_k + \varepsilon$.

Questo approccio può essere applicato a dati provenienti sia da studi osservazionali sia sperimentali (dopo l'analisi *ANOVA*, se uno o più fattori sono di tipo numerico).

Il metodo dei minimi quadrati produce uno stimatore $\hat{\beta}$ del parametro β del modello di regressione lineare che è *BLUE* (Best Linear Unbiased Estimator), ovvero è non distorto e ottimale nella classe degli stimatori lineari; lo stimatore è inoltre consistente, ossia converge asintoticamente in probabilità al valore vero. Le proprietà della varianza di $\hat{\beta}$ viene espressa dalla matrice varianze-covarianze, che è una matrice simmetrica, il cui i -esimo elemento nella diagonale principale è la varianza dello stimatore del coefficiente di regressione individuale $\hat{\beta}_i$ e il cui elemento ij -esimo è la covarianza tra $\hat{\beta}_i$ e $\hat{\beta}_j$.

La multicollinearità è un fenomeno che si può verificare in presenza di alta correlazione tra due o più variabili indipendenti: questo significa che alcune variabili contribuiscono con delle informazioni ridondanti al modello di regressione multipla.

L'inclusione di due variabili indipendenti strettamente correlate può influenzare negativamente i risultati della regressione e portare a stime dei parametri instabili (errori standard elevati e conseguenti bassi valori osservati dei *t-test*), tanto che i segni dei parametri potrebbero anche non corrispondere alle aspettative iniziali.

Sotto l'assunzione che gli errori del modello siano $\varepsilon_t \sim IIN(0, \sigma^2)$, cioè indipendenti e distribuiti normalmente, con valore atteso zero e varianza costante, è possibile sviluppare delle procedure di verifica di ipotesi sulla significatività dei parametri del modello. Una prima verifica di ipotesi (di tipo globale), mira a determinare se vi sono relazioni lineari tra la variabile di risposta Y ed almeno uno dei regressori:

$$\begin{cases} H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0 \\ H_1 : \beta_j \neq 0 \text{ per almeno un } j \end{cases}$$

Il rifiuto di H_0 implica che almeno uno dei regressori contribuisce al modello, si tratta perciò di una procedura sulla significatività dell'intero modello di regressione. La statistica test utilizzata si sviluppa dalla usuale scomposizione della somma dei quadrati: $SS_T = SS_R + SS_E$, dove la somma dei quadrati totali SS_T , dovuta alla regressione SS_R e all'errore SS_E sono:

$$SS_T = y' y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n} \quad SS_E = y' y - \hat{\beta}' X' y \quad SS_R = \hat{\beta}' X' y - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}$$

Sotto l'ipotesi nulla $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$, la statistica test di interesse è di tipo F :

$$F_0 = \frac{SS_R / k}{SS_E / (n - k - 1)} = \frac{MS_R}{MS_E}$$

L'ipotesi nulla dovrà essere rifiutata se $F_{OSS} > F_{\alpha; k, n-k-1}$.

Il p -value, usualmente riportato nella tabella *ANOVA* della regressione, rappresenta un metodo alternativo ed equivalente per la verifica di ipotesi.

Dalla scomposizione della somma dei quadrati, si può calcolare l'indice di determinazione

$$R^2: R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T}, \text{ che è una misura della parte della variabilità di } y \text{ spiegata dal}$$

modello; un basso/elevato valore di R^2 non implica necessariamente però che il modello di regressione sia cattivo/buono.

Dato che l'indice R^2 aumenta monotonamente aggiungendo nuovi termini al modello, si preferisce utilizzarlo nella versione di R^2_{adj} aggiustato:

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{SS_E / (n - p)}{SS_T / (n - 1)} = 1 - \left(\frac{n - 1}{n - p}\right)(1 - R^2).$$

L'indice R^2_{adj} non aumenta necessariamente quando si aggiungono variabili nel modello, ma se si aggiungono termini superflui il valore decresce. Spesso si è interessati a determinare l'utilità individuale di ciascuna delle variabili indipendenti nel modello di regressione: si deve

decidere cioè se l'incremento nella somma dei quadrati della regressione è sufficiente a giustificare l'uso di una variabile aggiuntiva nel modello.

Le ipotesi per valutare la significatività di un singolo coefficiente di regressione sono $H_0 : \beta_j = 0$ contro $H_1 : \beta_j \neq 0$.

Una statistica test (di tipo *t di Student*) appropriata a testare questa ipotesi è: $t_0 = \frac{\hat{\beta}_j}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}}}$,

dove il denominatore è spesso chiamato errore standard, mentre C_{jj} è l'elemento in posizione *jj* della matrice. La maggior parte dei software di calcolo della regressione fornisce il *test-t* per ogni parametro del modello; in alternativa, mediante un *test-F* si può esaminare il contributo alla somma dei quadrati della regressione di una particolare variabile (posto che le altre variabili siano incluse nel modello): si tratta del metodo della somma dei quadrati aggiuntivi, utile anche a verificare se un dato sottoinsieme delle variabili contribuisce significativamente al modello.

Uno degli aspetti più delicati della regressione lineare multipla è la selezione delle variabili esplicative al fine di ottenere un modello finale soddisfacente; infatti la stima di un modello iniziale, che include tutti i k possibili regressori, produrrà quasi certamente un risultato in cui alcuni regressori avranno un *p-value* significativo mentre altri non l'avranno. Si pone quindi la questione della corretta/opportuna selezione del sottoinsieme dei regressori.

In questo ambito non esiste un algoritmo ottimale che consente in tutte le condizioni di ottenere un modello finale "ottimo"; ci si può affidare al algoritmi alternativi, tenendo presente che questi non necessariamente produrranno lo stesso risultato. Gli algoritmi più utilizzati per la selezione delle variabili esplicative nel modello di regressione lineare multipla si dividono in due categorie: *step-wise* e *best sub-set*: in questo studio si farà affidamento all'algoritmo *step-wise*. Tali algoritmi funzionano a passi, secondo una delle tre modalità:

- *forward stepwise selection*: inizia con il modello vuoto e aggiunge regressori in modo sequenziale;
- *backward stepwise selection*: inizia con il modello completo e toglie regressori in modo sequenziale;
- *stepwise selection*: combinazione di selezione forward e backward.

Le analisi diagnostiche del modello di regressione sono delle tecniche che riguardano l'adeguatezza del modello stesso e che si applicano usualmente a quello che si considera il modello stimato finale: l'analisi grafica dei residui fa parte di queste procedure. Alcuni autori

suggeriscono di analizzare non i residui ordinari quanto una loro forma modificata, suggerendo che questi forniscono più informazioni; un tipo di questi residui è detto residui standardizzati: $d_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma}}$, $i = 1, \dots, n$, caratterizzati da media zero e varianza unitaria, che tornano utili nella ricerca degli outlier o valori anomali. Il processo di standardizzazione trasforma la scala dei residui, in quanto li divide per la loro deviazione media approssimata.

I grafici sulla diagnostica dei residui (normal probability plot of the residuals, residuals versus the fitted values, histogram of the residuals, residuals versus the order of the data) sono utili ad evidenziare delle problematiche in merito all'assunzione di normalità e di omoschedasticità degli errori.

Quando si considera l'applicazione di un modello lineare, se l'assunto della linearità viene a cadere anche approssimativamente, a volte è possibile trasformare nel modello di regressione sia le variabili indipendenti sia quella dipendente al fine di migliorarne la linearità. Un'altra assunzione della regressione lineare è che la variabile dipendente dovrebbe variare almeno approssimativamente secondo una legge normale intorno al suo valore atteso, con la stessa varianza per ogni possibile valore atteso: questa proprietà è nota come omoschedasticità.

Sebbene la normalità non sia necessaria per ottenere le stime appropriate ai minimi quadrati dei parametri di regressione, gli intervalli di confidenza e i test di ipotesi avranno le proprietà statistiche desiderate solo se la media condizionata rispetto alle variabili esplicative della variabile dipendente sarà almeno approssimativamente normale e con varianza costante.

La regressione non lineare invece è una forma di regressione in cui i dati osservati sono modellati da una funzione che è una combinazione lineare dei parametri del modello e dipende da una o più variabili indipendenti; i parametri vengono stimati con algoritmi numerici basati su approssimazioni iterative.

A volte i modelli non lineari possono essere linearizzati mediante trasformazioni opportune. Il processo di stima per un modello non lineare, ma linearizzabile non richiede alcuna ottimizzazione iterata; tuttavia, l'utilizzo di una trasformazione lineare richiede cautela. Un utile modello genuinamente non lineare è il cosiddetto modello logistico a due o

tre parametri: $Y_i = \frac{\gamma}{1 + \alpha \cdot e^{-\beta X_i}} + \varepsilon_i$.

5.2 Modello a 3 parametri: H, D, L

Il modello nasce dall'esigenza di voler ottenere delle curve di fragilità di applicazione immediata e con risultati ottenibili in pochi passaggi: a tal proposito, si è cercato di introdurre in questo modello, come parametri significativi o variabili indipendenti, l'altezza della pila H , il diametro della pila D e la lunghezza della campata L , oltre ai due parametri caratteristici del metodo stesso (la mediana e la deviazione standard), che saranno considerati come variabili di risposta del modello; si tratta di parametri di carattere geometrico, in maniera tale che, all'interno della categoria dei ponti multi-campata costituiti da campate in semplice appoggio, variando la geometria, il modello dia comunque un risultato immediato e attendibile.

I vantaggi nell'utilizzare questo metodo deriva dal fatto che, per costruire le curve di fragilità di un ponte specifico, è sufficiente un limitato numero di dati, senza dover ricorrere a complesse analisi strutturali e la costruzione dei relativi modelli numerici; inoltre, considerando anche la geometria del manufatto, si possono studiare svariati casi ottenendo risultati via via differenti, cosa che con il metodo *Risk-UE* tradizionale non è possibile.

5.2.1 Acquisizione dei dati

Al fine di ottenere i dati da elaborare per costruire il modello, si è intervenuto sui parametri base del metodo *Risk-UE* attraverso dei coefficienti correttivi, ossia si è fatto in modo di poter sovrapporre, con il minimo errore, le curve ottenute col metodo empirico con le curve di fragilità ottenute col Metodo 2 analitico, per ognuno dei quattro livelli di danno, per le due direzioni in cui agisce il sisma e per ogni caso geometrico analizzato, ossia facendo variare i parametri geometrici presi come variabili indipendenti del modello. Per capire meglio come si è ottenuto il dataset, si riporta una figura a titolo d'esempio: facendo variare il valore della mediana e della deviazione standard, la curva rappresentata in magenta (*Risk-UE* modif.) traslerà in avanti/indietro e cambierà la sua pendenza fino a coincidere con quella più precisa ottenuta col metodo analitico.

I parametri base previsti dal metodo *Risk-UE* su cui si è andato ad intervenire e modificare, considerando un numero di campate pari a 4 ($N = 4$), sono:

DANNO	Minor (PL1)	Moderate (PL2)	Extensive (PL3)	Complete (PL4)
MEDIANA	0,25	0,3792	0,4875	0,7583

La deviazione standard prevista dal metodo *Risk-UE* viene assunta pari a: $\beta_c = 0,6$ per qualunque situazione, come proposto da *Mander*, per incorporare tutti gli aspetti di incertezza e casualità della capacità e della richiesta.

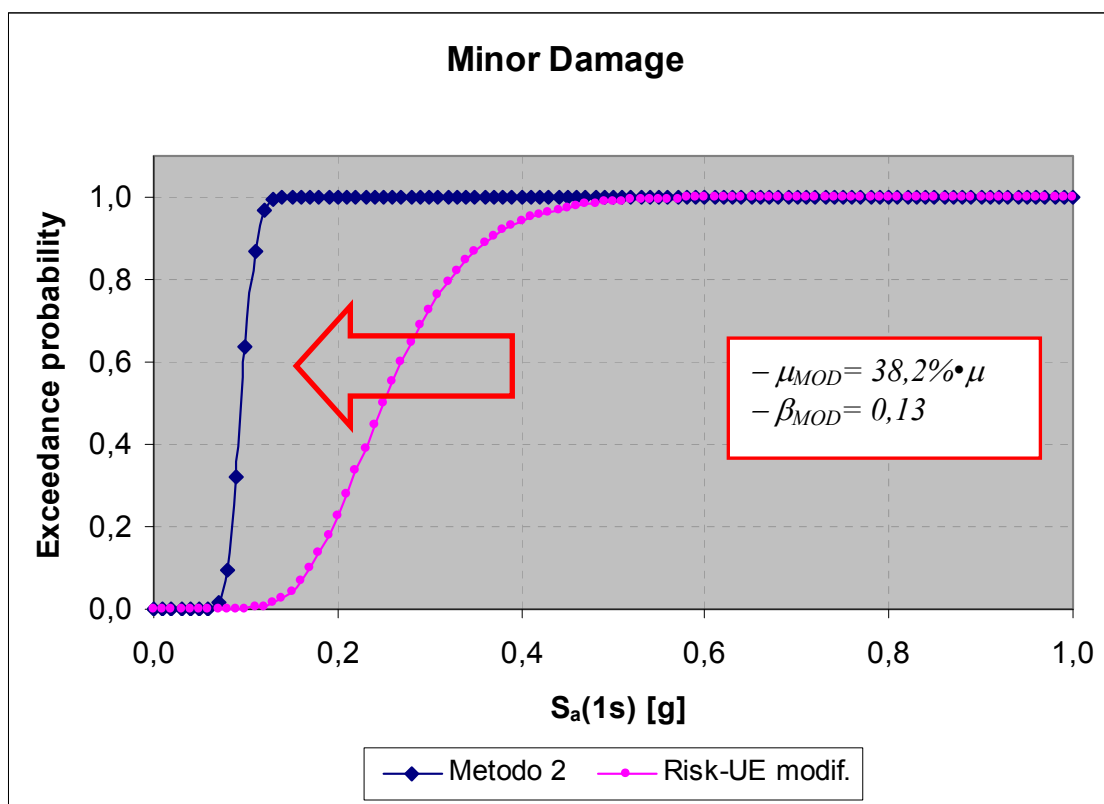


Figura 5.2 - Esempio di adattamento di una curva ottenuta col metodo *Risk-UE* con la corrispettiva ottenuta col *Metodo 2*, andando ad intervenire sui parametri caratteristici del metodo empirico (μ , β_c).

Dopo aver sovrapposto le varie curve empiriche a quelle analitiche, intervenendo come visto in precedenza, si riassumono i risultati in varie tabelle (una per ogni livello di danno e direzione di applicazione del sisma, ossia longitudinale e trasversale al sistema pila), elencando i vari casi: variazione dell'altezza della pila, variazione del diametro della pila, variazione della lunghezza della campata, variazione simultanea di due variabili ed infine variazione simultanea di tutte e tre le variabili considerate. Al fine di non andare ad influenzare negativamente il modello che si andrà ad ottenere, si è deciso di eliminare dal dataset i casi "geometricamente improbabili", ossia quelli con rapporto $H/D > 7,5$ e $L/D > 20$.

Si riporta la tabella riassuntiva relativa al livello di danno 1 (*PLI*) e direzione del sisma longitudinale (per tutte le altre tabelle si rimanda all'*Allegato 2*); nelle colonne dei predittori si sono elencati tutti i termini che entreranno nel modello, compresi quelli quadratici, andando

poi ad eliminare dallo stesso, quelli statisticamente non significativi o ininfluenti, sulla base dei statistica test effettuati.

PL1_LONGITUDINALE											
RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X_i)									
	μ	β_c	H [m]	D [m]	L [m]	H ² [m ²]	D ² [m ²]	L ² [m ²]	HD [m ²]	HL [m ²]	DL [m ²]
1	0,1295	0,15	5	1,50	25	25	2,25	625	7,50	125	37,50
	0,1023	0,16	7	1,50	25	49	2,25	625	10,50	175	37,50
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1005	0,13	11	1,50	25	121	2,25	625	16,50	275	37,50
2	0,0918	0,11	9	1,25	25	81	1,56	625	11,25	225	31,25
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1135	0,17	9	1,75	25	81	3,06	625	15,75	225	43,75
	0,1405	0,21	9	2,00	25	81	4,00	625	18,00	225	50,00
3	0,1288	0,17	9	1,50	15	81	2,25	225	13,50	135	22,50
	0,1078	0,14	9	1,50	20	81	2,25	400	13,50	180	30,00
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,0900	0,12	9	1,50	30	81	2,25	900	13,50	270	45,00
4	0,0845	0,10	7	1,25	25	49	1,56	625	8,75	175	31,25
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1073	0,15	11	1,75	25	121	3,06	625	19,25	275	43,75
	0,1185	0,16	13	2,00	25	169	4,00	625	26,00	325	50,00
5	0,0965	0,11	9	1,25	20	81	1,56	400	11,25	180	25,00
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,0983	0,16	9	1,75	30	81	3,06	900	15,75	270	52,50
	0,1093	0,17	9	2,00	35	81	4,00	1225	18,00	315	70,00
6	0,1770	0,24	5	1,50	15	25	2,25	225	7,50	75	22,50
	0,1250	0,17	7	1,50	20	49	2,25	400	10,50	140	30,00
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,0990	0,12	11	1,50	30	121	2,25	900	16,50	330	45,00
7	0,1030	0,11	5	1,00	15	25	1,00	225	5,00	75	15,00
	0,0933	0,12	7	1,25	20	49	1,56	400	8,75	140	25,00
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,0990	0,14	11	1,75	30	121	3,06	900	19,25	330	52,50
	0,1083	0,14	13	2,00	35	169	4,00	1225	26,00	455	70,00

5.2.2 Creazione modello

Una volta ordinati e filtrati i dati, si procede “lanciando” un’analisi statistica attraverso le superfici di risposta, scegliendo come opzione il modello “*FULL QUADRATIC*”, ossia come

termini della regressione vengono considerati, oltre ai tre fattori base H , D , L , anche i termini quadratici dati dal quadrato dei fattori stessi e dal prodotto tra di essi (H^2 , D^2 , L^2 , HD , HL , DL).

Il software utilizzato dà come output i due grafici relativi alle due variabili di risposta considerate, cioè la mediana μ e la deviazione standard β_c del metodo *Risk-UE*, come riportato in seguito per un solo caso specifico; in seguito si analizza la tabella della varianza (*ANOVA table*): questa è importante per valutare, attraverso la colonna dei p -value, quali termini sono significativi per la regressione, fissato $\alpha = 5\%$ (livello di significatività), e quindi da includere nel modello ($p\text{-value} \leq 0,05$). È da tener presente che la costante della regressione, anche se l'indicatore del p -value la discrimina come non significativa, non va mai tolta dal modello. Per concludere questa prima fase, si tracciano i grafici di risposta, prendendo i fattori a coppie, oltre ai grafici dei residui, e si valuta il coefficiente di bontà di adattamento R^2_{adj} per capire l'attendibilità del modello appena creato.

Response Surface Regression: Median versus H; D; L

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Median

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,092902	0,009819	9,462	0,000
H	-0,008859	0,001426	-6,214	0,000
D	0,132588	0,015213	8,716	0,000
L	-0,005267	0,000569	-9,256	0,000
H*H	0,001901	0,000122	15,601	0,000
D*D	0,086743	0,008181	10,603	0,000
L*L	0,000132	0,000019	6,773	0,000
H*D	-0,024817	0,001529	-16,227	0,000
H*L	0,000455	0,000052	8,757	0,000
D*L	-0,004908	0,000612	-8,024	0,000

S = 0,00167687 PRESS = 0,000228752
R-Sq = 99,47% R-Sq(pred) = 97,72% R-Sq(adj) = 99,22%

Analysis of Variance for Median

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0,009988	0,009988	0,001110	394,66	0,000
Linear	3	0,007541	0,000474	0,000158	56,18	0,000
H	1	0,000824	0,000109	0,000109	38,61	0,000
D	1	0,003616	0,000214	0,000214	75,96	0,000
L	1	0,003101	0,000241	0,000241	85,68	0,000
Square	3	0,001112	0,001014	0,000338	120,23	0,000
H*H	1	0,000601	0,000684	0,000684	243,40	0,000
D*D	1	0,000229	0,000316	0,000316	112,41	0,000
L*L	1	0,000283	0,000129	0,000129	45,87	0,000

Interaction	3	0,001334	0,001334	0,000445	158,20	0,000
H*D	1	0,000980	0,000740	0,000740	263,31	0,000
H*L	1	0,000174	0,000216	0,000216	76,69	0,000
D*L	1	0,000181	0,000181	0,000181	64,38	0,000
Residual Error	19	0,000053	0,000053	0,000003		
Lack-of-Fit	13	0,000053	0,000053	0,000004		*
Pure Error	6	0,000000	0,000000	0,000000		
Total	28	0,010041				

Response Surface Regression: Dev Std versus H; D; L

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Dev Std

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,030497	0,036766	-0,829	0,417
H	-0,001306	0,005339	-0,245	0,809
D	0,289788	0,056963	5,087	0,000
L	-0,007291	0,002131	-3,422	0,003
H*H	0,000442	0,000456	0,968	0,345
D*D	0,073066	0,030634	2,385	0,028
L*L	0,000129	0,000073	1,770	0,093
H*D	-0,023246	0,005727	-4,059	0,001
H*L	0,000923	0,000195	4,742	0,000
D*L	-0,006753	0,002291	-2,948	0,008

S = 0,00627888 PRESS = 0,00426802
 R-Sq = 97,10% R-Sq(pred) = 83,49% R-Sq(adj) = 95,73%

Analysis of Variance for Dev Std

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0,025106	0,025106	0,002790	70,76	0,000
Linear	3	0,022131	0,001211	0,000404	10,24	0,000
H	1	0,000544	0,000002	0,000002	0,06	0,809
D	1	0,016551	0,001020	0,001020	25,88	0,000
L	1	0,005036	0,000462	0,000462	11,71	0,003
Square	3	0,001037	0,000321	0,000107	2,71	0,074
H*H	1	0,000009	0,000037	0,000037	0,94	0,345
D*D	1	0,000521	0,000224	0,000224	5,69	0,028
L*L	1	0,000508	0,000124	0,000124	3,13	0,093
Interaction	3	0,001938	0,001938	0,000646	16,39	0,000
H*D	1	0,000824	0,000650	0,000650	16,48	0,001
H*L	1	0,000772	0,000887	0,000887	22,49	0,000
D*L	1	0,000343	0,000343	0,000343	8,69	0,008
Residual Error	19	0,000749	0,000749	0,000039		
Lack-of-Fit	13	0,000749	0,000749	0,000058		*
Pure Error	6	0,000000	0,000000	0,000000		
Total	28	0,025855				

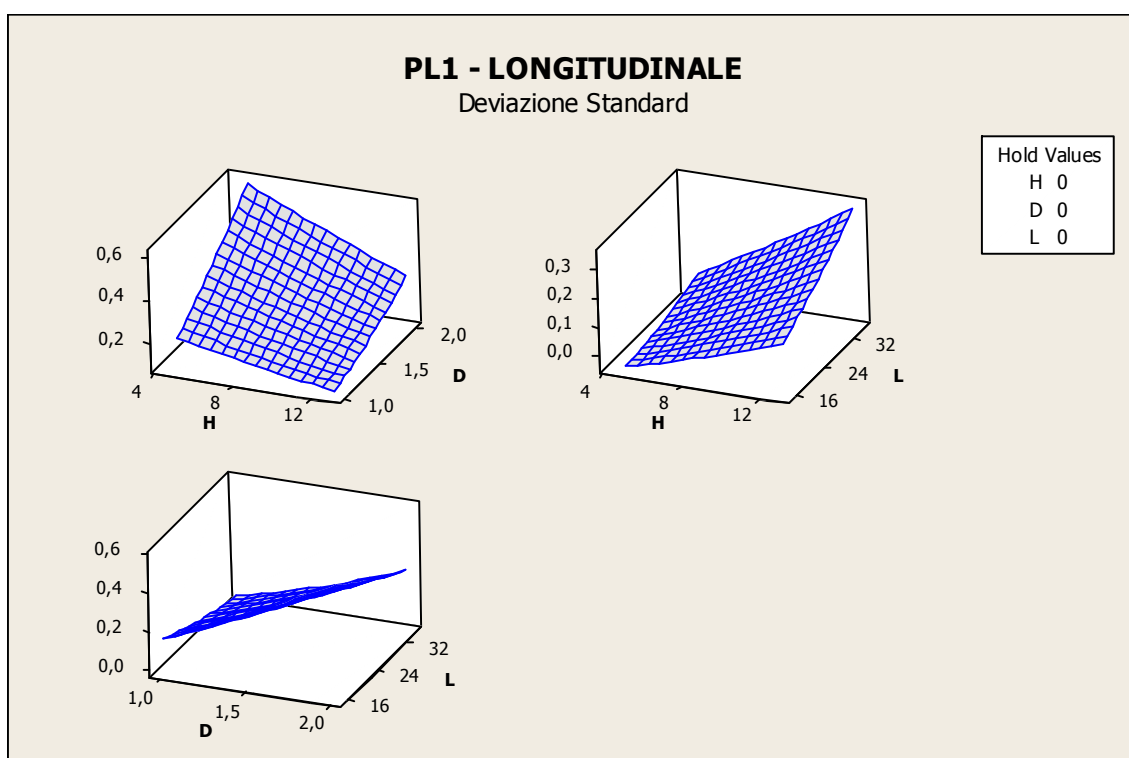
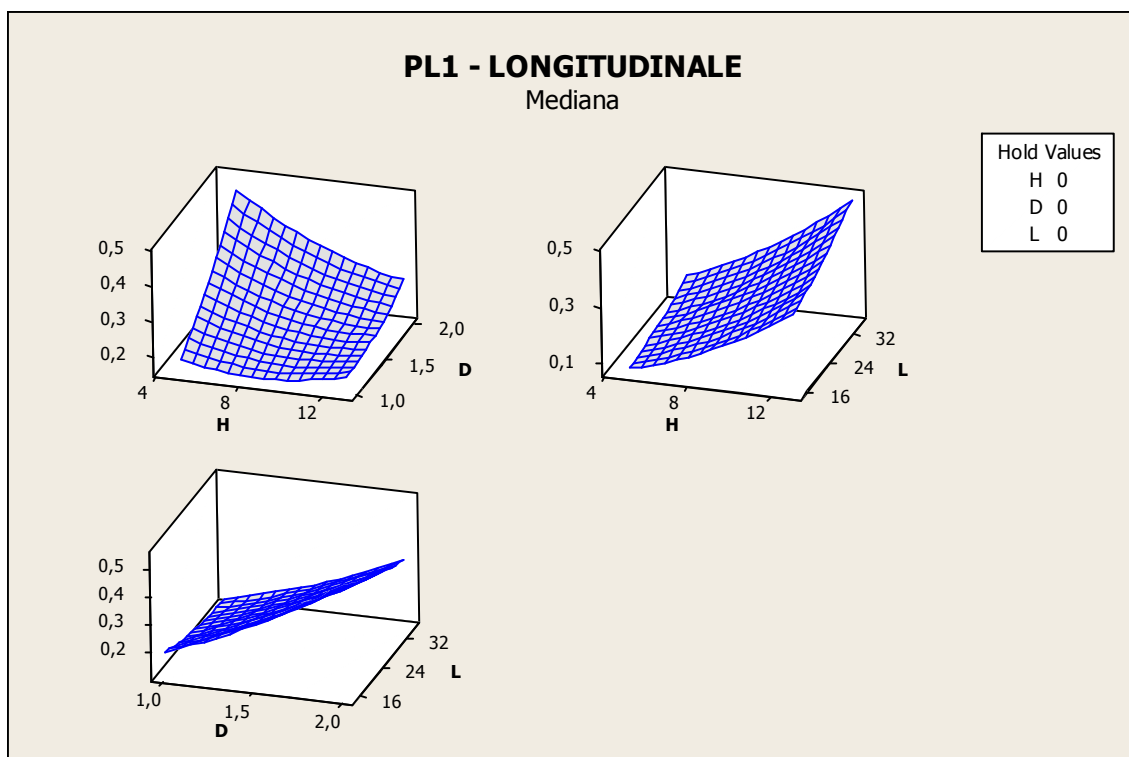


Figura 5.3 - Superfici di risposta relative alle due variabili di risposta (μ e β_c).

Giunti a questo punto, per ottimizzare il modello, si individuano i termini non significativi, fissato un livello di significatività pari al 5%, e si escludono dallo stesso; quindi si lancia un'analisi di regressione: dall'analisi della varianza di tale regressione dovrebbe risultare,

come è lecito aspettarsi, che tutti i termini inclusi nel modello siano significativi e che il coefficiente di bontà di adattamento R^2_{adj} sia per lo meno uguale al precedente o migliorativo. Infine si riassumono i risultati ottenuti riportando l'equazione della regressione, ossia il modello appena creato, e i grafici dei residui, fondamentali in quanto contengono indicazioni sulla veridicità del modello e sono utili per valutare se sono state rispettate le ipotesi base di normalità, omoschedasticità e indipendenza viste in precedenza.

Regression Analysis: Median versus H; D; L; H^2; D^2; L^2; H*D; H*L; D*L

The regression equation is

$$\text{Median} = 0,0929 - 0,00886 H + 0,133 D - 0,00527 L + 0,00190 H^2 + 0,0867 D^2 + 0,000132 L^2 - 0,0248 H^*D + 0,000455 H^*L - 0,00491 D^*L$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,092902	0,009819	9,46	0,000
H	-0,008859	0,001426	-6,21	0,000
D	0,13259	0,01521	8,72	0,000
L	-0,0052669	0,0005690	-9,26	0,000
H^2	0,0019010	0,0001219	15,60	0,000
D^2	0,086743	0,008181	10,60	0,000
L^2	0,00013205	0,00001950	6,77	0,000
H*D	-0,024817	0,001529	-16,23	0,000
H*L	0,00045533	0,00005199	8,76	0,000
D*L	-0,0049085	0,0006117	-8,02	0,000

$$S = 0,00167687 \quad R\text{-Sq} = 99,5\% \quad R\text{-Sq}(adj) = 99,2\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	9	0,0099878	0,0011098	394,66	0,000
Residual Error	19	0,0000534	0,0000028		
Total	28	0,0100412			

Regression Analysis: Dev Std versus D; L; D^2; H*D; H*L; D*L

The regression equation is

$$\text{Dev Std} = -0,0290 + 0,277 D - 0,00698 L + 0,0594 D^2 - 0,0228 H^*D + 0,00115 H^*L - 0,00436 D^*L$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,02897	0,03819	-0,76	0,456
D	0,27671	0,05445	5,08	0,000
L	-0,006977	0,002121	-3,29	0,003
D^2	0,05942	0,02783	2,13	0,044
H*D	-0,022808	0,002540	-8,98	0,000
H*L	0,0011540	0,0001633	7,07	0,000
D*L	-0,004358	0,001535	-2,84	0,010

$$S = 0,00652360 \quad R\text{-Sq} = 96,4\% \quad R\text{-Sq}(adj) = 95,4\%$$

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	0,0249189	0,0041532	97,59	0,000
Residual Error	22	0,0009363	0,0000426		
Total	28	0,0258552			

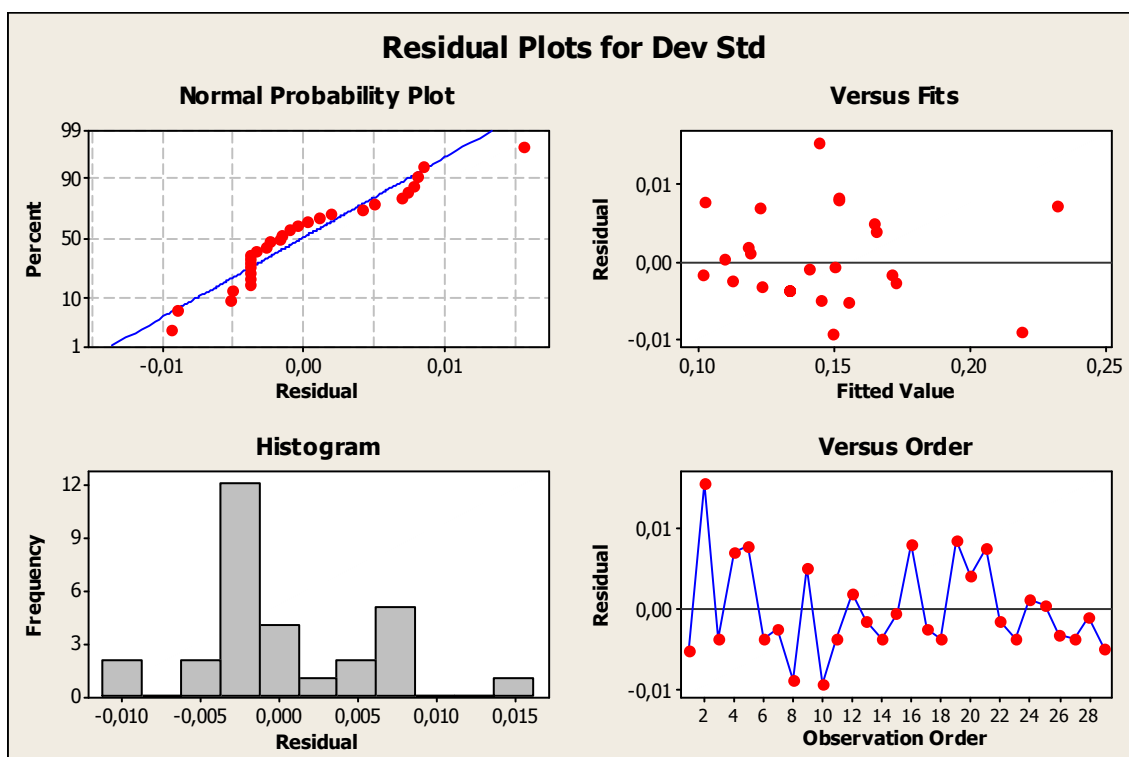
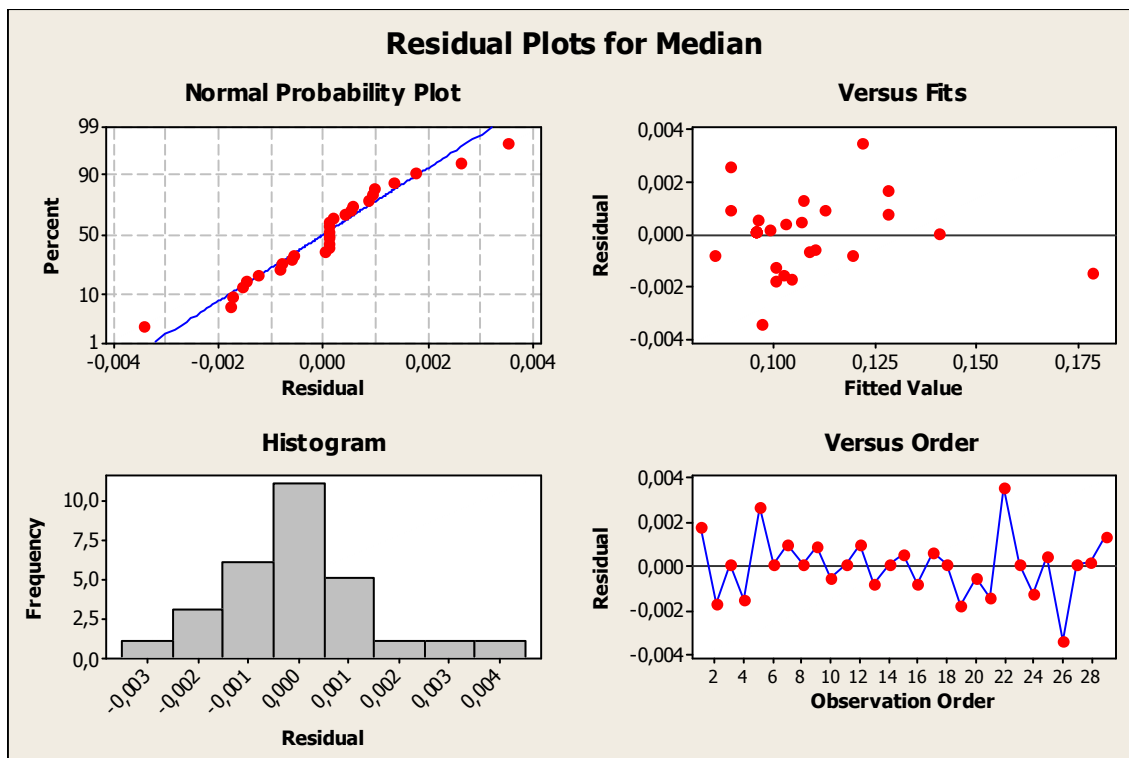


Figura 5.4 - Grafici dei residui relativi alle due variabili di risposta (μ e β_c).

Dall'analisi dei grafici sui residui si può notare che, considerando il *Normal Probability Plot* (primo grafico in alto a sinistra) l'ipotesi di normalità sembra abbastanza rispettata per entrambe le variabili di risposta; ciò non si può dire per la variabile "deviazione standard" se si osserva l'istogramma dei residui, in quanto la distribuzione si discosta da quella normale: tuttavia tale violazione non è ritenuta grave. Per quanto riguarda le altre due ipotesi di omoschedasticità e indipendenza, i rimanenti due grafici non evidenziano particolari pattern, ovvero i punti sono distribuiti attorno alla retta dei residui nulli in maniera casuale: ciò comporta che le ipotesi sono plausibili.

5.2.3 Riassunto output derivanti dal modello

I passaggi visti nel paragrafo precedente sono stati fatti per tutti i casi analizzati e appositamente omessi; di seguito sono riportati i risultati relativi al modello descritto: a tal proposito si riporta una tabella con già dei valori derivanti da casi noti sia per la direzione longitudinale che per quella trasversale, inoltre si riportano anche le formule derivanti dalla regressione effettuata, con le quali è possibile calcolare manualmente la mediana e la deviazione standard del metodo *Risk-UE* in base alle caratteristiche geometriche del ponte in esame (purché sia in c.a. a campate isostatiche!).

DIREZIONE LONGITUDINALE (N=4)

			PARAMETRI RISK-UE				
H	D	L	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	β_c
5	1,00	15	0,1026	0,1776	0,3098	0,4659	0,11
5	1,00	20	0,0862	0,1521	0,2726	0,4259	0,08
5	1,25	15	0,1351	0,2117	0,3309	0,4707	0,17
5	1,25	20	0,1126	0,1795	0,2871	0,4306	0,13
5	1,25	25	0,0967	0,1554	0,2518	0,3906	0,10
5	1,50	15	0,1785	0,2597	0,3741	0,4924	0,23
5	1,50	20	0,1498	0,2208	0,3238	0,4524	0,19
5	1,50	25	0,1278	0,1901	0,2819	0,4123	0,16
5	1,50	30	0,1123	0,1674	0,2484	0,3723	0,12
5	1,75	15	0,2327	0,3216	0,4394	0,5311	0,31
5	1,75	20	0,1979	0,2760	0,3826	0,4911	0,26
5	1,75	25	0,1697	0,2386	0,3342	0,4510	0,22
5	1,75	30	0,1481	0,2092	0,2942	0,4110	0,17
5	1,75	35	0,1331	0,1880	0,2626	0,3709	0,13
5	2,00	15	0,2977	0,3974	0,5268	0,5868	0,39
5	2,00	20	0,2568	0,3451	0,4635	0,5468	0,34

5	2,00	25	0,2225	0,3010	0,4086	0,5067	0,29
5	2,00	30	0,1947	0,2649	0,3621	0,4667	0,24
5	2,00	35	0,1736	0,2370	0,3239	0,4266	0,19
7	1,00	15	0,0945	0,1786	0,3383	0,5321	0,10
7	1,00	20	0,0827	0,1587	0,3073	0,4920	0,08
7	1,25	15	0,1146	0,1963	0,3359	0,5081	0,15
7	1,25	20	0,0967	0,1696	0,2983	0,4681	0,12
7	1,25	25	0,0853	0,1511	0,2691	0,4280	0,10
7	1,50	15	0,1456	0,2279	0,3555	0,5012	0,20
7	1,50	20	0,1215	0,1945	0,3115	0,4612	0,17
7	1,50	25	0,1040	0,1693	0,2758	0,4211	0,14
7	1,50	30	0,0931	0,1521	0,2485	0,3811	0,12
7	1,75	15	0,1874	0,2733	0,3973	0,5112	0,26
7	1,75	20	0,1571	0,2333	0,3467	0,4712	0,23
7	1,75	25	0,1335	0,2013	0,3045	0,4312	0,19
7	1,75	30	0,1165	0,1775	0,2707	0,3911	0,16
7	1,75	35	0,1060	0,1618	0,2453	0,3511	0,13
7	2,00	15	0,2400	0,3327	0,4612	0,5383	0,33
7	2,00	20	0,2036	0,2859	0,4041	0,4982	0,29
7	2,00	25	0,1739	0,2473	0,3554	0,4582	0,25
7	2,00	30	0,1507	0,2167	0,3150	0,4181	0,21
7	2,00	35	0,1341	0,1943	0,2831	0,3781	0,18
9	1,25	15	0,1094	0,2001	0,3651	0,5825	0,12
9	1,25	20	0,0960	0,1789	0,3337	0,5424	0,11
9	1,25	25	0,0891	0,1659	0,3107	0,5024	0,10
9	1,50	15	0,1279	0,2152	0,3612	0,5468	0,16
9	1,50	20	0,1084	0,1873	0,3234	0,5068	0,15
9	1,50	25	0,0954	0,1676	0,2939	0,4667	0,13
9	1,50	30	0,0891	0,1560	0,2727	0,4267	0,12
9	1,75	15	0,1573	0,2442	0,3795	0,5282	0,21
9	1,75	20	0,1316	0,2097	0,3351	0,4882	0,19
9	1,75	25	0,1125	0,1832	0,2991	0,4481	0,17
9	1,75	30	0,1000	0,1649	0,2715	0,4081	0,15
9	1,75	35	0,0942	0,1547	0,2522	0,3680	0,13
9	2,00	15	0,1975	0,2871	0,4198	0,5266	0,27
9	2,00	20	0,1657	0,2458	0,3689	0,4865	0,25
9	2,00	25	0,1405	0,2127	0,3264	0,4465	0,22
9	2,00	30	0,1219	0,1877	0,2923	0,4064	0,19
9	2,00	35	0,1098	0,1708	0,2665	0,3664	0,17
11	1,50	15	0,1254	0,2217	0,3912	0,6293	0,13
11	1,50	20	0,1105	0,1994	0,3595	0,5893	0,13
11	1,50	25	0,1021	0,1852	0,3362	0,5492	0,12
11	1,50	30	0,1003	0,1791	0,3213	0,5092	0,12
11	1,75	15	0,1424	0,2343	0,3859	0,5820	0,17
11	1,75	20	0,1213	0,2052	0,3477	0,5420	0,16
11	1,75	25	0,1068	0,1843	0,3179	0,5019	0,15
11	1,75	30	0,0988	0,1715	0,2964	0,4619	0,14
11	1,75	35	0,0975	0,1669	0,2834	0,4218	0,13
11	2,00	15	0,1702	0,2607	0,4027	0,5517	0,22
11	2,00	20	0,1430	0,2250	0,3580	0,5117	0,20
11	2,00	25	0,1223	0,1974	0,3217	0,4716	0,19
11	2,00	30	0,1082	0,1779	0,2937	0,4316	0,17

11	2,00	35	0,1008	0,1665	0,2742	0,3915	0,16
13	1,75	15	0,1428	0,2435	0,4165	0,6727	0,12
13	1,75	20	0,1262	0,2200	0,3845	0,6326	0,13
13	1,75	25	0,1162	0,2046	0,3609	0,5926	0,13
13	1,75	30	0,1128	0,1973	0,3457	0,5525	0,13
13	1,75	35	0,1160	0,1982	0,3388	0,5125	0,13
13	2,00	15	0,1582	0,2535	0,4098	0,6137	0,16
13	2,00	20	0,1354	0,2233	0,3713	0,5736	0,16
13	2,00	25	0,1193	0,2012	0,3412	0,5336	0,15
13	2,00	30	0,1098	0,1872	0,3194	0,4935	0,15
13	2,00	35	0,1069	0,1814	0,3061	0,4535	0,14

<i>Median μ</i>	<i>PL1:</i>	Median = 0,0929 - 0,00886 H + 0,133 D - 0,00527 L + 0,00190 H ² + 0,0867 D ² + 0,000132 L ² - 0,0248 H*D + 0,000455 H*L - 0,00491 D*L
	<i>PL2:</i>	Median = 0,183 - 0,00362 H + 0,131 D - 0,00819 L + 0,00240 H ² + 0,111 D ² + 0,000162 L ² - 0,0329 H*D + 0,000552 H*L - 0,00536 D*L
	<i>PL3:</i>	Median = 0,376 + 0,0157 H - 0,0112 L + 0,00303 H ² + 0,177 D ² + 0,000168 L ² - 0,0471 H*D + 0,000620 H*L - 0,00520 D*L
	<i>PL4:</i>	Median = 0,446 + 0,0352 H - 0,00801 L + 0,00461 H ² + 0,136 D ² - 0,0574 H*D
<i>β_c:</i>	Dev Std = - 0,0290 + 0,277 D - 0,00698 L + 0,0594 D ² - 0,0228 H*D + 0,00115 H*L - 0,00436 D*L	

DIREZIONE TRASVERSALE (N=4)

			PARAMETRI RISK-UE				
H	D	L	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	β_c
5	1,00	15	0,2373	0,3663	0,5640	0,7932	0,23
5	1,00	20	0,1404	0,1678	0,1878	0,2033	0,20
5	1,25	15	0,3607	0,6278	1,0707	1,6024	0,33
5	1,25	20	0,2637	0,4292	0,6945	1,0125	0,31
5	1,25	25	0,1668	0,2307	0,3184	0,4226	0,28
5	1,50	15	0,4840	0,8892	1,5774	2,4116	0,44
5	1,50	20	0,3871	0,6907	1,2012	1,8217	0,41
5	1,50	25	0,2902	0,4921	0,8251	1,2318	0,39
5	1,50	30	0,1933	0,2936	0,4489	0,6419	0,36
5	1,75	15	0,6074	1,1507	2,0841	3,2208	0,54
5	1,75	20	0,5105	0,9521	1,7079	2,6309	0,52
5	1,75	25	0,4136	0,7536	1,3318	2,0410	0,49
5	1,75	30	0,3166	0,5550	0,9556	1,4511	0,47
5	1,75	35	0,2197	0,3564	0,5795	0,8612	0,44
5	2,00	15	0,7308	1,4121	2,5908	4,0300	0,64
5	2,00	20	0,6338	1,2136	2,2146	3,4401	0,62
5	2,00	25	0,5369	1,0150	1,8385	2,8502	0,60
5	2,00	30	0,4400	0,8164	1,4623	2,2603	0,57
5	2,00	35	0,3431	0,6179	1,0862	1,6704	0,55
7	1,00	15	0,1712	0,2416	0,3385	0,4441	0,17
7	1,00	20	0,1040	0,1059	0,0833	0,0444	0,13

7	1,25	15	0,2508	0,4064	0,6539	0,9453	0,27
7	1,25	20	0,1836	0,2707	0,3988	0,5456	0,24
7	1,25	25	0,1165	0,1350	0,1436	0,1460	0,20
7	1,50	15	0,3304	0,5712	0,9694	1,4465	0,37
7	1,50	20	0,2632	0,4355	0,7142	1,0469	0,34
7	1,50	25	0,1961	0,2998	0,4591	0,6472	0,31
7	1,50	30	0,1289	0,1641	0,2039	0,2476	0,27
7	1,75	15	0,4100	0,7360	1,2848	1,9477	0,48
7	1,75	20	0,3428	0,6003	1,0296	1,5481	0,44
7	1,75	25	0,2757	0,4646	0,7745	1,1484	0,41
7	1,75	30	0,2085	0,3289	0,5193	0,7488	0,38
7	1,75	35	0,1414	0,1933	0,2642	0,3491	0,35
7	2,00	15	0,4896	0,9009	1,6002	2,4490	0,58
7	2,00	20	0,4224	0,7652	1,3451	2,0493	0,55
7	2,00	25	0,3553	0,6295	1,0899	1,6497	0,52
7	2,00	30	0,2881	0,4938	0,8348	1,2500	0,48
7	2,00	35	0,2210	0,3581	0,5796	0,8504	0,45
9	1,25	15	0,1939	0,3016	0,4682	0,6634	0,23
9	1,25	20	0,1565	0,2288	0,3340	0,4540	0,18
9	1,25	25	0,1191	0,1560	0,1999	0,2446	0,14
9	1,50	15	0,2297	0,3698	0,5923	0,8567	0,33
9	1,50	20	0,1923	0,2970	0,4582	0,6473	0,29
9	1,50	25	0,1550	0,2242	0,3240	0,4379	0,24
9	1,50	30	0,1176	0,1513	0,1899	0,2285	0,20
9	1,75	15	0,2656	0,4380	0,7165	1,0499	0,43
9	1,75	20	0,2282	0,3652	0,5824	0,8405	0,39
9	1,75	25	0,1908	0,2924	0,4482	0,6311	0,35
9	1,75	30	0,1534	0,2195	0,3141	0,4218	0,30
9	1,75	35	0,1161	0,1467	0,1799	0,2124	0,26
9	2,00	15	0,3014	0,5062	0,8407	1,2432	0,54
9	2,00	20	0,2640	0,4334	0,7065	1,0338	0,49
9	2,00	25	0,2266	0,3606	0,5724	0,8244	0,45
9	2,00	30	0,1893	0,2877	0,4382	0,6150	0,41
9	2,00	35	0,1519	0,2149	0,3041	0,4056	0,37
11	1,50	15	0,1821	0,2851	0,4463	0,6421	0,30
11	1,50	20	0,1745	0,2751	0,4332	0,6229	0,25
11	1,50	25	0,1669	0,2652	0,4200	0,6038	0,20
11	1,50	30	0,1593	0,2552	0,4068	0,5846	0,14
11	1,75	15	0,1742	0,2567	0,3793	0,5274	0,40
11	1,75	20	0,1666	0,2467	0,3661	0,5082	0,35
11	1,75	25	0,1590	0,2367	0,3529	0,4891	0,30
11	1,75	30	0,1513	0,2268	0,3398	0,4700	0,25
11	1,75	35	0,1437	0,2168	0,3266	0,4508	0,20
11	2,00	15	0,1662	0,2283	0,3122	0,4127	0,51
11	2,00	20	0,1586	0,2183	0,2990	0,3935	0,46
11	2,00	25	0,1510	0,2083	0,2858	0,3744	0,40
11	2,00	30	0,1434	0,1983	0,2727	0,3553	0,35
11	2,00	35	0,1358	0,1884	0,2595	0,3361	0,30
13	1,75	15	0,1358	0,1920	0,2730	0,3800	0,39
13	1,75	20	0,1579	0,2449	0,3808	0,5512	0,33
13	1,75	25	0,1801	0,2978	0,4886	0,7223	0,27
13	1,75	30	0,2023	0,3506	0,5964	0,8934	0,21

13	1,75	35	0,2245	0,4035	0,7043	1,0645	0,14
13	2,00	15	0,0841	0,0669	0,0146	-0,0426	0,50
13	2,00	20	0,1062	0,1198	0,1224	0,1285	0,43
13	2,00	25	0,1284	0,1727	0,2303	0,2996	0,37
13	2,00	30	0,1506	0,2256	0,3381	0,4708	0,31
13	2,00	35	0,1728	0,2785	0,4459	0,6419	0,25

Median μ	PL1:	Median = 0,217 - 0,0697 H + 0,931 D - 0,0343 L + 0,00663 H ² - 0,0875 H*D + 0,00298 H*L
	PL2:	Median = 0,244 - 0,138 H + 2,01 D - 0,0711 L + 0,0146 H ² - 0,193 H*D + 0,00629 H*L
	PL3:	Median = 0,235 - 0,258 H + 3,94 D - 0,136 L + 0,0289 H ² - 0,383 H*D + 0,0121 H*L
	PL4:	Median = 0,188 - 0,407 H + 6,32 D - 0,213 L + 0,0469 H ² - 0,616 H*D + 0,0190 H*L
	β_c :	Dev Std = 0,0353 - 0,0407 H + 0,416 D + 0,00202 H ² - 0,000949 H*L

5.2.4 Grafici al variare del fattore “L”

Si riportano in seguito due tipologie di grafici (*surface plot* e *contour plot*) relativi alle due variabili di risposta, mediana μ e deviazione standard β_c , per ogni livello di danno e per le due direzioni, fissata la lunghezza della campata pari a 25m; successivamente si riporta solamente una tipologia di grafico (*contour plot*), evidenziando, per ogni livello di danno, la variazione delle variabili di risposta dovuta al mutamento della lunghezza della campata (15 - 20 - 25 - 30 - 35m).

Questa visualizzazione serve per avere un’idea di come variano i due parametri di risposta in base alla variazione dei fattori considerati (H , D , L); un fattore dovrà essere fissato di volta in volta per poter eseguire la rappresentazione tridimensionale: in questo caso si è deciso di fissare la luce della campata.

Ovviamente, per qualsiasi valore di “L” non rappresentato nei grafici, fanno sempre fede le leggi riportate nel paragrafo precedente.

Per quanto riguarda la deviazione standard, si riporta un solo grafico per tutti i livelli di danno, in quanto non è influenzata da quest’ultimi.

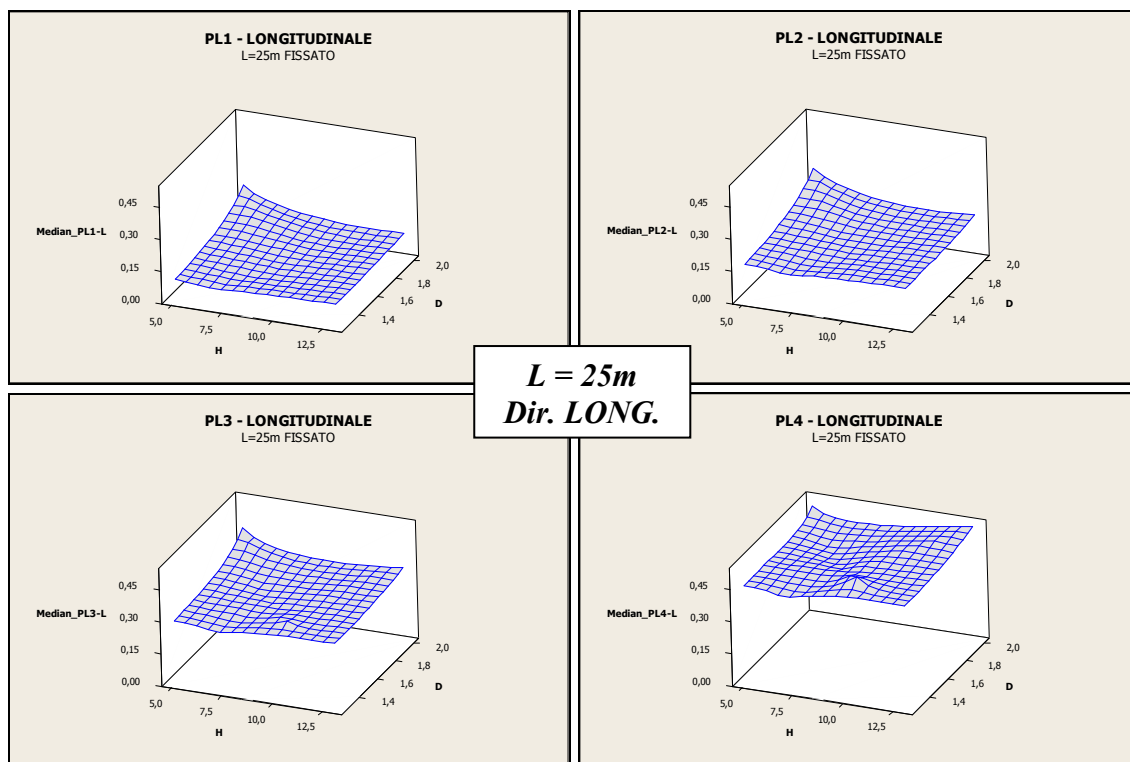


Figura 5.5 - Surface plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, fissato $L=25m$.

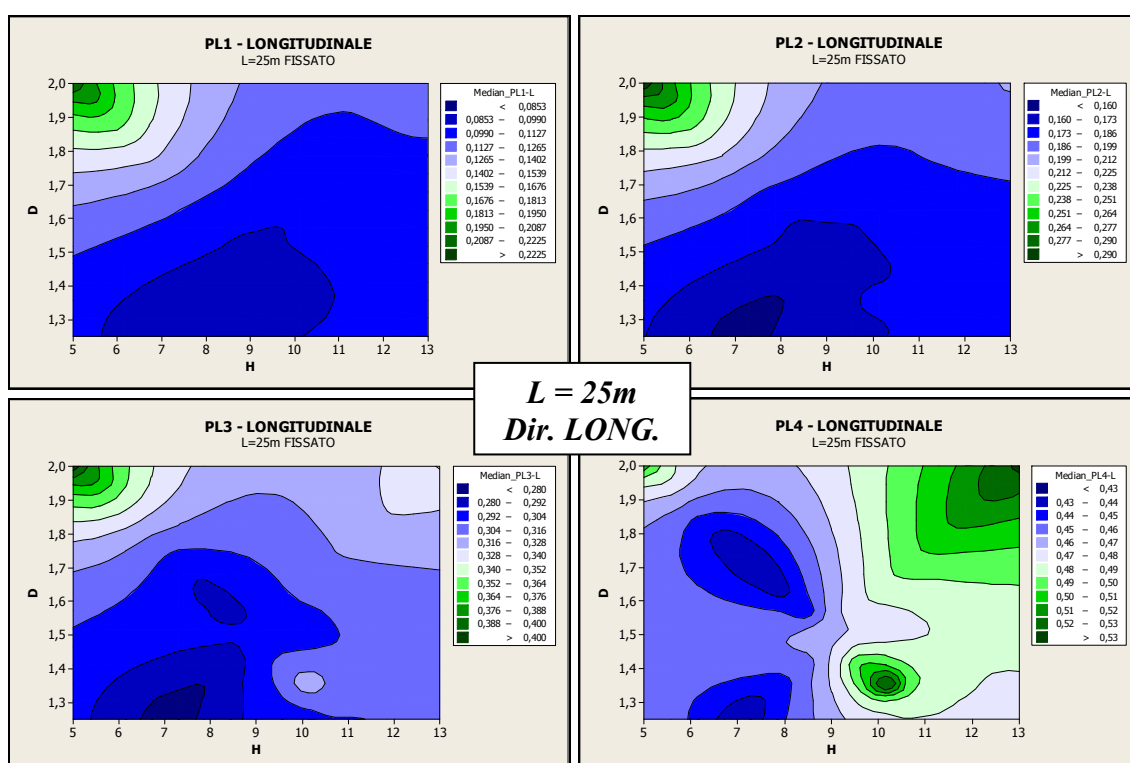


Figura 5.6 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, fissato $L=25m$.

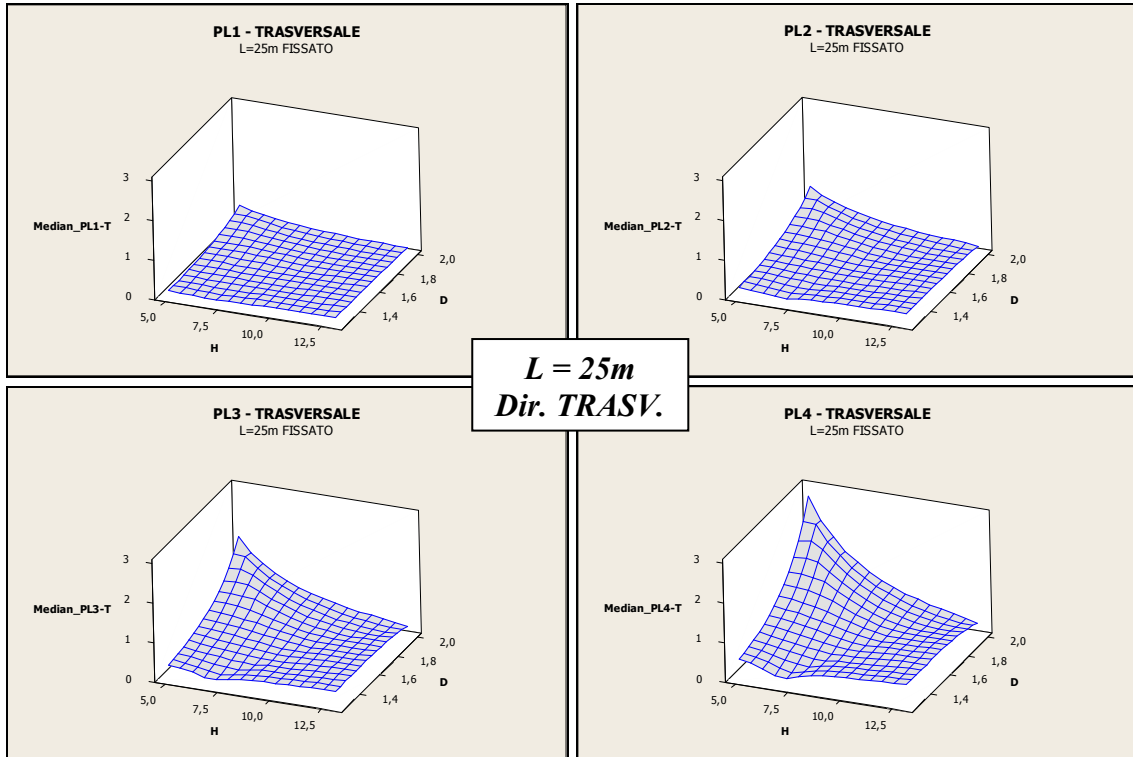


Figura 5.7 - Surface plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, fissato $L=25m$.

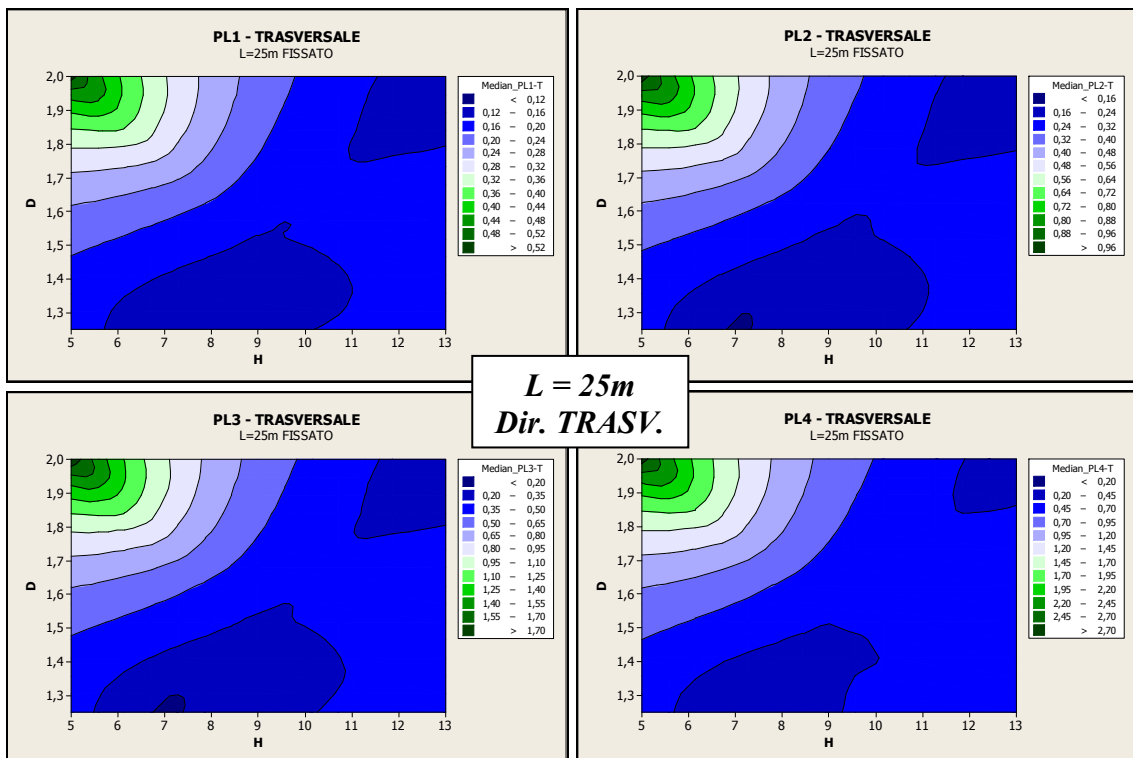


Figura 5.8 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, fissato $L=25m$.

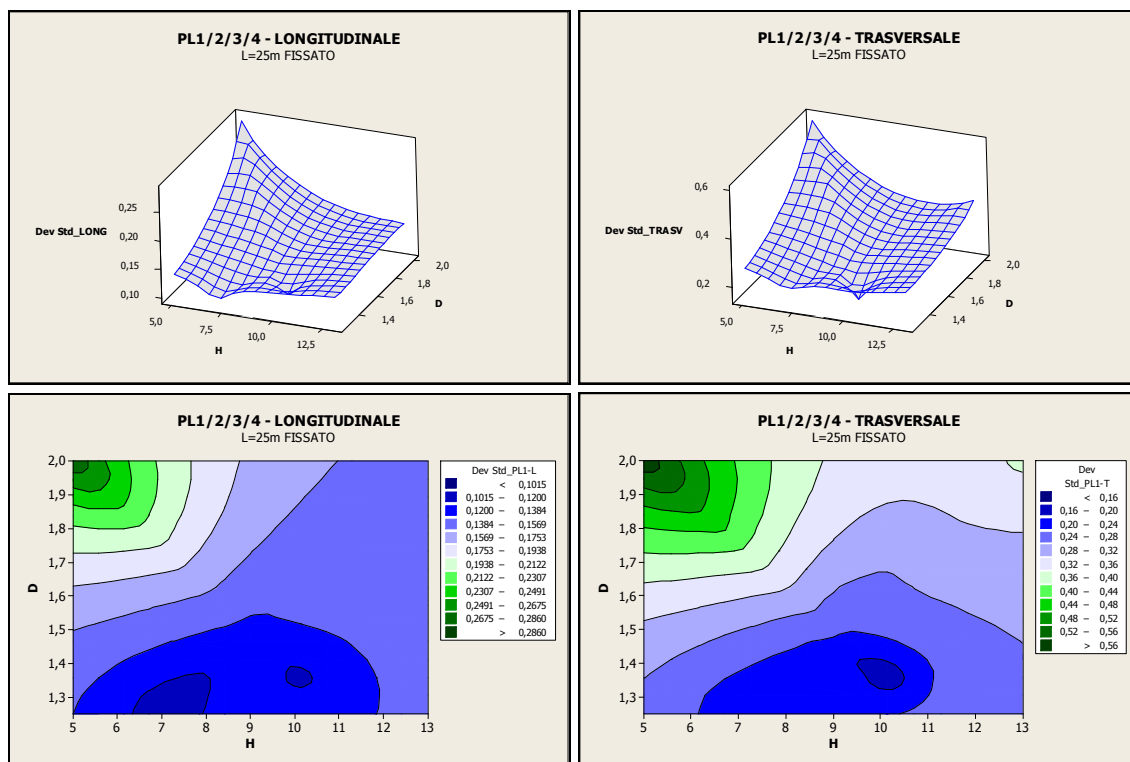


Figura 5.9 - Surface plot e contour plot relativi alla deviazione standard, in entrambe le direzioni, fissato $L=25m$.

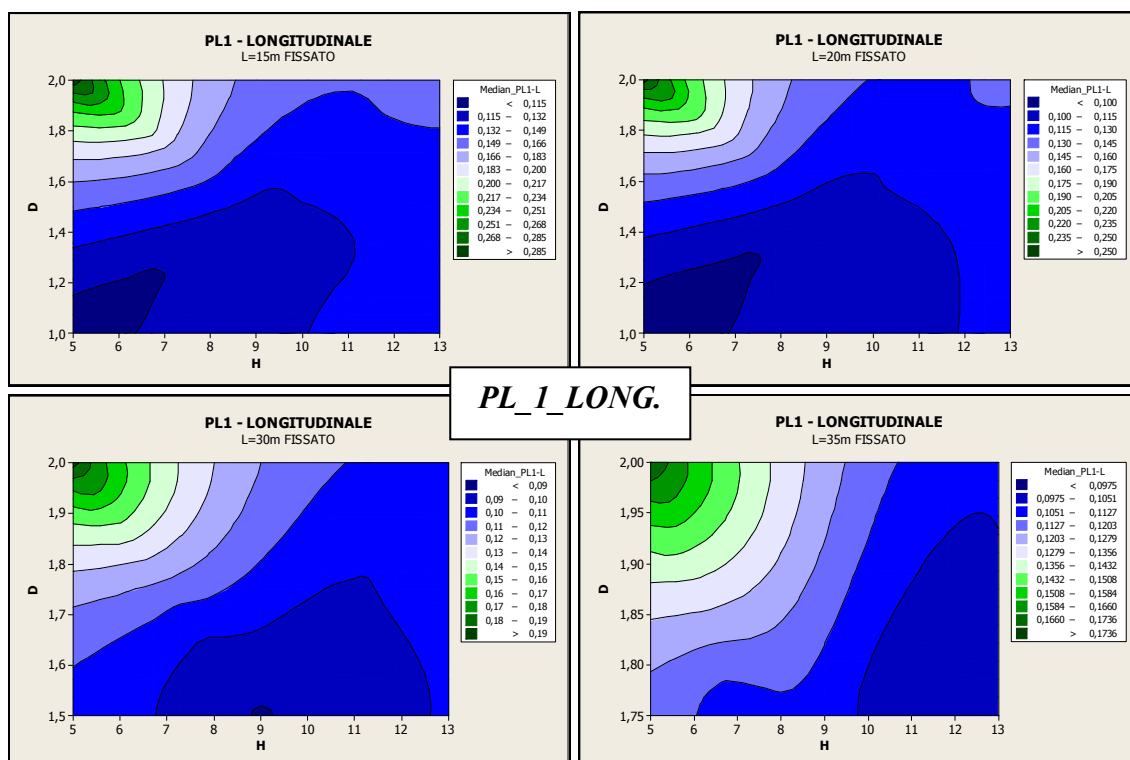


Figura 5.10 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, per il livello di danno "Minor" al variare della luce della campata.

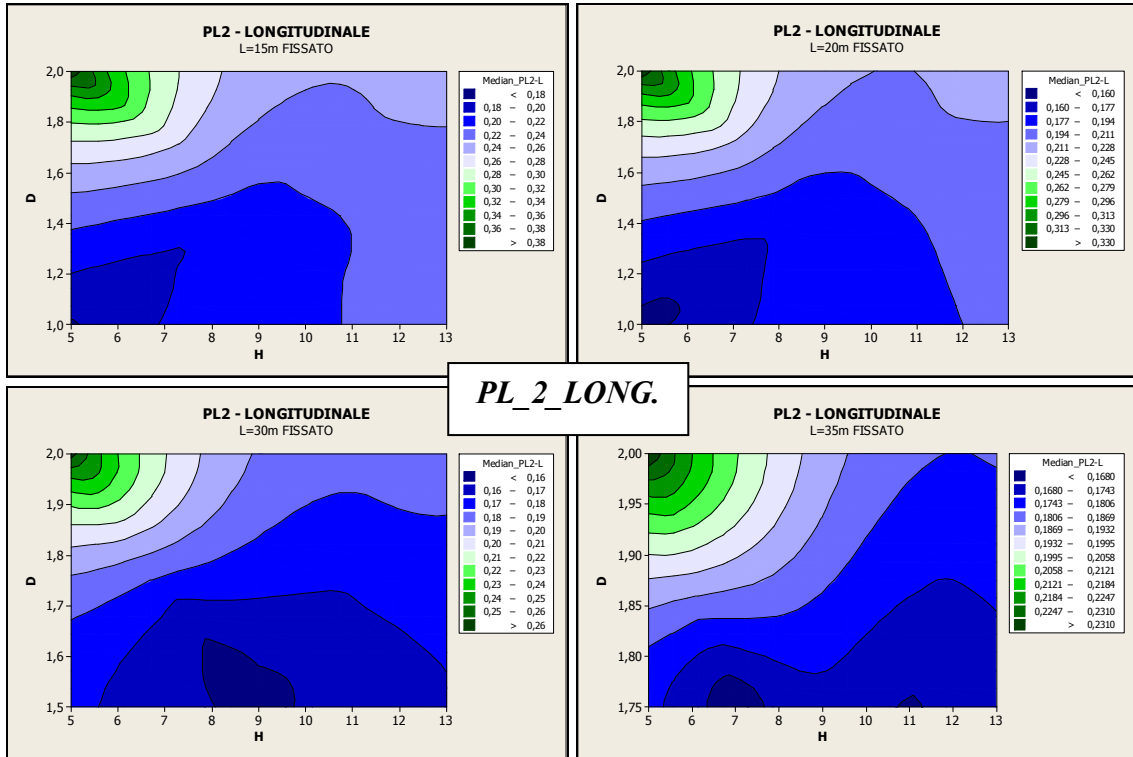


Figura 5.11 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, per il livello di danno "Moderate" al variare della luce della campata.

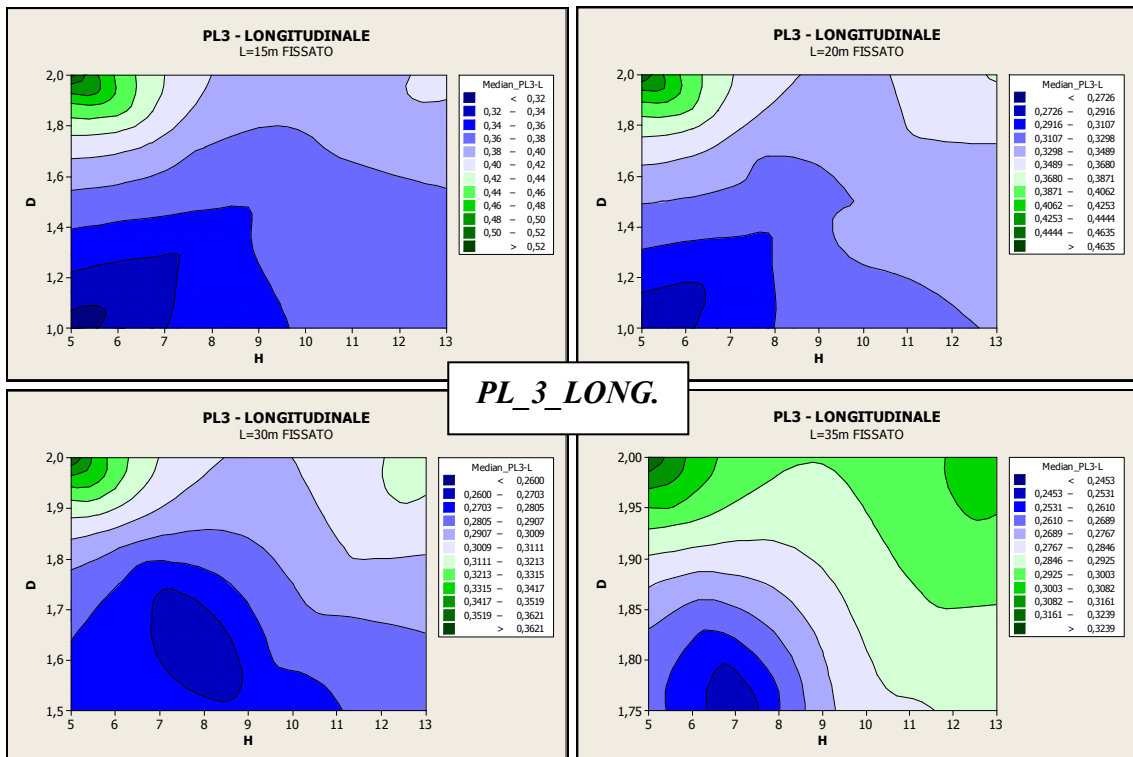


Figura 5.12 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, per il livello di danno "Extensive" al variare della luce della campata.

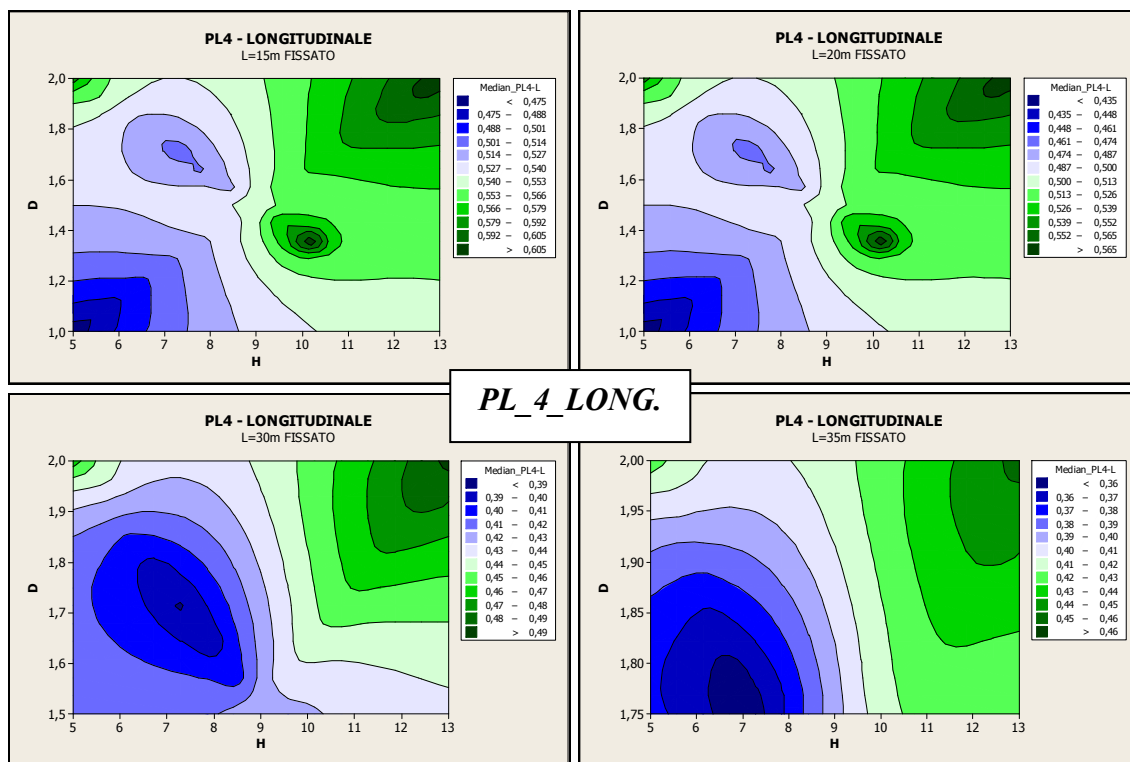


Figura 5.13 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, per il livello di danno "Complete" al variare della luce della campata.

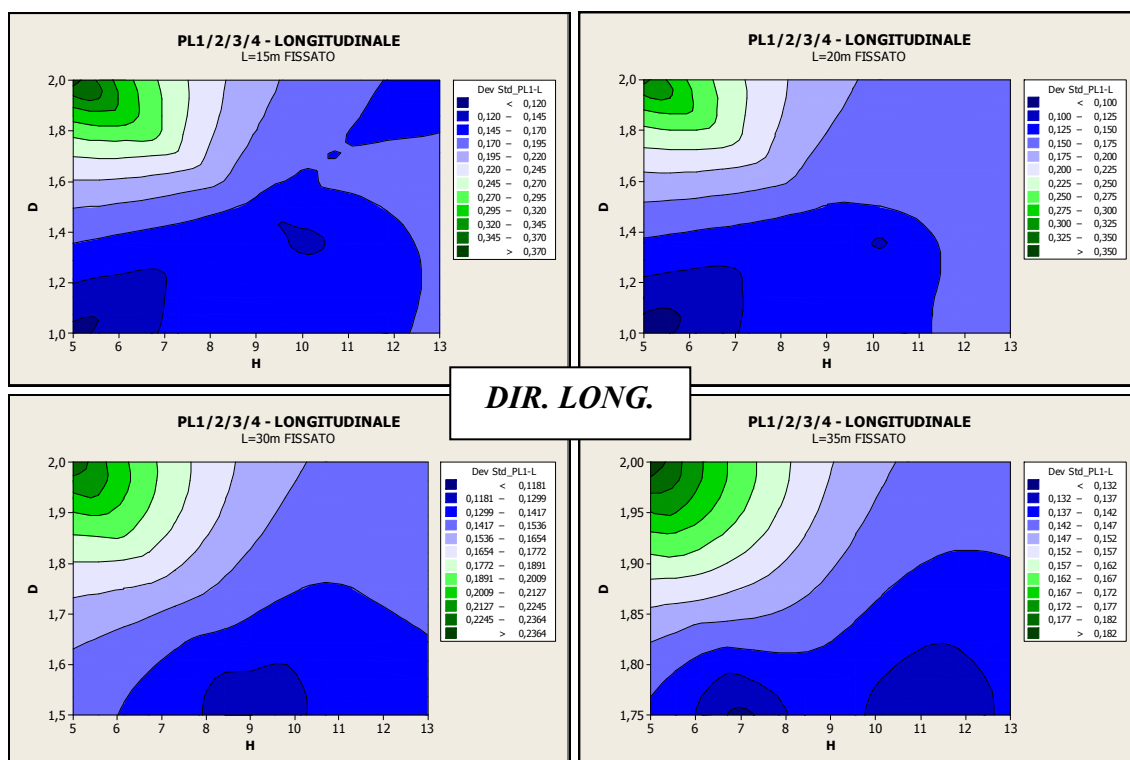


Figura 5.14 - Contour plot relativi alla deviazione standard, in direzione longitudinale, per tutti i livelli di danno al variare della luce della campata.

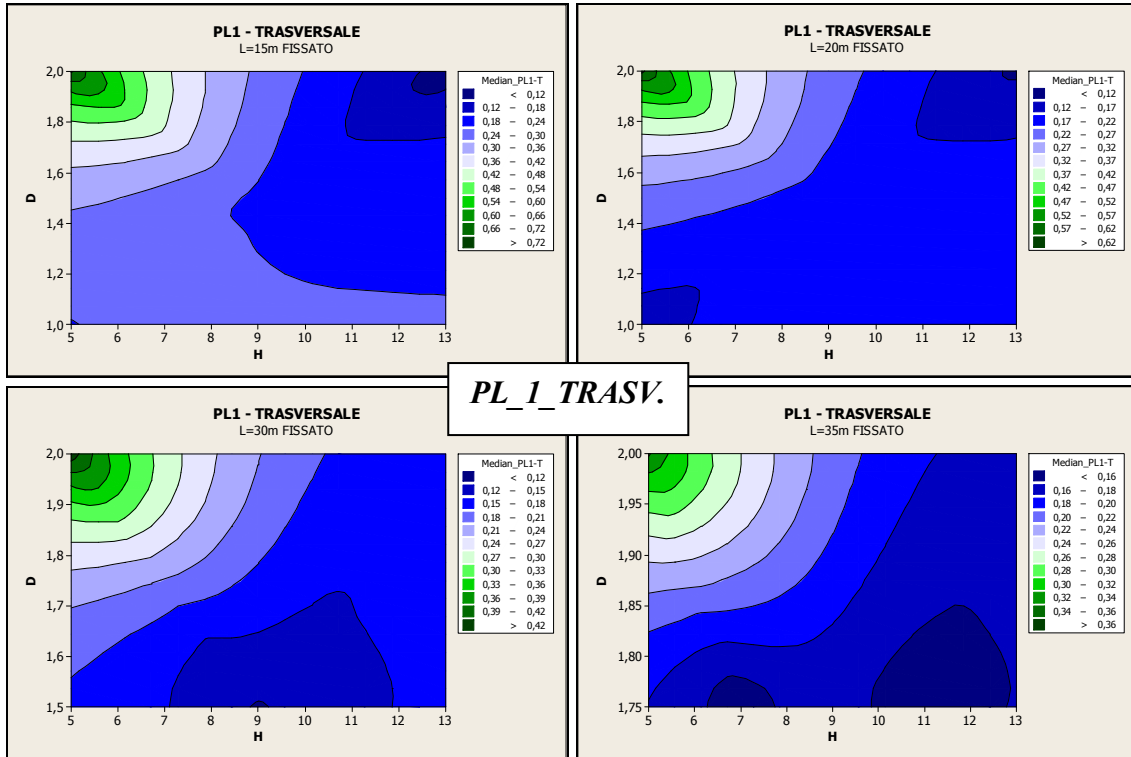


Figura 5.15 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, per il livello di danno "Minor" al variare della luce della campata.

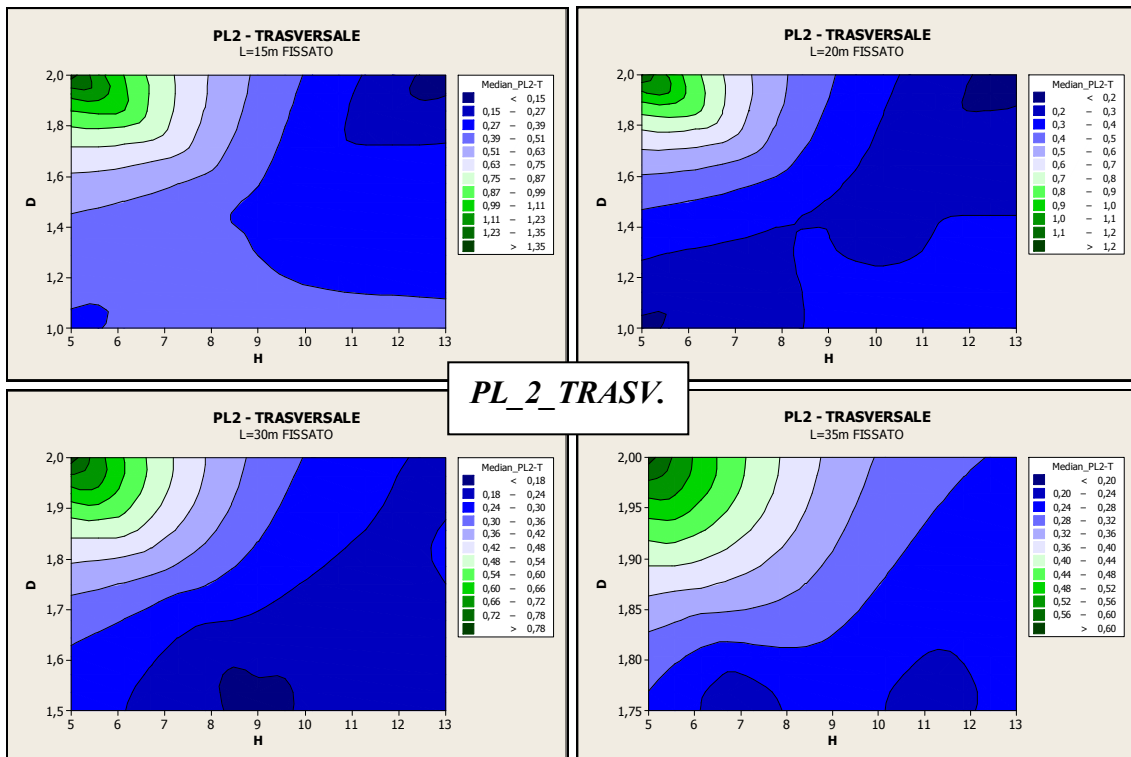


Figura 5.16 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, per il livello di danno "Moderate" al variare della luce della campata.

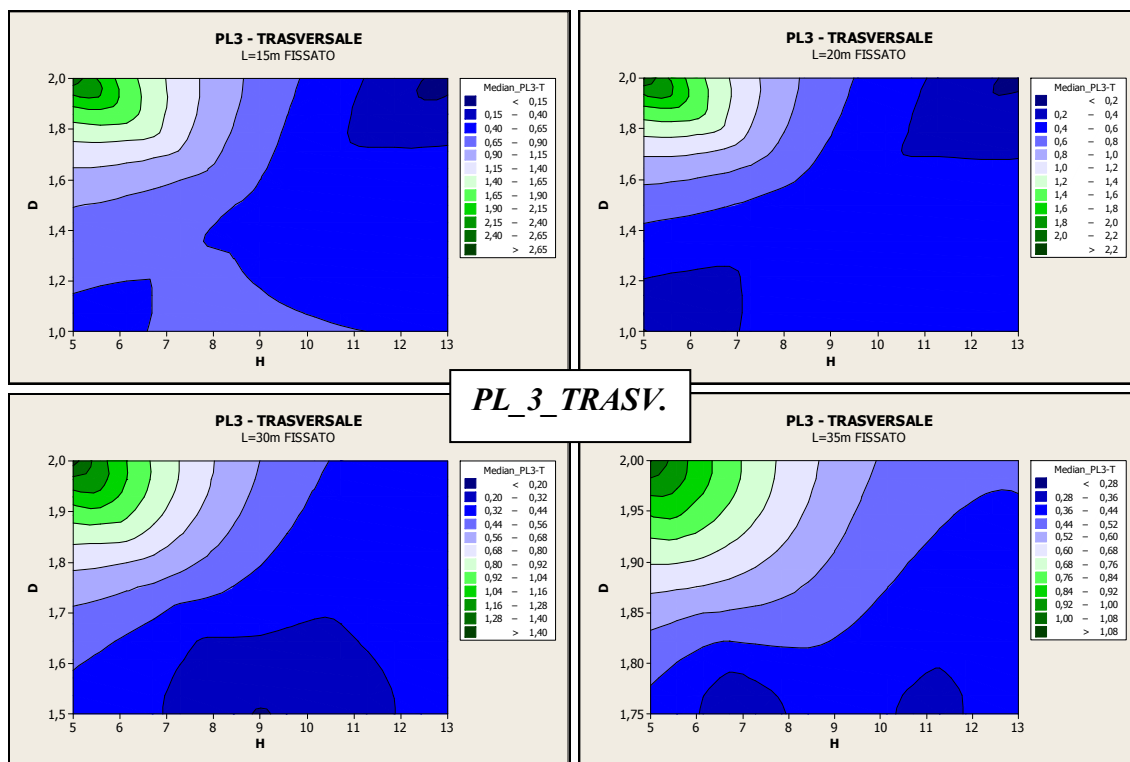


Figura 5.17 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, per il livello di danno "Extensive" al variare della luce della campata.

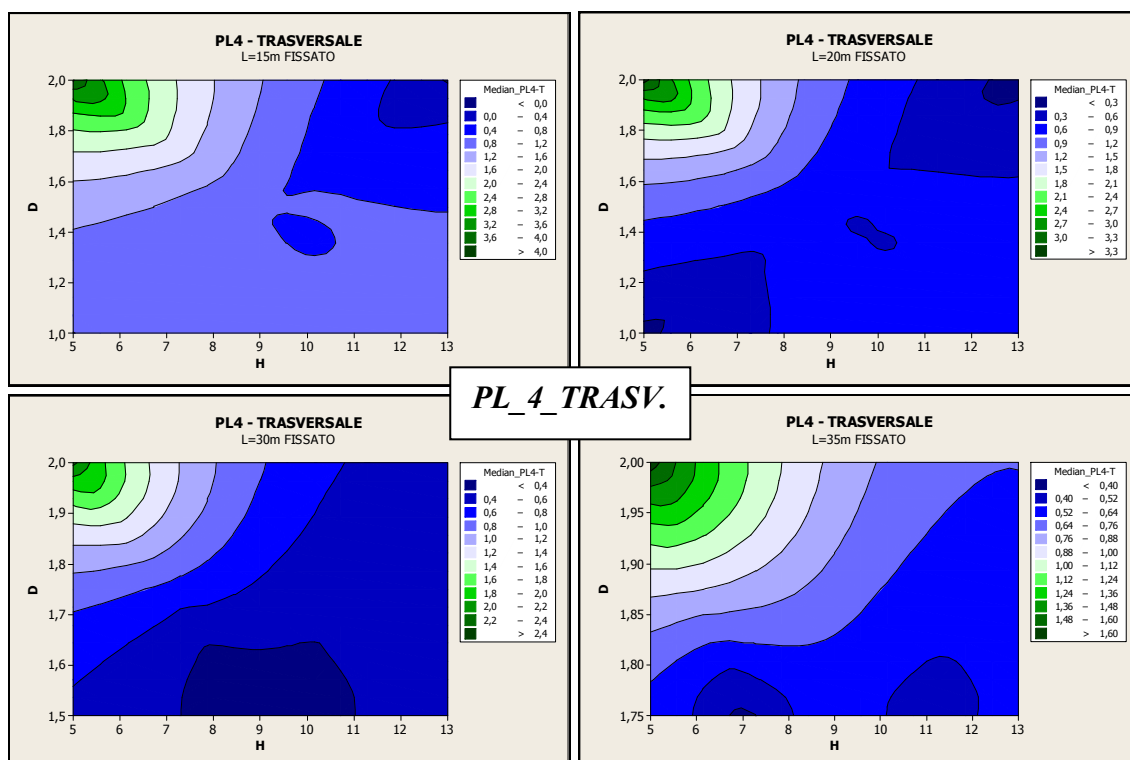


Figura 5.18 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, per il livello di danno "Complete" al variare della luce della campata.

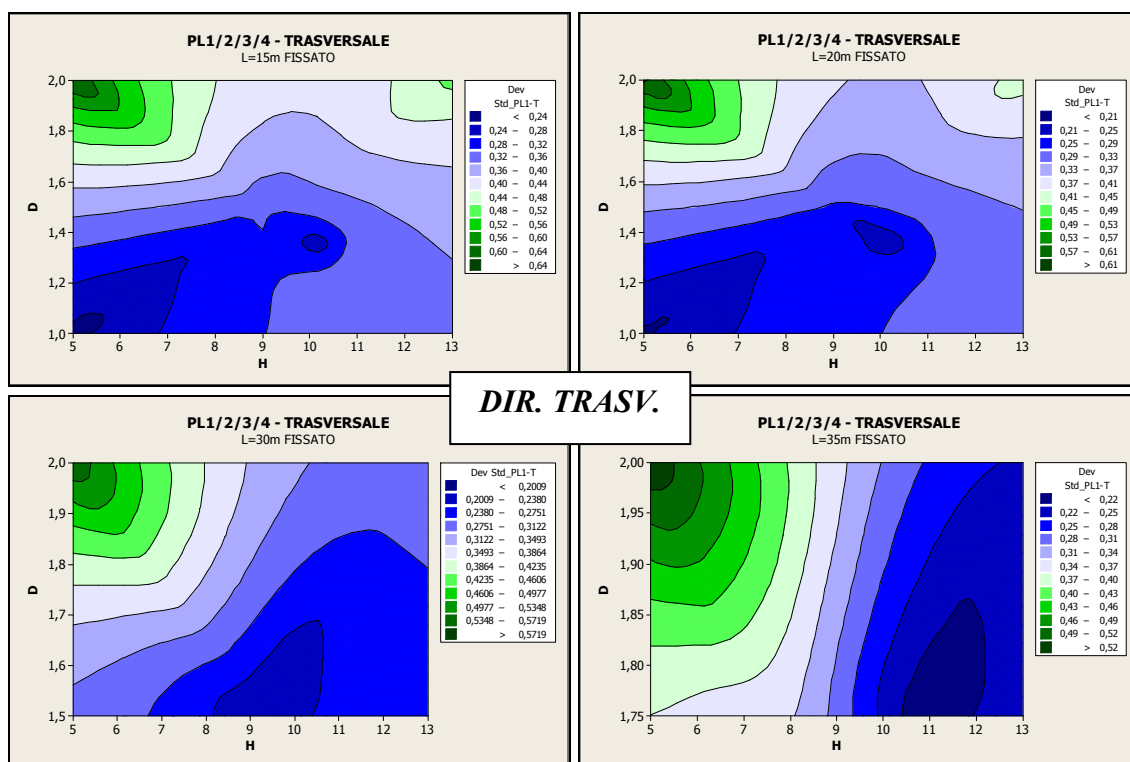


Figura 5.19 - Contour plot relativi alla deviazione standard, in direzione trasversale, per tutti i livelli di danno al variare della luce della campata.

5.3 Modello a 3 parametri: H/D , L , N

In questo nuovo modello, a differenza del precedente, si è voluto introdurre un ulteriore parametro, ossia il numero di campate N : si tratta sempre di un modello a 3 parametri, in cui si considera la snellezza della pila rappresentata dal rapporto H/D , la lunghezza della campata L e appunto il numero di campate N , oltre ai due parametri caratteristici del metodo *Risk-UE* (la mediana e la deviazione standard), che saranno considerati come variabili di risposta del modello. Così facendo, si ha una descrizione abbastanza completa della geometria del ponte, all'interno della categoria dei ponti in c.a. multi-campata, a campate isostatiche.

5.3.1 Acquisizione dei dati

Al fine di ottenere i dati da elaborare per costruire il modello, si è intervenuto sui parametri base del metodo *Risk-UE* attraverso dei coefficienti correttivi, ossia si è fatto in modo di poter sovrapporre, con il minimo errore, le curve ottenute col metodo empirico con le curve di fragilità ottenute col Metodo 2 analitico, per ognuno dei quattro livelli di danno, per le due

direzioni in cui agisce il sisma e per ogni caso geometrico analizzato, ossia facendo variare i parametri geometrici presi come variabili indipendenti del modello.

I parametri di partenza previsti dal metodo *Risk-UE* su cui si è andato ad intervenire e modificare, considerando un numero di campate variabile tra 2 e 12, sono riportati nella tabella sottostante, mentre per quanto riguarda la deviazione standard viene assunta pari a: $\beta_c = 0,6$ per qualunque situazione, come proposto da *Mander*, per incorporare tutti gli aspetti di incertezza e casualità della capacità e della richiesta.

DANNO	Median						
	N=2	N=3	N=4	N=5	N=6	N=8	N=12
Minor (PL1)	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
Moderate (PL2)	0,4375	0,3938	0,3792	0,3719	0,3675	0,3625	0,3580
Extensive (PL3)	0,5625	0,5063	0,4875	0,4781	0,4725	0,4661	0,4602
Complete (PL4)	0,8750	0,7875	0,7583	0,7438	0,7350	0,7250	0,7159
β_c	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

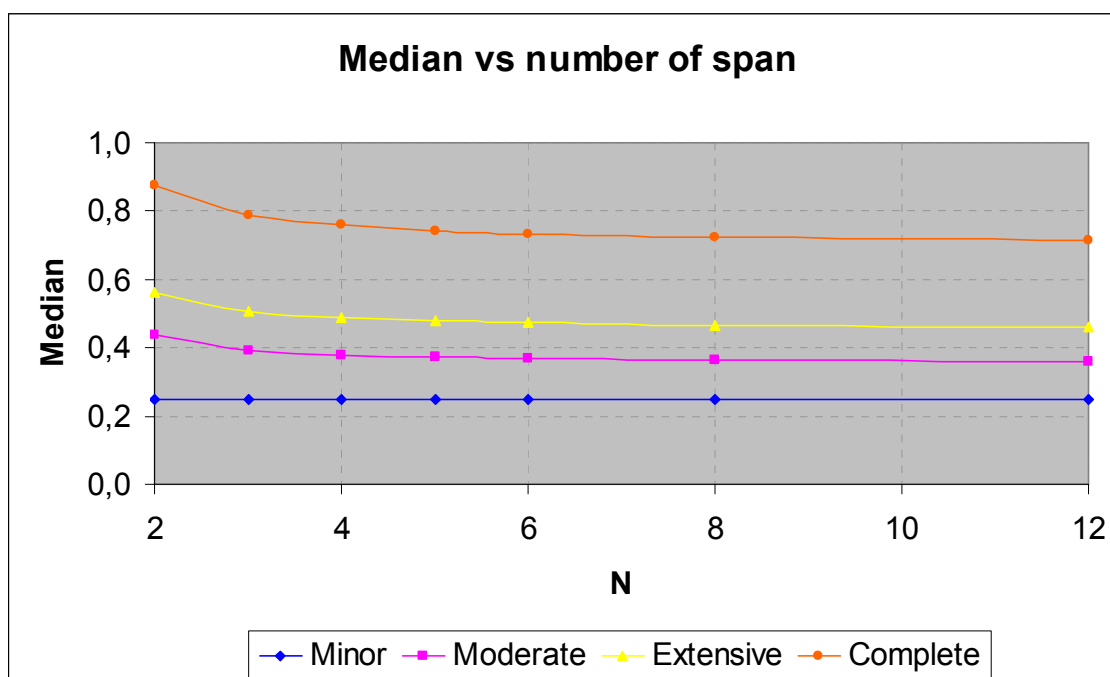


Figura 5.20 - Grafico relativo al parametro del *RISK-UE* "Median" al variare del numero di campate *N*.

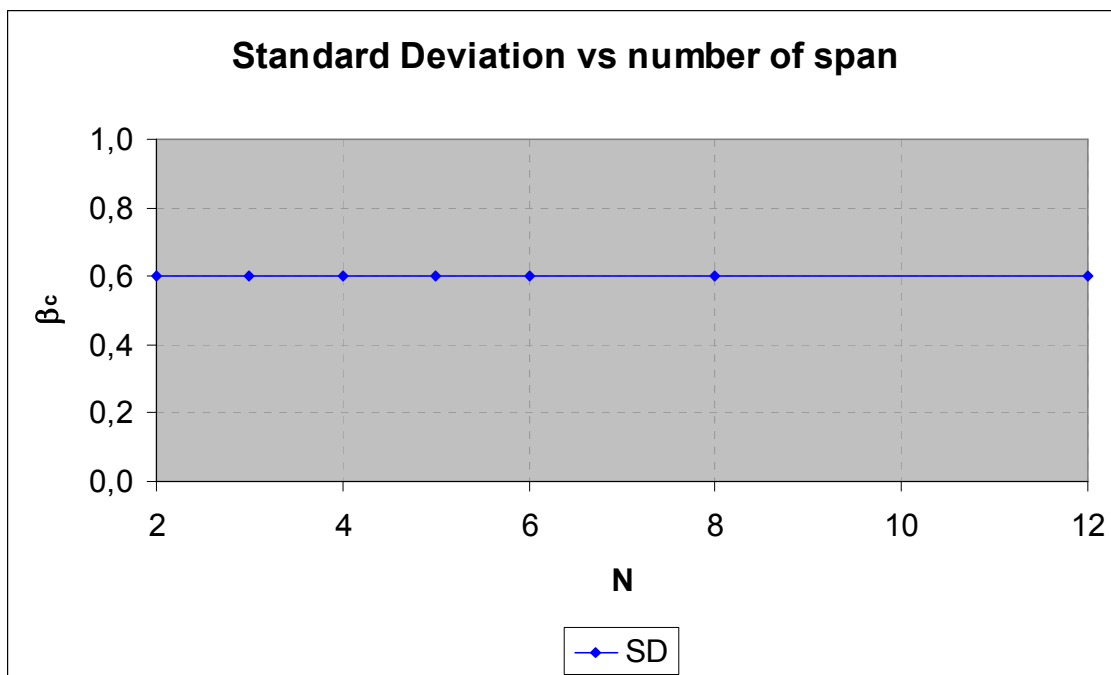


Figura 5.21 - Grafico relativo al parametro del *RISK-UE* “Standard Deviation” al variare del numero di campate *N*.

Dopo aver sovrapposto le varie curve empiriche a quelle analitiche, intervenendo come visto in precedenza, si riassumono i risultati in varie tabelle (una per ogni livello di danno e direzione di applicazione del sisma, ossia longitudinale e trasversale al sistema pila), elencando i vari casi: variazione della snellezza della pila, variazione della lunghezza della campata, variazione del numero di campate, variazione simultanea di due variabili ed infine variazione simultanea di tutte e tre le variabili considerate. Al fine di non andare ad influenzare negativamente il modello che si andrà ad ottenere, si è deciso di eliminare dal dataset i casi “geometricamente improbabili”, ossia quelli con rapporto $H/D > 7,5$ e $L/D > 20$.

Si riporta la tabella riassuntiva relativa al livello di danno 3 (*PL3*) e direzione del sisma longitudinale (per tutte le altre tabelle si rimanda all’*Allegato 2*); nelle colonne dei predittori si sono elencate le variabili indipendenti che entrano nel modello ad eccezione dei termini quadratici: successivamente, in fase di elaborazione del modello, si andranno ad eliminare dallo stesso, tutti quei termini statisticamente non significativi o influenti, sulla base dei test statistici effettuati.

PL3 LONGITUDINALE							
RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)					
	μ	β_c	H [m]	D [m]	H/D [/]	L [m]	N [/]
1	0,3336	0,20	5	1,50	3,3	25	2
	0,3218	0,21	7	1,50	4,7	25	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3825	0,17	11	1,50	7,3	25	2
2	0,3504	0,15	9	1,25	7,2	25	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3594	0,22	9	1,75	5,1	25	2
	0,4028	0,28	9	2,00	4,5	25	2
3	0,4320	0,22	9	1,50	6,0	15	2
	0,3786	0,19	9	1,50	6,0	20	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3167	0,16	9	1,50	6,0	30	2
4	0,3015	0,13	7	1,25	5,6	25	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3791	0,20	11	1,75	6,3	25	2
	0,4112	0,22	13	2,00	6,5	25	2
5	0,3842	0,14	9	1,25	7,2	20	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3251	0,22	9	1,75	5,1	30	2
	0,3234	0,23	9	2,00	4,5	35	2
6	0,5040	0,33	5	1,50	3,3	15	2
	0,3735	0,23	7	1,50	4,7	20	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3578	0,17	11	1,50	7,3	30	2
7	0,3448	0,15	5	1,00	5,0	15	2
	0,3336	0,16	7	1,25	5,6	20	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3488	0,19	11	1,75	6,3	30	2
	0,3583	0,19	13	2,00	6,5	35	2
8	0,2982	0,17	5	1,50	3,3	25	3
	0,2865	0,17	7	1,50	4,7	25	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,3483	0,14	11	1,50	7,3	25	3
9	0,3225	0,12	9	1,25	7,2	25	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,3174	0,18	9	1,75	5,1	25	3
	0,3453	0,23	9	2,00	4,5	25	3
10	0,3812	0,18	9	1,50	6,0	15	3
	0,3397	0,16	9	1,50	6,0	20	3

	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,2901	0,13	9	1,50	6,0	30	3
11	0,2805	0,11	7	1,25	5,6	25	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,3387	0,16	11	1,75	6,3	25	3
	0,3645	0,18	13	2,00	6,5	25	3
12	0,3549	0,12	9	1,25	7,2	20	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,2881	0,18	9	1,75	5,1	30	3
	0,2850	0,19	9	2,00	4,5	35	3
13	0,4202	0,27	5	1,50	3,3	15	3
	0,3286	0,19	7	1,50	4,7	20	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,3265	0,14	11	1,50	7,3	30	3
14	0,3179	0,12	5	1,00	5,0	15	3
	0,3048	0,13	7	1,25	5,6	20	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,3134	0,16	11	1,75	6,3	30	3
	0,3230	0,15	13	2,00	6,5	35	3
15	0,2818	0,15	5	1,50	3,3	25	4
	0,2701	0,16	7	1,50	4,7	25	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,3320	0,13	11	1,50	7,3	25	4
16	0,3096	0,11	9	1,25	7,2	25	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,2984	0,17	9	1,75	5,1	25	4
	0,3193	0,21	9	2,00	4,5	25	4
17	0,3583	0,17	9	1,50	6,0	15	4
	0,3213	0,14	9	1,50	6,0	20	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,2774	0,12	9	1,50	6,0	30	4
18	0,2706	0,10	7	1,25	5,6	25	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,3208	0,15	11	1,75	6,3	25	4
	0,3427	0,16	13	2,00	6,5	25	4
19	0,3408	0,11	9	1,25	7,2	20	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,2711	0,16	9	1,75	5,1	30	4
	0,2672	0,17	9	2,00	4,5	35	4
20	0,3832	0,24	5	1,50	3,3	15	4
	0,3081	0,17	7	1,50	4,7	20	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4

	0,3115	0,12	11	1,50	7,3	30	4
21	0,3052	0,11	5	1,00	5,0	15	4
	0,2910	0,12	7	1,25	5,6	20	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,2969	0,14	11	1,75	6,3	30	4
	0,3066	0,14	13	2,00	6,5	35	4
22	0,2721	0,14	5	1,50	3,3	25	5
	0,2601	0,15	7	1,50	4,7	25	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,3218	0,12	11	1,50	7,3	25	5
23	0,3012	0,10	9	1,25	7,2	25	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,2864	0,16	9	1,75	5,1	25	5
	0,3036	0,19	9	2,00	4,5	25	5
24	0,3443	0,16	9	1,50	6,0	15	5
	0,3103	0,14	9	1,50	6,0	20	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,2697	0,11	9	1,50	6,0	30	5
25	0,2644	0,09	7	1,25	5,6	25	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,3093	0,14	11	1,75	6,3	25	5
	0,3294	0,15	13	2,00	6,5	25	5
26	0,3323	0,10	9	1,25	7,2	20	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,2606	0,15	9	1,75	5,1	30	5
	0,2563	0,16	9	2,00	4,5	35	5
27	0,3610	0,23	5	1,50	3,3	15	5
	0,2960	0,16	7	1,50	4,7	20	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,3022	0,12	11	1,50	7,3	30	5
28	0,2969	0,10	5	1,00	5,0	15	5
	0,2826	0,11	7	1,25	5,6	20	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,2864	0,13	11	1,75	6,3	30	5
	0,2969	0,13	13	2,00	6,5	35	5
29	0,2646	0,13	5	1,50	3,3	25	6
	0,2533	0,14	7	1,50	4,7	25	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,3152	0,11	11	1,50	7,3	25	6
30	0,2953	0,10	9	1,25	7,2	25	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,2783	0,15	9	1,75	5,1	25	6

	0,2925	0,18	9	2,00	4,5	25	6
31	0,3341	0,15	9	1,50	6,0	15	6
	0,3029	0,13	9	1,50	6,0	20	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,2637	0,11	9	1,50	6,0	30	6
32	0,2599	0,09	7	1,25	5,6	25	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,3010	0,13	11	1,75	6,3	25	6
	0,3194	0,15	13	2,00	6,5	25	6
33	0,3260	0,09	9	1,25	7,2	20	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,2528	0,14	9	1,75	5,1	30	6
	0,2485	0,15	9	2,00	4,5	35	6
34	0,3459	0,22	5	1,50	3,3	15	6
	0,2868	0,15	7	1,50	4,7	20	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,2958	0,11	11	1,50	7,3	30	6
35	0,2911	0,10	5	1,00	5,0	15	6
	0,2764	0,11	7	1,25	5,6	20	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,2792	0,13	11	1,75	6,3	30	6
	0,2892	0,12	13	2,00	6,5	35	6
36	0,2545	0,12	5	1,50	3,3	25	8
	0,2433	0,13	7	1,50	4,7	25	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,3048	0,10	11	1,50	7,3	25	8
37	0,2876	0,09	9	1,25	7,2	25	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2671	0,14	9	1,75	5,1	25	8
	0,2778	0,17	9	2,00	4,5	25	8
38	0,3207	0,14	9	1,50	6,0	15	8
	0,2918	0,12	9	1,50	6,0	20	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2563	0,10	9	1,50	6,0	30	8
39	0,2535	0,08	7	1,25	5,6	25	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2899	0,12	11	1,75	6,3	25	8
	0,3067	0,14	13	2,00	6,5	25	8
40	0,3174	0,09	9	1,25	7,2	20	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2428	0,13	9	1,75	5,1	30	8
	0,2382	0,14	9	2,00	4,5	35	8

41	0,3253	0,20	5	1,50	3,3	15	8
	0,2745	0,14	7	1,50	4,7	20	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2866	0,10	11	1,50	7,3	30	8
42	0,2829	0,09	5	1,00	5,0	15	8
	0,2685	0,10	7	1,25	5,6	20	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2694	0,12	11	1,75	6,3	30	8
	0,2792	0,12	13	2,00	6,5	35	8
43	0,2425	0,12	5	1,50	3,3	25	12
	0,2320	0,12	7	1,50	4,7	25	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,2932	0,10	11	1,50	7,3	25	12
44	0,2775	0,08	9	1,25	7,2	25	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,2531	0,13	9	1,75	5,1	25	12
	0,2605	0,16	9	2,00	4,5	25	12
45	0,3042	0,13	9	1,50	6,0	15	12
	0,2789	0,11	9	1,50	6,0	20	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,2471	0,09	9	1,50	6,0	30	12
46	0,2458	0,07	7	1,25	5,6	25	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,2766	0,11	11	1,75	6,3	25	12
	0,2918	0,12	13	2,00	6,5	25	12
47	0,3074	0,08	9	1,25	7,2	20	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,2310	0,12	9	1,75	5,1	30	12
	0,2255	0,13	9	2,00	4,5	35	12
48	0,3010	0,19	5	1,50	3,3	15	12
	0,2605	0,13	7	1,50	4,7	20	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,2757	0,09	11	1,50	7,3	30	12
49	0,2734	0,08	5	1,00	5,0	15	12
	0,2582	0,09	7	1,25	5,6	20	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,2577	0,11	11	1,75	6,3	30	12
	0,2674	0,11	13	2,00	6,5	35	12

5.3.2 Creazione modello

Una volta ordinati e filtrati i dati, si procede “lanciando” un’analisi statistica attraverso le superfici di risposta, scegliendo come opzione il modello “*FULL QUADRATIC*”, ossia come termini della regressione vengono considerati, oltre ai tre fattori base H/D , L , N , anche i termini quadratici dati dal quadrato dei fattori stessi e dal prodotto tra di essi (H^2/D^2 , L^2 , N^2 , $H/D \cdot L$, $H/D \cdot N$, $L \cdot N$).

Il software utilizzato dà come output i due grafici relativi alle due variabili di risposta considerate, cioè la mediana μ e la deviazione standard β_c del metodo *Risk-UE*, come riportato in seguito per un solo caso specifico; in seguito si analizza la tabella della varianza (*ANOVA table*): questa è importante per valutare, attraverso la colonna dei p -value, quali termini sono significativi per la regressione, fissato $\alpha = 5\%$ (livello di significatività), e quindi da includere nel modello ($p\text{-value} \leq 0,05$). È da tener presente che la costante della regressione, anche se l’indicatore del p -value la discrimina come non significativa, non va mai tolta dal modello. Per concludere questa prima fase, si tracciano i grafici di risposta, prendendo i fattori a coppie, più i grafici dei residui e si valuta il coefficiente di bontà di adattamento R^2_{adj} per capire l’attendibilità del modello appena creato.

Response Surface Regression: Median versus H/D; L; N

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Median

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,856389	0,041195	20,789	0,000
H/D	-0,083929	0,010787	-7,781	0,000
L	-0,016632	0,002131	-7,803	0,000
N	-0,034982	0,003350	-10,441	0,000
H/D*H/D	0,006226	0,000991	6,282	0,000
L*L	0,000169	0,000038	4,510	0,000
N*N	0,001302	0,000130	9,996	0,000
H/D*L	0,000803	0,000258	3,117	0,002
H/D*N	0,000988	0,000406	2,432	0,016
L*N	0,000117	0,000084	1,388	0,167

S = 0,0181276 PRESS = 0,0725615

R-Sq = 80,44% R-Sq(pred) = 77,62% R-Sq(adj) = 79,53%

Analysis of Variance for Median

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0,260809	0,260809	0,028979	88,19	0,000
Linear	3	0,189711	0,065231	0,021744	66,17	0,000
H/D	1	0,002919	0,019893	0,019893	60,54	0,000
L	1	0,054501	0,020010	0,020010	60,89	0,000

N	1	0,132290	0,035822	0,035822	109,01	0,000
Square	3	0,064720	0,052454	0,017485	53,21	0,000
H/D*H/D	1	0,022563	0,012968	0,012968	39,46	0,000
L*L	1	0,009324	0,006685	0,006685	20,34	0,000
N*N	1	0,032832	0,032832	0,032832	99,91	0,000
Interaction	3	0,006378	0,006378	0,002126	6,47	0,000
H/D*L	1	0,003193	0,003193	0,003193	9,72	0,002
H/D*N	1	0,002552	0,001944	0,001944	5,92	0,016
L*N	1	0,000633	0,000633	0,000633	1,93	0,167
Residual Error	193	0,063421	0,063421	0,000329		
Lack-of-Fit	151	0,063421	0,063421	0,000420	*	*
Pure Error	42	0,000000	0,000000	0,000000		
Total	202	0,324230				

Response Surface Regression: Dev Std versus H/D; L; N

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Dev Std

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,593056	0,053108	11,167	0,000
H/D	-0,069484	0,013906	-4,997	0,000
L	-0,009583	0,002748	-3,488	0,001
N	-0,028430	0,004319	-6,582	0,000
H/D*H/D	0,002287	0,001278	1,790	0,075
L*L	0,000096	0,000048	1,979	0,049
N*N	0,001155	0,000168	6,875	0,000
H/D*L	0,000894	0,000332	2,693	0,008
H/D*N	0,000920	0,000524	1,757	0,080
L*N	-0,000002	0,000109	-0,021	0,983

S = 0,0233700 PRESS = 0,120234

R-Sq = 66,91% R-Sq(pred) = 62,26% R-Sq(adj) = 65,37%

Analysis of Variance for Dev Std

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	0,213160	0,213160	0,023684	43,37	0,000
Linear	3	0,172536	0,037887	0,012629	23,12	0,000
H/D	1	0,074907	0,013635	0,013635	24,97	0,000
L	1	0,000044	0,006643	0,006643	12,16	0,001
N	1	0,097585	0,023661	0,023661	43,32	0,000
Square	3	0,034908	0,029700	0,009900	18,13	0,000
H/D*H/D	1	0,005295	0,001749	0,001749	3,20	0,075
L*L	1	0,003796	0,002139	0,002139	3,92	0,049
N*N	1	0,025818	0,025818	0,025818	47,27	0,000
Interaction	3	0,005716	0,005716	0,001905	3,49	0,017
H/D*L	1	0,003961	0,003961	0,003961	7,25	0,008
H/D*N	1	0,001756	0,001686	0,001686	3,09	0,080
L*N	1	0,000000	0,000000	0,000000	0,00	0,983
Residual Error	193	0,105408	0,105408	0,000546		
Lack-of-Fit	151	0,105408	0,105408	0,000698	*	*
Pure Error	42	0,000000	0,000000	0,000000		
Total	202	0,318568				

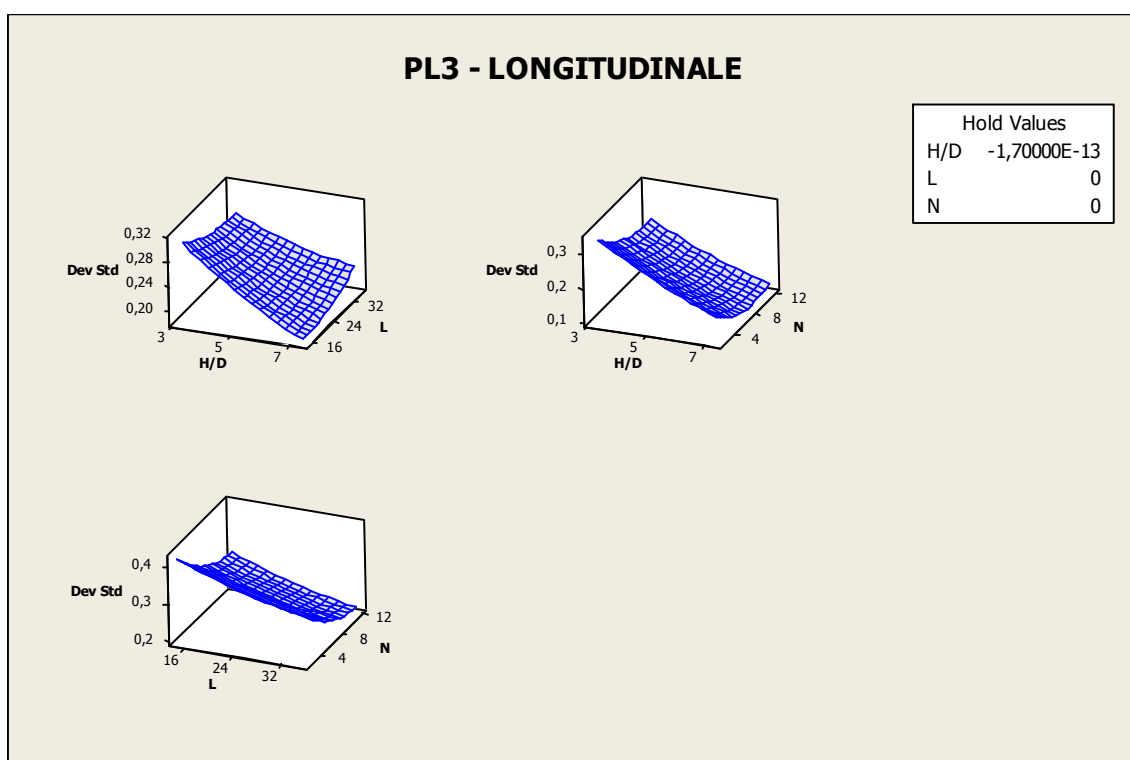
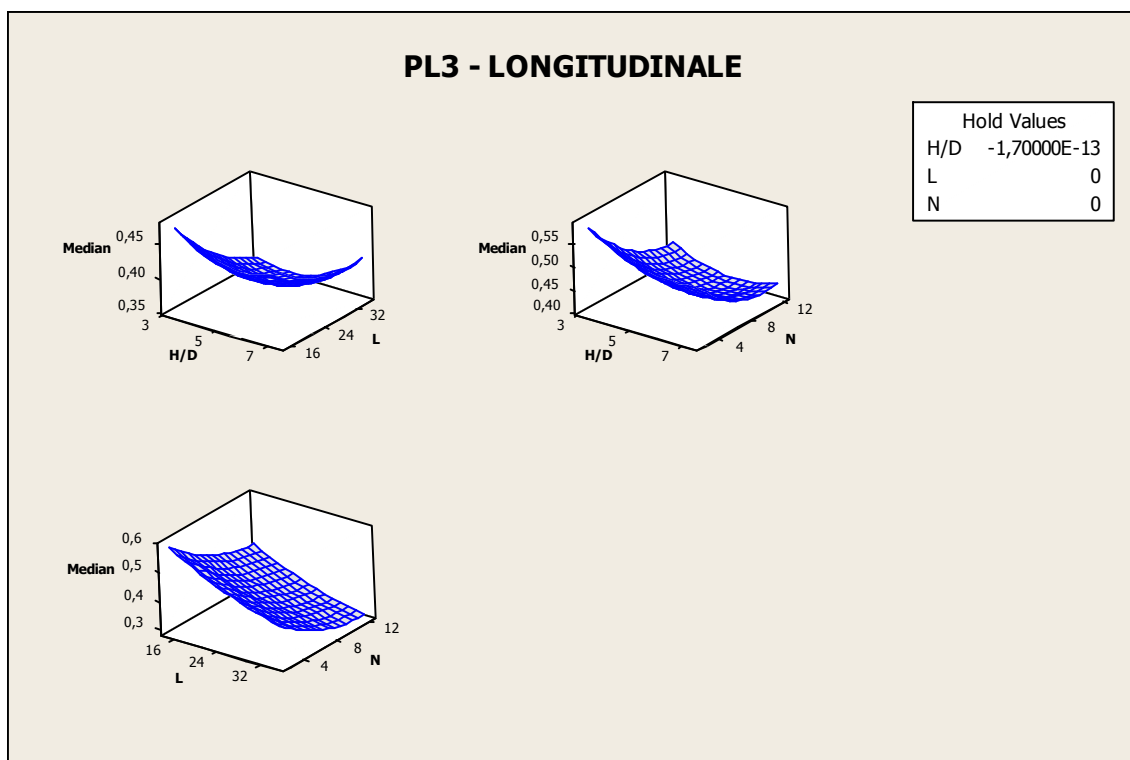


Figura 5.22 - Superfici di risposta relative alle due variabili di risposta (μ e β_c).

Come visto in precedenza, per ottimizzare il modello, si individuano i termini non significativi, fissato un livello di significatività pari al 5%, e si escludono dallo stesso; quindi si lancia un'analisi di regressione: dall'analisi della varianza di tale regressione dovrebbe

risultare, come è lecito aspettarsi, che tutti i termini inclusi nel modello siano significativi e che il coefficiente di bontà di adattamento R^2_{adj} sia per lo meno uguale al precedente o migliorativo. Infine si riassumono i risultati ottenuti riportando l'equazione della regressione, ossia il modello appena creato, e i grafici dei residui, fondamentali in quanto contengono indicazioni sulla veridicità del modello e sono utili per valutare se sono state rispettate le ipotesi base di normalità, omoschedasticità e indipendenza viste in precedenza.

Regression Analysis: Median versus H/D; L; ...

The regression equation is

$$\text{Median} = 0,844 - 0,0846 \text{ H/D} - 0,0160 \text{ L} - 0,0328 \text{ N} + 0,00623 \text{ (H/D)}^2 + 0,000169 \text{ L}^2 + 0,00130 \text{ N}^2 + 0,000803 \text{ H/D*L} + 0,00111 \text{ H/D*N}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,84378	0,04028	20,95	0,000
H/D	-0,08461	0,01080	-7,83	0,000
L	-0,015963	0,002081	-7,67	0,000
N	-0,032775	0,002956	-11,09	0,000
(H/D)^2	0,0062262	0,0009935	6,27	0,000
L^2	0,00016914	0,00003759	4,50	0,000
N^2	0,0013025	0,0001306	9,97	0,000
H/D*L	0,0008032	0,0002583	3,11	0,002
H/D*N	0,0011064	0,0003980	2,78	0,006

S = 0,0181708 R-Sq = 80,2% R-Sq(adj) = 79,4%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	8	0,260175	0,032522	98,50	0,000
Residual Error	194	0,064055	0,000330		
Total	202	0,324230			

Regression Analysis: Dev Std versus H/D; L; N; L^2; N^2; H/D*L

The regression equation is

$$\text{Dev Std} = 0,526 - 0,0443 \text{ H/D} - 0,0107 \text{ L} - 0,0232 \text{ N} + 0,000096 \text{ L}^2 + 0,00116 \text{ N}^2 + 0,00110 \text{ H/D*L}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,52550	0,04463	11,78	0,000
H/D	-0,044254	0,007806	-5,67	0,000
L	-0,010740	0,002622	-4,10	0,000
N	-0,023218	0,002442	-9,51	0,000
L^2	0,00009554	0,00004877	1,96	0,052
N^2	0,0011550	0,0001695	6,82	0,000
H/D*L	0,0010987	0,0003147	3,49	0,001

S = 0,0235729 R-Sq = 65,8% R-Sq(adj) = 64,8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	6	0,209655	0,034943	62,88	0,000
Residual Error	196	0,108913	0,000556		
Total	202	0,318568			

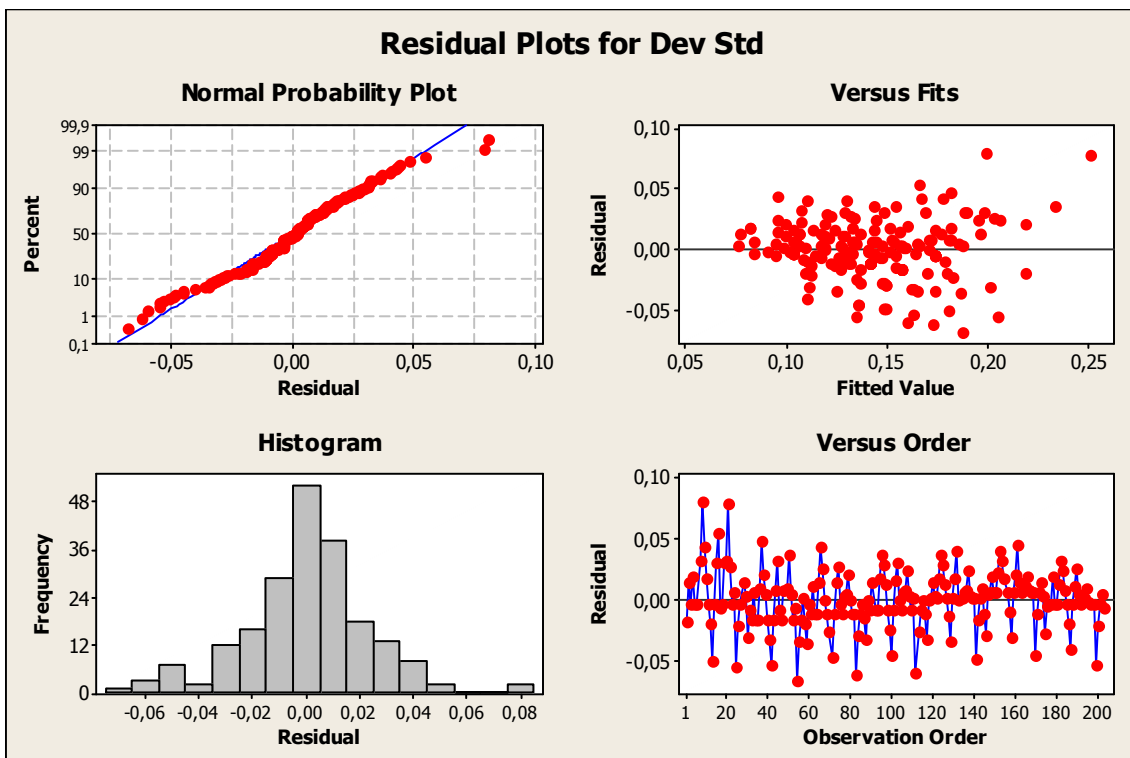
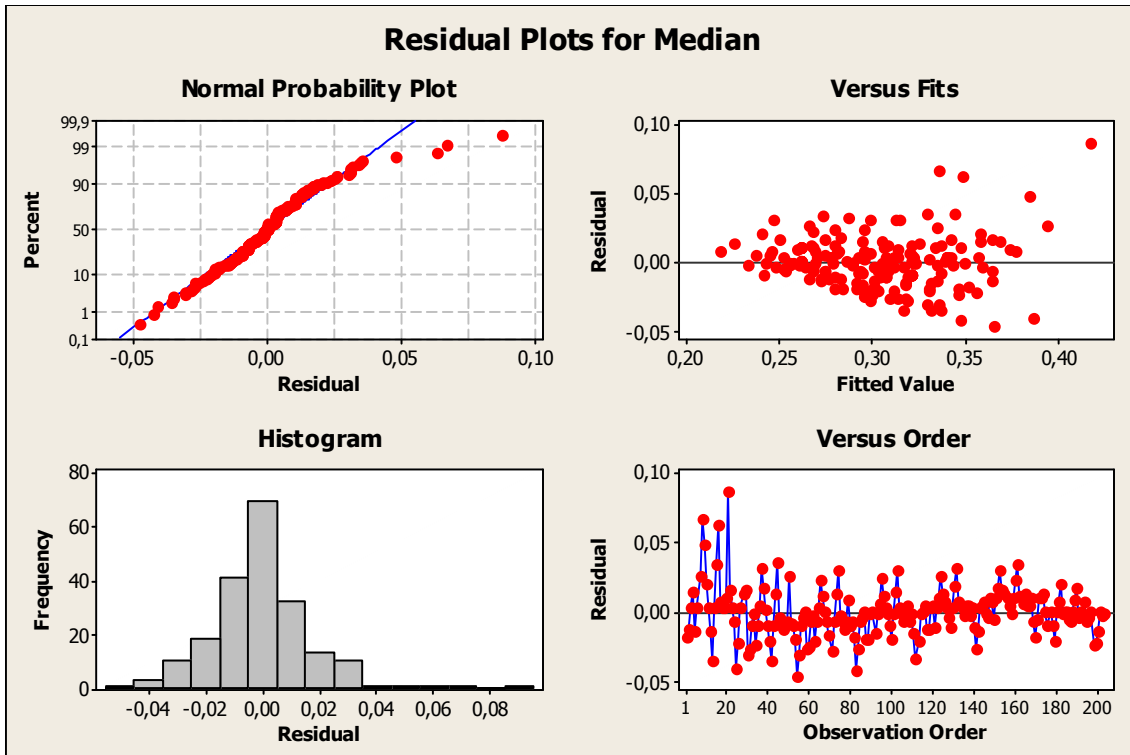


Figura 5.23 - Grafici dei residui relativi alle due variabili di risposta (μ e β_c).

Dall'analisi dei grafici sui residui si può notare che le tre ipotesi di base sull'adeguatezza del modello sembrano rispettate, al netto di qualche outliers, per entrambe le due variabili di risposta.

5.3.3 Riassunto output derivanti dal modello

I passaggi visti nel paragrafo precedente sono stati fatti per tutti i casi analizzati e appositamente omessi; di seguito sono riportati i risultati relativi al modello descritto: a tal proposito si riporta una tabella con già dei valori derivanti da casi noti sia per la direzione longitudinale che per quella trasversale, inoltre si riportano anche le formule derivanti dalla regressione effettuata, con le quali è possibile calcolare manualmente la mediana e la deviazione standard del metodo *Risk-UE* in base alle caratteristiche geometriche del ponte in esame (purché sia in c.a. a campate isostatiche!).

DIREZIONE LONGITUDINALE

H	D	H/D	L	N	PARAMETRI RISK-UE				
					μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	β_c
5	1,50	3,33	25	2	0,1616	0,2383	0,3515	0,4719	0,22
7	1,50	4,67	25	2	0,1296	0,2079	0,3349	0,4891	0,20
9	1,50	6,00	25	2	0,1128	0,1958	0,3403	0,5330	0,17
11	1,50	7,33	25	2	0,1110	0,2020	0,3679	0,6034	0,15
9	1,25	7,20	25	2	0,1105	0,2006	0,3642	0,5951	0,15
9	1,50	6,00	25	2	0,1128	0,1958	0,3403	0,5330	0,17
9	1,75	5,14	25	2	0,1219	0,2015	0,3343	0,5017	0,19
9	2,00	4,50	25	2	0,1328	0,2107	0,3357	0,4855	0,20
9	1,50	6,00	15	2	0,1272	0,2210	0,3841	0,6096	0,18
9	1,50	6,00	20	2	0,1176	0,2051	0,3580	0,5665	0,17
9	1,50	6,00	25	2	0,1128	0,1958	0,3403	0,5330	0,17
9	1,50	6,00	30	2	0,1126	0,1931	0,3311	0,5090	0,18
7	1,25	5,60	25	2	0,1162	0,1975	0,3364	0,5170	0,18
9	1,50	6,00	25	2	0,1128	0,1958	0,3403	0,5330	0,17
11	1,75	6,29	25	2	0,1111	0,1956	0,3444	0,5458	0,17
13	2,00	6,50	25	2	0,1103	0,1960	0,3481	0,5563	0,17
9	1,25	7,20	20	2	0,1119	0,2055	0,3770	0,6244	0,15
9	1,50	6,00	25	2	0,1128	0,1958	0,3403	0,5330	0,17
9	1,75	5,14	30	2	0,1192	0,1956	0,3216	0,4747	0,19
9	2,00	4,50	35	2	0,1286	0,2009	0,3137	0,4365	0,20
5	1,50	3,33	15	2	0,1914	0,2827	0,4167	0,5674	0,25
7	1,50	4,67	20	2	0,1384	0,2220	0,3579	0,5274	0,20

9	1,50	6,00	25	2	0,1128	0,1958	0,3403	0,5330	0,17
11	1,50	7,33	30	2	0,1146	0,2041	0,3641	0,5842	0,16
5	1,00	5,00	15	2	0,1442	0,2356	0,3860	0,5813	0,21
7	1,25	5,60	20	2	0,1223	0,2083	0,3556	0,5520	0,18
9	1,50	6,00	25	2	0,1128	0,1958	0,3403	0,5330	0,17
11	1,75	6,29	30	2	0,1118	0,1939	0,3363	0,5229	0,18
13	2,00	6,50	35	2	0,1176	0,2006	0,3422	0,5215	0,19
5	1,50	3,33	25	3	0,1526	0,2240	0,3290	0,4416	0,20
7	1,50	4,67	25	3	0,1217	0,1950	0,3138	0,4589	0,18
9	1,50	6,00	25	3	0,1058	0,1842	0,3207	0,5027	0,16
11	1,50	7,33	25	3	0,1051	0,1917	0,3498	0,5731	0,13
9	1,25	7,20	25	3	0,1045	0,1901	0,3459	0,5649	0,14
9	1,50	6,00	25	3	0,1058	0,1842	0,3207	0,5027	0,16
9	1,75	5,14	25	3	0,1143	0,1890	0,3137	0,4715	0,17
9	2,00	4,50	25	3	0,1247	0,1976	0,3145	0,4553	0,18
9	1,50	6,00	15	3	0,1203	0,2093	0,3645	0,5771	0,16
9	1,50	6,00	20	3	0,1107	0,1935	0,3384	0,5351	0,16
9	1,50	6,00	25	3	0,1058	0,1842	0,3207	0,5027	0,16
9	1,50	6,00	30	3	0,1057	0,1814	0,3115	0,4798	0,16
7	1,25	5,60	25	3	0,1090	0,1855	0,3163	0,4868	0,16
9	1,50	6,00	25	3	0,1058	0,1842	0,3207	0,5027	0,16
11	1,75	6,29	25	3	0,1044	0,1842	0,3251	0,5155	0,15
13	2,00	6,50	25	3	0,1038	0,1849	0,3290	0,5260	0,15
9	1,25	7,20	20	3	0,1059	0,1951	0,3587	0,5930	0,13
9	1,50	6,00	25	3	0,1058	0,1842	0,3207	0,5027	0,16
9	1,75	5,14	30	3	0,1116	0,1831	0,3011	0,4455	0,17
9	2,00	4,50	35	3	0,1204	0,1878	0,2925	0,4084	0,18
5	1,50	3,33	15	3	0,1824	0,2685	0,3942	0,5350	0,23
7	1,50	4,67	20	3	0,1304	0,2091	0,3368	0,4960	0,19
9	1,50	6,00	25	3	0,1058	0,1842	0,3207	0,5027	0,16
11	1,50	7,33	30	3	0,1088	0,1938	0,3459	0,5550	0,15
5	1,00	5,00	15	3	0,1365	0,2229	0,3652	0,5489	0,19
7	1,25	5,60	20	3	0,1150	0,1962	0,3356	0,5206	0,16
9	1,50	6,00	25	3	0,1058	0,1842	0,3207	0,5027	0,16
11	1,75	6,29	30	3	0,1050	0,1825	0,3170	0,4937	0,16
13	2,00	6,50	35	3	0,1110	0,1895	0,3231	0,4933	0,17
5	1,50	3,33	25	4	0,1445	0,2113	0,3090	0,4153	0,19
7	1,50	4,67	25	4	0,1146	0,1836	0,2953	0,4326	0,16
9	1,50	6,00	25	4	0,0998	0,1741	0,3037	0,4764	0,14
11	1,50	7,33	25	4	0,1001	0,1829	0,3342	0,5468	0,12
9	1,25	7,20	25	4	0,0994	0,1812	0,3302	0,5385	0,12
9	1,50	6,00	25	4	0,0998	0,1741	0,3037	0,4764	0,14
9	1,75	5,14	25	4	0,1076	0,1781	0,2957	0,4452	0,16
9	2,00	4,50	25	4	0,1175	0,1860	0,2958	0,4289	0,17

9	1,50	6,00	15	4	0,1143	0,1993	0,3475	0,5487	0,14
9	1,50	6,00	20	4	0,1047	0,1834	0,3214	0,5077	0,14
9	1,50	6,00	25	4	0,0998	0,1741	0,3037	0,4764	0,14
9	1,50	6,00	30	4	0,0997	0,1713	0,2945	0,4546	0,15
7	1,25	5,60	25	4	0,1027	0,1750	0,2988	0,4605	0,15
9	1,50	6,00	25	4	0,0998	0,1741	0,3037	0,4764	0,14
11	1,75	6,29	25	4	0,0986	0,1745	0,3084	0,4892	0,14
13	2,00	6,50	25	4	0,0982	0,1753	0,3126	0,4997	0,13
9	1,25	7,20	20	4	0,1008	0,1862	0,3430	0,5656	0,11
9	1,50	6,00	25	4	0,0998	0,1741	0,3037	0,4764	0,14
9	1,75	5,14	30	4	0,1050	0,1722	0,2831	0,4203	0,16
9	2,00	4,50	35	4	0,1132	0,1762	0,2738	0,3842	0,17
5	1,50	3,33	15	4	0,1743	0,2558	0,3742	0,5065	0,22
7	1,50	4,67	20	4	0,1233	0,1977	0,3183	0,4687	0,17
9	1,50	6,00	25	4	0,0998	0,1741	0,3037	0,4764	0,14
11	1,50	7,33	30	4	0,1038	0,1850	0,3304	0,5297	0,13
5	1,00	5,00	15	4	0,1297	0,2119	0,3471	0,5204	0,17
7	1,25	5,60	20	4	0,1087	0,1858	0,3181	0,4932	0,15
9	1,50	6,00	25	4	0,0998	0,1741	0,3037	0,4764	0,14
11	1,75	6,29	30	4	0,0993	0,1727	0,3003	0,4685	0,14
13	2,00	6,50	35	4	0,1054	0,1799	0,3066	0,4692	0,15
5	1,50	3,33	25	5	0,1373	0,2002	0,2916	0,3929	0,17
7	1,50	4,67	25	5	0,1085	0,1737	0,2794	0,4102	0,15
9	1,50	6,00	25	5	0,0948	0,1656	0,2893	0,4540	0,13
11	1,50	7,33	25	5	0,0961	0,1757	0,3213	0,5244	0,11
9	1,25	7,20	25	5	0,0953	0,1739	0,3171	0,5162	0,11
9	1,50	6,00	25	5	0,0948	0,1656	0,2893	0,4540	0,13
9	1,75	5,14	25	5	0,1018	0,1687	0,2804	0,4228	0,14
9	2,00	4,50	25	5	0,1113	0,1761	0,2797	0,4066	0,15
9	1,50	6,00	15	5	0,1092	0,1907	0,3331	0,5241	0,13
9	1,50	6,00	20	5	0,0996	0,1749	0,3069	0,4843	0,13
9	1,50	6,00	25	5	0,0948	0,1656	0,2893	0,4540	0,13
9	1,50	6,00	30	5	0,0946	0,1628	0,2801	0,4333	0,13
7	1,25	5,60	25	5	0,0973	0,1661	0,2840	0,4381	0,14
9	1,50	6,00	25	5	0,0948	0,1656	0,2893	0,4540	0,13
11	1,75	6,29	25	5	0,0938	0,1662	0,2943	0,4669	0,12
13	2,00	6,50	25	5	0,0935	0,1672	0,2987	0,4773	0,12
9	1,25	7,20	20	5	0,0967	0,1788	0,3300	0,5422	0,10
9	1,50	6,00	25	5	0,0948	0,1656	0,2893	0,4540	0,13
9	1,75	5,14	30	5	0,0992	0,1629	0,2677	0,3991	0,14
9	2,00	4,50	35	5	0,1070	0,1662	0,2577	0,3640	0,15
5	1,50	3,33	15	5	0,1671	0,2447	0,3568	0,4820	0,21
7	1,50	4,67	20	5	0,1172	0,1879	0,3024	0,4452	0,16
9	1,50	6,00	25	5	0,0948	0,1656	0,2893	0,4540	0,13

11	1,50	7,33	30	5	0,0998	0,1778	0,3175	0,5085	0,12
5	1,00	5,00	15	5	0,1238	0,2024	0,3316	0,4959	0,16
7	1,25	5,60	20	5	0,1033	0,1769	0,3033	0,4698	0,14
9	1,50	6,00	25	5	0,0948	0,1656	0,2893	0,4540	0,13
11	1,75	6,29	30	5	0,0944	0,1645	0,2862	0,4472	0,13
13	2,00	6,50	35	5	0,1008	0,1719	0,2928	0,4490	0,14
5	1,50	3,33	25	6	0,1311	0,1906	0,2769	0,3746	0,16
7	1,50	4,67	25	6	0,1033	0,1655	0,2661	0,3918	0,14
9	1,50	6,00	25	6	0,0906	0,1586	0,2775	0,4357	0,12
11	1,50	7,33	25	6	0,0931	0,1701	0,3110	0,5061	0,10
9	1,25	7,20	25	6	0,0921	0,1681	0,3066	0,4978	0,10
9	1,50	6,00	25	6	0,0906	0,1586	0,2775	0,4357	0,12
9	1,75	5,14	25	6	0,0970	0,1609	0,2676	0,4044	0,13
9	2,00	4,50	25	6	0,1059	0,1676	0,2662	0,3882	0,14
9	1,50	6,00	15	6	0,1051	0,1838	0,3213	0,5036	0,12
9	1,50	6,00	20	6	0,0955	0,1679	0,2951	0,4649	0,12
9	1,50	6,00	25	6	0,0906	0,1586	0,2775	0,4357	0,12
9	1,50	6,00	30	6	0,0905	0,1559	0,2683	0,4160	0,12
7	1,25	5,60	25	6	0,0928	0,1588	0,2717	0,4197	0,12
9	1,50	6,00	25	6	0,0906	0,1586	0,2775	0,4357	0,12
11	1,75	6,29	25	6	0,0899	0,1595	0,2828	0,4485	0,11
13	2,00	6,50	25	6	0,0898	0,1608	0,2874	0,4590	0,11
9	1,25	7,20	20	6	0,0936	0,1731	0,3195	0,5227	0,09
9	1,50	6,00	25	6	0,0906	0,1586	0,2775	0,4357	0,12
9	1,75	5,14	30	6	0,0944	0,1551	0,2550	0,3818	0,13
9	2,00	4,50	35	6	0,1017	0,1578	0,2442	0,3478	0,14
5	1,50	3,33	15	6	0,1609	0,2351	0,3421	0,4615	0,20
7	1,50	4,67	20	6	0,1120	0,1796	0,2891	0,4258	0,15
9	1,50	6,00	25	6	0,0906	0,1586	0,2775	0,4357	0,12
11	1,50	7,33	30	6	0,0967	0,1721	0,3071	0,4912	0,11
5	1,00	5,00	15	6	0,1189	0,1944	0,3187	0,4754	0,15
7	1,25	5,60	20	6	0,0989	0,1695	0,2910	0,4504	0,13
9	1,50	6,00	25	6	0,0906	0,1586	0,2775	0,4357	0,12
11	1,75	6,29	30	6	0,0905	0,1578	0,2747	0,4299	0,12
13	2,00	6,50	35	6	0,0970	0,1654	0,2815	0,4328	0,13
5	1,50	3,33	25	8	0,1214	0,1761	0,2552	0,3497	0,15
7	1,50	4,67	25	8	0,0957	0,1536	0,2473	0,3670	0,13
9	1,50	6,00	25	8	0,0852	0,1494	0,2617	0,4108	0,10
11	1,50	7,33	25	8	0,0897	0,1634	0,2981	0,4812	0,08
9	1,25	7,20	25	8	0,0886	0,1612	0,2935	0,4730	0,08
9	1,50	6,00	25	8	0,0852	0,1494	0,2617	0,4108	0,10
9	1,75	5,14	25	8	0,0902	0,1500	0,2499	0,3796	0,12
9	2,00	4,50	25	8	0,0981	0,1554	0,2471	0,3634	0,13
9	1,50	6,00	15	8	0,0996	0,1745	0,3054	0,4744	0,11

9	1,50	6,00	20	8	0,0901	0,1587	0,2793	0,4379	0,10
9	1,50	6,00	25	8	0,0852	0,1494	0,2617	0,4108	0,10
9	1,50	6,00	30	8	0,0850	0,1466	0,2525	0,3933	0,11
7	1,25	5,60	25	8	0,0868	0,1487	0,2550	0,3949	0,11
9	1,50	6,00	25	8	0,0852	0,1494	0,2617	0,4108	0,10
11	1,75	6,29	25	8	0,0849	0,1508	0,2676	0,4237	0,10
13	2,00	6,50	25	8	0,0851	0,1525	0,2727	0,4341	0,10
9	1,25	7,20	20	8	0,0900	0,1662	0,3063	0,4957	0,08
9	1,50	6,00	25	8	0,0852	0,1494	0,2617	0,4108	0,10
9	1,75	5,14	30	8	0,0876	0,1441	0,2373	0,3591	0,12
9	2,00	4,50	35	8	0,0938	0,1456	0,2251	0,3273	0,13
5	1,50	3,33	15	8	0,1512	0,2206	0,3204	0,4323	0,18
7	1,50	4,67	20	8	0,1044	0,1677	0,2704	0,3988	0,13
9	1,50	6,00	25	8	0,0852	0,1494	0,2617	0,4108	0,10
11	1,50	7,33	30	8	0,0934	0,1655	0,2943	0,4685	0,09
5	1,00	5,00	15	8	0,1119	0,1832	0,3007	0,4462	0,14
7	1,25	5,60	20	8	0,0928	0,1595	0,2743	0,4233	0,11
9	1,50	6,00	25	8	0,0852	0,1494	0,2617	0,4108	0,10
11	1,75	6,29	30	8	0,0855	0,1491	0,2596	0,4072	0,11
13	2,00	6,50	35	8	0,0924	0,1572	0,2668	0,4123	0,12
5	1,50	3,33	25	12	0,1132	0,1658	0,2430	0,3476	0,15
7	1,50	4,67	25	12	0,0918	0,1485	0,2411	0,3649	0,13
9	1,50	6,00	25	12	0,0855	0,1495	0,2613	0,4087	0,10
11	1,50	7,33	25	12	0,0943	0,1689	0,3037	0,4791	0,08
9	1,25	7,20	25	12	0,0927	0,1661	0,2984	0,4709	0,08
9	1,50	6,00	25	12	0,0855	0,1495	0,2613	0,4087	0,10
9	1,75	5,14	25	12	0,0878	0,1468	0,2458	0,3775	0,12
9	2,00	4,50	25	12	0,0937	0,1497	0,2401	0,3613	0,13
9	1,50	6,00	15	12	0,1000	0,1747	0,3051	0,4637	0,11
9	1,50	6,00	20	12	0,0904	0,1588	0,2790	0,4314	0,10
9	1,50	6,00	25	12	0,0855	0,1495	0,2613	0,4087	0,10
9	1,50	6,00	30	12	0,0853	0,1468	0,2521	0,3955	0,11
7	1,25	5,60	25	12	0,0858	0,1473	0,2529	0,3928	0,11
9	1,50	6,00	25	12	0,0855	0,1495	0,2613	0,4087	0,10
11	1,75	6,29	25	12	0,0861	0,1521	0,2685	0,4216	0,10
13	2,00	6,50	25	12	0,0870	0,1546	0,2746	0,4320	0,10
9	1,25	7,20	20	12	0,0942	0,1711	0,3113	0,4893	0,08
9	1,50	6,00	25	12	0,0855	0,1495	0,2613	0,4087	0,10
9	1,75	5,14	30	12	0,0852	0,1409	0,2331	0,3613	0,12
9	2,00	4,50	35	12	0,0894	0,1399	0,2181	0,3338	0,13
5	1,50	3,33	15	12	0,1430	0,2103	0,3082	0,4216	0,18
7	1,50	4,67	20	12	0,1005	0,1627	0,2641	0,3923	0,13
9	1,50	6,00	25	12	0,0855	0,1495	0,2613	0,4087	0,10
11	1,50	7,33	30	12	0,0980	0,1709	0,2998	0,4707	0,09

5	1,00	5,00	15	12	0,1090	0,1795	0,2959	0,4354	0,13
7	1,25	5,60	20	12	0,0918	0,1581	0,2722	0,4169	0,11
9	1,50	6,00	25	12	0,0855	0,1495	0,2613	0,4087	0,10
11	1,75	6,29	30	12	0,0868	0,1504	0,2605	0,4094	0,11
13	2,00	6,50	35	12	0,0943	0,1593	0,2687	0,4188	0,12

<i>Median μ</i>	<i>PL1:</i>	Median = 0,492 - 0,0739 H/D - 0,00867 L - 0,0140 N + 0,00425 (H/D)^2 + 0,000094 L^2 + 0,000468 N^2 + 0,000576 H/D*L + 0,000793 H/D*N
	<i>PL2:</i>	Median = 0,655 - 0,0840 H/D - 0,0121 L - 0,0214 N + 0,00514 (H/D)^2 + 0,000131 L^2 + 0,000778 N^2 + 0,000724 H/D*L + 0,000983 H/D*N
	<i>PL3:</i>	Median = 0,844 - 0,0846 H/D - 0,0160 L - 0,0328 N + 0,00623 (H/D)^2 + 0,000169 L^2 + 0,00130 N^2 + 0,000803 H/D*L + 0,00111 H/D*N
	<i>PL4:</i>	Median = 0,998 - 0,0646 H/D - 0,0200 L - 0,0456 N + 0,00747 (H/D)^2 + 0,000191 L^2 + 0,00198 N^2 + 0,000712 H/D*L + 0,000216 L*N
<i>β_c:</i>	Dev Std = 0,526 - 0,0443 H/D - 0,0107 L - 0,0232 N + 0,000096 L^2 + 0,00116 N^2 + 0,00110 H/D*L	

DIREZIONE TRASVERSALE

					PARAMETRI RISK-UE				
H	D	H/D	L	N	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	β_c
5	1,50	3,33	25	2	0,3950	0,6694	1,1300	1,6920	0,49
7	1,50	4,67	25	2	0,2758	0,4277	0,6669	0,9533	0,41
9	1,50	6,00	25	2	0,2037	0,2947	0,4267	0,5791	0,33
11	1,50	7,33	25	2	0,1789	0,2704	0,4093	0,5696	0,25
9	1,25	7,20	25	2	0,1792	0,2679	0,4010	0,5541	0,26
9	1,50	6,00	25	2	0,2037	0,2947	0,4267	0,5791	0,33
9	1,75	5,14	25	2	0,2446	0,3678	0,5555	0,7778	0,38
9	2,00	4,50	25	2	0,2881	0,4520	0,7126	1,0257	0,42
9	1,50	6,00	15	2	0,2685	0,4152	0,6443	0,9167	0,37
9	1,50	6,00	20	2	0,2298	0,3417	0,5097	0,7075	0,34
9	1,50	6,00	25	2	0,2037	0,2947	0,4267	0,5791	0,33
9	1,50	6,00	30	2	0,1903	0,2743	0,3953	0,5314	0,33
7	1,25	5,60	25	2	0,2204	0,3232	0,4754	0,6531	0,35
9	1,50	6,00	25	2	0,2037	0,2947	0,4267	0,5791	0,33
11	1,75	6,29	25	2	0,1944	0,2803	0,4042	0,5464	0,31
13	2,00	6,50	25	2	0,1889	0,2728	0,3941	0,5328	0,30
9	1,25	7,20	20	2	0,1764	0,2542	0,3655	0,4982	0,29
9	1,50	6,00	25	2	0,2037	0,2947	0,4267	0,5791	0,33
9	1,75	5,14	30	2	0,2105	0,3040	0,4395	0,5984	0,39
9	2,00	4,50	35	2	0,2014	0,2861	0,4052	0,5502	0,47
5	1,50	3,33	15	2	0,5885	1,0594	1,8743	2,8487	0,46

7	1,50	4,67	20	2	0,3340	0,5421	0,8816	1,2865	0,41
9	1,50	6,00	25	2	0,2037	0,2947	0,4267	0,5791	0,33
11	1,50	7,33	30	2	0,1976	0,3173	0,5096	0,7266	0,24
5	1,00	5,00	15	2	0,3664	0,6058	1,0011	1,4703	0,40
7	1,25	5,60	20	2	0,2561	0,3904	0,5979	0,8429	0,36
9	1,50	6,00	25	2	0,2037	0,2947	0,4267	0,5791	0,33
11	1,75	6,29	30	2	0,1879	0,2744	0,4010	0,5425	0,31
13	2,00	6,50	35	2	0,1988	0,3091	0,4816	0,6717	0,31
5	1,50	3,33	25	3	0,3585	0,6107	1,0344	1,5501	0,45
7	1,50	4,67	25	3	0,2455	0,3798	0,5901	0,8410	0,38
9	1,50	6,00	25	3	0,1796	0,2576	0,3687	0,4964	0,30
11	1,50	7,33	25	3	0,1609	0,2440	0,3702	0,5165	0,22
9	1,25	7,20	25	3	0,1607	0,2405	0,3601	0,4981	0,23
9	1,50	6,00	25	3	0,1796	0,2576	0,3687	0,4964	0,30
9	1,75	5,14	25	3	0,2165	0,3237	0,4855	0,6761	0,35
9	2,00	4,50	25	3	0,2570	0,4027	0,6335	0,9097	0,39
9	1,50	6,00	15	3	0,2408	0,3712	0,5735	0,8128	0,33
9	1,50	6,00	20	3	0,2039	0,3011	0,4453	0,6142	0,31
9	1,50	6,00	25	3	0,1796	0,2576	0,3687	0,4964	0,30
9	1,50	6,00	30	3	0,1679	0,2406	0,3438	0,4594	0,30
7	1,25	5,60	25	3	0,1944	0,2828	0,4118	0,5615	0,32
9	1,50	6,00	25	3	0,1796	0,2576	0,3687	0,4964	0,30
11	1,75	6,29	25	3	0,1716	0,2455	0,3503	0,4701	0,28
13	2,00	6,50	25	3	0,1671	0,2398	0,3432	0,4613	0,27
9	1,25	7,20	20	3	0,1560	0,2234	0,3181	0,4316	0,25
9	1,50	6,00	25	3	0,1796	0,2576	0,3687	0,4964	0,30
9	1,75	5,14	30	3	0,1842	0,2634	0,3759	0,5074	0,36
9	2,00	4,50	35	3	0,1739	0,2437	0,3389	0,4555	0,44
5	1,50	3,33	15	3	0,5485	0,9939	1,7659	2,6855	0,43
7	1,50	4,67	20	3	0,3020	0,4907	0,7984	1,1635	0,37
9	1,50	6,00	25	3	0,1796	0,2576	0,3687	0,4964	0,30
11	1,50	7,33	30	3	0,1814	0,2944	0,4769	0,6843	0,20
5	1,00	5,00	15	3	0,3341	0,5538	0,9162	1,3441	0,37
7	1,25	5,60	20	3	0,2284	0,3466	0,5278	0,7407	0,33
9	1,50	6,00	25	3	0,1796	0,2576	0,3687	0,4964	0,30
11	1,75	6,29	30	3	0,1669	0,2430	0,3535	0,4769	0,28
13	2,00	6,50	35	3	0,1805	0,2829	0,4436	0,6214	0,27
5	1,50	3,33	25	4	0,3256	0,5574	0,9472	1,4203	0,42
7	1,50	4,67	25	4	0,2187	0,3373	0,5218	0,7409	0,35
9	1,50	6,00	25	4	0,1590	0,2258	0,3193	0,4260	0,27
11	1,50	7,33	25	4	0,1464	0,2231	0,3396	0,4757	0,19
9	1,25	7,20	25	4	0,1456	0,2185	0,3276	0,4544	0,20
9	1,50	6,00	25	4	0,1590	0,2258	0,3193	0,4260	0,27
9	1,75	5,14	25	4	0,1919	0,2850	0,4239	0,5866	0,32

9	2,00	4,50	25	4	0,2295	0,3588	0,5628	0,8059	0,36
9	1,50	6,00	15	4	0,2166	0,3326	0,5112	0,7210	0,30
9	1,50	6,00	20	4	0,1815	0,2659	0,3895	0,5331	0,28
9	1,50	6,00	25	4	0,1590	0,2258	0,3193	0,4260	0,27
9	1,50	6,00	30	4	0,1491	0,2123	0,3008	0,3996	0,27
7	1,25	5,60	25	4	0,1719	0,2479	0,3567	0,4822	0,29
9	1,50	6,00	25	4	0,1590	0,2258	0,3193	0,4260	0,27
11	1,75	6,29	25	4	0,1523	0,2161	0,3049	0,4060	0,25
13	2,00	6,50	25	4	0,1487	0,2121	0,3008	0,4019	0,24
9	1,25	7,20	20	4	0,1391	0,1979	0,2792	0,3772	0,22
9	1,50	6,00	25	4	0,1590	0,2258	0,3193	0,4260	0,27
9	1,75	5,14	30	4	0,1614	0,2281	0,3207	0,4285	0,33
9	2,00	4,50	35	4	0,1499	0,2067	0,2811	0,3730	0,41
5	1,50	3,33	15	4	0,5120	0,9337	1,6659	2,5345	0,40
7	1,50	4,67	20	4	0,2734	0,4448	0,7237	1,0528	0,34
9	1,50	6,00	25	4	0,1590	0,2258	0,3193	0,4260	0,27
11	1,50	7,33	30	4	0,1687	0,2769	0,4528	0,6541	0,17
5	1,00	5,00	15	4	0,3053	0,5071	0,8397	1,2302	0,34
7	1,25	5,60	20	4	0,2041	0,3082	0,4663	0,6508	0,30
9	1,50	6,00	25	4	0,1590	0,2258	0,3193	0,4260	0,27
11	1,75	6,29	30	4	0,1493	0,2170	0,3146	0,4234	0,25
13	2,00	6,50	35	4	0,1657	0,2621	0,4141	0,5834	0,24
5	1,50	3,33	25	5	0,2961	0,5094	0,8686	1,3028	0,40
7	1,50	4,67	25	5	0,1953	0,3001	0,4620	0,6530	0,32
9	1,50	6,00	25	5	0,1418	0,1995	0,2784	0,3678	0,24
11	1,50	7,33	25	5	0,1354	0,2075	0,3176	0,4472	0,16
9	1,25	7,20	25	5	0,1339	0,2018	0,3036	0,4228	0,17
9	1,50	6,00	25	5	0,1418	0,1995	0,2784	0,3678	0,24
9	1,75	5,14	25	5	0,1708	0,2517	0,3709	0,5093	0,29
9	2,00	4,50	25	5	0,2053	0,3203	0,5007	0,7143	0,33
9	1,50	6,00	15	5	0,1959	0,2994	0,4574	0,6415	0,28
9	1,50	6,00	20	5	0,1625	0,2362	0,3421	0,4643	0,25
9	1,50	6,00	25	5	0,1418	0,1995	0,2784	0,3678	0,24
9	1,50	6,00	30	5	0,1337	0,1894	0,2662	0,3520	0,24
7	1,25	5,60	25	5	0,1529	0,2183	0,3101	0,4151	0,26
9	1,50	6,00	25	5	0,1418	0,1995	0,2784	0,3678	0,24
11	1,75	6,29	25	5	0,1364	0,1921	0,2680	0,3541	0,22
13	2,00	6,50	25	5	0,1339	0,1898	0,2669	0,3548	0,21
9	1,25	7,20	20	5	0,1257	0,1778	0,2488	0,3350	0,20
9	1,50	6,00	25	5	0,1418	0,1995	0,2784	0,3678	0,24
9	1,75	5,14	30	5	0,1420	0,1983	0,2741	0,3619	0,30
9	2,00	4,50	35	5	0,1294	0,1750	0,2318	0,3027	0,38
5	1,50	3,33	15	5	0,4789	0,8789	1,5744	2,3957	0,37
7	1,50	4,67	20	5	0,2483	0,4042	0,6575	0,9543	0,32

9	1,50	6,00	25	5	0,1418	0,1995	0,2784	0,3678	0,24
11	1,50	7,33	30	5	0,1595	0,2648	0,4371	0,6362	0,15
5	1,00	5,00	15	5	0,2799	0,4658	0,7718	1,1284	0,31
7	1,25	5,60	20	5	0,1833	0,2752	0,4133	0,5730	0,27
9	1,50	6,00	25	5	0,1418	0,1995	0,2784	0,3678	0,24
11	1,75	6,29	30	5	0,1352	0,1964	0,2841	0,3822	0,22
13	2,00	6,50	35	5	0,1544	0,2466	0,3931	0,5576	0,22
5	1,50	3,33	25	6	0,2700	0,4669	0,7985	1,1975	0,38
7	1,50	4,67	25	6	0,1755	0,2683	0,4108	0,5773	0,30
9	1,50	6,00	25	6	0,1281	0,1785	0,2459	0,3218	0,22
11	1,50	7,33	25	6	0,1279	0,1973	0,3040	0,4308	0,14
9	1,25	7,20	25	6	0,1258	0,1906	0,2881	0,4035	0,15
9	1,50	6,00	25	6	0,1281	0,1785	0,2459	0,3218	0,22
9	1,75	5,14	25	6	0,1531	0,2238	0,3263	0,4442	0,27
9	2,00	4,50	25	6	0,1847	0,2872	0,4470	0,6349	0,31
9	1,50	6,00	15	6	0,1786	0,2716	0,4122	0,5742	0,26
9	1,50	6,00	20	6	0,1470	0,2117	0,3033	0,4076	0,23
9	1,50	6,00	25	6	0,1281	0,1785	0,2459	0,3218	0,22
9	1,50	6,00	30	6	0,1217	0,1718	0,2402	0,3166	0,22
7	1,25	5,60	25	6	0,1373	0,1940	0,2720	0,3602	0,24
9	1,50	6,00	25	6	0,1281	0,1785	0,2459	0,3218	0,22
11	1,75	6,29	25	6	0,1241	0,1734	0,2396	0,3144	0,20
13	2,00	6,50	25	6	0,1225	0,1728	0,2416	0,3199	0,19
9	1,25	7,20	20	6	0,1158	0,1632	0,2269	0,3050	0,17
9	1,50	6,00	25	6	0,1281	0,1785	0,2459	0,3218	0,22
9	1,75	5,14	30	6	0,1261	0,1738	0,2360	0,3074	0,28
9	2,00	4,50	35	6	0,1123	0,1487	0,1910	0,2446	0,36
5	1,50	3,33	15	6	0,4493	0,8295	1,4914	2,2691	0,35
7	1,50	4,67	20	6	0,2266	0,3690	0,5998	0,8680	0,29
9	1,50	6,00	25	6	0,1281	0,1785	0,2459	0,3218	0,22
11	1,50	7,33	30	6	0,1537	0,2580	0,4300	0,6304	0,13
5	1,00	5,00	15	6	0,2580	0,4298	0,7124	1,0389	0,29
7	1,25	5,60	20	6	0,1659	0,2475	0,3688	0,5074	0,25
9	1,50	6,00	25	6	0,1281	0,1785	0,2459	0,3218	0,22
11	1,75	6,29	30	6	0,1246	0,1811	0,2621	0,3532	0,20
13	2,00	6,50	35	6	0,1466	0,2365	0,3805	0,5440	0,20
5	1,50	3,33	25	8	0,2284	0,3979	0,6837	1,0235	0,35
7	1,50	4,67	25	8	0,1461	0,2209	0,3337	0,4627	0,27
9	1,50	6,00	25	8	0,1111	0,1527	0,2066	0,2664	0,19
11	1,50	7,33	25	8	0,1232	0,1931	0,3023	0,4347	0,11
9	1,25	7,20	25	8	0,1199	0,1842	0,2827	0,4015	0,12
9	1,50	6,00	25	8	0,1111	0,1527	0,2066	0,2664	0,19
9	1,75	5,14	25	8	0,1282	0,1841	0,2627	0,3507	0,24
9	2,00	4,50	25	8	0,1538	0,2371	0,3653	0,5128	0,28

9	1,50	6,00	15	8	0,1545	0,2320	0,3472	0,4762	0,23
9	1,50	6,00	20	8	0,1265	0,1791	0,2511	0,3310	0,20
9	1,50	6,00	25	8	0,1111	0,1527	0,2066	0,2664	0,19
9	1,50	6,00	30	8	0,1083	0,1528	0,2137	0,2826	0,19
7	1,25	5,60	25	8	0,1166	0,1617	0,2213	0,2870	0,22
9	1,50	6,00	25	8	0,1111	0,1527	0,2066	0,2664	0,19
11	1,75	6,29	25	8	0,1097	0,1522	0,2084	0,2718	0,18
13	2,00	6,50	25	8	0,1101	0,1551	0,2164	0,2868	0,16
9	1,25	7,20	20	8	0,1063	0,1499	0,2087	0,2817	0,15
9	1,50	6,00	25	8	0,1111	0,1527	0,2066	0,2664	0,19
9	1,75	5,14	30	8	0,1047	0,1409	0,1852	0,2352	0,26
9	2,00	4,50	35	8	0,0885	0,1123	0,1349	0,1651	0,33
5	1,50	3,33	15	8	0,4005	0,7468	1,3510	2,0525	0,32
7	1,50	4,67	20	8	0,1937	0,3147	0,5099	0,7320	0,27
9	1,50	6,00	25	8	0,1111	0,1527	0,2066	0,2664	0,19
11	1,50	7,33	30	8	0,1526	0,2606	0,4412	0,6556	0,10
5	1,00	5,00	15	8	0,2246	0,3741	0,6191	0,8964	0,26
7	1,25	5,60	20	8	0,1417	0,2084	0,3053	0,4130	0,22
9	1,50	6,00	25	8	0,1111	0,1527	0,2066	0,2664	0,19
11	1,75	6,29	30	8	0,1138	0,1668	0,2437	0,3318	0,17
13	2,00	6,50	35	8	0,1413	0,2325	0,3810	0,5534	0,17
5	1,50	3,33	25	12	0,1867	0,3244	0,5563	0,8222	0,35
7	1,50	4,67	25	12	0,1291	0,1907	0,2817	0,3799	0,27
9	1,50	6,00	25	12	0,1186	0,1656	0,2300	0,3022	0,19
11	1,50	7,33	25	12	0,1554	0,2492	0,4012	0,5891	0,11
9	1,25	7,20	25	12	0,1496	0,2360	0,3740	0,5440	0,12
9	1,50	6,00	25	12	0,1186	0,1656	0,2300	0,3022	0,19
9	1,75	5,14	25	12	0,1199	0,1693	0,2377	0,3103	0,24
9	2,00	4,50	25	12	0,1337	0,2015	0,3039	0,4153	0,28
9	1,50	6,00	15	12	0,1479	0,2176	0,3192	0,4269	0,23
9	1,50	6,00	20	12	0,1269	0,1783	0,2488	0,3242	0,20
9	1,50	6,00	25	12	0,1186	0,1656	0,2300	0,3022	0,19
9	1,50	6,00	30	12	0,1230	0,1795	0,2628	0,3610	0,19
7	1,25	5,60	25	12	0,1168	0,1617	0,2221	0,2873	0,22
9	1,50	6,00	25	12	0,1186	0,1656	0,2300	0,3022	0,19
11	1,75	6,29	25	12	0,1226	0,1744	0,2479	0,3330	0,18
13	2,00	6,50	25	12	0,1269	0,1842	0,2681	0,3671	0,16
9	1,25	7,20	20	12	0,1289	0,1880	0,2743	0,3817	0,15
9	1,50	6,00	25	12	0,1186	0,1656	0,2300	0,3022	0,19
9	1,75	5,14	30	12	0,1036	0,1398	0,1858	0,2374	0,26
9	2,00	4,50	35	12	0,0826	0,1041	0,1248	0,1527	0,33
5	1,50	3,33	15	12	0,3446	0,6459	1,1722	1,7661	0,32
7	1,50	4,67	20	12	0,1695	0,2708	0,4322	0,6067	0,27
9	1,50	6,00	25	12	0,1186	0,1656	0,2300	0,3022	0,19

11	1,50	7,33	30	12	0,1920	0,3305	0,5657	0,8527	0,10
5	1,00	5,00	15	12	0,1995	0,3273	0,5346	0,7582	0,26
7	1,25	5,60	20	12	0,1348	0,1947	0,2804	0,3707	0,22
9	1,50	6,00	25	12	0,1186	0,1656	0,2300	0,3022	0,19
11	1,75	6,29	30	12	0,1338	0,2027	0,3090	0,4357	0,17
13	2,00	6,50	35	12	0,1724	0,2890	0,4841	0,7189	0,17

<i>Median μ</i>	<i>PL1:</i>	Median = 2,01 - 0,326 H/D - 0,0463 L - 0,0694 N + 0,0133 (H/D) ² + 0,000253 L ² + 0,00173 N ² + 0,00483 H/D*L + 0,00462 H/D*N + 0,000356 L*N
	<i>PL2:</i>	Median = 3,99 - 0,695 H/D - 0,0953 L - 0,116 N + 0,0306 (H/D) ² + 0,000531 L ² + 0,00269 N ² + 0,0101 H/D*L + 0,00810 H/D*N + 0,000685 L*N
	<i>PL3:</i>	Median = 7,53 - 1,37 H/D - 0,184 L - 0,196 N + 0,0627 (H/D) ² + 0,00103 L ² + 0,00425 N ² + 0,0198 H/D*L + 0,0141 H/D*N + 0,00128 L*N
	<i>PL4:</i>	Median = 11,8 - 2,19 H/D - 0,287 L - 0,300 N + 0,103 (H/D) ² + 0,00161 L ² + 0,00611 N ² + 0,0307 H/D*L + 0,0222 H/D*N + 0,00213 L*N
<i>β_c:</i>		Dev Std = 0,603 - 0,0463 N + 0,000266 L ² + 0,00231 N ² - 0,00237 H/D*L

5.3.4 Grafici al variare del fattore “N”

Si riportano in seguito due tipologie di grafici (*surface plot* e *contour plot*) relativi alle due variabili di risposta, mediana μ e deviazione standard β_c , per ogni livello di danno e per le due direzioni, fissato il numero di campate pari a $N = 4$; successivamente si riporta solamente una tipologia di grafico (*contour plot*), evidenziando, per ogni livello di danno e per ogni direzione, la variazione delle variabili di risposta dovuta al mutamento del numero di campate (2, 3, 5, 6, 8, 12).

Questa visualizzazione serve per avere un’idea di come variano i due parametri di risposta in base alla variazione dei fattori considerati (H/D , L , N); un fattore dovrà essere fissato di volta in volta per poter eseguire la rappresentazione tridimensionale: in questo caso si è deciso di fissare il numero di campate.

Ovviamente, per qualsiasi valore dei vari fattori non rappresentati nei grafici, fanno sempre fede le leggi riportate nel paragrafo precedente.

Per quanto riguarda la deviazione standard, si riporta un solo grafico per tutti i livelli di danno, in quanto non è influenzata da quest’ultimi.

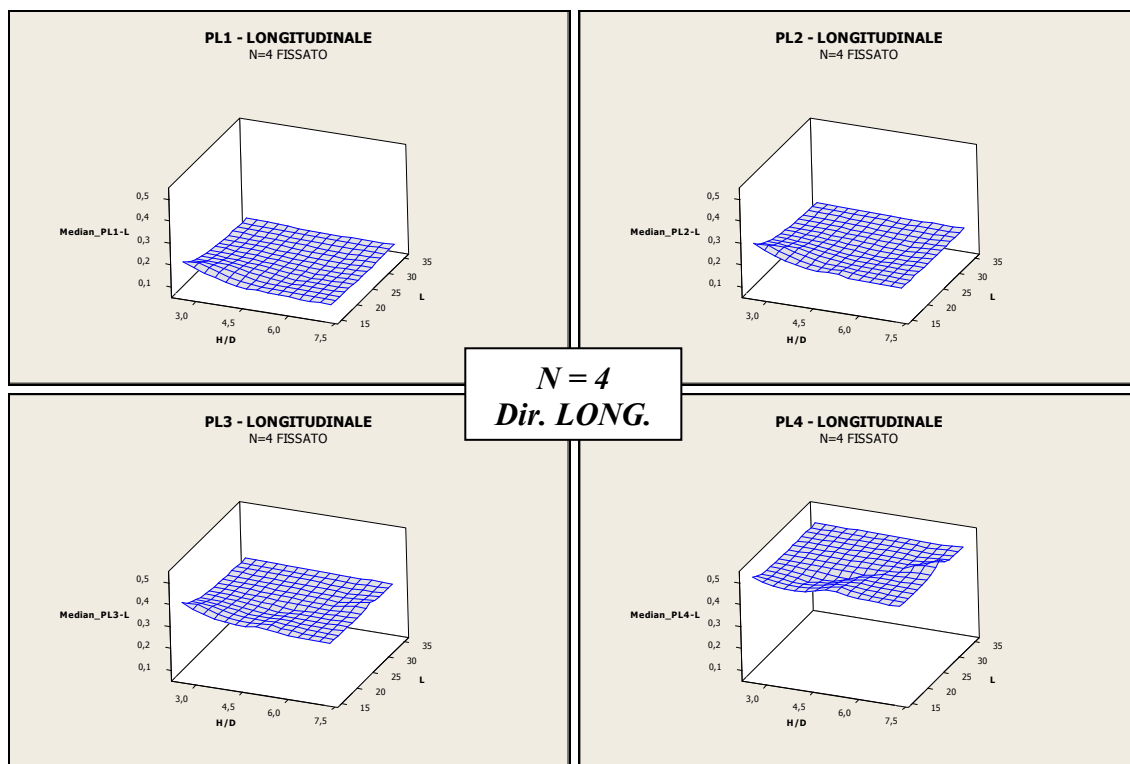


Figura 5.24 - Surface plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, fissato $N=4$.

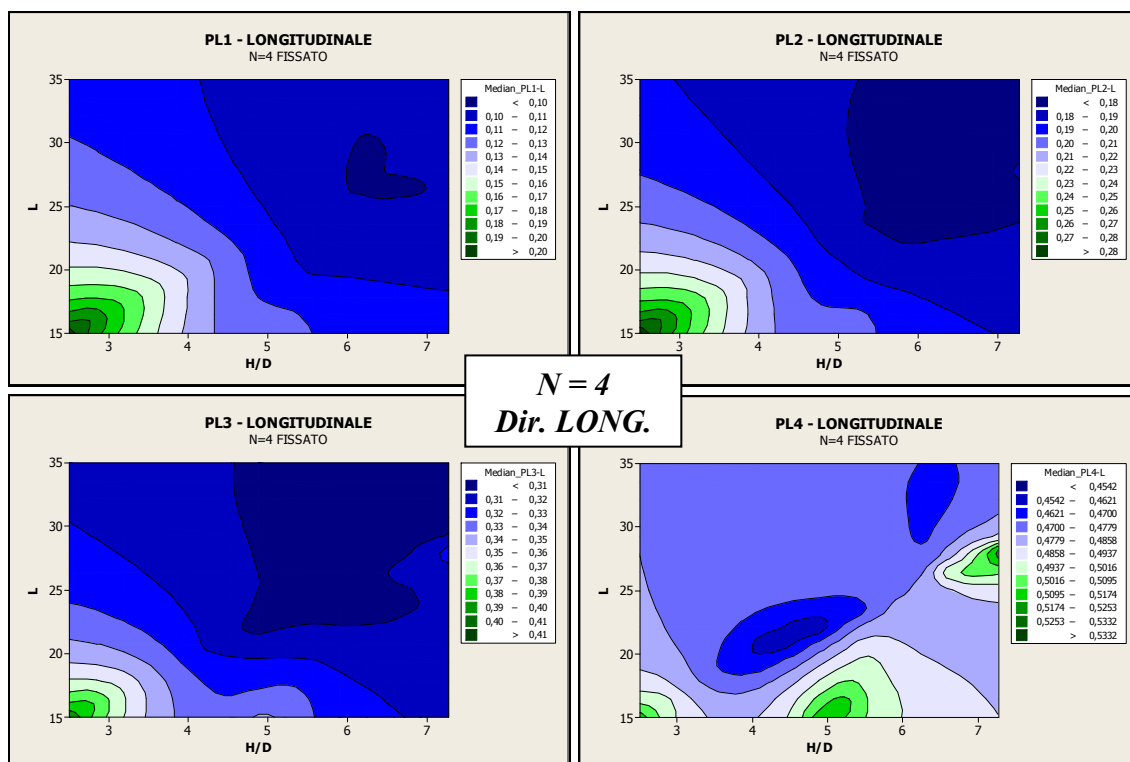


Figura 5.25 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, fissato $N=4$.

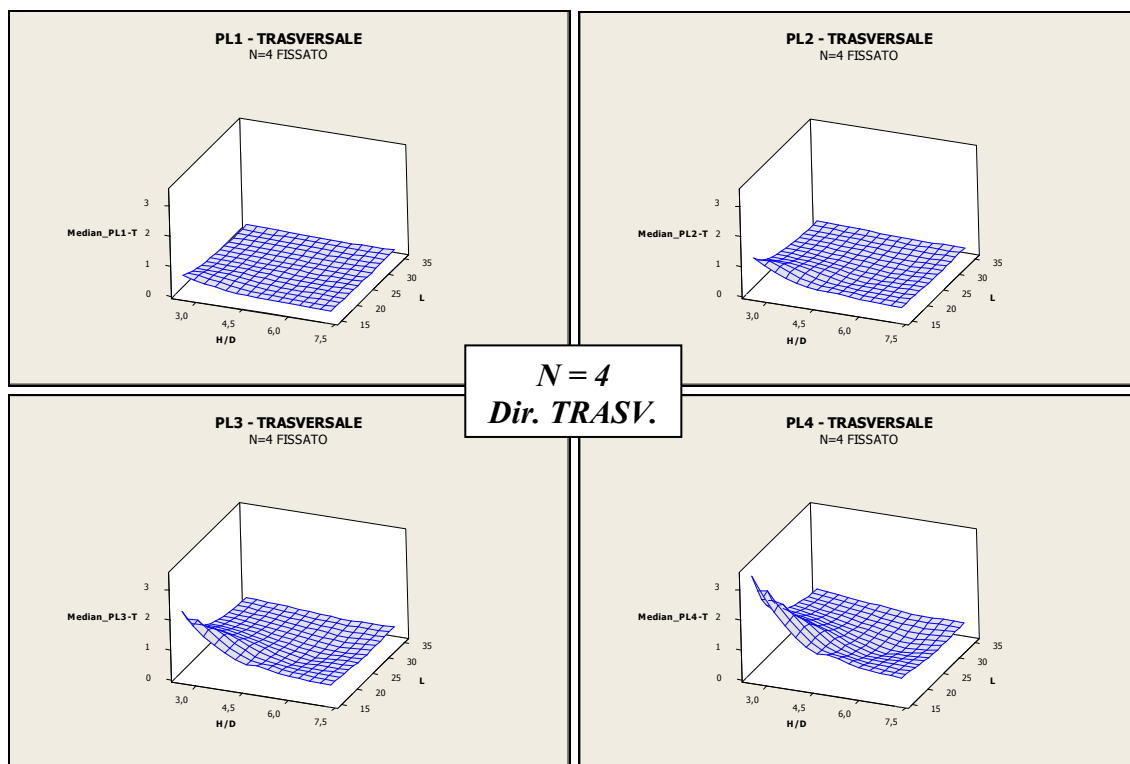


Figura 5.26 - Surface plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, fissato $N=4$.

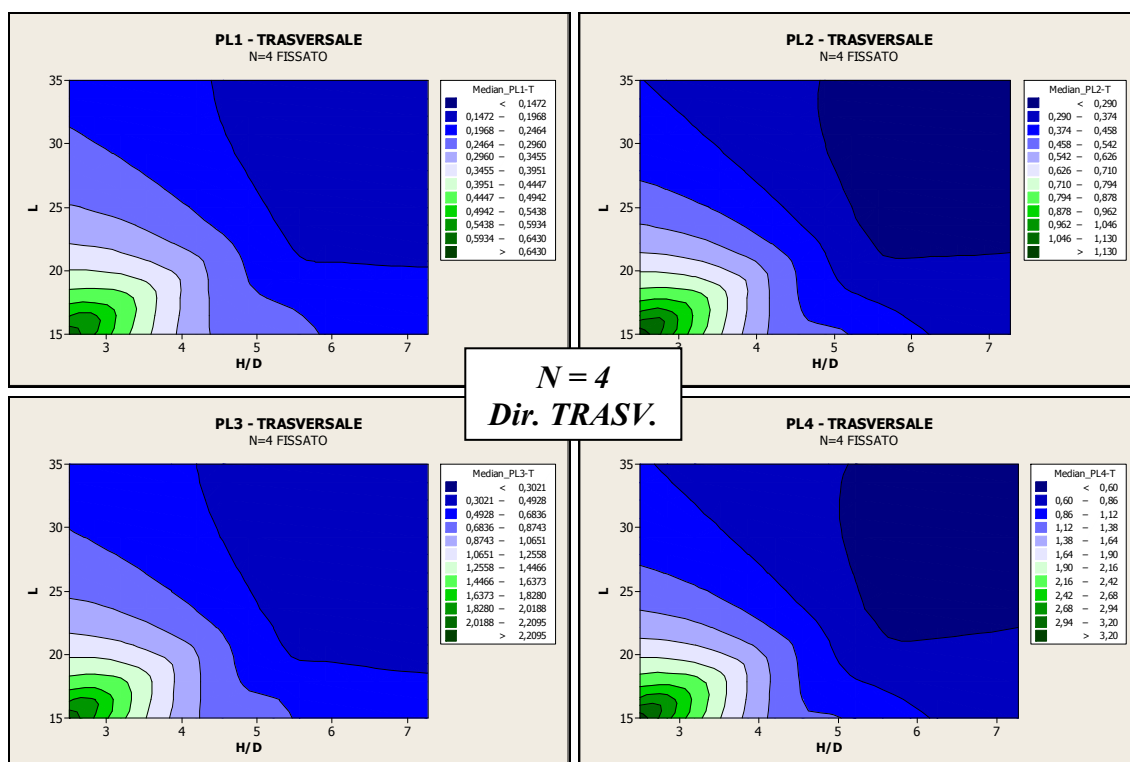


Figura 5.27 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, fissato $N=4$.

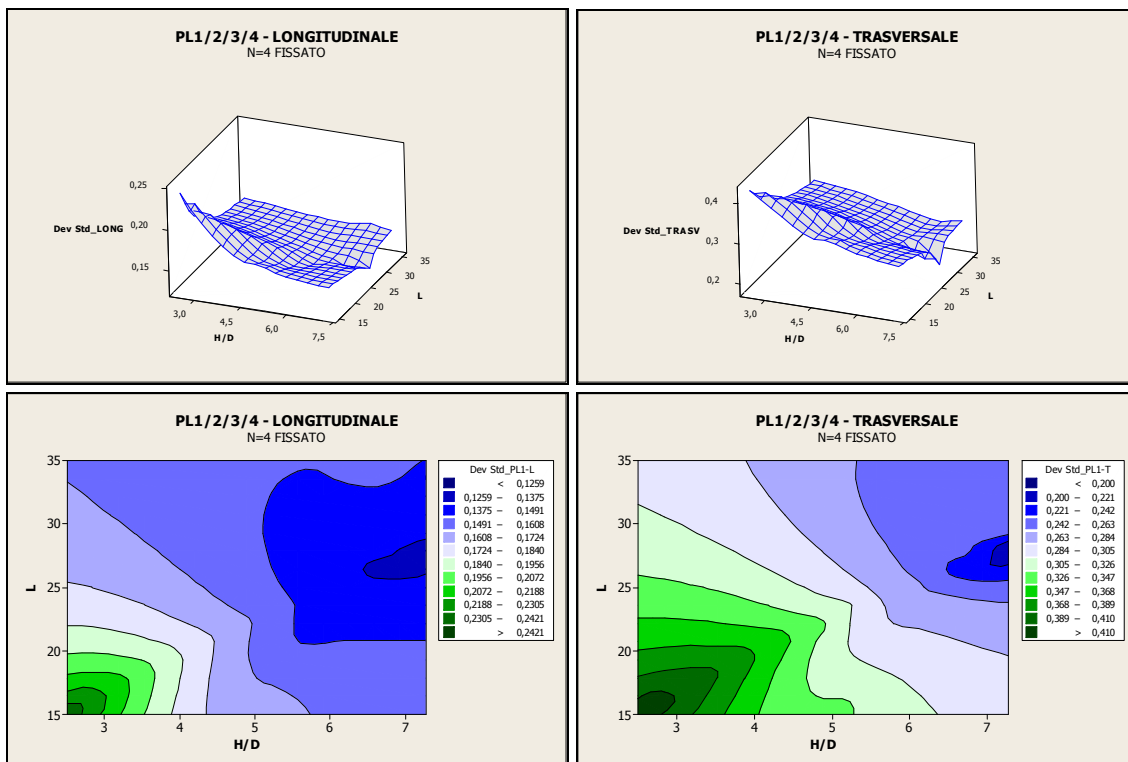


Figura 5.28 - Surface plot e contour plot relativi alla deviazione standard, in entrambe le direzioni, fissato $N=4$.

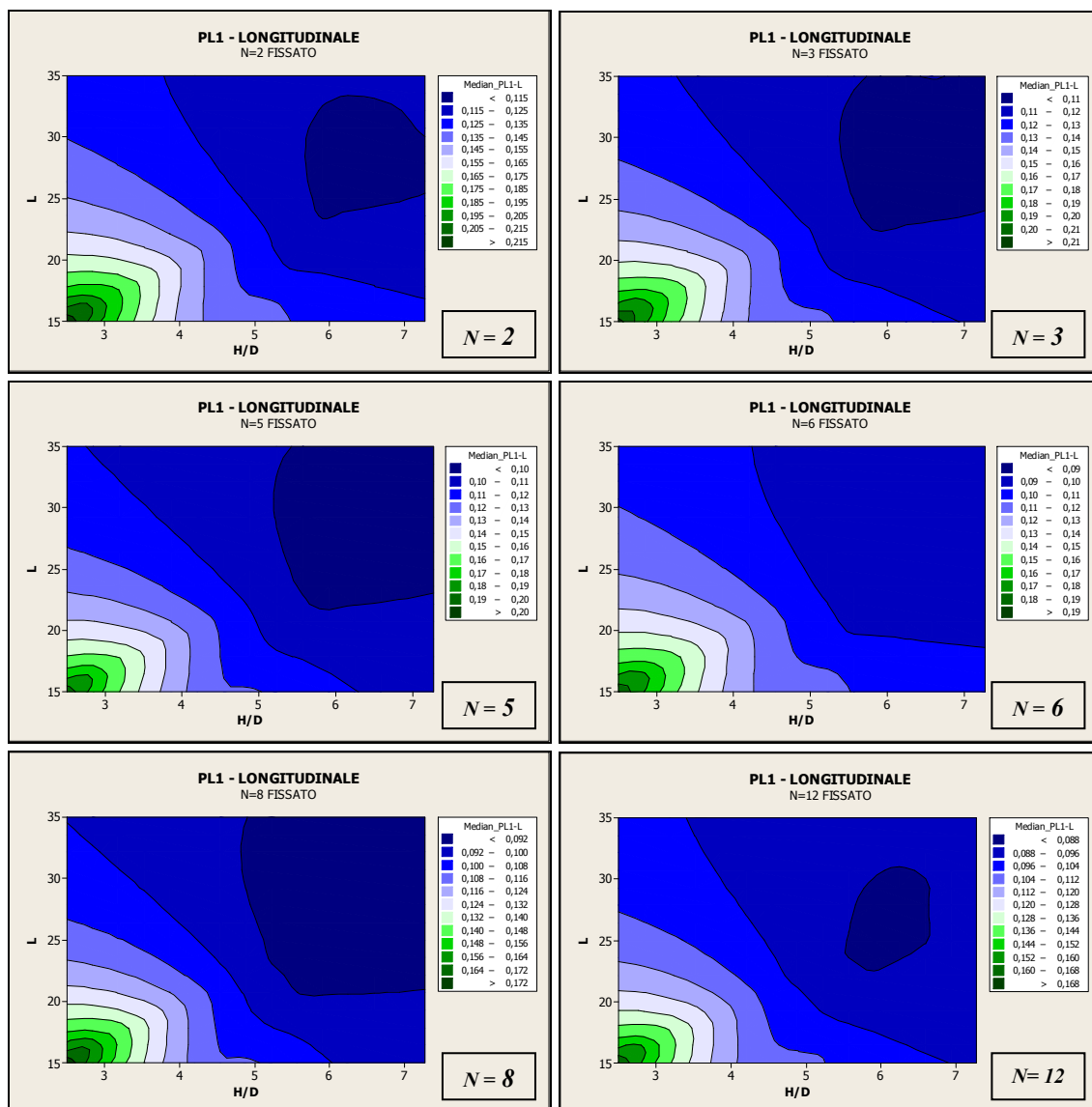


Figura 5.29 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, per il livello di danno "Minor" al variare del numero di campate.

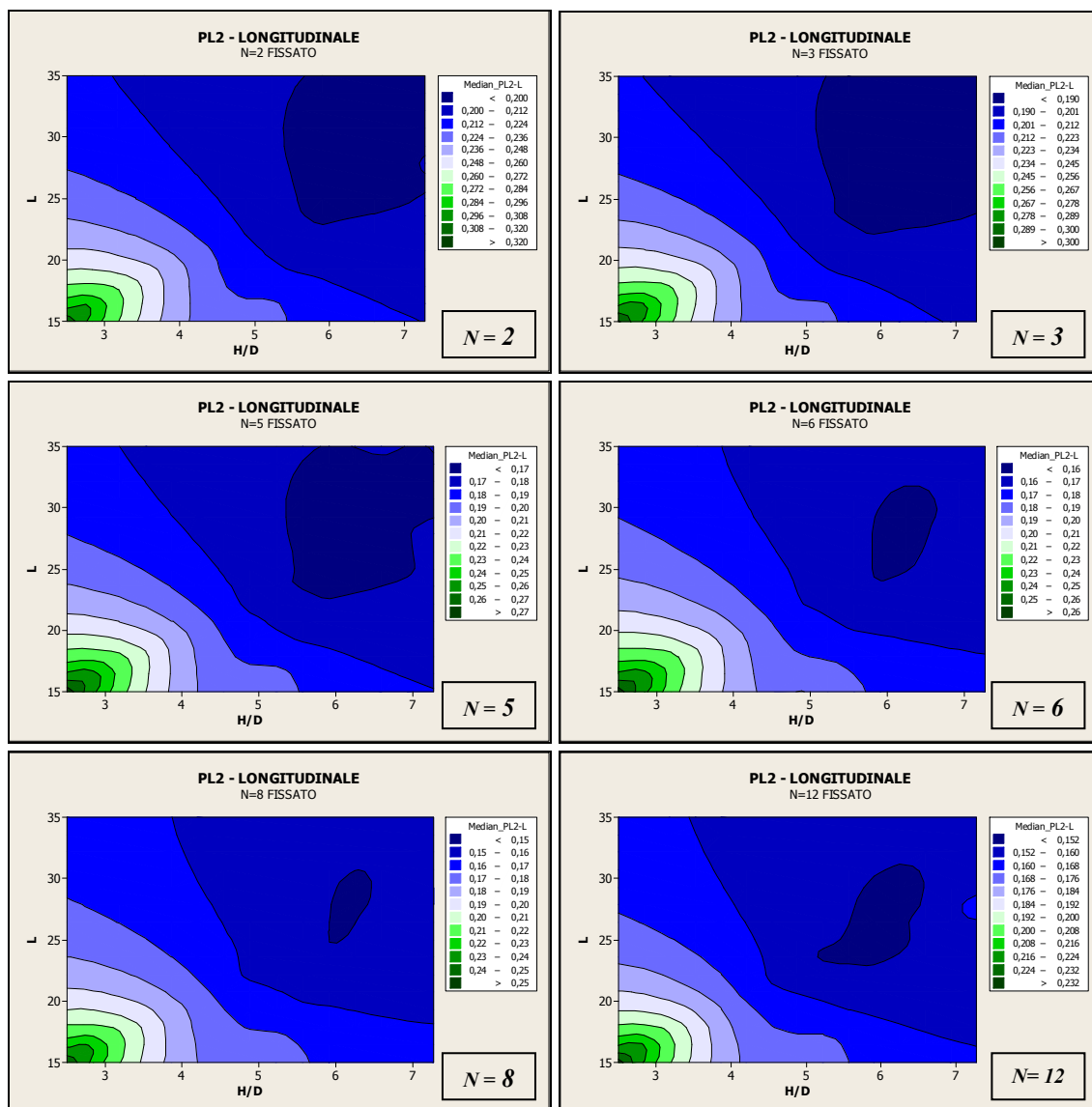


Figura 5.30 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, per il livello di danno "Moderate" al variare del numero di campate.

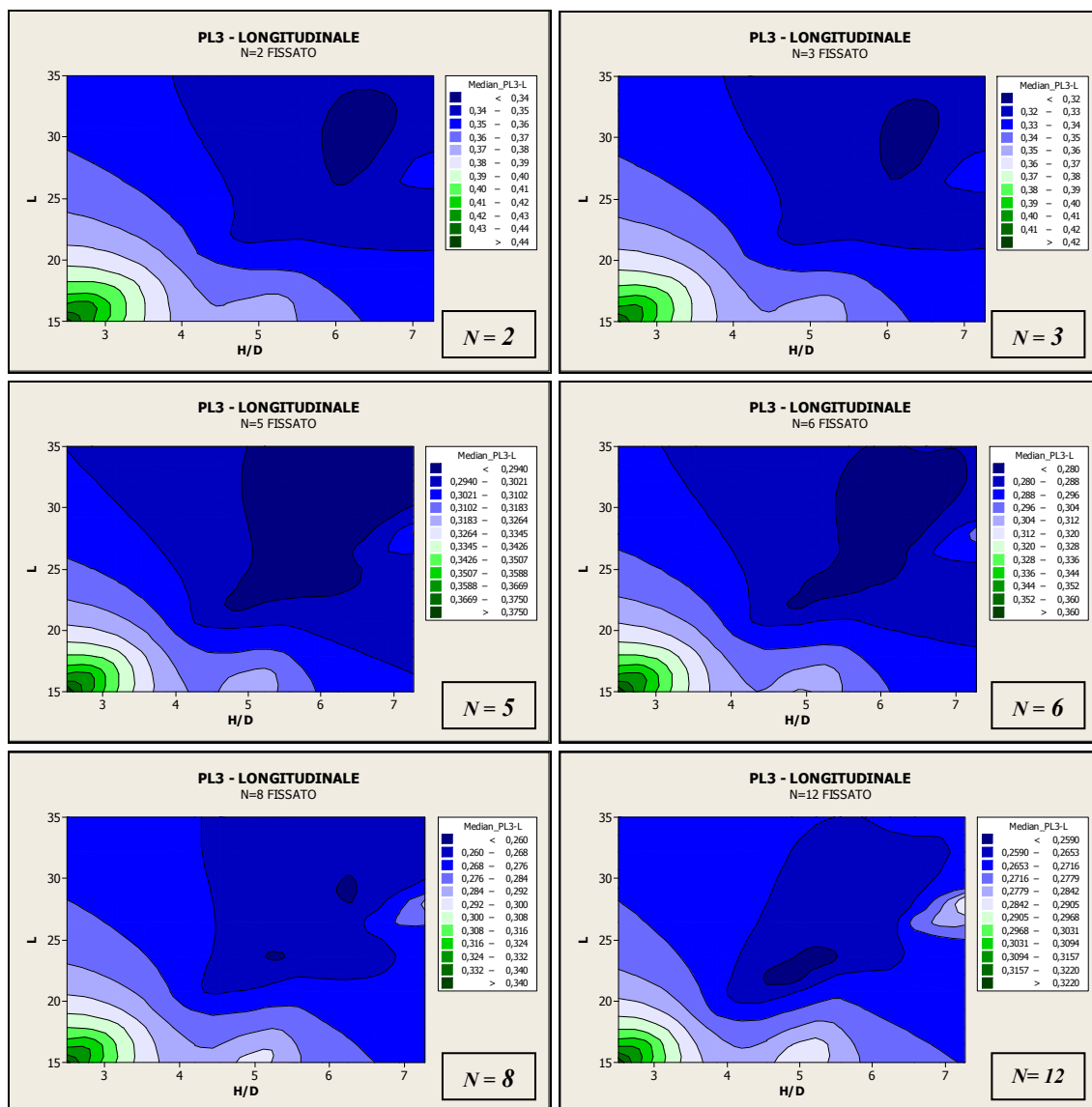


Figura 5.31 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, per il livello di danno "Extensive" al variare del numero di campate.

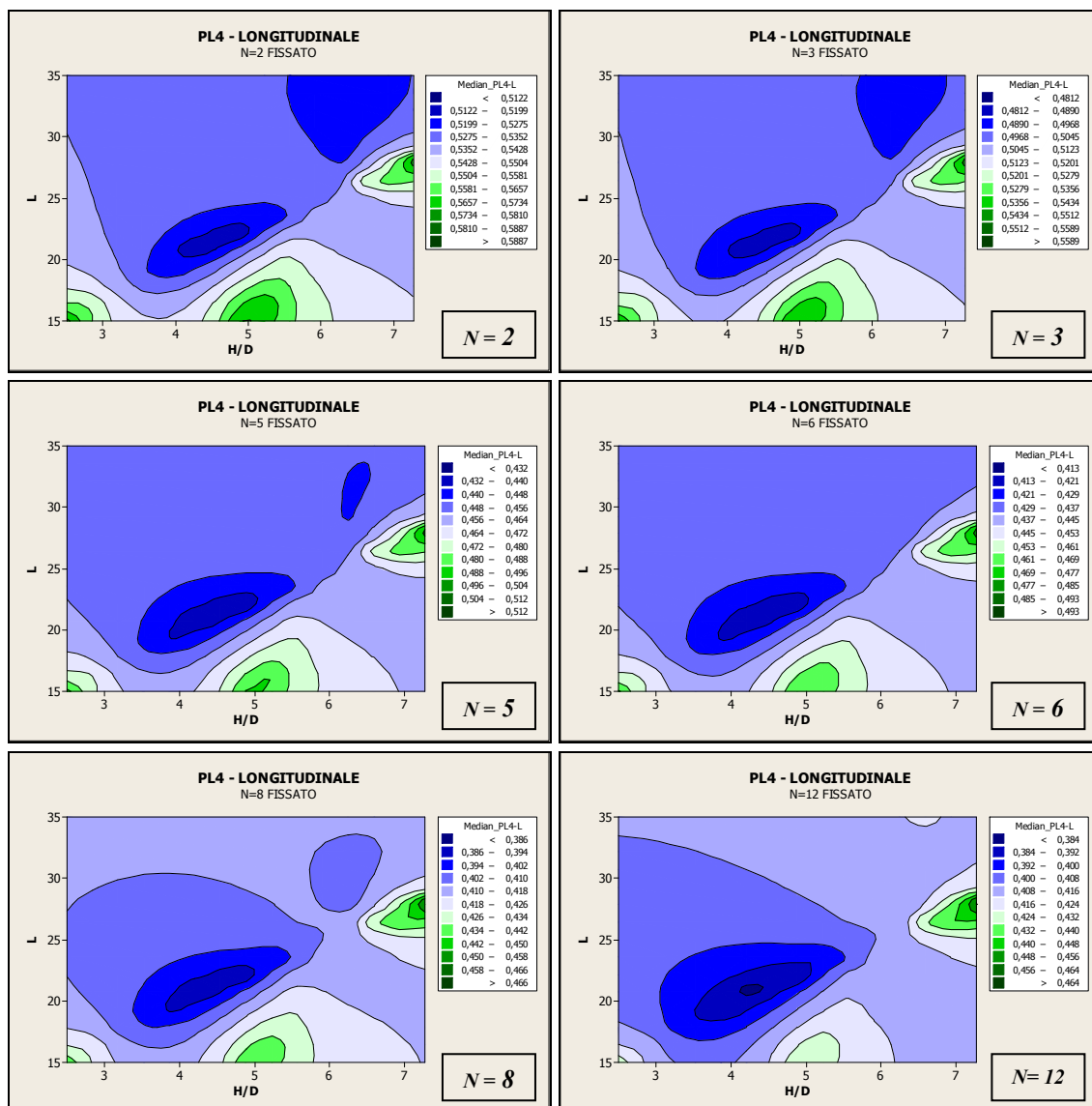


Figura 5.31 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione longitudinale, per il livello di danno "Complete" al variare del numero di campate.

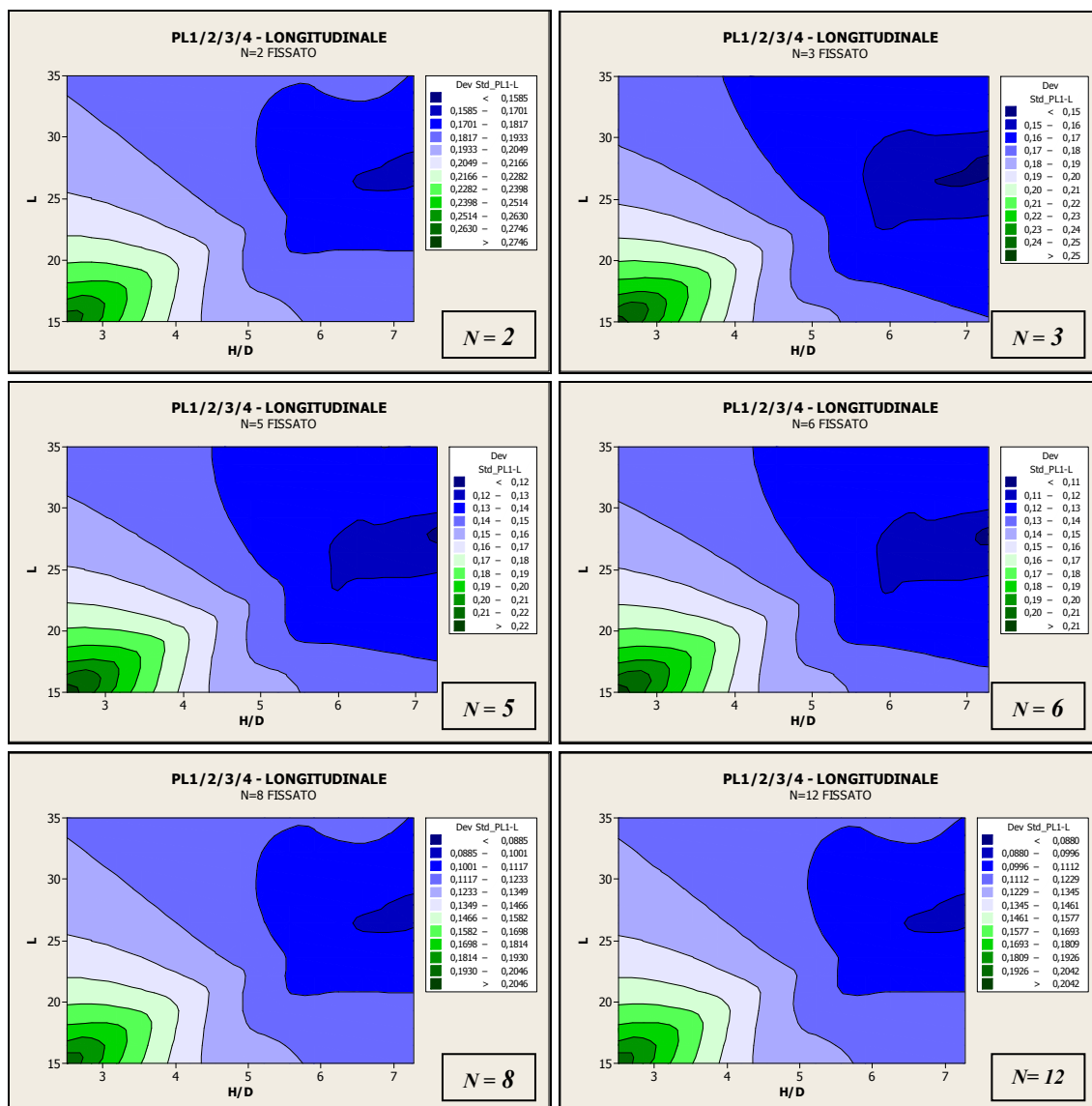


Figura 5.32 - Contour plot relativi alla deviazione standard, in direzione longitudinale, per tutti i livelli di danno al variare del numero di campate.

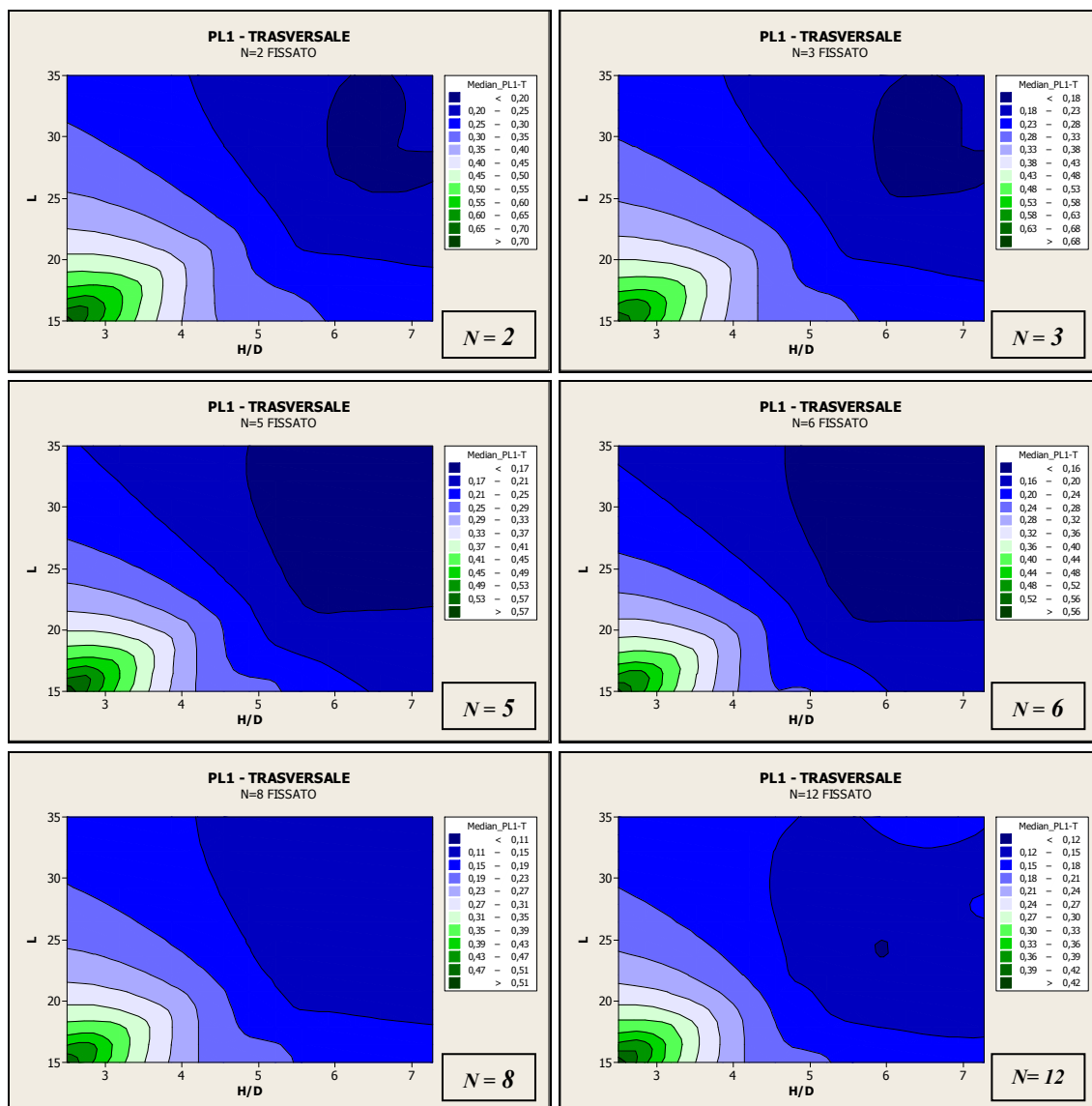


Figura 5.33 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, per il livello di danno "Minor" al variare del numero di campate.

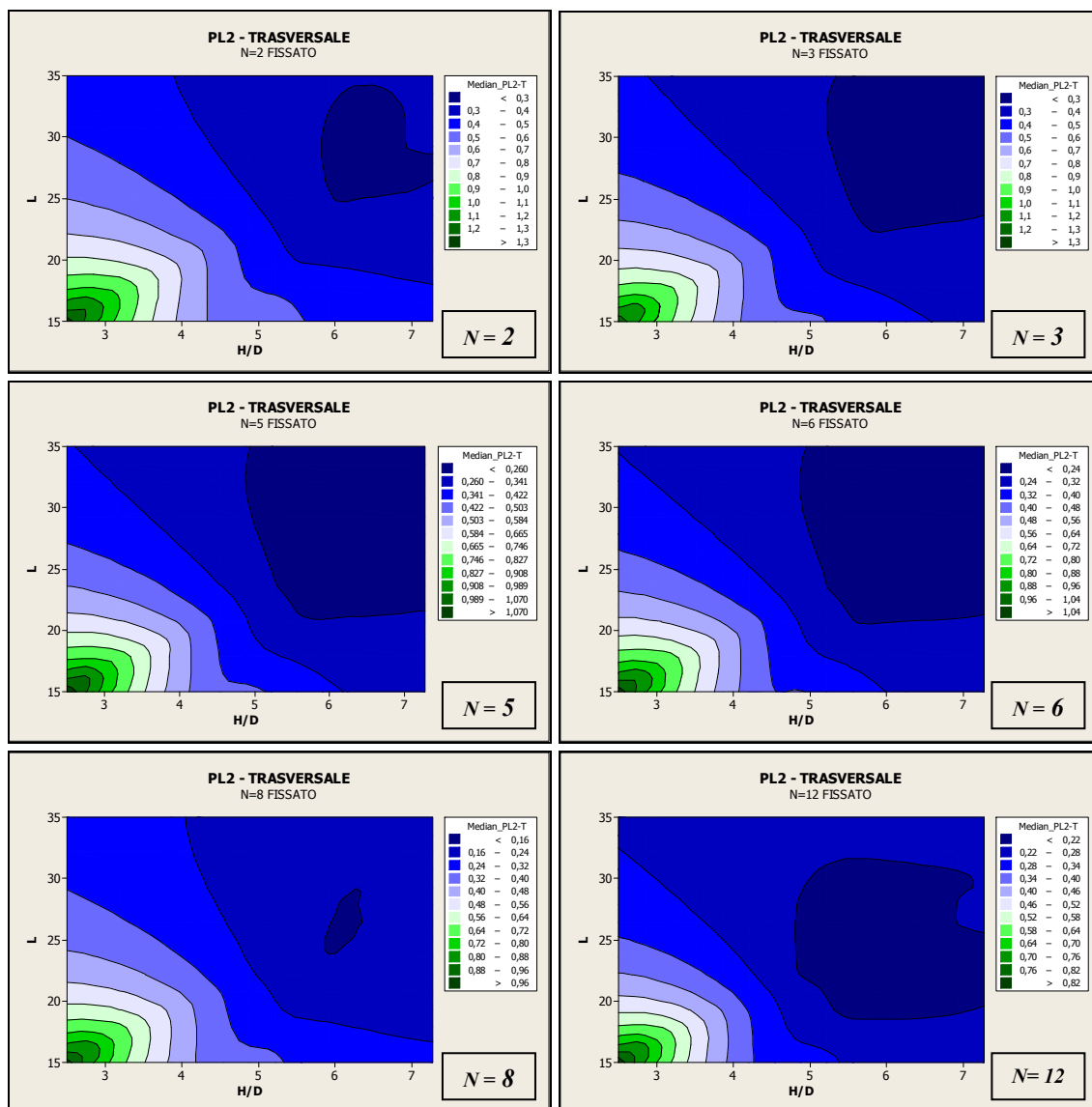


Figura 5.34 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, per il livello di danno "Moderate" al variare del numero di campate.

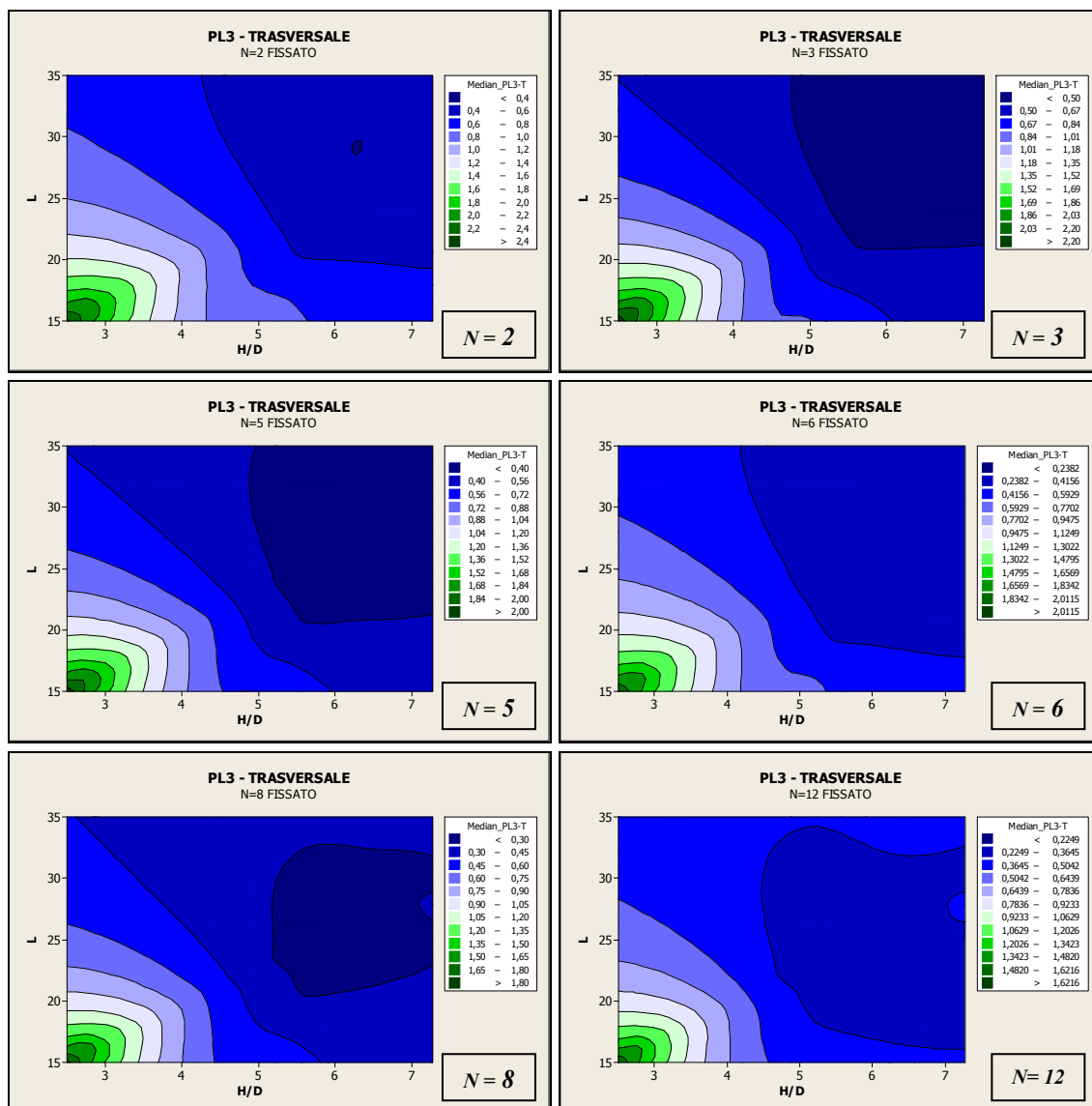


Figura 5.35 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, per il livello di danno "Extensive" al variare del numero di campate.

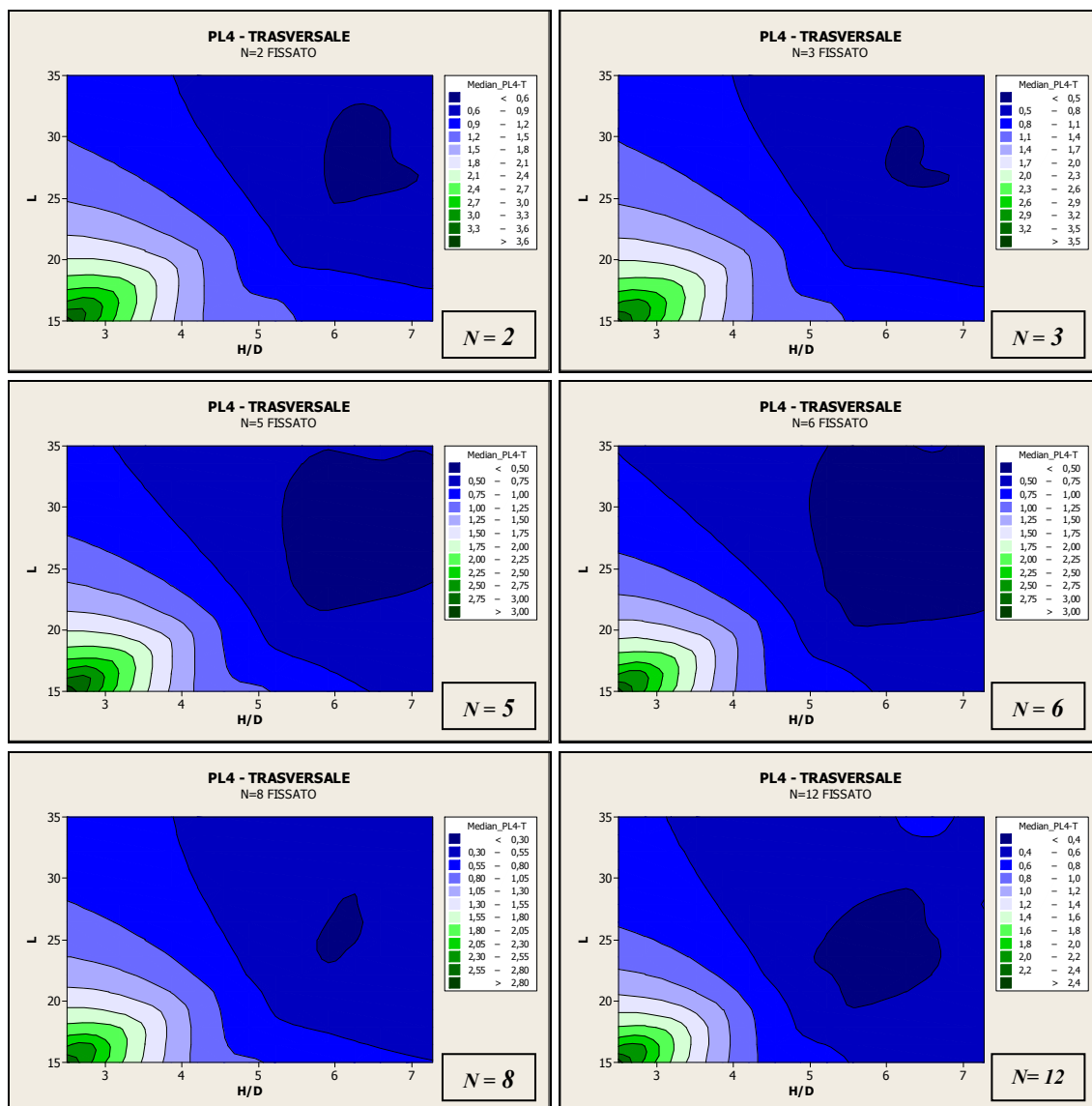


Figura 5.36 - Contour plot relativi alla mediana, in direzione trasversale, per il livello di danno "Complete" al variare del numero di campate.

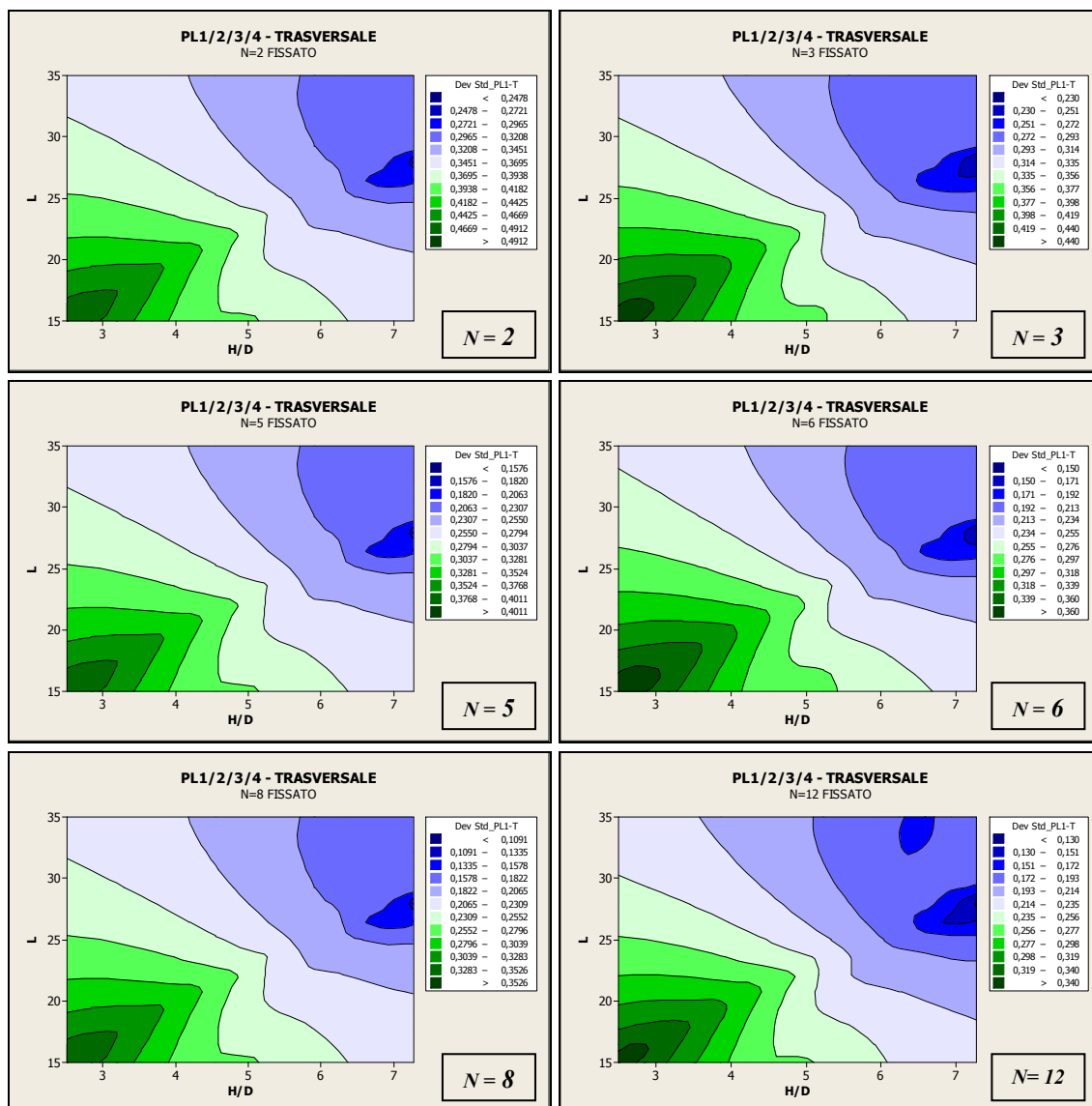


Figura 5.37 - Contour plot relativi alla deviazione standard, in direzione trasversale, per tutti i livelli di danno al variare del numero di campate.

Dai vari grafici riportati, si può notare che, in generale, per un ponte con campate in semplice appoggio caratterizzato da un basso rapporto H/D (pila tozza) e luce delle campate piccola, si hanno valori della mediana tendenzialmente più elevati (tranne per il caso del livello di danno *Complete*, *PL4*, in direzione longitudinale).

A parità di livello di danno, all'aumentare del numero di campate, aumenta la vulnerabilità sismica del ponte, in quanto la pila è considerata l'elemento più vulnerabile del ponte e solitamente arriva a rottura prima dell'impalcato, quindi aumentando il numero di pile, aumenta la probabilità di superare un certo livello di danno dell'intero sistema ponte.

5.4 Confronto tra i due modelli ottenuti

Si riportano i risultati ottenuti dai 2 modelli di regressione, nelle due direzioni principali (longitudinale e trasversale), partendo dal ponte base analizzato, in modo tale da poter scorgere eventuali differenze tra i due modelli; i dati di partenza, comuni ai due modelli, sono:

- $H = 9,00 \text{ m}$ [altezza pila]
- $D = 1,50 \text{ m}$ [diametro pila]
- $L = 25 \text{ m}$ [lunghezza campata]
- $N = 4$ [numero di campate]

Di seguito sarà indicato con “modello 1” il modello a 3 parametri che tiene in considerazione H, D, L , mentre con “modello 2” il modello a 3 parametri che tiene in considerazione $H/D, L, N$.

		<i>Modello 1</i>		<i>Modello 2</i>	
		<u>Direz.</u> <u>LONGIT.</u>	<u>Direz.</u> <u>TRASVERS.</u>	<u>Direz.</u> <u>LONGIT.</u>	<u>Direz.</u> <u>TRASVERS.</u>
<i>Median μ</i>	<i>PL1:</i>	0,0954	0,1550	0,0998	0,1590
	<i>PL2:</i>	0,1676	0,2242	0,1741	0,2258
	<i>PL3:</i>	0,2939	0,3240	0,3037	0,3193
	<i>PL4:</i>	0,4667	0,4379	0,4764	0,4260
<i>β_c:</i>		0,13	0,24	0,14	0,27

Da un'analisi dei risultati si può notare che i risultati derivanti dai due modelli sono pressoché uguali, considerando un numero di campate fissato e pari a 4: le uniche differenze si hanno dalla seconda cifra decimale in poi, pertanto si può ammettere con una certa fermezza che entrambi i modelli sono attendibili. Le differenze tra i due modelli, valutate a

partire dal “modello 2” attraverso la formula $\delta_{i12} = \frac{\mu_{i2} - \mu_{i1}}{\mu_{i2}}$ (che equivale a dire

$\mu_{i1} = \mu_{i2}(1 - \delta_{i12})$), sono riassunte nella tabella sottostante:

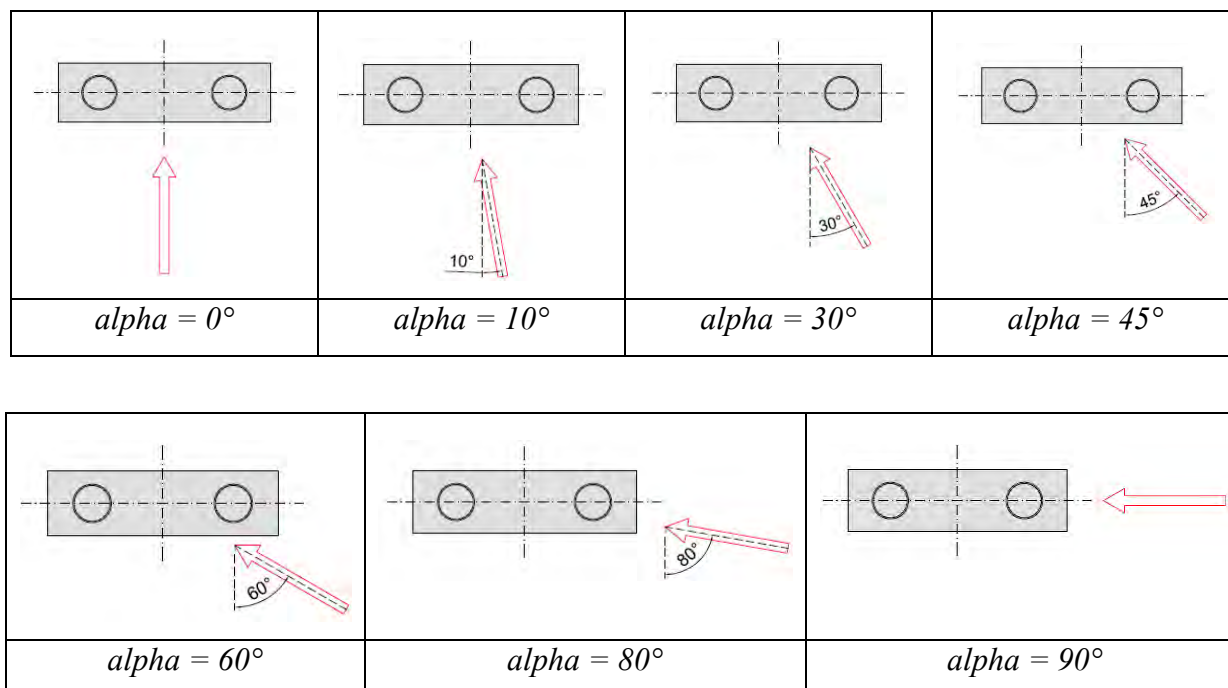
	<u>Direz. LONGITUDINALE</u>		<u>Direz. TRASVERSALE</u>	
<i>PL1</i> :	4,41%	$\delta_{\text{medio}} = 3,35\%$	2,52%	$\delta_{\text{medio}} = -0,26\%$
<i>PL2</i> :	3,73%		0,71%	
<i>PL3</i> :	3,23%		-1,47%	
<i>PL4</i> :	2,04%		-2,79%	
β_c :	7,14%		11,11%	

Le differenze registrate tra i due modelli sono pari mediamente a circa 3% per quanto riguarda il parametro “mediana” e a 7% per quanto riguarda il parametro “deviazione standard” in direzione longitudinale, mentre a circa -0,3% e 11% rispettivamente per gli stessi parametri in direzione trasversale. Tali differenze sono giustificate solo nel caso in cui il numero di campate del ponte in esame sia pari a 4; in caso contrario si dovrà far affidamento, per avere stime dei parametri più precise, esclusivamente al “modello 2”, in quanto tale modello considera esplicitamente tra le variabili di input anche il numero di campate N .

5.5 Approfondimenti: variazione della direzione dell’azione sismica

In questa parte si vuole vedere come cambia la risposta della struttura facendo variare la direzione dell’azione sismica: in particolare si vuole analizzare come tale variazione influenza i parametri caratteristici del metodo *Risk-UE*, ossia mediana μ e deviazione standard β_c ; dalle due direzioni analizzate in precedenza (longitudinale e trasversale) si passa ad una deviazione della forza sismica rispetto all’asse longitudinale di 10°, 30°, 45°, 60°, 80°, misurata in pianta. In una fase successiva si proverà a stimare se, combinando gli effetti con i dati derivanti dai modelli statistici già ottenuti per le due direzioni principali opportunamente scomposti nelle nuove direzioni, si ottengano risultati comparabili con quelli ottenuti dal nuovo modello “ad hoc” che riprende tutti i passaggi visti nei capitoli precedenti (analisi dinamica non lineare, stima dei parametri, costruzione modello di regressione,...). Gli altri parametri geometrici caratteristici del manufatto restano invariati e sono: $H = 9m$, $D = 1,50m$, $L = 25m$, $N = 4$.

I casi analizzati sono schematizzati qui di seguito.



I parametri base previsti dal metodo *Risk-UE* su cui si è andato ad intervenire e opportunamente modificare, considerando un numero di campate pari a 4 ($N = 4$), come già visto nei paragrafi precedenti, sono:

DANNO	Minor (PL1)	Moderate (PL2)	Extensive (PL3)	Complete (PL4)
MEDIANA	0,25	0,3792	0,4875	0,7583

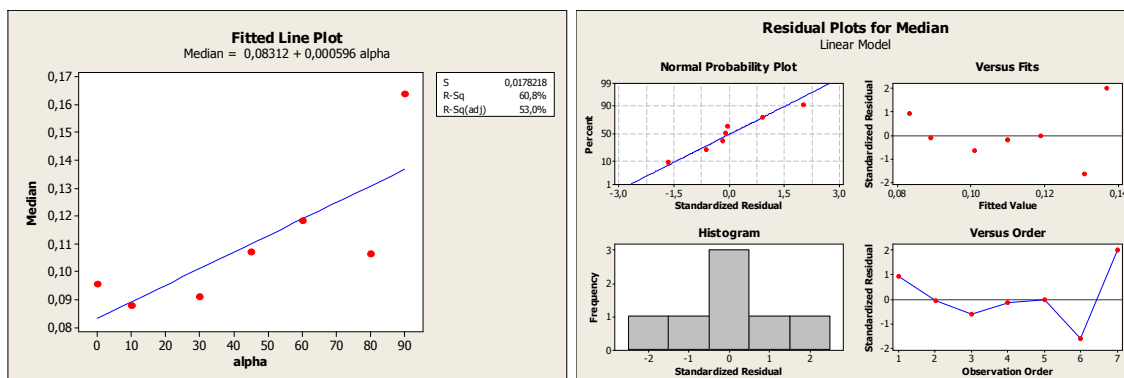
La deviazione standard prevista dal metodo *Risk-UE* viene assunta pari a: $\beta_c = 0,6$ per qualunque situazione, come proposto da *Mander*, per incorporare tutti gli aspetti di incertezza e casualità della capacità e della richiesta.

Dopo aver sovrapposto le varie curve empiriche a quelle analitiche, intervenendo come visto in precedenza, si riassumono i risultati nella tabella seguente: l'unica variabile indipendente considerata è la variazione in pianta della direzione dell'azione sismica, espressa in gradi e indicata con il simbolo α .

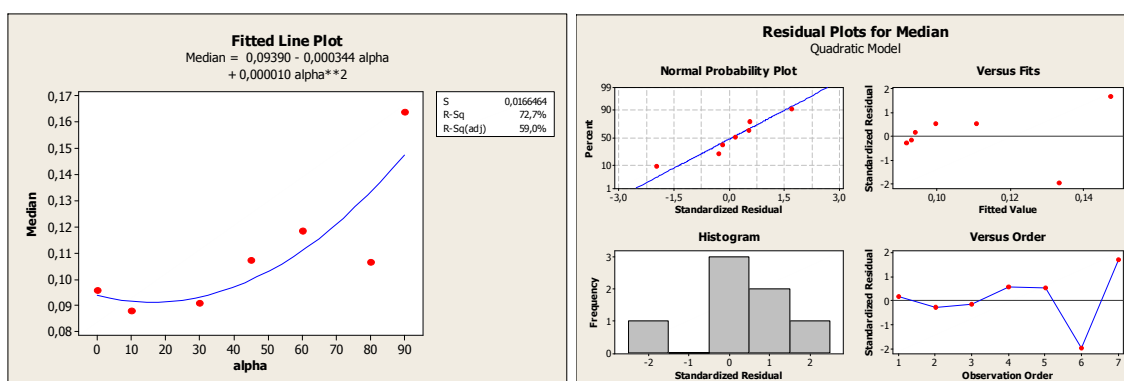
PREDICTOR (X)	RESPONSE (Y)				
	PL1	PL2	PL3	PL4	
	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	β_c
0	0,0955	0,1684	0,2969	0,4694	0,13
10	0,0878	0,1543	0,2715	0,4285	0,10
30	0,0908	0,1593	0,2798	0,4414	0,09
45	0,1070	0,1824	0,3110	0,4785	0,09
60	0,1183	0,1828	0,2818	0,4004	0,10
80	0,1065	0,1547	0,2238	0,3026	0,13
90	0,1638	0,2377	0,3447	0,4656	0,23

Per le due variabili di risposta analizzate, mediana μ e deviazione standard β_c del metodo *Risk-UE*, si sono ricavati tre modelli, differenti solamente per il polinomio interpolante: lineare, quadratico e cubico. Al fine di valutare quale dei modelli approssima meglio i dati rappresentati, si riportano i grafici e i relativi polinomi interpolanti per le due variabili di risposta e per i quattro livelli di danno (è da notare che per la deviazione standard si ha un modello unico per i quattro livelli di danno, in quanto i dati di partenza non variano attraverso i vari livelli).

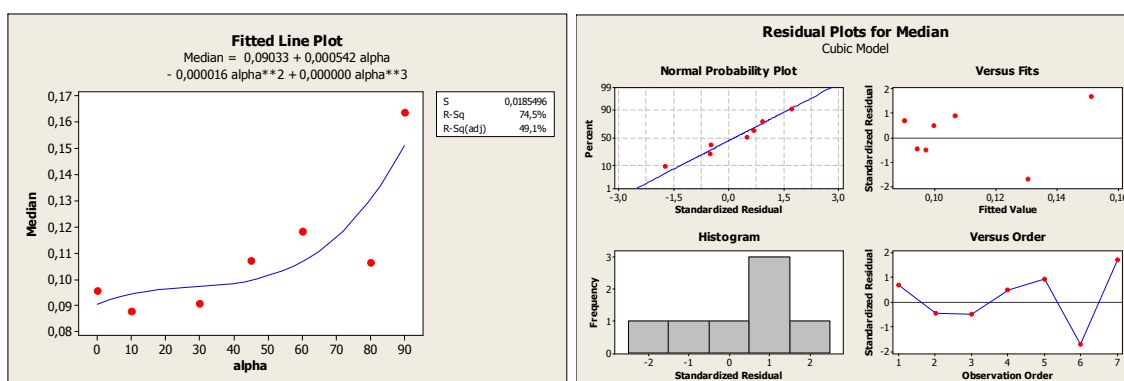
PL1 – Minor



- Linear Model: $\mu_{PL1} = 0,08312 + 0,000596 \cdot \alpha$



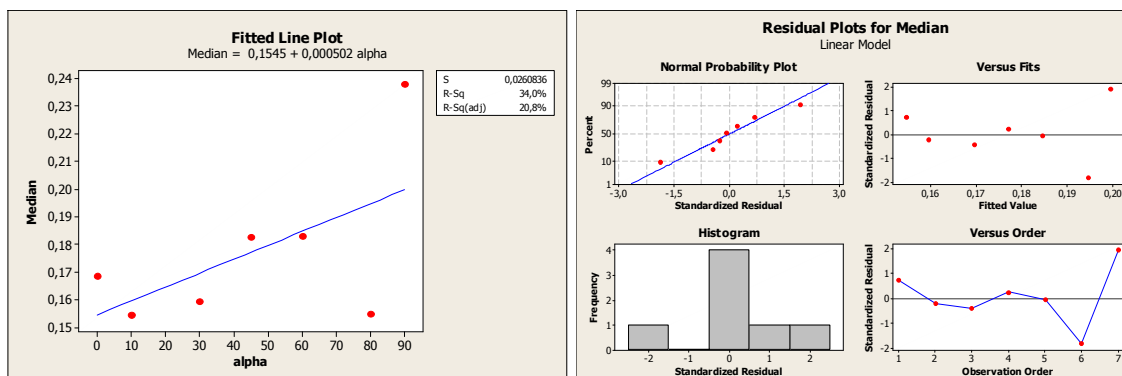
- Quadratic Model: $\mu_{PL1} = 0,09390 - 0,000344 \cdot \alpha + 0,000010 \cdot \alpha^2$



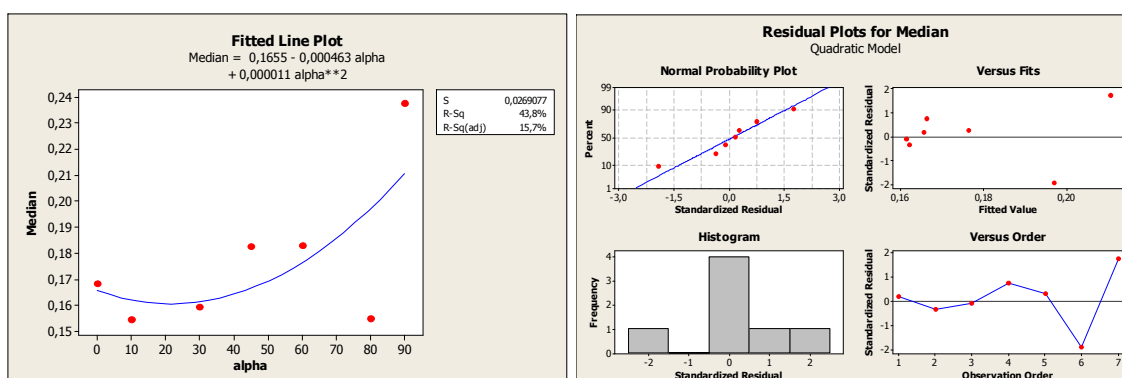
- Cubic Model: $\mu_{PL1} = 0,09033 + 0,000542 \cdot \alpha - 0,000016 \cdot \alpha^2 + 0,000000 \cdot \alpha^3$

Figura 5.38 - Rappresentazione grafica della mediana in base ai diversi polinomi interpolanti, per il livello di danno “Minor”, al variare della direzione in pianta dell’azione sismica e relativi grafici dei residui per ogni modello.

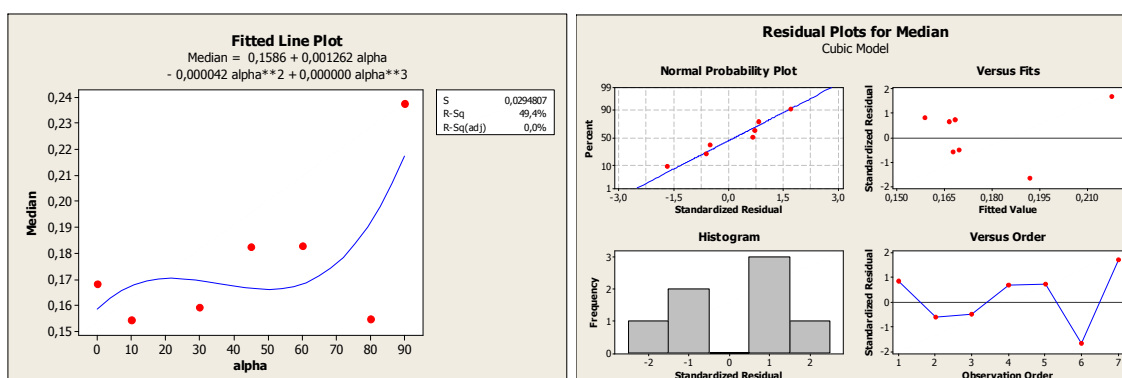
PL2 – Moderate



- Linear Model: $\mu_{PL2} = 0,1545 + 0,000502 \cdot \alpha$



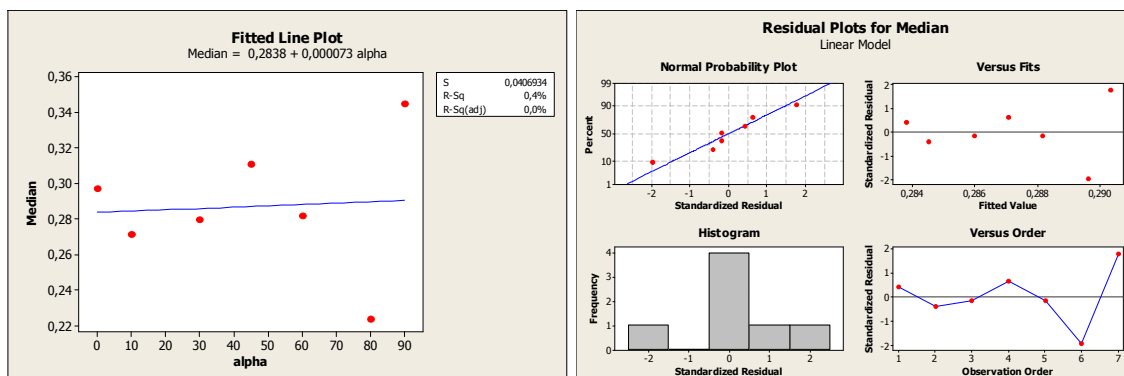
- Quadratic Model: $\mu_{PL2} = 0,1655 - 0,000463 \cdot \alpha + 0,000011 \cdot \alpha^2$



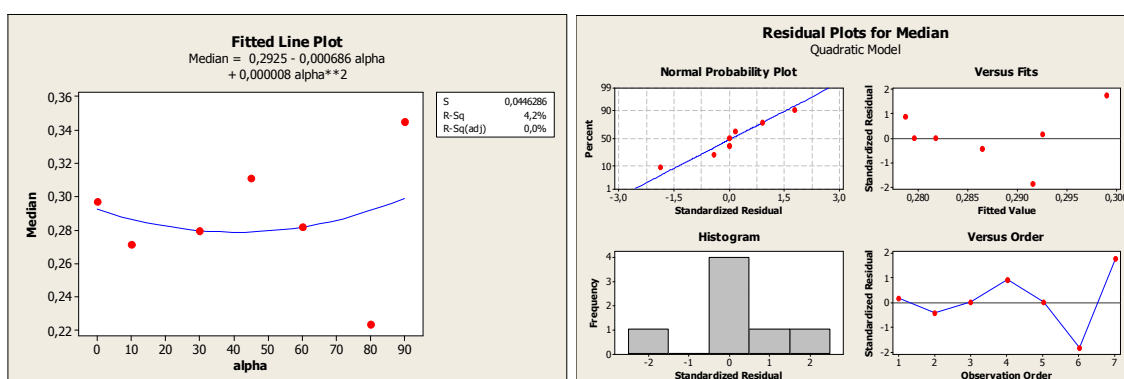
- Cubic Model: $\mu_{PL2} = 0,1586 + 0,001262 \cdot \alpha - 0,000042 \cdot \alpha^2 + 0,000000 \cdot \alpha^3$

Figura 5.39 - Rappresentazione grafica della mediana in base ai diversi polinomi interpolanti, per il livello di danno “Moderate”, al variare della direzione in pianta dell’azione sismica e relativi grafici dei residui per ogni modello.

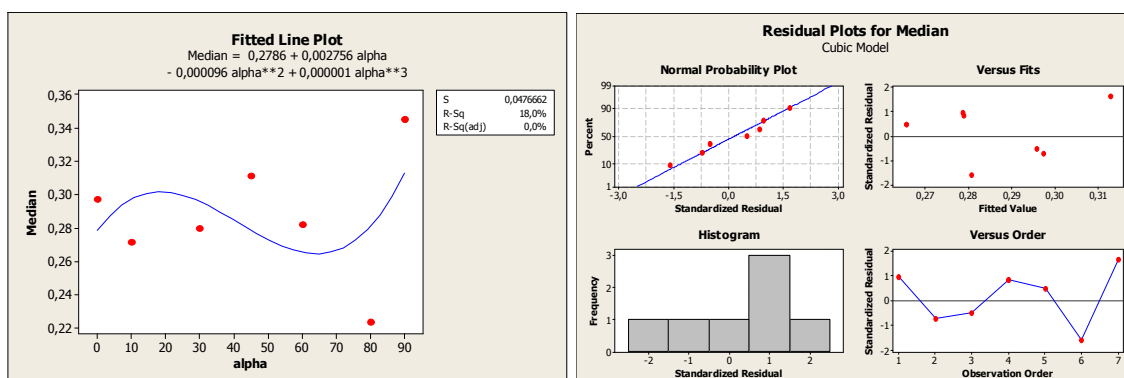
PL3 – Extensive



- Linear Model: $\mu_{PL3} = 0,2838 + 0,000073 \cdot \alpha$



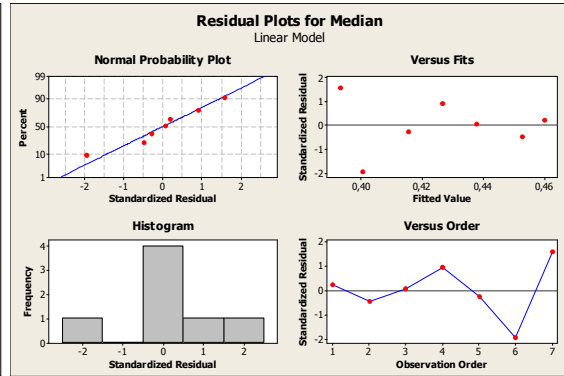
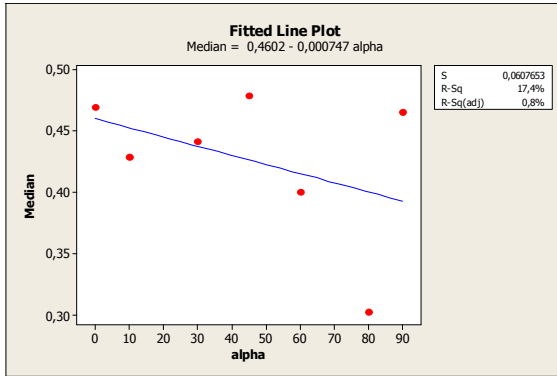
- Quadratic Model: $\mu_{PL3} = 0,2925 - 0,000686 \cdot \alpha + 0,000008 \cdot \alpha^2$



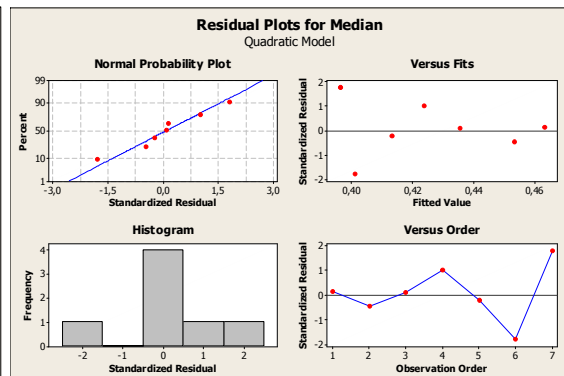
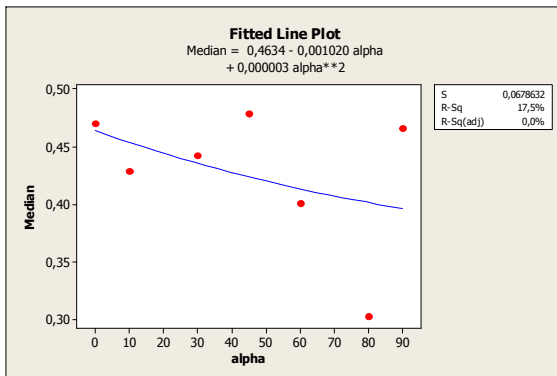
- Cubic Model: $\mu_{PL3} = 0,2786 + 0,002756 \cdot \alpha - 0,000096 \cdot \alpha^2 + 0,000001 \cdot \alpha^3$

Figura 5.40 - Rappresentazione grafica della mediana in base ai diversi polinomi interpolanti, per il livello di danno “Extensive”, al variare della direzione in pianta dell’azione sismica e relativi grafici dei residui per ogni modello.

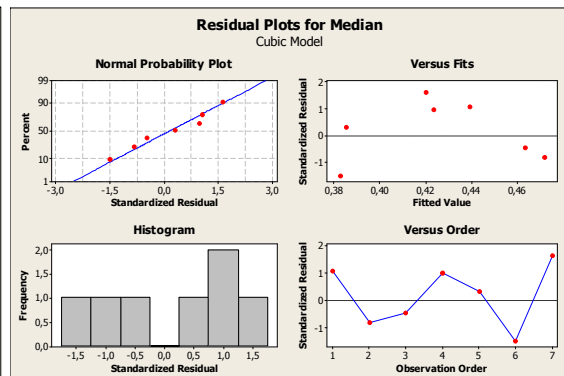
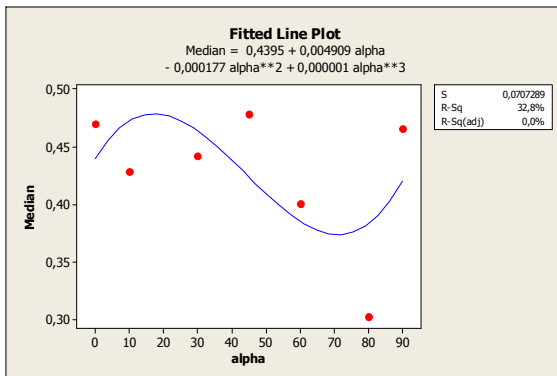
PL4 – Complete



- Linear Model: $\mu_{PL4} = 0,4602 - 0,000747 \cdot \alpha$



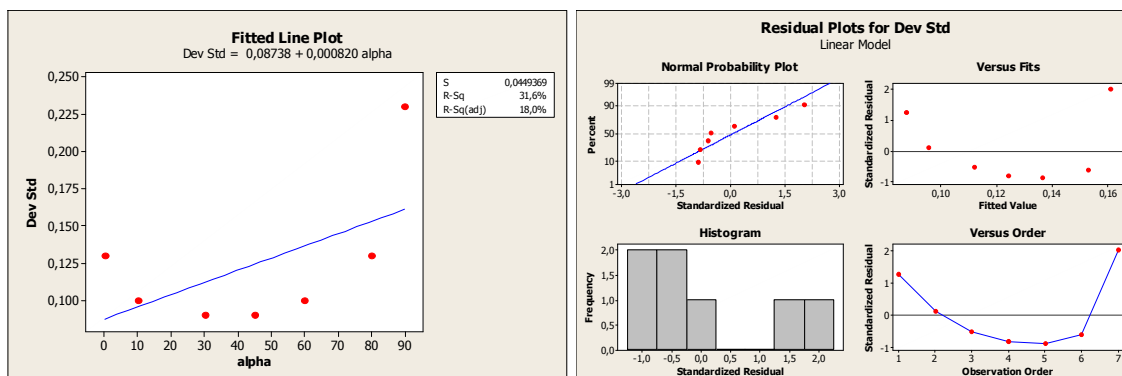
- Quadratic Model: $\mu_{PL4} = 0,4634 - 0,001020 \cdot \alpha + 0,000003 \cdot \alpha^2$



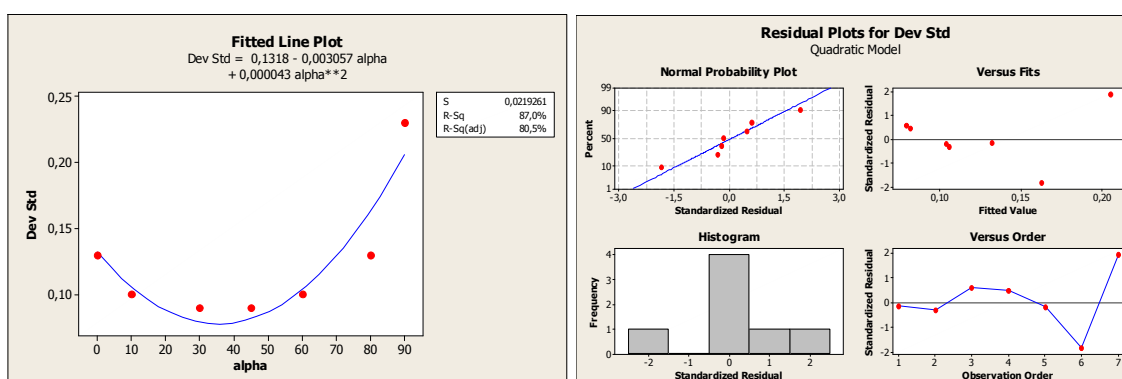
- Cubic Model: $\mu_{PL4} = 0,4395 + 0,004909 \cdot \alpha - 0,000177 \cdot \alpha^2 + 0,000001 \cdot \alpha^3$

Figura 5.41 - Rappresentazione grafica della mediana in base ai diversi polinomi interpolanti, per il livello di danno “Complete”, al variare della direzione in pianta dell’azione sismica e relativi grafici dei residui per ogni modello.

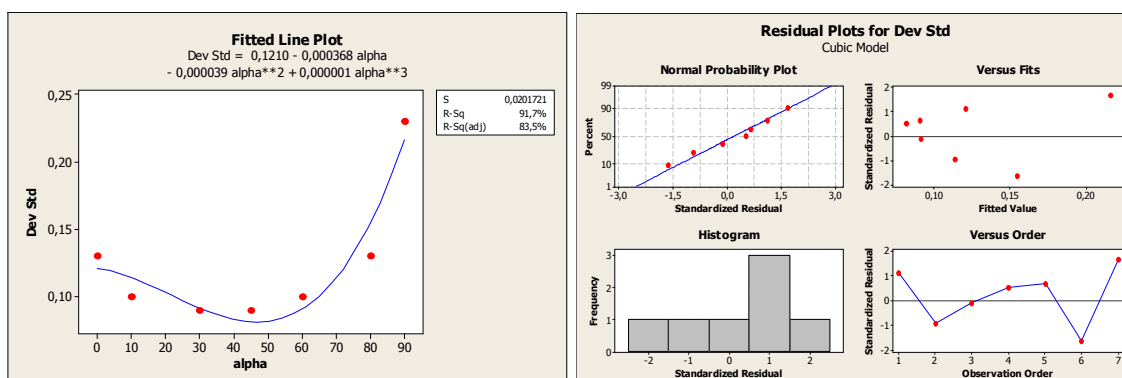
PL1/2/3/4



- Linear Model: $\beta_c = 0,08738 + 0,000820 \cdot \alpha$



- Quadratic Model: $\beta_c = 0,1318 - 0,003057 \cdot \alpha + 0,000043 \cdot \alpha^2$



- Cubic Model: $\beta_c = 0,1210 - 0,000368 \cdot \alpha - 0,000039 \cdot \alpha^2 + 0,000001 \cdot \alpha^3$

Figura 5.42 - Rappresentazione grafica della deviazione standard in base ai diversi polinomi interpolanti, per i quattro livelli di danno, al variare della direzione in pianta dell'azione sismica e relativi grafici dei residui per ogni modello.

Dai vari grafici riportati si può vedere come, aumentando il grado del polinomio interpolante, meglio si adatta la curva ai dati che deve rappresentare (coefficiente di adattamento R^2 , che rappresenta la bontà del modello, più elevato man mano che si aumenta il grado del polinomio da lineare a quadratico e infine a cubico).

Nonostante questo però, si sono ricavati dei coefficienti di bontà dei vari modelli inferiori al 50%, indice di una notevole dispersione nei dati ed una elevata variabilità, dovuta ai pochi casi analizzati.

Le varie leggi polinomiali che si sono estrapolate per ogni livello di danno rispecchiano abbastanza le aspettative, nel senso che trovano una buona corrispondenza con i risultati ottenuti dalle singole leggi, relativamente in direzione longitudinale e trasversale, opportunamente scomposti nella direzione del sisma (diversa da quella prettamente longitudinale o trasversale) una volta effettuata la sovrapposizione degli effetti; a tal scopo si riporta una tabella di confronto con riportati i valori di mediana e deviazione standard del metodo *Risk-UE* modificato derivanti dai vari modelli: nella prima colonna si fa riferimento al modello creato “ad hoc” per studiare la variazione in pianta della direzione dell’azione sismica e rappresentato da polinomio quadratico, mentre nella seconda e terza colonna sono riportati i risultati derivanti dai modelli visti in precedenza opportunamente combinati tra loro; i parametri caratteristici saranno ottenuti tramite la seguente combinazione:

$$\mu_{\alpha^\circ} = \sqrt{[\mu_{LONG} \cdot \cos(\alpha)]^2 + [\mu_{TRASV} \cdot \sin(\alpha)]^2} ; \beta_{\alpha^\circ} = \sqrt{[\beta_{LONG} \cdot \cos(\alpha)]^2 + [\beta_{TRASV} \cdot \sin(\alpha)]^2} .$$

			MOD. “AD HOC”	MOD. “1” (H, D, L)	MOD. “2” (H/D, L, N)
0°	Median μ	PL1	0,0939	0,0954	0,0998
		PL2	0,1655	0,1676	0,1741
		PL3	0,2925	0,2939	0,3037
		PL4	0,4634	0,4667	0,4764
	β_c	0,13	0,13	0,14	
15°	Median μ	PL1	0,0911	0,1005	0,1048
		PL2	0,1610	0,1720	0,1780
		PL3	0,2841	0,2960	0,3048
		PL4	0,4487	0,4649	0,4732
	β_c	0,10	0,14	0,15	

30°	Median μ	PL1	0,0930	0,1133	0,1174
		PL2	0,1613	0,1834	0,1884
		PL3	0,2795	0,3017	0,3077
		PL4	0,4355	0,4597	0,4643
	β_c	0,08	0,17	0,18	
45°	Median μ	PL1	0,0996	0,1287	0,1327
		PL2	0,1664	0,1979	0,2016
		PL3	0,2787	0,3093	0,3116
		PL4	0,4236	0,4525	0,4519
	β_c	0,08	0,20	0,21	
60°	Median μ	PL1	0,1108	0,1424	0,1464
		PL2	0,1764	0,2115	0,2141
		PL3	0,2817	0,3168	0,3155
		PL4	0,4131	0,4453	0,4391
	β_c	0,10	0,22	0,24	
90°	Median μ	PL1	0,1475	0,1550	0,1590
		PL2	0,2107	0,2242	0,2258
		PL3	0,2991	0,3240	0,3193
		PL4	0,3961	0,4379	0,4260
	β_c	0,21	0,24	0,27	

La tabella conferma quanto già anticipato in precedenza, ossia che è possibile combinare gli effetti per i due modelli a tre parametri in maniera tale da ottenere risultati paragonabili a quelli ottenuti dal modello costruito “ad hoc” per studiare nello specifico il caso con forza sismica inclinata in pianta: le differenze maggiori si hanno nel parametro deviazione standard β_c ; ovviamente se il numero di campate è diverso da 4, bisognerà far riferimento al modello “2”, che tiene esplicitamente conto della variazione di tale parametro. Ad ogni modo si può notare che i due modelli a tre parametri danno comunque risultati simili tra loro al variare dell’angolo, nonostante differiscano, seppure in maniera contenuta, da quello creato “ad hoc”. I casi particolari $\alpha = 0^\circ$ e $\alpha = 90^\circ$ rappresentano rispettivamente le direzioni di applicazione del sisma puramente longitudinale e trasversale all’asse delle pile e dell’impalcato.

Ora, partendo dal modello quadratico e volendo rappresentare graficamente in maniera più intuitiva i risultati ottenuti al variare della direzione in pianta dell'azione sismica, si riportano i grafici polari relativi a mediana e deviazione standard del metodo *Risk-UE*, per ogni livello di danno.

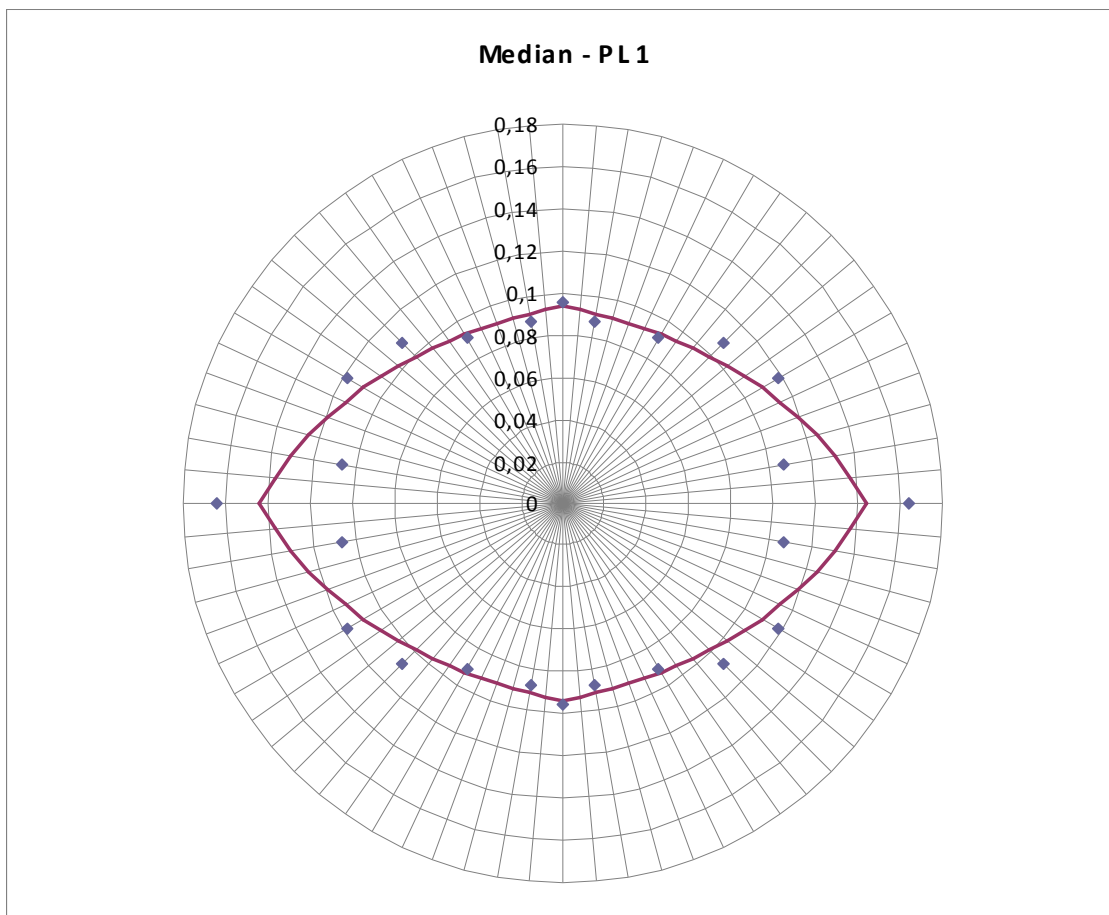


Figura 5.43 - Diagramma polare relativo alla mediana sulla base della legge predittiva quadratica, per il livello di danno "Minor", al variare della direzione in pianta dell'azione sismica.

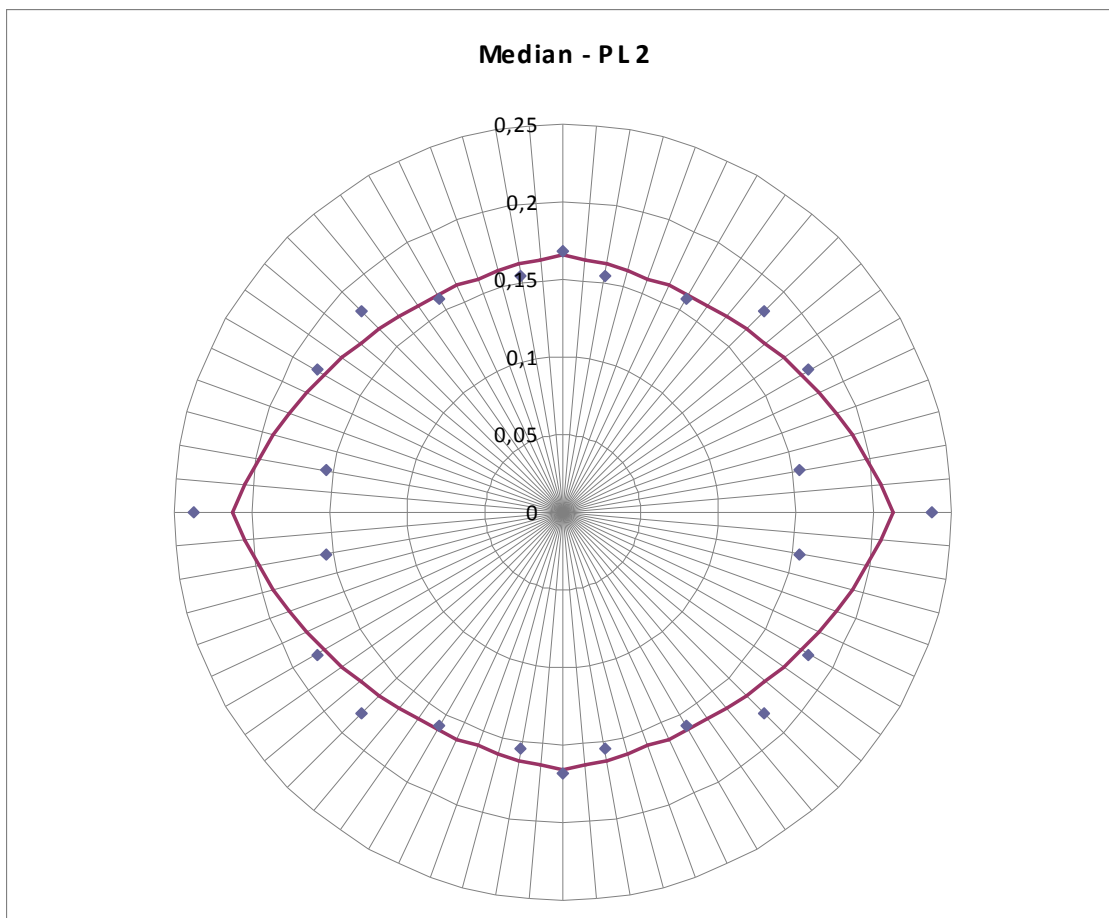


Figura 5.44 - Diagramma polare relativo alla mediana sulla base della legge predittiva quadratica, per il livello di danno "Moderate", al variare della direzione in pianta dell'azione sismica.

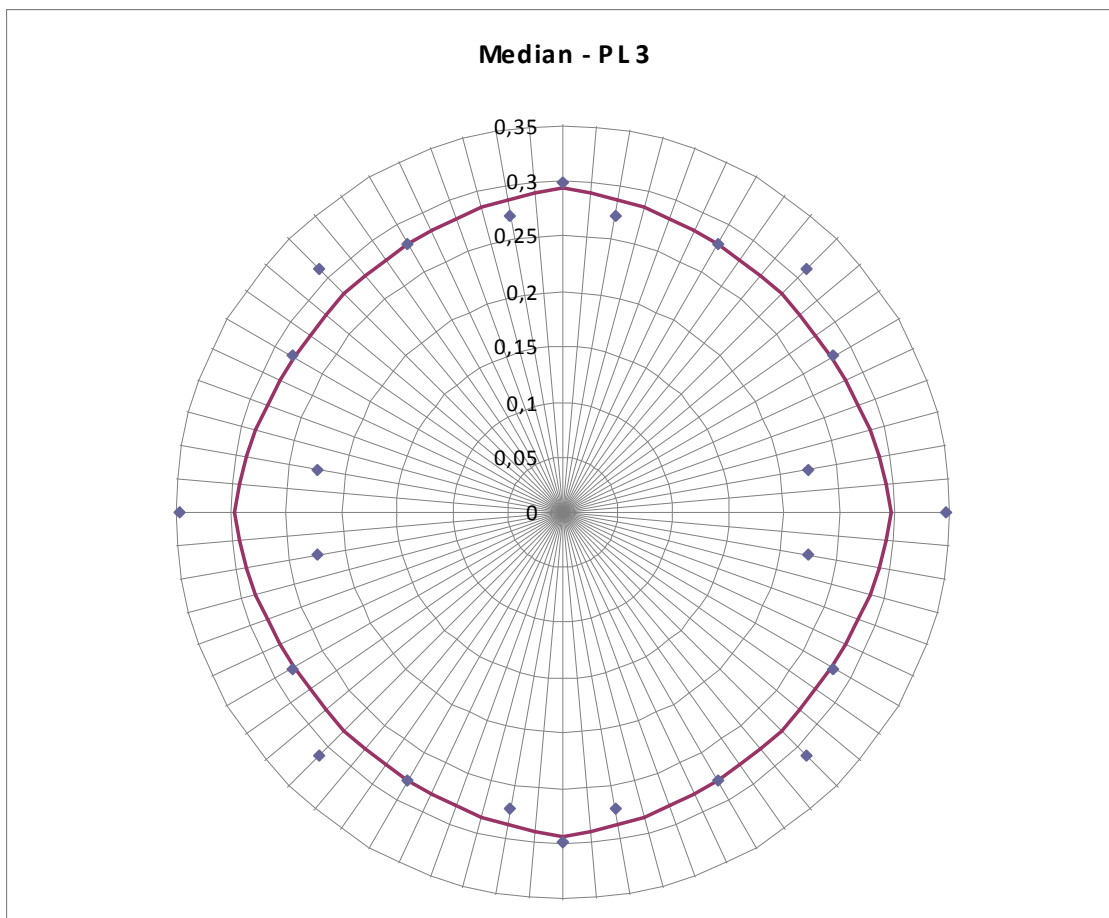


Figura 5.45 - Diagramma polare relativo alla mediana sulla base della legge predittiva quadratica, per il livello di danno "Extensive", al variare della direzione in pianta dell'azione sismica.

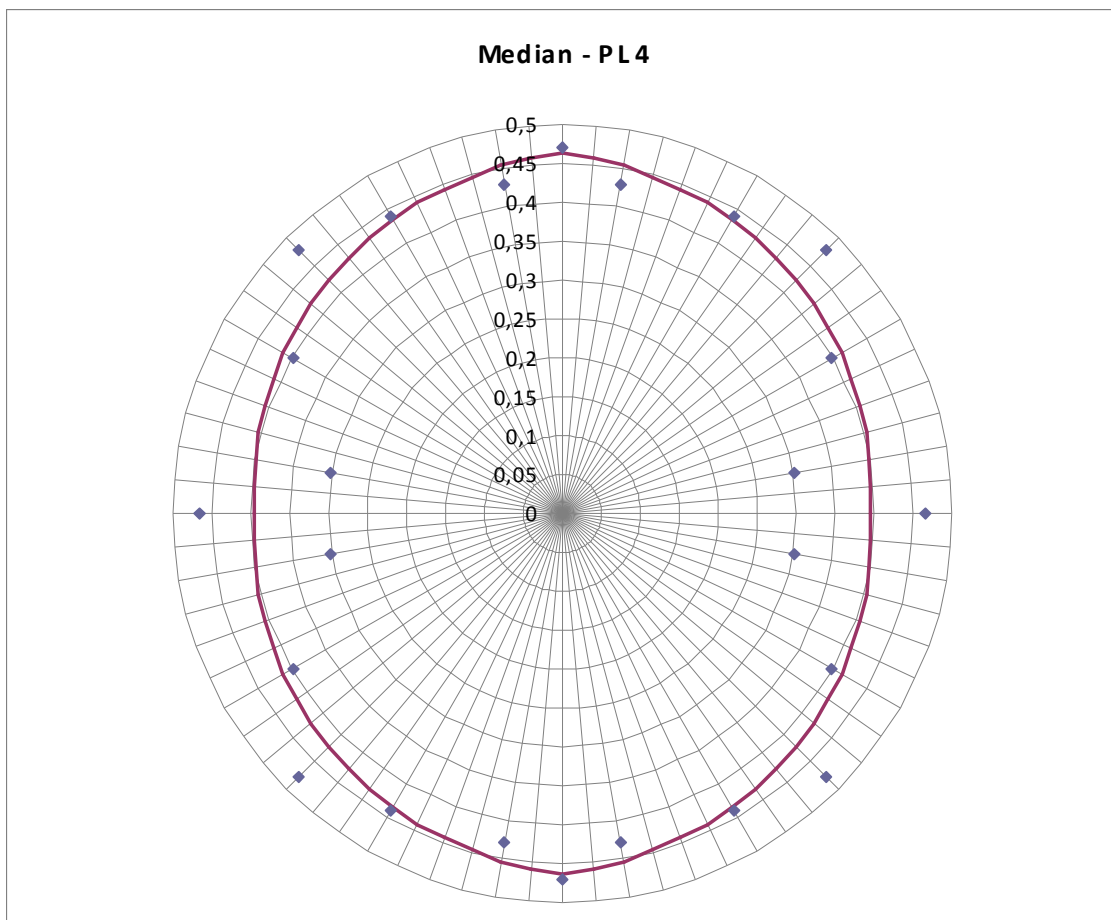


Figura 5.46 - Diagramma polare relativo alla mediana sulla base della legge predittiva quadratica, per il livello di danno "Complete", al variare della direzione in pianta dell'azione sismica.

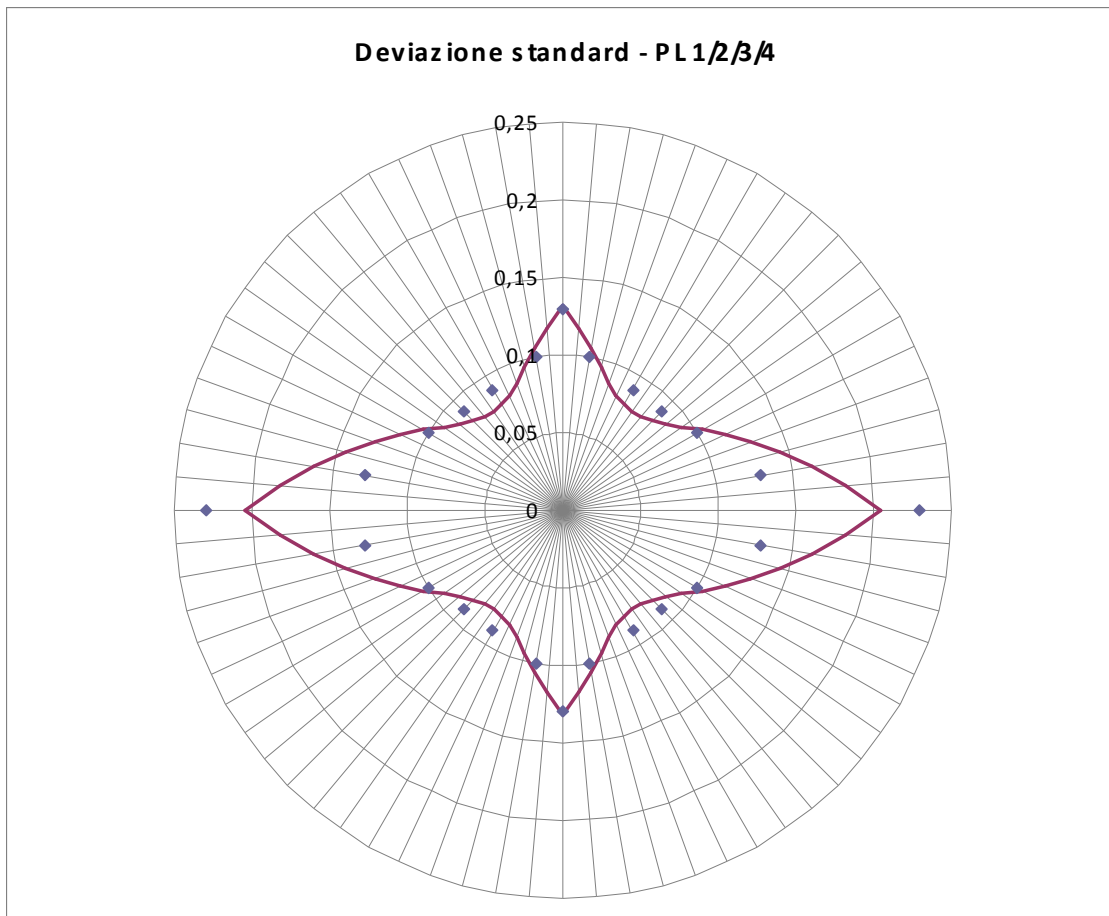


Figura 5.47 - Diagramma polare relativo alla deviazione standard sulla base della legge predittiva quadratica, per tutti i livelli di danno, al variare della direzione in pianta dell'azione sismica.

Nel grafico seguente invece è riportato l'andamento delle due variabili di risposta (mediana e deviazione standard) attraverso i vari livelli di danno, confrontando i valori che si ottengono dalle varie leggi di interpolazione.

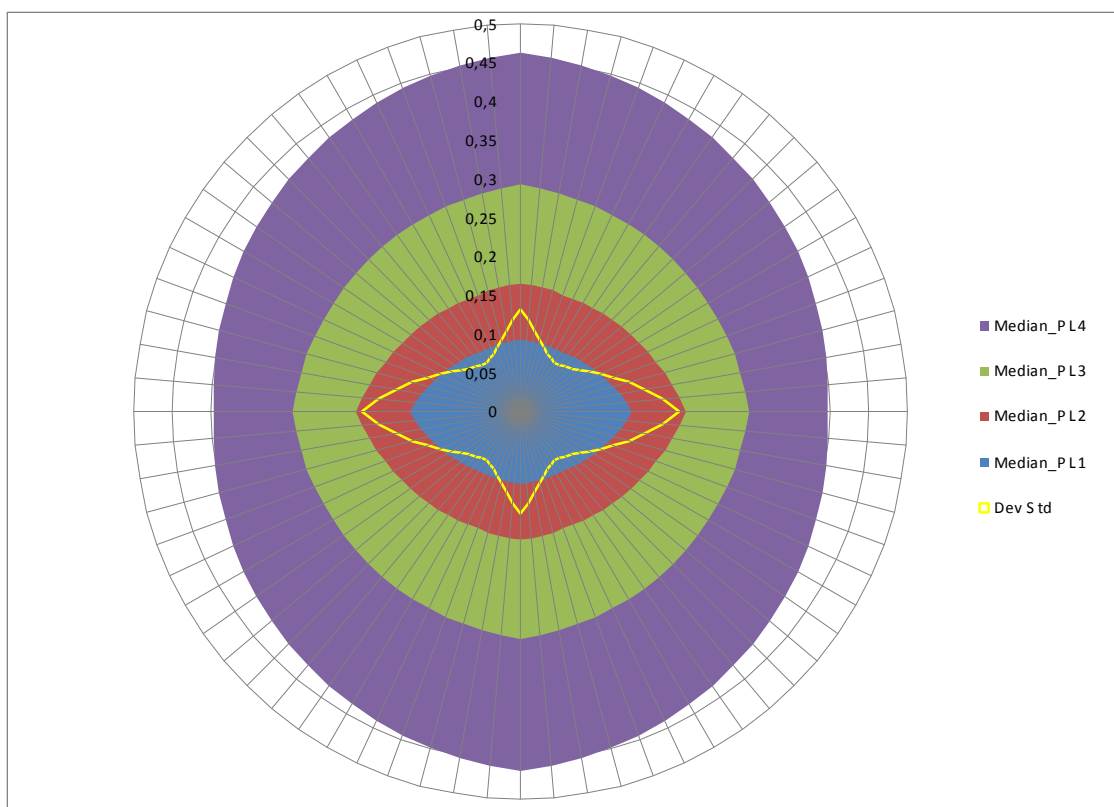


Figura 5.48 - Diagramma polare relativo al confronto della mediana e della deviazione standard sulla base della legge predittiva quadratica, attraverso i vari livelli di danno, al variare della direzione in pianta dell'azione sismica.

Nelle analisi seguenti invece, si vuole valutare se l'andamento dei parametri caratteristici del metodo *Risk-UE* (mediana e deviazione standard) in funzione dell'angolo α di azione del sisma nel piano rimane sostanzialmente simile al variare delle caratteristiche geometriche del manufatto; in particolare si analizzeranno le seguenti configurazioni geometriche del ponte:

- caso con diametro della pila $D = 2,00m$;
- caso con altezza della pila $H = 11m$;
- caso con luce della campata $L = 30m$.

Dopo aver sovrapposto le varie curve empiriche a quelle analitiche, intervenendo come visto in precedenza, si riassumono i risultati nelle tabelle seguenti (una per ogni configurazione geometrica): l'unica variabile indipendente considerata è la variazione in pianta della direzione dell'azione sismica, espressa in gradi e indicata con il simbolo α .

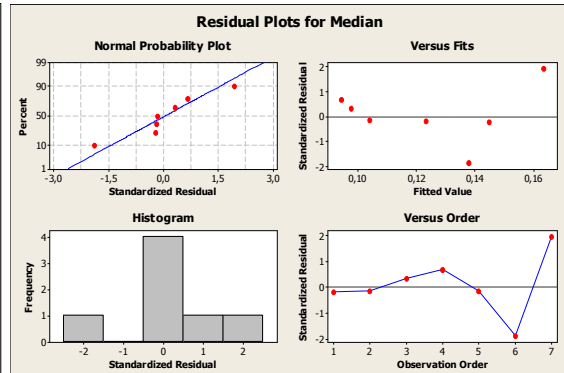
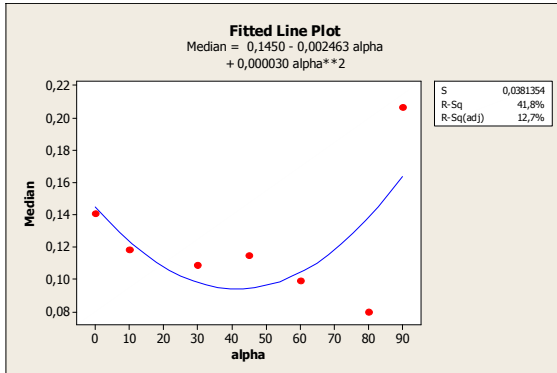
Successivamente, si sono ricavati per le due variabili di risposta analizzate, mediana μ e deviazione standard β_c del metodo *Risk-UE*, e per ogni livello di danno il solo modello quadratico con relativi grafici dei residui.

<i>D_{pila} = 2,00m</i>					
PREDICTOR (X)	RESPONSE (Y)				
α [deg]	<i>PL1</i>	<i>PL2</i>	<i>PL3</i>	<i>PL4</i>	
	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	β_c
0	0,1405	0,2116	0,3193	0,4444	0,21
10	0,1183	0,1786	0,2701	0,3769	0,17
30	0,1083	0,1653	0,2525	0,3557	0,15
45	0,1145	0,1782	0,2769	0,3951	0,16
60	0,0990	0,1577	0,2516	0,3670	0,22
80	0,0793	0,1263	0,2004	0,2920	0,26
90	0,2060	0,3284	0,5236	0,7629	0,46

<i>H_{pila} = 11m</i>					
PREDICTOR (X)	RESPONSE (Y)				
α [deg]	<i>PL1</i>	<i>PL2</i>	<i>PL3</i>	<i>PL4</i>	
	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	β_c
0	0,1005	0,1828	0,3320	0,5369	0,13
10	0,0920	0,1672	0,3037	0,4929	0,10
30	0,0968	0,1748	0,3149	0,5066	0,09
45	0,1155	0,2025	0,3549	0,5574	0,08
60	0,1198	0,1930	0,3105	0,4565	0,09
80	0,1023	0,1539	0,2321	0,3231	0,11
90	0,1465	0,2207	0,3330	0,4641	0,20

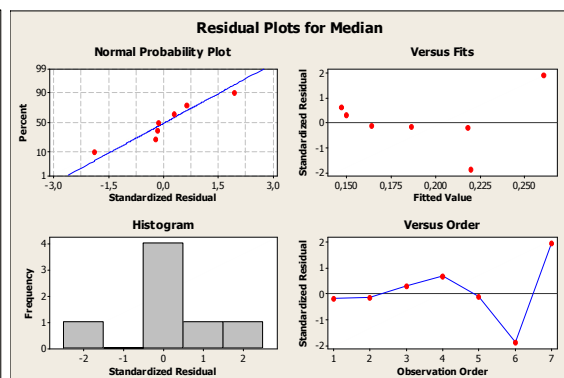
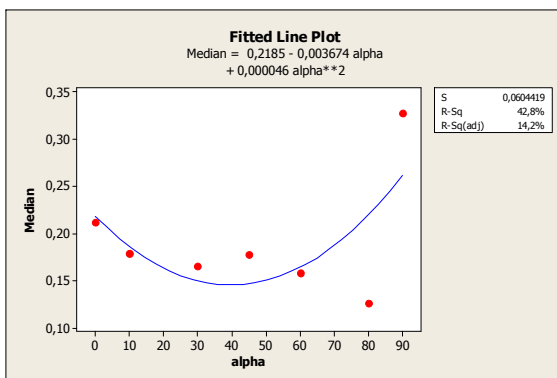
<i>L_{campata} = 30m</i>					
PREDICTOR (X)	RESPONSE (Y)				
α [deg]	<i>PL1</i>	<i>PL2</i>	<i>PL3</i>	<i>PL4</i>	
	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	β_c
0	0,0900	0,1581	0,2774	0,4376	0,12
10	0,0833	0,1460	0,2564	0,4034	0,09
30	0,0888	0,1551	0,2711	0,4254	0,08
45	0,1020	0,1752	0,3008	0,4656	0,08
60	0,1163	0,1797	0,2789	0,3966	0,08
80	0,1040	0,1513	0,2199	0,2973	0,11
90	0,1485	0,2161	0,3149	0,4262	0,19

PL1 – Minor



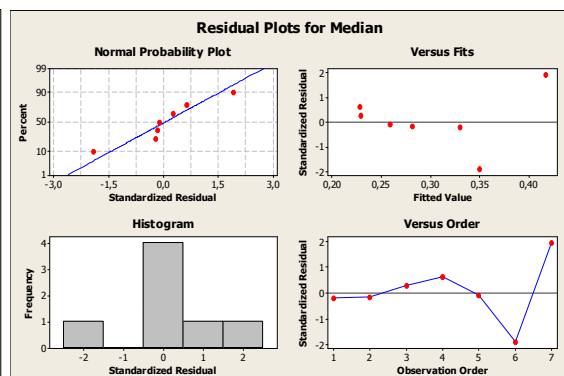
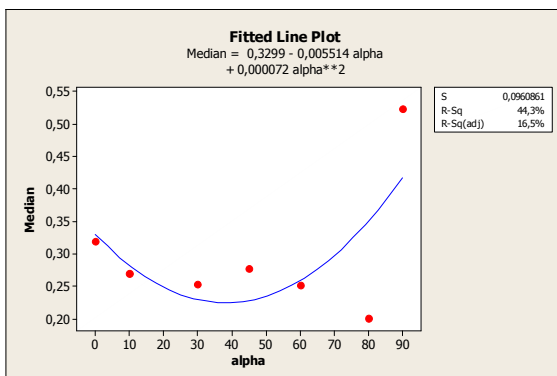
- Quadratic Model: $\mu_{PL1} = 0,145 - 0,002463 \cdot \alpha + 0,00003 \cdot \alpha^2$

PL2 – Moderate



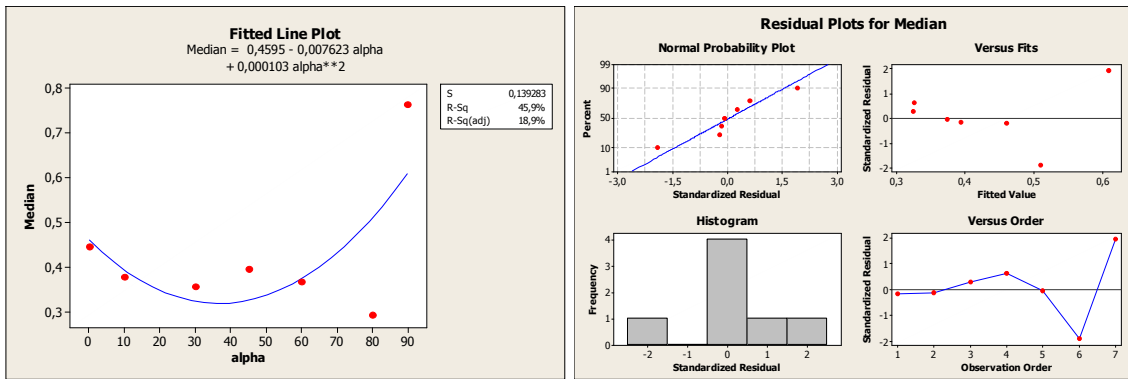
- Quadratic Model: $\mu_{PL2} = 0,2185 - 0,003674 \cdot \alpha + 0,000046 \cdot \alpha^2$

PL3 – Extensive



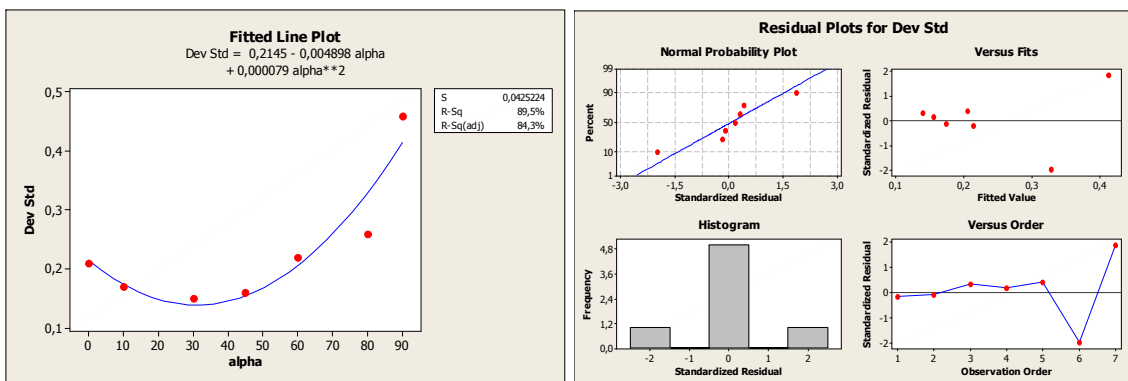
- Quadratic Model: $\mu_{PL3} = 0,3299 - 0,005514 \cdot \alpha + 0,000072 \cdot \alpha^2$

PL4 – Complete



- Quadratic Model: $\mu_{PL4} = 0,4595 - 0,007623 \cdot \alpha + 0,000103 \cdot \alpha^2$

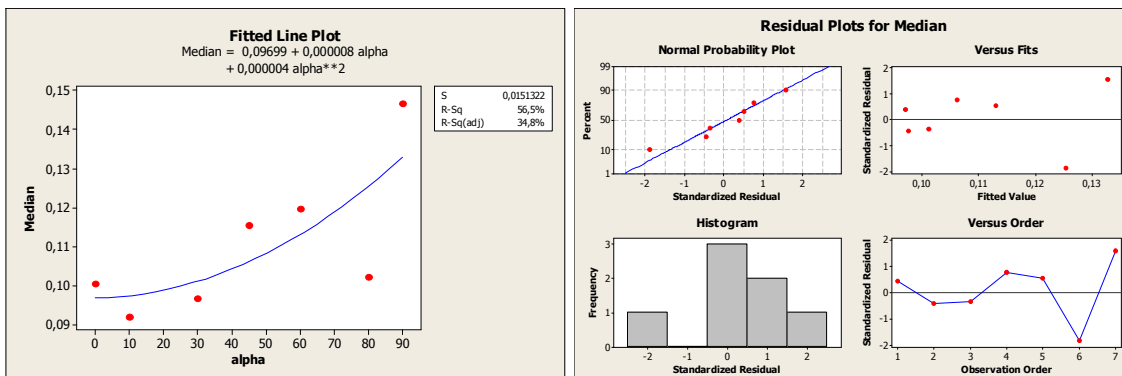
PL1/2/3/4



- Quadratic Model: $\beta_c = 0,2145 - 0,004898 \cdot \alpha + 0,000079 \cdot \alpha^2$

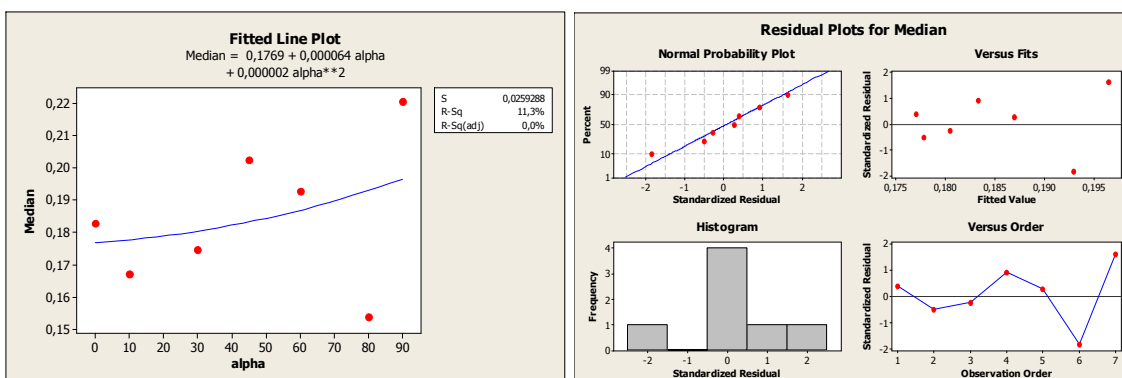
Figura 5.49 - Rappresentazione grafica della mediana e della deviazione standard per la configurazione geometrica $D=2,00m$, sulla base del modello quadratico, per ogni livello di danno al variare della direzione in pianta dell'azione sismica e relativi grafici dei residui.

PL1 – Minor



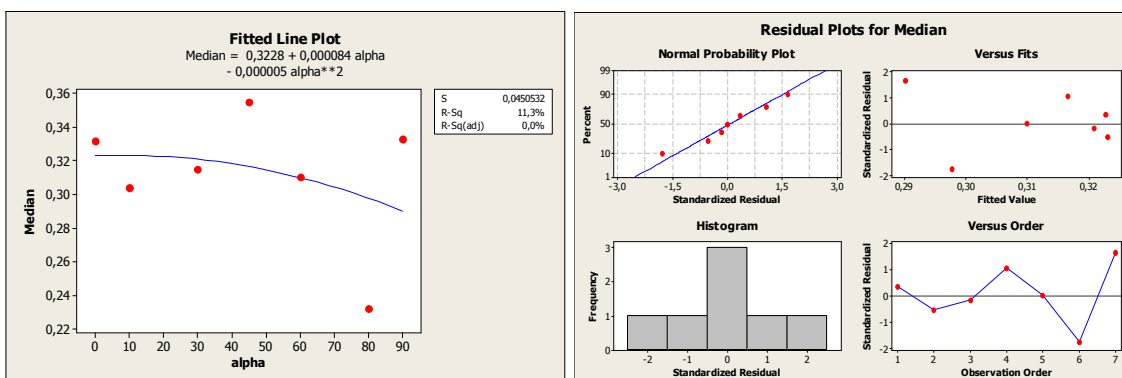
● Quadratic Model: $\mu_{PL1} = 0,09699 + 0,000008 \cdot \alpha + 0,000004 \cdot \alpha^2$

PL2 – Moderate



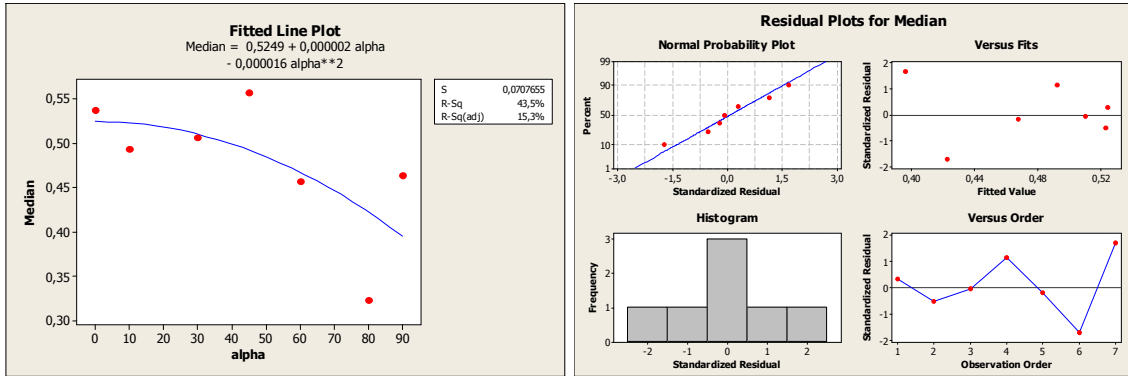
● Quadratic Model: $\mu_{PL2} = 0,1769 + 0,000064 \cdot \alpha + 0,000002 \cdot \alpha^2$

PL3 – Extensive



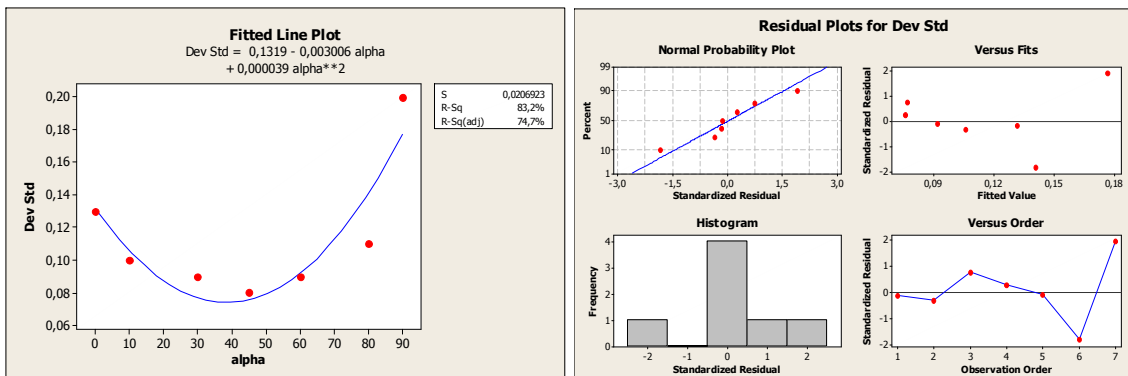
● Quadratic Model: $\mu_{PL3} = 0,3228 + 0,000084 \cdot \alpha - 0,000005 \cdot \alpha^2$

PL4 – Complete



● Quadratic Model: $\mu_{PL4} = 0,5249 + 0,000002 \cdot \alpha - 0,000016 \cdot \alpha^2$

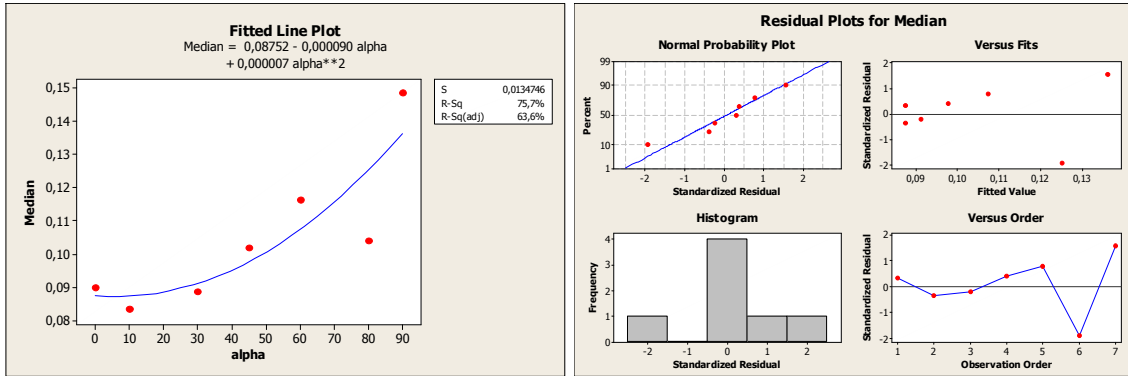
PL1/2/3/4



● Quadratic Model: $\beta_c = 0,1319 - 0,003006 \cdot \alpha + 0,000039 \cdot \alpha^2$

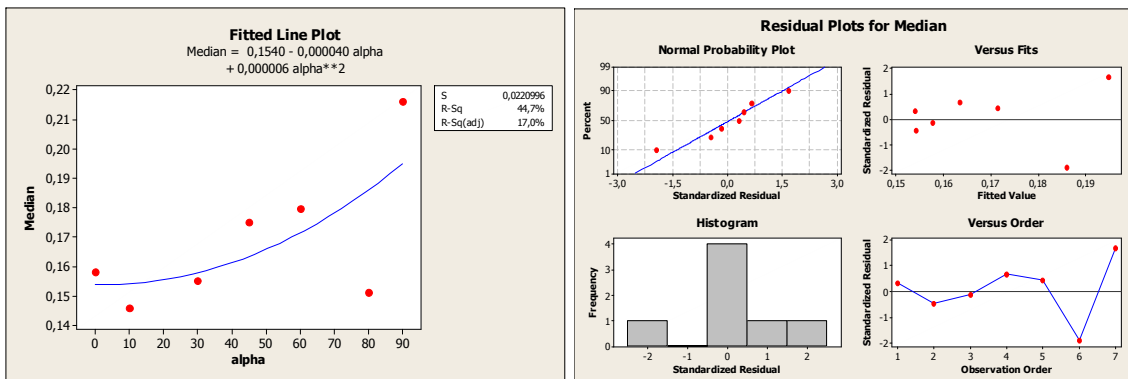
Figura 5.50 - Rappresentazione grafica della mediana e della deviazione standard per la configurazione geometrica $H=11,00m$, sulla base del modello quadratico, per ogni livello di danno al variare della direzione in pianta dell'azione sismica e relativi grafici dei residui.

PL1 – Minor



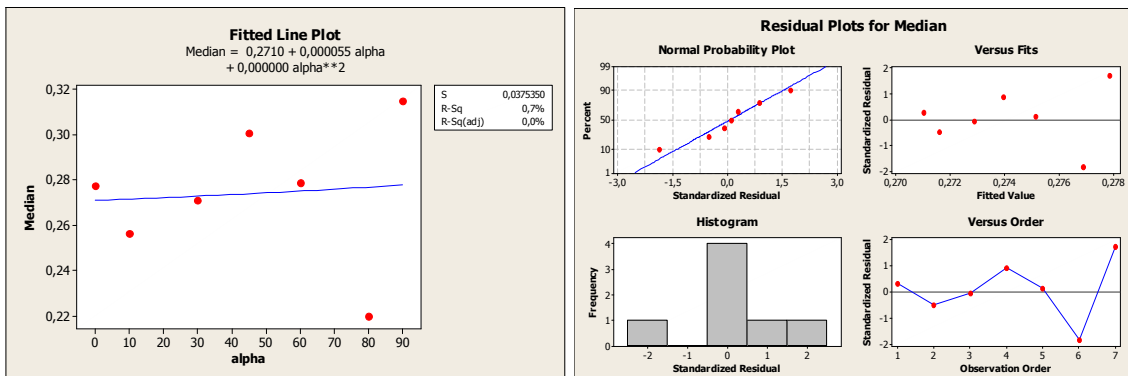
- Quadratic Model: $\mu_{PL1} = 0,08752 - 0,000090 \cdot \alpha + 0,000007 \cdot \alpha^2$

PL2 – Moderate



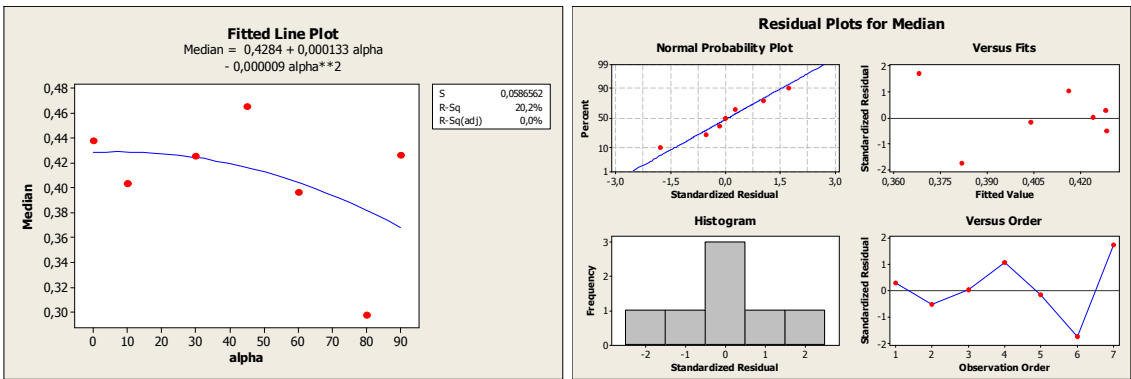
- Quadratic Model: $\mu_{PL2} = 0,1540 - 0,000040 \cdot \alpha + 0,000006 \cdot \alpha^2$

PL3 – Extensive



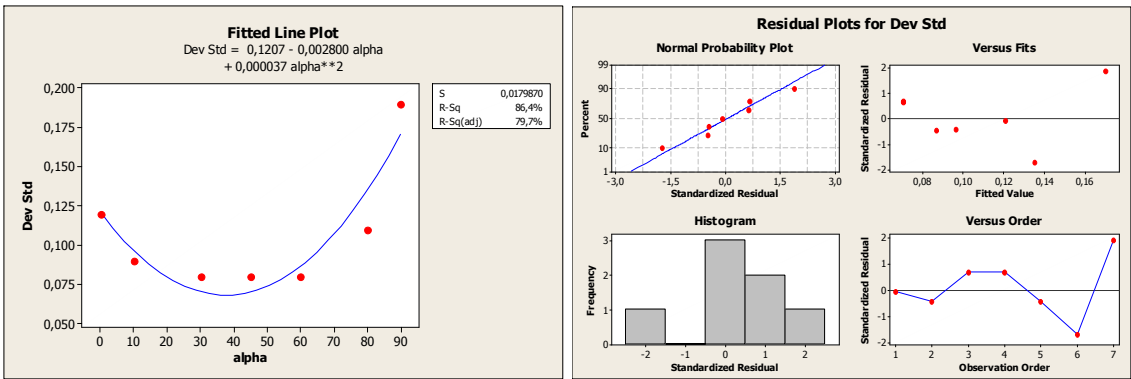
- Quadratic Model: $\mu_{PL3} = 0,2710 + 0,000055 \cdot \alpha + 0,000000 \cdot \alpha^2$

PL4 – Complete



● Quadratic Model: $\mu_{PL4} = 0,4284 + 0,000133 \cdot \alpha - 0,000009 \cdot \alpha^2$

PL1/2/3/4



● Quadratic Model: $\beta_c = 0,1207 - 0,002800 \cdot \alpha + 0,000037 \cdot \alpha^2$

Figura 5.51 - Rappresentazione grafica della mediana e della deviazione standard per la configurazione geometrica $L=30,00m$, sulla base del modello quadratico, per ogni livello di danno al variare della direzione in pianta dell'azione sismica e relativi grafici dei residui.

Si riportano infine i grafici polari relativi a mediana e deviazione standard del metodo *Risk-UE*, per tutti i livelli di danno, nelle varie configurazioni geometriche analizzate.

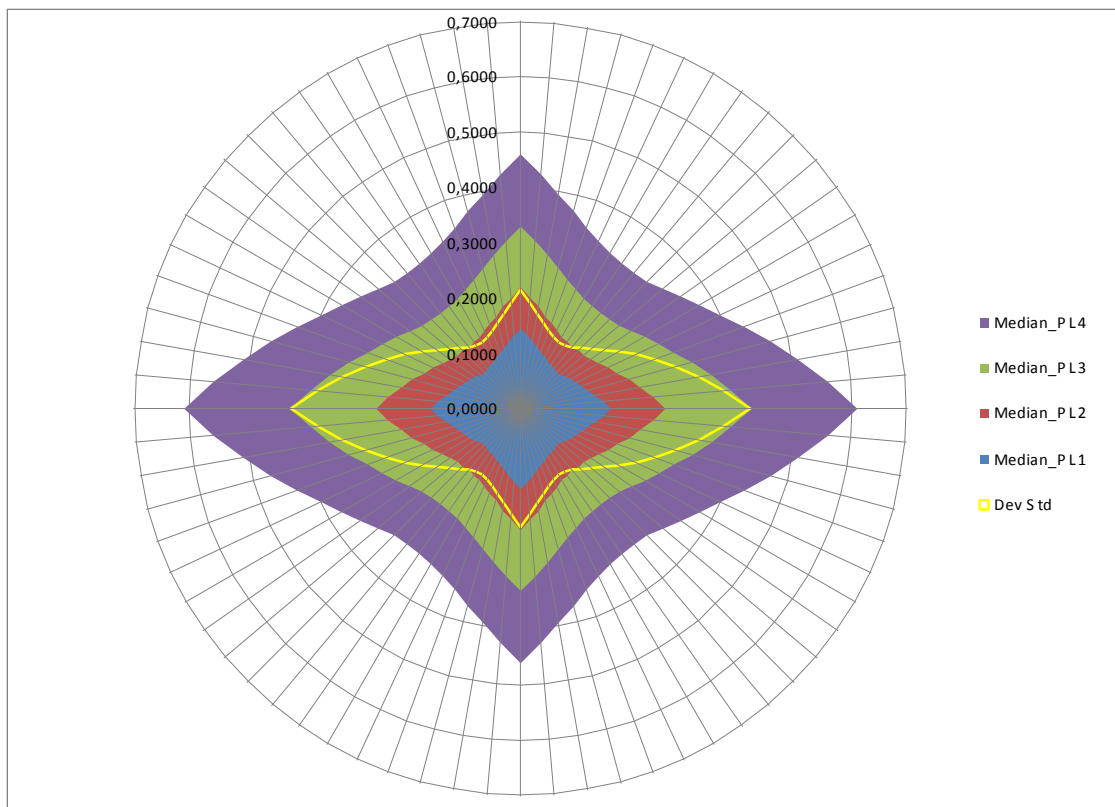


Figura 5.52 - Diagramma polare relativo al confronto della mediana e della deviazione standard per la configurazione geometrica $D=2,00m$, sulla base della legge predittiva quadratica, attraverso i vari livelli di danno, al variare della direzione in pianta dell'azione sismica.

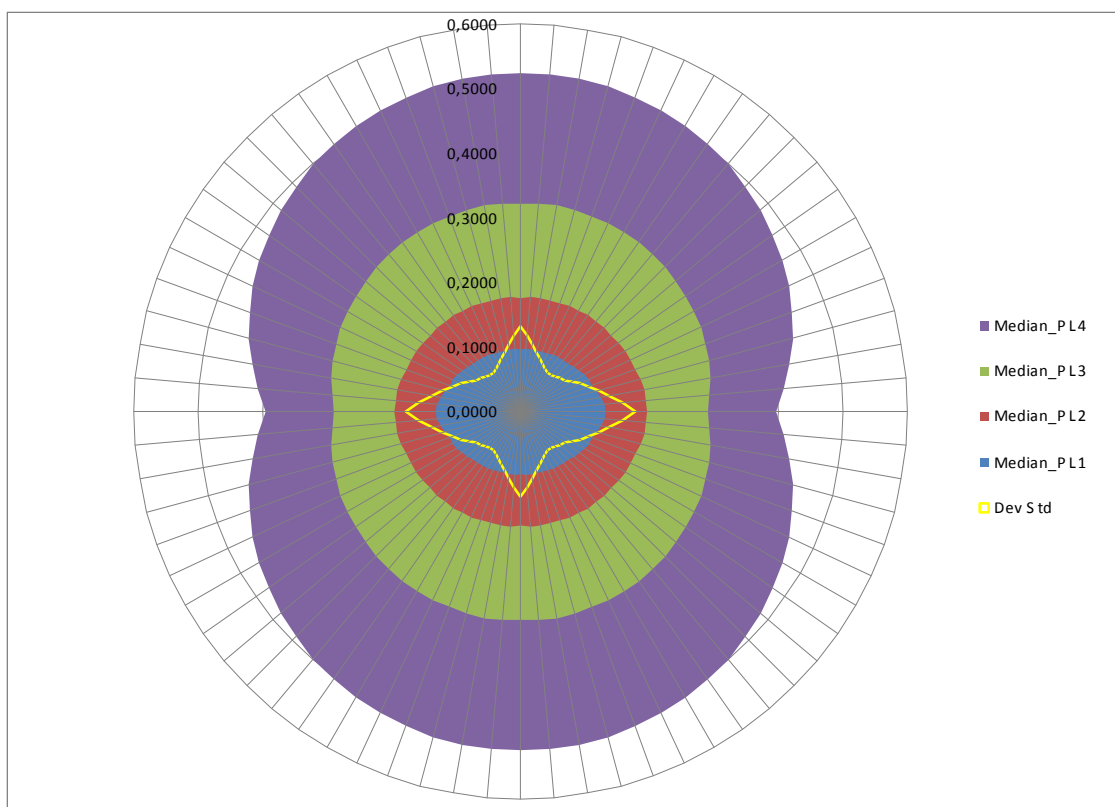


Figura 5.53 - Diagramma polare relativo al confronto della mediana e della deviazione standard per la configurazione geometrica $H=11,00m$, sulla base della legge predittiva quadratica, attraverso i vari livelli di danno, al variare della direzione in pianta dell'azione sismica.

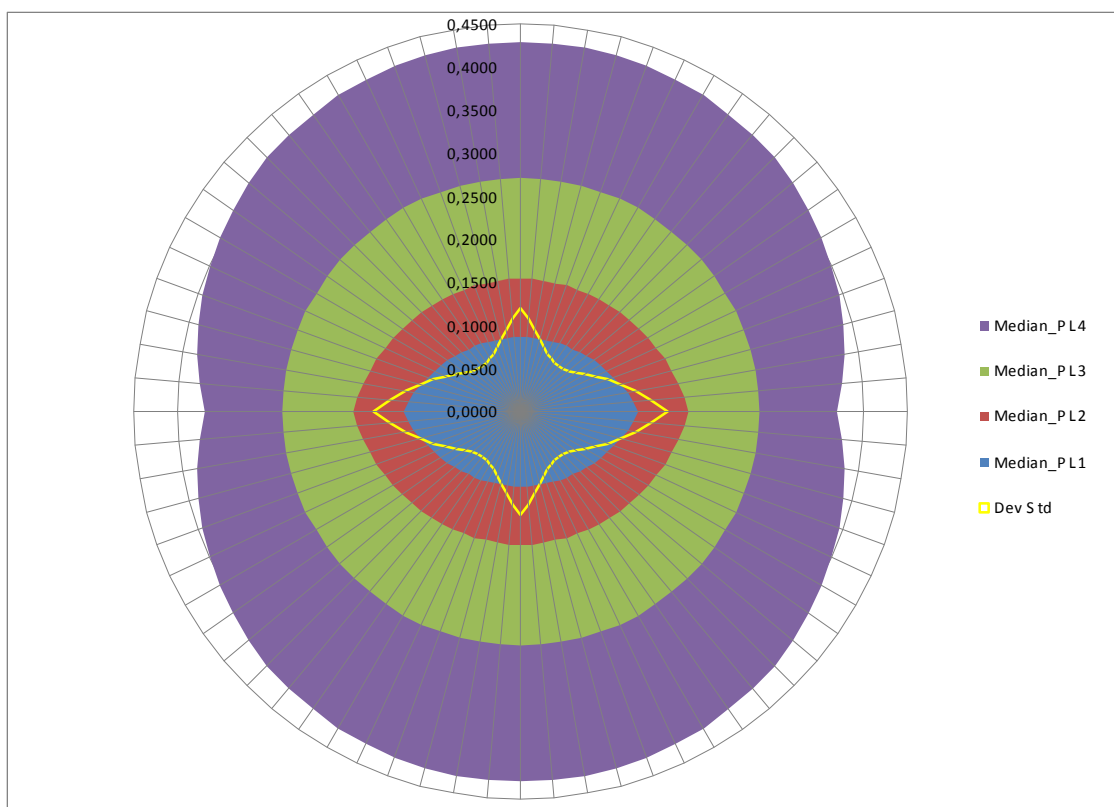


Figura 5.54 - Diagramma polare relativo al confronto della mediana e della deviazione standard per la configurazione geometrica $L=30,00m$, sulla base della legge predittiva quadratica, attraverso i vari livelli di danno, al variare della direzione in pianta dell'azione sismica.

Dal confronto dei vari diagrammi polari rispetto al diagramma relativo al ponte in assetto standard, attraverso le configurazioni geometriche analizzate, si nota che: nel caso in cui varia il diametro della pila si ha un diagramma totalmente diverso per forma e valori al suo interno, mentre nei casi in cui varia l'altezza della pila o la luce della campata, si nota una forma simile delle curve all'interno del diagramma, nonostante i valori di mediana e deviazione standard forniti dai modelli statistici siano differenti.

Ad ogni modo tali risultati non sono propriamente soddisfacenti dal punto di vista statistico, oltre che mal rappresentati dai polinomi interpolanti, dato il limitato numero di dati presi in considerazione come input nei modelli e di conseguenza la ristrettezza di configurazioni geometriche analizzate.

In questo elaborato è stato approfondito il tema riguardante l'influenza delle caratteristiche geometriche sulla stima della vulnerabilità sismica di ponti stradali esistenti e sono stati presentati alcuni spunti circa la costruzione delle curve di fragilità associate a ponti multi-campata a campate isostatiche, costituiti da travi in cemento armato e pile composte da più colonne, tipologia strutturale molto ricorrente all'interno della rete infrastrutturale italiana e in ugual maniera all'interno della rete stradale veneta. La corretta stima della vulnerabilità sismica di un manufatto infatti è molto importante al fine di stabilire il giusto ordine di priorità di intervento per la manutenzione e l'adeguamento dei ponti relativi ad una rete stradale, con lo scopo di evitare perdite di vite umane e garantire tempestività ai soccorsi in casi d'emergenza come ad esempio situazioni post terremoto.

È stato discusso in modo approfondito come l'impostazione probabilistica del calcolo della risposta sismica risulti quanto mai necessaria per la corretta interpretazione delle grandezze e dei parametri in gioco e come le curve di fragilità costituiscano uno strumento efficace per lo sviluppo di scenari di danno sismico su larga scala.

Per prima cosa si è considerato, come caso studio, un ponte situato nella provincia di Treviso, nello specifico nel comune di Alano di Piave, in località Fener, sul fiume Piave, e si è analizzata la vulnerabilità sismica dello stesso attraverso la costruzione delle curve di fragilità, sia con il metodo analitico (*Metodo 2*), sia con quello empirico (*Risk-UE*), al fine di coglierne eventuali differenze. Tale manufatto, di importanza strategica, consente il collegamento viario tra le due strade statali e regionali che si sviluppano lungo le due sponde del corso d'acqua, ed è stato scelto come campione soprattutto perché si tratta di un viadotto caratterizzato da schema statico, geometria, armature e materiali utilizzati riscontrabili in molte delle opere di attraversamento costruite a cavallo tra gli anni '60-'70, periodo in cui si è assistito ad un sostanziale incremento del patrimonio infrastrutturale in Italia.

I valori di resistenza dei materiali considerati influenzano in modo significativo il risultato delle analisi sismiche, quindi indagini e prove in-situ sono indispensabili per avere una corretta stima della vulnerabilità sismica dell'opera.

Essendo ogni pila costituita da un portale, si è visto come questa risponda alle azioni orizzontali in modo diverso lungo le due direzioni principali: ciò ha reso possibile studiare la fragilità del sistema in maniera differenziata per la risposta longitudinale e trasversale, utilizzando modelli piani; a priori è difficile dire quale sia la direzione di carico che controlla la fragilità del ponte, per la diversa rigidità dei sistemi nelle due direzioni, a parità di massa coinvolta (che significa forze sollecitanti maggiori in campo elastico per il sistema più rigido), e per la diversa duttilità della pila nelle due direzioni (in direzione longitudinale ci sono due potenziali cerniere plastiche, in direzione trasversale quattro, mentre gli effetti $P-\Delta$ che portano ad un anticipo del collasso sono in qualche modo significativi solo in direzione longitudinale, dove si hanno spostamenti maggiori).

Dall'analisi dei risultati ottenuti, si è potuto osservare come le curve di fragilità costruite attraverso il *Metodo 2* (analitico) evidenzino una maggior vulnerabilità del manufatto all'azione sismica in direzione longitudinale rispetto alla direzione trasversale (maggiore duttilità); questo perché, come ipotizzato già in fase di descrizione del modello, il comportamento strutturale risulta differente nelle due direzioni: maggiormente vulnerabile in direzione longitudinale, dato il comportamento a mensola, meno vulnerabile in direzione trasversale, a ragion dell'accoppiamento tra le due pile dato dal traverso di collegamento in c.a.. Le curve ottenute con il metodo *Risk-UE* invece non presentano differenze nelle due direzioni, in quanto tale parametro non viene preso in considerazione in questo metodo.

Considerando che le analisi dinamiche non lineari, necessarie per il calcolo della risposta sismica nella costruzione delle curve di fragilità col metodo analitico, sono solite richiedere tempi computazionali molto lunghi, ciò che ad un primo approccio fa prediligere l'impiego del metodo empirico è l'immediatezza con cui fornisce i risultati, aspetto fondamentale quando ci si deve confrontare con situazioni critiche che possono mettere a serio rischio vite umane, come quelle causate ad esempio da un evento sismico in cui è necessario poter dare un primo giudizio sul livello di affidabilità dei manufatti; d'altro canto si è potuto osservare come il metodo *Risk-UE* non sia in grado di valutare correttamente la fragilità sismica della struttura, in generale sottostimandola.

Dai confronti tra le varie curve di fragilità ottenute esclusivamente col *Metodo 2* al variare della geometria del ponte analizzato, si è notato che queste variano, in quanto la rigidità e la duttilità del sistema è direttamente influenzata dalla geometria del manufatto, inoltre mutano anche le masse che entrano in gioco; dai confronti effettuati però non è stato possibile evincere un vero e proprio andamento di come variano queste curve, in quanto non è di facile intuizione: questo perché, variando la geometria, cambia la resistenza dell'intero sistema-ponte e allo stesso tempo, variando la massa, muta anche la forza sismica sollecitante, direttamente proporzionale alla massa stessa del sistema. Pertanto ciò che si è riscontrato è stata una variazione simultanea della capacità del sistema e della richiesta di performance, dovuta alla mutata configurazione geometrica che assume il manufatto caso per caso, che ha un'influenza significativa sulla vulnerabilità sismica dello stesso.

Dalle curve di fragilità riportate per la direzione longitudinale e trasversale, si è potuto notare come la vulnerabilità dell'intero manufatto costituito da N pile indipendenti fra loro (campate in semplice appoggio), aumenti man mano che aumentano il numero di campate: questo si ha perché, dato che la probabilità di eccedere un certo livello di danno è data come differenza tra l'unità e la produttoria della probabilità di eccedere lo stesso livello di danno delle singole pile costituenti il sistema-ponte nel suo complesso, più pile formano il manufatto, maggiori elementi potenzialmente vulnerabili vengono sollecitati dal sisma, aumentando di conseguenza il rischio di danni e collassi: questo non vale per le curve relative al PL1 del metodo *Risk-UE*, in quanto le curve risultano sovrapposte al variare del numero di campate.

Analizzando invece diverse strategie numeriche di modellazione del medesimo ponte "fittizio" costituito da quattro campate, attraverso un modello numerico della sola pila, considerata come elemento più vulnerabile del ponte, con un modello che discretizza l'intero ponte, si è potuto constatare come la vulnerabilità sismica del ponte derivante dall'analisi del primo modello sia sovrastimata per ogni livello di danno, in misura maggiore per quanto riguarda la direzione trasversale rispetto all'asse dell'impalcato; d'altro canto il metodo di analisi dinamica non lineare risulta il più avanzato per il calcolo della risposta strutturale, ma allo stesso tempo esso è il più oneroso da un punto di vista computazionale, di conseguenza i tempi vanno attentamente valutati in relazione al livello di accuratezza richiesto dall'indagine di vulnerabilità (maggior livello di accuratezza nel modello, maggiori tempi computazionali richiesti per le analisi).

In un secondo momento, basando le analisi sul modello del ponte intero, si sono volute determinare le curve di fragilità di un ponte a 4 campate con azione sismica inclinata di un angolo α rispetto all'asse longitudinale delle pile e successivamente quelle di un ponte a 4 campate avente le medesime caratteristiche, ad eccezione della sghembatura in pianta del medesimo angolo α , e azione sismica agente lungo l'asse longitudinale delle pile: questo per valutare se la sghembatura influisce sulla risposta sismica del manufatto oppure se in realtà ciò che influisce maggiormente sulla vulnerabilità è la giacitura dell'azione sismica rispetto all'asse delle pile. Dai confronti delle varie curve per i quattro livelli di danno e per i due casi studiati si è potuto apprezzare che, nel modello con inclinazione in pianta della forza sismica, più aumenta l'angolo di inclinazione rispetto all'asse longitudinale, minore è la vulnerabilità del manufatto in tale direzione, in quanto subentra il comportamento a telaio delle pile che dà maggior rigidità al sistema, mentre nel secondo caso, con sghembatura in pianta dell'impalcato, non si sono rilevate differenze significative al variare dell'angolo α . Pertanto, dai due diversi casi studio analizzati, si è potuto constatare che, per angoli α relativamente bassi (fino a 20°), le differenze associate alle curve di fragilità ottenute in direzione longitudinale all'asse delle pile, sono minime, mentre per angoli α maggiori o uguali a 25° , la differenza tra i due casi risulta via via più marcata, evidenziando una minore vulnerabilità sismica del viadotto associata al modello con forza sismica inclinata rispetto all'asse delle pile, in quanto per tali valori dell'angolo il comportamento è influenzato in maniera sempre più preponderante dall'effetto dovuto al traverso in c.a. (comportamento a telaio).

Nella seconda parte del lavoro, è stato svolto un esteso studio parametrico, facendo variare le principali caratteristiche geometriche dell'impalcato (altezza e diametro della pila, lunghezza della campata e numero di campate) e costruendo le relative curve di fragilità con entrambe le procedure: dopo un'attenta comparazione dei risultati ottenuti dai due metodi, si è deciso di "aggiustare" le curve derivanti dal metodo empirico, intervenendo nei suoi due parametri base, mediana e deviazione standard, al fine di poterle sovrapporre a quelle ottenute col metodo analitico, più preciso e affidabile, in quanto derivante da analisi dinamiche non lineari al passo.

Per ogni possibile combinazione geometrica, purché ammissibile, sono stati ricavati i relativi parametri corretti del metodo *Risk-UE* da usare nella costruzione delle suddette curve.

I risultati ottenuti in termini di parametri “aggiustati” del metodo *Risk-UE* sono stati usati come input per estrapolare dei modelli statistici di facile utilizzo e soprattutto di immediato riscontro in termini di risposta i quali, per una miglior comprensione, sono stati presentati sia in forma tabellare, sia con grafici tridimensionali (*3D response surface*) e infine sotto forma di legge polinomiale, derivanti dall’analisi di regressione effettuata, in relazione alle possibili configurazioni geometriche di un qualsiasi ponte purché appartenente alla categoria dei ponti in c.a. multicampata.

Da un’analisi dei risultati che si sono ottenuti, si è potuto notare come i due modelli siano entrambi efficienti, considerando un numero di campate fissato e pari a 4: le uniche differenze si hanno dalla seconda cifra decimale in poi, pertanto si può ammettere con una certa fermezza che entrambi i modelli sono attendibili. Tale considerazione vale solo nel caso in cui il numero di campate del ponte in esame sia pari a 4; in caso contrario si dovrà far affidamento, per avere stime dei parametri più precise, esclusivamente al “modello 2”, in quanto tale modello considera esplicitamente tra le variabili di input anche il numero di campate N .

Infine si è ricavato un modello “ad hoc” per studiare l’influenza della sola direzione di applicazione dell’azione sismica, applicata al modello a singolo portale: le leggi polinomiali che si sono estrapolate per ogni livello di danno rispecchiano abbastanza le aspettative, nel senso che trovano una buona corrispondenza con i risultati ottenuti dalle singole leggi, relativamente in direzione longitudinale e trasversale, opportunamente scomposti nella direzione del sisma, una volta effettuata la sovrapposizione degli effetti attraverso la seguente combinazione $\mu_{\alpha^{\circ}} = \sqrt{[\mu_{LONG} \cdot \cos(\alpha)]^2 + [\mu_{TRASV} \cdot \sin(\alpha)]^2}$ (radice quadrata della somma dei quadrati). D’altro canto i risultati ottenuti dal modello creato “ad hoc” per questo specifico caso studio, nonostante la diretta corrispondenza con gli altri due modelli, non sono propriamente soddisfacenti dal punto di vista statistico, dato il limitato numero di dati che sono stati presi in considerazione come input nel modello e di conseguenza la ristrettezza di configurazioni geometriche analizzate; pertanto tali risultati sono migliorabili da un punto di vista dell’approssimazione e quindi dell’affidabilità del modello usato per rappresentare i dati. Variando la geometria del ponte, inoltre, la forma che assumono i diagrammi polari usati per rappresentare tali modelli statistici sono simili, ad eccezione del caso in cui varia il diametro della pila.

In via del tutto generale, detti modelli nascono dall'esigenza di voler ottenere delle curve di fragilità di applicazione immediata, derivanti da metodi sufficientemente rapidi da applicare e al contempo affidabili, cosa che prima, con il metodo *Risk-UE* classico, non era possibile.

Tale studio, con tutte le analisi connesse, ha lo scopo di fornire degli ulteriori strumenti utili per l'analisi della vulnerabilità sismica di ponti stradali esistenti, che va ad arricchire il tema di principale attualità che è proprio quello dell'analisi di procedure volte alla previsione dei possibili scenari di danno di reti di trasporto e alla pianificazione degli interventi di adeguamento sismico e miglioramento strutturale, con finalità di prevenzione, determinando l'ottima ripartizione e allocazione delle risorse economiche stanziare a bilancio per queste voci di spesa.

Il lavoro svolto permette quindi di analizzare il singolo manufatto di date caratteristiche geometriche, per poi estendere l'analisi ad un quadro più generale relativo alla gestione del patrimonio infrastrutturale costruito: è possibile pertanto, una volta analizzato il singolo viadotto con le questioni inerenti ai possibili interventi di adeguamento nonché allo stato di degrado presente, passare alla trattazione complessiva in un'ottica più ampia di rete di trasporto, ove tutti i manufatti concorrono all'agibilità e fruibilità della rete stessa, valutando caso per caso il peso e la rilevanza che lo stesso ha sull'esercizio delle funzioni primarie della rete di trasporto.

Allegato 1: Output analisi non lineari

Ponte standard (modello pila singola)

Ponte campione	PGA [g]	DIR. LONGITUDINALE		DIR. TRASVERSALE	
		x_y [mm]	x_{max} [mm]	x_y [mm]	x_{max} [mm]
<i>H=9 ; D=1,5 ; L=25</i>					
PC1	0,1	13,5	20,6	6,1	4,3
	0,2	13,5	44,3	6,1	13,4
	0,3	13,5	69,0	6,1	31,4
	0,4	13,5	103,7	6,1	49,6
	0,5	13,5	119,9	6,1	67,9
	0,6	13,5	145,4	6,1	90,8
	0,7	13,5	204,2	6,1	117,7
	0,8	13,5	257,5	6,1	144,8
PC2	0,1	14,5	20,6	6,4	4,3
	0,2	14,5	45,3	6,4	13,0
	0,3	14,5	66,4	6,4	33,3
	0,4	14,5	102,5	6,4	46,7
	0,5	14,5	123,6	6,4	64,8
	0,6	14,5	140,6	6,4	87,6
	0,7	14,5	176,6	6,4	110,9
	0,8	14,5	228,9	6,4	134,1
PC3	0,1	15,4	20,6	6,8	4,3
	0,2	15,4	47,9	6,8	13,2
	0,3	15,4	65,4	6,8	34,9
	0,4	15,4	103,4	6,8	46,0
	0,5	15,4	127,8	6,8	63,1
	0,6	15,4	138,6	6,8	87,2
	0,7	15,4	169,4	6,8	106,2
	0,8	15,4	211,7	6,8	128,0
PC4	0,1	14,5	16,1	7,0	3,4
	0,2	14,5	39,3	7,0	7,1
	0,3	14,5	60,7	7,0	13,4
	0,4	14,5	85,1	7,0	38,4
	0,5	14,5	115,5	7,0	62,7
	0,6	14,5	139,6	7,0	81,3
	0,7	14,5	185,1	7,0	104,1
	0,8	14,5	233,8	7,0	130,6
PC5	0,1	15,0	16,1	7,0	3,4
	0,2	15,0	44,4	7,0	7,1
	0,3	15,0	58,6	7,0	13,4
	0,4	15,0	81,2	7,0	37,4
	0,5	15,0	111,0	7,0	57,9
	0,6	15,0	130,8	7,0	78,9
	0,7	15,0	164,4	7,0	99,8
	0,8	15,0	204,3	7,0	121,8
PC6	0,1	15,2	16,1	7,0	3,4
	0,2	15,2	43,9	7,0	7,1
	0,3	15,2	56,7	7,0	13,3
	0,4	15,2	82,1	7,0	36,3
	0,5	15,2	108,3	7,0	55,7
	0,6	15,2	131,0	7,0	76,2
	0,7	15,2	148,6	7,0	95,5
	0,8	15,2	188,5	7,0	116,2
PC7	0,1	16,0	15,7	7,9	2,9
	0,2	16,0	37,1	7,9	5,8
	0,3	16,0	61,9	7,9	9,5

PC7	0,4	16,0	83,4	7,9	18,3
	0,5	16,0	118,1	7,9	54,3
	0,6	16,0	139,3	7,9	79,0
	0,7	16,0	159,9	7,9	101,8
	0,8	16,0	229,9	7,9	125,9
PC8	0,1	16,2	15,7	7,9	2,9
	0,2	16,2	37,6	7,9	5,8
	0,3	16,2	58,1	7,9	9,5
	0,4	16,2	78,3	7,9	17,5
	0,5	16,2	107,6	7,9	50,5
	0,6	16,2	134,1	7,9	75,5
	0,7	16,2	149,5	7,9	96,6
	0,8	16,2	193,6	7,9	117,3
PC9	0,1	16,3	15,7	7,9	2,9
	0,2	16,3	37,2	7,9	5,8
	0,3	16,3	57,0	7,9	9,5
	0,4	16,3	78,6	7,9	17,1
	0,5	16,3	103,8	7,9	48,9
	0,6	16,3	133,1	7,9	72,2
	0,7	16,3	145,6	7,9	92,5
	0,8	16,3	171,1	7,9	113,0
PC10	0,1	17,5	13,8	8,7	2,6
	0,2	17,5	30,8	8,7	5,3
	0,3	17,5	59,2	8,7	8,4
	0,4	17,5	81,2	8,7	11,9
	0,5	17,5	112,0	8,7	33,4
	0,6	17,5	150,0	8,7	73,4
	0,7	17,5	166,7	8,7	102,4
	0,8	17,5	197,3	8,7	123,8
PC11	0,1	17,6	13,8	8,8	2,6
	0,2	17,6	29,2	8,8	5,3
	0,3	17,6	53,6	8,8	8,4
	0,4	17,6	79,1	8,8	11,9
	0,5	17,6	100,3	8,8	30,9
	0,6	17,6	138,5	8,8	68,0
	0,7	17,6	166,3	8,8	95,3
	0,8	17,6	185,2	8,8	119,4
PC12	0,1	17,6	13,8	8,8	2,6
	0,2	17,6	32,2	8,8	5,3
	0,3	17,6	53,5	8,8	8,4
	0,4	17,6	77,4	8,8	11,9
	0,5	17,6	98,7	8,8	31,7
	0,6	17,6	134,9	8,8	62,6
	0,7	17,6	149,2	8,8	91,1
	0,8	17,6	168,0	8,8	111,1
PC13	0,1	19,0	12,2	9,6	2,3
	0,2	19,0	27,4	9,6	4,6
	0,3	19,0	53,8	9,6	7,0
	0,4	19,0	76,0	9,6	9,9
	0,5	19,0	118,0	9,6	15,8
	0,6	19,0	151,1	9,6	49,9
	0,7	19,0	176,1	9,6	99,2
	0,8	19,0	163,7	9,6	123,8
PC14	0,1	19,1	12,2	9,6	2,3
	0,2	19,1	27,0	9,6	4,6
	0,3	19,1	54,4	9,6	7,0
	0,4	19,1	75,6	9,6	9,9
	0,5	19,1	104,9	9,6	14,7
	0,6	19,1	131,9	9,6	50,5
	0,7	19,1	139,4	9,6	93,2
	0,8	19,1	194,4	9,6	118,0
PC15	0,1	19,1	12,2	9,6	2,3
	0,2	19,1	27,8	9,6	4,6
	0,3	19,1	54,0	9,6	7,0
	0,4	19,1	76,7	9,6	9,9
	0,5	19,1	99,9	9,6	14,7
	0,6	19,1	131,2	9,6	45,4
	0,7	19,1	148,9	9,6	79,4
	0,8	19,1	178,3	9,6	111,3

Ponte standard (modello ponte intero – 4 campate)

Ponte campione	PGA [g]	DIR. LONGITUDINALE		DIR. TRASVERSALE	
		x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]
PC1	0,1	13,5	20,5	6,1	3,8
	0,2	13,5	45,4	6,1	8,7
	0,3	13,5	85,7	6,1	21,6
	0,4	13,5	104,0	6,1	37,5
	0,5	13,5	121,1	6,1	52,9
	0,6	13,5	187,3	6,1	67,5
PC2	0,1	13,5	20,5	6,1	3,8
	0,2	13,5	49,2	6,1	8,7
	0,3	14,5	85,5	6,4	22,6
	0,4	14,5	105,8	6,4	36,7
	0,5	14,5	121,6	6,4	50,0
	0,6	14,5	162,1	6,4	64,6
PC3	0,1	14,5	20,5	6,4	3,8
	0,2	14,5	53,8	6,4	8,7
	0,3	14,5	84,9	6,4	22,7
	0,4	14,5	107,0	6,4	36,6
	0,5	15,4	121,2	6,8	48,8
	0,6	15,4	151,2	6,8	62,2
PC4	0,1	15,4	19,1	6,8	3,0
	0,2	15,4	41,7	6,8	6,1
	0,3	15,4	69,7	6,8	10,1
	0,4	15,4	94,9	6,8	23,5
	0,5	15,4	120,4	6,8	48,5
	0,6	15,4	167,4	6,8	63,2
PC5	0,1	14,5	19,1	7,0	3,0
	0,2	14,5	43,0	7,0	6,1
	0,3	14,5	65,9	7,0	10,1
	0,4	14,5	95,0	7,0	20,0
	0,5	14,5	109,5	7,0	43,6
	0,6	14,5	143,9	7,0	60,7
PC6	0,1	14,5	19,1	7,0	3,0
	0,2	14,5	43,8	7,0	6,1
	0,3	15,0	63,8	7,0	10,1
	0,4	15,0	93,3	7,0	18,7
	0,5	15,0	109,0	7,0	41,5
	0,6	15,0	134,6	7,0	56,4
PC7	0,1	15,0	16,2	7,0	2,6
	0,2	15,0	40,4	7,0	5,3
	0,3	15,0	65,7	7,0	8,1
	0,4	15,0	101,2	7,0	11,8
	0,5	15,2	114,6	7,0	27,6
	0,6	15,2	150,6	7,0	52,0
PC8	0,1	15,2	16,2	7,0	2,6
	0,2	15,2	39,9	7,0	5,3
	0,3	15,2	63,8	7,0	8,1
	0,4	15,2	94,2	7,0	11,7
	0,5	15,2	111,9	7,0	26,7
	0,6	15,2	135,7	7,0	49,5
PC9	0,1	16,0	16,2	7,9	2,6
	0,2	16,0	43,0	7,9	5,3
	0,3	16,0	62,4	7,9	8,1
	0,4	16,0	86,0	7,9	11,6
	0,5	16,0	106,5	7,9	26,5
	0,6	16,0	125,1	7,9	48,2
PC10	0,1	16,0	15,3	7,9	2,3
	0,2	16,0	38,3	7,9	4,6
	0,3	16,2	66,1	7,9	6,9
	0,4	16,2	104,0	7,9	9,9
	0,5	16,2	117,7	7,9	13,7
	0,6	16,2	148,3	7,9	38,1
PC11	0,1	16,2	15,3	7,9	2,3
	0,2	16,2	35,9	7,9	4,6
	0,3	16,2	65,1	7,9	6,9
	0,4	16,2	92,8	7,9	9,9

	0,5	16,3	116,3	7,9	13,8
	0,6	16,3	137,6	7,9	35,6
PC12	0,1	16,3	15,3	7,9	2,3
	0,2	16,3	35,4	7,9	4,6
	0,3	16,3	60,6	7,9	6,9
	0,4	16,3	86,0	7,9	9,9
	0,5	16,3	109,9	7,9	13,7
	0,6	16,3	130,0	7,9	32,9
PC13	0,1	17,5	14,9	8,7	2,0
	0,2	17,5	34,8	8,7	4,1
	0,3	17,5	59,8	8,7	6,2
	0,4	17,5	92,5	8,7	8,6
	0,5	17,5	111,2	8,7	10,9
	0,6	17,5	138,2	8,7	15,1
PC14	0,1	17,5	14,9	8,7	2,0
	0,2	17,5	32,7	8,7	4,1
	0,3	17,6	61,2	8,8	6,2
	0,4	17,6	84,4	8,8	8,6
	0,5	17,6	103,5	8,8	10,9
	0,6	17,6	136,8	8,8	16,1
PC15	0,1	17,6	14,9	8,8	2,0
	0,2	17,6	33,1	8,8	4,1
	0,3	17,6	54,2	8,8	6,2
	0,4	17,6	85,6	8,8	8,6
	0,5	17,6	113,6	8,8	10,9
	0,6	17,6	128,8	8,8	16,1

Variazione altezza pila "H" (modello pila singola)

		DIR. LONGITUDINALE							
		H = 5m		H = 7m		H = 11m		H = 13m	
Ponte campione	PGA [g]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]
PC1	0,1	4,1	4,4	8,1	15,8	20,3	27,0	28,4	34,5
	0,2	4,1	14,9	8,1	30,8	20,3	58,6	28,4	85,8
	0,3	4,1	27,3	8,1	46,9	20,3	94,5	28,4	112,8
	0,4	4,1	41,5	8,1	70,9	20,3	112,9	28,4	150,8
	0,5	4,1	61,2	8,1	92,1	20,3	148,0	28,4	201,1
	0,6	4,1	82,7	8,1	124,3	20,3	213,0	28,4	281,5
	0,7	4,1	107,7	8,1	149,8	20,3	256,8	28,4	313,2
	0,8	4,1	132,5	8,1	184,3	20,3	318,0	28,4	349,1
PC2	0,1	4,4	4,4	8,7	16,5	21,7	27,0	30,3	34,5
	0,2	4,4	15,7	8,7	32,7	21,7	57,8	30,3	88,5
	0,3	4,4	26,7	8,7	47,8	21,7	97,6	30,3	109,7
	0,4	4,4	39,0	8,7	69,5	21,7	115,5	30,3	147,9
	0,5	4,4	57,3	8,7	89,1	21,7	136,4	30,3	200,6
	0,6	4,4	75,5	8,7	110,3	21,7	201,6	30,3	254,9
	0,7	4,4	96,7	8,7	143,8	21,7	241,7	30,3	311,0
	0,8	4,4	119,0	8,7	164,8	21,7	297,2	30,3	337,2
PC3	0,1	4,7	4,4	9,3	16,6	23,0	27,0	32,0	34,5
	0,2	4,7	16,9	9,3	34,1	23,0	60,9	32,0	92,9
	0,3	4,7	26,0	9,3	48,2	23,0	105,6	32,0	111,0
	0,4	4,7	37,3	9,3	66,4	23,0	124,7	32,0	158,6
	0,5	4,7	54,5	9,3	89,5	23,0	140,8	32,0	201,6
	0,6	4,7	71,7	9,3	106,8	23,0	189,0	32,0	245,4
	0,7	4,7	91,4	9,3	136,1	23,0	240,6	32,0	304,8
	0,8	4,7	110,0	9,3	162,0	23,0	275,1	32,0	337,0
PC4	0,1	4,4	3,3	8,8	9,1	21,8	21,7	30,7	27,7
	0,2	4,4	9,3	8,8	25,2	21,8	53,9	30,7	68,9
	0,3	4,4	22,8	8,8	42,9	21,8	86,7	30,7	113,0
	0,4	4,4	37,1	8,8	65,9	21,8	116,9	30,7	137,5
	0,5	4,4	46,4	8,8	89,3	21,8	131,1	30,7	181,7
	0,6	4,4	71,9	8,8	106,0	21,8	183,6	30,7	251,3
	0,7	4,4	92,5	8,8	143,5	21,8	231,0	30,7	281,6
	0,8	4,4	120,5	8,8	175,8	21,8	283,4	30,7	344,7
PC5	0,1	4,6	3,3	9,0	9,1	22,5	21,7	31,5	27,7
	0,2	4,6	8,6	9,0	25,0	22,5	53,7	31,5	69,6
	0,3	4,6	21,6	9,0	43,7	22,5	83,0	31,5	110,6

PC5	0,4	4,6	33,7	9,0	61,7	22,5	114,7	31,5	130,7
	0,5	4,6	48,3	9,0	82,6	22,5	133,8	31,5	169,6
	0,6	4,6	66,1	9,0	103,3	22,5	156,1	31,5	226,7
	0,7	4,6	84,0	9,0	127,2	22,5	212,5	31,5	271,3
	0,8	4,6	102,9	9,0	163,0	22,5	265,4	31,5	313,0
PC6	0,1	4,6	3,3	9,2	9,1	22,8	21,7	32,0	27,7
	0,2	4,6	8,8	9,2	26,1	22,8	55,3	32,0	71,1
	0,3	4,6	21,2	9,2	42,4	22,8	80,3	32,0	109,4
	0,4	4,6	32,9	9,2	59,4	22,8	110,7	32,0	133,1
	0,5	4,6	45,4	9,2	78,3	22,8	132,5	32,0	153,6
	0,6	4,6	59,4	9,2	99,5	22,8	151,8	32,0	209,5
	0,7	4,6	77,8	9,2	123,0	22,8	199,1	32,0	255,0
	0,8	4,6	96,5	9,2	152,1	22,8	242,8	32,0	310,3
PC7	0,1	4,9	2,8	9,7	7,9	24,0	20,8	33,7	25,4
	0,2	4,9	6,3	9,7	21,0	24,0	45,1	33,7	55,6
	0,3	4,9	20,0	9,7	41,1	24,0	78,1	33,7	101,9
	0,4	4,9	35,5	9,7	63,4	24,0	111,8	33,7	130,1
	0,5	4,9	50,8	9,7	86,0	24,0	136,1	33,7	179,0
	0,6	4,9	69,7	9,7	104,7	24,0	170,2	33,7	221,8
	0,7	4,9	87,9	9,7	134,0	24,0	224,9	33,7	290,3
	0,8	4,9	112,3	9,7	162,3	24,0	298,7	33,7	326,4
PC8	0,1	5,0	2,8	9,8	7,9	24,3	20,8	34,1	25,4
	0,2	5,0	6,3	9,8	22,0	24,3	45,6	34,1	55,5
	0,3	5,0	19,3	9,8	41,2	24,3	77,0	34,1	97,7
	0,4	5,0	32,7	9,8	59,5	24,3	110,2	34,1	129,2
	0,5	5,0	46,4	9,8	80,0	24,3	134,5	34,1	164,6
	0,6	5,0	61,7	9,8	102,8	24,3	156,7	34,1	206,0
	0,7	5,0	79,7	9,8	121,3	24,3	202,9	34,1	257,6
	0,8	5,0	99,1	9,8	151,9	24,3	251,4	34,1	310,7
PC9	0,1	5,0	2,8	9,8	7,9	24,5	20,8	34,3	25,4
	0,2	5,0	6,3	9,8	20,3	24,5	43,7	34,3	56,4
	0,3	5,0	19,0	9,8	41,5	24,5	77,7	34,3	102,8
	0,4	5,0	29,9	9,8	56,9	24,5	107,7	34,3	132,2
	0,5	5,0	42,8	9,8	75,3	24,5	136,2	34,3	159,2
	0,6	5,0	56,0	9,8	97,1	24,5	155,9	34,3	189,2
	0,7	5,0	74,2	9,8	118,4	24,5	185,2	34,3	238,9
	0,8	5,0	91,6	9,8	141,7	24,5	229,2	34,3	298,0
PC10	0,1	5,4	2,6	10,6	6,1	26,3	21,3	36,8	22,4
	0,2	5,4	5,2	10,6	15,3	26,3	43,1	36,8	50,1
	0,3	5,4	12,7	10,6	36,5	26,3	76,0	36,8	94,5
	0,4	5,4	31,2	10,6	53,4	26,3	109,1	36,8	133,9
	0,5	5,4	50,0	10,6	84,5	26,3	132,6	36,8	184,6
	0,6	5,4	68,5	10,6	104,5	26,3	168,9	36,8	222,9
	0,7	5,4	85,8	10,6	128,4	26,3	226,4	36,8	275,7
	0,8	5,4	110,5	10,6	137,6	26,3	293,7	36,8	313,7
PC11	0,1	5,4	2,6	10,6	6,1	26,4	21,3	36,9	22,4
	0,2	5,4	5,2	10,6	15,8	26,4	44,4	36,9	49,8
	0,3	5,4	12,7	10,6	35,0	26,4	74,2	36,9	94,4
	0,4	5,4	28,9	10,6	57,0	26,4	111,4	36,9	127,4
	0,5	5,4	45,1	10,6	77,7	26,4	128,0	36,9	170,5
	0,6	5,4	60,1	10,6	99,6	26,4	158,1	36,9	204,1
	0,7	5,4	79,1	10,6	119,8	26,4	196,8	36,9	253,9
	0,8	5,4	84,0	10,6	142,6	26,4	248,0	36,9	295,2
PC12	0,1	5,4	2,6	10,6	6,1	26,4	21,3	37,0	22,4
	0,2	5,4	5,2	10,6	14,8	26,4	42,4	37,0	49,6
	0,3	5,4	12,4	10,6	33,4	26,4	75,9	37,0	91,6
	0,4	5,4	27,1	10,6	56,5	26,4	103,6	37,0	121,7
	0,5	5,4	41,3	10,6	74,7	26,4	128,5	37,0	163,4
	0,6	5,4	54,7	10,6	93,3	26,4	146,0	37,0	194,8
	0,7	5,4	72,5	10,6	118,0	26,4	189,5	37,0	237,0
	0,8	5,4	89,1	10,6	136,2	26,4	228,0	37,0	276,4
PC13	0,1	5,8	2,1	11,5	5,3	28,5	20,2	39,9	22,4
	0,2	5,8	4,5	11,5	11,6	28,5	44,0	39,9	43,6
	0,3	5,8	8,1	11,5	29,5	28,5	84,2	39,9	86,7
	0,4	5,8	26,2	11,5	59,3	28,5	98,2	39,9	133,3
	0,5	5,8	48,7	11,5	72,5	28,5	125,8	39,9	178,5
	0,6	5,8	67,8	11,5	108,2	28,5	164,4	39,9	224,4
	0,7	5,8	74,0	11,5	128,3	28,5	222,0	39,9	261,1
	0,8	5,8	107,3	11,5	148,8	28,5	238,6	39,9	304,6
PC14	0,1	5,8	2,1	11,5	5,3	28,5	20,2	39,9	22,4
	0,2	5,8	4,5	11,5	11,6	28,5	40,9	39,9	43,6
	0,3	5,8	8,2	11,5	29,0	28,5	78,0	39,9	81,3

PC14	0,4	5,8	26,5	11,5	57,4	28,5	104,4	39,9	128,2
	0,5	5,8	43,4	11,5	76,5	28,5	124,0	39,9	164,3
	0,6	5,8	59,3	11,5	99,4	28,5	149,0	39,9	212,3
	0,7	5,8	77,6	11,5	121,9	28,5	200,2	39,9	230,8
	0,8	5,8	95,0	11,5	138,8	28,5	243,4	39,9	299,5
PC15	0,1	5,8	2,1	11,5	5,3	28,5	20,2	39,9	22,4
	0,2	5,8	4,5	11,5	11,6	28,5	40,4	39,9	43,6
	0,3	5,8	8,2	11,5	27,8	28,5	77,4	39,9	85,9
	0,4	5,8	24,7	11,5	56,9	28,5	104,0	39,9	127,8
	0,5	5,8	39,6	11,5	73,4	28,5	131,2	39,9	164,7
	0,6	5,8	53,7	11,5	91,5	28,5	141,5	39,9	203,8
	0,7	5,8	70,8	11,5	117,1	28,5	176,8	39,9	228,6
	0,8	5,8	87,9	11,5	135,6	28,5	229,7	39,9	272,5

		DIR. TRASVERSALE							
		H = 5m		H = 7m		H = 11m		H = 13m	
Ponte campione	PGA [g]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]
PC1	0,1	1,9	0,7	3,7	2,0	9,2	8,1	12,9	13,3
	0,2	1,9	1,4	3,7	4,6	9,2	27,7	12,9	37,0
	0,3	1,9	2,4	3,7	12,6	9,2	46,6	12,9	61,4
	0,4	1,9	5,4	3,7	30,7	9,2	68,8	12,9	90,2
	0,5	1,9	11,7	3,7	41,1	9,2	96,3	12,9	114,3
	0,6	1,9	19,3	3,7	59,4	9,2	122,9	12,9	153,9
	0,7	1,9	32,4	3,7	76,9	9,2	142,9	12,9	184,4
	0,8	1,9	47,4	3,7	98,2	9,2	179,7	12,9	206,9
PC2	0,1	2,0	0,7	3,9	2,0	9,7	8,1	13,6	13,3
	0,2	2,0	1,4	3,9	4,6	9,7	28,3	13,6	37,5
	0,3	2,0	2,4	3,9	13,7	9,7	47,5	13,6	64,2
	0,4	2,0	5,5	3,9	29,0	9,7	67,5	13,6	82,9
	0,5	2,0	10,6	3,9	40,0	9,7	90,1	13,6	116,4
	0,6	2,0	18,2	3,9	53,2	9,7	112,7	13,6	147,6
	0,7	2,0	27,0	3,9	70,1	9,7	138,4	13,6	178,3
	0,8	2,0	39,4	3,9	88,5	9,7	166,3	13,6	201,8
PC3	0,1	2,1	0,7	4,1	2,0	10,2	8,1	14,3	13,3
	0,2	2,1	1,4	4,1	4,6	10,2	29,1	14,3	37,6
	0,3	2,1	2,4	4,1	13,4	10,2	47,1	14,3	65,5
	0,4	2,1	5,6	4,1	27,5	10,2	67,5	14,3	79,9
	0,5	2,1	9,9	4,1	39,0	10,2	88,9	14,3	115,4
	0,6	2,1	17,6	4,1	52,0	10,2	105,5	14,3	141,9
	0,7	2,1	22,9	4,1	65,5	10,2	137,5	14,3	175,3
	0,8	2,1	34,3	4,1	83,0	10,2	161,8	14,3	204,9
PC4	0,1	2,2	0,5	4,2	1,6	10,4	6,5	14,5	10,6
	0,2	2,2	1,0	4,2	3,3	10,4	14,8	14,5	25,5
	0,3	2,2	1,6	4,2	5,3	10,4	37,7	14,5	55,1
	0,4	2,2	2,2	4,2	15,8	10,4	64,8	14,5	74,8
	0,5	2,2	3,0	4,2	33,8	10,4	87,7	14,5	108,7
	0,6	2,2	7,8	4,2	50,7	10,4	116,3	14,5	133,8
	0,7	2,2	23,1	4,2	69,5	10,4	141,8	14,5	179,2
	0,8	2,2	36,7	4,2	87,9	10,4	162,5	14,5	210,5
PC5	0,1	2,2	0,5	4,3	1,6	10,4	6,5	14,6	10,6
	0,2	2,2	1,0	4,3	3,3	10,4	14,8	14,6	25,5
	0,3	2,2	1,6	4,3	5,3	10,4	37,3	14,6	57,1
	0,4	2,2	2,2	4,3	11,8	10,4	63,4	14,6	72,1
	0,5	2,2	3,0	4,3	32,2	10,4	85,8	14,6	109,9
	0,6	2,2	6,3	4,3	47,3	10,4	110,8	14,6	132,8
	0,7	2,2	19,4	4,3	64,0	10,4	136,5	14,6	160,2
	0,8	2,2	30,6	4,3	80,4	10,4	161,6	14,6	194,3
PC6	0,1	2,2	0,5	4,3	1,6	10,4	6,5	14,6	10,6
	0,2	2,2	1,0	4,3	3,3	10,4	14,8	14,6	25,5
	0,3	2,2	1,6	4,3	5,3	10,4	37,1	14,6	56,0
	0,4	2,2	2,2	4,3	10,4	10,4	59,3	14,6	74,4
	0,5	2,2	3,0	4,3	33,2	10,4	84,8	14,6	97,4
	0,6	2,2	4,9	4,3	44,7	10,4	103,7	14,6	129,8
	0,7	2,2	17,8	4,3	57,7	10,4	131,2	14,6	152,2
	0,8	2,2	26,1	4,3	74,5	10,4	154,9	14,6	193,0
PC7	0,1	2,5	0,4	4,8	1,4	11,7	5,4	16,4	8,8
	0,2	2,5	0,9	4,8	2,8	11,7	11,0	16,4	18,9
	0,3	2,5	1,3	4,8	4,3	11,7	21,2	16,4	41,1
	0,4	2,5	1,7	4,8	6,2	11,7	52,0	16,4	77,1

PC7	0,5	2,5	2,2	4,8	11,0	11,7	83,0	16,4	107,0
	0,6	2,5	2,8	4,8	40,0	11,7	109,1	16,4	136,5
	0,7	2,5	3,6	4,8	64,7	11,7	136,6	16,4	164,6
	0,8	2,5	10,5	4,8	86,1	11,7	159,3	16,4	198,5
PC8	0,1	2,5	0,4	4,8	1,4	11,8	5,4	16,4	8,8
	0,2	2,5	0,9	4,8	2,8	11,8	11,0	16,4	18,9
	0,3	2,5	1,3	4,8	4,3	11,8	21,2	16,4	41,7
	0,4	2,5	1,7	4,8	6,2	11,8	46,0	16,4	75,6
	0,5	2,5	2,2	4,8	10,8	11,8	80,5	16,4	105,7
	0,6	2,5	2,8	4,8	38,4	11,8	105,2	16,4	128,5
	0,7	2,5	3,6	4,8	56,1	11,8	128,2	16,4	158,4
	0,8	2,5	8,7	4,8	76,6	11,8	156,0	16,4	193,4
PC9	0,1	2,5	0,4	4,8	1,4	11,8	5,4	16,4	8,8
	0,2	2,5	0,9	4,8	2,8	11,8	11,0	16,4	18,9
	0,3	2,5	1,3	4,8	4,3	11,8	21,3	16,4	43,2
	0,4	2,5	1,7	4,8	6,2	11,8	47,1	16,4	76,9
	0,5	2,5	2,2	4,8	10,1	11,8	79,9	16,4	101,5
	0,6	2,5	2,8	4,8	32,0	11,8	101,5	16,4	125,4
	0,7	2,5	3,6	4,8	53,4	11,8	124,6	16,4	156,4
	0,8	2,5	7,8	4,8	69,7	11,8	148,3	16,4	183,7
PC10	0,1	2,7	0,4	5,4	1,2	13,1	4,6	18,1	7,8
	0,2	2,7	0,8	5,4	2,4	13,1	9,3	18,1	16,5
	0,3	2,7	1,1	5,4	3,7	13,1	14,6	18,1	27,3
	0,4	2,7	1,5	5,4	5,0	13,1	40,4	18,1	57,1
	0,5	2,7	1,9	5,4	7,1	13,1	66,2	18,1	100,0
	0,6	2,7	2,4	5,4	13,7	13,1	110,1	18,1	128,4
	0,7	2,7	2,8	5,4	42,9	13,1	130,1	18,1	170,4
	0,8	2,7	3,3	5,4	81,6	13,1	163,5	18,1	196,3
PC11	0,1	2,8	0,4	5,4	1,2	13,1	4,6	18,2	7,8
	0,2	2,8	0,8	5,4	2,4	13,1	9,3	18,2	16,5
	0,3	2,8	1,1	5,4	3,7	13,1	14,6	18,2	27,4
	0,4	2,8	1,5	5,4	5,0	13,1	39,2	18,2	57,0
	0,5	2,8	1,9	5,4	7,1	13,1	64,2	18,2	103,5
	0,6	2,8	2,4	5,4	10,6	13,1	100,2	18,2	123,5
	0,7	2,8	2,8	5,4	39,2	13,1	127,4	18,2	157,3
	0,8	2,8	3,3	5,4	74,1	13,1	154,6	18,2	193,3
PC12	0,1	2,8	0,4	5,4	1,2	13,1	4,6	18,2	7,8
	0,2	2,8	0,8	5,4	2,4	13,1	9,3	18,2	16,5
	0,3	2,8	1,1	5,4	3,7	13,1	14,6	18,2	27,5
	0,4	2,8	1,5	5,4	5,0	13,1	38,5	18,2	60,2
	0,5	2,8	1,9	5,4	7,1	13,1	66,0	18,2	100,4
	0,6	2,8	2,4	5,4	9,8	13,1	101,0	18,2	120,9
	0,7	2,8	2,8	5,4	39,5	13,1	123,7	18,2	151,8
	0,8	2,8	3,3	5,4	66,3	13,1	146,5	18,2	184,4
PC13	0,1	3,0	0,3	5,8	1,1	14,1	4,2	19,7	7,1
	0,2	3,0	0,7	5,8	2,2	14,1	8,4	19,7	14,5
	0,3	3,0	1,0	5,8	3,3	14,1	13,3	19,7	23,3
	0,4	3,0	1,3	5,8	4,4	14,1	18,6	19,7	45,7
	0,5	3,0	1,7	5,8	5,7	14,1	60,4	19,7	98,1
	0,6	3,0	2,0	5,8	7,4	14,1	90,9	19,7	130,5
	0,7	3,0	2,4	5,8	10,7	14,1	130,0	19,7	174,2
	0,8	3,0	2,8	5,8	60,4	14,1	155,9	19,7	198,4
PC14	0,1	3,0	0,3	5,8	1,1	14,2	4,2	19,7	7,1
	0,2	3,0	0,7	5,8	2,2	14,2	8,4	19,7	14,5
	0,3	3,0	1,0	5,8	3,3	14,2	13,3	19,7	23,3
	0,4	3,0	1,3	5,8	4,4	14,2	18,6	19,7	47,8
	0,5	3,0	1,7	5,8	5,7	14,2	58,9	19,7	97,6
	0,6	3,0	2,0	5,8	7,4	14,2	87,8	19,7	129,6
	0,7	3,0	2,4	5,8	10,6	14,2	126,7	19,7	149,6
	0,8	3,0	2,8	5,8	55,6	14,2	151,7	19,7	201,5
PC15	0,1	3,0	0,3	5,8	1,1	14,2	4,2	19,7	7,1
	0,2	3,0	0,7	5,8	2,2	14,2	8,4	19,7	14,5
	0,3	3,0	1,0	5,8	3,3	14,2	13,3	19,7	23,3
	0,4	3,0	1,3	5,8	4,4	14,2	18,6	19,7	47,8
	0,5	3,0	1,7	5,8	5,7	14,2	59,1	19,7	87,3
	0,6	3,0	2,0	5,8	7,4	14,2	86,9	19,7	110,8
	0,7	3,0	2,4	5,8	10,7	14,2	121,9	19,7	143,9
	0,8	3,0	2,8	5,8	46,3	14,2	143,8	19,7	180,6

Variazione diametro pila "D" (modello pila singola)

		DIR. LONGITUDINALE							
		D = 1,00m		D = 1,25m		D = 1,75m		D = 2,00m	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	32,6	44,8	19,9	29,4	10,0	14,8	7,9	9,0
	0,2	32,6	83,4	19,9	70,5	10,0	34,9	7,9	24,9
	0,3	32,6	122,9	19,9	86,5	10,0	57,0	7,9	45,5
	0,4	32,6	174,2	19,9	111,0	10,0	78,0	7,9	66,8
	0,5	32,6	210,6	19,9	163,9	10,0	104,5	7,9	93,4
	0,6	32,6	257,3	19,9	211,2	10,0	138,3	7,9	112,9
	0,7	32,6	327,5	19,9	263,1	10,0	169,7	7,9	146,5
	0,8	32,6	415,1	19,9	302,3	10,0	205,1	7,9	182,0
PC2	0,1	37,5	44,8	22,1	29,4	10,5	14,8	8,1	9,0
	0,2	37,5	90,1	22,1	73,5	10,5	35,0	8,1	25,7
	0,3	37,5	130,9	22,1	95,1	10,5	55,8	8,1	45,1
	0,4	37,5	174,1	22,1	118,8	10,5	76,6	8,1	63,1
	0,5	37,5	220,1	22,1	154,4	10,5	100,1	8,1	87,1
	0,6	37,5	248,8	22,1	204,7	10,5	125,6	8,1	110,8
	0,7	37,5	325,5	22,1	245,0	10,5	154,4	8,1	131,0
	0,8	37,5	351,6	22,1	292,0	10,5	189,7	8,1	169,6
PC3	0,1	43,5	44,8	24,4	29,4	10,8	14,8	8,2	9,0
	0,2	43,5	95,9	24,4	80,4	10,8	36,8	8,2	26,1
	0,3	43,5	150,0	24,4	102,4	10,8	56,7	8,2	46,2
	0,4	43,5	178,7	24,4	128,1	10,8	74,3	8,2	61,6
	0,5	43,5	246,9	24,4	158,0	10,8	97,6	8,2	83,2
	0,6	43,5	263,4	24,4	206,6	10,8	123,2	8,2	105,9
	0,7	43,5	294,1	24,4	249,9	10,8	154,8	8,2	127,4
	0,8	43,5	334,1	24,4	289,3	10,8	171,9	8,2	153,4
PC4	0,1	29,4	36,5	19,6	22,1	11,5	10,1	9,6	5,6
	0,2	29,4	79,4	19,6	49,2	11,5	29,4	9,6	14,5
	0,3	29,4	110,1	19,6	89,0	11,5	48,2	9,6	37,6
	0,4	29,4	153,5	19,6	107,1	11,5	76,9	9,6	59,9
	0,5	29,4	204,7	19,6	122,6	11,5	98,3	9,6	88,3
	0,6	29,4	240,4	19,6	182,5	11,5	125,1	9,6	112,6
	0,7	29,4	274,9	19,6	231,9	11,5	155,1	9,6	133,1
	0,8	29,4	349,4	19,6	265,7	11,5	200,4	9,6	162,3
PC5	0,1	31,8	36,5	20,6	22,1	11,7	10,1	9,6	5,6
	0,2	31,8	83,3	20,6	50,8	11,7	27,2	9,6	14,5
	0,3	31,8	105,8	20,6	88,3	11,7	46,8	9,6	34,7
	0,4	31,8	147,8	20,6	110,1	11,7	72,4	9,6	58,7
	0,5	31,8	197,6	20,6	124,8	11,7	96,5	9,6	81,0
	0,6	31,8	256,7	20,6	157,5	11,7	115,7	9,6	106,3
	0,7	31,8	260,5	20,6	218,3	11,7	148,0	9,6	126,9
	0,8	31,8	307,8	20,6	252,4	11,7	178,3	9,6	146,9
PC6	0,1	34,3	36,5	21,4	22,1	11,8	10,1	9,7	5,6
	0,2	34,3	87,6	21,4	55,4	11,8	30,6	9,7	14,7
	0,3	34,3	112,5	21,4	84,7	11,8	47,3	9,7	32,7
	0,4	34,3	156,5	21,4	109,0	11,8	69,6	9,7	58,9
	0,5	34,3	196,6	21,4	124,7	11,8	91,6	9,7	77,4
	0,6	34,3	237,1	21,4	151,9	11,8	113,5	9,7	100,8
	0,7	34,3	288,8	21,4	204,0	11,8	139,3	9,7	122,4
	0,8	34,3	304,3	21,4	243,4	11,8	171,4	9,7	141,5
PC7	0,1	29,3	32,1	20,7	20,7	13,1	9,2	11,1	4,9
	0,2	29,3	74,6	20,7	47,3	13,1	19,9	11,1	10,0
	0,3	29,3	101,8	20,7	78,5	13,1	45,2	11,1	22,0
	0,4	29,3	145,8	20,7	109,3	13,1	70,9	11,1	49,8
	0,5	29,3	189,2	20,7	124,6	13,1	92,1	11,1	84,5
	0,6	29,3	241,9	20,7	168,2	13,1	119,4	11,1	110,3
	0,7	29,3	280,9	20,7	222,1	13,1	148,4	11,1	134,9
	0,8	29,3	334,4	20,7	283,9	13,1	181,6	11,1	159,7
PC8	0,1	30,7	32,1	21,3	20,7	13,2	9,2	11,1	4,9
	0,2	30,7	77,0	21,3	44,9	13,2	19,8	11,1	10,0
	0,3	30,7	99,4	21,3	76,0	13,2	49,0	11,1	22,1
	0,4	30,7	137,2	21,3	110,2	13,2	68,4	11,1	48,7
	0,5	30,7	177,3	21,3	119,3	13,2	89,0	11,1	79,6
	0,6	30,7	230,0	21,3	144,8	13,2	113,7	11,1	102,5
	0,7	30,7	269,0	21,3	195,0	13,2	139,7	11,1	127,8
	0,8	30,7	302,4	21,3	249,9	13,2	166,9	11,1	148,6
	0,1	32,2	32,1	21,7	20,7	13,2	9,2	11,1	4,9

PC9	0,2	32,2	75,6	21,7	44,4	13,2	19,7	11,1	10,0
	0,3	32,2	101,8	21,7	76,2	13,2	47,4	11,1	22,2
	0,4	32,2	131,6	21,7	104,5	13,2	64,4	11,1	49,0
	0,5	32,2	177,6	21,7	120,1	13,2	84,9	11,1	75,7
	0,6	32,2	215,0	21,7	144,2	13,2	110,0	11,1	97,6
	0,7	32,2	270,0	21,7	182,6	13,2	136,7	11,1	119,7
	0,8	32,2	288,8	21,7	228,2	13,2	162,8	11,1	144,6
	PC10	0,1	30,0	29,1	22,0	20,3	14,6	8,2	12,6
0,2		30,0	67,6	22,0	44,8	14,6	18,2	12,6	9,9
0,3		30,0	95,7	22,0	75,1	14,6	37,5	12,6	15,4
0,4		30,0	128,2	22,0	102,1	14,6	69,2	12,6	32,0
0,5		30,0	180,0	22,0	125,7	14,6	93,9	12,6	76,5
0,6		30,0	233,1	22,0	152,5	14,6	120,2	12,6	104,3
0,7		30,0	278,4	22,0	216,8	14,6	149,8	12,6	130,9
0,8		30,0	333,4	22,0	286,2	14,6	176,5	12,6	154,9
PC11	0,1	30,9	29,1	22,4	20,3	14,6	8,2	12,6	4,6
	0,2	30,9	70,2	22,4	43,8	14,6	18,3	12,6	9,9
	0,3	30,9	100,3	22,4	71,7	14,6	36,8	12,6	15,4
	0,4	30,9	119,7	22,4	97,9	14,6	67,1	12,6	33,3
	0,5	30,9	170,0	22,4	124,5	14,6	86,9	12,6	73,2
	0,6	30,9	208,1	22,4	140,8	14,6	112,4	12,6	99,8
	0,7	30,9	258,3	22,4	188,6	14,6	139,3	12,6	125,1
	0,8	30,9	314,5	22,4	252,2	14,6	160,6	12,6	144,6
PC12	0,1	31,8	29,1	22,5	20,3	14,6	8,2	12,6	4,6
	0,2	31,8	74,9	22,5	43,8	14,6	18,3	12,6	9,9
	0,3	31,8	100,0	22,5	67,3	14,6	38,0	12,6	15,4
	0,4	31,8	118,6	22,5	98,6	14,6	63,6	12,6	31,4
	0,5	31,8	166,9	22,5	119,7	14,6	83,3	12,6	69,9
	0,6	31,8	201,3	22,5	136,6	14,6	106,9	12,6	93,8
	0,7	31,8	251,9	22,5	175,5	14,6	131,8	12,6	118,1
	0,8	31,8	287,9	22,5	220,6	14,6	159,1	12,6	137,9
PC13	0,1	31,0	28,6	23,5	20,5	16,1	6,4	14,0	4,2
	0,2	31,0	63,6	23,5	43,2	16,1	13,9	14,0	8,5
	0,3	31,0	95,8	23,5	69,7	16,1	30,4	14,0	13,5
	0,4	31,0	124,6	23,5	100,5	16,1	67,7	14,0	25,3
	0,5	31,0	170,9	23,5	118,5	16,1	91,8	14,0	64,9
	0,6	31,0	212,0	23,5	157,3	16,1	121,7	14,0	108,2
	0,7	31,0	266,2	23,5	214,5	16,1	128,5	14,0	118,9
	0,8	31,0	328,8	23,5	291,8	16,1	188,7	14,0	150,1
PC14	0,1	31,6	28,6	23,6	20,5	16,1	6,4	14,0	4,2
	0,2	31,6	63,4	23,6	41,1	16,1	13,9	14,0	8,5
	0,3	31,6	101,0	23,6	68,3	16,1	30,5	14,0	13,5
	0,4	31,6	115,2	23,6	95,7	16,1	62,7	14,0	24,8
	0,5	31,6	159,0	23,6	112,0	16,1	88,0	14,0	57,9
	0,6	31,6	205,0	23,6	146,9	16,1	115,7	14,0	103,0
	0,7	31,6	239,5	23,6	183,8	16,1	142,4	14,0	124,8
	0,8	31,6	292,8	23,6	250,8	16,1	162,2	14,0	139,1
PC15	0,1	32,1	28,6	23,6	20,5	16,1	6,4	14,0	4,2
	0,2	32,1	63,5	23,6	42,8	16,1	13,9	14,0	8,5
	0,3	32,1	101,7	23,6	71,3	16,1	28,2	14,0	13,5
	0,4	32,1	120,1	23,6	95,7	16,1	60,1	14,0	21,0
	0,5	32,1	153,7	23,6	110,4	16,1	82,6	14,0	57,7
	0,6	32,1	201,2	23,6	139,9	16,1	108,0	14,0	93,6
	0,7	32,1	227,1	23,6	170,9	16,1	134,9	14,0	115,9
	0,8	32,1	277,6	23,6	220,4	16,1	161,9	14,0	135,0

DIR. TRASVERSALE									
		D = 1,00m		D = 1,25m		D = 1,75m		D = 2,00m	
Ponte campione	PGA [g]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]
PC1	0,1	15,5	15,9	9,0	8,6	4,7	2,6	3,8	1,8
	0,2	15,5	37,4	9,0	27,6	4,7	5,9	3,8	3,6
	0,3	15,5	60,2	9,0	45,8	4,7	13,8	3,8	5,9
	0,4	15,5	92,2	9,0	67,7	4,7	37,7	3,8	22,3
	0,5	15,5	120,1	9,0	88,9	4,7	54,9	3,8	39,2
	0,6	15,5	151,4	9,0	117,8	4,7	71,4	3,8	57,4
	0,7	15,5	176,8	9,0	141,0	4,7	91,4	3,8	72,9
	0,8	15,5	228,4	9,0	177,6	4,7	112,0	3,8	94,3
	0,1	18,0	15,9	9,9	8,6	4,8	2,6	3,9	1,8
	0,2	18,0	38,1	9,9	28,6	4,8	5,9	3,9	3,6

PC2	0,3	18,0	60,2	9,9	46,3	4,8	14,1	3,9	5,9
	0,4	18,0	89,1	9,9	66,7	4,8	36,3	3,9	19,9
	0,5	18,0	121,5	9,9	85,3	4,8	50,4	3,9	38,5
	0,6	18,0	158,4	9,9	112,9	4,8	65,5	3,9	53,4
	0,7	18,0	170,8	9,9	135,2	4,8	84,0	3,9	67,9
	0,8	18,0	204,8	9,9	162,0	4,8	105,3	3,9	85,0
PC3	0,1	21,6	15,9	11,0	8,6	4,9	2,6	3,9	1,8
	0,2	21,6	37,8	11,0	29,1	4,9	5,9	3,9	3,6
	0,3	21,6	63,0	11,0	48,6	4,9	13,8	3,9	5,9
	0,4	21,6	90,1	11,0	67,3	4,9	36,3	3,9	18,1
	0,5	21,6	121,8	11,0	86,2	4,9	49,7	3,9	37,8
	0,6	21,6	156,4	11,0	107,1	4,9	62,1	3,9	51,4
	0,7	21,6	176,6	11,0	133,4	4,9	80,1	3,9	62,7
	0,8	21,6	199,3	11,0	157,2	4,9	100,3	3,9	79,9
PC4	0,1	13,9	13,4	9,2	6,6	5,7	2,1	5,0	1,4
	0,2	13,9	35,5	9,2	17,7	5,7	4,2	5,0	2,8
	0,3	13,9	55,0	9,2	38,1	5,7	6,7	5,0	4,3
	0,4	13,9	86,8	9,2	62,8	5,7	11,6	5,0	6,2
	0,5	13,9	111,8	9,2	83,2	5,7	44,0	5,0	8,9
	0,6	13,9	140,6	9,2	110,1	5,7	64,8	5,0	29,7
	0,7	13,9	163,1	9,2	135,0	5,7	81,0	5,0	65,4
	0,8	13,9	200,1	9,2	155,7	5,7	105,3	5,0	81,3
PC5	0,1	14,8	13,4	9,5	6,6	5,7	2,1	5,0	1,4
	0,2	14,8	35,9	9,5	17,8	5,7	4,2	5,0	2,8
	0,3	14,8	54,7	9,5	39,6	5,7	6,7	5,0	4,3
	0,4	14,8	81,1	9,5	61,9	5,7	11,3	5,0	6,2
	0,5	14,8	108,7	9,5	80,4	5,7	43,1	5,0	8,8
	0,6	14,8	136,4	9,5	104,2	5,7	60,4	5,0	27,6
	0,7	14,8	166,6	9,5	128,8	5,7	74,4	5,0	53,2
	0,8	14,8	180,7	9,5	152,8	5,7	98,3	5,0	76,3
PC6	0,1	15,8	13,4	9,7	6,6	5,7	2,1	5,0	1,4
	0,2	15,8	36,4	9,7	17,8	5,7	4,2	5,0	2,8
	0,3	15,8	59,4	9,7	39,3	5,7	6,7	5,0	4,3
	0,4	15,8	77,2	9,7	60,3	5,7	11,3	5,0	6,2
	0,5	15,8	109,0	9,7	79,0	5,7	42,5	5,0	8,8
	0,6	15,8	135,7	9,7	98,6	5,7	57,2	5,0	24,8
	0,7	15,8	158,4	9,7	120,9	5,7	71,5	5,0	50,4
	0,8	15,8	180,4	9,7	145,0	5,7	92,4	5,0	71,2
PC7	0,1	14,1	12,2	10,0	5,4	6,7	1,8	6,0	1,2
	0,2	14,1	32,0	10,0	11,7	6,7	3,7	6,0	2,4
	0,3	14,1	56,2	10,0	31,7	6,7	5,6	6,0	3,6
	0,4	14,1	81,2	10,0	55,0	6,7	7,8	6,0	4,9
	0,5	14,1	103,9	10,0	79,5	6,7	11,0	6,0	6,5
	0,6	14,1	137,5	10,0	104,6	6,7	46,4	6,0	8,0
	0,7	14,1	162,6	10,0	132,6	6,7	69,9	6,0	16,1
	0,8	14,1	185,0	10,0	155,5	6,7	100,4	6,0	24,5
PC8	0,1	14,5	12,2	10,1	5,4	6,7	1,8	6,0	1,2
	0,2	14,5	32,7	10,1	11,7	6,7	3,7	6,0	2,4
	0,3	14,5	57,6	10,1	31,3	6,7	5,6	6,0	3,6
	0,4	14,5	77,8	10,1	51,6	6,7	7,8	6,0	4,9
	0,5	14,5	103,7	10,1	78,5	6,7	11,0	6,0	6,5
	0,6	14,5	130,0	10,1	102,1	6,7	44,3	6,0	8,0
	0,7	14,5	159,2	10,1	124,5	6,7	68,8	6,0	16,8
	0,8	14,5	181,3	10,1	149,3	6,7	92,4	6,0	30,1
PC9	0,1	14,9	12,2	10,1	5,4	6,7	1,8	6,0	1,2
	0,2	14,9	32,4	10,1	11,7	6,7	3,7	6,0	2,4
	0,3	14,9	57,2	10,1	30,3	6,7	5,6	6,0	3,6
	0,4	14,9	73,5	10,1	53,7	6,7	7,8	6,0	4,9
	0,5	14,9	101,0	10,1	77,7	6,7	11,0	6,0	6,5
	0,6	14,9	125,1	10,1	98,0	6,7	41,7	6,0	8,0
	0,7	14,9	156,9	10,1	117,6	6,7	64,6	6,0	16,1
	0,8	14,9	181,6	10,1	142,5	6,7	87,7	6,0	43,8
PC10	0,1	14,7	10,6	10,9	4,6	7,6	1,6	6,8	1,1
	0,2	14,7	27,2	10,9	9,5	7,6	3,2	6,8	2,2
	0,3	14,7	51,8	10,9	19,6	7,6	4,8	6,8	3,2
	0,4	14,7	76,0	10,9	48,4	7,6	6,6	6,8	4,4
	0,5	14,7	103,9	10,9	78,7	7,6	8,5	6,8	5,5
	0,6	14,7	130,6	10,9	102,9	7,6	11,1	6,8	6,7
	0,7	14,7	163,4	10,9	126,5	7,6	27,4	6,8	8,1
	0,8	14,7	185,3	10,9	151,1	7,6	38,2	6,8	9,9
	0,1	14,9	10,6	10,9	4,6	7,6	1,6	6,8	1,1
	0,2	14,9	27,9	10,9	9,5	7,6	3,2	6,8	2,2

PC11	0,3	14,9	53,5	10,9	19,9	7,6	4,8	6,8	3,2
	0,4	14,9	76,3	10,9	48,8	7,6	6,6	6,8	4,4
	0,5	14,9	95,9	10,9	78,2	7,6	8,5	6,8	5,5
	0,6	14,9	124,5	10,9	97,9	7,6	11,1	6,8	6,7
	0,7	14,9	159,2	10,9	120,1	7,6	31,2	6,8	8,1
	0,8	14,9	180,2	10,9	147,5	7,6	73,0	6,8	9,9
PC12	0,1	15,0	10,6	10,9	4,6	7,6	1,6	6,8	1,1
	0,2	15,0	27,8	10,9	9,5	7,6	3,2	6,8	2,2
	0,3	15,0	56,0	10,9	18,8	7,6	4,8	6,8	3,2
	0,4	15,0	72,2	10,9	46,4	7,6	6,6	6,8	4,4
	0,5	15,0	90,6	10,9	77,7	7,6	8,5	6,8	5,5
	0,6	15,0	122,7	10,9	94,5	7,6	11,1	6,8	6,7
PC13	0,1	15,2	9,1	11,6	4,1	8,3	1,5	7,5	0,9
	0,2	15,2	23,0	11,6	8,6	8,3	3,0	7,5	1,8
	0,3	15,2	43,6	11,6	13,7	8,3	4,5	7,5	2,8
	0,4	15,2	75,7	11,6	44,2	8,3	6,1	7,5	3,7
	0,5	15,2	102,9	11,6	73,6	8,3	7,8	7,5	4,7
	0,6	15,2	130,6	11,6	103,1	8,3	9,6	7,5	5,7
PC14	0,1	15,5	9,1	11,6	4,1	8,3	1,5	7,5	0,9
	0,2	15,5	22,9	11,6	8,6	8,3	3,0	7,5	1,8
	0,3	15,5	46,8	11,6	13,7	8,3	4,5	7,5	2,8
	0,4	15,5	70,1	11,6	40,3	8,3	6,1	7,5	3,7
	0,5	15,5	97,3	11,6	68,2	8,3	7,8	7,5	4,7
	0,6	15,5	126,9	11,6	98,0	8,3	9,6	7,5	5,7
PC15	0,1	15,5	9,1	11,6	4,1	8,3	1,5	7,5	0,9
	0,2	15,5	22,9	11,6	8,6	8,3	3,0	7,5	1,8
	0,3	15,5	49,3	11,6	13,7	8,3	4,5	7,5	2,8
	0,4	15,5	67,5	11,6	39,7	8,3	6,1	7,5	3,7
	0,5	15,5	92,2	11,6	67,3	8,3	7,8	7,5	4,7
	0,6	15,5	123,6	11,6	94,8	8,3	9,6	7,5	5,7
PC15	0,1	15,5	146,2	11,6	114,2	8,3	11,8	7,5	6,9
	0,2	15,5	180,0	11,6	135,7	8,3	19,1	7,5	8,2

Variazione luce campata "L" (modello pila singola)

		DIR. LONGITUDINALE							
		L = 15m		L = 20m		L = 30m		L = 35m	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	12,5	14,9	13,0	20,2	14,1	20,3	14,7	24,4
	0,2	12,5	36,5	13,0	40,2	14,1	46,7	14,7	55,7
	0,3	12,5	53,9	13,0	59,2	14,1	88,7	14,7	91,6
	0,4	12,5	72,3	13,0	85,1	14,1	110,4	14,7	109,1
	0,5	12,5	94,2	13,0	111,8	14,1	126,7	14,7	149,5
	0,6	12,5	121,2	13,0	134,6	14,1	184,0	14,7	214,3
PC2	0,1	13,4	14,9	13,9	20,2	15,1	20,3	15,6	24,5
	0,2	13,4	39,2	13,9	43,4	15,1	49,9	15,6	54,4
	0,3	13,4	55,1	13,9	57,2	15,1	86,7	15,6	90,8
	0,4	13,4	70,6	13,9	84,4	15,1	110,1	15,6	109,4
	0,5	13,4	90,4	13,9	110,6	15,1	128,6	15,6	129,8
	0,6	13,4	122,3	13,9	137,7	15,1	156,3	15,6	200,2
PC3	0,1	14,3	14,9	14,8	20,2	16,0	20,3	16,6	24,5
	0,2	14,3	41,3	14,8	45,1	16,0	52,0	16,6	56,9
	0,3	14,3	56,1	14,8	58,3	16,0	84,8	16,6	93,6
	0,4	14,3	69,8	14,8	87,7	16,0	111,0	16,6	113,8
	0,5	14,3	92,6	14,8	113,2	16,0	126,7	16,6	127,0
	0,6	14,3	121,1	14,8	135,4	16,0	146,8	16,6	182,8
PC3	0,7	14,3	142,5	14,8	152,1	16,0	202,8	16,6	231,5
	0,8	14,3	165,9	14,8	176,3	16,0	247,6	16,6	275,9

PC4	0,1	13,8	10,1	14,1	14,8	15,0	18,5	15,4	20,2
	0,2	13,8	28,7	14,1	32,8	15,0	44,4	15,4	45,4
	0,3	13,8	46,1	14,1	56,1	15,0	69,3	15,4	80,9
	0,4	13,8	68,9	14,1	75,3	15,0	101,7	15,4	109,8
	0,5	13,8	90,1	14,1	102,7	15,0	124,6	15,4	125,5
	0,6	13,8	110,4	14,1	129,1	15,0	156,4	15,4	191,1
	0,7	13,8	134,8	14,1	148,2	15,0	233,1	15,4	257,9
	0,8	13,8	168,1	14,1	190,8	15,0	284,2	15,4	302,0
PC5	0,1	14,2	10,1	14,6	14,8	15,4	18,5	15,9	20,2
	0,2	14,2	29,7	14,6	33,9	15,4	43,1	15,9	45,3
	0,3	14,2	44,3	14,6	53,6	15,4	64,6	15,9	78,2
	0,4	14,2	63,3	14,6	73,6	15,4	99,2	15,9	106,2
	0,5	14,2	85,0	14,6	96,9	15,4	115,1	15,9	127,0
	0,6	14,2	107,8	14,6	126,2	15,4	142,3	15,9	152,3
	0,7	14,2	130,6	14,6	144,8	15,4	191,3	15,9	233,4
	0,8	14,2	156,5	14,6	166,5	15,4	256,0	15,9	280,9
PC6	0,1	14,4	10,1	14,8	14,8	15,7	18,5	16,2	20,2
	0,2	14,4	30,9	14,8	36,0	15,7	43,9	16,2	45,1
	0,3	14,4	47,0	14,8	53,2	15,7	66,2	16,2	74,3
	0,4	14,4	63,6	14,8	70,3	15,7	96,4	16,2	107,7
	0,5	14,4	80,7	14,8	94,8	15,7	119,9	16,2	122,6
	0,6	14,4	103,1	14,8	122,8	15,7	139,7	16,2	141,4
	0,7	14,4	128,2	14,8	144,5	15,7	171,4	16,2	199,5
	0,8	14,4	148,2	14,8	157,2	15,7	229,2	16,2	258,9
PC7	0,1	15,4	9,1	15,7	12,2	16,4	16,3	16,7	20,0
	0,2	15,4	20,0	15,7	30,1	16,4	42,7	16,7	37,7
	0,3	15,4	40,6	15,7	50,2	16,4	65,3	16,7	75,7
	0,4	15,4	63,6	15,7	77,1	16,4	100,5	16,7	106,8
	0,5	15,4	85,7	15,7	102,7	16,4	119,7	16,7	138,5
	0,6	15,4	107,6	15,7	130,5	16,4	144,1	16,7	180,0
	0,7	15,4	131,8	15,7	155,6	16,4	220,3	16,7	261,6
	0,8	15,4	155,5	15,7	187,7	16,4	274,5	16,7	297,3
PC8	0,1	15,6	9,1	15,9	12,2	16,6	16,3	16,9	20,0
	0,2	15,6	20,0	15,9	30,6	16,6	42,0	16,9	39,9
	0,3	15,6	44,0	15,9	48,4	16,6	61,5	16,9	67,1
	0,4	15,6	62,9	15,9	70,7	16,6	89,2	16,9	103,3
	0,5	15,6	81,6	15,9	96,5	16,6	118,5	16,9	129,3
	0,6	15,6	103,6	15,9	118,3	16,6	140,0	16,9	145,6
	0,7	15,6	128,2	15,9	148,9	16,6	182,5	16,9	223,4
	0,8	15,6	151,2	15,9	171,0	16,6	238,9	16,9	279,3
PC9	0,1	15,7	9,1	16,0	12,2	16,7	16,3	17,1	20,0
	0,2	15,7	20,0	16,0	30,9	16,7	42,8	17,1	41,8
	0,3	15,7	45,2	16,0	50,2	16,7	59,3	17,1	65,2
	0,4	15,7	65,7	16,0	66,5	16,7	85,5	17,1	99,3
	0,5	15,7	77,6	16,0	93,3	16,7	112,1	17,1	123,5
	0,6	15,7	98,8	16,0	116,8	16,7	133,0	17,1	141,3
	0,7	15,7	121,6	16,0	146,5	16,7	166,0	17,1	188,2
	0,8	15,7	146,6	16,0	167,3	16,7	215,9	17,1	255,6
PC10	0,1	17,0	8,5	17,2	10,2	17,8	15,9	18,1	18,1
	0,2	17,0	19,0	17,2	23,5	17,8	39,3	18,1	42,4
	0,3	17,0	32,0	17,2	49,7	17,8	64,4	18,1	76,4
	0,4	17,0	61,2	17,2	72,7	17,8	100,3	18,1	108,6
	0,5	17,0	82,6	17,2	99,2	17,8	125,4	18,1	129,9
	0,6	17,0	105,0	17,2	128,5	17,8	142,7	18,1	163,1
	0,7	17,0	136,5	17,2	137,7	17,8	207,7	18,1	259,3
	0,8	17,0	153,8	17,2	169,6	17,8	271,9	18,1	298,4
PC11	0,1	17,1	8,5	17,3	10,2	17,9	15,9	18,2	18,1
	0,2	17,1	18,9	17,3	23,5	17,9	38,8	18,2	41,1
	0,3	17,1	33,8	17,3	48,4	17,9	63,0	18,2	66,6
	0,4	17,1	57,3	17,3	70,0	17,9	87,0	18,2	97,5
	0,5	17,1	79,9	17,3	94,1	17,9	123,3	18,2	118,3
	0,6	17,1	98,5	17,3	118,7	17,9	134,1	18,2	145,7
	0,7	17,1	127,0	17,3	149,9	17,9	165,1	18,2	215,0
	0,8	17,1	143,3	17,3	155,7	17,9	235,0	18,2	274,0
PC12	0,1	17,1	8,5	17,3	10,2	17,9	15,9	18,2	18,1
	0,2	17,1	19,1	17,3	23,5	17,9	39,3	18,2	41,7
	0,3	17,1	32,5	17,3	48,3	17,9	62,2	18,2	65,1
	0,4	17,1	57,9	17,3	63,9	17,9	84,3	18,2	96,8
	0,5	17,1	79,9	17,3	92,6	17,9	114,1	18,2	120,3
	0,6	17,1	96,6	17,3	114,4	17,9	131,6	18,2	153,6
	0,7	17,1	117,8	17,3	139,2	17,9	159,5	18,2	176,8
	0,8	17,1	139,6	17,3	153,8	17,9	208,0	18,2	249,2

PC13	0,1	18,6	6,6	18,8	9,2	19,3	15,5	19,6	16,1
	0,2	18,6	14,4	18,8	21,1	19,3	37,0	19,6	45,9
	0,3	18,6	25,2	18,8	44,9	19,3	60,7	19,6	73,0
	0,4	18,6	53,8	18,8	75,2	19,3	93,2	19,6	113,5
	0,5	18,6	73,0	18,8	100,5	19,3	121,0	19,6	136,3
	0,6	18,6	101,6	18,8	125,2	19,3	128,0	19,6	164,6
	0,7	18,6	134,3	18,8	157,1	19,3	208,2	19,6	250,4
	0,8	18,6	157,9	18,8	179,4	19,3	241,4	19,6	296,9
PC14	0,1	18,6	6,6	18,8	9,2	19,3	15,5	19,6	16,1
	0,2	18,6	14,4	18,8	21,1	19,3	37,2	19,6	43,6
	0,3	18,6	25,1	18,8	43,3	19,3	55,0	19,6	71,4
	0,4	18,6	51,7	18,8	69,6	19,3	86,2	19,6	98,0
	0,5	18,6	76,2	18,8	92,1	19,3	123,8	19,6	131,1
	0,6	18,6	99,6	18,8	115,3	19,3	137,7	19,6	143,3
	0,7	18,6	123,4	18,8	148,7	19,3	172,5	19,6	197,7
	0,8	18,6	146,6	18,8	161,4	19,3	214,3	19,6	272,3
PC15	0,1	18,6	6,6	18,8	9,2	19,3	15,5	19,6	16,1
	0,2	18,6	14,4	18,8	21,1	19,3	35,9	19,6	43,5
	0,3	18,6	25,4	18,8	42,5	19,3	56,2	19,6	69,2
	0,4	18,6	50,2	18,8	67,0	19,3	85,4	19,6	90,3
	0,5	18,6	75,7	18,8	84,2	19,3	117,7	19,6	129,1
	0,6	18,6	95,1	18,8	112,8	19,3	135,3	19,6	138,0
	0,7	18,6	100,1	18,8	139,4	19,3	166,3	19,6	165,7
	0,8	18,6	136,8	18,8	154,5	19,3	187,2	19,6	246,4

DIR. TRASVERSALE									
		L = 15m		L = 20m		L = 30m		L = 35m	
Ponte campione	PGA [g]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]
PC1	0,1	5,6	2,6	5,9	3,3	6,4	5,4	6,7	6,7
	0,2	5,6	5,8	5,9	8,7	6,4	17,5	6,7	24,2
	0,3	5,6	13,2	5,9	23,8	6,4	37,1	6,7	42,1
	0,4	5,6	27,9	5,9	38,7	6,4	59,4	6,7	65,9
	0,5	5,6	47,4	5,9	56,2	6,4	79,5	6,7	92,3
	0,6	5,6	60,7	5,9	74,7	6,4	109,6	6,7	124,4
	0,7	5,6	77,9	5,9	96,3	6,4	137,3	6,7	145,5
	0,8	5,6	96,8	5,9	120,7	6,4	159,3	6,7	186,3
PC2	0,1	6,0	2,6	6,2	3,3	6,8	5,4	7,1	6,7
	0,2	6,0	5,8	6,2	8,7	6,8	17,2	7,1	24,9
	0,3	6,0	13,1	6,2	24,5	6,8	37,8	7,1	40,3
	0,4	6,0	26,4	6,2	37,8	6,8	55,8	7,1	63,1
	0,5	6,0	45,3	6,2	54,1	6,8	77,5	7,1	84,4
	0,6	6,0	56,6	6,2	70,9	6,8	101,1	7,1	112,4
	0,7	6,0	73,4	6,2	90,3	6,8	126,2	7,1	139,5
	0,8	6,0	88,2	6,2	114,2	6,8	154,8	7,1	163,3
PC3	0,1	6,3	2,6	6,5	3,3	7,2	5,4	7,4	6,7
	0,2	6,3	5,8	6,5	8,7	7,2	17,1	7,4	25,6
	0,3	6,3	13,1	6,5	22,5	7,2	37,8	7,4	38,6
	0,4	6,3	27,5	6,5	37,2	7,2	52,7	7,4	63,4
	0,5	6,3	44,3	6,5	53,4	7,2	76,5	7,4	83,9
	0,6	6,3	56,3	6,5	67,5	7,2	98,2	7,4	104,1
	0,7	6,3	69,3	6,5	87,1	7,2	120,4	7,4	135,5
	0,8	6,3	84,1	6,5	108,6	7,2	145,1	7,4	157,9
PC4	0,1	6,5	2,1	6,7	2,8	7,2	4,2	7,4	5,0
	0,2	6,5	4,1	6,7	5,6	7,2	8,9	7,4	12,4
	0,3	6,5	6,4	6,7	9,3	7,2	30,7	7,4	36,1
	0,4	6,5	9,9	6,7	21,6	7,2	51,6	7,4	58,7
	0,5	6,5	23,7	6,7	49,5	7,2	71,2	7,4	80,9
	0,6	6,5	51,0	6,7	69,1	7,2	94,9	7,4	113,8
	0,7	6,5	71,6	6,7	89,7	7,2	128,1	7,4	142,8
	0,8	6,5	88,4	6,7	110,3	7,2	153,2	7,4	165,2
PC5	0,1	6,6	2,1	6,8	2,8	7,2	4,2	7,5	5,0
	0,2	6,6	4,1	6,8	5,6	7,2	8,9	7,5	12,5
	0,3	6,6	6,4	6,8	9,3	7,2	29,0	7,5	34,5
	0,4	6,6	9,9	6,8	18,1	7,2	47,4	7,5	57,5
	0,5	6,6	21,3	6,8	44,0	7,2	68,2	7,5	76,6
	0,6	6,6	48,8	6,8	66,3	7,2	89,7	7,5	104,3
	0,7	6,6	64,7	6,8	83,3	7,2	116,4	7,5	130,9
	0,8	6,6	80,9	6,8	103,6	7,2	141,7	7,5	155,7
	0,1	6,6	2,1	6,8	2,8	7,3	4,2	7,5	5,0

PC6	0,2	6,6	4,1	6,8	5,6	7,3	8,9	7,5	12,7
	0,3	6,6	6,4	6,8	9,3	7,3	28,2	7,5	35,7
	0,4	6,6	9,9	6,8	19,3	7,3	45,9	7,5	53,9
	0,5	6,6	21,1	6,8	44,1	7,3	68,6	7,5	75,4
	0,6	6,6	47,4	6,8	63,8	7,3	89,3	7,5	97,8
	0,7	6,6	62,3	6,8	80,8	7,3	111,3	7,5	124,6
	0,8	6,6	76,1	6,8	98,1	7,3	135,1	7,5	149,8
	PC7	0,1	7,5	1,8	7,7	2,3	8,1	3,6	8,3
0,2		7,5	3,5	7,7	4,6	8,1	7,6	8,3	8,8
0,3		7,5	5,3	7,7	7,0	8,1	12,9	8,3	28,5
0,4		7,5	7,3	7,7	10,6	8,1	39,2	8,3	52,8
0,5		7,5	9,8	7,7	23,3	8,1	67,0	8,3	77,1
0,6		7,5	13,9	7,7	59,1	8,1	90,0	8,3	104,5
0,7		7,5	56,0	7,7	85,7	8,1	119,4	8,3	137,9
0,8		7,5	79,7	7,7	107,6	8,1	147,3	8,3	161,2
PC8	0,1	7,5	1,8	7,7	2,3	8,1	3,6	8,3	4,2
	0,2	7,5	3,5	7,7	4,6	8,1	7,6	8,3	8,8
	0,3	7,5	5,3	7,7	7,0	8,1	12,9	8,3	25,8
	0,4	7,5	7,3	7,7	10,6	8,1	38,6	8,3	48,2
	0,5	7,5	9,8	7,7	21,7	8,1	63,9	8,3	74,9
	0,6	7,5	14,2	7,7	56,5	8,1	87,8	8,3	96,8
	0,7	7,5	47,9	7,7	80,4	8,1	110,5	8,3	123,8
	0,8	7,5	73,6	7,7	99,0	8,1	135,7	8,3	152,3
PC9	0,1	7,5	1,8	7,7	2,3	8,1	3,6	8,3	4,2
	0,2	7,5	3,5	7,7	4,6	8,1	7,6	8,3	8,8
	0,3	7,5	5,3	7,7	7,0	8,1	12,9	8,3	24,3
	0,4	7,5	7,3	7,7	10,6	8,1	39,0	8,3	48,2
	0,5	7,5	9,8	7,7	21,2	8,1	63,4	8,3	72,8
	0,6	7,5	14,1	7,7	53,7	8,1	84,3	8,3	92,8
	0,7	7,5	45,6	7,7	76,8	8,1	106,3	8,3	119,1
	0,8	7,5	68,0	7,7	93,5	8,1	130,3	8,3	146,2
PC10	0,1	8,5	1,6	8,6	2,0	9,0	3,2	9,1	3,9
	0,2	8,5	3,1	8,6	4,1	9,0	6,4	9,1	8,0
	0,3	8,5	4,7	8,6	6,2	9,0	10,1	9,1	12,9
	0,4	8,5	6,3	8,6	8,6	9,0	21,9	9,1	41,4
	0,5	8,5	8,2	8,6	11,8	9,0	56,0	9,1	70,8
	0,6	8,5	10,0	8,6	27,3	9,0	86,5	9,1	100,0
	0,7	8,5	12,8	8,6	76,3	9,0	117,2	9,1	133,1
	0,8	8,5	46,2	8,6	108,8	9,0	141,5	9,1	159,0
PC11	0,1	8,5	1,6	8,6	2,0	9,0	3,2	9,1	3,9
	0,2	8,5	3,1	8,6	4,1	9,0	6,4	9,1	8,0
	0,3	8,5	4,7	8,6	6,2	9,0	10,1	9,1	12,9
	0,4	8,5	6,3	8,6	8,6	9,0	20,9	9,1	40,4
	0,5	8,5	8,2	8,6	11,8	9,0	52,5	9,1	66,5
	0,6	8,5	10,0	8,6	23,3	9,0	82,2	9,1	96,5
	0,7	8,5	12,8	8,6	72,2	9,0	109,2	9,1	121,3
	0,8	8,5	45,5	8,6	96,0	9,0	133,6	9,1	148,6
PC12	0,1	8,5	1,6	8,6	2,0	9,0	3,2	9,1	3,9
	0,2	8,5	3,1	8,6	4,1	9,0	6,4	9,1	8,0
	0,3	8,5	4,7	8,6	6,2	9,0	10,1	9,1	12,9
	0,4	8,5	6,3	8,6	8,6	9,0	20,1	9,1	40,3
	0,5	8,5	8,2	8,6	11,8	9,0	53,6	9,1	66,3
	0,6	8,5	10,0	8,6	18,5	9,0	80,3	9,1	90,8
	0,7	8,5	12,8	8,6	68,4	9,0	102,6	9,1	117,5
	0,8	8,5	40,1	8,6	90,4	9,0	128,1	9,1	138,9
PC13	0,1	9,2	1,4	9,3	1,9	9,7	2,9	9,8	3,4
	0,2	9,2	2,8	9,3	3,7	9,7	5,8	9,8	6,8
	0,3	9,2	4,2	9,3	5,7	9,7	9,1	9,8	11,2
	0,4	9,2	5,7	9,3	7,8	9,7	13,1	9,8	21,8
	0,5	9,2	7,3	9,3	9,9	9,7	43,0	9,8	55,7
	0,6	9,2	9,1	9,3	13,0	9,7	83,9	9,8	96,5
	0,7	9,2	11,0	9,3	44,9	9,7	117,0	9,8	133,9
	0,8	9,2	13,4	9,3	84,8	9,7	140,8	9,8	159,5
PC14	0,1	9,2	1,4	9,4	1,9	9,7	2,9	9,8	3,4
	0,2	9,2	2,8	9,4	3,7	9,7	5,8	9,8	6,8
	0,3	9,2	4,2	9,4	5,7	9,7	9,1	9,8	11,2
	0,4	9,2	5,7	9,4	7,8	9,7	13,1	9,8	20,0
	0,5	9,2	7,3	9,4	9,9	9,7	42,2	9,8	51,6
	0,6	9,2	9,1	9,4	13,0	9,7	81,8	9,8	92,4
	0,7	9,2	11,0	9,4	45,8	9,7	109,2	9,8	122,3
	0,8	9,2	13,4	9,4	78,3	9,7	133,7	9,8	145,8
	0,1	9,2	1,4	9,4	1,9	9,7	2,9	9,8	3,4

PC15	0,2	9,2	2,8	9,4	3,7	9,7	5,8	9,8	6,8
	0,3	9,2	4,2	9,4	5,7	9,7	9,1	9,8	11,2
	0,4	9,2	5,7	9,4	7,8	9,7	13,1	9,8	20,8
	0,5	9,2	7,3	9,4	9,9	9,7	41,8	9,8	52,6
	0,6	9,2	9,1	9,4	13,0	9,7	78,1	9,8	87,1
	0,7	9,2	11,0	9,4	34,8	9,7	104,6	9,8	116,6
	0,8	9,2	13,4	9,4	73,4	9,7	128,4	9,8	137,3

Variazione altezza e diametro pila - luce campata fissa (modello pila singola)

		DIR. LONGITUDINALE							
		H=5m ; D=1,00m		H=7m ; D=1,25m		H=11m ; D=1,75m		H=13m ; D=2,00m	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	10,4	17,7	12,1	19,0	15,1	20,9	16,9	19,3
	0,2	10,4	35,3	12,1	37,5	15,1	49,6	16,9	46,1
	0,3	10,4	54,9	12,1	61,8	15,1	71,8	16,9	75,5
	0,4	10,4	88,3	12,1	90,6	15,1	110,2	16,9	116,7
	0,5	10,4	101,2	12,1	109,2	15,1	130,3	16,9	146,4
	0,6	10,4	139,1	12,1	141,9	15,1	149,3	16,9	159,1
	0,7	10,4	175,5	12,1	189,9	15,1	217,1	16,9	226,5
	0,8	10,4	225,5	12,1	234,2	15,1	276,9	16,9	307,7
PC2	0,1	12,2	17,7	13,5	19,0	15,8	20,9	17,3	19,3
	0,2	12,2	37,1	13,5	43,0	15,8	48,8	17,3	47,8
	0,3	12,2	54,4	13,5	65,2	15,8	67,1	17,3	72,4
	0,4	12,2	83,3	13,5	94,3	15,8	110,6	17,3	120,0
	0,5	12,2	110,7	13,5	116,4	15,8	130,6	17,3	139,9
	0,6	12,2	126,2	13,5	133,5	15,8	150,7	17,3	162,6
	0,7	12,2	162,7	13,5	173,8	15,8	178,8	17,3	184,6
	0,8	12,2	199,5	13,5	218,2	15,8	241,1	17,3	262,7
PC3	0,1	14,4	17,6	14,9	19,0	16,2	20,9	17,5	19,3
	0,2	14,4	41,6	14,9	45,4	16,2	47,3	17,5	49,7
	0,3	14,4	59,9	14,9	69,3	16,2	68,6	17,5	73,7
	0,4	14,4	87,8	14,9	98,2	16,2	108,2	17,5	117,6
	0,5	14,4	113,2	14,9	123,0	16,2	133,4	17,5	139,7
	0,6	14,4	131,0	14,9	137,2	16,2	145,7	17,5	155,7
	0,7	14,4	147,0	14,9	160,6	16,2	169,4	17,5	173,9
	0,8	14,4	189,3	14,9	203,9	16,2	221,8	17,5	226,9
PC4	0,1	9,1	17,5	11,8	19,4	17,3	16,2	20,3	16,9
	0,2	9,1	30,1	11,8	39,5	17,3	40,3	20,3	39,9
	0,3	9,1	51,4	11,8	57,6	17,3	69,1	20,3	73,7
	0,4	9,1	71,8	11,8	79,9	17,3	93,8	20,3	109,3
	0,5	9,1	96,8	11,8	108,6	17,3	135,9	20,3	142,7
	0,6	9,1	126,8	11,8	135,5	17,3	163,8	20,3	166,4
	0,7	9,1	156,6	11,8	171,5	17,3	184,0	20,3	198,5
	0,8	9,1	185,0	11,8	213,6	17,3	261,0	20,3	284,7
PC5	0,1	10,0	17,8	12,4	19,4	17,6	16,2	20,5	16,9
	0,2	10,0	33,1	12,4	37,9	17,6	40,1	20,5	39,2
	0,3	10,0	49,9	12,4	54,0	17,6	66,1	20,5	74,4
	0,4	10,0	71,3	12,4	76,8	17,6	87,7	20,5	98,8
	0,5	10,0	92,6	12,4	102,7	17,6	125,0	20,5	138,1
	0,6	10,0	119,7	12,4	125,9	17,6	138,8	20,5	151,6
	0,7	10,0	144,6	12,4	157,3	17,6	165,0	20,5	193,7
	0,8	10,0	173,3	12,4	188,3	17,6	216,4	20,5	220,7
PC6	0,1	10,8	18,0	13,0	19,4	17,7	16,2	20,5	16,9
	0,2	10,8	35,0	13,0	39,1	17,7	40,5	20,5	39,1
	0,3	10,8	48,6	13,0	53,1	17,7	66,0	20,5	72,7
	0,4	10,8	70,3	13,0	76,0	17,7	89,6	20,5	97,6
	0,5	10,8	90,5	13,0	99,6	17,7	121,7	20,5	130,1
	0,6	10,8	115,8	13,0	126,1	17,7	133,5	20,5	155,9
	0,7	10,8	139,3	13,0	143,6	17,7	153,7	20,5	183,7
	0,8	10,8	166,6	13,0	177,1	17,7	197,2	20,5	195,9
PC7	0,1	9,0	15,2	12,5	15,2	19,7	15,9	23,4	16,2
	0,2	9,0	30,2	12,5	32,8	19,7	36,1	23,4	36,7
	0,3	9,0	48,3	12,5	54,6	19,7	60,4	23,4	63,0
	0,4	9,0	68,7	12,5	74,9	19,7	91,0	23,4	102,9
	0,5	9,0	89,6	12,5	103,1	19,7	137,8	23,4	142,7
	0,6	9,0	116,6	12,5	126,1	19,7	149,6	23,4	167,3
	0,7	9,0	148,8	12,5	167,2	19,7	190,1	23,4	197,6

	0,8	9,0	180,7	12,5	196,9	19,7	228,1	23,4	275,1
PC8	0,1	9,5	16,1	12,8	15,2	19,8	15,9	23,5	16,2
	0,2	9,5	30,7	12,8	33,8	19,8	35,4	23,5	38,6
	0,3	9,5	45,7	12,8	52,1	19,8	54,6	23,5	64,2
	0,4	9,5	65,2	12,8	71,8	19,8	89,2	23,5	97,6
	0,5	9,5	84,3	12,8	99,8	19,8	124,3	23,5	133,4
	0,6	9,5	112,2	12,8	123,9	19,8	146,0	23,5	163,3
	0,7	9,5	137,4	12,8	143,8	19,8	166,3	23,5	177,1
	0,8	9,5	163,3	12,8	179,0	19,8	189,4	23,5	221,2
PC9	0,1	10,0	16,3	13,1	15,2	19,8	15,9	23,5	16,2
	0,2	10,0	30,0	13,1	35,0	19,8	36,0	23,5	38,9
	0,3	10,0	44,6	13,1	50,7	19,8	57,6	23,5	62,4
	0,4	10,0	62,7	13,1	70,4	19,8	90,7	23,5	97,5
	0,5	10,0	85,9	13,1	97,0	19,8	116,4	23,5	125,9
	0,6	10,0	105,6	13,1	119,6	19,8	141,4	23,5	162,3
	0,7	10,0	129,4	13,1	133,4	19,8	157,7	23,5	174,9
	0,8	10,0	155,0	13,1	168,5	19,8	184,7	23,5	197,3
PC10	0,1	9,3	13,1	13,3	13,7	21,9	14,1	26,5	14,5
	0,2	9,3	27,9	13,3	32,0	21,9	31,3	26,5	30,8
	0,3	9,3	45,0	13,3	50,5	21,9	62,6	26,5	57,9
	0,4	9,3	66,2	13,3	73,6	21,9	85,7	26,5	96,5
	0,5	9,3	87,9	13,3	103,2	21,9	129,1	26,5	134,5
	0,6	9,3	115,7	13,3	127,4	21,9	137,5	26,5	156,9
	0,7	9,3	141,9	13,3	156,5	21,9	197,2	26,5	186,3
	0,8	9,3	181,7	13,3	202,0	21,9	241,0	26,5	244,8
PC11	0,1	9,6	13,2	13,5	13,7	21,9	14,1	26,5	14,5
	0,2	9,6	28,4	13,5	33,9	21,9	31,2	26,5	30,8
	0,3	9,6	43,4	13,5	47,6	21,9	60,7	26,5	56,4
	0,4	9,6	61,8	13,5	70,8	21,9	83,3	26,5	96,3
	0,5	9,6	83,7	13,5	96,4	21,9	115,4	26,5	123,1
	0,6	9,6	105,3	13,5	125,1	21,9	141,0	26,5	154,4
	0,7	9,6	136,4	13,5	141,3	21,9	181,9	26,5	183,0
	0,8	9,6	157,7	13,5	171,8	21,9	210,4	26,5	236,8
PC12	0,1	9,9	13,2	13,6	13,7	21,9	14,1	26,5	14,5
	0,2	9,9	29,4	13,6	34,3	21,9	31,2	26,5	30,8
	0,3	9,9	43,0	13,6	47,1	21,9	60,1	26,5	58,4
	0,4	9,9	57,5	13,6	65,5	21,9	81,9	26,5	89,9
	0,5	9,9	82,7	13,6	91,4	21,9	110,8	26,5	113,7
	0,6	9,9	103,0	13,6	121,5	21,9	138,3	26,5	149,9
	0,7	9,9	127,7	13,6	138,8	21,9	161,0	26,5	165,3
	0,8	9,9	146,1	13,6	154,1	21,9	197,1	26,5	216,0
PC13	0,1	9,6	10,7	14,2	11,7	24,1	12,7	29,3	13,1
	0,2	9,6	26,6	14,2	28,6	24,1	26,7	29,3	27,5
	0,3	9,6	43,9	14,2	49,5	24,1	63,5	29,3	54,6
	0,4	9,6	65,7	14,2	75,4	24,1	85,7	29,3	97,9
	0,5	9,6	84,7	14,2	97,3	24,1	124,2	29,3	144,2
	0,6	9,6	117,9	14,2	128,5	24,1	162,8	29,3	164,3
	0,7	9,6	140,0	14,2	161,7	24,1	186,8	29,3	216,6
	0,8	9,6	170,0	14,2	182,4	24,1	252,0	29,3	254,0
PC14	0,1	9,7	10,7	14,2	11,7	24,1	12,7	29,3	13,1
	0,2	9,7	27,0	14,2	30,8	24,1	26,7	29,3	27,5
	0,3	9,7	42,7	14,2	46,4	24,1	58,5	29,3	56,4
	0,4	9,7	61,4	14,2	71,9	24,1	78,7	29,3	94,6
	0,5	9,7	82,1	14,2	93,5	24,1	116,1	29,3	121,2
	0,6	9,7	105,1	14,2	123,0	24,1	148,8	29,3	156,0
	0,7	9,7	134,3	14,2	148,2	24,1	177,5	29,3	192,7
	0,8	9,7	151,1	14,2	171,1	24,1	212,6	29,3	223,6
PC15	0,1	9,9	10,7	14,2	11,7	24,1	12,7	29,3	13,1
	0,2	9,9	27,4	14,2	27,8	24,1	26,7	29,3	27,5
	0,3	9,9	41,9	14,2	44,7	24,1	52,4	29,3	51,3
	0,4	9,9	57,7	14,2	68,5	24,1	81,2	29,3	94,2
	0,5	9,9	78,5	14,2	94,4	24,1	114,0	29,3	120,1
	0,6	9,9	100,4	14,2	115,4	24,1	144,2	29,3	150,0
	0,7	9,9	125,5	14,2	145,0	24,1	158,5	29,3	177,8
	0,8	9,9	144,2	14,2	158,3	24,1	201,1	29,3	208,1

		DIR. TRASVERSALE							
		H=5m ; D=1,00m		H=7m ; D=1,25m		H=11m ; D=1,75m		H=13m ; D=2,00m	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	4,8	3,1	5,5	3,9	7,0	4,6	8,0	5,1
	0,2	4,8	9,6	5,5	13,3	7,0	12,3	8,0	12,6
	0,3	4,8	22,3	5,5	29,0	7,0	37,1	8,0	34,5
	0,4	4,8	34,7	5,5	42,9	7,0	55,2	8,0	59,6
	0,5	4,8	51,7	5,5	60,3	7,0	75,2	8,0	82,2
	0,6	4,8	73,9	5,5	84,2	7,0	99,1	8,0	112,1
	0,7	4,8	96,3	5,5	106,8	7,0	130,8	8,0	139,3
	0,8	4,8	119,3	5,5	133,6	7,0	156,6	8,0	170,0
PC2	0,1	5,6	3,1	6,0	3,9	7,1	4,6	8,0	5,1
	0,2	5,6	9,5	6,0	13,5	7,1	12,3	8,0	12,5
	0,3	5,6	21,9	6,0	29,2	7,1	37,2	8,0	35,4
	0,4	5,6	35,1	6,0	41,1	7,1	49,5	8,0	56,4
	0,5	5,6	47,1	6,0	56,0	7,1	74,0	8,0	76,2
	0,6	5,6	68,0	6,0	79,3	7,1	95,4	8,0	100,8
	0,7	5,6	88,8	6,0	100,9	7,1	120,4	8,0	132,8
	0,8	5,6	110,5	6,0	122,5	7,1	144,4	8,0	159,3
PC3	0,1	6,8	3,1	6,7	3,9	7,3	4,6	8,1	5,1
	0,2	6,8	9,5	6,7	13,5	7,3	12,3	8,1	12,6
	0,3	6,8	22,3	6,7	30,5	7,3	36,4	8,1	35,8
	0,4	6,8	34,5	6,7	41,6	7,3	50,7	8,1	56,4
	0,5	6,8	46,4	6,7	54,7	7,3	74,3	8,1	78,2
	0,6	6,8	63,6	6,7	75,9	7,3	95,7	8,1	99,0
	0,7	6,8	83,7	6,7	96,6	7,3	115,1	8,1	126,4
	0,8	6,8	105,1	6,7	118,8	7,3	138,2	8,1	153,0
PC4	0,1	4,3	2,4	5,6	2,9	8,5	3,9	10,2	4,2
	0,2	4,3	5,8	5,6	6,5	8,5	8,0	10,2	8,5
	0,3	4,3	17,1	5,6	18,0	8,5	13,1	10,2	13,4
	0,4	4,3	29,8	5,6	36,3	8,5	38,5	10,2	43,2
	0,5	4,3	44,2	5,6	54,4	8,5	61,8	10,2	63,1
	0,6	4,3	60,8	5,6	72,5	8,5	90,4	10,2	99,0
	0,7	4,3	79,5	5,6	93,7	8,5	118,6	10,2	128,8
	0,8	4,3	102,4	5,6	117,1	8,5	142,7	10,2	152,3
PC5	0,1	4,6	2,4	5,7	2,9	8,5	3,9	10,2	4,2
	0,2	4,6	5,8	5,7	6,5	8,5	8,0	10,2	8,5
	0,3	4,6	15,1	5,7	17,5	8,5	13,1	10,2	13,4
	0,4	4,6	28,5	5,7	35,8	8,5	36,3	10,2	36,7
	0,5	4,6	42,1	5,7	51,1	8,5	61,4	10,2	59,5
	0,6	4,6	54,8	5,7	68,1	8,5	86,1	10,2	94,5
	0,7	4,6	71,7	5,7	88,1	8,5	110,4	10,2	120,2
	0,8	4,6	89,7	5,7	108,3	8,5	136,8	10,2	145,2
PC6	0,1	4,9	2,4	5,8	2,9	8,5	3,9	10,2	4,2
	0,2	4,9	5,8	5,8	6,5	8,5	8,0	10,2	8,5
	0,3	4,9	14,6	5,8	16,0	8,5	13,1	10,2	13,4
	0,4	4,9	26,5	5,8	35,6	8,5	36,1	10,2	32,8
	0,5	4,9	39,7	5,8	48,4	8,5	60,0	10,2	57,9
	0,6	4,9	50,7	5,8	64,4	8,5	87,3	10,2	94,2
	0,7	4,9	66,8	5,8	81,9	8,5	108,0	10,2	116,3
	0,8	4,9	81,9	5,8	101,5	8,5	131,2	10,2	140,9
PC7	0,1	4,4	1,9	6,1	2,6	9,9	3,3	12,1	3,7
	0,2	4,4	4,2	6,1	5,4	9,9	6,5	12,1	7,3
	0,3	4,4	9,0	6,1	9,2	9,9	10,1	12,1	11,3
	0,4	4,4	27,2	6,1	29,2	9,9	15,6	12,1	17,0
	0,5	4,4	39,8	6,1	50,7	9,9	50,3	12,1	34,4
	0,6	4,4	57,3	6,1	70,0	9,9	77,0	12,1	52,7
	0,7	4,4	74,6	6,1	91,1	9,9	108,6	12,1	78,2
	0,8	4,4	94,7	6,1	111,3	9,9	140,6	12,1	129,5
PC8	0,1	4,5	1,9	6,1	2,6	9,9	3,3	12,1	3,7
	0,2	4,5	4,2	6,1	5,4	9,9	6,5	12,1	7,3
	0,3	4,5	9,0	6,1	9,1	9,9	10,1	12,1	11,3
	0,4	4,5	24,5	6,1	26,8	9,9	15,6	12,1	17,0
	0,5	4,5	37,8	6,1	47,8	9,9	40,5	12,1	29,3
	0,6	4,5	51,4	6,1	65,9	9,9	75,9	12,1	64,6
	0,7	4,5	67,7	6,1	84,3	9,9	103,9	12,1	114,9
	0,8	4,5	82,9	6,1	103,9	9,9	134,8	12,1	140,3
PC9	0,1	4,6	1,9	6,1	2,6	9,9	3,3	12,1	3,7
	0,2	4,6	4,2	6,1	5,4	9,9	6,5	12,1	7,3
	0,3	4,6	9,2	6,1	9,1	9,9	10,1	12,1	11,3
	0,4	4,6	22,8	6,1	26,3	9,9	15,6	12,1	17,0

PC9	0,5	4,6	36,6	6,1	46,4	9,9	39,9	12,1	31,6
	0,6	4,6	47,7	6,1	62,9	9,9	77,8	12,1	68,7
	0,7	4,6	61,5	6,1	78,5	9,9	104,2	12,1	108,2
	0,8	4,6	76,3	6,1	97,8	9,9	125,4	12,1	134,0
PC10	0,1	4,5	1,7	6,5	2,2	11,2	3,0	13,8	3,3
	0,2	4,5	3,6	6,5	4,4	11,2	5,9	13,8	6,5
	0,3	4,5	6,3	6,5	7,0	11,2	8,8	13,8	9,9
	0,4	4,5	22,4	6,5	13,1	11,2	12,5	13,8	13,6
	0,5	4,5	38,9	6,5	45,4	11,2	20,8	13,8	17,6
	0,6	4,5	55,7	6,5	67,9	11,2	51,1	13,8	40,0
	0,7	4,5	72,8	6,5	89,4	11,2	72,0	13,8	57,4
	0,8	4,5	91,9	6,5	109,6	11,2	131,5	13,8	71,4
PC11	0,1	4,6	1,7	6,6	2,2	11,2	3,0	13,8	3,3
	0,2	4,6	3,6	6,6	4,4	11,2	5,9	13,8	6,5
	0,3	4,6	6,3	6,6	7,0	11,2	8,8	13,8	9,9
	0,4	4,6	21,6	6,6	12,7	11,2	12,5	13,8	13,6
	0,5	4,6	35,4	6,6	43,3	11,2	24,8	13,8	17,6
	0,6	4,6	48,5	6,6	63,0	11,2	51,2	13,8	40,4
	0,7	4,6	65,1	6,6	80,6	11,2	87,3	13,8	61,3
	0,8	4,6	81,2	6,6	103,3	11,2	134,8	13,8	68,4
PC12	0,1	4,6	1,7	6,6	2,2	11,2	3,0	13,8	3,3
	0,2	4,6	3,6	6,6	4,4	11,2	5,9	13,8	6,5
	0,3	4,6	6,3	6,6	7,0	11,2	8,8	13,8	9,9
	0,4	4,6	17,1	6,6	12,8	11,2	12,5	13,8	13,6
	0,5	4,6	34,0	6,6	41,5	11,2	18,7	13,8	17,6
	0,6	4,6	45,5	6,6	58,0	11,2	53,1	13,8	41,1
	0,7	4,6	58,2	6,6	77,1	11,2	92,0	13,8	64,3
	0,8	4,6	74,1	6,6	95,3	11,2	126,5	13,8	68,0
PC13	0,1	4,7	1,5	7,0	2,0	12,2	2,7	15,2	3,0
	0,2	4,7	3,1	7,0	4,0	12,2	5,4	15,2	6,0
	0,3	4,7	5,2	7,0	6,3	12,2	8,3	15,2	9,0
	0,4	4,7	8,3	7,0	9,2	12,2	11,6	15,2	12,2
	0,5	4,7	34,5	7,0	27,7	12,2	14,9	15,2	15,9
	0,6	4,7	52,5	7,0	60,3	12,2	22,1	15,2	19,9
	0,7	4,7	71,3	7,0	86,4	12,2	46,7	15,2	30,6
	0,8	4,7	89,4	7,0	106,9	12,2	58,7	15,2	63,1
PC14	0,1	4,8	1,5	7,0	2,0	12,2	2,7	15,3	3,0
	0,2	4,8	3,1	7,0	4,0	12,2	5,4	15,3	6,0
	0,3	4,8	5,2	7,0	6,3	12,2	8,3	15,3	9,0
	0,4	4,8	8,3	7,0	9,2	12,2	11,6	15,3	12,2
	0,5	4,8	31,9	7,0	26,9	12,2	14,9	15,3	15,9
	0,6	4,8	46,9	7,0	55,8	12,2	21,9	15,3	19,9
	0,7	4,8	63,8	7,0	79,3	12,2	47,1	15,3	30,3
	0,8	4,8	79,4	7,0	100,6	12,2	57,2	15,3	62,3
PC15	0,1	4,8	1,5	7,0	2,0	12,2	2,7	15,3	3,0
	0,2	4,8	3,1	7,0	4,0	12,2	5,4	15,3	6,0
	0,3	4,8	5,2	7,0	6,3	12,2	8,3	15,3	9,0
	0,4	4,8	8,4	7,0	9,2	12,2	11,6	15,3	12,2
	0,5	4,8	30,6	7,0	25,3	12,2	14,9	15,3	15,9
	0,6	4,8	43,4	7,0	52,8	12,2	20,2	15,3	19,9
	0,7	4,8	56,8	7,0	76,1	12,2	63,5	15,3	32,0
	0,8	4,8	72,4	7,0	92,5	12,2	96,9	15,3	62,4

Variazione diametro pila e luce campata - altezza pila fissa (modello pila singola)

		DIR. LONGITUDINALE							
		D=1,00m ; L=15m		D=1,25m ; L=20m		D=1,75m ; L=30m		D=2,00m ; L=35m	
Ponte campione	PGA [g]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]
PC1	0,1	30,7	33,4	19,1	24,9	10,4	20,1	8,4	14,3
	0,2	30,7	80,1	19,1	52,2	10,4	37,0	8,4	32,7
	0,3	30,7	97,4	19,1	87,4	10,4	62,5	8,4	57,1
	0,4	30,7	131,6	19,1	108,2	10,4	90,3	8,4	81,8
	0,5	30,7	174,9	19,1	126,5	10,4	123,9	8,4	114,4
	0,6	30,7	212,1	19,1	170,7	10,4	155,0	8,4	154,7
	0,7	30,7	249,0	19,1	214,4	10,4	191,2	8,4	177,7
	0,8	30,7	272,6	19,1	254,1	10,4	250,5	8,4	241,0
	0,1	36,3	33,4	21,3	25,0	10,9	20,4	8,6	14,4
	0,2	36,3	87,7	21,3	55,1	10,9	40,2	8,6	34,2

PC2	0,3	36,3	109,1	21,3	95,5	10,9	60,0	8,6	55,4
	0,4	36,3	136,5	21,3	113,5	10,9	84,7	8,6	79,1
	0,5	36,3	178,5	21,3	132,2	10,9	114,8	8,6	101,9
	0,6	36,3	217,0	21,3	159,0	10,9	142,4	8,6	140,3
	0,7	36,3	264,0	21,3	214,2	10,9	173,6	8,6	164,6
	0,8	36,3	288,2	21,3	248,4	10,9	215,2	8,6	203,2
PC3	0,1	43,9	33,4	23,7	25,0	11,2	20,1	8,8	14,4
	0,2	43,9	94,3	23,7	58,1	11,2	42,0	8,8	35,1
	0,3	43,9	125,2	23,7	105,7	11,2	58,5	8,8	54,1
	0,4	43,9	147,5	23,7	119,8	11,2	83,1	8,8	75,8
	0,5	43,9	173,4	23,7	139,9	11,2	110,9	8,8	98,6
	0,6	43,9	228,8	23,7	162,4	11,2	138,9	8,8	129,1
	0,7	43,9	265,2	23,7	210,7	11,2	167,5	8,8	159,2
	0,8	43,9	311,4	23,7	255,8	11,2	197,3	8,8	193,6
PC4	0,1	27,2	25,2	19,0	20,8	11,8	12,8	9,9	9,0
	0,2	27,2	59,3	19,0	47,8	11,8	34,3	9,9	28,5
	0,3	27,2	93,8	19,0	69,6	11,8	59,7	9,9	50,6
	0,4	27,2	106,8	19,0	99,6	11,8	81,0	9,9	79,0
	0,5	27,2	134,8	19,0	117,3	11,8	113,9	9,9	107,3
	0,6	27,2	184,1	19,0	138,5	11,8	145,7	9,9	137,2
	0,7	27,2	217,8	19,0	186,5	11,8	172,1	9,9	170,4
	0,8	27,2	253,2	19,0	246,9	11,8	226,0	9,9	220,5
PC5	0,1	29,7	25,2	19,9	20,8	12,0	12,8	10,0	9,0
	0,2	29,7	64,1	19,9	46,0	12,0	34,9	10,0	29,7
	0,3	29,7	99,2	19,9	67,2	12,0	55,3	10,0	47,8
	0,4	29,7	114,9	19,9	98,0	12,0	78,2	10,0	76,4
	0,5	29,7	134,7	19,9	118,6	12,0	103,2	10,0	99,5
	0,6	29,7	173,7	19,9	133,5	12,0	138,5	10,0	123,3
	0,7	29,7	216,9	19,9	165,5	12,0	152,0	10,0	160,5
	0,8	29,7	249,8	19,9	222,1	12,0	190,1	10,0	198,5
PC6	0,1	32,3	25,2	20,7	20,8	12,1	12,8	10,1	9,0
	0,2	32,3	65,5	20,7	48,6	12,1	36,2	10,1	29,6
	0,3	32,3	105,5	20,7	68,3	12,1	53,9	10,1	47,3
	0,4	32,3	123,1	20,7	100,0	12,1	75,5	10,1	71,9
	0,5	32,3	141,0	20,7	122,5	12,1	97,6	10,1	96,8
	0,6	32,3	174,0	20,7	133,3	12,1	130,0	10,1	118,4
	0,7	32,3	215,9	20,7	158,0	12,1	152,4	10,1	149,7
	0,8	32,3	253,9	20,7	197,9	12,1	177,8	10,1	179,6
PC7	0,1	27,5	22,5	20,2	20,5	13,3	10,1	11,4	8,2
	0,2	27,5	52,4	20,2	40,7	13,3	28,0	11,4	20,3
	0,3	27,5	84,3	20,2	63,9	13,3	54,8	11,4	50,1
	0,4	27,5	103,6	20,2	93,6	13,3	85,0	11,4	71,6
	0,5	27,5	124,5	20,2	111,3	13,3	106,3	11,4	105,7
	0,6	27,5	161,8	20,2	136,7	13,3	143,7	11,4	133,0
	0,7	27,5	196,3	20,2	182,3	13,3	168,7	11,4	167,5
	0,8	27,5	248,8	20,2	243,4	13,3	220,1	11,4	206,4
PC8	0,1	28,9	22,5	20,7	20,5	13,4	10,1	11,4	8,2
	0,2	28,9	52,2	20,7	40,8	13,4	30,3	11,4	20,1
	0,3	28,9	84,6	20,7	63,6	13,4	53,0	11,4	48,0
	0,4	28,9	107,0	20,7	91,6	13,4	77,4	11,4	68,6
	0,5	28,9	125,1	20,7	108,4	13,4	100,9	11,4	97,1
	0,6	28,9	151,2	20,7	127,3	13,4	128,5	11,4	120,0
	0,7	28,9	189,4	20,7	158,6	13,4	155,5	11,4	152,6
	0,8	28,9	236,7	20,7	211,1	13,4	196,6	11,4	188,0
PC9	0,1	30,3	22,5	21,1	20,5	13,4	10,1	11,5	8,2
	0,2	30,3	54,3	21,1	40,3	13,4	28,8	11,5	19,7
	0,3	30,3	84,0	21,1	63,4	13,4	51,6	11,5	45,1
	0,4	30,3	115,8	21,1	87,8	13,4	74,7	11,5	68,1
	0,5	30,3	129,6	21,1	112,9	13,4	99,9	11,5	92,3
	0,6	30,3	148,9	21,1	130,3	13,4	122,3	11,5	115,4
	0,7	30,3	184,5	21,1	146,6	13,4	153,4	11,5	140,7
	0,8	30,3	225,1	21,1	187,5	13,4	178,5	11,5	172,8
PC10	0,1	28,4	21,5	21,6	18,8	14,8	9,6	12,8	6,3
	0,2	28,4	50,5	21,6	45,0	14,8	20,5	12,8	15,0
	0,3	28,4	71,0	21,6	67,4	14,8	54,3	12,8	46,4
	0,4	28,4	103,5	21,6	89,1	14,8	76,7	12,8	65,4
	0,5	28,4	127,8	21,6	113,1	14,8	105,8	12,8	106,2
	0,6	28,4	156,5	21,6	131,0	14,8	138,8	12,8	119,2
	0,7	28,4	195,6	21,6	170,2	14,8	167,4	12,8	174,7
	0,8	28,4	226,0	21,6	239,1	14,8	200,5	12,8	197,8
	0,1	29,4	21,5	21,9	18,8	14,8	9,6	12,8	6,3
	0,2	29,4	49,7	21,9	44,5	14,8	20,5	12,8	14,8

PC11	0,3	29,4	75,1	21,9	62,2	14,8	49,0	12,8	44,7
	0,4	29,4	102,2	21,9	89,3	14,8	72,4	12,8	70,0
	0,5	29,4	126,1	21,9	111,8	14,8	98,6	12,8	95,8
	0,6	29,4	146,0	21,9	124,3	14,8	131,2	12,8	122,6
	0,7	29,4	183,3	21,9	160,7	14,8	150,9	12,8	159,4
	0,8	29,4	222,0	21,9	201,7	14,8	175,5	12,8	185,6
PC12	0,1	30,2	21,5	22,0	18,8	14,8	9,6	12,8	6,3
	0,2	30,2	49,3	22,0	44,5	14,8	20,5	12,8	14,8
	0,3	30,2	75,0	22,0	57,9	14,8	51,5	12,8	43,4
	0,4	30,2	103,3	22,0	86,3	14,8	69,3	12,8	64,6
	0,5	30,2	126,5	22,0	116,0	14,8	95,3	12,8	87,1
	0,6	30,2	145,9	22,0	120,7	14,8	122,6	12,8	117,0
	0,7	30,2	172,7	22,0	146,7	14,8	147,2	12,8	141,0
	0,8	30,2	210,2	22,0	179,7	14,8	163,9	12,8	171,7
PC13	0,1	29,6	21,9	23,0	16,4	16,3	9,2	14,2	5,6
	0,2	29,6	41,9	23,0	43,6	16,3	17,8	14,2	11,8
	0,3	29,6	72,4	23,0	63,1	16,3	45,1	14,2	33,4
	0,4	29,6	93,6	23,0	88,4	16,3	69,3	14,2	72,2
	0,5	29,6	133,4	23,0	118,6	16,3	104,8	14,2	105,1
	0,6	29,6	154,9	23,0	144,2	16,3	150,5	14,2	133,7
	0,7	29,6	193,8	23,0	164,9	16,3	162,0	14,2	177,4
	0,8	29,6	221,4	23,0	227,3	16,3	189,3	14,2	203,8
PC14	0,1	30,2	21,9	23,1	16,4	16,3	9,2	14,2	5,6
	0,2	30,2	41,9	23,1	42,6	16,3	17,8	14,2	11,8
	0,3	30,2	72,9	23,1	68,2	16,3	45,8	14,2	30,3
	0,4	30,2	95,1	23,1	83,3	16,3	71,2	14,2	68,0
	0,5	30,2	125,0	23,1	119,3	16,3	90,5	14,2	94,0
	0,6	30,2	153,5	23,1	137,1	16,3	129,7	14,2	117,3
	0,7	30,2	177,6	23,1	151,8	16,3	153,5	14,2	159,0
	0,8	30,2	217,6	23,1	188,2	16,3	178,5	14,2	183,9
PC15	0,1	30,7	21,9	23,2	16,4	16,3	9,2	14,2	5,6
	0,2	30,7	41,9	23,2	40,4	16,3	17,8	14,2	11,8
	0,3	30,7	72,1	23,2	66,2	16,3	40,9	14,2	29,7
	0,4	30,7	101,3	23,2	84,4	16,3	69,2	14,2	66,5
	0,5	30,7	124,2	23,2	105,6	16,3	93,6	14,2	88,0
	0,6	30,7	150,5	23,2	134,7	16,3	118,5	14,2	111,1
	0,7	30,7	166,9	23,2	147,8	16,3	147,6	14,2	143,2
	0,8	30,7	202,4	23,2	173,3	16,3	167,0	14,2	175,8

DIR. TRASVERSALE									
		D=1,00m ; L=15m		D=1,25m ; L=20m		D=1,75m ; L=30m		D=2,00m ; L=35m	
Ponte campione	PGA [g]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]
PC1	0,1	14,1	11,9	8,6	6,8	4,9	3,2	4,1	2,5
	0,2	14,1	32,4	8,6	22,7	4,9	8,4	4,1	5,8
	0,3	14,1	53,4	8,6	38,6	4,9	25,3	4,1	15,1
	0,4	14,1	69,3	8,6	60,6	4,9	44,5	4,1	41,5
	0,5	14,1	89,4	8,6	79,2	4,9	62,6	4,1	58,7
	0,6	14,1	114,7	8,6	101,4	4,9	82,7	4,1	79,0
	0,7	14,1	139,7	8,6	124,8	4,9	110,6	4,1	100,2
	0,8	14,1	167,4	8,6	150,7	4,9	137,5	4,1	127,6
PC2	0,1	16,9	11,9	9,5	6,8	5,0	3,2	4,2	2,5
	0,2	16,9	33,6	9,5	22,7	5,0	8,4	4,2	5,8
	0,3	16,9	53,8	9,5	40,2	5,0	25,7	4,2	14,8
	0,4	16,9	70,3	9,5	58,1	5,0	41,5	4,2	38,2
	0,5	16,9	87,5	9,5	78,5	5,0	58,5	4,2	54,6
	0,6	16,9	110,0	9,5	97,0	5,0	76,9	4,2	72,6
	0,7	16,9	140,7	9,5	115,8	5,0	98,2	4,2	91,7
	0,8	16,9	164,0	9,5	143,2	5,0	124,9	4,2	113,6
PC3	0,1	21,1	11,9	10,6	6,8	5,1	3,2	4,2	2,5
	0,2	21,1	33,8	10,6	23,0	5,1	8,4	4,2	5,8
	0,3	21,1	55,0	10,6	42,0	5,1	25,8	4,2	13,6
	0,4	21,1	75,8	10,6	58,7	5,1	41,0	4,2	36,4
	0,5	21,1	90,3	10,6	78,0	5,1	55,3	4,2	51,9
	0,6	21,1	108,0	10,6	96,4	5,1	73,1	4,2	68,0
	0,7	21,1	138,3	10,6	114,2	5,1	93,7	4,2	85,5
	0,8	21,1	164,2	10,6	134,2	5,1	119,6	4,2	106,5
PC4	0,1	12,6	8,2	8,8	5,0	5,9	2,6	5,2	2,0
	0,2	12,6	23,9	8,8	11,2	5,9	5,4	5,2	4,1
	0,3	12,6	41,8	8,8	29,2	5,9	9,0	5,2	6,7

PC4	0,4	12,6	61,2	8,8	50,4	5,9	29,9	5,2	17,5
	0,5	12,6	81,2	8,8	72,3	5,9	58,4	5,2	47,1
	0,6	12,6	102,1	8,8	95,1	5,9	75,6	5,2	71,1
	0,7	12,6	128,0	8,8	117,9	5,9	95,8	5,2	94,3
	0,8	12,6	154,6	8,8	143,3	5,9	123,7	5,2	112,7
PC5	0,1	13,5	8,2	9,1	5,0	5,9	2,6	5,2	2,0
	0,2	13,5	24,3	9,1	11,2	5,9	5,4	5,2	4,1
	0,3	13,5	44,0	9,1	31,2	5,9	9,0	5,2	6,7
	0,4	13,5	60,5	9,1	49,4	5,9	27,3	5,2	12,5
	0,5	13,5	80,7	9,1	71,6	5,9	54,4	5,2	45,6
	0,6	13,5	96,9	9,1	91,3	5,9	70,7	5,2	64,2
	0,7	13,5	115,9	9,1	109,6	5,9	88,2	5,2	80,6
	0,8	13,5	147,0	9,1	131,8	5,9	110,1	5,2	103,8
PC6	0,1	14,6	8,2	9,3	5,0	5,9	2,6	5,2	2,0
	0,2	14,6	24,4	9,3	11,2	5,9	5,4	5,2	4,1
	0,3	14,6	46,2	9,3	32,6	5,9	9,0	5,2	6,7
	0,4	14,6	64,5	9,3	47,0	5,9	27,4	5,2	12,0
	0,5	14,6	79,3	9,3	69,2	5,9	49,4	5,2	44,1
	0,6	14,6	96,6	9,3	89,3	5,9	67,9	5,2	61,4
	0,7	14,6	113,3	9,3	105,7	5,9	84,8	5,2	73,1
	0,8	14,6	136,4	9,3	126,1	5,9	106,0	5,2	97,5
PC7	0,1	13,1	6,9	9,7	4,1	6,8	2,2	6,1	1,8
	0,2	13,1	15,8	9,7	8,6	6,8	4,5	6,1	3,6
	0,3	13,1	36,3	9,7	14,6	6,8	6,9	6,1	5,4
	0,4	13,1	53,2	9,7	37,2	6,8	10,1	6,1	7,6
	0,5	13,1	79,4	9,7	69,4	6,8	40,4	6,1	15,2
	0,6	13,1	100,2	9,7	90,2	6,8	72,7	6,1	40,3
	0,7	13,1	123,7	9,7	113,7	6,8	91,6	6,1	82,2
	0,8	13,1	150,4	9,7	137,7	6,8	117,1	6,1	106,8
PC8	0,1	13,5	6,9	9,8	4,1	6,8	2,2	6,1	1,8
	0,2	13,5	15,8	9,8	8,6	6,8	4,5	6,1	3,6
	0,3	13,5	35,7	9,8	14,6	6,8	6,9	6,1	5,4
	0,4	13,5	55,8	9,8	38,8	6,8	10,1	6,1	7,6
	0,5	13,5	77,9	9,8	65,0	6,8	39,7	6,1	10,9
	0,6	13,5	93,4	9,8	88,1	6,8	67,2	6,1	52,6
	0,7	13,5	116,9	9,8	105,1	6,8	85,1	6,1	75,2
	0,8	13,5	139,7	9,8	127,3	6,8	107,0	6,1	100,2
PC9	0,1	13,9	6,9	9,8	4,1	6,8	2,2	6,1	1,8
	0,2	13,9	15,8	9,8	8,6	6,8	4,5	6,1	3,6
	0,3	13,9	35,9	9,8	14,6	6,8	6,9	6,1	5,4
	0,4	13,9	57,0	9,8	38,5	6,8	10,1	6,1	7,6
	0,5	13,9	74,2	9,8	59,8	6,8	36,4	6,1	10,8
	0,6	13,9	91,6	9,8	86,1	6,8	62,7	6,1	47,5
	0,7	13,9	110,2	9,8	101,7	6,8	81,5	6,1	72,6
	0,8	13,9	132,8	9,8	121,6	6,8	103,7	6,1	91,1
PC10	0,1	13,9	6,0	10,5	3,7	7,6	2,0	6,9	1,6
	0,2	13,9	13,4	10,5	7,7	7,6	4,0	6,9	3,2
	0,3	13,9	25,1	10,5	12,8	7,6	6,1	6,9	4,8
	0,4	13,9	54,4	10,5	19,7	7,6	8,4	6,9	6,5
	0,5	13,9	80,1	10,5	58,3	7,6	12,0	6,9	8,5
	0,6	13,9	99,0	10,5	85,6	7,6	43,5	6,9	15,1
	0,7	13,9	119,2	10,5	111,0	7,6	72,3	6,9	27,3
	0,8	13,9	148,2	10,5	132,7	7,6	115,6	6,9	37,3
PC11	0,1	14,0	6,0	10,6	3,7	7,7	2,0	6,9	1,6
	0,2	14,0	13,4	10,6	7,7	7,7	4,0	6,9	3,2
	0,3	14,0	24,7	10,6	12,8	7,7	6,1	6,9	4,8
	0,4	14,0	53,8	10,6	19,4	7,7	8,4	6,9	6,5
	0,5	14,0	76,1	10,6	54,3	7,7	12,0	6,9	8,5
	0,6	14,0	94,6	10,6	83,4	7,7	43,1	6,9	15,2
	0,7	14,0	114,5	10,6	104,2	7,7	72,7	6,9	26,9
	0,8	14,0	138,2	10,6	124,2	7,7	107,7	6,9	44,7
PC12	0,1	14,1	6,0	10,6	3,7	7,7	2,0	6,9	1,6
	0,2	14,1	13,4	10,6	7,7	7,7	4,0	6,9	3,2
	0,3	14,1	24,7	10,6	12,8	7,7	6,1	6,9	4,8
	0,4	14,1	50,3	10,6	18,6	7,7	8,4	6,9	6,5
	0,5	14,1	75,1	10,6	50,9	7,7	12,1	6,9	8,5
	0,6	14,1	92,3	10,6	80,8	7,7	38,7	6,9	14,6
	0,7	14,1	109,4	10,6	97,1	7,7	70,4	6,9	30,0
	0,8	14,1	130,7	10,6	118,1	7,7	101,8	6,9	53,1
PC13	0,1	14,6	5,3	11,4	3,3	8,4	1,8	7,5	1,5
	0,2	14,6	11,0	11,4	6,6	8,4	3,6	7,5	2,9
	0,3	14,6	20,0	11,4	10,4	8,4	5,6	7,5	4,5

PC13	0,4	14,6	40,8	11,4	16,9	8,4	7,6	7,5	6,1
	0,5	14,6	68,2	11,4	33,3	8,4	9,9	7,5	7,8
	0,6	14,6	97,5	11,4	73,8	8,4	13,0	7,5	9,6
	0,7	14,6	118,7	11,4	107,2	8,4	33,1	7,5	14,0
	0,8	14,6	141,9	11,4	132,7	8,4	44,7	7,5	23,5
PC14	0,1	14,7	5,3	11,5	3,3	8,4	1,8	7,5	1,5
	0,2	14,7	11,0	11,5	6,6	8,4	3,6	7,5	2,9
	0,3	14,7	20,0	11,5	10,4	8,4	5,6	7,5	4,5
	0,4	14,7	41,7	11,5	16,9	8,4	7,6	7,5	6,1
	0,5	14,7	66,8	11,5	36,9	8,4	9,9	7,5	7,8
	0,6	14,7	92,8	11,5	69,3	8,4	12,8	7,5	9,6
	0,7	14,7	112,6	11,5	98,5	8,4	35,9	7,5	14,5
	0,8	14,7	134,6	11,5	124,4	8,4	60,0	7,5	22,4
PC15	0,1	14,7	5,3	11,5	3,3	8,4	1,8	7,5	1,5
	0,2	14,7	11,0	11,5	6,6	8,4	3,6	7,5	2,9
	0,3	14,7	20,0	11,5	10,4	8,4	5,6	7,5	4,5
	0,4	14,7	38,6	11,5	16,9	8,4	7,6	7,5	6,1
	0,5	14,7	64,9	11,5	32,0	8,4	9,9	7,5	7,8
	0,6	14,7	93,5	11,5	67,6	8,4	12,9	7,5	9,6
	0,7	14,7	108,8	11,5	95,3	8,4	53,6	7,5	14,2
	0,8	14,7	130,8	11,5	116,9	8,4	81,1	7,5	24,1

Variazione altezza pila e luce campata - diametro pila fisso (modello pila singola)

		DIR. LONGITUDINALE							
		H=5m ; L=15m		H=7m ; L=20m		H=11m ; L=30m		H=13m ; L=35m	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	3,8	2,4	7,8	10,3	21,1	28,7	30,5	45,0
	0,2	3,8	7,8	7,8	24,5	21,1	75,7	30,5	88,2
	0,3	3,8	16,9	7,8	42,5	21,1	94,1	30,5	133,3
	0,4	3,8	25,9	7,8	61,2	21,1	123,4	30,5	192,7
	0,5	3,8	35,5	7,8	81,8	21,1	187,6	30,5	256,7
	0,6	3,8	48,8	7,8	104,1	21,1	255,3	30,5	283,4
	0,7	3,8	62,6	7,8	133,9	21,1	284,9	30,5	336,9
	0,8	3,8	78,8	7,8	160,9	21,1	330,7	30,5	460,8
PC2	0,1	4,1	2,4	8,4	10,3	22,5	28,7	32,4	45,0
	0,2	4,1	7,9	8,4	26,9	22,5	75,0	32,4	94,8
	0,3	4,1	16,3	8,4	43,1	22,5	94,3	32,4	134,1
	0,4	4,1	23,6	8,4	59,8	22,5	124,8	32,4	175,9
	0,5	4,1	33,1	8,4	77,7	22,5	183,1	32,4	260,3
	0,6	4,1	44,3	8,4	99,6	22,5	230,9	32,4	267,9
	0,7	4,1	59,0	8,4	124,1	22,5	295,8	32,4	328,2
	0,8	4,1	69,4	8,4	153,2	22,5	318,4	32,4	398,6
PC3	0,1	4,4	2,4	8,9	10,3	23,8	28,7	34,1	45,0
	0,2	4,4	7,9	8,9	29,8	23,8	76,8	34,1	98,6
	0,3	4,4	16,4	8,9	45,3	23,8	101,0	34,1	132,5
	0,4	4,4	24,6	8,9	59,4	23,8	128,4	34,1	176,6
	0,5	4,4	33,6	8,9	75,3	23,8	176,7	34,1	255,3
	0,6	4,4	42,3	8,9	94,4	23,8	223,8	34,1	286,9
	0,7	4,4	55,2	8,9	117,7	23,8	280,9	34,1	315,4
	0,8	4,4	68,7	8,9	144,1	23,8	313,9	34,1	392,6
PC4	0,1	4,2	1,8	8,5	6,5	22,5	23,2	32,4	33,9
	0,2	4,2	3,9	8,5	22,6	22,5	56,2	32,4	88,0
	0,3	4,2	6,5	8,5	35,7	22,5	97,0	32,4	125,8
	0,4	4,2	20,3	8,5	55,4	22,5	117,8	32,4	179,4
	0,5	4,2	31,0	8,5	76,4	22,5	163,3	32,4	248,3
	0,6	4,2	42,9	8,5	99,3	22,5	225,1	32,4	274,9
	0,7	4,2	56,2	8,5	116,6	22,5	265,3	32,4	344,5
	0,8	4,2	70,2	8,5	145,2	22,5	288,8	32,4	389,8
PC5	0,1	4,3	1,8	8,7	6,5	23,1	23,2	33,2	33,9
	0,2	4,3	3,9	8,7	21,9	23,1	52,2	33,2	89,2
	0,3	4,3	7,1	8,7	33,0	23,1	94,5	33,2	119,7
	0,4	4,3	17,0	8,7	52,9	23,1	121,9	33,2	161,7
	0,5	4,3	28,5	8,7	70,3	23,1	138,6	33,2	209,5
	0,6	4,3	37,9	8,7	91,4	23,1	200,5	33,2	279,2
	0,7	4,3	50,1	8,7	113,1	23,1	252,9	33,2	324,1
	0,8	4,3	62,4	8,7	136,0	23,1	286,8	33,2	375,0
	0,1	4,4	1,8	8,9	6,5	23,6	23,2	33,9	33,9

PC6	0,2	4,4	3,9	8,9	22,7	23,6	54,0	33,9	87,7
	0,3	4,4	7,1	8,9	31,7	23,6	97,2	33,9	119,6
	0,4	4,4	15,9	8,9	50,6	23,6	119,5	33,9	154,6
	0,5	4,4	26,0	8,9	68,2	23,6	136,2	33,9	210,5
	0,6	4,4	35,4	8,9	86,2	23,6	185,7	33,9	290,5
	0,7	4,4	45,5	8,9	106,5	23,6	240,8	33,9	312,2
	0,8	4,4	58,4	8,9	127,3	23,6	277,8	33,9	360,0
	PC7	0,1	4,7	1,5	9,4	5,2	24,6	21,7	35,1
0,2		4,7	3,1	9,4	11,5	24,6	55,7	35,1	75,4
0,3		4,7	4,9	9,4	32,2	24,6	82,5	35,1	133,1
0,4		4,7	8,8	9,4	52,4	24,6	124,3	35,1	154,2
0,5		4,7	22,7	9,4	72,6	24,6	153,0	35,1	222,7
0,6		4,7	40,8	9,4	95,2	24,6	210,6	35,1	264,5
0,7		4,7	54,5	9,4	115,7	24,6	238,5	35,1	340,2
0,8		4,7	67,9	9,4	135,9	24,6	317,5	35,1	438,7
PC8	0,1	4,7	1,5	9,6	5,2	24,9	21,7	35,6	30,9
	0,2	4,7	3,1	9,6	11,5	24,9	58,1	35,6	71,1
	0,3	4,7	4,9	9,6	30,7	24,9	88,9	35,6	127,9
	0,4	4,7	8,8	9,6	50,1	24,9	120,6	35,6	148,1
	0,5	4,7	16,7	9,6	66,9	24,9	141,7	35,6	215,9
	0,6	4,7	36,0	9,6	87,3	24,9	194,8	35,6	268,5
	0,7	4,7	47,7	9,6	108,5	24,9	231,6	35,6	313,2
	0,8	4,7	59,9	9,6	130,3	24,9	295,2	35,6	369,8
PC9	0,1	4,8	1,5	9,6	5,2	25,0	21,7	35,8	30,9
	0,2	4,8	3,1	9,6	11,5	25,0	54,5	35,8	73,8
	0,3	4,8	4,9	9,6	30,0	25,0	91,5	35,8	126,4
	0,4	4,8	9,4	9,6	49,4	25,0	122,2	35,8	146,6
	0,5	4,8	17,4	9,6	65,6	25,0	143,6	35,8	202,5
	0,6	4,8	32,9	9,6	82,9	25,0	171,4	35,8	246,4
	0,7	4,8	43,0	9,6	102,5	25,0	219,8	35,8	309,3
	0,8	4,8	55,4	9,6	125,3	25,0	268,6	35,8	353,6
PC10	0,1	5,2	1,3	10,4	4,8	26,7	22,3	38,0	29,8
	0,2	5,2	2,7	10,4	9,8	26,7	41,2	38,0	70,8
	0,3	5,2	4,3	10,4	23,1	26,7	90,2	38,0	133,8
	0,4	5,2	6,0	10,4	47,0	26,7	122,4	38,0	162,9
	0,5	5,2	15,5	10,4	62,9	26,7	149,4	38,0	206,1
	0,6	5,2	32,3	10,4	91,7	26,7	203,0	38,0	258,2
	0,7	5,2	53,0	10,4	115,3	26,7	234,1	38,0	314,5
	0,8	5,2	65,4	10,4	114,8	26,7	311,5	38,0	409,1
PC11	0,1	5,2	1,3	10,4	4,8	26,8	22,3	38,2	29,8
	0,2	5,2	2,7	10,4	9,8	26,8	41,2	38,2	69,1
	0,3	5,2	4,3	10,4	21,7	26,8	85,8	38,2	129,9
	0,4	5,2	6,0	10,4	45,3	26,8	112,1	38,2	153,8
	0,5	5,2	10,3	10,4	66,2	26,8	149,1	38,2	195,3
	0,6	5,2	28,9	10,4	84,8	26,8	182,8	38,2	275,2
	0,7	5,2	45,4	10,4	106,3	26,8	227,6	38,2	289,5
	0,8	5,2	52,3	10,4	130,5	26,8	268,0	38,2	370,8
PC12	0,1	5,2	1,3	10,4	4,8	26,9	22,3	38,2	29,8
	0,2	5,2	2,7	10,4	9,8	26,9	44,8	38,2	68,1
	0,3	5,2	4,3	10,4	18,5	26,9	86,0	38,2	126,3
	0,4	5,2	6,0	10,4	43,2	26,9	109,3	38,2	151,9
	0,5	5,2	10,6	10,4	62,9	26,9	147,2	38,2	175,3
	0,6	5,2	25,7	10,4	80,6	26,9	169,4	38,2	241,7
	0,7	5,2	41,1	10,4	99,8	26,9	219,1	38,2	293,3
	0,8	5,2	53,0	10,4	122,5	26,9	257,9	38,2	339,4
PC13	0,1	5,7	1,1	11,3	4,3	28,9	20,2	41,0	27,8
	0,2	5,7	2,3	11,3	9,9	28,9	41,7	41,0	62,0
	0,3	5,7	3,6	11,3	15,2	28,9	77,2	41,0	123,8
	0,4	5,7	5,1	11,3	34,6	28,9	104,0	41,0	162,5
	0,5	5,7	6,9	11,3	55,4	28,9	162,1	41,0	205,0
	0,6	5,7	19,6	11,3	90,7	28,9	211,8	41,0	261,6
	0,7	5,7	36,3	11,3	113,3	28,9	232,5	41,0	318,6
	0,8	5,7	59,4	11,3	133,5	28,9	319,6	41,0	366,9
PC14	0,1	5,7	1,1	11,3	4,3	29,0	20,2	41,1	27,8
	0,2	5,7	2,3	11,3	9,9	29,0	41,6	41,1	61,5
	0,3	5,7	3,6	11,3	15,1	29,0	81,2	41,1	116,3
	0,4	5,7	5,1	11,3	33,0	29,0	108,3	41,1	155,0
	0,5	5,7	6,9	11,3	61,3	29,0	148,1	41,1	184,7
	0,6	5,7	17,2	11,3	66,4	29,0	181,2	41,1	260,7
	0,7	5,7	32,8	11,3	103,0	29,0	228,5	41,1	304,1
	0,8	5,7	53,7	11,3	126,6	29,0	268,5	41,1	348,4
	0,1	5,7	1,1	11,3	4,3	29,0	20,2	41,1	27,8

PC15	0,2	5,7	2,3	11,3	9,9	29,0	41,6	41,1	61,2
	0,3	5,7	3,6	11,3	15,1	29,0	80,5	41,1	112,4
	0,4	5,7	5,1	11,3	31,4	29,0	111,1	41,1	146,7
	0,5	5,7	6,9	11,3	58,7	29,0	136,1	41,1	173,8
	0,6	5,7	15,9	11,3	78,4	29,0	173,5	41,1	230,4
	0,7	5,7	28,5	11,3	98,1	29,0	219,6	41,1	309,3
	0,8	5,7	47,0	11,3	106,8	29,0	253,3	41,1	315,9

		DIR. TRASVERSALE							
		H=5m ; L=15m		H=7m ; L=20m		H=11m ; L=30m		H=13m ; L=35m	
Ponte campione	PGA [g]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]
PC1	0,1	1,8	0,4	3,6	1,6	9,6	10,6	14,1	15,9
	0,2	1,8	0,7	3,6	3,3	9,6	31,1	14,1	39,2
	0,3	1,8	1,1	3,6	6,5	9,6	53,5	14,1	70,1
	0,4	1,8	1,5	3,6	19,5	9,6	80,1	14,1	119,7
	0,5	1,8	2,1	3,6	32,6	9,6	106,5	14,1	149,6
	0,6	1,8	3,1	3,6	44,9	9,6	134,0	14,1	179,5
	0,7	1,8	6,4	3,6	61,7	9,6	167,0	14,1	197,3
	0,8	1,8	14,6	3,6	78,0	9,6	206,9	14,1	270,5
PC2	0,1	1,9	0,4	3,8	1,6	10,2	10,6	14,8	15,9
	0,2	1,9	0,7	3,8	3,3	10,2	33,7	14,8	39,3
	0,3	1,9	1,1	3,8	6,5	10,2	54,1	14,8	65,4
	0,4	1,9	1,5	3,8	17,2	10,2	76,7	14,8	101,7
	0,5	1,9	2,1	3,8	30,4	10,2	103,3	14,8	154,7
	0,6	1,9	3,1	3,8	43,6	10,2	128,1	14,8	177,7
	0,7	1,9	5,8	3,8	54,6	10,2	155,3	14,8	196,0
	0,8	1,9	12,1	3,8	70,0	10,2	196,6	14,8	230,8
PC3	0,1	2,0	0,4	3,9	1,6	10,7	10,6	15,5	15,9
	0,2	2,0	0,7	3,9	3,3	10,7	34,8	15,5	38,5
	0,3	2,0	1,1	3,9	6,5	10,7	55,4	15,5	64,9
	0,4	2,0	1,5	3,9	16,9	10,7	78,1	15,5	97,6
	0,5	2,0	2,1	3,9	28,9	10,7	99,4	15,5	154,3
	0,6	2,0	3,1	3,9	40,7	10,7	125,0	15,5	175,0
	0,7	2,0	5,6	3,9	51,3	10,7	151,6	15,5	197,8
	0,8	2,0	10,4	3,9	64,4	10,7	181,7	15,5	217,9
PC4	0,1	2,1	0,3	4,1	1,3	10,7	7,7	15,5	13,9
	0,2	2,1	0,6	4,1	2,5	10,7	20,8	15,5	38,8
	0,3	2,1	0,8	4,1	3,9	10,7	48,3	15,5	64,3
	0,4	2,1	1,1	4,1	6,1	10,7	70,3	15,5	100,0
	0,5	2,1	1,4	4,1	10,8	10,7	106,6	15,5	139,7
	0,6	2,1	1,7	4,1	35,2	10,7	130,5	15,5	173,7
	0,7	2,1	2,0	4,1	52,6	10,7	153,2	15,5	202,4
	0,8	2,1	2,5	4,1	71,3	10,7	196,3	15,5	224,0
PC5	0,1	2,1	0,3	4,1	1,3	10,8	7,7	15,6	13,9
	0,2	2,1	0,6	4,1	2,5	10,8	20,9	15,6	38,9
	0,3	2,1	0,8	4,1	3,9	10,8	47,6	15,6	63,3
	0,4	2,1	1,1	4,1	6,1	10,8	70,2	15,6	93,9
	0,5	2,1	1,4	4,1	10,0	10,8	98,6	15,6	133,7
	0,6	2,1	1,7	4,1	33,3	10,8	122,7	15,6	169,7
	0,7	2,1	2,0	4,1	47,9	10,8	149,0	15,6	193,8
	0,8	2,1	2,5	4,1	61,1	10,8	173,5	15,6	222,0
PC6	0,1	2,1	0,3	4,1	1,3	10,8	7,7	15,6	13,9
	0,2	2,1	0,6	4,1	2,5	10,8	21,0	15,6	39,0
	0,3	2,1	0,8	4,1	3,9	10,8	47,6	15,6	63,1
	0,4	2,1	1,1	4,1	6,1	10,8	70,2	15,6	90,1
	0,5	2,1	1,4	4,1	10,2	10,8	93,5	15,6	126,5
	0,6	2,1	1,7	4,1	30,5	10,8	117,6	15,6	164,5
	0,7	2,1	2,0	4,1	44,4	10,8	143,6	15,6	186,1
	0,8	2,1	2,5	4,1	55,9	10,8	169,4	15,6	213,7
PC7	0,1	2,4	0,2	4,7	1,1	12,0	6,8	17,2	12,9
	0,2	2,4	0,5	4,7	2,1	12,0	14,6	17,2	30,1
	0,3	2,4	0,7	4,7	3,2	12,0	37,8	17,2	57,9
	0,4	2,4	0,9	4,7	4,4	12,0	65,7	17,2	96,5
	0,5	2,4	1,2	4,7	5,8	12,0	98,1	17,2	137,8
	0,6	2,4	1,4	4,7	8,7	12,0	129,2	17,2	175,8
	0,7	2,4	1,7	4,7	32,8	12,0	153,2	17,2	199,6
	0,8	2,4	1,9	4,7	65,8	12,0	183,0	17,2	221,4
	0,1	2,4	0,2	4,7	1,1	12,0	6,8	17,2	12,9
	0,2	2,4	0,5	4,7	2,1	12,0	14,6	17,2	30,0

Variazione altezza pila, diametro pila e luce campata (modello pila singola)

		DIR. LONGITUDINALE							
		H=5;D=1;L=15		H=7;D=1,25;L=20		H=11;D=1,75;L=30		H=13;D=2;L=35	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	9,6	16,1	11,6	22,8	15,7	19,9	17,9	20,7
	0,2	9,6	31,0	11,6	38,7	15,7	49,0	17,9	51,1
	0,3	9,6	42,8	11,6	57,3	15,7	92,0	17,9	104,2
	0,4	9,6	61,2	11,6	79,7	15,7	118,3	17,9	125,8
	0,5	9,6	79,1	11,6	104,4	15,7	133,6	17,9	159,6
	0,6	9,6	99,8	11,6	127,4	15,7	184,0	17,9	234,2
	0,7	9,6	124,9	11,6	161,1	15,7	261,9	17,9	291,8
	0,8	9,6	153,0	11,6	191,7	15,7	296,9	17,9	315,2
PC2	0,1	11,5	16,4	12,9	22,9	16,4	19,9	18,4	20,7
	0,2	11,5	34,2	12,9	40,7	16,4	53,2	18,4	52,7
	0,3	11,5	43,6	12,9	53,8	16,4	89,9	18,4	101,1
	0,4	11,5	60,7	12,9	80,7	16,4	115,7	18,4	126,3
	0,5	11,5	79,3	12,9	102,6	16,4	135,1	18,4	147,2
	0,6	11,5	97,1	12,9	127,8	16,4	157,4	18,4	208,7
	0,7	11,5	116,9	12,9	147,7	16,4	235,8	18,4	281,3
	0,8	11,5	141,3	12,9	184,5	16,4	280,9	18,4	313,2
PC3	0,1	14,5	16,5	14,5	22,9	16,9	19,9	18,7	20,7
	0,2	14,5	36,7	14,5	44,0	16,9	57,5	18,7	50,1
	0,3	14,5	48,8	14,5	57,3	16,9	85,5	18,7	101,8
	0,4	14,5	61,4	14,5	79,5	16,9	118,6	18,7	127,0
	0,5	14,5	80,2	14,5	107,6	16,9	135,7	18,7	142,8
	0,6	14,5	100,3	14,5	131,2	16,9	152,9	18,7	183,9
	0,7	14,5	116,3	14,5	153,8	16,9	203,1	18,7	251,1
	0,8	14,5	136,5	14,5	169,9	16,9	268,0	18,7	311,5
PC4	0,1	8,4	9,4	11,4	14,5	17,8	22,3	21,1	20,3
	0,2	8,4	23,9	11,4	31,9	17,8	41,7	21,1	45,7
	0,3	8,4	36,9	11,4	49,1	17,8	73,7	21,1	97,8
	0,4	8,4	52,3	11,4	70,0	17,8	112,5	21,1	126,9
	0,5	8,4	69,1	11,4	94,3	17,8	143,4	21,1	151,2
	0,6	8,4	89,0	11,4	119,4	17,8	156,9	21,1	210,7
	0,7	8,4	113,1	11,4	144,7	17,8	254,8	21,1	286,6
	0,8	8,4	134,0	11,4	174,2	17,8	307,2	21,1	339,7
PC5	0,1	9,2	9,4	12,0	14,5	18,1	22,3	21,3	20,3
	0,2	9,2	24,3	12,0	33,9	18,1	45,5	21,3	45,2
	0,3	9,2	38,0	12,0	49,3	18,1	70,0	21,3	86,5
	0,4	9,2	51,5	12,0	65,9	18,1	109,4	21,3	122,1
	0,5	9,2	66,8	12,0	90,5	18,1	131,6	21,3	155,6
	0,6	9,2	82,1	12,0	111,0	18,1	151,1	21,3	176,3
	0,7	9,2	102,6	12,0	138,9	18,1	202,9	21,3	248,8
	0,8	9,2	126,1	12,0	155,8	18,1	277,5	21,3	327,4
PC6	0,1	10,1	9,4	12,5	14,5	18,2	22,3	21,3	20,3
	0,2	10,1	27,0	12,5	34,6	18,2	44,6	21,3	47,1
	0,3	10,1	37,1	12,5	49,0	18,2	74,1	21,3	83,8
	0,4	10,1	52,2	12,5	64,1	18,2	104,1	21,3	121,9
	0,5	10,1	66,9	12,5	84,8	18,2	123,8	21,3	145,0
	0,6	10,1	79,5	12,5	109,6	18,2	150,5	21,3	160,1
	0,7	10,1	100,2	12,5	130,9	18,2	174,3	21,3	222,9
	0,8	10,1	122,7	12,5	154,6	18,2	245,0	21,3	298,5
PC7	0,1	8,5	8,8	12,2	11,6	20,0	16,6	24,1	20,4
	0,2	8,5	20,1	12,2	30,7	20,0	42,4	24,1	46,9
	0,3	8,5	30,7	12,2	46,1	20,0	72,6	24,1	90,0
	0,4	8,5	49,2	12,2	71,6	20,0	108,1	24,1	125,9
	0,5	8,5	65,5	12,2	89,4	20,0	132,4	24,1	151,1
	0,6	8,5	84,6	12,2	117,7	20,0	164,9	24,1	220,4
	0,7	8,5	106,5	12,2	144,0	20,0	223,6	24,1	274,3
	0,8	8,5	127,8	12,2	162,1	20,0	304,6	24,1	359,6
PC8	0,1	8,9	8,8	12,5	11,6	20,1	16,6	24,1	20,4
	0,2	8,9	21,5	12,5	31,0	20,1	40,8	24,1	46,1
	0,3	8,9	30,3	12,5	44,8	20,1	70,9	24,1	88,3
	0,4	8,9	47,3	12,5	66,1	20,1	100,9	24,1	115,9
	0,5	8,9	62,7	12,5	86,2	20,1	131,2	24,1	145,0
	0,6	8,9	80,3	12,5	109,4	20,1	151,7	24,1	185,9
	0,7	8,9	95,5	12,5	139,0	20,1	174,9	24,1	242,5
	0,8	8,9	118,7	12,5	156,5	20,1	270,8	24,1	322,3
	0,1	9,4	8,8	12,7	11,6	20,2	16,6	24,1	20,4

PC9	0,2	9,4	23,0	12,7	32,3	20,2	43,3	24,1	47,8
	0,3	9,4	30,4	12,7	44,0	20,2	72,0	24,1	81,6
	0,4	9,4	45,7	12,7	60,9	20,2	98,3	24,1	116,6
	0,5	9,4	60,6	12,7	81,5	20,2	127,3	24,1	133,4
	0,6	9,4	77,0	12,7	108,3	20,2	142,6	24,1	166,7
	0,7	9,4	90,6	12,7	127,6	20,2	172,9	24,1	212,9
	0,8	9,4	110,2	12,7	153,6	20,2	226,2	24,1	285,3
	PC10	0,1	8,7	6,3	13,0	9,8	22,2	15,6	27,1
0,2		8,7	16,2	13,0	25,2	22,2	35,9	27,1	44,6
0,3		8,7	27,0	13,0	46,8	22,2	71,2	27,1	87,3
0,4		8,7	45,5	13,0	67,2	22,2	107,0	27,1	122,6
0,5		8,7	63,8	13,0	86,0	22,2	139,4	27,1	141,9
0,6		8,7	83,7	13,0	109,4	22,2	156,4	27,1	208,8
0,7		8,7	102,3	13,0	134,8	22,2	236,3	27,1	277,8
0,8		8,7	124,7	13,0	164,8	22,2	292,4	27,1	325,8
PC11	0,1	9,0	6,3	13,2	9,8	22,3	15,6	27,1	16,9
	0,2	9,0	16,8	13,2	27,6	22,3	39,8	27,1	43,9
	0,3	9,0	27,7	13,2	45,9	22,3	65,0	27,1	75,3
	0,4	9,0	43,0	13,2	61,6	22,3	97,6	27,1	123,7
	0,5	9,0	60,1	13,2	82,6	22,3	138,7	27,1	143,7
	0,6	9,0	78,2	13,2	107,5	22,3	154,4	27,1	186,4
	0,7	9,0	94,7	13,2	127,8	22,3	187,6	27,1	240,9
	0,8	9,0	110,4	13,2	158,2	22,3	232,7	27,1	300,3
PC12	0,1	9,3	6,3	13,3	9,8	22,3	15,6	27,1	16,9
	0,2	9,3	17,6	13,3	27,4	22,3	39,6	27,1	43,9
	0,3	9,3	26,3	13,3	44,0	22,3	60,9	27,1	81,6
	0,4	9,3	41,7	13,3	57,8	22,3	94,0	27,1	120,3
	0,5	9,3	57,3	13,3	80,7	22,3	133,2	27,1	137,8
	0,6	9,3	73,4	13,3	102,6	22,3	145,3	27,1	171,7
	0,7	9,3	90,5	13,3	122,0	22,3	173,6	27,1	213,8
	0,8	9,3	105,6	13,3	144,8	22,3	205,7	27,1	275,0
PC13	0,1	9,1	5,0	13,9	8,6	24,4	15,5	29,9	16,6
	0,2	9,1	14,2	13,9	20,9	24,4	34,7	29,9	33,8
	0,3	9,1	27,9	13,9	44,3	24,4	63,6	29,9	83,9
	0,4	9,1	44,3	13,9	60,4	24,4	90,1	29,9	124,4
	0,5	9,1	61,4	13,9	85,1	24,4	136,8	29,9	141,3
	0,6	9,1	73,2	13,9	107,9	24,4	156,5	29,9	232,6
	0,7	9,1	101,0	13,9	131,6	24,4	223,8	29,9	281,6
	0,8	9,1	118,3	13,9	154,8	24,4	278,8	29,9	318,0
PC14	0,1	9,3	5,0	14,0	8,6	24,4	15,5	29,9	16,6
	0,2	9,3	14,4	14,0	20,6	24,4	34,6	29,9	33,8
	0,3	9,3	26,2	14,0	45,7	24,4	57,7	29,9	80,6
	0,4	9,3	41,9	14,0	60,5	24,4	93,4	29,9	119,9
	0,5	9,3	57,9	14,0	81,5	24,4	131,3	29,9	141,6
	0,6	9,3	74,1	14,0	104,9	24,4	158,6	29,9	184,9
	0,7	9,3	93,7	14,0	127,8	24,4	193,8	29,9	252,1
	0,8	9,3	109,1	14,0	151,4	24,4	249,4	29,9	305,2
PC15	0,1	9,5	5,0	14,0	8,6	24,4	15,5	29,9	16,6
	0,2	9,5	14,3	14,0	21,0	24,4	34,9	29,9	33,8
	0,3	9,5	27,2	14,0	44,8	24,4	58,3	29,9	73,5
	0,4	9,5	39,6	14,0	58,9	24,4	88,8	29,9	125,0
	0,5	9,5	54,6	14,0	77,0	24,4	125,7	29,9	134,1
	0,6	9,5	70,7	14,0	100,0	24,4	151,7	29,9	168,8
	0,7	9,5	87,4	14,0	123,4	24,4	169,2	29,9	221,5
	0,8	9,5	105,7	14,0	138,2	24,4	218,0	29,9	278,4

DIR. TRASVERSALE									
		H=5;D=1;L=15		H=7;D=1,25;L=20		H=11;D=1,75;L=30		H=13;D=2;L=35	
Ponte campione	PGA [g]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]	x _y [mm]	x _{max} [mm]
PC1	0,1	4,4	1,8	5,2	2,9	7,3	5,8	8,5	7,2
	0,2	4,4	4,4	5,2	8,3	7,3	18,0	8,5	24,6
	0,3	4,4	10,1	5,2	22,3	7,3	40,7	8,5	46,0
	0,4	4,4	19,0	5,2	35,5	7,3	65,0	8,5	68,6
	0,5	4,4	29,2	5,2	47,9	7,3	87,7	8,5	108,5
	0,6	4,4	40,5	5,2	65,9	7,3	119,6	8,5	138,4
	0,7	4,4	54,2	5,2	87,5	7,3	148,3	8,5	174,8
	0,8	4,4	69,8	5,2	109,3	7,3	168,0	8,5	221,3
	0,1	5,2	1,8	5,8	2,9	7,4	5,8	8,6	7,2
	0,2	5,2	4,4	5,8	8,3	7,4	18,0	8,6	24,9

PC2	0,3	5,2	10,1	5,8	21,4	7,4	42,7	8,6	47,5
	0,4	5,2	18,2	5,8	34,7	7,4	61,3	8,6	69,8
	0,5	5,2	27,3	5,8	45,4	7,4	82,1	8,6	103,7
	0,6	5,2	37,7	5,8	60,9	7,4	110,3	8,6	132,3
	0,7	5,2	49,6	5,8	79,1	7,4	139,1	8,6	163,2
	0,8	5,2	64,2	5,8	102,7	7,4	161,4	8,6	184,1
PC3	0,1	6,7	1,8	6,4	2,9	7,6	5,8	8,6	7,2
	0,2	6,7	4,4	6,4	8,3	7,6	18,0	8,6	24,3
	0,3	6,7	10,1	6,4	22,1	7,6	41,5	8,6	48,9
	0,4	6,7	18,3	6,4	33,5	7,6	60,0	8,6	71,2
	0,5	6,7	28,0	6,4	46,5	7,6	81,8	8,6	100,9
	0,6	6,7	35,8	6,4	58,1	7,6	104,1	8,6	127,2
	0,7	6,7	48,2	6,4	76,2	7,6	131,4	8,6	154,2
	0,8	6,7	62,2	6,4	95,4	7,6	156,1	8,6	173,0
PC4	0,1	3,9	1,4	5,4	2,3	8,7	4,6	10,6	6,1
	0,2	3,9	2,9	5,4	4,7	8,7	9,3	10,6	12,9
	0,3	3,9	4,8	5,4	9,5	8,7	25,7	10,6	29,4
	0,4	3,9	9,7	5,4	29,1	8,7	46,7	10,6	63,4
	0,5	3,9	20,2	5,4	44,8	8,7	79,0	10,6	90,0
	0,6	3,9	32,2	5,4	60,0	8,7	104,7	10,6	124,2
	0,7	3,9	44,5	5,4	75,9	8,7	139,0	10,6	168,5
	0,8	3,9	56,7	5,4	97,3	8,7	165,9	10,6	196,7
PC5	0,1	4,2	1,4	5,5	2,3	8,7	4,6	10,6	6,1
	0,2	4,2	2,9	5,5	4,7	8,7	9,3	10,6	12,9
	0,3	4,2	4,8	5,5	9,5	8,7	23,6	10,6	29,3
	0,4	4,2	9,7	5,5	23,9	8,7	45,0	10,6	63,3
	0,5	4,2	18,3	5,5	43,1	8,7	77,8	10,6	87,7
	0,6	4,2	26,3	5,5	55,0	8,7	98,2	10,6	123,2
	0,7	4,2	39,1	5,5	70,1	8,7	126,0	10,6	151,5
	0,8	4,2	50,0	5,5	85,9	8,7	156,1	10,6	182,3
PC6	0,1	4,5	1,4	5,6	2,3	8,7	4,6	10,6	6,1
	0,2	4,5	2,9	5,6	4,7	8,7	9,3	10,6	12,9
	0,3	4,5	4,8	5,6	9,5	8,7	25,0	10,6	31,2
	0,4	4,5	9,9	5,6	26,2	8,7	49,0	10,6	62,6
	0,5	4,5	17,9	5,6	40,6	8,7	74,8	10,6	87,5
	0,6	4,5	24,0	5,6	52,3	8,7	95,3	10,6	119,1
	0,7	4,5	35,2	5,6	66,1	8,7	122,8	10,6	144,6
	0,8	4,5	46,2	5,6	80,4	8,7	148,0	10,6	173,7
PC7	0,1	4,0	1,1	5,9	2,0	10,0	4,1	12,5	5,1
	0,2	4,0	2,2	5,9	4,0	10,0	8,3	12,5	10,3
	0,3	4,0	3,6	5,9	6,5	10,0	13,0	12,5	16,9
	0,4	4,0	5,8	5,9	10,8	10,0	39,3	12,5	39,4
	0,5	4,0	9,9	5,9	39,3	10,0	69,0	12,5	77,0
	0,6	4,0	28,0	5,9	56,4	10,0	104,1	12,5	129,0
	0,7	4,0	39,7	5,9	74,4	10,0	130,1	12,5	156,4
	0,8	4,0	52,2	5,9	93,2	10,0	162,5	12,5	199,3
PC8	0,1	4,2	1,1	5,9	2,0	10,1	4,1	12,5	5,1
	0,2	4,2	2,2	5,9	4,0	10,1	8,3	12,5	10,3
	0,3	4,2	3,6	5,9	6,5	10,1	13,0	12,5	16,8
	0,4	4,2	5,8	5,9	11,0	10,1	38,6	12,5	41,5
	0,5	4,2	10,3	5,9	36,7	10,1	64,8	12,5	75,3
	0,6	4,2	22,1	5,9	51,7	10,1	92,7	12,5	117,1
	0,7	4,2	34,0	5,9	67,0	10,1	122,6	12,5	142,3
	0,8	4,2	45,2	5,9	83,0	10,1	144,2	12,5	161,1
PC9	0,1	4,3	1,1	5,9	2,0	10,1	4,1	12,5	5,1
	0,2	4,3	2,2	5,9	4,0	10,1	8,3	12,5	10,3
	0,3	4,3	3,6	5,9	6,5	10,1	13,0	12,5	16,8
	0,4	4,3	5,8	5,9	11,0	10,1	34,1	12,5	43,4
	0,5	4,3	9,2	5,9	32,8	10,1	64,0	12,5	70,4
	0,6	4,3	21,2	5,9	47,9	10,1	90,7	12,5	113,8
	0,7	4,3	30,4	5,9	61,0	10,1	121,8	12,5	135,5
	0,8	4,3	39,7	5,9	78,2	10,1	140,7	12,5	168,6
PC10	0,1	4,2	0,9	6,4	1,7	11,4	3,6	14,0	4,5
	0,2	4,2	1,9	6,4	3,5	11,4	7,2	14,0	9,1
	0,3	4,2	3,0	6,4	5,4	11,4	11,2	14,0	13,8
	0,4	4,2	4,3	6,4	7,7	11,4	17,6	14,0	19,1
	0,5	4,2	6,1	6,4	12,4	11,4	48,1	14,0	48,4
	0,6	4,2	14,9	6,4	48,8	11,4	80,5	14,0	71,8
	0,7	4,2	35,8	6,4	72,3	11,4	126,3	14,0	95,8
	0,8	4,2	49,0	6,4	90,4	11,4	145,9	14,0	107,9
	0,1	4,3	0,9	6,5	1,7	11,4	3,6	14,0	4,5
	0,2	4,3	1,9	6,5	3,5	11,4	7,2	14,0	9,1

PC11	0,3	4,3	3,0	6,5	5,4	11,4	11,2	14,0	13,8
	0,4	4,3	4,3	6,5	7,7	11,4	17,6	14,0	19,1
	0,5	4,3	6,1	6,5	11,7	11,4	47,9	14,0	50,7
	0,6	4,3	12,0	6,5	43,4	11,4	71,4	14,0	67,2
	0,7	4,3	25,6	6,5	63,7	11,4	117,6	14,0	87,0
	0,8	4,3	42,5	6,5	82,0	11,4	144,8	14,0	104,8
PC12	0,1	4,3	0,9	6,5	1,7	11,4	3,6	14,0	4,5
	0,2	4,3	1,9	6,5	3,5	11,4	7,2	14,0	9,1
	0,3	4,3	3,0	6,5	5,4	11,4	11,2	14,0	13,8
	0,4	4,3	4,3	6,5	7,7	11,4	17,5	14,0	19,1
	0,5	4,3	6,1	6,5	11,7	11,4	44,5	14,0	52,5
	0,6	4,3	12,0	6,5	35,5	11,4	76,9	14,0	77,5
PC13	0,1	4,5	0,8	6,9	1,5	12,3	3,2	15,6	4,3
	0,2	4,5	1,6	6,9	3,1	12,3	6,5	15,6	8,5
	0,3	4,5	2,5	6,9	4,7	12,3	10,0	15,6	12,8
	0,4	4,5	3,4	6,9	6,6	12,3	13,7	15,6	17,7
	0,5	4,5	4,7	6,9	9,0	12,3	20,9	15,6	26,0
	0,6	4,5	6,5	6,9	22,8	12,3	46,7	15,6	58,1
PC14	0,1	4,5	0,8	6,9	1,5	12,3	3,2	15,6	4,3
	0,2	4,5	1,6	6,9	3,1	12,3	6,5	15,6	8,5
	0,3	4,5	2,5	6,9	4,7	12,3	10,0	15,6	12,8
	0,4	4,5	3,4	6,9	6,6	12,3	13,7	15,6	17,7
	0,5	4,5	4,7	6,9	9,0	12,3	20,9	15,6	25,1
	0,6	4,5	6,5	6,9	21,7	12,3	56,3	15,6	55,8
PC15	0,1	4,6	0,8	6,9	1,5	12,3	3,2	15,6	4,3
	0,2	4,6	1,6	6,9	3,1	12,3	6,5	15,6	8,5
	0,3	4,6	2,5	6,9	4,7	12,3	10,0	15,6	12,8
	0,4	4,6	3,4	6,9	6,6	12,3	13,7	15,6	17,7
	0,5	4,6	4,7	6,9	9,0	12,3	20,9	15,6	23,6
	0,6	4,6	6,5	6,9	14,1	12,3	65,6	15,6	56,0

Variazione in pianta della direzione di applicazione dell'azione sismica (pila singola)

		H = 9,00m ; D = 1,50m ; L = 25m									
		$\alpha = 10^\circ$		$\alpha = 30^\circ$		$\alpha = 45^\circ$		$\alpha = 60^\circ$		$\alpha = 80^\circ$	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	13,3	19,8	11,8	14,7	10,3	9,5	8,6	6,3	6,5	4,1
	0,2	13,3	40,5	11,8	34,1	10,3	22,4	8,6	15,9	6,5	13,2
	0,3	13,3	66,7	11,8	48,1	10,3	33,9	8,6	29,9	6,5	31,4
	0,4	13,3	99,3	11,8	71,4	10,3	53,4	8,6	46,3	6,5	47,7
	0,5	13,3	116,6	11,8	95,1	10,3	70,3	8,6	66,4	6,5	67,3
	0,6	13,3	139,9	11,8	109,4	10,3	88,7	8,6	89,6	6,5	91,9
	0,7	13,3	195,9	11,8	143,8	10,3	104,5	8,6	109,0	6,5	119,5
	0,8	13,3	245,4	11,8	191,9	10,3	141,7	8,6	128,9	6,5	146,5
PC2	0,1	14,1	19,8	12,5	14,7	11,1	9,5	9,1	6,3	6,9	4,1
	0,2	14,1	43,6	12,5	34,6	11,1	23,6	9,1	15,9	6,9	13,0
	0,3	14,1	63,6	12,5	47,7	11,1	36,0	9,1	30,6	6,9	33,6
	0,4	14,1	98,1	12,5	71,1	11,1	50,5	9,1	48,1	6,9	45,3
	0,5	14,1	121,8	12,5	91,1	11,1	70,4	9,1	63,1	6,9	64,8
	0,6	14,1	133,6	12,5	109,6	11,1	83,8	9,1	87,2	6,9	89,0
	0,7	14,1	168,6	12,5	126,7	11,1	103,1	9,1	106,4	6,9	111,6
	0,8	14,1	220,1	12,5	165,2	11,1	124,6	9,1	124,6	6,9	135,2
PC3	0,1	15,0	19,8	13,4	14,7	11,8	9,5	9,6	6,3	7,3	4,1
	0,2	15,0	45,5	13,4	36,5	11,8	24,7	9,6	15,9	7,3	13,1
	0,3	15,0	64,0	13,4	50,5	11,8	36,3	9,6	31,4	7,3	34,0
	0,4	15,0	98,5	13,4	71,9	11,8	50,4	9,6	47,8	7,3	45,6
	0,5	15,0	122,3	13,4	92,9	11,8	72,5	9,6	62,9	7,3	62,7
	0,6	15,0	134,7	13,4	109,6	11,8	80,3	9,6	86,6	7,3	87,9
	0,7	15,0	161,4	13,4	127,9	11,8	100,6	9,6	104,7	7,3	108,4

	0,8	15,0	201,8	13,4	149,6	11,8	118,5	9,6	123,3	7,3	129,4
PC4	0,1	14,4	15,6	13,0	12,0	11,3	8,3	9,5	5,2	7,3	3,4
	0,2	14,4	39,2	13,0	28,1	11,3	20,9	9,5	11,7	7,3	7,1
	0,3	14,4	58,6	13,0	45,7	11,3	31,7	9,5	20,8	7,3	13,2
	0,4	14,4	81,5	13,0	62,0	11,3	41,1	9,5	40,6	7,3	37,8
	0,5	14,4	112,8	13,0	85,2	11,3	63,7	9,5	61,8	7,3	62,2
	0,6	14,4	135,5	13,0	108,8	11,3	80,5	9,5	80,4	7,3	82,1
	0,7	14,4	177,2	13,0	129,6	11,3	104,2	9,5	102,8	7,3	105,5
	0,8	14,4	226,1	13,0	174,5	11,3	120,4	9,5	123,0	7,3	134,2
PC5	0,1	14,8	15,6	13,1	12,0	11,4	8,3	9,7	5,2	7,4	3,4
	0,2	14,8	41,0	13,1	28,7	11,4	22,1	9,7	11,6	7,4	7,1
	0,3	14,8	57,3	13,1	43,4	11,4	31,2	9,7	22,5	7,4	13,3
	0,4	14,8	78,2	13,1	60,1	11,4	40,4	9,7	37,6	7,4	38,6
	0,5	14,8	107,6	13,1	77,7	11,4	58,5	9,7	57,3	7,4	58,6
	0,6	14,8	127,0	13,1	100,4	11,4	79,2	9,7	74,7	7,4	78,0
	0,7	14,8	157,7	13,1	118,2	11,4	98,1	9,7	96,6	7,4	99,9
	0,8	14,8	198,2	13,1	149,4	11,4	115,3	9,7	117,4	7,4	121,4
PC6	0,1	14,9	15,6	13,2	12,0	11,5	8,3	9,7	5,2	7,5	3,4
	0,2	14,9	42,8	13,2	28,3	11,5	22,1	9,7	11,6	7,5	7,1
	0,3	14,9	54,4	13,2	40,6	11,5	32,0	9,7	24,6	7,5	13,4
	0,4	14,9	79,0	13,2	60,3	11,5	40,0	9,7	36,5	7,5	36,5
	0,5	14,9	103,8	13,2	74,1	11,5	55,8	9,7	55,1	7,5	56,2
	0,6	14,9	127,9	13,2	96,8	11,5	75,9	9,7	71,7	7,5	75,7
	0,7	14,9	144,5	13,2	114,3	11,5	94,5	9,7	93,7	7,5	96,6
	0,8	14,9	180,9	13,2	137,0	11,5	112,3	9,7	112,9	7,5	117,0
PC7	0,1	15,9	15,2	14,6	11,6	12,8	7,8	10,3	4,6	8,2	2,9
	0,2	15,9	35,4	14,6	27,9	12,8	16,3	10,3	9,6	8,2	5,9
	0,3	15,9	60,7	14,6	43,3	12,8	25,0	10,3	16,6	8,2	9,6
	0,4	15,9	78,9	14,6	59,1	12,8	43,7	10,3	30,8	8,2	19,4
	0,5	15,9	115,9	14,6	89,1	12,8	57,6	10,3	57,1	8,2	51,3
	0,6	15,9	134,7	14,6	107,4	12,8	81,6	10,3	78,8	8,2	78,0
	0,7	15,9	157,3	14,6	123,3	12,8	93,7	10,3	100,3	8,2	101,9
	0,8	15,9	217,3	14,6	154,1	12,8	115,9	10,3	122,0	8,2	128,8
PC8	0,1	16,1	15,2	14,6	11,6	12,8	7,8	10,5	4,6	8,3	2,9
	0,2	16,1	36,5	14,6	26,7	12,8	16,4	10,5	9,6	8,3	5,9
	0,3	16,1	55,6	14,6	36,8	12,8	26,4	10,5	16,2	8,3	9,6
	0,4	16,1	75,5	14,6	58,2	12,8	39,5	10,5	28,7	8,3	18,4
	0,5	16,1	104,0	14,6	80,9	12,8	53,0	10,5	54,8	8,3	50,0
	0,6	16,1	132,4	14,6	102,6	12,8	78,7	10,5	71,5	8,3	75,5
	0,7	16,1	146,8	14,6	117,7	12,8	96,3	10,5	93,4	8,3	95,9
	0,8	16,1	183,5	14,6	130,1	12,8	113,0	10,5	114,9	8,3	118,2
PC9	0,1	16,2	15,2	14,6	11,6	12,8	7,8	10,5	4,6	8,3	2,9
	0,2	16,2	36,2	14,6	27,9	12,8	16,6	10,5	9,6	8,3	5,9
	0,3	16,2	56,4	14,6	37,0	12,8	28,5	10,5	16,1	8,3	9,6
	0,4	16,2	75,4	14,6	57,1	12,8	38,8	10,5	26,9	8,3	17,8
	0,5	16,2	100,6	14,6	75,9	12,8	50,4	10,5	53,4	8,3	48,1
	0,6	16,2	130,3	14,6	99,7	12,8	71,1	10,5	69,5	8,3	73,8
	0,7	16,2	141,9	14,6	114,5	12,8	91,8	10,5	89,8	8,3	91,2
	0,8	16,2	166,4	14,6	125,3	12,8	111,7	10,5	109,6	8,3	113,1
PC10	0,1	17,4	13,3	16,1	10,1	14,0	6,8	11,3	4,0	9,0	2,6
	0,2	17,4	29,4	16,1	22,5	14,0	15,3	11,3	8,0	9,0	5,2
	0,3	17,4	55,9	16,1	43,7	14,0	24,6	11,3	13,9	9,0	8,4
	0,4	17,4	75,4	16,1	55,5	14,0	40,4	11,3	24,2	9,0	11,9
	0,5	17,4	108,7	16,1	80,9	14,0	56,2	11,3	41,6	9,0	32,9
	0,6	17,4	145,0	16,1	103,8	14,0	71,9	11,3	67,0	9,0	74,4
	0,7	17,4	161,7	16,1	128,2	14,0	91,3	11,3	97,2	9,0	104,1
	0,8	17,4	193,8	16,1	147,8	14,0	117,3	11,3	121,8	9,0	126,9
PC11	0,1	17,4	13,3	16,1	10,1	14,1	6,8	11,3	4,0	9,0	2,6
	0,2	17,4	29,8	16,1	22,6	14,1	15,3	11,3	8,0	9,0	5,2
	0,3	17,4	54,0	16,1	41,8	14,1	25,0	11,3	13,9	9,0	8,4
	0,4	17,4	74,9	16,1	54,3	14,1	39,1	11,3	22,7	9,0	11,9
	0,5	17,4	97,3	16,1	74,0	14,1	52,7	11,3	40,6	9,0	31,2
	0,6	17,4	136,8	16,1	97,7	14,1	68,9	11,3	60,5	9,0	64,5
	0,7	17,4	162,1	16,1	120,6	14,1	91,2	11,3	91,3	9,0	94,6
	0,8	17,4	176,1	16,1	142,1	14,1	106,7	11,3	114,4	9,0	118,7
PC12	0,1	17,5	13,3	16,1	10,1	14,1	6,8	11,3	4,0	9,0	2,6
	0,2	17,5	29,8	16,1	22,6	14,1	15,3	11,3	8,0	9,0	5,2
	0,3	17,5	53,3	16,1	39,5	14,1	23,9	11,3	13,9	9,0	8,4
	0,4	17,5	73,5	16,1	52,3	14,1	37,6	11,3	22,1	9,0	11,9
	0,5	17,5	95,0	16,1	71,7	14,1	49,7	11,3	38,9	9,0	31,2
	0,6	17,5	128,8	16,1	92,9	14,1	67,7	11,3	60,3	9,0	60,6
	0,7	17,5	151,4	16,1	117,7	14,1	85,3	11,3	85,6	9,0	88,0

	0,8	17,5	164,1	16,1	137,7	14,1	107,0	11,3	109,2	9,0	112,2
PC13	0,1	18,8	11,8	17,3	9,2	15,0	6,4	12,2	3,8	9,7	2,4
	0,2	18,8	26,1	17,3	19,3	15,0	13,3	12,2	7,8	9,7	4,8
	0,3	18,8	58,2	17,3	40,5	15,0	25,5	12,2	11,8	9,7	7,1
	0,4	18,8	78,8	17,3	55,8	15,0	36,2	12,2	19,2	9,7	9,7
	0,5	18,8	112,3	17,3	79,6	15,0	52,4	12,2	30,2	9,7	15,2
	0,6	18,8	129,3	17,3	105,5	15,0	70,5	12,2	62,9	9,7	54,3
	0,7	18,8	167,2	17,3	126,1	15,0	95,6	12,2	93,8	9,7	101,2
	0,8	18,8	213,9	17,3	151,4	15,0	109,3	12,2	121,4	9,7	126,9
PC14	0,1	18,8	11,8	17,4	9,2	15,1	6,4	12,2	3,8	9,7	2,4
	0,2	18,8	26,5	17,4	19,3	15,1	13,3	12,2	7,8	9,7	4,8
	0,3	18,8	50,3	17,4	38,1	15,1	25,4	12,2	11,8	9,7	7,1
	0,4	18,8	75,5	17,4	54,0	15,1	34,8	12,2	18,9	9,7	9,7
	0,5	18,8	99,7	17,4	74,1	15,1	48,0	12,2	29,4	9,7	15,1
	0,6	18,8	129,7	17,4	98,6	15,1	65,9	12,2	57,5	9,7	51,4
	0,7	18,8	155,0	17,4	118,4	15,1	87,2	12,2	82,0	9,7	93,2
	0,8	18,8	187,6	17,4	139,9	15,1	103,8	12,2	113,5	9,7	117,4
PC15	0,1	18,8	11,8	17,4	9,2	15,1	6,4	12,2	3,8	9,8	2,4
	0,2	18,8	27,6	17,4	19,3	15,1	13,3	12,2	7,8	9,8	4,8
	0,3	18,8	50,9	17,4	43,5	15,1	25,0	12,2	11,8	9,8	7,1
	0,4	18,8	73,1	17,4	52,1	15,1	34,5	12,2	18,1	9,8	9,7
	0,5	18,8	95,0	17,4	71,5	15,1	45,5	12,2	30,1	9,8	14,6
	0,6	18,8	124,4	17,4	93,5	15,1	63,8	12,2	58,2	9,8	46,5
	0,7	18,8	149,2	17,4	113,4	15,1	84,2	12,2	77,7	9,8	86,4
	0,8	18,8	175,9	17,4	130,5	15,1	102,2	12,2	107,6	9,8	110,4

H = 9,00m ; D = 2,00m ; L = 25m											
		$\alpha = 10^\circ$		$\alpha = 30^\circ$		$\alpha = 45^\circ$		$\alpha = 60^\circ$		$\alpha = 80^\circ$	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	7,7	8,8	6,9	6,9	6,0	4,3	5,1	2,7	4,1	1,8
	0,2	7,7	24,0	6,9	20,2	6,0	11,0	5,1	5,9	4,1	3,6
	0,3	7,7	43,1	6,9	32,2	6,0	20,3	5,1	12,6	4,1	6,1
	0,4	7,7	63,7	6,9	46,4	6,0	30,9	5,1	19,8	4,1	22,9
	0,5	7,7	89,1	6,9	63,9	6,0	42,8	5,1	38,6	4,1	39,3
	0,6	7,7	110,3	6,9	80,9	6,0	58,0	5,1	55,0	4,1	58,3
	0,7	7,7	142,3	6,9	100,5	6,0	79,0	5,1	75,2	4,1	75,3
	0,8	7,7	175,1	6,9	131,3	6,0	94,2	5,1	94,8	4,1	95,4
PC2	0,1	7,9	8,8	7,0	6,9	6,1	4,3	5,2	2,7	4,1	1,8
	0,2	7,9	25,4	7,0	20,9	6,1	11,5	5,2	5,9	4,1	3,6
	0,3	7,9	43,3	7,0	30,6	6,1	20,3	5,2	12,8	4,1	6,1
	0,4	7,9	60,8	7,0	45,9	6,1	30,4	5,2	20,1	4,1	20,9
	0,5	7,9	83,8	7,0	59,4	6,1	41,0	5,2	36,3	4,1	38,4
	0,6	7,9	106,0	7,0	76,0	6,1	52,9	5,2	52,7	4,1	54,0
	0,7	7,9	127,5	7,0	92,6	6,1	73,8	5,2	67,6	4,1	68,5
	0,8	7,9	162,3	7,0	118,0	6,1	87,9	5,2	86,0	4,1	86,3
PC3	0,1	8,0	8,8	7,1	6,9	6,2	4,3	5,3	2,7	4,1	1,8
	0,2	8,0	26,3	7,1	20,6	6,2	11,5	5,3	5,9	4,1	3,6
	0,3	8,0	44,7	7,1	30,7	6,2	19,8	5,3	13,0	4,1	6,1
	0,4	8,0	59,6	7,1	45,4	6,2	31,0	5,3	20,1	4,1	19,3
	0,5	8,0	79,3	7,1	57,3	6,2	40,3	5,3	36,0	4,1	38,1
	0,6	8,0	100,8	7,1	72,3	6,2	49,9	5,3	49,9	4,1	52,0
	0,7	8,0	121,6	7,1	90,0	6,2	66,2	5,3	61,7	4,1	62,6
	0,8	8,0	147,7	7,1	109,8	6,2	82,2	5,3	78,4	4,1	80,3
PC4	0,1	9,4	5,5	8,6	4,3	7,5	3,0	6,3	2,0	5,1	1,5
	0,2	9,4	13,8	8,6	9,5	7,5	6,2	6,3	4,0	5,1	2,9
	0,3	9,4	36,4	8,6	23,1	7,5	14,6	6,3	6,1	5,1	4,4
	0,4	9,4	58,5	8,6	44,4	7,5	26,0	6,3	11,3	5,1	6,2
	0,5	9,4	85,0	8,6	57,6	7,5	37,1	6,3	18,7	5,1	8,8
	0,6	9,4	108,7	8,6	79,3	7,5	46,4	6,3	39,8	5,1	33,3
	0,7	9,4	128,1	8,6	96,5	7,5	66,4	6,3	66,1	5,1	68,5
	0,8	9,4	154,4	8,6	114,4	7,5	87,3	6,3	84,2	5,1	85,2
PC5	0,1	9,5	5,5	8,6	4,3	7,5	3,0	6,4	2,0	5,2	1,5
	0,2	9,5	13,8	8,6	9,5	7,5	6,2	6,4	4,0	5,2	2,9
	0,3	9,5	33,1	8,6	24,4	7,5	13,7	6,4	6,1	5,2	4,4
	0,4	9,5	57,4	8,6	40,5	7,5	23,8	6,4	11,4	5,2	6,2
	0,5	9,5	77,4	8,6	55,2	7,5	35,9	6,4	17,4	5,2	8,7
	0,6	9,5	102,2	8,6	71,2	7,5	44,2	6,4	31,6	5,2	32,1
	0,7	9,5	122,1	8,6	89,1	7,5	60,4	6,4	59,9	5,2	61,9
	0,8	9,5	142,1	8,6	105,3	7,5	81,6	6,4	79,0	5,2	77,0

PC6	0,1	9,5	5,5	8,6	4,3	7,5	3,0	6,4	2,0	5,2	1,5
	0,2	9,5	13,0	8,6	9,5	7,5	6,2	6,4	4,0	5,2	2,9
	0,3	9,5	33,7	8,6	24,0	7,5	13,8	6,4	6,1	5,2	4,4
	0,4	9,5	56,7	8,6	40,2	7,5	25,0	6,4	11,7	5,2	6,2
	0,5	9,5	74,5	8,6	54,9	7,5	35,1	6,4	18,1	5,2	8,7
	0,6	9,5	96,3	8,6	68,0	7,5	43,9	6,4	32,5	5,2	32,5
	0,7	9,5	117,8	8,6	82,6	7,5	54,1	6,4	54,7	5,2	57,2
	0,8	9,5	138,3	8,6	100,2	7,5	74,5	6,4	73,3	5,2	72,1
PC7	0,1	11,0	4,7	10,1	3,8	9,0	2,7	7,3	1,7	6,1	1,2
	0,2	11,0	9,7	10,1	7,5	9,0	5,4	7,3	3,5	6,1	2,4
	0,3	11,0	22,6	10,1	12,1	9,0	8,0	7,3	5,1	6,1	3,6
	0,4	11,0	44,2	10,1	31,9	9,0	12,4	7,3	6,7	6,1	4,8
	0,5	11,0	81,6	10,1	54,0	9,0	31,6	7,3	9,5	6,1	6,4
	0,6	11,0	105,3	10,1	79,2	9,0	42,8	7,3	17,8	6,1	8,1
	0,7	11,0	111,7	10,1	95,3	9,0	60,2	7,3	27,2	6,1	15,6
	0,8	11,0	154,5	10,1	115,2	9,0	76,8	7,3	37,1	6,1	25,4
PC8	0,1	11,0	4,7	10,2	3,8	9,0	2,7	7,4	1,7	6,1	1,2
	0,2	11,0	9,7	10,2	7,5	9,0	5,4	7,4	3,5	6,1	2,4
	0,3	11,0	20,7	10,2	12,3	9,0	8,0	7,4	5,1	6,1	3,6
	0,4	11,0	42,1	10,2	31,9	9,0	12,2	7,4	6,7	6,1	4,8
	0,5	11,0	77,5	10,2	49,6	9,0	26,7	7,4	9,2	6,1	6,4
	0,6	11,0	98,7	10,2	71,9	9,0	40,3	7,4	17,6	6,1	8,1
	0,7	11,0	123,2	10,2	88,3	9,0	54,9	7,4	27,2	6,1	15,9
	0,8	11,0	146,4	10,2	108,6	9,0	67,7	7,4	37,7	6,1	27,6
PC9	0,1	11,0	4,7	10,2	3,8	9,0	2,7	7,4	1,7	6,1	1,2
	0,2	11,0	9,7	10,2	7,5	9,0	5,4	7,4	3,5	6,1	2,4
	0,3	11,0	20,7	10,2	12,0	9,0	8,0	7,4	5,1	6,1	3,6
	0,4	11,0	44,2	10,2	28,8	9,0	12,3	7,4	6,7	6,1	4,8
	0,5	11,0	73,0	10,2	48,4	9,0	25,0	7,4	9,4	6,1	6,4
	0,6	11,0	93,8	10,2	67,5	9,0	37,8	7,4	17,8	6,1	8,1
	0,7	11,0	114,5	10,2	83,2	9,0	51,3	7,4	25,7	6,1	15,2
	0,8	11,0	138,0	10,2	101,0	9,0	62,9	7,4	45,2	6,1	41,3
PC10	0,1	12,4	4,4	11,5	3,4	10,2	2,4	8,3	1,5	6,9	1,1
	0,2	12,4	9,5	11,5	7,3	10,2	4,9	8,3	3,0	6,9	2,1
	0,3	12,4	15,1	11,5	11,9	10,2	8,0	8,3	4,6	6,9	3,2
	0,4	12,4	32,2	11,5	16,2	10,2	10,8	8,3	6,4	6,9	4,3
	0,5	12,4	72,9	11,5	46,4	10,2	18,7	8,3	8,2	6,9	5,4
	0,6	12,4	103,1	11,5	73,7	10,2	36,9	8,3	9,5	6,9	6,7
	0,7	12,4	126,8	11,5	93,9	10,2	55,7	8,3	15,1	6,9	8,0
	0,8	12,4	149,4	11,5	112,4	10,2	65,4	8,3	29,3	6,9	10,3
PC11	0,1	12,4	4,4	11,5	3,4	10,2	2,4	8,3	1,5	6,9	1,1
	0,2	12,4	9,5	11,5	7,3	10,2	4,9	8,3	3,0	6,9	2,1
	0,3	12,4	15,1	11,5	11,9	10,2	8,0	8,3	4,6	6,9	3,2
	0,4	12,4	30,2	11,5	16,9	10,2	10,8	8,3	6,4	6,9	4,3
	0,5	12,4	68,9	11,5	37,0	10,2	16,7	8,3	8,2	6,9	5,4
	0,6	12,4	96,3	11,5	66,0	10,2	32,7	8,3	9,5	6,9	6,7
	0,7	12,4	120,9	11,5	84,5	10,2	50,5	8,3	14,6	6,9	8,0
	0,8	12,4	139,7	11,5	105,9	10,2	60,4	8,3	27,5	6,9	10,3
PC12	0,1	12,4	4,4	11,5	3,4	10,2	2,4	8,3	1,5	6,9	1,1
	0,2	12,4	9,5	11,5	7,3	10,2	4,9	8,3	3,0	6,9	2,1
	0,3	12,4	15,1	11,5	11,9	10,2	8,0	8,3	4,6	6,9	3,2
	0,4	12,4	30,1	11,5	17,4	10,2	10,8	8,3	6,4	6,9	4,3
	0,5	12,4	67,3	11,5	40,6	10,2	16,4	8,3	8,2	6,9	5,4
	0,6	12,4	91,5	11,5	62,9	10,2	32,3	8,3	9,5	6,9	6,7
	0,7	12,4	112,9	11,5	80,2	10,2	48,9	8,3	13,6	6,9	8,0
	0,8	12,4	134,9	11,5	99,5	10,2	57,1	8,3	28,0	6,9	10,4
PC13	0,1	13,7	4,1	12,6	3,2	11,1	2,2	9,2	1,3	7,6	0,9
	0,2	13,7	8,3	12,6	6,4	11,1	4,4	9,2	2,7	7,6	1,8
	0,3	13,7	13,0	12,6	10,0	11,1	6,9	9,2	4,1	7,6	2,8
	0,4	13,7	22,1	12,6	15,1	11,1	9,6	9,2	5,5	7,6	3,7
	0,5	13,7	52,7	12,6	32,2	11,1	14,9	9,2	7,3	7,6	4,7
	0,6	13,7	104,7	12,6	59,9	11,1	30,0	9,2	9,0	7,6	5,7
	0,7	13,7	114,6	12,6	93,1	11,1	46,1	9,2	13,1	7,6	6,9
	0,8	13,7	146,8	12,6	112,0	11,1	70,6	9,2	18,6	7,6	8,1
PC14	0,1	13,7	4,1	12,7	3,2	11,1	2,2	9,2	1,3	7,6	0,9
	0,2	13,7	8,3	12,7	6,4	11,1	4,4	9,2	2,7	7,6	1,8
	0,3	13,7	13,0	12,7	10,0	11,1	6,9	9,2	4,1	7,6	2,8
	0,4	13,7	22,6	12,7	15,3	11,1	9,6	9,2	5,5	7,6	3,7
	0,5	13,7	56,9	12,7	30,8	11,1	15,9	9,2	7,3	7,6	4,7
	0,6	13,7	99,1	12,7	58,5	11,1	25,6	9,2	9,0	7,6	5,7
	0,7	13,7	119,4	12,7	79,2	11,1	46,4	9,2	12,8	7,6	6,9
	0,8	13,7	122,0	12,7	104,4	11,1	57,9	9,2	18,0	7,6	8,1

PC15	0,1	13,7	4,1	12,7	3,2	11,1	2,2	9,2	1,3	7,6	0,9
	0,2	13,7	8,3	12,7	6,4	11,1	4,4	9,2	2,7	7,6	1,8
	0,3	13,7	13,0	12,7	10,0	11,1	6,9	9,2	4,1	7,6	2,8
	0,4	13,7	20,7	12,7	15,2	11,1	9,6	9,2	5,5	7,6	3,7
	0,5	13,7	55,3	12,7	30,4	11,1	15,4	9,2	7,3	7,6	4,7
	0,6	13,7	91,5	12,7	54,3	11,1	25,2	9,2	9,0	7,6	5,7
	0,7	13,7	112,0	12,7	73,0	11,1	41,7	9,2	12,7	7,6	6,9
	0,8	13,7	132,0	12,7	98,5	11,1	59,7	9,2	16,2	7,6	8,1

H = 11,00m ; D = 1,50m ; L = 25m											
		$\alpha = 10^\circ$		$\alpha = 30^\circ$		$\alpha = 45^\circ$		$\alpha = 60^\circ$		$\alpha = 80^\circ$	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	19,9	26,2	17,7	19,1	15,5	12,6	13,0	8,7	9,8	7,8
	0,2	19,9	55,7	17,7	40,7	15,5	30,7	13,0	27,4	9,8	26,8
	0,3	19,9	91,6	17,7	70,3	15,5	52,0	13,0	45,4	9,8	46,3
	0,4	19,9	109,8	17,7	85,4	15,5	63,3	13,0	62,6	9,8	70,1
	0,5	19,9	138,8	17,7	107,0	15,5	80,4	13,0	81,2	9,8	95,9
	0,6	19,9	204,5	17,7	158,0	15,5	105,1	13,0	104,3	9,8	122,1
	0,7	19,9	243,8	17,7	202,7	15,5	147,5	13,0	134,1	9,8	142,9
	0,8	19,9	294,9	17,7	237,9	15,5	180,8	13,0	167,2	9,8	178,8
PC2	0,1	21,2	26,2	18,8	19,1	16,6	12,6	13,7	8,7	10,3	7,8
	0,2	21,2	55,5	18,8	41,0	16,6	30,6	13,7	28,1	10,3	27,6
	0,3	21,2	94,9	18,8	74,1	16,6	53,6	13,7	49,5	10,3	47,0
	0,4	21,2	112,5	18,8	87,9	16,6	63,7	13,7	63,2	10,3	68,2
	0,5	21,2	130,7	18,8	102,6	16,6	83,1	13,7	81,2	10,3	89,9
	0,6	21,2	189,2	18,8	140,1	16,6	98,8	13,7	97,9	10,3	111,2
	0,7	21,2	233,9	18,8	188,2	16,6	132,1	13,7	123,7	10,3	138,4
	0,8	21,2	279,6	18,8	223,6	16,6	169,9	13,7	153,5	10,3	165,9
PC3	0,1	22,4	26,2	20,1	19,1	17,7	12,6	14,5	8,7	10,9	7,8
	0,2	22,4	57,6	20,1	43,7	17,7	31,4	14,5	28,1	10,9	28,4
	0,3	22,4	101,5	20,1	78,2	17,7	56,0	14,5	53,1	10,9	47,2
	0,4	22,4	120,1	20,1	92,6	17,7	67,5	14,5	64,1	10,9	67,1
	0,5	22,4	138,0	20,1	105,6	17,7	82,0	14,5	81,0	10,9	89,8
	0,6	22,4	178,0	20,1	133,9	17,7	96,8	14,5	94,1	10,9	104,5
	0,7	22,4	230,9	20,1	179,7	17,7	124,5	14,5	114,5	10,9	136,2
	0,8	22,4	272,4	20,1	217,8	17,7	160,7	14,5	147,7	10,9	160,2
PC4	0,1	21,6	21,0	19,5	16,3	17,0	11,9	14,2	8,1	10,9	6,4
	0,2	21,6	53,0	19,5	36,8	17,0	22,8	14,2	16,8	10,9	14,6
	0,3	21,6	81,8	19,5	61,8	17,0	44,5	14,2	35,6	10,9	36,4
	0,4	21,6	112,0	19,5	89,9	17,0	64,0	14,2	50,4	10,9	63,7
	0,5	21,6	127,5	19,5	97,5	17,0	77,8	14,2	81,1	10,9	87,9
	0,6	21,6	174,8	19,5	132,3	17,0	97,6	14,2	101,5	10,9	116,1
	0,7	21,6	222,6	19,5	179,4	17,0	131,1	14,2	127,9	10,9	140,6
	0,8	21,6	278,3	19,5	216,7	17,0	166,9	14,2	158,5	10,9	164,0
PC5	0,1	22,2	21,0	19,8	16,3	17,2	11,9	14,5	8,1	11,1	6,4
	0,2	22,2	52,4	19,8	36,2	17,2	22,7	14,5	16,8	11,1	14,6
	0,3	22,2	79,3	19,8	59,9	17,2	45,7	14,5	36,7	11,1	36,0
	0,4	22,2	110,7	19,8	87,3	17,2	61,1	14,5	51,7	11,1	61,5
	0,5	22,2	129,4	19,8	97,5	17,2	73,7	14,5	78,4	11,1	86,1
	0,6	22,2	153,0	19,8	118,5	17,2	94,0	14,5	95,1	11,1	110,1
	0,7	22,2	205,1	19,8	160,5	17,2	113,2	14,5	120,9	11,1	135,1
	0,8	22,2	257,2	19,8	199,9	17,2	146,3	14,5	144,5	11,1	159,4
PC6	0,1	22,4	21,0	19,9	16,3	17,3	11,9	14,6	8,1	11,2	6,4
	0,2	22,4	52,9	19,9	36,0	17,3	23,2	14,6	16,8	11,2	14,6
	0,3	22,4	79,1	19,9	56,9	17,3	46,5	14,6	38,5	11,2	36,5
	0,4	22,4	109,1	19,9	83,2	17,3	60,8	14,6	53,3	11,2	57,9
	0,5	22,4	128,4	19,9	99,0	17,3	77,2	14,6	77,6	11,2	84,6
	0,6	22,4	145,8	19,9	113,5	17,3	92,4	14,6	94,4	11,2	103,1
	0,7	22,4	186,7	19,9	139,5	17,3	110,4	14,6	112,5	11,2	129,5
	0,8	22,4	238,2	19,9	184,6	17,3	130,8	14,6	136,9	11,2	153,2
PC7	0,1	23,8	20,1	22,0	15,2	19,2	10,8	15,5	7,2	12,2	5,3
	0,2	23,8	43,8	22,0	31,5	19,2	22,1	15,5	15,6	12,2	10,9
	0,3	23,8	76,2	22,0	58,5	19,2	37,8	15,5	25,5	12,2	24,9
	0,4	23,8	108,8	22,0	85,0	19,2	56,9	15,5	44,0	12,2	51,1
	0,5	23,8	131,7	22,0	111,2	19,2	75,1	15,5	67,3	12,2	83,7
	0,6	23,8	164,4	22,0	126,9	19,2	99,1	15,5	100,2	12,2	111,3
	0,7	23,8	220,6	22,0	164,1	19,2	123,5	15,5	123,7	12,2	138,2
	0,8	23,8	276,8	22,0	213,6	19,2	158,6	15,5	150,7	12,2	161,4
	0,1	24,1	20,1	22,0	15,2	19,2	10,8	15,7	7,2	12,3	5,3

PC8	0,2	24,1	43,5	22,0	31,4	19,2	22,1	15,7	15,6	12,3	10,9
	0,3	24,1	74,9	22,0	55,9	19,2	38,0	15,7	26,2	12,3	23,2
	0,4	24,1	106,1	22,0	80,5	19,2	53,3	15,7	42,8	12,3	45,3
	0,5	24,1	129,2	22,0	105,8	19,2	71,3	15,7	61,5	12,3	79,8
	0,6	24,1	152,4	22,0	118,5	19,2	95,8	15,7	97,6	12,3	106,5
	0,7	24,1	192,7	22,0	144,8	19,2	111,8	15,7	115,8	12,3	127,3
	0,8	24,1	243,4	22,0	194,3	19,2	138,8	15,7	136,6	12,3	155,4
	PC9	0,1	24,2	20,1	22,0	15,2	19,2	10,8	15,8	7,2	12,3
0,2		24,2	43,2	22,0	31,4	19,2	22,1	15,8	15,6	12,3	10,9
0,3		24,2	74,5	22,0	57,1	19,2	37,9	15,8	25,2	12,3	22,2
0,4		24,2	104,1	22,0	79,4	19,2	52,8	15,8	43,3	12,3	45,0
0,5		24,2	134,2	22,0	102,9	19,2	72,3	15,8	63,9	12,3	80,0
0,6		24,2	146,6	22,0	115,8	19,2	91,4	15,8	97,5	12,3	102,2
0,7		24,2	178,6	22,0	136,8	19,2	108,1	15,8	109,2	12,3	124,3
0,8		24,2	228,4	22,0	176,7	19,2	128,5	15,8	129,4	12,3	147,3
PC10	0,1	26,0	20,6	24,1	15,8	21,0	10,8	16,8	6,5	13,3	4,4
	0,2	26,0	41,4	24,1	33,3	21,0	20,7	16,8	13,7	13,3	9,0
	0,3	26,0	74,2	24,1	47,4	21,0	33,9	16,8	21,3	13,3	14,5
	0,4	26,0	108,5	24,1	76,1	21,0	54,3	16,8	40,0	13,3	38,7
	0,5	26,0	126,8	24,1	97,5	21,0	77,2	16,8	57,1	13,3	64,8
	0,6	26,0	164,7	24,1	122,6	21,0	93,1	16,8	92,3	13,3	109,4
	0,7	26,0	218,1	24,1	175,1	21,0	119,2	16,8	119,5	13,3	131,0
	0,8	26,0	271,7	24,1	198,3	21,0	168,5	16,8	149,1	13,3	169,7
PC11	0,1	26,1	20,6	24,1	15,8	21,0	10,8	16,9	6,5	13,4	4,4
	0,2	26,1	41,9	24,1	32,3	21,0	20,7	16,9	13,7	13,4	9,0
	0,3	26,1	71,2	24,1	47,7	21,0	32,0	16,9	21,1	13,4	14,5
	0,4	26,1	101,6	24,1	72,5	21,0	49,3	16,9	38,5	13,4	35,3
	0,5	26,1	124,8	24,1	96,5	21,0	72,2	16,9	53,2	13,4	61,5
	0,6	26,1	152,6	24,1	112,4	21,0	93,0	16,9	88,1	13,4	99,5
	0,7	26,1	192,4	24,1	152,7	21,0	108,0	16,9	112,8	13,4	127,0
	0,8	26,1	243,2	24,1	176,6	21,0	142,6	16,9	136,4	13,4	157,1
PC12	0,1	26,2	20,6	24,1	15,8	21,0	10,8	16,9	6,5	13,4	4,4
	0,2	26,2	41,5	24,1	32,0	21,0	20,7	16,9	13,7	13,4	9,0
	0,3	26,2	66,4	24,1	50,8	21,0	32,5	16,9	21,1	13,4	14,5
	0,4	26,2	100,1	24,1	70,8	21,0	48,9	16,9	39,5	13,4	34,6
	0,5	26,2	127,1	24,1	96,8	21,0	71,8	16,9	54,8	13,4	64,3
	0,6	26,2	139,3	24,1	110,3	21,0	93,0	16,9	88,2	13,4	96,9
	0,7	26,2	181,3	24,1	141,5	21,0	106,5	16,9	110,1	13,4	123,2
	0,8	26,2	220,0	24,1	172,2	21,0	131,6	16,9	129,6	13,4	145,3
PC13	0,1	28,2	19,6	26,0	15,1	22,6	10,5	18,2	6,5	14,5	4,2
	0,2	28,2	43,8	26,0	34,3	22,6	21,2	18,2	13,3	14,5	8,5
	0,3	28,2	71,8	26,0	56,2	22,6	32,1	18,2	20,7	14,5	13,1
	0,4	28,2	104,9	26,0	78,9	22,6	58,7	18,2	29,9	14,5	18,3
	0,5	28,2	123,4	26,0	102,6	22,6	73,3	18,2	54,7	14,5	60,3
	0,6	28,2	139,3	26,0	116,5	22,6	94,3	18,2	85,2	14,5	89,5
	0,7	28,2	214,0	26,0	160,0	22,6	120,6	18,2	121,8	14,5	131,9
	0,8	28,2	268,4	26,0	210,7	22,6	153,7	18,2	151,2	14,5	159,1
PC14	0,1	28,2	19,6	26,0	15,1	22,6	10,5	18,2	6,5	14,5	4,2
	0,2	28,2	43,3	26,0	34,2	22,6	21,2	18,2	13,3	14,5	8,5
	0,3	28,2	74,3	26,0	55,4	22,6	31,3	18,2	20,7	14,5	13,1
	0,4	28,2	103,9	26,0	75,5	22,6	55,0	18,2	28,9	14,5	18,3
	0,5	28,2	126,4	26,0	98,7	22,6	68,6	18,2	52,1	14,5	57,3
	0,6	28,2	143,7	26,0	109,6	22,6	90,1	18,2	73,7	14,5	84,0
	0,7	28,2	188,6	26,0	137,5	22,6	109,1	18,2	116,4	14,5	127,8
	0,8	28,2	241,7	26,0	185,0	22,6	140,1	18,2	136,4	14,5	152,0
PC15	0,1	28,2	19,6	26,0	15,1	22,6	10,5	18,2	6,5	14,5	4,2
	0,2	28,2	43,4	26,0	34,2	22,6	21,2	18,2	13,3	14,5	8,5
	0,3	28,2	74,0	26,0	56,9	22,6	31,1	18,2	20,7	14,5	13,1
	0,4	28,2	98,5	26,0	73,5	22,6	53,6	18,2	30,5	14,5	18,3
	0,5	28,2	126,2	26,0	90,3	22,6	65,4	18,2	51,1	14,5	59,1
	0,6	28,2	134,6	26,0	110,0	22,6	86,4	18,2	70,4	14,5	85,0
	0,7	28,2	171,1	26,0	132,0	22,6	104,8	18,2	112,7	14,5	123,7
	0,8	28,2	220,4	26,0	170,7	22,6	126,6	18,2	127,6	14,5	143,5

H = 9,00m ; D = 1,50m ; L = 30m											
		$\alpha = 10^\circ$		$\alpha = 30^\circ$		$\alpha = 45^\circ$		$\alpha = 60^\circ$		$\alpha = 80^\circ$	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	13,9	19,3	12,3	14,3	10,8	10,2	9,0	7,2	6,9	5,3
	0,2	13,9	45,7	12,3	31,3	10,8	25,3	9,0	17,3	6,9	16,9

PC1	0,3	13,9	84,5	12,3	61,0	10,8	39,5	9,0	36,8	6,9	36,4
	0,4	13,9	107,5	12,3	82,4	10,8	58,5	9,0	54,5	6,9	58,7
	0,5	13,9	121,9	12,3	97,8	10,8	76,4	9,0	75,5	6,9	79,8
	0,6	13,9	174,7	12,3	124,1	10,8	91,0	9,0	94,8	6,9	110,2
	0,7	13,9	224,1	12,3	177,1	10,8	126,8	9,0	119,5	6,9	137,6
	0,8	13,9	263,6	12,3	213,0	10,8	165,0	9,0	150,9	6,9	160,7
PC2	0,1	14,7	19,3	13,1	14,3	11,5	10,2	9,6	7,2	7,2	5,3
	0,2	14,7	47,6	13,1	33,2	11,5	25,1	9,6	17,8	7,2	16,8
	0,3	14,7	82,3	13,1	56,3	11,5	39,2	9,6	36,5	7,2	37,1
	0,4	14,7	105,8	13,1	78,9	11,5	58,3	9,6	52,5	7,2	55,1
	0,5	14,7	123,2	13,1	97,6	11,5	70,9	9,6	75,3	7,2	78,6
	0,6	14,7	151,4	13,1	113,7	11,5	90,0	9,6	94,4	7,2	102,3
	0,7	14,7	211,0	13,1	157,6	11,5	108,3	9,6	110,0	7,2	126,8
	0,8	14,7	243,1	13,1	199,8	11,5	148,1	9,6	137,2	7,2	154,2
PC3	0,1	15,6	19,3	13,9	14,3	12,3	10,2	10,1	7,2	7,6	5,3
	0,2	15,6	49,6	13,9	34,5	12,3	25,7	10,1	18,5	7,6	16,7
	0,3	15,6	81,3	13,9	56,4	12,3	40,3	10,1	38,7	7,6	37,6
	0,4	15,6	107,3	13,9	81,0	12,3	60,6	10,1	54,6	7,6	52,2
	0,5	15,6	124,1	13,9	98,8	12,3	69,0	10,1	76,7	7,6	77,6
	0,6	15,6	144,2	13,9	116,3	12,3	91,0	10,1	93,1	7,6	99,8
	0,7	15,6	192,0	13,9	140,3	12,3	105,6	10,1	107,8	7,6	120,9
	0,8	15,6	243,2	13,9	186,6	12,3	137,3	10,1	126,5	7,6	145,4
PC4	0,1	14,9	18,0	13,4	15,0	11,7	10,7	9,7	6,1	7,6	4,1
	0,2	14,9	42,4	13,4	30,8	11,7	20,9	9,7	13,0	7,6	8,7
	0,3	14,9	65,4	13,4	48,1	11,7	32,7	9,7	27,8	7,6	30,4
	0,4	14,9	99,4	13,4	73,1	11,7	52,1	9,7	48,5	7,6	50,8
	0,5	14,9	122,2	13,4	95,3	11,7	69,4	9,7	70,6	7,6	71,1
	0,6	14,9	152,4	13,4	109,5	11,7	89,2	9,7	90,6	7,6	97,2
	0,7	14,9	224,4	13,4	166,4	11,7	107,2	9,7	113,9	7,6	128,5
	0,8	14,9	260,2	13,4	212,7	11,7	158,4	9,7	140,6	7,6	154,2
PC5	0,1	15,2	18,0	13,6	15,0	11,8	10,7	9,9	6,1	7,7	4,1
	0,2	15,2	41,7	13,6	30,8	11,8	20,9	9,9	13,0	7,7	8,7
	0,3	15,2	62,5	13,6	47,4	11,8	29,4	9,9	28,8	7,7	30,8
	0,4	15,2	95,1	13,6	67,1	11,8	51,0	9,9	47,1	7,7	46,8
	0,5	15,2	112,9	13,6	91,5	11,8	68,9	9,9	67,3	7,7	68,2
	0,6	15,2	139,8	13,6	108,2	11,8	85,4	9,9	88,6	7,7	90,1
	0,7	15,2	190,2	13,6	137,2	11,8	103,9	9,9	108,9	7,7	118,4
	0,8	15,2	246,3	13,6	191,8	11,8	132,0	9,9	128,5	7,7	144,0
PC6	0,1	15,4	18,0	13,7	15,0	11,9	10,7	10,1	6,1	7,7	4,1
	0,2	15,4	40,6	13,7	29,5	11,9	21,6	10,1	13,0	7,7	8,7
	0,3	15,4	63,4	13,7	47,2	11,9	30,4	10,1	28,8	7,7	30,6
	0,4	15,4	92,1	13,7	65,8	11,9	51,0	10,1	46,2	7,7	45,6
	0,5	15,4	117,2	13,7	89,0	11,9	67,3	10,1	65,2	7,7	68,7
	0,6	15,4	132,9	13,7	107,5	11,9	82,9	10,1	86,4	7,7	89,7
	0,7	15,4	167,6	13,7	123,3	11,9	101,0	10,1	107,2	7,7	111,9
	0,8	15,4	221,9	13,7	167,4	11,9	116,7	10,1	123,5	7,7	135,6
PC7	0,1	16,2	15,7	15,0	12,1	13,0	8,5	10,6	5,1	8,4	3,6
	0,2	16,2	42,0	15,0	28,7	13,0	21,7	10,6	11,5	8,4	7,5
	0,3	16,2	63,1	15,0	48,7	13,0	32,4	10,6	20,7	8,4	12,8
	0,4	16,2	97,0	15,0	67,9	13,0	46,3	10,6	41,1	8,4	40,3
	0,5	16,2	116,9	15,0	95,1	13,0	68,5	10,6	68,2	8,4	69,4
	0,6	16,2	140,2	15,0	115,5	13,0	81,9	10,6	87,8	8,4	93,5
	0,7	16,2	211,8	15,0	153,6	13,0	110,5	10,6	109,0	8,4	120,5
	0,8	16,2	262,3	15,0	208,4	13,0	142,2	10,6	136,9	8,4	150,5
PC8	0,1	16,4	15,7	15,0	12,1	13,1	8,5	10,7	5,1	8,5	3,6
	0,2	16,4	41,2	15,0	28,5	13,1	22,4	10,7	11,5	8,5	7,5
	0,3	16,4	60,1	15,0	48,5	13,1	32,5	10,7	21,1	8,5	12,9
	0,4	16,4	85,2	15,0	64,9	13,1	45,3	10,7	39,7	8,5	41,1
	0,5	16,4	116,0	15,0	87,7	13,1	64,5	10,7	64,1	8,5	64,4
	0,6	16,4	140,1	15,0	106,7	13,1	81,9	10,7	83,4	8,5	87,4
	0,7	16,4	175,1	15,0	128,5	13,1	101,3	10,7	105,2	8,5	112,6
	0,8	16,4	234,2	15,0	179,9	13,1	120,6	10,7	124,2	8,5	137,3
PC9	0,1	16,5	15,7	15,1	12,1	13,1	8,5	10,8	5,1	8,5	3,6
	0,2	16,5	40,7	15,1	27,2	13,1	22,7	10,8	11,5	8,5	7,5
	0,3	16,5	56,8	15,1	47,7	13,1	33,3	10,8	21,8	8,5	12,9
	0,4	16,5	82,9	15,1	62,8	13,1	44,8	10,8	38,8	8,5	37,7
	0,5	16,5	109,2	15,1	81,9	13,1	60,1	10,8	60,7	8,5	63,2
	0,6	16,5	132,0	15,1	103,4	13,1	83,0	10,8	82,1	8,5	86,9
	0,7	16,5	159,2	15,1	119,2	13,1	97,4	10,8	102,2	8,5	108,0
	0,8	16,5	208,2	15,1	155,9	13,1	115,6	10,8	120,7	8,5	130,7
PC10	0,1	17,7	15,3	16,4	11,5	14,3	7,9	11,5	4,8	9,1	3,2
	0,2	17,7	38,5	16,4	27,7	14,3	17,0	11,5	10,3	9,1	6,5

PC10	0,3	17,7	61,4	16,4	49,6	14,3	31,4	11,5	17,9	9,1	10,1
	0,4	17,7	97,4	16,4	65,2	14,3	47,0	11,5	34,0	9,1	26,5
	0,5	17,7	120,8	16,4	100,1	14,3	64,4	11,5	57,2	9,1	55,5
	0,6	17,7	137,7	16,4	104,5	14,3	90,0	11,5	87,0	9,1	89,1
	0,7	17,7	192,5	16,4	140,1	14,3	106,0	11,5	108,7	9,1	120,2
	0,8	17,7	262,1	16,4	199,7	14,3	133,1	11,5	136,6	9,1	147,7
PC11	0,1	17,8	15,3	16,4	11,5	14,3	7,9	11,5	4,8	9,2	3,2
	0,2	17,8	36,2	16,4	29,4	14,3	16,5	11,5	10,3	9,2	6,5
	0,3	17,8	62,8	16,4	45,5	14,3	31,6	11,5	17,8	9,2	10,1
	0,4	17,8	83,4	16,4	61,8	14,3	46,5	11,5	33,5	9,2	24,7
	0,5	17,8	120,3	16,4	92,7	14,3	57,9	11,5	55,2	9,2	51,5
	0,6	17,8	129,6	16,4	110,4	14,3	81,1	11,5	81,7	9,2	82,5
PC12	0,1	17,8	15,3	16,4	11,5	14,3	7,9	11,5	4,8	9,2	3,2
	0,2	17,8	40,2	16,4	29,4	14,3	16,5	11,5	10,3	9,2	6,5
	0,3	17,8	59,5	16,4	45,1	14,3	29,7	11,5	17,7	9,2	10,1
	0,4	17,8	79,9	16,4	61,3	14,3	45,8	11,5	32,9	9,2	23,8
	0,5	17,8	112,5	16,4	86,0	14,3	54,7	11,5	55,6	9,2	50,1
	0,6	17,8	134,0	16,4	108,8	14,3	77,9	11,5	81,3	9,2	81,5
PC13	0,1	19,1	15,0	17,5	11,4	15,2	7,7	12,4	4,5	9,8	2,9
	0,2	19,1	36,6	17,5	26,2	15,2	16,4	12,4	9,3	9,8	5,8
	0,3	19,1	58,8	17,5	43,9	15,2	28,7	12,4	15,0	9,8	9,2
	0,4	19,1	90,9	17,5	66,7	15,2	42,5	12,4	27,3	9,8	13,2
	0,5	19,1	127,3	17,5	92,7	15,2	61,3	12,4	46,9	9,8	47,0
	0,6	19,1	141,5	17,5	110,2	15,2	80,8	12,4	79,0	9,8	83,4
PC14	0,1	19,1	15,0	17,6	11,4	15,4	7,7	12,4	4,5	9,9	2,9
	0,2	19,1	34,4	17,6	26,1	15,4	16,4	12,4	9,3	9,9	5,8
	0,3	19,1	53,9	17,6	43,7	15,4	29,5	12,4	15,0	9,9	9,2
	0,4	19,1	82,4	17,6	62,8	15,4	38,4	12,4	24,3	9,9	13,2
	0,5	19,1	126,2	17,6	86,6	15,4	56,0	12,4	44,9	9,9	42,6
	0,6	19,1	135,3	17,6	109,4	15,4	78,8	12,4	73,4	9,9	77,9
PC15	0,1	19,1	15,0	17,6	11,4	15,4	7,7	12,4	4,5	9,9	2,9
	0,2	19,1	34,7	17,6	25,7	15,4	16,4	12,4	9,3	9,9	5,8
	0,3	19,1	53,7	17,6	44,1	15,4	29,7	12,4	15,0	9,9	9,2
	0,4	19,1	81,1	17,6	61,6	15,4	38,6	12,4	23,6	9,9	13,2
	0,5	19,1	115,1	17,6	80,2	15,4	54,9	12,4	43,6	9,9	41,7
	0,6	19,1	137,3	17,6	109,6	15,4	74,7	12,4	72,5	9,9	75,0

Variazione in pianta della direzione di applicazione dell'azione sismica (ponte intero)

		H = 9,00m ; D = 1,50m ; L = 25m											
		$\alpha = 10^\circ$		$\alpha = 15^\circ$		$\alpha = 20^\circ$		$\alpha = 25^\circ$		$\alpha = 30^\circ$		$\alpha = 45^\circ$	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	13,1	19,4	11,6	18,0	11,0	16,4	10,2	14,6	10,2	12,8	7,3	7,7
	0,2	13,1	43,5	11,6	41,4	11,0	38,8	10,2	34,3	10,2	28,4	7,3	18,6
	0,3	13,1	81,7	11,6	76,8	11,0	70,1	10,2	62,1	10,2	51,3	7,3	27,8
	0,4	13,1	98,6	11,6	94,6	11,0	89,5	10,2	82,8	10,2	73,3	7,3	45,8
	0,5	13,1	116,1	11,6	110,4	11,0	105,2	10,2	98,8	10,2	91,9	7,3	63,0
	0,6	13,1	171,4	11,6	157,5	11,0	137,5	10,2	121,0	10,2	105,2	7,3	79,8
PC2	0,1	13,9	19,4	12,2	18,0	11,6	16,4	10,8	14,6	10,9	12,8	7,8	7,7
	0,2	13,9	46,9	12,2	44,2	11,6	41,7	10,8	36,7	10,9	29,5	7,8	19,1
	0,3	13,9	80,6	12,2	75,3	11,6	68,4	10,8	57,8	10,9	49,2	7,8	27,8
	0,4	13,9	100,9	12,2	95,9	11,6	89,5	10,8	82,1	10,9	73,7	7,8	44,8
	0,5	13,9	117,9	12,2	112,6	11,6	105,4	10,8	98,2	10,9	90,4	7,8	61,3
	0,6	13,9	148,4	12,2	137,9	11,6	124,9	10,8	113,0	10,9	105,7	7,8	76,1
PC3	0,1	14,7	19,4	12,8	18,0	12,1	16,4	11,3	14,6	11,6	12,8	8,3	7,7
	0,2	14,7	50,0	12,8	45,7	12,1	44,5	11,3	36,8	11,6	30,4	8,3	19,5
	0,3	14,7	79,7	12,8	74,7	12,1	66,8	11,3	56,2	11,6	49,4	8,3	29,3

PC3	0,4	14,7	102,8	12,8	97,6	12,1	91,9	11,3	84,4	11,6	74,7	8,3	43,9
	0,5	14,7	115,7	12,8	111,4	12,1	106,5	11,3	99,4	11,6	90,8	8,3	60,9
	0,6	14,7	140,7	12,8	131,9	12,1	123,8	11,3	114,8	11,6	106,0	8,3	74,3
PC4	0,1	14,2	18,3	12,9	17,3	12,3	16,1	11,5	14,7	11,2	13,4	8,0	8,1
	0,2	14,2	39,2	12,9	39,4	12,3	35,6	11,5	31,5	11,2	27,3	8,0	16,0
	0,3	14,2	67,1	12,9	63,2	12,3	56,6	11,5	49,0	11,2	43,0	8,0	23,4
	0,4	14,2	92,2	12,9	88,3	12,3	83,0	11,5	75,1	11,2	63,6	8,0	36,6
	0,5	14,2	114,8	12,9	107,9	12,3	100,5	11,5	94,3	11,2	86,6	8,0	52,7
	0,6	14,2	154,1	12,9	138,8	12,3	124,6	11,5	114,0	11,2	106,8	8,0	73,5
PC5	0,1	14,5	18,3	13,1	17,3	12,4	16,1	11,6	14,7	11,4	13,4	8,1	8,1
	0,2	14,5	42,6	13,1	39,2	12,4	34,8	11,6	32,3	11,4	28,6	8,1	15,5
	0,3	14,5	62,0	13,1	57,5	12,4	53,7	11,6	49,0	11,4	44,4	8,1	22,6
	0,4	14,5	91,0	13,1	86,0	12,4	79,4	11,6	70,8	11,4	61,8	8,1	35,3
	0,5	14,5	106,3	13,1	102,6	12,4	97,9	11,6	91,8	11,4	81,9	8,1	51,2
	0,6	14,5	135,5	13,1	126,0	12,4	117,2	11,6	110,8	11,4	101,0	8,1	68,4
PC6	0,1	14,7	18,3	13,2	17,3	12,5	16,1	11,6	14,7	11,5	13,4	8,1	8,1
	0,2	14,7	42,4	13,2	38,5	12,5	36,1	11,6	32,2	11,5	27,7	8,1	15,8
	0,3	14,7	61,3	13,2	59,0	12,5	55,0	11,6	51,1	11,5	39,6	8,1	23,9
	0,4	14,7	90,3	13,2	85,2	12,5	77,6	11,6	69,3	11,5	61,0	8,1	33,3
	0,5	14,7	108,1	13,2	105,7	12,5	99,6	11,6	90,8	11,5	79,8	8,1	49,6
	0,6	14,7	127,2	13,2	121,7	12,5	114,2	11,6	106,8	11,5	97,3	8,1	65,3
PC7	0,1	15,6	15,5	14,4	14,7	13,8	13,5	13,0	12,2	12,7	10,7	9,0	6,1
	0,2	15,6	37,6	14,4	35,3	13,8	34,9	13,0	32,9	12,7	26,0	9,0	17,4
	0,3	15,6	62,0	14,4	58,5	13,8	53,9	13,0	47,8	12,7	41,1	9,0	22,5
	0,4	15,6	96,5	14,4	90,1	13,8	79,2	13,0	69,5	12,7	59,6	9,0	33,7
	0,5	15,6	108,0	14,4	105,0	13,8	101,0	13,0	95,4	12,7	86,2	9,0	47,1
	0,6	15,6	139,7	14,4	129,4	13,8	119,2	13,0	115,4	12,7	104,6	9,0	63,6
PC8	0,1	15,8	15,5	14,5	14,7	13,8	13,5	13,0	12,2	12,7	10,7	9,0	6,1
	0,2	15,8	40,2	14,5	38,3	13,8	35,2	13,0	30,3	12,7	25,6	9,0	18,0
	0,3	15,8	59,6	14,5	55,9	13,8	51,1	13,0	45,0	12,7	41,9	9,0	23,7
	0,4	15,8	86,7	14,5	80,2	13,8	72,9	13,0	64,6	12,7	57,8	9,0	32,1
	0,5	15,8	110,0	14,5	106,8	13,8	100,9	13,0	90,7	12,7	77,9	9,0	43,9
	0,6	15,8	127,6	14,5	126,5	13,8	117,7	13,0	106,3	12,7	97,2	9,0	60,0
PC9	0,1	15,9	15,5	14,5	14,7	13,8	13,5	13,0	12,2	12,7	10,7	9,0	6,1
	0,2	15,9	40,9	14,5	39,7	13,8	34,6	13,0	29,9	12,7	25,9	9,0	18,4
	0,3	15,9	58,9	14,5	55,4	13,8	49,8	13,0	46,8	12,7	42,5	9,0	24,5
	0,4	15,9	81,7	14,5	76,4	13,8	70,3	13,0	65,0	12,7	58,0	9,0	30,9
	0,5	15,9	105,7	14,5	101,9	13,8	95,5	13,0	85,3	12,7	74,8	9,0	43,1
	0,6	15,9	122,8	14,5	120,6	13,8	112,2	13,0	103,6	12,7	93,5	9,0	60,1
PC10	0,1	17,1	14,7	15,8	13,8	15,1	12,8	14,3	11,5	13,9	10,1	9,9	5,9
	0,2	17,1	34,9	15,8	32,2	15,1	28,7	14,3	29,0	13,9	26,9	9,9	12,2
	0,3	17,1	63,0	15,8	59,6	15,1	51,8	14,3	50,3	13,9	42,2	9,9	20,0
	0,4	17,1	97,2	15,8	89,3	15,1	77,9	14,3	67,5	13,9	57,0	9,9	34,2
	0,5	17,1	112,8	15,8	109,4	15,1	104,1	14,3	96,4	13,9	84,5	9,9	43,1
	0,6	17,1	144,7	15,8	130,6	15,1	119,9	14,3	109,5	13,9	102,7	9,9	57,7
PC11	0,1	17,2	14,7	15,8	13,8	15,1	12,8	14,3	11,5	14,0	10,1	10,0	5,9
	0,2	17,2	33,4	15,8	30,7	15,1	30,5	14,3	29,6	14,0	25,7	10,0	12,2
	0,3	17,2	57,1	15,8	54,8	15,1	50,5	14,3	46,7	14,0	40,5	10,0	21,1
	0,4	17,2	86,6	15,8	77,9	15,1	70,6	14,3	62,5	14,0	54,8	10,0	32,8
	0,5	17,2	113,4	15,8	110,2	15,1	101,4	14,3	90,8	14,0	76,0	10,0	41,2
	0,6	17,2	130,3	15,8	125,3	15,1	114,8	14,3	107,9	14,0	97,8	10,0	55,0
PC12	0,1	17,2	14,7	15,8	13,8	15,1	12,8	14,3	11,5	14,0	10,1	10,0	5,9
	0,2	17,2	36,1	15,8	33,5	15,1	32,5	14,3	29,8	14,0	24,9	10,0	12,1
	0,3	17,2	58,0	15,8	54,4	15,1	52,6	14,3	45,5	14,0	41,3	10,0	22,7
	0,4	17,2	79,8	15,8	75,1	15,1	68,7	14,3	61,7	14,0	55,4	10,0	30,7
	0,5	17,2	107,8	15,8	103,3	15,1	95,6	14,3	85,2	14,0	71,7	10,0	40,5
	0,6	17,2	126,6	15,8	121,7	15,1	114,7	14,3	105,1	14,0	91,7	10,0	52,4
PC13	0,1	18,5	14,2	17,1	13,5	16,4	12,5	15,4	11,3	15,0	9,9	10,6	5,8
	0,2	18,5	30,0	17,1	29,8	16,4	28,1	15,4	25,7	15,0	22,4	10,6	12,4
	0,3	18,5	54,2	17,1	50,4	16,4	45,4	15,4	44,0	15,0	35,5	10,6	20,8
	0,4	18,5	76,3	17,1	78,2	16,4	75,2	15,4	66,2	15,0	57,4	10,6	29,2
	0,5	18,5	117,9	17,1	115,7	16,4	96,4	15,4	97,8	15,0	78,2	10,6	42,2
	0,6	18,5	130,0	17,1	129,1	16,4	123,0	15,4	113,3	15,0	105,5	10,6	48,8
PC14	0,1	18,5	14,2	17,1	13,5	16,4	12,5	15,5	11,3	15,0	9,9	10,6	5,8
	0,2	18,5	32,0	17,1	30,0	16,4	26,8	15,5	25,3	15,0	22,8	10,6	12,2
	0,3	18,5	54,6	17,1	48,4	16,4	44,7	15,5	41,0	15,0	34,9	10,6	20,9
	0,4	18,5	72,6	17,1	76,2	16,4	70,9	15,5	63,8	15,0	55,6	10,6	28,5
	0,5	18,5	117,5	17,1	112,0	16,4	102,5	15,5	86,5	15,0	71,7	10,6	41,4
	0,6	18,5	130,7	17,1	127,5	16,4	120,0	15,5	112,2	15,0	97,6	10,6	50,5
PC15	0,1	18,5	14,2	17,1	13,5	16,4	12,5	15,5	11,3	15,0	9,9	10,7	5,8
	0,2	18,5	31,6	17,1	29,7	16,4	27,2	15,5	25,1	15,0	22,8	10,7	12,2
	0,3	18,5	50,7	17,1	47,1	16,4	45,6	15,5	39,0	15,0	35,2	10,7	21,4

PC15	0,4	18,5	83,0	17,1	77,5	16,4	70,8	15,5	63,2	15,0	55,3	10,7	27,8
	0,5	18,5	112,0	17,1	105,3	16,4	93,0	15,5	79,7	15,0	68,7	10,7	40,4
	0,6	18,5	127,1	17,1	124,1	16,4	118,6	15,5	107,3	15,0	90,3	10,7	49,3

Variazione sghembatura in pianta (ponte intero)

		H = 9,00m ; D = 1,50m ; L = 25m											
		$\alpha = 10^\circ$		$\alpha = 15^\circ$		$\alpha = 20^\circ$		$\alpha = 25^\circ$		$\alpha = 30^\circ$		$\alpha = 45^\circ$	
Ponte campione	PGA [g]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]	X _y [mm]	X _{max} [mm]
PC1	0,1	13,5	20,5	13,5	20,5	13,5	20,5	13,5	20,5	13,5	20,5	13,5	20,5
	0,2	13,5	45,4	13,5	45,4	13,5	45,4	13,5	45,4	13,5	45,4	13,5	45,3
	0,3	13,5	85,7	13,5	85,7	13,5	85,7	13,5	85,7	13,5	85,7	13,5	85,7
	0,4	13,5	103,7	13,5	103,6	13,5	103,6	13,5	103,5	13,5	103,5	13,5	102,9
	0,5	13,5	121,1	13,5	121,1	13,5	121,1	13,5	121,1	13,5	121,0	13,5	121,1
	0,6	13,5	187,2	13,5	187,1	13,5	187,0	13,5	186,7	13,5	186,3	13,5	185,8
PC2	0,1	13,5	20,5	13,5	20,5	13,5	20,5	13,5	20,5	13,5	20,5	13,5	20,5
	0,2	13,5	49,2	13,5	49,2	13,5	49,2	13,5	49,1	13,5	49,0	13,5	48,5
	0,3	14,5	85,5	14,5	85,5	14,5	85,5	14,5	85,5	14,5	85,5	14,5	85,5
	0,4	14,5	105,8	14,5	105,7	14,5	105,7	14,5	105,6	14,5	105,5	14,5	105,0
	0,5	14,5	121,4	14,5	121,4	14,5	121,4	14,5	121,4	14,5	121,4	14,5	121,6
	0,6	14,5	162,0	14,5	162,0	14,5	162,0	14,5	161,9	14,5	161,9	14,5	161,8
PC3	0,1	14,5	20,5	14,5	20,5	14,5	20,5	14,5	20,5	14,5	20,5	14,5	20,5
	0,2	14,5	53,8	14,5	53,8	14,5	53,8	14,5	53,8	14,5	53,8	14,5	53,8
	0,3	14,5	84,9	14,5	84,9	14,5	84,9	14,5	84,9	14,5	84,9	14,5	84,9
	0,4	14,5	107,0	14,5	107,0	14,5	107,0	14,5	107,0	14,5	107,0	14,5	107,0
	0,5	15,4	121,1	15,4	121,2	15,4	121,2	15,4	121,2	15,4	121,2	15,4	121,2
	0,6	15,4	151,3	15,4	151,2	15,4	151,2	15,4	151,1	15,4	151,1	15,4	151,1
PC4	0,1	15,4	19,1	15,4	19,1	15,4	19,0	15,4	19,0	15,4	18,9	15,4	18,6
	0,2	15,4	41,7	15,4	41,7	15,4	41,7	15,4	41,7	15,4	41,7	15,4	41,8
	0,3	15,4	69,7	15,4	69,7	15,4	69,7	15,4	69,8	15,4	69,8	15,4	70,2
	0,4	15,4	94,6	15,4	94,6	15,4	94,6	15,4	94,7	15,4	94,8	15,4	95,2
	0,5	15,4	120,4	15,4	120,4	15,4	120,3	15,4	120,3	15,4	120,2	15,4	120,0
	0,6	15,4	167,1	15,4	167,1	15,4	167,1	15,4	167,2	15,4	167,3	15,4	168,0
PC5	0,1	14,5	19,1	14,5	19,1	14,5	19,0	14,5	19,0	14,5	18,9	14,5	18,6
	0,2	14,5	43,0	14,5	43,0	14,5	43,0	14,5	43,0	14,5	43,0	14,5	43,2
	0,3	14,5	65,9	14,5	65,8	14,5	65,8	14,5	65,8	14,5	65,7	14,5	65,6
	0,4	14,5	95,0	14,5	95,0	14,5	95,0	14,5	95,0	14,5	95,0	14,5	95,1
	0,5	14,5	109,5	14,5	109,5	14,5	109,5	14,5	109,6	14,5	109,6	14,5	110,1
	0,6	14,5	143,8	14,5	143,8	14,5	143,8	14,5	143,8	14,5	143,7	14,5	143,5
PC6	0,1	14,5	19,1	14,5	19,1	14,5	19,0	14,5	19,0	14,5	18,9	14,5	18,6
	0,2	14,5	43,8	14,5	43,8	14,5	43,7	14,5	43,6	14,5	43,5	14,5	42,7
	0,3	15,0	63,8	15,0	63,8	15,0	63,7	15,0	63,7	15,0	63,7	15,0	63,9
	0,4	15,0	93,2	15,0	93,3	15,0	93,3	15,0	93,3	15,0	93,4	15,0	93,6
	0,5	15,0	109,0	15,0	109,0	15,0	109,0	15,0	108,9	15,0	108,9	15,0	108,8
	0,6	15,0	134,6	15,0	134,6	15,0	134,6	15,0	134,6	15,0	134,7	15,0	135,0
PC7	0,1	15,0	16,2	15,0	16,2	15,0	16,2	15,0	16,2	15,0	16,2	15,0	16,0
	0,2	15,0	40,4	15,0	40,4	15,0	40,3	15,0	40,3	15,0	40,3	15,0	39,1
	0,3	15,0	65,7	15,0	65,8	15,0	65,9	15,0	65,3	15,0	64,7	15,0	64,6
	0,4	15,0	101,2	15,0	101,1	15,0	101,1	15,0	101,1	15,0	101,0	15,0	101,1
	0,5	15,2	114,5	15,2	114,5	15,2	114,5	15,2	114,6	15,2	114,7	15,2	115,0
	0,6	15,2	150,6	15,2	150,6	15,2	150,5	15,2	150,5	15,2	150,4	15,2	150,6
PC8	0,1	15,2	16,2	15,2	16,2	15,2	16,2	15,2	16,2	15,2	16,2	15,2	16,0
	0,2	15,2	39,4	15,2	39,5	15,2	39,6	15,2	39,8	15,2	40,0	15,2	40,8
	0,3	15,2	63,8	15,2	63,8	15,2	63,8	15,2	63,8	15,2	63,9	15,2	64,0
	0,4	15,2	94,2	15,2	94,1	15,2	94,0	15,2	93,9	15,2	93,7	15,2	93,5
	0,5	15,2	111,9	15,2	111,8	15,2	111,7	15,2	111,7	15,2	111,6	15,2	111,0
	0,6	15,2	135,6	15,2	135,7	15,2	135,7	15,2	135,7	15,2	135,7	15,2	135,8
PC9	0,1	16,0	16,2	16,0	16,2	16,0	16,2	16,0	16,2	16,0	16,2	16,0	16,0
	0,2	16,0	43,0	16,0	43,0	16,0	43,1	16,0	43,1	16,0	43,2	16,0	44,5
	0,3	16,0	62,4	16,0	62,4	16,0	62,3	16,0	62,2	16,0	62,1	16,0	62,3
	0,4	16,0	86,1	16,0	86,1	16,0	86,0	16,0	86,0	16,0	86,0	16,0	86,3
	0,5	16,0	106,5	16,0	106,5	16,0	106,5	16,0	106,4	16,0	106,4	16,0	106,1
	0,6	16,0	125,0	16,0	124,9	16,0	124,8	16,0	124,8	16,0	124,7	16,0	124,8
PC10	0,1	16,0	15,3	16,0	15,3	16,0	15,3	16,0	15,3	16,0	15,3	16,0	15,2
	0,2	16,0	38,3	16,0	38,3	16,0	38,3	16,0	38,3	16,0	38,3	16,0	38,3
	0,3	16,2	66,2	16,2	66,2	16,2	66,3	16,2	66,5	16,2	66,6	16,2	66,7
	0,4	16,2	104,1	16,2	104,2	16,2	104,4	16,2	102,8	16,2	101,2	16,2	103,8

	0,5	16,2	117,9	16,2	117,7	16,2	117,5	16,2	117,5	16,2	117,5	16,2	116,6
	0,6	16,2	147,8	16,2	147,6	16,2	147,4	16,2	147,1	16,2	146,8	16,2	144,1
PC11	0,1	16,2	15,3	16,2	15,3	16,2	15,3	16,2	15,3	16,2	15,3	16,2	15,2
	0,2	16,2	35,7	16,2	35,5	16,2	35,2	16,2	35,7	16,2	36,2	16,2	37,0
	0,3	16,2	64,7	16,2	64,0	16,2	63,3	16,2	63,1	16,2	62,9	16,2	62,1
	0,4	16,2	92,8	16,2	92,9	16,2	93,0	16,2	93,1	16,2	93,3	16,2	93,0
	0,5	16,3	116,3	16,3	116,2	16,3	116,2	16,3	116,2	16,3	116,1	16,3	115,8
	0,6	16,3	137,6	16,3	137,7	16,3	137,9	16,3	137,8	16,3	137,7	16,3	133,0
PC12	0,1	16,3	15,3	16,3	15,3	16,3	15,3	16,3	15,3	16,3	15,3	16,3	15,2
	0,2	16,3	35,3	16,3	35,5	16,3	35,7	16,3	35,7	16,3	35,8	16,3	37,5
	0,3	16,3	60,5	16,3	60,5	16,3	60,5	16,3	60,4	16,3	60,3	16,3	59,9
	0,4	16,3	86,1	16,3	86,0	16,3	86,0	16,3	85,9	16,3	85,7	16,3	85,0
	0,5	16,3	109,4	16,3	109,3	16,3	109,2	16,3	109,3	16,3	109,4	16,3	110,1
	0,6	16,3	130,0	16,3	130,1	16,3	130,2	16,3	130,2	16,3	130,2	16,3	129,6
PC13	0,1	17,5	14,9	17,5	14,9	17,5	14,9	17,5	14,9	17,5	14,9	17,5	14,8
	0,2	17,5	30,8	17,5	30,5	17,5	30,2	17,5	30,1	17,5	30,0	17,5	35,1
	0,3	17,5	59,5	17,5	59,3	17,5	59,1	17,5	58,3	17,5	57,6	17,5	61,4
	0,4	17,5	92,5	17,5	91,3	17,5	90,0	17,5	91,9	17,5	93,8	17,5	91,9
	0,5	17,5	121,5	17,5	122,8	17,5	124,2	17,5	125,1	17,5	126,1	17,5	118,7
	0,6	17,5	152,5	17,5	153,7	17,5	154,8	17,5	154,9	17,5	155,0	17,5	152,1
PC14	0,1	17,5	14,9	17,5	14,9	17,5	14,9	17,5	14,9	17,5	14,9	17,5	14,8
	0,2	17,5	32,8	17,5	33,2	17,5	33,7	17,5	34,2	17,5	34,7	17,5	36,4
	0,3	17,6	61,8	17,6	61,9	17,6	62,1	17,6	62,0	17,6	62,0	17,6	61,7
	0,4	17,6	85,5	17,6	84,8	17,6	84,1	17,6	84,1	17,6	84,0	17,6	83,5
	0,5	17,6	116,0	17,6	116,0	17,6	116,0	17,6	116,2	17,6	116,4	17,6	118,2
	0,6	17,6	136,9	17,6	136,8	17,6	136,7	17,6	136,7	17,6	136,7	17,6	136,3
PC15	0,1	17,6	14,9	17,6	14,9	17,6	14,9	17,6	14,9	17,6	14,9	17,6	14,8
	0,2	17,6	33,9	17,6	33,7	17,6	33,6	17,6	34,1	17,6	34,6	17,6	35,6
	0,3	17,6	54,2	17,6	54,2	17,6	54,2	17,6	54,1	17,6	53,9	17,6	53,3
	0,4	17,6	85,4	17,6	85,3	17,6	85,3	17,6	85,2	17,6	85,2	17,6	85,0
	0,5	17,6	113,7	17,6	113,7	17,6	113,7	17,6	113,5	17,6	113,3	17,6	113,1
	0,6	17,6	128,5	17,6	128,5	17,6	128,6	17,6	128,8	17,6	129,0	17,6	130,3

Allegato 2: Dataset per modelli di regressione

Modello a 3 parametri: H, D, L

PL1 LONGITUDINALE											
RESPONSE (Y)			PREDICTOR (X _i)								
	μ	β_c	H [m]	D [m]	L [m]	H ² [m ²]	D ² [m ²]	L ² [m ²]	HD [m ²]	HL [m ²]	DL [m ²]
1	0,1295	0,15	5	1,50	25	25	2,25	625	7,50	125	37,50
	0,1023	0,16	7	1,50	25	49	2,25	625	10,50	175	37,50
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1005	0,13	11	1,50	25	121	2,25	625	16,50	275	37,50
2	0,0918	0,11	9	1,25	25	81	1,56	625	11,25	225	31,25
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1135	0,17	9	1,75	25	81	3,06	625	15,75	225	43,75
	0,1405	0,21	9	2,00	25	81	4,00	625	18,00	225	50,00
3	0,1288	0,17	9	1,50	15	81	2,25	225	13,50	135	22,50
	0,1078	0,14	9	1,50	20	81	2,25	400	13,50	180	30,00
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,0900	0,12	9	1,50	30	81	2,25	900	13,50	270	45,00
4	0,0845	0,10	7	1,25	25	49	1,56	625	8,75	175	31,25
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1073	0,15	11	1,75	25	121	3,06	625	19,25	275	43,75
	0,1185	0,16	13	2,00	25	169	4,00	625	26,00	325	50,00
5	0,0965	0,11	9	1,25	20	81	1,56	400	11,25	180	25,00
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,0983	0,16	9	1,75	30	81	3,06	900	15,75	270	52,50
	0,1093	0,17	9	2,00	35	81	4,00	1225	18,00	315	70,00
6	0,1770	0,24	5	1,50	15	25	2,25	225	7,50	75	22,50
	0,1250	0,17	7	1,50	20	49	2,25	400	10,50	140	30,00
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,0990	0,12	11	1,50	30	121	2,25	900	16,50	330	45,00
7	0,1030	0,11	5	1,00	15	25	1,00	225	5,00	75	15,00
	0,0933	0,12	7	1,25	20	49	1,56	400	8,75	140	25,00
	0,0955	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,0990	0,14	11	1,75	30	121	3,06	900	19,25	330	52,50
	0,1083	0,14	13	2,00	35	169	4,00	1225	26,00	455	70,00

PL2 LONGITUDINALE											
RESPONSE (Y)			PREDICTOR (X _i)								
	μ	β_c	H [m]	D [m]	L [m]	H ² [m ²]	D ² [m ²]	L ² [m ²]	HD [m ²]	HL [m ²]	DL [m ²]
1	0,1911	0,15	5	1,50	25	25	2,25	625	7,50	125	37,50
	0,1661	0,16	7	1,50	25	49	2,25	625	10,50	175	37,50
	0,1684	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1828	0,13	11	1,50	25	121	2,25	625	16,50	275	37,50
2	0,1684	0,11	9	1,25	25	81	1,56	625	11,25	225	31,25
	0,1684	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1839	0,17	9	1,75	25	81	3,06	625	15,75	225	43,75
	0,2116	0,21	9	2,00	25	81	4,00	625	18,00	225	50,00
3	0,2146	0,17	9	1,50	15	81	2,25	225	13,50	135	22,50
	0,1862	0,14	9	1,50	20	81	2,25	400	13,50	180	30,00
	0,1684	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1581	0,12	9	1,50	30	81	2,25	900	13,50	270	45,00
4	0,1509	0,10	7	1,25	25	49	1,56	625	8,75	175	31,25
	0,1684	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50

4	0,1854	0,15	11	1,75	25	121	3,06	625	19,25	275	43,75
	0,2013	0,16	13	2,00	25	169	4,00	625	26,00	325	50,00
5	0,1816	0,11	9	1,25	20	81	1,56	400	11,25	180	25,00
	0,1684	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1630	0,16	9	1,75	30	81	3,06	900	15,75	270	52,50
	0,1710	0,17	9	2,00	35	81	4,00	1225	18,00	315	70,00
6	0,2605	0,24	5	1,50	15	25	2,25	225	7,50	75	22,50
	0,1964	0,17	7	1,50	20	49	2,25	400	10,50	140	30,00
	0,1684	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1756	0,12	11	1,50	30	121	2,25	900	16,50	330	45,00
7	0,1775	0,11	5	1,00	15	25	1,00	225	5,00	75	15,00
	0,1649	0,12	7	1,25	20	49	1,56	400	8,75	140	25,00
	0,1684	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1714	0,14	11	1,75	30	121	3,06	900	19,25	330	52,50
	0,1824	0,14	13	2,00	35	169	4,00	1225	26,00	455	70,00

PL3_LONGITUDINALE											
RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)									
	μ	β_c	H [m]	D [m]	L [m]	H ² [m ²]	D ² [m ²]	L ² [m ²]	HD [m ²]	HL [m ²]	DL [m ²]
1	0,2818	0,15	5	1,50	25	25	2,25	625	7,50	125	37,50
	0,2701	0,16	7	1,50	25	49	2,25	625	10,50	175	37,50
	0,2969	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,3320	0,13	11	1,50	25	121	2,25	625	16,50	275	37,50
2	0,3096	0,11	9	1,25	25	81	1,56	625	11,25	225	31,25
	0,2969	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,2984	0,17	9	1,75	25	81	3,06	625	15,75	225	43,75
	0,3193	0,21	9	2,00	25	81	4,00	625	18,00	225	50,00
3	0,3583	0,17	9	1,50	15	81	2,25	225	13,50	135	22,50
	0,3213	0,14	9	1,50	20	81	2,25	400	13,50	180	30,00
	0,2969	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,2774	0,12	9	1,50	30	81	2,25	900	13,50	270	45,00
4	0,2706	0,10	7	1,25	25	49	1,56	625	8,75	175	31,25
	0,2969	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,3208	0,15	11	1,75	25	121	3,06	625	19,25	275	43,75
	0,3427	0,16	13	2,00	25	169	4,00	625	26,00	325	50,00
5	0,3408	0,11	9	1,25	20	81	1,56	400	11,25	180	25,00
	0,2969	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,2711	0,16	9	1,75	30	81	3,06	900	15,75	270	52,50
	0,2672	0,17	9	2,00	35	81	4,00	1225	18,00	315	70,00
6	0,3832	0,24	5	1,50	15	25	2,25	225	7,50	75	22,50
	0,3081	0,17	7	1,50	20	49	2,25	400	10,50	140	30,00
	0,2969	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,3115	0,12	11	1,50	30	121	2,25	900	16,50	330	45,00
7	0,3052	0,11	5	1,00	15	25	1,00	225	5,00	75	15,00
	0,2910	0,12	7	1,25	20	49	1,56	400	8,75	140	25,00
	0,2969	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,2969	0,14	11	1,75	30	121	3,06	900	19,25	330	52,50
	0,3066	0,14	13	2,00	35	169	4,00	1225	26,00	455	70,00

PL4_LONGITUDINALE											
RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)									
	μ	β_c	H [m]	D [m]	L [m]	H ² [m ²]	D ² [m ²]	L ² [m ²]	HD [m ²]	HL [m ²]	DL [m ²]
1	0,3860	0,15	5	1,50	25	25	2,25	625	7,50	125	37,50
	0,3996	0,16	7	1,50	25	49	2,25	625	10,50	175	37,50
	0,4694	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,5369	0,13	11	1,50	25	121	2,25	625	16,50	275	37,50
2	0,5066	0,11	9	1,25	25	81	1,56	625	11,25	225	31,25
	0,4694	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4406	0,17	9	1,75	25	81	3,06	625	15,75	225	43,75
	0,4444	0,21	9	2,00	25	81	4,00	625	18,00	225	50,00
3	0,5415	0,17	9	1,50	15	81	2,25	225	13,50	135	22,50
	0,4997	0,14	9	1,50	20	81	2,25	400	13,50	180	30,00
	0,4694	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4376	0,12	9	1,50	30	81	2,25	900	13,50	270	45,00

4	0,4330	0,10	7	1,25	25	49	1,56	625	8,75	175	31,25
	0,4694	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4990	0,15	11	1,75	25	121	3,06	625	19,25	275	43,75
	0,5255	0,16	13	2,00	25	169	4,00	625	26,00	325	50,00
5	0,5665	0,11	9	1,25	20	81	1,56	400	11,25	180	25,00
	0,4694	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4080	0,16	9	1,75	30	81	3,06	900	15,75	270	52,50
	0,3830	0,17	9	2,00	35	81	4,00	1225	18,00	315	70,00
6	0,5233	0,24	5	1,50	15	25	2,25	225	7,50	75	22,50
	0,4436	0,17	7	1,50	20	49	2,25	400	10,50	140	30,00
	0,4694	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4952	0,12	11	1,50	30	121	2,25	900	16,50	330	45,00
7	0,4732	0,11	5	1,00	15	25	1,00	225	5,00	75	15,00
	0,4611	0,12	7	1,25	20	49	1,56	400	8,75	140	25,00
	0,4694	0,13	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4626	0,14	11	1,75	30	121	3,06	900	19,25	330	52,50
	0,4671	0,14	13	2,00	35	169	4,00	1225	26,00	455	70,00

PL1 TRASVERSALE											
RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)									
	μ	β_c	H [m]	D [m]	L [m]	H ² [m ²]	D ² [m ²]	L ² [m ²]	HD [m ²]	HL [m ²]	DL [m ²]
1	0,2465	0,44	5	1,50	25	25	2,25	625	7,50	125	37,50
	0,1783	0,31	7	1,50	25	49	2,25	625	10,50	175	37,50
	0,1638	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1465	0,20	11	1,50	25	121	2,25	625	16,50	275	37,50
2	0,1378	0,15	9	1,25	25	81	1,56	625	11,25	225	31,25
	0,1638	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1765	0,37	9	1,75	25	81	3,06	625	15,75	225	43,75
	0,2060	0,46	9	2,00	25	81	4,00	625	18,00	225	50,00
3	0,2043	0,38	9	1,50	15	81	2,25	225	13,50	135	22,50
	0,1803	0,28	9	1,50	20	81	2,25	400	13,50	180	30,00
	0,1638	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1485	0,19	9	1,50	30	81	2,25	900	13,50	270	45,00
4	0,1585	0,18	7	1,25	25	49	1,56	625	8,75	175	31,25
	0,1638	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1655	0,29	11	1,75	25	121	3,06	625	19,25	275	43,75
	0,1695	0,34	13	2,00	25	169	4,00	625	26,00	325	50,00
5	0,1563	0,19	9	1,25	20	81	1,56	400	11,25	180	25,00
	0,1638	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1630	0,29	9	1,75	30	81	3,06	900	15,75	270	52,50
	0,1658	0,36	9	2,00	35	81	4,00	1225	18,00	315	70,00
6	0,5590	0,37	5	1,50	15	25	2,25	225	7,50	75	22,50
	0,2055	0,40	7	1,50	20	49	2,25	400	10,50	140	30,00
	0,1638	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1300	0,17	11	1,50	30	121	2,25	900	16,50	330	45,00
7	0,2155	0,23	5	1,00	15	25	1,00	225	5,00	75	15,00
	0,1775	0,23	7	1,25	20	49	1,56	400	8,75	140	25,00
	0,1638	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1518	0,24	11	1,75	30	121	3,06	900	19,25	330	52,50
	0,1428	0,28	13	2,00	35	169	4,00	1225	26,00	455	70,00

PL2 TRASVERSALE											
RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)									
	μ	β_c	H [m]	D [m]	L [m]	H ² [m ²]	D ² [m ²]	L ² [m ²]	HD [m ²]	HL [m ²]	DL [m ²]
1	0,4000	0,44	5	1,50	25	25	2,25	625	7,50	125	37,50
	0,2597	0,31	7	1,50	25	49	2,25	625	10,50	175	37,50
	0,2377	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,2207	0,20	11	1,50	25	121	2,25	625	16,50	275	37,50
2	0,2097	0,15	9	1,25	25	81	1,56	625	11,25	225	31,25
	0,2377	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,2650	0,37	9	1,75	25	81	3,06	625	15,75	225	43,75
	0,3284	0,46	9	2,00	25	81	4,00	625	18,00	225	50,00
3	0,3200	0,38	9	1,50	15	81	2,25	225	13,50	135	22,50
	0,2662	0,28	9	1,50	20	81	2,25	400	13,50	180	30,00

3	0,2377	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,2161	0,19	9	1,50	30	81	2,25	900	13,50	270	45,00
4	0,2290	0,18	7	1,25	25	49	1,56	625	8,75	175	31,25
	0,2377	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,2461	0,29	11	1,75	25	121	3,06	625	19,25	275	43,75
	0,2601	0,34	13	2,00	25	169	4,00	625	26,00	325	50,00
5	0,2347	0,19	9	1,25	20	81	1,56	400	11,25	180	25,00
	0,2377	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,2370	0,29	9	1,75	30	81	3,06	900	15,75	270	52,50
	0,2465	0,36	9	2,00	35	81	4,00	1225	18,00	315	70,00
6	1,0461	0,37	5	1,50	15	25	2,25	225	7,50	75	22,50
	0,3166	0,40	7	1,50	20	49	2,25	400	10,50	140	30,00
	0,2377	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,1994	0,17	11	1,50	30	121	2,25	900	16,50	330	45,00
7	0,3189	0,23	5	1,00	15	25	1,00	225	5,00	75	15,00
	0,2582	0,23	7	1,25	20	49	1,56	400	8,75	140	25,00
	0,2377	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,2241	0,24	11	1,75	30	121	3,06	900	19,25	330	52,50
	0,2165	0,28	13	2,00	35	169	4,00	1225	26,00	455	70,00

PL3 TRASVERSALE											
RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)									
	μ	β_c	H [m]	D [m]	L [m]	H ² [m ²]	D ² [m ²]	L ² [m ²]	HD [m ²]	HL [m ²]	DL [m ²]
1	0,6484	0,44	5	1,50	25	25	2,25	625	7,50	125	37,50
	0,3783	0,31	7	1,50	25	49	2,25	625	10,50	175	37,50
	0,3447	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,3330	0,20	11	1,50	25	121	2,25	625	16,50	275	37,50
2	0,3188	0,15	9	1,25	25	81	1,56	625	11,25	225	31,25
	0,3447	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,3988	0,37	9	1,75	25	81	3,06	625	15,75	225	43,75
	0,5236	0,46	9	2,00	25	81	4,00	625	18,00	225	50,00
3	0,5012	0,38	9	1,50	15	81	2,25	225	13,50	135	22,50
	0,3929	0,28	9	1,50	20	81	2,25	400	13,50	180	30,00
	0,3447	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,3149	0,19	9	1,50	30	81	2,25	900	13,50	270	45,00
4	0,3305	0,18	7	1,25	25	49	1,56	625	8,75	175	31,25
	0,3447	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,3666	0,29	11	1,75	25	121	3,06	625	19,25	275	43,75
	0,3988	0,34	13	2,00	25	169	4,00	625	26,00	325	50,00
5	0,3525	0,19	9	1,25	20	81	1,56	400	11,25	180	25,00
	0,3447	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,3447	0,29	9	1,75	30	81	3,06	900	15,75	270	52,50
	0,3671	0,36	9	2,00	35	81	4,00	1225	18,00	315	70,00
6	1,8779	0,37	5	1,50	15	25	2,25	225	7,50	75	22,50
	0,4875	0,40	7	1,50	20	49	2,25	400	10,50	140	30,00
	0,3447	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,3062	0,17	11	1,50	30	121	2,25	900	16,50	330	45,00
7	0,4714	0,23	5	1,00	15	25	1,00	225	5,00	75	15,00
	0,3749	0,23	7	1,25	20	49	1,56	400	8,75	140	25,00
	0,3447	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,3305	0,24	11	1,75	30	121	3,06	900	19,25	330	52,50
	0,3281	0,28	13	2,00	35	169	4,00	1225	26,00	455	70,00

PL4 TRASVERSALE											
RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)									
	μ	β_c	H [m]	D [m]	L [m]	H ² [m ²]	D ² [m ²]	L ² [m ²]	HD [m ²]	HL [m ²]	DL [m ²]
1	0,9578	0,44	5	1,50	25	25	2,25	625	7,50	125	37,50
	0,5126	0,31	7	1,50	25	49	2,25	625	10,50	175	37,50
	0,4656	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4641	0,20	11	1,50	25	121	2,25	625	16,50	275	37,50
2	0,4474	0,15	9	1,25	25	81	1,56	625	11,25	225	31,25
	0,4656	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,5536	0,37	9	1,75	25	81	3,06	625	15,75	225	43,75
	0,7629	0,46	9	2,00	25	81	4,00	625	18,00	225	50,00

3	0,7212	0,38	9	1,50	15	81	2,25	225	13,50	135	22,50
	0,5384	0,28	9	1,50	20	81	2,25	400	13,50	180	30,00
	0,4656	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4262	0,19	9	1,50	30	81	2,25	900	13,50	270	45,00
4	0,4451	0,18	7	1,25	25	49	1,56	625	8,75	175	31,25
	0,4656	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,5051	0,29	11	1,75	25	121	3,06	625	19,25	275	43,75
	0,5634	0,34	13	2,00	25	169	4,00	625	26,00	325	50,00
5	0,4891	0,19	9	1,25	20	81	1,56	400	11,25	180	25,00
	0,4656	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4664	0,29	9	1,75	30	81	3,06	900	15,75	270	52,50
	0,5058	0,36	9	2,00	35	81	4,00	1225	18,00	315	70,00
6	2,8809	0,37	5	1,50	15	25	2,25	225	7,50	75	22,50
	0,6924	0,40	7	1,50	20	49	2,25	400	10,50	140	30,00
	0,4656	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4323	0,17	11	1,50	30	121	2,25	900	16,50	330	45,00
7	0,6469	0,23	5	1,00	15	25	1,00	225	5,00	75	15,00
	0,5073	0,23	7	1,25	20	49	1,56	400	8,75	140	25,00
	0,4656	0,23	9	1,50	25	81	2,25	625	13,50	225	37,50
	0,4527	0,24	11	1,75	30	121	3,06	900	19,25	330	52,50
	0,4596	0,28	13	2,00	35	169	4,00	1225	26,00	455	70,00

Modello a 3 parametri: H/D, L, N

PL1 LONGITUDINALE							
	RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)				
	μ	β_c	H [m]	D [m]	H/D [l]	L [m]	N [l]
1	0,1533	0,20	5	1,50	3,3	25	2
	0,1220	0,21	7	1,50	4,7	25	2
	0,1105	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,1160	0,17	11	1,50	7,3	25	2
2	0,1038	0,15	9	1,25	7,2	25	2
	0,1105	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,1368	0,22	9	1,75	5,1	25	2
	0,1770	0,28	9	2,00	4,5	25	2
3	0,1553	0,22	9	1,50	6,0	15	2
	0,1268	0,19	9	1,50	6,0	20	2
	0,1105	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,1028	0,16	9	1,50	6,0	30	2
4	0,0940	0,13	7	1,25	5,6	25	2
	0,1105	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,1268	0,20	11	1,75	6,3	25	2
	0,1423	0,22	13	2,00	6,5	25	2
5	0,1088	0,14	9	1,25	7,2	20	2
	0,1105	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,1178	0,22	9	1,75	5,1	30	2
	0,1325	0,23	9	2,00	4,5	35	2
6	0,2330	0,33	5	1,50	3,3	15	2
	0,1515	0,23	7	1,50	4,7	20	2
	0,1105	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,1138	0,17	11	1,50	7,3	30	2
7	0,1165	0,15	5	1,00	5,0	15	2
	0,1070	0,16	7	1,25	5,6	20	2
	0,1105	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,1163	0,19	11	1,75	6,3	30	2
	0,1265	0,19	13	2,00	6,5	35	2
8	0,1370	0,17	5	1,50	3,3	25	3
	0,1085	0,17	7	1,50	4,7	25	3
	0,1003	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1055	0,14	11	1,50	7,3	25	3
9	0,0955	0,12	9	1,25	7,2	25	3
	0,1003	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1208	0,18	9	1,75	5,1	25	3
	0,1518	0,23	9	2,00	4,5	25	3

10	0,1370	0,18	9	1,50	6,0	15	3
	0,1138	0,16	9	1,50	6,0	20	3
	0,1003	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,0940	0,13	9	1,50	6,0	30	3
11	0,0875	0,11	7	1,25	5,6	25	3
	0,1003	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1135	0,16	11	1,75	6,3	25	3
	0,1260	0,18	13	2,00	6,5	25	3
12	0,1005	0,12	9	1,25	7,2	20	3
	0,1003	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1043	0,18	9	1,75	5,1	30	3
	0,1165	0,19	9	2,00	4,5	35	3
13	0,1943	0,27	5	1,50	3,3	15	3
	0,1333	0,19	7	1,50	4,7	20	3
	0,1003	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1038	0,14	11	1,50	7,3	30	3
14	0,1073	0,12	5	1,00	5,0	15	3
	0,0975	0,13	7	1,25	5,6	20	3
	0,1003	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1045	0,16	11	1,75	6,3	30	3
	0,1140	0,15	13	2,00	6,5	35	3
15	0,1295	0,15	5	1,50	3,3	25	4
	0,1023	0,16	7	1,50	4,7	25	4
	0,0955	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,1005	0,13	11	1,50	7,3	25	4
16	0,0918	0,11	9	1,25	7,2	25	4
	0,0955	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,1135	0,17	9	1,75	5,1	25	4
	0,1405	0,21	9	2,00	4,5	25	4
17	0,1288	0,17	9	1,50	6,0	15	4
	0,1078	0,14	9	1,50	6,0	20	4
	0,0955	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,0900	0,12	9	1,50	6,0	30	4
18	0,0845	0,10	7	1,25	5,6	25	4
	0,0955	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,1073	0,15	11	1,75	6,3	25	4
	0,1185	0,16	13	2,00	6,5	25	4
19	0,0965	0,11	9	1,25	7,2	20	4
	0,0955	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,0983	0,16	9	1,75	5,1	30	4
	0,1093	0,17	9	2,00	4,5	35	4
20	0,1770	0,24	5	1,50	3,3	15	4
	0,1250	0,17	7	1,50	4,7	20	4
	0,0955	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,0990	0,12	11	1,50	7,3	30	4
21	0,1030	0,11	5	1,00	5,0	15	4
	0,0933	0,12	7	1,25	5,6	20	4
	0,0955	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,0990	0,14	11	1,75	6,3	30	4
	0,1083	0,14	13	2,00	6,5	35	4
22	0,1248	0,14	5	1,50	3,3	25	5
	0,0985	0,15	7	1,50	4,7	25	5
	0,0925	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,0978	0,12	11	1,50	7,3	25	5
23	0,0893	0,10	9	1,25	7,2	25	5
	0,0925	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,1090	0,16	9	1,75	5,1	25	5
	0,1335	0,19	9	2,00	4,5	25	5
24	0,1238	0,16	9	1,50	6,0	15	5
	0,1040	0,14	9	1,50	6,0	20	5
	0,0925	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,0875	0,11	9	1,50	6,0	30	5
25	0,0825	0,09	7	1,25	5,6	25	5
	0,0925	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,1035	0,14	11	1,75	6,3	25	5
	0,1140	0,15	13	2,00	6,5	25	5
	0,0943	0,10	9	1,25	7,2	20	5

26	0,0925	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,0943	0,15	9	1,75	5,1	30	5
	0,1048	0,16	9	2,00	4,5	35	5
27	0,1670	0,23	5	1,50	3,3	15	5
	0,1200	0,16	7	1,50	4,7	20	5
	0,0925	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,0960	0,12	11	1,50	7,3	30	5
28	0,1003	0,10	5	1,00	5,0	15	5
	0,0905	0,11	7	1,25	5,6	20	5
	0,0925	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,0955	0,13	11	1,75	6,3	30	5
	0,1048	0,13	13	2,00	6,5	35	5
29	0,1213	0,13	5	1,50	3,3	25	6
	0,0958	0,14	7	1,50	4,7	25	6
	0,0903	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,0955	0,11	11	1,50	7,3	25	6
30	0,0875	0,10	9	1,25	7,2	25	6
	0,0903	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,1060	0,15	9	1,75	5,1	25	6
	0,1288	0,18	9	2,00	4,5	25	6
31	0,1200	0,15	9	1,50	6,0	15	6
	0,1013	0,13	9	1,50	6,0	20	6
	0,0903	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,0855	0,11	9	1,50	6,0	30	6
32	0,0810	0,09	7	1,25	5,6	25	6
	0,0903	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,1008	0,13	11	1,75	6,3	25	6
	0,1108	0,15	13	2,00	6,5	25	6
33	0,0923	0,09	9	1,25	7,2	20	6
	0,0903	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,0918	0,14	9	1,75	5,1	30	6
	0,1018	0,15	9	2,00	4,5	35	6
34	0,1598	0,22	5	1,50	3,3	15	6
	0,1163	0,15	7	1,50	4,7	20	6
	0,0903	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,0940	0,11	11	1,50	7,3	30	6
35	0,0983	0,10	5	1,00	5,0	15	6
	0,0885	0,11	7	1,25	5,6	20	6
	0,0903	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,0930	0,13	11	1,75	6,3	30	6
	0,1020	0,12	13	2,00	6,5	35	6
36	0,1170	0,12	5	1,50	3,3	25	8
	0,0923	0,13	7	1,50	4,7	25	8
	0,0873	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,0923	0,10	11	1,50	7,3	25	8
37	0,0850	0,09	9	1,25	7,2	25	8
	0,0873	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,1018	0,14	9	1,75	5,1	25	8
	0,1223	0,17	9	2,00	4,5	25	8
38	0,1153	0,14	9	1,50	6,0	15	8
	0,0978	0,12	9	1,50	6,0	20	8
	0,0873	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,0833	0,10	9	1,50	6,0	30	8
39	0,0793	0,08	7	1,25	5,6	25	8
	0,0873	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,0970	0,12	11	1,75	6,3	25	8
	0,1063	0,14	13	2,00	6,5	25	8
40	0,0900	0,09	9	1,25	7,2	20	8
	0,0873	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,0880	0,13	9	1,75	5,1	30	8
	0,0975	0,14	9	2,00	4,5	35	8
41	0,1503	0,20	5	1,50	3,3	15	8
	0,1113	0,14	7	1,50	4,7	20	8
	0,0873	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,0913	0,10	11	1,50	7,3	30	8
42	0,0955	0,09	5	1,00	5,0	15	8
	0,0860	0,10	7	1,25	5,6	20	8

42	0,0873	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,0898	0,12	11	1,75	6,3	30	8
	0,0985	0,12	13	2,00	6,5	35	8
43	0,1115	0,12	5	1,50	3,3	25	12
	0,0878	0,12	7	1,50	4,7	25	12
	0,0840	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,0890	0,10	11	1,50	7,3	25	12
44	0,0820	0,08	9	1,25	7,2	25	12
	0,0840	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,0963	0,13	9	1,75	5,1	25	12
	0,1145	0,16	9	2,00	4,5	25	12
45	0,1093	0,13	9	1,50	6,0	15	12
	0,0933	0,11	9	1,50	6,0	20	12
	0,0840	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,0803	0,09	9	1,50	6,0	30	12
46	0,0768	0,07	7	1,25	5,6	25	12
	0,0840	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,0925	0,11	11	1,75	6,3	25	12
	0,1010	0,12	13	2,00	6,5	25	12
47	0,0873	0,08	9	1,25	7,2	20	12
	0,0840	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,0835	0,12	9	1,75	5,1	30	12
	0,0925	0,13	9	2,00	4,5	35	12
48	0,1393	0,19	5	1,50	3,3	15	12
	0,1055	0,13	7	1,50	4,7	20	12
	0,0840	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,0878	0,09	11	1,50	7,3	30	12
49	0,0923	0,08	5	1,00	5,0	15	12
	0,0825	0,09	7	1,25	5,6	20	12
	0,0840	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,0858	0,11	11	1,75	6,3	30	12
	0,0943	0,11	13	2,00	6,5	35	12

PL2_LONGITUDINALE							
	RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)				
	μ	β_c	H [m]	D [m]	H/D [l]	L [m]	N [l]
1	0,2262	0,20	5	1,50	3,3	25	2
	0,1982	0,21	7	1,50	4,7	25	2
	0,1947	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,2104	0,17	11	1,50	7,3	25	2
2	0,1908	0,15	9	1,25	7,2	25	2
	0,1947	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,2218	0,22	9	1,75	5,1	25	2
	0,2669	0,28	9	2,00	4,5	25	2
3	0,2590	0,22	9	1,50	6,0	15	2
	0,2192	0,19	9	1,50	6,0	20	2
	0,1947	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,1803	0,16	9	1,50	6,0	30	2
4	0,1684	0,13	7	1,25	5,6	25	2
	0,1947	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,2192	0,20	11	1,75	6,3	25	2
	0,2419	0,22	13	2,00	6,5	25	2
5	0,2043	0,14	9	1,25	7,2	20	2
	0,1947	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,1956	0,22	9	1,75	5,1	30	2
	0,2069	0,23	9	2,00	4,5	35	2
6	0,3426	0,33	5	1,50	3,3	15	2
	0,2380	0,23	7	1,50	4,7	20	2
	0,1947	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,2017	0,17	11	1,50	7,3	30	2
7	0,2004	0,15	5	1,00	5,0	15	2
	0,1890	0,16	7	1,25	5,6	20	2
	0,1947	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,2013	0,19	11	1,75	6,3	30	2
	0,2131	0,19	13	2,00	6,5	35	2
	0,2020	0,17	5	1,50	3,3	25	3

8	0,1764	0,17	7	1,50	4,7	25	3
	0,1768	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1918	0,14	11	1,50	7,3	25	3
9	0,1756	0,12	9	1,25	7,2	25	3
	0,1768	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1957	0,18	9	1,75	5,1	25	3
	0,2288	0,23	9	2,00	4,5	25	3
10	0,2288	0,18	9	1,50	6,0	15	3
	0,1965	0,16	9	1,50	6,0	20	3
	0,1768	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1654	0,13	9	1,50	6,0	30	3
11	0,1567	0,11	7	1,25	5,6	25	3
	0,1768	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1961	0,16	11	1,75	6,3	25	3
	0,2142	0,18	13	2,00	6,5	25	3
12	0,1890	0,12	9	1,25	7,2	20	3
	0,1768	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1733	0,18	9	1,75	5,1	30	3
	0,1823	0,19	9	2,00	4,5	35	3
13	0,2855	0,27	5	1,50	3,3	15	3
	0,2095	0,19	7	1,50	4,7	20	3
	0,1768	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1839	0,14	11	1,50	7,3	30	3
14	0,1847	0,12	5	1,00	5,0	15	3
	0,1725	0,13	7	1,25	5,6	20	3
	0,1768	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,1811	0,16	11	1,75	6,3	30	3
	0,1918	0,15	13	2,00	6,5	35	3
15	0,1911	0,15	5	1,50	3,3	25	4
	0,1661	0,16	7	1,50	4,7	25	4
	0,1684	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,1828	0,13	11	1,50	7,3	25	4
16	0,1684	0,11	9	1,25	7,2	25	4
	0,1684	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,1839	0,17	9	1,75	5,1	25	4
	0,2116	0,21	9	2,00	4,5	25	4
17	0,2146	0,17	9	1,50	6,0	15	4
	0,1862	0,14	9	1,50	6,0	20	4
	0,1684	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,1581	0,12	9	1,50	6,0	30	4
18	0,1509	0,10	7	1,25	5,6	25	4
	0,1684	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,1854	0,15	11	1,75	6,3	25	4
	0,2013	0,16	13	2,00	6,5	25	4
19	0,1816	0,11	9	1,25	7,2	20	4
	0,1684	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,1630	0,16	9	1,75	5,1	30	4
	0,1710	0,17	9	2,00	4,5	35	4
20	0,2605	0,24	5	1,50	3,3	15	4
	0,1964	0,17	7	1,50	4,7	20	4
	0,1684	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,1756	0,12	11	1,50	7,3	30	4
21	0,1775	0,11	5	1,00	5,0	15	4
	0,1649	0,12	7	1,25	5,6	20	4
	0,1684	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,1714	0,14	11	1,75	6,3	30	4
	0,1824	0,14	13	2,00	6,5	35	4
22	0,1841	0,14	5	1,50	3,3	25	5
	0,1599	0,15	7	1,50	4,7	25	5
	0,1633	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,1774	0,12	11	1,50	7,3	25	5
23	0,1640	0,10	9	1,25	7,2	25	5
	0,1633	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,1766	0,16	9	1,75	5,1	25	5
	0,2012	0,19	9	2,00	4,5	25	5
24	0,2064	0,16	9	1,50	6,0	15	5
	0,1796	0,14	9	1,50	6,0	20	5

24	0,1633	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,1536	0,11	9	1,50	6,0	30	5
25	0,1476	0,09	7	1,25	5,6	25	5
	0,1633	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,1789	0,14	11	1,75	6,3	25	5
	0,1937	0,15	13	2,00	6,5	25	5
26	0,1770	0,10	9	1,25	7,2	20	5
	0,1633	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,1569	0,15	9	1,75	5,1	30	5
	0,1640	0,16	9	2,00	4,5	35	5
27	0,2454	0,23	5	1,50	3,3	15	5
	0,1885	0,16	7	1,50	4,7	20	5
	0,1633	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,1703	0,12	11	1,50	7,3	30	5
28	0,1726	0,10	5	1,00	5,0	15	5
	0,1599	0,11	7	1,25	5,6	20	5
	0,1633	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,1655	0,13	11	1,75	6,3	30	5
	0,1763	0,13	13	2,00	6,5	35	5
29	0,1793	0,13	5	1,50	3,3	25	6
	0,1558	0,14	7	1,50	4,7	25	6
	0,1591	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,1735	0,11	11	1,50	7,3	25	6
30	0,1610	0,10	9	1,25	7,2	25	6
	0,1591	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,1716	0,15	9	1,75	5,1	25	6
	0,1940	0,18	9	2,00	4,5	25	6
31	0,2003	0,15	9	1,50	6,0	15	6
	0,1753	0,13	9	1,50	6,0	20	6
	0,1591	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,1503	0,11	9	1,50	6,0	30	6
32	0,1452	0,09	7	1,25	5,6	25	6
	0,1591	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,1742	0,13	11	1,75	6,3	25	6
	0,1882	0,15	13	2,00	6,5	25	6
33	0,1735	0,09	9	1,25	7,2	20	6
	0,1591	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,1521	0,14	9	1,75	5,1	30	6
	0,1591	0,15	9	2,00	4,5	35	6
34	0,2352	0,22	5	1,50	3,3	15	6
	0,1826	0,15	7	1,50	4,7	20	6
	0,1591	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,1668	0,11	11	1,50	7,3	30	6
35	0,1691	0,10	5	1,00	5,0	15	6
	0,1566	0,11	7	1,25	5,6	20	6
	0,1591	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,1613	0,13	11	1,75	6,3	30	6
	0,1720	0,12	13	2,00	6,5	35	6
36	0,1726	0,12	5	1,50	3,3	25	8
	0,1497	0,13	7	1,50	4,7	25	8
	0,1541	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,1682	0,10	11	1,50	7,3	25	8
37	0,1566	0,09	9	1,25	7,2	25	8
	0,1541	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,1646	0,14	9	1,75	5,1	25	8
	0,1842	0,17	9	2,00	4,5	25	8
38	0,1921	0,14	9	1,50	6,0	15	8
	0,1689	0,12	9	1,50	6,0	20	8
	0,1541	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,1457	0,10	9	1,50	6,0	30	8
39	0,1417	0,08	7	1,25	5,6	25	8
	0,1541	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,1678	0,12	11	1,75	6,3	25	8
	0,1805	0,14	13	2,00	6,5	25	8
40	0,1689	0,09	9	1,25	7,2	20	8
	0,1541	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,1461	0,13	9	1,75	5,1	30	8

41	0,1523	0,14	9	2,00	4,5	35	8
	0,2211	0,20	5	1,50	3,3	15	8
	0,1747	0,14	7	1,50	4,7	20	8
	0,1541	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,1617	0,10	11	1,50	7,3	30	8
42	0,1646	0,09	5	1,00	5,0	15	8
	0,1519	0,10	7	1,25	5,6	20	8
	0,1541	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,1555	0,12	11	1,75	6,3	30	8
	0,1660	0,12	13	2,00	6,5	35	8
43	0,1647	0,12	5	1,50	3,3	25	12
	0,1428	0,12	7	1,50	4,7	25	12
	0,1482	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,1614	0,10	11	1,50	7,3	25	12
44	0,1511	0,08	9	1,25	7,2	25	12
	0,1482	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,1564	0,13	9	1,75	5,1	25	12
	0,1729	0,16	9	2,00	4,5	25	12
45	0,1822	0,13	9	1,50	6,0	15	12
	0,1614	0,11	9	1,50	6,0	20	12
	0,1482	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,1407	0,09	9	1,50	6,0	30	12
46	0,1375	0,07	7	1,25	5,6	25	12
	0,1482	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,1600	0,11	11	1,75	6,3	25	12
	0,1715	0,12	13	2,00	6,5	25	12
47	0,1636	0,08	9	1,25	7,2	20	12
	0,1482	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,1389	0,12	9	1,75	5,1	30	12
	0,1443	0,13	9	2,00	4,5	35	12
48	0,2048	0,19	5	1,50	3,3	15	12
	0,1657	0,13	7	1,50	4,7	20	12
	0,1482	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,1557	0,09	11	1,50	7,3	30	12
49	0,1589	0,08	5	1,00	5,0	15	12
	0,1460	0,09	7	1,25	5,6	20	12
	0,1482	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,1489	0,11	11	1,75	6,3	30	12
	0,1589	0,11	13	2,00	6,5	35	12

PL3_LONGITUDINALE							
	RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)				
	μ	β_c	H [m]	D [m]	H/D [l]	L [m]	N [l]
1	0,3336	0,20	5	1,50	3,3	25	2
	0,3218	0,21	7	1,50	4,7	25	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3825	0,17	11	1,50	7,3	25	2
2	0,3504	0,15	9	1,25	7,2	25	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3594	0,22	9	1,75	5,1	25	2
	0,4028	0,28	9	2,00	4,5	25	2
3	0,4320	0,22	9	1,50	6,0	15	2
	0,3786	0,19	9	1,50	6,0	20	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3167	0,16	9	1,50	6,0	30	2
4	0,3015	0,13	7	1,25	5,6	25	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3791	0,20	11	1,75	6,3	25	2
	0,4112	0,22	13	2,00	6,5	25	2
5	0,3842	0,14	9	1,25	7,2	20	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3251	0,22	9	1,75	5,1	30	2
	0,3234	0,23	9	2,00	4,5	35	2
6	0,5040	0,33	5	1,50	3,3	15	2
	0,3735	0,23	7	1,50	4,7	20	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2

	0,3578	0,17	11	1,50	7,3	30	2
7	0,3448	0,15	5	1,00	5,0	15	2
	0,3336	0,16	7	1,25	5,6	20	2
	0,3437	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,3488	0,19	11	1,75	6,3	30	2
	0,3583	0,19	13	2,00	6,5	35	2
8	0,2982	0,17	5	1,50	3,3	25	3
	0,2865	0,17	7	1,50	4,7	25	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,3483	0,14	11	1,50	7,3	25	3
9	0,3225	0,12	9	1,25	7,2	25	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,3174	0,18	9	1,75	5,1	25	3
	0,3453	0,23	9	2,00	4,5	25	3
10	0,3812	0,18	9	1,50	6,0	15	3
	0,3397	0,16	9	1,50	6,0	20	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,2901	0,13	9	1,50	6,0	30	3
11	0,2805	0,11	7	1,25	5,6	25	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,3387	0,16	11	1,75	6,3	25	3
	0,3645	0,18	13	2,00	6,5	25	3
12	0,3549	0,12	9	1,25	7,2	20	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,2881	0,18	9	1,75	5,1	30	3
	0,2850	0,19	9	2,00	4,5	35	3
13	0,4202	0,27	5	1,50	3,3	15	3
	0,3286	0,19	7	1,50	4,7	20	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,3265	0,14	11	1,50	7,3	30	3
14	0,3179	0,12	5	1,00	5,0	15	3
	0,3048	0,13	7	1,25	5,6	20	3
	0,3113	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,3134	0,16	11	1,75	6,3	30	3
	0,3230	0,15	13	2,00	6,5	35	3
15	0,2818	0,15	5	1,50	3,3	25	4
	0,2701	0,16	7	1,50	4,7	25	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,3320	0,13	11	1,50	7,3	25	4
16	0,3096	0,11	9	1,25	7,2	25	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,2984	0,17	9	1,75	5,1	25	4
	0,3193	0,21	9	2,00	4,5	25	4
17	0,3583	0,17	9	1,50	6,0	15	4
	0,3213	0,14	9	1,50	6,0	20	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,2774	0,12	9	1,50	6,0	30	4
18	0,2706	0,10	7	1,25	5,6	25	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,3208	0,15	11	1,75	6,3	25	4
	0,3427	0,16	13	2,00	6,5	25	4
19	0,3408	0,11	9	1,25	7,2	20	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,2711	0,16	9	1,75	5,1	30	4
	0,2672	0,17	9	2,00	4,5	35	4
20	0,3832	0,24	5	1,50	3,3	15	4
	0,3081	0,17	7	1,50	4,7	20	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,3115	0,12	11	1,50	7,3	30	4
21	0,3052	0,11	5	1,00	5,0	15	4
	0,2910	0,12	7	1,25	5,6	20	4
	0,2969	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,2969	0,14	11	1,75	6,3	30	4
0,3066	0,14	13	2,00	6,5	35	4	
22	0,2721	0,14	5	1,50	3,3	25	5
	0,2601	0,15	7	1,50	4,7	25	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5

	0,3218	0,12	11	1,50	7,3	25	5
23	0,3012	0,10	9	1,25	7,2	25	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,2864	0,16	9	1,75	5,1	25	5
	0,3036	0,19	9	2,00	4,5	25	5
24	0,3443	0,16	9	1,50	6,0	15	5
	0,3103	0,14	9	1,50	6,0	20	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,2697	0,11	9	1,50	6,0	30	5
25	0,2644	0,09	7	1,25	5,6	25	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,3093	0,14	11	1,75	6,3	25	5
	0,3294	0,15	13	2,00	6,5	25	5
26	0,3323	0,10	9	1,25	7,2	20	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,2606	0,15	9	1,75	5,1	30	5
	0,2563	0,16	9	2,00	4,5	35	5
27	0,3610	0,23	5	1,50	3,3	15	5
	0,2960	0,16	7	1,50	4,7	20	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,3022	0,12	11	1,50	7,3	30	5
28	0,2969	0,10	5	1,00	5,0	15	5
	0,2826	0,11	7	1,25	5,6	20	5
	0,2878	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,2864	0,13	11	1,75	6,3	30	5
	0,2969	0,13	13	2,00	6,5	35	5
29	0,2646	0,13	5	1,50	3,3	25	6
	0,2533	0,14	7	1,50	4,7	25	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,3152	0,11	11	1,50	7,3	25	6
30	0,2953	0,10	9	1,25	7,2	25	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,2783	0,15	9	1,75	5,1	25	6
	0,2925	0,18	9	2,00	4,5	25	6
31	0,3341	0,15	9	1,50	6,0	15	6
	0,3029	0,13	9	1,50	6,0	20	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,2637	0,11	9	1,50	6,0	30	6
32	0,2599	0,09	7	1,25	5,6	25	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,3010	0,13	11	1,75	6,3	25	6
	0,3194	0,15	13	2,00	6,5	25	6
33	0,3260	0,09	9	1,25	7,2	20	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,2528	0,14	9	1,75	5,1	30	6
	0,2485	0,15	9	2,00	4,5	35	6
34	0,3459	0,22	5	1,50	3,3	15	6
	0,2868	0,15	7	1,50	4,7	20	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,2958	0,11	11	1,50	7,3	30	6
35	0,2911	0,10	5	1,00	5,0	15	6
	0,2764	0,11	7	1,25	5,6	20	6
	0,2807	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,2792	0,13	11	1,75	6,3	30	6
	0,2892	0,12	13	2,00	6,5	35	6
36	0,2545	0,12	5	1,50	3,3	25	8
	0,2433	0,13	7	1,50	4,7	25	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,3048	0,10	11	1,50	7,3	25	8
37	0,2876	0,09	9	1,25	7,2	25	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2671	0,14	9	1,75	5,1	25	8
	0,2778	0,17	9	2,00	4,5	25	8
38	0,3207	0,14	9	1,50	6,0	15	8
	0,2918	0,12	9	1,50	6,0	20	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2563	0,10	9	1,50	6,0	30	8

39	0,2535	0,08	7	1,25	5,6	25	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2899	0,12	11	1,75	6,3	25	8
	0,3067	0,14	13	2,00	6,5	25	8
40	0,3174	0,09	9	1,25	7,2	20	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2428	0,13	9	1,75	5,1	30	8
	0,2382	0,14	9	2,00	4,5	35	8
41	0,3253	0,20	5	1,50	3,3	15	8
	0,2745	0,14	7	1,50	4,7	20	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2866	0,10	11	1,50	7,3	30	8
42	0,2829	0,09	5	1,00	5,0	15	8
	0,2685	0,10	7	1,25	5,6	20	8
	0,2722	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,2694	0,12	11	1,75	6,3	30	8
43	0,2792	0,12	13	2,00	6,5	35	8
	0,2425	0,12	5	1,50	3,3	25	12
	0,2320	0,12	7	1,50	4,7	25	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
44	0,2932	0,10	11	1,50	7,3	25	12
	0,2775	0,08	9	1,25	7,2	25	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,2531	0,13	9	1,75	5,1	25	12
45	0,2605	0,16	9	2,00	4,5	25	12
	0,3042	0,13	9	1,50	6,0	15	12
	0,2789	0,11	9	1,50	6,0	20	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
46	0,2471	0,09	9	1,50	6,0	30	12
	0,2458	0,07	7	1,25	5,6	25	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,2766	0,11	11	1,75	6,3	25	12
47	0,2918	0,12	13	2,00	6,5	25	12
	0,3074	0,08	9	1,25	7,2	20	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,2310	0,12	9	1,75	5,1	30	12
48	0,2255	0,13	9	2,00	4,5	35	12
	0,3010	0,19	5	1,50	3,3	15	12
	0,2605	0,13	7	1,50	4,7	20	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
49	0,2757	0,09	11	1,50	7,3	30	12
	0,2734	0,08	5	1,00	5,0	15	12
	0,2582	0,09	7	1,25	5,6	20	12
	0,2614	0,10	9	1,50	6,0	25	12
49	0,2577	0,11	11	1,75	6,3	30	12
	0,2674	0,11	13	2,00	6,5	35	12

PL4 LONGITUDINALE							
	RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)				
	μ	β _c	H [m]	D [m]	H/D [l]	L [m]	N [l]
1	0,4568	0,20	5	1,50	3,3	25	2
	0,4760	0,21	7	1,50	4,7	25	2
	0,5434	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,6186	0,17	11	1,50	7,3	25	2
2	0,5731	0,15	9	1,25	7,2	25	2
	0,5434	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,5311	0,22	9	1,75	5,1	25	2
	0,5609	0,28	9	2,00	4,5	25	2
3	0,6528	0,22	9	1,50	6,0	15	2
	0,5889	0,19	9	1,50	6,0	20	2
	0,5434	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,4996	0,16	9	1,50	6,0	30	2
4	0,4830	0,13	7	1,25	5,6	25	2
	0,5434	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,5898	0,20	11	1,75	6,3	25	2
	0,6318	0,22	13	2,00	6,5	25	2

5	0,6388	0,14	9	1,25	7,2	20	2
	0,5434	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,4891	0,22	9	1,75	5,1	30	2
	0,4638	0,23	9	2,00	4,5	35	2
6	0,6878	0,33	5	1,50	3,3	15	2
	0,5381	0,23	7	1,50	4,7	20	2
	0,5434	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,5688	0,17	11	1,50	7,3	30	2
7	0,5346	0,15	5	1,00	5,0	15	2
	0,5285	0,16	7	1,25	5,6	20	2
	0,5434	0,17	9	1,50	6,0	25	2
	0,5443	0,19	11	1,75	6,3	30	2
	0,5460	0,19	13	2,00	6,5	35	2
8	0,4079	0,17	5	1,50	3,3	25	3
	0,4237	0,17	7	1,50	4,7	25	3
	0,4930	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,5639	0,14	11	1,50	7,3	25	3
9	0,5276	0,12	9	1,25	7,2	25	3
	0,4930	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,4686	0,18	9	1,75	5,1	25	3
	0,4804	0,23	9	2,00	4,5	25	3
10	0,5765	0,18	9	1,50	6,0	15	3
	0,5284	0,16	9	1,50	6,0	20	3
	0,4930	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,4575	0,13	9	1,50	6,0	30	3
11	0,4489	0,11	7	1,25	5,6	25	3
	0,4930	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,5268	0,16	11	1,75	6,3	25	3
	0,5591	0,18	13	2,00	6,5	25	3
12	0,5898	0,12	9	1,25	7,2	20	3
	0,4930	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,4339	0,18	9	1,75	5,1	30	3
	0,4087	0,19	9	2,00	4,5	35	3
13	0,5741	0,27	5	1,50	3,3	15	3
	0,4733	0,19	7	1,50	4,7	20	3
	0,4930	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,5182	0,14	11	1,50	7,3	30	3
14	0,4922	0,12	5	1,00	5,0	15	3
	0,4827	0,13	7	1,25	5,6	20	3
	0,4930	0,14	9	1,50	6,0	25	3
	0,4883	0,16	11	1,75	6,3	30	3
	0,4922	0,15	13	2,00	6,5	35	3
15	0,3860	0,15	5	1,50	3,3	25	4
	0,3996	0,16	7	1,50	4,7	25	4
	0,4694	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,5369	0,13	11	1,50	7,3	25	4
16	0,5066	0,11	9	1,25	7,2	25	4
	0,4694	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,4406	0,17	9	1,75	5,1	25	4
	0,4444	0,21	9	2,00	4,5	25	4
17	0,5415	0,17	9	1,50	6,0	15	4
	0,4997	0,14	9	1,50	6,0	20	4
	0,4694	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,4376	0,12	9	1,50	6,0	30	4
18	0,4330	0,10	7	1,25	5,6	25	4
	0,4694	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,4990	0,15	11	1,75	6,3	25	4
	0,5255	0,16	13	2,00	6,5	25	4
19	0,5665	0,11	9	1,25	7,2	20	4
	0,4694	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,4080	0,16	9	1,75	5,1	30	4
	0,3830	0,17	9	2,00	4,5	35	4
20	0,5233	0,24	5	1,50	3,3	15	4
	0,4436	0,17	7	1,50	4,7	20	4
	0,4694	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,4952	0,12	11	1,50	7,3	30	4
	0,4732	0,11	5	1,00	5,0	15	4

21	0,4611	0,12	7	1,25	5,6	20	4
	0,4694	0,13	9	1,50	6,0	25	4
	0,4626	0,14	11	1,75	6,3	30	4
	0,4671	0,14	13	2,00	6,5	35	4
22	0,3719	0,14	5	1,50	3,3	25	5
	0,3845	0,15	7	1,50	4,7	25	5
	0,4552	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,5214	0,12	11	1,50	7,3	25	5
23	0,4924	0,10	9	1,25	7,2	25	5
	0,4552	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,4232	0,16	9	1,75	5,1	25	5
	0,4232	0,19	9	2,00	4,5	25	5
24	0,5199	0,16	9	1,50	6,0	15	5
	0,4827	0,14	9	1,50	6,0	20	5
	0,4552	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,4254	0,11	9	1,50	6,0	30	5
25	0,4232	0,09	7	1,25	5,6	25	5
	0,4552	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,4812	0,14	11	1,75	6,3	25	5
	0,5050	0,15	13	2,00	6,5	25	5
26	0,5526	0,10	9	1,25	7,2	20	5
	0,4552	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,3927	0,15	9	1,75	5,1	30	5
	0,3674	0,16	9	2,00	4,5	35	5
27	0,4931	0,23	5	1,50	3,3	15	5
	0,4262	0,16	7	1,50	4,7	20	5
	0,4552	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,4797	0,12	11	1,50	7,3	30	5
28	0,4604	0,10	5	1,00	5,0	15	5
	0,4477	0,11	7	1,25	5,6	20	5
	0,4552	0,12	9	1,50	6,0	25	5
	0,4463	0,13	11	1,75	6,3	30	5
29	0,4522	0,13	13	2,00	6,5	35	5
	0,3624	0,13	5	1,50	3,3	25	6
	0,3741	0,14	7	1,50	4,7	25	6
	0,4439	0,12	9	1,50	6,0	25	6
30	0,5101	0,11	11	1,50	7,3	25	6
	0,4829	0,10	9	1,25	7,2	25	6
	0,4439	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,4109	0,15	9	1,75	5,1	25	6
31	0,4079	0,18	9	2,00	4,5	25	6
	0,5049	0,15	9	1,50	6,0	15	6
	0,4704	0,13	9	1,50	6,0	20	6
	0,4439	0,12	9	1,50	6,0	25	6
32	0,4160	0,11	9	1,50	6,0	30	6
	0,4153	0,09	7	1,25	5,6	25	6
	0,4439	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,4682	0,13	11	1,75	6,3	25	6
33	0,4902	0,15	13	2,00	6,5	25	6
	0,5424	0,09	9	1,25	7,2	20	6
	0,4439	0,12	9	1,50	6,0	25	6
	0,3815	0,14	9	1,75	5,1	30	6
34	0,3565	0,15	9	2,00	4,5	35	6
	0,4719	0,22	5	1,50	3,3	15	6
	0,4131	0,15	7	1,50	4,7	20	6
	0,4439	0,12	9	1,50	6,0	25	6
35	0,4704	0,11	11	1,50	7,3	30	6
	0,4513	0,10	5	1,00	5,0	15	6
	0,4381	0,11	7	1,25	5,6	20	6
	0,4439	0,12	9	1,50	6,0	25	6
36	0,4351	0,13	11	1,75	6,3	30	6
	0,4410	0,12	13	2,00	6,5	35	6
	0,3487	0,12	5	1,50	3,3	25	8
	0,3603	0,13	7	1,50	4,7	25	8
	0,4299	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,4937	0,10	11	1,50	7,3	25	8
	0,4698	0,09	9	1,25	7,2	25	8

37	0,4299	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,3944	0,14	9	1,75	5,1	25	8
	0,3872	0,17	9	2,00	4,5	25	8
38	0,4843	0,14	9	1,50	6,0	15	8
	0,4539	0,12	9	1,50	6,0	20	8
	0,4299	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,4038	0,10	9	1,50	6,0	30	8
39	0,4060	0,08	7	1,25	5,6	25	8
	0,4299	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,4510	0,12	11	1,75	6,3	25	8
	0,4705	0,14	13	2,00	6,5	25	8
40	0,5278	0,09	9	1,25	7,2	20	8
	0,4299	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,3661	0,13	9	1,75	5,1	30	8
	0,3415	0,14	9	2,00	4,5	35	8
41	0,4437	0,20	5	1,50	3,3	15	8
	0,3951	0,14	7	1,50	4,7	20	8
	0,4299	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,4553	0,10	11	1,50	7,3	30	8
42	0,4386	0,09	5	1,00	5,0	15	8
	0,4249	0,10	7	1,25	5,6	20	8
	0,4299	0,11	9	1,50	6,0	25	8
	0,4198	0,12	11	1,75	6,3	30	8
	0,4256	0,12	13	2,00	6,5	35	8
43	0,3322	0,12	5	1,50	3,3	25	12
	0,3429	0,12	7	1,50	4,7	25	12
	0,4131	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,4746	0,10	11	1,50	7,3	25	12
44	0,4539	0,08	9	1,25	7,2	25	12
	0,4131	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,3744	0,13	9	1,75	5,1	25	12
	0,3630	0,16	9	2,00	4,5	25	12
45	0,4596	0,13	9	1,50	6,0	15	12
	0,4338	0,11	9	1,50	6,0	20	12
	0,4131	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,3895	0,09	9	1,50	6,0	30	12
46	0,3938	0,07	7	1,25	5,6	25	12
	0,4131	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,4303	0,11	11	1,75	6,3	25	12
	0,4474	0,12	13	2,00	6,5	25	12
47	0,5112	0,08	9	1,25	7,2	20	12
	0,4131	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,3479	0,12	9	1,75	5,1	30	12
	0,3236	0,13	9	2,00	4,5	35	12
48	0,4109	0,19	5	1,50	3,3	15	12
	0,3751	0,13	7	1,50	4,7	20	12
	0,4131	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,4381	0,09	11	1,50	7,3	30	12
49	0,4238	0,08	5	1,00	5,0	15	12
	0,4088	0,09	7	1,25	5,6	20	12
	0,4131	0,10	9	1,50	6,0	25	12
	0,4016	0,11	11	1,75	6,3	30	12
	0,4074	0,11	13	2,00	6,5	35	12

PL1 TRASVERSALE							
RESPONSE (Y)			PREDICTOR (X _i)				
	μ	β_c	H [m]	D [m]	H/D [l]	L [m]	N [l]
1	0,4063	0,60	5	1,50	3,3	25	2
	0,2540	0,42	7	1,50	4,7	25	2
	0,2115	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,1830	0,27	11	1,50	7,3	25	2
2	0,1623	0,20	9	1,25	7,2	25	2
	0,2115	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,2660	0,49	9	1,75	5,1	25	2
	0,3465	0,62	9	2,00	4,5	25	2
	0,3120	0,51	9	1,50	6,0	15	2

3	0,2478	0,38	9	1,50	6,0	20	2
	0,2115	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,1848	0,26	9	1,50	6,0	30	2
4	0,1943	0,24	7	1,25	5,6	25	2
	0,2115	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,2285	0,39	11	1,75	6,3	25	2
	0,2475	0,45	13	2,00	6,5	25	2
5	0,1928	0,25	9	1,25	7,2	20	2
	0,2115	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,2270	0,40	9	1,75	5,1	30	2
	0,2490	0,49	9	2,00	4,5	35	2
6	0,8450	0,49	5	1,50	3,3	15	2
	0,3208	0,53	7	1,50	4,7	20	2
	0,2115	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,1575	0,23	11	1,50	7,3	30	2
7	0,2780	0,30	5	1,00	5,0	15	2
	0,2300	0,31	7	1,25	5,6	20	2
	0,2115	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,1995	0,33	11	1,75	6,3	30	2
	0,1955	0,38	13	2,00	6,5	35	2
8	0,2915	0,49	5	1,50	3,3	25	3
	0,2008	0,35	7	1,50	4,7	25	3
	0,1785	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,1578	0,22	11	1,50	7,3	25	3
9	0,1455	0,16	9	1,25	7,2	25	3
	0,1785	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,2023	0,40	9	1,75	5,1	25	3
	0,2450	0,51	9	2,00	4,5	25	3
10	0,2353	0,42	9	1,50	6,0	15	3
	0,2005	0,31	9	1,50	6,0	20	3
	0,1785	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,1598	0,21	9	1,50	6,0	30	3
11	0,1698	0,20	7	1,25	5,6	25	3
	0,1785	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,1843	0,32	11	1,75	6,3	25	3
	0,1923	0,37	13	2,00	6,5	25	3
12	0,1675	0,21	9	1,25	7,2	20	3
	0,1785	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,1820	0,33	9	1,75	5,1	30	3
	0,1900	0,40	9	2,00	4,5	35	3
13	0,6420	0,41	5	1,50	3,3	15	3
	0,2385	0,44	7	1,50	4,7	20	3
	0,1785	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,1388	0,19	11	1,50	7,3	30	3
14	0,2348	0,25	5	1,00	5,0	15	3
	0,1935	0,26	7	1,25	5,6	20	3
	0,1785	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,1663	0,27	11	1,75	6,3	30	3
	0,1585	0,31	13	2,00	6,5	35	3
15	0,2465	0,44	5	1,50	3,3	25	4
	0,1783	0,31	7	1,50	4,7	25	4
	0,1638	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,1465	0,20	11	1,50	7,3	25	4
16	0,1378	0,15	9	1,25	7,2	25	4
	0,1638	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,1765	0,37	9	1,75	5,1	25	4
	0,2060	0,46	9	2,00	4,5	25	4
17	0,2043	0,38	9	1,50	6,0	15	4
	0,1803	0,28	9	1,50	6,0	20	4
	0,1638	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,1485	0,19	9	1,50	6,0	30	4
18	0,1585	0,18	7	1,25	5,6	25	4
	0,1638	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,1655	0,29	11	1,75	6,3	25	4
	0,1695	0,34	13	2,00	6,5	25	4
19	0,1563	0,19	9	1,25	7,2	20	4
	0,1638	0,23	9	1,50	6,0	25	4

19	0,1630	0,29	9	1,75	5,1	30	4
	0,1658	0,36	9	2,00	4,5	35	4
20	0,5590	0,37	5	1,50	3,3	15	4
	0,2055	0,40	7	1,50	4,7	20	4
	0,1638	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,1300	0,17	11	1,50	7,3	30	4
21	0,2155	0,23	5	1,00	5,0	15	4
	0,1775	0,23	7	1,25	5,6	20	4
	0,1638	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,1518	0,24	11	1,75	6,3	30	4
	0,1428	0,28	13	2,00	6,5	35	4
22	0,2213	0,42	5	1,50	3,3	25	5
	0,1653	0,29	7	1,50	4,7	25	5
	0,1550	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,1395	0,19	11	1,50	7,3	25	5
23	0,1330	0,14	9	1,25	7,2	25	5
	0,1550	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,1615	0,34	9	1,75	5,1	25	5
	0,1838	0,44	9	2,00	4,5	25	5
24	0,1865	0,35	9	1,50	6,0	15	5
	0,1683	0,26	9	1,50	6,0	20	5
	0,1550	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,1418	0,18	9	1,50	6,0	30	5
25	0,1518	0,17	7	1,25	5,6	25	5
	0,1550	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,1543	0,27	11	1,75	6,3	25	5
	0,1560	0,32	13	2,00	6,5	25	5
26	0,1493	0,17	9	1,25	7,2	20	5
	0,1550	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,1515	0,28	9	1,75	5,1	30	5
	0,1518	0,34	9	2,00	4,5	35	5
27	0,5108	0,34	5	1,50	3,3	15	5
	0,1868	0,37	7	1,50	4,7	20	5
	0,1550	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,1245	0,16	11	1,50	7,3	30	5
28	0,2040	0,21	5	1,00	5,0	15	5
	0,1678	0,22	7	1,25	5,6	20	5
	0,1550	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,1430	0,23	11	1,75	6,3	30	5
	0,1333	0,26	13	2,00	6,5	35	5
29	0,2045	0,40	5	1,50	3,3	25	6
	0,1563	0,28	7	1,50	4,7	25	6
	0,1488	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,1348	0,18	11	1,50	7,3	25	6
30	0,1298	0,13	9	1,25	7,2	25	6
	0,1488	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,1513	0,33	9	1,75	5,1	25	6
	0,1695	0,41	9	2,00	4,5	25	6
31	0,1743	0,34	9	1,50	6,0	15	6
	0,1600	0,25	9	1,50	6,0	20	6
	0,1488	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,1370	0,17	9	1,50	6,0	30	6
32	0,1468	0,16	7	1,25	5,6	25	6
	0,1488	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,1465	0,26	11	1,75	6,3	25	6
	0,1470	0,30	13	2,00	6,5	25	6
33	0,1445	0,17	9	1,25	7,2	20	6
	0,1488	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,1440	0,26	9	1,75	5,1	30	6
	0,1423	0,32	9	2,00	4,5	35	6
34	0,4775	0,34	5	1,50	3,3	15	6
	0,1740	0,35	7	1,50	4,7	20	6
	0,1488	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,1208	0,15	11	1,50	7,3	30	6
35	0,1960	0,20	5	1,00	5,0	15	6
	0,1610	0,21	7	1,25	5,6	20	6
	0,1488	0,20	9	1,50	6,0	25	6

35	0,1368	0,22	11	1,75	6,3	30	6
	0,1268	0,25	13	2,00	6,5	35	6
36	0,1830	0,37	5	1,50	3,3	25	8
	0,1443	0,26	7	1,50	4,7	25	8
	0,1408	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1280	0,16	11	1,50	7,3	25	8
37	0,1248	0,12	9	1,25	7,2	25	8
	0,1408	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1380	0,30	9	1,75	5,1	25	8
	0,1508	0,39	9	2,00	4,5	25	8
38	0,1585	0,31	9	1,50	6,0	15	8
	0,1490	0,23	9	1,50	6,0	20	8
	0,1408	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1305	0,16	9	1,50	6,0	30	8
39	0,1403	0,15	7	1,25	5,6	25	8
	0,1408	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1365	0,24	11	1,75	6,3	25	8
	0,1350	0,28	13	2,00	6,5	25	8
40	0,1378	0,15	9	1,25	7,2	20	8
	0,1408	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1335	0,24	9	1,75	5,1	30	8
	0,1300	0,30	9	2,00	4,5	35	8
41	0,4360	0,31	5	1,50	3,3	15	8
	0,1575	0,33	7	1,50	4,7	20	8
	0,1408	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1158	0,14	11	1,50	7,3	30	8
42	0,1853	0,19	5	1,00	5,0	15	8
	0,1520	0,19	7	1,25	5,6	20	8
	0,1408	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1288	0,20	11	1,75	6,3	30	8
	0,1180	0,23	13	2,00	6,5	35	8
43	0,1593	0,34	5	1,50	3,3	25	12
	0,1310	0,24	7	1,50	4,7	25	12
	0,1308	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1205	0,15	11	1,50	7,3	25	12
44	0,1193	0,11	9	1,25	7,2	25	12
	0,1308	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1233	0,28	9	1,75	5,1	25	12
	0,1305	0,35	9	2,00	4,5	25	12
45	0,1410	0,29	9	1,50	6,0	15	12
	0,1363	0,22	9	1,50	6,0	20	12
	0,1308	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1228	0,15	9	1,50	6,0	30	12
46	0,1325	0,14	7	1,25	5,6	25	12
	0,1308	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1248	0,22	11	1,75	6,3	25	12
	0,1215	0,26	13	2,00	6,5	25	12
47	0,1303	0,14	9	1,25	7,2	20	12
	0,1308	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1218	0,22	9	1,75	5,1	30	12
	0,1158	0,28	9	2,00	4,5	35	12
48	0,3893	0,28	5	1,50	3,3	15	12
	0,1390	0,30	7	1,50	4,7	20	12
	0,1308	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1098	0,13	11	1,50	7,3	30	12
49	0,1725	0,17	5	1,00	5,0	15	12
	0,1413	0,18	7	1,25	5,6	20	12
	0,1308	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1193	0,19	11	1,75	6,3	30	12
	0,1083	0,21	13	2,00	6,5	35	12

PL2 TRASVERSALE							
RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)					
	μ	β_c	H [m]	D [m]	H/D [l]	L [m]	N [l]
1	0,6589	0,60	5	1,50	3,3	25	2
	0,3701	0,42	7	1,50	4,7	25	2

1	0,3067	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,2756	0,27	11	1,50	7,3	25	2
2	0,2472	0,20	9	1,25	7,2	25	2
	0,3067	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,3999	0,49	9	1,75	5,1	25	2
	0,5526	0,62	9	2,00	4,5	25	2
3	0,4887	0,51	9	1,50	6,0	15	2
	0,3658	0,38	9	1,50	6,0	20	2
	0,3067	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,2691	0,26	9	1,50	6,0	30	2
4	0,2809	0,24	7	1,25	5,6	25	2
	0,3067	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,3399	0,39	11	1,75	6,3	25	2
	0,3798	0,45	13	2,00	6,5	25	2
5	0,2892	0,25	9	1,25	7,2	20	2
	0,3067	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,3303	0,40	9	1,75	5,1	30	2
	0,3706	0,49	9	2,00	4,5	35	2
6	1,5706	0,49	5	1,50	3,3	15	2
	0,4939	0,53	7	1,50	4,7	20	2
	0,3067	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,2419	0,23	11	1,50	7,3	30	2
7	0,4113	0,30	5	1,00	5,0	15	2
	0,3343	0,31	7	1,25	5,6	20	2
	0,3067	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,2944	0,33	11	1,75	6,3	30	2
	0,2966	0,38	13	2,00	6,5	35	2
8	0,4725	0,49	5	1,50	3,3	25	3
	0,2926	0,35	7	1,50	4,7	25	3
	0,2587	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,2378	0,22	11	1,50	7,3	25	3
9	0,2217	0,16	9	1,25	7,2	25	3
	0,2587	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,3040	0,40	9	1,75	5,1	25	3
	0,3906	0,51	9	2,00	4,5	25	3
10	0,3686	0,42	9	1,50	6,0	15	3
	0,2957	0,31	9	1,50	6,0	20	3
	0,2587	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,2323	0,21	9	1,50	6,0	30	3
11	0,2453	0,20	7	1,25	5,6	25	3
	0,2587	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,2741	0,32	11	1,75	6,3	25	3
	0,2949	0,37	13	2,00	6,5	25	3
12	0,2516	0,21	9	1,25	7,2	20	3
	0,2587	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,2646	0,33	9	1,75	5,1	30	3
	0,2827	0,40	9	2,00	4,5	35	3
13	1,1998	0,41	5	1,50	3,3	15	3
	0,3674	0,44	7	1,50	4,7	20	3
	0,2587	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,2126	0,19	11	1,50	7,3	30	3
14	0,3473	0,25	5	1,00	5,0	15	3
	0,2811	0,26	7	1,25	5,6	20	3
	0,2587	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,2457	0,27	11	1,75	6,3	30	3
0,2406	0,31	13	2,00	6,5	35	3	
15	0,4000	0,44	5	1,50	3,3	25	4
	0,2597	0,31	7	1,50	4,7	25	4
	0,2377	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,2207	0,20	11	1,50	7,3	25	4
16	0,2097	0,15	9	1,25	7,2	25	4
	0,2377	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,2650	0,37	9	1,75	5,1	25	4
	0,3284	0,46	9	2,00	4,5	25	4
17	0,3200	0,38	9	1,50	6,0	15	4
	0,2662	0,28	9	1,50	6,0	20	4
	0,2377	0,23	9	1,50	6,0	25	4

	0,2161	0,19	9	1,50	6,0	30	4
18	0,2290	0,18	7	1,25	5,6	25	4
	0,2377	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,2461	0,29	11	1,75	6,3	25	4
	0,2601	0,34	13	2,00	6,5	25	4
19	0,2347	0,19	9	1,25	7,2	20	4
	0,2377	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,2370	0,29	9	1,75	5,1	30	4
	0,2465	0,36	9	2,00	4,5	35	4
20	1,0461	0,37	5	1,50	3,3	15	4
	0,3166	0,40	7	1,50	4,7	20	4
	0,2377	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,1994	0,17	11	1,50	7,3	30	4
21	0,3189	0,23	5	1,00	5,0	15	4
	0,2582	0,23	7	1,25	5,6	20	4
	0,2377	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,2241	0,24	11	1,75	6,3	30	4
	0,2165	0,28	13	2,00	6,5	35	4
22	0,3589	0,42	5	1,50	3,3	25	5
	0,2406	0,29	7	1,50	4,7	25	5
	0,2250	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,2105	0,19	11	1,50	7,3	25	5
23	0,2023	0,14	9	1,25	7,2	25	5
	0,2250	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,2428	0,34	9	1,75	5,1	25	5
	0,2930	0,44	9	2,00	4,5	25	5
24	0,2919	0,35	9	1,50	6,0	15	5
	0,2484	0,26	9	1,50	6,0	20	5
	0,2250	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,2064	0,18	9	1,50	6,0	30	5
25	0,2190	0,17	7	1,25	5,6	25	5
	0,2250	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,2298	0,27	11	1,75	6,3	25	5
	0,2391	0,32	13	2,00	6,5	25	5
26	0,2242	0,17	9	1,25	7,2	20	5
	0,2250	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,2205	0,28	9	1,75	5,1	30	5
	0,2257	0,34	9	2,00	4,5	35	5
27	0,9542	0,34	5	1,50	3,3	15	5
	0,2875	0,37	7	1,50	4,7	20	5
	0,2250	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,1911	0,16	11	1,50	7,3	30	5
28	0,3020	0,21	5	1,00	5,0	15	5
	0,2436	0,22	7	1,25	5,6	20	5
	0,2250	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,2112	0,23	11	1,75	6,3	30	5
	0,2019	0,26	13	2,00	6,5	35	5
29	0,3319	0,40	5	1,50	3,3	25	6
	0,2279	0,28	7	1,50	4,7	25	6
	0,2161	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,2032	0,18	11	1,50	7,3	25	6
30	0,1973	0,13	9	1,25	7,2	25	6
	0,2161	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,2275	0,33	9	1,75	5,1	25	6
	0,2701	0,41	9	2,00	4,5	25	6
31	0,2727	0,34	9	1,50	6,0	15	6
	0,2363	0,25	9	1,50	6,0	20	6
	0,2161	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,1992	0,17	9	1,50	6,0	30	6
32	0,2120	0,16	7	1,25	5,6	25	6
	0,2161	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,2179	0,26	11	1,75	6,3	25	6
	0,2253	0,30	13	2,00	6,5	25	6
33	0,2168	0,17	9	1,25	7,2	20	6
	0,2161	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,2095	0,26	9	1,75	5,1	30	6
	0,2117	0,32	9	2,00	4,5	35	6

34	0,9000	0,34	5	1,50	3,3	15	6
	0,2679	0,35	7	1,50	4,7	20	6
	0,2161	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,1856	0,15	11	1,50	7,3	30	6
35	0,2900	0,20	5	1,00	5,0	15	6
	0,2337	0,21	7	1,25	5,6	20	6
	0,2161	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,2021	0,22	11	1,75	6,3	30	6
	0,1922	0,25	13	2,00	6,5	35	6
36	0,2969	0,37	5	1,50	3,3	25	8
	0,2103	0,26	7	1,50	4,7	25	8
	0,2041	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1932	0,16	11	1,50	7,3	25	8
37	0,1900	0,12	9	1,25	7,2	25	8
	0,2041	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,2074	0,30	9	1,75	5,1	25	8
	0,2403	0,39	9	2,00	4,5	25	8
38	0,2483	0,31	9	1,50	6,0	15	8
	0,2200	0,23	9	1,50	6,0	20	8
	0,2041	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1900	0,16	9	1,50	6,0	30	8
39	0,2026	0,15	7	1,25	5,6	25	8
	0,2041	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,2030	0,24	11	1,75	6,3	25	8
	0,2070	0,28	13	2,00	6,5	25	8
40	0,2070	0,15	9	1,25	7,2	20	8
	0,2041	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1943	0,24	9	1,75	5,1	30	8
	0,1932	0,30	9	2,00	4,5	35	8
41	0,8171	0,31	5	1,50	3,3	15	8
	0,2425	0,33	7	1,50	4,7	20	8
	0,2041	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1776	0,14	11	1,50	7,3	30	8
42	0,2737	0,19	5	1,00	5,0	15	8
	0,2208	0,19	7	1,25	5,6	20	8
	0,2041	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,1900	0,20	11	1,75	6,3	30	8
	0,1791	0,23	13	2,00	6,5	35	8
43	0,2584	0,34	5	1,50	3,3	25	12
	0,1908	0,24	7	1,50	4,7	25	12
	0,1901	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1818	0,15	11	1,50	7,3	25	12
44	0,1815	0,11	9	1,25	7,2	25	12
	0,1901	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1851	0,28	9	1,75	5,1	25	12
	0,2080	0,35	9	2,00	4,5	25	12
45	0,2205	0,29	9	1,50	6,0	15	12
	0,2012	0,22	9	1,50	6,0	20	12
	0,1901	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1786	0,15	9	1,50	6,0	30	12
46	0,1915	0,14	7	1,25	5,6	25	12
	0,1901	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1854	0,22	11	1,75	6,3	25	12
	0,1861	0,26	13	2,00	6,5	25	12
47	0,1954	0,14	9	1,25	7,2	20	12
	0,1901	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1772	0,22	9	1,75	5,1	30	12
	0,1725	0,28	9	2,00	4,5	35	12
48	0,7270	0,28	5	1,50	3,3	15	12
	0,2141	0,30	7	1,50	4,7	20	12
	0,1901	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1682	0,13	11	1,50	7,3	30	12
49	0,2552	0,17	5	1,00	5,0	15	12
	0,2055	0,18	7	1,25	5,6	20	12
	0,1901	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,1761	0,19	11	1,75	6,3	30	12
	0,1639	0,21	13	2,00	6,5	35	12

PL3 TRASVERSALE							
	RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)				
	μ	β _c	H [m]	D [m]	H/D [l]	L [m]	N [l]
1	1,0699	0,60	5	1,50	3,3	25	2
	0,5389	0,42	7	1,50	4,7	25	2
	0,4455	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,4157	0,27	11	1,50	7,3	25	2
2	0,3758	0,20	9	1,25	7,2	25	2
	0,4455	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,6013	0,49	9	1,75	5,1	25	2
	0,8803	0,62	9	2,00	4,5	25	2
3	0,7650	0,51	9	1,50	6,0	15	2
	0,5400	0,38	9	1,50	6,0	20	2
	0,4455	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,3915	0,26	9	1,50	6,0	30	2
4	0,4056	0,24	7	1,25	5,6	25	2
	0,4455	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,5057	0,39	11	1,75	6,3	25	2
	0,5828	0,45	13	2,00	6,5	25	2
5	0,4343	0,25	9	1,25	7,2	20	2
	0,4455	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,4804	0,40	9	1,75	5,1	30	2
	0,5513	0,49	9	2,00	4,5	35	2
6	2,9025	0,49	5	1,50	3,3	15	2
	0,7605	0,53	7	1,50	4,7	20	2
	0,4455	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,3713	0,23	11	1,50	7,3	30	2
7	0,6081	0,30	5	1,00	5,0	15	2
	0,4860	0,31	7	1,25	5,6	20	2
	0,4455	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,4348	0,33	11	1,75	6,3	30	2
	0,4494	0,38	13	2,00	6,5	35	2
8	0,7665	0,49	5	1,50	3,3	25	3
	0,4263	0,35	7	1,50	4,7	25	3
	0,3756	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,3589	0,22	11	1,50	7,3	25	3
9	0,3372	0,16	9	1,25	7,2	25	3
	0,3756	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,4571	0,40	9	1,75	5,1	25	3
	0,6227	0,51	9	2,00	4,5	25	3
10	0,5771	0,42	9	1,50	6,0	15	3
	0,4369	0,31	9	1,50	6,0	20	3
	0,3756	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,3382	0,21	9	1,50	6,0	30	3
11	0,3539	0,20	7	1,25	5,6	25	3
	0,3756	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,4080	0,32	11	1,75	6,3	25	3
	0,4521	0,37	13	2,00	6,5	25	3
12	0,3777	0,21	9	1,25	7,2	20	3
	0,3756	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,3853	0,33	9	1,75	5,1	30	3
	0,4202	0,40	9	2,00	4,5	35	3
13	2,1718	0,41	5	1,50	3,3	15	3
	0,5660	0,44	7	1,50	4,7	20	3
	0,3756	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,3265	0,19	11	1,50	7,3	30	3
14	0,5133	0,25	5	1,00	5,0	15	3
	0,4085	0,26	7	1,25	5,6	20	3
	0,3756	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,3625	0,27	11	1,75	6,3	30	3
	0,3645	0,31	13	2,00	6,5	35	3
15	0,6484	0,44	5	1,50	3,3	25	4
	0,3783	0,31	7	1,50	4,7	25	4
	0,3447	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,3330	0,20	11	1,50	7,3	25	4
16	0,3188	0,15	9	1,25	7,2	25	4
	0,3447	0,23	9	1,50	6,0	25	4

16	0,3988	0,37	9	1,75	5,1	25	4
	0,5236	0,46	9	2,00	4,5	25	4
17	0,5012	0,38	9	1,50	6,0	15	4
	0,3929	0,28	9	1,50	6,0	20	4
	0,3447	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,3149	0,19	9	1,50	6,0	30	4
18	0,3305	0,18	7	1,25	5,6	25	4
	0,3447	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,3666	0,29	11	1,75	6,3	25	4
	0,3988	0,34	13	2,00	6,5	25	4
19	0,3525	0,19	9	1,25	7,2	20	4
	0,3447	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,3447	0,29	9	1,75	5,1	30	4
	0,3671	0,36	9	2,00	4,5	35	4
20	1,8779	0,37	5	1,50	3,3	15	4
	0,4875	0,40	7	1,50	4,7	20	4
	0,3447	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,3062	0,17	11	1,50	7,3	30	4
21	0,4714	0,23	5	1,00	5,0	15	4
	0,3749	0,23	7	1,25	5,6	20	4
	0,3447	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,3305	0,24	11	1,75	6,3	30	4
	0,3281	0,28	13	2,00	6,5	35	4
22	0,5824	0,42	5	1,50	3,3	25	5
	0,3505	0,29	7	1,50	4,7	25	5
	0,3266	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,3170	0,19	11	1,50	7,3	25	5
23	0,3079	0,14	9	1,25	7,2	25	5
	0,3266	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,3648	0,34	9	1,75	5,1	25	5
	0,4671	0,44	9	2,00	4,5	25	5
24	0,4571	0,35	9	1,50	6,0	15	5
	0,3667	0,26	9	1,50	6,0	20	5
	0,3266	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,3003	0,18	9	1,50	6,0	30	5
25	0,3165	0,17	7	1,25	5,6	25	5
	0,3266	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,3419	0,27	11	1,75	6,3	25	5
	0,3672	0,32	13	2,00	6,5	25	5
26	0,3366	0,17	9	1,25	7,2	20	5
	0,3266	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,3208	0,28	9	1,75	5,1	30	5
	0,3361	0,34	9	2,00	4,5	35	5
27	1,6997	0,34	5	1,50	3,3	15	5
	0,4427	0,37	7	1,50	4,7	20	5
	0,3266	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,2936	0,16	11	1,50	7,3	30	5
28	0,4466	0,21	5	1,00	5,0	15	5
	0,3543	0,22	7	1,25	5,6	20	5
	0,3266	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,3117	0,23	11	1,75	6,3	30	5
	0,3065	0,26	13	2,00	6,5	35	5
29	0,5377	0,40	5	1,50	3,3	25	6
	0,3317	0,28	7	1,50	4,7	25	6
	0,3133	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,3062	0,18	11	1,50	7,3	25	6
30	0,3005	0,13	9	1,25	7,2	25	6
	0,3133	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,3416	0,33	9	1,75	5,1	25	6
	0,4304	0,41	9	2,00	4,5	25	6
31	0,4271	0,34	9	1,50	6,0	15	6
	0,3487	0,25	9	1,50	6,0	20	6
	0,3133	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,2901	0,17	9	1,50	6,0	30	6
32	0,3062	0,16	7	1,25	5,6	25	6
	0,3133	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,3246	0,26	11	1,75	6,3	25	6

	0,3459	0,30	13	2,00	6,5	25	6
33	0,3256	0,17	9	1,25	7,2	20	6
	0,3133	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,3048	0,26	9	1,75	5,1	30	6
	0,3147	0,32	9	2,00	4,5	35	6
34	1,6396	0,34	5	1,50	3,3	15	6
	0,4125	0,35	7	1,50	4,7	20	6
	0,3133	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,2844	0,15	11	1,50	7,3	30	6
35	0,4286	0,20	5	1,00	5,0	15	6
	0,3397	0,21	7	1,25	5,6	20	6
	0,3133	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,2986	0,22	11	1,75	6,3	30	6
	0,2915	0,25	13	2,00	6,5	35	6
36	0,4815	0,37	5	1,50	3,3	25	8
	0,3062	0,26	7	1,50	4,7	25	8
	0,2960	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,2913	0,16	11	1,50	7,3	25	8
37	0,2894	0,12	9	1,25	7,2	25	8
	0,2960	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,3118	0,30	9	1,75	5,1	25	8
	0,3831	0,39	9	2,00	4,5	25	8
38	0,3887	0,31	9	1,50	6,0	15	8
	0,3249	0,23	9	1,50	6,0	20	8
	0,2960	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,2764	0,16	9	1,50	6,0	30	8
39	0,2927	0,15	7	1,25	5,6	25	8
	0,2960	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,3020	0,24	11	1,75	6,3	25	8
	0,3174	0,28	13	2,00	6,5	25	8
40	0,3109	0,15	9	1,25	7,2	20	8
	0,2960	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,2829	0,24	9	1,75	5,1	30	8
	0,2876	0,30	9	2,00	4,5	35	8
41	1,4830	0,31	5	1,50	3,3	15	8
	0,3733	0,33	7	1,50	4,7	20	8
	0,2960	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,2727	0,14	11	1,50	7,3	30	8
42	0,4050	0,19	5	1,00	5,0	15	8
	0,3207	0,19	7	1,25	5,6	20	8
	0,2960	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,2806	0,20	11	1,75	6,3	30	8
	0,2717	0,23	13	2,00	6,5	35	8
43	0,4188	0,34	5	1,50	3,3	25	12
	0,2780	0,24	7	1,50	4,7	25	12
	0,2757	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,2738	0,15	11	1,50	7,3	25	12
44	0,2766	0,11	9	1,25	7,2	25	12
	0,2757	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,2780	0,28	9	1,75	5,1	25	12
	0,3314	0,35	9	2,00	4,5	25	12
45	0,3456	0,29	9	1,50	6,0	15	12
	0,2973	0,22	9	1,50	6,0	20	12
	0,2757	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,2600	0,15	9	1,50	6,0	30	12
46	0,2766	0,14	7	1,25	5,6	25	12
	0,2757	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,2761	0,22	11	1,75	6,3	25	12
	0,2858	0,26	13	2,00	6,5	25	12
47	0,2932	0,14	9	1,25	7,2	20	12
	0,2757	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,2577	0,22	9	1,75	5,1	30	12
	0,2563	0,28	9	2,00	4,5	35	12
48	1,3264	0,28	5	1,50	3,3	15	12
	0,3295	0,30	7	1,50	4,7	20	12
	0,2757	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,2582	0,13	11	1,50	7,3	30	12

49	0,3774	0,17	5	1,00	5,0	15	12
	0,2982	0,18	7	1,25	5,6	20	12
	0,2757	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,2600	0,19	11	1,75	6,3	30	12
	0,2485	0,21	13	2,00	6,5	35	12

PL4 TRASVERSALE							
	RESPONSE (Y)		PREDICTOR (X _i)				
	μ	β_c	H [m]	D [m]	H/D [°]	L [m]	N [°]
1	1,5829	0,60	5	1,50	3,3	25	2
	0,7306	0,42	7	1,50	4,7	25	2
	0,6011	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,5793	0,27	11	1,50	7,3	25	2
2	0,5276	0,20	9	1,25	7,2	25	2
	0,6011	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,8348	0,49	9	1,75	5,1	25	2
	1,2819	0,62	9	2,00	4,5	25	2
3	1,1008	0,51	9	1,50	6,0	15	2
	0,7394	0,38	9	1,50	6,0	20	2
	0,6011	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,5303	0,26	9	1,50	6,0	30	2
4	0,5460	0,24	7	1,25	5,6	25	2
	0,6011	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,6974	0,39	11	1,75	6,3	25	2
	0,8225	0,45	13	2,00	6,5	25	2
5	0,6029	0,25	9	1,25	7,2	20	2
	0,6011	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,6501	0,40	9	1,75	5,1	30	2
	0,7595	0,49	9	2,00	4,5	35	2
6	4,4625	0,49	5	1,50	3,3	15	2
	1,0763	0,53	7	1,50	4,7	20	2
	0,6011	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,5250	0,23	11	1,50	7,3	30	2
7	0,8339	0,30	5	1,00	5,0	15	2
	0,6571	0,31	7	1,25	5,6	20	2
	0,6011	0,31	9	1,50	6,0	25	2
	0,5959	0,33	11	1,75	6,3	30	2
0,6291	0,38	13	2,00	6,5	35	2	
8	1,1316	0,49	5	1,50	3,3	25	3
	0,5772	0,35	7	1,50	4,7	25	3
	0,5072	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,5001	0,22	11	1,50	7,3	25	3
9	0,4733	0,16	9	1,25	7,2	25	3
	0,5072	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,6347	0,40	9	1,75	5,1	25	3
	0,9080	0,51	9	2,00	4,5	25	3
10	0,8300	0,42	9	1,50	6,0	15	3
	0,5985	0,31	9	1,50	6,0	20	3
	0,5072	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,4583	0,21	9	1,50	6,0	30	3
11	0,4764	0,20	7	1,25	5,6	25	3
	0,5072	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,5623	0,32	11	1,75	6,3	25	3
	0,6387	0,37	13	2,00	6,5	25	3
12	0,5245	0,21	9	1,25	7,2	20	3
	0,5072	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,5213	0,33	9	1,75	5,1	30	3
	0,5796	0,40	9	2,00	4,5	35	3
13	3,4296	0,41	5	1,50	3,3	15	3
	0,8025	0,44	7	1,50	4,7	20	3
	0,5072	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,4615	0,19	11	1,50	7,3	30	3
14	0,7048	0,25	5	1,00	5,0	15	3
	0,5528	0,26	7	1,25	5,6	20	3
	0,5072	0,25	9	1,50	6,0	25	3
	0,4969	0,27	11	1,75	6,3	30	3

	0,5103	0,31	13	2,00	6,5	35	3
15	0,9578	0,44	5	1,50	3,3	25	4
	0,5126	0,31	7	1,50	4,7	25	4
	0,4656	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,4641	0,20	11	1,50	7,3	25	4
16	0,4474	0,15	9	1,25	7,2	25	4
	0,4656	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,5536	0,37	9	1,75	5,1	25	4
	0,7629	0,46	9	2,00	4,5	25	4
17	0,7212	0,38	9	1,50	6,0	15	4
	0,5384	0,28	9	1,50	6,0	20	4
	0,4656	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,4262	0,19	9	1,50	6,0	30	4
18	0,4451	0,18	7	1,25	5,6	25	4
	0,4656	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,5051	0,29	11	1,75	6,3	25	4
	0,5634	0,34	13	2,00	6,5	25	4
19	0,4891	0,19	9	1,25	7,2	20	4
	0,4656	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,4664	0,29	9	1,75	5,1	30	4
	0,5058	0,36	9	2,00	4,5	35	4
20	2,8809	0,37	5	1,50	3,3	15	4
	0,6924	0,40	7	1,50	4,7	20	4
	0,4656	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,4323	0,17	11	1,50	7,3	30	4
21	0,6469	0,23	5	1,00	5,0	15	4
	0,5073	0,23	7	1,25	5,6	20	4
	0,4656	0,23	9	1,50	6,0	25	4
	0,4527	0,24	11	1,75	6,3	30	4
	0,4596	0,28	13	2,00	6,5	35	4
22	0,8628	0,42	5	1,50	3,3	25	5
	0,4745	0,29	7	1,50	4,7	25	5
	0,4410	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,4418	0,19	11	1,50	7,3	25	5
23	0,4321	0,14	9	1,25	7,2	25	5
	0,4410	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,5072	0,34	9	1,75	5,1	25	5
	0,6835	0,44	9	2,00	4,5	25	5
24	0,6567	0,35	9	1,50	6,0	15	5
	0,5020	0,26	9	1,50	6,0	20	5
	0,4410	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,4068	0,18	9	1,50	6,0	30	5
25	0,4262	0,17	7	1,25	5,6	25	5
	0,4410	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,4715	0,27	11	1,75	6,3	25	5
	0,5184	0,32	13	2,00	6,5	25	5
26	0,4671	0,17	9	1,25	7,2	20	5
	0,4410	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,4344	0,28	9	1,75	5,1	30	5
	0,4634	0,34	9	2,00	4,5	35	5
27	2,5362	0,34	5	1,50	3,3	15	5
	0,6277	0,37	7	1,50	4,7	20	5
	0,4410	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,4150	0,16	11	1,50	7,3	30	5
28	0,6121	0,21	5	1,00	5,0	15	5
	0,4790	0,22	7	1,25	5,6	20	5
	0,4410	0,21	9	1,50	6,0	25	5
	0,4269	0,23	11	1,75	6,3	30	5
	0,4291	0,26	13	2,00	6,5	35	5
29	0,8012	0,40	5	1,50	3,3	25	6
	0,4498	0,28	7	1,50	4,7	25	6
	0,4234	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,4263	0,18	11	1,50	7,3	25	6
30	0,4219	0,13	9	1,25	7,2	25	6
	0,4234	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,4748	0,33	9	1,75	5,1	25	6
	0,6277	0,41	9	2,00	4,5	25	6

31	0,6137	0,34	9	1,50	6,0	15	6
	0,4778	0,25	9	1,50	6,0	20	6
	0,4234	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,3932	0,17	9	1,50	6,0	30	6
32	0,4123	0,16	7	1,25	5,6	25	6
	0,4234	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,4476	0,26	11	1,75	6,3	25	6
	0,4888	0,30	13	2,00	6,5	25	6
33	0,4520	0,17	9	1,25	7,2	20	6
	0,4234	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,4123	0,26	9	1,75	5,1	30	6
	0,4337	0,32	9	2,00	4,5	35	6
34	2,4770	0,34	5	1,50	3,3	15	6
	0,5843	0,35	7	1,50	4,7	20	6
	0,4234	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,4020	0,15	11	1,50	7,3	30	6
35	0,5880	0,20	5	1,00	5,0	15	6
	0,4594	0,21	7	1,25	5,6	20	6
	0,4234	0,20	9	1,50	6,0	25	6
	0,4087	0,22	11	1,75	6,3	30	6
	0,4087	0,25	13	2,00	6,5	35	6
36	0,7112	0,37	5	1,50	3,3	25	8
	0,4154	0,26	7	1,50	4,7	25	8
	0,4002	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,4060	0,16	11	1,50	7,3	25	8
37	0,4060	0,12	9	1,25	7,2	25	8
	0,4002	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,4328	0,30	9	1,75	5,1	25	8
	0,5583	0,39	9	2,00	4,5	25	8
38	0,5583	0,31	9	1,50	6,0	15	8
	0,4444	0,23	9	1,50	6,0	20	8
	0,4002	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,3741	0,16	9	1,50	6,0	30	8
39	0,3937	0,15	7	1,25	5,6	25	8
	0,4002	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,4162	0,24	11	1,75	6,3	25	8
	0,4488	0,28	13	2,00	6,5	25	8
40	0,4314	0,15	9	1,25	7,2	20	8
	0,4002	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,3828	0,24	9	1,75	5,1	30	8
	0,3966	0,30	9	2,00	4,5	35	8
41	2,2185	0,31	5	1,50	3,3	15	8
	0,5293	0,33	7	1,50	4,7	20	8
	0,4002	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,3850	0,14	11	1,50	7,3	30	8
42	0,5554	0,19	5	1,00	5,0	15	8
	0,4343	0,19	7	1,25	5,6	20	8
	0,4002	0,19	9	1,50	6,0	25	8
	0,3843	0,20	11	1,75	6,3	30	8
	0,3799	0,23	13	2,00	6,5	35	8
43	0,6185	0,34	5	1,50	3,3	25	12
	0,3766	0,24	7	1,50	4,7	25	12
	0,3723	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,3816	0,15	11	1,50	7,3	25	12
44	0,3880	0,11	9	1,25	7,2	25	12
	0,3723	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,3866	0,28	9	1,75	5,1	25	12
	0,4832	0,35	9	2,00	4,5	25	12
45	0,4961	0,29	9	1,50	6,0	15	12
	0,4074	0,22	9	1,50	6,0	20	12
	0,3723	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,3522	0,15	9	1,50	6,0	30	12
46	0,3723	0,14	7	1,25	5,6	25	12
	0,3723	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,3809	0,22	11	1,75	6,3	25	12
	0,4038	0,26	13	2,00	6,5	25	12

47	0,4074	0,14	9	1,25	7,2	20	12
	0,3723	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,3486	0,22	9	1,75	5,1	30	12
	0,3537	0,28	9	2,00	4,5	35	12
48	1,9602	0,28	5	1,50	3,3	15	12
	0,4675	0,30	7	1,50	4,7	20	12
	0,3723	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,3651	0,13	11	1,50	7,3	30	12
49	0,5176	0,17	5	1,00	5,0	15	12
	0,4038	0,18	7	1,25	5,6	20	12
	0,3723	0,17	9	1,50	6,0	25	12
	0,3565	0,19	11	1,75	6,3	30	12
	0,3479	0,21	13	2,00	6,5	35	12

Bibliografia

- Aviram, Mackie K. R., Stojadinovic B.,
2008, *Guidelines for Nonlinear Analysis of Bridge Structures in California*, PEER 2008/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, California.
- Belluco E.,
2007, *Il controllo statistico della qualità con MINITAB*, FrancoAngeli ed., GMSL S.r.l., Milano.
- Calvi G. M., Priestley M. J. N., Seible F.,
1996, *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, ed. John Wiley & Sons, New York.
- Chai Y. H., Priestley M. J. N., Seible F.,
- 1992, *Design Guidelines for Assessment Retrofit and Repair of Bridges for Seismic Performance*, Report n. 92/01, University of California, San Diego, California.
- 2005, *Seismic Retrofit Manual for Highway Structures: Part 1 - Bridges*, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research (MCEER).
- Choi E.,
2002, *Seismic Analysis and Retrofit of Mid-America Bridges*. Dissertation, Georgia Institute of Technology.
- Choi E., DesRoches R., Nielson B.,
2003, "Seismic fragility of typical bridges in moderate seismic zones", *Engineering Structures*, n. 26, 2, pp. 187-199.

- Consiglio Superiore Lavori Pubblici,
2008, *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*, Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
- Cornell C., Foutch D., Hamburger R., Jalayer F.,
2002, “Probabilistic Basis for 2000 SAC Federal Emergency Management Agency Steel Moment Frame Guidelines”, *Journal of Structural Engineering*, n. 128, 4, pp. 526-533.
- Cosenza E., Manfredi G.,
2000, *Indici e misure di danno nella progettazione sismica*, CNR-GNDT.
- DesRoches R., Padgett J. E.,
2008, “Methodology for the development of analytical fragility curves for retrofitted bridges”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, n. 37, 8, pp. 1157-1174.
- Dong X., Murachi Y., Orlikowsky M., Shinozuka M., Zhou Y.,
2003, “Effect of seismic retrofit of bridges on transportation networks”, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, n. 2, 2, pp. 169-179.
- Feng M. Q., Lee J., Naganuma T., Shinozuka M.,
2000a, “Statistical analysis of fragility curves”, *Journal of Engineering Mechanics-ACSE*, n. 126, 12, pp. 1224-1231.
- Feng M. Q., Kim H. K., Kim S. H., Shinozuka M.,
2000b, “Non linear static procedure for fragility curves development”, *Journal of Engineering Mechanics-ACSE*, n. 126, 12, pp. 1287-1295.
- Franchetti P., Grendene M., Majorana C., Modena C., Secchi S.,
2007, *Fondamenti di dinamica e di ingegneria sismica*, McGraw-Hill, Milano.

- Franchin P., Lupoi A., Pinto P.E.,
2005, “On the role of road network in reducing human losses after earthquakes”,
Journal of Earthquake Engineering, n. 10, 2, pp. 195-206

- Franchin P., Lupoi A., Lupoi G., Pinto P. E.,
2006, “Seismic fragility analysis of structural systems”, *Journal of Engineering
Mechanics-ASCE*, n. 132, 4, pp. 385-395.

- Gasparini D. A., Vanmarcke E. H.,
1976, “Simulated earthquake motions compatible with prescribed response spectra”,
Massachusetts Institute Technology, n. R76, 4.

- Gregory F. L., Mazzoni S., McKenna F., Scott M. H. et al.,
2007, *OpenSees Command Language Manual*, The Regents of the University of
California.

- Grendene M., Modena C., Morbin R., Pellegrino C.,
2010, “Strategies for seismic vulnerabilità evaluation of common RC bridges
typologies”, *14ECEE - 14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid,
Republic of Macedonia (August 30th – September 3rd).

- HAZUS 99,
2001, *Technical Manual*, Chapter 7, Direct Physical Damage to Lifelines-
Transportation System.

- Hubele N. F., Montgomery D. C., Runger G. C.,
2004, *Statistica per ingegneria*, ed. EGEA.

- Hwang H., Jernigan J. B., Lin Y.,
2000, “Evaluation of seismic damage to Memphis bridges and highway systems”,
Journal of Bridge Engineering, n. 5, 4, pp. 322-330.

- Kent D. C., Park R.,
1971, “Flexural members with confined concrete”, *Journal of Structural Division*, n. 97, ST4, pp. 1969-1990.
- Kim S. H., Koshiyama S., Shinozuka M., Yi J. H.,
2002, “Fragility Curves of Concrete Bridges Retrofitted by Column Jacketing”, *Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, n. 1, 2, pp. 195-206.
- Mander J. B., Park R., Priestley M. J. N.,
1988, “Theoretical stress-strain model for confined concrete”, *Journal of Structural Engineering*, n. 114, 8, pp. 1804-1826.
- Melchers R. E.,
1999, *Structural Reliability Analysis and Prediction*, Wiley.
- Modena C., Morbin R., Pellegrino C., Zanini M. A.,
- 2013, “Seismic vulnerability of bridges in transport networks subjected to environmental deterioration”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, n. 11, 2, pp. 561-579.
- 2013, “Influence of relevant parameters on seismic vulnerability assessment of bridges”, Department of Civil, Environmental and Architecture Engineering, Università degli Studi di Padova, Padova.
- Montgomery D. C.,
2005, *Programmazione e Analisi degli Esperimenti*, McGraw-Hill, Milano.
- Monti G., Nisticò N.,
2002, “Simple Probability-Based Assessment of Bridges under Scenario Earthquakes”, *Journal of Bridge Engineering*, n. 7, 2, pp. 104-114.
- Monti G., Pinto P. E.,
2000, *Vulnerability evaluation and strengthening criteria for RC bridges*, CNR-GNDT.

- Morbin R.,
2009, *Strategie di valutazione della vulnerabilità sismica di tipologie ricorrenti di ponti stradali*, tesi di laurea, relatori: prof. ing. Modena C., dott. ing. Pellegrino C., correlatore: ing. Grendene M., Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, Università di Padova.

- OpenSees,
2009, *Open System for Earthquake Engineering Simulation*, PEER, Pacific Earthquake Engineering Research Center, version 2.1.0, University of California, Berkeley.

- Pavese A.,
2000, *Valutazione della vulnerabilità sismica dei ponti di Catania*, CNR-GNDT.

- Risk-UE,
 - 2003, *Vulnerability assessment of lifelines and essential facilities (WP06): methodological handbook*, Appendix1: Roadway transportation system, Report n. GTR-RSK 0101-152av7.
 - 2004, *An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European Town*, Risk-UE 2004, EVK4, CT 2000-00014.

- Vanmarcke E. H.,
1976, *Structural response to earthquakes in seismic risk and engineering decisions*, Elsevier, Amsterdam Oxford New York, pp. 287-337.

- Zanini M. A.,
2011, *Effetti del degrado sulla vulnerabilità sismica di manufatti di attraversamento ricorrenti*, tesi di laurea, relatori: prof. ing. Modena C., dott. ing. Pellegrino C., correlatore: ing. Carturan F., Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, Università di Padova.

Ringraziamenti

In quest'ultima parte desidero ricordare tutti coloro che mi hanno aiutato nella stesura della tesi con suggerimenti, critiche, osservazioni, ma anche soltanto con un incoraggiamento: a loro va la mia più sentita gratitudine.

Ringrazio innanzitutto il Professor Modena e il Professor Pellegrino per i preziosi insegnamenti e per l'opportunità che mi hanno dato nello svolgere questo lavoro di tesi.

Inoltre, ringrazio sentitamente l'ing. Mariano Angelo Zanini per il suo costante aiuto e la sua costante disponibilità nel dirimere i miei dubbi durante la stesura di questo elaborato, l'ing. Riccardo Morbin per il suo fondamentale supporto ed il Professor Corain per i suoi utili spunti circa i metodi statistici utilizzati.

Vorrei infine ringraziare con affetto le persone a me più care: la mia famiglia per il sostegno ed il grande aiuto che mi hanno dato, i miei amici ed in particolare tutti coloro che mi sono stati vicino in ogni momento durante questi anni di lavoro. GRAZIE!

Ora posso dirlo: sì, ce l'ho fatta!!!

Marco Temporin

