

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile
Indirizzo Strutture



Tesi di Laurea Magistrale:

LA GENERAZIONE DI SCENARI SISMICI PER LA VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI ANTISISMICHE DEI PONTI NELLA RETE VIARIA DELLA REGIONE VENETO

Relatore: Prof. Ing. Carlo Pellegrino
Correlatore: Ing. Mariano Angelo Zanini

Laureando: Erik Caretta

Anno Accademico 2012/2013

*Ai miei genitori
Ad Elisa
Ai miei compagni di studi*

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	1
1.1 Scopo del lavoro	5
1.2 La rete di ponti.....	6
1.3 Il database	7
1.4 La mappa nel sistema GIS.....	18
1.5 Le fonti dei dati inseriti	28
1.6 La procedura Risk-UE	29
2. LO SCENARIO SISMICO.....	35
2.1 Modalità di generazione dei parametri di scuotimento al suolo	47
2.2 Leggi di attenuazione: tre recenti proposte	50
2.3 Il problema degli effetti locali e delle caratteristiche del terreno.....	64
2.4 Il problema delle differenze regionali.....	68
2.5 La legge di attenuazione scelta: Bragato & Slejko (2005).....	70
2.6 Implementazione dell'attenuazione nel database	73
2.7 Scelta della posizione dell'epicentro	77
2.8 La classificazione dei terreni.....	80
3. FRAGILITA' DEI PONTI	95
3.1 Livelli di danno.....	95
3.2 Curve di fragilità.....	98
3.3 Generazione delle curve di fragilità con il metodo Risk-UE	99
3.4 Effetti dell'adeguamento antisismico sulle curve di fragilità	102
3.5 Gestione delle curve di fragilità nel database	107
3.6 Eventuale aggiornamento dei parametri relativi alle curve di fragilità	115
4. LA GENERAZIONE DELLO SCENARIO SISMICO.....	117
4.1 Il problema del fattore di struttura.....	118
4.2 Lo spettro di progetto: dall'accelerazione al suolo all'accelerazione spettrale	119
4.3 Il metodo di Montecarlo	120
4.4 Generazione dello stato di danno.....	122
4.5 Dallo stato di danno alla funzionalità residua del ponte	123
4.6 Gestione della procedura nel database	124
5. CASO STUDIO.....	133

6. CONCLUSIONI.....	147
7. APPENDICI.....	155
7.1 Le distribuzioni normale e log-normale.....	155
7.2 La misura della distanza sulla superficie terrestre	161
7.3 Misure di distanza per il calcolo dell'attenuazione	163
7.4 Misure di magnitudo	164
7.5 Cartografia Sismica Pianura della Provincia di Treviso	166
7.6 Tabella calcolo perdite dirette	168
7.7 Codice di calcolo.....	169
8. BIBLIOGRAFIA.....	187

Indice delle figure

<i>Figura 1 - L'Aquila, 6/4/09: crollo di un edificio residenziale</i>	1
<i>Figura 2 - Emilia Romagna, 20/5/12: edificio storico danneggiato</i>	2
<i>Figura 3 - Emilia Romagna, 20/5/12: crollo di un edificio industriale</i>	2
<i>Figura 4 - Diagramma che illustra una possibile configurazione di un sistema di questo tipo</i>	4
<i>Figura 5 - La rete di ponti: in nero tutti i manufatti, in rosso quelli già correttamente inseriti e quindi utilizzati nella generazione dello scenario sismico</i>	6
<i>Figura 6 - Estratto del report prtCurveFragilità</i>	14
<i>Figura 7 - Form Calcolo_Scenario_Sismico</i>	17
<i>Figura 8 - GIS: mappa base</i>	20
<i>Figura 9 - GIS: rete viaria</i>	21
<i>Figura 10 - GIS: ponti individuati</i>	22
<i>Figura 11 - GIS: mappa di pericolosità sismica. I triangoli indicano i punti in cui sono memorizzate le informazioni relative alla pericolosità sismica</i>	23
<i>Figura 12 - GIS: caratteristiche terreno</i>	24
<i>Figura 13 - GIS: zone sismogenetiche ed epicentro</i>	25
<i>Figura 14 - GIS: scenario sismico, accelerazione al suolo</i>	26
<i>Figura 15 - GIS: scenario sismico, danno medio sul manufatto</i>	27
<i>Figura 16 - Risk-UE: città campione</i>	29
<i>Figura 17 - Risk-UE: organizzazione dei lavori</i>	31
<i>Figura 18 - Friuli-Venezia Giulia: Pericolosità sismica</i>	36
<i>Figura 19 - Friuli-Venezia Giulia: Vulnerabilità</i>	37
<i>Figura 20 - Friuli-Venezia Giulia: Esposizione</i>	37
<i>Figura 21 - Friuli-Venezia Giulia: Rischio sismico</i>	38
<i>Figura 22 - Carta di pericolosità sismica per il territorio italiano: accelerazione massima al suolo per un periodo di ritorno di 475 anni</i>	39
<i>Figura 23 - Valori di pericolosità sismica per la Regione Veneto: visualizzazione della griglia di dati</i>	40
<i>Figura 24 - Carta della pericolosità macrosismica sul territorio italiano</i>	43
<i>Figura 25 - ShakeMap per il sisma del 29/05/2012 in Emilia</i>	45
<i>Figura 26 - Evoluzione nel tempo della disponibilità di registrazioni di eventi sismici</i>	48
<i>Figura 27 - Forma tipo di una legge di attenuazione</i>	49
<i>Figura 28 - Spettri generati con la formulazione di Ambraseys et al.: si notino le differenze dovute al tipo di terreno</i>	51
<i>Figura 29 - Correlazione fra errore e magnitudo</i>	52
<i>Figura 30 - Ambraseys et al.: andamenti di accelerazione massima di picco e accelerazione spettrale al variare della distanza dall'epicentro</i>	54
<i>Figura 31 - Ambraseys et al.: spettri ottenuti con la formulazione presentata, al variare della magnitudo considerata</i>	55
<i>Figura 32 - Bragato & Slejko: dati utilizzati</i>	56
<i>Figura 33 - Bragato & Slejko: distribuzione dei dati utilizzati</i>	57

<i>Figura 34 - Bragato & Slejko: risultati ottenuti, per differenti valori di magnitudo. Si riportano i dati utilizzati e le curve di regressione ottenute. In tratteggiato il confronto con altre vecchie formulazioni proposte per il territorio italiano.....</i>	59
<i>Figura 35 - Triangolazione di Delaunay utilizzata da Bragato.....</i>	61
<i>Figura 36 - Zonazione ottima proposta da Bragato: le sigle e le linee in grossetto delimitano le 6 zone INGV, mentre le aree con campitura rappresentano la nuova zonazione proposta</i>	62
<i>Figura 37 - Confronto fra diverse leggi di attenuazione.....</i>	63
<i>Figura 38 - Esempio di classificazione dei terreni</i>	65
<i>Figura 39 - Regione Friuli-Venezia Giulia: tipi di terreno.....</i>	66
<i>Figura 40 - Regione Friuli-Venezia Giulia: impedenza sismica.....</i>	66
<i>Figura 41 - Regione Friuli-Venezia Giulia: profondità del bedrock.....</i>	67
<i>Figura 42 - Da Bragato (2009): distribuzione dei fattori correttivi per le singole stazioni. Si veda come la correlazione fra questi e la classificazione dei terreni sia molto debole.....</i>	68
<i>Figura 43 - Confronto fra spettri ottenuti con diverse GMPE: si noti in particolare l'aderenza fra NGA (Abrahamson & Silva) e una delle principali leggi di derivazione europea, Akkar & Bommer.....</i>	69
<i>Figura 44 - Legge di attenuazione di Bragato & Slejko, scala logaritmica.....</i>	70
<i>Figura 45 - Legge di attenuazione di Bragato & Slejko</i>	71
<i>Figura 46 - Effetto della variazione di magnitudo.....</i>	71
<i>Figura 47 - Correlazione empirica fra magnitudo e massima accelerazione all'epicentro....</i>	72
<i>Figura 48 - Zone Sismogenetiche: rappresentazione geografica.....</i>	79
<i>Figura 49 - Scenario sismico generato: si noti la posizione dell'epicentro in corrispondenza di una delle zone sismogenetiche</i>	80
<i>Figura 50 - Classificazione Terreno: Seismic hazard estimates for the Vittorio Veneto broader area (NE Italy).....</i>	83
<i>Figura 51 - Classificazione Terreno: Cartografia sismica della pianura della Provincia di Treviso</i>	84
<i>Figura 52 - Classificazione Terreno: A three level vulnerability approach for damage assessment of infilled RC buildings: The Emilia 2012 case</i>	85
<i>Figura 53 - Georeferenziazione: la prima carta correttamente inserita nel sistema GIS.....</i>	86
<i>Figura 54 - Georeferenziazione: la seconda carta correttamente inserita nel sistema GIS... ..</i>	87
<i>Figura 55 - Georeferenziazione: la terza carta correttamente inserita nel sistema GIS</i>	88
<i>Figura 56 - Classificazione Terreno: mappa completa</i>	89
<i>Figura 57 - Classificazione Terreno: la mappa completa nel sistema GIS</i>	90
<i>Figura 58 - Tabella delle caratteristiche del terreno, all'interno del sistema GIS.....</i>	91
<i>Figura 59 - Classificazione Terreno: zona del Vicentino</i>	92
<i>Figura 60 - Esempio di danno lieve</i>	96
<i>Figura 61 - Esempio di danno moderato</i>	96
<i>Figura 62 - Esempio di danno esteso.....</i>	97
<i>Figura 63 - Esempio di collasso.....</i>	97
<i>Figura 64 - Curve di fragilità tipiche.....</i>	101
<i>Figura 65 - Esempio di allungamento zona di appoggio.....</i>	103
<i>Figura 66 - Esempio di intervento con ritegni esterni</i>	103
<i>Figura 67 - Esempio di intervento di rinforzo delle pile.....</i>	104

<i>Figura 68 - Esempio di dispositivo di isolamento elastomerico</i>	106
<i>Figura 69 - Effetti dell'adeguamento sismico sulle curve di fragilità.....</i>	106
<i>Figura 70 - Pagina di esempio del report raffigurante le curve di fragilità.....</i>	110
<i>Figura 71 - Pagina di esempio del report raffigurante le curve di fragilità.....</i>	111
<i>Figura 72 - Scenario sismico: accelerazione al suolo.....</i>	117
<i>Figura 73 - Spettro di progetto: esempio.....</i>	120
<i>Figura 74 - Curve di fragilità e livelli di danno.....</i>	122
<i>Figura 75 - Form Calcolo_Scenario_Sismico</i>	124
<i>Figura 76 - Caso studio: parametri scenario sismico.....</i>	133
<i>Figura 77 - Caso studio: accelerazione al suolo attorno all'epicentro.....</i>	134
<i>Figura 78 - Caso studio: caratteristiche del terreno attorno all'epicentro.....</i>	134
<i>Figura 79 - Caso studio: zone coinvolte</i>	135
<i>Figura 80 - Caso studio: scenario di danno senza adeguamento sismico.....</i>	136
<i>Figura 81 - Caso studio: danno sui ponti entro 20 km dall'epicentro.....</i>	137
<i>Figura 82 - Caso studio: ponte con danno medio più elevato, sulla tangenziale di Treviso (IBRID_ID 3393).....</i>	137
<i>Figura 83 - Caso studio: ponte danneggiato sulla tangenziale di Treviso (IBRID_ID 3388).....</i>	138
<i>Figura 84- Caso studio: ponte danneggiato sulla rete autostradale (IBRID_ID 3038)</i>	138
<i>Figura 85 - Caso studio: scenario di danno con adeguamento sismico.....</i>	139
<i>Figura 86 - Caso studio: danno sui ponti entro 20 km dall'epicentro, con adeguamento ...</i>	140
<i>Figura 87 - Caso studio: confronto fra gli stati di danno con e senza adeguamento sismico</i>	142
<i>Figura 88 - Caso studio: correlazione fra accelerazione spettrale e danno subito dal ponte</i>	142
<i>Figura 89 - Stima perdite dirette: costo di riparazione per ciascun ponte.....</i>	145
<i>Figura 90 - Legge di attenuazione di Bragato & Slejko.....</i>	148
<i>Figura 91 - Classificazione Terreno: mappa completa.....</i>	149
<i>Figura 92 - Zone Sismogenetiche: rappresentazione geografica</i>	150
<i>Figura 93 – Esempio di scenario sismico generato, visualizzato nel sistema GIS.....</i>	151
<i>Figura 94 - Distribuzione normale: esempi</i>	156
<i>Figura 95 - Macchina di Francis Galton</i>	156
<i>Figura 96 - Distribuzione normale: distribuzione valori.....</i>	157
<i>Figura 97 - Distribuzione normale, CDF: esempi</i>	157
<i>Figura 98 - Distribuzione log-normale: esempi</i>	159
<i>Figura 99 - Distribuzione log-normale, CDF: esempi</i>	160
<i>Figura 100 - Distanza sulla superficie terrestre.....</i>	162
<i>Figura 101 - Misure di distanza.....</i>	163

Indice delle tabelle

<i>Tabella 1 - Estratto della tabella CLASSIFICAZIONE_NEW</i>	7
<i>Tabella 2 - Estratto della tabella Mappa_Sismica_UNIPD</i>	8
<i>Tabella 3 - Estratto della tabella ParametriSpettrali_TR475</i>	9
<i>Tabella 4 - Estratto della tabella Fattore di Struttura</i>	10
<i>Tabella 5 - Estratto della tabella Caratteristiche Terreno</i>	10
<i>Tabella 6 - Estratto della tabella tbl_Probab_BDI_ag</i>	11
<i>Tabella 7 - Estratto della tabella SCENARIO_SISMICO</i>	15
<i>Tabella 8 - Classificazione di un sistema viario</i>	33
<i>Tabella 9 - Estratto della tabella del database che riporta dati di pericolosità sismica in forma tabulare, già valutati nella posizione del singolo manufatto</i>	41
<i>Tabella 10 - Estratto della tabella del database riportante le caratteristiche del terreno</i>	64
<i>Tabella 11 - Zone Sismogenetiche implementate</i>	79
<i>Tabella 12 - NTC08: categorie di sottosuolo</i>	81
<i>Tabella 13 - NTC08: coefficienti stratigrafici</i>	82
<i>Tabella 14 - NTC08: coefficiente topografico</i>	82
<i>Tabella 15 - Tabella nel database riportante le caratteristiche del terreno per ciascun sito</i>	94
<i>Tabella 16 - Coefficiente K3D</i>	100
<i>Tabella 17 - Valori medi di probabilità secondo Risk-UE</i>	101
<i>Tabella 18 - Tabella del database con parametri curve di fragilità</i>	107
<i>Tabella 19 - Tabella del database con parametri curve di fragilità</i>	108
<i>Tabella 20 - Tabella del database con parametri curve di fragilità</i>	109
<i>Tabella 21 - Estratto da NTC08: fattore di struttura per ponti</i>	118
<i>Tabella 22 - Riduzione di funzionalità del ponte</i>	123
<i>Tabella 23 - Estratto della tabella SCENARIO_SISMICO</i>	131
<i>Tabella 24 - Caso studio: stato di danno senza adeguamento</i>	136
<i>Tabella 25 - Caso studio: stato di danno con adeguamento</i>	140
<i>Tabella 26 - Caso studio: scenario sismico simulato</i>	141
<i>Tabella 27 - Costi convenzionali di costruzione</i>	143
<i>Tabella 28 - Coefficiente di danno</i>	143
<i>Tabella 29 - Calcolo perdite dirette: dati in input</i>	144
<i>Tabella 30 - Stima perdite dirette</i>	145

1. INTRODUZIONE

Il territorio Italiano è caratterizzato, come ben sappiamo, da elevata sismicità: non così elevata, forse, come in altri luoghi della Terra ma, come recenti catastrofici eventi ci hanno ricordato, pur sempre un Paese dove il rischio sismico c'è. Ed è evidente.



Figura 1 - L'Aquila, 6/4/09: crollo di un edificio residenziale

Nel nostro Paese si assommano diversi fattori che contribuiscono a generare un elevato rischio sismico: la presenza di un elevata sismicità in primis, ma anche, purtroppo, si deve constatare come gran parte degli edifici sul suolo nazionale siano estremamente vulnerabili: essenzialmente perchè risalenti a periodi antecedenti la promulgazione delle più recenti normative nazionali ed europee, che impongono, fra l'altro, il rispetto di determinati criteri volti a preservare le opere dell'uomo dall'azione del sisma.

Il patrimonio storico ed artistico del nostro Paese, peraltro, vastissimo ed inestimabile, versa in uno stato di assoluta vulnerabilità, quando non in palese degrado strutturale ed estetico: i danni provocati da un sisma in una delle città d'arte italiane sarebbero probabilmente incommensurabili, e purtroppo, allo stato attuale, inevitabili.



Figura 2 - Emilia Romagna, 20/5/12: edificio storico danneggiato

Ma non solo il patrimonio storico è a rischio, fatto questo in un certo senso scontato data l'età dei manufatti in oggetto, ma anche edifici pubblici, residenziali, industriali: non è un mistero il fatto che gran parte delle scuole pubbliche italiane siano assolutamente non in grado di resistere ad eventi sismici di una qualche intensità, e basta tornare indietro di appena pochi mesi per riscontrare pesanti perdite, umane ed economiche, dovute al crollo di grandi edifici industriali, fatto dovuto probabilmente a carenze e leggerezze nell'applicazione delle normative vigenti.



Figura 3 - Emilia Romagna, 20/5/12: crollo di un edificio industriale

In questo panorama di difficoltà, un'analisi delle reti infrastrutturali italiane di certo non porta buone notizie allo studioso: nella Regione del Veneto gran parte dei ponti stradali risalgono ad almeno 40/50 anni fa, e quindi risultano progettati e realizzati senza il minimo criterio antisismico: ciò non dovuto a negligenza, ma semplicemente al ritardo con cui la ricerca è intervenuta sul tema, dando modo poi alla normativa di regolare la costruzione di edifici, infrastrutture ed opere civili in generale.

Evidente è quindi la necessità di intervenire al più presto su questo stato di fatto, in modo da poter limitare il più possibile i danni che, inevitabilmente, prima o poi sono destinati ad accadere ad opera della natura. Due sono in via teorica le strade percorribili: la prima, la previsione del sisma; la seconda, un investimento per aumentare la capacità dei nostri insediamenti di sopportare la sua azione. Non essendo, ad oggi e nemmeno in un futuro prossimo, possibile in alcun modo stabilire in anticipo se, quando, dove e con quale intensità si debba verificare un sisma, è evidente che la strada da percorrere sia quella di un adeguamento sismico delle strutture sul territorio. Vi è tuttavia un pesante vincolo a questo buon proposito: la costante e pericolosa mancanza di fondi, o forse di consapevolezza, a cui sono soggetti gli Enti che di diritto devono occuparsi di questo processo; non è infatti sufficiente la spinta derivante dalla ricerca, universitaria e privata, in questo campo, se non vi sono poi l'impegno e l'investimento da parte degli organi dello Stato deputati a tal compito.

Tanto più le possibilità sono scarse, tanta più importanza assume la necessità di investire il poco disponibile in maniera il più possibile profittevole: ed è proprio in questa direzione che la ricerca si sta muovendo negli ultimi anni, attorno al problema di fornire valide risposte alla domanda di come investire una somma limitata massimizzando l'effetto positivo che si ottiene sul territorio. La questione è di natura estremamente complessa, coinvolgendo infatti diverse discipline che devono collaborare tra loro al fine di impostare una soluzione valida, sulla base di una mole di dati da raccogliere davvero smisurata: il primo passo per la soluzione del problema è la creazione di un sistema integrato in grado di ospitare e processare tutte queste informazioni, al fine di poter procedere con l'analisi. Vi sono già infatti, in alcune parti del mondo, gruppi di ricerca che lavorano al raggiungimento di questo obiettivo.

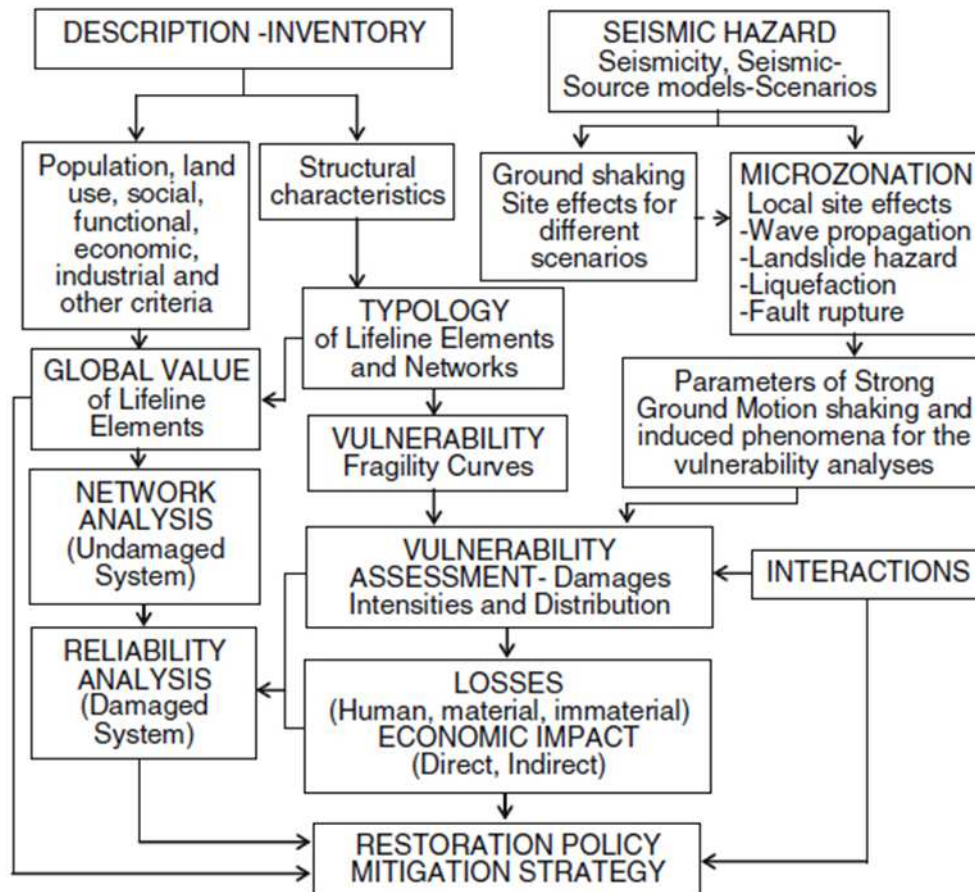


Figura 4 - Diagramma che illustra una possibile configurazione di un sistema di questo tipo

Il primo scoglio da superare nell'ottenere risposta al problema è la raccolta dei dati necessari all'impostazione dell'analisi: sarebbero infatti necessarie, nel caso ideale, informazioni in quantità vastissima. Innanzitutto, una precisa indagine sui manufatti da salvaguardare: anche limitandosi ai ponti della rete viaria della Regione del Veneto, si parla di migliaia d'unità. Per ciascuna vanno rilevati dati tecnici, informazioni sul sito, importanza, e molto altro ancora. Sono poi necessari dati sul territorio: tipo di terreno, ma anche distribuzione della domanda di trasporto, posizionamento delle attività economiche e produttive, vulnerabilità dei centri abitati, ecc ecc. E non vi è solo il problema materiale della raccolta dei dati, ma anche la questione teorica su come si debba organizzarli al meglio al fine di garantire una buona utilizzabilità del sistema.

Anche le procedure per lo svolgimento di analisi di questo tipo andranno indagate: la più recente proposta europea è il progetto Risk-UE, intitolato "An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns", che contiene anche aspetti metodologici quali la valutazione del rischio sismico, della vulnerabilità di

diversi tipi di strutture e infrastrutture, considerazioni sulla generazione di scenari sismici, e l'applicazione ad alcune città campione.

Una fase importante della procedura, che in particolare si indagherà in questo lavoro di tesi, è la generazione dello scenario sismico: come, cioè, valutare gli effetti che un sisma simulato, virtuale, potrebbe avere nella realtà sulla rete di ponti in esame, con particolare riferimento allo stato di danno che si andrebbe a configurare e alle conseguenze sulla rete viaria.

Una volta valutato lo stato di danno, ovvero le condizioni in cui i manufatti versano dopo l'evento, è possibile procedere, per esempio nel caso in oggetto, alla simulazione trasportistica della rete danneggiata. Si aprono dunque infinite possibilità di valutazione: quali siano i manufatti più importanti, quali i più probabili ad essere danneggiati, gli effetti del crollo di tal ponte sulla rete delle immediate vicinanze, fino alle ovvie considerazioni economiche derivanti dai danni diretti ed indiretti causati dal sisma simulato.

Ma le possibilità non si esauriscono qui: la disponibilità di un sistema avanzato metterebbe gli addetti ai lavori nella possibilità di simulare gli scenari post-evento per facilitare le operazioni di protezione civile, o di valutare come un intervento in una data area possa migliorare la rete anche nelle vicinanze, ma anche come le modifiche alla rete viaria possano influenzare aspetti sociali quali distribuzione di attività produttive o percorsi preferenziali.

Il fine ultimo dell'operazione è quello di giungere, come già esposto, a realizzare una procedura che consenta di stabilire quale sia l'ottima distribuzione di risorse in una data area al fine di ottimizzare l'adeguamento sismico, in questo caso, della rete di ponti del sistema viario della Regione del Veneto.

1.1 Scopo del lavoro

Il presente lavoro di tesi magistrale si situa nell'ambito del vasto progetto descritto in precedenza. In particolare, si è curato l'aspetto di implementazione nel database della legge di attenuazione dell'azione sismica, delle caratteristiche del territorio e della procedura di generazione dello scenario sismico. Si è inoltre intervenuto sul sistema in più occasioni, al fine di realizzare su quanto già a disposizione le modifiche necessarie ad una corretta integrazione nella procedura in via di realizzazione.

Infine, a titolo d'esempio, si è realizzato un semplice caso studio con calcolo delle perdite economiche dirette conseguenti ad un certo sisma, in modo da dimostrare la funzionalità di quanto prodotto.

Il prossimo passo da realizzarsi in futuro è procedere con l'integrazione di questo sistema con l'ambiente di simulazione trasportistica, al fine di provvedere ad un meccanismo di stima dei costi indiretti conseguenti agli effetti del sisma nella circolazione viaria.

1.2 La rete di ponti

La rete di ponti che si va ad implementare è composta dai ponti stradali facenti parte della rete viaria principale della Regione Veneto: il numero di manufatti da inserire è di 6475 unità, ed al momento il database, dopo qualche mese di lavoro, conta 930 inserimenti in costante e veloce aumento. Di questi 930, 724 risultano correttamente classificati e descritti e quindi utilizzabili per la generazione dello scenario sismico.

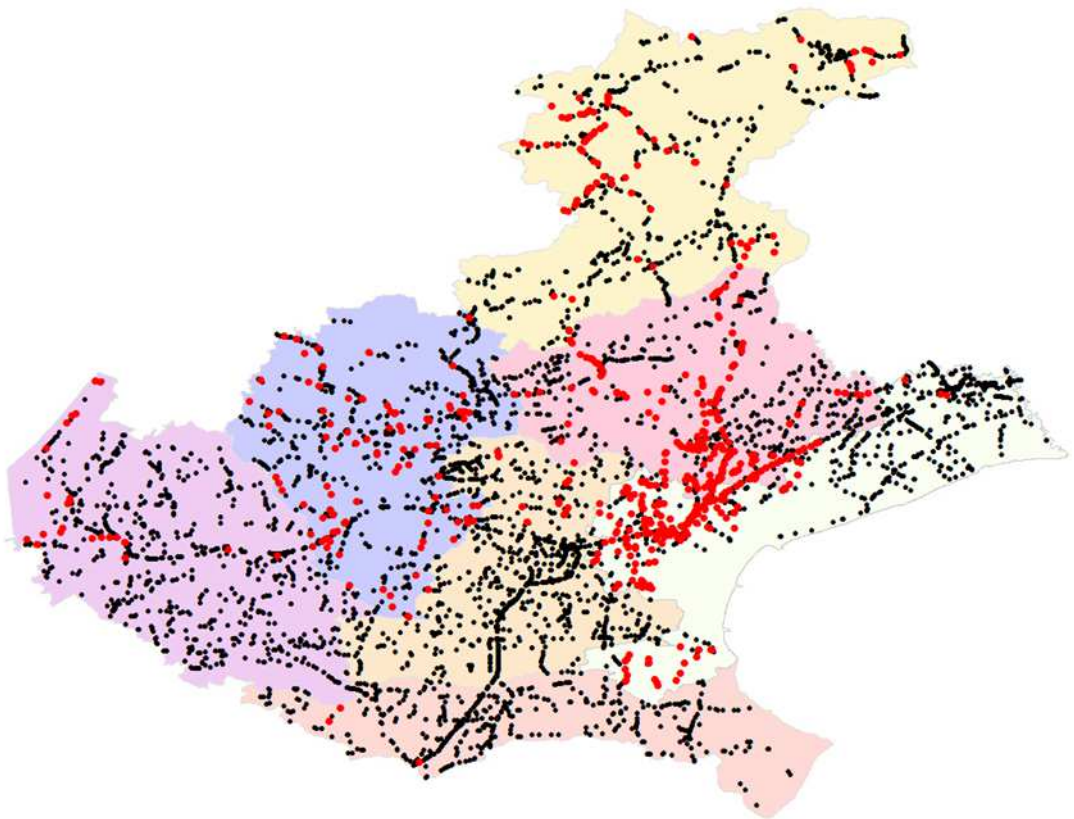


Figura 5 - La rete di ponti: in nero tutti i manufatti, in rosso quelli già correttamente inseriti e quindi utilizzati nella generazione dello scenario sismico

In particolare, di questi 724 ponti solo 8 risultano fabbricati con criteri antisismici: circa l'1% del totale. Si vede dunque come siano vere le affermazioni introduttive, riguardanti l'assoluta inadeguatezza delle nostre infrastrutture nei confronti di azioni sismiche significative.

1.3 Il database

In questa sezione si intende brevemente presentare il database in corso di creazione per lo svolgimento del progetto. Si darà una breve descrizione delle principali tabelle, in maniera da fornire a coloro che in seguito si occuperanno dell'argomento un valido strumento di comprensione del sistema. Sono tralasciate le informazioni ritenute secondarie, o comunque non rilevanti in senso generale per la continuazione del lavoro.

1. CLASSIFICAZIONE_NEW

La tabella Classificazione riporta appunto la classificazione dei ponti, con le caratteristiche principali di ciascun manufatto utili allo svolgimento della procedura.

ID_IBRID	EXTERNALID	BRIDGE_CATEGORY_RiskUE	PROVINCE	LOCATION	NAME_BRIDGE
39	663	7	VE	Chioggia	Ponte sul Brenta
40	68504	7	PD	S. Margherita di Codevigo	Ponte sul Brenta
41	77910	7	PD	Codevigo	Ponte sul Brenta
42	69834	14	PD	Corte	Ponte sul Brenta
44	57438	1	BL	Campolongo	Ponte sul Brenta
45	67886	5	VE	Fossò	Ponte sul Brenta
46	11765	9	VE	Strà	Ponte sul Brenta
47	14215	9	PD	Cadoneghe	Cadoneghe viaduct-Carreggiata
49	22433	9	PD	Vigodarzere	Ponte sul Brenta
51	142413	7	PD	Limena	Ponte sul Brenta
53	76815	9	PD	Campo S. Martino	Ponte sul Brenta
54	72990	9	PD	Carturo	Ponte sul Brenta
55	70931	7	PD	Fontaniva	Fontaniva car viaduct

Tabella 1 - Estratto della tabella CLASSIFICAZIONE_NEW

- ID_IBRID: ID con cui il ponte è catalogato nel sistema
- EXTERNALID: ID con cui il ponte è presente nel sistema GIS
- CATEGORY: categoria Risk-UE in cui il ponte è stato catalogato
- COORDINATE_EST: longitudine del punto medio del ponte
- COORDINATE_NORD: latitudine del punto medio del ponte
- YEAR_BRIDGE: anno di costruzione presunto

Vi sono poi tutta una serie di parametri di tipo geometrico o strutturale, di scarsa rilevanza ai fini di questo lavoro e comunque caratterizzati da dati abbastanza sparsi.

Infine, oltre ai campi COORDINATE, ciascun ponte presenta una serie di informazioni utili alla sua localizzazione: provincia, posizione, strada, km, ecc.

2. Mappa_Sismica_UNIPD

La tabella contiene i dati di pericolosità sismica del territorio, reperiti in forma tabulare, distribuiti su una griglia di 0.05° di maglia. Essi caratterizzano l'azione sismica attesa, per determinati periodi di riferimento, in una data zona. Si veda in seguito una più precisa descrizione dei dati disponibili.

ID_Mappa	LON	LAT	ag	Fo	Tc	Time
8693	8.0072	46.212	0.343	2.52	0.2	30
8694	8.0792	46.215	0.317	2.53	0.2	30
8695	8.1511	46.218	0.289	2.54	0.19	30
8696	8.2231	46.222	0.265	2.51	0.2	30
8697	8.295	46.225	0.244	2.47	0.18	30
8698	8.367	46.228	0.226	2.45	0.18	30
8699	8.4389	46.231	0.207	2.48	0.18	30
8700	8.5109	46.234	0.19	2.54	0.15	30
8701	8.5829	46.237	0.177	2.56	0.15	30
8702	8.6548	46.239	0.164	2.58	0.15	30
8709	9.1591	46.258	0.156	2.65	0.15	30
8710	9.2311	46.261	0.163	2.65	0.15	30
8711	9.3031	46.263	0.171	2.65	0.15	30

Tabella 2 - Estratto della tabella Mappa_Sismica_UNIPD

- ID_MAPPA: identificativo del punto nella griglia
- LON: longitudine del punto
- LAT: latitudine del punto
- ag: accelerazione orizzontale massima al sito
- Fo: valore massimo del coefficiente di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- Tc: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T^*_c)
- Time: tempo di ritorno di riferimento per i valori forniti. In questa sede si utilizzeranno solo i valori per $T=475$ anni.

3. ParametriSpettrali_TR475

La tabella contiene i dati che caratterizzano l'azione sismica per ciascun EXTERNAL_ID. Non vi sono dunque solo i dati relativi ai ponti catalogati, ma a tutti gli archi della rete rappresentata nel sistema GIS. In particolare, la tabella contiene i valori per i 4 della mappa sismica più vicini al tratto in esame, e poi i valori per il sito. Il tutto è riportato solo per un tempo di ritorno pari a 475 anni.

EXTERNALID	ag1	Fo1	Tc1	ag2	Fo2	Tc2	ag3	Fo3	Tc3	ag4	Fo4	Tc4	ag_ponte	Fo_ponte
4	1.354	2.43	0.29	1.421	2.43	0.28	1.421	2.43	0.28	1.52	2.42	0.28	1.43954366162619	2.426781111
5	1.354	2.43	0.29	1.421	2.43	0.28	1.421	2.43	0.28	1.52	2.42	0.28	1.43977925978936	2.4267638552
7	1.415	2.42	0.29	1.525	2.41	0.29	1.525	2.41	0.29	1.349	2.43	0.29	1.43857465797696	2.419365788
9	1.349	2.43	0.29	1.48	2.42	0.29	1.48	2.42	0.29	1.525	2.41	0.29	1.43203289439492	2.422651213
10	1.349	2.43	0.29	1.48	2.42	0.29	1.48	2.42	0.29	1.525	2.41	0.29	1.4320787931452	2.422646131
16	1.203	2.45	0.29	1.415	2.42	0.29	1.415	2.42	0.29	1.349	2.43	0.29	1.34995860038728	2.4296380372
34	0.755	2.67	0.35	0.832	2.62	0.35	0.832	2.62	0.35	0.737	2.66	0.36	0.801681981531339	2.6356289073
45	0.832	2.62	0.35	0.775	2.71	0.35	0.775	2.71	0.35	0.91	2.57	0.35	0.842020440046797	2.6358608187
46	0.832	2.62	0.35	0.775	2.71	0.35	0.775	2.71	0.35	0.91	2.57	0.35	0.842080336873825	2.6357994083
47	0.832	2.62	0.35	0.957	2.55	0.35	0.957	2.55	0.35	0.91	2.57	0.35	0.918127654585476	2.5692195349
48	1.415	2.42	0.29	1.48	2.42	0.29	1.48	2.42	0.29	1.349	2.43	0.29	1.38681980426912	2.4264399622
50	1.415	2.42	0.29	1.48	2.42	0.29	1.48	2.42	0.29	1.349	2.43	0.29	1.38644624050446	2.4264769523
52	1.203	2.45	0.29	1.415	2.42	0.29	1.415	2.42	0.29	1.349	2.43	0.29	1.34990211773146	2.4296486788

Tabella 3 - Estratto della tabella ParametriSpettrali_TR475

- ag i: accelerazione orizzontale massima al sito sui 4 punti della mappa
- Fo i: valore massimo del coefficiente di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale sui 4 punti della mappa
- Tc i: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T^*_c) sui 4 punti della mappa
- ag_ponte: accelerazione orizzontale massima al sito sul sito specifico
- Fo_ponte: valore massimo del coefficiente di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale sul sito specifico
- Tc_ponte: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T^*_c) sul sito specifico

4. tbl_Caratteristiche_Fattore di Struttura

La tabella contiene il valore del fattore di struttura stimato per ciascun ponte. Attualmente tutti i valori sono posti ad 1.5, ma in seguito andrà eseguita una procedura per una stima più realistica del coefficiente in esame, per ciascun caso. Di questo si discuterà più in dettaglio nei capitoli seguenti.

EXTERNALID	ArcoPonte_Lat	ArcoPonte_long	Fattore_Struttura
4	45,49942N	011,45239E	1.5
5	45,49967N	011,45238E	1.5
7	45,54144N	011,62426E	1.5
9	45,53866N	011,62514E	1.5
10	45,53861N	011,62495E	1.5
16	45,52312N	011,62569E	1.5
34	45,46808N	012,18136E	1.5
45	45,52106N	012,25397E	1.5
46	45,52098N	012,25407E	1.5
47	45,51973N	012,25197E	1.5
48	45,52101N	011,62464E	1.5
50	45,52098N	011,62483E	1.5
52	45,52308N	011,62587E	1.5

Tabella 4 - Estratto della tabella Fattore di Struttura

- EXTERNAL_ID: identificativo del tratto di rete
- ArcoPonte_lat: latitudine del sito
- ArcoPonte_long: longitudine del sito
- Fattore_Struttura: il valore del fattore di struttura, per il momento pari al valore di default 1.5

5. tbl_CaratteristicheTerreno

La tabella fornisce informazioni sul tipo di terreno su cui ciascun manufatto sorge: il terreno è caratterizzato secondo normativa nelle categorie A,B,C e così via. Per ogni sito sono anche calcolati i valori dei coefficienti S_s e C_c . Il coefficiente topografico S_t è stato posto pari ad 1 per tutti i siti, essendo per ora impossibile darne una valutazione più precisa.

EXTERNALID	ArcoPonte_Lat	ArcoPonte_long	Terreno_SS	Terreno_ST	Terreno_Cc	Terreno
4	45,49942N	011,45239E	1.48633288275253	1	1.59445735670804	C
5	45,49967N	011,45238E	1.48629943319701	1	1.59447539342654	C
7	45,54144N	011,62426E	1.48712915520681	1	1.57978490492796	C
9	45,53866N	011,62514E	1.48780940495361	1	1.57978490492796	C
10	45,53861N	011,62495E	1.48780304906444	1	1.57978490492796	C
16	45,52312N	011,62569E	1.49939383704977	1	1.57978490492796	C
34	45,46808N	012,18136E	1.5	1	1.48211774907098	C
45	45,52106N	012,25397E	1.5	1	1.48472781405157	C
46	45,52098N	012,25407E	1.5	1	1.48472781405157	C
47	45,51973N	012,25197E	1.5	1	1.48472781405157	C
48	45,52101N	011,62464E	1.49418746216707	1	1.57978490492796	C
50	45,52098N	011,62483E	1.49423976463533	1	1.57978490492796	C
52	45,52308N	011,62587E	1.49940135186984	1	1.57978490492796	C
61	45,66202N	011,51321E	1.2	1	1.40900678870249	B
62	45,66217N	011,51324E	1.2	1	1.40900678870249	B

Tabella 5 - Estratto della tabella CaratteristicheTerreno

- EXTERNAL_ID: identificativo del tratto di rete

- ArcoPonte_lat: latitudine del sito
- ArcoPonte_long: longitudine del sito
- Terreno_Ss: valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica Ss
- Terreno_ST: valore del coefficiente di amplificazione topografica, necessariamente posto ad 1 data la difficoltà di reperire informazioni a riguardo.
- Terreno_Cc: valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica Cc
- Terreno: categoria del terreno, secondo normativa (NTC08)

6. tbl_Probab_BDI_ag

La tabella è un residuo di lavorazioni precedenti, da cui il nome di scarso significato, ma di fatto contiene i parametri per la generazione delle curve di fragilità e pertanto la si è mantenuta, non vedendo il motivo di sostituire parti di sistema già correttamente funzionanti.

ID_IBRID	EXTERNALID	BRIDGECATEGOI	Kskew	K3D	Sa_03s	Sa_1s
100	42292	9	0,969377943792915	1,066	0,263238762781455	0,140501593933054
101	142783	13	0,969377943792915	1,0125	0,246289718481791	0,132840571863269
103	142801	14	0,999999999996627	1,165	0,202708194371453	0,112367979631514
1047	14216	9	0,999999999996627	1,11	0,240970197109153	0,122238482862138
107	142568	11	0,999999999996627	1,055	0,302456726212704	0,159354658066492
1070	104477	4	0,999999999996627	1,03571428571429	0,519742530842592	0,259646154978404
108	143916	15	0,999999999996627	1	0,484575533058143	0,237138062234522
110	43476	7	0,999999999996627	1,00925925925926	0,451225458857043	0,223691643908748
1100	42293	9	0,969377943792915	1,066	0,263232986055597	0,140499994680108
111	143935	15	0,969377943792915	1	0,503722524104986	0,246508077938401
1110	43475	7	0,999999999996627	1,00925925925926	0,451249595054728	0,223703228897833
1123	142992	7	0,952002577824723	1,125	0,428402499950293	0,204306117415846
1124	142994	7	0,875240398310347	1,125	0,413004923076714	0,195538913630425

Tabella 6 - Estratto della tabella tbl_Probab_BDI_ag

- ID_IBRID: identificativo del ponte
- EXTERNAL_ID: identificativo del ponte nel sistema GIS
- CATEGORY_RISKUE: categoria di catalogazione secondo Risk-UE
- Kskew: coefficiente di sghebbatura
- K3D: coefficiente di tridimensionalità
- Kshape: coefficiente di forma

- MINOR_AVERAGE: valore medio della probabilità di accadimento per il primo *performance level*, per il manufatto in esame
- MODERATE_AVERAGE: valore medio della probabilità di accadimento per il secondo *performance level*, per il manufatto in esame
- EXTENSIVE_AVERAGE: valore medio della probabilità di accadimento per il terzo *performance level*, per il manufatto in esame
- COMPLETE_AVERAGE: valore medio della probabilità di accadimento per il quarto *performance level*, per il manufatto in esame
- STAND_DEVIATION: valore di deviazione standard necessario alla generazione delle curve di fragilità, posto pari a 0.6 da letteratura.

La tabella contiene anche svariati altri campi, che tuttavia sono appunto refusi di lavorazioni precedenti e non hanno quindi alcun significato per il lavoro attuale. Sono stati tuttavia mantenuti per retrocompatibilità del sistema, non recando di fatto alcun problema al funzionamento del sistema.

7. **tbl_Probab_BDI_ag_Adeg**

La tabella è analoga alla precedente, ma contiene i valori necessari alla generazione delle curve di fragilità tenendo conto di un adeguamento sismico del manufatto: le modalità con cui gli effetti di questo adeguamento sono tenuti in conto saranno discusse successivamente.

- ID_IBRID: identificativo del ponte
- EXTERNAL_ID: identificativo del ponte nel sistema GIS
- CATEGORY_RISKUE: categoria di catalogazione secondo Risk-UE
- CATEGORY_RISKUE_ADEGUAMENTO: categoria di catalogazione secondo Risk-UE dopo l'intervento di adeguamento sismico
- Kskew: coefficiente di sghembatura
- K3D: coefficiente di tridimensionalità
- Kshape: coefficiente di forma

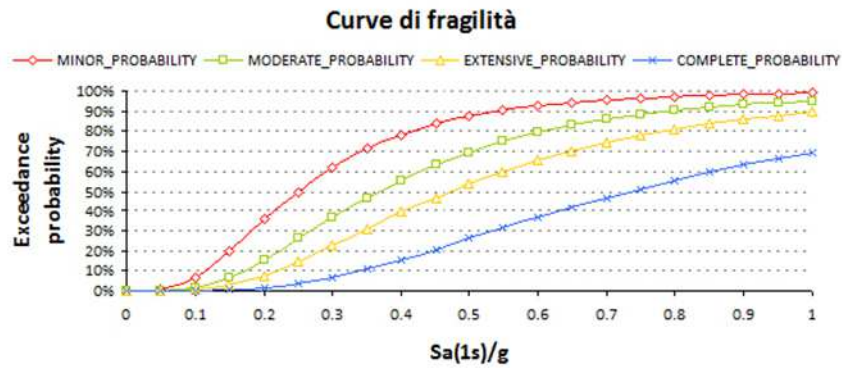
- MINOR_AVERAGE: valore medio della probabilità di accadimento per il primo *performance level*, per il manufatto in esame
- MODERATE_AVERAGE: valore medio della probabilità di accadimento per il secondo *performance level*, per il manufatto in esame
- EXTENSIVE_AVERAGE: valore medio della probabilità di accadimento per il terzo *performance level*, per il manufatto in esame
- COMPLETE_AVERAGE: valore medio della probabilità di accadimento per il quarto *performance level*, per il manufatto in esame
- STAND_DEVIATION: valore di deviazione standard necessario alla generazione delle curve di fragilità, posto pari a 0.6 da letteratura.

Come nel caso precedente, anche questa tabella contiene dei campi non più utili al proseguimento del progetto, che però non sono stati eliminati per mantenere la retrocompatibilità del sistema.

8. Report: rptCurveFragilità

Il report visualizza in modo compatto le curve di fragilità ottenute per ciascun ponte, per un'immediata analisi della performance sismica di ciascun manufatto.

Codice identificativo ponte (codifica IBRID): **41**



Codice identificativo ponte (codifica IBRID): **42**

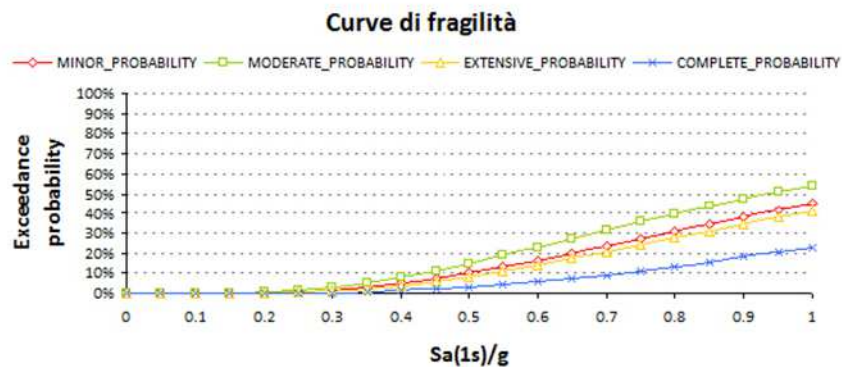


Figura 6 - Estratto del report rptCurveFragilità

9. Report: rptCurveFragilità_Adeg

Analogamente al precedente, il report visualizza le curve di fragilità nel caso di adeguamento sismico.

10. SCENARIO_SISMICO

La tabella contiene tutte le informazioni relative allo scenario sismico generato, ed è quindi il collettore di quanto realizzato in questo lavoro.

FRAG04	X	Y	D_MEDIO	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	DK	D1	D1	D1	D1	D1	D1	
7.69639308481951E-03	12.2419446987576	45.6663904147678	0.666666666666667	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0
4.68615121284394E-03	12.2319439993964	45.65111263699	0.466666666666667	2	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.04090546847092E-03	12.2419446987576	45.6500015258789	0.4	0	0	0	0	3	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2.2289932795934E-03	12.216388698154	45.6530570814345	0.333333333333333	0	0	0	2	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
4.77089871864512E-04	12.3125001907349	45.6358351135254	0.266666666666667	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
1.05249241370687E-03	12.2997226672702	45.65111263699	0.266666666666667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
3.61137284325244E-04	12.1930556191338	45.6675012715658	0.266666666666667	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
7.03037316529161E-05	12.3602781592475	45.5833320617676	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0
4.72567119586167E-03	12.2319439993964	45.6513904147678	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
1.96864133767485E-03	12.2986115561591	45.65111263699	0.133333333333333	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.40525521835155E-05	12.3872220950656	45.60138736301	0.133333333333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
3.51483511054554E-04	12.1663885074192	45.6447240024143	0.133333333333333	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.33815293804335E-03	12.216388698154	45.6533348592122	0.133333333333333	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4.34943413171876E-05	12.3138890796238	45.5558325703939	6.66666666666667E-02	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6.85848556671279E-04	12.3358330154419	45.60388736301	6.66666666666667E-02	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.21653569075329E-04	12.1938889524672	45.66611263699	6.66666666666667E-02	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3.71582319309795E-04	12.1927778413561	45.6675012715658	6.66666666666667E-02	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.10130307464693E-05	12.4130551740858	45.6152762518989	6.66666666666667E-02	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.38179057394756E-04	12.2450002543132	45.6700012715658	6.66666666666667E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
5.28221360097761E-04	12.194166730245	45.66611263699	6.66666666666667E-02	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.32439735772494E-05	12.3874998728434	45.60138736301	6.66666666666667E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 7 - Estratto della tabella SCENARIO_SISMICO

- ID_IBRID: identificativo del ponte
- EXTERNALID: identificativo del ponte nel sistema GIS
- BRIDGE CATEGORY_RISKUE: c ategoria di catalogazione secondo Risk-UE
- COORDINATE_EST: longitudine del sito
- COORDINATE_NORD: latitudine del sito
- Q: fattore di struttura del manufatto
- AG_: accelerazione orizzontale massima al sito, non attenuata
- FO: valore massimo del coefficiente di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- TC: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T^*_c)
- SS: valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s
- ST: valore del coefficiente di amplificazione topografica, necessariamente posto ad 1 data la difficoltà di reperire informazioni a riguardo.
- CC_: valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica C_c

- M1, M2, M3, M4: valori medi della probabilità di accadimento per i diversi *performance level*
- IS_GOOD: campo che indica se il manufatto è correttamente classificato e utilizzabile per la generazione dello scenario sismico.
- DISTANCE: distanza del sito dall'epicentro
- AG_ATTENUATA: accelerazione orizzontale massima al sito, attenuata
- SA: accelerazione spettrale per un periodo di 1s
- FRAG01, 02, 03, 04: probabilità di accadimento per i diversi *performance level*
- X: longitudine, convertita in gradi
- Y: latitudine, convertita in gradi
- D_MEDIO: valore medio dello stato di danno
- D01, D02, ..., D15: valore dello stato di danno per le diverse iterazioni del metodo di Montecarlo.

11. Scenario_Sismico_Epicentro

La tabella contiene, molto semplicemente, le coordinate dell'epicentro dello scenario sismico generato, per facilità di visualizzazione nel sistema GIS.

12. Zone sismogenetiche

La tabella contiene le zone sismogenetiche utilizzate nell'implementazione. I campi sono di immediata comprensione.

13. Query CREAZ_TAB_SCENARIO

La query crea la tabella SCENARIO_SISMICO a partire dalle altre componenti del database: è necessaria la sua esecuzione ogni qual volta si operino modifiche o aggiunte alla classificazione dei ponti.

14. Query_Creazione_Probab_BDI_ag

La query crea la tabella tbl_Probab_BDI_ag a partire dalle altre componenti del database: è necessaria la sua esecuzione ogni qual volta si operino modifiche o aggiunte alla classificazione dei ponti.

15. Query_Creazione_Probab_BDI_ag_Adeg

La query crea la tabella tbl_Probab_BDI_ag_Adeg a partire dalle altre componenti del database: è necessaria la sua esecuzione ogni qual volta si operino modifiche o aggiunte alla classificazione dei ponti.

16. Form Calcolo_Scenario_Sismico

Il form contiene i controlli necessari all'utente per la generazione dello scenario sismico. Una dettagliata spiegazione dei contenuti e delle modalità di utilizzo verrà affrontata nel capitolo 4.

Figura 7 - Form Calcolo_Scenario_Sismico

17. Modulo Utility

Il modulo contiene varie funzioni utilizzate nel database. Una spiegazione del contenuto sarà affrontata nei capitoli seguenti, secondo le varie aree di pertinenza delle parti di codice analizzate.

18. Altro

Le componenti sopra presentate non esauriscono l'intero sistema: vi sono infatti alcuni residui di lavorazioni precedenti che si è deciso di mantenere, assieme a parti in via di implementazione in questo momento. Ad esempio, le tabelle PONTI_PROBLEMI, PONTI_INSERIRE, PONTI_ESTERNI, che riportano manufatti in via di catalogazione, oppure la tabella TOMBINI che indica quelle opere classificate come tombini e quindi

non utilizzate per la generazione sismica, essendo sostanzialmente immuni da ogni rischio di questo tipo.

Quanto descritto nei paragrafi precedenti è tuttavia sufficiente ad un corretto utilizzo del sistema. Per informazioni a riguardo delle parti in via di implementazione, si rimanda ai futuri lavori di tesi dei collaboratori al progetto.

19. Procedura aggiornamento database

Si descrive brevemente la procedura necessaria per l'aggiornamento del database al proseguire della classificazione dei ponti.

Una volta modificati o aggiunti dei record nella tabella CLASSIFICAZIONE_NEW, è necessario svolgere i seguenti passaggi per rendere funzionale il sistema:

- 1- Eseguire **Query_Creazione_Probab_BDI_ag**: questo genera le curve di fragilità per tutti i ponti della tabella.
- 2- Eseguire **Query_Creazione_Probab_BDI_ag_Adeg**: questo genera le curve di fragilità per tutti i ponti della tabella, considerando però un intervento di adeguamento sismico.
- 3- Nelle tabelle **tbl_probab_BDI_ag** e **tbl_probab_BDI_ag_Adeg**, impostare il campo **ID_IBRID** come **chiave primaria**.
- 4- Eseguire la query **CREAZ_TAB_SCENARIO**, che prepara la tabella SCENARIO_SISMICO.

Il sistema è ora aggiornato e funzionale.

1.4 La mappa nel sistema GIS

Il database in Access è interfacciato con l'applicativo GIS Esri ArcMap 10.1 per una funzionale visualizzazione dei dati disponibili.

Si riportano di seguito i principali contenuti disponibili nella carta, visualizzati secondo il seguente sistema di riferimento:

<i>Projected Coordinate System:</i>	<i>Monte_Mario_Italy_1</i>
<i>Projection:</i>	<i>Transverse_Mercator</i>
<i>False_Easting:</i>	<i>1500000.00000000</i>
<i>False_Northing:</i>	<i>0.00000000</i>
<i>Central_Meridian:</i>	<i>9.00000000</i>
<i>Scale_Factor:</i>	<i>0.99960000</i>
<i>Latitude_Of_Origin:</i>	<i>0.00000000</i>
<i>Linear Unit:</i>	<i>Meter</i>

Geographic Coordinate System : *GCS_Monte_Mario*
Datum: *D_Monte_Mario*
Prime Meridian: *Greenwich*
Angular Unit: *Degree*

Si riportano quindi di seguito i layer disponibili: ovviamente altri potranno essere creati a bisogno, ma quelli già presenti dovrebbero essere sufficienti per la funzionalità del sistema. Vi sono nella carta anche altri layer, relativi a precedenti lavorazioni e manenuti per retrocompatibilità, ma quelli in seguito descritti sono i principali ed indispensabili per un corretto utilizzo del database. Si ricorda come sia in ogni momento possibile creare nuove visualizzazioni, sfruttando i molti dati a disposizione nei database collegati:

ponti.gdb: contiene i dati di tipo generale, sulla rete e sulla pericolosità sismica.

terreno.gdb: contiene le caratteristiche del terreno.

Ibrid.mdb: contiene i dati relativi allo scenario sismico generato, ed è quello ove l'utente agisce per la sua generazione.

Infine si ricorda come nel caso alcuni layer non venissero correttamente caricati sia necessario e sufficiente ricollegarli al database d'origine, seguendo le indicazioni nei prossimi paragrafi.

1. Mappa base

La mappa base è composta dai confini provinciali e comunali: consente una comoda comprensione della posizione dei ponti visualizzati. I dati sono contenuti nel database **ponti.gdb**.

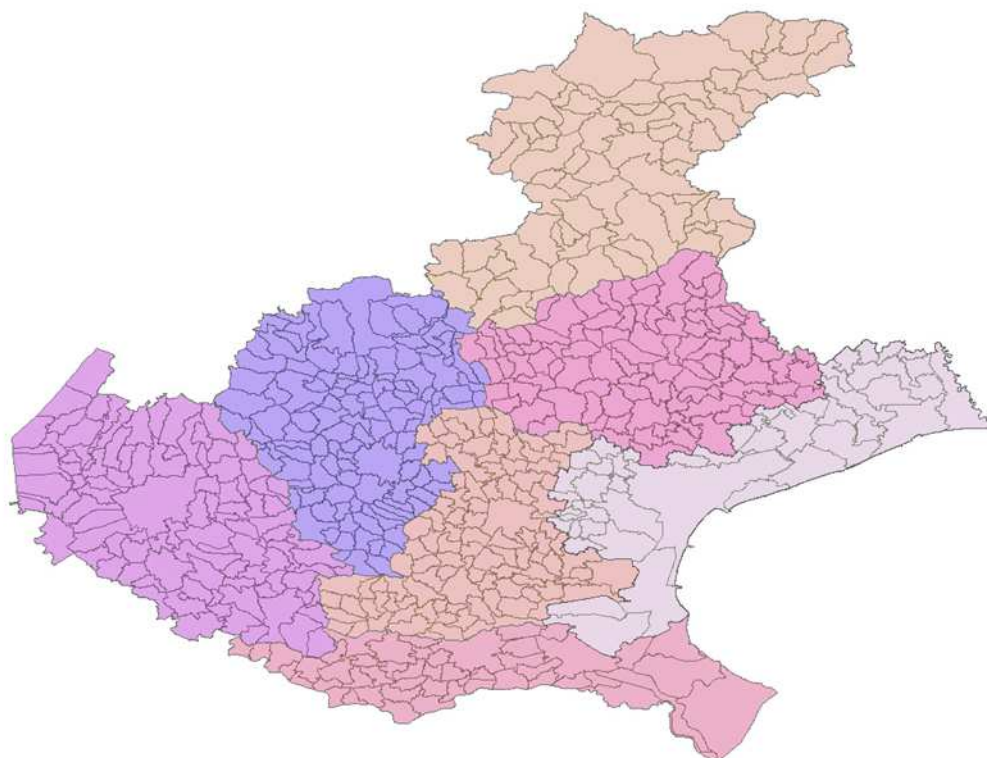


Figura 8 - GIS: mappa base

2. Rete viaria

Visualizza la rete viaria principale della Regione Veneto: non comprende quindi, ovviamente, tutte le strade presenti sul territorio, ma solo quelle che rivestono una certa importanza nella circolazione su grande scala.

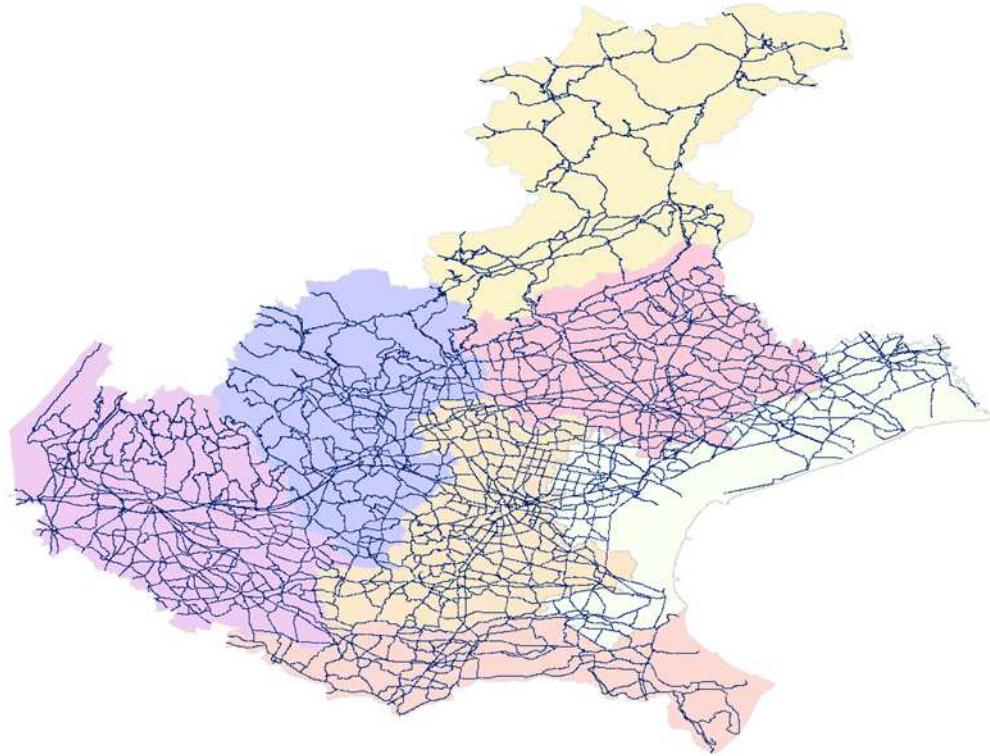


Figura 9 - GIS: rete viaria

Anche questi dati sono contenuti nel database **ponti.gdb** (feature class **Rete**).

3. Ponti

Il layer visualizza tutti i 6475 ponti individuati nella rete viaria principale. Anche questi dati fanno capo al database **ponti.gdb** (feature class **Punti_Medi_Converted**).

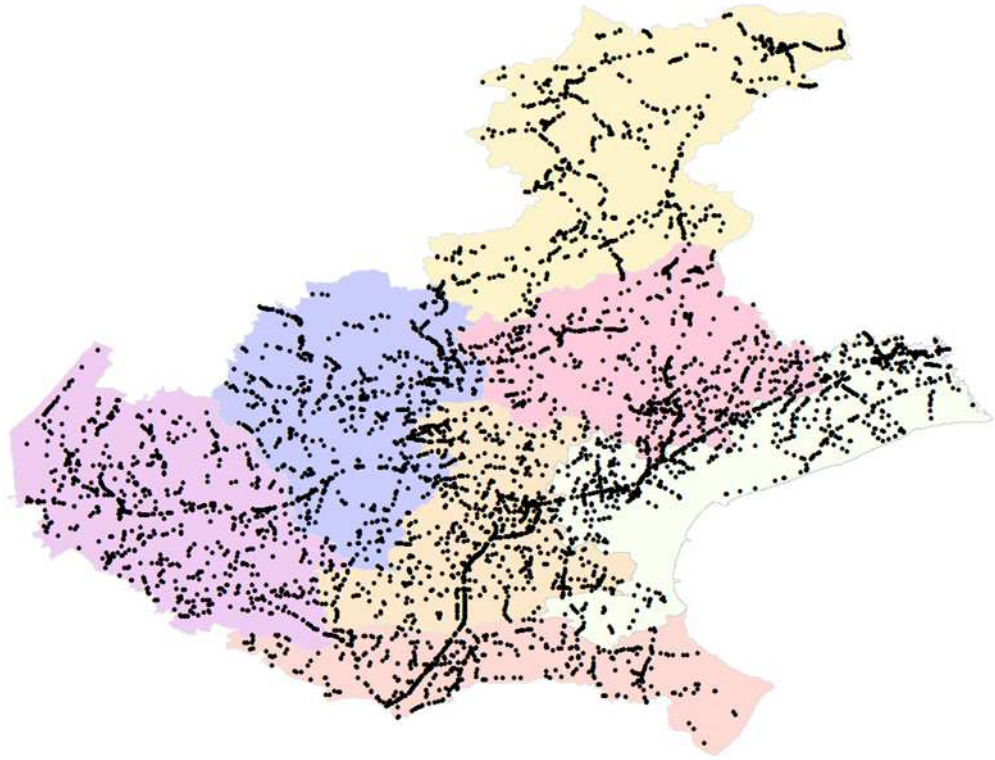


Figura 10 - GIS: ponti individuati

4. Mappa sismica

Riporta i dati relativi alla mappa di pericolosità sismica, anche questa contenuta nel database **ponti.gdb** (feature class **XYmappa_Converted**).

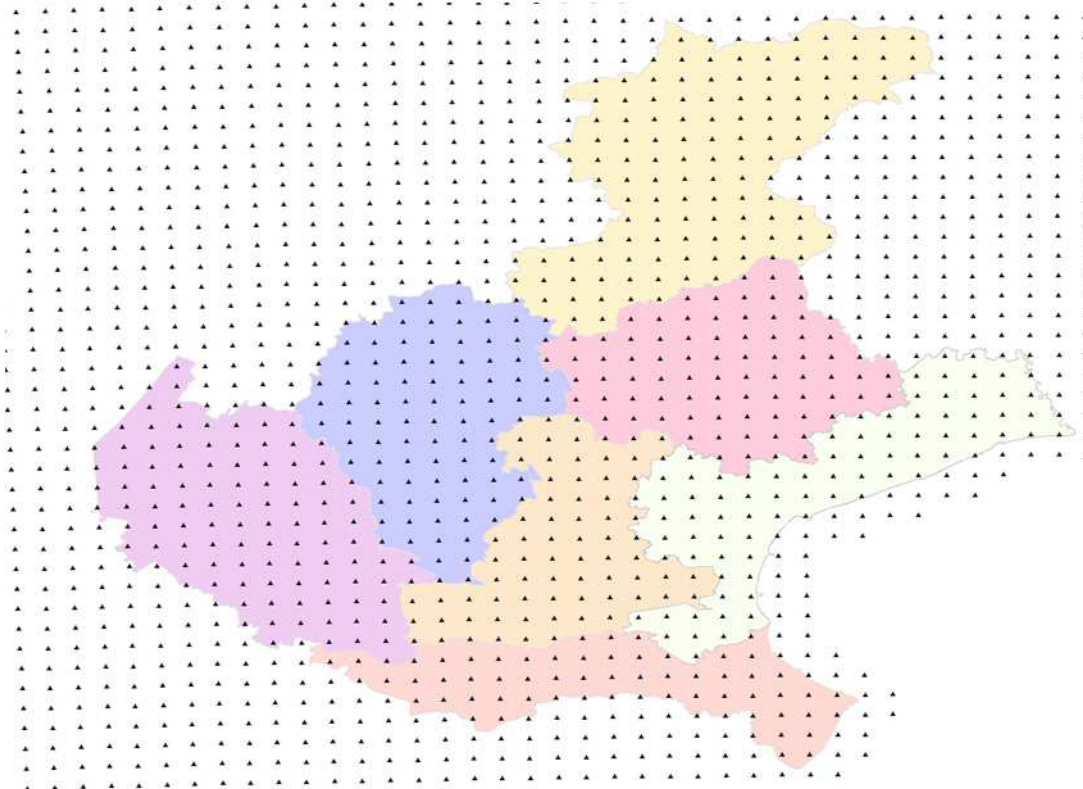


Figura 11 - GIS: mappa di pericolosità sismica. I triangoli indicano i punti in cui sono memorizzate le informazioni relative alla pericolosità sismica

5. Terreno

Contiene le informazioni relative alle caratteristiche del terreno, salvate nel database **terreno.gdb**. Contiene sia un layer raster sia una point feature class con memorizzate le informazioni a livello di singolo manufatto.

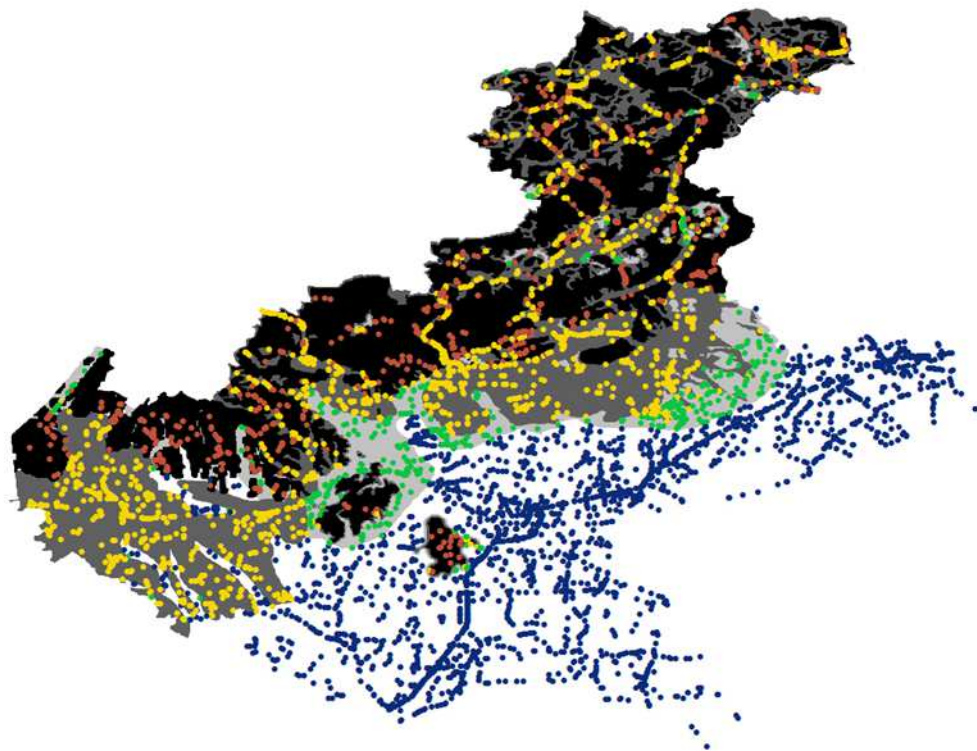


Figura 12 - GIS: caratteristiche terreno

Possiamo infatti vedere sia la mappa raster in scala di grigi sia le caratteristiche a livello del singolo ponte: in blu i siti su terreno di tipo D, in verde su tipo C, in giallo su tipo B per finire con i siti rossi su terreni rocciosi di tipo A.

6. Zone sismogenetiche ed epicentro

Visualizza sulla carta le zone sismogenetiche implementate, assieme all'epicentro dell'evento generato. Pur essendo due layer separati, li si rappresenta assieme per miglior comprensione. I dati sono contenuti nel database **lbrid.mdb**, tabelle **Zone Sismogenetiche** e **Scenario_Sismico_Epicentro**.

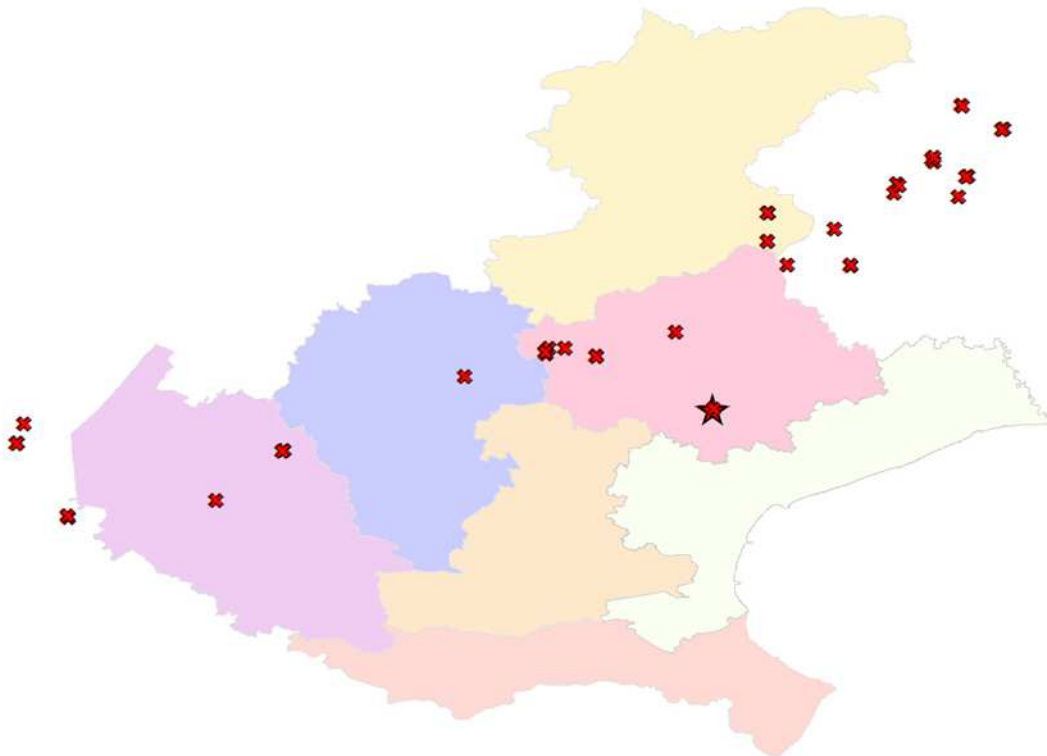


Figura 13 - GIS: zone sismogenetiche ed epicentro

7. Scenario Sismico

I dati relativi allo scenario generato possono essere visualizzati in molti modi diversi: è sufficiente modificare le modalità di rappresentazione dei dati della tabella **SCENARIO_SISMICO** del database **lbrid.mdb** collegata al sistema GIS. A titolo d'esempio, si riportano due visualizzazioni possibili.

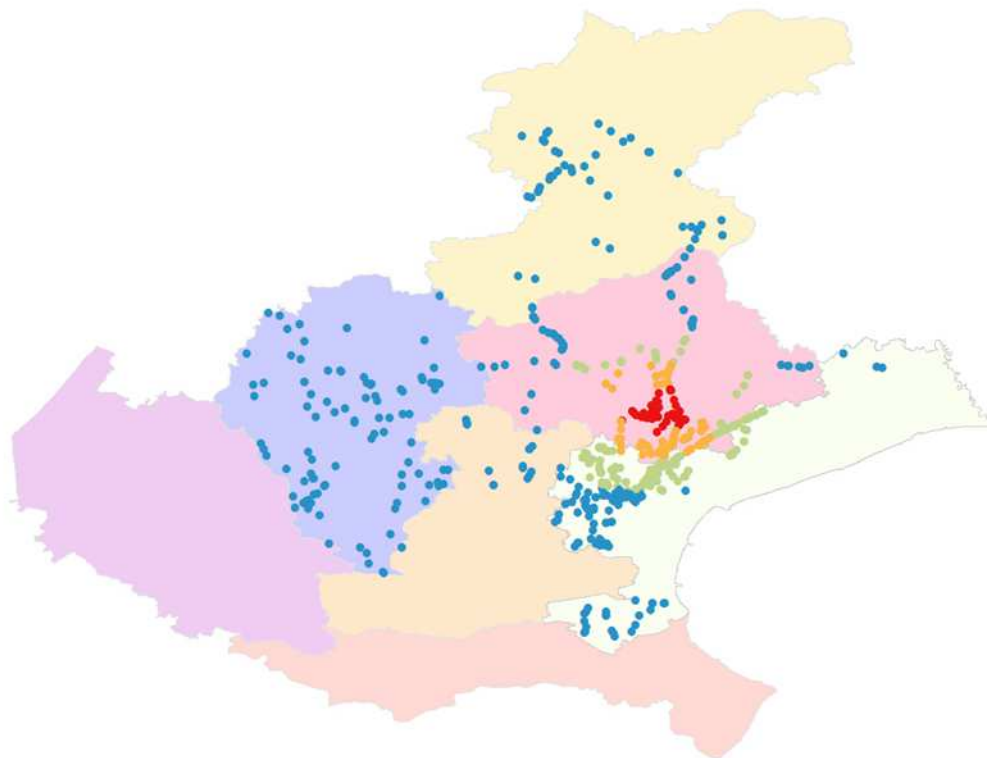


Figura 14 - GIS: scenario sismico, accelerazione al suolo

In questa prima carta vediamo rappresentata, a livello del singolo ponte, l'accelerazione al suolo subita in situ ad opera di un sisma con epicentro nel trevigiano: si vede come correttamente l'intensità dell'azione vada diminuendo con la distanza dall'epicentro, essendo in rosso i siti con massima accelerazione e in blu i siti con accelerazione molto bassa.

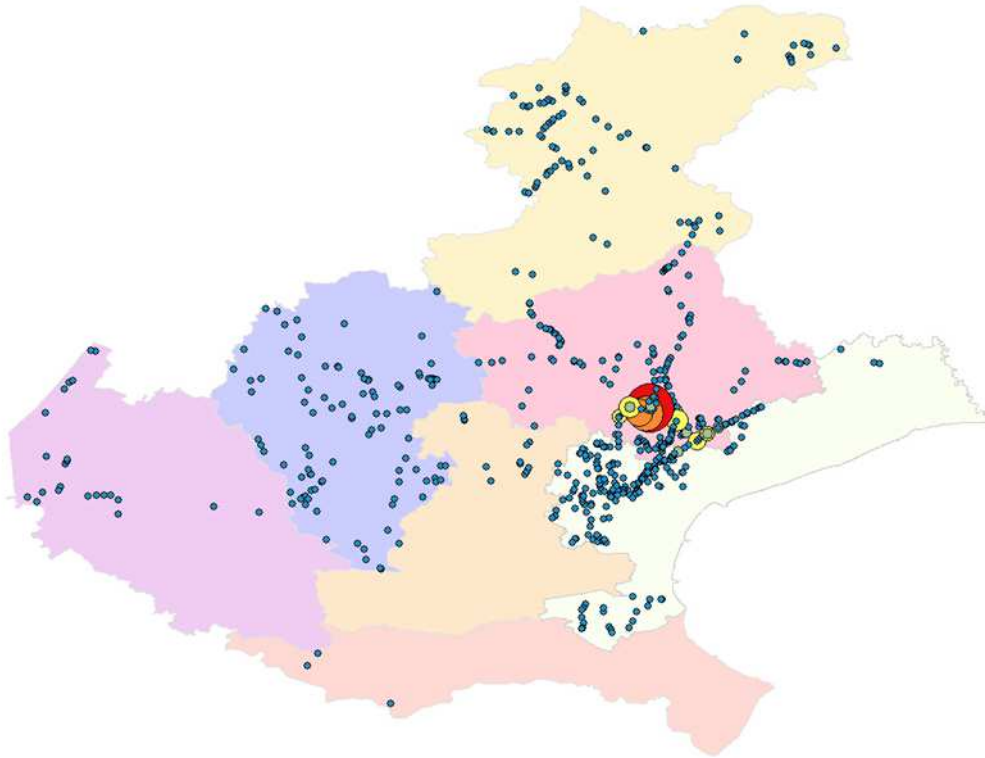


Figura 15 - GIS: scenario sismico, danno medio sul manufatto

In questa seconda rappresentazione vediamo il danno medio subito dal manufatto, ovvero la media degli stati di danno generati dalla n iterazioni del metodo di Montecarlo: in rosso il ponte con danno più elevato, fino ai ponti in blu che non subiscono alcun tipo di danno.

Si ricorda ancora una volta come il sistema consenta di visualizzare una grande varietà di altre informazioni, sulla rete di ponti, sulle caratteristiche del terreno, sulle caratteristiche dello scenario generato, essendo quindi sin d'ora un valido strumento per effettuare semplici valutazioni sui probabili effetti di eventi sismici nelle nostre zone.

1.5 Le fonti dei dati inseriti

I dati inseriti fin'ora provengono da diverse fonti. Per quanto riguarda la catalogazione dei manufatti, il database di partenza è il database IBRID, realizzato nel corso degli anni presso l'allora Dipartimento di Costruzioni e Trasporti (DCT). A questo si sono aggiunti altri dataset minori, e il tutto è stato organizzato in un nuovo formato.

Molto utile per confermare la posizione delle opere si sono rivelati software come Google Maps e il più completo Google Earth, indispensabili anche nella valutazione di quei macroparametri strutturali il cui inserimento è vitale per una corretta categorizzazione dei manufatti.

La procedura di catalogazione è stata eseguita sulla base del progetto Risk-UE, esposto nel paragrafo successivo, a cui si rimanda per una completa trattazione.

La mappa sismica è stata ricavata da quella realizzata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (di cui sono riportati i valori tabellari nell'allegato B delle NTC08), e messa a disposizione anche in forma tabulare sul web dall'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV, www.ingv.it).

Per quanto riguarda il valore del coefficiente di struttura, in mancanza, per ora, di studi più adeguati, si sono seguite le indicazioni da normativa, quindi NTC 08 e relativa circolare esplicativa, ponendolo prudenzialmente pari a 1.5.

La categorizzazione del terreno è stata realizzata sulla base del lavoro di Slejko, Rebez e Santulin, *Seismic hazard estimates for the Vittorio Veneto broader area (NE Italy)*, della *Cartografia sismica della pianura della Provincia di Treviso*, realizzata da R. Francese, A. Bondesan, J. Centonze e N. Wardell nell'ambito del Piano Territoriale di Coordinamento (PTCP) della Provincia di Treviso, e del lavoro di G.M. Verderame, F. De Luca, M.T. De Risi, C. Del Gaudio, P. Ricci, *A three level vulnerability approach for damage assessment of infilled RC buildings: The Emilia 2012 case*.

Le zone sismogenetiche sono state estratte, ancora una volta, dal prezioso lavoro dell'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (INGV, www.ingv.it), in particolare dal progetto *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS, versione 3).

1.6 La procedura Risk-UE

Il progetto europeo Risk-UE (*An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*) è stato lanciato nel 1999 e si è svolto fra il 2001 e il 2004: nel corso di questo progetto è stata svolta un'analisi globale dell'impatto di un sisma su una città, all'interno del contesto europeo. Uno dei principali obiettivi era infatti il tentativo di rendere più consapevoli gli Enti locali dei vantaggi derivanti da un piano di intervento antisismico, e più in generale degli effetti derivanti da un elevato rischio sismico.

Simili progetti erano già stati svolti a livello mondiale, per esempio il noto programma HAZUS negli USA, o altri esempi in Giappone ed in altre nazioni, ma è il primo esempio a livello europeo: strutturato su 7 città europee, il programma ha sviluppato una metodologia modulare per creare scenari sismici, con particolare riferimento agli aspetti peculiari delle città europee, al fine di evidenziare i punti deboli del sistema urbano tipo.

Le città in oggetto sono Barcellona, Bitola, Bucarest, Catania, Nizza, Sofia e Tessalonico.



Figura 16 - Risk-UE: città campione

Il progetto si poneva obiettivi ben precisi. Innanzitutto, una serie di **obiettivi strategici**:

- Valutazione dei danni, in termini umani, economici e sociali, e della loro evoluzione nel tempo, causati da un sisma con una ragionevole probabilità di accadimento in riferimento alla specifica zona interessata.

- Partecipare allo sviluppo di database urbani, possibilmente integrati all'interno di sistemi GIS, che permettessero agli Enti locali di effettuare analisi sistematiche dei dati a disposizione al fine di poter gestire al meglio eventuali emergenze, individuare le zone critiche del sistema urbano ed in generale avere uno strumento per la stima del rischio sismico della zona in esame.
- Rendere disponibili pubblicamente, via internet, tutti gli avanzamenti metodologici e teorici raggiunti.
- Creare una sinergia tra nazioni europee solitamente in contrasto, quali i Paesi della penisola balcanica.

Gli **obiettivi scientifici** erano invece:

- Sviluppare una metodologia modulare per costruire scenari sismici realistici, e in particolar modo per valutarne gli effetti prendendo in considerazione: le caratteristiche peculiari delle città europee, da cui la particolare attenzione per gli edifici storici; considerazioni sull'impatto in termini economici; reazione della popolazione.
- Raccogliere ed organizzare nel migliore dei modi i dati esistenti
- Migliorare ed unificare il lavoro già svolto da diversi gruppi di ricerca nel medesimo campo
- Fondare diversi gruppi di ricerca a livello europeo, con l'intento di applicare la procedura alle città campione.
- Validare la procedura elaborata, tramite i pareri di altri esperti a livello internazionale.
- Produrre una pubblicazione utile alla valutazione del rischio sismico a livello europeo.

Il progetto è stato suddiviso in 7 *work packages* (WP):

- WP01: caratteristiche tipiche europee, GIS, database, tipologia di edifici
- WP02: valutazione del rischio sismico
- WP03: analisi del sistema urbano

- WP04: vulnerabilità sismica di edifici esistenti
- WP05: vulnerabilità sismica di edifici e centri abitati storici
- WP06: vulnerabilità sismica di infrastrutture e grandi opere
- WP07: scenari sismici

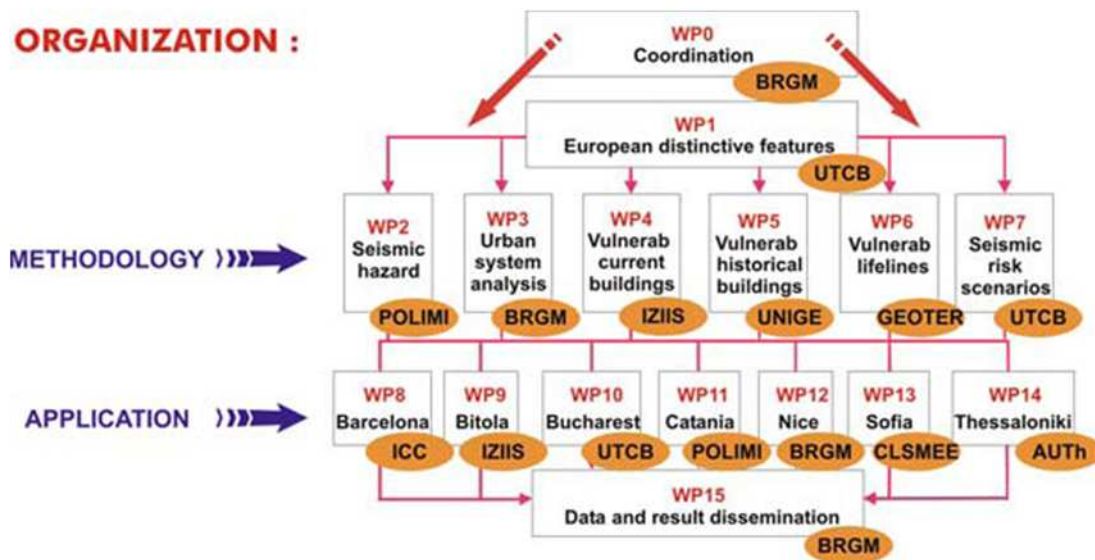


Figura 17 - Risk-UE: organizzazione dei lavori

WP01: caratteristiche tipiche europee, GIS, database, tipologia di edifici

Lo scopo del primo modulo è di fornire una metodologia per collezionare ed organizzare edifici e dati sismici in Europa. Le 7 città campione sono state analizzate per trovare i fattori peculiari del sistema urbano europeo: edifici storici, monumenti, modelli di sviluppo, ecc.

La caratteristica più distintiva risulta essere l'altissima concentrazione di edifici storici e manufatti artistici esposti al rischio sismico.

WP02: valutazione del rischio sismico

Il secondo modulo fornisce strumenti per la stima del rischio sismico, con particolare riferimento allo scuotimento al suolo atteso, e fornisce metodi per realizzarne convenienti rappresentazioni cartografiche.

Punto fermo del progetto era di fornire un approccio al problema uniforme, semplice e realistico, ferme restando le forti differenze presenti fra le varie città campione in termini sia sismologici sia urbanistici.

WP03: analisi del sistema urbano

In questa parte di lavoro si è svolta un'analisi approfondita degli effetti di un possibile sisma sul sistema urbano, non limitandosi a fattori economici ed umani (normalmente presi in considerazione) ma sviluppando nuovi concetti: l'analisi delle conseguenze a livello sociale e culturale, o la definizione di strutture o luoghi vitali per la funzionalità della città e che quindi assumono importanza ben maggiore di quella stimabile tramite semplici criteri economici.

WP04: vulnerabilità sismica di edifici esistenti

Il modulo si occupa di valutare la vulnerabilità degli edifici esistenti nel tessuto urbano, tipicamente blocchi di edifici multipiano, con particolare riguardo alle differenze fra le tipologie tipo caratteristiche delle diverse città campione.

WP05: vulnerabilità sismica di edifici e centri abitati storici

Si propone un metodo per la stima della vulnerabilità sismica di edifici storici: da un valore di partenza basato sulla tipologia di edificio (torre, chiesa, ecc.), si ottiene il valore specifico per il singolo manufatto tramite dei fattori correttivi basati su macroparametri facilmente valutabili, come stato di manutenzione, qualità dei materiali, regolarità strutturale.

Il metodo è necessariamente approssimato, ma fornisce un valido strumento per una raccolta dati semplice, veloce e tuttavia efficace.

WP06: vulnerabilità sismica di infrastrutture e grandi opere

L'accessibilità ad infrastrutture urbane è spesso difficoltosa in Europa: ciò è dovuto a svariati motivi, e causa una mancanza di dati sugli effetti causati dai sismi su questo tipo di strutture. Peraltro, le infrastrutture sono sistemi complessi, spesso in forma di rete composta di archi e nodi, e la loro analisi richiede particolari attenzioni.

Per esempio, per quanto riguarda la rete di trasporto, la procedura suddivide gli elementi in strade, ponti e tunnel, più altri elementi tecnici quali scarpate, argini e muri di sostegno. Per i ponti, identificati come principale elemento soggetto a rischio sismico nella rete di

trasporti, è stato proposto un metodo simile a quello adottato per la valutazione della vulnerabilità degli edifici storici: un valore base stimato seguendo una semplice classificazione, poi raffinato tramite coefficienti correttivi basati su parametri macroscopici facilmente rilevabili. Di questo metodo si tratterà in dettaglio nei capitoli successivi, essendo utilizzato anche in questo particolare lavoro.

La procedura fornisce anche una metodologia per la classificazione dell'intero sistema trasportistico, che si riporta a titolo d'esempio.

Criteria	1 (High)		2 (Medium)		3 (Low)
Radiance	Mainly international		National or Regional		Local
Redundancy capability	Mainly single		In between		Mainly redundant
Alternative route	>7.0 km >30 minutes		3.5 to 7.0 km 10 to 30 minutes		<3.5 km <10 minutes
Population within the area	≥ 1 000 000		100 000 to 1 000 000		≤100 000
Relation for critical facility, transport or utility	Indispensable		Necessary		Not necessary
Importance of structures	Strategic		In between		Ordinary
Percentage of freeways (%)	≥ 20		5 to 20		≤ 5
Road category	Freeway	Arterial Street	Secondary arterial	Collector Street	Local Street Pedestrian
Kind of route	Intercity or long urban distance	Long or middle urban distance	Middle urban distance	Middle urban distance, access transfers	Access transfers
Average speed	120 km/h	80 km/h	70 km/h	50 km/h	40 km/h
Traffic capacity (vehicles/hour/lane)	1400-1600	800-1000	600-800	300-600	200-400

Tabella 8 - Classificazione di un sistema viario

WP07: scenari sismici

L'obiettivo specifico dell'ultimo modulo è la valutazione dei danni umani, sociali ed economici, diretti ed indiretti, causati da un evento sismico in una delle città campione.

Con l'aiuto di sistemi GIS, si è anche fatta un'analisi volta ad individuare i quartieri maggiormente esposti, o comunque ad elevata criticità, nel contesto delle città considerate.

2. LO SCENARIO SISMICO

Essendo il sisma una catastrofe naturale fra le più gravi che possano abbattersi sulle strutture costruite dall'uomo, è di primaria importanza giungere al più presto ad una corretta ed affidabile procedura per valutare il rischio sismico in una determinata zona, ovvero una previsione delle perdite sociali ed economiche attese a seguito del verificarsi di un evento sismico stimato per l'area di riferimento (entro un certo periodo temporale di riferimento), al fine di poter ottimamente intervenire per la sua salvaguardia.

Per la valutazione del rischio sismico si fa riferimento a tre concetti distinti, dal cui incontro è ricavabile la definizione compiuta di rischio sismico in una data area. Questi tre concetti sono:

Pericolosità: è la probabilità che nella zona considerata si verifichi, entro il lasso di tempo considerato, un evento sismico di data intensità.

Vulnerabilità: rappresenta la quantità di risorse e strutture potenzialmente danneggiate o distrutte dall'evento in esame.

Esposizione: è il valore economico delle risorse a rischio.

Dalla sovrapposizione dei tre concetti deriva quindi il rischio sismico: esso è, per esempio, molto basso in una zona a bassa sismicità (pericolosità bassa) qualsivoglia struttura vi sia installata nelle vicinanze, oppure in una zona sì pericolosa ma dove vi siano insediamenti ed infrastrutture progettati e realizzati con criteri opportuni, tali da permettere al sistema strutturale di resistere all'evento (bassa vulnerabilità). Il rischio sismico cresce invece nelle situazioni in cui la zona sia effettivamente caratterizzata da media o elevata attività sismica, ma i cui insediamenti non siano affatto costruiti seguendo i metodi citati sopra: è questo il caso tipico di moltissime aree d'Italia.

Per la valutazione della vulnerabilità dei manufatti è necessaria un'indagine sul campo per la stesura di un database dei manufatti a rischio, con le loro caratteristiche salienti, al fine di poterne valutare le prestazioni strutturali sotto l'azione sismica: ciò, per quanto riguarda la rete di ponti viari della Regione del Veneto, a questo punto del lavoro è in fase di realizzazione, essendovi già la struttura informatica di base ma mancando ancora, per ovi motivi, gran parte delle opere a rischio. Sulla base dei dati raccolti è possibile,

tramite lo strumento delle curve di fragilità in seguito esposto e descritto, andare a valutare la vulnerabilità sismica dei singoli ponti.

L'esposizione sarà anch'essa basata, per quanto riguarda il ristretto ambito della rete di ponti, sul suddetto database, che andrà ovviamente integrato da pertinenti valutazioni a carattere economico e sociale.

Si riportano a titolo d'esempio delle carte utilizzate per la valutazione del rischio sismico per la Regione del Friuli-Venezia Giulia.

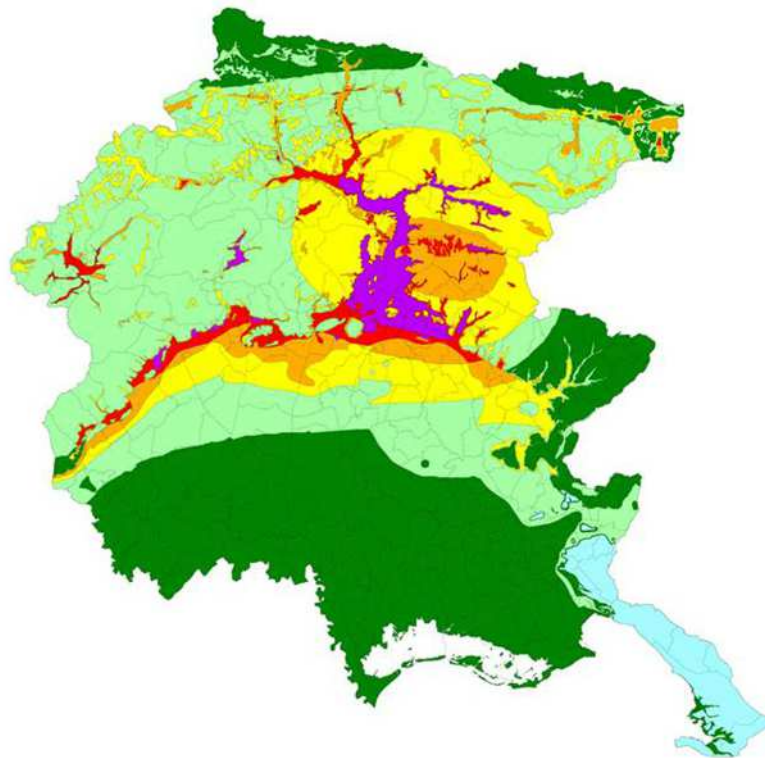


Figura 18 - Friuli-Venezia Giulia: Pericolosità sismica

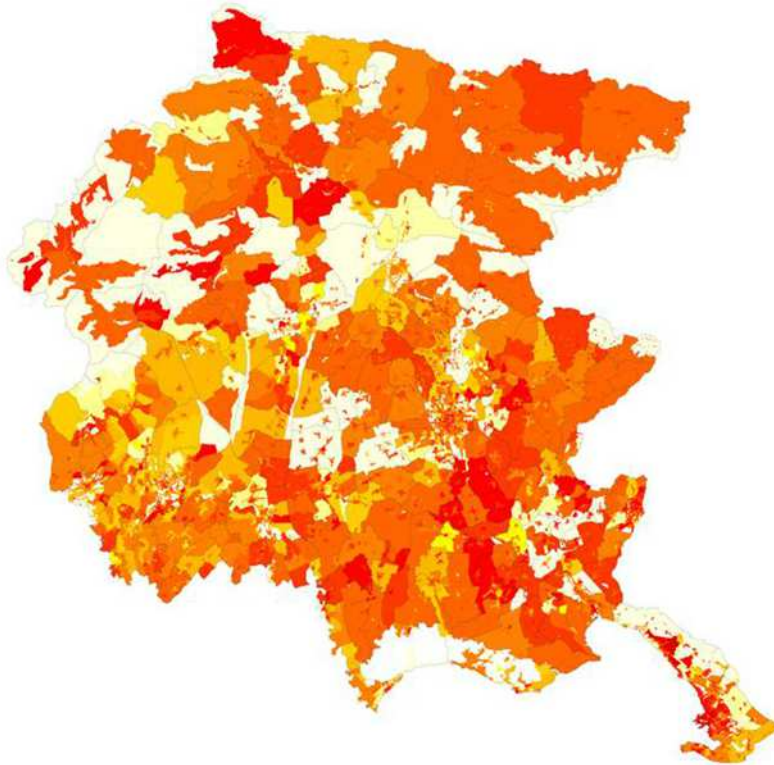


Figura 19 - Friuli-Venezia Giulia: Vulnerabilità

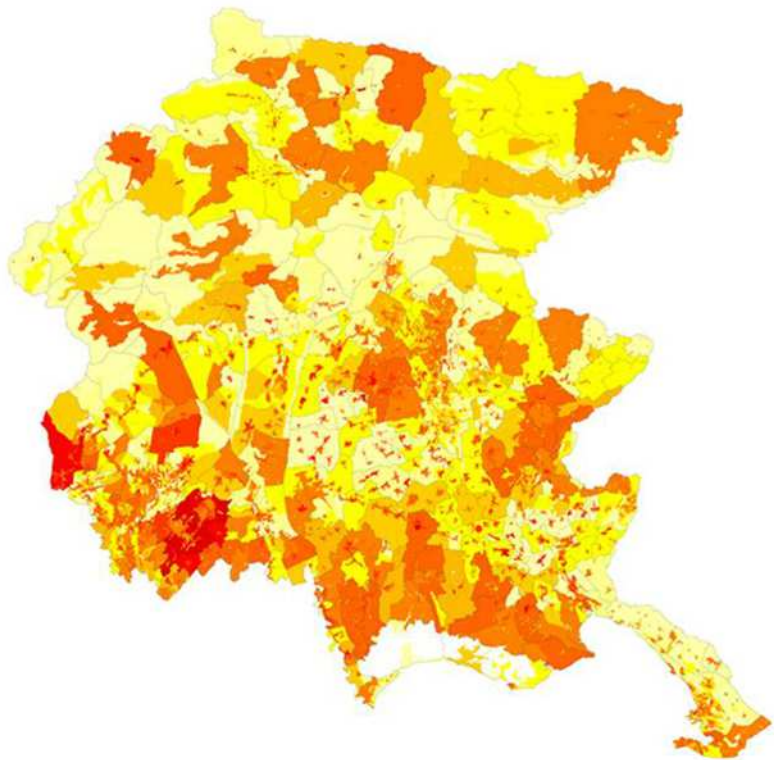


Figura 20 - Friuli-Venezia Giulia: Esposizione

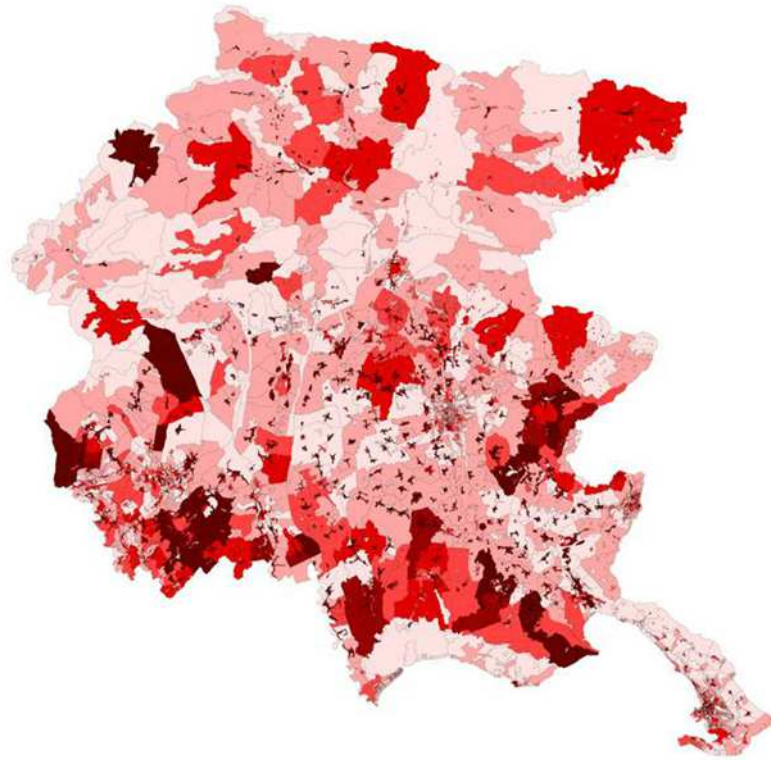


Figura 21 - Friuli-Venezia Giulia: Rischio sismico

Rimane dunque da descrivere la pericolosità sismica di una data area. A tal proposito, l'Istituto Italiano di Geofisica e Vulcanologia (www.ingv.it) mette a disposizione una mappa di pericolosità sismica per l'intero territorio italiano, sia in forma grafica, sia interattiva, sia tabulare.

La versione grafica permette un'immediata valutazione delle zone più a rischio, mentre quella interattiva consente di ricavare dati precisi per uno specifico Comune nel territorio: strumento questo di inestimabile valore per una corretta e fondata progettazione antisismica.

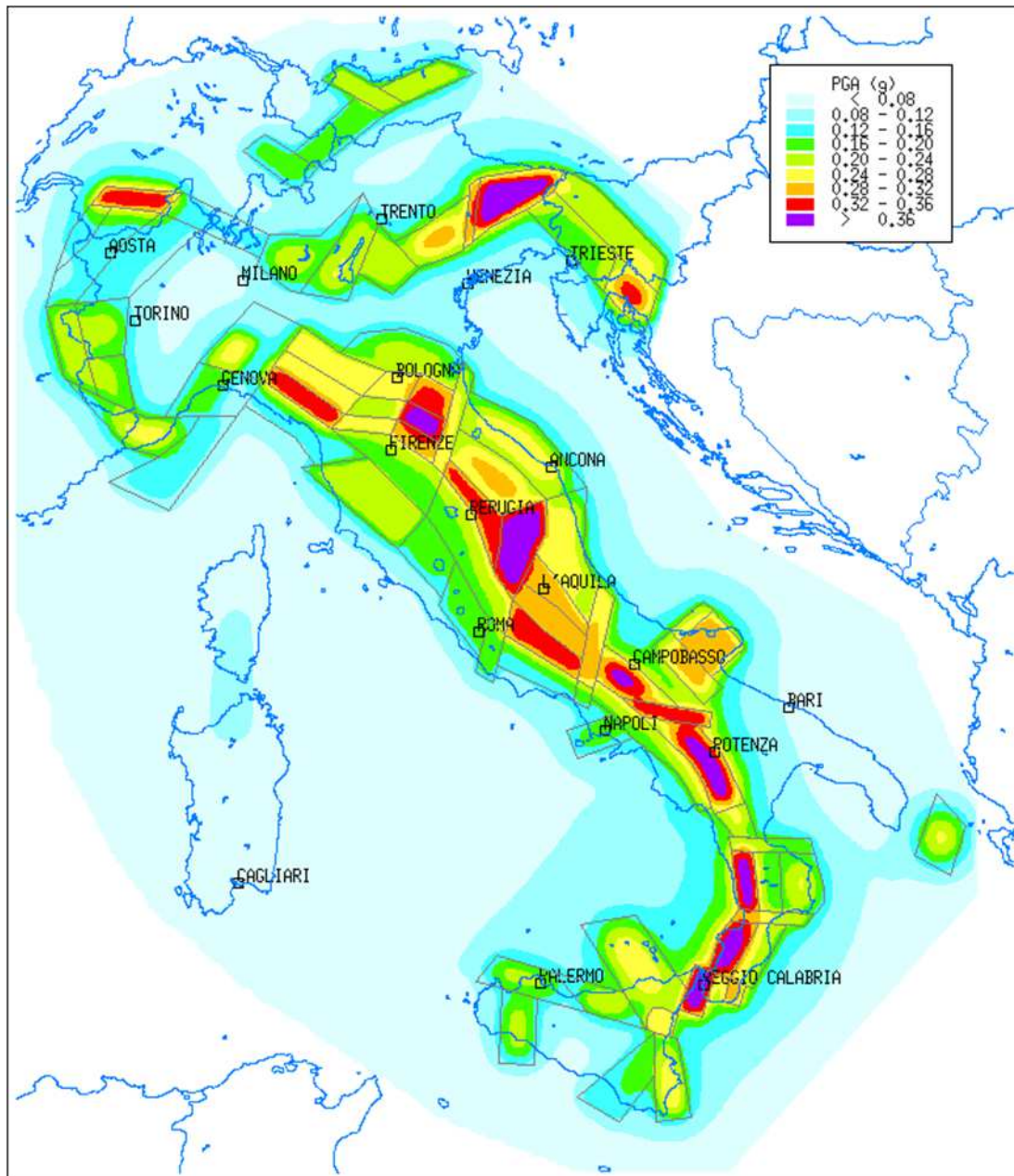


Figura 22 - Carta di pericolosità sismica per il territorio italiano: accelerazione massima al suolo per un periodo di ritorno di 475 anni.

Nella precedente carta è rappresentata l'accelerazione massima al suolo per un periodo di ritorno pari a 475 anni, una chiara indicazione di pericolosità sismica e strumento indispensabile al progettista.

La versione tabulare è invece quella utilizzata anche nel database su cui si sta lavorando, caratterizzata dai valori di pericolosità su una griglia di lato 0.05°.

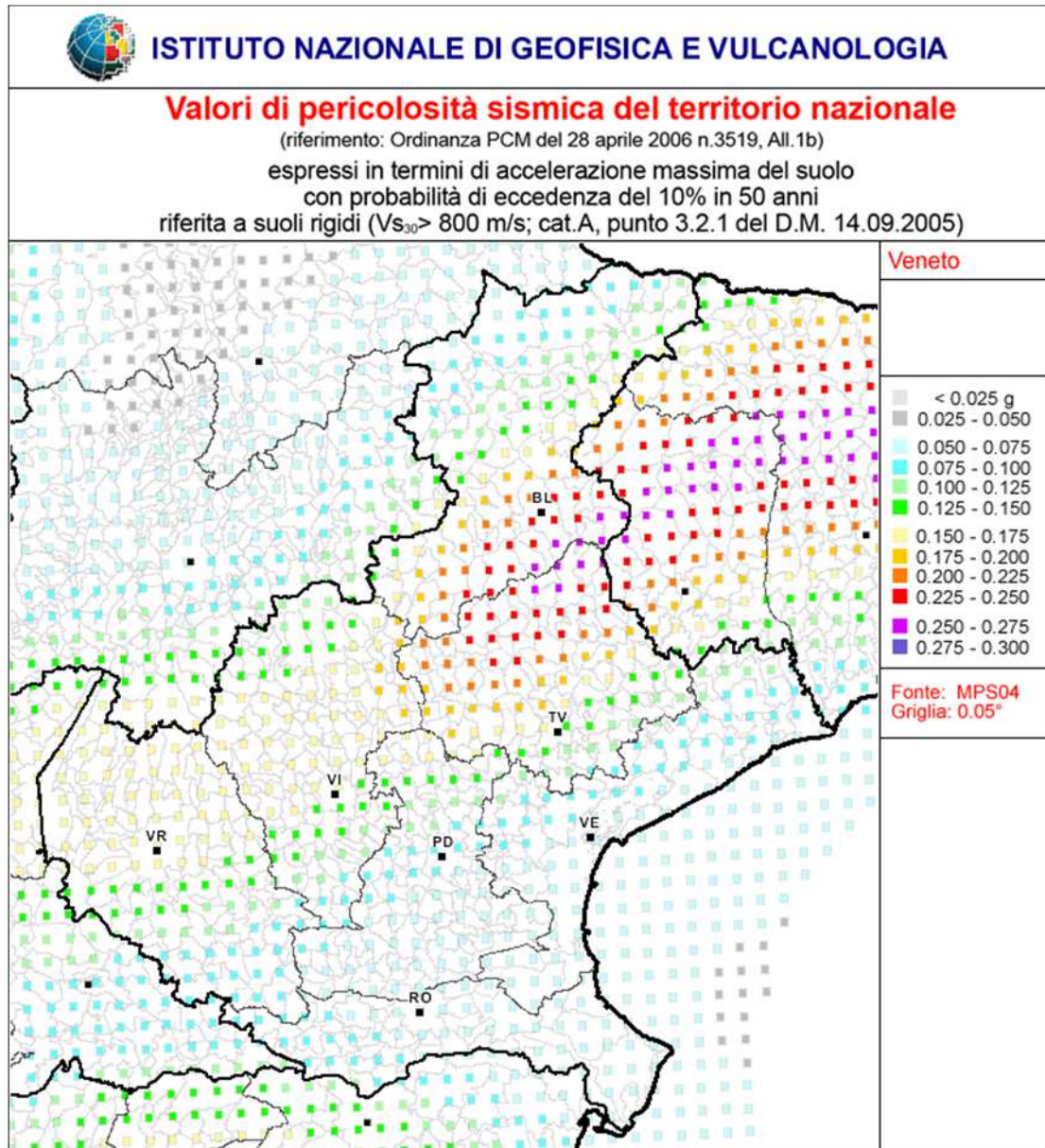


Figura 23 - Valori di pericolosità sismica per la Regione Veneto: visualizzazione della griglia di dati

EXTERNALID	ag_ponte	Fo_ponte	Tc_ponte
4	1.43954366162619	2.4267811113487	0.281988557615183
5	1.43977925978936	2.42676385527325	0.281978891493347
7	1.43857465797696	2.4193657889561	0.29
9	1.43203289439492	2.4226512132421	0.29
10	1.4320787931452	2.4226461312067	0.29
16	1.34995860038728	2.42963803726668	0.29
34	0.801681981531339	2.63562890732193	0.351871108141584
45	0.842020440046797	2.63586081871146	0.35
46	0.842080336873825	2.63579940837016	0.35
47	0.918127654585476	2.56921953496384	0.35
48	1.38681980426912	2.42643996228618	0.29
50	1.38644624050446	2.42647695231824	0.29
52	1.34990211773146	2.42964867885375	0.29
61	1.63672867410999	2.4	0.29
62	1.63675195465172	2.4	0.29
65	1.61700755541037	2.40543430268316	0.29
66	1.6169543900968	2.4054432093478	0.29
69	1.63414063766769	2.4016991778244	0.29
70	1.63420069668389	2.40169031340458	0.29
74	1.60691087853691	2.40739529039724	0.29
76	1.60696042663608	2.40738184023511	0.29
78	1.63782073637248	2.40162735651283	0.29
79	1.63782466515884	2.40162614284845	0.29
81	1.64103677177732	2.40157930964379	0.29
83	1.64100814634317	2.40158381949158	0.29
86	1.60871366501473	2.4075872870577	0.29
101	1.05794413562694	2.57320622195176	0.371368056854402
106	1.07100160651035	2.56969184103614	0.37
107	1.05034043630149	2.57614943577329	0.376400544539658
108	1.07075488290454	2.5697675670862	0.37
137	0.722746960214816	2.66598631905332	0.345698115207786
145	0.72867815082838	2.66545774270899	0.34544420994733
146	0.728647026061047	2.66540806609239	0.345461794586792
170	0.656590088567687	2.72380516874109	0.351576388309488
181	1.6319324023773	2.46485016423673	0.334071701077271
185	2.35943605823483	2.41	0.32
188	2.34258554844608	2.41	0.32
189	2.35791580391802	2.41	0.32

Tabella 9 - Estratto della tabella del database che riporta dati di pericolosità sismica in forma tabulare, già valutati nella posizione del singolo manufatto

Per il calcolo dei parametri nella posizione del singolo manufatto si opera un'interpolazione pesando i valori dei 4 punti più vicini con l'inverso della distanza:

$$V = \frac{\frac{V_1}{d_1} + \frac{V_2}{d_2} + \frac{V_3}{d_3} + \frac{V_4}{d_4}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} + \frac{1}{d_3} + \frac{1}{d_4}}$$

dove d_i sono le distanze e V_i i valori del parametro nei 4 punti.

Per la nuova proposta di classificazione sismica del territorio nazionale è stato privilegiato un metodo probabilistico consolidato e preso a riferimento anche da numerosi progetti internazionali (metodo di Cornell, dal nome di colui che l'ha per primo proposto negli Stati Uniti degli anni Settanta) che prevede 3 fasi distinte:

- riconoscimento sul territorio delle zone o strutture responsabili della sismicità (zone o sorgenti sismogenetiche)
- quantificazione del loro grado di attività;
- calcolo dell'effetto provocato da tali sorgenti all'aumentare della distanza dall'epicentro

Dunque gli elementi basilari per procedere al calcolo della pericolosità sismica col metodo di Cornell sono una zonazione sismogenetica dell'area studiata, un catalogo di terremoti, ed una o più relazioni di attenuazione del parametro sismologico scelto quale indicatore di pericolosità, tipicamente l'accelerazione orizzontale massima al suolo. L'INGV considera una zonazione sismogenetica generata da 80 sorgenti, omogenee dal punto di vista strutturale e sismogenetico, un catalogo di terremoti avvenuti nell'intervallo temporale dall'anno 1000 al 1980 sul territorio nazionale e regioni limitrofe che consiste di oltre 3000 eventi principali, e relazioni di attenuazione validate su base sperimentale.

I risultati di questa metodologia sono in genere riferiti ad un certo livello di probabilità in un dato periodo di riferimento: le figure presentate illustrano il valore dell'indicatore di pericolosità per un periodo di ritorno di 475 anni. Ciò corrisponde al valore che si prevede abbia una possibilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Si tratta ovviamente di una scelta convenzionale utilizzata nel mondo ed in particolare in campo europeo; è il valore di riferimento per l'Eurocodice sismico nonché per la normativa italiana NTC 08. Non corrisponde pertanto nè al massimo valore possibile per la regione, nè al massimo valore osservato storicamente, ma è un ragionevole compromesso legato alla presunta vita media delle strutture abitative.

Si noti come le zone caratterizzate da pericolosità maggiore siano il Friuli Venezia Giulia e l'arco appenninico: ma in generale tutta la fascia prealpina nord-orientale ricade in una zona a moderata pericolosità.

Oltre alle carte di pericolosità sismica propriamente dette, l'INGV mette a disposizione anche la carta di pericolosità macrosismica, che rappresenta le conseguenze socio-economiche attese per un evento in quella zona, e si avvicina dunque al concetto di rischio sismico. Se ne riporta quindi un esempio.

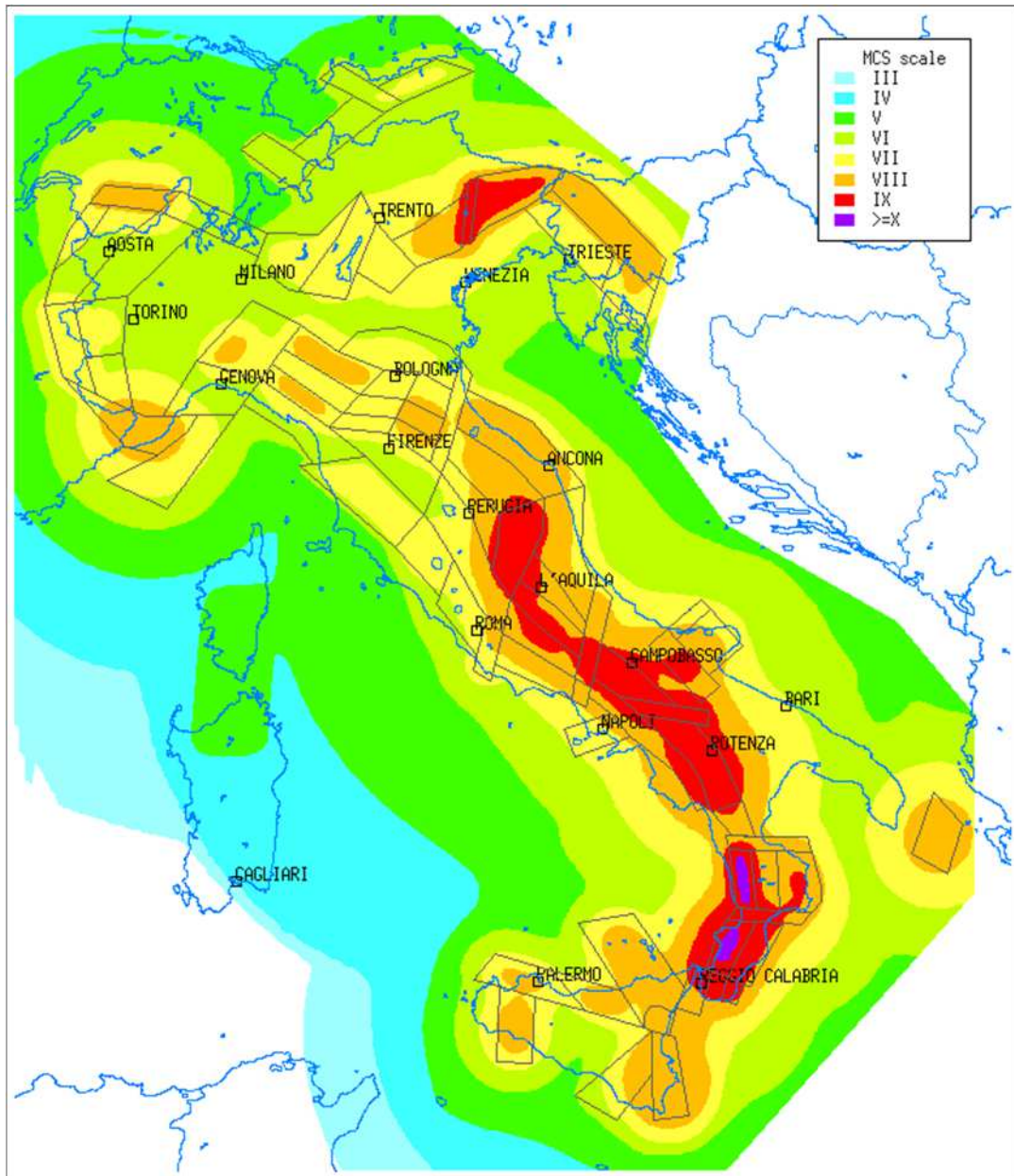


Figura 24 - Carta della pericolosità macrosismica sul territorio italiano

Si noti come, anche in questo caso, le zone caratterizzate da pericolosità maggiore siano il Friuli Venezia Giulia e l'arco appenninico, con il valore massimo raggiunto nella zona costiera calabrese.

Ora, lo studio di pericolosità qui presentato è stato condotto in termini probabilistici: rappresenta dunque dei valori massimi probabili per una certa zona, fermo restando un periodo di ritorno prefissato. Qualora come in questo caso lo studio di pericolosità sia condotto in termini probabilistici, anche le conseguenze strutturali ed economiche saranno espresse in termini probabilistici: tale approccio configura quella che viene denominata un'analisi di rischio. Esso è utile a fini preventivi, cumulando infatti gli effetti di tutte le potenziali sorgenti sismiche.

Nel nostro caso invece si vuole procedere ad un'analisi di scenario, ovvero valutare gli effetti sul territorio a seguito in un evento specifico, generato in maniera artificiale o storicamente avvenuto: questo secondo approccio è utile nelle fasi di gestione dell'emergenza, consentendo infatti di riprodurre una realistica distribuzione degli effetti del sisma sul territorio circostante al fine di pianificare la strategia di protezione civile per il periodo immediatamente successivo all'evento.

Si rende necessaria quindi non più una descrizione statistica della pericolosità, ma uno scenario deterministico che presenti l'andamento dell'accelerazione massima al suolo nel territorio interessato dallo specifico evento: un'azione sismica variabile nello spazio, in base alla distanza dall'epicentro e alle caratteristiche del terreno e degli effetti di zona specifici per quell'area.

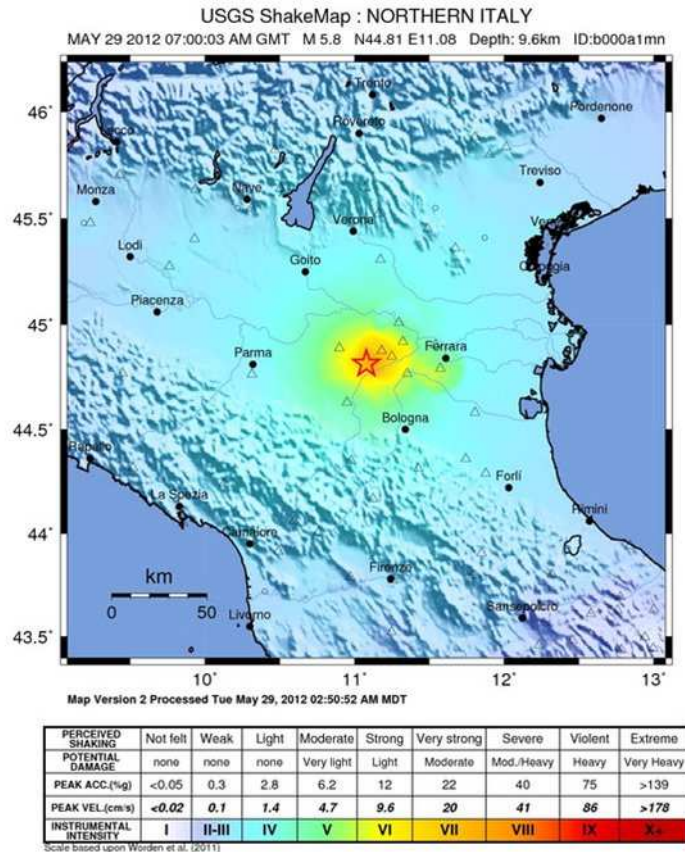


Figura 25 - ShakeMap per il sisma del 29/05/2012 in Emilia

A titolo d'esempio si è riportata la ShakeMap per il sisma che ha colpito le zone dell'Emilia Romagna in data 29/05/2012. Essa rappresenta gli effetti al suolo dello specifico evento, come registrati dagli strumenti, ed evidentemente differisce sostanzialmente dalla carta di pericolosità sismica: gli effetti vanno ovviamente a ridursi in maniera considerevole già a breve distanza dall'epicentro, come risultato del cosiddetto fenomeno di attenuazione.

Vi sono ora diverse possibilità per la generazione di uno scenario sismico: tipicamente, l'analisi di un sisma storico realmente avvenuto oppure la creazione artificiale di un nuovo evento, dalle caratteristiche ricercate. È ovvia l'utilità e l'estrema importanza del secondo approccio, che permette la valutazione degli effetti su qualsiasi zona e a seguito di eventi di qualsiasi intensità, svincolando quindi l'analisi dalla necessità di reperire dati sperimentali pertinenti al bisogno specifico.

Nel nostro caso si procede quindi alla generazione per via completamente artificiale di uno scenario sismico, ovvero di un evento sismico simulato e pienamente descritto da tutte le sue caratteristiche: intensità dell'evento, posizione dell'epicentro, accelerazione al suolo, e in generale una descrizione dell'azione su come viene percepita dalle strutture entro un certo raggio attorno alla zona colpita.

Si considera tuttavia variabile solo la posizione dell'epicentro: l'intensità dell'evento sarà quindi ricavata, ovviamente per quanto riguarda il massimo valore, epicentrale, dalle mappe di pericolosità sismica sopra presentate a partire dai dati forniti in forma tabulare e inseriti nel database.

Per fare ciò si procede come segue:

1. Scelta della posizione dell'epicentro
2. Valutazione, tramite le mappe di pericolosità sismica, della massima accelerazione orizzontale al suolo nel punto scelto come epicentro
3. Valutazione dell'attenuazione, e calcolo dei valori di massima accelerazione orizzontale al suolo nella zona circostante
4. Applicazione degli effetti derivanti dall'amplificazione zonale e dalle caratteristiche del terreno
5. Calcolo dell'accelerazione spettrale, con cui sarà in seguito valutabile la vulnerabilità di ciascun manufatto.

Ora, la scelta della posizione dell'epicentro è sostanzialmente a discrezione dell'operatore, da valutarsi specificatamente di caso in caso: qualche considerazione verrà fatta in un successivo paragrafo.

Essendo inoltre il problema della valutazione della massima accelerazione epicentrale esaurito dalla precedente trattazione, si procede ora ad affrontare la questione delle leggi di attenuazione, di fondamentale importanza per una corretta descrizione degli effetti di un evento sismico.

Si noti infine come nel nostro caso non siano stati considerati gli effetti di amplificazione zonale, e in maniera semplificata quelli derivanti dalle caratteristiche del terreno: di ciò si discuterà compiutamente in seguito, nei successivi paragrafi di questo capitolo e più in generale col proseguire del lavoro.

2.1 Modalità di generazione dei parametri di scuotimento al suolo

La definizione dell'azione sismica, come ampiamente già discusso, richiede la previsione dei parametri di scuotimento al suolo. Tralasciando il caso dell'utilizzo di accelerogrammi registrati, i principali approcci per la generazione di questo tipo di dati sono due:

- approccio sismologico
- approccio stocastico
- approccio empirico

L'approccio sismologico prevede appunto la generazione di scenari sismici sulla base di considerazioni sismologiche, ma richiede la specificazione di una grande quantità di parametri, associati con posizione della sorgente, percorso delle onde sismiche, effetti locali, ecc: tutte grandezze fortemente indeterminate nel campo della previsione di eventi. Infatti, questo tipo di metodi è scarsamente usato in Europa e in generale in tutte quelle zone ove sia presente una storia di eventi di una qualche completezza ed affidabilità, preferendo dunque metodi di altro tipo. Sono tuttavia utilizzati con successo nel caso si voglia analizzare i processi che seguono il verificarsi di un dato evento, e quindi in un ambito più tecnicamente sismologico e non ingegneristico, quando i parametri necessari sono in effetti più facilmente stimabili.

Un altro approccio comunemente utilizzato è quello stocastico, che richiede meno parametri rispetto all'utilizzo dei metodi sismologici: il maggior vantaggio di questo metodo è la diretta creazione di accelerogrammi, ma non vi sono garanzie sul fatto che queste curve tempo-accelerazione rispecchino effettivamente veri terremoti. Mentre infatti l'ampiezza dello spettro è realistica, il contenuto in frequenza è generalmente generato casualmente, e quindi non rispecchia fedelmente l'effetto di un evento reale. Pur con questo evidente difetto, il metodo stocastico è stato più volte utilizzato a livello europeo per la previsione di scenari sismici, con buoni risultati.

Pur essendovi studi che affermano, in talune circostanze, la superiorità dei metodi sismologici, per ovvie ragioni quali la mancanza di dati precisi i metodi di gran lunga più utilizzati a livello europeo e mondiale sono quelli che seguono l'approccio empirico: essi si basano sulla costruzione di curve per la previsione dello scuotimento al suolo, o GMPE (*ground motion prediction equations*), puramente empiriche.

Le GMPE sono generalmente espresse in forma tale da assegnare a ciascun termine un significato fisico, ma essendo di natura prettamente empirica il grado con cui questi termini effettivamente rappresentano il fenomeno in oggetto dipende in maniera fondamentale dalla qualità dei dati utilizzati per la generazione dell'equazione: è per questo che lo sviluppo di questo tipo di curve necessariamente prevede la disponibilità di un database di eventi sismici da cui attingere informazioni. Nonostante il primo accelerogramma sia stato registrato in California nel 1933, il primo dato europeo risale al 1967, in Macedonia, motivo per cui il tema in esame risale solo ad una trentina d'anni fa: da allora il quantitativo di dati a disposizione è aumentato in quantità e qualità, portando ad un'evoluzione significativa delle GMPE.

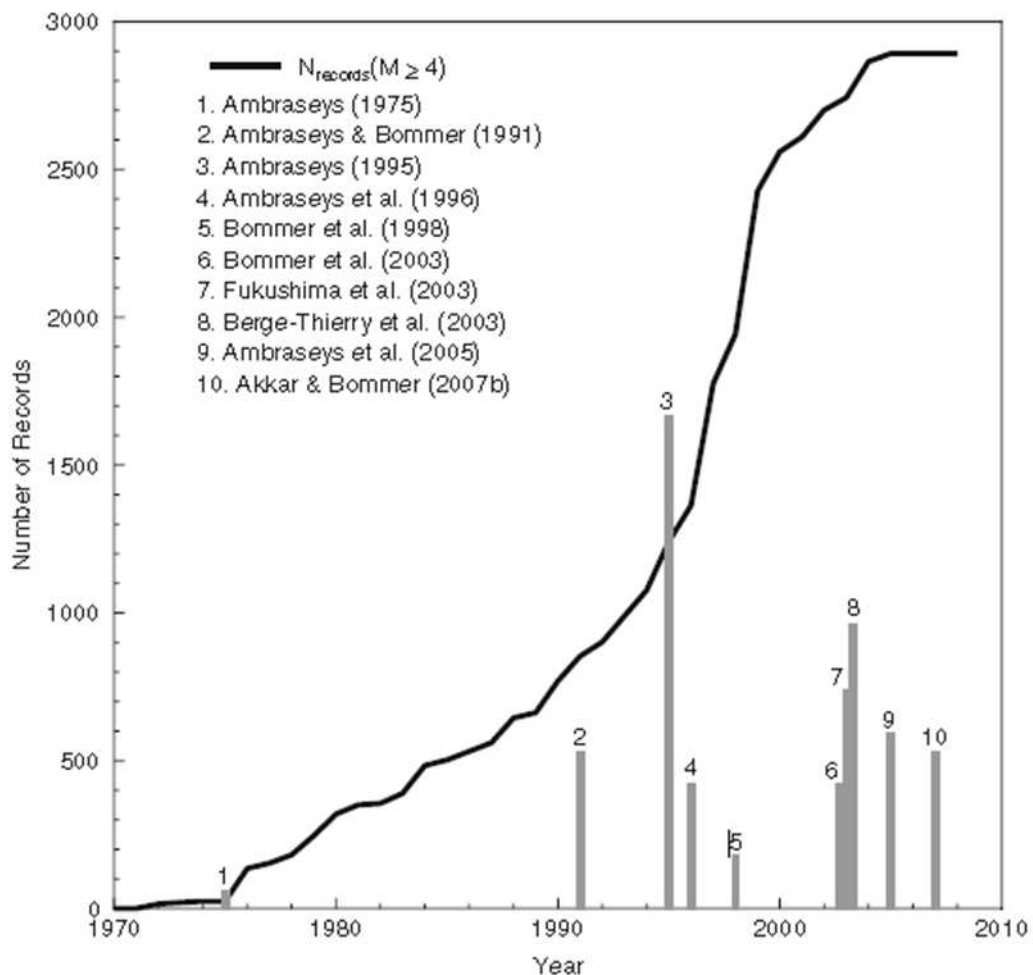


Figura 26 - Evoluzione nel tempo della disponibilità di registrazioni di eventi sismici

La figura precedente mostra il numero crescente di dati disponibili, basato sul database dell'European Strong-Motion Data Internet Site mantenuto presso l'Imperial College di Londra. Sono visibili anche le date di pubblicazione delle più conosciute leggi

attenuazione (fino al 2007), con l'indicazione della quantità di dati utilizzata per la regressione.

La costruzione di queste curve si basa infatti su un'analisi di regressione effettuata su un gran numero di dati, al fine di trovare quella formulazione che meglio approssima il set di misurazioni, ovvero quella che presenta il minor errore. Una curva tipo che si ottiene da formulazioni di questo tipo è la seguente:

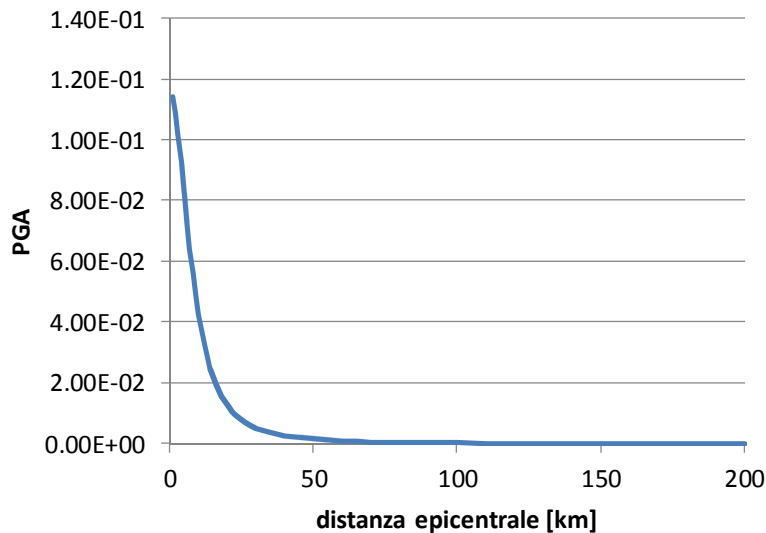


Figura 27 - Forma tipo di una legge di attenuazione

Le più recenti equazioni sviluppate sono, a titolo d'esempio:

- Ambraseys et Al. (2005)
- Bragato & Slejko (2005)
- Akkar & Bommer (2007)
- Bragato (2009)

Ciascuna di queste presenta diverse caratteristiche ed è quindi indicata per diversi tipi di utilizzo.

Un'ultima osservazione: si nota nella figura precedente un grande distacco fra il numero di dati utilizzati e il numero effettivamente disponibile: ciò deriva essenzialmente da due motivi, il primo essendo la necessità di escludere dal calcolo gli eventi al di fuori di un determinato range di magnitudo (tipicamente gli eventi di scarsa intensità), e il secondo

la cronica mancanza di dati riguardo la sorgente, il percorso o il tipo di terreno interessati, vanificando la registrazione del dato, inutilizzabile se scorrelato da queste necessarie informazioni aggiuntive.

Infine, una nota sulla zona di applicazione delle precedenti equazioni: mentre alcune (Ambraseys et al) sono utilizzabili su scala europea, altre (Bragato) sono specificatamente ricavate per zone ristrette. Vi sono ad esempio, Danciu & Tselentis (2007) per la Grecia, Zarè & Sabzali (2006) per l'Iran, Ulusay et al. (2004) per la Turchia, e molte altre. La pubblicazione di così tante leggi di attenuazione diverse, basate talvolta su dati derivanti da zone davvero ridotte, pone la questione se sia in effetti utile questo approccio locale o se forse sia da ricercarsi la creazione di un numero minore di formulazioni, ma tanto più affidabili quanto sia vasta la base di dati utilizzabile per la loro ricerca. La domanda teorica alla base di questo problema è se effettivamente sia possibile individuare consistenti differenze nel comportamento sismico di diverse aree europee, o se invece le differenze riscontrate siano da imputarsi ad altri fattori: di ciò si discuterà meglio successivamente.

2.2 Leggi di attenuazione: tre recenti proposte

A seguito dell'analisi di un gran numero di formulazioni reperibili, si è effettuata una scelta per ridurre i casi in esame a quelli che più si prestano al nostro problema. Si riporta quindi la descrizione delle tre leggi di attenuazione ritenute più aderenti al caso in esame: per ciascuna si presentano la formulazione matematica e le caratteristiche salienti.

1. Ambraseys et al. (2005)

La formulazione è la seguente:

$$\log(PGA) = a_1 + a_2M + (a_3 + a_4M)\log\sqrt{d^2 + a_5^2} + a_6S_S + a_7S_A + a_8F_N + a_9F_T + a_{10}F_O$$

Dove:

PGA	accelerazione massima al suolo [m/s ²]
M	magnitudo
a_i	parametri: $a_1 = 2.522$, $a_2 = -0.142$, $a_3 = -3.184$, $a_4 = 0.314$, $a_5 = 7.6$, $a_6 = 0.137$, $a_7 = 0.050$, $a_8 = -0.084$, $a_9 = 0.062$, $a_{10} = -0.044$

- d distanza di Joyner-Boore
 Ss parametro: pari a 1 per terreni soffici, 0 altrimenti
 Sa parametro: pari a 1 per terreni rigidi, 0 altrimenti
 Fn parametro: pari a 1 per normal faulting earthquakes
 Ft parametro: pari a 1 per thrust faulting earthquakes
 Fo parametro: pari a 1 per odd faulting earthquakes

Caratteristiche salienti:

- Usa una suddivisione del sito in 3 categorie:

SS = 1, SA = 0 terreno soffice (S) $180 < V_{s,30} < 360\text{m/s}$

SS = 0, SA = 1 terreno rigido (A) $360 < V_{s,30} < 750\text{m/s}$

SS = 0, SA = 0 roccia (R) $V_{s,30} > 750\text{m/s}$

Originariamente includeva una quarta categoria (suoli molto soffici), inglobata nella prima per scarsità di dati. Sono state inoltre trascurate le stazioni di monitoraggio per cui non fosse disponibile la tipologia di suolo.

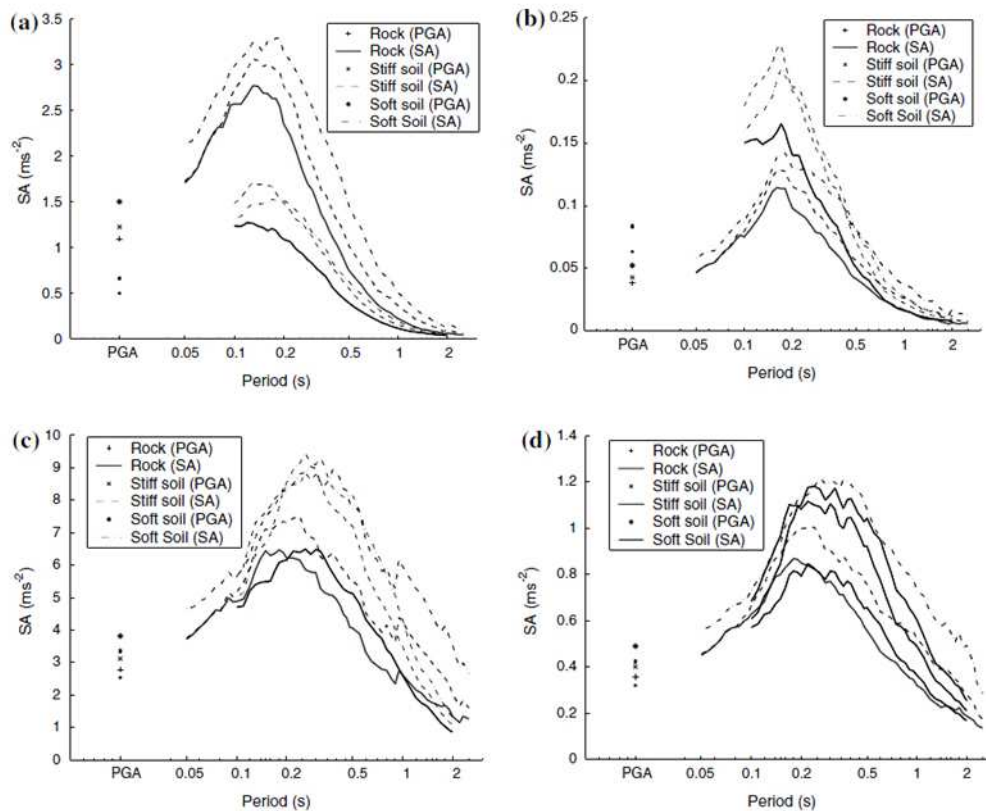


Figura 28 - Spettri generati con la formulazione di Ambraseys et al.: si notino le differenze dovute al tipo di terreno

- Utilizza dati provenienti solo da Europa e Medio Oriente. Dati provenienti dalla California sono stati esclusi: pur fornendo una significativa quantità di informazioni, questi rischiavano di falsare il risultato essendo presenti studi che affermano come lo scuotimento del terreno, a parità di intensità, sia superiore in California rispetto alla media europea.
Si deve dunque circoscrivere l'utilizzo di questa equazione ad Europa e Medio Oriente.
- Combina i dati provenienti da tutta Europa e dal Medio Oriente in un unico set: studi precedenti (discussi in dettaglio nei prossimi paragrafi) dimostrano come le differenze regionali siano trascurabili.
- Utilizza solo eventi con magnitudine $M_w < 5$, escludendo quindi i sismi più deboli. Peraltro, è stata notata una leggera dipendenza dell'errore dalla magnitudine: la sparsità dei valori di deviazione standard va riducendosi all'aumentare dell'intensità del sisma.

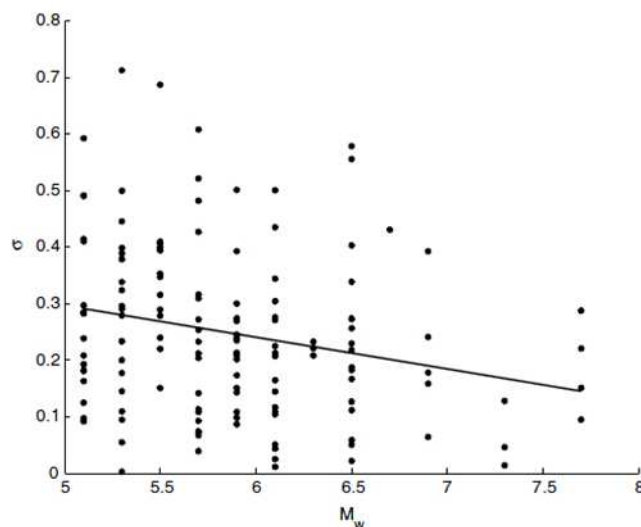


Figura 29 - Correlazione fra errore e magnitudo

- Utilizza la distanza di Joyner-Boore, ovvero la minima distanza che intercorre fra il punto considerato e la proiezione in superficie del piano di faglia, che non richiedendo una stima delle profondità dell'ipocentro introduce meno incertezze.

- Esclude i dati derivanti da stazioni a più di 100 km dall'epicentro, i cui dati sono di scarso valore sotto il profilo ingegneristico e introducono problemi di precisione nell'algoritmo di regressione.
- Esclude dati di scarsa qualità.
- I dati strumentali sono stati filtrati in maniera da eliminare il disturbo di fondo, valutato esaminando porzioni di traccia pre-evento.
- Utilizza soltanto eventi per i quali i dati siano disponibili su tutti e 3 gli assi.
- Origine dati: Italia (174 records), Turchia (128), Grecia (112), Groenlandia (69), Albania (1), Algeria(3), Armenia (7), Bosnia-Erzegovina (4), Croazia (1), Cipro (4), Giorgia (14),Iran (17), Israele (5), Macedonia (1), Portogallo (4), Serbia e Montenegro (24), Slovenia(15), Spagna (6), Siria (5) and Uzbekistan (1).
- E' stata investigata la possibile dipendenza fra magnitudo e velocità di attenuazione, poi supposta lineare per via della scarsità dei dati disponibili.
- Si nota che la mole di dati non è sufficiente per modellare fenomeni complessi quali la dipendenza dalla meccanismo di rottura o gli effetti non-lineari derivanti dalle caratteristiche del suolo.
- Un confronto con uno studio precedente (Parkfield, 2004) che includeva dati dalla California evidenzia poche differenze: questo potrebbe significare la non necessità di escludere i dati derivanti da oltreoceano dall'analisi condotta.

Infine alcuni risultati ottenuti con questa formulazione:

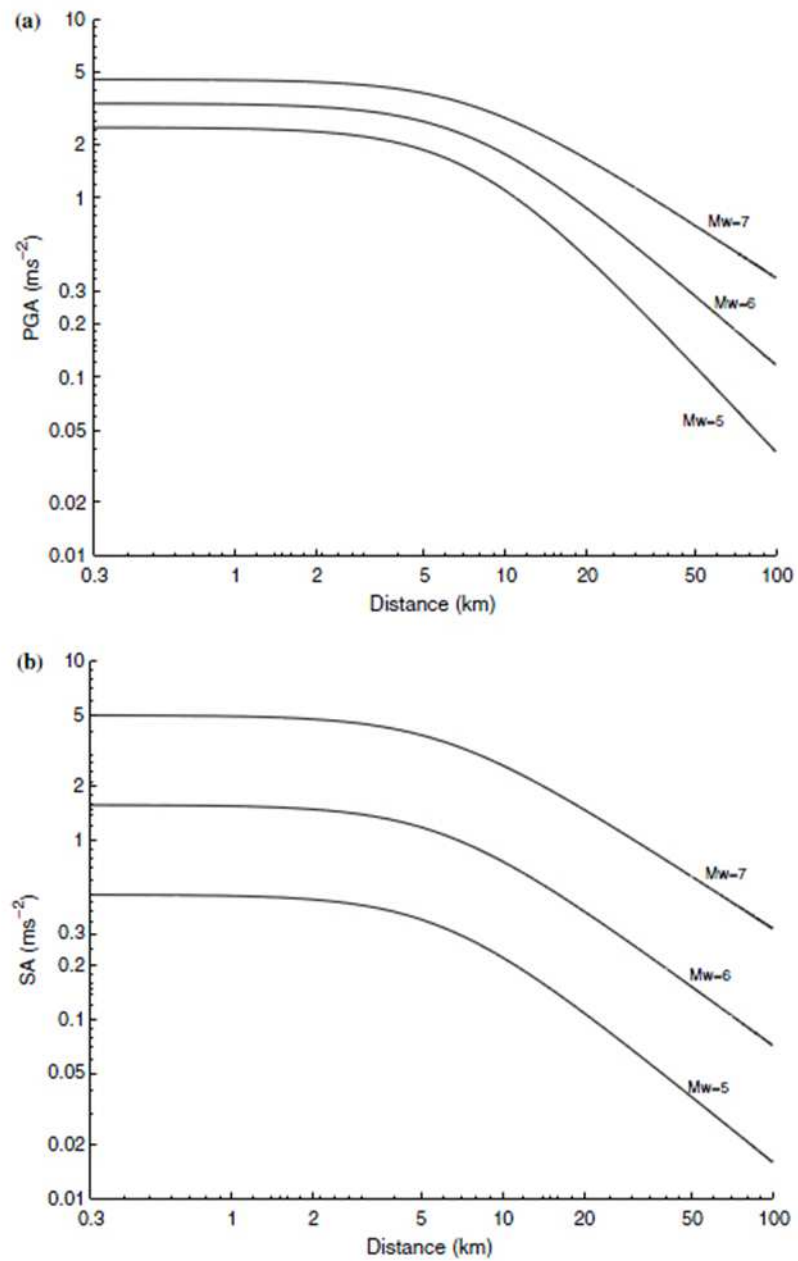


Figura 30 - Ambraseys et al.: andamenti di accelerazione massima di picco e accelerazione spettrale al variare della distanza dall'epicentro

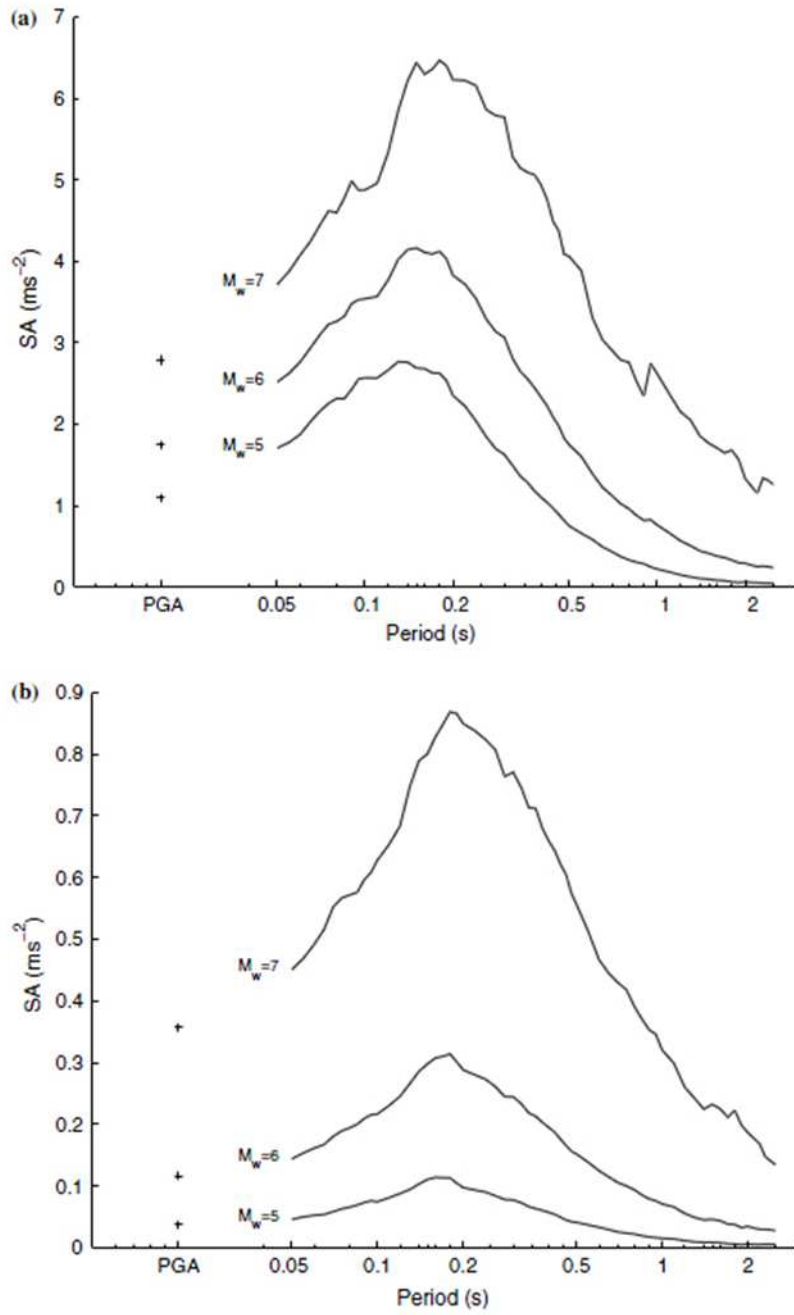


Figura 31 - Ambraseys et al.: spettri ottenuti con la formulazione presentata, al variare della magnitudo considerata

2. Bragato & Slejko (2005)

La formulazione è la seguente:

$$\log_{10}(PGA) = a + (b + cM)M + (d + eM^3)\log_{10}\sqrt{d^2 + h^2}$$

Dove:

PGA accelerazione massima al suolo [g]

M magnitudo

a,b,.. a = -3.27, b = 1.95, c = -0.202, d = -3.11, e = 0.00751, h = 8.9 km

d distanza epicentrale

Caratteristiche salienti:

- La relazione è valida per suoli per lo più rigidi
- Utilizza dati dalla Rete Sismometrica del Friuli-Venezia Giulia (SENF), dalla Rete di Accelerometri del Friuli (RAF), più altre fonti minori: la zona di utilizzo di questa formulazione sarà quindi quella dell'Italia Nord-Orientale.

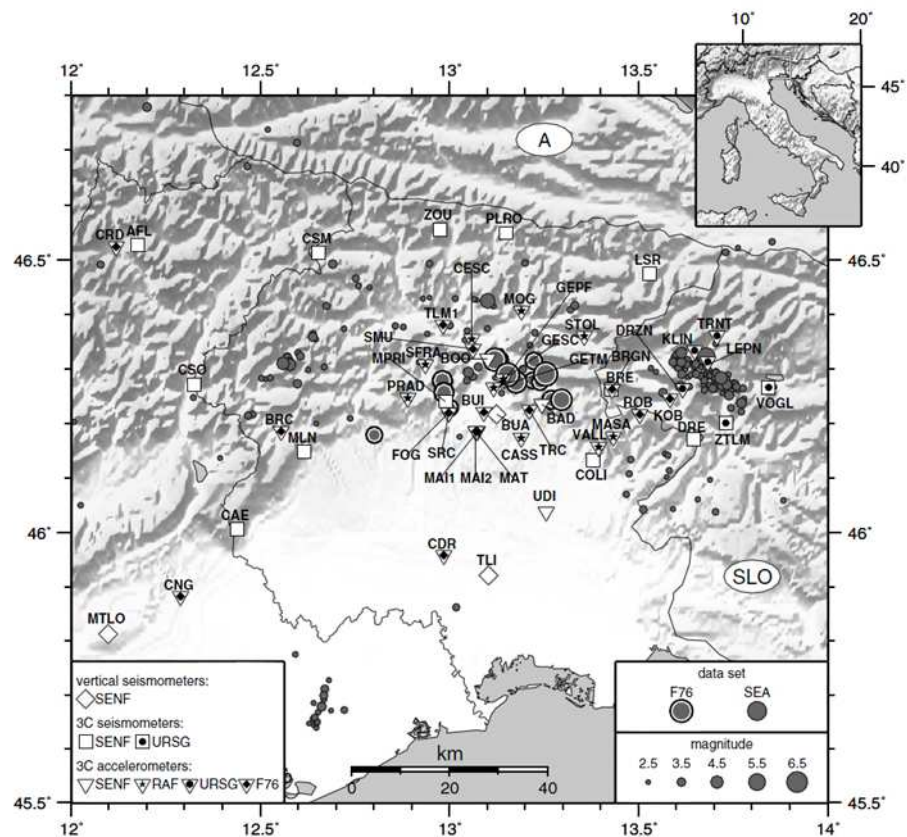


Figura 32 - Bragato & Slejko: dati utilizzati

- I dati sono stati filtrati, in maniera analoga a quanto esposto per la precedente legge di attenuazione.
- Combina vettorialmente le due componenti di scuotimento orizzontali.
- Usa dati da 19 terremoti con $M > 4.5$ (161 registrazioni verticali, 130 registrazioni orizzontali).

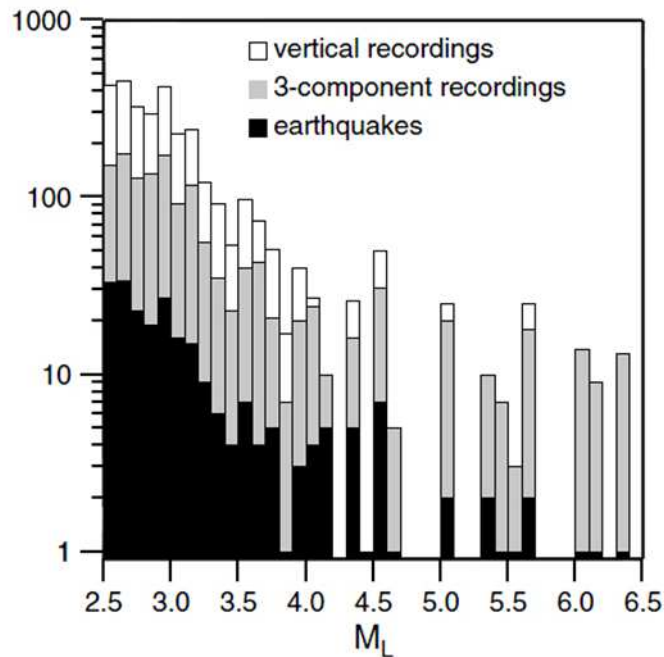


Figura 33 - Bragato & Slejko: distribuzione dei dati utilizzati

- Profondità fra 1.0 e 21.6km. La media è 11.4 km.
 - Offre anche una relazione separata che usa la distanza di Joyner-Boore invece della distanza epicentrale: si noti come la prima sia migliore dal punto di vista della correlazione, ma la distanza epicentrale risulta di più immediato utilizzo per le procedure di analisi del rischio sismico, e in generale per rappresentare i risultati.
- ### 2.3 Il problema delle differenze regionali
- Sono stati condotti test preliminari che hanno evidenziato come eventi più deboli presentino attenuazione significativamente maggiore.
 - Posto che i dati disponibili non erano uniformemente distribuiti nel range di magnitudo, particolari accorgimenti sono stati necessari per fare in modo che ciò non inficiasse la qualità della regressione.

- L'equazione sovrastima l'accelerazione orizzontale di picco per $d > 80$ km, $M < 3$ e profondità > 15 km.
- Si è fatto un tentativo di indagare la correlazione fra attenuazione e profondità dell'ipocentro, abbandonato per scarsità e cattiva qualità dei dati.
- E' stato investigato un metodo per introdurre la classificazione del terreno nel sistema, in maniera tale da giungere ad una più fedele approssimazione del fenomeno tramite una migliore regressione.
- E' stato ripetuto il metodo considerando una suddivisione delle stazioni di monitoraggio in 3 categorie, in base alle caratteristiche del suolo. Dato che ciò non ha portato a miglioramenti, l'approccio è stato abbandonato.
- Si ritiene che l'equazione sia appropriata per $3 < M < 6.3$. Al di fuori di tale range la correlazione sovrastima gli effetti dell'evento, specie a distanze maggiori.

Infine, un sommario dei risultati ottenuti in questo studio:

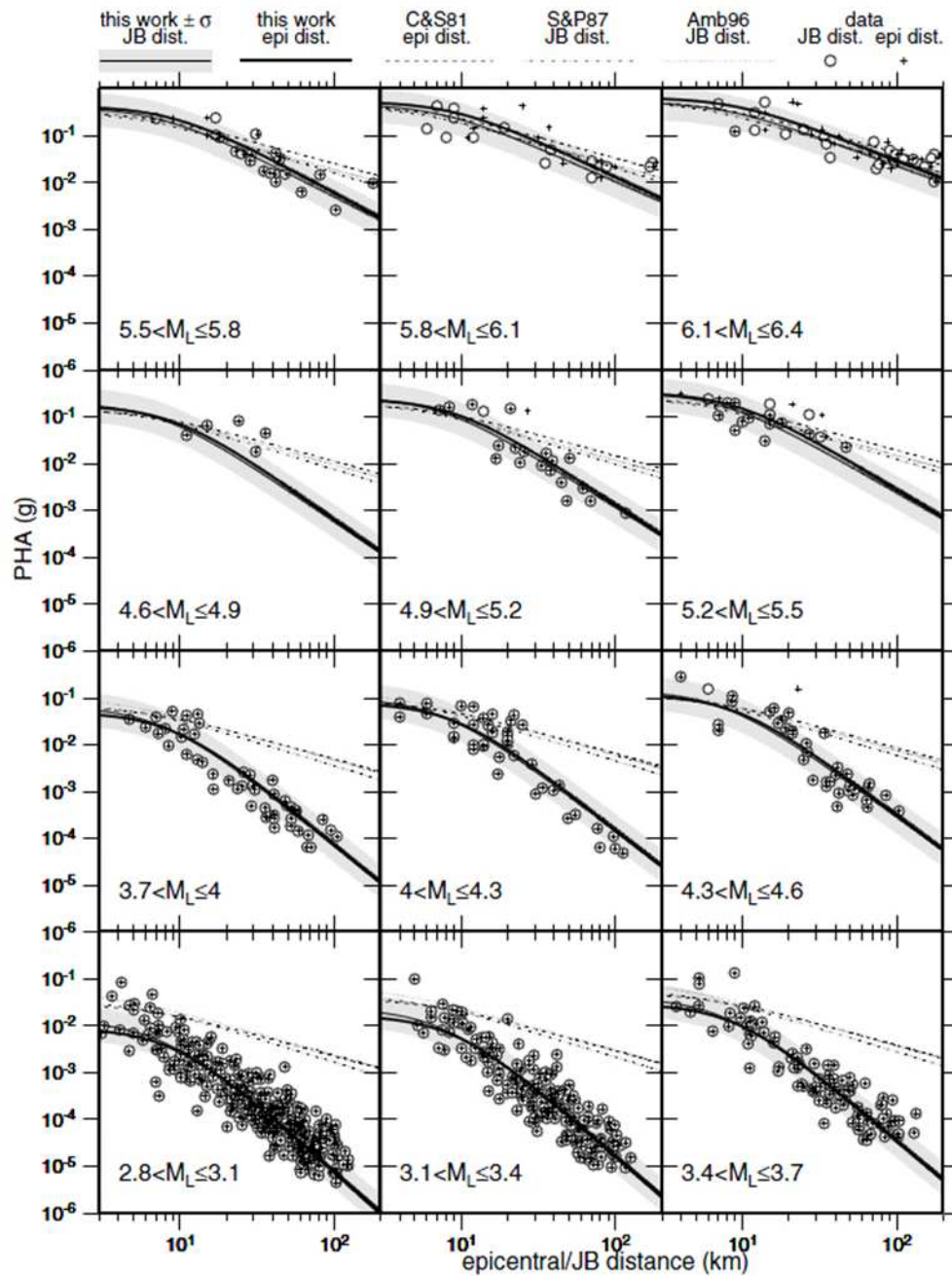


Figura 34 - Bragato & Slejko: risultati ottenuti, per differenti valori di magnitudo. Si riportano i dati utilizzati e le curve di regressione ottenute. In tratteggiato il confronto con altre vecchie formulazioni proposte per il territorio italiano.

3. Bragato (2009)

La formulazione è la seguente:

$$\log(PGA) = c_1 + c_2 M + c_3 \log(d) + \sum_{k=1}^N S_k \delta_{kj}$$

Dove:

PGA	accelerazione massima al suolo [g]
M	magnitudo
c_i	$c_1 = -0.45 \pm 0.44$, $c_2 = 0.85 \pm 0.09$, $c_3 = -2.39 \pm 0.20$ nel caso si utilizzi la correzione per le singole stazioni, mentre $c_1 = -0.49 \pm 0.38$, $c_2 = 0.86 \pm 0.08$, $c_3 = -2.41 \pm 0.16$ nel caso non la si utilizzi.
d	distanza epicentrale
S_k	fattore correttivo per la singola stazione
δ_{kj}	delta di Kroneker

Caratteristiche salienti:

- Usa dati da 137 stazioni differenti dalla rete INGV, provenienti da eventi fra il 2005 e il 2008: le stazioni danno una copertura uniforme di Centro e Sud Italia, mentre sono sparse altrove e quasi non esistenti nel Nord-Est, pur essendo questa una zona ad elevata criticità.
- Investiga le possibilità teoriche di miglioramento delle GMPE in Italia, ottenibili attraverso la considerazione di dipendenze regionali, effetti di sito e caratteristiche del terreno. Si noti come questa formulazione sia da intendersi come una proposta esplorativa e non come uno strumento direttamente utilizzabile, vista l'esiguità dei dati utilizzati per la correlazione e lo stringente limite di validità posto dal range di magnitudo indagato.
- Per escludere eventuali dati dubbi, si è realizzata una fase preliminare di regressione per scartare tutti i dati con deviazione standard maggiore di 3, oltre a tutti i dati registrati in stazioni che hanno registrato un solo sisma.
- E' stato tentato anche l'utilizzo della distanza ipocentrale per la correlazione, teoricamente più corretta, ma ha risultati peggiori: ciò è dovuto all'imprecisa valutazione della profondità di taluni eventi.
- Lo studio propone anche una nuova ed alternativa suddivisione del territorio italiano in zone con diverse leggi di attenuazione. Inizialmente considera varie

suddivisioni delle stazioni disponibili in diverse zone geografiche, utilizzando la triangolazione di Delaunay, e per ognuna trova una GMPE.

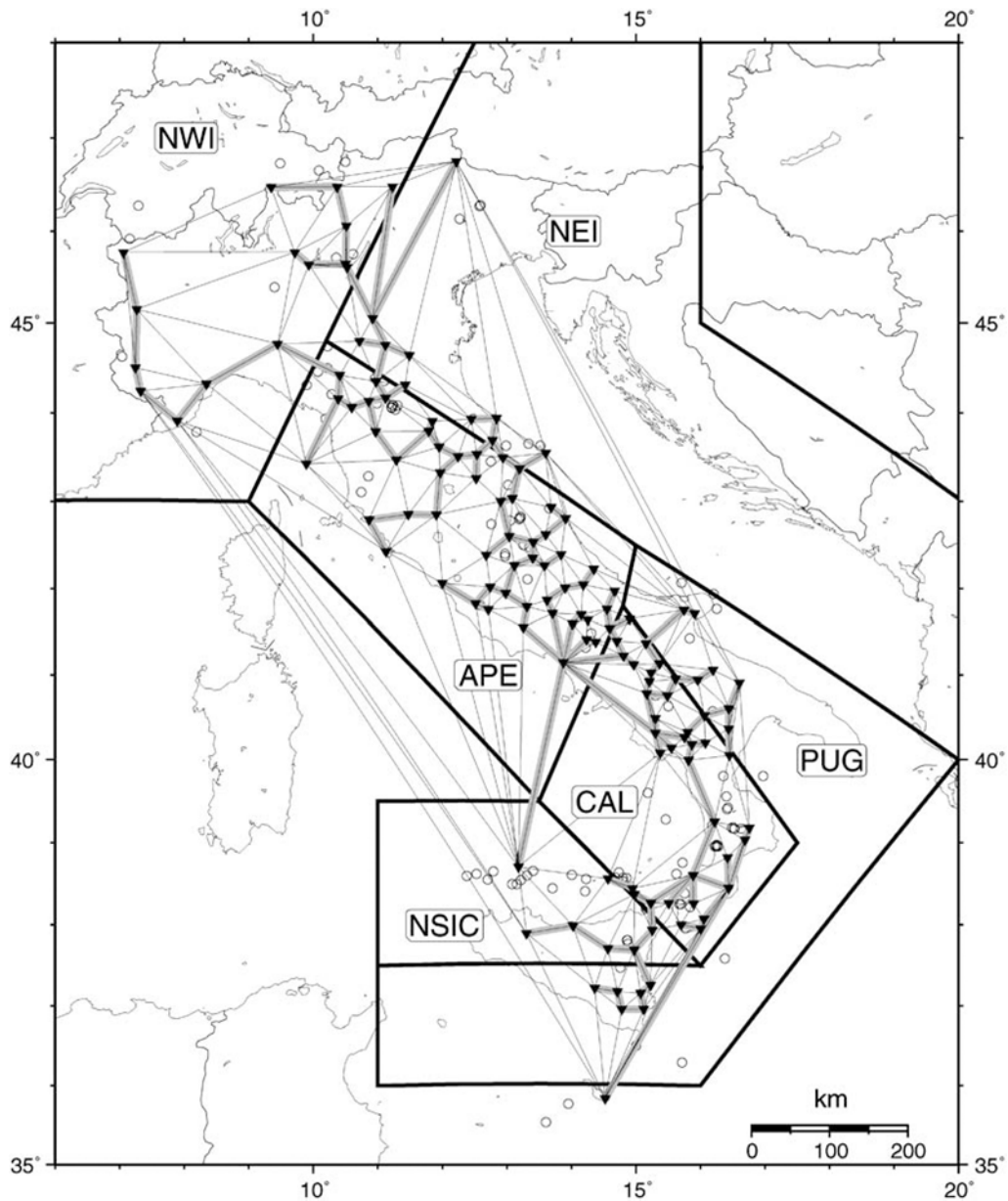


Figura 35 - Triangolazione di Delaunay utilizzata da Bragato

In seguito, tramite l'applicazione di un algoritmo genetico, si cerca l'ottima zonazione per minimizzare la deviazione standard di tutte le correlazioni sviluppate: l'ottimo risulta una suddivisione in 4 zone, simile a quella adottata attualmente dall'INGV.

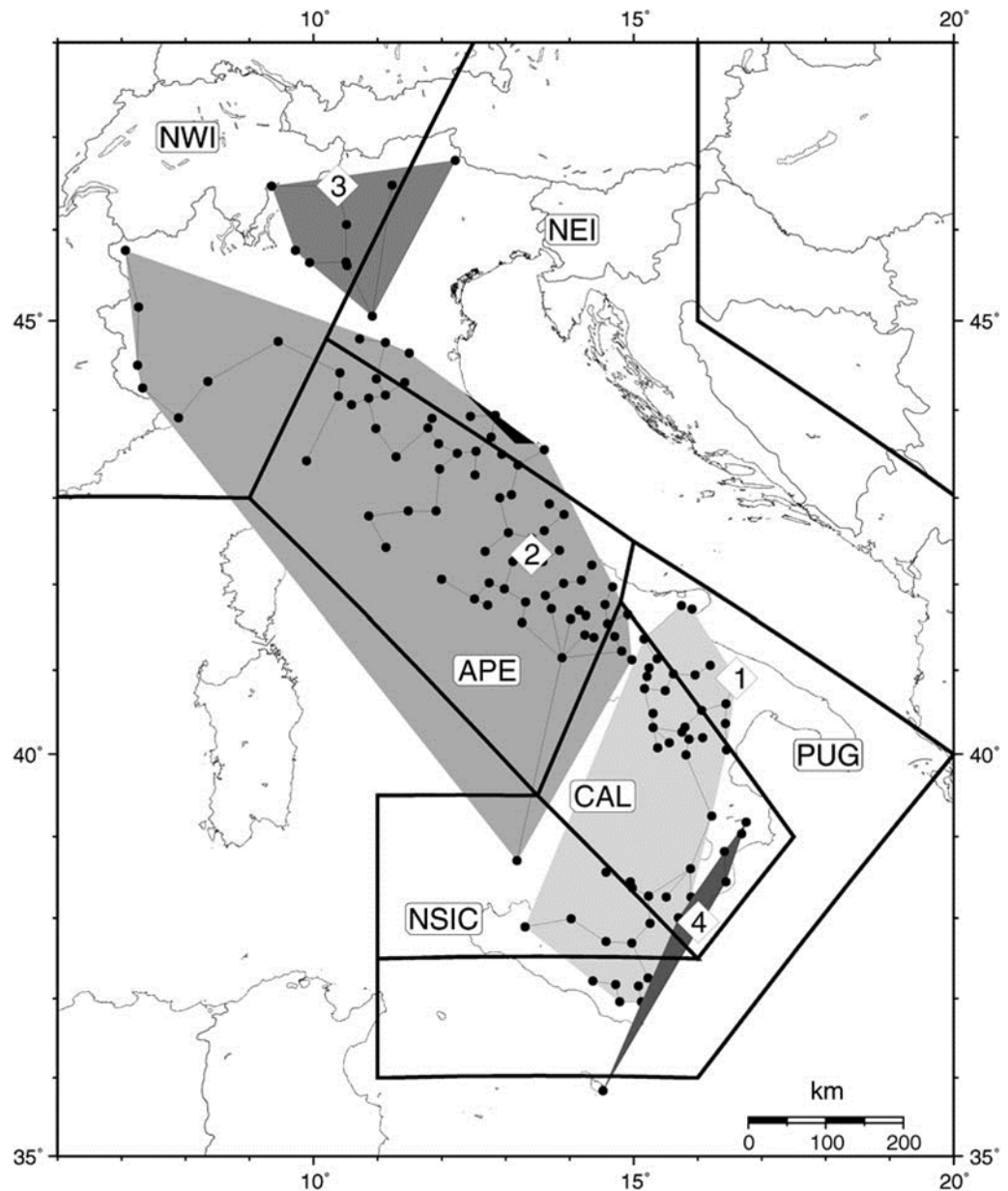


Figura 36 - Zonazione ottima proposta da Bragato: le sigle e le linee in grossetto delimitano le 6 zone INGV, mentre le aree con campitura rappresentano la nuova zonazione proposta

- Genera GMPE anche per le 6 zone INGV attualmente utilizzate per l'implementazione delle ShakeMap, oltre alla versione per il territorio nazionale riportata in questa sede, con e senza correzione per le singole stazioni.
- Conclude che il contributo degli effetti di sito alla deviazione standard è molto importante, pari al 30%, mentre è solo del 4% quello derivante dalle differenze regionali.
- I fattori correttivi per le stazioni, teoricamente deputati alla correzione degli effetti di sito sono, tuttavia debolmente correlati con la misura di $V_{s,30}$, principale grandezza caratterizzante.

4. Confronto

Una volta presentate le varie possibilità è opportuno un veloce confronto per iniziare a considerare quale sia la proposta più adatta allo scopo.

La formulazione di Ambraseys et al. va purtroppo immediatamente scartata, data la difficoltà di trattare con una distanza di Joyner-Boore.

Si propone quindi un grafico di confronto fra la legge di Bragato del 2009, proposta nelle due diverse formulazioni per l'intero territorio nazionale o per la sola zona Nord-Orientale, e la legge di Bragato & Slejko del 2005.

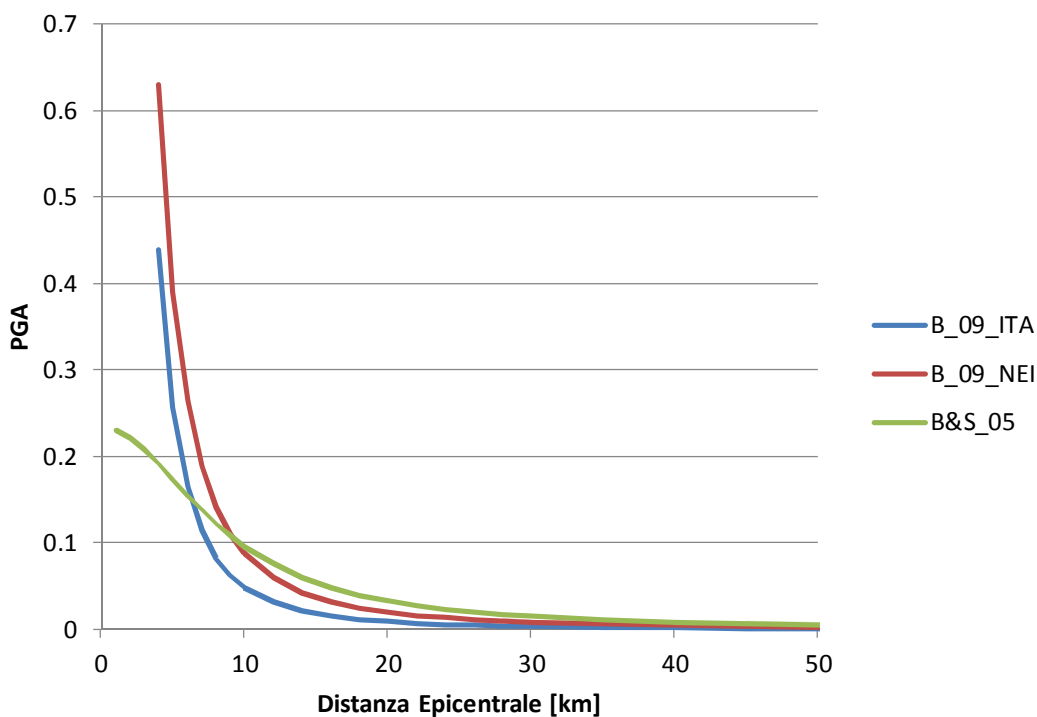


Figura 37 - Confronto fra diverse leggi di attenuazione

Si nota immediatamente come le leggi derivanti dalla formulazione di Bragato del 2009 non consentono di modellare correttamente il fenomeno nelle immediate vicinanze dell'epicentro, presentando un andamento quasi asintotico nell'intorno del punto in esame: a questo punto è quasi obbligata, quindi, la scelta della formulazione di Bragato & Slejko del 2005.

2.3 Il problema degli effetti locali e delle caratteristiche del terreno

Come evidenziato da Bragato, gran parte delle incertezze sulla valutazione degli effetti di un evento sismico sono da imputarsi agli effetti locali e alle caratteristiche del terreno. Il problema è di duplice natura: in primo luogo vi è la difficoltà di reperire informazioni affidabili sul campo, e di inserirle in maniera organica in un database utilizzabile a fini di ricerca.

Per esempio, nel nostro caso, si è dovuto per mancanza di dati realizzare una classificazione solo parziale del terreno, supposto peraltro con coefficiente di amplificazione topografica pari ad 1: è evidente come ciò inevitabilmente introduca errori nella procedura di generazione dello scenario sismico in tutte quelle zone in cui non siano disponibili adeguate informazioni.

EXTERNALID	ArcoPonte_Lat	ArcoPonte_long	Terreno_SS	Terreno_ST	Terreno_Cc	Terreno
4	45,49942N	011,45239E	1.48633288275253	1	1.59445735670804	C
5	45,49967N	011,45238E	1.48629943319701	1	1.59447539342654	C
7	45,54144N	011,62426E	1.48712915520681	1	1.57978490492796	C
9	45,53866N	011,62514E	1.48780940495361	1	1.57978490492796	C
10	45,53861N	011,62495E	1.48780304906444	1	1.57978490492796	C
16	45,52312N	011,62569E	1.49939383704977	1	1.57978490492796	C
34	45,46808N	012,18136E	1.5	1	1.48211774907098	C
45	45,52106N	012,25397E	1.5	1	1.48472781405157	C
46	45,52098N	012,25407E	1.5	1	1.48472781405157	C
47	45,51973N	012,25197E	1.5	1	1.48472781405157	C
48	45,52101N	011,62464E	1.49418746216707	1	1.57978490492796	C
50	45,52098N	011,62483E	1.49423976463533	1	1.57978490492796	C
52	45,52308N	011,62587E	1.49940135186984	1	1.57978490492796	C
61	45,66202N	011,51321E	1.2	1	1.40900678870249	B
62	45,66217N	011,51324E	1.2	1	1.40900678870249	B

Tabella 10 - Estratto della tabella del database riportante le caratteristiche del terreno

E' purtroppo improponibile, al momento, una soluzione completa e precisa del problema, che dovrà avvenire successivamente tramite l'inserimento nel database, in maniera analoga a quanto fatto per i parametri di pericolosità sismica, anche dei parametri relativi alle caratteristiche del terreno per tutte le zone della Regione.

Si è tuttavia impostato fin d'ora un primo passo in questa direzione, implementando nel sistema i dati a disposizione: si riporta in seguito una mappa che rappresenta una semplice classificazione del terreno, per una porzione del territorio del Nord-Est italiano,

e che ha fornito un valido punto di partenza per colmare questa grave lacuna del sistema.

Si discuterà più avanti delle modalità con cui è avvenuta l'implementazione.

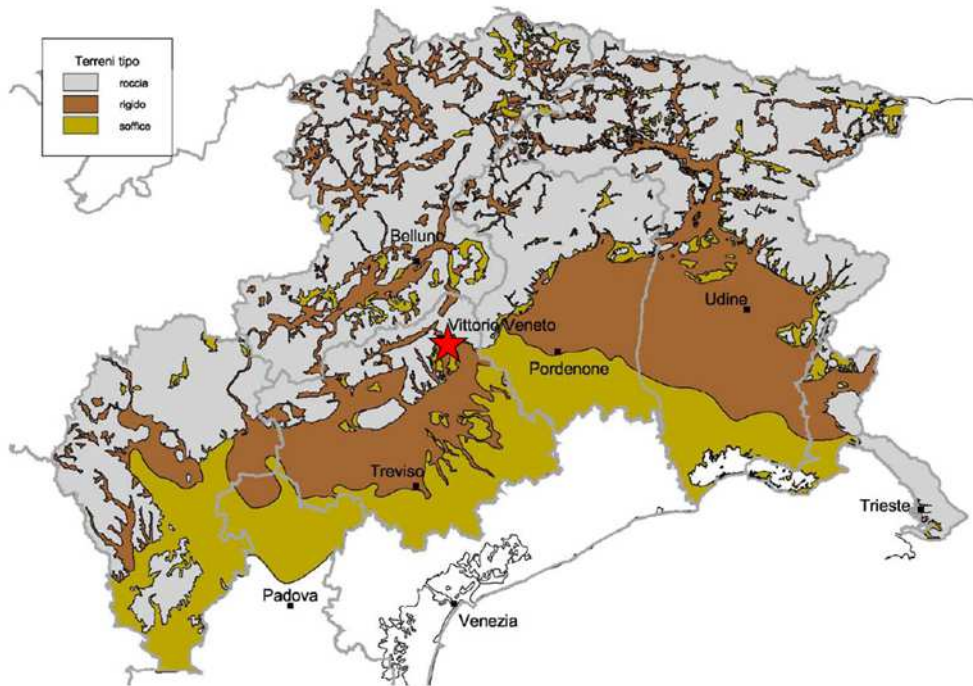


Figura 38 - Esempio di classificazione dei terreni

Un altro esempio, per la Regione Friuli-Venezia Giulia, che ha già implementato un sistema simile a quello messo a punto dall' INGV per la divulgazione dei dati sulla pericolosità sismica (<http://www.protezionecivile.fvg.it>).

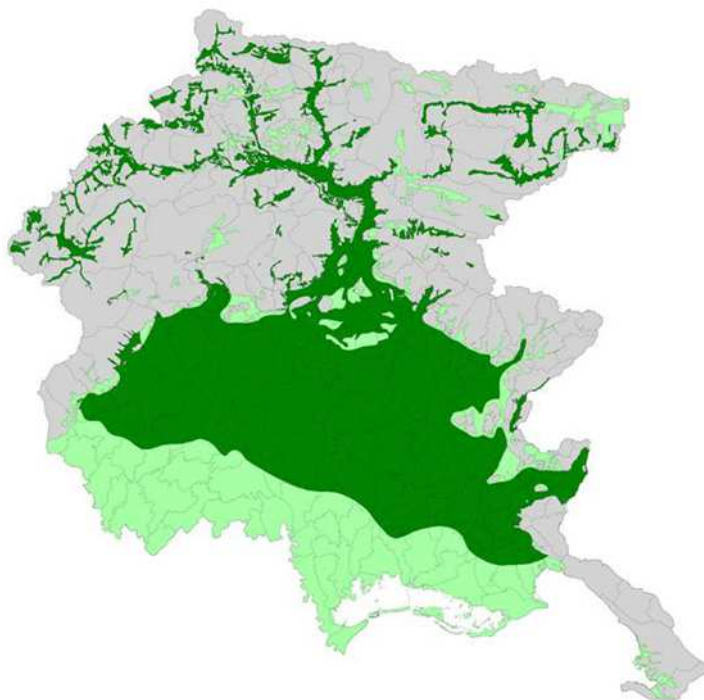


Figura 39 - Regione Friuli-Venezia Giulia: tipi di terreno

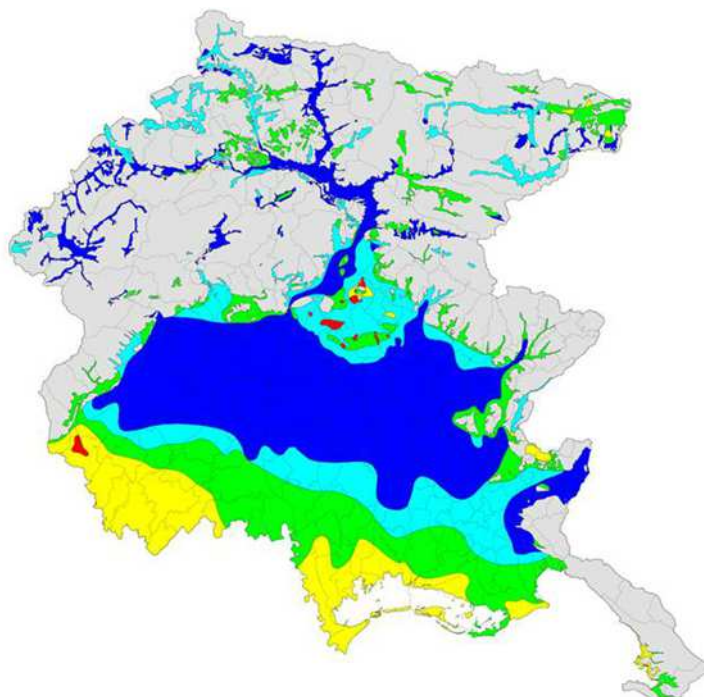


Figura 40 - Regione Friuli-Venezia Giulia: impedenza sismica

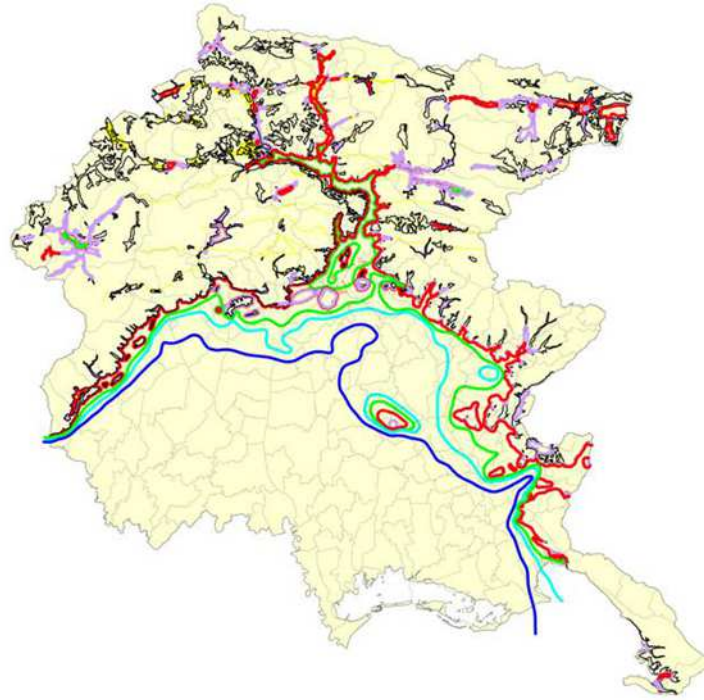


Figura 41 - Regione Friuli-Venezia Giulia: profondità del bedrock

Si potrebbe dunque pensare che, una volta risolto il problema dell'approvvigionamento delle informazioni, si possa procedere ad una corretta stima degli effetti locali: tuttavia, il fatto che Bragato abbia evidenziato che i fattori correttivi per le stazioni, teoricamente deputati alla correzione degli effetti di sito, sono debolmente correlati con la misura di $V_{s,30}$, principale grandezza caratterizzante, solleva il dubbio sull'effettiva possibilità di andare a caratterizzare il comportamento sismico di una microzona tramite i suoi parametri geologici superficiali. Per la soluzione di questo problema di secondo tipo non si può che attendere l'avanzamento della ricerca in tale campo, che, data l'importanza del settore, non potrà tardare molto a fornire le necessarie risposte su questo e su altri pressanti interrogativi che incombono sulla corretta valutazione degli scenari sismici.

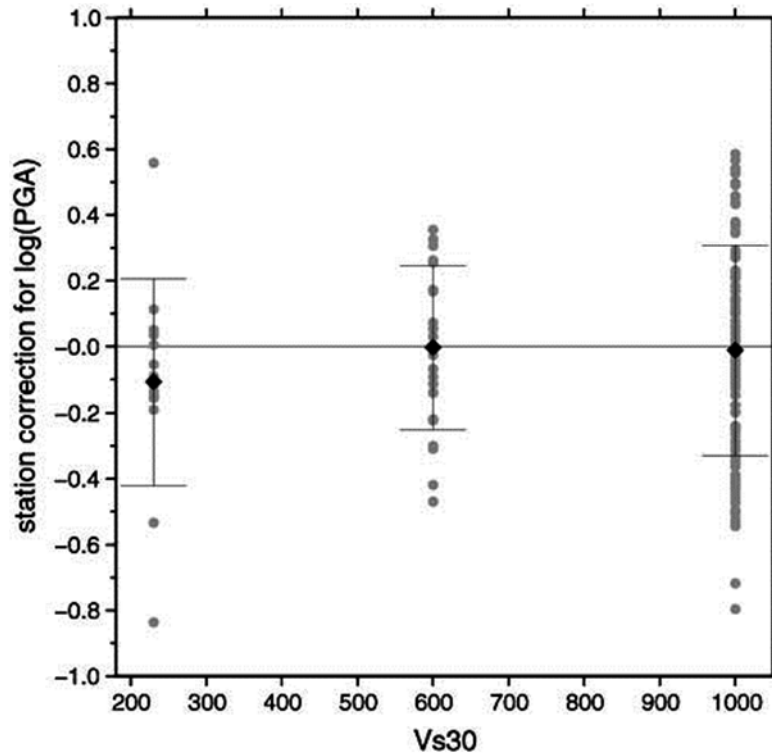


Figura 42 - Da Bragato (2009): distribuzione dei fattori correttivi per le singole stazioni. Si veda come la correlazione fra questi e la classificazione dei terreni sia molto debole

2.4 Il problema delle differenze regionali

La natura e l'ampiezza del movimento al suolo che avviene ad una particolare distanza dall'epicentro di un sisma di data intensità variano molto in base ai diversi regimi tettonici, motivo per il quale sono state sviluppate diverse equazioni per zone attive, per zone continentali stabili e per zone di subduzione. Oltre a ciò, anche le zone vulcaniche presentano comportamenti distinti e peculiari, ma non è ancora provata la presenza di sistematiche differenze di comportamento in diverse regioni in generale. Peraltro, molto spesso il concetto di regione è definito politicamente e non sismologicamente, vanificando totalmente lo sforzo della ricerca in questo specifico campo. Data la complessità delle equazioni a disposizione, che oramai includono anche effetti del terreno e tipo di faglia, le differenze riscontrabili sarebbero dunque da imputarsi ad altri fattori, non ancora modellati, quali differenze nella struttura della crosta terrestre.

Recentemente, utilizzando un nuovo database riveduto e corretto, Power et al. (2008) ha iniziato lo sviluppo del progetto Next Generation Equation (NGA), GMPE da utilizzarsi nel nord-ovest America. Il progetto prevede 5 differenti formulazioni zonali, ma i

risultati sono molto simili in tutti e 5 i casi. Inoltre, lo studio di Stafford et al. (2008) investiga l'applicabilità delle NGA al campo europeo, con risultati praticamente coincidenti con le relazioni di derivazione europea. Questi risultati sembrano suggerire che non esista, o non sia al momento prevedibile, una reale differenza di comportamento fra zone anche molto lontane fra loro quali Europa e Nord America, essendo le discrepanze trovate decisamente minori rispetto all'incertezza insita in questi metodi empirici.

Un altro risultato a supporto di questa tesi è quanto ottenuto da Bragato (2009), che afferma come solo il 4% dell'errore da lui riportato nello studio sia da imputarsi a differenze zonal, a fronte di un 30% derivante da effetti di sito e caratteristiche del terreno.

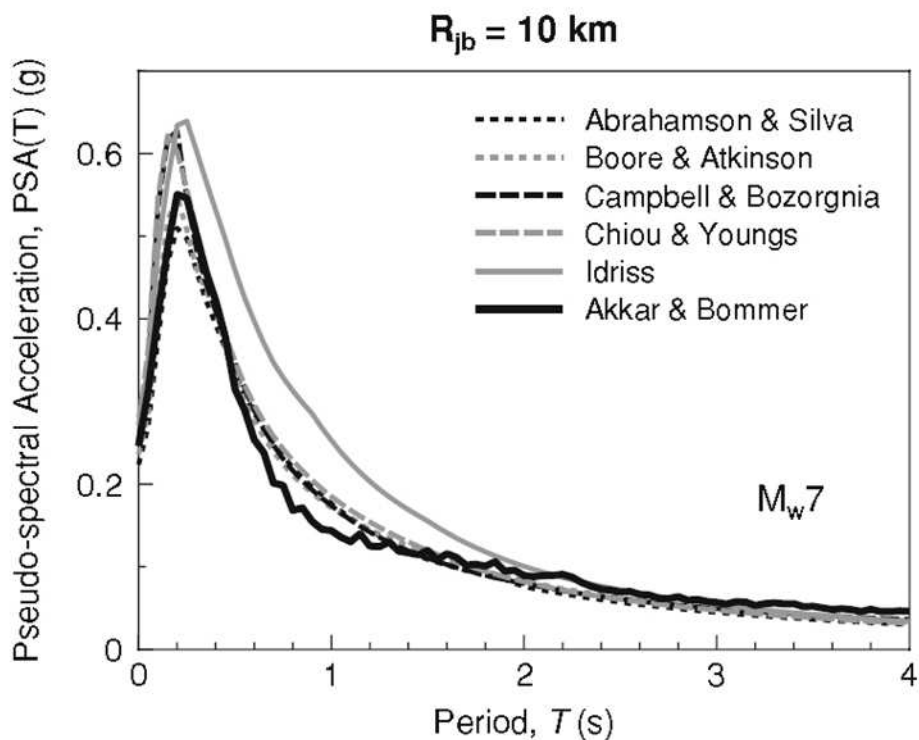


Figura 43 - Confronto fra spettri ottenuti con diverse GMPE: si noti in particolare l'aderenza fra NGA (Abrahamson & Silva) e una delle principali leggi di derivazione europea, Akkar & Bommer

2.5 La legge di attenuazione scelta: Bragato & Slejko (2005)

A seguito di attente valutazioni la legge di attenuazione che si è ritenuta più adatta risulta essere la formulazione proposta da Bragato & Slejko nel 2005: essa è valida per magnitudo fra 3 e 6.3, assolutamente compatibili con la pericolosità sismica della zona in esame, ed è stata ottenuta su dati provenienti dal medesimo territorio. La proposta di Ambraseys (2005) è stata scartata essenzialmente per via dell'impossibilità di calcolare la distanza di Joyner-Boore con i dati a disposizione. La formulazione di Bragato (2009) è stata invece scartata essendo essa più una proposta di metodo di lavoro che una legge di attenuazione a sè stante: si è dimostrata peraltro non in grado di approssimare bene l'attenuazione nelle immediate vicinanze dell'epicentro. Un altro motivo di scelta è stato l'utilizzo da parte di Bragato & Slejko della distanza epicentrale, di semplice implementazione e utilizzo.

La legge utilizzata è dunque:

$$\log_{10}(PGA) = a + (b + cM)M + (d + eM^3)\log_{10}\sqrt{d^2 + h^2}$$

Dove:

PGA	accelerazione massima al suolo [g]
M	magnitudo
a,b,..	a = -3.27, b = 1.95, c = -0.202, d = -3.11, e = 0.00751, h = 8.9 km
d	distanza epicentrale

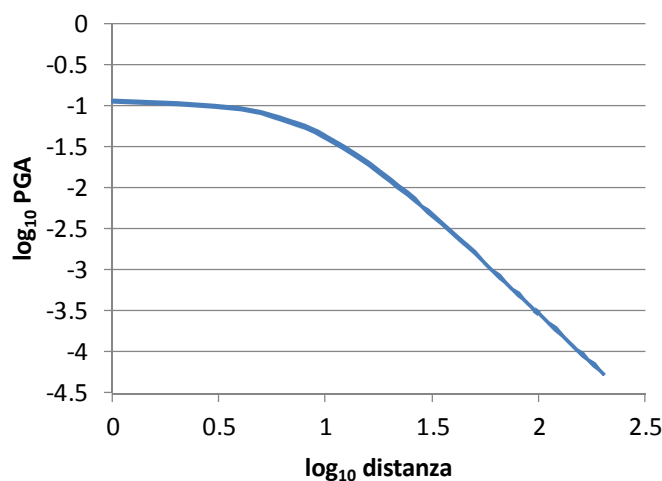


Figura 44 - Legge di attenuazione di Bragato & Slejko, scala logaritmica

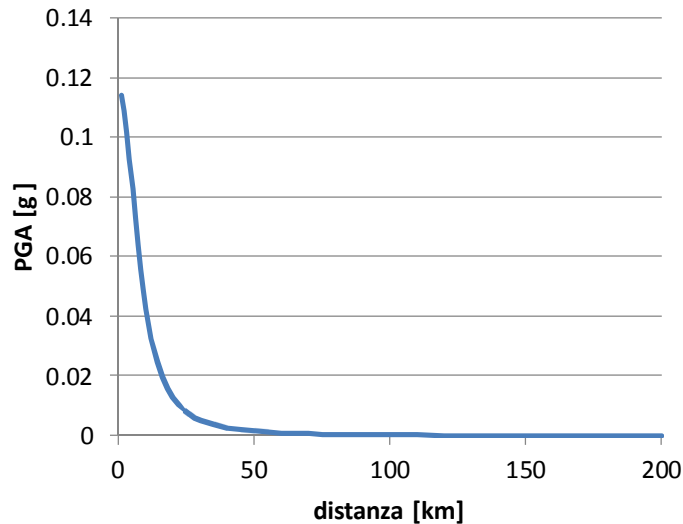


Figura 45 - Legge di attenuazione di Bragato & Slejko

L'esempio soprastante propone un utilizzo della legge in esame per un valore di M pari a 4.42, che corrisponde ad una massima accelerazione orizzontale di 0.12g. Si noti come l'effetto sia sostanzialmente trascurabile già a partire da distanze di 50 km, mentre sia dimezzato per una distanza di circa 8 km.

La variazione di magnitudo comporta ovviamente diversi valori assoluti di accelerazione, ma non cambia sostanzialmente la forma della curva di attenuazione, almeno all'interno del range di validità considerato.

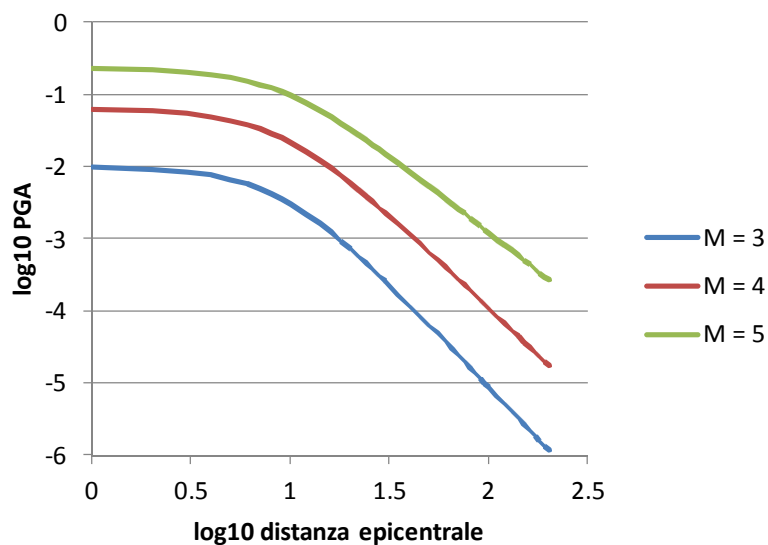


Figura 46 - Effetto della variazione di magnitudo

Prima di poter utilizzare la formulazione nell'ambito del progetto è necessario un ulteriore passaggio: per la creazione dello scenario sismico si è assunta come massima accelerazione, quindi come accelerazione epicentrale a distanza 0, il valore derivante dalla mappa di pericolosità sismica. Ciò implica che la formulazione di Bragato e Slejko debba restituire proprio quel valore nell'intorno dell' epicentro: cosa non scontata, dato che essa necessita in input di un valore di magnitudo e non di accelerazione massima all'epicentro.

Si è resa dunque necessaria una correlazione fra magnitudo e massima accelerazione epicentrale, ricavata ovviamente a partire dalla legge in esame, ponendo nulla la distanza e variando il valore di magnitudo all'interno del range di validità.

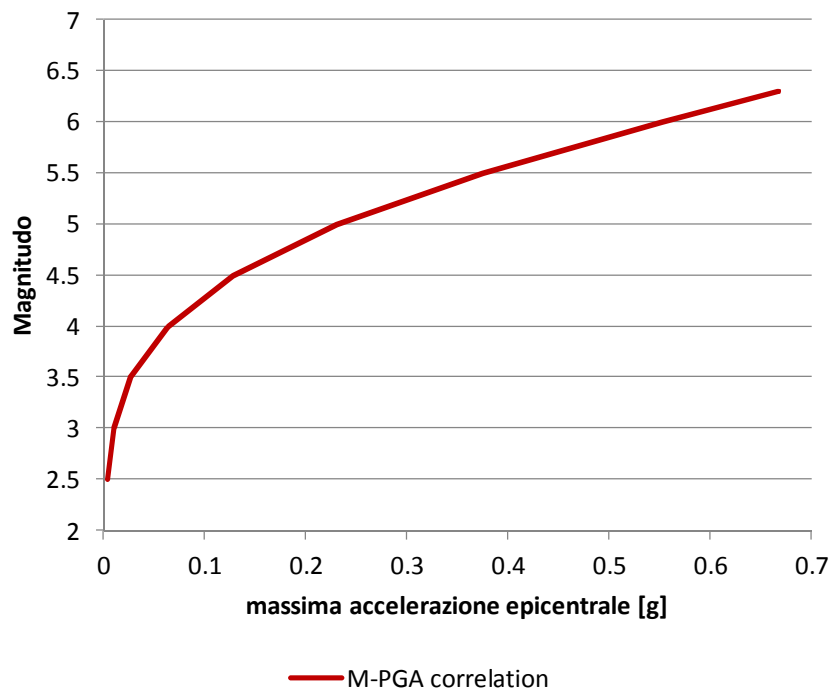


Figura 47 - Correlazione empirica fra magnitudo e massima accelerazione all'epicentro

Una volta nota questa correlazione, è possibile completare la fase di valutazione dell'attenuazione dell'azione sismica.

Si procede infatti con le seguenti fasi:

1. Individuazione della pericolosità sismica nel sito dell'epicentro, ovvero dell'accelerazione orizzontale che ha il 10% di possibilità di manifestarsi nell'arco di 50 anni.

2. Calcolo, con la correlazione appena esposta, della magnitudo di riferimento che corrisponde alla massima accelerazione orizzontale trovata, in modo da poter correttamente utilizzare la relazione di Bragato e Slejko.
3. Per ogni manufatto, calcolo della distanza epicentrale.
4. L'accelerazione subita da ciascun manufatto sarà il valore ottenuto attenuando l'accelerazione trovata al punto 1 con la distanza calcolata al punto 3.

Tale valore andrà eventualmente limitato in modo che non possa superare il valore presentato dalle carte di pericolosità sismica, al fine di evitare di generare accelerazioni superiori di quelle previste da normativa.

2.6 Implementazione dell'attenuazione nel database

L'implementazione nel database del processo di attenuazione è avvenuta seguendo passo passo le 4 fasi indicate al paragrafo precedente.

1. Per il calcolo della pericolosità sismica, ovvero della massima accelerazione orizzontale attesa, nella posizione del singolo manufatto si opera un'interpolazione pesando i valori dei 4 punti più vicini con l'inverso della distanza:

$$V = \frac{\frac{V_1}{d_1} + \frac{V_1}{d_1} + \frac{V_1}{d_1} + \frac{V_1}{d_1}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_1}}$$

dove d_i sono le distanze e V_i i valori del parametro nei 4 punti.

Si pone innanzitutto il problema di trovare i 4 punti più vicini all'epicentro, una volta note le coordinate dello stesso: la soluzione è stata realizzata con una apposita funzione, che scorre l'intera tabella dei dati della mappa sismica e individua, tramite un procedimento ripetuto ad ogni record, i 4 punti più prossimi al luogo individuato come epicentro.

In input richiede le coordinate del punto, e in output fornisce direttamente l'accelerazione cercata, espressa in m/s^2 .

```
Function maxPGA(ByVal latitude As Single, ByVal longitude As Single)
```

```
Dim datab As DAO.Database
Dim recordSet As DAO.recordSet
Set datab = CurrentDb
Set Mappa = datab.OpenRecordset("Mappa_Sismica_UNIPD")
Dim dist(1 To 4) As Single
Dim ag(1 To 4) As Single
Dim distance As Single
```

```

dist(1) = 10 ^ 9
dist(2) = 10 ^ 9
dist(3) = 10 ^ 9
dist(4) = 10 ^ 9
ag(1) = -1
ag(2) = -1
ag(3) = -1
ag(4) = -1

' ciclo sui record
While Not Mappa.EOF
    If Mappa!Time = 475 Then 'considero solo i valori con tempo di
ritorno di 475 anni
        Mappa.Edit
        'calcolo distanza dall'epicentro di questo punto
        distance = DistanceEpicentral(latitude, Mappa!lat / 180 * PI,
longitude, Mappa!LON / 180 * PI, R)

        Select Case distance 'trovo i 4 punti pi vicini'
        Case Is < dist(1)
            ag(4) = ag(3)
            ag(3) = ag(2)
            ag(2) = ag(1)
            ag(1) = Mappa!ag
            dist(4) = dist(3)
            dist(3) = dist(2)
            dist(2) = dist(1)
            dist(1) = distance
        Case dist(1) To dist(2)
            ag(4) = ag(3)
            ag(3) = ag(2)
            ag(2) = Mappa!ag
            dist(4) = dist(3)
            dist(3) = dist(2)
            dist(2) = distance
        Case dist(2) To dist(3)
            ag(4) = ag(3)
            ag(3) = Mappa!ag
            dist(4) = dist(3)
            dist(3) = distance
        Case dist(3) To dist(4)
            ag(4) = Mappa!ag
            dist(4) = distance
        Case Else
            distance = distance
        End Select

        Mappa.Update
        End If
        Mappa.MoveNext
Wend

' calcolo il valore finale pesando i dati con l'inverso della
distanza
maxPGA = (ag(1) / dist(1) + ag(2) / dist(2) + ag(3) / dist(3) + ag(4)
/ dist(4)) / (1 / dist(1) + 1 / dist(2) + 1 / dist(3) + 1 / dist(4))
End Function

```

- Una volta nota l'accelerazione attesa sull'epicentro, si passa a calcolare la magnitudo di riferimento per l'utilizzo della formulazione di Bragato & Slejko. Per far ciò si utilizza la correlazione esposta in precedenza, opportunamente tradotta in una funzione.

```
Function PGAtoM_BS05(ByVal targetPGA As Single)
```

```

Dim PGA_val_Array(1 To 9) As Single
Dim M_val_Array(1 To 9) As Single

PGA_val_Array(1) = 0.003112786
PGA_val_Array(2) = 0.009862451
PGA_val_Array(3) = 0.02666841
PGA_val_Array(4) = 0.062308724
PGA_val_Array(5) = 0.127351147
PGA_val_Array(6) = 0.230527063
PGA_val_Array(7) = 0.374169867
PGA_val_Array(8) = 0.551323268
PGA_val_Array(9) = 0.667536849
M_val_Array(1) = 2.5
M_val_Array(2) = 3
M_val_Array(3) = 3.5
M_val_Array(4) = 4
M_val_Array(5) = 4.5
M_val_Array(6) = 5
M_val_Array(7) = 5.5
M_val_Array(8) = 6
M_val_Array(9) = 6.3

Select Case targetPGA
Case PGA_val_Array(1) To PGA_val_Array(2)
    PGAtom_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(1)) / (PGA_val_Array(2) -
PGA_val_Array(1)) * 0.5 + M_val_Array(1)

Case PGA_val_Array(2) To PGA_val_Array(3)
    PGAtom_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(2)) / (PGA_val_Array(3) -
PGA_val_Array(2)) * 0.5 + M_val_Array(2)

Case PGA_val_Array(3) To PGA_val_Array(4)
    PGAtom_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(3)) / (PGA_val_Array(4) -
PGA_val_Array(3)) * 0.5 + M_val_Array(3)

Case PGA_val_Array(4) To PGA_val_Array(5)
    PGAtom_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(4)) / (PGA_val_Array(5) -
PGA_val_Array(4)) * 0.5 + M_val_Array(4)

Case PGA_val_Array(5) To PGA_val_Array(6)
    PGAtom_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(5)) / (PGA_val_Array(6) -
PGA_val_Array(5)) * 0.5 + M_val_Array(5)

Case PGA_val_Array(6) To PGA_val_Array(7)
    PGAtom_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(6)) / (PGA_val_Array(7) -
PGA_val_Array(6)) * 0.5 + M_val_Array(6)

Case PGA_val_Array(7) To PGA_val_Array(8)
    PGAtom_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(7)) / (PGA_val_Array(8) -
PGA_val_Array(7)) * 0.5 + M_val_Array(7)

Case PGA_val_Array(8) To PGA_val_Array(9)
    PGAtom_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(8)) / (PGA_val_Array(9) -
PGA_val_Array(8)) * 0.3 + M_val_Array(8)

Case Else
    PGAtom_BS05 = 0
End Select

End Function

```

3. E' ora nota la magnitudo di riferimento, e si procede al calcolo della distanza epicentrale del singolo manufatto dal punto individuato come epicentro. Il problema è risolto con una funzione, che richiede in input le coordinate dei due punti e il raggio terrestre e in output fornisce la distanza, espressa in km.

```

' calcola distanza epicentrale, in km
Function DistanceEpicentral(ByVal lat1 As Single, lat2 As Single,
ByVal long1 As Single, long2 As Single, radius As Single) As Single
    If lat1 = lat2 And long1 = long2 Then
        DistanceEpicentral = 0
    Else
        DistanceEpicentral = ArcCOS(Cos(lat1) * Cos(long1) * Cos(lat2) *
Cos(long2) + Cos(lat1) * Sin(long1) * Cos(lat2) * Sin(long2) +
Sin(lat1) * Sin(lat2)) * radius
    End If
End Function

```

Il valore del raggio terrestre è assunto pari a 6362.697 km, ovvero il valore assunto ad una latitudine di 45°: il raggio terrestre infatti varia la sua misure al cambiare della latitudine, ma non si è ritenuto di dover implementare questa complicazione visto il range spaziale molto esiguo in cui si opera.

L'utilizzo di questa funzione ha richiesto l'implementazione di altre due funzioni di supporto. La prima calcola la funzione goniometrica arccos, non presente nelle librerie VBA:

```

' converte lat e long da stringhe in radianti
Function LongLat_to_rad(ByVal str As String) As Single
    Dim n1, n2 As Integer
    Dim deg, primi, secondi As Single
    n1 = InStr(1, str, " ")
    n2 = InStr(1, str, " ")
    deg = CSng(Mid(str, 1, n1 - 1))
    primi = CSng(Mid(str, n1 + 1, n2 - n1 - 1))
    secondi = CSng(Mid(str, n2 + 1, Len(str) - n2 - 1))
    deg = deg + primi / 60 + secondi / 3600
    LongLat_to_rad = deg * PI / 180
End Function

```

La seconda è necessaria per convertire i valori di coordinate espressi come stringhe in formato sessagesimale in valori numerici espressi in radianti:

```

' funzione trigonometrica arccos
Public Function ArcCOS(ByVal nValue As Double, Optional fRadians As
Boolean = True) As Double
    Const PI As Double = 3.14159265359
    ArcCOS = -Atn(nValue / Sqr(1 - nValue * nValue)) + PI / 2
    If fRadians = False Then ArcCOS = ArcCOS * (PI / 180)
End Function

```

4. Nota la magnitudo di riferimento, si può infine procedere al calcolo dell'accelerazione attenuata, con output in g.

```

' calcola l'accelerazione attenuata secondo Bragato & Sleyko 2005,
prendendo in input la PGA (in g) a dist=0 e la distanza dall'epicentro
' output in g
Function Attenuaz_BS05(ByVal targetPGA As Single, ByVal dist As
Single)

    Const a As Double = -3.27
    Const b As Double = 1.95
    Const c As Double = -0.202
    Const d As Double = -3.11
    Const e As Double = 0.00751
    Const h As Double = 8.9

    Dim m, logPGA As Double

```



```

m = PGAtom_BS05(targetPGA)

If m = 0 Then
  Attenuaz_BS05 = 0
Else
  If dist < 1 Then
    Attenuaz_BS05 = targetPGA
  Else
    logPGA = a + (b + c * m) * m + (d + e * m ^ 3) * Log10((dist ^
2 + h ^ 2) ^ 0.5)
    Attenuaz_BS05 = 10 ^ logPGA
  End If
End If
End Function

```

L'applicazione di questa procedura per tutti i ponti del database consente di ottenere per ciascun manufatto il valore di accelerazione causato da un sisma che avvenga in corrispondenza dell'epicentro scelto, di magnitudo compatibile con i valori di pericolosità sismica ricavati dalla mappa messa a disposizione dall'INGV. Ciò consente dunque, di fatto, di generare uno scenario sismico completo e realistico, nei limiti posti dalle incertezze insite nelle formulazioni utilizzate e dalla inevitabile scarsità e sparsità dei dati raccolti.

2.7 Scelta della posizione dell'epicentro

Com'è evidente, il calcolo dell'attenuazione dell'azione sismica necessita della precisa definizione delle coordinate dell'epicentro dell'evento che si vuole indagare. Essendo infatti quello seguito un approccio "deterministico", la scelta dell'epicentro rimane in mano all'utente: è l'utilizzatore che decide, ovviamente entro i limiti di uno scenario realistico e non totalmente arbitrario, dove andare a porre il punto epicentrale. Questo, come già detto, consente di indagare il comportamento della rete di ponti in risposta ad eventi ben precisi, e non quindi di valutare semplicemente un astratto concetto di rischio sismico generale.

Per limitare e in qualche modo guidare la scelta dell'utente, ferma restando la possibilità di impostare l'epicentro in un punto a scelta, si è deciso di implementare una lista di punti, o meglio, zone sismogenetiche, dove è ritenuto più probabile lo scatenarsi di un sisma: è infatti praticamente privo di ogni significato, ad esempio, l'indagare gli effetti di un sisma con epicentro su Venezia, mentre è assai più sensato porre l'epicentro nella zona prealpina o del Cansiglio, ove è più alta la pericolosità sismica.

Le zone sismogenetiche sono state estratte dal lavoro dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, www.ingv.it), in particolare dal progetto *Database of Individual*

Seismogenic Sources (DISS, versione 3): questo database, accessibile via web, riporta le zone sismogenetiche di tutto il territorio Italiano, compresi gli epicentri dei terremoti storici. I risultati sono quindi stati filtrati in base alla posizione, in modo da conservare solo quei dati che ricadessero nel territorio della Regione Veneto o nelle immediate vicinanze. Si è scelto inoltre di riportare sia le zone sismogenetiche propriamente dette sia gli epicentri dei terremoti storici.

Zone_Sismogenetiche				
ID	Name	Lat	Long	Radius
ITIS101	Montello	45.86	12.15	0
ITIS102	Bassano-Cornuda	45.82	11.87	0
ITIS108	Maniago	46.21	12.7	0
ITIS109	Sequals	46.2	12.86	0
ITIS112	Tramonti	46.29	12.8	0
ITIS113	Monte Grappa	45.82	11.83	0
ITIS124	Cansiglio	46.03	12.43	0
ITIS125	Polcenigo-Montereale	46.12	12.55	0
ITIS127	Thiene-Bassano	45.75	11.62	0
ITMP015	Treviso (778, --- --)	45.669	12.244	4.7
ITMP020	Veronese (1117, Jan 03)	45.438	10.994	5.2
ITMP027	Basso bresciano (1222, Dec 25)	45.3953	10.6213	5.7
ITMP041	CARNIA (1348, Jan 25)	46.2543	12.8836	19.9
ITMP089	Asolano (1695, Feb 25)	45.801	11.9487	11.7
ITMP091	RAVEO (1700, Jul 28)	46.4329	12.8682	3.6
ITMP109	TRAMONTI (1776, Jul 10)	46.2333	12.706	4.7
ITMP123	TRAMONTI (1794, Jun 07)	46.2974	12.7953	3.7
ITMP131	SEQUALS (1812, Oct 25)	46.0277	12.589	4.1
ITMP146	BASSANO (1836, Jun 12)	45.807	11.8232	3.2
ITMP160	Bellunese (1873, Jun 29)	46.1595	12.3829	9.4
ITMP172	Valle d'illasi (1891, Jun 07)	45.5642	11.1648	4.7
ITMP176	Salo' (1901, Oct 30)	45.5822	10.4931	4.2
ITMP196	CARNIA (1928, Mar 27)	46.372	12.9745	4.9
ITMP200	BOSCO CANSIGLIO (1936, Oct 18)	46.0887	12.3803	7.6
ITMW027	Basso bresciano (1222, Dec 25)	45.4	10.62	0
ITMW041	CARNIA (1348, Jan 25)	46.25	12.88	0
ITMW089	Asolano (1695, Feb 25)	45.8	11.95	0
ITMW091	RAVEO (1700, Jul 28)	46.43	12.87	0
ITMW109	TRAMONTI (1776, Jul 10)	46.23	12.71	0
ITMW123	TRAMONTI (1794, Jun 07)	46.3	12.8	0
ITMW131	SEQUALS (1812, Oct 25)	46.03	12.59	0
ITMW146	BASSANO (1836, Jun 12)	45.81	11.82	0
ITMW160	Bellunese (1873, Jun 29)	46.16	12.38	0
ITMW172	Valle d'illasi (1891, Jun 07)	45.56	11.16	0
ITMW176	Salo' (1901, Oct 30)	45.58	10.49	0

ITMW196	CARNIA (1928, Mar 27)	46.37	12.97	0
ITMW200	BOSCO CANSIGLIO (1936, Oct 18)	46.09	12.38	0
TIS069	Salò	45.63	10.51	0

Tabella 11 - Zone Sismogenetiche implementate

Come si può notare dalla tabella, il database contiene le coordinate e il raggio di ciascuna delle zone riportate.

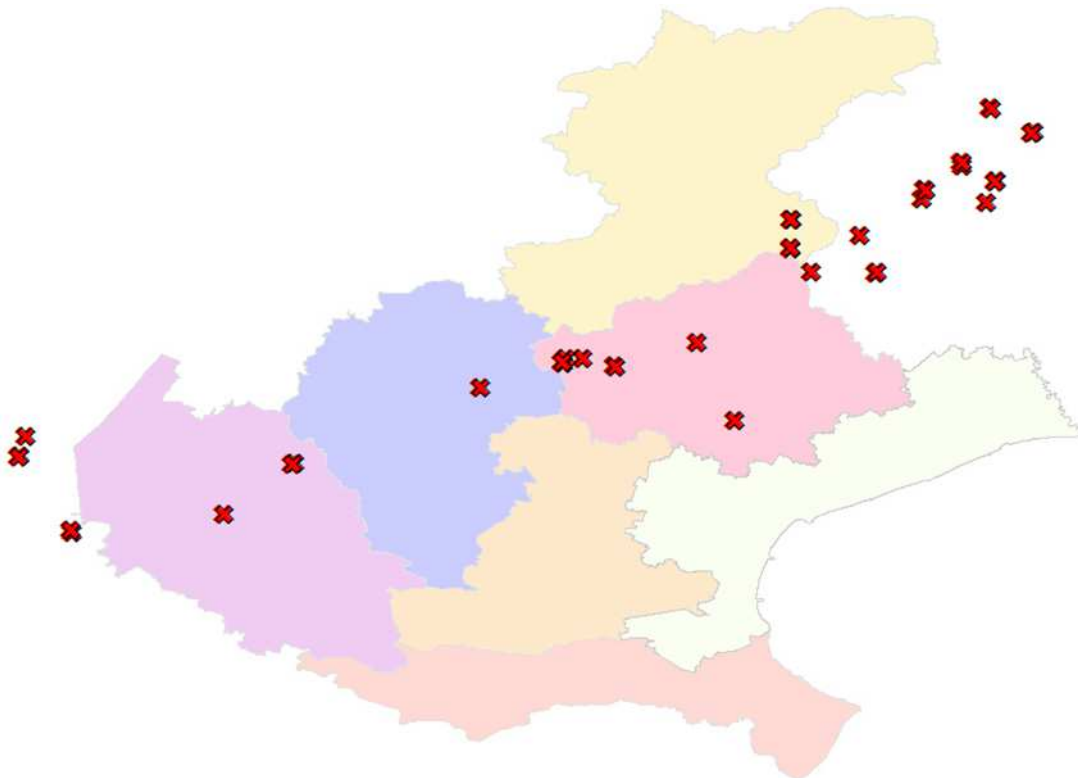


Figura 48 - Zone Sismogenetiche: rappresentazione geografica

Al momento della scelta dell'utente, le coordinate dell'epicentro saranno poste nel centro della zona scelta. Di seguito si riporta il passo di codice che esegue quanto descritto:

```
Private Sub Combo_Epic_Change()
Dim datab As DAO.Database
Dim recordSet As DAO.recordSet
Set datab = CurrentDb
Set zone = datab.OpenRecordset("Zone_Sismogenetiche")
```

```

zone.MoveFirst
While Not zone.EOF
  If zone!ID = Combo_Epic.Value Then

    text_long.SetFocus
    text_long.Text = zone.Long
    text_lat.SetFocus
    text_lat.Text = zone.Lat

  End If
  zone.MoveNext
Wend
End Sub

```

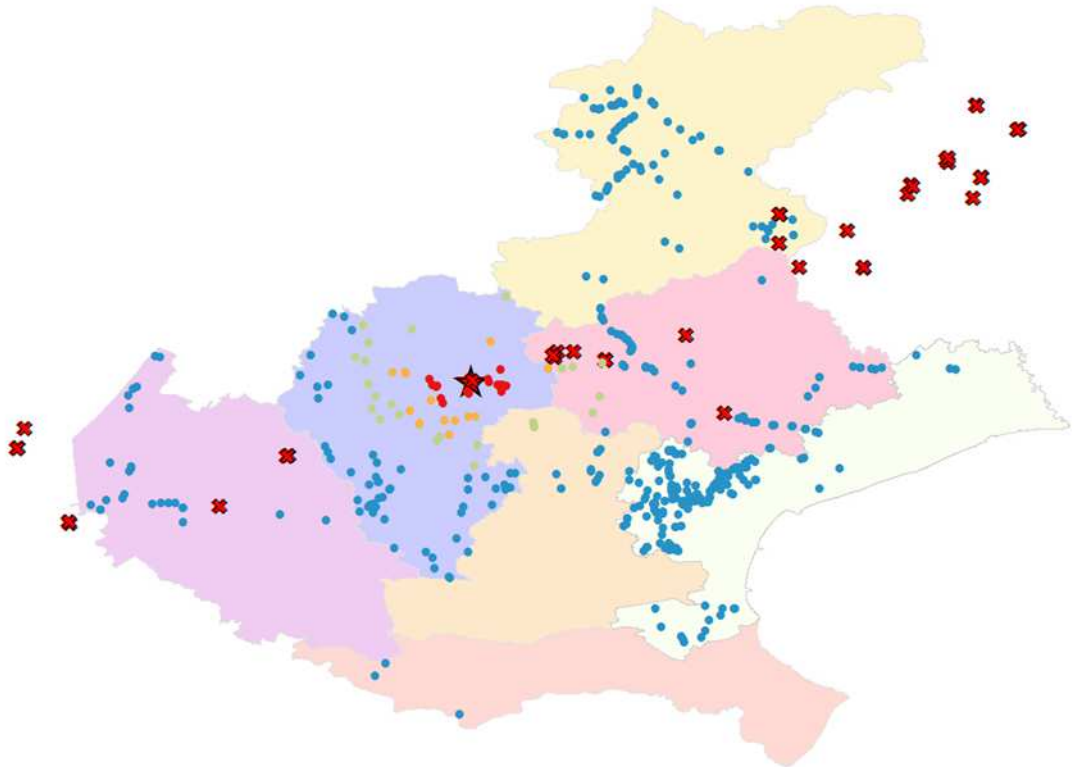


Figura 49 - Scenario sismico generato: si noti la posizione dell'epicentro in corrispondenza di una delle zone sismogenetiche

2.8 La classificazione dei terreni

Parte fondamentale del lavoro è stata l'implementazione nel sistema dei dati disponibili riguardo la classificazione del sottosuolo nel territorio regionale. Pur non essendo infatti disponibile, ad oggi, una classificazione completa ed omogenea del sottosuolo per l'intera estensione della Regione Veneto, è stato possibile recuperare alcuni dati parziali: pur non risolvendo, quindi, il problema in maniera precisa ed esauriente, questi permettono di fornire una buona base di partenza per il futuro sviluppo del lavoro, e,

soprattutto, hanno permesso di portare a termine la fase iniziale di programmazione e creazione della procedura atta a implementare correttamente il tutto.

La normativa

La normativa italiana (NTC08) classifica il sottosuolo in 5 classi principali, in dipendenza di una misura fondamentale che è la velocità delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri di suolo.

Le classi individuate dalla normativa sono le seguenti:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 12 - NTC08: categorie di sottosuolo

Il parametro fondamentale per la classificazione è la velocità delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri di suolo, detta $V_{s,30}$:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Dove:

h_i : spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità

$V_{s,i}$: velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato

Come si vedrà in seguito, il tipo di sottosuolo influenza pesantemente gli effetti del sisma sul sito in esame: l'accelerazione al suolo è infatti definita per il bedrock roccioso, ma può essere sensibilmente amplificata da presenza di strati di terreno meno rigidi. Si vede quindi come i terreni soffici di tipo C o D amplifichino considerevolmente gli effetti

dei fenomeni analizzati, mentre, per esempio, un sito su terreno di tipo A (quindi roccioso) subisca esattamente l'accelerazione prevista per il bedrock.

Questo effetto di amplificazione è ottenuto tramite due coefficienti detti stratigrafici, che la normativa definisce come segue:

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 13 - NTC08: coefficienti stratigrafici

Si vede come questi coefficienti aumentino al peggiorare della tipologia del terreno, essendo unitari solo per terreno roccioso che quindi non presenta amplificazione.

Un ultimo coefficiente coinvolto nel processo di amplificazione è il cosiddetto coefficiente topografico, che tuttavia nell'ambito di questo lavoro è stato uniformemente posto pari ad 1, date le difficoltà connesse ad una sua precisa ed affidabile valutazione se non tramite indagine sul campo. Ad ogni modo, la normativa lo definisce come segue:

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 14 - NTC08: coefficiente topografico

Le fonti

Come si è detto, la categorizzazione del terreno è stata realizzata sulla base del lavoro di Slejko, Rebez e Santulin, *Seismic hazard estimates for the Vittorio Veneto broader area (NE Italy)*, della *Cartografia sismica della pianura della Provincia di Treviso*,

realizzata da R. Francese, A. Bondesan, J. Centonze e N. Wardell nell'ambito del Piano Territoriale di Coordinamento (PTCP) della Provincia di Treviso, , e del lavoro di G.M. Verderame, F. De Luca, M.T. De Risi, C. Del Gaudio, P. Ricci, *A three level vulnerability approach for damage assessment of infilled RC buildings: The Emilia 2012 case.*

La prima fonte fornisce una mappa di classificazione del terreno per una vasta zona del Nord-Est Italia: pur non essendo di altissima risoluzione, ha il pregio di essere caratterizzata da uniformità su una vasta area.

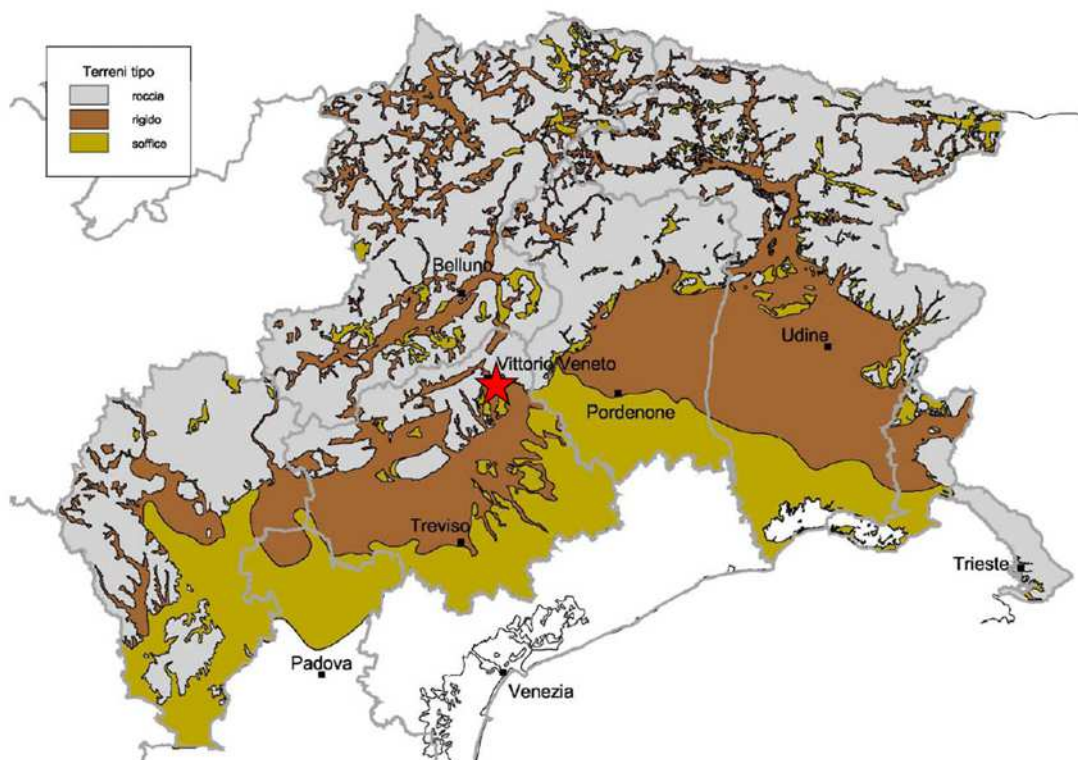


Figura 50 - Classificazione Terreno: Seismic hazard estimates for the Vittorio Veneto broader area (NE Italy)

In questo caso la classificazione comprende solo 3 categorie, e non 5 come da normativa: è tuttavia immediato abbinare il terreno di tipo roccioso con la categoria A, il terreno rigido con la B e il terreno soffice con la C. Questo approccio è peraltro confermato dai dati della seconda fonte, che confermano in pieno la bontà di questa associazione.

La seconda fonte copre un'area ridotta, essendo limitata alla sola area pianeggiante della Provincia di Treviso, ma è estremamente dettagliata e precisa.

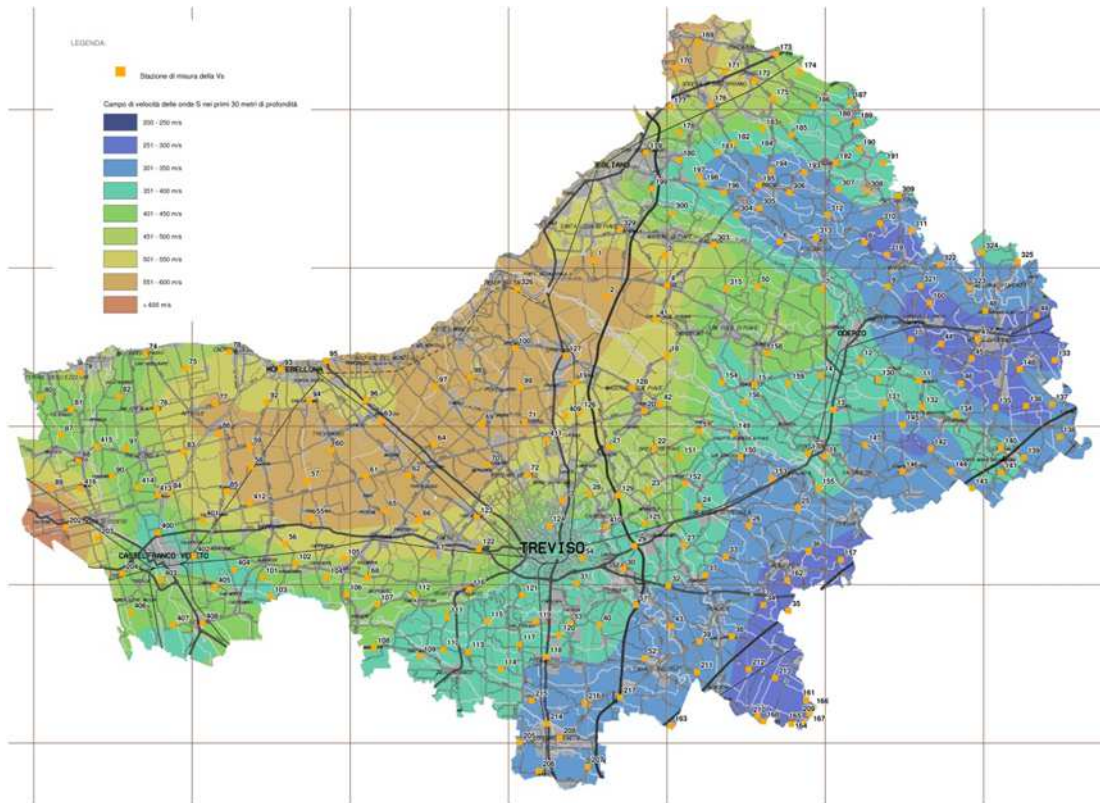


Figura 51 - Classificazione Terreno: Cartografia sismica della pianura della Provincia di Treviso

La cartografia riporta l'andamento della velocità di taglio nei primi 30 metri, $V_{s,30}$, in maniera molto precisa. I valori vanno da 200 (blu) a 600 (rosso) m/s, comprendendo quindi terreni di categoria B e C. E' stata ottenuta tramite una serie di prove sul campo, le cui posizioni sono segnate in arancione sulla carta, e i risultati sono stati in seguito interpolati su tutto il territorio interessato.

Da questa rappresentazione è stato molto semplice ricavare una classificazione analoga alla precedente: tutta la zona interessata risulta essere di categoria B o C, in accordo con i dati più grossolani ma omogenei della prima fonte.

La terza ed ultima fonte fornisce dati per la zona sud ed ovest della regione, in particolare per le provincie di Verona, Padova e Rovigo.

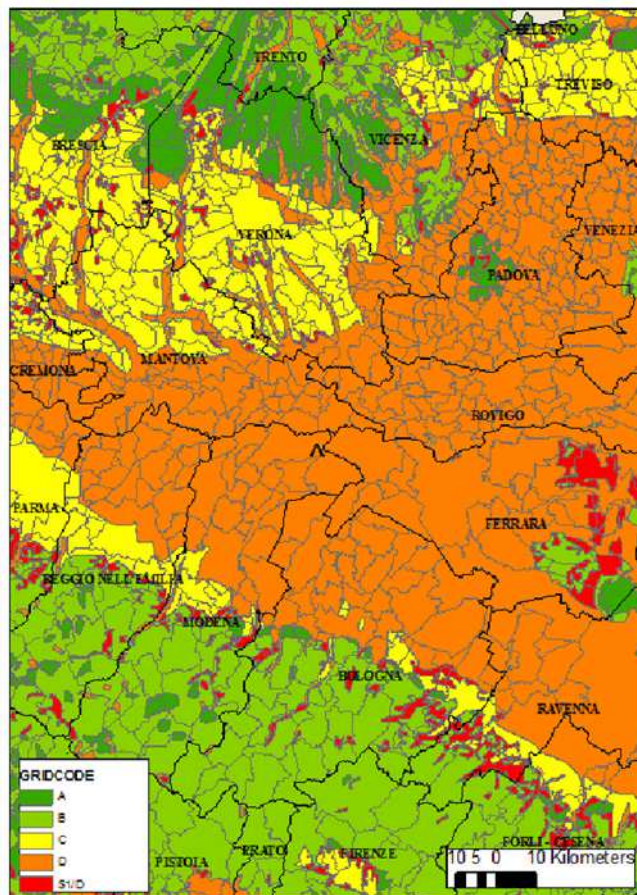


Figura 52 - Classificazione Terreno: A three level vulnerability approach for damage assessment of infilled RC buildings: The Emilia 2012 case

Si noti come questa carta non derivi da una microzonazione, ma piuttosto da una macrozonazione effettuata sulla base di parametri geologici e non fisici (quindi non secondo la $V_s,30$), ma fornisce un utile base di partenza per futuri raffinamenti del sistema.

Georeferenziazione

Il primo passo per l'implementazione dei dati nel sistema è la corretta georeferenziazione degli stessi: ovvero, l'assegnazione di corrette e precise coordinate geografiche alle carte in esame, al fine di poter valutare le caratteristiche per ciascun punto considerato.

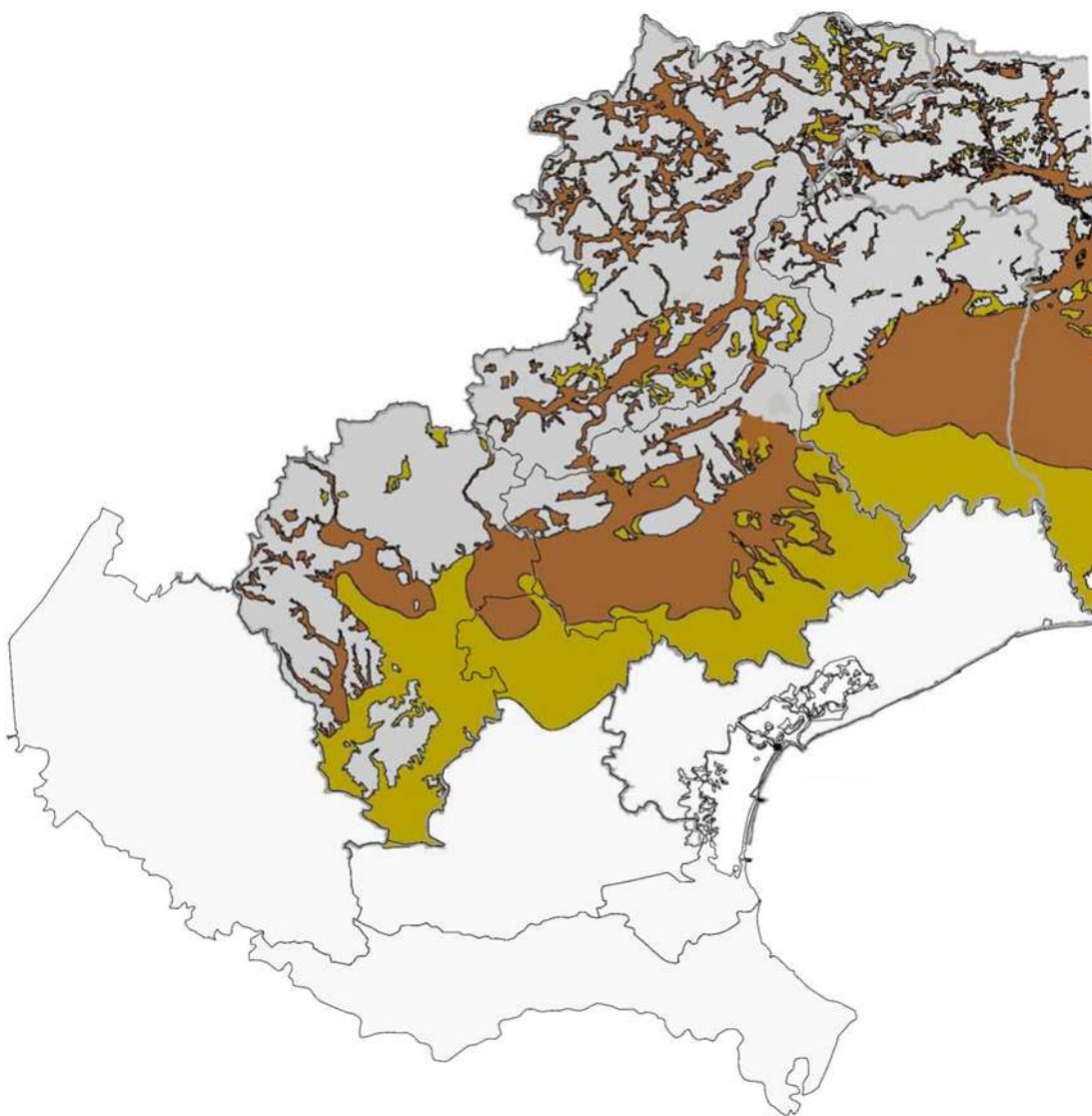


Figura 53 - Georeferenziazione: la prima carta correttamente inserita nel sistema GIS

Si noti peraltro come già questa carta copra gran parte delle zone di un certo interesse dal punto di vista della generazione di scenari sismici: se si esclude il Veronese, anch'esso zona con una certa pericolosità, i territori esclusi sono praticamente immuni da rischio sismico.

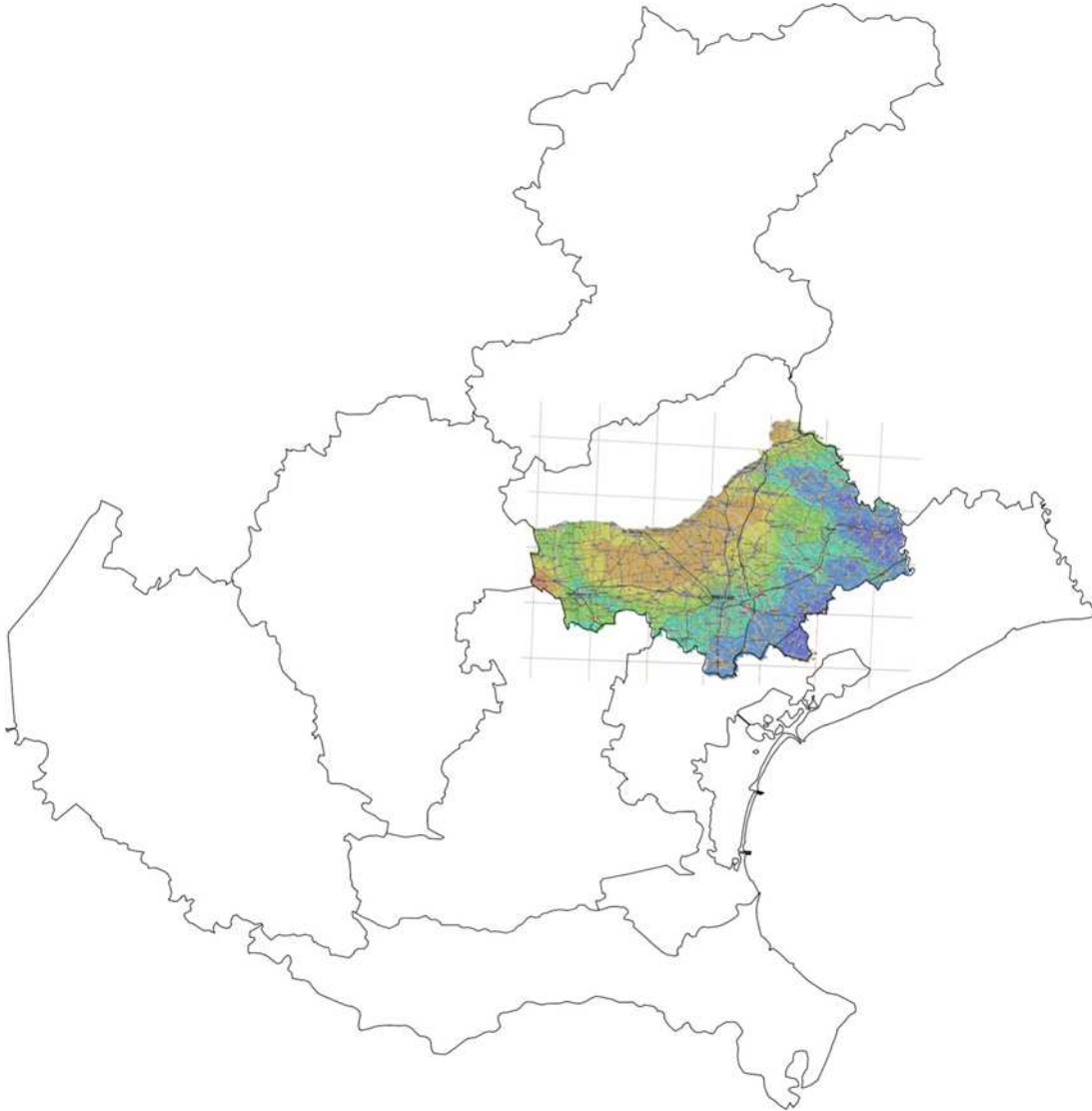


Figura 54 - Georeferenziazione: la seconda carta correttamente inserita nel sistema GIS

La seconda carta copre invece un'area molto più ridotta, utile più che altro per un controllo sulla qualità dei dati derivanti dalla prima fonte.

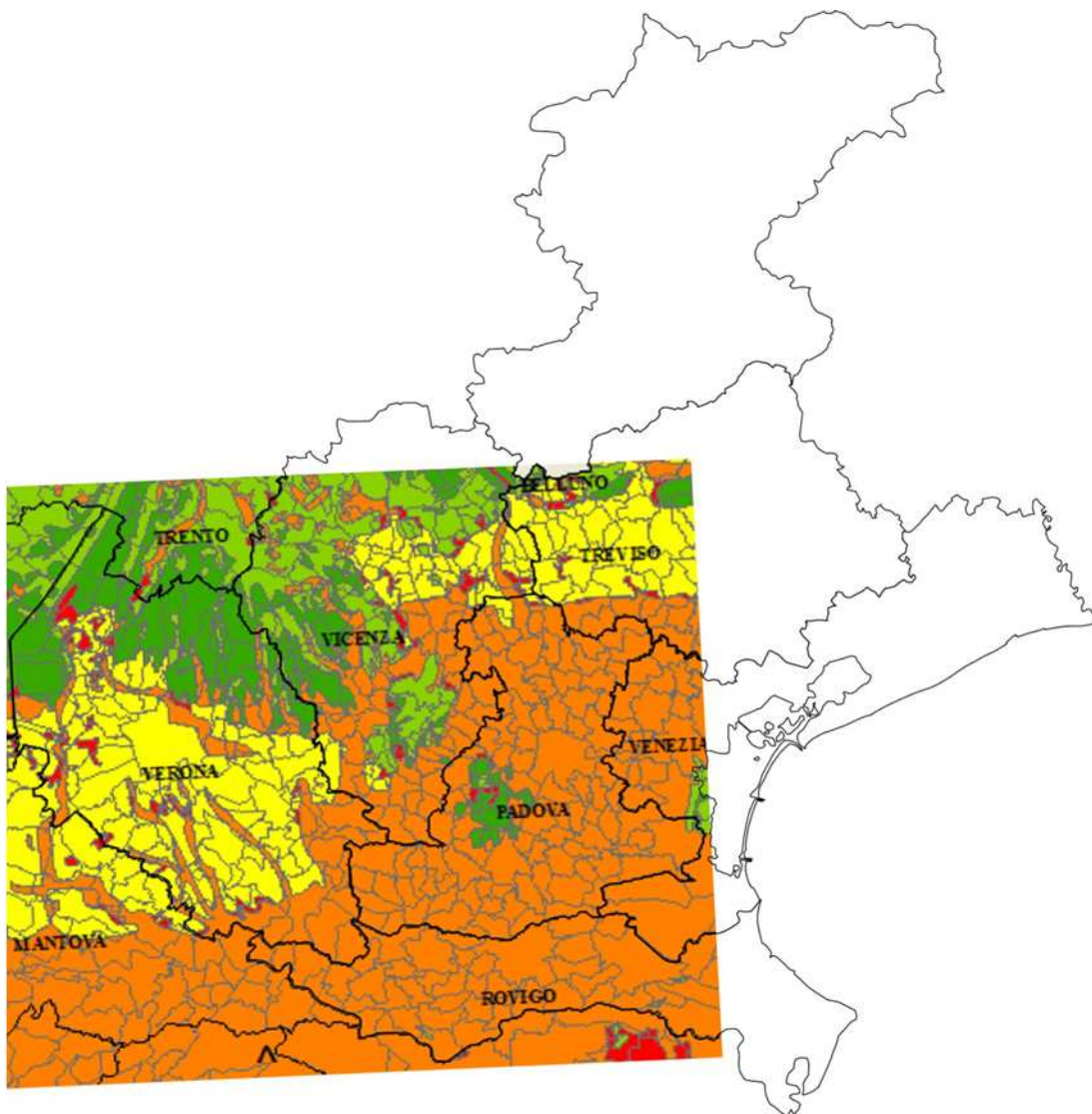


Figura 55 - Georeferenziazione: la terza carta correttamente inserita nel sistema GIS

La terza ed ultima carta, come accennato, copre in buona parte la zona lasciata scoperta dai precedenti riferimenti.

Una volta georeferenziate le mappe sulla carta regionale, è stato semplice inserire il tutto nel sistema GIS, tramite i tool di georeferenziazione messi a disposizione dal pacchetto, che hanno permesso di inserire i dati relativi al terreno con assoluta precisione.

Mappa completa

Una volta correttamente posizionate le carte fonti dei dati richiesti, è possibile procedere alla creazione di una mappa unica, che comprenda e riassume i dati disponibili. In questo caso si è deciso di creare una mappa in scala di grigi, dove al bianco corrispondono terreni di tipo D e al nero terreni rocciosi di tipo A, passando per le classi intermedie B e C.

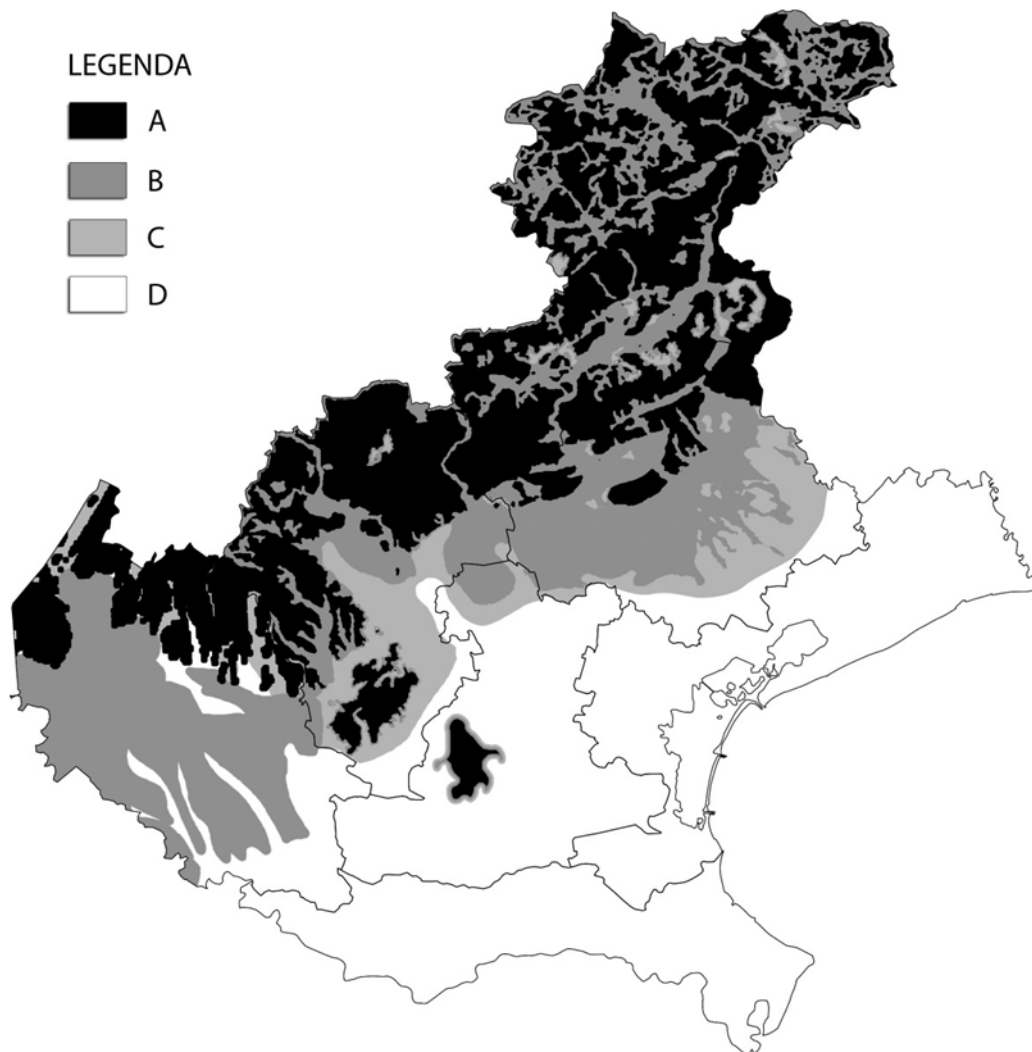


Figura 56 - Classificazione Terreno: mappa completa

La corrispondenza fra le varie carte disponibili si è rivelata essere molto buona, ma non perfetta: si sono resi quindi necessari alcuni aggiustamenti. Come regola generale, è stata posta maggior affidabilità alla Carta Sismica della Provincia di Treviso, poi a seguire i lavori di Slejko e Verderame: questo per via delle caratteristiche delle singole carte, che si differenziano per estensione e precisione. Si è ritenuto comunque di aver ottenuto un

ottima carta di riferimento, che permette una completa analisi dei fenomeni di amplificazione nella Regione Veneto, ovviamente nell'ambito delle ipotesi sopra discusse.

Una volta ottenuta la mappa completa, questa è stata inserita nel sistema GIS: era necessario infatti ricavare il tipo di terreno per ogni sito in esame, cioè per tutti i ponti della rete, cosa per cui è stato necessario far uso dei tool di geoprocessing del sistema, adatti ad utilizzi di questo tipo.

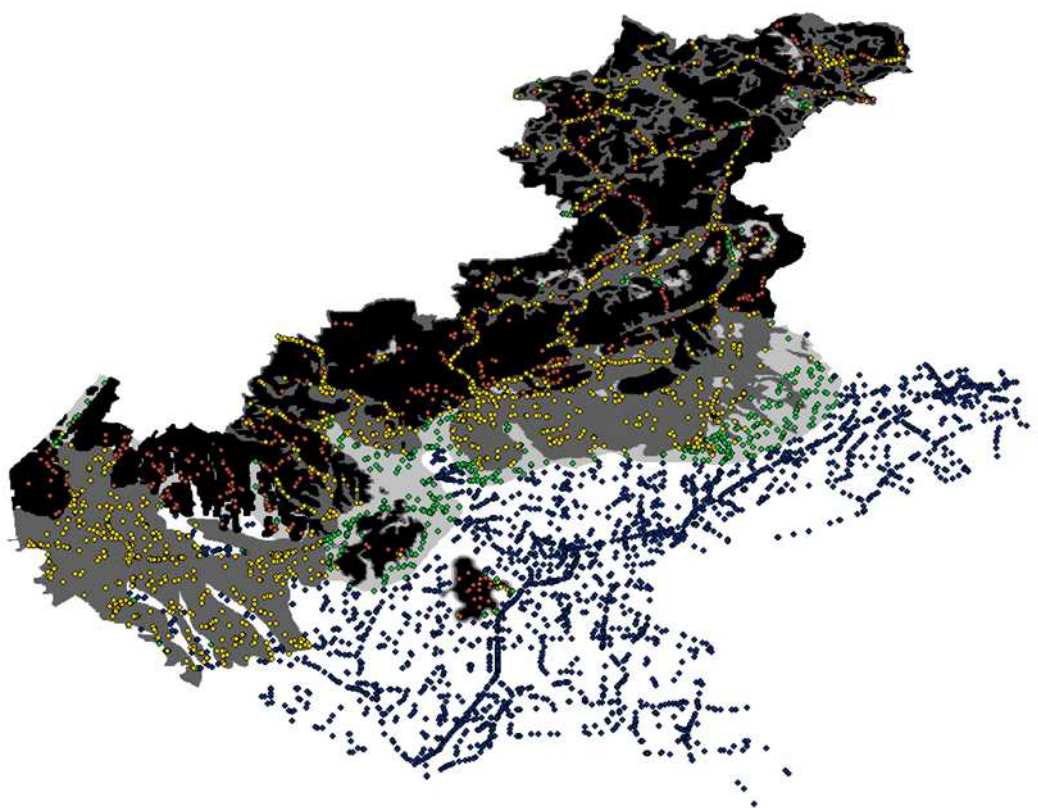


Figura 57 - Classificazione Terreno: la mappa completa nel sistema GIS

Si possono quindi valutare immediatamente le caratteristiche del sottosuolo per ciascun ponte della rete veneta: in blu i ponti situati su suolo di tipo D, in verde su tipo C, in giallo su tipo B, in rosso su tipo A. La rappresentazione è basata su una tabella che correla il ponte, tramite EXTERNAL_ID, con la categoria del sottosuolo: il valore è direttamente misurato dalla mappa raster importata, e viene poi successivamente processato per essere ricondotto alle categorie A, B, C e D.

OID	Shape	EXTERN	DDLat	DDLon	RASTERVALU
1	Point	4	45,49942N	011,45239E	255
2	Point	5	45,49967N	011,45238E	255
3	Point	7	45,54144N	011,62426E	255
4	Point	9	45,53866N	011,62514E	255
5	Point	10	45,53861N	011,62495E	255
6	Point	16	45,52312N	011,62569E	255
7	Point	34	45,46808N	012,18136E	255

Figura 58 - Tabella delle caratteristiche del terreno, all'interno del sistema GIS

Per convertire il valore dalla mappa raster in categoria A,B,C o D è stato usato il seguente semplice codice:

```
'ciclo sul terreno
While Not Terreno.EOF
  Terreno.Edit

  Select Case Terreno!RASTERVALU
  Case 0 To 71
  Terreno!cat = "A"
  Case 71 To 159
  Terreno!cat = "B"
  Case 159 To 217
  Terreno!cat = "C"
  Case Else
  Terreno!cat = "D"
  End Select

  Terreno.Update
  Terreno.MoveNext
Wend
```

Il codice è stato usato su una tabella provvisoria del database, ed una volta completata la conversione sono stati rimossi. Se ne riporta comunque l'estratto, in modo che il tutto sia di facile reimplementazione nel caso si debbano apportare modifiche al sistema.

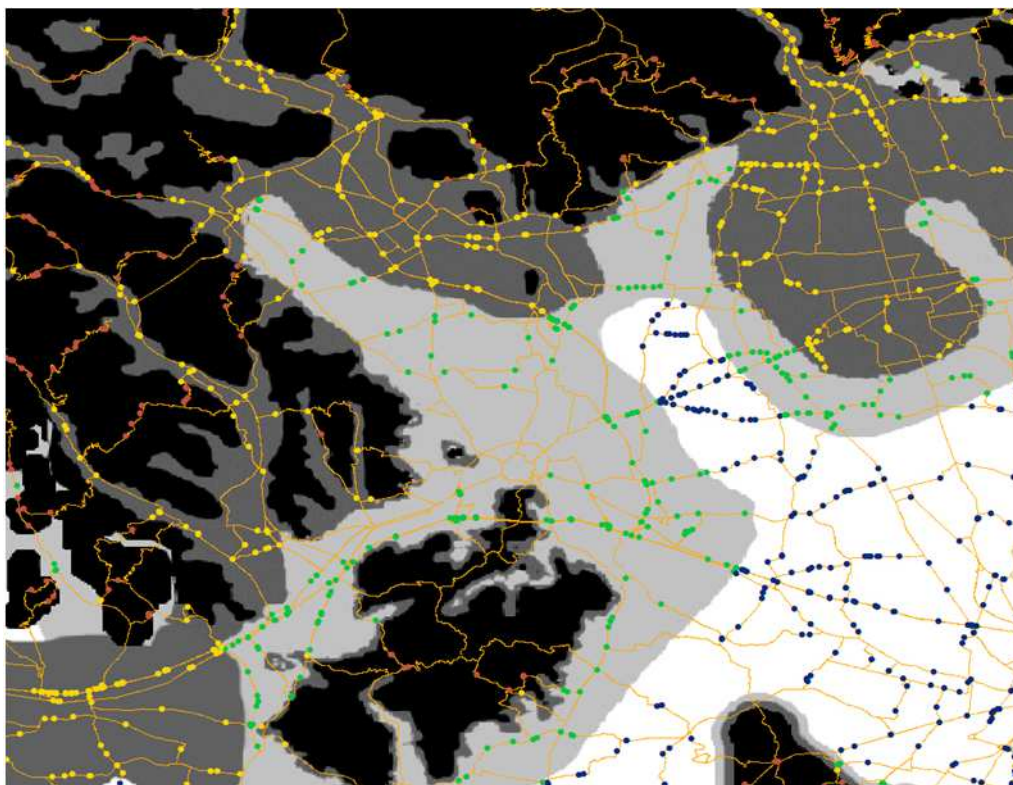


Figura 59 - Classificazione Terreno: zona del Vicentino

Si vede nell'ultima immagine la zona del Vicentino, rappresentata in maggior dettaglio, per meglio comprendere la suddivisione dei siti in base alle categorie di sottosuolo: ancora una volta, in blu i ponti situati su suolo di tipo D, in verde su tipo C, in giallo su tipo B e in rosso su tipo A.

Calcolo caratteristiche terreno

Una volta nota la categoria del terreno, è immediato il calcolo dei coefficienti definiti da normativa e necessari al proseguire della procedura. La tabella di dati è stata esportata dal sistema GIS ed importata nel database, in cui tramite due semplici funzioni si sono calcolati i coefficienti richiesti.

Calcolo del coefficiente Cc:

```
Public Function calcolaCc(Tc_ponte As Double, Terreno As String) As Double
'Funzione per il calcolo del coefficiente funzione della categoria di
sottosuolo'
```

```
Select Case Terreno
    Case "A"
        calcolaCc = 1
    Case "B"
        calcolaCc = 1.1 * (Tc_ponte) ^ (-0.2)
    Case "C"
        calcolaCc = 1.05 * (Tc_ponte) ^ (-0.33)
    Case "D"
        calcolaCc = 1.25 * (Tc_ponte) ^ (-0.5)
    Case Else
        calcolaCc = 0

End Select

End Function
```

Calcolo del coefficiente Ss:

```
Public Function calcolaSS(ag_ponte As Double, Fo_ponte As Double, Tc_ponte
As Double, Terreno As String) As Double
'Funzione per il calcolo del coefficiente di amplificazione stratigrafica,
relativo al sottosuolo'
```

```
Select Case Terreno
    Case "A"
        calcolaSS = 1
    Case "B"
        calcolaSS = 1.4 - (0.4 * Fo_ponte * (ag_ponte / 9.81))
        If calcolaSS > 1.2 Then calcolaSS = 1.2
    Case "C"
        calcolaSS = 1.7 - (0.6 * Fo_ponte * (ag_ponte / 9.81))
        If calcolaSS > 1.5 Then calcolaSS = 1.5
    Case "D"
        calcolaSS = 2.4 - (1.5 * Fo_ponte * (ag_ponte / 9.81))
        If calcolaSS > 1.8 Then calcolaSS = 1.8
    Case Else
        calcolaSS = 0

End Select

End Function
```

E' ora quindi completa la procedura di implementazione dei dati relativi al sottosuolo, essendo stati calcolati tutti i valori necessari, disponibili nel database in forma tabulare.

Questi dati sono poi richiamati a bisogno nel momento della generazione dello scenario sismico, in modo da poter correttamente valutare le grandezze che concorrono a determinare lo stato di danno causato sul singolo ponte dall'evento sismico in esame.

EXTERNALID	ArcoPonte_Lat	ArcoPonte_long	Terreno_SS	Terreno_ST	Terreno_Cc	Terreno
4	45,49942N	011,45239E	1.48633288275253	1	1.59445735670804	C
5	45,49967N	011,45238E	1.48629943319701	1	1.59447539342654	C
7	45,54144N	011,62426E	1.48712915520681	1	1.57978490492796	C
9	45,53866N	011,62514E	1.48780940495361	1	1.57978490492796	C
10	45,53861N	011,62495E	1.48780304906444	1	1.57978490492796	C
16	45,52312N	011,62569E	1.49939383704977	1	1.57978490492796	C
34	45,46808N	012,18136E	1.5	1	1.48211774907098	C
45	45,52106N	012,25397E	1.5	1	1.48472781405157	C
46	45,52098N	012,25407E	1.5	1	1.48472781405157	C
47	45,51973N	012,25197E	1.5	1	1.48472781405157	C
48	45,52101N	011,62464E	1.49418746216707	1	1.57978490492796	C
50	45,52098N	011,62483E	1.49423976463533	1	1.57978490492796	C
52	45,52308N	011,62587E	1.49940135186984	1	1.57978490492796	C
61	45,66202N	011,51321E	1.2	1	1.40900678870249	B
62	45,66217N	011,51324E	1.2	1	1.40900678870249	B

Tabella 15 - Tabella nel database riportante le caratteristiche del terreno per ciascun sito

Questa semplice implementazione ha permesso di migliorare notevolmente, soprattutto dal punto di vista teorico ma anche in ambito pratico, il sistema in fase di costruzione: non era infatti ammissibile procedere nelle operazioni con la consapevolezza di trascurare un fattore così importante nella determinazione dell'azione sismica come le caratteristiche del sottosuolo. Pur senza pretesa di completezza ed esaustività, questa parte di progetto ha gettato le basi per una successiva completa catalogazione del territorio Veneto, che assieme al completamento della classificazione dei ponti porterà ad un validissimo strumento nella previsione degli scenari di danno conseguenti ad eventi sismici nella nostra Regione.

3. FRAGILITA' DEI PONTI

3.1 Livelli di danno

Per la valutazione della vulnerabilità sismica di un sistema infrastrutturale è necessario innanzitutto andare a valutare la fragilità dei suoi elementi: nel caso di reti stradali, nella stragrande maggioranza dei casi i punti deboli sono da individuarsi nei ponti, essendo per lo più gli unici elementi a rischio nel caso di sollecitazioni sismiche.

Lo strumento per la valutazione della fragilità dei ponti è la curva di fragilità, che permette di esprimere la probabilità di eguagliare o eccedere un definito livello di danno al variare dell'intensità dell'azione sismica.

E' evidentemente necessario, prima di procedere alla definizione delle curve di fragilità, andare a stabilire determinati livelli di danno a cui fare in seguito riferimento. I livelli di danno definiti dalla procedura RiskUE/Hazus sono 4, e sono chiamati *Performance Level*:

Danni lievi: Crepe ridotte e spalling della spalla, crepe nelle connessioni a taglio delle spalle, crepe ridotte e spalling sulle cerniere, spalling ridotti alle colonne crepe minori alla soletta.

Danni moderati: Crepe di taglio limitate in qualche colonna (con spalling), moderati movimenti delle spalle (< 5 cm), crepe estese e spalling delle connessioni a taglio, qualche connessione crepata alle shear key e bulloni piegati.

Danni estesi: Colonne danneggiate ma non collassate, rottura a taglio, significativi spostamenti residui alle connessioni, sovrapposizione della soletta con spostamento verticale sulla spalla, differenti sovrapposizioni alle connessioni, rottura delle connessioni a taglio sulla spalla.

Collasso: Collasso di colonne e connessioni che perdono completamente l'appoggio, eventuale collasso dell'impalcato, rottura delle fondazioni.

Questi livelli di danno saranno poi associati, secondo un qualche criterio, al livello di funzionalità del ponte. Sarà inoltre possibile considerare, sempre tramite lo stato di danno in cui si trova il manufatto, altri aspetti importanti, quali per esempio il lasso di tempo necessario affinché l'infrastruttura recuperi la piena funzionalità a seguito del sisma.



Figura 60 - Esempio di danno lieve



Figura 61 - Esempio di danno moderato



Figura 62 - Esempio di danno esteso



Figura 63 - Esempio di collasso

3.2 Curve di fragilità

Una volta definiti gli stati di danno, o *performance level*, è possibile andare a tracciare le curve di fragilità per ciascuno di questi. Come già introdotto, la curva di fragilità è uno strumento che indica la probabilità che un dato ponte si trovi in un determinato stato di danno in funzione dell'accelerazione subita.

I metodi per la creazione delle curve di fragilità sono essenzialmente di due tipi: analitici ed empirici.

Nel caso dell'utilizzo di un metodo analitico per la creazione della curva di fragilità è necessario realizzare, per ogni singolo ponte, un appropriato modello strutturale (generalmente agli elementi finiti) allo scopo di andare ad indagare, attraverso simulazioni di diverso tipo, il comportamento del manufatto sottoposto alla sollecitazione sismica in esame. Andranno definiti parametri di controllo su cui misurare la prestazione dell'opera, tipicamente la dissipazione di energia o la duttilità, e l'analisi potrà essere condotta con metodi diversi, quali un'analisi elastica con spettro, un'analisi non-lineare push-over o un'analisi dinamica in time-history, quest'ultima rappresentando lo strumento più evoluto di cui dispone il progettista per la valutazione delle prestazioni del singolo manufatto.

Sono evidenti tuttavia l'onere computazionale, il tempo da investire e la difficoltà nel reperire tutte le informazioni necessarie per analisi di questo tipo, confrontandosi con reti molto estese di ponti costruiti in vari periodi storici e con varie modalità, la cui struttura è spesso di difficile analisi al livello di precisione richiesto perché la procedura possa offrire risultati di una qualche affidabilità.

Ci si può rivolgere quindi verso i più semplici e immediatamente applicabili metodi empirici, il cui scopo è quello di fornire realistiche indicazioni riguardo la performance sismica del manufatto pur senza doversi realizzare una pesante analisi dello stesso, basandosi dunque su relativamente pochi parametri macroscopici facilmente valutabili e rilevabili.

Il metodo ripreso dalla normativa americana Hazus e dalla sua erede europea Risk-UE è quello improntato sul lavoro di Basoz (1994) e Shinouzuka (1995), basato sui dati raccolti a seguito di importanti eventi sismici. Esso si basa sulla verificata ipotesi che capacità strutturale e richiesta sismica siano trattabili come variabili aleatorie che si adattano ad una distribuzione probabilistica di tipo log-normale, e dunque che il loro

punto d'intersezione risulti essere rappresentabile attraverso una distribuzione di tipo log-normale. Considerando tale rappresentazione si può quindi ottenere una funzione di densità di probabilità cumulativa che corrisponde con la curva di fragilità.

Per costruire tale curva sono essenzialmente necessari due parametri:

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

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

$$F(Sa) = \Phi\left(\frac{1}{\sigma} \ln \frac{Sa}{m}\right)$$

Dove:

- $F(Sa)$ è la densità di probabilità cumulativa
- Sa è l'accelerazione spettrale, valutata per un periodo di 1s, in corrispondenza del ponte
- σ è la deviazione standard, assunta da letteratura pari a 0,6.
- m è il valore medio
- Φ è la funzione continua di distribuzione cumulata normale, o Gaussiana

Si veda l'appendice per una più precisa descrizione della distribuzione log-normale.

Essendo la deviazione standard assunta a priori e l'accelerazione spettrale caratteristica derivante dallo scenario sismico, la caratterizzazione della performance del singolo manufatto avviene tramite la corretta stima del valor medio m , in cui risiede effettivamente la misura della fragilità del ponte per i diversi stati di danno definiti in precedenza. La procedura Risk-UE fornisce un metodo per il calcolo del valor medio per i 4 performance level, che si va di seguito ad esporre.

3.3 Generazione delle curve di fragilità con il metodo Risk-UE

Per la generazione delle curve sono necessari dati di diverso tipo:

- Dati geometrici e caratteristiche del ponte
- Caratteristiche del sisma atteso
- Caratteristiche del suolo

La procedura opera innanzitutto la suddivisione dei manufatti in 15 categorie standard, a seconda delle sue caratteristiche strutturali: materiale, tipologia di colonna, continuità dell'impalcato, progetto antisismico o meno.

Material	Column Bent Type	Span Continuity	Design	Category
All	Single Span	-	Conventional	1
			Seismic	2
Concrete	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	Multiple	Simple Support	Conventional	11
			Seismic	12
	All	Continuous	Conventional	13
			Seismic	14
	Other			15

Per ciascuna di queste categorie, la procedura propone una curva di fragilità standard che andrà poi adattata alle peculiarità del singolo manufatto attraverso una serie di fattori, che tengono appunto conto delle particolari caratteristiche dell'opera.

Questi fattori, in particolare, sono:

$K_{skew} = \sqrt{\sin(90 - \alpha)}$ che considera la sghematura in pianta del ponte

$K_{shape} = 2,5 \frac{Sa(1)}{Sa(2,3)}$ che dipende dalle caratteristiche del sisma atteso

K_{3D} che considera gli effetti tridimensionali, e dipende dal numero di campate

3-dimensional arch action in the deck (K_{3D})						
EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
$1 + \frac{0.25}{N-1}$	$1 + \frac{0.33}{N}$	$1 + \frac{0.33}{N-1}$	$1 + \frac{0.33}{N-1}$	$1 + \frac{0.05}{N}$	$1 + \frac{0.20}{N-1}$	$1 + \frac{0.10}{N}$

Tabella 16 - Coefficiente K_{3D}

Una volta catalogato il ponte in una delle categorie base, e individuatene le caratteristiche tipiche, è possibile andare a calcolare i valori medi delle probabilità di accadimento per i 4 diversi performance level, adattati al singolo ponte in esame, con l'ausilio della tabella messa a disposizione dalla procedura.

Typology	Damage state			
	Minor	Moderate	Extensive	Complete
Category	Median SA at 1.0 s (g) with $\beta=0.6$			
1-2	$0.8 \times \min\left(1; 2.5 \times \frac{S_A(1.0)}{S_A(0.3)}\right)$	$1.0 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.2 \times K_{skew} \times EQ1$	$1.7 \times K_{skew} \times EQ1$
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 17 - Valori medi di probabilità secondo Risk-UE

Le curve di fragilità ottenute si presentano tipicamente nella seguente forma:

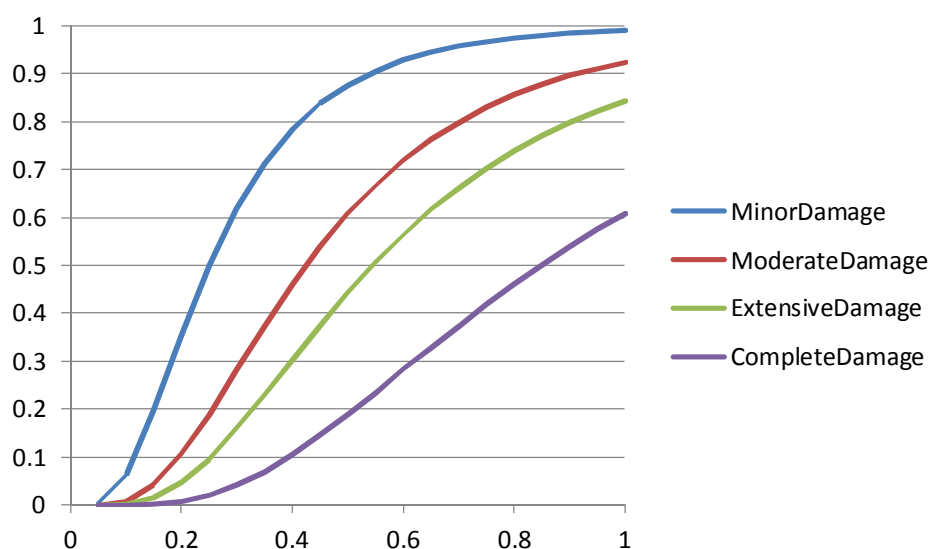


Figura 64 - Curve di fragilità tipiche

Ora, una volta note le curve di fragilità, è possibile avere un quadro molto chiaro della fragilità sismica del manufatto: per ogni evento sismico a partire dall'accelerazione al suolo è possibile ricavare l'accelerazione spettrale per periodo di 1s ed entrando nelle curve di fragilità si può immediatamente ricavare la probabilità che il ponte in esame si trovi o meno in uno dei 4 stati di danno.

3.4 Effetti dell'adeguamento antisismico sulle curve di fragilità

Come già discusso in precedenza, il territorio italiano si caratterizza sia per una elevata pericolosità sismica sia per una elevata vulnerabilità: ciò comporta un alto rischio sismico. In particolare, la vulnerabilità della rete di ponti deriva per lo più dal fatto che, essendo opere che nella maggior parte dei casi risalgono a 40/50 anni fa, non sono stati progettati con criteri antisismici. Si rende quindi necessaria la programmazione di una fase di adeguamento sismico, a cui questa ricerca intende appunto apportare valido contributo nella fase di ottimizzazione della distribuzione delle risorse, al fine di evitare i gravi danni economici e sociali che un sisma sarebbe in grado di generare su una rete infrastrutturale con tali carenze.

Gli interventi di adeguamento sismico di un ponte, pur estremamente vari nell'approccio, nello scopo, nel costo e nella modalità di messa in opera, si possono sostanzialmente dividere in 6 diversi tipi:

- Allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato
- Vincoli aggiuntivi realizzati con barre e cavi
- Ritegni longitudinali e trasversali
- Rinforzo delle pile
- Rinforzo dei traversi
- Isolamento e smorzamento

Si discute ora brevemente di ciascuna di queste possibilità.

Allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato

Con questo tipo di intervento si mira a fornire al ponte delle zone di appoggio più estese, tramite l'inserimento, per esempio, di selle di appoggio metalliche. Il vantaggio di questi interventi è la semplicità di realizzazione, oltre al costo abbastanza modesto.



Figura 65 - Esempio di allungamento zona di appoggio

Vincoli aggiuntivi realizzati con barre e cavi

Uno dei problemi che più spesso si verificano quando un sisma colpisce un ponte, è la perdita d'appoggio degli impalcati: questo intervento, tramite barre e cavi disposti secondo opportune modalità, mira a limitare gli spostamenti dell'impalcato sulle pile. Anche questa tecnica è di semplice utilizzo e costo limitato.

Ritegni longitudinali e trasversali

Intervento analogo al precedente, col comune scopo di impedire la perdita d'appoggio dell'impalcato. Il risultato si ottiene però non con barre o cavi passanti, ma con ritegni esterni opportunamente disposti.



Figura 66 - Esempio di intervento con ritegni esterni

Rinforzo delle pile

L'intervento mira a migliorare, qualora ve ne sia la necessità, le performance strutturali delle pile da ponte. Questa tecnica, fra le più comuni, consente infatti di aumentare la

resistenza a taglio degli appoggi, e conseguentemente limitare gli spostamenti, ma anche di aumentare la capacità di duttilità

Le modalità con cui si opera sono molteplici:

- Confinamento con piatti metallici
- Aumento della sezione con camicie in calcestruzzo armato
- Precompressione con cavi o barre in acciaio ad alta resistenza
- Rinforzo con materiali compositi



Figura 67 - Esempio di intervento di rinforzo delle pile

Rinforzo dei traversi

L'intervento ha lo scopo di migliorare le caratteristiche dei traversi, tipicamente resistenza a taglio, a flessione o duttilità. Anche in questo caso possono essere utilizzati più approcci, per esempio:

- Rinforzo con piatti metallici
- Aumento della sezione in calcestruzzo armato
- Utilizzo di cavi di precompressione

Isolamento e smorzamento

Una diversa tipologia di intervento, rispetto alle precedenti, sono i dispositivi di isolamento e smorzamento: l'obiettivo non è più modificare la resistenza strutturale degli elementi del ponte, bensì cercare di limitare le sollecitazioni che il sisma vi può imporre. Ciò è possibile disaccoppiando le frequenze proprie del ponte dalle frequenze più tipiche degli eventi sismici. Per fare ciò si vanno a porre opportuni dispositivi di isolamento, o smorzamento, tipicamente alla sommità delle pile in modo da isolare l'impalcato, depositario della maggior parte della massa sismica del manufatto tipico. Il risultato dell'operazione è che la struttura, o almeno la sua parte isolata, in caso di sisma si comporta come un corpo rigido e trasla sulle sottostrutture vincolate al suolo: spostamento questo permesso dagli isolatori sismici.

Questa procedura, oltre a ridurre le sollecitazioni sugli elementi strutturali, evita anche una serie di danneggiamenti minori e contribuisce quindi a limitare il costo di riparazione in caso di eventi di minore intensità.

I dispositivi disponibili in commercio sono classificabili sostanzialmente in tre categorie:

elastomerici: sfruttano la bassa rigidezza laterale fornita da un cuscinetto tipicamente formato da un sandwich di metallo e strati polimerici

a scorrimento: permettono di isolare una parte di struttura una volta superata una certa soglia di sollecitazione. Possono essere a scorrimento piano o su superficie sferica, i secondi da preferirsi per la possibilità di autocentramento della struttura dopo l'evento.

a rotolamento: realizzati in leghe metalliche, permettono di isolare le strutture sfruttando il bassissimo valore di attrito volvente.

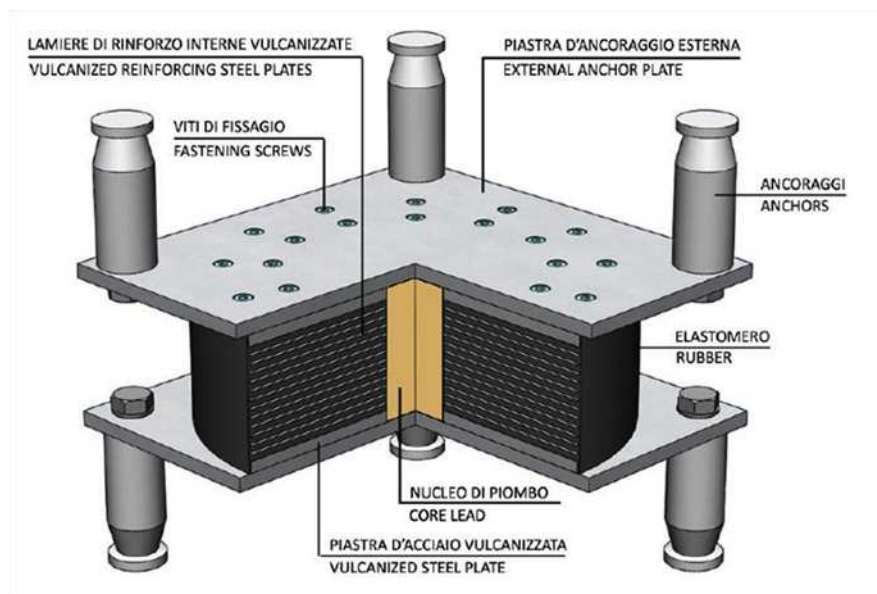


Figura 68 - Esempio di dispositivo di isolamento elastomerico

Non si è voluto in questa sede indagare in maniera precisa ed esaustiva gli effetti sulla sua fragilità di un possibile adeguamento sismico del ponte, data l'ampiezza e complessità dell'argomento. Gli effetti di un adeguamento sono stati semplicisticamente tenuti in conto tramite un passaggio di categoria del ponte: da categoria dispari (conventional design) a pari (seismic design). Ciò porta inevitabilmente al modificarsi delle curve di fragilità, che esprimono un ovvio miglioramento della performance del manufatto. Si riporta un grafico di confronto a titolo d'esempio, che mostra i risultati di un adeguamento con cambio di categoria da 7 a 8: si noti la decisa diminuzione delle probabilità di danno.

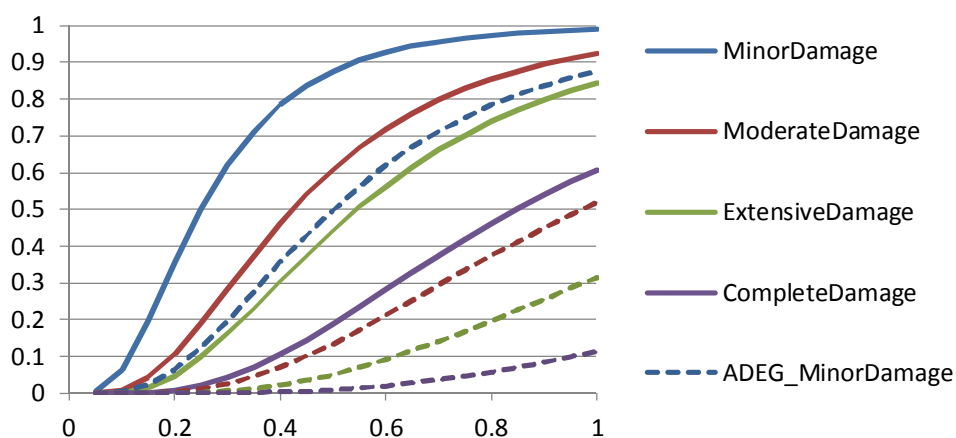


Figura 69 - Effetti dell'adeguamento sismico sulle curve di fragilità

3.5 Gestione delle curve di fragilità nel database

La gestione delle curve di fragilità nel database è avvenuta tramite una tabella in cui memorizzare i valori medi di probabilità, per ciascun ponte e per ciascun stato di danno, da cui poi fosse possibile ricavare le curve necessarie tramite la formula esposta in precedenza.

ID_IBRID	EXTERNALID	BRIDGECATEGORY_RiskUE	Kskew	K3D
100	42292	9	0,969377943792915	1,066
101	142783	13	0,969377943792915	1,0125
103	142801	14	0,99999999996627	1,165
1047	14216	9	0,99999999996627	1,11
107	142568	11	0,99999999996627	1,055
1070	104477	4	0,99999999996627	1,03571428571429
108	143916	15	0,99999999996627	1
110	43476	7	0,99999999996627	1,00925925925926
1100	42293	9	0,969377943792915	1,066
111	143935	15	0,969377943792915	1
1110	43475	7	0,99999999996627	1,00925925925926
1123	142992	7	0,952002577824723	1,125
1124	142994	7	0,875240398310347	1,125
114	42866	1	0,99999999996627	1,33
115	56069	1	0,99999999996627	1,33
116	56808	1	0,99999999996627	1,33
117	56756	1	0,99999999996627	1,33
118	57276	1	0,99999999996627	1,33
119	57790	1	0,99999999996627	1,33
123	142993	7	0,952002577824723	1,125
124	142995	7	0,875240398310347	1,125
1253	72531	1	0,99999999996627	1,33
126	142167	5	0,99999999996627	1,11
127	41591	1	0,969377943792915	1,33
128	51693	7	0,99999999996627	1,125
1281	142343	9	0,99999999996627	1,0825
129	109718	5	0,99999999996627	1,11
130	119147	5	0,99999999996627	1,11
131	119532	5	0,99999999996627	1,11
132	142075	9	0,99999999996627	1,03666666666667
133	55366	8	0,99999999996627	1,03571428571429
134	3512	7	0,99999999996627	1,125
135	6049	7	0,99999999996627	1,125
136	7277	1	0,99999999996627	1,33
137	128248	7	0,99999999996627	1,125
1378	88744	1	0,99999999996627	1,33
138	129676	1	0,99999999996627	1,33
139	142179	7	0,99999999996627	1,125
140	128079	1	0,99999999996627	1,33
141	116217	3	0,99999999996627	1,125
146	54931	1	0,99999999996627	1,33

Tabella 18 - Tabella del database con parametri curve di fragilità

Sa_03s	Sa_1s	Kshape	min_Kshape_x
0,263238762781455	0,140501593933054	1,33435509695147	1,2
0,246289718481791	0,132840571863269	1,3484177565566	1,2
0,202708194371453	0,112367979631514	1,38583420344622	1,2
0,240970197109153	0,122238482862138	1,26819088344323	1,2
0,302456726212704	0,159354658066492	1,31716907127423	1,2
0,519742530842592	0,259646154978404	1,24891720212638	1,2
0,484575533058143	0,237138062234522	1,2234318803611	1,2
0,451225458857043	0,223691643908748	1,23935628807027	1,2
0,263232986055597	0,140499994680108	1,33436919120039	1,2
0,503722524104986	0,246508077938401	1,2234318803611	1,2
0,451249595054728	0,223703228897833	1,23935418086471	1,2
0,428402499950293	0,204306117415846	1,19225563249252	1,19225563249252
0,413004923076714	0,195538913630425	1,1836354889776	1,1836354889776
0,357939695532972	0,183337991623801	1,28050893706278	1,2
0,329293748146622	0,172079283191885	1,3064268921017	1,2
0,337268629040016	0,174967768122067	1,29694665510462	1,2
0,307133840359553	0,162230275103876	1,32051774980215	1,2
0,329208126882065	0,171556114888111	1,30279374109717	1,2
0,307328084553852	0,162187854669642	1,31933805289134	1,2
0,428418509766307	0,204317557049853	1,19227783342802	1,19227783342802
0,413028329007039	0,195563698116934	1,18371843032588	1,18371843032588
0,202751127086046	0,10897537492009	1,34370862059181	1,2
0,402789475620341	0,197114194219142	1,2234318803611	1,2
0,406708098914063	0,194842841580763	1,19768233101951	1,19768233101951
0,396426504901511	0,190649110381968	1,20229795450567	1,2
0,294815890447912	0,142139235237363	1,20532203184004	1,2
0,45743171477983	0,223854617179955	1,2234318803611	1,2
0,494641787838186	0,242064213040019	1,2234318803611	1,2
0,506147427709155	0,247694759688858	1,2234318803611	1,2
0,497310100346999	0,243370012476038	1,2234318803611	1,2
0,512406336115364	0,252898790828862	1,23387814027695	1,2
0,49476462279774	0,242124325122235	1,2234318803611	1,2
0,499583436793959	0,244482521389637	1,2234318803611	1,2
0,503433782515639	0,246366775672164	1,2234318803611	1,2
0,495559196022785	0,242513167608156	1,2234318803611	1,2
0,391441704977887	0,175166992889144	1,11872975376397	1,11872975376397
0,501487547691481	0,245414341379946	1,2234318803611	1,2
0,494574809577499	0,242031435704253	1,2234318803611	1,2
0,494033681786243	0,241766622507784	1,2234318803611	1,2
0,478785455342428	0,234304555967653	1,2234318803611	1,2
0,550646282130594	0,275084645615933	1,24891720212637	1,2

Tabella 19 - Tabella del database con parametri curve di fragilità

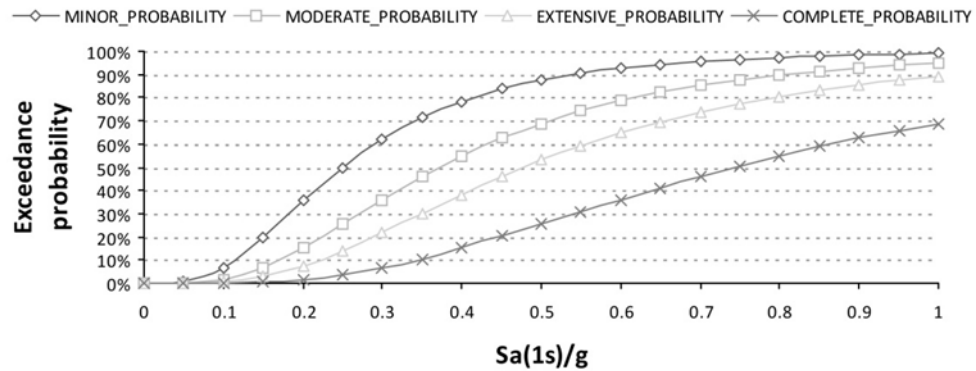
MINOR_AVERAGE ▾	MODERATE_AVERAGE ▾	EXTENSIVE_AVERAGE ▾	COMPLETE_AVERAGE ▾
0,72	0,930021199274922	1,13669257689157	1,55003533212487
0,9	0,736121376067745	0,736121376067745	1,07964468489936
1,08	1,04849999999646	1,28149999999568	1,74749999999411
0,72	0,99899999999663	1,22099999999588	1,66499999999438
0,25	0,369249999998754	0,474749999998399	0,738499999997509
0,5	0,828571428568634	1,13928571428187	1,76071428570835
0,8	1	1,2	1,7
0,25	0,353240740739549	0,454166666665135	0,706481481479098
0,72	0,930021199274922	1,13669257689157	1,55003533212487
0,8	1	1,2	1,7
0,25	0,353240740739549	0,454166666665135	0,706481481479098
0,25	0,374851015018485	0,481951305023766	0,749702030036969
0,25	0,344625906834699	0,443090451644613	0,689251813669398
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,25	0,374851015018485	0,481951305023766	0,749702030036969
0,25	0,344625906834699	0,443090451644613	0,689251813669398
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,35	0,499499999998315	0,610499999997941	0,887999999997005
0,958145864815607	1,28927266524458	1,54712719829349	2,19176353091578
0,25	0,393749999998672	0,506249999998292	0,787499999997344
0,72	0,974249999996714	1,19074999999598	1,62374999999452
0,35	0,499499999998315	0,610499999997941	0,887999999997005
0,35	0,499499999998315	0,610499999997941	0,887999999997005
0,35	0,499499999998315	0,610499999997941	0,887999999997005
0,35	0,499499999998315	0,610499999997941	0,887999999997005
0,72	0,932999999996853	1,14033333332949	1,55499999999475
0,5	0,828571428568634	1,13928571428187	1,76071428570835
0,25	0,393749999998672	0,506249999998292	0,787499999997344
0,25	0,393749999998672	0,506249999998292	0,787499999997344
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,25	0,393749999998672	0,506249999998292	0,787499999997344
0,894983803011174	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,25	0,393749999998672	0,506249999998292	0,787499999997344
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
0,25	0,393749999998672	0,506249999998292	0,787499999997344
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237

Tabella 20 - Tabella del database con parametri curve di fragilità

Tramite un report è possibile poi visualizzare le curve di fragilità per ciascun ponte: si riportano due pagine a titolo d'esempio.

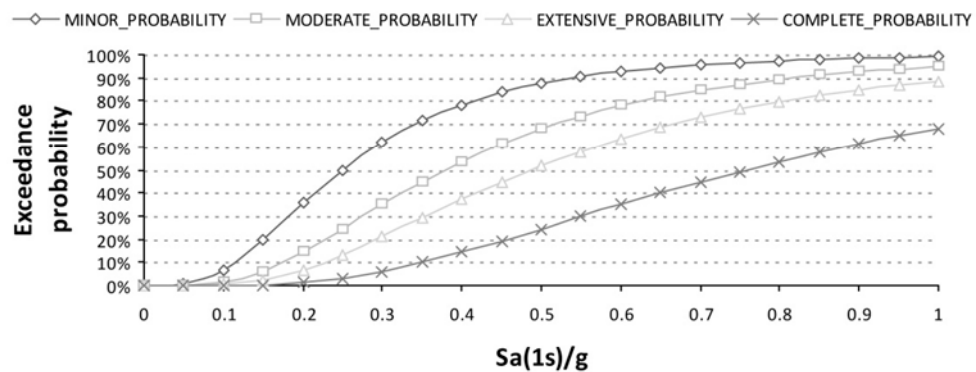
Codice identificativo ponte (codifica IBRID): 39

Curve di fragilità



Codice identificativo ponte (codifica IBRID): 40

Curve di fragilità



Codice identificativo ponte (codifica IBRID): 41

Curve di fragilità

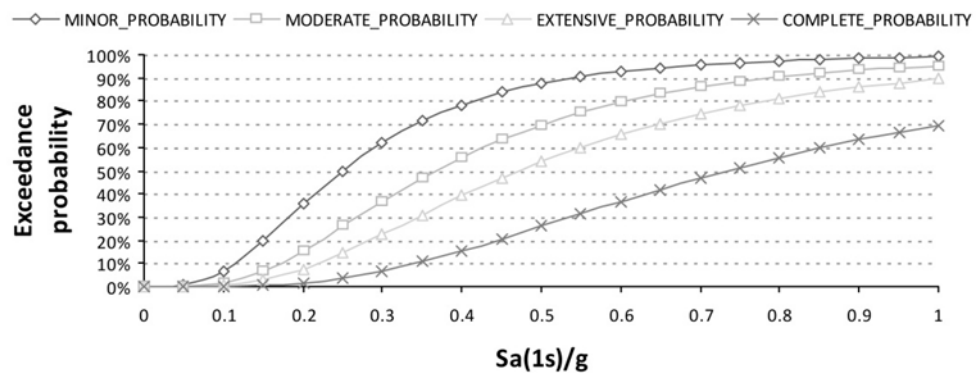
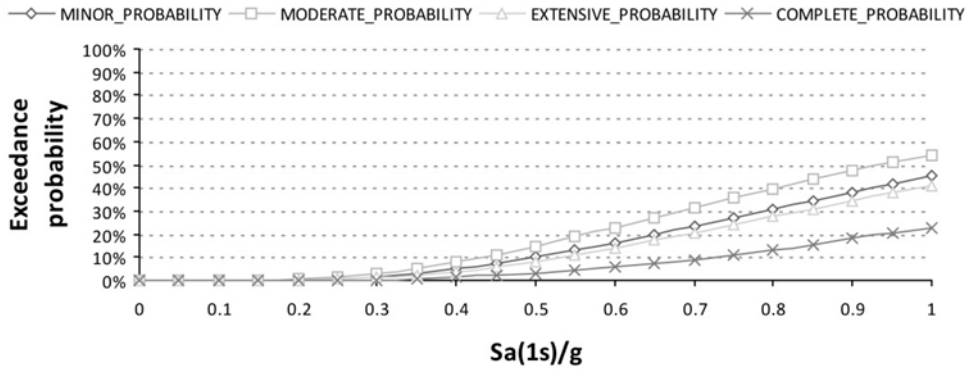


Figura 70 - Pagina di esempio del report raffigurante le curve di fragilità

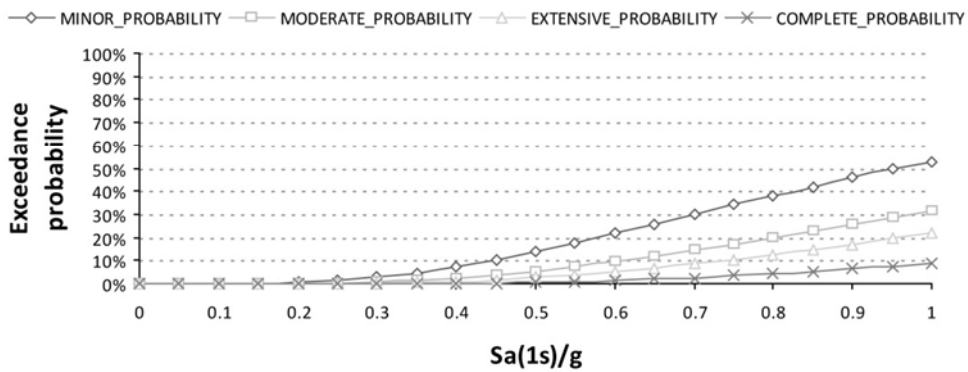
Codice identificativo ponte (codifica IBRID): 42

Curve di fragilità



Codice identificativo ponte (codifica IBRID): 44

Curve di fragilità



Codice identificativo ponte (codifica IBRID): 45

Curve di fragilità

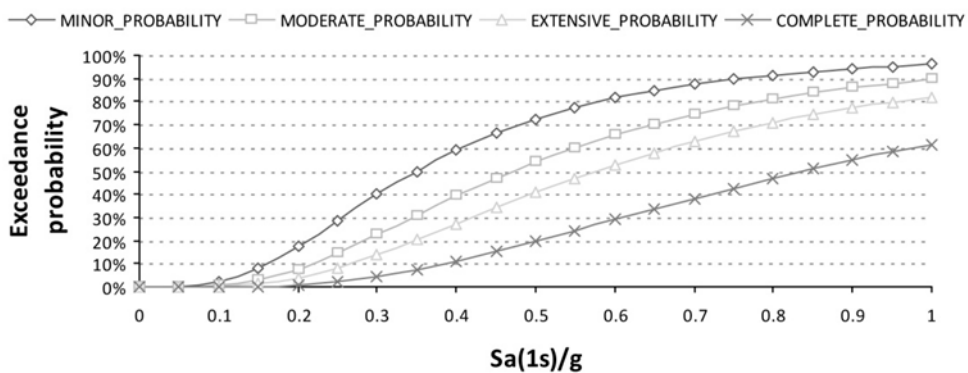


Figura 71 - Pagina di esempio del report raffigurante le curve di fragilità

Le formule per il calcolo dei coefficienti e dei valori medi di probabilità forniti dalla procedura Risk-UE sono stati implementati all'interno del database come funzioni in linguaggio VBA (Visual Basic for Applications), in modo da poter essere facilmente richiamabili a bisogno, nei vari moduli del sistema.

```
Public Function calcolaMINOR_AVERAGE(classe As Integer, min_Kshape_num
As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di danno
lieve'

Select Case classe
Case 1, 2
' formula per il caso categoria RiskUE 1,2 '
calcolaMINOR_AVERAGE = 0.8 * min_Kshape_num
Case 3, 7, 11
' formula per il caso categoria RiskUE 3,7,11 '
calcolaMINOR_AVERAGE = 0.25
Case 4, 8, 12
' formula per il caso categoria RiskUE 4,8,12 '
calcolaMINOR_AVERAGE = 0.5
Case 5
' formula per il caso categoria RiskUE 5 '
calcolaMINOR_AVERAGE = 0.35
Case 6
' formula per il caso categoria RiskUE 6 '
calcolaMINOR_AVERAGE = 0.6
Case 9
' formula per il caso categoria RiskUE 9 '
calcolaMINOR_AVERAGE = 0.6 * min_Kshape_num
Case 10, 14
' formula per il caso categoria RiskUE 10,14 '
calcolaMINOR_AVERAGE = 0.9 * min_Kshape_num
Case 13
' formula per il caso categoria RiskUE 13 '
calcolaMINOR_AVERAGE = 0.75 * min_Kshape_num
Case 15
' formula per il caso categoria RiskUE 15 '
calcolaMINOR_AVERAGE = 0.8
Case Else
calcolaMINOR_AVERAGE = 1000000
End Select
End Function
```

```
Public Function calcolaMODERATE_AVERAGE(classe As Integer, Kskew As
Double, K3D As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di danno
moderato'

Select Case classe
Case 1, 2
' formula per il caso categoria RiskUE 1,2 '
calcolaMODERATE_AVERAGE = Kskew * K3D
Case 3, 7, 11
' formula per il caso categoria RiskUE 3,7,11 '
calcolaMODERATE_AVERAGE = 0.35 * Kskew * K3D
Case 4, 8, 12
' formula per il caso categoria RiskUE 4,8,12 '
calcolaMODERATE_AVERAGE = 0.8 * Kskew * K3D
Case 5
' formula per il caso categoria RiskUE 5 '
calcolaMODERATE_AVERAGE = 0.45 * Kskew * K3D
Case 6, 9, 10, 14
' formula per il caso categoria RiskUE 6,9,10,14 '
```



```

        calcolaMODERATE_AVERAGE = 0.9 * Kskew * K3D
Case 13
' formula per il caso categoria RiskUE 13 '
    calcolaMODERATE_AVERAGE = 0.75 * Kskew * K3D
Case 15
' formula per il caso categoria RiskUE 15 '
    calcolaMODERATE_AVERAGE = 1 * K3D
Case Else
    calcolaMODERATE_AVERAGE = 1000000
End Select
End Function

Public Function calcolaEXTENSIVE_AVERAGE(classe As Integer, Kskew As
Double, K3D As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di danno
estesivo'

Select Case classe
Case 1, 2
' formula per il caso categoria RiskUE 1,2 '
    calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 1.2 * Kskew * K3D
Case 3, 7, 11
' formula per il caso categoria RiskUE 3,7,11 '
    calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 0.45 * Kskew * K3D
Case 4, 8, 9, 10, 12, 14
' formula per il caso categoria RiskUE 4,8,9,10,12,14 '
    calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 1.1 * Kskew * K3D
Case 5
' formula per il caso categoria RiskUE 5 '
    calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 0.55 * Kskew * K3D
Case 6
' formula per il caso categoria RiskUE 6 '
    calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 1.3 * Kskew * K3D
Case 13
' formula per il caso categoria RiskUE 13 '
    calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 0.75 * Kskew * K3D
Case 15
' formula per il caso categoria RiskUE 15 '
    calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 1.2 * K3D
Case Else
    calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 1000000
End Select
End Function

Public Function calcolaCOMPLETE_AVERAGE(classe As Integer, Kskew As
Double, K3D As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di collasso'

Select Case classe
Case 1, 2, 4, 8, 12
' formula per il caso categoria RiskUE 1,2,4,8,12 '
    calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1.7 * Kskew * K3D
Case 3, 7, 11
' formula per il caso categoria RiskUE 3,7,11 '
    calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 0.7 * Kskew * K3D
Case 5
' formula per il caso categoria RiskUE 5 '
    calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 0.8 * Kskew * K3D
Case 6
' formula per il caso categoria RiskUE 6 '
    calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1.6 * Kskew * K3D
Case 9, 10, 14
' formula per il caso categoria RiskUE 9,10,14 '
    calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1.5 * Kskew * K3D
Case 13
' formula per il caso categoria RiskUE 13 '

```

```

        calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1.1 * Kskew * K3D
Case 15
' formula per il caso categoria RiskUE 15 '
    calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1.7 * K3D
Case Else
    calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1000000
End Select
End Function

Public Function calcolaSkew(alfa As Double) As Double
calcolaSkew = (Sin((90 - alfa) * (3.1416 / 180))) ^ 0.5
'Funzione per il calcolo parametro Kskew, funzione della sghembatura
del ponte'
End Function

Public Function calcolaK3d(classe As Integer, campate As Integer) As
Double
'Funzione per il calcolo del parametro K3D, che tiene conto degli
effetti tridimensionali sul ponte'

Select Case classe
Case 3, 4, 7, 8, 12
' formula per il caso categoria RiskUE 3,4,7,8,12 '
    calcolaK3d = (1 + (0.25 / (campate - 1)))
Case 1, 2, 5, 9
' formula per il caso categoria RiskUE 1,2,5,9 '
    calcolaK3d = (1 + (0.33 / campate))
Case 6, 10, 14, 11
' formula per il caso categoria RiskUE 6,10,11,14 '
    calcolaK3d = (1 + (0.33 / (campate - 1)))
Case 13
' formula per il caso categoria RiskUE 13 '
    calcolaK3d = (1 + (0.05 / campate))
Case 15
' formula per il caso categoria RiskUE 15 '
    calcolaK3d = 1
Case Else
    calcolaK3d = 1000000
End Select

End Function

```

In particolare, per la generazione della distribuzione normale di probabilità è stata usata una formula approssimata, di cui si riporta in seguito l'implementazione sempre in linguaggio VBA:

```

Public Function DIST_NORM_CUM(z As Double) As Double
'Funzione che approssima la distribuzione normale che restituisce il
valore di probabilità cumulata di superamento'
' per ottenere la distribuzione lognormale, l'argomento da passare è
' LN(Sa/Sa_media)/std_dev

Const c1 = 2.506628
Const c2 = 0.3193815
Const c3 = -0.3565638
Const c4 = 1.7814779
Const c5 = -1.821256
Const c6 = 1.3302744
Dim w As Double, X As Double, y As Double

If z > 0 Or z = 0 Then

```

```

w = 1
Else
w = -1
End If

y = 1 / (1 + 0.231649 * w * z)

X = c6
X = y * X + c5
X = y * X + c4
X = y * X + c3
X = y * X + c2
DIST_NORM_CUM = 0.5 + w * (0.5 - (Exp(-z * z / 2) / c1) * y * X)

End Function

```

Con questi semplici accorgimenti è possibile generare in maniera automatica, a partire dalla classificazione dei ponti e dagli altri dati inseriti nel database, un gran numero di curve di fragilità in breve tempo e con ridotto onere per l'utente.

3.6 Eventuale aggiornamento dei parametri relativi alle curve di fragilità

Nell'eventualità di dover cambiare in futuro la modalità di generazione delle curve di fragilità, si dovrà procedere modificando quelle parti di codice che ne implementano i vari parametri.

Per modificare i valori medi di probabilità per i diversi *performance level*, al momento definiti sulla base della procedura Risk-UE, si dovranno modificare le funzioni che li implementano, cioè:

```

Public Function calcolaMINOR_AVERAGE(classe As Integer, min_Kshape_num As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di danno lieve'

Public Function calcolaMODERATE_AVERAGE(classe As Integer, Kskew As Double, K3D As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di danno moderato'

Public Function calcolaEXTENSIVE_AVERAGE(classe As Integer, Kskew As Double, K3D As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di danno esteso'

Public Function calcolaCOMPLETE_AVERAGE(classe As Integer, Kskew As Double, K3D As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di collasso'

```

Andranno ovviamente modificate anche, nel caso fossero ancora necessarie, le funzioni ausiliarie:

```
Public Function calcolaSkew(alfa As Double) As Double
'Funzione per il calcolo parametro Kskew, funzione della sghembatura
del ponte'

Public Function calcolaK3d(classe As Integer, campate As Integer) As
Double
'Funzione per il calcolo del parametro K3D, che tiene conto degli
effetti tridimensionali sul ponte'
```

Se si volesse invece modificare la deviazione standard da assegnare alla distribuzione statistica considerata, si andrà a modificare la costante all'inizio del modulo Generazione_Scenario_Sismico, al momento settata a 0.6:

```
Const std_dev = 0.6
```

Se infine andasse modificata l'intera forma della distribuzione statistica, abbandonando quindi l'ipotesi di distribuzione log-normale, andrebbero modificate la funzione che approssima la distribuzione:

```
Public Function DIST_NORM_CUM(z As Double) As Double
'Funzione che approssima la distribuzione normale che restituisce il
valore di probabilità cumulata di superamento'
' per ottenere la distribuzione lognormale, l'argomento da passare è
' LN(Sa/Sa_media)/std_dev
```

e la sua chiamata all'interno del codice, ad esempio:

```
Ponti!FRAG01 = DIST_NORM_CUM(Log(Ponti!SA / g / Ponti!M1) / std_dev)
```

Si ritiene che queste informazioni saranno utile riferimento nel caso di una futura evoluzione del sistema, atta a includere altre e più precise modalità di calcolo delle curve di fragilità.

4. LA GENERAZIONE DELLO SCENARIO SISMICO

A questo punto del lavoro è finalmente possibile procedere alla vera e propria generazione dello scenario sismico. Sono infatti disponibili le caratteristiche del terreno, le caratteristiche dei singoli manufatti, l'epicentro, l'intensità dell'azione e le modalità della sua attenuazione: vi è dunque la possibilità di calcolare, per ogni sito, l'accelerazione al suolo subita.

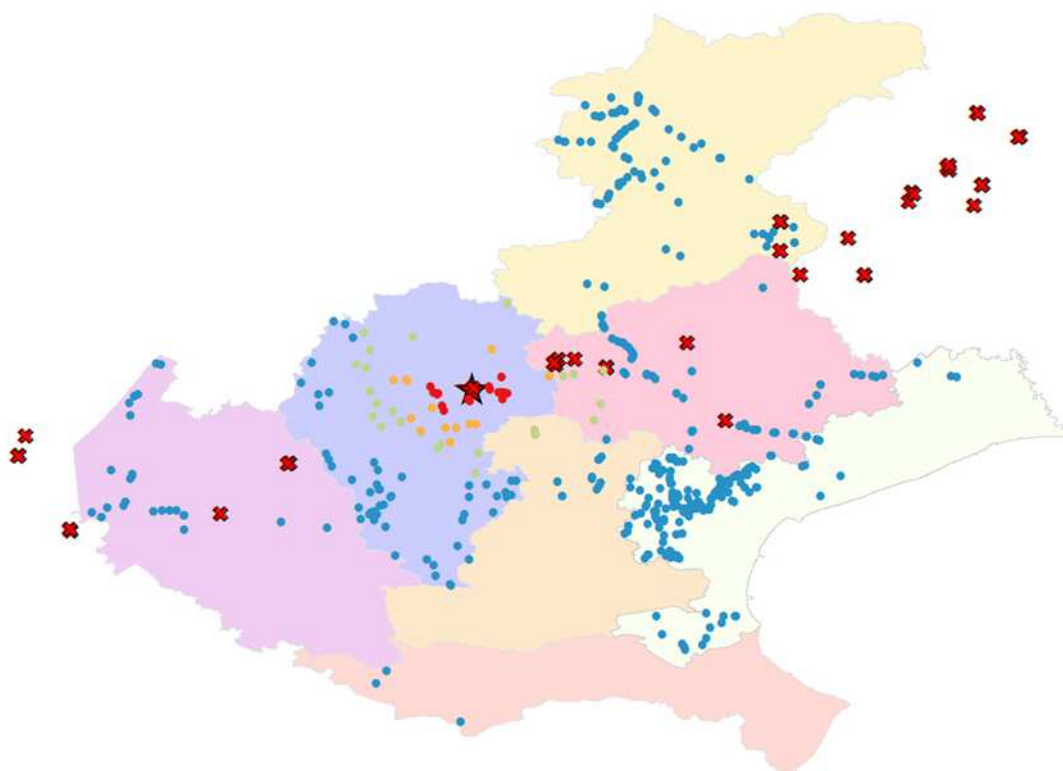


Figura 72 - Scenario sismico: accelerazione al suolo

Non è tuttavia l'accelerazione al suolo la grandezza che in effetti misura l'azione subita dal manufatto, bensì l'accelerazione spettrale. Sarà dunque necessario calcolarla, al fine di continuare con l'analisi dello scenario.

Una volta nota questa, tramite le curve di fragilità già note a questo stadio, sarà possibile ricavare il danno subito dall'opera. Non sarà però sufficiente eseguire il calcolo una sola volta: secondo il Metodo di Montecarlo andrà ripetuto per un certo numero di iterazioni, al fine di fornire una buona stima, su base statistica, del reale comportamento probabile del manufatto.

Infine, una volta noto lo stato di danno dell'opera, sarà possibile, con opportune ipotesi e valutazioni, dare una stima dell'effettiva riduzione di funzionalità del ponte.

4.1 Il problema del fattore di struttura

Vi è dunque la necessità di calcolare l'accelerazione spettrale. Sorge immediatamente il problema della valutazione del fattore di struttura, che svolge l'importante funzione di stimare la duttilità dell'intera struttura, fornendo un'indicazione riguardo la riserva di resistenza disponibile nell'opera derivante dalla plasticizzazione delle sue parti.

La normativa offre dei valori del fattore di struttura da utilizzarsi per i ponti, basati sulle caratteristiche costruttive dell'opera:

Tipi di elementi duttili	q_0	
	CD"B"	CD"A"
Pile in cemento armato		
Pile verticali inflesse	1,5	3,5 λ
Elementi di sostegno inclinati inflessi	1,2	2,1 λ
Pile in acciaio:		
Pile verticali inflesse	1,5	3,5
Elementi di sostegno inclinati inflessi	1,2	2,0
Pile con controventi concentrici	1,5	2,5
Pile con controventi eccentrici	-	3,5
Spalle rigidamente connesse con l'impalcato		
In generale	1,5	1,5
Strutture che si muovono col terreno ⁷	1,0	1,0
Archi	1,2	2,0

Tabella 21 - Estratto da NTC08: fattore di struttura per ponti

Nel caso però di ponti già esistenti, e soprattutto edificati in epoca passata, almeno 50 anni fa mediamente, non è possibile ritenere validi questi valori che ovviamente presuppongono una progettazione secondo la normativa vigente, e quindi con criteri antisismici.

Si è quindi ritenuto sensato assumere il valore di 1,5 per tutte le opere, che pur non penalizzando eccessivamente l'analisi imponendo l'utilizzo dello spettro elastico, dovrebbe essere un valore ragionevole e spesso a favore di sicurezza.

4.2 Lo spettro di progetto: dall'accelerazione al suolo all'accelerazione spettrale

Nota il fattore di struttura, è possibile procedere al calcolo dello spettro di risposta di progetto: ci si riferisce allo spettro in accelerazione delle componenti orizzontali.

Sono noti il coefficiente S:

$$S = S_S \cdot S_T$$

ed il coefficiente η :

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0.55$$

che tiene conto di coefficienti di smorzamento viscoso ξ non convenzionali, diversi dal 5%.

Definiti ora gli intervalli temporali di riferimento:

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

$$T_A = T_c/3$$

$$T_D = 4.0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6$$

è possibile esprimere lo spettro di progetto:

$$0 \leq T < T_A \quad S_d(T) = \frac{1}{q} \cdot a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[\frac{T}{T_A} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_A} \right) \right]$$

$$T_A \leq T < T_c \quad S_d(T) = \frac{1}{q} \cdot a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_d(T) = \frac{1}{q} \cdot a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = \frac{1}{q} \cdot a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left(\frac{T_c T_D}{T^2} \right)$$

dove T è il periodo proprio di vibrazione.

Si ottiene quindi lo spettro di progetto cercato, dalla forma tipica riportata in figura. Si noti come all'aumentare del fattore di struttura la sollecitazione sull'opera venga ridotta di conseguenza.

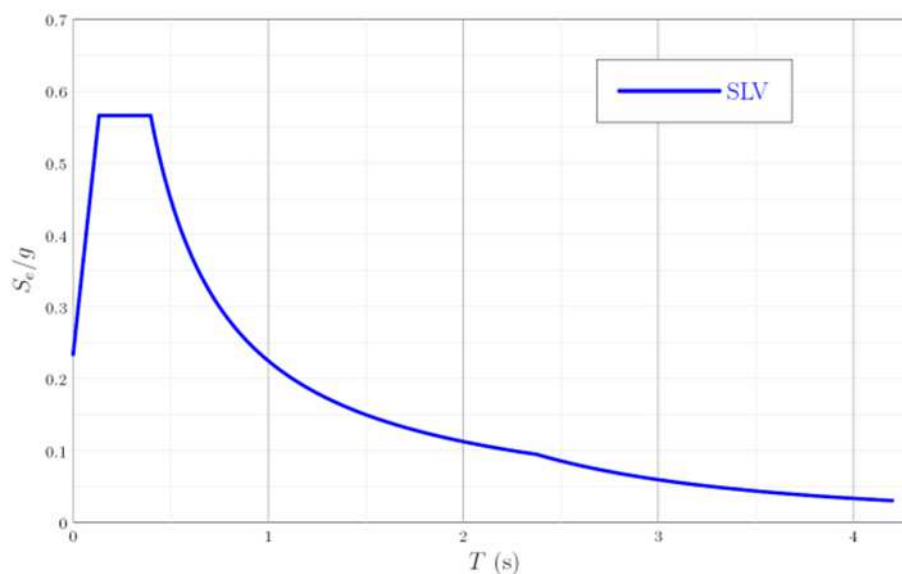


Figura 73 - Spettro di progetto: esempio

Imponendo ora un periodo di vibrazione pari ad 1 secondo secondo la procedura Risk-UE, si è quindi in grado di conoscere l'accelerazione spettrale che agisce sulla singola opera, e con questa, tramite le curve di fragilità, conoscere le probabilità di avere un certo tipo di danno sul manufatto.

4.3 Il metodo di Montecarlo

Note le probabilità che un certo manufatto subisca un determinato livello di danno, è necessario in qualche modo convertire questa analisi di matrice probabilistica in un risultato deterministico, al fine di procedere con la generazione dello stato di danno: lo scenario sismico non deve infatti offrire intervalli di probabilità, ma precise indicazioni sullo stato di danno della singola opera, in modo da generare un vero e proprio "sisma virtuale" con danni realistici sulla rete.

Il metodo utilizzato è il metodo di Montecarlo: si basa sull'idea di stimare il valore medio di una variabile attraverso un'indagine campionaria. Si effettuano dei test in numero sufficientemente grande che controllano in che condizioni si trova una certa variabile di controllo, e da ciò si ricavano una serie di valori che mediati daranno il valor medio cercato. Il metodo è usato per trarre stime attraverso simulazioni: è necessario un algoritmo che genera una serie di numeri casuali tra loro non correlati, a partire dai quali la simulazione calcola una serie di realizzazioni possibili del fenomeno in esame cercando di esplorare tutto lo spazio dei parametri del fenomeno. Una volta calcolato

questo campione casuale, si eseguono delle misure delle grandezze di interesse su tale campione da cui è possibile ricavare il valor medio delle variabili in esame.

L' algoritmo di Montecarlo è quindi un metodo numerico che viene utilizzato per trovare le soluzioni di problemi matematici complessi e difficilmente modellabili. Storicamente, le origini del metodo sono da ricercarsi nella matematica settecentesca, tuttavia la formalizzazione è avvenuta all'interno del progetto Manhattan a metà degli anni '40, ad opera di John von Neumann e Stanislaw Marcin Ulam. Il nome è stato assegnato dal prof. Nicolas Constantine Metropolis per descrivere l'aleatorietà alla base dell'algoritmo, tipica dei giochi d'azzardo e rappresentata per antonomasia dal casinò di Montecarlo.

In particolare, nel caso in esame, il metodo è utilizzato come segue: note le probabilità che un certo ponte subisca un determinato livello di danno, dette per esempio $P1$, $P2$, $P3$ e $P4$, si generano un certo numero di valori casuali fra 0 e 1; se il primo valore, ad esempio, risulta maggiore di $P1$ ma minore di $P2$, il ponte si troverà in stato di danno 1. Se il secondo valore invece risulta maggiore di $P4$, il ponte si troverà a subire il massimo livello di danno. Così vengono generate appunto una serie di realizzazioni possibili del fenomeno in esame. Il procedimento si ripete per ciascun ponte, risultando quindi in una serie di n scenari possibili, ciascuno caratterizzato da diversi stati di danno alla rete, dove n è il numero di iterazioni del metodo di Montecarlo.

Una volta ottenute queste diverse "varianti" del fenomeno, su ciascuna si andrà a svolgere l'analisi richiesta: in questo caso, ad esempio, un'analisi trasportistica. Per ciascuno scenario, una volta svolta l'analisi, saranno disponibili i parametri tipici del problema atti a misurare la performance della rete a fronte del fenomeno in oggetto, tipicamente, nel caso di simulazioni trasportistiche, il tempo totale di rete: evidentemente il fenomeno darà effetti leggermente diversi per ciascuna variante dell'evento, ed una volta mediati i risultati si otterranno i valori medi probabili che ci si aspetta possano registrarsi nella realtà in seguito ad un evento sismico delle stesse caratteristiche di quello generato virtualmente e analizzato con questa procedura.

4.4 Generazione dello stato di danno

Tramite le curve di fragilità si è dunque arrivati a definire la probabilità di un determinato stato di danno su ciascun ponte: i *performance level* definiti dalla procedura Risk-Ue, come già ricordato in precedenza, sono 4:

Danni lievi: Crepe ridotte e spalling della spalla, crepe nelle connessioni a taglio delle spalle, crepe ridotte e spalling sulle cerniere, spalling ridotti alle colonne crepe minori alla soletta.

Danni moderati: Crepe di taglio limitate in qualche colonna (con spalling), moderati movimenti delle spalle (< 5 cm), crepe estese e spalling delle connessioni a taglio, qualche connessione crepata alle shear key e bulloni piegati.

Danni estesi: Colonne danneggiate ma non collassate, rottura a taglio, significativi spostamenti residui alle connessioni, sovrapposizione della soletta con spostamento verticale sulla spalla, differenti sovrapposizioni alle connessioni, rottura delle connessioni a taglio sulla spalla.

Collasso: Collasso di colonne e connessioni che perdono completamente l'appoggio, eventuale collasso dell'impalcato, rottura delle fondazioni.

I relativi intervalli di probabilità sono definiti da una retta tracciata sulle curve di fragilità in corrispondenza dell'accelerazione spettrale calcolata per un periodo di vibrazione pari a 1 s, di cui si riporta un esempio in figura.

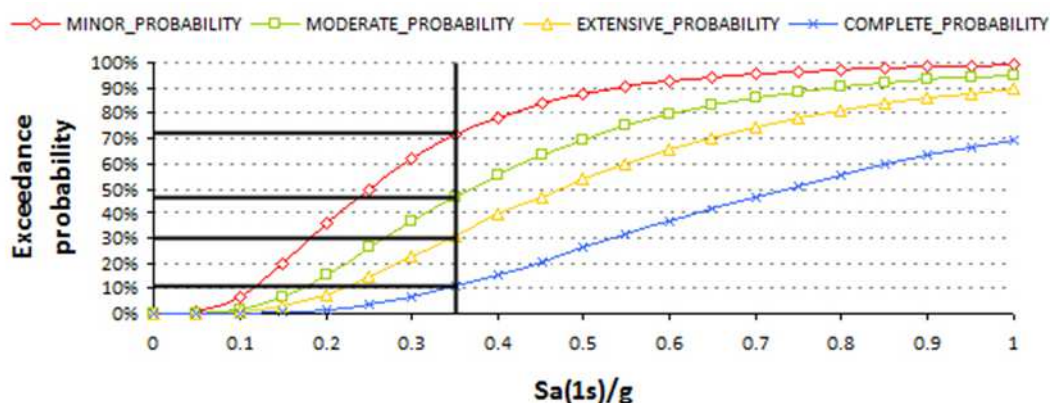


Figura 74 - Curve di fragilità e livelli di danno

Ad esempio, in questo caso, l'accelerazione spettrale risulta essere circa 0.35g, e definisce 4 valori sulle curve di fragilità, approssimativamente pari a 0.1, 0.3, 0.48 e 0.72, relativi ai rispettivi *performance level* riportati in legenda. A questo punto, se la prima iterazione del metodo di Montecarlo genera un numero casuale pari a 0.56, il ponte si troverà in stato di danno lieve; per un valore pari, ad esempio, a 0.09, si avrebbe collasso, mentre per 0.88 nessun danno.

Così procedendo si definiscono i livelli di danno per ciascun ponte e per ciascuna iterazione del metodo di Montecarlo.

4.5 Dallo stato di danno alla funzionalità residua del ponte

Lo stato di danno fin'ora ricavato, noto per ciascun ponte, è di per sé sufficiente per una stima dei costi diretti derivanti dall'evento sismico, cioè delle perdite economiche dovute ai danni alle infrastrutture viarie. Non è però ancora possibile andare a stimare i costi indiretti, ben più importanti, derivanti dall'impatto sulla rete trasportistica dell'evento simulato. Per far ciò è innanzitutto necessaria una correlazione fra il danno del ponte e la sua funzionalità residua, parametro che direttamente influenza la simulazione trasportistica.

In letteratura sono presenti diverse proposte, e l'argomento non è ancora stato completamente affrontato: si tratta infatti di tradurre in una semplice formulazione il risultato di fenomeni complessi e soprattutto soggetti ad un numero elevatissimo di variabili, essendo lo stesso stato di danno su ponti diversi in grado sicuramente di generare diverse condizioni di percorribilità. Si riporta in seguito una delle diverse proposte possibili.

Riduzione di funzionalità percentuale	
No damage	100
Mnor damage	100
Moderate damage	50
Major damage	1
Collapse	1

Tabella 22 - Riduzione di funzionalità del ponte

Come si può osservare, uno stato di danno grave o il collasso provocano la totale interruzione della percorribilità, mentre un danno moderato causa una riduzione del

50%: tipicamente, il funzionamento a senso alterno. In caso invece di danno lieve o nessun danno, il ponte conserva intatta la sua funzione.

4.6 Gestione della procedura nel database

In questo paragrafo si descrivono le modalità di implementazione nel database della procedura per la generazione dello scenario sismico. In particolare, si riportano nel dettaglio tutte le operazioni che vengono effettuate, in modo da fornire utile e completo riferimento per un eventuale futuro lavoro sullo stesso sistema.

Introduzione

La procedura si basa ed agisce sulla tabella SCENARIO_SISMICO di cui si è discusso in precedenza. La procedura si controlla tramite un form all'interno del database Ibrid, denominato Calcolo_Scenario_Sismico, che contiene tutti i controlli necessari all'utente.

Figura 75 - Form Calcolo_Scenario_Sismico

Il form contiene i seguenti elementi:

Checkbox *adeguamento*: indica se generare lo scenario sismico considerando o meno un adeguamento sismico di tutti i ponti della rete.

Button *Copia Q*: copia il fattore di struttura

Button Copia param. sismici: genera i parametri di pericolosità sismica e delle curve di fragilità

Button Copia parametri terreno: copia i parametri relativi al sottosuolo

Button Controlla dati: controlla i dati della tabella, per stabilire se vi siano eventualmente record con dati errati, non formattati correttamente o assenti, in modo da non bloccare l'esecuzione delle fasi successive.

Dropdown list Epicentro: riporta le zone sismogenetiche fra cui scegliere per la generazione dello scenario sismico.

Textbox Latitudine: riporta la latitudine dell'epicentro per lo scenario da generare: è compilata in seguito alla scelta della zona sismogenetica, oppure può esservi manualmente inserito un valore.

Textbox Longitudine: riporta la longitudine dell'epicentro per lo scenario da generare: è compilata in seguito alla scelta della zona sismogenetica, oppure può esservi manualmente inserito un valore.

Checkbox attenuazione: attiva l'attenuazione dell'azione sismica. Una sua deselezione permette di applicare a ciascun ponte la massima accelerazione al suolo: non più generando uno scenario sismico realistico, ma andando a valutare la performance di ciascuna opera in base alla massima accelerazione definita da normativa.

Button Genera scenario sismico: genera lo scenario sismico secondo i parametri impostati.

Procedura in dettaglio

Si esamina ora in dettaglio le fasi della procedura: si noti come l'utente debba seguire un certo ordine nell'eseguire i comandi, al fine di non generare errori nel sistema. Di questo si discuterà più in dettaglio alla fine del capitolo.

Alla pressione di **Button Copia Q**, vengono eseguite le seguenti righe di codice, che copiano nella tabella SCENARIO_SISMICO i valori del fattore di struttura, in questo caso posto pari a 1.5 per tutti i manufatti:

```
'reperisco il fattore di struttura
Private Sub btn_Q_Click()
'dichiaro e apro il database e la tabella
Dim datab As DAO.Database
Dim recordSet As DAO.recordSet
Set datab = CurrentDb
```

```

Set Ponti = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO")
Set Caratt_Q =
datab.OpenRecordset("tbl_Caratteristiche_FattoreDiStruttura")

' ciclo sui record
While Not Ponti.EOF
    Ponti.Edit

    Caratt_Q.Index = "PrimaryKey"
    Caratt_Q.Seek "=", Val(Ponti!EXTERNALID)
    If Caratt_Q.NoMatch Then
        MsgBox ("EXT_ID non trovato: " & Ponti!EXTERNALID)
        Ponti!Q = 1.5 'default
    Else
        Ponti!Q = Caratt_Q!Fattore_Struttura 'valore da tabella
    End If

    Ponti.Update
    Ponti.MoveNext
Wend
End Sub

```

Alla pressione del **Button Copia param. sismici** vengono generati e copiati in tabella una serie di parametri relativi a pericolosità sismica e curve di fragilità:

```

' reperisco i parametri spettrali e delle curve di fragilit*Private
Sub btn_param_spettr_Click()

    Dim datab As DAO.Database
    Dim recordSet As DAO.recordSet
    Set datab = CurrentDb
    Set Ponti = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO")
    Set Caratt_spettro = datab.OpenRecordset("ParametriSpettrali_TR475")

    If Me!Check_adequam.Value = False Then ' controllo adeguamento
        Set Caratt_curve = datab.OpenRecordset("tbl_Probab_BDI_ag")
    Else
        Set Caratt_curve = datab.OpenRecordset("tbl_Probab_BDI_ag_Adeg")
    End If

    ' ciclo sui record
    While Not Ponti.EOF
        Ponti.Edit

        Caratt_spettro.Index = "PrimaryKey" 'come indice uso
        PrimaryKey, cioè EXT_ID
        Caratt_spettro.Seek "=", Val(Ponti!EXTERNALID)
        If Caratt_spettro.NoMatch Then
            MsgBox ("EXT_ID non trovato: " & Ponti!EXTERNALID)
            Ponti!AG_ = 0 'default
            Ponti!FO = 0 'default
            Ponti!TC = 0 'default
        Else
            Ponti!AG_ = Caratt_spettro!ag_ponte 'valore da tabella
            Ponti!FO = Caratt_spettro!Fo_ponte 'valore da tabella
            Ponti!TC = Caratt_spettro!Tc_ponte 'valore da tabella
        End If

        Caratt_curve.Index = "PrimaryKey" 'come indice uso PrimaryKey,
        cioè IBRID_ID
        Caratt_curve.Seek "=", Val(Ponti!ID_IBRID)

        If Caratt_curve.NoMatch Then
            MsgBox ("IBR_ID non trovato: " & Ponti!ID_IBRID)

```



```

        Ponti!M1 = 0 'default
        Ponti!M2 = 0 'default
        Ponti!M3 = 0 'default
        Ponti!M4 = 0 'default
    Else
        Ponti!M1 = CSng(Replace(Caratt_curve!MINOR_AVERAGE, ",", ""))
'valore da tabella
        Ponti!M2 = CSng(Replace(Caratt_curve!MODERATE_AVERAGE, ",", ""))
'valore da tabella
        Ponti!M3 = CSng(Replace(Caratt_curve!EXTENSIVE_AVERAGE, ",", ""))
'valore da tabella
        Ponti!M4 = CSng(Replace(Caratt_curve!COMPLETE_AVERAGE, ",", ""))
'valore da tabella
    End If

    Ponti.Update
    Ponti.MoveNext
Wend
End Sub

```

In particolare in questa sede vi è il controllo della **Checkbox adeguamento**, in base alla quale vengono copiati i parametri con o senza adeguamento sismico. Si noti come il codice gestisca anche il caso in cui non venga trovato il record corretto, imponendo quindi, in caso di errori, valore nullo a tutti i parametri.

Alla pressione del **Button Copia parametri terreno** vi è infine l'inserimento in tabella dei valori relativi al terreno:

```

' reperisco i parametri del terreno
Private Sub btn_terrain_Click()
    Dim datab As DAO.Database
    Dim recordSet As DAO.recordSet
    Set datab = CurrentDb
    Set Ponti = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO")
    Set Caratt_terr = datab.OpenRecordset("tbl_CaratteristicheTerreno")

' ciclo sui ponti
    While Not Ponti.EOF
        Ponti.Edit

        Caratt_terr.Index = "PrimaryKey" 'come indice uso PrimaryKey,
cioè EXT_ID
        Caratt_terr.Seek "=", Val(Ponti!EXTERNALID)
        If Caratt_terr.NoMatch Then
            MsgBox ("EXT_ID non trovato: " & Ponti!EXTERNALID)
            Ponti!SS = 0 'default
            Ponti!ST = 0 'default
            Ponti!CC_ = 0 'default
        Else
            Ponti!SS = Caratt_terr!Terreno_SS 'valore da tabella
            Ponti!ST = Caratt_terr!Terreno_ST 'valore da tabella
            Ponti!CC_ = Caratt_terr!Terreno_Cc 'valore da tabella
        End If

        Ponti.Update
        Ponti.MoveNext
    Wend
End Sub

```

Una volta noti tutti i parametri di input è necessario controllare la correttezza e completezza degli stessi, tramite il **Button Controlla dati**: il codice esegue determinati controlli sui record, e dove possibile corregge gli errori. I record non utilizzabili sono contrassegnati, in modo che le fasi successive non incorrano in errore cercando di processarli:

```
' controllo che i valori siano formalmente corretti
Private Sub btn_check_Click()
'dichiario e apro il database e la tabella
Dim datab As DAO.Database
Dim recordSet As DAO.recordSet
Set datab = CurrentDb
Set Ponti = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO")
Ponti.MoveFirst
' ciclo sui record
While Not Ponti.EOF

    Ponti.Edit
    'controllo coordinate
    Ponti!COORDINATE_NORD = Replace(Trim(Ponti!COORDINATE_NORD),
    """, Chr(34)) 'sistemo la stringa
    Ponti!COORDINATE_EST = Replace(Trim(Ponti!COORDINATE_EST),
    """, Chr(34)) 'sistemo la stringa
    If (coord_is_good(Ponti!COORDINATE_NORD) = True And
    coord_is_good(Ponti!COORDINATE_EST) = True And Ponti!M1 * Ponti!M2 *
    Ponti!M3 * Ponti!M4 <> 0) Then
        Ponti!IS_GOOD = True
    Else
        Ponti!IS_GOOD = False
    End If
    Ponti.Update
    Ponti.MoveNext
Wend
End Sub
```

Completata anche questa fase, è possibile specificare le coordinate dell'epicentro o sceglierne uno fra le zone sismogenetiche implementate tramite la **Dropdown list Epicentro**, che in tal caso provvederà a compilare i campi correttamente:

```
Private Sub Combo_Epic_Change()
Dim datab As DAO.Database
Dim recordSet As DAO.recordSet
Set datab = CurrentDb
Set zone = datab.OpenRecordset("Zone_Sismogenetiche")
zone.MoveFirst
While Not zone.EOF
    If zone!ID = Combo_Epic.Value Then

        text_long.SetFocus
        text_long.Text = zone.Long
        text_lat.SetFocus
        text_lat.Text = zone.Lat

    End If
    zone.MoveNext
```

```
Wend
End Sub
```

A questo punto non rimane che generare lo scenario sismico vero e proprio, tramite il

Button *Genera scenario sismico*: il codice procede, nell'ordine, a:

- acquisire le coordinate dell'epicentro dal form
- calcolare la massima accelerazione al suolo in corrispondenza dell'epicentro
- calcolare la distanza di ciascun ponte dall'epicentro
- calcolare l'attenuazione, e quindi l'accelerazione in sito, per ogni manufatto
- calcolare l'accelerazione spettrale ad 1s
- ricavare le probabilità dei vari stati di danno
- tramite la generazione di numeri casuali, generare n iterazioni del metodo di Montecarlo (in questo caso, a titolo d'esempio, 15)

In dettaglio:

```
' calcolo lo scenario sismico
Private Sub btn_scenario_Click()
'dichiaro e apro il database e la tabella
Dim datab As DAO.Database
Dim recordSet As DAO.recordSet
Set datab = CurrentDb
Set Ponti = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO")

Set Epic = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO_EPICENTRO")

'dichiaro e acquisisco le coordinate target, come stringhe
Dim target_lat As String
Dim target_long As String
Me!text_lat.SetFocus 'necessario avere focus per agire :)
target_lat = Me!text_lat.Text 'direttamente dal form
Me!text_long.SetFocus
target_long = Me!text_long.Text

'dichiaro e calcolo coordinate target
Dim coord_lat As Double
Dim coord_long As Double
'coord_lat = LongLat_to_rad(target_lat)
'coord_long = LongLat_to_rad(target_long)
coord_lat = target_lat / 180 * PI
coord_long = target_long / 180 * PI

'esporto l'epicentro in una tabella per la visualizzazione in ArcMap
Epic.Edit
Epic!ID = 1
Epic!X = coord_long * 180 / PI
Epic!y = coord_lat * 180 / PI
Epic.Update

'calcolo la PGA sull'epicentro
Dim agmax, ag_att As Double
agmax = maxPGA(coord_lat, coord_long)

'dichiaro coordinate singolo ponte
Dim Plat, Plong As Double
```

```

' ciclo sui record
While Not Ponti.EOF
  Ponti.Edit

  If Ponti!IS_GOOD = True Then ' Check the flag value
    ' calcolo distanza dall'epicentro
    Plat = LongLat_to_rad(Ponti!COORDINATE_NORD)
    Plong = LongLat_to_rad(Ponti!COORDINATE_EST)
    Ponti!X = Plong * 180 / PI
    Ponti!y = Plat * 180 / PI
    Ponti!distance = DistanceEpicentral(Plat, coord_lat, Plong,
coord_long, R)

    ' calcolo attenuazione
    If Me!Check_Attenuaz.Value = True Then ' controllo uso
attenuazione

        ag_att = Attenuaz_BS05(agmax / g, Ponti!distance) * g
        If ag_att < Ponti!AG_ Then 'metto il minimo fra
l'attenuata e quella da mappa
            Ponti!AG_ATTENUATA = ag_att
        Else
            Ponti!AG_ATTENUATA = Ponti!AG_
        End If
    Else
        Ponti!AG_ATTENUATA = Ponti!AG_
    End If

    ' calcola accelerazione spettrale
    Ponti!SA = calcolaSa_ls(Ponti!AG_ATTENUATA, Ponti!FO,
Ponti!Q, Ponti!SS, Ponti!ST, Ponti!TC, Ponti!CC_) * g
    ' calcola valori delle curve di fragilit`
    If
Ponti!SA < soglia_Sa Then Ponti!SA = soglia_Sa ' filtro accelerazioni
troppo basse
    Ponti!FRAG01 = DIST_NORM_CUM(Log(Ponti!SA / g / Ponti!M1)
/ std_dev)
    Ponti!FRAG02 = DIST_NORM_CUM(Log(Ponti!SA / g / Ponti!M2)
/ std_dev)
    Ponti!FRAG03 = DIST_NORM_CUM(Log(Ponti!SA / g / Ponti!M3)
/ std_dev)
    Ponti!FRAG04 = DIST_NORM_CUM(Log(Ponti!SA / g / Ponti!M4)
/ std_dev)

    ' calcolo livello di danno

'D01
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D01 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D01 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D01 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D01 = 3
  Case Else
    Ponti!D01 = 4
End Select
'D02
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D02 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D02 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D02 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D02 = 3

```

```

Case Else
    Ponti!D02 = 4
End Select
    
```

e così via per tutte le iterazioni del metodo di Montecarlo, per poi chiudere con:

```

        'calcolo danno medio
        Ponti!D_MEDIO = (Ponti!D01 + Ponti!D02 + Ponti!D03 +
Ponti!D04 + Ponti!D05 + Ponti!D06 + Ponti!D07 + Ponti!D08 + Ponti!D09
+ Ponti!D10 + Ponti!D11 + Ponti!D12 + Ponti!D13 + Ponti!D14 +
Ponti!D14) / 15

    End If

    Ponti.Update
    Ponti.MoveNext

Wend

End Sub
    
```

Al termine della procedura la tabella SCENARIO_SISMICO risulterà quindi completa, compilata con tutti i parametri che definiscono lo scenario sismico generato, nelle sue varianti ricavate a partire dalle *n* iterazioni del metodo di Montecarlo.

X	Y	D_MEDIO	D-	D-	D-	D-	D-	D-	D-	D-	D-	D-	D-	D-	D-	D-	D-	D-
12.2408335876465	45.5130555555556		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.2491669209798	45.5177775234646		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.2352780320909	45.5080555555556		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12.2902782228258	45.9583340962728	6.66666666666667E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
12.3038890796238	46.0308330790202	6.66666666666667E-02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12.3672223493788	46.1377795579698	0.2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
12.3241666030884	46.056943681505	0.333333333333333	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
12.3238888253106	46.056943681505	0.333333333333333	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
12.3386107932197	46.0766656494141	0.466666666666667	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	2	1	0	0	0
12.4161107296414	46.1480573357476	0.466666666666667	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	3	1	0	0	0	0

Tabella 23 -Estratto della tabella SCENARIO_SISMICO

Nell'immagine sopra si può vedere un estratto della tabella SCENARIO_SISMICO, dove si vedono chiaramente i diversi stati di danno in cui versa ciascun manufatto al variare dell'iterazione del metodo di Montecarlo.

5. CASO STUDIO

Completato il lavoro di implementazione del sistema si è realizzato un esempio di caso studio per verificarne l'utilizzabilità. Si è scelto di indagare gli effetti di un sisma con epicentro su Treviso: la scelta della posizione è stata dettata dalla disponibilità di un gran numero di ponti classificati in quella zona, unitamente al fatto che il terreno relativamente soffice eleva la pericolosità sismica a livelli di un certo interesse, in virtù del noto fenomeno di amplificazione.

Si è quindi generato lo scenario sismico per l'epicentro considerato, sia nel caso di rete attuale sia nel caso di ponti soggetti ad adeguamento sismico.

adeguamento? Copia Q Copia param. sismici Copia parametri terreno
 Controlla dati

Epicentro Treviso (778, --- --)

Latitudine 45.669

Longitudine 12.244

Genera scenario sismico attenuazione?

Figura 76 - Caso studio: parametri scenario sismico

I risultati sono stati salvati in due fogli Excel per successiva elaborazione e visualizzazione dei risultati.

L'accelerazione massima all'epicentro risulta essere di 1.37 m/s^2 , pari a $0.14g$.

Vediamo innanzitutto nel sistema GIS gli effetti immediatamente valutabili del sisma generato, ovvero l'accelerazione al suolo prodotta:

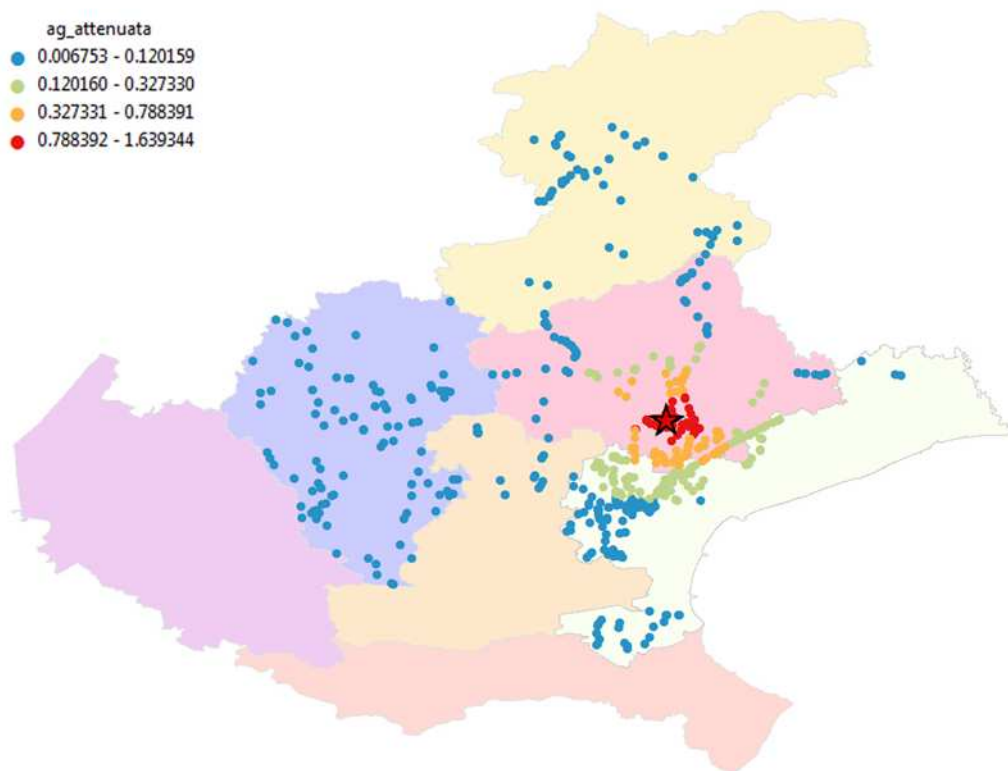


Figura 77 - Caso studio: accelerazione al suolo attorno all'epicentro

Il terreno della zona risulta essere vario: da tipo D (bianco) a tipo B (grigio scuro).

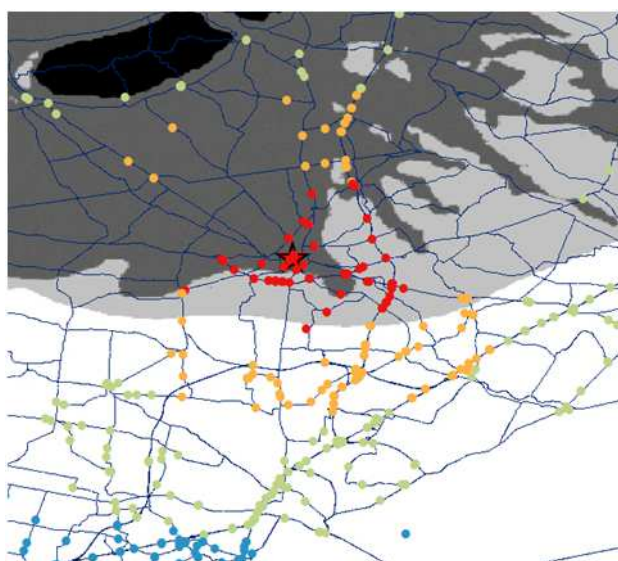


Figura 78 - Caso studio: caratteristiche del terreno attorno all'epicentro.

Il sisma coinvolge sostanzialmente le aree del trevigiano e veneziano, come meglio evidenziato dalla figura successiva:

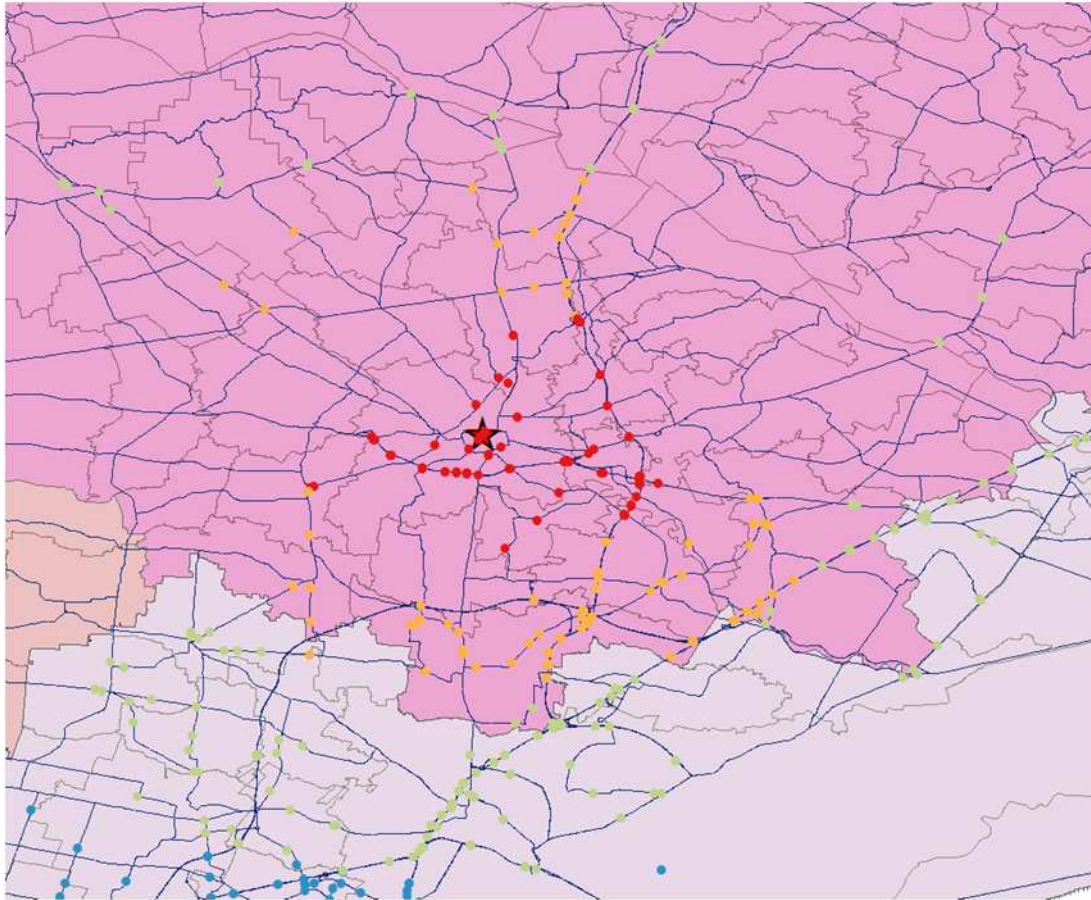


Figura 79 - Caso studio: zone coinvolte

Come si vedrà meglio a breve, importanti infrastrutture in questa zona risultano essere la tangenziale di Treviso e diverse tratte autostradali, pienamente coinvolte nello scenario generato.

Stato di danno: rete attuale

Di seguito lo stato di danno generato per la rete attuale, ovvero senza adeguamento sismico.

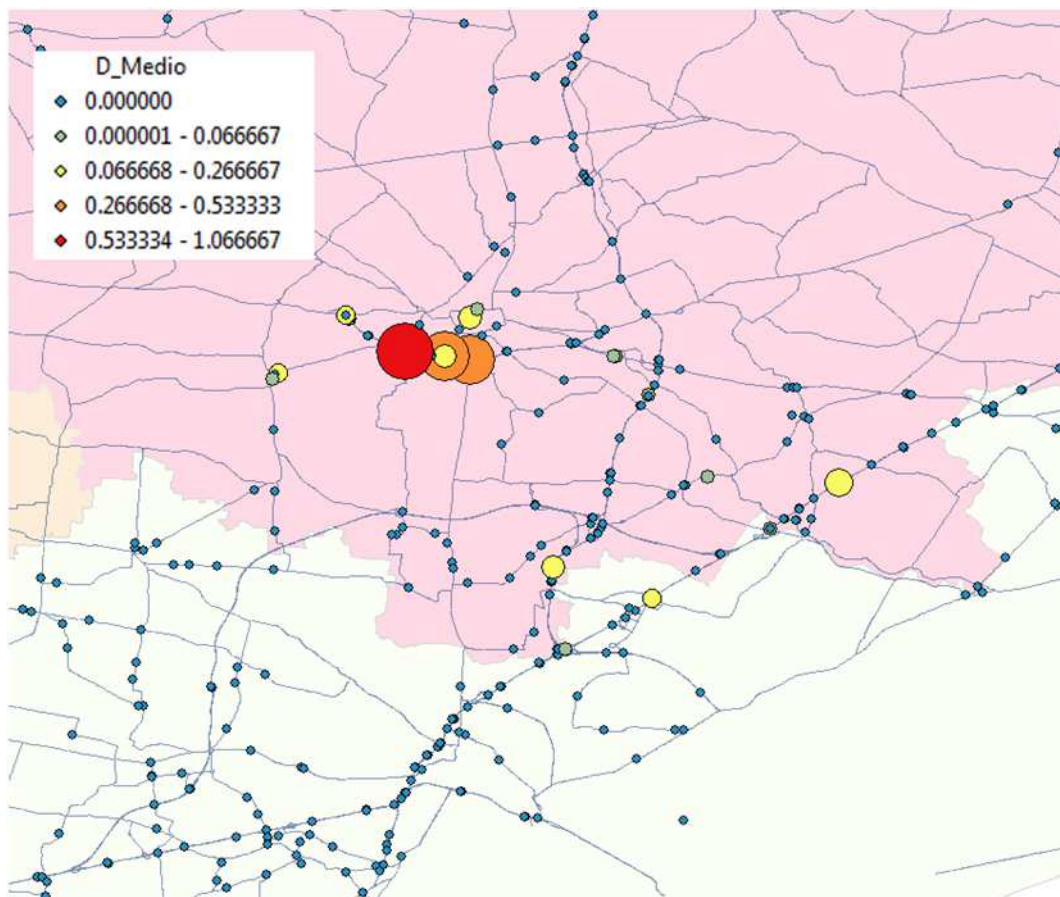


Figura 80 - Caso studio: scenario di danno senza adeguamento sismico

In un raggio di 20 km dall'epicentro, molti ponti subiscono danni di qualche entità, seppur moderati.

Livello di danno	Num. Ponti
Nessun danno	259
0 - 0.1	10
0.1 - 0.25	7
0.25 - 0.5	1
> 0.5	3

Tabella 24 - Caso studio: stato di danno senza adeguamento

Stato di danno

■ Nessun danno ■ 0 - 0.1 ■ 0.1 - 0.25 ■ 0.25 - 0.5 ■ > 0.5

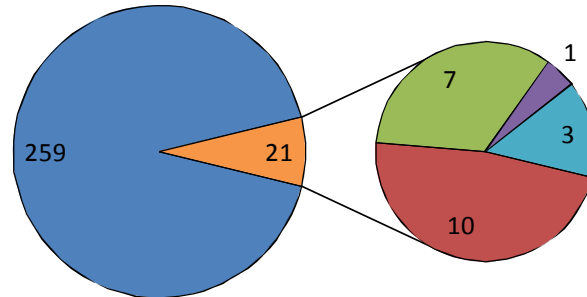


Figura 81 - Caso studio: danno sui ponti entro 20 km dall'epicentro

In particolare il ponte che subisce il danno medio maggiore si trova sulla tangenziale di Treviso, coordinate $12^{\circ}12'59''\text{E}$, $45^{\circ}39'11''\text{N}$, al km 58+100 della SR53 (su SP106 Strada Sant'Angelo), comune di Treviso. Nel database è contrassegnato con IBRID_ID 3393.



Figura 82 - Caso studio: ponte con danno medio più elevato, sulla tangenziale di Treviso (IBRID_ID 3393)

Anche altri ponti sulla tangenziale risultano danneggiati, ad esempio quello al km 59+300, coordinate $12^{\circ}13'55''\text{E}$, $45^{\circ}39'05''\text{N}$, IBRID_ID 3388.



Figura 83 - Caso studio: ponte danneggiato sulla tangenziale di Treviso (IBRID_ID 3388)

Anche le autostrade A4 e A57 sono interessate dall'evento sismico: ad esempio risulta lievemente danneggiato un ponte dello svincolo fra A27 e A57, alle coordinate $12^{\circ}16'47''$ E, $45^{\circ}32'08''$ N (IBRID_ID 3038)



Figura 84- Caso studio: ponte danneggiato sulla rete autostradale (IBRID_ID 3038)

I danni previsti su questi manufatti sono di lieve o moderata entità, non portando quindi ad un collasso della struttura o ad una totale perdita di funzionalità: tuttavia, data l'importanza delle infrastrutture di cui fanno parte, sarebbe inevitabile una loro verifica e pronta rimessa in sicurezza a seguito dell'evento, con gli inevitabili costi e ripercussioni sulla circolazione.

Stato di danno: rete adeguata sismicamente

Di seguito lo stato di danno generato per la rete adeguata sismicamente, ovvero ipotizzando un intervento di adeguamento sismico su tutti i ponti, che ne elevi la performance sismica segnando un passaggio da categoria dispari a categoria pari della tabella fornita dalla procedura Risk-UE.

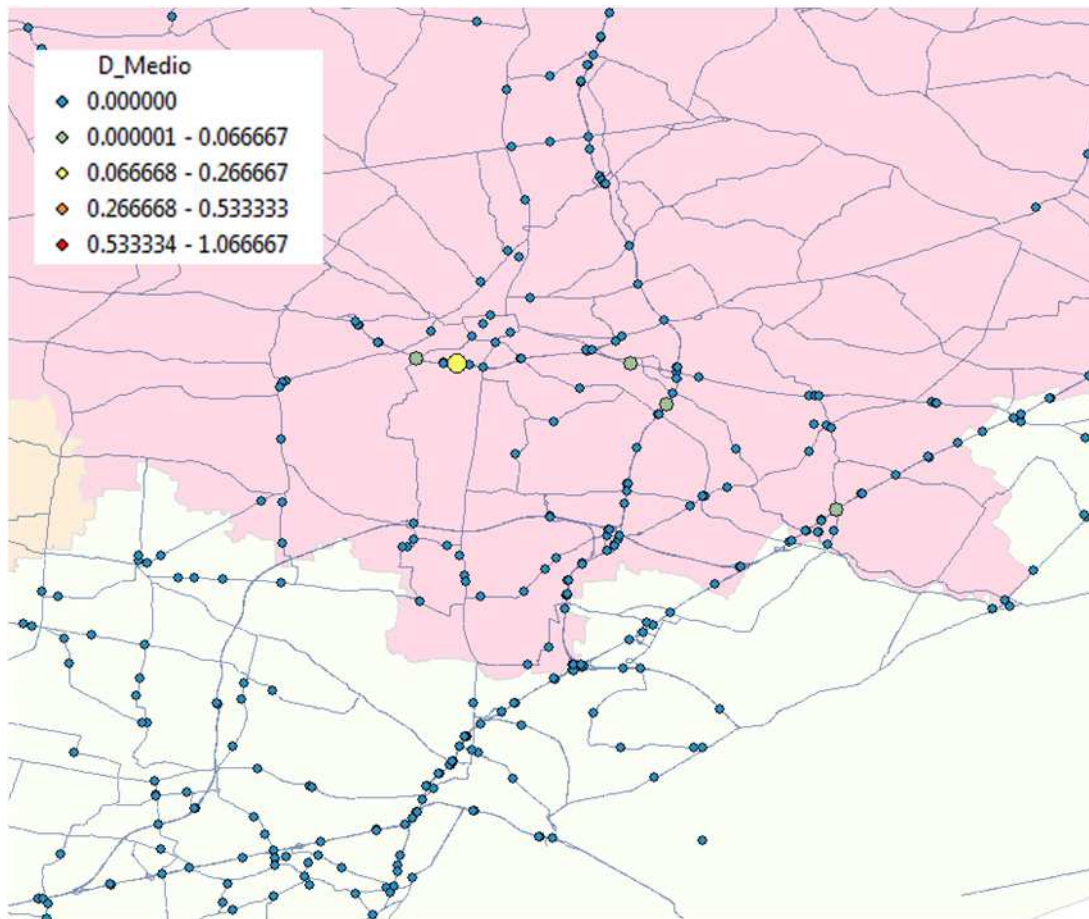


Figura 85 - Caso studio: scenario di danno con adeguamento sismico

Sono immediatamente evidenti i vantaggi dell'intervento di adeguamento sismico, con una drammatica riduzione dello stato di danno sulla rete analizzata: vi è sostanzialmente una quasi totale assenza di ponti danneggiati, con soli 4 manufatti riportanti danni molto lievi.

Livello di danno	Num. Ponti
Nessun danno	276
0 - 0.1	3
0.1 - 0.25	1
0.25 - 0.5	0
>0.5	0

Tabella 25 - Caso studio: stato di danno con adeguamento

Stato di danno (con adeguamento)

■ Nessun danno ■ 0 - 0.1 ■ 0.1 - 0.25 ■ 0.25 - 0.5 ■ > 0.5

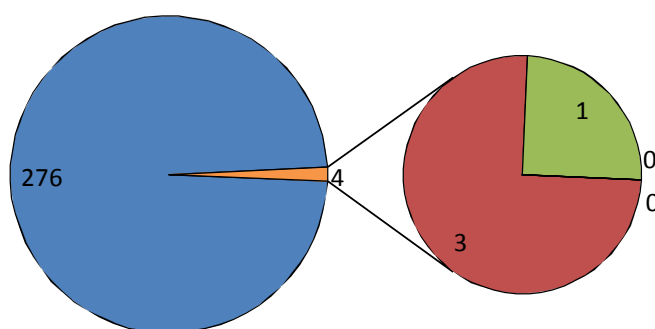


Figura 86 - Caso studio: danno sui ponti entro 20 km dall'epicentro, con adeguamento

I ponti che risultano danneggiati anche nel caso di adeguamento sismico sono quelli che anche nello scenario simulato sulla rete attuale avevano subito danni, confermando quindi il corretto funzionamento del sistema, che riserva agli stessi ponti livelli di danno compatibili con la situazione simulata.

Confronto fra gli stati di danno

Si presenta un breve confronto fra le due versioni dello scenario simulato, con e senza adeguamento sismico.

ID_IBRID	EXTERNALID	CAT	LONG	LAT	DISTANCE	Ag	Sa	D_MEDIO	D_MEDIO_ADEG
					[km]	[m/s ²]	[m/s ²]		
294	80447	3	12°09'59"	45°38'41"	6.60	0.81	0.98	0.13	0.00
297	57917	5	12°09'50"	45°38'33"	6.88	0.78	0.95	0.07	0.00
374	55458	3	12°17'59"	45°39'04"	4.76	1.02	1.31	0.07	0.00
377	57170	3	12°17'55"	45°39'04"	4.68	1.02	1.33	0.07	0.07
3038	67361	7	12°16'47"	45°32'08"	15.08	0.27	0.62	0.07	0.00
3061	80749	7	12°18'50"	45°33'21"	13.69	0.32	0.73	0.13	0.00
3066	67865	7	12°21'37"	45°35'00"	13.12	0.34	0.79	0.07	0.00
3327	70987	11	12°16'29"	45°34'05"	11.46	0.43	0.96	0.20	0.00
3328	42092	3	12°23'15"	45°36'05"	13.44	0.33	0.75	0.27	0.00
3366	42747	3	12°18'44"	45°38'10"	6.43	0.83	1.07	0.07	0.00
3382	60885	7	12°14'31"	45°39'00"	2.12	1.29	1.62	0.53	0.00
3383	60886	7	12°14'31"	45°39'59"	0.33	1.31	1.65	0.20	0.00
3388	61797	7	12°13'55"	45°39'05"	2.17	1.28	1.63	0.53	0.00
3389	46614	7	12°13'55"	45°39'04"	2.20	1.28	1.62	0.20	0.13
3392	63388	7	12°12'59"	45°39'12"	2.76	1.23	1.57	0.20	0.07
3393	63387	7	12°12'59"	45°39'11"	2.78	1.23	1.56	0.60	0.07
3398	45510	7	12°11'39"	45°39'58"	3.88	1.11	0.99	0.07	0.00
3399	45511	7	12°11'38"	45°39'58"	3.90	1.11	0.99	0.07	0.00
3400	56383	7	12°11'35"	45°40'03"	3.96	1.11	0.98	0.13	0.00
3408	69408	5	12°14'42"	45°40'12"	0.14	1.37	1.24	0.07	0.00
3432	45353	7	12°20'09"	45°36'14"	10.16	0.51	1.13	0.07	0.00

Tabella 26 - Caso studio: scenario sismico simulato

Si vede come i ponti danneggiati ricadano in un raggio di circa 15 km dall'epicentro, il più lontano distando 15.08 km. Si tratta per lo più di ponti in calcestruzzo, con un'unica eccezione (acciaio, ponte con ID_IBRID 3327). L'accelerazione sull'epicentro risulta di 1.37 m/s², corrispondente all'accelerazione più alta misurata sul sito di un manufatto (ID_IBRID 3408, sostanzialmente sull'epicentro). La più alta accelerazione spettrale risulta di 1.65 m/s².

Le ultime due colonne a destra riportano i valori di danno medio, ovvero i valori medi di danno subito dalle opere per le n iterazioni del Metodo di Montecarlo, nei due casi con e senza adeguamento sismico.

Il diretto confronto fra gli stati di danno nei due diversi casi è visibile nel grafico seguente.

Stato di danno

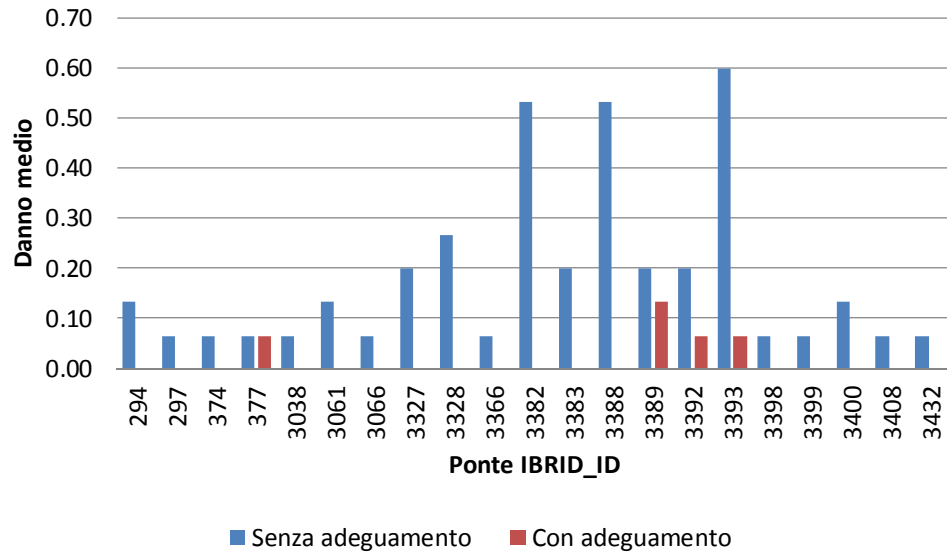


Figura 87 - Caso studio: confronto fra gli stati di danno con e senza adeguamento sismico

In quest'ultimo grafico invece si nota la riduzione di danno sismico ad opera dell'adeguamento correlata all'accelerazione spettrale subita dal manufatto: vediamo che l'effetto risulta vantaggioso sia per siti con bassa azione sismica sia per quelli che subiscono valori di scuotimento maggiori.

Riduzione danno sismico

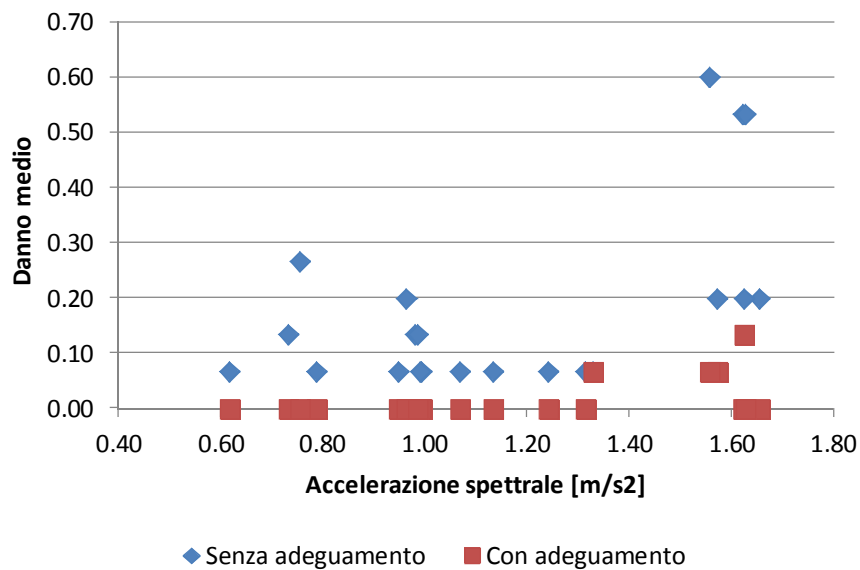


Figura 88 - Caso studio: correlazione fra accelerazione spettrale e danno subito dal ponte

Stima delle perdite economiche dirette a seguito dell'evento

Alla fine di questo esempio si sono stimate le perdite economiche dirette a seguito dell'evento considerato, calcolate come il costo di riparazione dei manufatti danneggiati dal sisma. Ovviamente il calcolo non vuole e non può essere preciso, ma è sicuramente un primo banco di prova per il sistema implementato, che risulta fin d'ora essere un utile strumento per la previsione degli effetti di eventi sismici sul nostro territorio.

La procedura Risk-Ue dà qualche indicazione sul modo di procedere, individuando nella formula che segue una prima, grezza ma semplice, modalità di stima dei danni subiti da un ponte:

$$C_{riparazione} = Area_{Impalcato} \cdot C_{costruzione(m^2)} \cdot k_{danno}$$

Il costo di riparazione risulta quindi essere dato dal costo di costruzione moltiplicato per un certo coefficiente che dipende dallo stato di danno in cui si trova l'opera. A sua volta, il costo di costruzione viene calcolato utilizzando un costo convenzionale per unità di superficie, variabile a seconda delle tipologia di impalcato, da cui sia agevole trarre semplici e veloci stime per tutti i ponti analizzati.

TIPOLOGIA	COSTO
Calcestruzzo	1400 €/m ²
Acciaio	800 €/m ²
Muratura	400 €/m ²
Medio	1000 €/m ²

Tabella 27 - Costi convenzionali di costruzione

I costi convenzionali sono stati reperiti da materiale presente in dipartimento, e confrontati con buoni risultati con altri dati reperiti in rete. I valori del coefficiente di danno sono invece forniti direttamente dalla procedura Risk-Ue.

LIVELLO DI DANNO	K _{danno}
0 – nessun danno	0
1 – danno lieve	0.03
2 – danno moderato	0.08
3 – danno esteso	0.25
4 – collasso	1

Tabella 28 - Coefficiente di danno

Si è proceduto quindi al calcolo dei dati necessari. Due grandezze fondamentali da reperire sono le dimensioni dell'impalcato: in mancanza di dati migliori, si è misurata la lunghezza direttamente dal sistema GIS, mentre la larghezza si è stimata a partire dagli usuali ingombri delle carreggiate stradali.

I rimanenti dati risultano già inseriti nel sistema, per cui è possibile compilare subito una tabella riassuntiva.

ID_IBRID	EXTERNALID	CAT	D_MEDIO	D_MEDIO_ADEG	MAT	COSTO RICOSTRUZ [€/m ²]	LUNGH [m]	LARGH [m]	AREA [m ²]
294	80447	3	0.13	0.00	CLS	1400	21	10	210
297	57917	5	0.07	0.00	CLS	1400	12	10	120
374	55458	3	0.07	0.00	CLS	1400	30	10	300
377	57170	3	0.07	0.07	CLS	1400	31	10	310
3038	67361	7	0.07	0.00	CLS	1400	63	6	378
3061	80749	7	0.13	0.00	CLS	1400	40	8	320
3066	67865	7	0.07	0.00	CLS	1400	10	12.5	125
3327	70987	11	0.20	0.00	ACCIAIO	800	18	16.5	297
3328	42092	3	0.27	0.00	CLS	1400	11	16.5	181.5
3366	42747	3	0.07	0.00	CLS	1400	99	16.5	1633.5
3382	60885	7	0.53	0.00	CLS	1400	225	12.5	2812.5
3383	60886	7	0.20	0.00	CLS	1400	225	12.5	2812.5
3388	61797	7	0.53	0.00	CLS	1400	63	12.5	787.5
3389	46614	7	0.20	0.13	CLS	1400	67	12.5	837.5
3392	63388	7	0.20	0.07	CLS	1400	48	12.5	600
3393	63387	7	0.60	0.07	CLS	1400	47	12.5	587.5
3398	45510	7	0.07	0.00	CLS	1400	123	12.5	1537.5
3399	45511	7	0.07	0.00	CLS	1400	123	12.5	1537.5
3400	56383	7	0.13	0.00	CLS	1400	52	12.5	650
3408	69408	5	0.07	0.00	CLS	1400	33	18	594
3432	45353	7	0.07	0.00	CLS	1400	95	10	950

Tabella 29 - Calcolo perdite dirette: dati in input

Si procede quindi al calcolo delle perdite dirette, secondo la formulazione esposta in precedenza, con riferimento ad entrambe le versioni dello scenario sismico, con e senza adeguamento.

ID IBRID	CAT	D MEDIO	D MEDIO ADEG	COSTO RICOSTRUZ [€/m ²]	AREA [m ²]	Note	COSTO	COSTO CON ADEG
294	3	0.13	0.00	1400	210		€ 588.00	€ 0.00
297	5	0.07	0.00	1400	120		€ 336.00	€ 0.00
374	3	0.07	0.00	1400	300		€ 840.00	€ 0.00
377	3	0.07	0.07	1400	310		€ 1,736.00	€ 868.00
3038	7	0.07	0.00	1400	378	su autostrada	€ 1,058.40	€ 0.00
3061	7	0.13	0.00	1400	320	su autostrada	€ 896.00	€ 0.00
3066	7	0.07	0.00	1400	125	autostrada	€ 350.00	€ 0.00
3327	11	0.20	0.00	800	297	autostrada	€ 1,742.40	€ 0.00
3328	3	0.27	0.00	1400	181.5	autostrada	€ 2,371.60	€ 0.00
3366	3	0.07	0.00	1400	1633.5	autostrada	€ 4,573.80	€ 0.00
3382	7	0.53	0.00	1400	2812.5	tangenziale	€ 57,750.00	€ 0.00
3383	7	0.20	0.00	1400	2812.5	tangenziale	€ 15,750.00	€ 0.00
3388	7	0.53	0.00	1400	787.5	tangenziale	€ 30,870.00	€ 0.00
3389	7	0.20	0.13	1400	837.5	tangenziale	€ 10,943.33	€ 6,253.33
3392	7	0.20	0.07	1400	600	tangenziale	€ 7,840.00	€ 1,680.00
3393	7	0.60	0.07	1400	587.5	tangenziale	€ 65,251.67	€ 1,645.00
3398	7	0.07	0.00	1400	1537.5	tangenziale	€ 4,305.00	€ 0.00
3399	7	0.07	0.00	1400	1537.5	tangenziale	€ 4,305.00	€ 0.00
3400	7	0.13	0.00	1400	650	tangenziale	€ 5,460.00	€ 0.00
3408	5	0.07	0.00	1400	594	centro a TV	€ 1,663.20	€ 0.00
3432	7	0.07	0.00	1400	950		€ 2,660.00	€ 0.00
Totali:							€ 221,290.40	€ 10,446.33

Tabella 30 - Stima perdite dirette

Risulta evidente una radicale riduzione delle perdite nel caso in cui si sia investito in un intervento di adeguamento sismico di ampio respiro: si passerebbe infatti da una perdita totale di € 221,290.40 ad un totale di € 10,446.33, per una riduzione del 95 %.

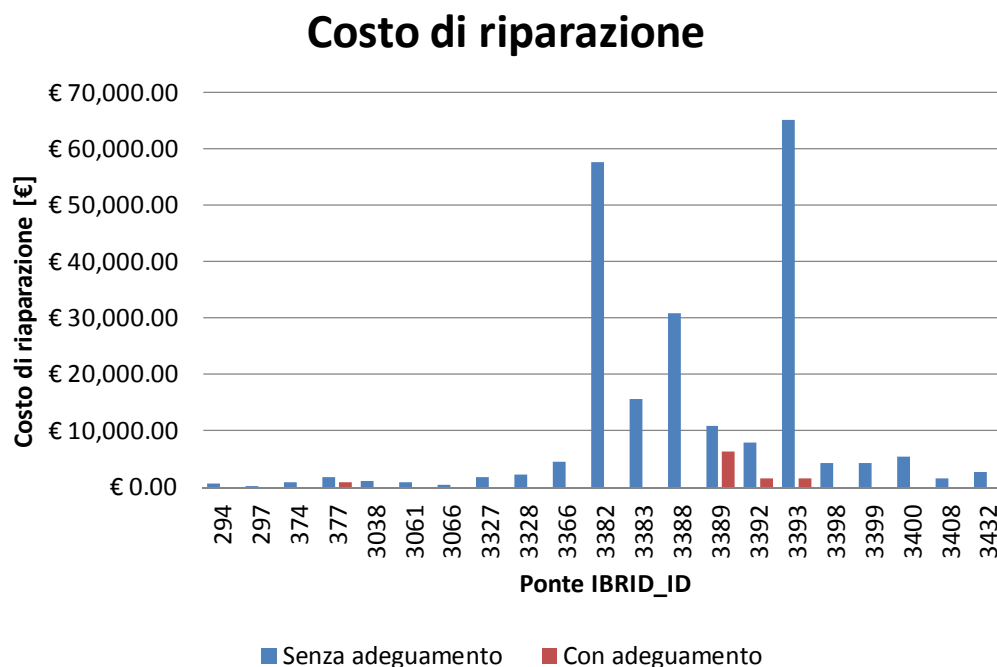


Figura 89 - Stima perdite dirette: costo di riparazione per ciascun ponte

Si veda l'appendice per la tabella completa di calcolo delle perdite dirette.

6. CONCLUSIONI

Il presente lavoro di tesi si situa nell'ambito di una più vasta collaborazione multidisciplinare con l'obiettivo di realizzare, entro breve, un sistema integrato per la previsione degli effetti di eventi sismici sul territorio dell'intera Regione Veneto: scopo del presente lavoro in particolare è l'implementazione nel database di alcuni aspetti di questa procedura, nello specifico il calcolo dell'attenuazione dell'azione sismica e il modulo di generazione dell'evento vero e proprio. Sono stati inoltre introdotte modifiche al sistema già esistente, quali la catalogazione dei terreni o l'ottimizzazione di alcune parti di database, al fine di permettere la corretta integrazione dei moduli in via di sviluppo.

Il lavoro si è svolto su un database in Access, contenente la catalogazione dei manufatti e dove si situa l'elaborazione necessaria alla generazione dello scenario sismico, e su una carta nel sistema GIS Esri ArcMap 10.1 utile alla visualizzazione dei dati disponibili, oltre che necessario tratto d'unione per il trasbordo delle informazioni alle piattaforme di simulazione trasportistica il cui utilizzo è in programma in un prossimo futuro.

Obiettivo fondamentale del lavoro è infatti la collaborazione con altre persone per portare a buon fine il progetto, costruendo quindi un sistema il più robusto, efficace ed automatizzato possibile, che nel contempo offra risultati realistici nel campo della previsione degli effetti di eventi sismici sul territorio: si è tuttavia ritenuto di dirottare parte del tempo investito in questi mesi nella redazione di un utile esempio, primo banco di prova per il sistema in esame, al fine di verificarne l'effettiva funzionalità "sul campo"; prova che ha offerto ottime assicurazioni sull'utilizzabilità effettiva del sistema completo.

Si procede ora ad una rapida ricapitolazione del lavoro svolto, a beneficio del lettore che voglia ripercorrere brevemente i risultati ottenuti fin'ora nell'implementazione di questo sistema.

La prima parte del lavoro riguarda la scelta della modalità di generazione dello scenario sismico: essendo diverse le possibilità, è stata necessaria un'ampia ricerca bibliografica per individuare l'approccio migliore. Alla fine è risultato conveniente l'utilizzo delle GMPE, ovvero *ground motion prediction equations*, curve empiriche che consentono la previsione dello scuotimento al suolo. Esse sono di gran lunga lo strumento più

utilizzato per la generazione di scenari sismici, a livello europeo ma anche mondiale, date le insormontabili difficoltà connesse con l'uso dei seppur più precisi metodi di tipo sismologico, che per loro natura necessitano di grandi quantità di dati di difficile determinazione per fornire risultati di una qualche affidabilità.

Nell'ampio panorama di GMPE disponibili si è effettuata una selezione al fine di confrontare le migliori proposte: la scelta è ricaduta sulla formulazione proposta da Bragato & Slejko nel 2005, specificatamente correlata al territorio in esame, che è stata implementata nel database.

La formulazione è la seguente:

$$\log_{10}(PGA) = a + (b + cM)M + (d + eM^3)\log_{10}\sqrt{d^2 + h^2}$$

Dove:

PGA	accelerazione massima al suolo [g]
M	magnitudo
a,b,..	a = -3.27, b = 1.95, c = -0.202, d = -3.11, e = 0.00751, h = 8.9 km
d	distanza epicentrale

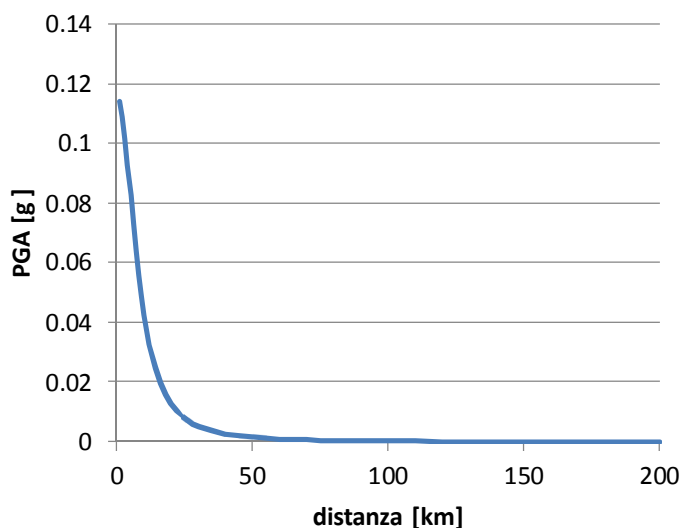


Figura 90 - Legge di attenuazione di Bragato & Slejko

La legge in esame è stata implementata con successo nel database con l'uso di alcuni moduli in linguaggio VBA: ciò ne consente un utilizzo immediato, senza complicazioni o necessità di intervento da parte dell'utente.

Durante lo studio della proposta di Bragato & Slejko si sono resi evidenti dei problemi connessi con l'influenza sull'azione sismica delle caratteristiche del terreno e degli effetti locali, che sono stati prontamente indagati: gran parte dell'incertezza sulla determinazione dello scuotimento al suolo risulta infatti dovuta a questi fattori.

Per cercare di limitare questa grave incertezza si è deciso di implementare nel sistema almeno una categorizzazione del terreno, al posto della precedente ipotesi di uniformità grossolanamente imposta all'intero sottosuolo della Regione in esame. Per far ciò si è provveduto ad una breve ricerca bibliografica per reperire lo scarso materiale disponibile sull'argomento, che è stato condensato in una carta completa di categorizzazione del sottosuolo per la Regione Veneto.

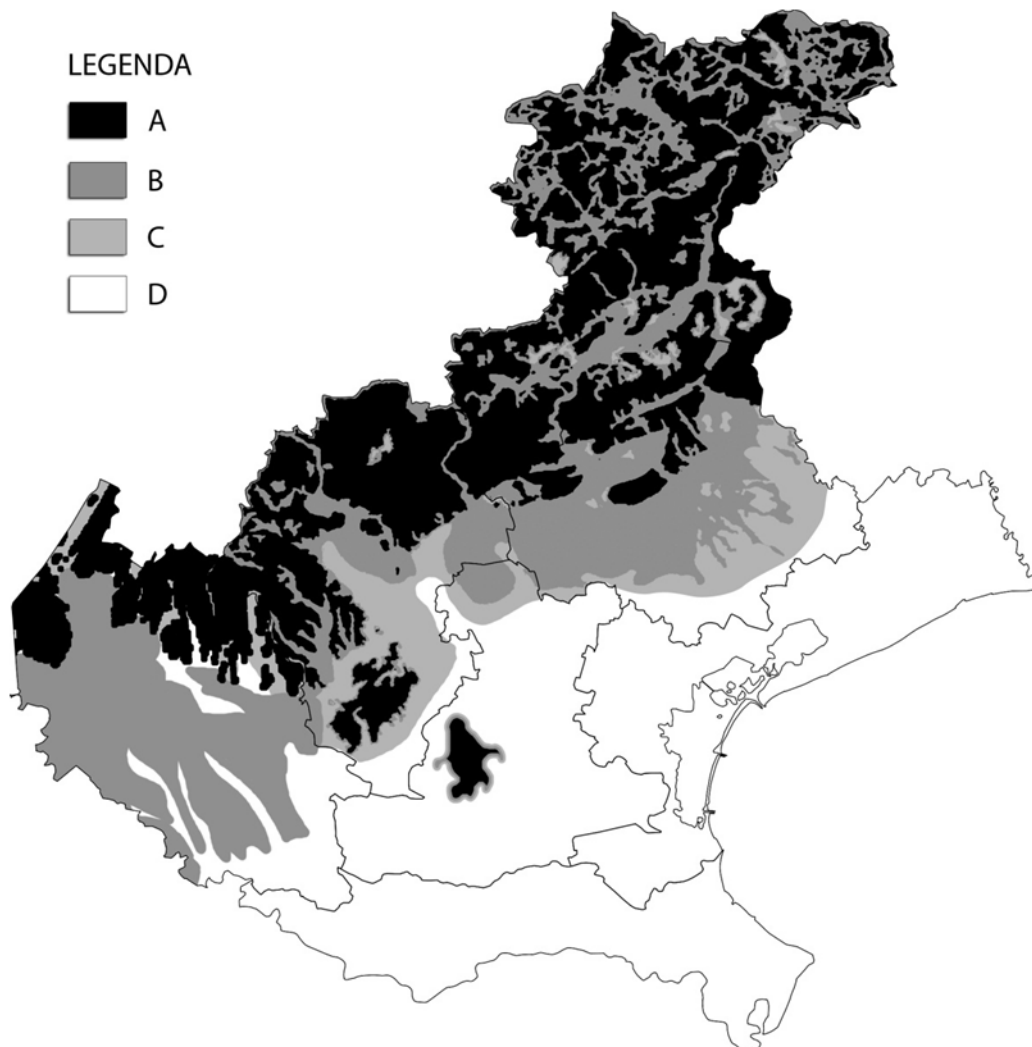


Figura 91 - Classificazione Terreno: mappa completa

I dati sono stati inseriti sia nel database, per prendere parte alla corretta generazione dello scenario sismico, sia nel sistema GIS, per permetterne un'adeguata visualizzazione e fruizione anche per altri usi.

Unitamente alla classificazione del sottosuolo si è deciso di inserire anche una lista di zone sismogenetiche per guidare l'utente nel processo di generazione dello scenario sismico, alla fine di evitare scelte poco realistiche per la posizione dell'epicentro.

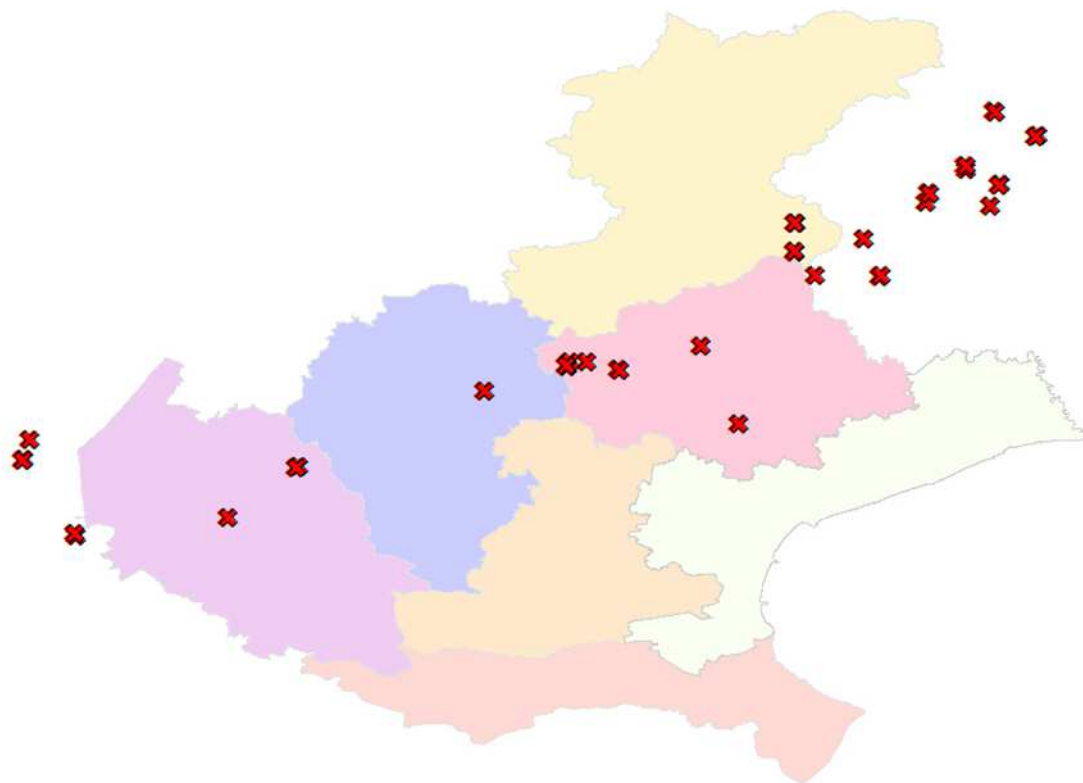


Figura 92 - Zone Sismogenetiche: rappresentazione geografica

Completata questa fase si è ripercorsa la procedura di generazione delle curve di fragilità per i ponti, già implementata in precedenza nel database, apportando qualche modifica per consentirne un proficuo utilizzo nelle fasi successive: il modulo consente la generazione automatica delle curve di fragilità per il manufatto in esame, a partire dai valori medi di probabilità di accadimento per i vari *performance level* indicati dalla procedura Risk-Ue; è possibile poi estrarre anche gli specifici valori di probabilità connessi con l'accelerazione spettrale che interessa l'opera.

La fase successiva è la generazione dello scenario sismico vero e proprio, che è stata implementata nel database per essere utilizzata in maniera semplice ed automatica: è sufficiente infatti controllare un solo form per generare una varietà di eventi sismici prontamente visualizzabili tramite il sistema GIS.

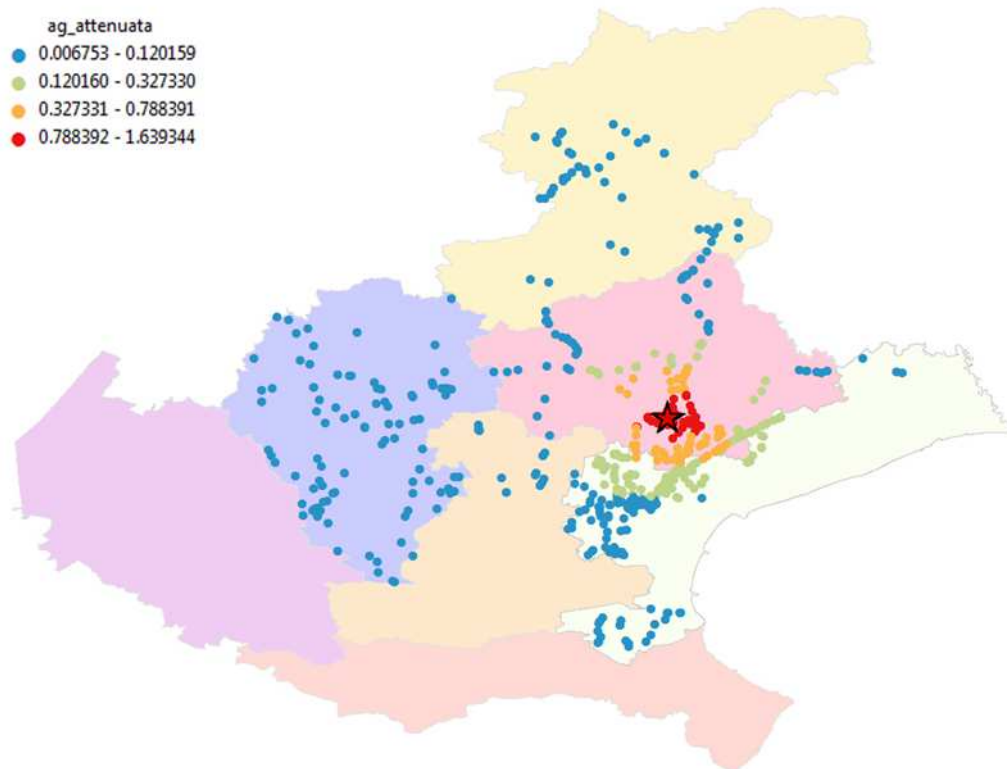


Figura 93 – Esempio di scenario sismico generato, visualizzato nel sistema GIS

La procedura utilizza l'approccio da normativa (NTC 08) per il calcolo dello spettro di progetto necessario alla definizione dello stato di danno, e utilizza il metodo di Montecarlo per campionare efficacemente tutto l'intervallo di possibilità al fine di offrire risultati realistici, su base statistica, seppur applicati al singolo evento e quindi di carattere in un certo senso deterministico.

Riassumendo in breve la procedura, i passaggi salienti sono i seguenti:

1. Individuazione della pericolosità sismica nel sito dell'epicentro, ovvero dell'accelerazione orizzontale che ha il 10% di possibilità di manifestarsi nell'arco di 50 anni.

2. Calcolo della magnitudo di riferimento che corrisponde alla massima accelerazione orizzontale trovata, in modo da poter correttamente utilizzare la relazione di Bragato & Slejko.
3. Per ogni manufatto, calcolo della distanza epicentrale.
4. L'accelerazione subita da ciascun manufatto sarà il valore ottenuto attenuando l'accelerazione trovata al punto 1 con la distanza calcolata al punto 3 (tale valore andrà eventualmente limitato in modo che non possa superare il valore presentato dalle carte di pericolosità sismica, al fine di evitare di generare accelerazioni superiori di quelle previste da normativa).
5. Calcolo dell'accelerazione spettrale secondo normativa NTC 08, considerando le caratteristiche del terreno nel sito in esame.
6. Tramite le curve di fragilità generate e l'accelerazione spettrale appena calcolata, calcolo dei valori di probabilità di accadimento per i 4 stati di danno, o *performance level*, definiti dalla procedura Risk-Ue.
7. Tramite il metodo di Montecarlo, calcolo di n possibili realizzazioni dello scenario generato, ognuna con il suo specifico stato di danno, utili alla generazione di n reti necessarie alla simulazione trasportistica per valutare gli effetti indiretti dell'evento sismico.
8. Calcolo del danno medio subito dal manufatto, ovvero la media dei valori di danno per le n iterazioni del metodo di Montecarlo, utile stima del danno previsto su quell'opera in conseguenza dell'azione sismica prevista.

La procedura è stata efficacemente implementata ancora una volta con l'utilizzo di moduli in linguaggio VBA. Si è anche curato di fornire all'utente, nei rispettivi capitoli di pertinenza, tutti i riferimenti necessari od utili alla comprensione, utilizzazione ed eventuale modifica di quanto realizzato nel corso di questo lavoro, per evitare di realizzare un "sistema chiuso" di scarso aiuto all'avanzamento del progetto.

Si ritiene, a questo punto, di poter affermare l'effettiva utilità di quanto prodotto, seppur con gli inevitabili limiti posti dalla vastità del tema da affrontare: il sistema risulta infatti in grado di generare degli effettivi e realistici scenari sismici, basati su dati reali e di comprovata affidabilità, e una volta completo sarà un potente strumento in mano alla

ricerca e, com'è auspicabile, a quanti sono preposti alla conservazione del patrimonio infrastrutturale della Regione Veneto.

Per verificare la funzionalità del sistema è stato infine svolto un caso studio, con una stima delle perdite economiche dirette conseguenti ad un evento sismico: il database si è dimostrato affidabile e robusto, in grado di fornire i dati necessari alle valutazioni in programma.

Valutazioni specifiche sul caso studio sono di limitata rilevanza, essendo il database ancora incompleto: si è però avuto modo di verificare il corretto funzionamento di tutte le parti implementate. Lo stato di danno risultante risulta compatibile con le caratteristiche dell'evento generato, a sua volta caratterizzato da valori di massima realistici. L'ipotesi di adeguamento sismico ha dato i risultati che ci si può attendere da un simile provvedimento, pur essendo basata su un approccio estremamente semplificato. Si evidenzia infatti un'elevata, ed ovvia, riduzione dei costi di riparazione della rete adeguata rispetto alle infrastrutture allo stato attuale, ma non si è al momento in grado di indagare l'effettiva convenienza economica dell'operazione: essendo infatti estremamente difficoltoso valutare i costi di adeguamento su larga scala ed al momento impossibile indagare gli effetti indiretti del sisma, ovvero gli effetti sulla circolazione stradale, che sono di gran lunga preponderanti rispetto alle relativamente irrisorie perdite economiche connesse alla mera riparazione delle opere danneggiate.

La parte finale del presente lavoro riporta alcune appendici di stampo teorico, utili alla comprensione di alcuni argomenti trattati la cui collocazione può risultare di nicchia ai più, assieme ad alcuni contenuti il cui inserimento in forma integrale nel corpo del testo avrebbe inficiato un'agile lettura del lavoro, ed al listato integrale del codice implementato nel sistema.

Infine, volendo brevemente indicare gli sviluppi futuri previsti per il progetto, si può formulare il seguente elenco:

- Completamento della catalogazione dei manufatti: data la vastità del compito andrà investito del tempo per completare questa necessaria fase, e andranno valutate per alcuni siti di difficile o dubbia catalogazione delle apposite indagini sul campo.
- Interfaccia con il sistema di simulazione trasportistica: al fine di indagare gli effetti indiretti, ovvero gli effetti sulla circolazione stradale, è necessario interfacciare il

presente sistema con l'ambiente di simulazione trasportistica. Andranno risolti tutti i problemi che inevitabilmente si pongono sul percorso: formato e modalità di interscambio dei dati, scelta della rete da indagare, scelta ed implementazione della matrice di origine-destinazione da utilizzarsi, calcolo della riduzione di funzionalità degli archi se la rete non sarà direttamente sovrapponibile con quella introdotta nel sistema GIS, ed altro ancora.

- Una volta resa possibile la simulazione trasportistica, sarà finalmente possibile indagare gli effetti indiretti del sisma: sarà quindi necessaria la simulazione su uno "scenario pilota", al fine di verificare l'effettiva funzionalità del sistema integrato ed aprire la strada ad un suo utilizzo produttivo.
- Andrà valutata una possibile totale automazione della procedura, in maniera che le n reti danneggiate prodotte dalla generazione dello scenario sismico tramite il metodo di Montecarlo vengano automaticamente simulate, e i risultati vengano automaticamente mediati ed offerti in output in un formato idoneo all'analisi e ad una semplice comprensione. Per far ciò molti approcci sono possibili, il più diretto dei quali sembra poter essere la diretta generazione e memorizzazione delle reti danneggiate, poi processate consecutivamente dall'ambiente di simulazione trasportistica.
- Sarà infine possibile implementare altre e più complesse funzioni, quali per esempio una più corretta valutazione della relazione fra danno e funzionalità residua del ponte, oppure una completa e realistica simulazione di campagne di adeguamento sismico; o ancora, uno studio sull'evoluzione della matrice di origine-destinazione a seguito dell'evento, o una simulazione nel transitorio del recupero di funzionalità della rete.
- Infine, lo scopo ultimo del progetto è quello di arrivare all'implementazione di un metodo per l'allocazione ottimale delle risorse economiche, al fine di massimizzare il vantaggio derivante dall'utilizzo dei sempre limitati fondi disponibili per la salvaguardia delle reti infrastrutturali: tema questo estremamente complesso, ma di capitale importanza per la preservazione del nostro territorio.

Si conclude il presente lavoro nella convinzione di aver apportato valido contributo al progetto, e nella speranza di avere a breve notizia del suo avvenuto completamento.

7. APPENDICI

7.1 Le distribuzioni normale e log-normale

La distribuzione normale

La distribuzione normale è una distribuzione continua di probabilità caratterizzata dalla caratteristica curva a campana, detta di Gauss. La distribuzione normale è la più utilizzata per la descrizione di variabili stocastiche indipendenti: è quindi un semplice modello in grado di gestire fenomeni molto complessi. Essa è utilizzabile in moltissime situazioni, con poche eccezioni: quando vi siano distribuzioni che crescono esponenzialmente, o con valori inaspettatamente lontani dal valor medio ma comunque significativi, è necessario usare altre formulazioni; ma in tutti gli altri casi la distribuzione normale è un'ottima approssimazione della variabile da analizzare. Un altro motivo di successo di questa formulazione è la sua trattabilità analitica, che consente di trarne molti risultati anche in forma chiusa, con evidenti semplificazioni e comodità per il suo uso. La formulazione standard è la seguente:

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}$$

Tuttavia questa forma è scarsamente utilizzabile, in quanto non permette di controllare forma e posizione della curva. Si utilizza quindi la più completa forma seguente:

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Dove:

- x: punto dove si calcola il valore
- μ : valore medio
- σ : deviazione standard

In sostanza la curva è descritta da due parametri fondamentali: il valore medio, o atteso, che identifica il valore di picco, e la deviazione standard che indica la larghezza della curva, ovvero quanto la distribuzione della variabile in oggetto è compatta attorno al valor medio.

Una formulazione visualmente semplificata è:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)$$

Che non fa altro che riunire nel termine ϕ parte della funzione in esame, riutilizzando la formulazione standard e quindi lasciando esposta una struttura più semplice e trattabile. La tipica forma della curva di distribuzione normale, al variare dei parametri principali, è questa:

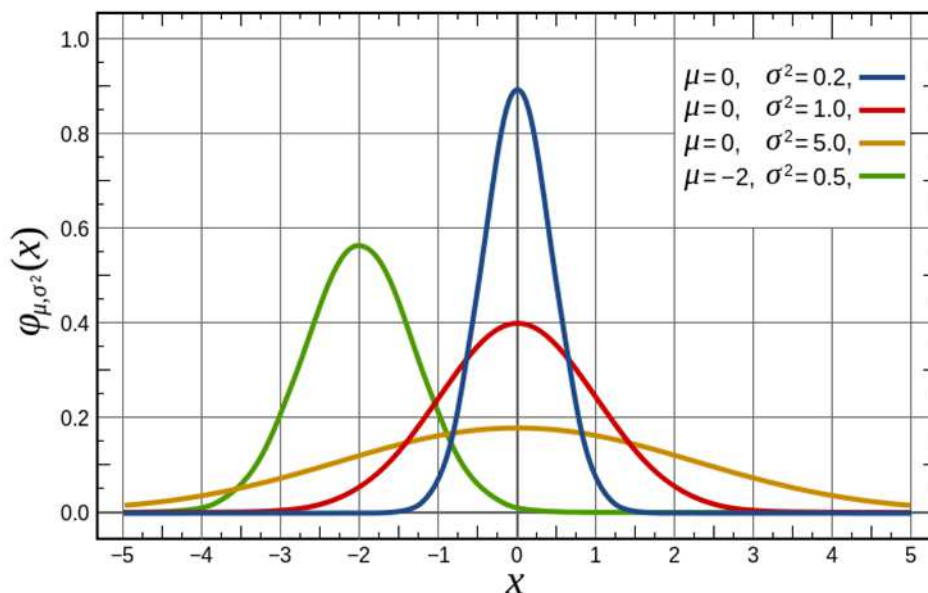


Figura 94 - Distribuzione normale: esempi

Vediamo come la forma della curva ben approssimi distribuzioni casuali che avvengono in natura: un esempio è fornito da una macchina inventata da Francis Galton, di cui si riporta una foto, che genera una distribuzione casuale tramite una serie di palline lasciata cadere in un reticolo di cilindretti, che le guidano casualmente in una delle sezioni sottostanti in cui si raccolgono.

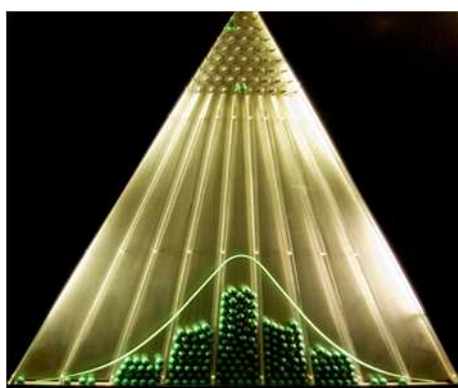


Figura 95 - Macchina di Francis Galton

Questo fenomeno è confermato dal teorema del limite centrale, che afferma che entro certe, ma molto comuni, ipotesi, un gran numero di variabili stocastiche genera una distribuzione pressoché normale. In particolare, il 68% circa dei valori ricadranno

nell'intervallo definito da una deviazione standard attorno alla media, mentre il 99.7% ricade entro 3 deviazioni standard.

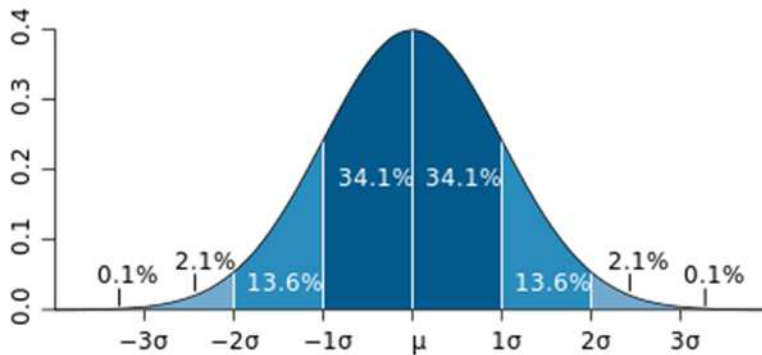


Figura 96 - Distribuzione normale: distribuzione valori

Oltre alla funzione di distribuzione continua di probabilità (PDF), spesso è necessario utilizzare anche la funzione di probabilità cumulata (CDF); in questo caso, per la distribuzione normale, la forma è la seguente:

$$F(x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)$$

La forma della curva che si ottiene è la seguente:

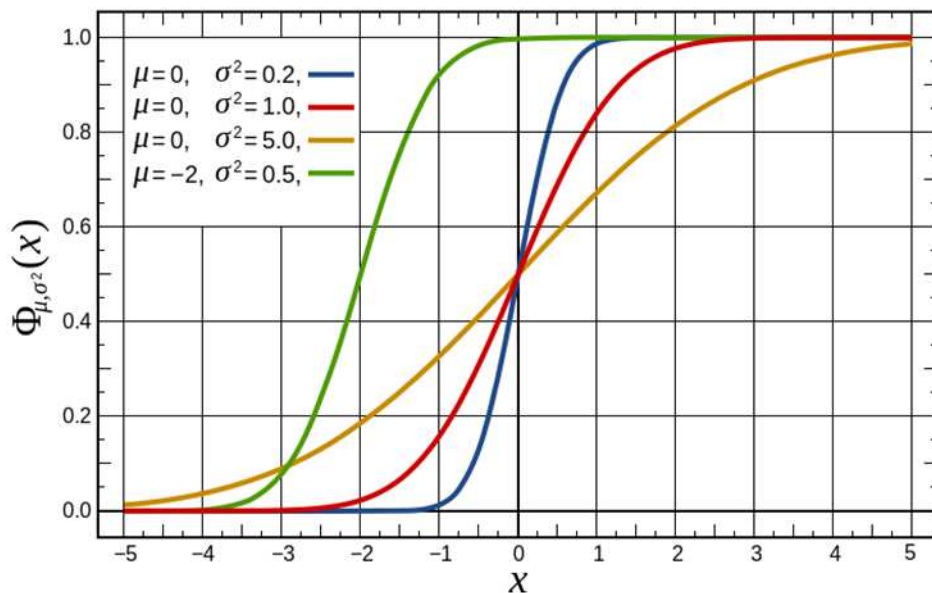


Figura 97 - Distribuzione normale, CDF: esempi

Spesso nel campo della simulazione, specie con il metodo di Montecarlo, è opportuno avere una distribuzione normale della variabile generata: per questo sono state fornite,

nel tempo, diverse approssimazioni di questa curva. In particolare, per la CDF, si riporta un esempio (Marsaglia, 2004):

$$\Phi(x) = \frac{1}{2} + \phi(x) \left(x + \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{3 \cdot 5} + \frac{x^7}{3 \cdot 5 \cdot 7} + \dots \right)$$

Tutte queste approssimazioni numeriche differiscono di caso in caso per metodo e precisione, per cui si andrà a valutare di volta in volta le caratteristiche di ciascuna formulazione per individuare la più idonea al caso specifico in esame. In particolare, nel corso di questo lavoro, è stata utilizzata la seguente approssimazione:

```
Public Function DIST_NORM_CUM(z As Double) As Double
'Funzione che approssima la distribuzione normale che restituisce il valore
di probabilità cumulata di superamento'
' per ottenere la distribuzione lognormale, l'argomento da passare è
' LN(Sa/Sa_medio)/std_dev

Const c1 = 2.506628
Const c2 = 0.3193815
Const c3 = -0.3565638
Const c4 = 1.7814779
Const c5 = -1.821256
Const c6 = 1.3302744
Dim w As Double, X As Double, y As Double

If z > 0 Or z = 0 Then
w = 1
Else
w = -1
End If

y = 1 / (1 + 0.231649 * w * z)

X = c6
X = y * X + c5
X = y * X + c4
X = y * X + c3
X = y * X + c2
DIST_NORM_CUM = 0.5 + w * (0.5 - (Exp(-z * z / 2) / c1) * y * X)

End Function
```

La distribuzione Log-normale

Come si è detto in precedenza, talvolta non è possibile utilizzare la distribuzione normale di probabilità in quanto il fenomeno in esame non è compatibile. Esempi si trovano in gran numero in economia e finanza, ma anche in questo lavoro è stato necessario rappresentare le variabili statistiche in oggetto con una distribuzione log-normale.

La formulazione è la seguente (PDF):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Dove:

- x: punto dove si calcola il valore
- μ : valore medio
- σ : deviazione standard

La forma risultante è la seguente:

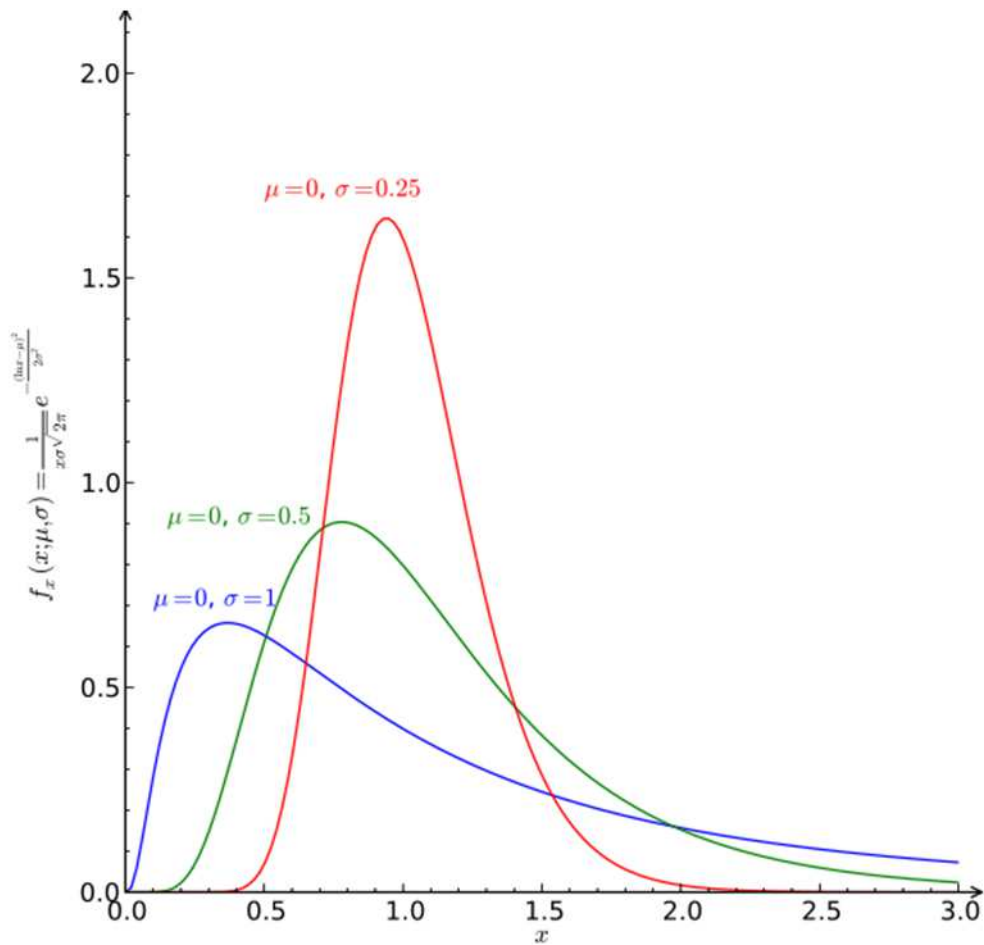


Figura 98 - Distribuzione log-normale: esempi

Analogamente alla distribuzione normale, si riporta la formulazione della distribuzione di probabilità cumulata (CDF):

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)$$

da cui, al variare dei parametri:

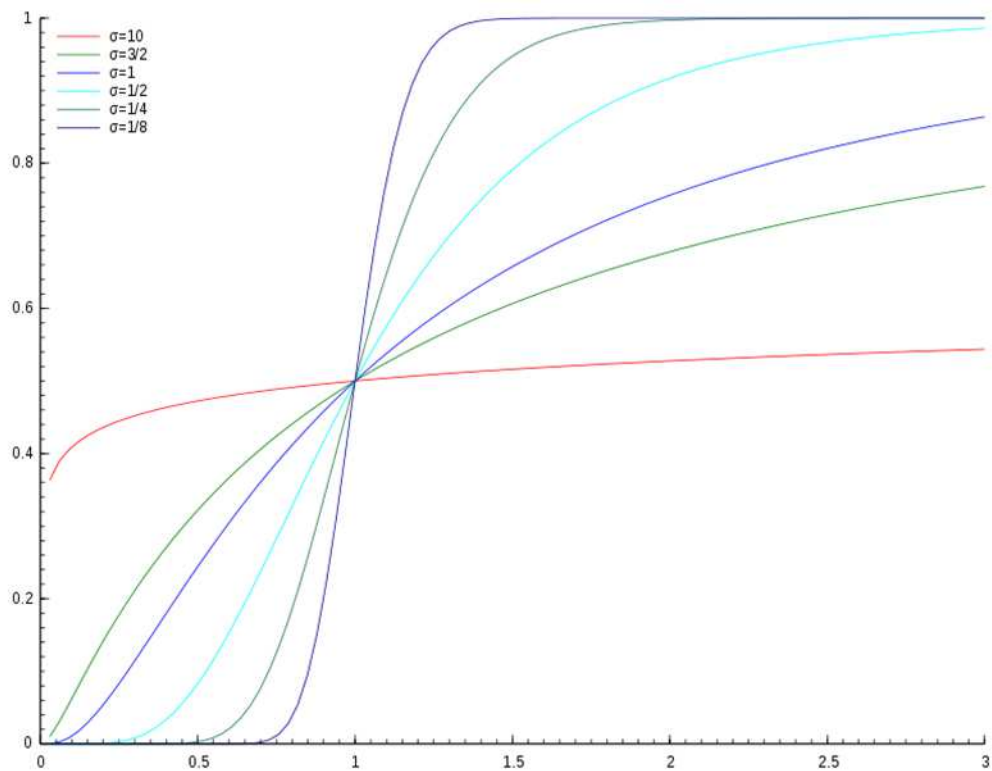


Figura 99 - Distribuzione log-normale, CDF: esempi

Si nota come la forma che si ottiene sia sostanzialmente diversa rispetto alla distribuzione normale, e quindi sia in grado di approssimare fenomeni di natura diversa.

In questo lavoro per il calcolo della distribuzione log-normale si utilizza la seguente riga di codice, che richiama appunto l'approssimazione numerica della distribuzione normale di probabilità:

```
Ponti!FRAG01 = DIST_NORM_CUM(Log(Ponti!Sa / g / Ponti!m1) / std_dev)
```

7.2 La misura della distanza sulla superficie terrestre

Nel corso del lavoro si presenta in più sedi la necessità di calcolare la distanza fra due punti sulla superficie terrestre, definiti tramite coordinate. Già il concetto di distanza richiede qualche riflessione, dovendo chiedersi se sia necessaria la distanza in linea retta o la distanza sulla superficie terrestre, o meglio sulla sua ideale rappresentazione: fermo restando che per la scala del problema in esame le discrepanze sono di ridottissima entità. Posto dunque di utilizzare la distanza sulla superficie terrestre, vi è ora da indagare su quale delle molte formulazioni a disposizione basare la procedura: ciascuna variando di precisione e limiti di applicabilità, essendo predisposta ad un uso magari specifico.

Alla fine si è scelta la seguente formulazione:

$$d = \text{Arccos}(\cos a_1 \cdot \cos a_2 \cdot \cos b_1 \cdot \cos b_2 + \cos a_1 \cdot \cos a_2 \cdot \sin b_1 \cdot \sin b_2 + \sin a_1 \cdot \sin a_2) \cdot R$$

Dove:

- a_1 : latitudine del primo punto
- a_2 : latitudine del secondo punto
- b_1 : longitudine del primo punto
- b_2 : longitudine del secondo punto
- R : raggio terrestre

Essa è valida per l'intero globo terrestre, ma presenta l'evidente limitazione di utilizzare una misura fissa per il raggio terrestre: approssima, quindi, il pianeta come sfera. Ora, questo è evidentemente sbagliato in via teorica, e fornisce risultati sostanzialmente inesatti quando le distanze in esame siano rilevanti, ma per quanto riguarda il ristretto ambito della Regione Veneto si è ritenuto, e verificato, di poterla utilizzare senza problemi. Si è quindi scelto, come valore per il raggio terrestre, il valore che esso assume ad una latitudine di 45°, che corrisponde ad un valore medio per il territorio in esame.

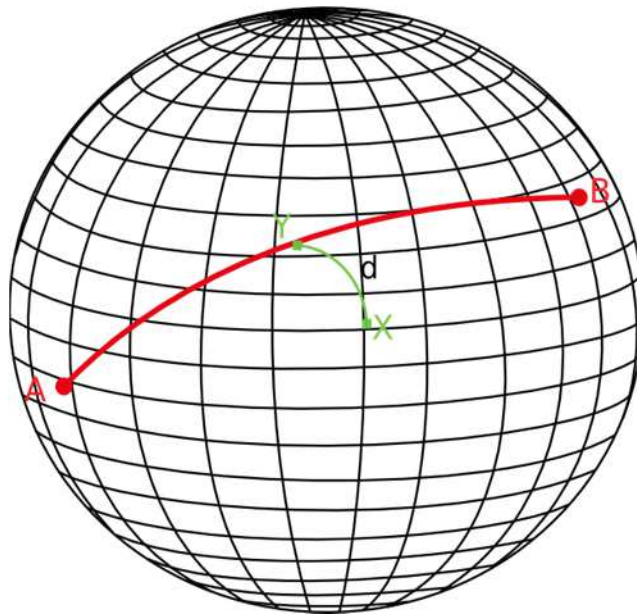


Figura 100 - Distanza sulla superficie terrestre

Un'ultima riserva è da esprimersi sulle eventuali imprecisioni numeriche che si potrebbero venire a generare a causa delle modalità di approssimazione delle funzioni goniometriche coinvolte, in dipendenza del software o linguaggio di programmazione utilizzato. Nell'ambito di questo lavoro, tuttavia, essendo lontani dagli intervalli di valori entro questi problemi risultano solitamente confinati, non vi è da temere alcun problema da questo punto di vista.

7.3 Misure di distanza per il calcolo dell'attenuazione

Durante il confronto fra le varie formulazioni che esprimono il fenomeno dell'attenuazione dell'azione sismica, si sono incontrate molte e diverse misure per definire la distanza fra il sito in esame e il punto in cui è avvenuto il sisma. Si elencano quindi di seguito le più ricorrenti, con una breve descrizione:

M1: distanza ipocentrale: è la distanza, in linea retta, fra il sito e l'ipocentro del sisma.

M2: distanza epicentrale: è la distanza, misurata sulla superficie terrestre, tra il sito e l'epicentro del sisma (epicentro che è ovviamente la proiezione in superficie dell'ipocentro):

M3: distanza dalla zona di massimo rilascio energetico: è la distanza, in linea retta, fra il sito e il punto della superficie di rottura in cui si è stimato il massimo rilascio energetico.

M4: distanza dalla faglia: è la distanza, in linea retta, fra il sito e la faglia.

M5: distanza di Joyner-Boore: è la distanza, misurata sulla superficie terrestre, fra il sito e la proiezione in superficie della faglia.

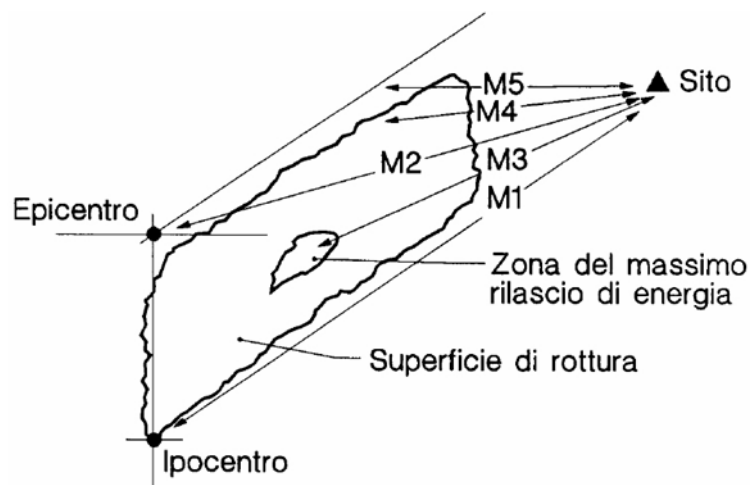


Figura 101 - Misure di distanza

Le misure che forniscono più informazioni sulla posizione del sisma sono quelle che fanno riferimento alla posizione reale dell'ipocentro, e non alle proiezioni in superficie. Tuttavia, è da segnalare come le distanze in oggetto siano di difficile valutazione e di scarsa reperibilità nei database a disposizione, per cui molti studi si ritrovano a dover utilizzare misure più semplici, come la distanza epicentrale, soggette ad ovvie limitazioni in quanto non tengono conto della profondità del sisma.

Anche in questo lavoro si utilizza, in tutte le sedi, la distanza epicentrale, e in generale la distanza fra due punti viene misurata sulla superficie terrestre (o meglio, sulla sua ideale rappresentazione) e non in linea retta.

7.4 Misure di magnitudo

Diverse sono le modalità di misura dell'intensità di un evento sismico. Si riportano le 3 più comunemente usate, e di maggior rilievo.

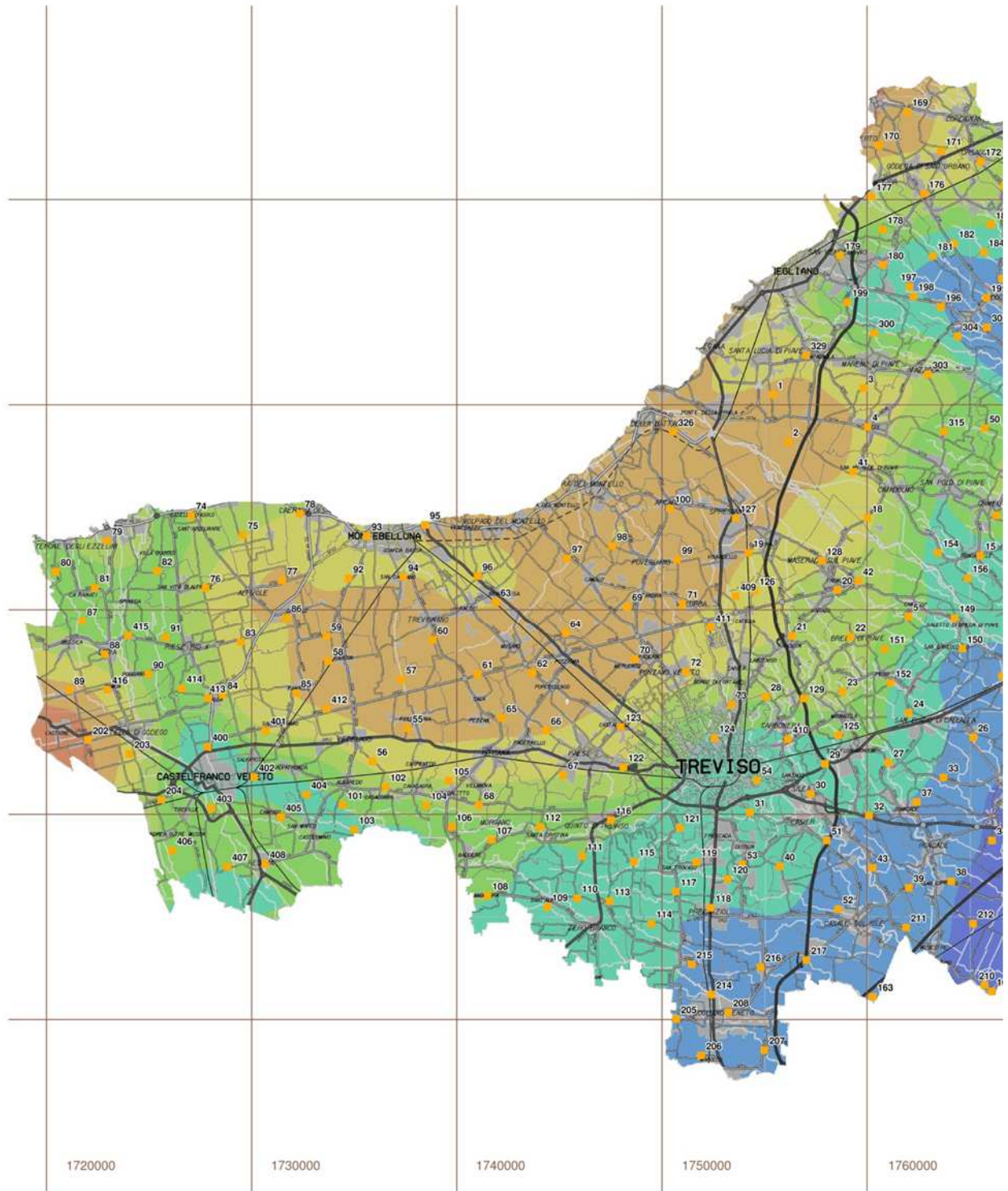
La **magnitudo Richter** è una misura dell'ampiezza del movimento registrato al suolo. Ovviamente l'intensità dell'evento dipende dalla distanza, per cui è necessaria una correlazione per correggere i dati misurati dai sismografi per tener conto della distanza dall'epicentro. Questa misura è facilmente ricavabile dal semplice sismogramma. Essa fa uso di una scala logaritmica, in cui un aumento di un grado rappresenta un aumento di intensità pari a 10 volte.

La **magnitudo momento** misura la quantità di energia rilasciata dal sisma, calcolata come prodotto fra spostamento della faglia, area di rottura e rigidità del suolo coinvolto. Anch'essa fa uso di una scala logaritmica, non più però a base decimale: ad ogni aumento di grado corrisponde ad un aumento di 32 volte nell'energia rilasciata. È ovviamente di più complessa determinazione rispetto alla magnitudo Richter.

La **scala Mercalli** è invece una scala di tipo empirico, che correla l'intensità del sisma con i danni sugli edifici coinvolti, basandosi anche su considerazioni storiche. È evidente l'insufficienza di questo approccio non appena vi siano differenze costruttive sostanziali fra edifici di zone diverse, che peraltro non permette valutazione alcuna nel caso di zone disabitate: la si riporta solo come esempio storico.

Per quanto riguarda ciò che si è visto in questo lavoro, in tutte le sedi si fa uso della magnitudo momento.

7.5 Cartografia Sismica della Pianura della Provincia di Treviso





LEGENDA:



TITOLO:
Cartografia sismica della pianura della Provincia di Treviso

SOTTOTITOLO:
Mappa della Vs30

COMMITTENTE:
PROVINCIA DI TREVISO
Provincia di Treviso
Settore Ambiente e Pianificazione Territoriale - Dirigente dr. avv. C. Rapicavoli
Servizio Urbanistica, Pianificazione Territoriale e SITI - Dirigente dr. arch. M. Paroli
Servizio Ecologia e Ambiente - Dirigente dr. gen. S. Bazzani

AFFIDATARIO:
OGS ISTITUTO NAZIONALE di OCEANOGRAFIA e di GEOFISICA SPERIMENTALE **Adstra**

PROGETTO:
Piano territoriale di coordinamento della Provincia di Treviso

DATA:
aprile 2007

CODICE COMMESSA: _____ SCALA: **1: 100.000**

PROVINCIA: **Treviso** COMUNE: _____

TAVOLA: **Tavola C** FILE: **2007_39_Tavola_C_01**

7.6 Tabella calcolo perdite dirette

ID	IBRID	EXTERNALID	CAT	LONG	LAT	DISTANCE	Ag	Sa	D MEDIO	D MEDIO	ADEG	MAT	COSTO RICOSTRUZ	LUNGH	LARGH	AREA	Note	COSTO	COSTO CON ADEG
						[km]	[m/s ²]	[m/s ²]					[€/m ²]	[m]	[m]	[m ²]			
294		80447	3	12°09'59"	45°38'41"	6.60	0.81	0.98	0.13		0.00	CLS	1400	21	10	210		€ 588.00	€ 0.00
297		57917	5	12°09'50"	45°38'33"	6.88	0.78	0.95	0.07		0.00	CLS	1400	12	10	120		€ 336.00	€ 0.00
374		55458	3	12°17'59"	45°39'04"	4.76	1.02	1.31	0.07		0.00	CLS	1400	30	10	300		€ 840.00	€ 0.00
377		57170	3	12°17'55"	45°39'04"	4.68	1.02	1.33	0.07		0.07	CLS	1400	31	10	310		€ 1,736.00	€ 868.00
3038		67361	7	12°16'47"	45°32'08"	15.08	0.27	0.62	0.07		0.00	CLS	1400	63	6	378	su autostrada	€ 1,058.40	€ 0.00
3061		80749	7	12°18'50"	45°33'21"	13.69	0.32	0.73	0.13		0.00	CLS	1400	40	8	320	su autostrada	€ 896.00	€ 0.00
3066		67865	7	12°21'37"	45°35'00"	13.12	0.34	0.79	0.07		0.00	CLS	1400	10	12.5	125	autostrada	€ 350.00	€ 0.00
3327		70987	11	12°16'29"	45°34'05"	11.46	0.43	0.96	0.20		0.00	ACCIAIO	800	18	16.5	297	autostrada	€ 1,742.40	€ 0.00
3328		42092	3	12°23'15"	45°36'05"	13.44	0.33	0.75	0.27		0.00	CLS	1400	11	16.5	181.5	autostrada	€ 2,371.60	€ 0.00
3366		42747	3	12°18'44"	45°38'10"	6.43	0.83	1.07	0.07		0.00	CLS	1400	99	16.5	1633.5	autostrada	€ 4,573.80	€ 0.00
3382		60885	7	12°14'31"	45°39'00"	2.12	1.29	1.62	0.53		0.00	CLS	1400	225	12.5	2812.5	tangenziale	€ 57,750.00	€ 0.00
3383		60886	7	12°14'31"	45°39'59"	0.33	1.31	1.65	0.20		0.00	CLS	1400	225	12.5	2812.5	tangenziale	€ 15,750.00	€ 0.00
3388		61797	7	12°13'55"	45°39'05"	2.17	1.28	1.63	0.53		0.00	CLS	1400	63	12.5	787.5	tangenziale	€ 30,870.00	€ 0.00
3389		46614	7	12°13'55"	45°39'04"	2.20	1.28	1.62	0.20		0.13	CLS	1400	67	12.5	837.5	tangenziale	€ 10,943.33	€ 6,253.33
3392		63388	7	12°12'59"	45°39'12"	2.76	1.23	1.57	0.20		0.07	CLS	1400	48	12.5	600	tangenziale	€ 7,840.00	€ 1,680.00
3393		63387	7	12°12'59"	45°39'11"	2.78	1.23	1.56	0.60		0.07	CLS	1400	47	12.5	587.5	tangenziale	€ 65,251.67	€ 1,645.00
3398		45510	7	12°11'39"	45°39'58"	3.88	1.11	0.99	0.07		0.00	CLS	1400	123	12.5	1537.5	tangenziale	€ 4,305.00	€ 0.00
3399		45511	7	12°11'38"	45°39'58"	3.90	1.11	0.99	0.07		0.00	CLS	1400	123	12.5	1537.5	tangenziale	€ 4,305.00	€ 0.00
3400		56383	7	12°11'35"	45°40'03"	3.96	1.11	0.98	0.13		0.00	CLS	1400	52	12.5	650	tangenziale	€ 5,460.00	€ 0.00
3408		69408	5	12°14'42"	45°40'12"	0.14	1.37	1.24	0.07		0.00	CLS	1400	33	18	594	centro a TV	€ 1,663.20	€ 0.00
3432		45353	7	12°20'09"	45°36'14"	10.16	0.51	1.13	0.07		0.00	CLS	1400	95	10	950		€ 2,660.00	€ 0.00
Totali:																	€ 221,290.40	€ 10,446.33	

7.7 Codice di calcolo

Modulo utility

Il modulo utility contiene funzioni utilizzate in tutto il database: frutto del lavoro di persone precedenti, nel corso di questo progetto è stato tuttavia ampiamente manipolato e modificato al fine di rendere le funzioni compatibili con le nuove o modificate parti del sistema. Se ne riporta quindi il listato completo.

```
Option Compare Database
```

```
Public Function calcolaValoreMedio(d1 As Double, d2 As Double, d3 As Double, d4 As Double, val1 As Double, val2 As Double, val3 As Double, val4 As Double) As Double
calcolaValoreMedio = (val1 / d1 + val2 / d2 + val3 / d3 + val4 / d4) / (1 / d1 + 1 / d2 + 1 / d3 + 1 / d4)
'Funzione che consente di calcolare il valore dei parametri ag, Fo e Tc del ponte in funzione dei valori sui 4 nodi vicini della mappa sismica'
End Function
```

```
Public Function calcolaSkew(alfa As Double) As Double
calcolaSkew = (Sin((90 - alfa) * (3.1416 / 180))) ^ 0.5
'Funzione per il calcolo parametro Kskew, funzione della sghembatura del ponte'
End Function
```

```
Public Function calcolaK3d(classe As Integer, campate As Integer) As Double
'Funzione per il calcolo del parametro K3D, che tiene conto degli effetti tridimensionali sul ponte'
```

```
Select Case classe
Case 3, 4, 7, 8, 12
' formula per il caso categoria RiskUE 3,4,7,8,12 '
calcolaK3d = (1 + (0.25 / (campate - 1)))
Case 1, 2, 5, 9
' formula per il caso categoria RiskUE 1,2,5,9 '
calcolaK3d = (1 + (0.33 / campate))
Case 6, 10, 14, 11
' formula per il caso categoria RiskUE 6,10,11,14 '
calcolaK3d = (1 + (0.33 / (campate - 1)))
Case 13
' formula per il caso categoria RiskUE 13 '
calcolaK3d = (1 + (0.05 / campate))
Case 15
' formula per il caso categoria RiskUE 15 '
calcolaK3d = 1
Case Else
calcolaK3d = 1000000
End Select
```

```
End Function
```

```
Public Function calcolaSS(ag_ponte As Double, Fo_ponte As Double, Tc_ponte As Double, Terreno As String) As Double
```

```
Select Case Terreno
Case "A"
calcolaSS = 1
Case "B"
calcolaSS = 1.4 - (0.4 * Fo_ponte * (ag_ponte / 9.81))
```

```

        If calcolaSS > 1.2 Then calcolaSS = 1.2
    Case "C"
        calcolaSS = 1.7 - (0.6 * Fo_ponte * (ag_ponte /
9.81))
        If calcolaSS > 1.5 Then calcolaSS = 1.5
    Case "D"
        calcolaSS = 2.4 - (1.5 * Fo_ponte * (ag_ponte /
9.81))
        If calcolaSS > 1.8 Then calcolaSS = 1.8
    Case Else
        calcolaSS = 0
End Select

'Funzione per il calcolo del coefficiente di amplificazione
stratigrafica, relativo al sottosuolo'
End Function

Public Function calcolaCc(Tc_ponte As Double, Terreno As String) As
Double

Select Case Terreno
    Case "A"
        calcolaCc = 1
    Case "B"
        calcolaCc = 1.1 * (Tc_ponte) ^ (-0.2)
    Case "C"
        calcolaCc = 1.05 * (Tc_ponte) ^ (-0.33)
    Case "D"
        calcolaCc = 1.25 * (Tc_ponte) ^ (-0.5)
    Case Else
        calcolaCc = 0
End Select

'Funzione per il calcolo del coefficiente funzione della categoria di
sottosuolo'
End Function

Public Function calcolaSa_03s(ag_ponte As Double, Fo_ponte As Double,
Fattore_Struttura As Double, SS As Double, ST As Double) As Double
calcolaSa_03s = (ag_ponte * SS * ST * (1 / Fattore_Struttura) *
Fo_ponte) / 9.81
'Funzione per il calcolo dell'accelerazione spettrale a 0,3s'
End Function

Public Function calcolaSa_1s(ag_ponte As Double, Fo_ponte As Double,
Fattore_Struttura As Double, SS As Double, ST As Double, Tc_ponte As
Double, Cc As Double) As Double
calcolaSa_1s = (ag_ponte * SS * ST * (1 / Fattore_Struttura) *
Fo_ponte * (Tc_ponte * Cc)) / 9.81
'Funzione per il calcolo dell'accelerazione spettrale a 1s'
End Function

Public Function calcolaMINOR_AVERAGE(classe As Integer, min_Kshape_num
As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di danno
lieve'

Select Case classe
    Case 1, 2
        ' formula per il caso categoria RiskUE 1,2 '
        calcolaMINOR_AVERAGE = 0.8 * min_Kshape_num
    Case 3, 7, 11
        ' formula per il caso categoria RiskUE 3,7,11 '
        calcolaMINOR_AVERAGE = 0.25
    Case 4, 8, 12

```

```

' formula per il caso categoria RiskUE 4,8,12 '
  calcolaMINOR_AVERAGE = 0.5
Case 5
' formula per il caso categoria RiskUE 5 '
  calcolaMINOR_AVERAGE = 0.35
Case 6
' formula per il caso categoria RiskUE 6 '
  calcolaMINOR_AVERAGE = 0.6
Case 9
' formula per il caso categoria RiskUE 9 '
  calcolaMINOR_AVERAGE = 0.6 * min_Kshape_num
Case 10, 14
' formula per il caso categoria RiskUE 10,14 '
  calcolaMINOR_AVERAGE = 0.9 * min_Kshape_num
Case 13
' formula per il caso categoria RiskUE 13 '
  calcolaMINOR_AVERAGE = 0.75 * min_Kshape_num
Case 15
' formula per il caso categoria RiskUE 15 '
  calcolaMINOR_AVERAGE = 0.8
Case Else
  calcolaMINOR_AVERAGE = 1000000
End Select
End Function

```

```

Public Function calcolaMODERATE_AVERAGE(classe As Integer, Kskew As
Double, K3D As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di danno
moderato'

```

```

Select Case classe
Case 1, 2
' formula per il caso categoria RiskUE 1,2 '
  calcolaMODERATE_AVERAGE = Kskew * K3D
Case 3, 7, 11
' formula per il caso categoria RiskUE 3,7,11 '
  calcolaMODERATE_AVERAGE = 0.35 * Kskew * K3D
Case 4, 8, 12
' formula per il caso categoria RiskUE 4,8,12 '
  calcolaMODERATE_AVERAGE = 0.8 * Kskew * K3D
Case 5
' formula per il caso categoria RiskUE 5 '
  calcolaMODERATE_AVERAGE = 0.45 * Kskew * K3D
Case 6, 9, 10, 14
' formula per il caso categoria RiskUE 6,9,10,14 '
  calcolaMODERATE_AVERAGE = 0.9 * Kskew * K3D
Case 13
' formula per il caso categoria RiskUE 13 '
  calcolaMODERATE_AVERAGE = 0.75 * Kskew * K3D
Case 15
' formula per il caso categoria RiskUE 15 '
  calcolaMODERATE_AVERAGE = 1 * K3D
Case Else
  calcolaMODERATE_AVERAGE = 1000000
End Select
End Function

```

```

Public Function calcolaEXTENSIVE_AVERAGE(classe As Integer, Kskew As
Double, K3D As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di danno
esteso'

```

```

Select Case classe
Case 1, 2
' formula per il caso categoria RiskUE 1,2 '
  calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 1.2 * Kskew * K3D

```

```

Case 3, 7, 11
' formula per il caso categoria RiskUE 3,7,11 '
  calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 0.45 * Kskew * K3D
Case 4, 8, 9, 10, 12, 14
' formula per il caso categoria RiskUE 4,8,9,10,12,14 '
  calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 1.1 * Kskew * K3D
Case 5
' formula per il caso categoria RiskUE 5 '
  calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 0.55 * Kskew * K3D
Case 6
' formula per il caso categoria RiskUE 6 '
  calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 1.3 * Kskew * K3D
Case 13
' formula per il caso categoria RiskUE 13 '
  calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 0.75 * Kskew * K3D
Case 15
' formula per il caso categoria RiskUE 15 '
  calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 1.2 * K3D
Case Else
  calcolaEXTENSIVE_AVERAGE = 1000000
End Select
End Function

Public Function calcolaCOMPLETE_AVERAGE(classe As Integer, Kskew As
Double, K3D As Double) As Double
'Funzione per il calcolo della media relativa allo stato di collasso'

Select Case classe
Case 1, 2, 4, 8, 12
' formula per il caso categoria RiskUE 1,2,4,8,12 '
  calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1.7 * Kskew * K3D
Case 3, 7, 11
' formula per il caso categoria RiskUE 3,7,11 '
  calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 0.7 * Kskew * K3D
Case 5
' formula per il caso categoria RiskUE 5 '
  calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 0.8 * Kskew * K3D
Case 6
' formula per il caso categoria RiskUE 6 '
  calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1.6 * Kskew * K3D
Case 9, 10, 14
' formula per il caso categoria RiskUE 9,10,14 '
  calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1.5 * Kskew * K3D
Case 13
' formula per il caso categoria RiskUE 13 '
  calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1.1 * Kskew * K3D
Case 15
' formula per il caso categoria RiskUE 15 '
  calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1.7 * K3D
Case Else
  calcolaCOMPLETE_AVERAGE = 1000000
End Select
End Function

Public Function calcolaCLASSE_ADEGUATA(classe As Integer) As Integer
'Funzione per il passaggio dalla classe originale a quella di ponte
adeguato sismicamente'

Select Case classe
Case 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13
' formula per il caso categoria RiskUE 1,3,5,7,9,11,13 '
  calcolaCLASSE_ADEGUATA = classe + 1
Case 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 15
' formula per il caso categoria RiskUE 2,4,6,8,10,12,14,15 '
  calcolaCLASSE_ADEGUATA = classe
Case Else
  calcolaCLASSE_ADEGUATA = -1

```

```

End Select

End Function

' ??
Public Function Esse(tipoTerreno As String)
Select Case tipoTerreno
Case "A"
Esse = 2 * 5
Case "B"
End Select
If tipoTerreno = "A" Then
End If
End Function

Public Function DIST_NORM_CUM(z As Double) As Double
'Funzione che approssima la distribuzione normale che restituisce il
valore di probabilit umulata di superamento'
' per ottenere la distribuzione lognormale, l'argomento da passare  
' LN(Sa/Sa_media)/std_dev

Const c1 = 2.506628
Const c2 = 0.3193815
Const c3 = -0.3565638
Const c4 = 1.7814779
Const c5 = -1.821256
Const c6 = 1.3302744
Dim w As Double, X As Double, y As Double

If z > 0 Or z = 0 Then
w = 1
Else
w = -1
End If

y = 1 / (1 + 0.231649 * w * z)

X = c6
X = y * X + c5
X = y * X + c4
X = y * X + c3
X = y * X + c2
DIST_NORM_CUM = 0.5 + w * (0.5 - (Exp(-z * z / 2) / c1) * y * X)

End Function

Public Function Bridge_Condition(BDI As Double) As String
'Funzione legata a quella scritta successivamente che dice, definiti i
valori limite di BDI, in che condizioni si trova il ponte'

If BDI > 0.7 And BDI <= 1 Then
Bridge_Condition = "Ponte non transitabile"
End If

If BDI <= 0.7 And BDI > 0.35 Then
Bridge_Condition = "Ponte con riduzione funzionalit /span>
End If

If BDI <= 0.35 And BDI >= 0 Then
Bridge_Condition = "Ponte in buone condizioni"
End If

End Function

Public Function MEDIA_PROB(MINOR_PROB As Double, MODERATE_PROB As
Double, EXTENSIVE_PROB As Double, COMPLETE_PROB As Double) As Double

```

```

'Funzione che calcola, per ogni ponte, la media delle
probabilit  associate ai 4 stati di danno (BDI)'

MEDIA_PROB = (0.25 * MINOR_PROB) + (0.25 * MODERATE_PROB) + (0.25 *
EXTENSIVE_PROB) + (0.25 * COMPLETE_PROB)

End Function

Public Function MEDIA_PROB2(MINOR_PROB As Double, MODERATE_PROB As
Double, EXTENSIVE_PROB As Double, COMPLETE_PROB As Double) As Double
'Funzione che calcola, per ogni ponte, la media delle
probabilit  associate ai 4 stati di danno (BDI)'

MEDIA_PROB2 = (0.4 * MINOR_PROB) + (0.3 * MODERATE_PROB) + (0.2 *
EXTENSIVE_PROB) + (0.1 * COMPLETE_PROB)

End Function

Public Function Zero() As Single
Zero = 0#
End Function

```

Modulo Generazione Scenario Sismico

Questo secondo modulo   stato interamente redatto nel corso di questo lavoro, e contiene tutte le funzioni direttamente connesse alla generazione dello scenario sismico. Se ne riporta il listato completo.

```

Option Compare Database
Const PI = 3.14159265358979
Const R = 6362.697 'raggio terrestre a lat=45
Const g = 9.806
Const soglia_Sa = 0.001
Const std_dev = 0.6

'reperisco il fattore di struttura
Private Sub btn_Q_Click()
'dichiaro e apro il database e la tabella
Dim datab As DAO.Database
Dim recordSet As DAO.recordSet
Set datab = CurrentDb
Set Ponti = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO")
Set Caratt_Q =
datab.OpenRecordset("tbl_Caratteristiche_Fattore di Struttura")

' ciclo sui record
While Not Ponti.EOF
Ponti.Edit

Caratt_Q.Index = "PrimaryKey"
Caratt_Q.Seek "=", Val(Ponti!EXTERNALID)
If Caratt_Q.NoMatch Then
MsgBox ("EXT_ID non trovato: " & Ponti!EXTERNALID)
Ponti!Q = 1.5 'default
Else
Ponti!Q = Caratt_Q!Fattore_Struttura 'valore da tabella
End If

Ponti.Update

```

```

        ' Move to the next record and continue the same approach
        Ponti.MoveNext
    Wend

End Sub

' reperisco i parametri spettrali e delle curve di fragilit~Private
Sub btn_param_spettr_Click()

    Dim datab As DAO.Database
    Dim recordSet As DAO.recordSet
    Set datab = CurrentDb
    Set Ponti = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO")
    Set Caratt_spettro = datab.OpenRecordset("ParametriSpettrali_TR475")

    If Me!Check_adequam.Value = False Then ' controllo adeguamento
        Set Caratt_curve = datab.OpenRecordset("tbl_Probab_BDI_ag")
    Else
        Set Caratt_curve = datab.OpenRecordset("tbl_Probab_BDI_ag_Adeg")
    End If

    ' ciclo sui record
    While Not Ponti.EOF
        Ponti.Edit

        Caratt_spettro.Index = "PrimaryKey" 'come indice uso
        PrimaryKey, cio 蠅 XT_ID
        Caratt_spettro.Seek "=", Val(Ponti!EXTERNALID)
        If Caratt_spettro.NoMatch Then
            MsgBox ("EXT_ID non trovato: " & Ponti!EXTERNALID)
            Ponti!AG_ = 0 'default
            Ponti!FO = 0 'default
            Ponti!TC = 0 'default
        Else
            Ponti!AG_ = Caratt_spettro!ag_ponte 'valore da tabella
            Ponti!FO = Caratt_spettro!Fo_ponte 'valore da tabella
            Ponti!TC = Caratt_spettro!Tc_ponte 'valore da tabella
        End If

        Caratt_curve.Index = "PrimaryKey" 'come indice uso PrimaryKey,
        cio 蠅 BRID_ID
        Caratt_curve.Seek "=", Val(Ponti!ID_IBRID)

        If Caratt_curve.NoMatch Then
            MsgBox ("IBR_ID non trovato: " & Ponti!ID_IBRID)
            Ponti!M1 = 0 'default
            Ponti!M2 = 0 'default
            Ponti!M3 = 0 'default
            Ponti!M4 = 0 'default
        Else
            Ponti!M1 = CSng(Replace(Caratt_curve!MINOR_AVERAGE, ",", ""))
            'valore da tabella
            Ponti!M2 = CSng(Replace(Caratt_curve!MODERATE_AVERAGE, ",",
            ", "")) 'valore da tabella
            Ponti!M3 = CSng(Replace(Caratt_curve!EXTENSIVE_AVERAGE, ",",
            ", "")) 'valore da tabella
            Ponti!M4 = CSng(Replace(Caratt_curve!COMPLETE_AVERAGE, ",",
            ", "")) 'valore da tabella
        End If

        Ponti.Update

        ' Move to the next record and continue the same approach
        Ponti.MoveNext
    Wend

End Sub

```



```

' reperisco i parametri del terreno
Private Sub btn_terrain_Click()

    Dim datab As DAO.Database
    Dim recordSet As DAO.recordSet
    Set datab = CurrentDb
    Set Ponti = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO")
    Set Caratt_terr = datab.OpenRecordset("tbl_CaratteristicheTerreno")

    ' ciclo sui ponti
    While Not Ponti.EOF
        Ponti.Edit

        Caratt_terr.Index = "PrimaryKey" 'come indice uso PrimaryKey,
cio 蠅 XT_ID
        Caratt_terr.Seek "=", Val(Ponti!EXTERNALID)
        If Caratt_terr.NoMatch Then
            MsgBox ("EXT_ID non trovato: " & Ponti!EXTERNALID)
            Ponti!SS = 0 'default
            Ponti!ST = 0 'default
            Ponti!CC_ = 0 'default
        Else
            Ponti!SS = Caratt_terr!Terreno_SS 'valore da tabella
            Ponti!ST = Caratt_terr!Terreno_ST 'valore da tabella
            Ponti!CC_ = Caratt_terr!Terreno_Cc 'valore da tabella
        End If

        Ponti.Update

        ' Move to the next record and continue the same approach
        Ponti.MoveNext
    Wend

End Sub

' controllo che i valori siano formalmente corretti
Private Sub btn_check_Click()
'dichiaro e apro il database e la tabella
    Dim datab As DAO.Database
    Dim recordSet As DAO.recordSet
    Set datab = CurrentDb
    Set Ponti = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO")
    Ponti.MoveFirst
    ' ciclo sui record
    While Not Ponti.EOF

        Ponti.Edit

        'controllo coordinate
        Ponti!COORDINATE_NORD = Replace(Trim(Ponti!COORDINATE_NORD),
""", Chr(34)) 'sistemo la stringa
        Ponti!COORDINATE_EST = Replace(Trim(Ponti!COORDINATE_EST),
""", Chr(34)) 'sistemo la stringa
        If (coord_is_good(Ponti!COORDINATE_NORD) = True And
coord_is_good(Ponti!COORDINATE_EST) = True And Ponti!M1 * Ponti!M2 *
Ponti!M3 * Ponti!M4 <> 0) Then
            Ponti!IS_GOOD = True
        Else
            Ponti!IS_GOOD = False
        End If
        Ponti.Update
        ' Move to the next record and continue the same approach
        Ponti.MoveNext
    Wend

End Sub

' calcolo lo scenario sismico
Private Sub btn_scenario_Click()

```

```

'dichiaro e apro il database e la tabella
Dim datab As DAO.Database
Dim recordSet As DAO.recordSet
Set datab = CurrentDb
Set Ponti = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO")

Set Epic = datab.OpenRecordset("SCENARIO_SISMICO_EPICENTRO")

'dichiaro e acquisisco le coordinate target, come stringhe
Dim target_lat As String
Dim target_long As String
Me!text_lat.SetFocus 'necessario avere focus per agire :)
target_lat = Me!text_lat.Text 'direttamente dal form
Me!text_long.SetFocus
target_long = Me!text_long.Text

'dichiaro e calcolo coordinate target
Dim coord_lat As Double
Dim coord_long As Double
'coord_lat = LongLat_to_rad(target_lat)
'coord_long = LongLat_to_rad(target_long)
coord_lat = target_lat / 180 * PI
coord_long = target_long / 180 * PI

'esporto l'epicentro in una tabella per la visualizzazione in ArcMap
Epic.Edit
Epic!ID = 1
Epic!X = coord_long * 180 / PI
Epic!y = coord_lat * 180 / PI
Epic.Update

'calcolo la PGA sull'epicentro
Dim agmax, ag_att As Double
agmax = maxPGA(coord_lat, coord_long)

'dichiaro coordinate singolo ponte
Dim Plat, Plong As Double

' ciclo sui record
While Not Ponti.EOF
    Ponti.Edit

    If Ponti!IS_GOOD = True Then ' Check the flag value
        ' calcolo distanza dall'epicentro
        Plat = LongLat_to_rad(Ponti!COORDINATE_NORD)
        Plong = LongLat_to_rad(Ponti!COORDINATE_EST)
        Ponti!X = Plong * 180 / PI
        Ponti!y = Plat * 180 / PI
        Ponti!distance = DistanceEpicentral(Plat, coord_lat, Plong,
coord_long, R)

        ' calcolo attenuazione
        If Me!Check_Attenuaz.Value = True Then ' controllo uso
attenuazione

            ag_att = Attenuaz_BS05(agmax / g, Ponti!distance) * g
            If ag_att < Ponti!AG_ Then 'metto il minimo fra
l'attenuata e quella da mappa
                Ponti!AG_ATTENUATA = ag_att
            Else
                Ponti!AG_ATTENUATA = Ponti!AG_
            End If
        Else
            Ponti!AG_ATTENUATA = Ponti!AG_
        End If
    End If
While

```

```

Ponti!AG_ATTENUATA = Ponti!AG_
End If

' calcola accelerazione spettrale
Ponti!SA = calcolaSa_1s(Ponti!AG_ATTENUATA, Ponti!FO,
Ponti!Q, Ponti!SS, Ponti!ST, Ponti!TC, Ponti!CC_) * g
' calcola valori delle curve di fragilit~ If
Ponti!SA < soglia_Sa Then Ponti!SA = soglia_Sa ' filtro accelerazioni
troppo basse
Ponti!FRAG01 = DIST_NORM_CUM(Log(Ponti!SA / g / Ponti!M1)
/ std_dev)
Ponti!FRAG02 = DIST_NORM_CUM(Log(Ponti!SA / g / Ponti!M2)
/ std_dev)
Ponti!FRAG03 = DIST_NORM_CUM(Log(Ponti!SA / g / Ponti!M3)
/ std_dev)
Ponti!FRAG04 = DIST_NORM_CUM(Log(Ponti!SA / g / Ponti!M4)
/ std_dev)

' calcolo livello di danno

'D01
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
Case Is > Ponti!FRAG01
Ponti!D01 = 0
Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
Ponti!D01 = 1
Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
Ponti!D01 = 2
Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
Ponti!D01 = 3
Case Else
Ponti!D01 = 4
End Select
'D02
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
Case Is > Ponti!FRAG01
Ponti!D02 = 0
Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
Ponti!D02 = 1
Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
Ponti!D02 = 2
Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
Ponti!D02 = 3
Case Else
Ponti!D02 = 4
End Select
'D03
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
Case Is > Ponti!FRAG03
Ponti!D03 = 0
Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
Ponti!D03 = 1
Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
Ponti!D03 = 2
Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
Ponti!D03 = 3
Case Else
Ponti!D03 = 4
End Select
'D04
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
Case Is > Ponti!FRAG01
Ponti!D04 = 0
Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
Ponti!D04 = 1
Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
Ponti!D04 = 2

```

```

    Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
      Ponti!D04 = 3
    Case Else
      Ponti!D04 = 4
  End Select
'D05
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D05 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D05 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D05 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D05 = 3
  Case Else
    Ponti!D05 = 4
End Select
'D06
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D06 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D06 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D06 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D06 = 3
  Case Else
    Ponti!D06 = 4
End Select
'D07
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D07 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D07 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D07 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D07 = 3
  Case Else
    Ponti!D07 = 4
End Select
'D08
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D08 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D08 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D08 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D08 = 3
  Case Else
    Ponti!D08 = 4
End Select
'D09
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D09 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D09 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D09 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D09 = 3
  Case Else

```

```

        Ponti!D09 = 4
End Select
'D10
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D10 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D10 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D10 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D10 = 3
  Case Else
    Ponti!D10 = 4
End Select
'D11
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D11 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D11 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D11 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D11 = 3
  Case Else
    Ponti!D11 = 4
End Select
'D12
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D12 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D12 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D12 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D12 = 3
  Case Else
    Ponti!D12 = 4
End Select
'D13
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D13 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D13 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D13 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D13 = 3
  Case Else
    Ponti!D13 = 4
End Select
'D14
Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
  Case Is > Ponti!FRAG01
    Ponti!D14 = 0
  Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
    Ponti!D14 = 1
  Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
    Ponti!D14 = 2
  Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
    Ponti!D14 = 3
  Case Else
    Ponti!D14 = 4
End Select
'D15

```

```

Select Case Rnd ' calcolo Montecarlo_val
Case Is > Ponti!FRAG01
Ponti!D15 = 0
Case Ponti!FRAG02 To Ponti!FRAG01
Ponti!D15 = 1
Case Ponti!FRAG03 To Ponti!FRAG02
Ponti!D15 = 2
Case Ponti!FRAG04 To Ponti!FRAG03
Ponti!D15 = 3
Case Else
Ponti!D15 = 4
End Select

'calcolo danno medio
Ponti!D_MEDIO = (Ponti!D01 + Ponti!D02 + Ponti!D03 +
Ponti!D04 + Ponti!D05 + Ponti!D06 + Ponti!D07 + Ponti!D08 + Ponti!D09
+ Ponti!D10 + Ponti!D11 + Ponti!D12 + Ponti!D13 + Ponti!D14 +
Ponti!D14) / 15

End If

Ponti.Update
' Move to the next record and continue the same approach
Ponti.MoveNext

Wend

End Sub

' converte lat e long da stringhe in radianti
Function LongLat_to_rad(ByVal str As String) As Double
Dim n1, n2 As Integer
Dim deg, primi, secondi As Double
n1 = InStr(1, str, " ")
n2 = InStr(1, str, "'")
deg = CSng(Mid(str, 1, n1 - 1))
primi = CSng(Mid(str, n1 + 1, n2 - n1 - 1))
secondi = CSng(Mid(str, n2 + 1, Len(str) - n2 - 1))
deg = deg + primi / 60 + secondi / 3600
LongLat_to_rad = deg * PI / 180
End Function

' controlla se la stringa contiene i caratteri ' "
Function coord_is_good(ByVal str As String) As Boolean
Dim n1, n2, n3 As Integer
n1 = InStr(1, str, "'")
n2 = InStr(1, str, "\"")
n3 = InStr(1, str, Chr(34))
If (n1 * n2 * n3 = 0) Then
coord_is_good = False
Else
coord_is_good = True
End If
End Function

' calcola distanza euclidea, per test
Function DistanceEuclidea(ByVal lat1 As Double, lat2 As Double, ByVal
long1 As Double, long2 As Double) As Double
DistanceEuclidea = ((lat1 - lat2) ^ 2 + (long1 - long2) ^ 2) ^ 0.5
End Function

' calcola distanza epicentrale, in km
Function DistanceEpicentral(ByVal lat1 As Double, lat2 As Double,
ByVal long1 As Double, long2 As Double, radius As Double) As Double
If lat1 = lat2 And long1 = long2 Then
DistanceEpicentral = 0

```

```

Else
    DistanceEpicentral = ArcCOS(Cos(lat1) * Cos(long1) * Cos(lat2) *
Cos(long2) + Cos(lat1) * Sin(long1) * Cos(lat2) * Sin(long2) +
Sin(lat1) * Sin(lat2)) * radius
End If
End Function

' funzione trigonometrica arccos
Public Function ArcCOS(ByVal nValue As Double, Optional fRadians As
Boolean = True) As Double
    Const PI As Double = 3.14159265359
    ArcCOS = -Atn(nValue / Sqr(1 - nValue * nValue)) + PI / 2
    If fRadians = False Then ArcCOS = ArcCOS * (PI / 180)
End Function

Public Static Function Log10(X)
    Log10 = Log(X) / Log(10#)
End Function

' calcola l'accelerazione attenuata secondo Bragato & Sleyko 2005,
prendendo in input la PGA (in g) a dist=0 e la distanza dall'epicentro
' output in g
Function Attenuaz_BS05(ByVal targetPGA As Double, ByVal dist As
Double)

Const a As Double = -3.27
Const b As Double = 1.95
Const c As Double = -0.202
Const d As Double = -3.11
Const e As Double = 0.00751
Const h As Double = 8.9

Dim m, logPGA As Double
m = PGAtoM_BS05(targetPGA)

If m = 0 Then
    Attenuaz_BS05 = 0
Else
    If dist < 1 Then
        Attenuaz_BS05 = targetPGA
    Else
        logPGA = a + (b + c * m) * m + (d + e * m ^ 3) * Log10((dist ^
2 + h ^ 2) ^ 0.5)
        Attenuaz_BS05 = 10 ^ logPGA
    End If
End If
End Function

' correlazione n-lineare fra targetPGA e M in ingresso alla formula di
Bragato & Slejko 2005, considerando la targetPGA (in g) ad 1 km
dall'epicentro
' migliorabile
Function PGAtoM_BS05(ByVal targetPGA As Double)
Dim PGA_val_Array(1 To 9) As Double
Dim M_val_Array(1 To 9) As Double

PGA_val_Array(1) = 0.003112786
PGA_val_Array(2) = 0.009862451
PGA_val_Array(3) = 0.02666841
PGA_val_Array(4) = 0.062308724
PGA_val_Array(5) = 0.127351147
PGA_val_Array(6) = 0.230527063
PGA_val_Array(7) = 0.374169867
PGA_val_Array(8) = 0.551323268
PGA_val_Array(9) = 0.667536849

M_val_Array(1) = 2.5

```



```

M_val_Array(2) = 3
M_val_Array(3) = 3.5
M_val_Array(4) = 4
M_val_Array(5) = 4.5
M_val_Array(6) = 5
M_val_Array(7) = 5.5
M_val_Array(8) = 6
M_val_Array(9) = 6.3

Select Case targetPGA
Case PGA_val_Array(1) To PGA_val_Array(2)
    PGatoM_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(1)) / (PGA_val_Array(2) -
PGA_val_Array(1)) * 0.5 + M_val_Array(1)

Case PGA_val_Array(2) To PGA_val_Array(3)
    PGatoM_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(2)) / (PGA_val_Array(3) -
PGA_val_Array(2)) * 0.5 + M_val_Array(2)

Case PGA_val_Array(3) To PGA_val_Array(4)
    PGatoM_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(3)) / (PGA_val_Array(4) -
PGA_val_Array(3)) * 0.5 + M_val_Array(3)

Case PGA_val_Array(4) To PGA_val_Array(5)
    PGatoM_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(4)) / (PGA_val_Array(5) -
PGA_val_Array(4)) * 0.5 + M_val_Array(4)

Case PGA_val_Array(5) To PGA_val_Array(6)
    PGatoM_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(5)) / (PGA_val_Array(6) -
PGA_val_Array(5)) * 0.5 + M_val_Array(5)

Case PGA_val_Array(6) To PGA_val_Array(7)
    PGatoM_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(6)) / (PGA_val_Array(7) -
PGA_val_Array(6)) * 0.5 + M_val_Array(6)

Case PGA_val_Array(7) To PGA_val_Array(8)
    PGatoM_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(7)) / (PGA_val_Array(8) -
PGA_val_Array(7)) * 0.5 + M_val_Array(7)

Case PGA_val_Array(8) To PGA_val_Array(9)
    PGatoM_BS05 = (targetPGA - PGA_val_Array(8)) / (PGA_val_Array(9) -
PGA_val_Array(8)) * 0.3 + M_val_Array(8)

Case Else
    PGatoM_BS05 = 0
End Select

End Function

'trova la massima accelerazione epicentrale'
Function maxPGA(ByVal latitude As Double, ByVal longitude As Double)

    Dim datab As DAO.Database
    Dim recordSet As DAO.recordSet
    Set datab = CurrentDb
    Set Mappa = datab.OpenRecordset("Mappa_Sismica_UNIPD")
    Dim dist(1 To 4) As Double
    Dim ag(1 To 4) As Double
    Dim distance As Double

    dist(1) = 10 ^ 9
    dist(2) = 10 ^ 9
    dist(3) = 10 ^ 9
    dist(4) = 10 ^ 9
    ag(1) = -1
    ag(2) = -1
    ag(3) = -1
    ag(4) = -1

```

```

' ciclo sui record
While Not Mappa.EOF
    If Mappa!Time = 475 Then

        Mappa.Edit

        distance = DistanceEpicentral(latitude, Mappa!Lat / 180 * PI,
longitude, Mappa!LON / 180 * PI, R)

        Select Case distance 'trovo i 4 punti pi vicini'
        Case Is < dist(1)
            ag(4) = ag(3)
            ag(3) = ag(2)
            ag(2) = ag(1)
            ag(1) = Mappa!ag
            dist(4) = dist(3)
            dist(3) = dist(2)
            dist(2) = dist(1)
            dist(1) = distance
        Case dist(1) To dist(2)
            ag(4) = ag(3)
            ag(3) = ag(2)
            ag(2) = Mappa!ag
            dist(4) = dist(3)
            dist(3) = dist(2)
            dist(2) = distance
        Case dist(2) To dist(3)
            ag(4) = ag(3)
            ag(3) = Mappa!ag
            dist(4) = dist(3)
            dist(3) = distance
        Case dist(3) To dist(4)
            ag(4) = Mappa!ag
            dist(4) = distance
        Case Else
            distance = distance
        End Select

        Mappa.Update

        End If

        Mappa.MoveNext
Wend

' calcolo il valore finale pesando i dati con l'inverso della
distanza
maxPGA = (ag(1) / dist(1) + ag(2) / dist(2) + ag(3) / dist(3) + ag(4)
/ dist(4)) / (1 / dist(1) + 1 / dist(2) + 1 / dist(3) + 1 / dist(4))

MsgBox (ag(1) & " " & ag(2) & " " & ag(3) & " " & ag(4))
MsgBox (dist(1) & " " & dist(2) & " " & dist(3) & " " & dist(4))
MsgBox (maxPGA)

End Function

Private Sub Combo_Epic_Change()

Dim datab As DAO.Database
Dim recordSet As DAO.recordSet
Set datab = CurrentDb
Set zone = datab.OpenRecordset("Zone_Sismogenetiche")
zone.MoveFirst
While Not zone.EOF
    If zone!ID = Combo_Epic.Value Then

```

```
        text_long.SetFocus
        text_long.Text = zone.Long
        text_lat.SetFocus
        text_lat.Text = zone.Lat

    End If
    zone.MoveNext
Wend
End Sub

Private Sub Detail_Click()
End Sub
```


8. BIBLIOGRAFIA

- *Norme Tecniche per le Costruzioni*, D.M. 14 gennaio 2008, relativa circolare esplicativa e successivi aggiornamenti
- Autori vari, 2004, *RISK-UE An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*, Report n° GTR-RSK 0101-152av7
- Carturan F., A.A. 2008-2009, *Valutazione della priorità di adeguamento sismico dei ponti*, tesi di laurea, relatori Prof. Ing. Modena C., correlatori Dott. Ing. Pellegrino C., Ing. Rossi R., Università di Padova
- Zanini M. A., A.A. 2010-2011, *Effetti del degrado sulla vulnerabilità sismica di manufatti di attraversamento ricorrenti*, tesi di laurea relatori Prof. Ing. Modena C., Prof. Ing. Pellegrino C., correlatore Ing. Carturan F., Università di Padova
- Majorana C., Modena C., Franchetti P., Grendene M. ,Secchi S., 2007, *Fondamenti di dinamica e di ingegneria sismica*, ed. McGraw-Hill
- Shan D., Fu C., Li Q., 2010, *Application of database technology in bridge condition assessment*, Southwest Jiatong University, Chengdu, China
- P. Mouroux, B. Le Brun, *Presentation of RISK-UE Project*, Bull Earthquake Eng (2006) 4:323–339, 2006
- M.G. Karlaftis, K.L. Kepaptsoglou, S. Lambropoulos, *Fund Allocation for Transportation Network Recovery Following Natural Disasters*, 2007
- G. Augusti, M. Ciampoli, *Multi-Objective Optimal Allocation of Resources to Increase the Seismic Reliability of Highways*, Mathematical Methods of Operations Research (1998) 47:131 164, 1998
- G. Augusti, M. Ciampoli, *Optimal planning of retrofitting interventions on bridges in a highway network*, Engineering Structures, Vol. 20, No. 11, pp. 933–939, 1998
- M. Shinozuka, Y. Murachi, X. Dong, Y. Zhou, M. Orlikowski, *Effect of seismic retrofit of bridges on transportation networks*, Earthquake Engineering and Engineering Vibration Vol.2, N.2, 2003
- M. Shinozuka, N. Shiraki, J.E. Moore, S.E. Chang, H. Kameda, S. Tanaka, *System Risk Curves: Probabilistic Performance Scenarios for Highway Networks Subject to Earthquake Damage*, Journal of Infrastructure Systems, pp. 43-54. , 2007

- Zentner , A. Nadjarian N. Humbert,E. Viallet, *Numerical calculation of fragility curves for probabilistic seismic risk assessment*, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China, 2008
- J. J. Bommer , P. J. Stafford ,S. Akkar, *Current empirical ground-motion prediction equations for Europe and their application to Eurocode 8*, Bull Earthquake Eng (2010) 8:5–26, 2010
- J. Douglas, *Ground-motion prediction equations 1964–2010*, Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2011
- P. L. Bragato, D. Slejko, *Empirical Ground-Motion Attenuation Relations for the Eastern Alps in the Magnitude Range 2.5–6.3*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 95, No. 1, pp. 252–276, 2005
- P. L. Bragato, *Assessing Regional and Site-Dependent Variability of Ground Motions for ShakeMap Implementation in Italy*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 99, No. 5, pp. 2950–2960, 2009
- N. N. Ambraseys, J. Douglas, S. K. Sarma, P. M. Smit, *Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration*, Bulletin of Earthquake Engineering (2005) 3:1–53, 2005
- K. W. Campbell, Y. Bozorgnia, *Next Generation Attenuation (NGA) empirical ground motion equations: can they be used in Europe?*, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 2006
- K. Kawashima, K. Aizawa, K. Takahashi, *Attenuation of peak ground motion and absolute acceleration response spectra*
- L.Peruzza, *Macroseismic intensity versus distance: constraints to the attenuation model*, Transactions on the Built Environment vol 14, 1995
- G. Gandori, A. Drei, E. Garavaglia, C. Molina, *A new attenuation law of macroseismic intensity*, 9th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 2, 1988
- N.P. Theodulidis, B.C. Papazachos, *Dependence of strong ground motion on magnitude-distance, site geology and macroseismic intensity for shallow earthquakes in Greece: I, Peak horizontal acceleration, velocity and displacement*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 11 387-402., 1992
- E. Faccioli, *Seismic hazard assessment for derivation of earthquake scenarios in Risk-UE*, Bull Earthquake Eng (2006) 4:341–364, 2006

- N.N. Ambraseys, J.J. Bommer, *On the attenuation of ground accelerations in Europe*, Earthquake Engineering, 10th World Conference, 1992
- R. K. McGuire, *Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes: Closing the Loop*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 85, No. 5, pp. 1275-1284, 1995
- P. L. Bragato, A. Govoni, D. Slejko, *Attenuazione dell'accelerazione di picco orizzontale nell'area friulana*, GNGTS – Atti del 18° Convegno Nazionale, 2005
- N. N. Ambraseys, K. A. Simpson, J. J. Bommer, *Prediction of horizontal response spectra in Europe*, Earthquake engineering and structural dynamics, Vol. 25, 371-400, 1996
- N.N. Ambraseys et al., *Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: Vertical peak ground acceleration and spectral acceleration*, Bulletin of Earthquake Engineering 3, 1 (2005) 55-73, 2005
- Humbert N. and Viallet E., *An Evaluation of epistemic and random uncertainties included in attenuation relationship parameters*, 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, Beijing, China, 2008
- J.J. Bommer, J. E. Alarcon, *The prediction and use of peak ground velocity*, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 1 (2006) 1–31, 2006
- L. Peruzza, A. Rebez, D. Slejko, *Seismic Hazard Mapping for Administrative Purposes*, Natural Hazards 23: 431–442, 2001
- C. Meletti, E. Patacca, P. Scandone, *Construction of a Seismotectonic Model: The Case of Italy*, Pure appl. geophys. 157 (2000) 11–35, 2000
- Slejko, Rebez, Santulin, *Seismic hazard estimates for the Vittorio Veneto broader area (NE Italy)*, 2008
- R. Francese, A. Bondesan, J. Centonze, N. Wardell, *Cartografia sismica della pianura della Provincia di Treviso*, Piano Territoriale di Coordinamento (PTCP) della Provincia di Treviso, 2007
- G.M. Verderame, F. De Luca, M.T. De Risi, C. Del Gaudio, P. Ricci, *A three level vulnerability approach for damage assessment of infilled RC buildings: The Emilia 2012 case*, 2012