UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

CONTRIBUTO ALLO SVILUPPO DI UN DATABASE INTEGRATO PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' SISMICA DI PONTI NELL'AMBITO DI RETI STRADALI

RELATORI*:* *Prof. Ing. Carlo Pellegrino*
Prof. Ing. Riccardo Rossi

CORRELATORE: *Ing. Mariano Angelo Zanini*

LAUREANDO: *Niccolò Perazzolo Gallo*

ANNO ACCADEMICO 2011 – 2012

Alla mia famiglia
Ad Anna
A tutti coloro che mi vogliono bene

INDICE

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE **13**

CAPITOLO 2: RISCHIO SISMICO **17**

2.1 Introduzione 17

2.2 Pericolosità, esposizione, vulnerabilità e rischio sismico: definizioni e legami 18

2.2.1 Analisi di tipo probabilistico e di tipo deterministico 20

2.3 Utilizzo del GIS per a rappresentazione e la simulazione del rischio sismico 21

2.3.1 Analisi di tipo probabilistico e di tipo deterministico 21

2.3.1.1 Acquisizione dei dati 22

2.3.1.2 Elaborazioni 22

2.3.1.3 Rappresentazioni tematiche 23

CAPITOLO 3: INQUADRAMENTO TEORICO DEL PROBLEMA **25**

3.1 Metodo Hazus 25

3.1.1 Metodologie per la previsione dei sismi 30

3.1.2 Danni diretti alle linee di trasporto 31

3.1.3 Perdite economiche 36

3.2 Metodo Risk-UE 38

3.2.1 Obiettivi del progetto 39

3.2.1.1 Obiettivi strategici 39

3.2.1.2 Obiettivi scientifici 40

3.2.2 Organizzazione del progetto 42

3.2.2.1 WP2 Manuale di base degli scenari di terremoto 42

3.2.2.2 WP6 Vulnerabilità degli impianti e delle strutture essenziali 43

3.2.3 Stima del rischio sismico delle reti di trasporto 44

3.2.3.1 Sistema di trasporto 47

3.2.3.2 Vulnerabilità dei ponti 48
3.3 Studi precedenti 52
3.3.1 Curve di fragilità 52
3.3.2 Costruzione del database 53
3.3.3 Contributo di Shinozuka 56

CAPITOLO 4: PROCEDURA GENERALE **59**
4.1 Informazioni 59
4.2 Programmi utilizzati 60
4.2.1 Procedura seguita in ArcGIS 10 60
4.2.2 Procedura seguita in Access 2010 64
4.3 Scenari sismici 65
4.4 Fragilità dei ponti 67
4.5 Danni alle infrastrutture 71
4.6 Danni agli archi della rete 72
4.7 Adeguamento sismico 73
4.7.1 Allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato 73
4.7.2 Vincoli aggiuntivi realizzati con barre e cavi 75
4.7.3 Ritegni longitudinali e trasversali 77
4.7.4 Rinforzo delle pile 78
4.7.5 Rinforzo dei traversi 80
4.7.6 Isolamento e smorzamento 82

CAPITOLO 5: AUTOMATIZZAZIONE DELLA PROCEDURA ***8*5**
5.1 Catalogazione dei ponti *8*5
5.2 Importazione della mappa sismica 92
5.3 Curve di fragilità 99
5.3.1 Termine legato al fattore di struttura 104
5.3.2 Termini legati al terreno 107
5.3.3 Costruzione grafica delle curve di fragilità 109
5.4 Adeguamento sismico 111
5.5 Scenario limite 121

5.6 Implementazione di terremoti del passato 129
5.6.1 Sisma nelle Prealpi Venete 129
5.6.2 Sisma in Emilia 139

CAPITOLO 6: SVILUPPI FUTURI 159
6.1 Generazione casuale degli scenari sismici 159
6.2 Metodo Monte Carlo 160
6.2.1 Generalità sul metodo Monte Carlo 161
6.2.2 Applicazione del metodo al caso dei ponti 162
6.3 Danno agli archi della rete 164
6.4 Simulazione degli effetti sul sistema viario 166
6.4.1 Caratteristiche dell'algoritmo di Frank e Wolfe 166
6.4.2 Fasi per la simulazione 168
6.5 Priorità di adeguamento 169
6.5.1 Metodo diretto 169
6.5.2 Algoritmi genetici 171
6.5.2.1 Descrizione generale dell'algoritmo 171
6.5.3 Metodo step-wise 172

CAPITOLO 7: CONCLUSIONI 175

APPENDICE A: DESCRIZIONE DEI PROGRAMMI UTILIZZATI 187
A.1 Microsoft Access 2010 187
A.1.1 Formato dati 187
A.1.2 Utilizzi possibili 187
A.1.3 Memorizzazione dati 188
A.1.4 Sviluppo progetti 190
A.1.5 Versione 2010 191
A.2 ESRI ArcGIS 10 198
A.2.1 Storia del prodotto 199
A.2.2 Geodatabase 201

A.2.3 Componenti 203
A.2.4 Estensioni 204
A.2.5 Versione 10 204

APPENDICE B: TIPOLOGIA DI COORDINATE **207**
B.1 Latitudine e longitudine 209
B.2 I fusi orari 210
B.3 Le coordinate geografiche 211
B.3.1 Come calcolare le coordinate geografiche 212
B.4 Le coordinate UTM 213
B.5 Differenze tra sistemi di coordinate 215
B.5.1 Differenze tra UTM-WGS84 e Gauss-Boaga (Roma40) 218
B.5.2 Convenienza nell'uso del SdR UTM-WGS84 218
B.5.3 Trasformazioni tra i sistemi di riferimento cartografici 219

BIBLIOGRAFIA **223**

INDICI DELLE FIGURE E DELLE TABELLE

INDICE DELLE FIGURE

CAPITOLO 3

Fig. 3.1 Danni e perdite a seguito di un terremoto, di una inondazione o di un uragano
Fig. 3.2 Richiesta e capacità nel metodo Hazus
Fig. 3.3 Schematizzazione del modello per valutare le perdite indirette
Fig. 3.4 Città campione del progetto Risk-UE
Fig. 3.5 Diagramma di flusso per l'applicazione della procedura Risk-UE
Fig. 3.6 Disegno della procedura schematica del BirMMS (Bridge Inspection Rating Maintenance and Manegement System)
Fig. 3.7 Schema del trasferimento dei dati
Fig. 3.8 Diagramma di flusso dell'operazione
Fig. 3.9 Configurazione del MIMS (Maintenance Information Management System)
Fig. 3.10 BMMIIES (Bridge Maintenance Management Intelligent Integrated Evaluation System)
Fig. 3.11 Parametri associati ai ponti e alle curve di fragilità
Fig. 3.12 Esempio di curve di fragilità per un ponte in calcestruzzo
Fig. 3.13 Stato di danno dei link della rete autostradale di Los Angeles

CAPITOLO 4

Fig. 4.1 Dettaglio di una maglia con le distanza tra i nodi della mappa e del ponte
Fig. 4.2 Valori per il calcolo delle accelerazioni spettrali
Fig. 4.3 Danni di tipo lieve
Fig. 4.4 Danni di tipo moderato
Fig. 4.5 Danni di tipo esteso
Fig. 4.6 Collasso
Fig. 4.7 Curve di fragilità per il Ponte San Felice
Fig. 4.8 Effetto del terremoto di Northridge del 1994
Fig. 4.9 Esempio di selle metalliche su ponti in semplice appoggio

Fig. 4.10 Esempio di travi metalliche su ponti in semplice appoggio

Fig. 4.11 Applicazione di cavi per strutture a cassone

Fig. 4.12 Applicazione di cavi per strutture in semplice appoggio

Fig. 4.13 Esempi di utilizzo di cavi per ponti in semplice appoggio

Fig. 4.14 Esempio di utilizzo di barre per ponti in semplice appoggio

Fig. 4.15 Esempi di utilizzo di ritegni

Fig. 4.16 Schema di impiego dei ritegni

Fig. 4.17 Esempio di confinamento con piatti metallici

Fig. 4.18 Esempio di aumento della sezione con getti in c.a.

Fig. 4.19 Esempio di utilizzo di materiali compositi

Fig. 4.20 Esempio di utilizzo di cavi in acciaio ad alta resistenza

Fig. 4.21 Traversi – Rinforzo con piatti metallici

Fig. 4.22 Traversi – Rinforzo con piatti metallici – Dettaglio del rinforzo

Fig. 4.23 Traversi – Aumento della sezione in c.a.

Fig. 4.24 Traversi – Utilizzo di cavi di precompressione

Fig. 4.25 Traversi – Utilizzo di cavi di precompressione – Dettagli degli ancoraggi

Fig. 4.26 Dispositivo di isolamento in funzione durante l'esecuzione di un collaudo

Fig. 4.27 Dispositivo di isolamento sismico elastomerico (FIP Industriale)

Fig. 4.28 Dispositivo di isolamento sismico a scorrimento (FIP Industriale)

Fig. 4.29 Dispositivo di isolamento sismico a rotolamento, meccanismi associati

CAPITOLO 5

Fig. 5.1 Tabella classificazione: informazioni generali dei ponti

Fig. 5.2 Tabella classificazione: informazioni di carattere geometrico- strutturale

Fig. 5.3 Tabella classificazione: informazioni di carattere meccanico

Fig. 5.4 Grafo rete Veneto con riportati i ponti catalogati

Fig. 5.5 Mappa di pericolosità sismica

Fig. 5.6 Mappa sismica in ArcMap

Fig. 5.7 Dettaglio del Veneto con i nodi della Mappa Sismica

Fig. 5.8 Tabella riportante i parametri sismici

Fig. 5.9 Query con l'indicazione dei 4 nodi più vicini e le distanze

Fig. 5.10 Query per il calcolo di ag, Fo e T^*_C

Fig. 5.11 Estratto della tabella tbl_Probab_Frag relativo al record ID_IBRID = 2008

Fig. 5.12 Ponte sovrappassante l'Autostrada A4 in prossimità di Torri di Quartesolo

Fig. 5.13 Riduzione del diagramma spettrale all'aumentare del fattore di struttura

Fig. 5.14 Estratto della tabella relativa al fattore di struttura

Fig. 5.15 Tabella relativa ai parametri S_S e C_C

Fig. 5.16 Tabella relativa ai parametri S_T

Fig. 5.17 Estratto della tabella relativa alle caratteristiche del terreno

Fig. 5.18 Curve di fragilità per il ponte IBRID 45

Fig. 5.19 Curve di fragilità per il ponte IBRID 100

Fig. 5.20 Curve di fragilità per il ponte IBRID 158

Fig. 5.21 Estratto della tabella tbl_Probab_Adeg relativo al record ID_IBRID = 200

Fig. 5.22 Curve di fragilità per il ponte IBRID 45 (Adeguamento)

Fig. 5.23 Curve di fragilità per il ponte IBRID 100 (Adeguamento)

Fig. 5.24 Curve di fragilità per il ponte IBRID 158 (Adeguamento)

Fig. 5.25 Curve di fragilità per il ponte IBRID 2008

Fig. 5.26 Curve di fragilità per il ponte IBRID 2008 (Adeguamento)

Fig 5.27 Rete di ponti soggetti ad una Sa(1s) pari a 0,7

Fig 5.28 Rete di ponti soggetti ad una Sa(1s) pari a 0,7 (Caso di adeguamento sismico)

Fig. 5.29 Dettaglio del ponte a Torri di Quartesolo per Sa(1s) = 0,7[g]

Fig. 5.30 Dettaglio del ponte a Torri di Quartesolo per Sa(1s) = 0,7[g] (Adeguamento)

Fig. 5.31 Dettaglio del ponte a Torri di Quartesolo (tratto da Google Maps)

Fig. 5.32 Prima parte della tabella tbl_Probab_BDI_ag

Fig. 5.33 Seconda parte della tabella tbl_Probab_BDI_ag

Fig. 5.34 Terza parte della tabella tbl_Probab_BDI_ag

Fig. 5.35 Rappresentazione grafica delle condizioni dei ponti per la massima ag orizzontale

Fig. 5.36 Rappresentazione grafica delle condizioni dei ponti per la massima ag Orizzontale (Adeguamento)

Fig. 5.37 Scala dell'intensità sismica

Fig. 5.38 Mappa della PGA

Fig. 5.39 Mappa della PGV

Fig. 5.40 Rappresentazione grafica della PGA

Fig. 5.41 Estratto della tabella Ponti_Terremoto_09Giugno2012_Belluno_Condizioni

Fig. 5.42 Visualizzazione delle conseguenze del sisma sui ponti

Fig. 5.43 Dettaglio della rete in corrispondenza dei ponti "sensibili"

Fig. 5.44 Vista del ponte di Soverzene

Fig. 5.45 Vista del ponte tra Palughetto e Borsoi

Fig. 5.46 Vista del ponte tra Borsoi e Lavina

Fig. 5.47 Scala dell'intensità sismica

Fig. 5.48 Mappa della PGA

Fig. 5.49 Mappa della PGV

Fig. 5.50 Mappa della Sa(0,3s)

Fig. 5.51 Mappa della Sa(1s)

Fig 5.52 Rappresentazione grafica della PGA

Fig 5.53 Rappresentazione grafica della Sa(0,3s)

Fig 5.54 Rappresentazione grafica della Sa(1s)

Fig 5.55 1° parte estratto della tabella Ponti_Terremoto_20Maggio2012_Emilia_Condizioni

Fig 5.56 2° parte estratto della tabella Ponti_Terremoto_20Maggio2012_Emilia_Condizioni

Fig 5.57 Visualizzazione delle conseguenze del sisma sui ponti

Fig. 5.58 Dettaglio della rete in corrispondenza dei ponti "sensibili"

Fig. 5.59 Vista del ponte tra Pojana Maggiore e Sossano

Fig. 5.60 Vista del ponte tra Pojana Maggiore e Noventa Vicentina sulla SPXIV

Fig. 5.61 Vista del ponte tra Pojana Maggiore e Noventa Vicentina sulla SPXI

Fig. 5.62 Vista del ponte tra Caselle e Santa Croce

Fig. 5.63 Vista laterale del ponte tra Caselle e Santa Croce

Fig. 5.64 Vista del ponte sulla SR10 in corrispondenza di Ospedaletto Euganeo

Fig. 5.65 Vista laterale del ponte sulla SR10 in corrispondenza di Ospedaletto Euganeo

Fig 5.66 1°parte della tabella Ponti_Terremoto_20Maggio2012_Emilia_Condizioni_Adeg

Fig 5.67 2°parte della tabella Ponti_Terremoto_20Maggio2012_Emilia_Condizioni_Adeg

Fig 5.68 Visualizzazione delle conseguenze del sisma sui ponti (Adeguamento)

Fig. 5.69 Dettaglio della rete in corrispondenza dei ponti "sensibili"(Adeguamento)

CAPITOLO 6

Fig. 6.1 Esempio di calcolo dei parametri di attenuazione

Fig. 6.2 Metodo di Monte Carlo con 1000 lanci a sinistra, 10000 a destra

Fig. 6.3 Esempio IBRID 45

Fig. 6.4 Stati di danno dei link

Fig. 6.5 Riduzione percentuale della funzionalità

Fig. 6.6 Tabella con valori dei parametri α e β

CAPITOLO 7

Fig. 7.1 Curve di fragilità per il ponte IBRID 158

Fig. 7.2 Curve di fragilità per il ponte IBRID 158 (Adeguamento)
Fig. 7.3 Rappresentazione grafica delle condizioni dei ponti per la massima ag orizzontale
Fig. 7.4 Rappresentazione grafica delle condizioni dei ponti per la massima ag orizzontale (Adeguamento)
Fig. 7.5 Mappa della PGA
Fig. 7.6 Visualizzazione delle conseguenze del sisma sui ponti

APPENDICE A

Fig. A.1 Dettaglio della Barra Multifunzione
Fig. A.2 Visualizzazione Backstage
Fig. A.3 Dettaglio sulle Parti di Applicazioni
Fig. A.4 Dettaglio sui Temi di Office
Fig. A.5 Generatore di epressioni
Fig. A.6 Prodotti ArcGIS
Fig. A.7 Schermata di ArcMap
Fig. A.8 Dettaglio della finestra di ArcToolbox con tutte le estensioni

APPENDICE B

Fig. B.1 Globo terrestre
Fig. B.2 Proiezione geografica di Mercatore
Fig. B.3 Proiezione di una sfera su un piano
Fig. B.4 L'Equatore
Fig. B.5 Meridiani e paralleli
Fig. B.6 Mappa dei fusi orari
Fig. B.7 Coordinate geografiche: latitudine e longitudine
Fig. B.8 Rappresentazione del globo terrestre con origine delle coordinate geografiche
Fig. B.9 Rappresentazione di un fuso UTM avente una larghezza di 6°
Fig. B.10 Sistema Gauss-Boaga
Fig. B.11 Sistema UTM-WGS84
Fig. B.12 Sistema UTM-ED50

INDICE DELLE TABELLE

CAPITOLO 3

Tab. 3.1 Estratto del manuale Hazus riportante la classificazione

Tab. 3.2 Coefficienti per valutare K_{3D}

Tab. 3.3 Valori medi delle curve di fragilità della procedura Hazus

Tab. 3.4 Elementi per classificare l'importanza del sistema di trasporto

Tab. 3.5 Tipologie di ponte distinte per materiale e caratteristiche geometrico-strutturali

Tab. 3.6 Valori dei fattori e delle medie modificate per la costruzione delle curve di fragilità

CAPITOLO 5

Tab. 5.1 Tipologie di ponte distinte per materiale e caratteristiche geometrico-strutturali

Tab. 5.2 Valori dei fattori e delle medie modificate per la costruzione delle curve di fragilità

Tab. 5.3 Valori di q_0

CAPITOLO 7

Tab. 7.1 Tipologie di ponte distinte per materiale e caratteristiche geometrico-strutturali

Tab. 7.2 Valori dei fattori e delle medie modificate per la costruzione delle curve di fragilità

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

L'Italia è uno dei paesi a maggior rischio sismico del Mediterraneo per la frequenza dei terremoti che hanno storicamente interessato il suo territorio e per l'intensità che alcuni dei essi hanno raggiunto, determinando un impatto sociale ed economico rilevante. In relazione ad un evento sismico, tra le molte reti di servizio presenti (trasporti, acqua, gas, etc.), le più importanti sono le reti di trasporto (all'interno di questa categoria sono racchiuse le strade, le autostrade, le ferrovie, gli aeroporti e i porti).

Infatti sono indispensabili sia per l'interesse pubblico generale (dal punto di vista commerciale, industriale, culturale) sia nell'arco di tempo immediatamente successivo ad un evento disastroso (devono essere facilitate le operazioni di soccorso e trasferimento dei feriti, di invio dei beni di prima necessità)

Grazie all'esperienza e ai lavori realizzati nelle zone più sollecitate a fenomeni sismici (ad esempio la Corea e il Giappone), si è arrivati alla conferma che i ponti e i viadotti possono essere considerati tra gli elementi più vulnerabili di una rete di trasporto durante un terremoto. A dimostrazione di ciò, è sufficiente pensare alle conseguenza che può avere il crollo di un ponte inserito all'interno di un'arteria di grande scorrimento: oltre al danno in sé, si hanno grossi problemi per quanto riguarda la gestione della rete in attesa del ripristino del ponte.

Quindi la stima della loro vulnerabilità sismica assume una importante rilevanza in modo tale da pianificare soccorsi, costi ed eventuali interventi di manutenzione/adeguamento con la giusta priorità.

Nel corso degli anni sono state realizzate varie procedure di natura empirica e analitica con l'obiettivo di correlare il fenomeno sismico con le conseguenze su ciascun ponte. Conseguenze che vengono espresse in funzione degli stati di danno, in maniera tale da conoscere il livello di danneggiamento che un ponte può subire a causa di un fenomeno sismico e riuscire a stabilire quali strutture hanno la priorità rispetto ad altre. Infatti se, a parità d'intensità sismica agente, un ponte

subisce un danno superiore rispetto ad una altro (appartenente ad una arteria della stessa importanza strategica), allora il primo ponte avrà necessariamente la precedenza di riparazione/ripristino rispetto al secondo.
E' importante osservare che i ponti, di cui si va a valutare la vulnerabilità, sono caratterizzati da diversi parametri (geografici, topografici, geometrici, meccanici) per cui l'analisi va, teoricamente, ripetuta per ogni ponte.
L'obiettivo finale è, oltre a quanto già detto finora, creare un ordine prioritario per quanto riguarda gli interventi strutturali pre-sisma. Infatti è ovviamente fondamentale cercare di prevenire possibili danni, se non addirittura crolli, di questi elementi.
Questi studi possono risultare utilissimi per gli enti preposti alla manutenzione delle reti infrastrutturali, (visto che al giorno d'oggi quello che maggiormente influisce non è la costruzione di nuove reti bensì la gestione di quanto già realizzato) consentendo loro di preparare dei piani di intervento, in maniera tale da ridurre il rischio sismico globale delle reti di trasporto e allo stesso tempo rispettare le condizioni di vincolo di bilancio, imposte dalla limitata disponibilità di risorse economiche presenti, stanziate per il recupero e ripristino delle opere infrastrutturali.
Ad ogni modo in seguito verrà descritto nel dettaglio la procedura dal punto di vista teorico.

Tornando all'analisi della vulnerabilità sismica di ponti e viadotti, lo strumento maggiormente utilizzato per raggiungere l'obiettivo è quello della costruzione delle cosiddette "curve di fragilità", attraverso le quali si esprime la probabilità condizionata di un manufatto di uguagliare o eccedere un prefissato livello di danno per diverse intensità dell'azione sismica. La natura probabilistica del problema è legata all'aleatorietà delle variabili che si considerano, come per esempio l'intensità del sisma atteso e le proprietà dei materiali che costituiscono la struttura portante dell'opera.
Nel corso dell'elaborato verrà fatta una descrizione dettagliata delle curve di fragilità (tipologie, metodo usati per ricavarle ecc…). Come accennato in precedenza, l'analisi deve essere realizzata per ogni ponte, visto che per ciascuno

variano alcuni parametri. Però per conoscere bene il comportamento di una rete infrastrutturale, è necessario conoscere il comportamento sismico almeno dei ponti più significativi. Per questo motivo, in questo lavoro di tesi, si andrà a considerare la rete stradale della regione Veneto (composta dalle strade più significative) e si realizzerà un database contenente i ponti più significativi o quelli già studiati negli anni passati presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale (DICEA) e riportati nel sistema IBRID. L'obiettivo è di trovare una corrispondenza, a livello di codice, tra i ponti riportati nel database appena citato e il grafo stradale inserito all'interno del programma ArcMap. In questa maniera è possibile automatizzare una seria di elaborazioni che, fatte "a mano" per ogni ponte, richiederebbe una grande perdita di tempo e il rischio di errori (per distrazione, di calcolo ecc…)
Inoltre verranno aggiunti ulteriori ponti, di cui si hanno conoscenze adeguate.

Quindi il lavoro consisterà nella stesura iniziale di un database completo che, per ogni ponte catalogato, riporti tutte le informazioni utili e consenta di rappresentare graficamente il comportamento di ciascun ponte singolarmente e nel contesto della rete in cui è inserito.

CAPITOLO 2

RISCHIO SISMICO

2.1 Introduzione

Il terremoto è un evento dannoso che ha spesso come conseguenza la distruzione o il grave danneggiamento di beni materiali e/o che comporta una sostanziale perdita di vite. Questo è certamente uno degli eventi dannosi generati dalle forze della natura più temuto dall'uomo per il gran numero di perdite di vite umane che esso provoca, in particolare, dalle statistiche dei disastri naturali e antropici si evince che è addirittura la principale causa di perdita di vite umane. Certamente l'entità di una catastrofe naturale non dipende solo dalla furia degli elementi, ma anche da fattori di rilevanza umana, quali ad esempio le tecniche di costruzione o la qualità delle misure di prevenzione nella regione interessata. Per questo motivo, per determinare l'impatto che i futuri terremoti potrebbero avere sulle costruzioni presenti in una determinata regione si fa riferimento alla valutazione del "rischio sismico" che richiede un'analisi separata di tre componenti di base: la "pericolosità", la "vulnerabilità", e l' "esposizione" la cui convoluzione definisce il rischio.

Il rischio sismico in un certo intervallo temporale, rappresenta la previsione delle perdite sociali ed economiche attese a seguito del verificarsi di un evento sismico stimato per l'area di riferimento durante tale intervallo temporale.

Seguendo tale approccio la pericolosità (o "hazard"), esprime la probabilità che si verifichi un processo fisico o un evento capace di causare delle perdite di vite umane o di beni; la vulnerabilità esprime la quantità di risorse suscettibili di essere persi in relazione all'evento; l'esposizione rappresenta il valore delle risorse a rischio. Definito così il rischio è intuibile che il verificarsi di un evento catastrofico nel deserto, ad esempio, comporta un rischio praticamente nullo visto che sono pressoché nulli i beni a rischio (esposizione).

Nel caso delle costruzioni, la vulnerabilità sismica di un edificio è la sua suscettibilità ad essere danneggiato da un terremoto e può essere espressa *"dall'insieme delle probabilità di raggiungere una serie di livelli di danneggiamento fino al collasso, valutate in funzione dell'intensità del sisma e condizionate dal suo verificarsi"* (Augusti e Ciampoli, 1999). Di conseguenza la vulnerabilità di un edificio dovrebbe essere definita da una relazione probabilistica tra intensità e livello di danneggiamento, in termini operativi, un'analisi di vulnerabilità deve valutare il danno prodotto da terremoti di varia intensità.
Definiti questi tre termini è necessario stabilire se lo studio viene eseguito a scopo preventivo (analisi di rischio) o per la gestione dell'emergenza (analisi di scenario). La scelta tra analisi di rischio e analisi di scenario dipende dalle finalità dello studio; stabilito il fine, per lo studio della vulnerabilità, cambia anche l'approccio da utilizzare, probabilistico per l'analisi di rischio, deterministico per l'analisi di scenario.

2.2 Pericolosità, esposizione, vulnerabilità e rischio sismico: definizioni e legami

Si definisce rischio, in generale, la probabilità che a causa di un determinato evento un dato sistema funzionale (una persona o una comunità, un edificio o un complesso di costruzioni, un insediamento o una regione), nel corso di un assegnato periodo temporale (un anno, la vita nominale del sistema,…), subisca danni (meccanici, funzionali,…), e da questi derivino perdite per una collettività (coloro che occupano il sistema, gli abitanti di una regione o di una nazione, una classe sociale,…) riguardanti determinate risorse (vite umane, salute, standards, beni economici, valori culturali,…).
Il rischio può essere espresso come la convoluzione della pericolosità detta anche hazard, dell'esposizione e della vulnerabilità.
L'hazard, o anche pericolosità, esprime la probabilità che si verifichi un processo fisico o un evento capace di causare delle perdite di vite umane o di beni; mentre la vulnerabilità esprime la quantità di risorse suscettibili di essere persi in relazione

all'evento, l'esposizione rappresenta il valore i risorse a rischio. Definito così il rischio è intuibile che il verificarsi di un evento catastrofico nel deserto, ad esempio, comporta un rischio praticamente nullo visto che sono pressoché nulli i beni a rischio (esposizione).

Il rischio sismico, in particolare, rappresenta la probabilità che una struttura (sistema funzionale) superi un prefissato stato limite (danno) a causa di un terremoto (evento) nel corso di un assegnato periodo di tempo. Tale definizione è la trasposizione, all'ambito dell'ingegneria sismica, del più generale concetto di affidabilità di un sistema.

Dunque il rischio sismico non è altro che il complemento ad uno dell'affidabilità del sistema strutturale nel periodo di osservazione.

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

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

E' evidente, da quanto sopra, che la condizione 1 tende soprattutto a limitare i danni per le costruzioni, mentre la condizione 2 fa chiaro riferimento alla salvaguardia della vita umana

2.2.1 Analisi di tipo probabilistico e di tipo deterministico

Eseguire un'analisi di vulnerabilità sismica significa valutare la consistenza del costruito diffuso in una data area, sia in termini quantitativi che qualitativi, ed in particolare stimare la sua propensione ad essere danneggiato dal sisma. Una metodologia per l'analisi di vulnerabilità deve quindi precisare come eseguire il censimento, più o meno dettagliato, del costruito e delle sue caratteristiche e definire opportuni modelli che correlino la severità dell'evento sismico con gli effetti in termini di danneggiamento fisico e di perdite, economiche o di vite umane. Eseguita quindi l'analisi di vulnerabilità e nota la pericolosità sismica dell'area in esame, ovvero le caratteristiche dell'evento sismico atteso nella regione, eventualmente differenziate per considerare gli effetti di amplificazione locale (microzonazione), è possibile stimare la distribuzione dei danni al costruito.
Qualora 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*.
Nel caso invece in cui la sismicità sia studiata su base *deterministica*, estraendo da un catalogo di sismicità storica uno o più terremoti significativi o simulando con modelli teorico-numerici i meccanismi di sorgente e la propagazione delle onde sismiche, si esegue *un'analisi di scenario*, ovvero si valutano gli effetti sul territorio a seguito di uno specifico evento sismico.
La scelta tra analisi di rischio e analisi di scenario dipende dalle finalità dello studio. Nel caso di uno studio del territorio a fini preventivi, l'analisi di rischio è preferibile in quanto cumula gli effetti di tutte le potenziali sorgenti sismiche dell'area e fornisce una valutazione comparabile tra i diversi comuni interessati dallo studio. Per analizzare invece gli aspetti di gestione dell'emergenza legati alla protezione civile è più significativa un'analisi di scenario, in quanto riproduce una distribuzione realistica degli effetti sul territorio, fatto che consente di elaborare strategie per il post-terremoto.

2.3 Utilizzo del GIS per la rappresentazione e la simulazione del rischio sismico

2.3.1 Analisi di tipo probabilistico e di tipo deterministico

Un GIS (Sistema Geografico Informatizzato) è uno strumento informatico che consente di archiviare, analizzare, rappresentare e interrogare dati geografici; attraverso il GIS è possibile, inoltre, cogliere le interazioni tra dati con una significativa correlazione spaziale. Per queste sue potenzialità il GIS è l'ambiente ideale all'interno del quale sviluppare un'analisi multidisciplinare quale quella di rischio sismico, che richiede un'analisi integrata tra valutazioni di pericolosità, identificazione dell'esposto e valutazione della vulnerabilità delle costruzioni.
Il (GIS) è una struttura composta da tecnici, strumentazioni hardware, software e procedure che ha lo scopo di acquisire dati, elaborarli e produrre informazioni. Questa struttura viene realizzata nell'ambito di un Ente avente giurisdizione territoriale con compiti di pianificazione ed intervento, il quale utilizza le informazioni prodotte dal GIS per dare massima efficacia alle decisioni che deve prendere.
Scopo del GIS è quello di acquisire dati di conoscenza del territorio, dati sulle strutture su di esso esistenti, dati sulle attività sismiche possibili e rappresentare scenari conseguenti a eventi sismici. In sintesi il GIS deve essere in grado di gestire un'emergenza post-terremoto e cioè: nel momento in cui vengono rese disponibili le caratteristiche (magnitudo e coordinate epicentrali) di un evento sismico, il GIS deve essere in grado di generare in tempo reale una serie di mappe relative al danneggiamento previsto per le infrastrutture in modo da consentire una stima dei tempi di ripristino (reti elettriche) o dei percorsi alternativi (reti viarie) o dei possibili effetti indotti sull'ambiente e sulla popolazione (impianti industriali). Nell'ambito di questo schema concettuale il GIS dovrebbe essere impostato secondo una struttura client-server, e cioè: tutti i dati dovrebbero essere residenti su un server centrale collegato in rete con una serie di possibili utenti.
Il modello concettuale del GIS prevede:

- l'acquisizione dei dati;
- la realizzazione di elaborazioni;
- la possibilità di rappresentazioni tematiche.

2.3.1.1 Acquisizione dei dati

Il modello concettuale del GIS prevede che vengano acquisiti i seguenti dati:
a) Dati di conoscenza del territorio consistenti in:

- cartografia tecnica in formato vettoriale o raster
- cartografia tematica
- terreno digitale
- ortofoto

b) Rete viaria in formato vettoriale
c) Rete delle linee elettriche di alta tensione in formato vettoriale
d) Infrastrutture, rappresentate come entità vettoriali di tipo puntuale
e) Dati descrittivi della rete viaria, delle linee elettriche e delle infrastrutture
f) magnitudo e coordinate epicentrali di un fenomeno sismico
g) la mappa della pericolosità sismica a scala nazionale

2.3.1.2 Elaborazioni

Il modello concettuale del GIS prevede che vengano effettuate le seguenti elaborazioni:
a) calcolo degli effetti di sito relativi ad un fenomeno sismico di magnitudo e coordinate epicentrali dati per un qualsiasi punto del territorio; tale calcolo verrà effettuato in modo più o meno raffinato a seconda dei dati che verranno forniti dagli altri task. Come ipotesi minimale l'effetto di sito in un generico punto P che sia posto a una distanza epicentrale R di un sisma di magnitudo M sarà calcolato con l'espressione:

$$PGA = \frac{0{,}0274 e^{0{,}0704M} e^{0{,}39s}}{D}$$

$$D = \sqrt{R^2 + 5{,}8^2}$$

b) memorizzazione degli effetti di sito calcolati in file di scambio con i programmi predisposti dagli altri task per la valutazione della vulnerabilità delle strutture;
c) acquisizione dei risultati delle elaborazione dei programmi di valutazione della vulnerabilità tramite file di scambio.

2.3.1.3 Rappresentazioni tematiche

Il modello concettuale del GIS prevede che vengano fornite rappresentazioni tematiche consistenti nella visualizzazione dello scenario derivante dai dati forniti dai programmi di valutazione di vulnerabilità.
Il GIS deve essere in grado di gestire due tipi di dati: i dati di tipo cartografico, che costituiscono il *database cartografico*, e i dati descrittivi, che costituiscono il *database descrittivo*. I dati contenuti nei due database sono gestititi da due differenti software che colloquiano tra di loro medianti opportuni motori di interfaccia.
Una delle principali caratteristiche di un GIS è infatti quella di consentire due diversi tipi di interrogazione: nel primo caso si effettua una selezione sul database cartografico e, in funzione di questa, si accede al database descrittivo; nel secondo caso si procede in ordine inverso, cioè si effettua una selezione sul database descrittivo e si accede al database cartografico. Ad esempio, nel primo caso, una selezione sulla cartografia della pericolosità sismica che interroghi sulle zone con pericolosità superiore ad un prefissato livello, consente di individuare nel database descrittivo tutte le opere infrastrutturali comprese in queste zone.
Nel secondo tipo di interrogazione, invece, una selezione sul database descrittivo di una certa tipologia di infrastruttura (ad esempio tutti i ponti a travata con luce superiore a un prefissato valore) chiederà al software di mostrarne l'ubicazione sul database cartografico.

CAPITOLO 3

INQUADRAMENTO TEORICO DEL PROBLEMA

In questo capitolo vengono presentati gli approcci globali utilizzati per l'analisi della vulnerabilità sismica, e in particolare per la valutazione preventiva delle perdite subite nel caso in cui si manifesti un danno sismico rilevante.
In ambito americano esiste una normativa per la prevenzione multi-rischio che contiene strumenti per la previsione dei danni, strumenti per la valutazione delle perdite e strumenti per l'analisi dei costi.
Invece in ambito europeo è stata realizzata una procedura, in analogia con quella americana, che tiene delle caratteristiche del territorio europeo, caratterizzato da edifici storici e infrastrutture millenarie. In questa maniera è possibile valutare i rischi tipici del vecchio continente.
Successivamente si riportano alcuni degli studi svolti negli ultimi anni che sono stati usati come riferimento per questo lavoro.

3.1 Metodo Hazus

Hazus è un programma che contiene i modelli per la valutazione delle potenziali perdite provocate da terremoto, inondazioni e uragani. Hazus usa il software geografico d'informazione (GIS) per tracciare e visualizzare i dati di rischio e le potenziali perdite economiche che derivano da danni a costruzioni ed a infrastrutture.
Inoltre permette che gli utenti valutino gli effetti dei venti, delle inondazioni e dei terremoti sulle popolazioni in modo da descrivere possibili scenari di danno e prevedere dei piani di mitigazione del rischio.
Hazus utilizza *la tecnologia GIS*, un *database a scala nazionale* ed una *metodologia modellata a livello nazionale* per la valutazione del rischio e la stima delle perdite.

Il database a scala nazionale utilizza i seguenti dati: demografici: popolazione, impiego, abitazioni; destinazione d'uso degli edifici: residenziale, commerciale, industriale; attrezzature essenziali: ospedali, scuole, stazioni di polizia e dei vigili del fuoco; strutture per i trasporti: autostrade, strade, aeroporti, ponti, gallerie, porti; impianti: acqua potabile, acqua di scarico, comunicazione, corrente elettrica, gas; strutture ad alto rischio: impianti nucleari, industrie con sostanze altamente inquinanti, siti con attrezzature ed armi militari.

Hazus prevede tre livelli di analisi:

- Analisi di I Livello che fornisce una stima approssimativa, basata su dati a scala nazionale.
- Analisi di II Livello che richiede informazioni più dettagliate riguardo il rischio della località considerata ed una raccolta più dettagliata delle tipologie costruttive esistenti nella località in esame. Consente di ottenere valutazioni più affidabili delle perdite e del rischio
- Analisi di III Livello che consente di ottenere una valutazione del rischio ancora più affidabile e tipicamente richiede la partecipazione di tecnici esperti quali ingegneri strutturisti e geotecnici che possano modificare i parametri nazionali ed inserire dati specifici delle località considerate costruendo una raccolta di tipologie edilizie e fornendo dati più esatti riguardo la vulnerabilità del territorio.

Indipendentemente dal livello di analisi scelto, il modello di HAZUS relativo alla valutazione del rischio associato ai terremoti è provvisto di un sistema di classificazione delle costruzioni basato sulle caratteristiche della struttura. Esso permette agli utenti di:

1) computare i danni dei fabbricati residenziali, commerciali industriali e delle infrastrutture essenziali;
2) valutare le perdite economiche dirette ed indirette;
3) formulare e valutare piani di mitigazione del rischio;
4) valutare le risorse richieste per il rilievo del disastro;
5) migliorare la pianificazione dell' emergenza con l'analisi di piani d'azione;
6) progettare il recupero delle costruzioni dopo il terremoto;

7) pianificare l'assistenza tecnica dopo il disastro;
8) valutare i requisiti degli edifici rimanenti per mettere al riparo le famiglie.

Nella figura seguente sono riportati i danni diretti, i danni indotti, le perdite dirette e indirette che si possono avere a seguito di un terremoto, di una inondazione o di un uragano.

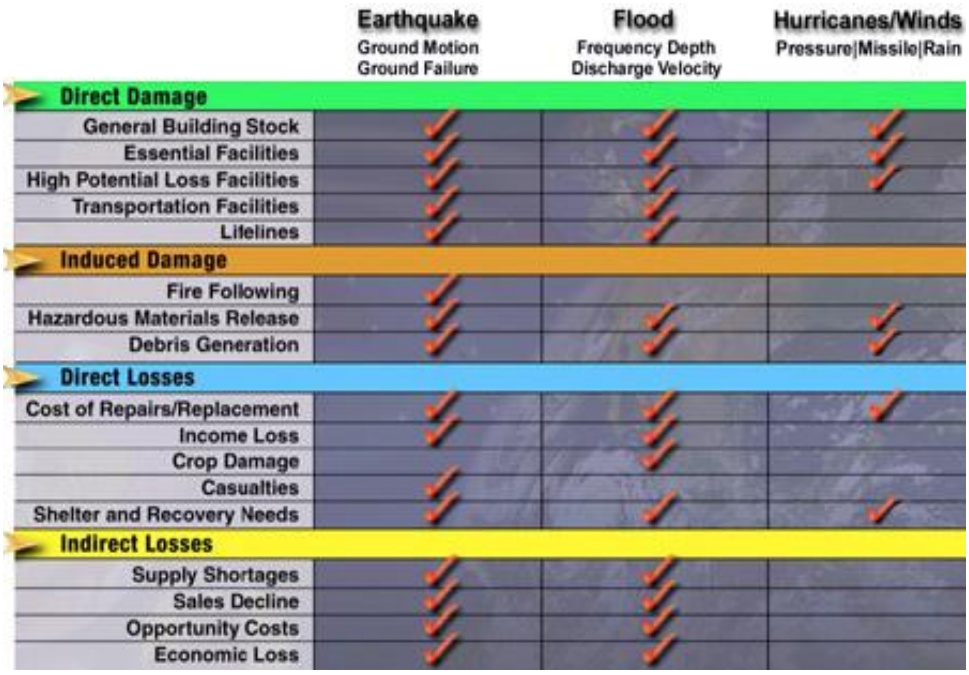


Fig. 3.1 Danni e perdite a seguito di un terremoto, di una inondazione o di un uragano

Il metodo Hazus, per ciò che concerne la valutazione del rischio connesso con il terremoto, utilizza un approccio che fa riferimento al confronto tra capacità e richiesta.

L'obiettivo è calcolare la probabilità che una classe di strutture subisca un danno di livello *ds* (leggero, moderato, esteso o totale). La definizione del danno è una funzione qualitativa che esprime le conseguenze che una struttura danneggiata può provocare in termini economici e sociali.

La funzione di fragilità è di tipo log-normale ed è definita nel modo seguente:

$$P\langle ds|S_d\rangle = \Phi\left[\frac{1}{\beta_{ds}}\ln\left[\frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}}\right]\right]$$

Questa funzione esprime la probabilità che si riscontri un certo danno *ds* a seguito del realizzarsi dello spostamento spettrale S_d; β_{ds} è la deviazione standard del logaritmo naturale dello spostamento spettrale dello stato di danno ds; $\bar{S}_{d,ds}$ è la mediana dello spostamento spettrale al quale l'edificio giunge ad una certa soglia dello stato di danno ds; Φ è la funzione di distribuzione cumulata normale standard.

Lo spostamento spettrale S_d si ottiene mediante la relazione:

$$S_d = \bar{S}_{d,ds}\varepsilon_{ds}$$

in cui la mediana $\bar{S}_{d,ds}$ (derivante da considerazioni strutturali) si ottiene tramite l'espressione:

$$\bar{S}_{d,ds} = \delta_{R,Sds}\alpha_2 h$$

in cui $\delta_{R,Sds}$ è il *drift ratio* ovvero il rapporto tra lo spostamento orizzontale di interpiano e l'altezza stessa di interpiano; 2 α è la frazione dell'altezza dell'edificio nel punto in cui si trova lo spostamento dell'analisi pushover ed h è l'altezza dell'edificio.

La variabilità delle funzioni di danno deriva dalle incertezze sulla capacità e sulla richiesta, ciascuna di queste incertezze è assunta log-normale.

La deviazione standard β_{ds} è espressa tramite la relazione:

$$\beta_{ds} = \sqrt{\left[convoluzione\left(\beta_C, \beta_D, \bar{S}_{d,ds}\right)\right]^2 + \beta^2_{M(Sds)}}$$

dove β_C è la dispersione della curva di capacità; β_D è la variabilità dello spettro di richiesta e $\beta_{M(Sds)}$ è l'incertezza sulla stima della mediana della soglia che porta allo stato di danno, considerata indipendente da capacità e richiesta. La convoluzione produce una superficie che descrive la probabilità di ciascun punto d'intersezione.

Per ottenere il parametro di intensità spettrale che definisce la soglia per il livello di collasso si considera l'intersezione della curva di capacità di una certa classe strutturale con lo spettro a forma fissata, derivata dalla mappatura sismica probabilistica del territorio, opportunamente ridotto per tenere conto del comportamento non lineare della struttura.

Le classi di edifici, facendo riferimento alla funzione di fragilità definita poco fa, sono definite in base alla tipologia strutturale (materiali, sistema resistente, ecc.); in particolare si fa riferimento alle 36 categorie tipologiche, suddivise ulteriormente in base all'altezza ed in funzione dei codici sismici in cui sono state presumibilmente progettate. In questo ambito esistono 4 classi (High- Code, Moderate-Code, Low-Code, Pre-Code) che esprimono la qualità della struttura in relazione alla performance sismica necessaria. Per gli ospedali ed altri edifici strategici si considerano funzioni di danno specifiche che tengono conto che tali strutture sono state costruite con codici di livello superiore a quelli medi delle altre strutture.

A ciascuna area geografica si associa un livello di progettazione secondo il criterio per cui: nelle zone a più alta sismicità c'è l'applicazione dei codici più avanzati per la progettazione sismica per quelle strutture di più recente costruzione (ad esempio, per la California dopo il 1973 le strutture si considerano High-Code), più si va indietro nel tempo più la qualità della progettazione scende (1940-1973 per la California si parla di Moderate-Code).Le strutture costruite prima del 1940 sono considerate Pre-Code e cioè progettate senza alcun criterio anti-sismico.

La capacità di classe, alla base del calcolo delle curve di fragilità, è descritta con curve di push-over bilinearizzate. I due punti fondamentali sono la capacità di snervamento (che si ottiene prolungando il tratto lineare definito dalla capacità di progetto) e quella ultima.

Le curve di capacità sono definite dalla stima dei parametri che influenzano la progettazione come il periodo fondamentale di oscillazione, la sovra-resistenza e la duttilità. Alcuni di questi parametri si ricavano dai codici, una volta definito il livello di riferimento per la progettazione, altri si considerano indipendenti e assegnati a priori in base alla tipologia strutturale.

Alla curva di capacità, costruita con valori di classe tabellati, si associa una incertezza log-normale. La dispersione sulla curva di capacità è anch'essa tabellata e dipendente dal livello del codice con cui quella classe strutturale si considera progettata. Per stabilire la risposta si interseca la curva di capacità mediana con lo spettro come descritto nella figura successiva.

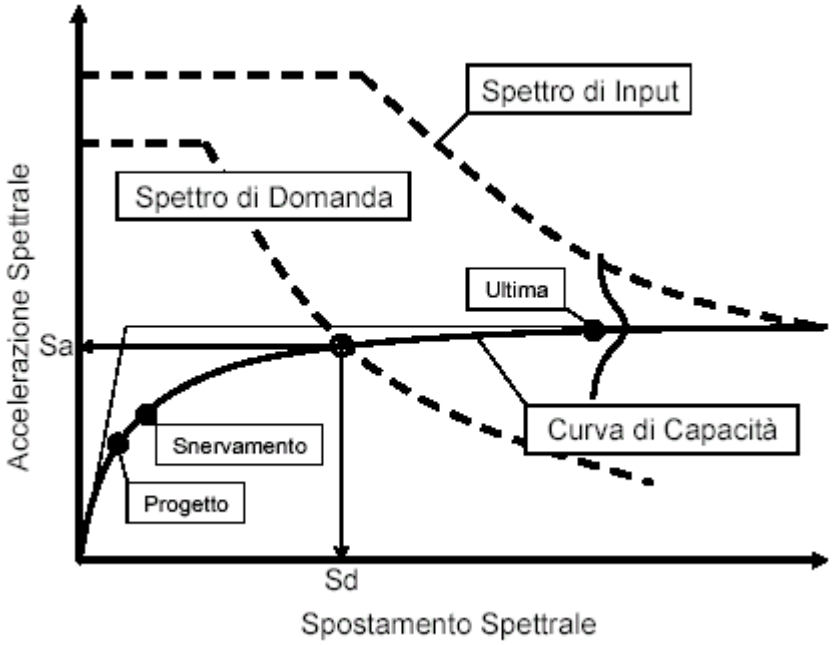


Fig. 3.2 Richiesta e capacità nel metodo Hazus

3.1.1 Metodologie per la previsione dei sismi

In questa sezione la procedura Hazus descrive quali sono i dati relativi alla sismicità. Le stime sugli eventi sismici sono rappresentate tramite mappe a valori numerici che rappresentano i tre parametri descrittivi di un sisma:

- risposta spettrale
- accelerazione del suolo di picco (Pga, peak ground acceleration)
- velocità del suolo di picco (Pgv, peak ground velocity)
- spostamento residuo post-evento (Pgd, permanent ground displacement)

Per calcolare lo scuotimento del suolo sono necessarie tre caratteristiche, la prima è una rappresentazione dello scenario (in forma di *"shakemap"*), la seconda è disporre di una relazione di attenuazione dell'effetto sismico con la distanza, e la terza caratteristica è una descrizione della stratigrafia per valutare il trasferimento dell'onda sismica attraverso i diversi livelli del terreno. Le informazioni sulle accelerazioni spettrali vengono ottenute attraverso inferenza con la *Pga*. I modi di rottura possibili del terreno sono principalmente l'apertura di faglie superficiali nel terreno (spostamento residuo) e la liquefazione dei terreni non coesivi mediamente addensati.

3.1.2 Danni diretti alle linee di trasporto

Per il calcolo dei danni alle linee di trasporto la metodologia Hazus considera i sistemi di Highway (equiparabile alla nostra rete statale ed autostradale), nei quali sono identificati tre componenti maggiormente a rischio: le strade, i ponti ed i tunnel. Per ciascuno di questi tre componenti principali viene costruita una curva di fragilità in funzione di una data misura di danno.

$$DI = f(IM)$$

dove con DI si rappresenta l'indice di danno, mentre con IM si indica una misura di intensità. In questa fase per valutare lo stato di danno delle strade sono richieste informazioni geografiche sugli archi della rete, una misura dello spostamento residuo del terreno in corrispondenza del link ed una classificazione delle strade. Per descrivere lo stato di danno dei ponti è necessario avere la posizione del ponte secondo la sua latitudine e longitudine, la classificazione del ponte, le accelerazioni spettrali a 0.3 [s] e 1.0 [s] e la Pga per le valutazioni relative allo spostamento residuo. Per valutare lo stato di danno dei tunnel è necessario conoscere la collocazione geografica, la Pga ed il Pgd oltrela classificazione del tunnel.

I ponti vengono classificati in base alle caratteristiche deducibili dal NBI (National Bridge Inventory), tali parametri sono:

- se il ponte è stato progettato secondo normative antisismiche
- numero di campate: singola o multipla
- materiale di costruzione: calcestruzzo, acciaio o altri
- tipologia delle pile: a singola colonna, a colonna multipla, spalle
- tipo di fondazione e di appoggio: monolitico o meno, a grande scorrimento, supporti in acciaio duttile, supporti in neoprene
- se le campate sono continue o discontinue (con cerniere lungo la campata, schema Gerber), oppure semplicemente appoggiate

Nella tabella successiva è riportata la classificazione dei ponti secondo la normativa Hazus. E' importante osservare che Hazus prevede delle curve di ripristino della funzionalità di tipo probabilistico che indicano, a partire da un

determinato stato di danno, in quanto tempo verrà ripristinata la funzionalità completa del manufatto.

CLASS	NBI Class	State	Year Built	# Spans	Length of Max. Span (meter)	Length less than 20 m	K_{3D} (See note below)	I_{shape} (See note below)	Design	Description
HWB1	All	Non-CA	< 1990		> 150	N/A	EQ1	0	Conventional	Major Bridge - Length > 150m
HWB1	All	CA	< 1975		> 150	N/A	EQ1	0	Conventional	Major Bridge - Length > 150m
HWB2	All	Non-CA	>= 1990		> 150	N/A	EQ1	0	Seismic	Major Bridge - Length > 150m
HWB2	All	CA	>= 1975		> 150	N/A	EQ1	0	Seismic	Major Bridge - Length > 150m
HWB3	All	Non-CA	< 1990	1		N/A	EQ1	1	Conventional	Single Span
HWB3	All	CA	< 1975	1		N/A	EQ1	1	Conventional	Single Span
HWB4	All	Non-CA	>= 1990	1		N/A	EQ1	1	Seismic	Single Span
HWB4	All	CA	>= 1975	1		N/A	EQ1	1	Seismic	Single Span
HWB5	101-106	Non-CA	< 1990			N/A	EQ1	0	Conventional	Multi-Col. Bent, Simple Support - Concrete
HWB6	101-106	CA	< 1975			N/A	EQ1	0	Conventional	Multi-Col. Bent, Simple Support - Concrete
HWB7	101-106	Non-CA	>= 1990			N/A	EQ1	0	Seismic	Multi-Col. Bent, Simple Support - Concrete
HWB7	101-106	CA	>= 1975			N/A	EQ1	0	Seismic	Multi-Col. Bent, Simple Support - Concrete
HWB8	205-206	CA	< 1975			N/A	EQ2	0	Conventional	Single Col., Box Girder - Continuous Concrete
HWB9	205-206	CA	>= 1975			N/A	EQ3	0	Seismic	Single Col., Box Girder - Continuous Concrete
HWB10	201-206	Non-CA	< 1990			N/A	EQ2	1	Conventional	Continuous Concrete
HWB10	201-206	CA	< 1975			N/A	EQ2	1	Conventional	Continuous Concrete
HWB11	201-206	Non-CA	>= 1990			N/A	EQ3	1	Seismic	Continuous Concrete
HWB11	201-206	CA	>= 1975			N/A	EQ3	1	Seismic	Continuous Concrete
HWB12	301-306	Non-CA	< 1990			No	EQ4	0	Conventional	Multi-Col. Bent, Simple Support - Steel
HWB13	301-306	CA	< 1975			No	EQ4	0	Conventional	Multi-Col. Bent, Simple Support - Steel
HWB14	301-306	Non-CA	>= 1990			N/A	EQ1	0	Seismic	Multi-Col. Bent, Simple Support - Steel
HWB14	301-306	CA	>= 1975			N/A	EQ1	0	Seismic	Multi-Col. Bent, Simple Support - Steel
HWB15	402-410	Non-CA	< 1990			No	EQ5	1	Conventional	Continuous Steel
HWB15	402-410	CA	< 1975			No	EQ5	1	Conventional	Continuous Steel
HWB16	402-410	Non-CA	>= 1990			N/A	EQ3	1	Seismic	Continuous Steel
HWB16	402-410	CA	>= 1975			N/A	EQ3	1	Seismic	Continuous Steel

CLASS	NBI Class	State	Year Built	# Spans	Length of Max. Span (meter)	Length less than 20 m	K_{3D} (notes below)	I_{shape} (notes below)	Design	Description
HWB17	501-506	Non-CA	< 1990			N/A	EQ1	0	Conventional	Multi-Col. Bent, Simple Support - Prestressed Concrete
HWB18	501-506	CA	< 1975			N/A	EQ1	0	Conventional	Multi-Col. Bent, Simple Support - Prestressed Concrete
HWB19	501-506	Non-CA	>= 1990			N/A	EQ1	0	Seismic	Multi-Col. Bent, Simple Support - Prestressed Concrete
HWB19	501-506	CA	>= 1975			N/A	EQ1	0	Seismic	Multi-Col. Bent, Simple Support - Prestressed Concrete
HWB20	605-606	CA	< 1975			N/A	EQ2	0	Conventional	Single Col., Box Girder - Prestressed Continuous Concrete
HWB21	605-606	CA	>= 1975			N/A	EQ3	0	Seismic	Single Col., Box Girder - Prestressed Continuous Concrete
HWB22	601-607	Non-CA	< 1990			N/A	EQ2	1	Conventional	Continuous Concrete
HWB22	601-607	CA	< 1975			N/A	EQ2	1	Conventional	Continuous Concrete
HWB23	601-607	Non-CA	>= 1990			N/A	EQ3	1	Seismic	Continuous Concrete
HWB23	601-607	CA	>= 1975			N/A	EQ3	1	Seismic	Continuous Concrete
HWB24	301-306	Non-CA	< 1990			Yes	EQ6	0	Conventional	Multi-Col. Bent, Simple Support - Steel
HWB25	301-306	CA	< 1975			Yes	EQ6	0	Conventional	Multi-Col. Bent, Simple Support - Steel
HWB26	402-410	Non-CA	< 1990			Yes	EQ7	1	Conventional	Continuous Steel
HWB27	402-410	CA	< 1975			Yes	EQ7	1	Conventional	Continuous Steel
HWB28										All other bridges that are not classified

Tab. 3.1 Estratto del manuale Hazus riportante la classificazione

Si descrive a questo punto la procedura Hazus per determinare i valori della curva di fragilità

- ***PUNTO 1:*** si ricavano le caratteristiche tipiche del ponte (posizione, classe, numero di campate, angolo di sghembatura, larghezza delle campate, lunghezza del ponte, lunghezza della massimi campata)
- ***PUNTO 2:*** si valuta l'amplificazione dello scuotimento nel sito. Cioè si valuta l'accelerazione massima (Pga), le accelerazioni spettrali misurate a 0,3 e 1 secondo, lo spostamento residuo al suolo
- ***PUNTO 3:*** si calcolano i fattori correttivi

  $$K_{skew} = \sqrt{\sin(90 - \alpha)}$$

  Questo fattore, rappresentativo della sghembatura, è calcolato in funzione dell'angolo α, che esprime la deviazione angolare rispetto alla condizione "tipica" di perfetta ortogonalità tra il ponte e l'elemento sovrapassato (di solito un fiume oppure una strada).

$$K_{shape} = 2{,}5 \cdot \frac{Sa(1{,}0s)}{Sa(0{,}3s)}$$

Per il secondo termine si fa riferimento invece alle caratteristiche del sito, in particolare all'accelerazione spettrale.

$$K_{3D} = 1 + A/(N - B)$$

Quest'ultimo coefficiente tiene conto degli effetti tridimensionali che possono interessare la struttura ed è espresso in funzione del numero di campate (N) e di due parametri A e B definiti nella tabella 3.2.

Equation	A	B	K_{3D}
EQ1	0.25	1	1 + 0.25 / (N – 1)
EQ2	0.33	0	1 + 0.33 / (N)
EQ3	0.33	1	1 + 0.33 / (N – 1)
EQ4	0.09	1	1 + 0.09 / (N – 1)
EQ5	0.05	0	1 + 0.05 / (N)
EQ6	0.20	1	1 + 0.20 / (N – 1)
EQ7	0.10	0	1 + 0.10 / (N)

Tab. 3.2 Coefficienti per valutare K_{3D}

- ***PUNTO 4:*** i valori di media per le curve di fragilità standard vengono modificati tenendo conto dello schema:

$$New\ Median_{slight} = Old\ Median \cdot Factor_{slight}$$
$$New\ Median_{moderate} = Old\ Median \cdot K_{skew} \cdot K_{3D}$$
$$New\ Median_{extensive} = Old\ Median \cdot K_{skew} \cdot K_{3D}$$
$$New\ Median_{complete} = Old\ Median \cdot K_{skew} \cdot K_{3D}$$

in cui $Factor_{slight} = 1$ se $I_{shape} = 0$ altrimenti si seleziona il $\min(1, K_{shape})$

I valori medi sono riportati nella tabella 3.3.

	Sa [1.0 sec in g's] for Damage Functions due to Ground Shaking				PGD [inches] for Damage Functions due to Ground Failure			
CLASS	Slight	Moderate	Extensive	Complete	Slight	Moderate	Extensive	Complete
HWB1	0.40	0.50	0.70	0.90	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB2	0.60	0.90	1.10	1.70	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB3	0.80	1.00	1.20	1.70	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB4	0.80	1.00	1.20	1.70	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB5	0.25	0.35	0.45	0.70	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB6	0.30	0.50	0.60	0.90	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB7	0.50	0.80	1.10	1.70	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB8	0.35	0.45	0.55	0.80	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB9	0.60	0.90	1.30	1.60	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB10	0.60	0.90	1.10	1.50	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB11	0.90	0.90	1.10	1.50	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB12	0.25	0.35	0.45	0.70	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB13	0.30	0.50	0.60	0.90	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB14	0.50	0.80	1.10	1.70	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB15	0.75	0.75	0.75	1.10	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB16	0.90	0.90	1.10	1.50	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB17	0.25	0.35	0.45	0.70	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB18	0.30	0.50	0.60	0.90	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB19	0.50	0.80	1.10	1.70	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB20	0.35	0.45	0.55	0.80	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB21	0.60	0.90	1.30	1.60	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB22	0.60	0.90	1.10	1.50	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB23	0.90	0.90	1.10	1.50	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB24	0.25	0.35	0.45	0.70	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB25	0.30	0.50	0.60	0.90	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB26	0.75	0.75	0.75	1.10	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB27	0.75	0.75	0.75	1.10	3.9	3.9	3.9	13.8
HWB28	0.80	1.00	1.20	1.70	3.9	3.9	3.9	13.8

Tab. 3.3 Valori medi delle curve di fragilità della procedura Hazus

- ***PUNTO 5:*** usando i valori medi così calcolati con una dispersione $\beta = 0.6$ è possibile valutare le probabilità dello stato di danno fissata la misura di intensità sismica. La procedura impiega l'ace spettrale a un secondo per

eseguire il calcolo delle probabilità di cadere in uno dei quattro stati di danno.

- ***PUNTO 6:*** si svolgono medesime elaborazioni impiegando lo spostamento residuo.

3.1.3 Perdite economiche

L'intera analisi svolta dalla metodologia Hazus alla fine del processo di valutazione traduce le informazioni sugli stati di danno in perdite monetarie. La metodologia fornisce degli strumenti per stimare i costi di riparazione e ripristino causati dai danni alle strutture ed una stima delle perdite indirette, di definizione più complicata. Si prenda ad esempio la chiusura del ponte Oakland-San Francisco Bay per 30 giorni in seguito al sisma di Loma Prieta del 1989. In seguito alla riorganizzazione dei loro spostamenti questo evento ha causato un cambio di percorso per un quarto di milione di utenti su base giornaliera . Molti pendolari sono stati costretti ad allungare significativamente i loro percorsi per raggiungere le destinazioni. Nello stesso tempo altri pendolari sono passati al sistema di trasporto BART su rotaia o a servizi di bus. Questi cambiamenti hanno comportato un maggior impiego di tempo negli spostamenti riducendo la quota destinata alle attività familiari e ai servizi alla persona. Molti operatori commerciali e servizi di consegna delle merci hanno subito significative riduzioni degli affari. Se questa chiusura si fosse protratta per un periodo di qualche anno ci sarebbero stati grossi mutamenti del sistema socio-economico di lungo termine nell'intera zona servita.
Il sedicesimo capitolo del manuale descrive le perdite economiche indirette. Il modello per le perdite indirette prevede un adattamento del classico modello di equilibrio tra domanda ed offerta. Le variabili da considerare in questo genere di analisi sono: il danno diretto, le condizioni economiche preesistenti (disoccupazione, possibilità di import-export, struttura economica) e gli aiuti statali per supplire alle perdite indirette. Un sisma può causare squilibri anche in settori economici non interessati da danni diretti. Tutte le attività sono collegate con "link in avanti" (si riferiscono agli acquirenti locali dei prodotti delle attività colpite dal sisma) oppure sono "collegati all'indietro" (si affidano a produttore

colpiti dal sisma per l'approvvigionamento delle materie prime). Le attività sono vulnerabili in due direzioni: queste interruzioni sono chiamate perdite economiche indirette. Si noti che queste perdite non si limitano agli acquirenti o ai venditori direttamente interessati dal sisma, ma sono indirettamente coinvolti anche tutti i clienti degli acquirenti e i fornitori dei fornitori delle aziende coinvolte. Secondo questa analisi anche un sisma che produca effetti fisici limitati può avere una reazione a catena o un effetto onda lungo tutta l'economia regionale. L'estensione del danno fisico dipende da diversi fattori, come la disponibilità di fonti alternative per le materie prime e la lunghezza di distribuzione della perturbazione. Per trattare le perdite indirette nella descrizione della procedura è fornito un inquadramento di analisi approfondito. Si veda una schematizzazione in figura 3.3.

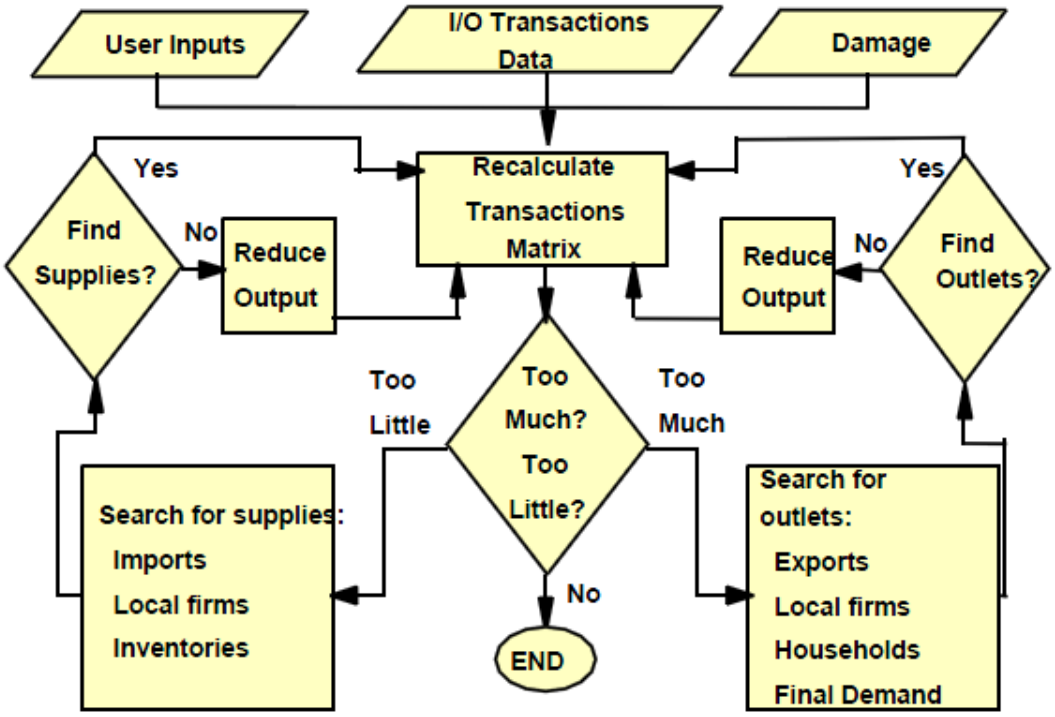


Fig. 3.3 Schematizzazione del modello per valutare le perdite indirette

Le analisi economiche devono anche far riferimento ad un orizzonte temporale di lungo periodo in cui si assiste alla progressiva ripresa delle attività e quindi ad un ritorno ad una situazione di normalità.

3.2 Metodo Risk-UE

In ambito europeo è stato promosso un progetto di ricerca dal titolo: *"An advanced approach to earthquacke risk scenarios with applications to different European towns"*. Lo scopo di tale progetto di ricerca finanziato dalla comunità europea è quello di predisporre piani di gestione del rischio e piani d'azione nell'eventualità che si concretizzassero tali minacce. Il progetto è stato proposto nel 1999 alla conclusione del convegno intitolato : "International decade for natural disaster reduction"(IDNDR). Il progetto iniziato nel gennaio 2001 è terminato nel Settembre 2004. Ha analizzato come stimare i danni prodotti da uno scenario sismico plausibile su scala cittadina in un contesto europeo.

L'obiettivo principale del progetto è stato aumentare la conoscenza dei responsabili cittadini sulle procedure di gestione del rischio e aumentare l'efficacia nella riduzione del rischio. Il progetto è nato perché, dopo le conferenze del ciclo IDNDR, gli esperti hanno convenuto che fosse necessario fornire ai manager del rischio degli strumenti per la previsione degli scenari di danno. Una delle strade migliori per completare questo compito è sembrata quella di produrre un insieme di scenari di danno concreto basandosi su eventi passati registrati nei pressi delle aree di studio.

Impiegando tali scenari di catastrofe in termini di danni, decessi, impatti economici, costi diretti ed indiretti, i decisori dovrebbero essere in grado di prevedere e gestire al meglio le situazioni che si verrebbero a creare in seguito al verificarsi di eventi simili a quelli previsti.

Inoltre, dall'analisi degli scenari, dovrebbe essere possibile identificare a livello cittadino i componenti più deboli del sistema e definire le priorità d'intervento che dovrebbero coinvolgere i principali attori nei campi dello sfruttamento delle risorse, delle costruzioni, della gestione delle crisi, delle comunicazioni, etc... L'implementazione concreta di tali strategie avrà luogo nei prossimi 10–20 anni. L'elemento chiave di tali analisi è giungere ad una riduzione delle conseguenze che uno scenario sismico può produrre nel futuro. Il progetto è stato motivato dalla serie di conseguenze spiacevoli dovute agli eventi accaduti nella scorsa decade (1990-2000), come i terremoti in Turchia, Grecia, e Taiwan; come "testbed"(dall'inglese banco di prova) per la procedura sono state individuate sette

città nell'ambito mediterraneo: la città di Barcellona in Spagna, Nizza (Francia), Catania (Italia), Tessalonica in Grecia, Bitola in Macedonia, Sofia in Bulgaria e Bucarest in Romania (fig. 3.4)

Fig. 3.4 Città campione del progetto Risk-UE

3.2.1 Obiettivi del progetto

3.2.1.1 Obiettivi strategici

1) Stimare all'interno di uno scenario sismico le conseguenze come costi diretti e perdite (decessi, feriti, sfollati), e le interruzioni ai servizi correlati in funzione di uno scenario sismico ragionevole in base al contesto sismo-tettonico e alla luce della fragilità delle strutture presenti. Questo dovrebbe contribuire alla costruzione di piani di risposta alle emergenze per i successivi trent'anni, in cui idealmente i costi dovrebbero venire divisi per due, le morti per tre, ed il numero di feriti per cinque. Ogni decade tali

previsioni dovrebbero essere riviste alla luce dei progressi scientifici nei diversi aspetti di tale procedura. Gli strumenti con cui perseguire gli obiettivi sono gli aggiornamenti delle normative nazionali, le proporzioni delle ristrutturazioni e dei programmi di rinnovo, in modo particolare per gli edifici strategici, i quali hanno impatti più importanti nell'organizzazione dei soccorsi.

2) Contribuire nello sviluppo di database urbani, da strutturare all'interno di ambienti GIS, che permettano alle amministrazioni di processare ed evidenziare criticità nelle aree più vulnerabili. Questi metodi di supporto alle decisioni dovrebbero enfatizzare le azioni di gestione della crisi e pianificazione del territorio. Le informazioni dovrebbero venire schematizzate sia per descrivere il fenomeno (minaccia) che per descrivere gli elementi esposti (vulnerabilità, la distribuzione degli aiuti economici e gli impatti).
3) Rendere disponibile attraverso un sito web lo sviluppo dei vari gradi della metodologia ed i risultati dell'applicazione alle diverse città.
4) Creare una sinergia tra i diversi stati europei, in particolare tra le zone mediterranee e quelle che si affacciano sul Baltico.

3.2.1.2 Obiettivi scientifici

1) Sviluppare una metodologia generale e modulare per costruire scenari sismici che considerino in caso di terremoto le caratteristiche distintive delle città europee, dei centri storici, dei monumenti, delle costruzioni che appartengono all'eredità storica delle città, gli impatti economici e la reazione della popolazione. Le analisi delle specifiche città saranno valutate e poi validate; un'ulteriore validazione sarà svolta applicando gli analoghi strumenti di valutazione americani e giapponesi.
2) Raccogliere le informazioni rilevanti e trarre il massimo dalle esperienze passate per evidenziare le caratteristiche distintive del contesto urbano che non vengono considerate nelle metodologie correnti per la definizione del rischio sismico. Le caratteristiche che distinguono le aree urbane europee riguardano particolarmente i complessi aggregati di edifici storici nei centri

delle città, i monumenti e le costruzioni storiche, le caratteristiche delle reti di trasporto e la loro risposta nelle condizioni di emergenza. Il fine della costruzione della tipologia, l'inventario ed il sistema di classificazione è quello di impostare le classi di edifici che rappresentino le peculiarità delle costruzioni delle tipiche città urbane, in cui il grande patrimonio storico e l'eredità che porta con sé richiedono protezione immediata dal pericolo sismico.

3) Migliorare ed omogeneizzare il lavoro già svolto in precedenti progetti. Alcuni aspetti specifici come le lifeline (di trasporto e telecomunicazioni, acqua ed energia), la valutazione delle perdite indirette etc. erano stati trascurati nei precedenti lavori ed ora devono essere considerati. Sarebbe necessario porre maggiore enfasi allo studio del periodo di recupero delle lifeline. A seguito di un terremoto, per recuperare un sistema acquedottistico potrebbero essere necessari 10 giorni, un obiettivo del progetto potrebbe essere quello dimezzare tale tempo di ripristino.
4) Impostare diverse squadre europee che lavorino alle diverse applicazioni alle città, preferibilmente in unione con i responsabili delle città. La risultante collezione di casi studio dovrebbe portare ad un approfondimento e ad una comparazione dei diversi lavori. Gli scenari prodotti e rappresentati all'interno di software GIS possono servire alle amministrazioni per prendere decisioni e valutare i migliori piani da mettere in atto per ridurre il rischio in caso di terremoto. I destinatari di tali tecnologie dovrebbero acquisirne consapevolezza che verrà valutata in opportuni seminari.
5) Validare la procedura attraverso un pool di esperti.
6) Produrre un manuale per la stima del rischio in area urbana da impiegare in tutte le situazioni che presentino caratteristiche simili a quelle mediterranee.

3.2.2 Organizzazione del progetto

L'intero progetto ha interessato diversi aspetti, ciascuno di questi è stato trattato in maniera dettagliata in un "Working paper". I contenuti di questi lavori sono i seguenti:

- ***WP0*** Coordinazione dell'intero progetto a cura del dipartimento per l'uso del territorio, la pianificazione e la previsione dei rischi naturali
- ***WP1*** Caratteristiche peculiari delle città, inventario di dati e tipologie
- ***WP2*** Manuale di base degli scenari di terremoto
- ***WP3*** Metodologia sull'esposizione del sistema urbano ai disastri naturali
- ***WP4*** Vulnerabilità degli edifici
- ***WP5*** Valutazione della vulnerabilità degli edifici storici e monumentali
- ***WP6*** Valutazione di vulnerabilità degli impianti e delle strutture essenziali
- ***WP7*** Manuale degli scenari di rischio sismico

Si descrivono nel dettaglio i due pacchetti principali.

3.2.2.1 WP2 Manuale di base degli scenari di terremoto

Lo scopo principale del secondo work package è stato di offrire uno strumento semplice per stimare il pericolo sismico nel contesto urbano (ed alcuni effetti ad esso correlati) in ambito europeo per produrre delle rappresentazioni tramite mappa. Queste stime e mappe sono state predisposte per essere l'ingresso delle procedure che valutano in maniera dettagliata gli scenari di danno nelle città.
A causa delle grandi differenze tra le diverse città in termini di esposizione sismica, condizioni geologiche e geotecniche, per tipologia di costruzioni è stato necessario sviluppare un approccio sufficientemente flessibile per considerare i diversi fattori. I lavori compiuti nelle diverse città presentano diversi gradi di approfondimento (ad esempio perché erano disponibili degli studi precendenti) che hanno reso possibili elaborazioni più dettagliate. É stata posta particolare enfasi nell'adozione di un insieme di criteri omogenei, standard, nella descrizione quantitativa della sismicità e nella costruzione degli scenari di scuotimento. Il secondo aspetto su cui si è concentrata l'attenzione è stato quello di fornire una comprensione profonda attraverso la comparazione e le discussione dei dati

ottenuti tra le diverse città. Il WP ha generato mappe di scuotimento sia con carattere deterministico che a carattere probabilistico, presentando una comparazione tra i due.
Sono state prodotte sia rappresentazioni a livello macrosismico che rappresentazioni puntuali costruite attraverso degli scenari plausibili in riferimento agli scenari storici, mediati attraverso relazioni di attenuazione con la distanza e amplificazione in base alle caratteristiche del suolo.

3.2.2.2 WP6 Vulnerabilità degli impianti e delle strutture essenziali

Il contenuto del sesto WP è relativo alla fruibilità dei servizi essenziali come quello acquedottistico, per il trasferimento delle acque reflue, dell'energia, delle telecomunicazione e del sistema di trasporto. Questi sistemi giocano un ruolo fondamentale nella risposta all'emergenza ed alla comunità in generale, per salvare vite umane e per prevenire ulteriori danni alle proprietà.
La distribuzione spaziale delle lifeline supera i confini prettamente urbani, spesso si presenta una discrepanza tra la localizzazione della domanda e l'offerta di tali servizi (si pensi alla richiesta di acqua potabile e alla distanza che spesso le fonti hanno dal centro cittadino).
Questi sistemi si presentano in forma di reti, costituite da infrastrutture puntuali e lineari, in collegamento tra loro. Molto spesso questi servizi sono strettamente correlati tra loro, creano connessioni complesse ed interazioni difficilmente prevedibili.
L'accesso alle informazioni sulle lifeline è difficile perché si tratta di infrastrutture interrate o, perché non c'è sufficiente personale o conoscenza presso i dirigenti. La penuria di informazioni è derivabile dal carattere strategico delle infrastrutture e per la concorrenza del mercato.
Il lavoro svolto all'interno del Risk-UE ha confermato che ci sono delle caratteristiche distintive di questo genere di servizi in Europa che necessita di un'esperienza ed un'attenzione particolari quando viene considerato. L'obiettivo principale del WP06 è stato quello di produrre un manuale per la stima della vulnerabilità delle reti strategiche che rappresenti al meglio il contesto europeo. Le applicazioni alle diverse città hanno fatto riferimento a tale documento, i dati

raccolti alla conclusione dei lavori hanno contribuito al miglioramento della versione finale del testo. La difficoltà nel reperire informazioni relative al ripristino delle lifeline dopo un evento sismico ha evidenziato la necessità di produrre delle schede investigative per le lifeline sulla falsariga di quelle per gli edifici.
L'attenzione è stata posta ai sistemi di utilità e alle infrastrutture di trasporto. Nel primo gruppo si considerano gli acquedotti, le fognature, il sistema del gas naturale, l'energia elettrica e le telecomunicazioni; nel secondo gruppo sono comprese le strade, le ferrovie, gli aeroporti ed i porti. In ciascuno dei sistemi individuati è possibile delineare un insieme di ingredienti essenziale per descrivere il problema in maniera trasversale alle tipologie:

- inventario degli elementi a rischio;
- pericolo sismico e scenari di terremoto;
- modelli della fragilità;
- modelli di recupero

3.2.3 Stima del rischio sismico delle reti di trasporto

In questo paragrafo si entra nel dettaglio, andando a definire la metodologia alla base della valutazione del rischio sismico per le reti di trasporto. Nella figura successiva si ha una panoramica di quanto verrà descritto nel corso delle prossime pagine.

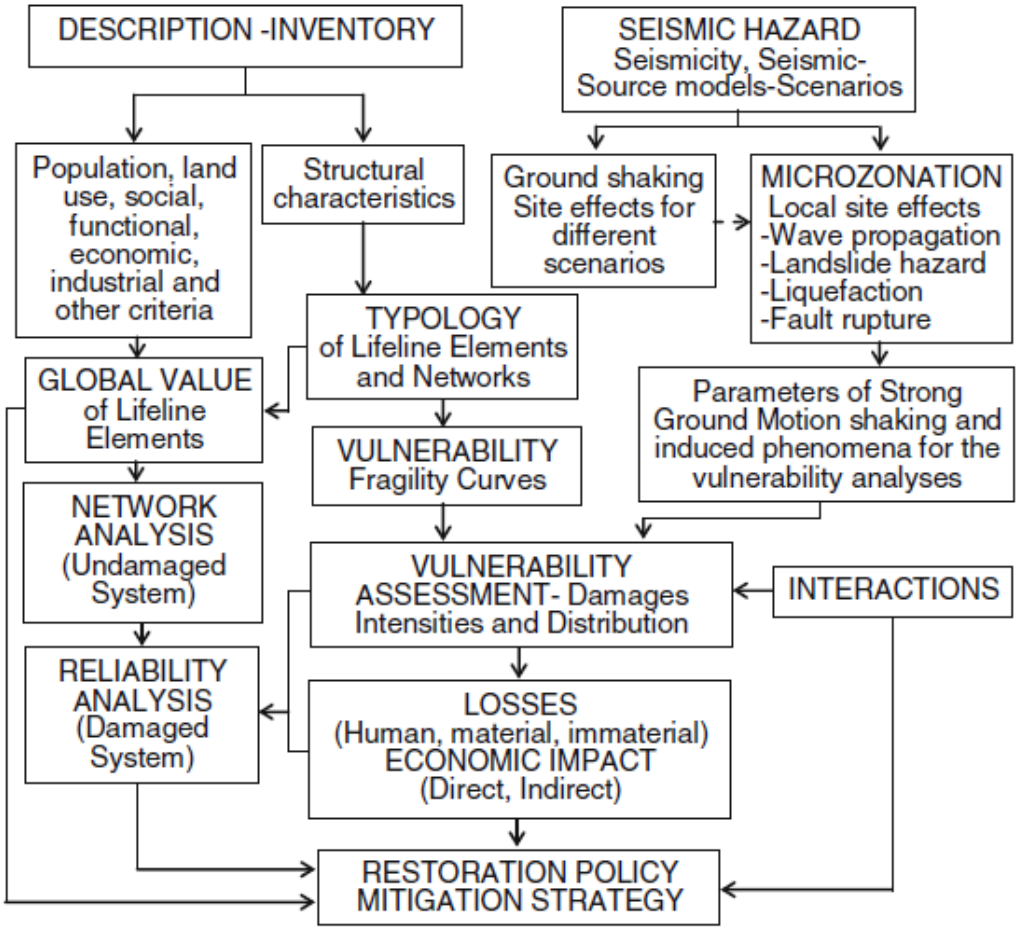


Fig. 3.5 Diagramma di flusso per l'applicazione della procedura Risk-UE

Generalmente, per definire la classificazione degli effetti del terremoto, si fa riferimento agli stati limite di danno:

- Nessun danno (no damage)
- Leggero (slight)
- Moderato (moderate)
- Esteso (extensive)
- Completo (complete)

Nella pagina seguente sono riportate le descrizioni per i diversi livelli di danno (tratto dal manuale Hazus ma equivalente per il metodo europeo):

- ***Slight/Minor Damage:*** *minor cracking and spalling to the abutment, cracks in shear keys at abutments, minor spalling and cracks at hinges, minor spalling at the column (damage requires no mor than cosmetic repair) or minor cracking to the deck*
- ***Moderate Damage:*** *any column experiencing moderate (shear cracks) cracking and spalling (column structurally still sound), moderate movement of the abutment (<2"), extensive cracking and spalling of shear keys, any connection having cracked shear keys or bent bolts, keeper bar failure without unseating, rocker bearing failure or moderate settlement of the approach*
- ***Extensive Damage:*** *any column degrading without collapse – shear failure - (column structurally unsafe), significant residual movement at connections, or major settlement approach, vertical offset of the abutment, differential settlement at connections, shear key failure at abutments*
- ***Complete Damage:*** *any column collapsing and connection losing all bearing support, which may lead to imminent deck collapse, tilting of substructure due to foundation failure.*

Per tenere conto delle conseguenze del sisma, esistono altre tipologie di classificazione. Ad esempio quella in termini di incidenti alle persone o danni non strutturali oppure, molto utilizzata, è quella in funzione delle perdite dirette dovute alla riparazione o sostituzione degli elementi danneggiati.
Un requisito fondamentale per il giudizio sul comportamento sismico di un sistema è l'abilità di quantificare il danno potenziale per componente in funzione del livello di pericolosità sismica. In generale la vulnerabilità esprime il comportamento di un elemento soggetto a tale fenomeno. Questo genere di legame è offerto in termini di relazione deterministica o probabilistica tra uno stato di danno dei componenti o la funzionalità, le perdite economiche, etc. ed una determinata misura di intensità della pericolosità sismica. La relazione tra la misura d'intensità e la variabile che intendiamo determinare è offerta sotto forma di curva di fragilità o relazione di fragilità. Le curve di fragilità sono spesso espresse come curve di funzioni cumulative log-normali data la media e la varianza.

Infine vengono anche descritte delle curve di ripristino della funzionalità. Per la valutazione di questo genere di problemi sono stati definiti alcuni periodi di riferimento, il primo periodo è quello di situazione "normale", prima dell'avvento dell'evento catastrofico, il secondo periodo definito è quello del "ripristino", si tratta di un periodo di transizione tra due stati normali, quello pre-sisma e quello post-sisma. Si definisce infine lo scenario del "giorno zero", questa è la situazione dell'immediato, dopo l'accadimento del sisma; lungo le strade sono ancora presenti le macerie. Si tratta di una situazione fuori dall'ordinario, sono presenti solo i soccorritori e si cerca di dare aiuto alle persone rimaste ferite o agli sfollati.

3.2.3.1 Sistema di trasporto

Le reti di trasporto sono le infrastrutture più importanti e presenti da sempre con lo scopo di collegare ogni singola abitazione e zona di lavoro indipendentemente dalla loro dimensione e dal loro ruolo (se trasportano persone o merci). Il sistema di trasporto consiste essenzialmente in:

- strade
- ponti
- tunnel

Si possono ulteriormente considerare altre strutture tecniche come:

- scarpate
- argini
- muri di sostegno
- edifici di supporto (come ad esempio i caselli, etc.)

Le esperienze passate hanno mostrato come i danni alle strade possano disturbare severamente i flussi del traffico ed avere un impatto diretto nell'economia di una regione così come nella risposta all'emergenza e nelle operazioni di recupero. Per quanto riguarda le azioni di scuotimento del terreno le osservazioni su dati storici hanno mostrato come le strutture più vulnerabili siano in primis i ponti, seguiti dagli argini e dai tunnel. Le strade in generale siano affette da danni significativi

causati dallo spostamento residuo del terreno. In ambito urbano è stato dimostrato, inoltre, come siano importanti i detriti che occupano la sede come fattore critico per determinare la capacità, il fenomeno direttamente correlato alla vulnerabilità degli edifici. La procedura fornisce una tabella per la classificazione dell'importanza del sistema di trasporto che riportiamo nella tabella successiva.

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

Tab. 3.4 Elementi per classificare l'importanza del sistema di trasporto

3.2.3.2 Vulnerabilità dei ponti

I ponti sono l'elemento più critico in un sistema trasportistico, sono spesso degli elementi con ridondanza nulla che vengono impiegati per attraversare una valle, un corso d'acqua o un'altra strada. Il danno, o la chiusura, di un ponte comporta l'interruzione del collegamento che serve, implicando notevoli allungamenti di

percorso. La metodologia Risk-UE propone di classificare i ponti in base ai seguenti attributi:

- materiale (acciaio, calcestruzzo, legno, mattoni)
- schema strutturale (sospeso, ad arco, a telaio, reticolare, mobile)
- tipologia delle pile (singola, multipla, a muro)
- tipo di supporto (per contatto, in acciaio, elastomerico, etc..)
- continuità dell'impalcato (continuo o in semplice appoggio)
- anno di costruzione (codice impiegato per la progettazione)
- numero di campate (singola o multipla)
- sghembatura
- lunghezza delle campate
- altezza (delle pile–dell'impalcato)
- numero dei giunti di espansione
- tipologia della fondazione (superficiali, pile, jet-grouting, casse scavate a pressione, etc..)

Una classificazione minima deve distinguere il materiale di costruzione, la tipologia delle pile, la continuità dell'impalcato, e il codice con cui è stato progettato.
I ponti hanno presentato sostanzialmente danni alle seguenti componenti:

- rottura delle campate di approccio sia a causa di cedimenti strutturali sul rilevato (svuotamento all'interno del muro para-ghiaia), che per danni dovuti a spostamenti permanenti delle fondazioni
- collasso o caduta dell'impalcato a causa di rotture degli appoggi o larghezza insufficiente del pulvino
- rottura delle pile a causa di un eccessivo sforzo di taglio o di flessione
- rottura delle fondazioni a causa di una richiesta flessionale o di taglio eccessiva

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

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

Tab. 3.5 Tipologie di ponte distinte per materiale e caratteristiche geometrico-strutturali

Per determinare compiutamente la vulnerabilità si opera attraverso lo strumento delle curve di fragilità che sono costruite con una distribuzione log-normale con parametro di dispersione β fissato a 0,6 e media da calcolarsi facendo riferimento alla tabella successiva, che tiene conto di alcuni importanti parametri:

- angolo di sghembatura α
- numero di campate N
- accelerazione spettrale a 0,3 e 1 secondo

I fattori indispensabili per calcolare la media sono quelli già descritti per il metodo Hazus. Vengono qui rapidamente riproposti:

$$K_{skew} = \sqrt{\sin(90 - \alpha)}$$

$$K_{3D} = 1 + A/(N - B)$$

$$K_{shape} = 2{,}5 \cdot \frac{Sa(1{,}0s)}{Sa(0{,}3s)}$$

che tengono conto, rispettivamente, della sghembatura, degli effetti tridimensionali e della condizione del sito.

Skew angle (K_{skew})	3-dimensional arch action in the deck (K_{3D})						
	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
$\sqrt{\sin(90-\alpha)}$	$1+\frac{0.25}{N-1}$	$1+\frac{0.33}{N}$	$1+\frac{0.33}{N-1}$	$1+\frac{0.33}{N-1}$	$1+\frac{0.05}{N}$	$1+\frac{0.20}{N-1}$	$1+\frac{0.10}{N}$

Typology	Damage state			
	Minor	Moderate	Extensive	Complete
Category	Median SA at 1.0 s (g) with β=0.6			
1-2	$0.8\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$1.0\times K_{skew}\times EQ1$	$1.2\times K_{skew}\times EQ1$	$1.7\times K_{skew}\times EQ1$
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	$0.60\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90\times K_{skew}\times EQ2$	$1.10\times K_{skew}\times EQ2$	$1.50\times K_{skew}\times EQ2$
10	$0.90\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90\times K_{skew}\times EQ3$	$1.10\times K_{skew}\times EQ3$	$1.50\times K_{skew}\times EQ3$
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	$0.75\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.75\times K_{skew}\times EQ5$	$0.75\times K_{skew}\times EQ5$	$1.10\times K_{skew}\times EQ5$
14	$0.90\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90\times K_{skew}\times EQ3$	$1.10\times K_{skew}\times EQ3$	$1.50\times K_{skew}\times EQ3$
15	0.80	1.00	1.20	1.70

Tab. 3.6 Valori dei fattori e delle medie modificate per la costruzione delle curve di fragilità

Attraverso questa tabella è possibile andare quindi a costruire, in maniera semplificata, la curva di fragilità di uno specifico ponte adattandola a quella relativa ad un ponte "standard", cioè un ponte abbastanza lungo da poter trascurare gli effetti tridimensionali. Per ciascuno dei "ponti standard" individuati dalla suddivisione precedente vengono individuate le medie della accelerazioni spettrali a 1 secondo [Sa(1s)] necessarie ad individuare i diversi livelli di danno: questi valori, poi, vengono modificati per ciascun ponte specifico con l'utilizzo di fattori che tengono conto delle caratteristiche e della collocazione del ponte oggetto di studio.

Quindi, in conclusione, per la costruzione delle curve secondo questo metodo sono necessari i seguenti passaggi:

- individuazione delle caratteristiche del ponte: localizzazione, tipologia strutturale secondo le classi definite sopra, numero di campate (N), angolo d'incidenza (a_{SKEW}), larghezza impalcato (W), lunghezza totale (L), lunghezza massima delle campate (L_{MAX})
- valutazione del tipo di suolo del sito dove è situata la struttura per la costruzione dello spettro e l'individuazione delle accelerazioni spettrali Sa(1,0s) e Sa(0,3s)
- calcolo dei fattori del ponte specifico e delle medie modificate rispetto ai "ponti standard"
- assumendo la deviazione standard pari a 0,6 si tracciano le curve di fragilità per ciascun livello di danno.

3.3 Studi precedenti

Nella fase di redazione del lavoro sono stati consultati molti documenti dato il carattere multidisciplinare dell'approccio al problema di vulnerabilità. In questo paragrafo si segnalano in particolar modo alcuni articoli e lavori che hanno contribuito alla definizione dell'intero quadro di lavoro.

3.3.1 Curve di fragilità

Le curve di fragilità sono una rappresentazione statistica della fragilità dei manufatti, attraverso questo strumento è possibile conoscere, data una certa misura di intensità (IM) con quale probabilità il manufatto si trovi in uno stato di danno (DS). Esistono diversi metodi per la costruzione delle curve di fragilità, si possono bipartire in due macro-categorie, la prima è quella dei metodo empirici-analitici la seconda è quella dei modelli regressivi. Nella prima categoria rientrano tutte quelle analisi eseguite tramite il metodo degli elementi finiti che permettono di definire lo stato di danno partendo da alcune simulazioni effettuate su modelli

f.e.m. aventi in input accelerogrammi naturali o sintetici. A valle di queste analisi si stabilisce lo stato di danno in base ad una misura strutturale correlata allo stato di danno. A titolo di esempio è possibile fare riferimento ai seguenti articoli:

- *Seismic damage assessment for six RC bridges in the Veneto region (NE Italy)* [Franchetti P., Grendene M., Slejko D., Modena C.]
- *Seismic fragility for highway bridges using a component level approach* [Bryant G. Nielson, Reginald DesRoches]
- *Seismic risk scenarios for an efficient seismic risk management: the case of Thessaloniki (Greece)* [K. Pitilakis, M. Alexoudi, S. Argyroudis, A. Anastasiadis]

All'interno della procedura Hazus sono presenti dei valori di media ottenuti da regressioni sui database dei terremoti storici di Northridge e Loma Prieta, la procedura con cui sono stati ricavati tali valori è indicata nel trattato "*Enhancement of the highway transportation lifeline module in hazus*" di Nesrin Basoz e John Mander.

3.3.2 Costruzione del database

Per quanto riguarda la costruzione di un database relativo ai ponti, si è fatto riferimento a diversi articoli, tra cui si segnala "*Application of Database Technology in Bridge Condition Assessment*" Di Deshan Shan, Chunyu Fu, Qiao Li. Di seguito si riportano una serie di figure relative al lavoro suddetto.

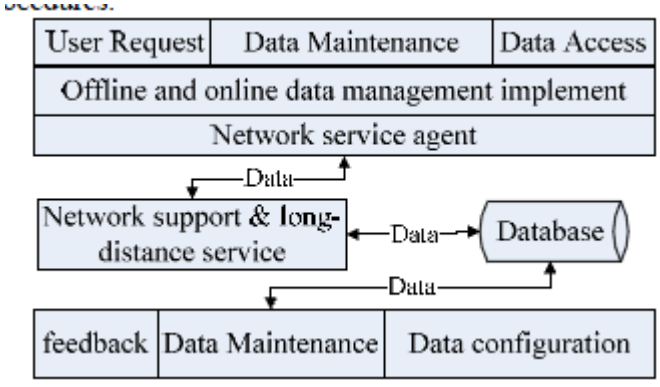


Fig. 3.6 Disegno della procedura schematica del BirMMS (Bridge Inspection Rating Maintenance and Manegement System)

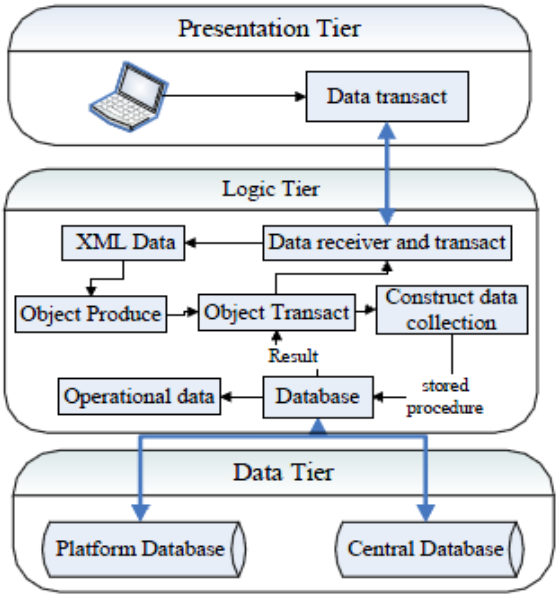


Fig. 3.7 Schema del trasferimento dei dati

Un altro spunto è stato ricavato dal trattato "*Study on the Development of Shui Bridge Management System*" di Lianfa Wang, Aiping Tang, Yuping Cui, Shengchao Yang, Zhicai Zhan. Di seguito si riporta il diagramma di flusso di funzionamento alla base del database.

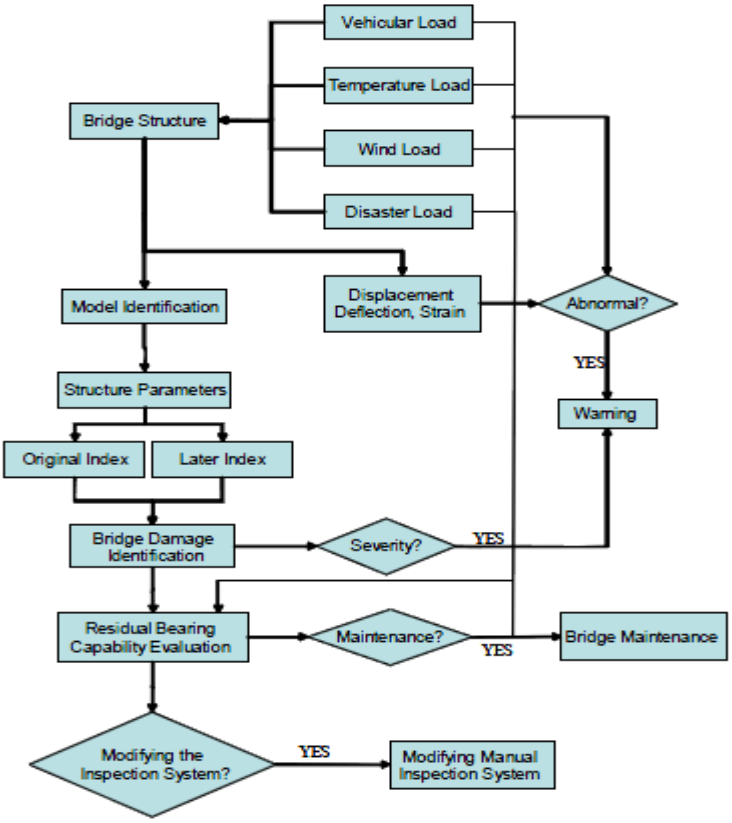


Fig. 3.8 Diagramma di flusso dell'operazione

Altro lavoro da segnalare è "*A structure database and its application: Maintenance Information Management System and Bridge Management System of Hanshin Expressway"* di A. Nanjo, N. Kanjo, K. Ueda e S. Nozaki (fig. 3.9).

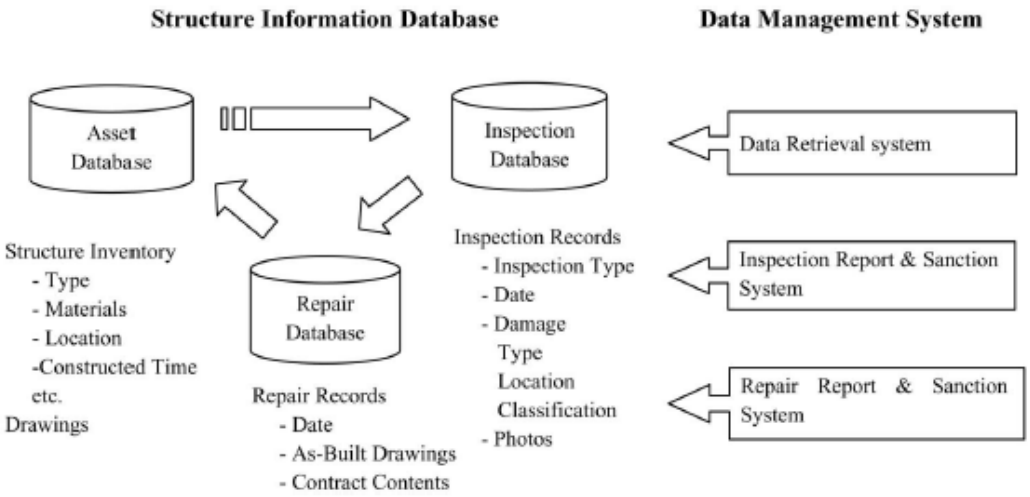


Fig. 3.9 Configurazione del MIMS (Maintenance Information Management System)

Ultimo riferimento citato è "*Integration Research and Design of the Bridge Maintenance Management System"* di Zi-hong YIN, Yuan-fu LI, Jian-GUO, Yan LI a (fig. 3.10).

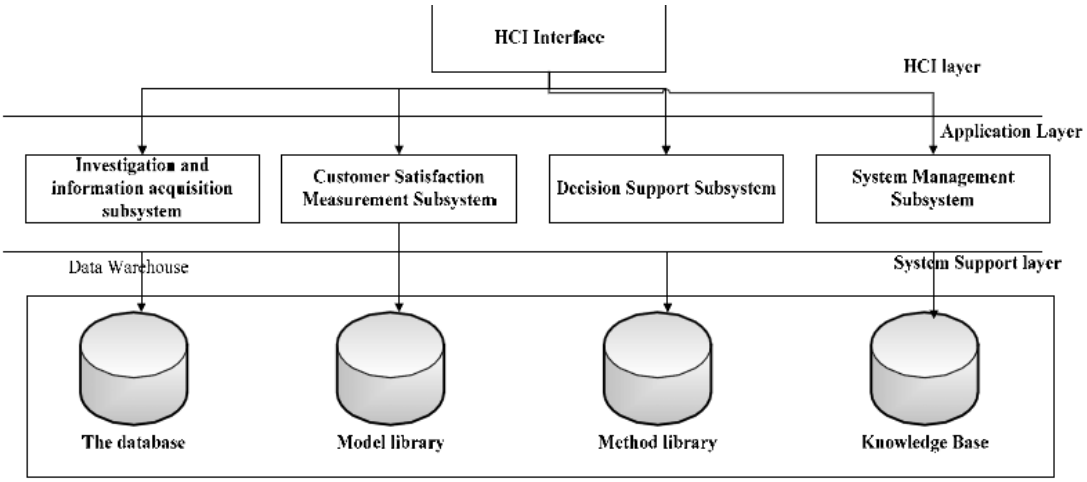


Fig. 3.10 BMMIIES (Bridge Maintenance Management Intelligent Integrated Evaluation System)

3.3.3 Contributo di Shinozuka

Un sottoparagrafo intero merita uno dei massimi esperti mondiali in termini di vulnerabilità sismica dei ponti e in particolare delle curve di fragilità, cioè il prof. Masanobu Shinozuka, Professor of Civil e Environmental Engineering presso l'Università di Irvine, California.
Tra i vari articoli consultati si citano:

- *System Risk Curves: Probabilistic Performance Scenarios for Highway Networks Subjects to Earthquake Damage* [Nobuhiko Shiraki, Masanobu Shinozuka, Hon.M.ASCE, James E. Moore II, A.M.ASCE, Stephanie E. Chang, Hiroyuki Kameda, Satoshi Tanaka]. In questo testo si dibatte molto sulla tematica del metodo di Monte Carlo (verrà chiarito questo apetto nel capitol 6). In figura 3.11 si ha l'esempio di una tabella col calcolo dei parametri associati alle curve di fragilità (questi concetti verranno definiti nel corso dei capitoli 4-5).
- *Developing Fragility Curves for Concrete Bridges Retrofitted with Steel Jacketing* [Masanobu Shinozuka e Sang_Hoon Kim]. Si riporta in figura 3.12 un esempio di curve di fragilità per un ponte in calcestruzzo.
- *Statical Analysis of Fragility Curves* [M. Shinozuka, M. Q. Feng, H. Kin, T. Uzawa, T. Ueda]. Viene chiarito il concetto del passaggio dallo stato di danno del ponte a quello del link (vedi fig. 3.13 e capitolo 6).

Table 1. Bridge Damage States, Bridge Damage Index, and Fragility Curve Parameters

Bridge damage state/ fragility curve	Bridge damage index	Median PGA (g) c_j	Log-standard deviation ζ
No damage	0.00	—	—
Minor damage, $j=1$	0.10	0.83	0.82
Moderate damage, $j=2$	0.30	1.07	0.82
Major damage, $j=3$	0.75	1.76	0.82
Collapse, $j=4$	1.00	3.96	0.82

Fig. 3.11 Parametri associati ai ponti e alle curve di fragilità

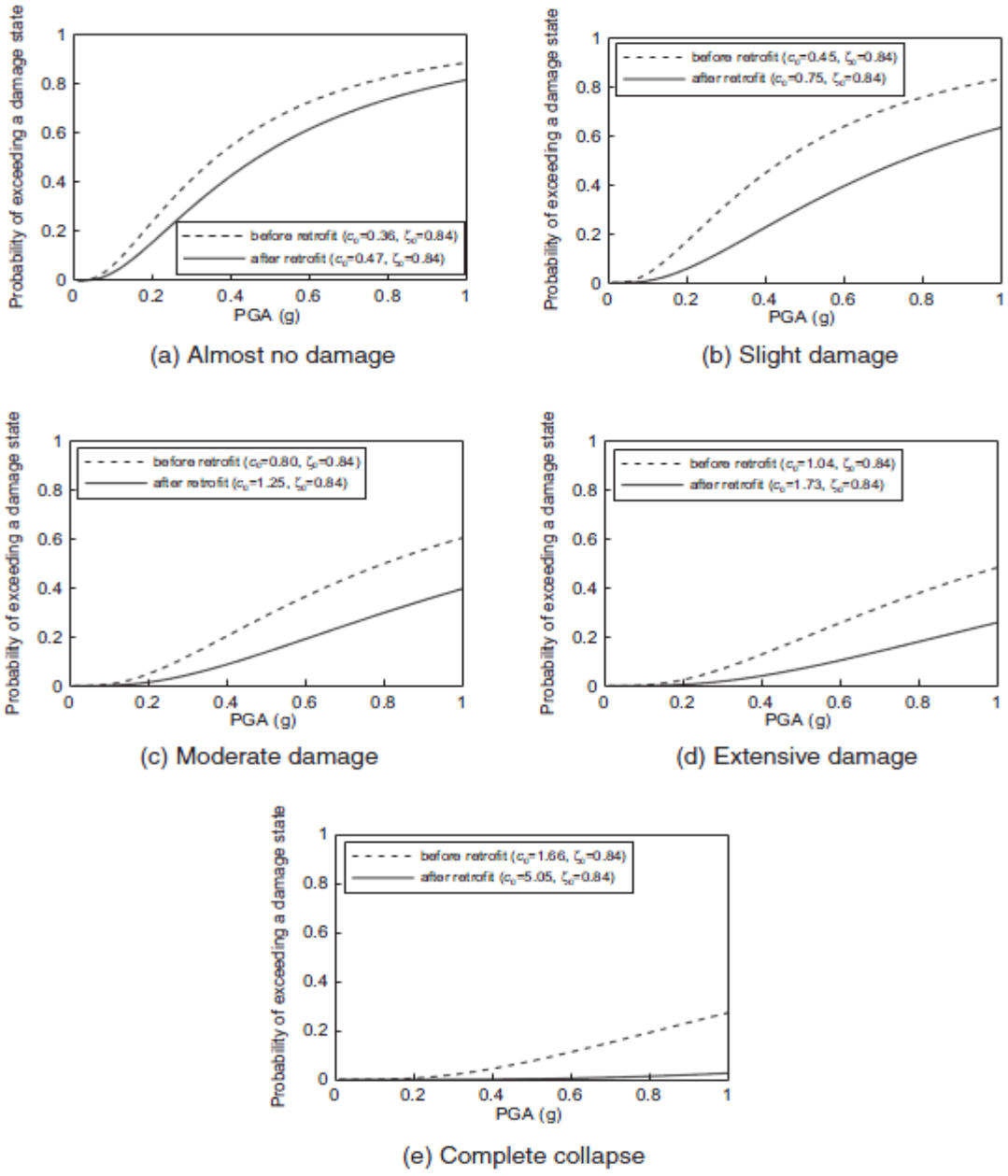


Fig. 3.12 Esempio di curve di fragilità per un ponte in calcestruzzo

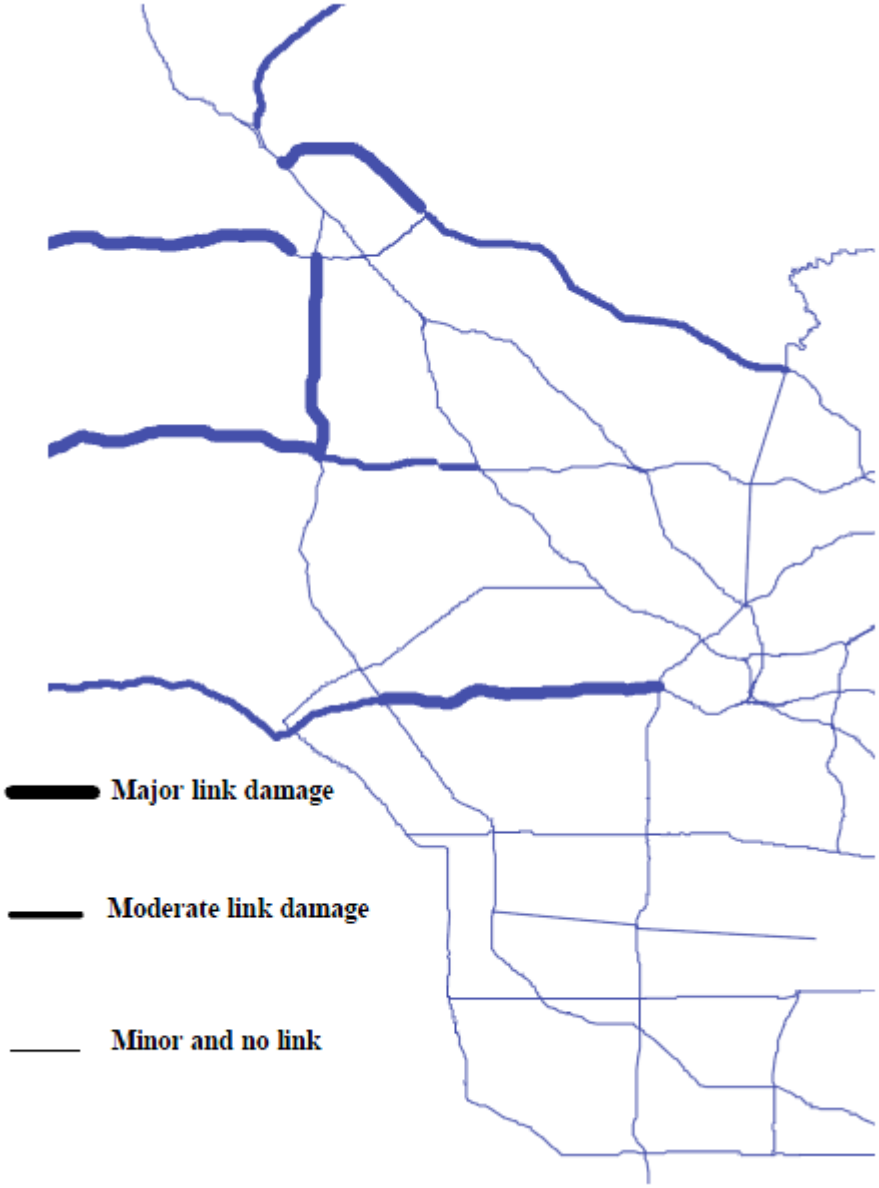


Fig. 3.13 Stato di danno dei link della rete autostradale di Los Angeles

CAPITOLO 4

PROCEDURA GENERALE

In questo capitolo viene presentata la procedura teorica per la realizzazione di una database rappresentativo della vulnerabilità di una rete di ponti.
Il lavoro viene realizzato nell'ambito della rete stradale della Regione Veneto, usufruendo della collaborazione con il settore trasportistico del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale (DICEA) dell'Università degli studi di Padova.
Questo nuovo strumento si propone di essere una prosecuzione e un miglioramento del database realizzato anni or sono, denominato IBRID, ovviamente puntando a una integrazione di ulteriori ponti e introducendo tutte le caratteristiche geometrico-strutturali necessarie per definire le curve di fragilità.
In questo lavoro sicuramente non si potrà arrivare ad una conclusione della procedura di automatizzazione, in quanto rimangono ancora molti ponti da catalogare, quindi l'opera verrà ripresa in mano da altri soggetti fino a quando si arriverà ad una stesura definitiva. Ad ogni ponte viene proposto successivamente (capitolo 6) una trattazione dei possibili sviluppi futuri in questo ambito.
Nel corso del capitolo successivo verrà presentata in dettaglio la procedura applicativa caratterizzante il metodo.

4.1 Informazioni

Il primo passo da seguire è, come già accennato nei capitoli precedenti, è di individuare gli elementi del sistema di trasporto a rischio. Come più volte ribadito, i ponti sono i componenti più fragili di una rete di trasporto quindi possono essere, con buona approssimazione, analizzati solo questi elementi. Per avere una adeguata conoscenza dei ponti, è necessario reperire una adeguata informazione tramite diverse fonti, tra cui le più importanti sono le mappe I.G.M. e la cartografia digitale.

Nel caso di specie, molte informazioni sono state recuperate dal database IBRID. Però bisogna notare che molte voci sono lacunose o contenenti errori. Per questo motivo si è resa comunque necessaria una verifica accurata di ciascuna voce. Inoltre altri ponti sono stati inseriti ex novo, andando a definire quindi la posizione (strada, km, elemento sovrapassato ecc…), le caratteristiche geometrico-strutturali (materiale, schema strutturale, numero di campate ecc…) e per alcuni sono state recuperate anche le informazioni meccaniche (resistenza dei materiali, comportamento elastico ecc…).

4.2 Programmi utilizzati

Per la realizzazione dell'intero lavoro, sono stati utilizzati due software: Access 2010 e ArcGIS 10.
Col primo, appartenente al pacchetto Office, si è realizzato il vero e proprio database. Infatti sono state riportate tutte le informazioni (già disponibili o ricavate) sui ponti e realizzate tutte le procedure necessarie all'ottenimento del risultato finale. Le varie fasi sono descritte al paragrafo 4.2.2. Nell'appendice A è stata inserita una panoramica sulle caratteristiche di questo programma.
ArcGIS 10 è un sistema completo per la progettazione e la gestione di soluzioni attraverso l'applicazione della conoscenza geografica. Una descrizione più approfondita delle funzionalità del programma è stata inserita, analogamente ad Access 2010, all'interno dell'appendice A.
La procedura seguita con questo software è elencata al paragrafo 4.2.1.

4.2.1 Procedura seguita in ArcGIS 10

La maggior parte del lavoro è stato effettuato sfruttando una delle applicazioni integrate, ovvero ArcMap, la componente utilizzata per visualizzare e gestire i dati geospaziali e creare mappe. Di seguito si elencano la fasi:

1) Inserimento mappa: il lavoro viene realizzato a partire da un layer denominato "Rete", che contiene il grafo stradale della regione Veneto. E' da

osservare che la mappa non contiene la rete ferroviaria, sebbene siano comunque alcuni ponti ferroviari.

2) Dalla rete complessiva si vanno ad estrarre gli archi rappresentativi di ponti e viadotti. Si va quindi a "interrogare" il programma. Per fare ciò si sfrutta lo strumento "Select by Attributes", all'interno del quale, inserito il valore di input (il campo Rete) e il campo di ricerca (il campo SEDE che identifica i vari tipi di elementi: ponti, gallerie, passaggi a livello ecc…), si associa il valore che caratterizza i ponti/viadotti (SEDE=2).

   Il passaggio successivo è di prendere i valori selezionati e creare un nuovo layer. Operativamente si sfrutta il comando "Create layer from selected features". Quindi si rinomina il nuovo layer in "Ponti", così che vengano visualizzati all'interno della rete, con colore diverso, tutti gli archi che corrispondono a dei ponti.

3) Si cerca (se presente) la corrispondenza tra i ponti riportati nel vecchio database IBRID (con codice ID_IBRID) e quelli riportati nel layer appena creato (con codice EXTERNALID). Operativamente questo passaggio viene realizzato andando a individuare (attraverso le informazioni presenti in IBRID e/o con l'ausilio di servizi come Google Maps e Google Earth) la posizione di un ponte all'interno del layer e, nel caso in cui vi sia un arco identificativo, andare a rilevare il codice EXTERNALID. Nel caso dei ponti ex novo, si procede in maniera analoga; l'unica differenza sta nel fatto che è necessario assegnare un codice ID_IBRID.

   La corrispondenza viene realizzata realizzata tenendo conto di alcune approssimazioni nella scelta dell'arco. Nel caso di ponti rappresentati, sul layer, da un solo arco, non si ha alcun problema e si seleziona e si individua l'EXTERNALID dell'arco. Nel caso invece di ponti rappresentati da 2 o più archi si seleziona l'arco "meglio disposto"; ad esempio nel caso di ponte caratterizzato da 3 archi, si prende in considerazione l'arco centrale.

4) Una volta noti gli archi rappresentativi dei ponti, di essi si ricava il punto medio. Questo è dovuto al fatto che, come descritto con precisione al punto successivo, verrà caricata la mappa sismica del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) per cui, per risalire ai parametri sismici, a partire da

quelli dei nodi della mappa sismica. Risulta agevole rappresentare i ponti con un punto (tenendo conto che i parametri sismici lungo il ponte non potranno cambiare più di tanto).

5) Come anticipato al punto precedente, si importa la mappa sismica in ArcMap. Si seguono i seguenti passaggi:
   - Dal sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici si scarica la "Tabella Parametri Spettrali GU" contenente, per ogni punto della mappa (caratterizzata da un reticolato a maglie quadrate di lato 5 km), i parametri ag (accelerazione di picco al suolo), T^*_C (tempo di ritorno in cui termina il tratto costante ad accelerazione costante, attraverso il quale, tenendo conto del coefficiente Cc relativo al sottosuolo, si calcola l'effettivo tempo T_C) e Fo (fattore di amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale). Questi parametri sono indispensabili per ottenere le accelerazioni spettrali Sa, necessarie per ricavare le curve di fragilità.
   - Si converte la tabella in un formato adatto per l'importazione (in questo caso da un pdf si è passati a un xls).
   - Si procede all'importazione, sfruttando il "Catalog" di ArcMap. Si seleziona il geodatabase che contiene i ponti (Ponti.gdb), si sfrutta la funzione Import (richiamabile con tasto destro del mouse) e infine si clicca su Table (Single). Sulla schermata che appare è sufficiente indicare la tabella di input e il nome da associare alla tabella da creare (nel nostro caso è stato dato il nome "Mappa").
   - Si realizza un layer che abbia, come Attribute Table, la tabella Mappa. Si ottiene quindi un layer chiamato "XYmappa_Converted".
6) Si interagisce con la mappa appena importata. Per ogni punto rappresentativo di un ponte si ricavano i 4 nodi della mappa più vicini (vedi figura).

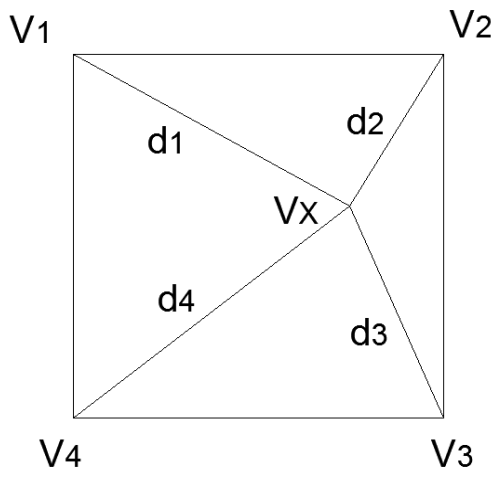


Fig. 4.1 Dettaglio di una maglia con le distanza tra i nodi della mappa e del ponte

L'obiettivo, come già accennato, è di ricavare i tre parametri sismici del ponte a partire da quelli della mappa sismica. Per farlo si sfrutta una formula di "Inverse Distance Weighted" del tipo:

$$Vx = \frac{\frac{V1}{d1} + \frac{V2}{d2} + \frac{V3}{d3} + \frac{V4}{d4}}{\frac{1}{d1} + \frac{1}{d2} + \frac{1}{d3} + \frac{1}{d4}}$$

La formula verrà implementata in Access per fare il calcolo per ogni ponte e per tutti e tre i parametri.

I 4 punti più vicini (con le relative distanze) si calcolano in ArcMap considerando i toolboxes, dai quali si utilizza la funzione "Analysis Tools" e, alla voce "Proximity", si clicca su "Generate Near Table". Come input si inserisce il layer Punti_Medi_Converted relativo, ovviamente, ai punti medi rappresentativi dei ponti; come Near Features si seleziona il layer XYMappa_Converted; l'output viene chiamato "Distanze_Completo".

In questa maniera si conoscono, per ogni ponte, i 4 punti della mappa sismica più vicini e le relative distanze.

Tutte le informazioni ricavate in questi passaggi saranno importate all'interno di Access 2010.

4.2.2 Procedura seguita in Access 2010

Anche il lavoro svolto col programma del pacchetto Office può essere suddiviso in varie fasi:

1) Inserimento della tabella contenente, per ogni record, i campi identificativi del ponte: posizione (comune, provincia, strada, km ecc…), caratteristiche geometrico-strutturali (numero di pile, schema statico, materiali impiegati ecc…), caratteristiche meccaniche (resistenze, deformazioni) e altro ancora.
2) Inserimento del collegamento tra i ponti col codice ID_IBRID e quelli col codice EXTERNALID.
3) Importazione della mappa sismica da ArcGIS. La tabella viene riordinata in funzione del periodo di ritorno in maniera tale da avere una visualizzazione più comoda e efficace. La tabella così ottenuta è stata rinominata "Mappa_Sismica_UNIPD".
4) Creazione di una query che indichi, per ogni EXTERNALID i codici dei 4 nodi più vicini della mappa sismica. E' da notare che sono stati presi in considerazione tutti gli archi, non solo quelli dei ponti. Per considerare solo quest'ultimi è sufficiente andare a filtrare i dati.
   La query così ottenuta è stata chiamata 01_vistaNodiPerArcoCodice.
5) Creazione query simile alla precedente, però che indichi per ogni EXTERNALID le distanza (in metri) dai 4 nodi più vicini. Il nome assegnatole è 01_vistaNodiPerArcoDist.
6) Creazione di una query risultante delle due precedenti e che indichi, per ogni EXTERNALID, sia il codice sia la distanza.
7) Creazione di una query che indichi, per ogni EXTERNALID, i valori di ag, Fo e T^*_C dei 4 nodi prossimi e calcoli il valore dei tre parametri sul ponte.
   Questo è stato realizzato per ogni periodo di ritorno, anche se in realtà, per gli studi e le analisi qui affrontate, sarebbero sufficienti solo i parametri legati a un T_R= 475 anni.
8) Creazione di una query in cui sono inseriti tutti i campi necessari per risalire ai valori necessari per risalire alle probabilità di superamento contenute nelle curve di fragilità.

9) Creazione di una query analoga alla precedente, con la differenza che si tiene conto dell'adeguamento sismico su ciascuno. Anche in questo caso si calcolano i valori associati alle curve di fragilità.
10) Creazione di query dedicate alla determinazione dei valori necessari per automatizzare la realizzazione grafica delle curve di fragilità

I vari passaggi verranno ad ogni modo descritti nel dettaglio nel capitolo successivo.

4.3 Scenari sismici

Uno scenario sismico è un evento simulato (o registrato) che indica l'intensità del sisma, dati un epicentro, una misura dell'azione e una caratterizzazione del suolo. Per descrivere l'azione in ogni punto della mappa si impiega una misura di intensità: un'accelerazione di picco, un'accelerazione spettrale, un velocità al suolo di picco, uno spostamento residuo del suolo. Gli scenari si possono costruire a partire da informazioni su posizione della faglia, caratteristiche, misura di severità del sisma. Attraverso tali relazioni di attenuazione si ottiene il valore di accelerazione al bedrock (cioè il piano roccioso su cui poggiano i successivi strati di terreno di altra provenienza). Le accelerazioni riferite a roccia vanno trasformate tramite opportune relazioni per adattarle alle caratteristiche di amplificazione–attenuazione del terreno. Per operare tali adattamenti sono state scelte le relazioni presenti nelle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, con la relativa Circolare Applicativa del 2009. Le suddette formule (vedi 3.2.4 NTC) permettono di calcolare direttamente l'accelerazione spettrale per i periodi richiesti:

$$0 \le T < T_B \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \le T < T_C \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \le T < T_D \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \le T \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Fig. 4.2 Valori per il calcolo delle accelerazioni spettrali

Per valutare l'accelerazione spettrale è necessario conoscere tre parametri: ag (accelerazione di picco al suolo), T^*_C (tempo di ritorno in cui termina il tratto costante ad accelerazione costante, attraverso il quale, tenendo conto del coefficiente Cc relativo al sottosuolo, si calcola l'effettivo tempo T_C) e Fo (fattore di amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale). Questi tre elementi, come indicato nel paragrafo 4.2.1, possono essere ricavati sfruttando la Tabella dei Parametri Spettrali realizzata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici che è inserita nell'allegato B delle NTC. A partire dai valori della tabella è possibile risalire ai valori su ciascun ponte, come descritto sempre nel paragrafo 4.2.1.

Con gli scenari di pericolosità sismica così ottenuti si può procedere alla fase di calcolo della fragilità dei manufatti entrando nelle curve di fragilità con il valore di accelerazione spettrale calcolato ad 1.0[s].

Molto importante sarebbe la possibilità di automatizzare il cosiddetto Metodo di Montecarlo (descritto nel capitolo 6) che consente la generazione casuale di diversi scenari sismici. Purtroppo in questa fase non è stato possibile l'inserimento di questo elemento. Indubbiamente sarà uno dei passaggi successivi di cui si occuperà chi porterà avanti lo sviluppo del database.

4.4 Fragilità dei ponti

Le curve di fragilità rappresentano la probabilità che un ponte si trovi in un determinato stato di danno in funzione di una accelerazione subita.
In altre parole, corrisponde alla probabilità di superare un dato stato di danno assegnata una misura di intensità. Le curve di fragilità impiegate nella procedura qui descritta sono quelle riportate all'appendice 2 del WP6 del progetto RiskUe. Tali curve prendono la forma di distribuzione log-normale con varianza fissata β = 0.6, e valore medio, in funzione della tipologia del ponte, secondo tab. ?.? riportata di seguito. La curva di fragilità assume la forma:

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

dove:

- Φ è la funzione di densità di probabilità cumulata normale;
- A_l e β_c sono rispettivamente la media e la deviazione standard della distribuzione per i vari stati di danno;
- S_a è il parametro rappresentativo dell'azione sismica, in questo caso corrisponde all'accelerazione spettrale.

Gli stati di danno sono 4, come già detto abbondantemente in precedenza. Si passa dallo stato da danno lieve fino ad arrivare allo stato di danno di collasso.
Secondo Shinozuka la curva di fragilità è indipendente dal parametro impiegato per determinare il moto del terreno, a patto che sia usata concordemente in tutta la procedura. Nell'applicazione della procedura si farà riferimento ad una accelerazione spettrale ad 1.00 secondo.
Per correlare i parametri relativi agli stati di danno con le tipologie del ponte è opportuno inserire i dati relativi a tali parametri in un database e costruire un'interrogazione che correli la tipologia del ponte con i parametri per essa stimati.

Nel seguito si da una caratterizzazione descrittiva degli stati di danno, caratterizzazione che è necessaria per comprendere il riferimento agli stati di danno.

- ***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 (danni che richiedono una riparazione estetica) o 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.

Nelle figure successive si mostrano i possibili danni che può subire un ponte, da quelli lievi fino a quelli più consistenti.

Fig. 4.3 Danni di tipo lieve

Fig. 4.4 Danni di tipo moderato

Fig. 4.5 Danni di tipo esteso

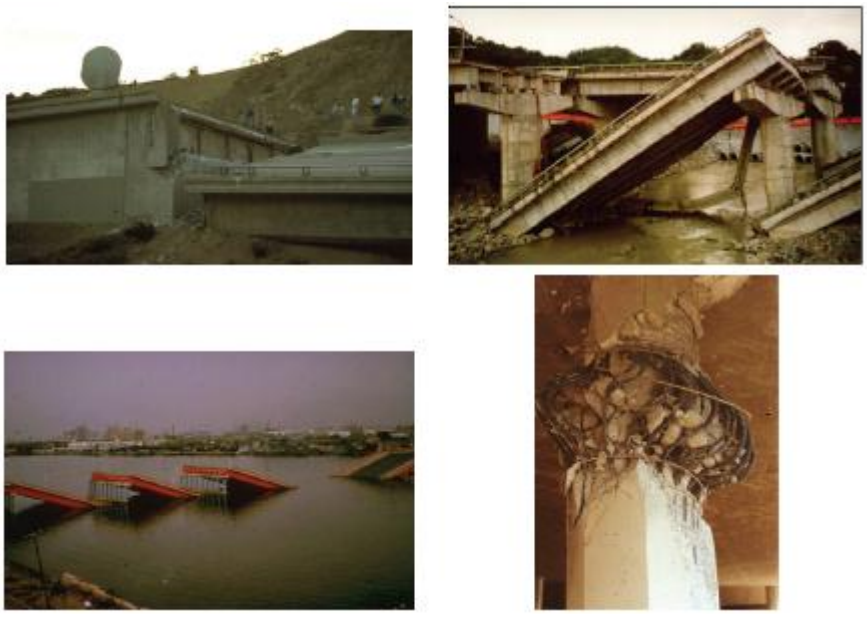


Fig. 4.6 Collasso

4.5 Danni alle infrastrutture

Per calcolare i danni ai manufatti si fa ricorso alle curve di fragilità, definendone una per ciascun stato di danno, per un totale quindi di quattro curve per ciascun ponte. Attraverso lo scenario sismico descritto dalla tabella dei parametri sismici della normativa, si determinano quattro valori di probabilità, ciascuno relativo al singolo stato di danno. Successivamente, considerando intervalli del parametro Sa, si risale all'intera curva di fragilità.

In questa maniera si riesce ad automatizzare la procedura e si riesce, per ogni ponte, a ricavare le curve relative alle quattro condizioni limite. Conoscendo queste, è possibile quindi, per un determinato scenario sismico, conoscere in quale stato di danno si troverebbe il ponte.

Per capire meglio il concetto si considera un esempio. Si consideri il Ponte San Felice posto a Trichiana, in provincia di Belluno. Facendo l'analisi automatizzata con Access si determinano delle curve del tipo:

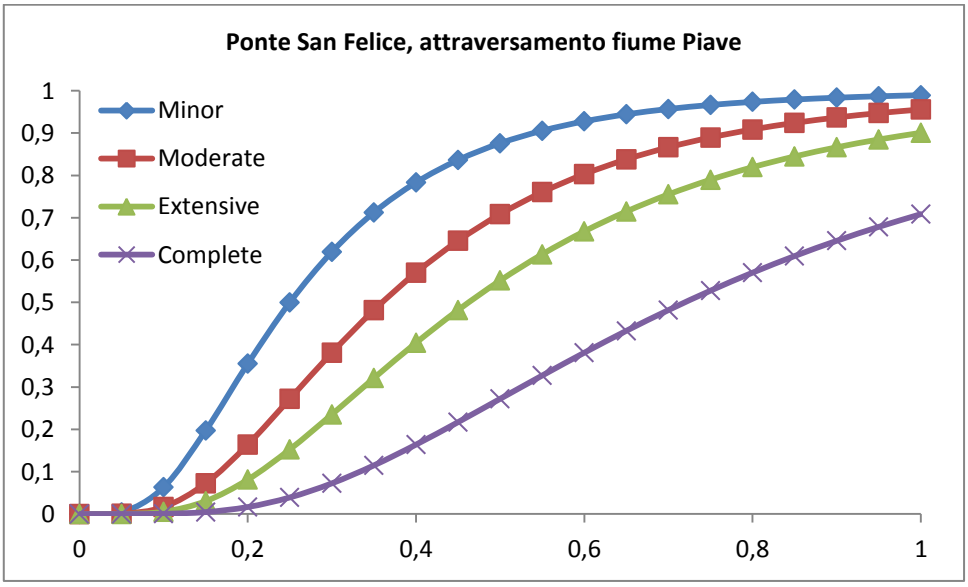


Fig. 4.7 Curve di fragilità per il Ponte San Felice

Si consideri, a titolo d'esempio, che un determinato scenario sismico comporti una accelerazione Sa(1s) pari a 0,4(g). Questo implica che, nel caso in cui la probabilità di superamento oscilli tra 1 e circa 0,8, il ponte si trova in uno stato ideale di nessun danno; se la probabilità varia tra 0,8 e 0,6, si è nel caso di danno lieve; se la

probabilità varia tra 0,6 e 0,4, il ponte subisce danni moderati; per valori di probabilità compresi tra 0,4 e 0,2 circa, il ponte è caratterizzato da danni estesi; infine per probabilità inferiori a 0,2 il ponte collassa (peggiore delle ipotesi).
La procedura automatizzata consente quindi di realizzare ciò che è stato mostrato nell'esempio per ogni ponte.

4.6 Danni agli archi della rete

Una volta che è noto il comportamento, è possibile fare delle considerazioni anche a livello di link (cioè di collegamenti tra due nodi di intersezione stradale). Si veda l'esempio tratto dalla rete stradale del Veneto salvata su ArcMap, dove in rosso è stato indicato un link.
Conoscendo lo stato del ponte a seguito di un determinato fenomeno sismico, è possibile poi determinare come agire sull'arco di rete che lo contiene. Si possono quindi venire a creare diverse situazioni:

- ***LINK NON TRANSITABILE***
  Questa condizione si viene a creare quando in un determinato link vi siano uno o più ponti da chiudere in seguito ad un determinato fenomeno sismico. Il traffico deve essere quindi essere destinato verso altre arterie stradali e, in funzione dell'importanza dell'arco, deve essere programmata una adeguata operazione di ripristino dell'arco.

- ***LINK CON RIDUZIONE DELLA FUNZIONALITA'***
  Situazione legata ad uno o più ponti che hanno subito danni consistenti ma non tali da comportare un blocco del traffico veicolare.
  Sono possibili diverse soluzioni:
  - Riduzione della velocità di transito per limitare gli effetti dinamici delle correnti veicolari;
  - Limitazione del transito per i veicoli pesanti;
  - Istituzione di un senso unico alternato;
  - Apertura dell'arco solo in determinate fasce orarie.

- ***LINK PERFETTAMENTE FUNZIONANTE***
  I ponti appartenenti non subiscono danni importanti, per cui non si opera alcuna riduzione sulla transitabilità dell'arco, mantenendo quindi invariate sia la capacità che la velocità di percorrenza.

4.7 Adeguamento sismico

Una tematica molto importante è quella del miglioramento a livello sismico di un ponte. Infatti la maggior parte dei ponti italiani sono stati realizzati almeno 40/50 anni fa per cui non rispettando al cuna normativa sismica, ai tempi non presente. Quindi un eventuale sisma può essere deleterio per un elemento che non è stato progettato per tenere conto in modo opportuno di questa componente. Un adeguato intervento di adeguamento sismico si rende dunque necessario.
Gli interventi si possono suddividere in diverse tipologie:

- 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

4.7.1 Allungamento delle zone di appoggio dell'impalcato

L'obiettivo di questo intervento è fornire una lunghezza di appoggio maggiore all'impalcato. In questa maniera si vanno a impedire situazioni come quella avvenuta nel 1994 per il terremoto di Northridge, cittadina della periferia nordovest di Los Angeles, California (vedi figura 4.8)

Fig. 4.8 Effetto del terremoto di Northridge del 1994

Si vanno quindi ad inserire delle selle di appoggio in maniera tale da conferire, come detto, al ponte una maggiore estensione per l'appoggio. Nelle figure successive vengono mostrati esempi di selle metalliche e di travi metalliche che eseguono il compito appena descritto. Il vantaggio di questo tipo di intervento risiede nella relativa semplicità e nel prezzo abbastanza contenuto.

Fig. 4.9 Esempio di selle metalliche su ponti in semplice appoggio

Fig. 4.10 Esempio di travi metalliche su ponti in semplice appoggio

4.7.2 Vincoli aggiuntivi realizzati con barre e cavi

L'inserimento di barre e cavi in zone e secondo modalità opportune può essere utile per evitare le fuori uscite degli impalcati dagli appoggi limitando gli spostamenti. Anche questa tecnica è semplice da realizzare con costo contenuti. Nelle figure successive sono mostrate due possibili soluzioni, nel caso di ponti a cassone e in semplice appoggio e poi degli esempi di applicazione.

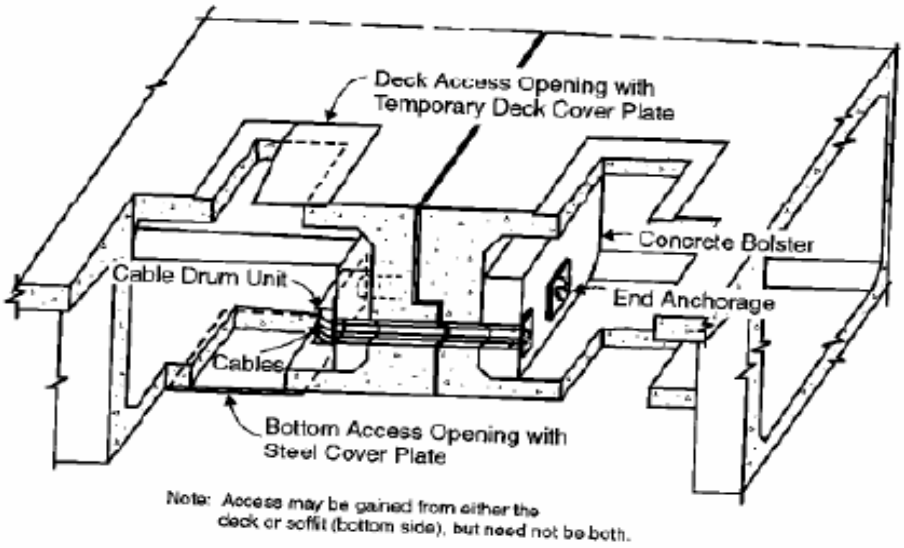


Fig. 4.11 Applicazione di cavi per strutture a cassone

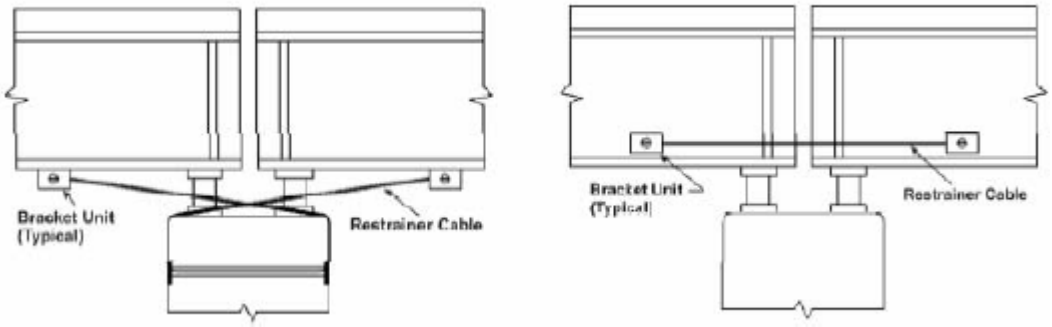


Fig. 4.12 Applicazione di cavi per strutture in semplice appoggio

Fig. 4.13 Esempi di utilizzo di cavi per ponti in semplice appoggio

Fig. 4.14 Esempio di utilizzo di barre per ponti in semplice appoggio

4.7.3 Ritegni longitudinali e trasversali

I ritegni servono a impedire gli spostamenti agli appoggi. Anche questi, come i primi due tipi, sono interventi non particolarmente difficoltosi e non troppo costosi.

Fig. 4.15 Esempi di utilizzo di ritegni

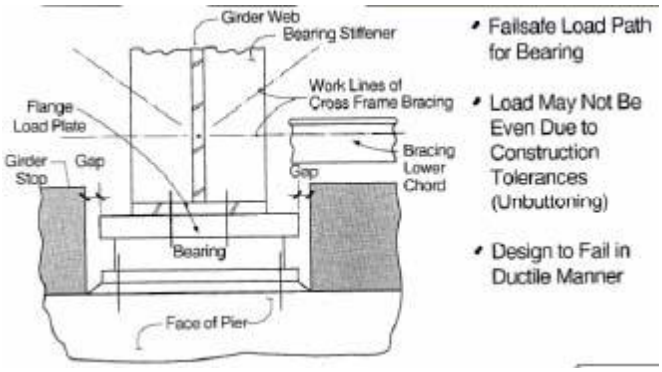


Fig. 4.16 Schema di impiego dei ritegni

4.7.4 Rinforzo delle pile

Questa tecnica, una delle più utilizzate, consente di:

- Aumentare la resistenza a taglio degli appoggi limitando gli spostamenti
- Aumentare la capacità di duttilità

Questi obiettivi possono essere raggiunti tramite:

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

Nelle figure seguenti viene mostrata una panoramica delle possibili soluzioni.

Fig. 4.17 Esempio di confinamento con piatti metallici

Fig. 4.18 Esempio di aumento della sezione con getti in c.a.

Fig. 4.19 Esempio di utilizzo di materiali compositi

Fig. 4.20 Esempio di utilizzo di cavi in acciaio ad alta resistenza

L'intervento di recupero delle pile dei ponti mediante fasciature può avere scopi diversi:

- Incremento della resistenza: il confinamento del cls può essere adottato, per esempio, nel caso di cls fortemente ammalorato per riportare la resistenza al livello di sicurezza previsto in fase di progetto, oppure la fasciatura può essere finalizzata ad aumentare la sezione resistente.
- Incremento di duttilità: nel caso di strutture realizzate in zona sismica l'intervento è concepito più per aumentare la duttilità e la capacità dissipativa che per la resistenza.

4.7.5 Rinforzo dei traversi

L'intervento viene realizzato per:

- Aumentare la resistenza a taglio
- Aumentare la duttilità
- Aumentare la resistenza a flessione

Anche in questo caso possono essere utilizzati più approcci, in particolare:

- Rinforzo con piatti metallici
- Aumento della sezione in c.a.
- Utilizzo di cavi di precompressione

Fig. 4.21 Traversi – Rinforzo con piatti metallici

Fig. 4.22 Traversi – Rinforzo con piatti metallici – Dettaglio del rinforzo

Fig. 4.23 Traversi – Aumento della sezione in c.a.

Fig. 4.24 Traversi – Utilizzo di cavi di precompressione

Fig. 4.25 Traversi – Utilizzo di cavi di precompressione – Dettagli degli ancoraggi

4.7.6 Isolamento e smorzamento

La tecnologia basata sull'utilizzo di dispositivi di isolamento è molto utilizzata nell'ambito della progettazione e degli interventi di adeguamento e miglioramento simico dei ponti e delle infrastrutture, dove le masse in gioco sono di entità rilevante e quindi una non corretta progettazione può portare a crolli o seri danneggiamenti strutturali delle pile, gli elementi più critici e soggetti maggiormente alle forze orizzontali, dovendo infatti assorbire tutto il taglio agente sul sistema strutturale.

Questa tecnologia si basa sul principio del disaccoppiamento delle frequenze caratterizzanti l'evento sismico dalle frequenze della struttura stessa, tramite l'interposizione tra le teste delle pile e gli impalcati (nel caso di edifici invece sono collocati tra le fondazioni e le strutture in elevazione) di apparecchi isolatori.

Fig. 4.26 Dispositivo di isolamento in funzione durante l'esecuzione di un collaudo

Il risultato del disaccoppiamento viene raggiunto caratterizzando il periodo proprio della struttura con valori almeno pari al triplo dei valori ottenuti dall'analisi della struttura non disaccoppiata, in modo tale da far sì che la struttura soggetta all'azione sismica si comporti sostanzialmente come un corpo rigido e trasli sulle superfici di appoggio degli stessi dispositivi di isolamento. Da sottolineare come in realtà la struttura non si muova ma sia invece il suolo a spostarsi a motivo dell'azione sismica, mentre la struttura isolata resti sostanzialmente ferma.

Tramite questa tipologia di intervento si vanno quindi a ridurre le sollecitazioni taglianti agenti sugli elementi verticali (pile o pilastri alla base negli edifici in c.a.). Questa soluzione permette inoltre di evitare anche danneggiamenti minori agli elementi secondari (rotture tamponamenti, impalcati, ecc…), riducendo così i costi di riparazione post-sisma ed il rischio di incolumità delle persone.

Gli apparecchi disponibili in commercio sono classificabili sostanzialmente in tre categorie di isolatori:

- ***elastomerici***: sono caratterizzati da un'elevata rigidezza verticale e da una bassa rigidezza orizzontale che permette quindi di far aumentare il periodo proprio della struttura isolata in modo tale da spostarlo al di fuori dell'intervallo delle frequenze in cui ricadono gli eventi sismici. Possono contenere al loro interno un clementino in piombo che permette un'ulteriore aumento della capacità dissipativa dell'elemento;

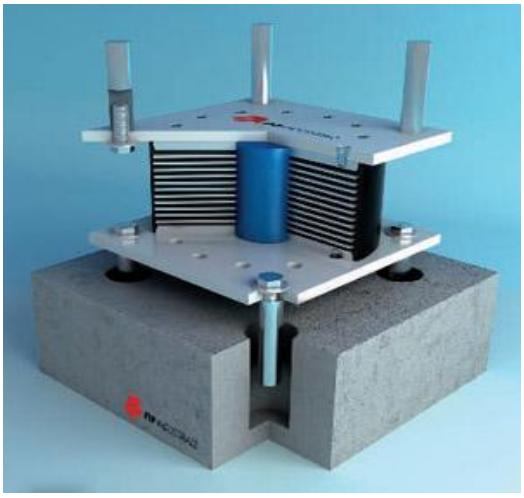


Fig. 4.27 Dispositivo di isolamento sismico elastomerico (FIP Industriale)

- ***a scorrimento***: permettono di "tagliare" la forza totale orizzontale agente al raggiungimento di un prefissato valore di sollecitazione, hanno un comportamento "a fusibile". Possono essere a scorrimento su superfici piane, accoppiando acciaio-teflon con o senza lubrificazione, oppure a pendolo scorrevole su superfici sferiche. Tra le due sottocategorie è da preferire la seconda perché si caratterizza per l'autoricentramento della struttura alla fine dell'evento sismico, data la geometria curvilinea della superficie di scorrimento;

Fig. 4.28 Dispositivo di isolamento sismico a scorrimento (FIP Industriale)

- ***a rotolamento***: sono realizzati in leghe metalliche e permettono di isolare le strutture sfruttando l'attriti volvente.

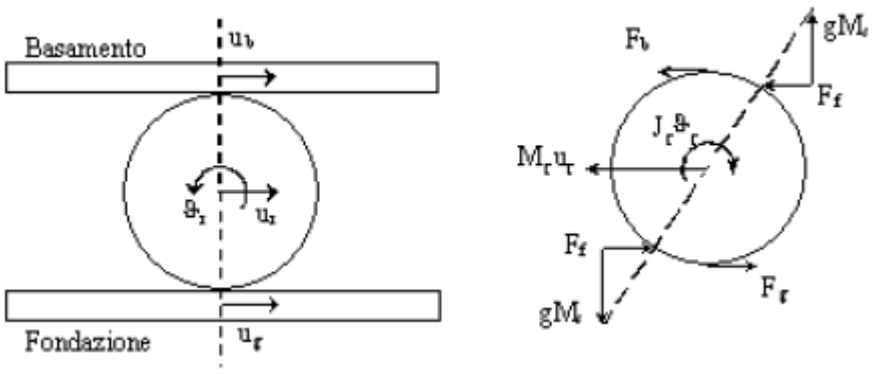


Fig. 4.29 Dispositivo di isolamento sismico a rotolamento, meccanismi associati

CAPITOLO 5

AUTOMATIZZAZIONE DELLA PROCEDURA

In questo capitolo viene riportata e chiarita l'intera procedura di automatizzazione, spiegata a livello teorico nel corso del capitolo 4.
In ogni paragrafo verranno fornite maggiori delucidazioni relative a ciascun passo svolto per arrivare al lavoro conclusivo.
E' importante ricordare nuovamente che quanto riportato in questa opera vuole essere un contributo iniziale per la realizzazione di un database completo ed efficiente che in automatico possa fornire valori attendibili relativi al singolo ponte, all'arco di rete in cui è inserito e infine alla rete nel suo complesso.
Molti aspetti, a causa di materiale non ancora disponibile, oppure per una non ancora completa catalogazione dei ponti (si tenga conto che il grafo stradale di riferimento contiene anche ponti estremamente piccoli, come ad esempio i ponti di scolo o quelli sovrappassanti strade agricole, per cui il lavoro di ricerca e inserimento delle informazioni è estremamente lungo e laborioso), non possono essere trattati al momento. Questi verranno meglio specificati nel capitolo 6.

5.1 Catalogazione dei ponti

La prima fase dell'esecuzione consiste nell'inserimento, all'interno del database, dei record relativi ai vari ponti.
Inizialmente si è lavorato sul database IBRID, realizzato nel corso degli anni presso l'allora Dipartimento di Costruzioni e Trasporti (DCT). Si è notato immediatamente che i record non sono stati inseriti in maniera adeguata. Infatti molti studenti si sono succeduti nell'aggiunta dei dati ma non è mai stato seguito un criterio uniforme, per cui la classificazione risulta essere poco chiara . Ad esempio per alcuni ponti nelle province di Venezia e di Padova, sono state riportate le vecchie coordinate UTM ED50 (per maggiori chiarimenti si veda l'appendice B) però, una

volta fatta la conversione con le più recenti coordinate UTM WGS84, in corrispondenza dei valori risultanti non è stato trovato nessun ponte. Per cui questi ponti, come altri che presentavano inesattezze e/o errori, non sono stati inseriti nel nuovo database ma sono stati comunque tenuti da parte per un eventuale chiarimento successivo.

Operativamente si è proceduto andando a cercare, per ogni ponte, la corrispondenza (se presente) all'interno della mappa importata in ArcMap. Per avere la sicurezza di selezionare il ponte esatto, si sono sfruttati programmi come Google Maps e Google Earth. Una volta trovato il ponte nel grafo stradale, si prende nota del codice identificativo dell'elemento (EXTERNALID) in maniera tale da avere il collegamento tra il codice del database IBRID (ID_IBRID) e quello della rete (appunto l'EXTERNALID).

E' importante ricordare che alcuni ponti possono essere rappresentati da più elementi (più archi); per questi si prende in considerazione l'arco più "rappresentativo", cioè quello che si trova in posizione più centrale. Questa semplificazione è necessaria in maniera tale da avere una corrispondenza 1:1 ed evitare complicazioni nel processo di automatizzazione.

Quindi alla fine di questa prima fase si ottiene una tabella, denominata "Classificazione", che contiene tutti i ponti di cui si è trovata una corrispondenza e, di ciascuno di essi, sono importate tutte le informazioni utili per studiarne il comportamento sismico (informazioni cioè che serviranno per determinare le curve di fragilità) più informazioni aggiuntive di vario tipo (strutturali, meccaniche ecc…).

Bisogna tenere conto che per alcuni ponti le informazioni inserite sono minime, in quanto per avere una panoramica completa è necessario procedere a delle ispezioni sul posto. Ad ogni modo le informazioni presenti sono sufficienti per verificare con una buona attendibilità la vulnerabilità sismica di ciascun ponte.

Nella figure successive sono riportati alcuni estratti della tabella suddetta.

Classificazione

ID_IBRID	EXTERNALID	BRIDGE CATEGORY_RiskUE	PROVINCE	LOCATION	NAME_BRIDGE	ROAD	km	COORDINATE_ES	COORDINATE_NOI	YEAR_BRIDG
2027	27434	1	VI	Trissino	Torrente Agno	S.P. 87	1+450	11°22'38"	45°33'55"	1990
2059	27536	15	VI	Camisano Vicentino	Fiume Ceresone	S.P. 24	0+680	11°43'38"	45°31'14"	ND
2058	27538	1	VI	Camisano Vicentino	Fiume Puina	S.P. 3	8+850	11°42'57"	45°31'10"	ND
2081	27613	15	VI	Breganze	Fiume	S.P. VIII	2+920	11°31'19"	45°42'6"	ND
2045	28700	1	VI	Lugo di Vicenza	Torrente	S.P. 68	7+900	11°31'0"	45°45'11"	ND
2030	28745	5	VI	Malo	Ponte sul Timonchio	S.P. 48	3+850	11°26'34"	45°39'54"	2000
2054	29194	3	VI	Valli del Pasubio	Torrente Leogra	S.P. 46	34+013	11°15'51"	45°44'22"	ND
2007	29653	7	VI	Torri di Quartesolo - Marola	Fiume Bacchiglione	S.P. 28	1+500	11°37'44.22"	45°32'23.58"	1965
2005	29777	10	VI	Grisignano di Zocco	Autostrada A4	S.P. 21	4+846	11°42'16"	45°28'45"	ND
2013	29787	5	VI	Sarego	Torrente Guà	S.P. 18	0+008	11°24'14.36"	45°24'24.34"	1965
2077	30707	1	VI	Pedemonte	Torrente	S.P. 85	0+850	11°18'18"	45°54'33"	ND
2070	31063	1	VI	San Vito di Leguzzano	Torrente Giarra	S.P. 47	0+160	11°22'27"	45°40'52"	ND
2083	31413	1	VI	Mason Vicentino	Canale	S.P. 61	4+380	11°36'47"	45°43'2"	ND
2052	31926	1	VI	Recoaro Terme	Torrente Agno	S.P. 246	30+450	11°14'24"	45°42'20"	ND
2031	32170	3	VI	Malo	Autostrada Valdastico A31	S.P. 48	1+540	11°28'7"	45°40'28"	ND
274	33437	1	TV	San Michele al Tagliamento	Michele al Tagliamento over-road br	S.S. 14	X	X	X	X
469	33538	7	TV	Pramaggiore	Canale Loncon	S.R. 53	106+378	12°43'23"	45°48'47"	1955
434	33739	1	TV	Portogruaro	Calvalcavia FF.SS.	S.R. 53	114+880	12°49'13"	45°46'35"	1970
2032	34295	3	VI	Marano Vicentino	Torrente Timonchio	S.P. 10	4+640	11°25'22"	45°41'28"	ND
85	36409	1	BL	S.Stefano	Ponte sul Piave	X	X	X	X	X
322	40091	1	TV	Valmarino	Torrente Gravon	S.P. 635	17+054	X	X	X
594	40091	1	TV	Cison di Valmarino	Torrente Gravon	S.P. 635	17+054	X	X	1923
373	40614	1	TV	Silea	Ponte su Scolo	S.R. 89	3+480	12°19'29"	45°38'46"	ND
375	40616	1	TV	Silea	Cavalcavia A27	S.R. 89	2+778	X	X	X
543	40801	1	BL	Sedico	Codalonga I	S.P. 638	17+074	12° 01'54"	46° 27'32"	1978
479	41272	1	BL	Santo Stefano di Cadore	Mazarei	S.R. 465	1+710	12°35'22,5"	46°33'10"	1960
90	41393	1	BL	Presenaio	Ponte sul Piave	X	X	X	X	X
535	41393	1	BL	San Pietro di Cadore	Fiume Piave	S.R. 355	44+430	12°36'14"	46°34'37"	ND
376	41401	1	TV	Silea	Cavalcavia via Cendon	S.R. 89	1+670	12°18'59"	45°38'52"	ND
84	41562	1	BL	S.Stefano	Ponte sul Piave	X	X	X	X	X
127	41591	1	VI	Cismon del Grappa	Cismon del Grappa bridge 1	S.S. 47	X	X	X	X
182	41769	1	VI	Vicenza	Vicenza over-railway Bridge (b)	S.R. 11	X	X	X	X

Fig. 5.1 Tabella classificazione: informazioni generali dei ponti

Classificazione

SPAN	DECK_CODE	STATIC SCHEME	DECK_TYPE	DECK_MATERIAL	SUPPORT	SGHEMBATURA_alfa	L SPAN_m	H PIER_m	BL_m	BT_m	H_diviso_BL	H_diviso_BT
1	ISO_G	S_SIMPLE	M_G	DCS	NEO	0	49,3	3,7	X	X	X	X
2	ARCH	ARCH	X	DM	X	0	4,8	1,5	X	X	X	X
1	ISO_G	S_SIMPLE	M_G	DPC	FRI	0	13,1	1,5	X	X	X	X
2	ARCH	ARCH	X	DM	X	0	5	2	X	X	X	X
1	ISO_G	SEMI_I	M_G	DC	FRI	10	11,9	4	X	X	X	X
3	ISO_G	CONT	SLAB	DPC	NEO	0	18,2	4,5	1,00	12,00	18,20	0,38
3	ISO_G	M_SIMPLE	M_G	DC	FRI	0	16,8	7	X	X	X	X
3	ISO_G	M_SIMPLE	M_G	DPC	FRI	20	26	6,3	1,40	1,40	18,57	4,50
3	ISO_G	CONT	M_G	DPC	NEO	20	36,4	4,8	0,60	1,50	60,67	3,20
2	CONT_B	CONT	M_G	DC	FRI	0	9,4	5,5	1,50	11,40	6,27	0,48
1	ARCH	ARCH	X	DC	X	0	13,25	3,8	X	X	X	X
1	ISO_G	SEMI_I	M_G	DPC	FRI	0	14	5	X	X	X	X
1	ISO_B?	S_SIMPLE	SLAB	DC	FRI	0	9	3,5	X	X	X	X
1	ARCH	ARCH	X	DM	X	0	15,5	4	X	X	X	X
3	ISO_G	M_SIMPLE	M_G	DPC	NEO	0	29,8	7	3,50	3,50	8,51	2,00
1	CONT_G	CONT	M_G	DPC	FRI	30	41	X				
3	ISO_G	S_SIMPLE	M_G	DC	FRI	0	12,00	2,00	X	X	X	X
1	ISO_G	M_SIMPLE	M_G	DC	FRI	0	20,60	5,70	1,00	0,60	5,70	9,50
3	ISO_G	M_SIMPLE	M_G	DPC	FRI	0	12,8	3,5	0,80	9,50	16,00	0,37
1	ARCH	ARCH	X	DC	X	0	X	X	X	X	X	X
1	ARCH	ARCH	X	DM	X	0	X	X				
1	ARCH	ARCH	X	DM	X	0	7,4	5	X	X	X	X
1	ISO_G	S_SIMPLE	M_G	DPC	FRI	30	10,00	3,70	X	X	X	X
1	ISO_G	S_SIMPLE	M_G	DC	FRI	0	X	X				
1	ISO_G	S_SIMPLE	M_G	DPC	NEO	0	19,80	4,40	X	X	X	X
1	ISO_G	SEMI_I	SLAB	DCS	FRI	0	17,90	3,20	X	X	X	X
1	ARCH	ARCH	X	DC	X	20	X	X	X	X	X	X
1	ARCH	ARCH	X	DM	X	0	12,87	2,90	X	X	X	X
1	ISO_G	S_SIMPLE	M_G	DPC	FRI	0	8,50	4,30	X	X	X	X
1	ARCH	ARCH	X	DC	X	25	X	X	X	X	X	X
1	ISO_G	M_SIMPLE	M_G	DC	FRI	20	X	X	X	X	X	X
1	ISO_G	M_SIMPLE	M_G	DC	FRI	0	0	X				

Fig. 5.2 Tabella classificazione: informazioni di carattere geometrico- strutturale

Classificazione

PIER_PASSC	Af_L_m2	Ac LONG_m	ARM LONG_	FC	Rck_MPa	Rcm_MPa	Fcd_MECC D	Fcd_MECC I	Fyk_MPa	Fym_MPa	Ftm_MPa	Fym_MECC I	Fym_MECC I
X	X	X	X	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
20	0,04	12,00	0,34	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	1,35	X	28,20	20,89	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
20	0,01	1,54	0,45	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
20	0,01	0,90	0,73	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	17,10	X	1,35	X	28,20	20,89	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20	0,02	9,62	0,18	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	1,35	X	28,40	21,04	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
25	0,01	0,60	1,06	1,35	X	45,52	33,72	380,00	X	380,00	X	373,69	324,95
20	0,03	7,60	0,43	1,35	35,00	43,00	31,85	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	1,35	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	1,35	X	25,00	18,52	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	1,35	X	22,30	16,52	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	1,35	X	28,00	20,74	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	1,35	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	1,35	X	34,50	25,56	430,00	X	430,00	X	422,86	367,70
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fig. 5.3 Tabella classificazione: informazioni di carattere meccanico

In figura 5.1 sono riportatati i campi necessari per una adeguata localizzazione del ponte (paese, strada in cui il ponte è collocato col relativo km, coordinate) e quello relativo alla definizione della categoria secondo il metodo RiskUE. Per capire meglio come è stata determinato questo parametro, si riporta nuovamente la tabella estratta dal manuale del metodo europeo.

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

Tab. 5.1 Tipologie di ponte distinte per materiale e caratteristiche geometrico-strutturali

I parametri necessari per definire la categoria sono quindi:

- Materiale del ponte;
- Tipologia della pila (singola o multipla);
- Continuità della campata (semplice appoggio o continuo);
- Tipologia del progetto (tradizionale o sismico)

Per l'ultimo parametro bisogna fare una considerazione. Siccome la maggior parte dei ponti sono stati realizzati più di 40/50 anni fa, la tipologia di progetto sarà nella maggior parte dei casi quella convenzionale.

In figura 5.2 sono invece riportate informazioni come il numero delle campate, lo schema statico (semplice appoggio, arco, continuo ecc…), il materiale del ponte e la sghembatura (cioè l'inclinazione tra il ponte e l'elemento sovrappassato).
Per quanto riguarda lo schema statico, si segnala che lo schema ad arco e quello con travi Gerber sono considerati rispettivamente come schema continuo e a

semplice appoggio (tenendo conto della distinzione della tabella 5.1), in quanto il metodo europeo tiene conto solo di questa suddivisione.
Nell'ultimo estratto sono indicate le caratteristiche meccaniche, come ad esempio la resistenza caratteristica cubica Rck e la resistenza a snervamento dell'acciaio.

Una volta che è terminata la tabella, si può procedere con i passaggi successivi.

NOTA: in futuro sarà sufficiente inserire, all'interno della tabella Classificazione, i dati relativi a nuovi ponti e automaticamente tutti i passaggi che nel seguito verranno descritti saranno applicati anche per gli ultimi inserimenti.

Di seguito si mostra la rete di ArcMap con il dettaglio dei ponti catalogati (colorati di rosso).

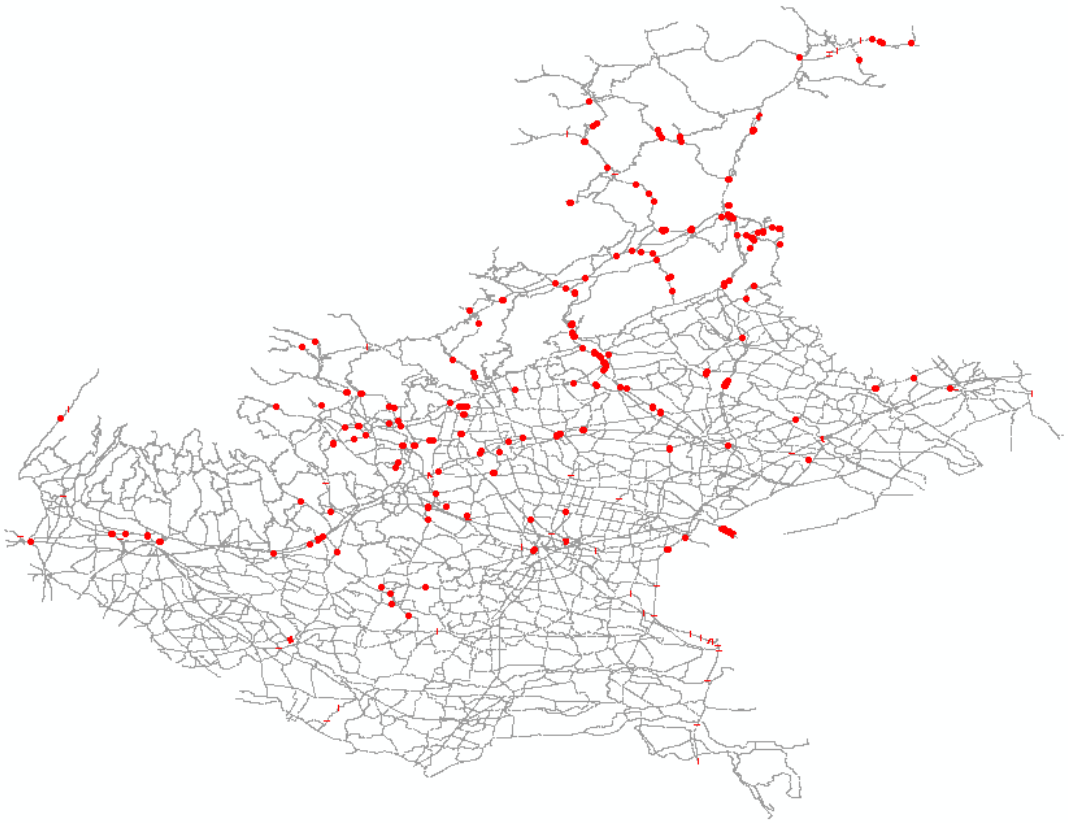


Fig. 5.4 Grafo rete Veneto con riportati i ponti catalogati

Come si può notare dalla figura riportata, mancano ancora molti ponti per avere una catalogazione completa, in particolare quelli delle province di Verona e Rovigo.

5.2 Importazione della mappa sismica

Come già accennato nel corso del capitolo precedente, si va a caricare la mappa sismica realizzata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (di cui sono riportati i valori tabellari nell'allegato B delle NTC08) all'interno di ArcMap. La mappatura è del tipo in figura 5.5, solo che è riportata in forma tabellare.

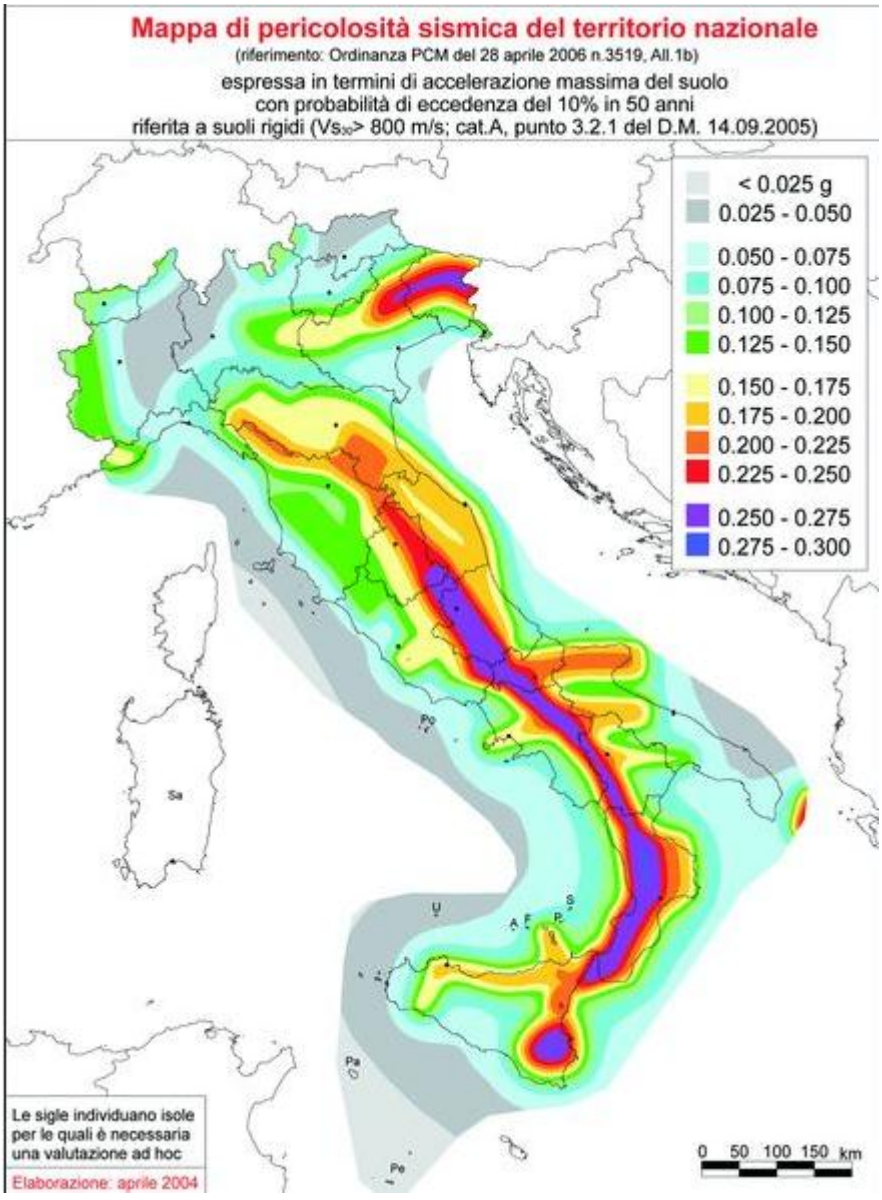


Fig. 5.5 Mappa di pericolosità sismica

Nella pagina successiva si mostra la visualizzazione della mappa sismica all'interno di ArcMap. Si può notare che è stata caricata per tutta la penisola e non solo per il Veneto, per tenere conto di una eventuale aggiunta successiva

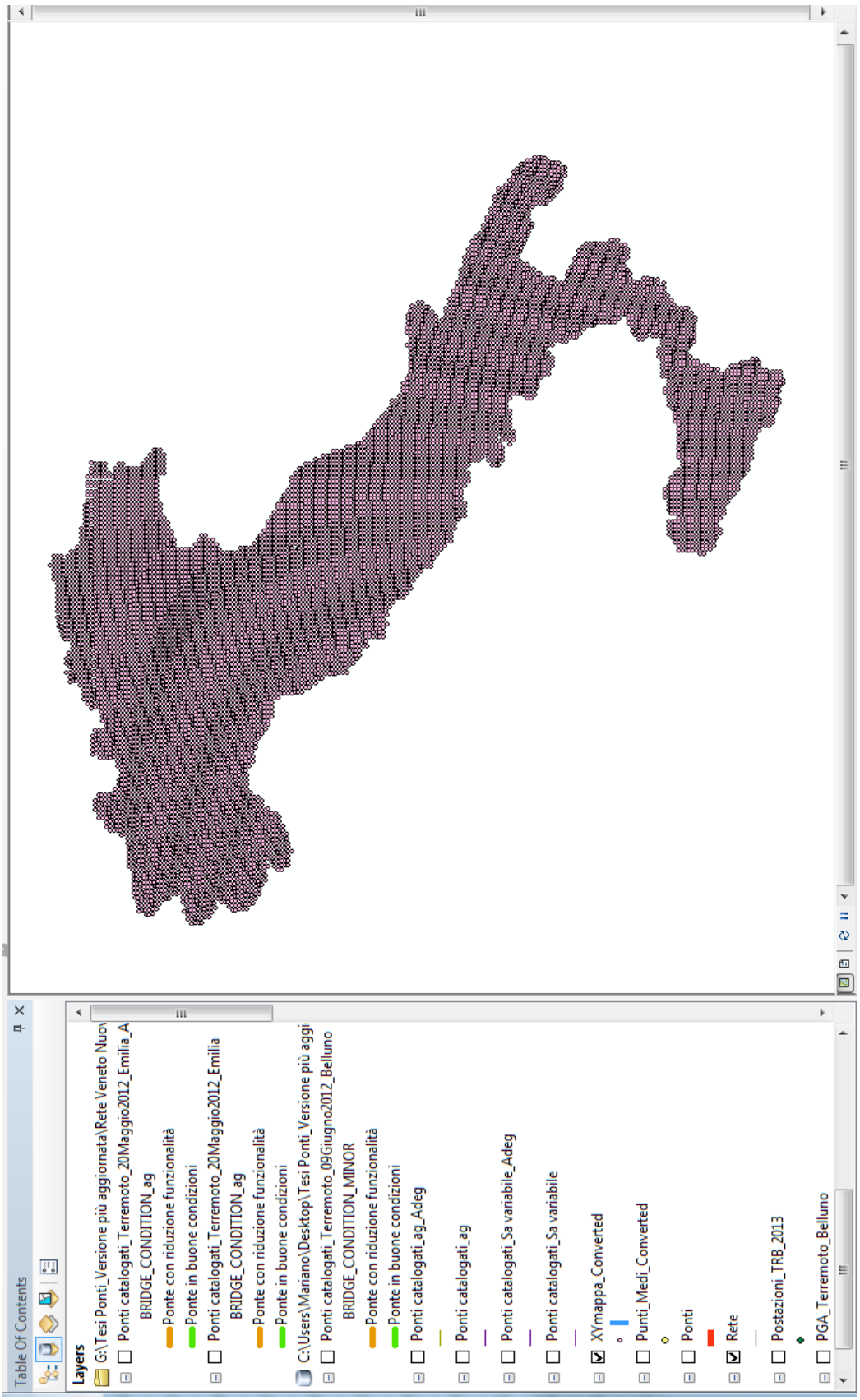


Fig. 5.6 Mappa sismica in ArcMap

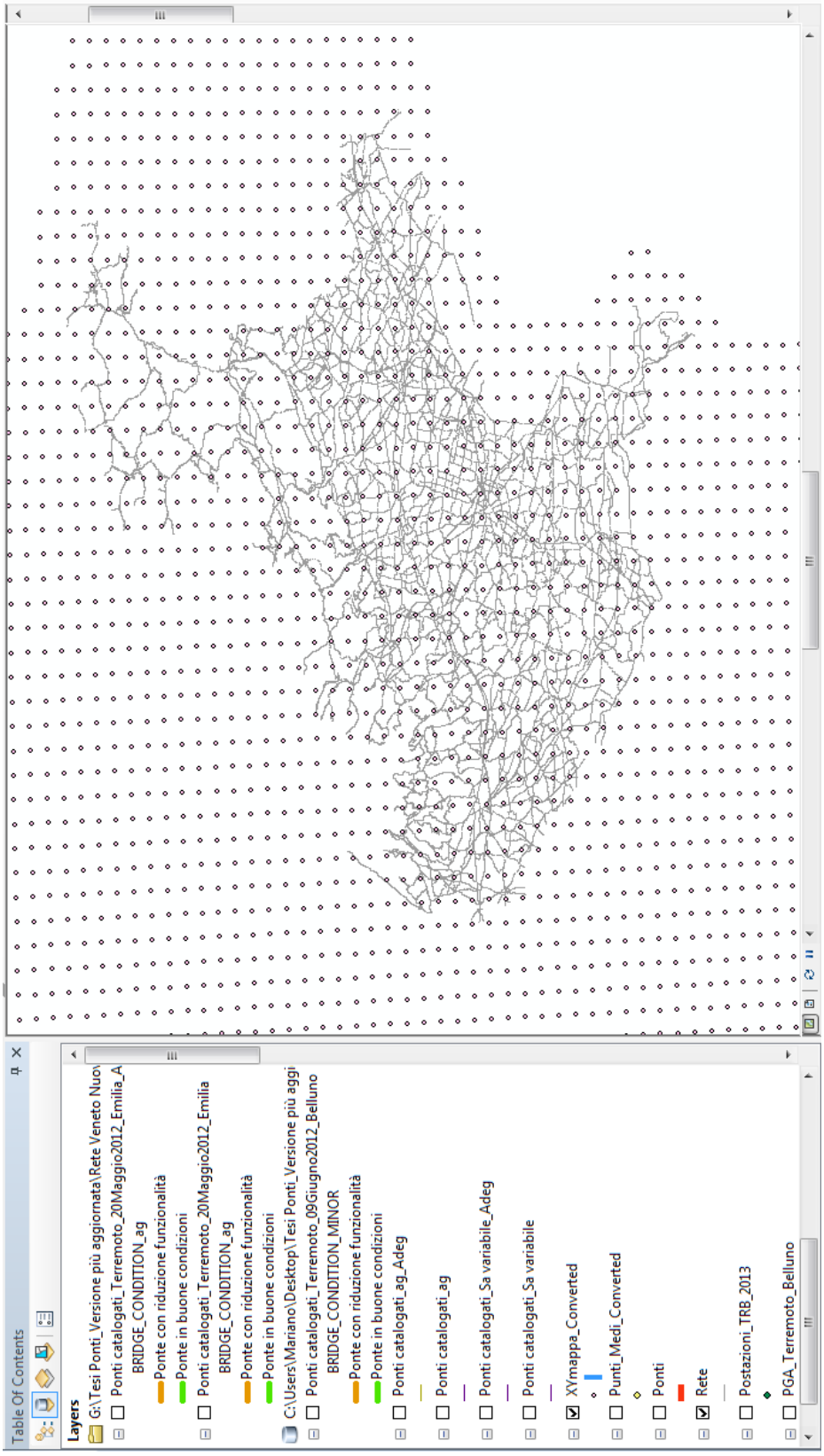


Fig. 5.7 Dettaglio del Veneto con i nodi della Mappa Sismica

Lo scopo dell'inserimento è di calcolare, per ogni ponte, il valore della PGA, cioè l'accelerazione orizzontale massima (indicata con ag sulla normativa), il valore di Fo (il valore del fattore di amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale) e il valore di T^*_C (tempo in cui termina il tratto ad accelerazione spettrale costante). Dal valore dei tre parametri dei 4 nodi della mappa più vicini a ciascun ponte, tramite la relazione (introdotta nel paragrafo 4.2.1)

$$Vx = \frac{\frac{V1}{d1} + \frac{V2}{d2} + \frac{V3}{d3} + \frac{V4}{d4}}{\frac{1}{d1} + \frac{1}{d2} + \frac{1}{d3} + \frac{1}{d4}}$$

si risale ai valori su ciascun ponte.

Si ricorda che di ciascun ponte si considera il punto medio dell'arco preso in considerazione.

Per la procedura che comporta la creazione della tabella con l'indicazione, per ogni ponte, dei 4 nodi più vicini con le relative distanze, si veda sempre il paragrafo 4.2.1.

Si riportano nelle figure 5.6 e 5.7 un estratto della mappa sismica e della query riportante nodi vicini e conseguenti distanze, chiamate rispettivamente "Mappa_Sismica_UNIPD" e "01_vistaNodiPerArcoDistanzaCodice".

I record della tabella vengono ordinati in funzione del periodo di ritorno, che può assumere valori pari a:

- 30 anni
- 50 anni
- 101 anni
- 140 anni
- 201 anni
- ***475 anni***
- 975 anni
- 2475 anni

Mappa_Sismica_UNIPD

ID_Mappa	LON	LAT	ag	Fo	Tc	Time
13826	10,02	45,135	0,812	2,6	0,3	475
13827	10,091	45,137	0,811	2,6	0,3	475
13828	10,161	45,139	0,797	2,65	0,31	475
13829	10,232	45,141	0,796	2,64	0,32	475
13830	10,303	45,143	0,795	2,64	0,32	475
13831	10,374	45,144	0,837	2,56	0,31	475
13832	10,444	45,146	0,847	2,59	0,31	475
13833	10,515	45,148	0,853	2,6	0,3	475
13834	10,586	45,15	0,861	2,62	0,31	475
13835	10,657	45,151	0,872	2,62	0,31	475
13836	10,728	45,153	0,893	2,58	0,31	475
13837	10,798	45,155	0,905	2,55	0,31	475
13838	10,869	45,156	0,909	2,55	0,3	475
13839	10,94	45,158	0,906	2,54	0,31	475
13840	11,011	45,159	0,893	2,55	0,31	475
13841	11,081	45,161	0,876	2,56	0,31	475
13842	11,152	45,162	0,851	2,59	0,32	475
13843	11,223	45,163	0,83	2,6	0,32	475
13844	11,294	45,165	0,811	2,6	0,32	475
13845	11,365	45,166	0,785	2,59	0,33	475
13846	11,435	45,167	0,739	2,64	0,34	475
13847	11,506	45,168	0,696	2,71	0,35	475
13848	11,577	45,17	0,675	2,72	0,35	475
13849	11,648	45,171	0,657	2,72	0,35	475
13850	11,719	45,172	0,638	2,74	0,36	475
13851	11,79	45,173	0,626	2,73	0,36	475
13852	11,86	45,174	0,614	2,74	0,36	475
13853	11,931	45,175	0,603	2,75	0,36	475
13854	12,002	45,176	0,593	2,75	0,36	475
13855	12,073	45,177	0,584	2,74	0,36	475
13856	12,144	45,177	0,576	2,74	0,36	475
13857	12,214	45,178	0,567	2,73	0,36	475

Fig. 5.8 Tabella riportante i parametri sismici

Per le analisi di nostro interesse si fa riferimento al periodo segnato in grassetto, in quanto rappresentativo dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV). Cioè, riportando uno stralcio delle NTC08, per questo Stato Limite "la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei comportamenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali".

Mappa_Sismica_UNIPD | 01_vistaNodiPerArcoDistanzaCodice

EXTERNALID	cod1	cod2	cod3	cod4	dist1	dist2	dist3	dist4
17735	12961	13184	12962	12963	5025,47777072	4977,07921976	839,842434537	6170,72337023
17891	13845	13624	13846	13847	4942,23499783	4829,19803097	993,150758342	6254,51854218
17992	12521	12743	12965	12744	5417,86985968	257,965957867	5712,93403048	5350,59687487
18025	13625	13624	13402	13403	5138,81164187	2301,14123971	3566,58896125	5770,51355059
18102	10737	10738	10516	10515	3245,97203447	6219,43236153	5756,13549805	2337,00289629
18210	11644	11200	11423	11422	5490,42969069	5801,3012522	4640,96306066	984,78892419
18237	11648	11649	11650	11871	5288,5446166	1356,37464879	6149,14356115	4320,29964978
18261	11867	11868	12090	12089	3345,8514098	3778,78458982	4568,13583286	4159,07928044
18298	11850	11851	11852	11629	5513,213785	1375,78403438	5894,53587344	4201,10422963
18303	13846	13624	13845	13623	1649,00897552	4997,48028107	4129,85727241	6291,30357203
18319	10960	11181	10959	11182	3893,73371511	4145,65598169	4808,57004445	3118,35676309
18527	13853	13631	13852	13630	4105,0491625	4952,04434704	2948,60405022	4001,74943091
18607	11181	11403	11625	11402	5673,13803459	738,004717091	5543,07175811	4873,25965537
18851	13849	14071	13850	14072	5732,40233362	6015,49945818	2548,62574907	3072,66130484
18869	13401	13179	13402	13180	4477,10637964	6455,53084577	1466,73433124	4825,39372651
18904	13849	14070	14072	14071	4212,27131978	5741,14094176	5678,13831513	1347,93404746
18915	13185	12963	12962	13184	5046,59325988	1798,20973692	4013,93729261	6222,55254204
18917	12963	13185	13186	13407	5352,72853096	1146,73322563	4476,96007061	5968,44331473
18971	13407	13630	13408	13629	5940,59633071	2104,93790845	3731,85450868	5116,06326213
19087	13181	13180	13403	13402	4652,02327872	1451,78815898	6451,42984715	4642,94264808
19182	11200	11423	11422	11201	3947,31567536	5065,50400941	1891,09500792	6165,16060201
19192	12960	13182	12959	13181	4617,98216761	1756,30067354	6015,09404472	4421,9170424
19210	13181	12960	12959	13182	4944,95818456	4167,07031015	6096,37248295	1741,83914367
19211	12960	13181	12959	13182	3862,37594336	5322,44484742	6184,07881486	1839,35983921
19212	12960	13181	13183	13182	3757,403705	5555,83444529	6202,79935355	1856,88795326
19393	11403	11404	11626	11182	2944,18615616	2586,27685678	6102,69787421	6192,18083675
19420	13406	13628	13407	13629	4229,16278939	4403,64516698	3512,92568248	3671,76579471
19545	12739	12738	12516	12960	3605,35540849	2005,77080659	5571,58893302	6231,25772081
19546	14294	14515	14738	14516	5797,71821557	3397,23907524	6194,83134219	2217,34774074
19633	12962	12961	12739	12740	4800,91089307	1351,36964479	4622,0027377	6485,45391607
19681	10960	11182	11183	10961	6244,565077	3277,41146379	2273,01302052	5739,67233654
19713	13187	13186	12965	12964	3810,73246674	4500,82849825	3395,20241746	4110,36543514

Fig. 5.9 Query con l'indicazione dei 4 nodi più vicini e le distanze

Con le informazioni a disposizione, è possibile realizzare una query che riporta, per ogni EXTERNALID (NOTA: per maggiore completezza, si riportano tutti gli elementi, anche quelli non relativi a ponti/viadotti), le informazioni relative ai 4 nodi prossimi al ponte e di conseguenza il calcolo dei 3 valori su ciascun ponte.
La formula riportata in precedenza viene inserita in un modulo apposito in VBA (Visual Basic for Application) in maniera tale che:

- è possibile richiamare, in ogni campo che necessita di quella formula, la funzione che definisce la formula stessa;
- è possibile modificare la funzione senza dover cambiare la formula su ogni campo interessato.

La query con i valori di ag, Fo e T^*_C viene riportata in figura 5.7.

02_vistaParametriCF475

EXTERNALID	ag1	Fo1	Tc1	ag2	Fo2	Tc2	ag3	Fo3	Tc3	ag4	Fo4	Tc4	ag_ponte	Fo_ponte	Tc_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	2,42678111113487	0,28198855761518
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	2,42676385527325	0,28197889149334
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	2,41936578895561	0,29
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	2,42265121324211	0,29
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	2,42264613120671	0,29
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	2,42963803726668	0,29
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	0,80168198153133 9	2,63562890732193	0,35187110814158 4
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	0,84202044004679 7	2,63586081871146	0,35
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	0,84208033687382 5	2,63579940837016	0,35
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	0,91812765458547 6	2,56921953496384	0,35
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	2,42643996228618	0,29
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	2,42647695231824	0,29
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	2,42964867885375	0,29
61	1,644	2,4	0,29	1,619	2,4	0,29	1,619	2,4	0,29	1,647	2,4	0,29	1,63672867410999	2,4	0,29
62	1,644	2,4	0,29	1,619	2,4	0,29	1,619	2,4	0,29	1,647	2,4	0,29	1,63675195465172	2,4	0,29
65	1,619	2,4	0,29	1,601	2,41	0,29	1,601	2,41	0,29	1,647	2,4	0,29	1,61700755541037	2,40543430268316	0,29
66	1,619	2,4	0,29	1,601	2,41	0,29	1,601	2,41	0,29	1,647	2,4	0,29	1,6169543900968	2,40544320934 78	0,29
69	1,619	2,4	0,29	1,647	2,4	0,29	1,647	2,4	0,29	1,601	2,41	0,29	1,63414063766769	2,40169917782 44	0,29
70	1,619	2,4	0,29	1,647	2,4	0,29	1,647	2,4	0,29	1,601	2,41	0,29	1,63420069668389	2,40169031340458	0,29
74	1,601	2,41	0,29	1,583	2,41	0,29	1,583	2,41	0,29	1,647	2,4	0,29	1,60691087853691	2,40739529039724	0,29
76	1,601	2,41	0,29	1,583	2,41	0,29	1,583	2,41	0,29	1,647	2,4	0,29	1,60696042663608	2,40738184023511	0,29
78	1,583	2,41	0,29	1,647	2,4	0,29	1,647	2,4	0,29	1,655	2,4	0,29	1,63782073637248	2,40162735651283	0,29
79	1,583	2,41	0,29	1,647	2,4	0,29	1,647	2,4	0,29	1,655	2,4	0,29	1,63782466515884	2,40162614284845	0,29
81	1,583	2,41	0,29	1,655	2,4	0,29	1,655	2,4	0,29	1,647	2,4	0,29	1,64103677177732	2,40157930964379	0,29
83	1,583	2,41	0,29	1,655	2,4	0,29	1,655	2,4	0,29	1,647	2,4	0,29	1,64100814634317	2,40158381949158	0,29
86	1,583	2,41	0,29	1,601	2,41	0,29	1,601	2,41	0,29	1,647	2,4	0,29	1,60871366501473	2,40758728705 77	0,29
101	1,004	2,59	0,38	1,036	2,58	0,37	1,036	2,58	0,37	1,165	2,54	0,37	1,05794413562694	2,57320622195176	0,37136805685440 2
106	1,081	2,57	0,37	1,036	2,58	0,37	1,036	2,58	0,37	1,165	2,54	0,37	1,07100160651035	2,56969184103614	0,37
107	1,081	2,57	0,37	1,004	2,59	0,38	1,004	2,59	0,38	1,165	2,54	0,37	1,05034043630149	2,57614943577329	0,37640054453965 8
108	1,081	2,57	0,37	1,036	2,58	0,37	1,036	2,58	0,37	1,165	2,54	0,37	1,07075488290454	2,56976756708 62	0,37
137	0,742	2,68	0,34	0,688	2,66	0,35	0,688	2,66	0,35	0,732	2,65	0,35	0,72274696021481 6	2,66598631905332	0,34569811520778 6
145	0,742	2,68	0,34	0,732	2,65	0,35	0,732	2,65	0,35	0,688	2,66	0,35	0,72867815082838	2,66545774270899	0,34544420994733

Fig. 5.10 Query per il calcolo di ag, Fo e T^*_C su ogni elemento

5.3 Curve di fragilità

Il rischio sismico è il risultato congiunto di un pericolo che si manifesti il terremoto e della vulnerabilità degli elementi.
Bisogna fare un piccolo distinguo, analizzando le diverse combinazioni di tali elementi:

- se il pericolo è basso le costruzioni sono progettate secondo criteri tradizionali di statica, il rischio è contenuto. Questa condizione rappresenta le zone con bassa sismicità in cui le normative in materia di costruzioni non prescrivono particolari verifiche per gli edifici.
- La seconda possibilità è rappresentata dalle porzioni di territorio con grande attività sismica in cui sono state edificate costruzioni sismo-resistenti. In questo caso la convoluzione del pericolo con la vulnerabilità produce un rischio contenuto. In tale condizione ricadono i territori in cui si sono verificati sismi importanti in precedenza e le ricostruzioni sono state progettate secondo criteri antisismici.
- La terza possibilità è quella di un rischio discreto, questa possibilità si può riscontrare in due occasioni: se il pericolo è moderato e la fragilità alta (caso tipico dei centri storici delle città europee), oppure grande pericolo su costruzioni di discreta resistenza.

All'interno della procedura la fragilità dei ponti viene calcolata secondo la procedura RiskUE, che come detto prende spunto dal metodo americano HAZUS.

Si riporta di seguito la procedura come svolta nel lavoro:

- Sono state ricavate le informazioni sui ponti nel paragrafo 5.1: posizione del ponte, classe, numero di campate, angolo di sghembatura.
- É stata valutata l'amplificazione dello scuotimento nel sito del ponte. Questo passo coincide col calcolare le accelerazioni spettrali (Sa[0.3s] e Sa[1.0s]), in funzione della accelerazione di picco PGA.
- Sono stati valutati i fattori modificativi delle medie per i diversi stati di danno (si veda quanto detto nei capitoli precedenti

$$K_{skew} = \sqrt{\sin(90 - \alpha)}$$

$$K_{3D} = 1 + A/(N - B)$$

$$K_{shape} = 2{,}5 \cdot \frac{Sa(1{,}0s)}{Sa(0{,}3s)}$$

- Usando i valori medi così calcolati con una dispersione β = 0,6 si costruiscono le curve di fragilità inserendo il logaritmo naturale delle medie e la dispersione all'interno della distribuzione di probabilità.

Questo è quanto viene fatto concettualmente.

Per il processo di automatizzazione si va a costruire una tabella (denominata "tbl_Probab_Frag") in cui, per ciascun ponte, viene calcolata la probabilità di superamento per ciascun stato di danno (per una descrizione dei quattro stati di danno e per la definizione della funzione della curva di fragilità si veda il paragrafo 4.4). La funzione viene implementata nel Modulo Utility già definito nel paragrafo precedente.

In figura 5.9 viene mostrato un estratto della tabella suddetta relativo al ponte identificato col codice ID_IBRID = 2008 (EXTERNALID = 46014) che corrisponde al ponte della strada provinciale SP27 sovrappassante l'autostrada A4 nel tratto che collega Vicenza e Padova, più in particolare in corrispondenza di Torri di Quartesolo. Si è preso come esempio questo ponte per la sua importanza, visto che un suo eventuale crollo ha degli effetti, oltre che sulla strada provinciale, anche e soprattutto sul tratto autostradale.
Si riporta anche una immagine scattata tramite Google Maps (figura 5.10), in maniera tale da avere una indicazione visiva della tipologia del ponte. Infatti si nota immediatamente che è un ponte realizzato in calcestruzzo armato, in semplice appoggio e caratterizzato da pile multiple e si nota anche una leggera sghembatura, intorno ai 10°.

tbl_Probab_Frag | Classificazione

ID	ID_IBRID	EXTERNALID	Sa1s	MINOR_PROBABILITY	MODERATE_PROBABILITY	EXTENSIVE_PROBABILITY	COMPLETE_PROBABILITY	BDI	BRIDGE_CONDITION
1	2008	46014	0	0	0	0	0	0	Ponte in buone condizioni
2	2008	46014	0,05	3,65479260745776E-03	3,05487540727066E-04	6,01518268660855E-05	2,30527433990038E-06	1,00568431234777E-03	Ponte in buone condizioni
3	2008	46014	0,1	6,33604364890232E-02	0,011558460788455	3,56887934202643E-03	3,05487540727066E-04	1,96983160400579E-02	Ponte in buone condizioni
4	2008	46014	0,15	0,19727733407507	5,52754847433386E-02	2,19743580893196E-02	2,97105580829083E-03	6,93745581790047E-02	Ponte in buone condizioni
5	2008	46014	0,2	0,35497876432284	0,13215723106265	6,23785569328026E-02	0,011558460788455	0,140268253276688	Ponte in buone condizioni
6	2008	46014	0,25	0,5	0,228333746790215	0,12237357868685	0,028743382373949	0,219862676962762	Ponte in buone condizioni
7	2008	46014	0,3	0,619388658546	0,32979692122428	0,19507817225015	5,52754847433386E-02	0,299884809190978	Ponte in buone condizioni
8	2008	46014	0,35	0,712531772586936	0,42718220221702	0,27344894756899	9,03172984407331E-02	0,375870055203423	Ponte con riduzione funzionalità
9	2008	46014	0,4	0,783289119916178	0,51555697232079	0,35202446678220	0,13215723106265	0,445756947520456	Ponte con riduzione funzionalità
10	2008	46014	0,45	0,836371773698965	0,59301768710491	0,42718220221702	0,17880031925736	0,508842995569568	Ponte con riduzione funzionalità
11	2008	46014	0,5	0,876007128387948	0,65943357368070	0,49682939651182	0,22833374679021	0,565150961342673	Ponte con riduzione funzionalità
12	2008	46014	0,55	0,905594699025724	0,715583012993	0,55975411333188	0,27910769690895	0,615065205065217	Ponte con riduzione funzionalità
13	2008	46014	0,6	0,927734610426926	0,76263042095503	0,61635752338996	0,32979692122428	0,659129868999049	Ponte con riduzione funzionalità
14	2008	46014	0,65	0,944367094841205	0,80183512192563	0,66616003742043	0,3793958720423	0,697939531557393	Ponte con riduzione funzionalità
15	2008	46014	0,7	0,956922900734553	0,83440199991028	0,70981654164909	0,42718220221702	0,732080911127741	Ponte non transitabile
16	2008	46014	0,75	0,966452056786356	0,86141434412630	0,74788141885700	0,47266906671735	0,762104220905935	Ponte non transitabile
17	2008	46014	0,8	0,973724698344093	0,88381181415151	0,78094904142754	0,51555697232079	0,788510631560985	Ponte non transitabile
18	2008	46014	0,85	0,97930673634 15	0,90239174010030	0,80960554411042	0,55568930951850	0,811748332517685	Ponte non transitabile
19	2008	46014	0,9	0,983615434464721	0,91782126183225	0,83440199991028	0,59301768710491	0,832214095828045	Ponte non transitabile
20	2008	46014	0,95	0,986959795099761	0,93065362989318	0,85584121355927	0,62757135899010	0,850256499393952	Ponte non transitabile
21	2008	46014	1	0,989569774132914	0,94134507526676	0,87437290007456	0,65943357368070	0,866180330788735	Ponte non transitabile

Fig. 5.11 Estratto della tabella tbl_Probab_Frag relativo al record ID_IBRID = 2008

Fig. 5.12 Ponte sovrappassante l'Autostrada A4 in prossimità di Torri di Quartesolo

I 4 valori di probabilità, relativi ai 4 stati di danno (lieve, moderato, esteso, collasso), sono calcolati facendo riferimento alla tabella del metodo RiskUE, già presentata nel corso del capitolo 3 e qui di seguito riproposta (tab. 5.2).
Si indica quindi come vengono calcolate le medie dei 4 stati di danno:

- MINOR_AVERAGE: può essere un valore fissato oppure un valore funzione dell'accelerazione spettrale.
- MODERATE_AVERAGE: è funzione della sghembatura, attraverso il parametro Kskew, e del numero di campate (attraverso il parametro K3D).
- EXTENSIVE_AVERAGE: analogo al caso moderato (cambiano i coefficienti e la possibile equazione).
- COMPLETE_AVERAGE: analogo al caso moderato (cambiano i coefficienti e la possibile equazione).

Skew angle (K_{skew})	3-dimensional arch action in the deck (K_{3D})						
	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
$\sqrt{\sin(90-\alpha)}$	$1+\frac{0.25}{N-1}$	$1+\frac{0.33}{N}$	$1+\frac{0.33}{N-1}$	$1+\frac{0.33}{N-1}$	$1+\frac{0.05}{N}$	$1+\frac{0.20}{N-1}$	$1+\frac{0.10}{N}$

Typology	Damage state			
	Minor	Moderate	Extensive	Complete
Category	Median SA at 1.0 s (g) with β=0.6			
1-2	$0.8\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$1.0\times K_{skew}\times EQ1$	$1.2\times K_{skew}\times EQ1$	$1.7\times K_{skew}\times EQ1$
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	$0.60\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90\times K_{skew}\times EQ2$	$1.10\times K_{skew}\times EQ2$	$1.50\times K_{skew}\times EQ2$
10	$0.90\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90\times K_{skew}\times EQ3$	$1.10\times K_{skew}\times EQ3$	$1.50\times K_{skew}\times EQ3$
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	$0.75\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.75\times K_{skew}\times EQ5$	$0.75\times K_{skew}\times EQ5$	$1.10\times K_{skew}\times EQ5$
14	$0.90\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90\times K_{skew}\times EQ3$	$1.10\times K_{skew}\times EQ3$	$1.50\times K_{skew}\times EQ3$
15	0.80	1.00	1.20	1.70

Tab. 5.2 Valori dei fattori e delle medie modificate per la costruzione delle curve di fragilità

Una osservazione a parte va fatta relativamente all'accelerazione spettrale. Come accennato nel paragrafo 4.3, questo termine si calcola tramite le relazioni:

$$0 \le T < T_B \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$$T_B \le T < T_C \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \le T < T_D \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \le T \qquad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2}\right)$$

Per quanto riguarda Sa(0,3s), si fa riferimento alla seconda relazione, in quanto a quell'istante ci si trova nel tratto centrale del diagramma spettrale.
Per l'accelerazione spettrale a 1 secondo si considera invece la terza formulazione, essendo per ogni ponte nel tratto decrescente.
Come si può notare, il calcolo dell'accelerazione spettrale dipende da altri parametri, oltre a quelli (ag, Fo, T^*_C) già ricavati in precedenza. Alcuni di essi sono funzione del terreno mentre altri del fattore di struttura q. Si dedica un sotto-paragrafo per ciascuna delle due tipologie.

5.3.1 Termine legato al fattore di struttura

Il parametro η è associato al fattore di struttura, visto che corrisponde all'inverso del fattore q.
Il calcolo di questo fattore è sicuramente complicato, in quanto dipende da diversi parametri. Si ricorda infatti che vale la seguente relazione:

$$q = K_R q_0$$

dove:

- K_R = fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari a 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza;
- q_0 = valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione. Questo parametro viene definito a seconda dei valori riportati nella tabella 7.9.I delle NTC08 (riportata in tab. 5.3).

Tabella 7.9.I – *Valori di* q_0.

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

Fig. 5.13 Valori di q_0

La scelta di un valore di q specifico per ogni ponte è molto complicata, in quanto sono necessarie, per ciascuna infrastruttura in esame, delle indagini approfondite sui materiali e sulle caratteristiche meccanico/strutturali. Siccome questo non è possibile da realizzare, si è deciso, in via semplificata, di prendere un valore uguale per tutti i ponti e che li rappresenti adeguatamente.
La decisione è ricaduta su un valore q = 1,5 per più motivi:

- La maggior parte dei ponti catalogati sono stati costruiti almeno 40/50 anni fa per cui è improbabile che presentino grandi riserve di duttilità. Quindi si è deciso di prendere un valore di q basso.
- Non è stato preso il valore minimo (q=1), che corrisponde al caso elastico, perché ad ogni modo deve essere presente una, seppur piccola, duttilità; inoltre, con un valore unitario del fattore di struttura, non ci sarebbe stata la minima riduzione del diagramma spettrale (vedi figura 5.14) per cui il comportamento non sarebbe stato veritiero.

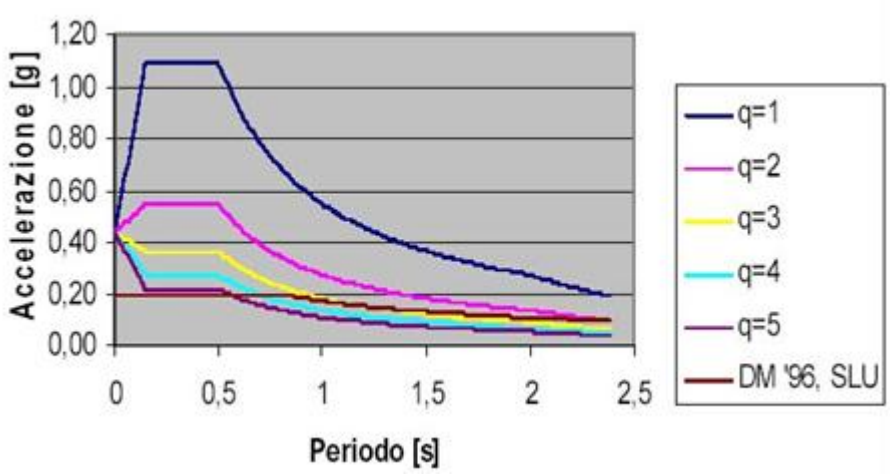


Fig. 5.14 Riduzione del diagramma spettrale all'aumentare del fattore di struttura

Ad ogni modo il valore del valore di q introdotto in una apposita tabella di Access, chiamata "tbl_Caratteristiche_FattorediStruttura", può essere cambiato successivamente tramite una query di aggiornamento.

tbl_Caratteristiche_FattorediStruttura

EXTERNALID	ArcoPonte_Lat	ArcoPonte_long	Fattore_Struttura
65	45,66102N	011,51922E	1,5
66	45,66091N	011,51907E	1,5
69	45,66038N	011,52077E	1,5
70	45,66059N	011,52064E	1,5
74	45,63887N	011,57397E	1,5
76	45,63900N	011,57401E	1,5
78	45,64180N	011,56715E	1,5
79	45,64166N	011,56707E	1,5
81	45,64312N	011,56476E	1,5
83	45,64311N	011,56504E	1,5
86	45,63717N	011,57682E	1,5
101	45,79711N	012,84274E	1,5
106	45,79870N	012,85071E	1,5
107	45,79860N	012,85012E	1,5
108	45,79855N	012,85051E	1,5
137	45,37838N	011,95264E	1,5
145	45,36668N	011,94759E	1,5
146	45,36665N	011,94773E	1,5
170	45,26885N	011,74788E	1,5
181	45,82849N	012,51219E	1,5
185	45,86412N	012,10036E	1,5
188	45,86377N	012,14336E	1,5
189	45,86280N	012,13666E	1,5
195	45,64719N	011,56023E	1,5
197	45,64713N	011,56008E	1,5

Fig. 5.15 Estratto della tabella relativa al fattore di struttura

5.3.2 Termini legati al terreno

Il terreno è una componente molto importante nella valutazione dell'accelerazione spettrale. In particolare, i parametri che entrano in gioco in funzione di questa componente sono:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica, è definito attraverso la tabella tratta dalle NTC08:

Tabella 3.2.V – *Espressioni di* S_S *e di* C_C

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

Fig. 5.16 Tabella relativa ai parametri S_S e C_C

- ST = coefficiente di amplificazione topografica, definito anch'esso da una tabella riportata nelle NTC08:

Tabella 3.2.VI – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica* S_T

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

Fig. 5.17 Tabella relativa ai parametri S_T

- C_C = parametro associato al sottosuolo, deve essere moltiplicato per il T^*_C che si ottiene dalla mappa sismica per ricavare il valore effettivo T_C.

Analogamente a quanto visto per il fattore di struttura, è problematico rappresentare le caratteristiche del terreno per ogni ponte. Una possibile soluzione potrebbe essere quella di importare una mappa del suolo. Al momento però non è stata ancora trovata una tabella attendibile da importare.
Un'altra possibile soluzione è di prendere un valore medio valido per tutti i ponti. Alla fine si è deciso di optare per questa ultima soluzione, prendendo il valore relativo alla categoria di sottosuolo C e alla categoria topografica T1. I valori calcolati vengono riportati in una tabella, chiamata "tbl_CaratteristicheTerreno". Viene riportata in figura 5.18 un estratto della suddetta tabella.

tbl_CaratteristicheTerreno

EXTERNALID	ArcoPonte_Lat	ArcoPonte_long	Terreno_SS	Terreno_ST	Terreno_Cc
1429	45,73841N	011,68465E	1,44513358179659	1	1,56848569480208
1430	45,73566N	011,67698E	1,44602464159771	1	1,57602223544495
1456	45,12989N	011,77387E	1,59448882315375	1	1,4709891650006
1457	45,12997N	011,77400E	1,59449037849459	1	1,4709891650006
1479	45,42677N	011,93256E	1,56546145839701	1	1,49899870081982
1481	45,43012N	011,94999E	1,55918154009306	1	1,50356196511599
1488	45,80386N	012,87880E	1,5323247417822	1	1,45070036392121
1490	45,75260N	012,72806E	1,53644922402277	1	1,45774892600714
1491	45,75200N	012,72639E	1,53657802598925	1	1,45774892600714
1492	45,75190N	012,72646E	1,53660131058232	1	1,45774892600714
1493	45,78866N	012,80723E	1,53020097734837	1	1,45774892600714
1502	45,21220N	011,90411E	1,59758501109904	1	1,4709891650006
1509	45,43021N	011,94977E	1,55617724274803	1	1,50719314686567
1510	45,43067N	011,95229E	1,55497714073302	1	1,50984130457281
1513	45,38067N	011,95359E	1,57444854045224	1	1,4951217637929
1514	45,37840N	011,95251E	1,58214536600757	1	1,49081874739434
1578	45,27997N	011,43731E	1,55879049142816	1	1,5429449918184
1611	45,87119N	012,02343E	1,36032525183175	1	1,52928985045137
1640	45,34489N	011,76977E	1,57666879755266	1	1,50417154206293
1651	45,45772N	011,42215E	1,48885163063766	1	1,59609027803901
1652	45,64463N	011,51599E	1,45949795256233	1	1,57978490492796
1655	45,64907N	011,57843E	1,46058208498868	1	1,57978490492796
1656	45,33930N	011,86152E	1,58563110312061	1	1,48663772346139
1657	45,33921N	011,86153E	1,58562831438501	1	1,48663423916185
1658	45,33915N	011,85361E	1,5848520995035	1	1,4868041237878
1659	45,33906N	011,85361E	1,58485226880537	1	1,48680018862642
1660	45,33898N	011,84784E	1,57759518819088	1	1,50099505305064
1678	45,72799N	012,65224E	1,53594471333821	1	1,45947918074349
1679	45,72090N	012,63702E	1,53080720993353	1	1,4611510496366
1680	45,72097N	012,63693E	1,53080321495719	1	1,46113779941866
1681	45,70026N	012,59361E	1,53306673450134	1	1,46070422539739
1682	45,80905N	012,96238E	1,53892065663388	1	1,4477112552811

Fig. 5.18 Estratto della tabella relativa alle caratteristiche del terreno

5.3.3 Costruzione grafica delle curve di fragilità

Una volta definiti tutti i campi utili al calcolo, è possibile andare a costruire graficamente la curve di fragilità relative a ogni ponte.

Operativamente si sfrutta uno degli strumenti di Access, ovvero quello dei report. Tramite essi è possibile automatizzare la creazione di tutti i grafici, invece di costruirli singolarmente, come si farebbe con Excel.

E' sufficiente andare a usare come origine dei dati (da cui il grafico, inserito all'interno del report, andrà a estrapolare i valori) la tabella tbl_Probab_Frag definita in precedenza e si otterranno diagrammi di questo tipo:

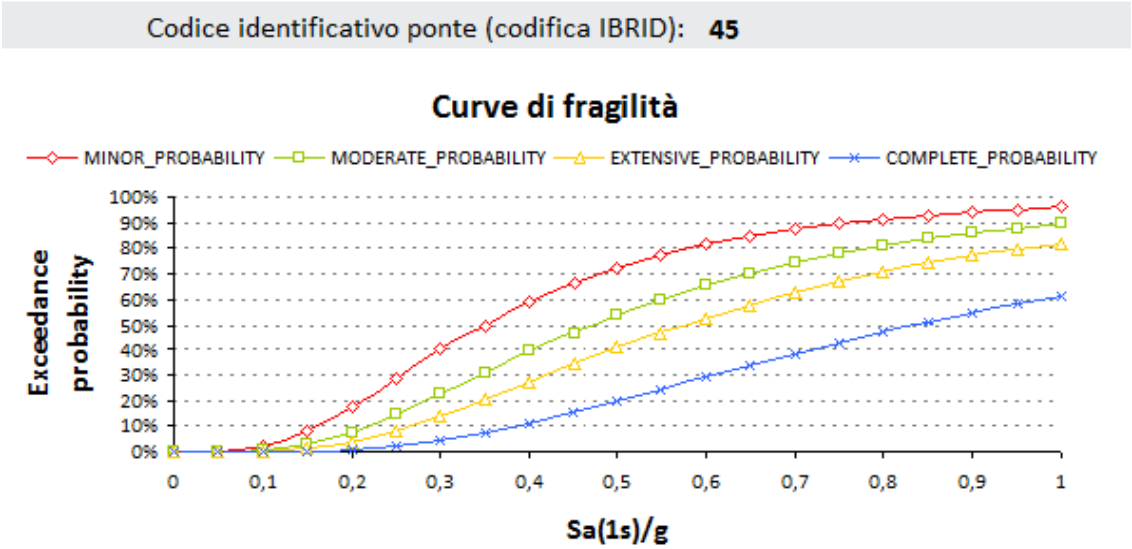


Fig. 5.18 Curve di fragilità per il ponte IBRID 45

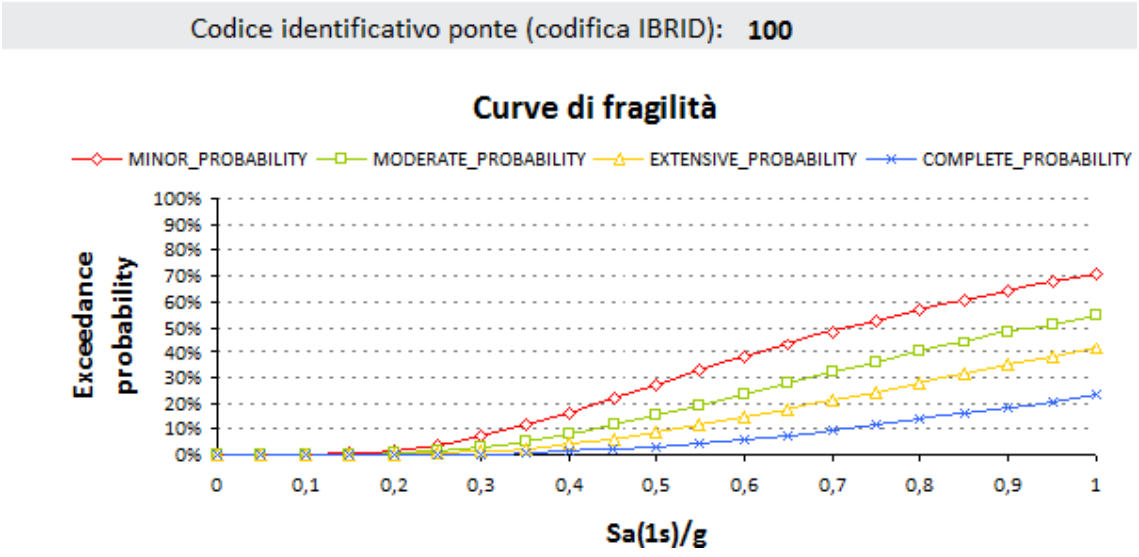


Fig. 5.19 Curve di fragilità per il ponte IBRID 100

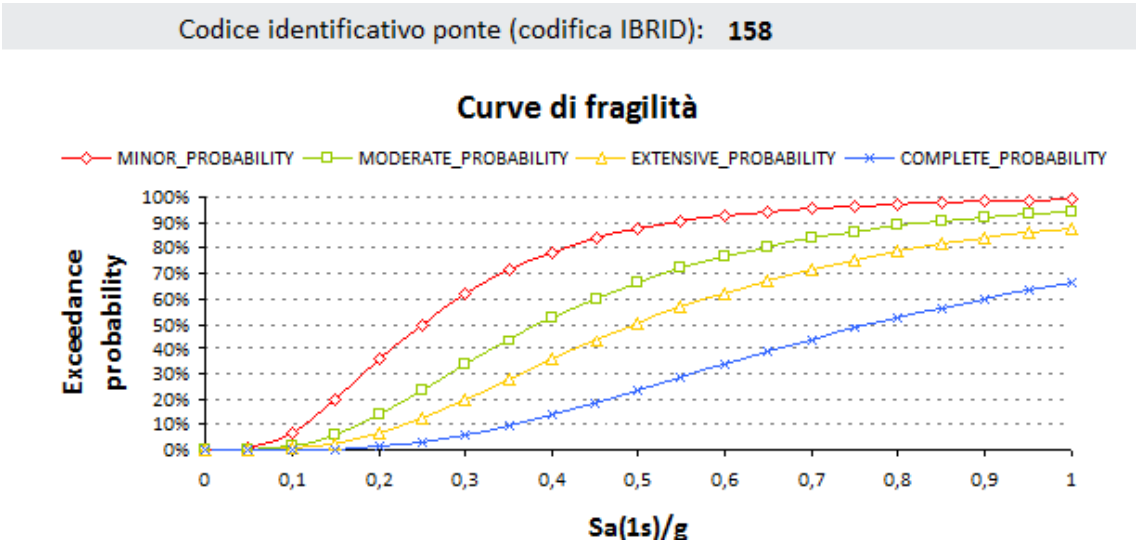


Fig. 5.20 Curve di fragilità per il ponte IBRID 158

Sono stati riportati solo tre esempi, dei circa 500 grafici ottenuti, per mostrare i diversi andamenti che possono avere le curve di fragilità.

Nel primo e nel terzo grafico le probabilità di danno sono sicuramente maggiori rispetto a quelle del secondo. Infatti, prendendo ad esempio una ascissa di 0,5, si hanno i seguenti comportamenti:

- MINOR_PROBABILITY: la probabilità di avere questo tipo di danno è, rispettivamente, pari a circa il 70% per il primo, 30% per il secondo e 90% per il terzo;
- MODERATE_PROBABILITY: probabilità al 55%, 15% E 70%;
- EXTENSIVE_PROBABILITY: probabilità al 40%, 10% e 50%;
- COMPLETE_PROBABILITY: probabilità al 20%, 5% e 25%.

Quindi si può dire che il ponte di codice IBRID = 100 subisce meno danni rispetto agli altri due, e arriverà con minore probabilità a raggiungere danni elevati e, soprattutto, il collasso.

Si nota allora come le curve di fragilità rappresentino uno strumento utilissimo sia per realizzare delle previsioni sul comportamento sismico di più ponti, che per preparare delle opere di prevenzione, sapendo quali ponti più facilmente sono soggetti a danno sismico (tenendo conto ovviamente anche dell'importanza del ponte, come si vedrà più avanti).

5.4 Adeguamento sismico

Una volta noto il comportamento sismico di una rete di ponti, è possibile quindi stabilire quali ponti debbano essere adeguati sismicamente e in particolare con che priorità.

Infatti, come già accennato nei capitoli precedenti, le disponibilità economiche della Regione Veneto non sono illimitate, quindi bisogna riuscire a stabilire quali ponti debbano essere adeguati perché, in caso di loro mancanza o parziale uso, il traffico risulterebbe essere notevolmente rallentato con perdita di tempo e denaro da parte dei guidatori.

Per capire meglio il concetto si procede in maniera analoga al paragrafo 5.3, andando a costruire le curve di fragilità tenendo conto, nell'ipotesi limite, di adeguamento per tutti i ponti.

Si va quindi a costruire una tabella chiamata "tbl_Probab_Frag_Adeg" perfettamente equivalente a quella precedente, con l'unica differenza che viene realizzato il cambio di categoria RiskUE. Infatti, dal punto di vista applicativo, un adeguamento sismico coincide con un miglioramento della categoria. Tutte le categorie che erano in precedenza dispari diventano pari (passaggio da progetto di tipo convenzionale a progetto sismico) e ovviamente quelle pari rimangono inalterati.

Per quanto riguarda il terreno e il fattore di struttura, si fanno le stesse ipotesi fatte nel paragrafo precedente.

Di seguito si riporta la tabella appena definita e si riportano le curve di fragilità per gli stessi ponti di cui sono stati riportati i grafici in precedenza, in maniera tale da poter realizzare un confronto.

vistaReportCurveFragilita | tbl_Probab_Frag_Adeg

ID	ID_IBRID	EXTERNALID	Sa1s	MINOR_PROBABILITY	MODERATE_PROBABILITY	EXTENSIVE_PROBABILITY	COMPLETE_PROBABILITY	BDI_Adeg	BRIDGE_CONDITION_Adeg
1	2008	46014	0	0	0	0	0	0	Ponte in buone condizioni
2	2008	46014	0,05	6,21313740761555E-05	7,76564063067678E-07	4,77983114004188E-08	6,79673497089B7E-10	1,57391040310302E-05	Ponte in buone condizioni
3	2008	46014	0,1	3,65479260745776E-03	1,31516253177926E-04	1,45813329379S1E-05	4,66438697246165E-07	9,50339158067726-04	Ponte in buone condizioni
4	2008	46014	0,15	2,23944156390391E-02	1,47211004434904E-03	2,28972451621719E-04	1,17025023573774E-05	6,02680015934182E-03	Ponte in buone condizioni
5	2008	46014	0,2	6,33604364890232E-02	6,31479441621788E-03	1,24404527282837E-03	8,83275949949809E-05	1,77519009432661E-02	Ponte in buone condizioni
6	2008	46014	0,25	0,123992871612052	1,69128348513731E-02	3,99024655656891E-03	3,64562606244146E-04	3,63151289065596E-02	Ponte in buone condizioni
7	2008	46014	0,3	0,19727733407507	3,45111097318903E-02	9,41120586527727E-03	1,05414312865586E-03	6,05634482002233E-02	Ponte in buone condizioni
8	2008	46014	0,35	0,276099679270598	5,92198824200891E-02	1,82142071694281E-02	2,41895999009788E-03	8,89881822125533E-02	Ponte in buone condizioni
9	2008	46014	0,4	0,354978764322844	9,03172984407331E-02	3,07724383805641E-02	4,72836231883117E-03	0,120199215865743	Ponte in buone condizioni
10	2008	46014	0,45	0,430302057884764	0,126623370812512	4,71385479493362E-02	8,22480686141207E-03	0,153072195877006	Ponte in buone condizioni
11	2008	46014	0,5	0,5	0,166797485392375	0,067111587899118	1,31016818461487E-02	0,18675268878441	Ponte in buone condizioni
12	2008	46014	0,55	0,563108183190S2	0,209531566602214	9,03172984407331E-02	1,94930042907407E-02	0,220612513131152	Ponte in buone condizioni
13	2008	46014	0,6	0,619388653854614	0,253656255937315	0,116281071501296	2,74722087214974E-02	0,254199548676562	Ponte in buone condizioni
14	2008	46014	0,65	0,669046487357745	0,298186778315318	0,144485767429605	3,70568545171074E-02	0,287193971904944	Ponte in buone condizioni
15	2008	46014	0,7	0,712531772586936	0,342331577723352	0,174413417717084	4,82165763380013E-02	0,319373336091344	Ponte in buone condizioni
16	2008	46014	0,75	0,750411458109896	0,38548033716638	0,205572869025536	6,08823315882303E-02	0,350586748972511	Ponte con riduzione funzionalità
17	2008	46014	0,8	0,783289119916178	0,427182202217029	0,237516357893862	7,49556728218361E-02	0,380735838212226	Ponte con riduzione funzionalità
18	2008	46014	0,85	0,811757396888715	0,467120743688726	0,269847945992145	9,03172984407331E-02	0,40976084625258	Ponte con riduzione funzionalità
19	2008	46014	0,9	0,836371773698965	0,505089302383711	0,302226295066589	0,106834506414247	0,437630469390878	Ponte con riduzione funzionalità
20	2008	46014	0,95	0,857637888848809	0,540967655085874	0,334363718474912	0,124367419373114	0,464334170445677	Ponte con riduzione funzionalità
21	2008	46014	1	0,876007128387948	0,574703674893279	0,366022944611472	0,142739979937045	0,489876936457436	Ponte con riduzione funzionalità

Fig. 5.21 Estratto della tabella tbl_Probab_Frag_Adeg relativo al record ID_IBRID = 2008

Codice identificativo ponte adeguato (codifica IBRID): **45**

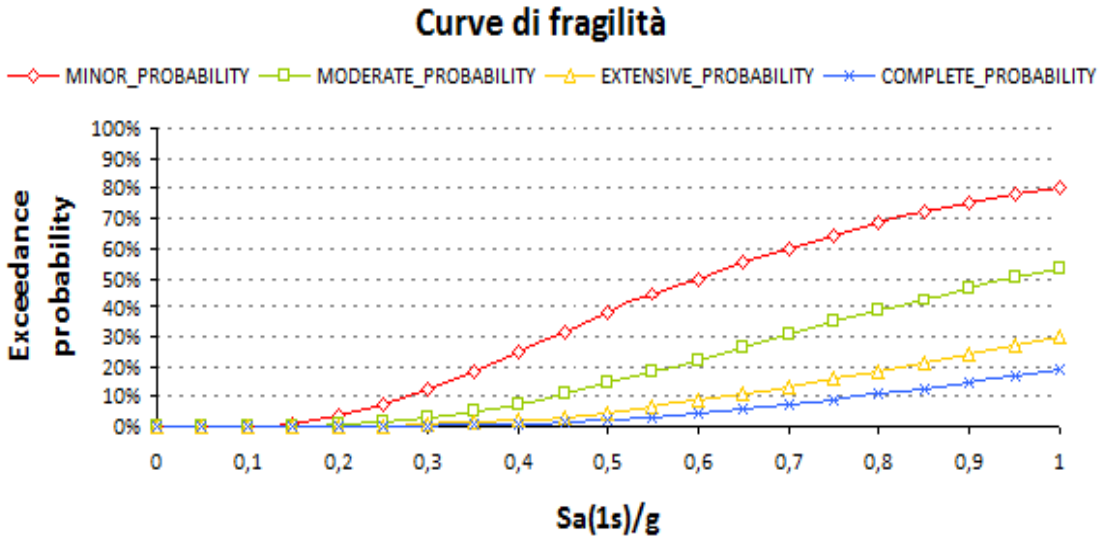


Fig. 5.22 Curve di fragilità per il ponte IBRID 45 (Adeguamento)

Codice identificativo ponte adeguato (codifica IBRID): **100**

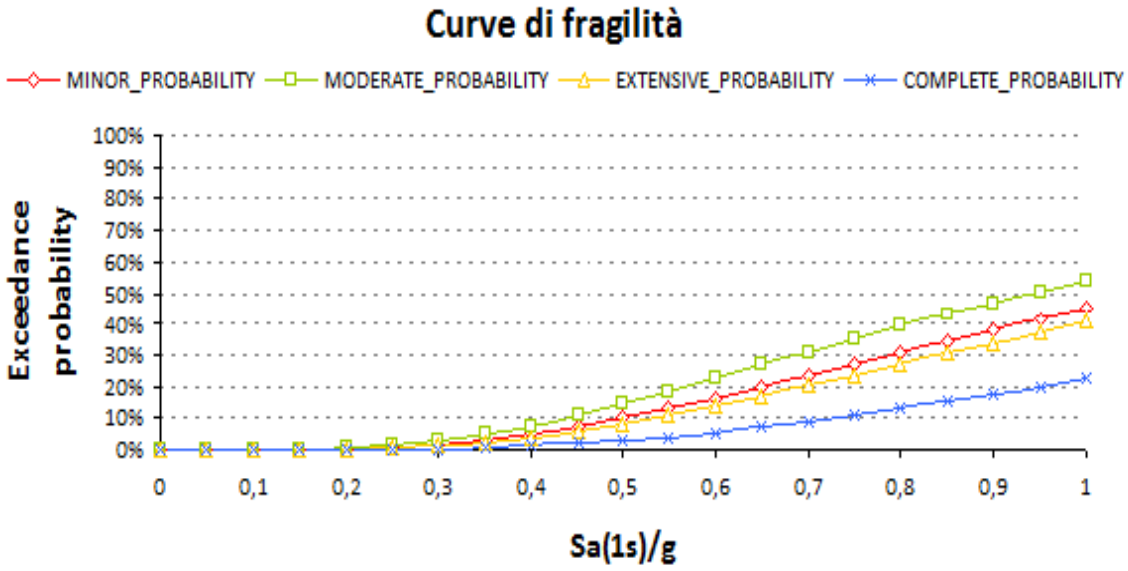


Fig. 5.23 Curve di fragilità per il ponte IBRID 100 (Adeguamento)

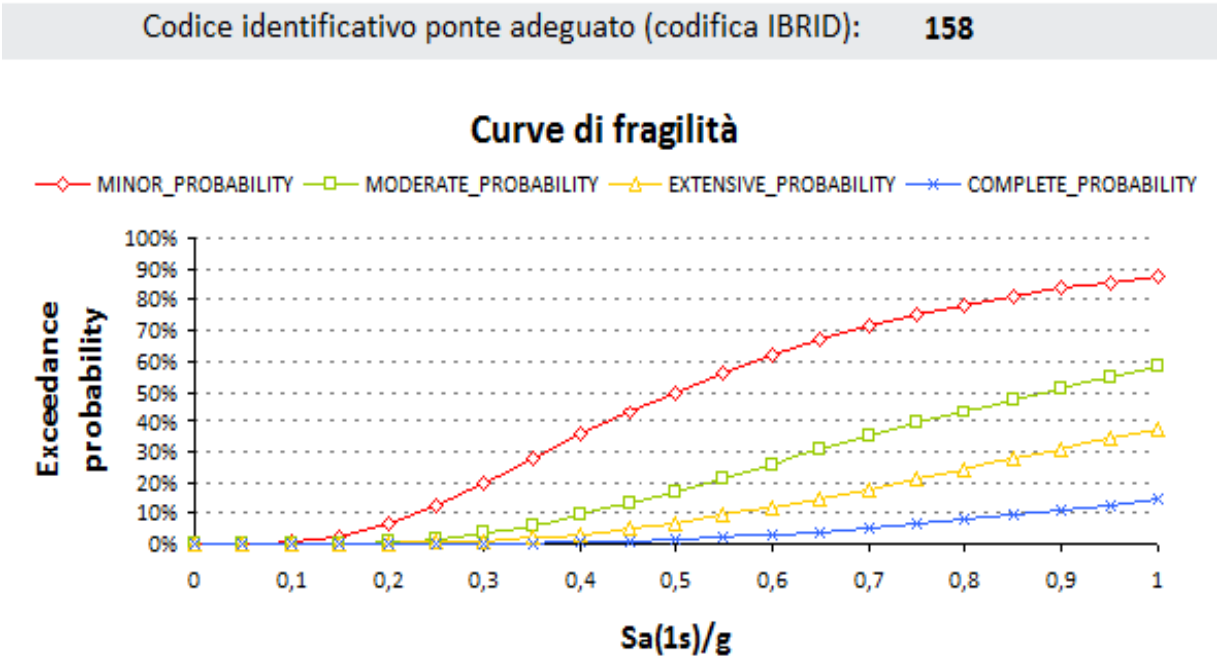


Fig. 5.24 Curve di fragilità per il ponte IBRID 158 (Adeguamento)

Come si nota immediatamente, rispetto al caso classico si è registrato un netto miglioramento del comportamento sismico. Ad esempio per il ponte IBRID 45 si evidenziano le seguenti variazioni:

- MINOR_PROBABILITY: passaggio da una percentuale del 70% a una del 40%;
- MODERATE_PROBABILITY: passaggio da una percentuale del 55% a una del 15%;
- EXTENSIVE_PROBABILITY: passaggio da una percentuale del 40% a una del 5%;
- COMPLETE_PROBABILITY: passaggio da una percentuale del 20% a una del 2%.

Quanto detto dimostra l'importanza di una adeguata programmazione in maniera tale da impedire che i ponti delle arterie stradali non siano in pericolo di danni rilevanti o addirittura crolli che provocherebbero problemi, oltre che per la strada in cui il ponte è inserito, anche per le strade che eventualmente possono essere collegate con questa.

Per dimostrare in modo più chiaro l'ultima affermazione si riprende l'esempio relativo al ponte autostradale in corrispondenza di Torri di Quartesolo.

Si riportano le curve di fragilità nel caso di progetto tradizionale e in quello di progetto sismico (Fig. 5.25 e 5.26).

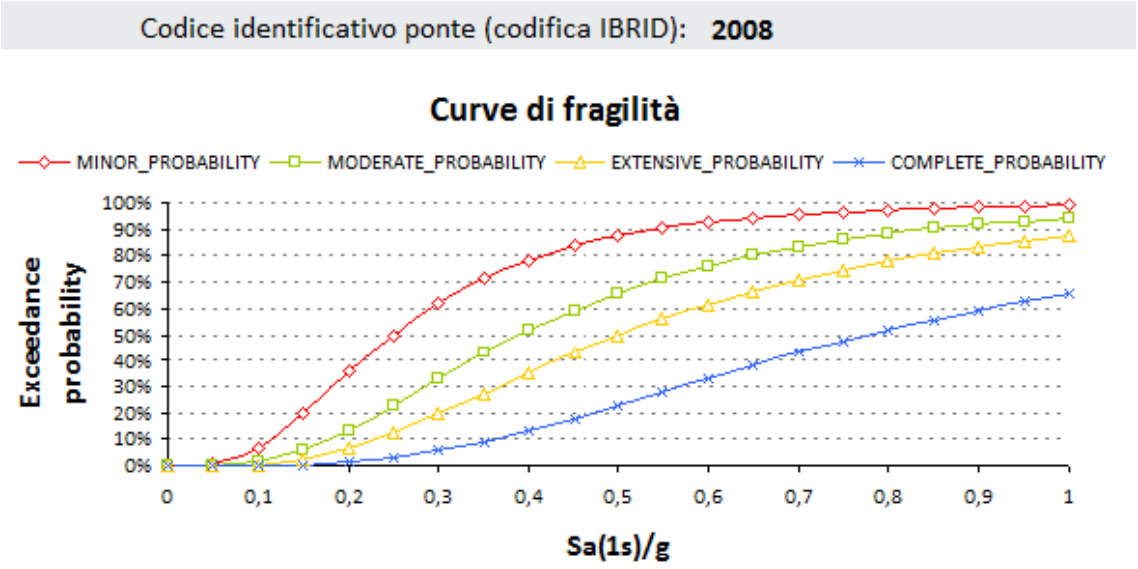


Fig. 5.25 Curve di fragilità per il ponte IBRID 2008

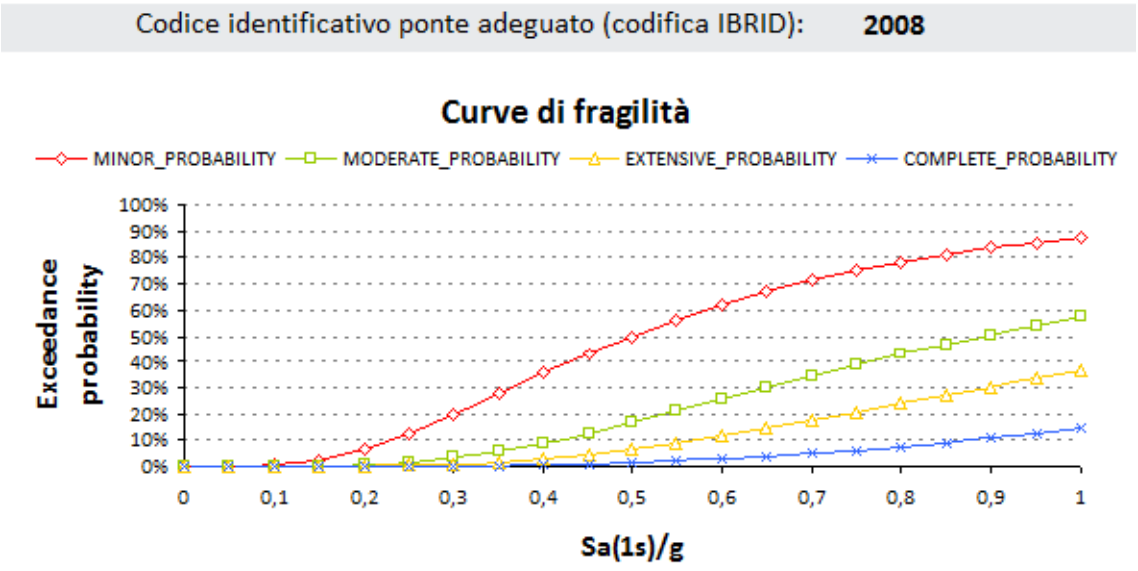


Fig. 5.26 Curve di fragilità per il ponte IBRID 2008 (Adeguamento)

Anche in questo caso si osserva un miglioramento del comportamento sismico, a conferma di quanto affermato prima.

Può essere utile dare una ulteriore rappresentazione grafica sfruttando gli ultimi due campi delle tabelle tbl_Probab_Frag e tbl_Probab_Frag_Adeg, non ancora definiti.
Il primo rappresenta la media pesata delle probabilità associate agli stati di danno. I pesi vengono definiti in funzione dello stato di danno a cui si desidera dare la maggiore importanza. Nel nostro caso abbiamo fatto riferimento ad una uguale importanza per cui ad ogni probabilità è stato affiancato un coefficiente pari a 0,25. Ovviamente questi valori possono essere cambiati andando a modificare, all'interno del modulo Utility del database, il valore dei coefficienti. Nei paragrafi successivi verrà realizzato un esempio per un determinato scenario sismico.
Il secondo indica invece le condizioni del ponte rispetto a dei valori limite che vengono scelti in modo arbitrario. Di seguito viene riportato un estratto del modulo Utility riportante la funzione Bridge_Condition:

```
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 funzionalità"
End If

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

Importando le due tabelle prima citate all'interno di ArcMap è possibile costruire due layer in cui si abbia una visualizzazione grafica, al variare di Sa(1s), del comportamento dei ponti all'interno della rete.
Nelle due figure successive viene mostrato il comportamento in funzione di una accelerazione spettrale pari a 0,7.

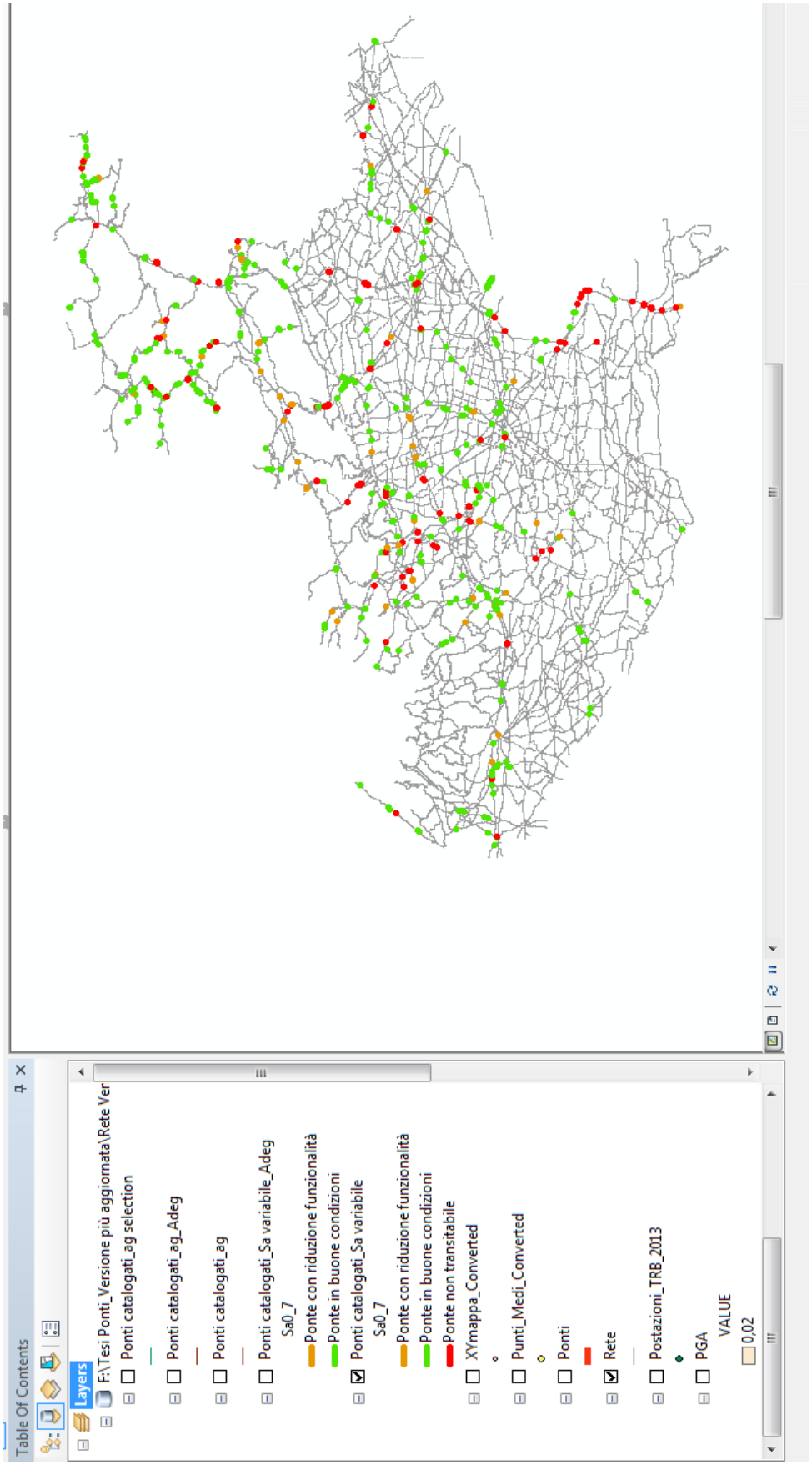


Fig 5.27 Rete di ponti soggetti ad una Sa(1s) pari a 0,7

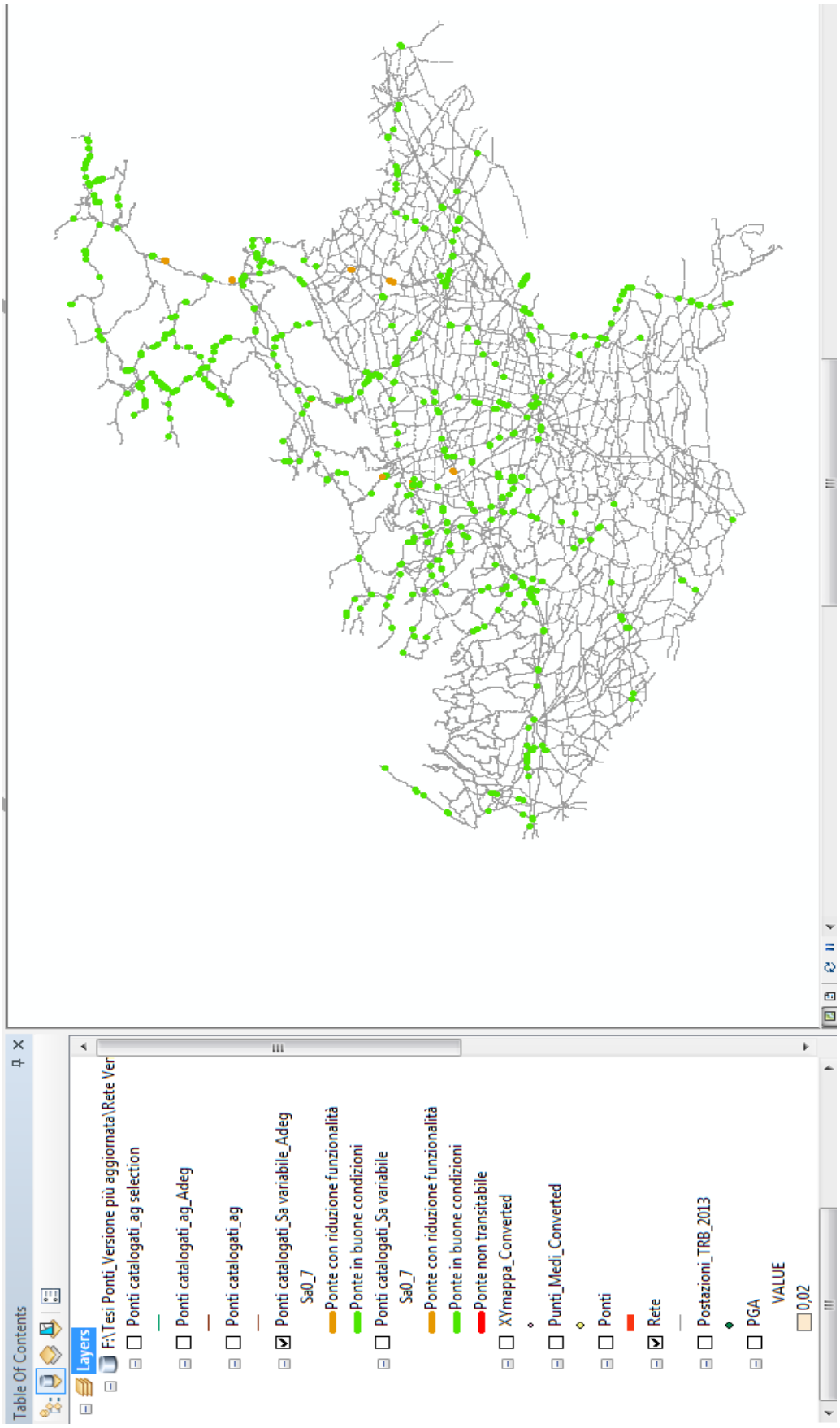


Fig 5.28 Rete di ponti soggetti ad una Sa(1s) pari a 0,7 (Caso di adeguamento sismico)

La scala di colori indica:

- Rosso = Ponti non transitabili
- Arancione = Ponti con riduzione della funzionalità
- Verde = Ponti in buone condizioni

Come è possibile osservare dall'analisi delle due figure appena riportate, grazie all'adeguamento molti dei ponti, che in condizioni normali sarebbero stati non transitabili, risultano essere addirittura in buone condizioni.

Si riprenda l'esempio del ponte in corrispondenza di Torri di Quartesolo (EXTERNALID 46014). Facendo uno zoom della rete in corrispondenza di quel particolare elemento, si osserva:

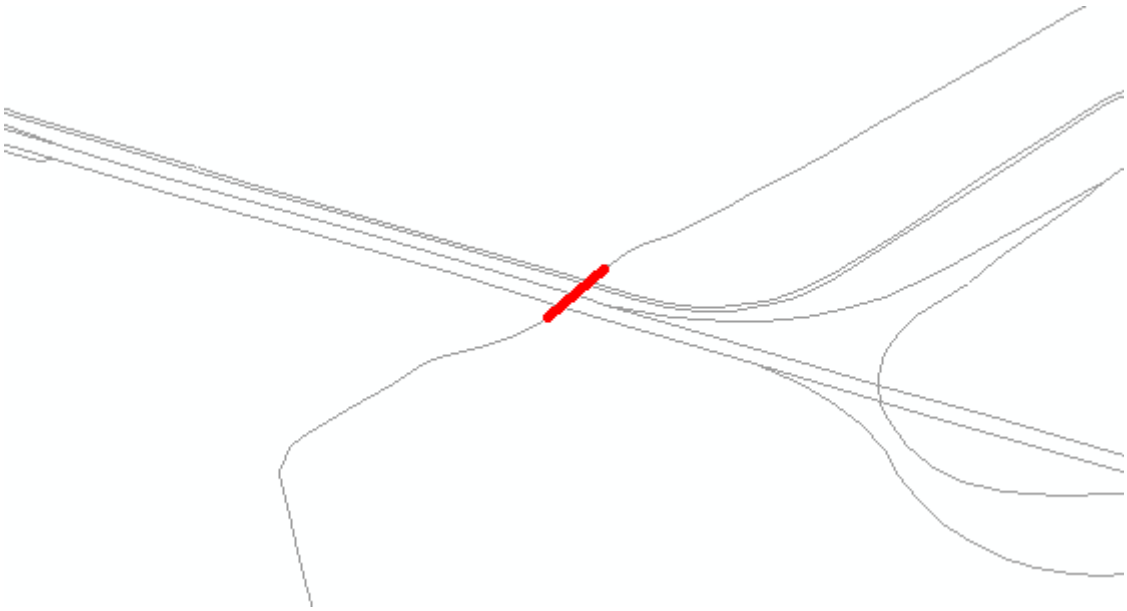


Fig. 5.29 Dettaglio del ponte a Torri di Quartesolo per Sa(1s) = 0,7[g]

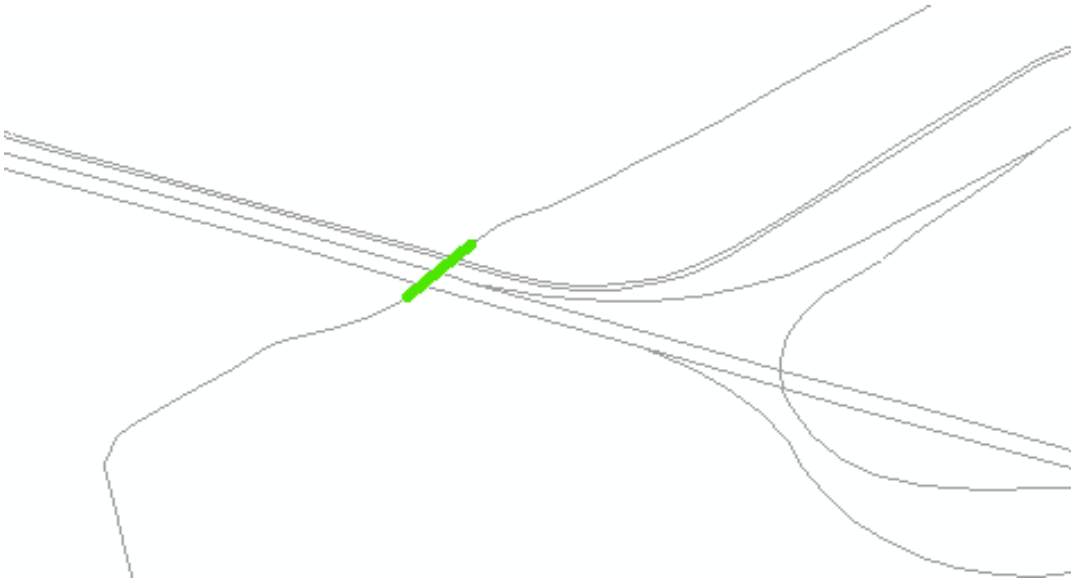


Fig. 5.30 Dettaglio del ponte a Torri di Quartesolo per Sa(1s) = 0,7[g] (Adeguamento)

- il miglioramento del comportamento sismico implica, per una accelerazione spettrale pari a 0,7, un netto miglioramento delle condizioni. Si passa infatti da un ponte che, progettato in maniera classica, non è più attraversabile ad uno che, progettato sismicamente, è in ottime condizioni;
- il primo caso è molto pericoloso perché un suo danneggiamento rilevante, se non addirittura il collasso, comporterebbe grosse problematiche sia per chi deve attraversare la strada provinciale SP27 su cui insiste il ponte ma anche per chi deve attraversare l'autostrada sottostante. Sarebbe quindi necessario chiudere il tratto di autostrada in cui è collocato il ponte e costringere i veicoli ad una deviazione per poi rientrare in autostrada;
- le conseguenze sarebbero, oltre che per i guidatori immessi nella SP27 e nella A4, anche per chi deve percorrere la tangenziale Sud. Infatti la strada affianca l'autostrada proprio in corrispondenza del ponte indagato. Devono valere quindi le stessa considerazioni del punto precedente.

Il dettaglio della mappa in corrispondenza è riportato in figura 5.31.

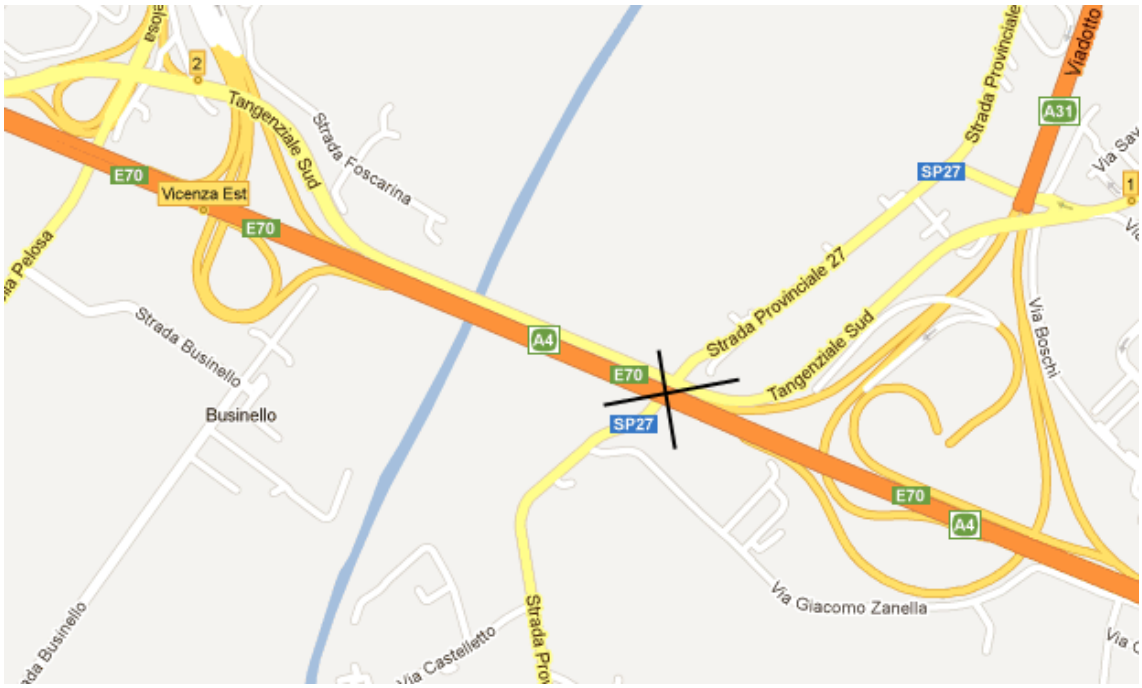


Fig. 5.31 Dettaglio del ponte a Torri di Quartesolo (tratto da Google Maps)

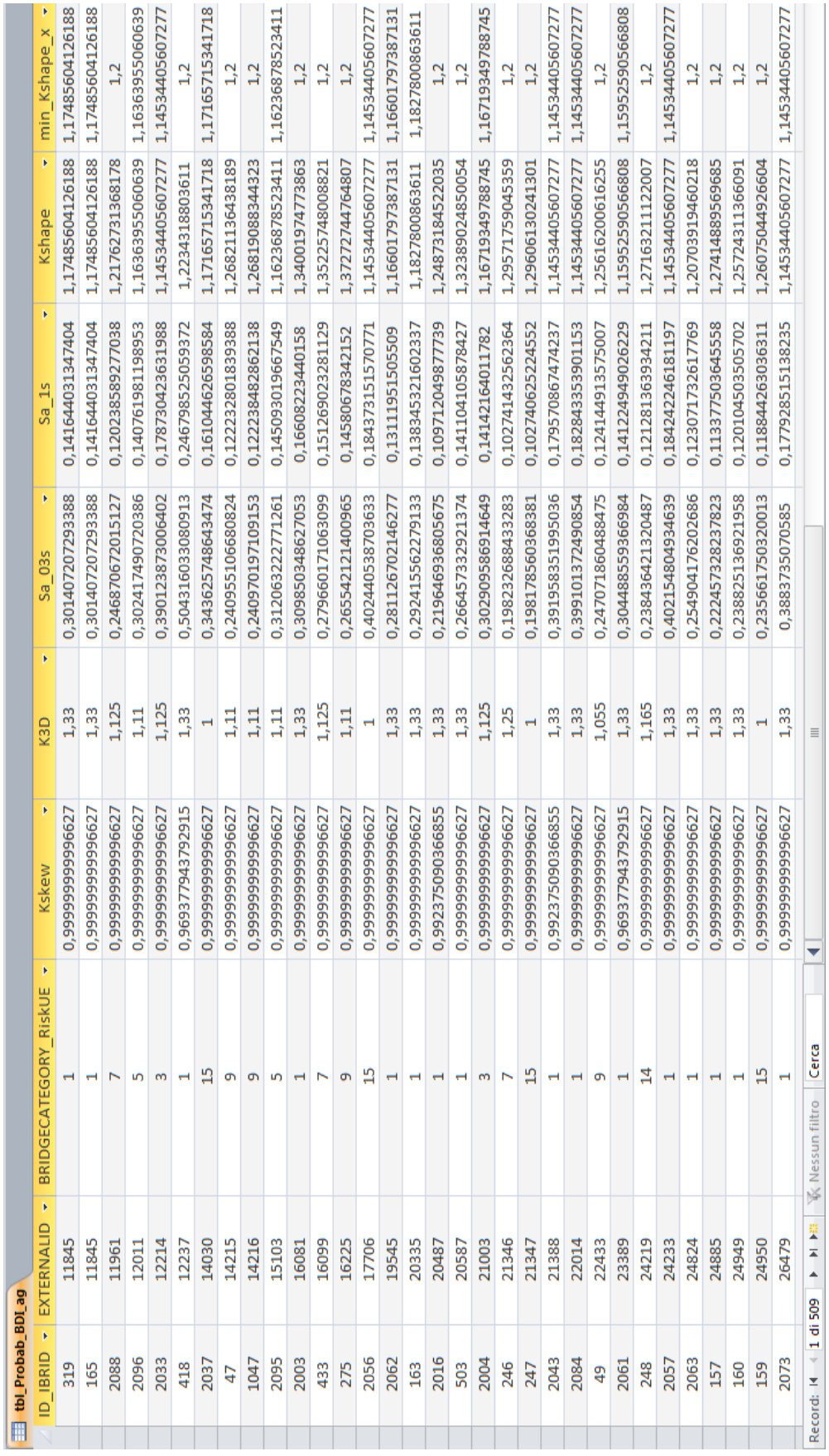
Attraverso questa serie di esempi, si è dimostrata l'importanza dell'adeguamento per ridurre la vulnerabilità sismica dei ponti più delicati sotto questo profilo.
Ovviamente, riprendendo in considerazione le figure 5.27-5.28, non sarebbe possibile realizzare il miglioramento per tutti i ponti colorati di rosso e d'arancio.
E' necessario quindi andare a stabilire una priorità di adeguamento. Questo aspetto verrà meglio chiarito nel capitolo successivo.

5.5 Scenario limite

Nel database viene implementato lo scenario limite, cioè quello per il quale si ha la massima accelerazione orizzontale per ogni ponte. E' un caso poco realistico però consente di svolgere una attività preventiva, stabilendo quali ponti siano più deboli e quali necessitino degli opportuni interventi pre sisma e/o eventualmente post sisma.

L'automatizzazione si realizza assegnando ad ogni voce ID_IBRID il massimo valore di ag (corrisponde alla PGA definita in ambito europeo). Per cui per ogni ponte si ottengono 4 valori di probabilità, ciascuno relativo ad uno stato di danno. Di ciascuno di essi si realizza la media pesata e si definisce la condizione finale, in maniera analoga a quanto visto nel paragrafo precedente.
Si ottiene quindi una tabella definita come "tbl_Probab_BDI_ag" di cui è riportata una parte tramite le figure 5.32-5.33-5.34.
Sono presenti i seguenti campi:

- ID_IBRID = codice del ponte rispetto al Database d'origine IBRID
- EXTERNALID = codice dell'arco rappresentativo del ponte rispetto al Grafo Stradale inserito in ArcMap
- BRIDGECATEGORY_RiskUE = categoria del ponte secondo il metodo europeo RiskUE
- Kskew = fattore che tiene conto della sghembatura del ponte rispetto all'elemento sovrappassato e che serve per calcolare le medie degli stati di danno
- K3D = fattore che tiene conto degli effetti tridimensionali agenti sul ponte e che serve per calcolare le medie degli stati di danno
- Sa_03s = accelerazione spettrale relativa a 0,3s. Si calcola con la seconda delle relazioni riportate nel paragrafo 3.2.3.2.2 delle NTC08, relazioni (3.2.10)
- Sa_1s = accelerazione spettrale relativa a 1s. Si calcola con la terza delle relazioni riportate nel paragrafo 3.2.3.2.2 delle NTC08, relazioni (3.2.10)
- Kshape = fattore che tiene conto delle accelerazioni spettrali e che serve per calcolare le medie degli stati di danno
- min_Kshape_x = x corrisponde al valore 1,2. Si deve prendere il minimo tra 1,2 e kshape per poter calcolare il MINOR_AVERAGE
- MINOR_AVERAGE = media relativa allo stato di danno lieve
- MODERATE_AVERAGE = media relativa allo stato di danno moderato
- EXTENSIVE_AVERAGE = media relativa allo stato di danno esteso
- COMPLETE_AVERAGE = media relativa allo stato di collasso
- STAND_DEVIATION = deviazione standard pari, per il metodo RiskUE, a 0,6

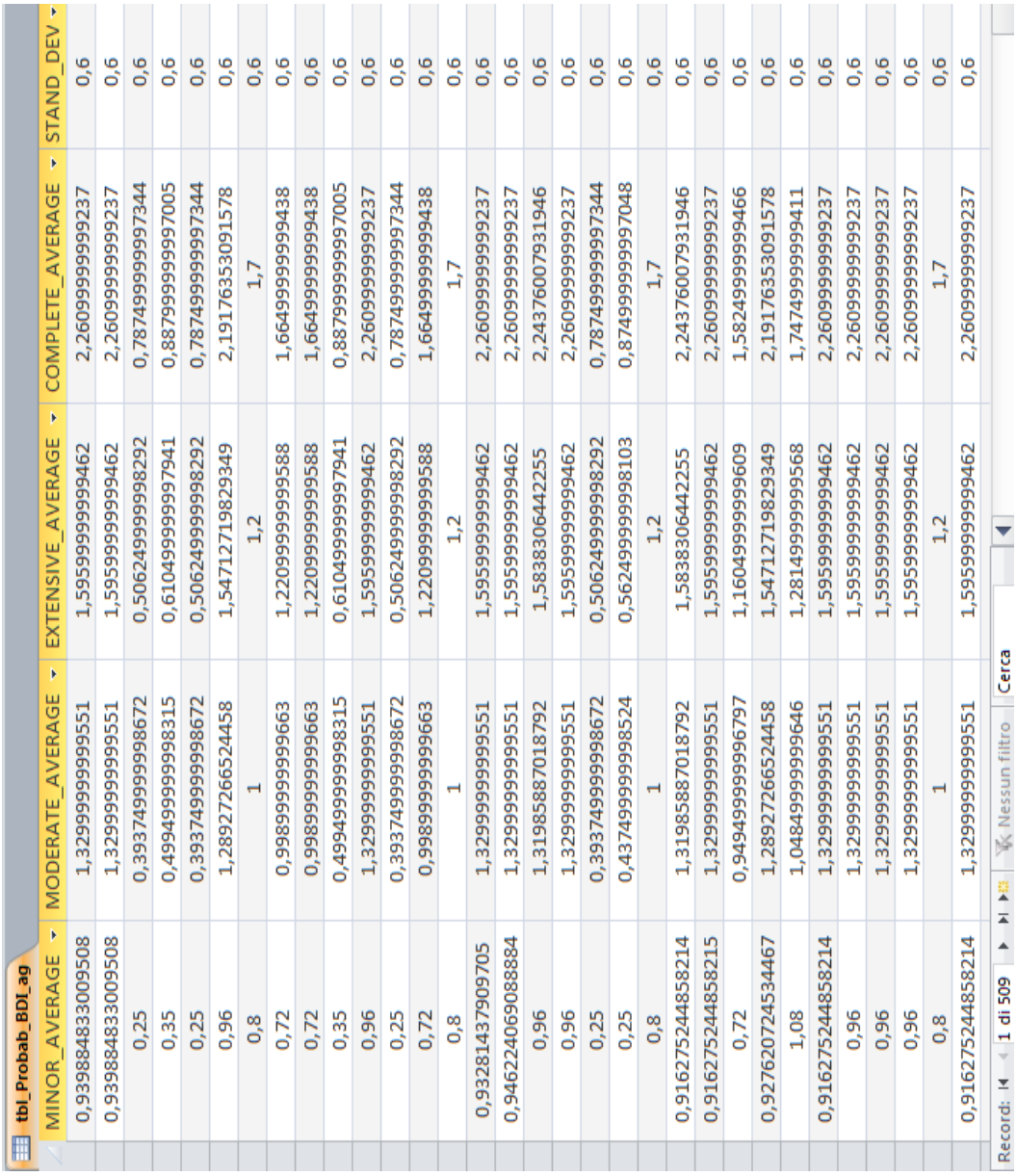


tbl_Probab_BDI_ag

ID_IBRID	EXTERNALID	BRIDGECATEGORY_RiskUE	Kskew	K3D	Sa_03s	Sa_1s	Kshape	min_Kshape_x
319	11845	1	0,999999999996627	1,33	0,301407207293388	0,141644031347404	1,17485604126188	1,17485604126188
165	11845	1	0,999999999996627	1,33	0,301407207293388	0,141644031347404	1,17485604126188	1,17485604126188
2088	11961	7	0,999999999996627	1,125	0,246870672015127	0,120238589277038	1,21762731368178	1,2
2096	12011	5	0,999999999996627	1,11	0,302417490720386	0,140761981198953	1,16363955060639	1,16363955060639
2033	12214	3	0,999999999996627	1,125	0,390123873006402	0,178730423631988	1,14534405607277	1,14534405607277
418	12237	1	0,963779437929l5	1,33	0,504316033080913	0,246798525059372	1,2234318803611	1,2
2037	14030	15	0,999999999996627	1	0,343625748643474	0,161044626598584	1,17165715341718	1,17165715341718
47	14215	9	0,999999999996627	1,11	0,240955106680824	0,122232801839388	1,26821136438189	1,2
1047	14216	9	0,999999999996627	1,11	0,240970197109153	0,122238482862138	1,26819088344323	1,2
2095	15103	5	0,999999999996627	1,11	0,312063222771261	0,145093019667549	1,16236878523411	1,16236878523411
2003	16081	1	0,999999999996627	1,33	0,309850348627053	0,16608223440158	1,34001974773863	1,2
433	16099	7	0,999999999996627	1,125	0,279660171063099	0,151269023281129	1,35225748008821	1,2
275	16225	9	0,999999999996627	1,11	0,265542121400965	0,14580678342152	1,37272744764807	1,2
2056	17706	15	0,999999999996627	1	0,402440538703633	0,184373151570771	1,14534405607277	1,14534405607277
2062	19545	1	0,999999999996627	1,33	0,281126702146277	0,13111951505509	1,16601797387131	1,16601797387131
163	20335	1	0,999999999996627	1,33	0,292415562279133	0,138345321602337	1,1827800863611	1,1827800863611
2016	20487	1	0,992375090366855	1,33	0,219646936805675	0,109712049877739	1,24873184522035	1,2
503	20587	1	0,999999999996627	1,33	0,266457332921374	0,141104105878427	1,32389024850054	1,2
2004	21003	3	0,999999999996627	1,125	0,302909586914649	0,14142164011782	1,16719349788745	1,16719349788745
246	21346	7	0,999999999996627	1,25	0,198232688433283	0,102741432562364	1,29571759045359	1,2
247	21347	15	0,999999999996627	1	0,198178560368381	0,102740625224552	1,29606130241301	1,2
2043	21388	1	0,992375090366855	1,33	0,391958351995036	0,179570867474237	1,14534405607277	1,14534405607277
2084	22014	1	0,999999999996627	1,33	0,399101372490854	0,182843353901153	1,14534405607277	1,14534405607277
49	22433	9	0,999999999996627	1,055	0,247071860488475	0,124144913575007	1,25616200616255	1,2
2061	23389	1	0,963779437929l5	1,33	0,304488559366984	0,141224949026229	1,15952590566808	1,15952590566808
248	24219	14	0,999999999996627	1,165	0,238436421320487	0,121281363934211	1,27163211122007	1,2
2057	24233	1	0,999999999996627	1,33	0,402154804934639	0,184242246181197	1,14534405607277	1,14534405607277
2063	24824	1	0,999999999996627	1,33	0,254904176202686	0,123071732617769	1,20703919460218	1,2
157	24885	1	0,999999999996627	1,33	0,222457328237823	0,113377503645558	1,27414889569685	1,2
160	24949	1	0,999999999996627	1,33	0,238825136921958	0,120104503505702	1,25724311366091	1,2
159	24950	15	0,999999999996627	1	0,235661750320013	0,118844263036311	1,26075044926604	1,2
2073	26479	1	0,999999999996627	1,33	0,38837350705 85	0,177928515138235	1,14534405607277	1,14534405607277

Record: 1 di 509 | Nessun filtro | Cerca

Fig 5.32 Prima parte della tabella tbl_Probab_BDI_ag

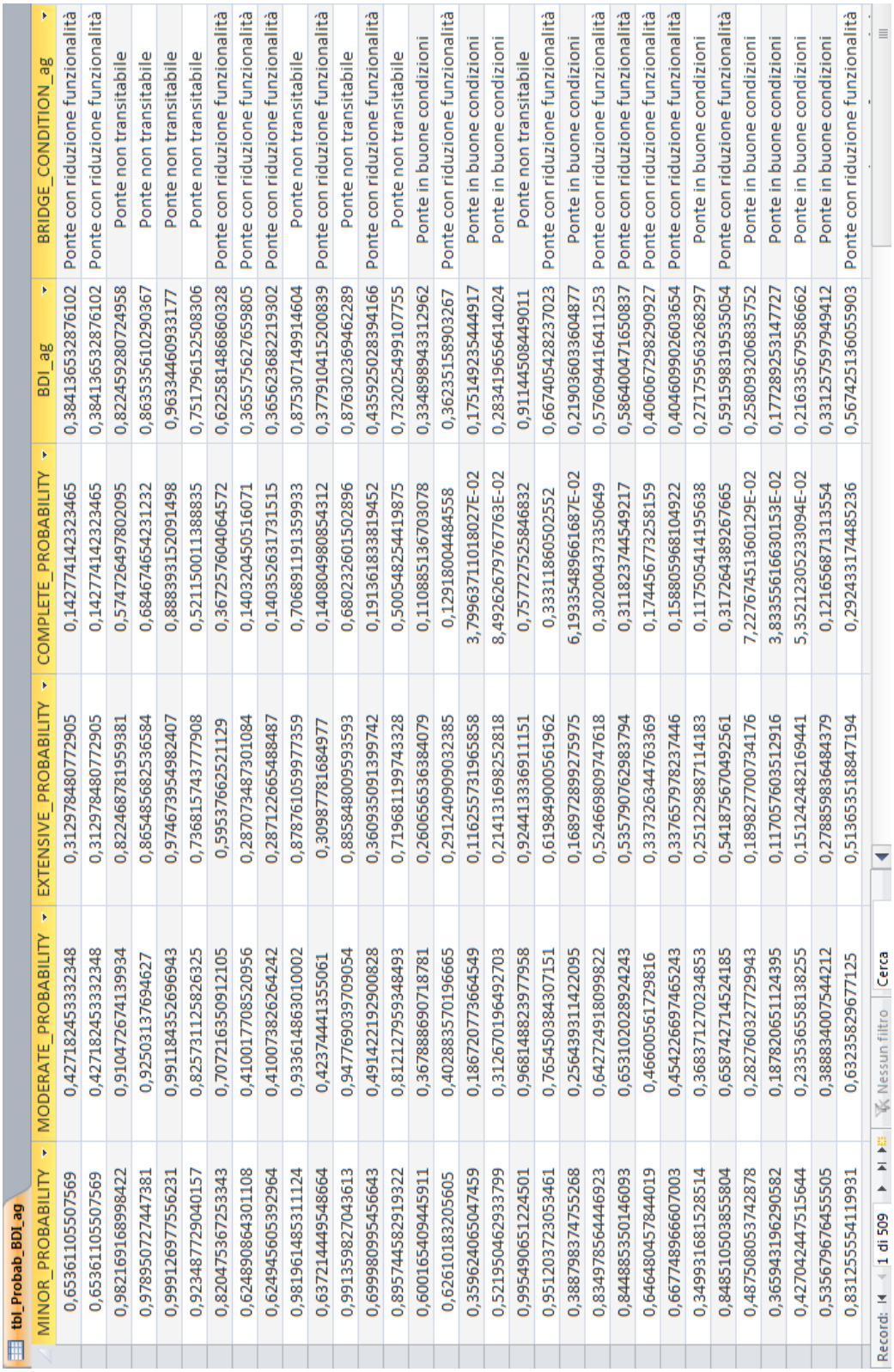


tbl_Probab_BDI_ag

MINOR_AVERAGE	MODERATE_AVERAGE	EXTENSIVE_AVERAGE	COMPLETE_AVERAGE	STAND_DEV
0,939884833009508	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,939884833009508	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,25	0,39374999999998672	0,50624999999998292	0,78749999999997344	0,6
0,35	0,49949999999998315	0,61049999999997941	0,88799999999997005	0,6
0,25	0,39374999999998672	0,50624999999998292	0,78749999999997344	0,6
0,96	1,28927266524458	1,54712719829349	2,19176353091578	0,6
0,8	1	1,2	1,7	0,6
0,72	0,99899999999663	1,22099999999588	1,66499999999438	0,6
0,72	0,99899999999663	1,22099999999588	1,66499999999438	0,6
0,35	0,49949999999998315	0,61049999999997941	0,88799999999997005	0,6
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,25	0,39374999999998672	0,50624999999998292	0,78749999999997344	0,6
0,72	0,99899999999663	1,22099999999588	1,66499999999438	0,6
0,8	1	1,2	1,7	0,6
0,932814379009705	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,946224069088884	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,96	1,31985887018792	1,5838306442255	2,24376007931946	0,6
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,25	0,39374999999998672	0,50624999999998292	0,78749999999997344	0,6
0,25	0,43749999999998524	0,56249999999998103	0,87499999999997048	0,6
0,8	1	1,2	1,7	0,6
0,916275244858214	1,31985887018792	1,5838306442255	2,24376007931946	0,6
0,916275244858215	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,72	0,94949999999967797	1,16049999999609	1,58249999999466	0,6
0,927620724534467	1,28927266524458	1,54712719829349	2,19176353091578	0,6
1,08	1,04849999999646	1,28149999999568	1,74749999999411	0,6
0,916275244858214	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6
0,8	1	1,2	1,7	0,6
0,916275244858214	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237	0,6

Record: 1 di 509 | Nessun filtro | Cerca

Fig 5.33 Seconda parte della tabella tbl_Probab_BDI_ag



tbl_Probab_BDI_ag

MINOR_PROBABILITY	MODERATE_PROBABILITY	EXTENSIVE_PROBABILITY	COMPLETE_PROBABILITY	BDI_ag	BRIDGE_CONDITION_ag
0,653611055075 69	0,427182453332348	0,312978480772905	0,142774142323465	0,384136532876102	Ponte con riduzione funzionalità
0,653611055075 69	0,427182453332348	0,312978480772905	0,142774142323465	0,384136532876102	Ponte con riduzione funzionalità
0,982169168998422	0,910472674139934	0,822468781959381	0,574726497802095	0,822459280724958	Ponte non transitabile
0,978950727447381	0,92503137694627	0,865485682536584	0,684674654231232	0,863535610290367	Ponte non transitabile
0,999126977556231	0,991184352696943	0,974673954982407	0,888393152091498	0,963344609331 77	Ponte non transitabile
0,923487729040157	0,825731125826325	0,736815743777908	0,521150011388835	0,751796152508306	Ponte non transitabile
0,820475367253343	0,707216350912105	0,595376625211 29	0,367257604064572	0,622581486860328	Ponte con riduzione funzionalità
0,624890864301108	0,410017708520956	0,287073487301084	0,140320450516071	0,365575627659805	Ponte con riduzione funzionalità
0,624945605392964	0,410073826264242	0,287122665488487	0,140352631731515	0,365623682219302	Ponte con riduzione funzionalità
0,981961485311124	0,933614863010002	0,878761059977359	0,706891191359933	0,875307149914604	Ponte non transitabile
0,637214449548664	0,42374441355061	0,309877816849 77	0,140804980854312	0,377910415200839	Ponte con riduzione funzionalità
0,991359827043613	0,947769039709054	0,885848009593593	0,680232601502896	0,876302369462289	Ponte non transitabile
0,699980995456643	0,491422192900828	0,360935091399742	0,191361833819452	0,435925028394166	Ponte con riduzione funzionalità
0,895744582919322	0,812127959348493	0,719681199743328	0,500548254419875	0,732025499107755	Ponte non transitabile
0,600165409445911	0,367888690718781	0,260656536384079	0,110885136703078	0,334898943312962	Ponte in buone condizioni
0,62610183205605	0,402883570196665	0,291240909032385	0,12918004484558	0,362351589032 67	Ponte con riduzione funzionalità
0,359624065047459	0,186720773664549	0,116255731965858	3,799637110180 27E-02	0,175149235444917	Ponte in buone condizioni
0,521950462933799	0,312670196492703	0,214131698252818	8,492626797677 63E-02	0,283419656414024	Ponte in buone condizioni
0,995490651224501	0,968148823977958	0,924413336911151	0,757727525846832	0,911445084490 11	Ponte non transitabile
0,951203723053461	0,765450384307151	0,619849000561962	0,333118605025 52	0,667405428237023	Ponte con riduzione funzionalità
0,388798374755268	0,256439311422095	0,168972899275975	6,193354896616 87E-02	0,219036033604877	Ponte in buone condizioni
0,834978564446923	0,642724918099822	0,524669809747618	0,302004373350649	0,576094416411253	Ponte con riduzione funzionalità
0,844885350146093	0,653102028924243	0,535790762983794	0,311823744549217	0,586400471650837	Ponte con riduzione funzionalità
0,646480457844019	0,46600561729816	0,337326344763369	0,174456773258159	0,406067298290927	Ponte con riduzione funzionalità
0,667748966607003	0,454226697465243	0,337657978237446	0,158805968104922	0,404609902603654	Ponte con riduzione funzionalità
0,349931681528514	0,368371270234853	0,251229887114183	0,117505414195638	0,271759563268297	Ponte in buone condizioni
0,848510503855804	0,658742714524185	0,541875670492561	0,317264389267665	0,591598319535054	Ponte con riduzione funzionalità
0,487508053742878	0,282760327729943	0,189827700734176	7,227674513601 29E-02	0,258093206835752	Ponte in buone condizioni
0,365943196290582	0,187820651124395	0,117057603512916	3,833556166301 53E-02	0,177289253147727	Ponte in buone condizioni
0,427042447515644	0,233536558138255	0,151242482169441	5,352123052330 94E-02	0,216335679586662	Ponte in buone condizioni
0,535679676455505	0,388834007544212	0,278859836484379	0,121656871313554	0,331257597949412	Ponte in buone condizioni
0,831255554119931	0,632358296777125	0,513653518847194	0,292433174485236	0,567425136055903	Ponte con riduzione funzionalità

Record: 1 di 509 | Nessun filtro | Cerca

Fig 5.34 Terza parte della tabella tbl_Probab_BDI_ag

- MINOR_PROBABILITY = probabilità di non superamento associata allo stato di danno lieve
- MODERATE_PROBABILITY = probabilità di non superamento associata allo stato di danno moderato
- EXTENSIVE_PROBABILITY = probabilità di non superamento associata allo stato di danno esteso
- COMPLETE_PROBABILITY = probabilità di non superamento associata allo stato di collasso
- BDI_ag = media pesata delle quattro probabilità precedenti
- BRIDGE_CONDITION_ag = indicazione delle condizioni del ponte, in funzione di un legenda riportata nella funzione bridge_condition sul Modulo Utility

Una volta definita la tabella di riferimento, è possibile ottenre una rappresentazione grafica dei ponti lungo la rete. Si procede in maniera analoga, andando a importare la tabella all'interno di ArcMap, realizzando un join tra la tabella suddetta e il layer relativo ai ponti catalogati.
Si ottiene quindi la suddivisione riportata in figura 5.35.
Come è possibile notare, i ponti non transitabili non sono presenti, però vi sono molti ponti che registrano riduzioni delle funzionalità.
Anche per questo caso limite è stata preso in considerazione l'adeguamento sismico. Si riporta in figura 5.36 la rappresentazione. Viene confermato quanto detto nei paragrafi precedenti. Si nota subito che il comportamento è estremamente migliore, visto che tutti i ponti si trovano ora in buone condizioni.

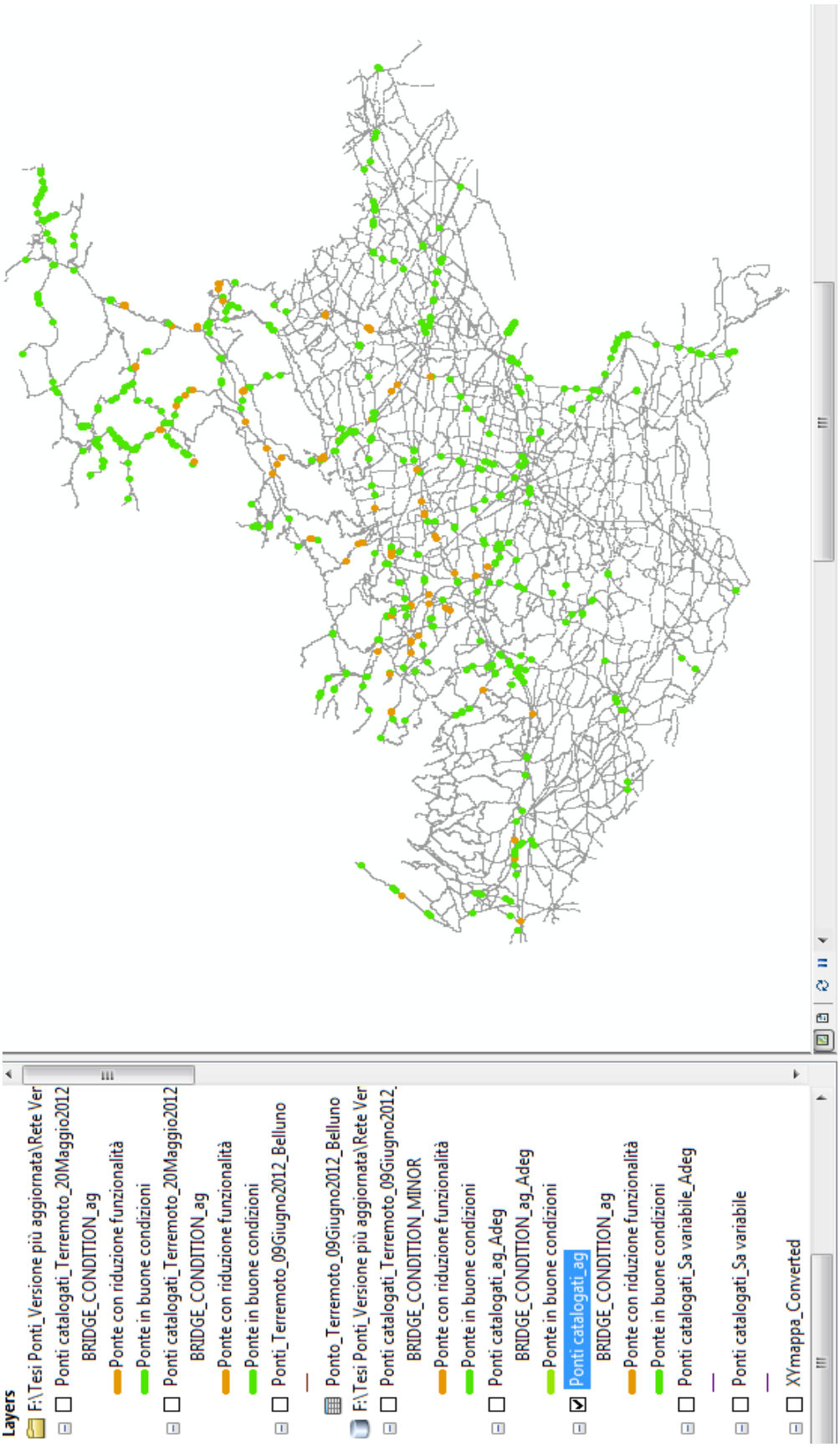


Fig 5.35 Rappresentazione grafica delle condizioni dei ponti per la massima ag orizzontale

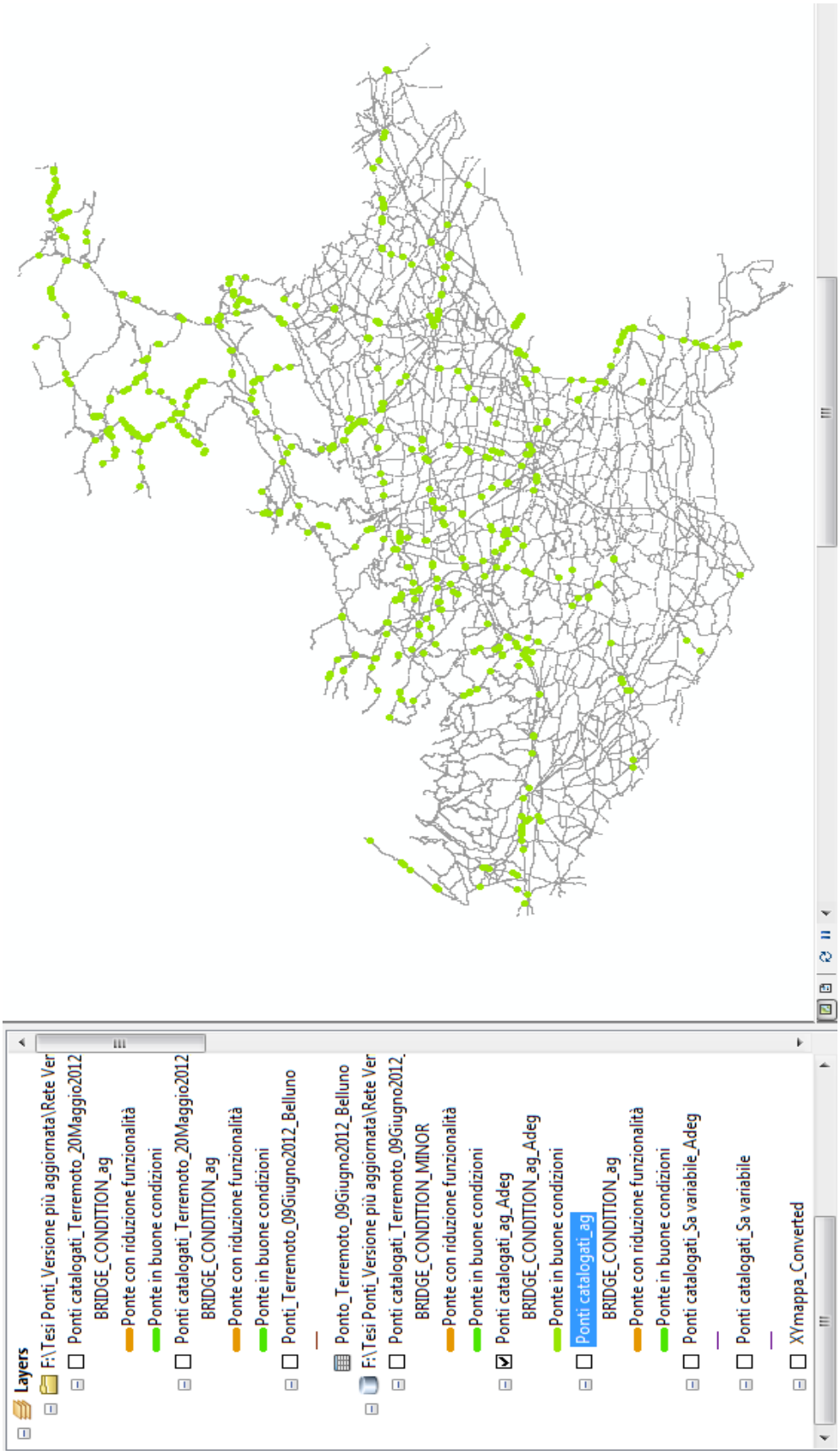


Fig 5.36 Rappresentazione grafica delle condizioni dei ponti per la massima ag orizzontale (Adeguamento)

5.6 Implementazione di terremoti del passato

E' possibile a questo punto studiare il comportamento dei ponti catalogati sotto terremoti avvenuti in passato andando a caricare, all'interno del database e di ArcMap, i dati riportati sul sito dell'INGV. L'istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia calcola, per ogni terremoto, i valori di accelerazione di picco al suolo e, per i sismi di magnitudo superiore a 5,5, i valori di accelerazione spettrale a 0,3 e 1 secondo.

In questa opera vengono inseriti due scenari:

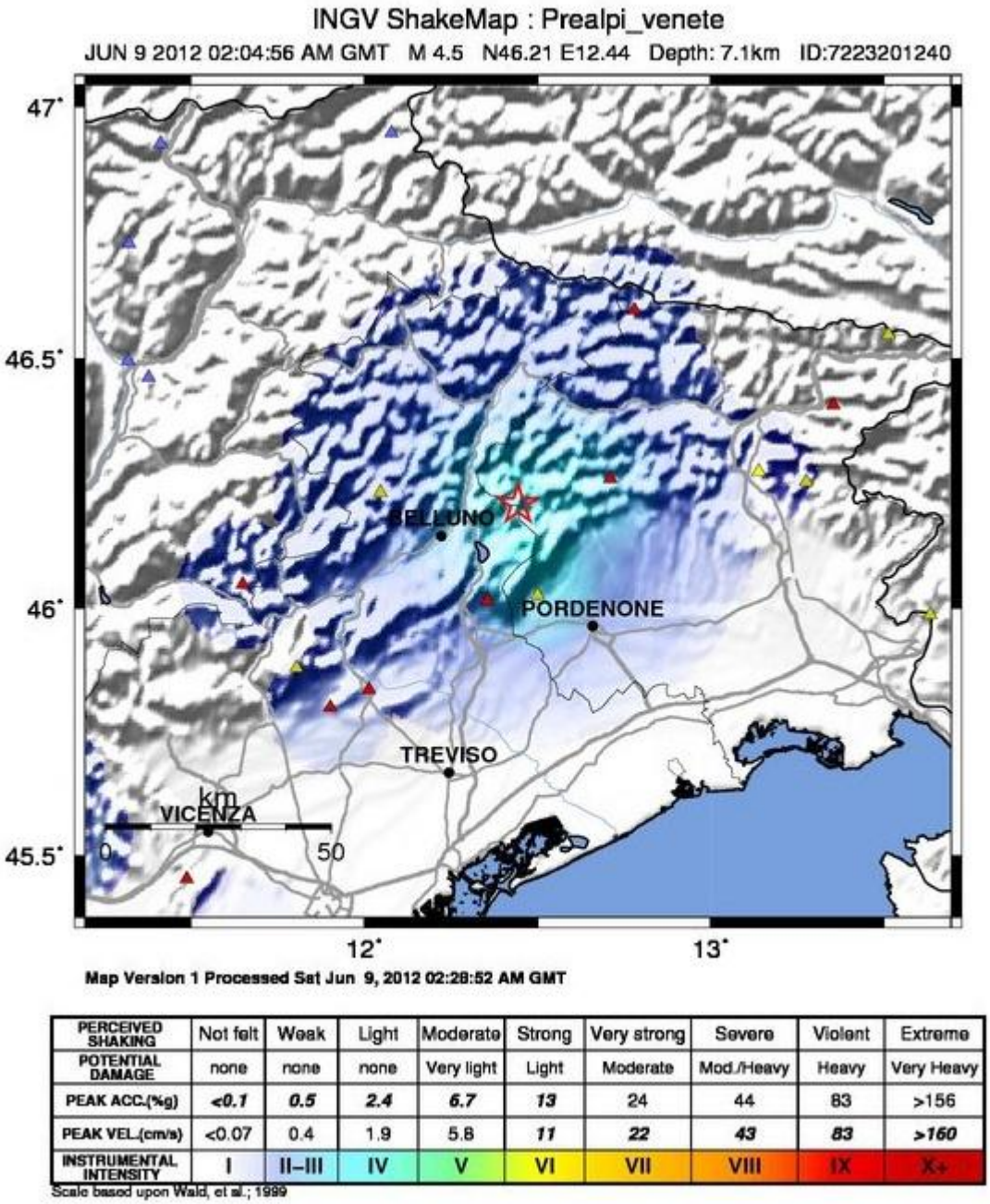
- Terremoto avvenuto tra le Province di Belluno e Pordenone il 09 Giugno 2012
- Terremoto avvenuto in Emilia il 20 Maggio 2012

A ognuno di essi viene dedicato un sottoparagrafo.

5.6.1 Sisma nelle Prealpi Venete

Il primo scenario è relativo all'evento sismico verificatosi alle 4:04 del 09 Giugno 2012. I comuni più vicini all'epicentro, secondo quanto riportato sui maggiori siti di informazione e anche dall'INGV, sono Lamosano, Pieve d'Alpago e Tambre per la provincia di Belluno; Cimolais, Claut ed Erto per la provincia di Pordenone. Nelle analisi si fa riferimento unicamente alle zone site in Veneto.

Di seguito si riportano tutte le informazioni recuperate dall'INGV per questo evento sismico, di magnitudo 4,5.
Le prime tre figure sono prelevate dal sito dell'Istituto e riportano, rispettivamente, la scala d'intensità sismica, la PGA e la PGV (massima velocità al suolo)
Nella figura successiva si importa lo shapefile relativo alla PGA (recuperato sempre dal sito dell'INGV) all'interno del file in ArcMap. In questa maniera è possibile individuare, per ogni ponte, l'accelerazione relativa. Conoscendo quel parametro, è possibile costruire una tabella nel database (procedendo in maniera del tutto analoga a quanto visto nei paragrafi precedenti) che riporta, per ogni record:



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	*<0.1*	*0.5*	*2.4*	*6.7*	*13*	24	44	83	>156
PEAK VEL.(cm/s)	<0.07	0.4	1.9	5.8	*11*	*22*	*43*	*83*	*>160*
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II–III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Wald, et al.; 1999

Fig. 5.37 Scala dell'intensità sismica

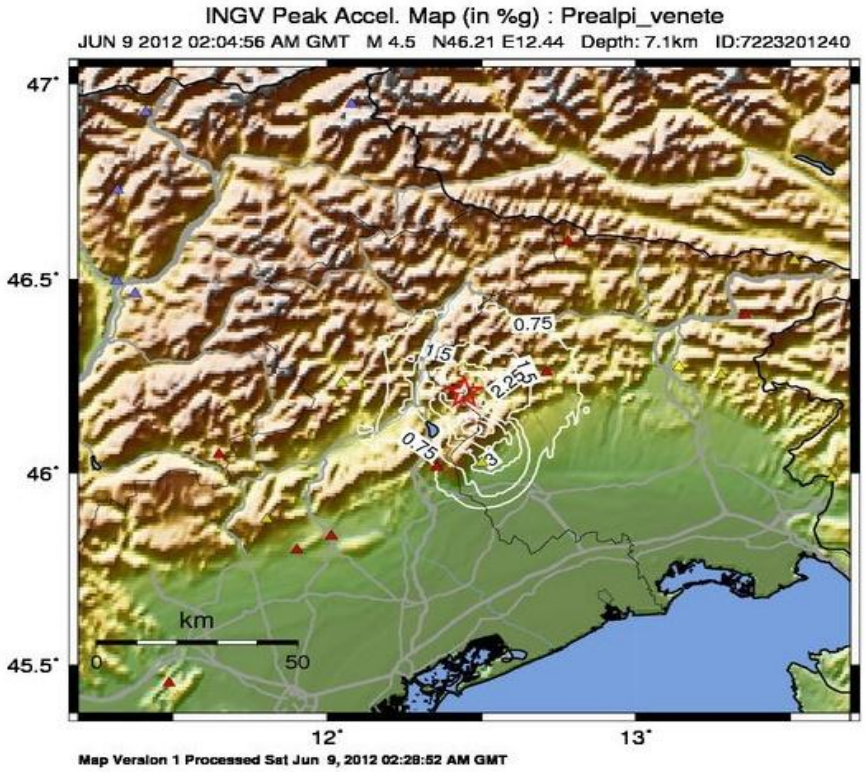


Fig. 5.38 Mappa della PGA

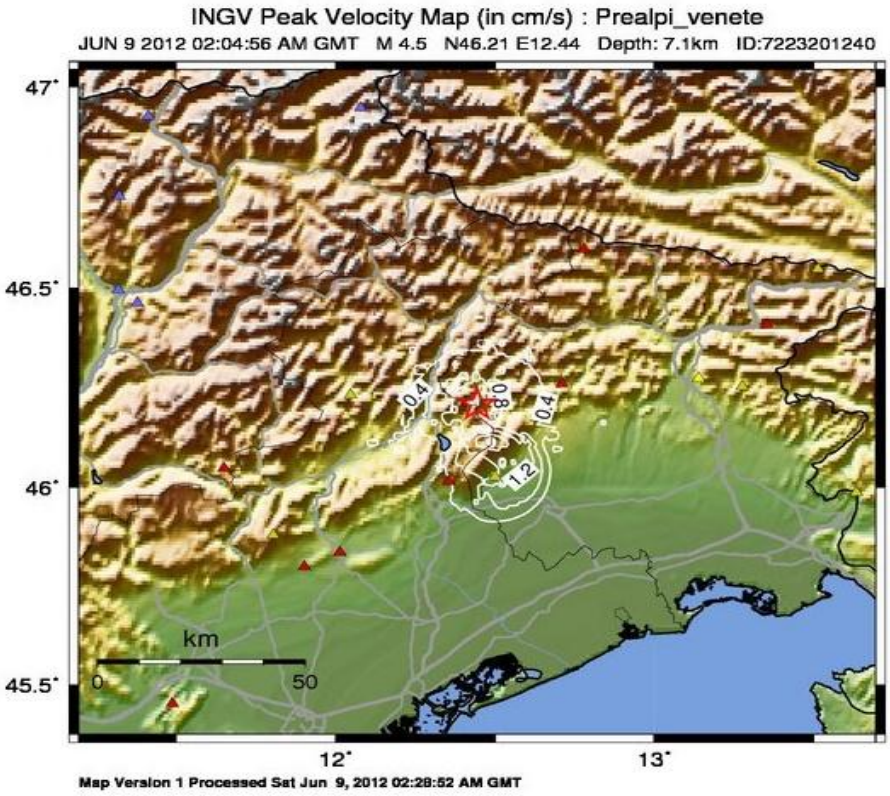


Fig. 5.39 Mappa della PGV

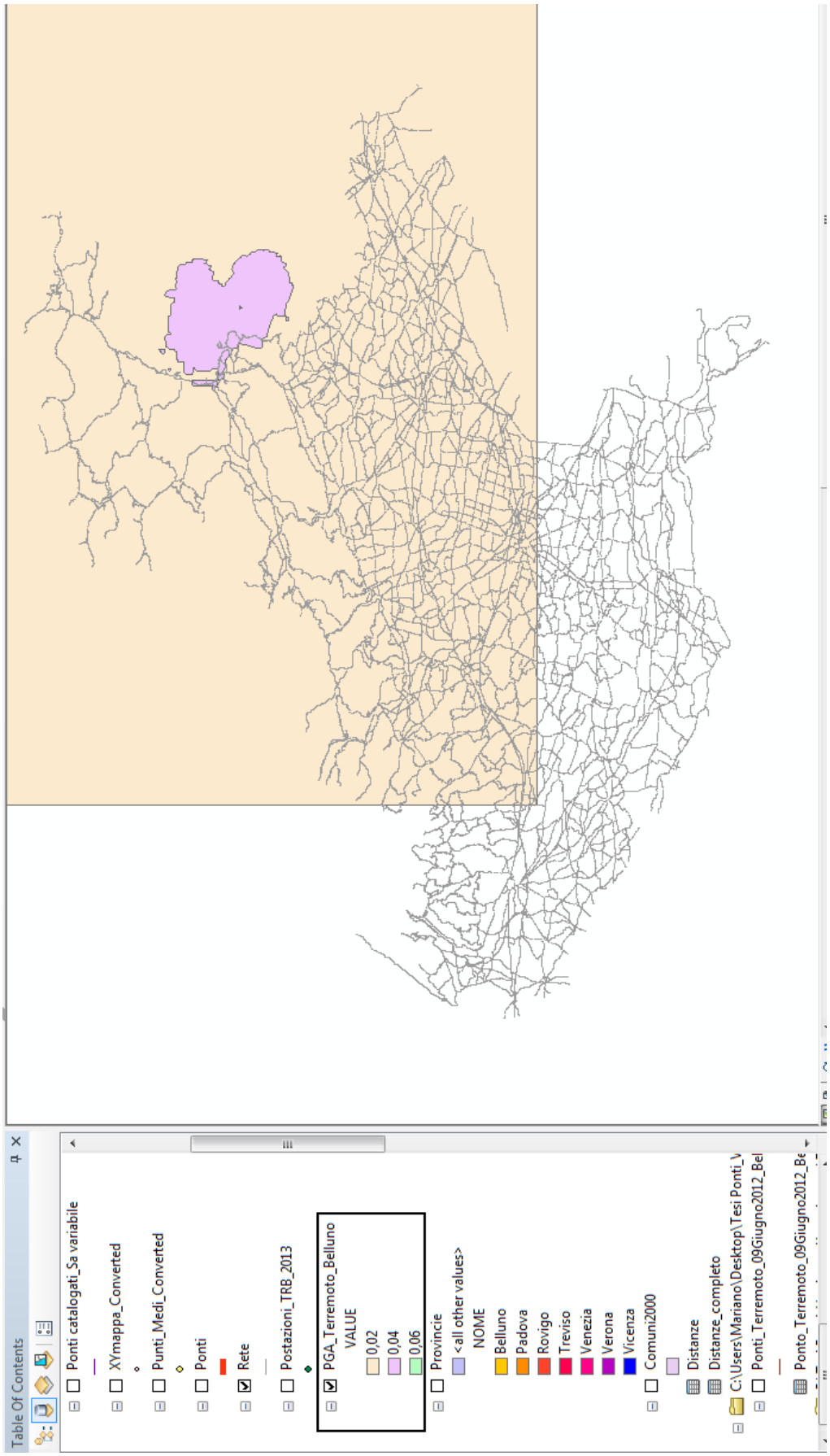


Fig 5.40 Rappresentazione grafica della PGA

1) Le 4 probabilità associate a ciascun stato di danno
2) La media pesata delle probabilità
3) La definizione della condizione del ponte
4) Una ulteriore media pesata dando maggiore importanza agli stati di danno meno forti, per tenere conto della maggiore probabilità di avvenimento
5) La definizione della condizione del ponte tenendo conto della media al punto 4)

Questa tabella è stata chiamata "Ponti_Terremoto_09Giugno2012_Belluno" ed è mostrata nella figura 5.41.

A questo punto la tabella appena definita può essere importata in ArcMap e associata al layer relativo allo scenario di analisi attraverso un join. E' possibile dare una ulteriore rappresentazione grafica, in funzione del parametro BRIDGE_CONDITION.
Quindi si ottiene la visualizzazione riportata in figura 5.42.
Si osserva immediatamente che il terremoto non comporta grandi conseguenze, se non per tre ponti situati in prossimità dell'epicentro. Ad ogni modo le strade su cui si innestano le strutture indagate non devono essere chiuse, è sufficiente una limitazione del flusso di traffico.
Studiando nel dettaglio i ponti "sensibili" (di cui dalle figure 5.43 in poi vengono mostrate le caratteristiche) si possono trarre ulteriori conclusioni. Gli elementi in questione sono:

- EXTERNALID 142080 = rappresenta il ponte/diga di Soverzene. E' un ponte molto importante perché, oltre a fungere da diga, consente il collegamento alla cittadina di Soverzene. Allo stesso tempo bisogna tenere conto che è un ponte molto stretto (l'attraversamento è regolato da un semaforo che consente il passaggio in un'unica direzione, inoltre i mezzi pesanti non possono attraversarlo) quindi il flusso veicolare sarà necessariamente molto limitato. Per cui la condizione "arancione" incide meno rispetto ai casi tipici.
- EXTERNAL ID 112463 e 112466 = sono ponti disposti lungo la strada provinciale SP422 in corrispondenza del tratto tra 3 frazioni del comune di Tambre (Palughetto, Borsoi e Lavina). Un eventuale crollo di questi due ponti può creare problemi, soprattutto per il secondo (tra Borsoi e Lavina)

in quanto non vi sarebbe un percorso alternativo provvisorio per i veicoli. Ad ogni modo, essendo ponti insistenti in una strada di non grandissima percorrenza, per evitare un peggioramento dei danni sono fattibili alcune delle soluzioni mostrate nel corso del paragrafo 4.5, come ad esempio l'istituzione di un senso unico alternato oppure la riduzione della velocità di transito.

Ponti_Terremoto_09Giugno2012_Belluno_Condizioni

ID_IBRID	EXTERNALIC	ag	MINOR_PROBABILITY	MODERATE_PROBABILITY	EXTENSIVE_PROBABILITY	COMPLETE_PROBABILITY	BDI_ag	BRIDGE_CONDITION_ag	BDI_ag_MINOR	BRIDGE_CONDITION_MINOR
2047	11379	0,2	0,0062538327901893	9,486747745322285E-04	3,251788436384222E-04	3,301741705465435E-05	1,890174734279558E-03	Ponte in buone condizioni	2,854471103550026E-03	Ponte in buone condizioni
46	11765	0,2	1,638456553527955E-02	3,673052674834566E-03	1,284168939704636E-03	2,061691638704766E-04	5,386989078422285E-03	Ponte in buone condizioni	7,933192720890125E-03	Ponte in buone condizioni
319	11845	0,2	4,953289898709E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,510877653160475E-03	Ponte in buone condizioni	2,276225360035245E-03	Ponte in buone condizioni
165	11845	0,2	4,953289898709E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,510877653160475E-03	Ponte in buone condizioni	2,276225360035245E-03	Ponte in buone condizioni
2096	12011	0,2	0,1754865300188455	6,356797263469595E-02	3,144660800025328E-02	6,487911967311295E-03	6,924725655584625E-02	Ponte in buone condizioni	9,620311659518445E-02	Ponte in buone condizioni
2033	12214	0,2	0,3549787643228445	0,1294471361977781	6,082732237282175E-02	0,0111783160582482	0,1391078847379233	Ponte in buone condizioni	0,1941089426688599	Ponte in buone condizioni
418	12237	0,2	4,469665381487183E-03	9,486747745322285E-04	3,251788436384222E-04	3,301741705465435E-05	1,444134104178124E-03	Ponte in buone condizioni	2,140806095387695E-03	Ponte in buone condizioni
2037	14030	0,2	1,043022586708575E-02	3,654792607457766E-03	1,412067777422955E-03	1,807340106220384E-04	3,919455065647114E-03	Ponte in buone condizioni	5,569015085618445E-03	Ponte in buone condizioni
47	14215	0,2	1,638456553527955E-02	3,673052674834566E-03	1,284168939704636E-03	2,061691638704766E-04	5,386989078422285E-03	Ponte in buone condizioni	7,933192720890125E-03	Ponte in buone condizioni
1047	14216	0,2	1,638456553527955E-02	3,673052674834566E-03	1,284168939704636E-03	2,061691638704766E-04	5,386989078422285E-03	Ponte in buone condizioni	7,933192720890125E-03	Ponte in buone condizioni
2095	15103	0,2	0,1754865300188455	6,356797263469595E-02	3,144660800025328E-02	6,487911967311295E-03	6,924725655584625E-02	Ponte in buone condizioni	9,620311659518445E-02	Ponte in buone condizioni
2003	16081	0,2	4,469665381487183E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,389971501068775E-03	Ponte in buone condizioni	2,082755516681755E-03	Ponte in buone condizioni
433	16099	0,2	0,3549787643228445	0,1294471361977781	6,082732237282175E-02	0,0111783160582482	0,1391078847379233	Ponte in buone condizioni	0,1941089426688599	Ponte in buone condizioni
275	16225	0,2	1,638456553527955E-02	3,673052674834566E-03	1,284168939704636E-03	2,061691638704766E-04	5,386989078422285E-03	Ponte in buone condizioni	7,933192720890125E-03	Ponte in buone condizioni
2056	17706	0,2	1,043022586708575E-02	3,654792607457766E-03	1,412067777422955E-03	1,807340106220384E-04	3,919455065647114E-03	Ponte in buone condizioni	5,569015085618445E-03	Ponte in buone condizioni
2062	19545	0,2	5,136705744771616E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,556731591889888E-03	Ponte in buone condizioni	2,349591661995526E-03	Ponte in buone condizioni
163	20335	0,2	4,794945443209833E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,471291516499443E-03	Ponte in buone condizioni	2,212887541370815E-03	Ponte in buone condizioni
503	20587	0,2	4,469665381487183E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,389971501068775E-03	Ponte in buone condizioni	2,082755516681755E-03	Ponte in buone condizioni
2004	21003	0,2	0,3549787643228445	0,1294471361977781	6,082732237282175E-02	0,0111783160582482	0,1391078847379233	Ponte in buone condizioni	0,1941089426688599	Ponte in buone condizioni
2043	21388	0,2	5,595570721327085E-03	8,306552037856645E-04	2,815748214499145E-04	2,798230664035845E-05	1,683945763300754E-03	Ponte in buone condizioni	2,546538044620555E-03	Ponte in buone condizioni
2084	22014	0,2	5,595570721327085E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,671447836028755E-03	Ponte in buone condizioni	2,533137652617725E-03	Ponte in buone condizioni
49	22433	0,2	1,638456553527955E-02	4,715302861674875E-03	1,692210285939785E-03	2,830388670511915E-04	5,768779387486325E-03	Ponte in buone condizioni	8,335163016507325E-03	Ponte in buone condizioni
2061	23389	0,2	5,276185542302285E-03	9,486747745322285E-04	3,251788436384222E-04	3,301741705465435E-05	1,645764144381955E-03	Ponte in buone condizioni	2,463414159713735E-03	Ponte in buone condizioni
248	24219	0,2	2,471960155418365E-03	2,878300030757475E-03	9,815156033841385E-04	1,515407401592275E-04	1,620829132429885E-03	Ponte in buone condizioni	2,063731266087345E-03	Ponte in buone condizioni
2057	24233	0,2	5,595570721327085E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,671447836028755E-03	Ponte in buone condizioni	2,533137652617725E-03	Ponte in buone condizioni
157	24885	0,2	4,469665381487183E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,389971501068775E-03	Ponte in buone condizioni	2,082755516681755E-03	Ponte in buone condizioni
160	24949	0,2	4,469665381487183E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,389971501068775E-03	Ponte in buone condizioni	2,082755516681755E-03	Ponte in buone condizioni
159	24950	0,2	1,043022586708575E-02	3,654792607457766E-03	1,412067777422955E-03	1,807340106220384E-04	3,919455065647114E-03	Ponte in buone condizioni	5,569015085618445E-03	Ponte in buone condizioni
2073	26479	0,2	5,595570721327085E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,671447836028755E-03	Ponte in buone condizioni	2,533137652617725E-03	Ponte in buone condizioni
2071	26480	0,2	5,595570721327085E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,671447836028755E-03	Ponte in buone condizioni	2,533137652617725E-03	Ponte in buone condizioni
2006	26495	0,2	1,043022586708575E-02	3,654792607457766E-03	1,412067777422955E-03	1,807340106220384E-04	3,919455065647114E-03	Ponte in buone condizioni	5,569015085618445E-03	Ponte in buone condizioni
158	26653	0,2	0,3549787643228445	0,1356401452923433	6,438425352760895E-02	1,205523762049025E-02	0,1417646001908214	Ponte in buone condizioni	0,1967659237844113	Ponte in buone condizioni
2082	26890	0,2	5,595570721327085E-03	7,951549744530715E-04	2,685630691747746E-04	2,650257916006395E-05	1,671447836028755E-03	Ponte in buone condizioni	2,533137652617725E-03	Ponte in buone condizioni

Fig 5.41 Estratto della tabella Ponti_Terremoto_09Giugno2012_Belluno_Condizioni

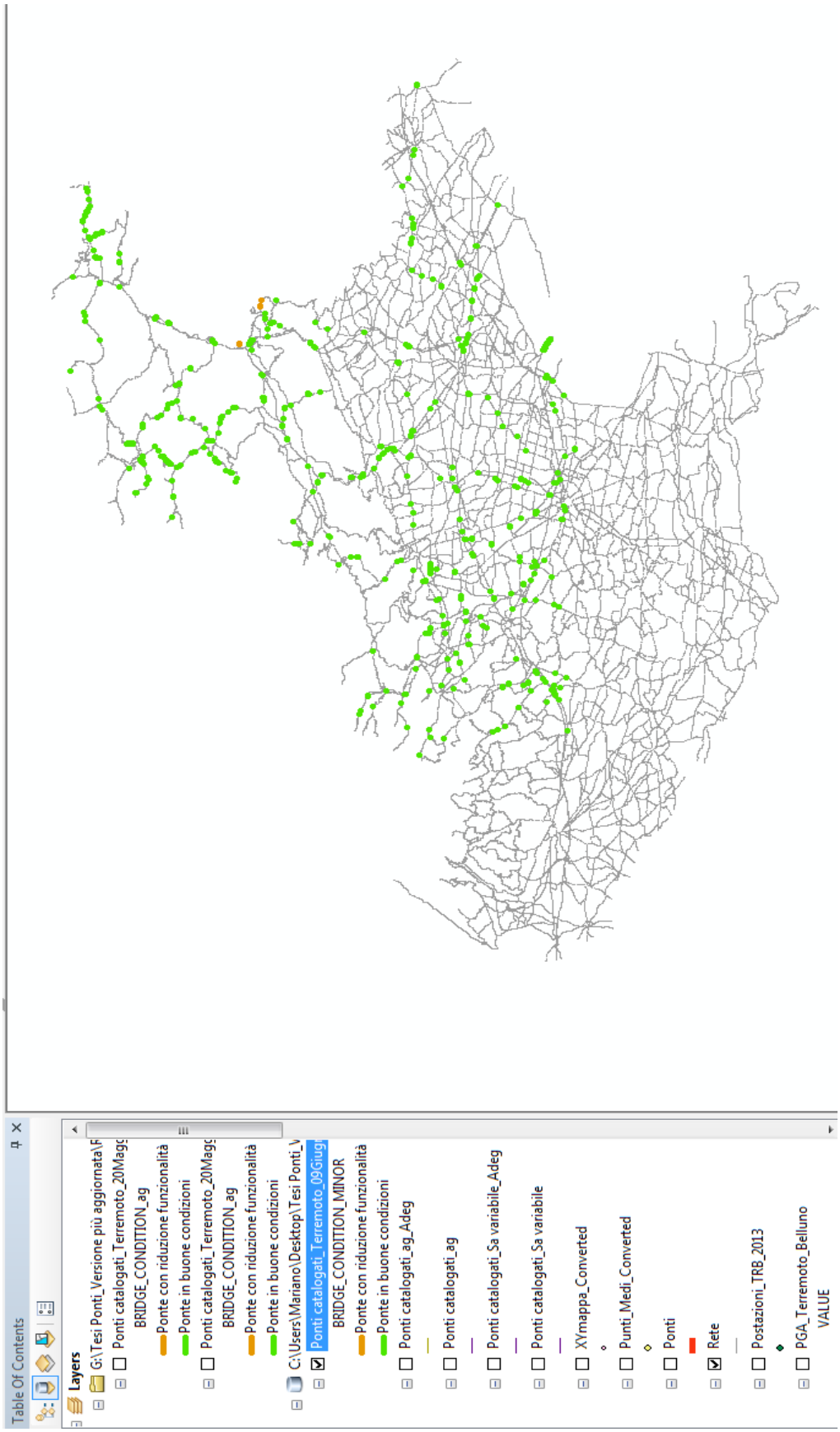


Fig 5.42 Visualizzazione delle conseguenze del sisma sui ponti

Fig. 5.43 Dettaglio della rete in corrispondenza dei ponti "sensibili"

Fig. 5.44 Vista del ponte di Soverzene

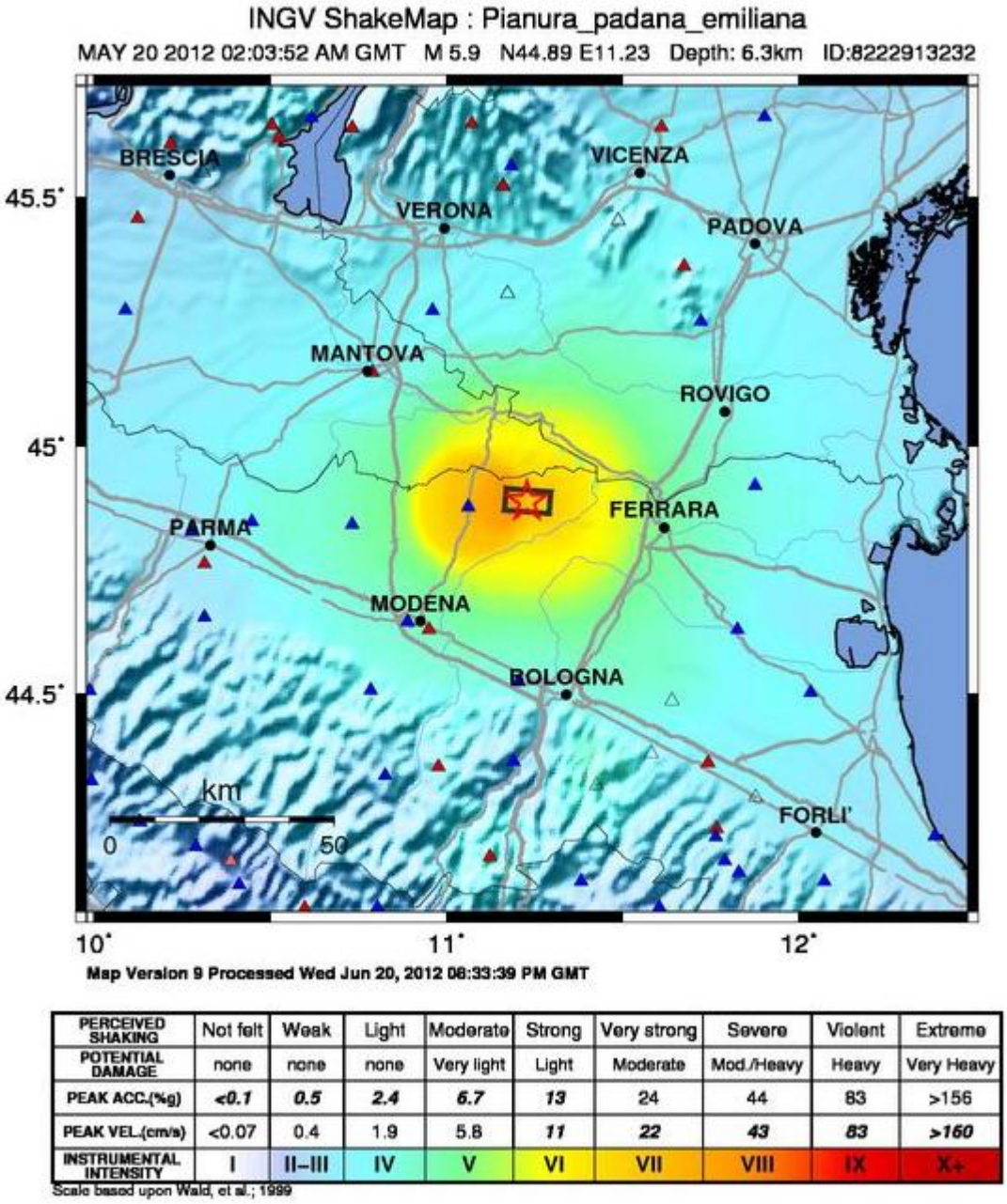
Fig. 5.45 Vista del ponte tra Palughetto e Borsoi

Fig. 5.46 Vista del ponte tra Borsoi e Lavina

5.6.2 Sisma in Emilia

Quando si parla di terremoti in Emilia si fa riferimento ad una serie di eventi sismici localizzati nel distretto sismico della pianura padana emiliana, prevalentemente nelle province di Modena, Ferrara, Bologna e Mantova ma avvertiti anche in un'area molto vasta comprendente tutta l'Italia Centro-Settentrionale e parte della Svizzera, della Slovenia, della Croazia, dell'Austria, della Francia sud-orientale e della Germania meridionale[3][4]. La scossa più forte, di magnitudo 5,9 è stata registrata il 20 maggio 2012 alle ore 04:03:52 ora italiana, con epicentro nel paese di Finale Emilia, a una profondità di 6,3 km. Il sisma ha provocato 7 morti accertati, circa 50 feriti, 5000 sfollati e ingenti danni al patrimonio culturale a causa dei molti crolli di palazzi storici, aziende agricole e fabbriche. Il sisma ha provocato fenomeni diffusi di liquefazione delle sabbie, che hanno interessato ampie aree a San Carlo di Sant'Agostino, Mirabello, Finale Emilia e San Felice sul Panaro.

Il nostro studio si concentrerà proprio sulla scossa appena citata, facendo riferimento ai suoi effetti sulla Regione Veneto.
Analogamente alla situazione precedente, si riportano le immagini scaricate dal sito dell'INGV riportanti la scala di intensità sismica, la PGA, la PGV e le due accelerazioni spettrali.
Inoltre si importano in ArcMap gli shapefile relativi ad ag, Sa(0,3s) e Sa(1s), come si può vedere nelle figure 5.52-5.53-5.54.
In questo modo si trovano i valori delle tre accelerazioni per ogni ponte del catalogo che è sollecitato da questa azione e si definisce anche in questo caso una tabella, denominata "Ponti_Terremoto20Maggio2012_Emilia_Condizioni". I campi che la compongono si determinano in maniera equivalente a quanto visto per l'esempio di Belluno, tenendo conto che i valori delle accelerazioni spettrali, a differenza di prima, sono già noti come valori di input.
Si inseriscono quindi la tabella appena definita e la rappresentazioni visiva delle condizioni dei ponti nelle zone interessate (vedi fig. 5.55-5.56-5.57).



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	*<0.1*	*0.5*	*2.4*	*6.7*	*13*	24	44	83	>156
PEAK VEL.(cm/s)	<0.07	0.4	1.9	5.8	*11*	*22*	*43*	*83*	*>160*
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II–III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Wald, et al.; 1999

Fig. 5.47 Scala dell'intensità sismica

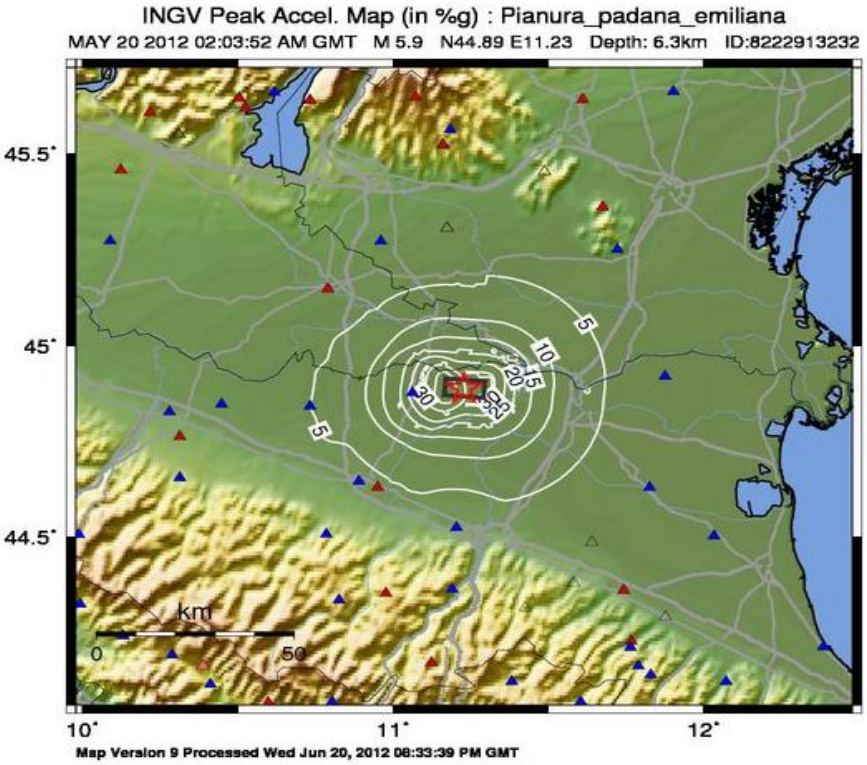


Fig. 5.48 Mappa della PGA

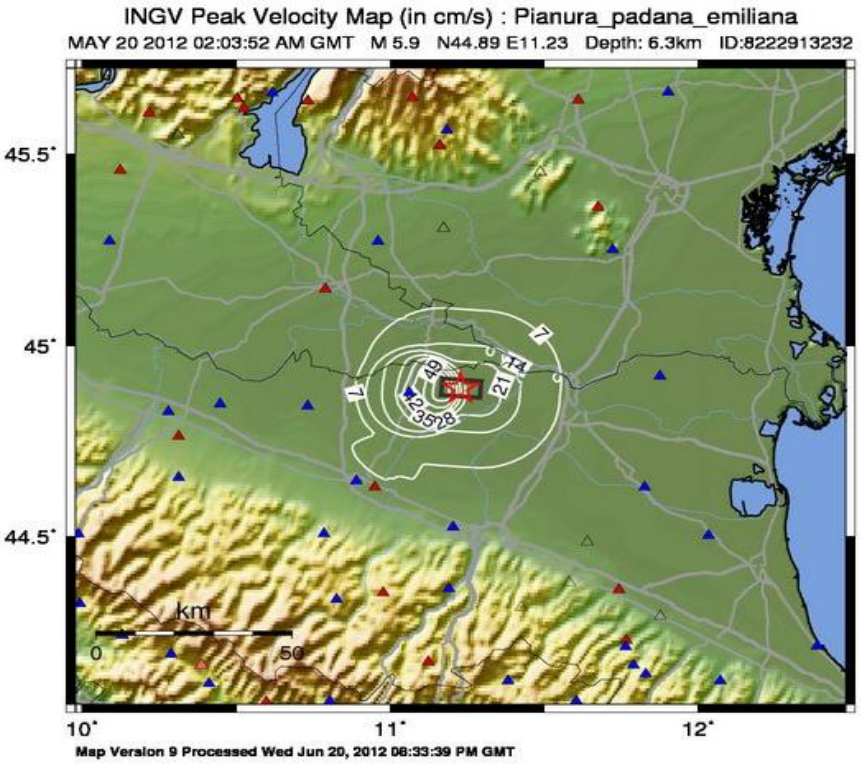


Fig. 5.49 Mappa della PGV

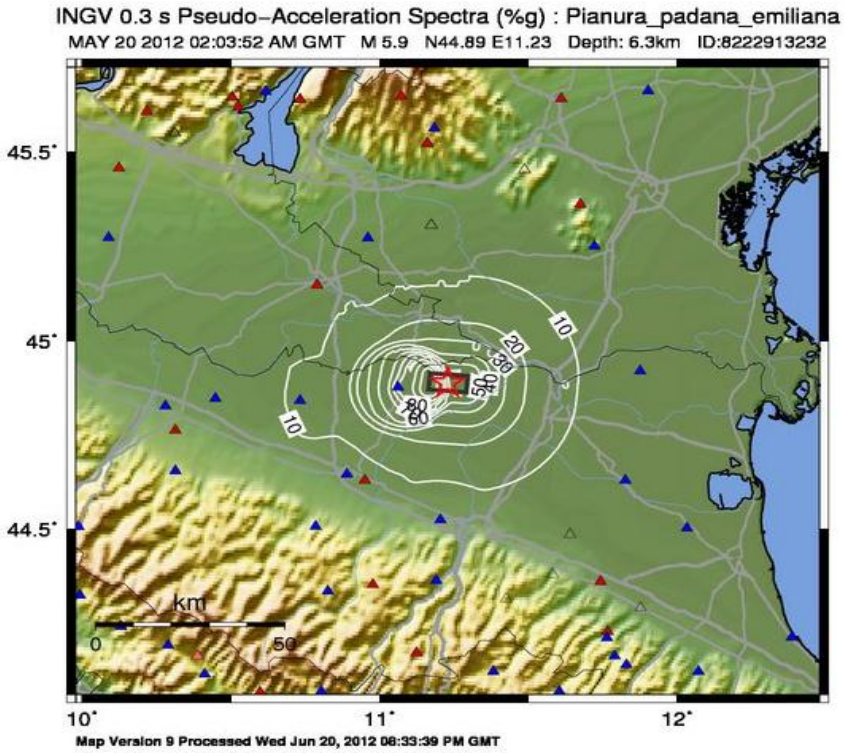


Fig. 5.50 Mappa della Sa(0,3s)

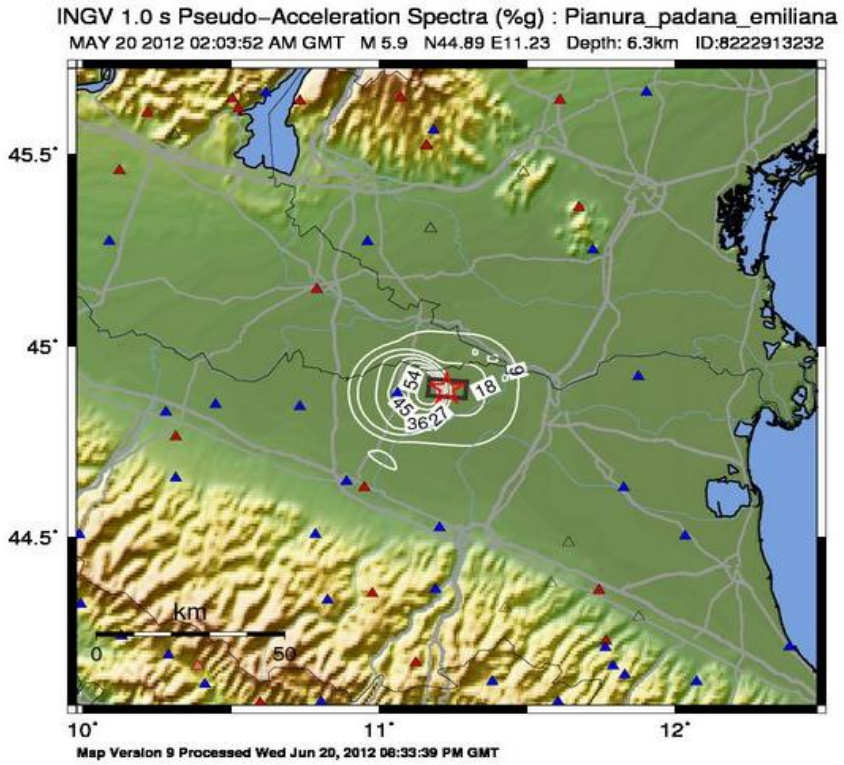


Fig. 5.51 Mappa della Sa(1s)

Fig 5.52 Rappresentazione grafica della PGA

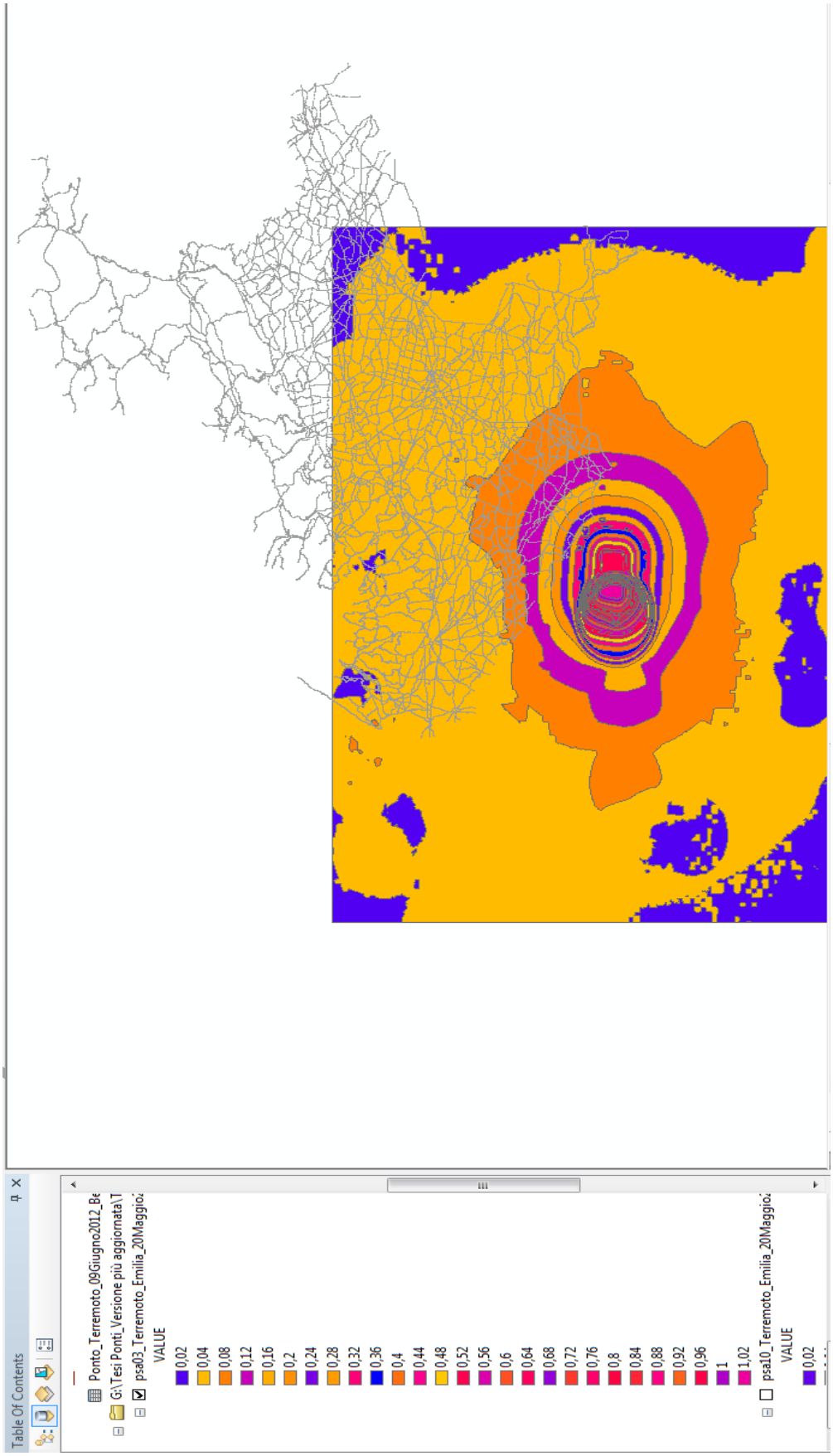


Fig 5.53 Rappresentazione grafica della Sa(0,3s)

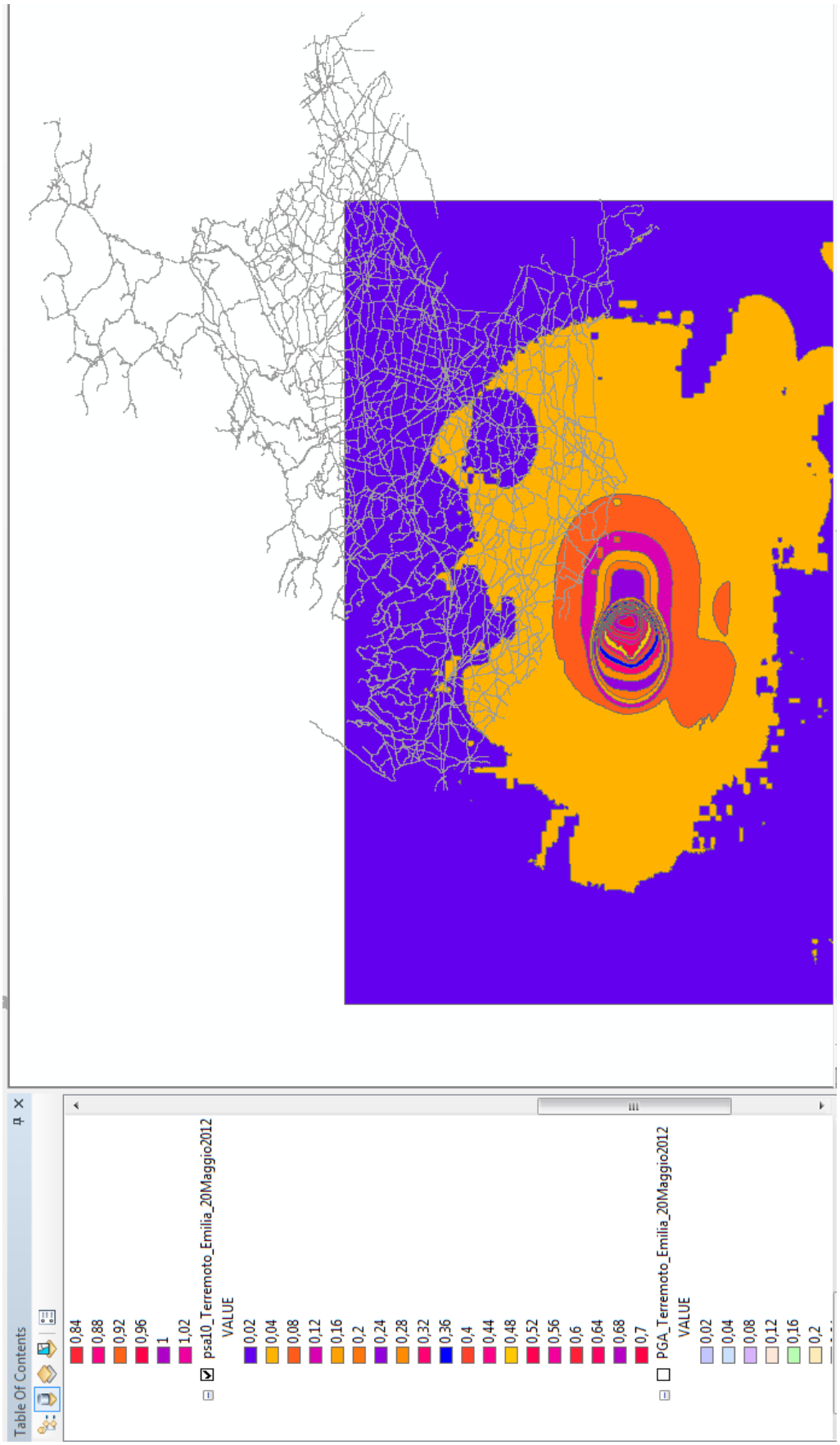
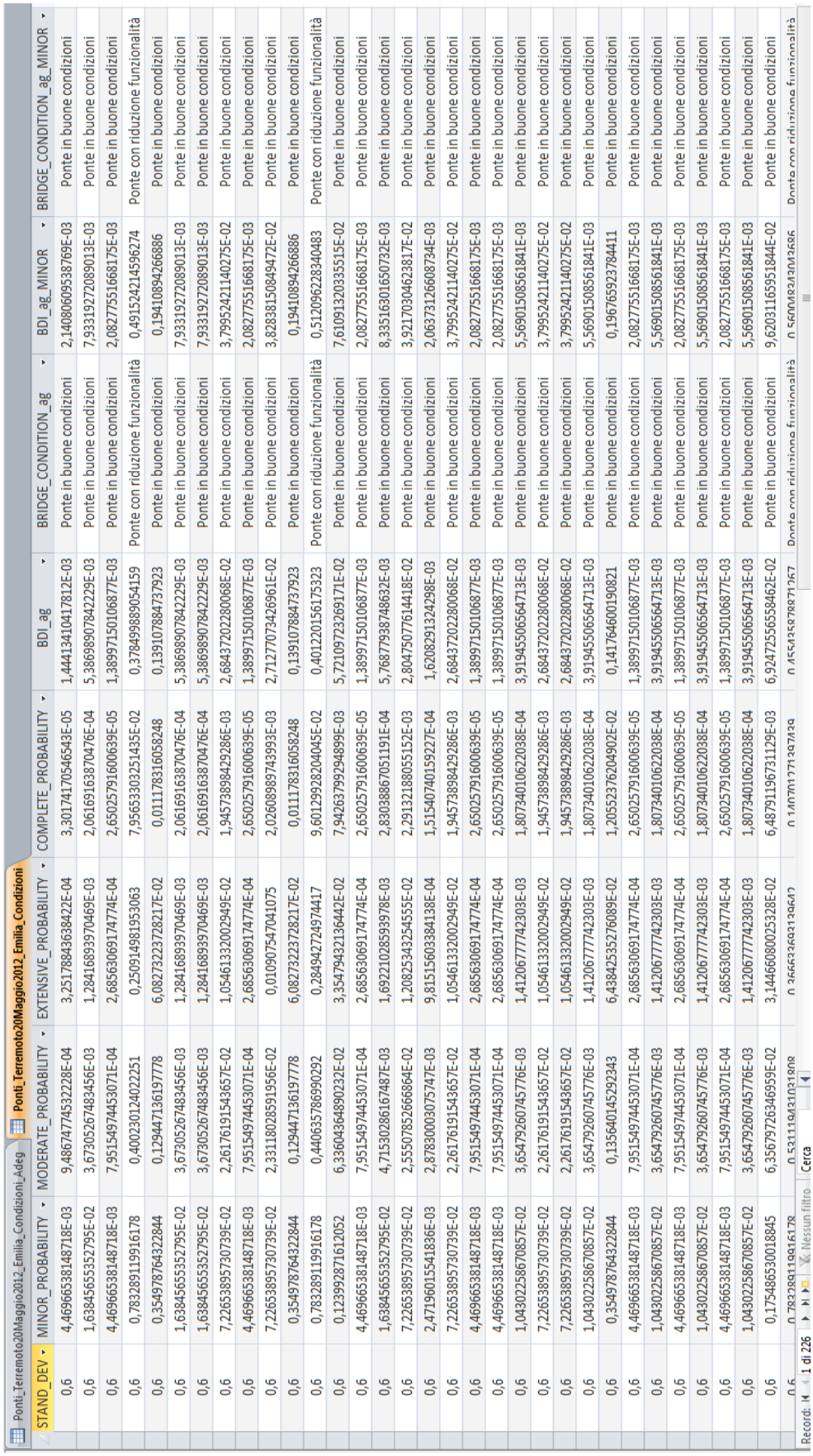


Fig 5.54 Rappresentazione grafica della Sa(1s)

Ponti_Terremoto20Maggio2012_Emilia_Condizioni

EXTERNALID	ID_IBRID	BRIDGECATE	ag	Sa_03s	Sa_1s	Kskew	K3D	Kshape	min_Kshape_12	MINOR_AVERAGE	MODERATE_AVERAGE	EXTENSIVE_AVERAGE	COMPLETE_AVERAGE
11379	2047	1	0,2	0,04	0,02	0,969377943792915	1,33	1,25	1,2	0,96	1,28927266524458	1,54712719829349	2,19176353091578
11765	46	9	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,11	1,25	1,2	0,72	0,99899999999663	1,22099999999588	1,66499999999438
11845	319	1	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,33	1,25	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
11961	2088	7	0,4	0,04	0,04	0,999999999996627	1,125	2,5	1,2	0,25	0,393749999998672	0,506249999998292	0,787499999997344
12214	2033	3	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,125	1,25	1,2	0,25	0,393749999998672	0,506249999998292	0,787499999997344
14215	47	9	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,11	1,25	1,2	0,72	0,99899999999663	1,22099999999588	1,66499999999438
14216	1047	9	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,11	1,25	1,2	0,72	0,99899999999663	1,22099999999588	1,66499999999438
19545	2062	1	0,4	0,04	0,02	0,999999999996627	1,33	1,25	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
20335	163	1	0,2	0,04	0,04	0,999999999996627	1,33	2,5	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
20487	2016	1	0,4	0,08	0,04	0,992375090366855	1,33	1,25	1,2	0,96	1,31985887018792	1,5838306442255	2,24376007931946
21003	2004	3	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,125	1,25	1,2	0,25	0,393749999998672	0,506249999998292	0,787499999997344
21346	246	7	0,4	0,08	0,02	0,999999999996627	1,25	0,625	0,625	0,25	0,437499999998524	0,562499999998103	0,874999999997048
21347	247	15	0,4	0,08	0,02	0,999999999996627	1	0,625	0,625	0,8	1	1,2	1,7
22014	2084	1	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,33	1,25	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
22433	49	9	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,055	1,25	1,2	0,72	0,949499999996797	1,16049999999609	1,58249999999466
23389	2061	1	0,4	0,04	0,02	0,969377943792915	1,33	1,25	1,2	0,96	1,28927266524458	1,54712719829349	2,19176353091578
24219	248	14	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,165	1,25	1,2	1,08	1,04849999999646	1,28149999999568	1,74749999999411
24824	2063	1	0,4	0,04	0,04	0,999999999996627	1,33	2,5	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
24885	157	1	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,33	1,25	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
24949	160	1	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,33	1,25	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
24950	159	15	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1	1,25	1,2	0,8	1	1,2	1,7
26479	2073	1	0,4	0,04	0,02	0,999999999996627	1,33	1,25	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
26480	2071	1	0,4	0,04	0,02	0,999999999996627	1,33	1,25	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
26495	2006	15	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1	1,25	1,2	0,8	1	1,2	1,7
26653	158	7	0,2	0,04	0,02	0,982815658468434	1,125	1,25	1,2	0,25	0,386983665521946	0,497550427099645	0,773967331043891
26890	2082	1	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,33	1,25	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
26910	162	15	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1	1,25	1,2	0,8	1	1,2	1,7
27434	2027	1	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,33	1,25	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
27536	2059	15	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1	1,25	1,2	0,8	1	1,2	1,7
27538	2058	1	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,33	1,25	1,2	0,96	1,32999999999551	1,59599999999462	2,26099999999237
27613	2081	15	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1	1,25	1,2	0,8	1	1,2	1,7
28745	2030	5	0,2	0,04	0,02	0,999999999996627	1,11	1,25	1,2	0,35	0,499499999998315	0,610499999997941	0,887999999997005
29653	2007	7	0,4	0,04	0,02	0,969377943792915	1,125	1,25	1,2	0,25	0,381687556536846	0,490747568045163	0,763385130736892

Fig 5.55 Prima parte estratto della tabella Ponti_Terremoto_20Maggio2012_Emilia_Condizioni



STAND_DEV	MINOR_PROBABILITY	MODERATE_PROBABILITY	EXTENSIVE_PROBABILITY	COMPLETE_PROBABILITY	BDI_ag	BRIDGE_CONDITION_ag	BDI_ag_MINOR	BRIDGE_CONDITION_ag_MINOR
0,6	4,46966538148718E-03	9,48674774532228E-04	3,25178843638422E-04	3,30174170546543E-05	1,44413410417812E-03	Ponte in buone condizioni	2,14080609538769E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,63845655352795E-02	3,67305267483456E-03	1,28416893970469E-03	2,06169163870476E-04	5,38698907842229E-03	Ponte in buone condizioni	7,93319272089013E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966538148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	0,7832891199161 78	0,400230124022251	0,250914981953063	7,95653303251435E-02	0,378499889054159	Ponte con riduzione funzionalità	0,491524214596274	Ponte con riduzione funzionalità
0,6	0,3549787643228 44	0,12944713619777 8	6,08273223728217E-02	0,011178316058248	0,139107884737923	Ponte in buone condizioni	0,194108942668 86	Ponte in buone condizioni
0,6	1,63845655352795E-02	3,67305267483456E-03	1,28416893970469E-03	2,06169163870476E-04	5,38698907842229E-03	Ponte in buone condizioni	7,93319272089013E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,63845655352795E-02	3,67305267483456E-03	1,28416893970469E-03	2,06169163870476E-04	5,38698907842229E-03	Ponte in buone condizioni	7,93319272089013E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	7,22653895730739E-02	2,26176191543657E-02	1,05461332002949E-02	1,94573898429286E-03	2,68437202280068E-02	Ponte in buone condizioni	3,79952421140275E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966538148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	7,22653895730739E-02	2,33118028591956E-02	0,010907547041075	2,02608989743993E-03	2,71277073426961E-02	Ponte in buone condizioni	3,82838150849472E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	0,3549787643228 44	0,12944713619777 8	6,08273223728217E-02	0,011178316058248	0,139107884737923	Ponte in buone condizioni	0,194108942668 86	Ponte in buone condizioni
0,6	0,7832891199161 78	0,440635786990292	0,284942724974417	9,60129928204045E-02	0,401220156175323	Ponte con riduzione funzionalità	0,512096228340483	Ponte con riduzione funzionalità
0,6	0,1239928716120 52	6,33604364890232E-02	3,35479432136442E-02	7,94263799294899E-03	5,72109723269171E-02	Ponte in buone condizioni	7,61091320335515E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966538148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,63845655352795E-02	4,71530286167487E-03	1,69221028593978E-03	2,83038867051191E-04	5,76877938748632E-03	Ponte in buone condizioni	8,33516301650732E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	7,22653895730739E-02	2,55507852666864E-02	1,20825343254555E-02	2,29132188055152E-03	2,80475077614418E-02	Ponte in buone condizioni	3,92170304623817E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	2,47196015541836E-03	2,87830003075747E-03	9,81515603384138E-04	1,51540740159227E-04	1,62082913242 98E-03	Ponte in buone condizioni	2,06373126608734E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	7,22653895730739E-02	2,26176191543657E-02	1,05461332002949E-02	1,94573898429286E-03	2,68437202280068E-02	Ponte in buone condizioni	3,79952421140275E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966538148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966538148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,04302258670857E-02	3,65479260745776E-03	1,41206777423038-03	1,80734010622038E-04	3,91945506564713E-03	Ponte in buone condizioni	5,56901508561841E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	7,22653895730739E-02	2,26176191543657E-02	1,05461332002949E-02	1,94573898429286E-03	2,68437202280068E-02	Ponte in buone condizioni	3,79952421140275E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	7,22653895730739E-02	2,26176191543657E-02	1,05461332002949E-02	1,94573898429286E-03	2,68437202280068E-02	Ponte in buone condizioni	3,79952421140275E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	1,04302258670857E-02	3,65479260745776E-03	1,41206777423038-03	1,80734010622038E-04	3,91945506564713E-03	Ponte in buone condizioni	5,56901508561841E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	0,3549787643228 44	0,13564014529 2343	6,43842535276089E-02	1,20552376204902E-02	0,141764600190821	Ponte in buone condizioni	0,196765923784411	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966538148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,04302258670857E-02	3,65479260745776E-03	1,41206777423038-03	1,80734010622038E-04	3,91945506564713E-03	Ponte in buone condizioni	5,56901508561841E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966538148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,04302258670857E-02	3,65479260745776E-03	1,41206777423038-03	1,80734010622038E-04	3,91945506564713E-03	Ponte in buone condizioni	5,56901508561841E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966538148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,04302258670857E-02	3,65479260745776E-03	1,41206777423038-03	1,80734010622038E-04	3,91945506564713E-03	Ponte in buone condizioni	5,56901508561841E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	0,1754865300188 45	3,35679726346959E-02	3,14466080025328E-02	6,48791196731129E-03	6,92472556558462E-02	Ponte in buone condizioni	9,62031165951844E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	0,7832891199161 78	0,531118431031808	0,366633692139643	0,140701217387439	0,455435878871267	Ponte con riduzione funzionalità	0,560083430136686	Ponte con riduzione funzionalità

Fig 5.56 Seconda parte estratto della tabella Ponti_Terremoto_20Maggio2012_Emilia_Condizioni

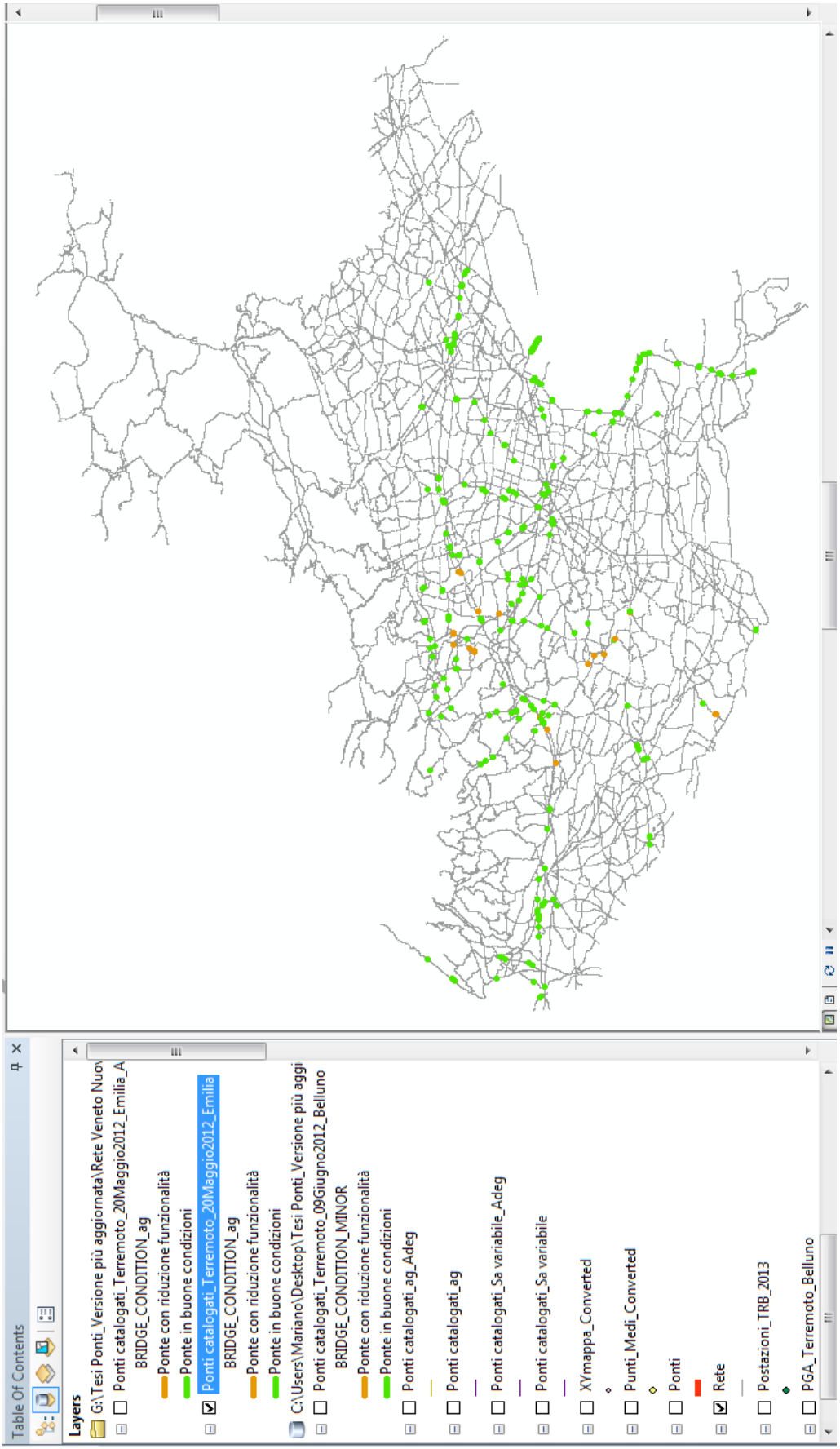


Fig 5.57 Visualizzazione delle conseguenze del sisma sui ponti

Come si può vedere, ci sono numerosi elementi che possono avere problemi. In particolare si fa riferimento alla zona definita tra il comune di Pojana Maggiore e quello di Ospedaletto Euganeo (il primo si trova nella provincia di Vicenza, il secondo in quella di Padova). In figura 5.58 si riporta il dettaglio dell'area d'indagine.

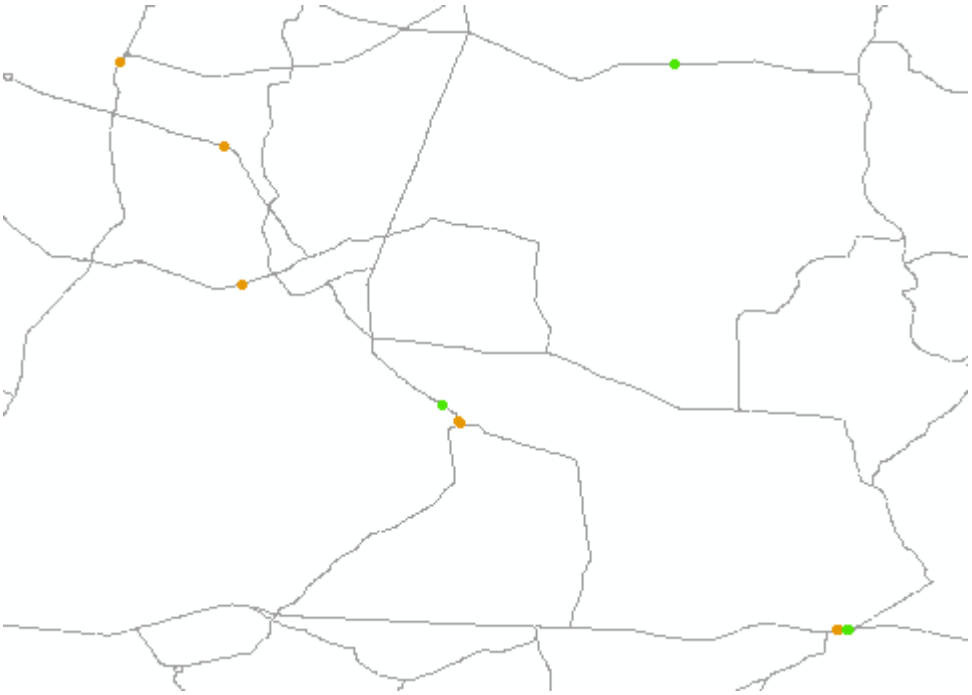


Fig. 5.58 Dettaglio della rete in corrispondenza dei ponti "sensibili"

Si analizzano gli elementi uno per uno:

- EXTERNALID 11961 = ponte collocato sulla strada provinciale IV, tra i comuni di Pojana Maggiore e di Sossano. In caso di problematiche si può intervenire come già spiegato nei casi precedenti. La riduzione del flusso di traffico è sicuramente possibile perché eventualmente si può decidere di deviare il traffico attraverso la SPXIV e la SPVIII, passando per il comune di Orgiano.
- EXTERNALID 6372 = ponte situato sulla SPXIV citata al punto precedente nel tratto che collega Pojana Maggiore a Noventa Vicentina. Valgono sostanzialmente le stessa considerazioni valide per il ponte precedente (riduzione del flusso di traffico attraverso eventuali deviazioni).

- EXTERNALID 8594 = ponte situato nella strada pojanese SPXI che collega Pojana Maggiore a Noventa Vicentina. E' una strada alternativa a quella appena vista. Nel caso di problemi a tutti e tre i ponti (come in questo caso) bisogna attuare delle adeguate misure di protezione. Ad esempio per questa situazione potrebbe essere molto utile un eventuale divieto di transito a tutti i mezzi pesanti.
- EXTERNALID 143590: ponte tra la frazione di Caselle e la frazione di Santa Croce.
- EXTERNALID 21346 = ponte che insiste sulla strada regionale SR10 in corrispondenza di Ospedaletto Euganeo. Dei record visti in questo sotto paragrafo è indubbiamente quello più importante perché appartenente a una strada di livello superiore. Infatti questa strada va a collegare la tangenziale Sud (Rovigo-Verona) all'autostrada A13. Inoltre è il primo di due ponti in successione (andando verso Padova), sovrappassanti entrambi un torrente. In questo caso è problematico impedire il passaggio ai mezzi pesanti, e anche agire in termini di corsie. La soluzione più indicata sembra essere quella di ridurre la velocità di attraversamento dell'infrastruttura in maniera tale da ridurre gli effetti dinamici.

Fig. 5.59 Vista del ponte tra Pojana Maggiore e Sossano

Fig. 5.60 Vista del ponte tra Pojana Maggiore e Noventa Vicentina sulla SPXIV

Fig. 5.61 Vista del ponte tra Pojana Maggiore e Noventa Vicentina sulla SPXI

Fig. 5.62 Vista del ponte tra Caselle e Santa Croce

Fig. 5.63 Vista laterale del ponte tra Caselle e Santa Croce

Fig. 5.64 Vista del ponte sulla SR10 in corrispondenza di Ospedaletto Euganeo

Fig. 5.65 Vista laterale del ponte sulla SR10 in corrispondenza di Ospedaletto Euganeo

A questo punto si vuole vedere cosa succede in caso di adeguamento sismico. La situazione viene riprodotta, come visto, andando a considerare la categoria successiva (per i ponti di categoria originale dispari).
Si segue la stessa procedura appena vista e si ottengono:

- Una tabella all'interno del database chiamata "Ponti_Terremoto20Maggio2012_Emilia_Condizioni_Adeg"
- Rappresentazione in ArcMap del comportamento dei ponti
- Dettaglio della zona indagata

Ponti_Terremoto20Maggio2012_Emilia_Condizioni_Adeg | Ponti_Terremoto20Maggio2012_Emilia_Condizioni

EXTERNALID	ID_IBRID	BRIDGECATE_Adeg	ag	Sa_03s	Sa_1s	Kskew	K3D	Kshape	min_Kshape_12	MINOR_AVERAGE	MODERATE_AVERAGE	EXTENSIVE_AVERAGE	COMPLETE_AVERAGE
11379	2047	2	0,2	0,04	0,02	0,9693779437929 15	1,33	1,25	1,2	0,96	1,2892726652445 8	1,5471271982934 9	2,1917635309157 8
11765	46	10	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,165	1,25	1,2	1,08	1,0484999999964 6	1,2814999999956 8	1,7474999999941 1
11845	319	2	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
11961	2088	8	0,4	0,04	0,04	0,9999999999966 27	1,33	2,5	1,2	0,5	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
12214	2033	4	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,125	1,25	1,2	0,5	0,3937499999986 72	0,5062499999982 92	0,7874999999973 44
14215	47	10	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,165	1,25	1,2	1,08	1,0484999999964 6	1,2814999999956 8	1,7474999999941 1
14216	1047	10	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,165	1,25	1,2	1,08	1,0484999999964 6	1,2814999999956 8	1,7474999999941 1
19545	2062	2	0,4	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
20335	163	2	0,2	0,04	0,04	0,9999999999966 27	1,33	2,5	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
20487	2016	2	0,4	0,08	0,04	0,9923750903668 55	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3198588701879 2	1,5883306442255	2,2437600793194 6
21003	2004	4	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,125	1,25	1,2	0,5	0,3937499999986 72	0,5062499999982 92	0,7874999999973 44
21346	246	8	0,4	0,08	0,02	0,9999999999966 27	1,25	0,625	0,625	0,5	0,4374999999985 24	0,5624999999981 03	0,8749999999970 48
21347	247	15	0,4	0,08	0,02	0,9999999999966 27	1	0,625	0,625	0,8	1	1,2	1,7
22014	2084	2	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
22433	49	10	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,066	1,25	1,2	1,08	0,9593999999967 64	1,1725999999960 4	1,5989999999946 1
23389	2061	2	0,4	0,04	0,02	0,9693779437929 15	1,33	1,25	1,2	0,96	1,2892726652445 8	1,5471271982934 9	2,1917635309157 8
24219	248	14	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,165	1,25	1,2	1,08	1,0484999999964 6	1,2814999999956 8	1,7474999999941 1
24824	2063	2	0,4	0,04	0,04	0,9999999999966 27	1,33	2,5	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
24885	157	2	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
24949	160	2	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
24950	159	15	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1	1,25	1,2	0,8	1	1,2	1,7
26479	2073	2	0,4	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
26480	2071	2	0,4	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
26495	2006	15	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1	1,25	1,2	0,8	1	1,2	1,7
26653	158	8	0,2	0,04	0,02	0,9828156584684 34	1,125	1,25	1,2	0,5	0,3869836665219 46	0,4975504270996 45	0,7739673310438 91
26890	2082	2	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
26910	162	15	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1	1,25	1,2	0,8	1	1,2	1,7
27434	2027	2	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
27536	2059	15	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1	1,25	1,2	0,8	1	1,2	1,7
27538	2058	2	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,33	1,25	1,2	0,96	1,3299999999955 1	1,5959999999946 2	2,2609999999923 7
27613	2081	15	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1	1,25	1,2	0,8	1	1,2	1,7
28745	2030	6	0,2	0,04	0,02	0,9999999999966 27	1,165	1,25	1,2	0,6	0,5242499999982 32	0,6407499999978 39	0,9319999999966 56
29653	2007	8	0,4	0,04	0,02	0,9693779437929 15	1,125	1,25	1,2	0,5	0,3816956563684 06	0,4907475804051 63	0,7633851307360 9

Fig 5.66 Prima parte estratto della tabella Ponti_Terremoto_20Maggio2012_Emilia_Condizioni

Ponti_Terremoto20Maggio2012_Emilia_Condizioni_Adeg | Ponti_Terremoto20Maggio2012_Emilia_Condizioni

STAND_DEVIATION	MINOR_PROBABILITY	MODERATE_PROBABILITY	EXTENSIVE_PROBABILITY	COMPLETE_PROBABILITY	BDI_ag	BRIDGE_CONDITION_ag	BDI_ag_MINOR	BRIDGE_CONDITION_ag_MINOR
0,6	4,46966338148718E-03	9,48674774532228E-04	3,25178843638422E-04	3,30174170546543E-05	1,44413410417812E-03	Ponte in buone condizioni	2,14080609538769E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	2,47196015541836E-03	2,87830003075747E-03	9,81515603384138E-04	1,51540740159227E-04	1,62082913242298E-03	Ponte in buone condizioni	2,06373126608734E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966338148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	0,35497876432284	2,26176191543657E-02	1,05461332002949E-02	1,94573898429286E-03	9,75220639154493E-02	Ponte in buone condizioni	0,15108059201393 5	Ponte in buone condizioni
0,6	6,33604364890232E-02	0,12944713619777 8	6,08273223728217E-02	0,01117831605824 8	6,62033027794678E-02	Ponte in buone condizioni	7,74616115353319E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	2,47196015541836E-03	2,87830003075747E-03	9,81515603384138E-04	1,51540740159227E-04	1,62082913242298E-03	Ponte in buone condizioni	2,06373126608734E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	2,47196015541836E-03	2,87830003075747E-03	9,81515603384138E-04	1,51540740159227E-04	1,62082913242298E-03	Ponte in buone condizioni	2,06373126608734E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	7,22653895730739E-02	2,26176191543657E-02	1,05461332002949E-02	1,94573898429286E-03	2,68437202280068E-02	Ponte in buone condizioni	3,79952421140275E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966338148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	7,22653895730739E-02	2,33118028591956E-02	0,01090754704107 5	2,02608989743993E-03	2,71277073426961E-02	Ponte in buone condizioni	3,82838150849472E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	6,33604364890232E-02	0,12944713619777 8	6,08273223728217E-02	0,01117831605824 8	6,62033027794678E-02	Ponte in buone condizioni	7,74616115353319E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	0,35497876432284	0,44063578699029 2	0,28494272497441 7	9,60129928204045E-02	0,29414256727698 9	Ponte in buone condizioni	0,34077208610314 9	Ponte in buone condizioni
0,6	0,12399287161205 2	6,33604364890232E-02	3,35479432136442E-02	7,94263799294899E-03	5,72109723269171E-02	Ponte in buone condizioni	7,61091320335515E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966338148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	2,47196015541836E-03	4,48331672167971E-03	1,60040753279629E-03	2,65457380439106E-04	2,20528544758337E-03	Ponte in buone condizioni	2,68040632327443E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	7,22653895730739E-02	2,55507852666864E-02	1,20825343254555E-02	2,29132188055152E-03	2,80475077614418E-02	Ponte in buone condizioni	3,92170304623817E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	2,47196015541836E-03	2,87830003075747E-03	9,81515603384138E-04	1,51540740159227E-04	1,62082913242298E-03	Ponte in buone condizioni	2,06373126608734E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	7,22653895730739E-02	2,26176191543657E-02	1,05461332002949E-02	1,94573898429286E-03	2,68437202280068E-02	Ponte in buone condizioni	3,79952421140275E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966338148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966338148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,04302258670857E-02	3,65479260745776E-02	1,41206777742303E-03	1,80734010622038E-04	3,91945506564713E-03	Ponte in buone condizioni	5,56901508561841E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,04302258670857E-02	3,65479260745776E-03	1,41206777742303E-03	1,80734010622038E-04	3,91945506564713E-03	Ponte in buone condizioni	5,56901508561841E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	6,33604364890232E-02	0,13564014529234 3	6,43842535276089E-02	1,20552376204902E-02	6,88600182323663E-02	Ponte in buone condizioni	0,08011859265088 3	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966338148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,04302258670857E-02	3,65479260745776E-03	1,41206777742303E-03	1,80734010622038E-04	3,91945506564713E-03	Ponte in buone condizioni	5,56901508561841E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966338148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,04302258670857E-02	3,65479260745776E-03	1,41206777742303E-03	1,80734010622038E-04	3,91945506564713E-03	Ponte in buone condizioni	5,56901508561841E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	4,46966338148718E-03	7,95154974453071E-04	2,68563069174774E-04	2,65025791600639E-05	1,38997150106877E-03	Ponte in buone condizioni	2,08277551668175E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	1,04302258670857E-02	3,65479260745776E-03	1,41206777742303E-03	1,80734010622038E-04	3,91945506564713E-03	Ponte in buone condizioni	5,56901508561841E-03	Ponte in buone condizioni
0,6	3,35479432136442E-02	5,41264296763087E-02	2,61565903638329E-02	5,15830625581272E-03	2,97473173773996E-02	Ponte in buone condizioni	3,54042548866982E-02	Ponte in buone condizioni
0,6	0,35497876432284	0,53111604310318 8	0,36663368313964 7	0,14070127197439	0,34835898097933	Ponte in buona condizioni	0,38872409080652	Ponte con riduzione funzionalità

Fig 5.67 Seconda parte estratto della tabella Ponti_Terremoto_20Maggio2012_Emilia_Condizioni

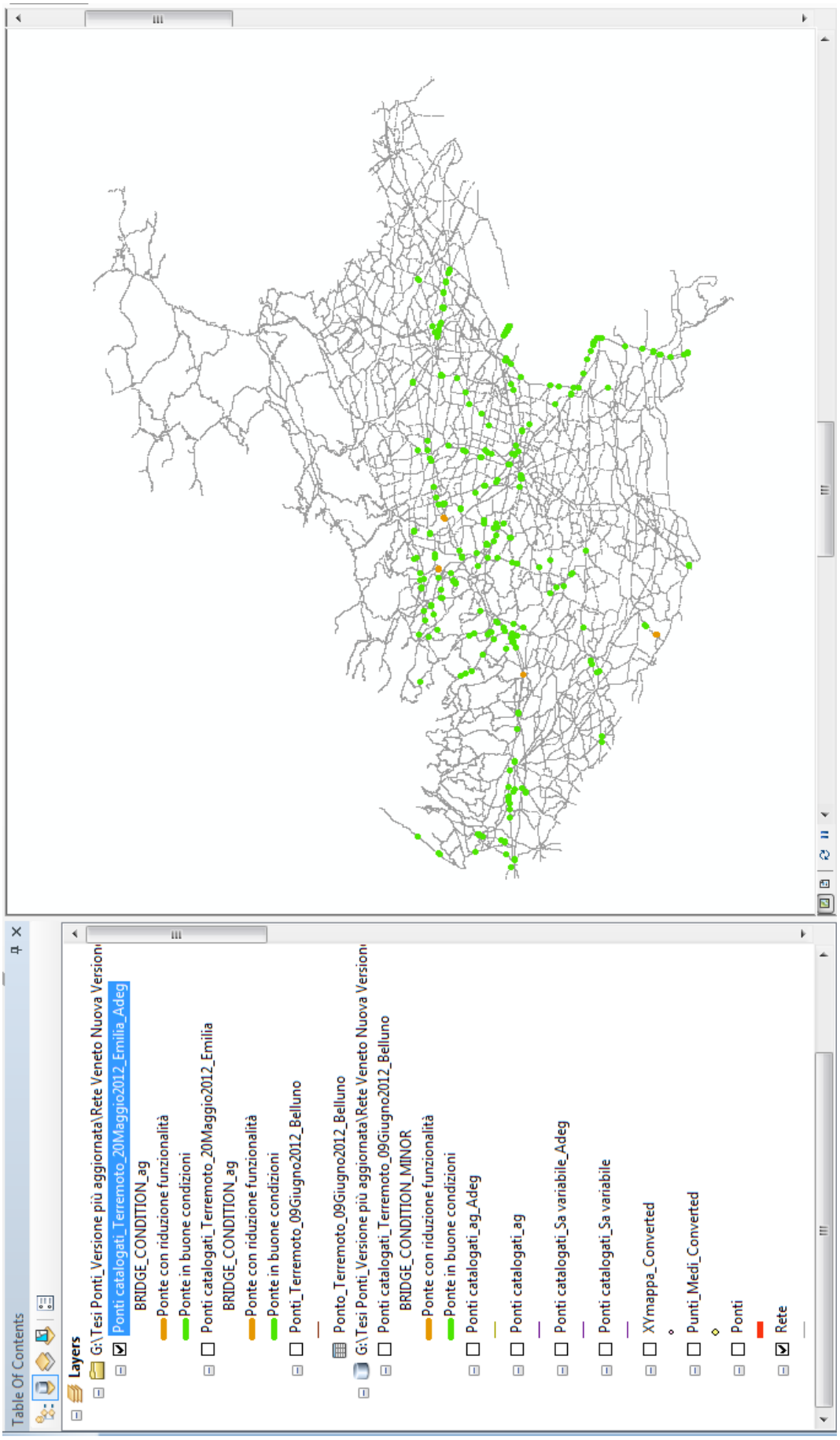


Fig 5.68 Visualizzazione delle conseguenze del sisma sui ponti (Adeguamento)

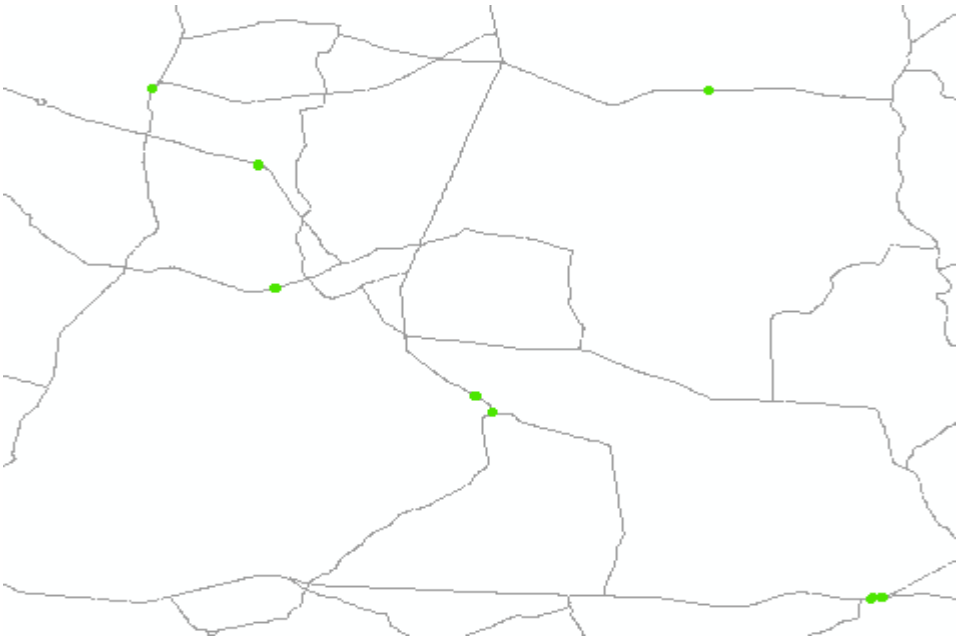


Fig. 5.69 Dettaglio della rete in corrispondenza dei ponti "sensibili"(Adeguamento)

Come si può osservare dall'ultima figura, l'adeguamento ha portato a un netto miglioramento delle condizioni delle opere analizzate.

Gli interventi, rifacendosi a quanto indicato nel paragrafo 4.6, potrebbero essere così interpretati:

- Per gli EXTERNALID 11961 – 6372 – 8594, essendo di piccole dimensioni, si può fare riferimento alle prime due tecniche riportate, cioè l'allungamento della lunghezza di appoggio attraverso selle metalliche oppure l'aggiunta di vincoli tramite barre e cavi. Sono entrambi metodi molto semplici da attuare e che non comportano grosse spese per cui sono ideali in questa situazione.
- Per l'EXTERNALID 143590 e soprattutto per l'EXTERNALID 21346 si può ricorrere, oltre agli interventi del punto precedente, ad interventi più elaborati. Per il primo si possono introdurre ad esempio dei ritegni, visto che la pila è già di grandi dimensioni (vedi figura 5.63). Per il secondo invece sicuramente un rinforzo delle pile sarebbe indicato, data l'esigua dimensione (fig. 5.65); inoltre si potrebbe intervenire a livello di traversi o ancora, data l'importanza della strada, tramite l'introduzione di dispositivi di isolamento, in analogia con quanto fatto per molti dei viadotti autostradali italiani.

CAPITOLO 6

SVILUPPI FUTURI

In questo capitolo vengono introdotti quegli aspetti che, a causa di vari motivi (tra i quali la non ancora perfetta catalogazione dei ponti), non sono stati ancora automatizzati ma che in futuro verranno implementati all'interno del database.

6.1 Generazione casuale degli scenari sismici

Si è visto che nel capitolo precedente sono stati implementati all'interno del database esempi di scenari sismici avvenuti nel corso degli anni.
Questa è una delle due modalità possibili. L'altra via sarebbe quella di automatizzare una procedura di generazione casuale dei fenomeni tellurici. In pratica si dovrebbe inserire una funzione che crei un evento sismico in corrispondenza di un punto sulla mappa (cioè crei un epicentro) e che poi, attraverso delle leggi di attenuazione, si propaghi lungo le zone adiacenti. In questa maniera sarebbe possibile studiare il comportamento dei ponti al variare dell'accelerazione orizzontale che lo sollecita.
Per quanto riguarda le relazioni di attenuazione, si può fare riferimento ad una serie di modelli:

- Modello di attenuazione di Berge Thierry

$$Log(PGA) = aM + bR - Log(R) + c \pm \sigma$$

dove:
R = distanza dall'epicentro
M = magnitudine
a,b,c = parametri di attenuazione, ricavati tenendo conto della deviazione σ che rappresenta la qualità della regressione (si veda ad esempio la figura 6.1)

Table 1.1 Results of regression for database uncertainties

Parameter		Standart Deviation	Skewness	Kurtosis
Magnitude	Centered	0.47	0	40
Depth	"LogNormal"	*1.7 /1.7	/	/
Localization	Centered	6 km	0	>>3

Fig. 6.1 Esempio di calcolo dei parametri di attenuazione

- Modello di attenuazione sviluppato da Ambraseys E Al. nel 2005:

$$Log(PGA) = aM + a_2M^2 + (b_1 + b_2M)\log(\sqrt{(R^2 + d^2)} + c \pm \sigma$$

È una scrittura leggermente più complicata rispetto a quella precedente ma in sostanza analoga.

- Modello di attenuazione sviluppato da Marin E Al nel 2004:

$$Log(PGA) = aM + bR - b1 \cdot \log(R) + c \pm \sigma$$

Oltre a queste sono state realizzate più di 2000 leggi di attenuazione; per ottenere una omogeneizzazione dei risultati per le tre leggi riportate, è stata proposta una generica equazione funzione di 7 parametri:

$$Log(PGA) = aM + a_2M^2 + bR + (b_1 + b_2M)\log(\sqrt{(R^2 + b_3^2)} + c \pm \sigma$$

6.2 Metodo Monte Carlo

Una volta automatizzata la procedura per la definizione della probabilità associata a ciascun stato di danno, il passo successivo sarebbe quello di tenere conto di tutte le possibili combinazioni di danno per ciascun ponte. Questa è una operazione estremamente laboriosa e l'unica via per realizzarla è di implementare all'interno del database il Metodo Monte Carlo, che esegue un'analisi campionaria degli stati di danno.

Nel sotto-paragrafo successivo viene riportata una descrizione del metodo.

6.2.1 Generalità sul metodo Monte Carlo

Il metodo Monte Carlo si basa sull'idea di stimare il valore medio di una popolazione attraverso un'indagine campionaria. Si effettuano dei test (in numero sufficientemente grande) che controllano in che condizioni si trova una certa variabile di controllo, poi si misura il risultato ed infine si esegue un test di convergenza per verificare la bontà del campionamento. Un classico esempio di applicazione del metodo è il calcolo dell'area di un cerchio.

Si tratta di un problema bidimensionale, l'applicazione del metodo consiste nell'effettuare un numero di lanci, n, e controllare se il punto "casuale" definito in base alle sue coordinate, (x, y), si trova all'interno o all'esterno del cerchio controllando che:

$$\sqrt{x^2 + y^2} \leq 1$$

La stima dell'area si ottiene facendo la media delle prove positive sul totale dei lanci:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^{n}(\lambda_{i,dentro})}{n}$$

$\lambda_{i,dentro}$ è una variabile booleana (in realtà un vettore di valori booleani) che indica per ogni prova se il lancio effettuato cade all'interno del cerchio o meno. Si riportano in figura 6.1 due prove, la prima con 1000 lanci e la seconda con 10000.

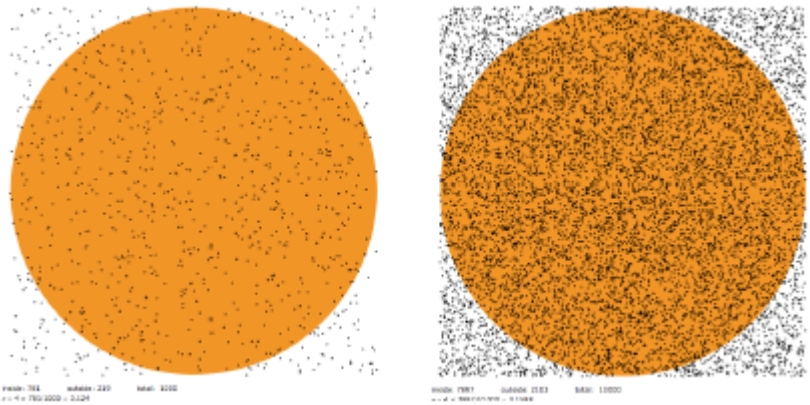


Fig. 6.2 Metodo Monte Carlo con 1000 lanci a sinistra, 10000 a destra

Le origini del metodo di Montecarlo 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, base dei giochi d'azzardo, aleatorietà rappresentata per antonomasia dal casinò di Montecarlo. Il metodo era già stato impiegato negli anni '30 da Enrico Fermi per il calcolo delle proprietà del neutrone. Trent'anni prima, all'inizio del secolo scorso il metodo era stato applicato per risolvere il problema dell'ago di Buffon.

Il metodo è usato per trarre stime attraverso simulazioni. Si basa su un algoritmo che genera una serie di numeri tra loro non correlati, che seguono la distribuzione di probabilità che si suppone abbia il fenomeno da indagare. L'incorrelazione tra i numeri è assicurata da un test chi quadrato.

La simulazione Monte Carlo calcola una serie di realizzazioni possibili del fenomeno in esame, con il peso proprio della probabilità di tale evenienza, cercando di esplorare in modo denso tutto lo spazio dei parametri del fenomeno. Una volta calcolato questo campione casuale, la simulazione esegue delle 'misure' delle grandezze di interesse su tale campione. La simulazione Monte Carlo è ben eseguita se il valore medio di queste misure sulle realizzazioni del sistema converge al valore vero.

L'algoritmo Monte Carlo è un metodo numerico che viene utilizzato per trovare le soluzioni di problemi matematici, che possono avere molte variabili e che non possono essere risolti facilmente, per esempio il calcolo integrale. L'efficienza di questo metodo aumenta rispetto agli altri metodi quando la dimensione del problema cresce.

6.2.2 Applicazione del metodo al caso dei ponti

Alla base dell'applicazione di Monte Carlo è la conoscenza delle curve di fragilità per ogni ponte, in particolare per ogni stato di danno.

Dalle curve, attraverso un lancio di Monte Carlo, si determina in quale stato si trova il ponte per ciascun scenario sismico.

Si procederà nella seguente maniera. Si crea uno scenario di simulazione il cui numero è pari al numero di scenari sismici per numero di iterazioni di Monte Carlo. Quindi per ogni ponte, conoscendo il valore di accelerazione spettrale a 1 s associato ad un determinato scenario, si effettua un lancio di Monte Carlo per determinare in quale stato di danno si venga a trovare il ponte nell'iterazione corrente del metodo di Monte Carlo.

Riprendendo il grafico delle curve di fragilità per il ponte IBRID 45 (fig. 6.3), considerando che per un determinato scenario l'accelerazione Sa(1s) sia uguale a 0,3, si considera quindi (come già visto nei capitoli precedenti) la verticale. Entra in gioco quindi la generazione casuale dei numeri attraverso la chiamata alla funzione random.

Il numero casuale determina se il ponte si trova in uno stato di *nessun danno* (numero causale χ lanciato, con i dati di figura, compreso nell'intervallo $1.000 \leq \chi \leq 0,4$), nel caso in cui il numero casuale χ cadesse sopra la curva di danno moderato e, necessariamente, all'interno della curva di danno lieve, il danno del ponte si definirebbe *lieve* ($0,4 \leq \chi \leq 0,22$). Nel caso il numero casuale cadesse tra 0,22 e 0,13 il manufatto sperimenterebbe uno stato di danno *moderato*. Se il numero causale χ è compreso tra 0,13 e 0,46 lo stato di danno è *esteso*, se il numero casuale è inferiore a 0,46 il ponte si definisce *collassato*.

Tale operazione viene svolta per ogni ponte presente in rete per ciascuno scenario sismico analizzato, e per ogni iterazione del metodo Monte Carlo.

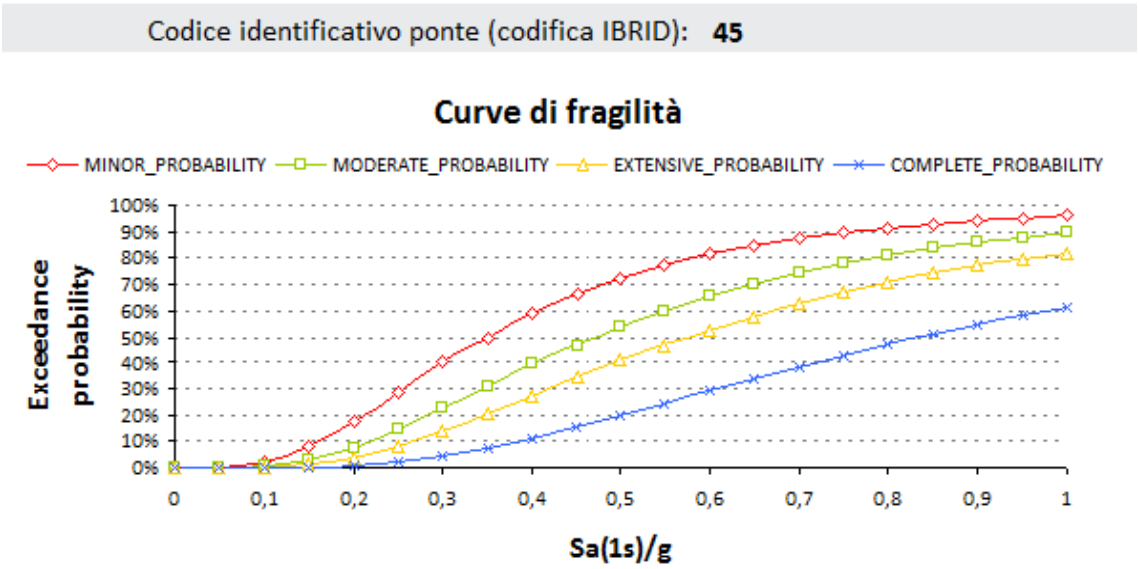


Fig. 6.3 Esempio IBRID 45

6.3 Danno agli archi della rete

Per ogni scenario di rete danneggiata da simulare sono stati definiti gli stati di danno dei ponti. In questa fase è necessario passare dallo stato di danno del ponte allo stato di danno nell'arco che schematizza la rete di trasporto. Questo passaggio non è ancora realizzabile, o meglio è realizzabile ma non con risultati soddisfacenti. Infatti per avere valori attendibili è necessario avere completato la catalogazione dell'intero numero di ponti nella rete del Veneto, altrimenti si potrebbe arrivare a risultati fuorvianti. Nel caso in cui un eventuale ponte non catalogato non subisca danni rilevanti in seguito ad un fenomeno sismico, allora non ci sono problemi e il risultato parziale ottenuto è attendibile; se invece un ponte non rilevato subisce danni importanti, dire che un link è sicuro è sbagliato. Per questo motivo è importante inserire tutti i ponti presenti.

Ad ogni modo di seguito si mostra come si procederebbe teoricamente.

Per calcolare gli stati di danno dei link, si fa riferimento alla relazione proposta da Shinozuka nel testo "System risk curves: Probabilistic performance scenarios for highway networks subject to earthquake damage", in cui lo stato di danno del link corrisponde alla somma al quadrato degli stati di danno dei ponti sotto radice:

$$LDI_l = \sqrt{\sum_{p=1}^{N° \, bridges} \alpha_{l,p} BDI_p^2}$$

dove:

- LDI_l = stato di danno dell'l-esimo link;
- BDI_p = stato di danno del p-esimo ponte;
- $\alpha_{l,p}$ = variabile dicotomica che indica se il ponte appartiene o meno all' l-esimo link.

Una volta noti quindi i valori di BDI, ottenuti come media delle probabilità relative a ciascun stato di danno, si può risalire al valore di danno relativo ai link LDI. Si deve quindi stabilire dei valori limite (analogamente a quanto fatto per i singoli ponti) per definire il tipo di danno del link, come mostrato in figura 6.4. Questi valori sono presi in maniera arbitraria, a seconda del tipo di studio che bisogna realizzare. Poi si realizza una suddivisione in funzione della funzionalità in percentuale (fig. 6.5).

Stati di danno link				
		Nessun danno	<	0,1
0,1	<	Danno lieve	<	0,3
0,3	<	Danno moderato	<	0,75
0,75	<	Danno esteso	<	1
1	<	Collasso		

Fig. 6.4 Stati di danno dei link

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

Fig. 6.5 Riduzione percentuale della funzionalità

Nel dettaglio si descrive la classificazione appena riportata:

- ***100% della funzionalità:*** non si opera alcuna riduzione sulla transitabilità dell'arco, vien mantenuta sia la capacità che la velocità di percorrenza
- ***50 % della funzionalità:*** vi sono diverse possibilità, già viste in precedenza, come l'introduzione di un senso unico alternato oppure l'apertura dell'arco in determinate fasce orarie o ancora la limitazione del transito ai veicoli pesanti
- ***1% della funzionalità:*** il link è completamente inagibile, non è possibile percorrerlo in nessuna condizione

6.3 Simulazione degli effetti sul sistema viario

Quanto visto finora, cioè la valutazione del danno diretto (danneggiamento o perdita dell'infrastruttura), non permette di dare una informazione completa sulle perdite che si verificano in una rete di trasporto.
E' necessario andare a valutare gli effetti risentiti dagli utenti del sistema. Per riuscire nell'obiettivo, è necessario svolgere un'assegnazione della domanda di trasporto alla rete. In particolare si sfrutta un particolare algoritmo, l'algoritmo di Frank e Wolfe, descritto meglio nel prossimo sottoparagrafo.

6.3.1 Caratteristiche dell'algoritmo di Frank e Wolfe

L'algoritmo di Frank-Wolfe è un classico algoritmo di ottimizzazione convessa; venne per la prima volta proposto da Marguerite Frank e Phil Wolfe nel 1956 come procedura per risolvere problemi di programmazione quadratica con vincoli lineari. Dati un punto di partenza ammissibile $\mathbf{x} \in \mathcal{P} \subseteq \mathbb{R}^n$ e una funzione f(x) continuamente differenziabile da minimizzare

$$\min_{\mathbf{x}\in\mathcal{P}} f(\mathbf{x})$$

l'algoritmo prevede che ad ogni passo si effettui una linearizzazione della funzione e ci si sposti nella direzione che consente di minimizzare l'obiettivo mantenendo l'ammissibilità. Se l'insieme ammissibile P è definito da vincoli lineari, ad esempio:

$$\mathcal{P} = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n : A\mathbf{x} \geq \mathbf{b}\},$$

il problema non lineare viene scomposto in una sequenza infinita di problemi di programmazione lineare le cui soluzioni determinano le direzioni ammissibili di discesa. Si potrebbe considerare il metodo come una generalizzazione del metodo del simplesso primale.

Fasi del metodo:

- ***Step 1:*** Inizializzazione $k \leftarrow 0,\ \mathbf{x}_0 \leftarrow \mathbf{x} \in \mathcal{P}$
- ***Step 2:*** $\textbf{if } \nabla f(\mathbf{x}_k) = 0 \textbf{ then } \text{stop.}$
- ***Step 3:*** Calcolo di una soluzione del problema ottenuto sostituendo ad f lo sviluppo di Taylor del primo ordine calcolato in x_k:

$$\min_{\bar{\mathbf{x}}_k} f(\mathbf{x}_k) + \nabla^T f(\mathbf{x}_k)\bar{\mathbf{x}}_k$$
$$\bar{\mathbf{x}}_k \in \mathcal{P}$$

- ***Step 4:*** Determinazione del passo λ risolvendo:

$$\min_{\lambda} f(\mathbf{x}_k + \lambda(\bar{\mathbf{x}}_k - \mathbf{x}_k))$$
$$0 \leq \lambda \leq 1$$

- ***Step 5:*** if λ = 0 then stop.
- ***Step 6:*** Aggiornamento

$$\mathbf{x}_{k+1} \leftarrow \mathbf{x}_k + \lambda(\bar{\mathbf{x}}_k - \mathbf{x}_k),\ k \leftarrow k + 1$$

- ***Step 7:*** Ritorno al passo 2

L'algoritmo generalmente compite buoni progressi verso l'ottimo durante le prime iterazioni, per poi rallentare vicino al punto di minimo; la rapidità di convergenza nel caso peggiore è infatti sub-lineare. Tuttavia il metodo è ampiamente usato in problemi di ottimizzazione su reti di grandi dimensioni in cui si hanno vincoli numerosi e con particolari strutture. Esistono inoltre numerose varianti che consentono di migliorarne la rapidità di convergenza per particolari classi di problemi.

6.3.2 Fasi per la simulazione

- Inserimento, all'interno del modello di trasporto, dei parametri relativi a ogni scenario e riportanti le caratteristiche relative alla funzionalità
- Creazione delle reti nelle quali inserire le riduzioni di funzionalità
- Assegnazione alle reti create tramite l'algoritmo di Frank e Wolfe, impiegando all'interno le funzioni di costo BPR:

$$t(f) = t_0 * \left(1 + \alpha \cdot \left(\frac{f}{C}\right)^{\beta}\right)$$

dove:

t_0 = tempo a flusso libero, corrispondente al tempo indicato tra i parametri del link;

α e β = parametri caratteristici dell'arco stradale. Assumono valori differenti in funzione della velocità di percorrenza e della tipologia di strada (vedi fig. 6.6);

Coefficienti	Una corsia			Più corsie		
	130 km/h	100 km/h	80 km/h	130 km/h	100 km/h	80 km/h
α	0,88	0,83	0,56	1,0	0,83	0,71
β	9,80	5,50	3,60	5,4	2,70	2,10

Fig. 6.6 Tabella con valori dei parametri α e β

- Individuazione di un parametro che permetta di indicare sinteticamente il comportamento del sistema di trasporto dopo il manifestarsi dello scenario sismico. Possibili valori sono:
  - Tempo totale speso nella rete
  - Tempo integrale di rete
  - Lunghezza del percorso minimo tra origine e destinazione
  - Isocrone (cioè curve che descrivono l'accessibilità attiva di una zona, si possono rappresentare anche per l'accessibilità passiva) per particolari punti della rete
  - Lunghezza totale di rete

Per studiare la vulnerabilità della rete molto utile è il primo parametro.

- Calcolo delle statistiche di rete
- Importazione del file all'interno del database

6.4 Priorità di adeguamento

A valle della procedura è possibile inserire diversi moduli per l'analisi dei risultati. Si possono valutare le migliori alternative di percorso per i veicoli in condizioni di emergenza, si può chiedere una stima della lunghezza della rete residua dopo il sisma, è possibile chiedere quali siano i manufatti che hanno maggiore incidenza nel creare ritardi e molte altre questioni dettate dalla pratica.
In questo caso particolare, per il futuro la tematica di cui tenere conto sarebbe quella della priorità con cui adeguare i manufatti presenti.
Allo stato attuale, per stabilire quale sia la priorità di adeguamento di un ponte, si procede all'adeguamento dei manufatti in cui transita il maggior numero di veicoli. Questa operazione coincide con l'ipotesi di considerare la rete di trasporto nelle condizioni post-sismiche come se tutto restasse immutato rispetto allo stato di rete intatta. L'ipotesi non è del tutto realistica, in quanto il territorio, dopo il passaggio di un sisma, è molto mutato e quindi un confronto con la situazione pre-sismica non è calzante perché i danni riportati dalle infrastrutture, dalle abitazioni non permetterebbero un confronto diretto con lo stato pre-catastrofe.
Quindi vi sono molte limitazioni nella scelta dell'ipotesi precedente. Per ovviare a esse sono state realizzate tre diverse metodologie di ricerca della soluzione ottimale di un processo di adeguamento sismico dei ponti: il metodo diretto, gli algoritmi genetici e il metodo step-wise.

6.4.1 Metodo diretto

Il problema della ricerca della soluzione ottima in un sistema a rete, come il sistema di trasporto, non è un problema per cui sia possibile fornire una soluzione in forma chiusa (analitica). Ogni ponte ha un impatto diverso nel funzionamento

della rete, con diversi livelli. Esistono due tipologie generali di metodo di ricerca, il primo è un metodo di ricerca diretto per infrastruttura, si valuta qual è l'influsso di ogni ponte nella performance del sistema (eseguendo quindi l'intera procedura per i diversi scenari sismici, considerando anche le iterazioni del metodo di Montecarlo annidato), e si definisce un parametro di performance della rete. Questa strategia non è sicuramente quella ottimale, si pensi ad esempio alla possibilità che incorra il paradosso di Braess (il paradosso dice che la costruzione di un nuovo tronco stradale con grandi prestazioni, che dovrebbe migliorare i tempi di percorrenza crea in realtà una nuova condizione di equilibrio in cui tutti gli utenti si trovano a sostenere dei costi di percorrenza maggiori); inoltre la soluzione ricavata col metodo diretto non è ottimale nel caso di una rete complessa, perché le interazioni non si riescono a cogliere. Il secondo metodo é riferito, invece, ai link. si esegue la stessa procedura definendo però il link come oggetto d'analisi.
Operativamente quindi con questo metodo si svolge una ricerca della priorità di adeguamento assegnando ad ogni ponte, oppure ad ogni link, un valore della funzione di beneficio. La funzione di beneficio può essere espressa tramite l'espressione:

$$maxB_{annuo} = \sum_{s=1}^{S} [(CS_s^{nonRF}) + (CR_s^{nonRF} - CR_s^{RF})] \cdot p_s$$

dove:
B_{annuo} = beneficio ricevuto in un anno
CS = costi sociali sostenuti dalla collettività
CR = costi diretti, come il costo di riparazione o rimpiazzo del ponte
$nonRF$ = condizione non adeguata
RF = condizione adeguata
s = alternative di adeguamento individuate

In funzione quindi della funzione di beneficio si esegue un ordinamento dei ponti o del link e si adeguano sempre più ponti fino a raggiungere il limite di budget.

6.4.2 Algoritmi genetici

Gli *Algoritmi Genetici* sono un metodo di ricerca casuale della soluzione, basati sull'idea che, nel susseguirsi delle generazioni, sopravvivono solo i geni che producono gli individui più resistenti. La soluzione ottimale si ottiene attraverso l'evoluzione dei soggetti buoni, nella generazione attuale, in soggetti migliori, nella generazione futura; un ruolo chiave è svolto dagli operatori genetici (la ricombinazione dei geni, la selezione dei geni migliori e la mutazione spontanea) che descrivono il processo di generazione di nuovi soggetti. Il metodo di ricerca AG è un sistema robusto e generico, la soluzione ottimale si può calcolare senza conoscere le derivate della funzione obiettivo, non è necessario che la funzione sia continua ed infine il punto di partenza nel metodo di ricerca non influenza la soluzione finale.

6.4.2.1 Descrizione generale dell'algoritmo

La soluzione del problema inizia con la definizione di una struttura, una stringa detta gene. Viene creato un insieme di geni in maniera casuale. Si definisce una funzione il cui valore in output è la bontà del gene, la funzione di adattamento, o funzione di fitness.
Si ordinano gli individui in base al valore che restituiscono nella funzione di fitness. L'evoluzione procede per passi, vengono eseguite le operazioni che determinano in quale numero di individui effettuare il cross–over e le mutazioni. L'algoritmo evolve la popolazione secondo i seguenti punti:

- Generazione, in modo casuale, della popolazione iniziale
- Creazione di una sequenza di nuove popolazioni, le generazioni. Le nuove popolazioni si creano tramite:
    1) Calcolo per ciascun individuo del valore della funzione di fitness
    2) Ordinamento degli individui in base al valore di fitness
    3) Selezione degli individui di grado maggiore come genitori
    4) Creazione della nuova generazione (composta dagli individui migliori come descritto ai punti precedenti) attraverso i meccanismi di cross over e di mutazione

- Interruzione del test di arresto quando viene raggiunta la convergenza

Per la soluzione del problema di ottimizzazione si può operare un parallelo con la procedura generale. Un cromosoma rappresenta una strategia di retrofit (ossia con quale tipologia si interviene nell'adeguamento del ponte) e indica quale ponte adeguare. La funzione di fitting è la procedura esposta, ed il valore di adattamento è proprio l'indicatore scelto: il tempo totale di rete per un dato scenario sismico.
L'applicazione di questo metodo al problema è limitata dall'onerosità del calcolo, infatti per ogni valutazione della funzione obiettivo è necessario eseguire le simulazioni di Montecarlo. Queste dovrebbero essere svolte in un numero tale da rendere inapplicabile tale metodologia in tempi accettabili.

6.4.3 Metodo step-wise

Questo metodo è un'evoluzione del metodo diretto che usa i risultati di questo come primo passo per svolgere le elaborazioni successive. Il metodo raggruppa i manufatti in categorie omogenee in funzione della richiesta della committenza (si possono raggruppare le infrastrutture per ente gestore, per livello di importanza dell'arteria di trasporto, o in funzione della domanda che viene soddisfatta).
Svolto il primo raggruppamento si calcola per ciascun gruppo quale sia il beneficio apportato alla rete di trasporto; tale valore indica quale gruppo adeguare per primo. Si esegue un nuovo passo del metodo di ricerca calcolando i benefici in termini di risparmio di ritardo in rete, svolgendo le analisi nella rete in cui il gruppo individuato al passo precedente sia stato adeguato e gli altri siano da determinare. Anche in questo passo si sceglie il gruppo che porta maggior beneficio. Il numero di iterazioni del metodo è pre–determinato: Ngruppi − 1; come si deduce dalla descrizione della procedura, la velocità di convergenza aumenta a mano a mano che ci si avvicina alla soluzione. Il numero di gruppi viene man mano ridotto di una unità al procedere delle iterazioni, conseguentemente il numero di scenari in cui eseguire le iterazioni di Montecarlo diminuisce e quindi è possibile svolgere un minor numero di assegnazioni (che determinano il peso computazionale dell'algoritmo).

Di seguito si propone una descrizione dei passi che caratterizzano il metodo:

- Scelta del criterio con cui raggruppare i manufatti (secondo quelli proposti) e inserimento dei diversi manufatti all'interno del gruppo corrispondente
- Prima iterazione in cui si valutano i benefici portati da ogni gruppo al miglioramento del parametro globale di analisi, eseguendo il metodo diretto.
- Scelta del gruppo da adeguare con maggior priorità
- Analisi sui gruppi rimanenti, tenendo conto dell'adeguamento del gruppo di primo livello, per determinare il valore di parametro
- Adeguamento del gruppo di secondo livello e rilancio delle analisi per i diversi gruppi
- Ripetizione della procedura dal quarto punto fino a raggiungere l'adeguamento completo della rete

Tale metodologia presenta il vantaggio di essere verosimile dal punto di vista storico: i manufatti vengono adeguati seguendo l'ordine indicato nello studio, quindi i passi successivi al secondo presentano anche un carattere di previsione delle scelte di un decisore razionale.

CAPITOLO 7

CONCLUSIONI

In questo lavoro di tesi è stata approfondita la tematica della vulnerabilità sismica di ponti nell'ambito di reti stradali.
In particolare l'obiettivo era di automatizzare la procedura che consentisse un'adeguata rappresentazione dei diversi scenari sismici e che, per ognuno di essi, consentisse di calcolare le curve di fragilità, strumento molto utile per stabilire se un ponte subisca danni più o meno rilevanti in seguito ad un sisma.

Il secondo capitolo è una sorta di presentazione dell'intero lavoro, introducendo il concetto di rischio sismico e di vulnerabilità sismica.

Il terzo capitolo mostra i diversi metodi utilizzati per la valutazione della vulnerabilità. In particolare sono proposti i due metodi più usati a livello mondiale. Il primo è il modello alla base del software Hazus sviluppato dalla U.S. Federal Emergency Management Agency (FEMA), ampiamente utilizzato negli Stati Uniti per le valutazioni delle potenziali perdite provocate da terremoto, inondazioni e uragani. La seconda metodologia, ispirata a quella americana, è quella elaborata nell'ambito del progetto europeo RiskUE denominato "An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns".
Sempre nel terzo capitolo è proposta un'ampia ricerca bibliografica relativa agli studi precedenti, in particolare con riferimento alle curve di fragilità, alla realizzazione di database in questo contesto e ai lavori del professore giapponese Masanobu Shinozuka, uno dei massimi esperti mondiali in termini di vulnerabilità sismica dei ponti.

Dal quarto capitolo si passa alla parte più specifica di questa tesi. Viene, infatti, chiarita a livello teorico la procedura seguita. Si ha quindi la presentazione dei due programmi di riferimento utilizzati per il lavoro, ArcGIS 10 e Access 2010, con la descrizione dei passaggi svolti per la realizzazione dei vari elementi utili, come ad

esempio l'importazione della mappa sismica e la creazione delle funzioni da automatizzare.
Poi è chiarito il concetto di curva di fragilità, con riferimento ai 4 possibili stati di danno con i quali una struttura può essere descritta: stato di danno lieve (MINOR), moderato (MODERATE), esteso (EXTENSIVE) e collasso (COMPLETE).
Dalla conoscenza delle curve è quindi possibile risalire ai danni sulla singola infrastruttura e sullo specifico arco di rete (definito link).
Infine, a conclusione del capitolo, viene inserita la tematica dell'adeguamento sismico, molto importante per proteggere le strutture da seri danni se non addirittura dal collasso. Vengono a questo scopo riportate le diverse tipologie, a partire da quelle più semplici (come ad esempio l'utilizzo di barre e cavi per conferire vincoli aggiuntivi) fino a quelle più complicate (dispositivi di isolamento sismico e di smorzamento). Per ognuna di esse si provvede ad una adeguata presentazione, con l'ausilio di figure esaustive.

Il quinto capitolo è quello più lungo e indubbiamente quello più significativo. Infatti viene inserita l'intera procedura di automatizzazione seguita nel lavoro, inserendo tutte la fasi fondamentali:

- ***Catalogazione dei ponti:*** inserimento di tutti i ponti analizzati. Prima si cerca di trovare una corrispondenza tra i ponti inseriti nel vecchio database IBRID con quelli inseriti nel grafo stradale delle Rete Veneto. La corrispondenza viene realizzata attraverso due campi, il campo ID_IBRID relativo al vecchio database e EXTERNALID relativo agli archi del grafo.
  Viene riportata la tabella con tutti i dati relativi ai ponti e le rappresentazioni grafiche all'interno di ArcMap.
- ***Importazione della mappa sismica:*** caricamento della mappa realizzata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in forma tabellare. Sono cioè indicati, per ogni nodo della mappa, tre diversi parametri:
  - *ag (PGA) =* l'accelerazione orizzontale massima
  - *Fo =* fattore di amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale
  - T^*_C = tempo in cui termina il tratto ad accelerazione spettrale costante

Dalla conoscenza dei valori sui nodi della mappa è possibile risalire al valore dei tre parametri su ciascun ponte tramite la relazione:

$$Vx = \frac{\frac{V1}{d1} + \frac{V2}{d2} + \frac{V3}{d3} + \frac{V4}{d4}}{\frac{1}{d1} + \frac{1}{d2} + \frac{1}{d3} + \frac{1}{d4}}$$

- ***Curve di fragilità***: calcolo delle suddette curve facendo riferimento al metodo europeo RiskUE. Per farlo è necessario prima di tutto conoscere le informazioni riportate in tabella 7.1 per definire la categoria del ponte.

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

Tab. 7.1 Tipologie di ponte distinte per materiale e caratteristiche geometrico-strutturali

Il passo successivo è il calcolo delle medie relative ai quattro stati di danno. Si fa riferimento alla tabella 7.2. E' necessario conoscere a questo scopo i valori dei tre coefficienti K:

$$K_{skew} = \sqrt{\sin(90 - \alpha)}$$

$$K_{3D} = 1 + A/(N - B)$$

$$K_{shape} = 2{,}5 \cdot \frac{Sa(1{,}0s)}{Sa(0{,}3s)}$$

che tengono conto, rispettivamente, della sghembatura, degli effetti tridimensionali e della condizione del sito.

Skew angle (K_{skew})	3-dimensional arch action in the deck (K_{3D})						
	EQ1	EQ2	EQ3	EQ4	EQ5	EQ6	EQ7
$\sqrt{\sin(90-\alpha)}$	$1+\frac{0.25}{N-1}$	$1+\frac{0.33}{N}$	$1+\frac{0.33}{N-1}$	$1+\frac{0.33}{N-1}$	$1+\frac{0.05}{N}$	$1+\frac{0.20}{N-1}$	$1+\frac{0.10}{N}$

Typology	Damage state			
	Minor	Moderate	Extensive	Complete
Category	Median SA at 1.0 s (g) with β=0.6			
1-2	$0.8\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$1.0\times K_{skew}\times EQ1$	$1.2\times K_{skew}\times EQ1$	$1.7\times K_{skew}\times EQ1$
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	$0.60\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90\times K_{skew}\times EQ2$	$1.10\times K_{skew}\times EQ2$	$1.50\times K_{skew}\times EQ2$
10	$0.90\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90\times K_{skew}\times EQ3$	$1.10\times K_{skew}\times EQ3$	$1.50\times K_{skew}\times EQ3$
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	$0.75\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.75\times K_{skew}\times EQ5$	$0.75\times K_{skew}\times EQ5$	$1.10\times K_{skew}\times EQ5$
14	$0.90\times\min\left(1;2.5\times\frac{SA(1.0)}{SA(0.3)}\right)$	$0.90\times K_{skew}\times EQ3$	$1.10\times K_{skew}\times EQ3$	$1.50\times K_{skew}\times EQ3$
15	0.80	1.00	1.20	1.70

Tab. 7.2 Valori dei fattori e delle medie modificate per la costruzione delle curve di fragilità

Si ottiene quindi una tabella che riporta, per ogni ponte e al variare del parametro sismico di riferimento (per le curve di fragilità si considera l'accelerazione spettrale a 1 s Sa(1s)), l'indicazione delle quattro probabilità legate agli stati di danno poco prima citati.

Attraverso uno degli strumenti di Access, il report, è possibile automatizzare la costruzione grafica delle curve di fragilità, ottenendo grafici come quello riportato in figura 7.1.

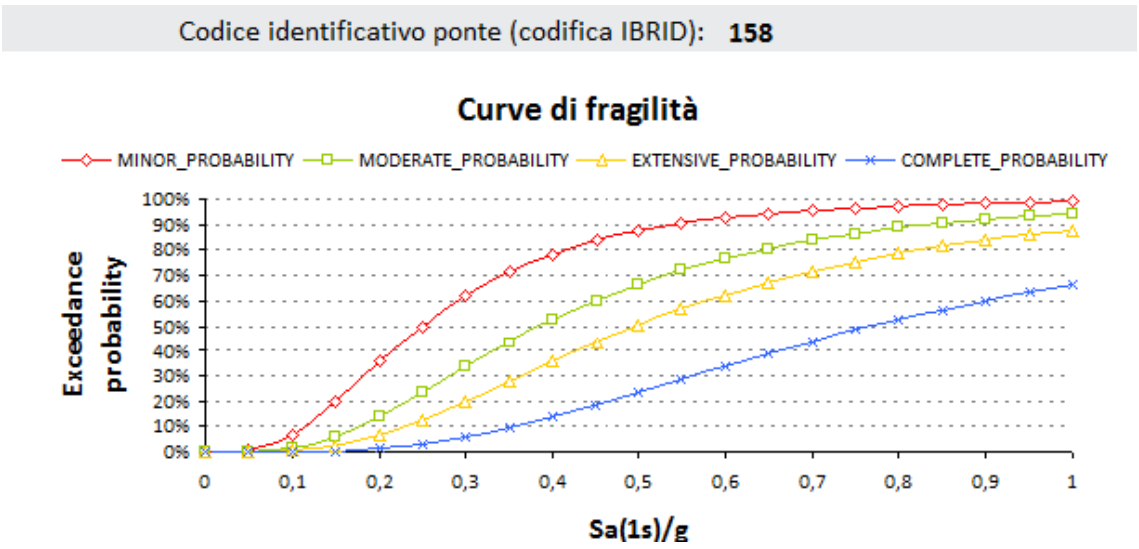


Fig. 7.1 Curve di fragilità per il ponte IBRID 158

Viene realizzato quindi un rapido confronto tra alcuni ponti, per vedere come possa variare il comportamento sismico tra una struttura e l'altra.

- ***Adeguamento sismico***: calcolo delle curve di fragilità in maniera analoga a quanto visto nel punto precedente, però tenendo conto del miglioramento al terremoto. Questa miglioria è automatizzata andando ad aumentare la categoria, passando da quella di progetto convenzionale a quella di progetto sismico, Si riporta in figura 7.2 il grafico delle curve di fragilità per lo stesso ponte del punto precedente tenendo conto dell'adeguamento.

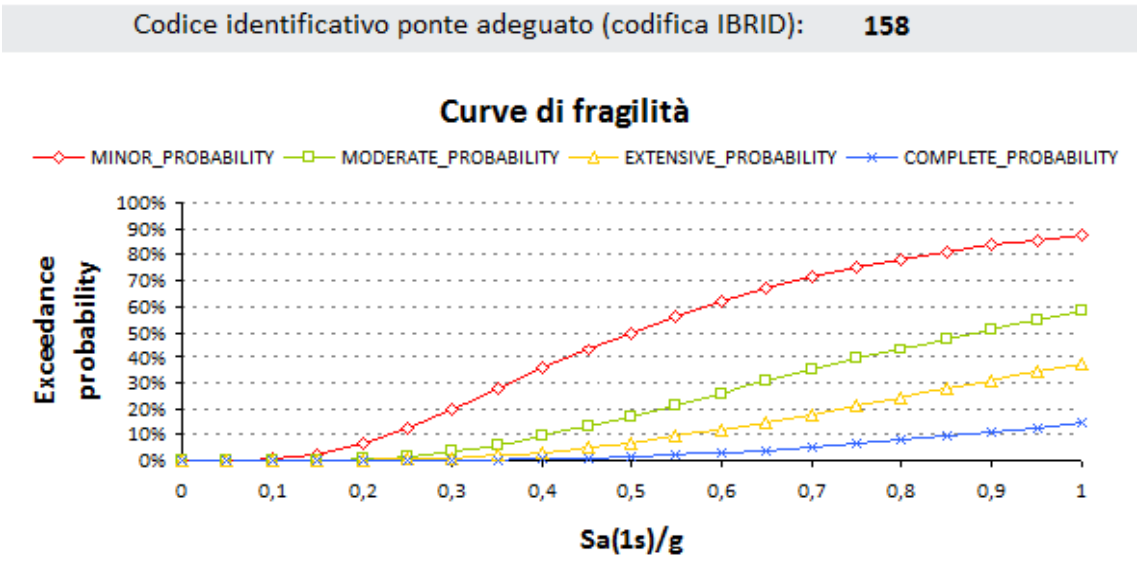


Fig. 7.2 Curve di fragilità per il ponte IBRID 158 (Adeguamento)

Si nota immediatamente un miglioramento delle caratteristiche, visto che si ha un abbassamento delle curve rispetto al caso tradizionale.
Si è poi realizzato un esempio per un determinato valore di accelerazione spettrale.

- ***Scenario limite:*** è quello relativo alla mappa sismica implementata, in quanto ogni ponte è sollecitato dalla massima accelerazione orizzontale. E' ovviamente un caso ideale ma utile per capire quali ponte subiscano danni importanti e quindi per stabilire l'ordine in termini di priorità. Ha quindi un importante ruolo di prevenzione una analisi di questo tipo.
  Nelle figure 7.3 e 7.4 si realizza un confronto tra la rete di ponti "tradizionale" e quella con i ponti adeguati, in entrambi i casi per i massimi valori di ag.

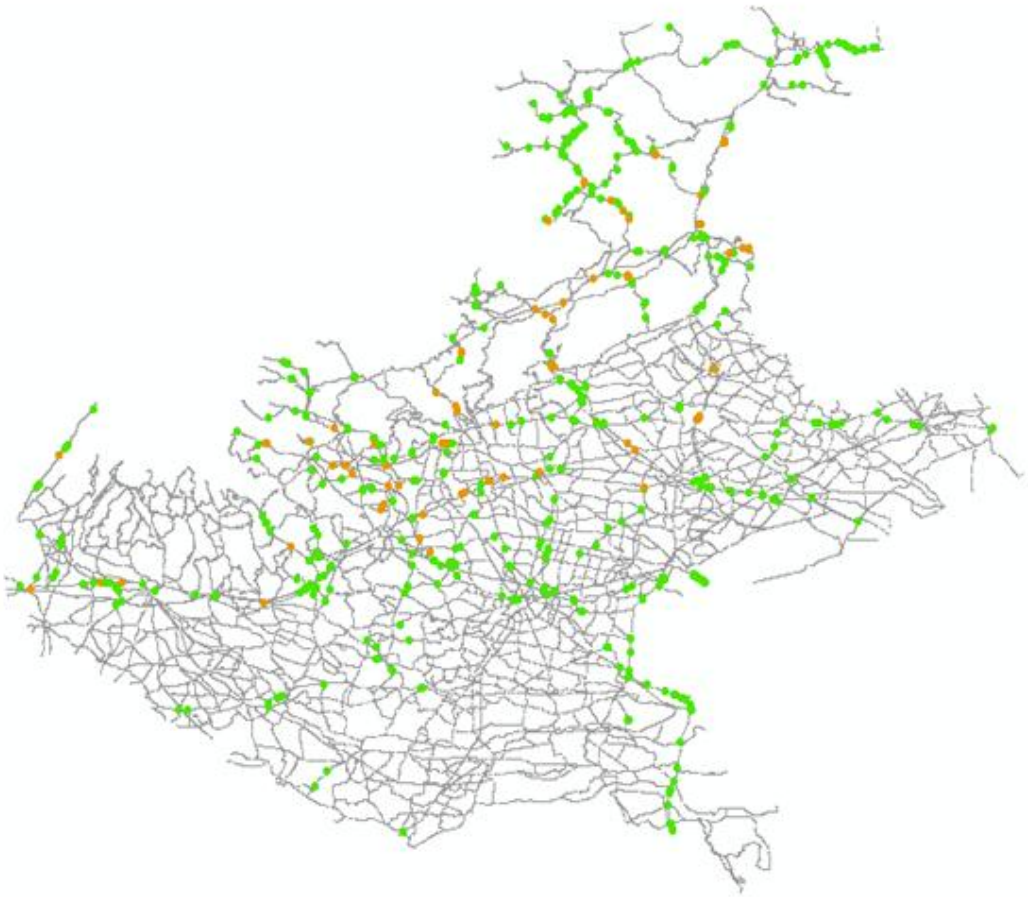


Fig. 7.3 Rappresentazione grafica delle condizioni dei ponti per la massima ag orizzontale

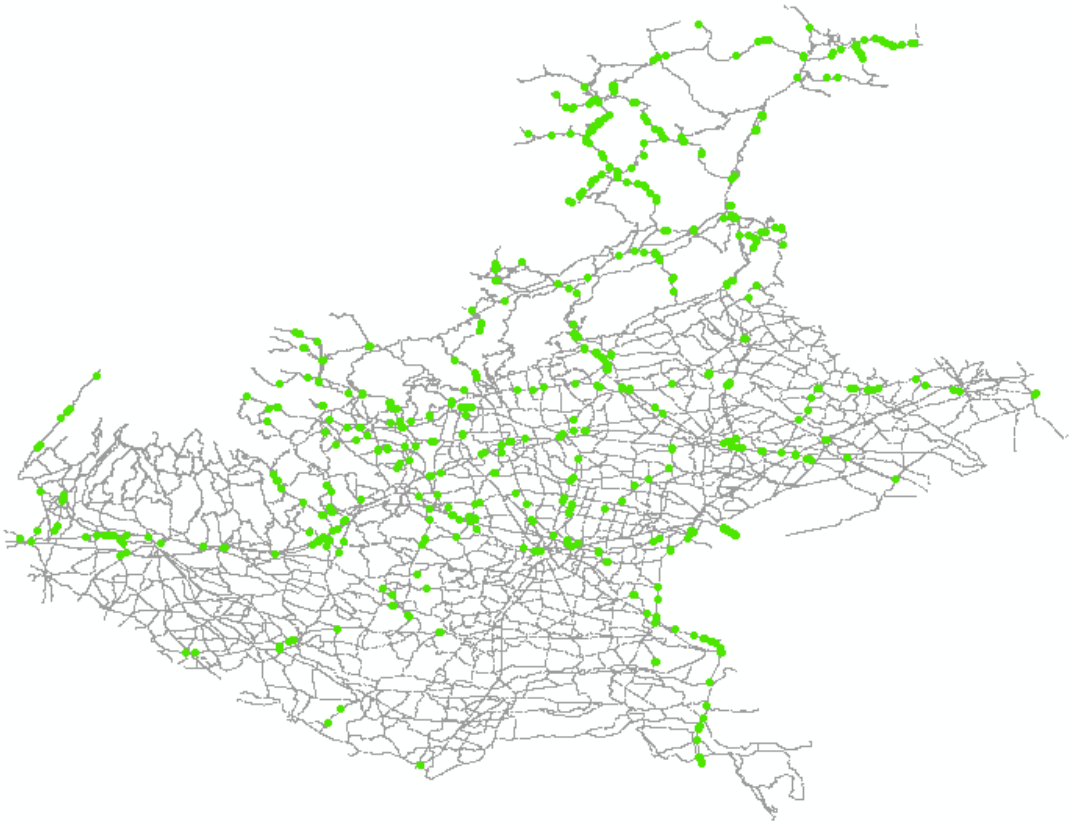


Fig. 7.4 Rappresentazione grafica delle condizioni dei ponti per la massima ag orizzontale (Adeguamento)

Si è osservato il miglioramento del comportamento sismico grazie all'adeguamento. Si nota che, nella seconda figura, tutti i ponti che prima risultavano essere caratterizzati da una riduzione della funzionalità (colore arancione) adesso sono in buone condizioni. Bisogna comunque osservare che, nel caso in cui l'adeguamento automatizzato non avesse ridotto a sufficienza il livello di danno, sarebbe stato possibile intervenire ulteriormente. Infatti bisogna tenere conto che l'incremento della categoria sismica per rappresentare l'adeguamento non implica un completo adeguamento, visto che bisognerebbe tenere conto di un eventuale aumento delle campate oppure di un aumento dei vincoli nel calcolo dei coefficienti K. Però ovviamente questo è un aspetto che dovrebbe essere trattato per ogni ponte singolarmente e quindi è difficilmente automatizzabile.

Ad ogni modo si ha una buona indicazione sul comportamento anche in caso di adeguamento. Per i ponti che rimangono di colore rosso bisognerebbe procedere con delle considerazioni ulteriori, come per esempio il passaggio da uno schema statico in semplice appoggio ad uno continuo.

- ***Implementazione di terremoti del passato:*** sono stati presi due fenomeni tellurici del 2012 per implementare due scenari sismici. In particolare sono stati presi in considerazione il terremoto avvenuto tra le province di Belluno e Pordenone il 9 Giugno 2012 (di magnitudo 4.5) e il terremoto avvenuto in Emilia il 20 Maggio 2012. I valori di riferimento sono stati presi dalle elaborazioni dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Ad esempio in figura 7.5 si riporta la mappa relativa alla PGA registrata in Emilia.

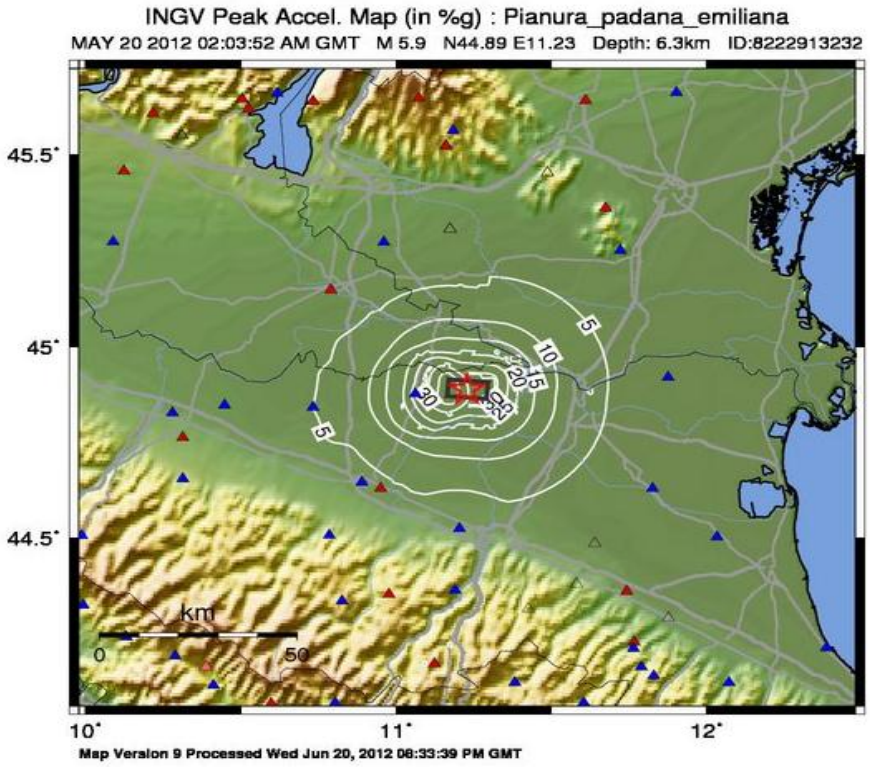


Fig. 7.5 Mappa della PGA

Si sono quindi ottenuti i grafici e le tabelle analoghe ai casi precedenti. In figura 7.6 si indica la visualizzazione delle conseguenza del sisma sui ponti.

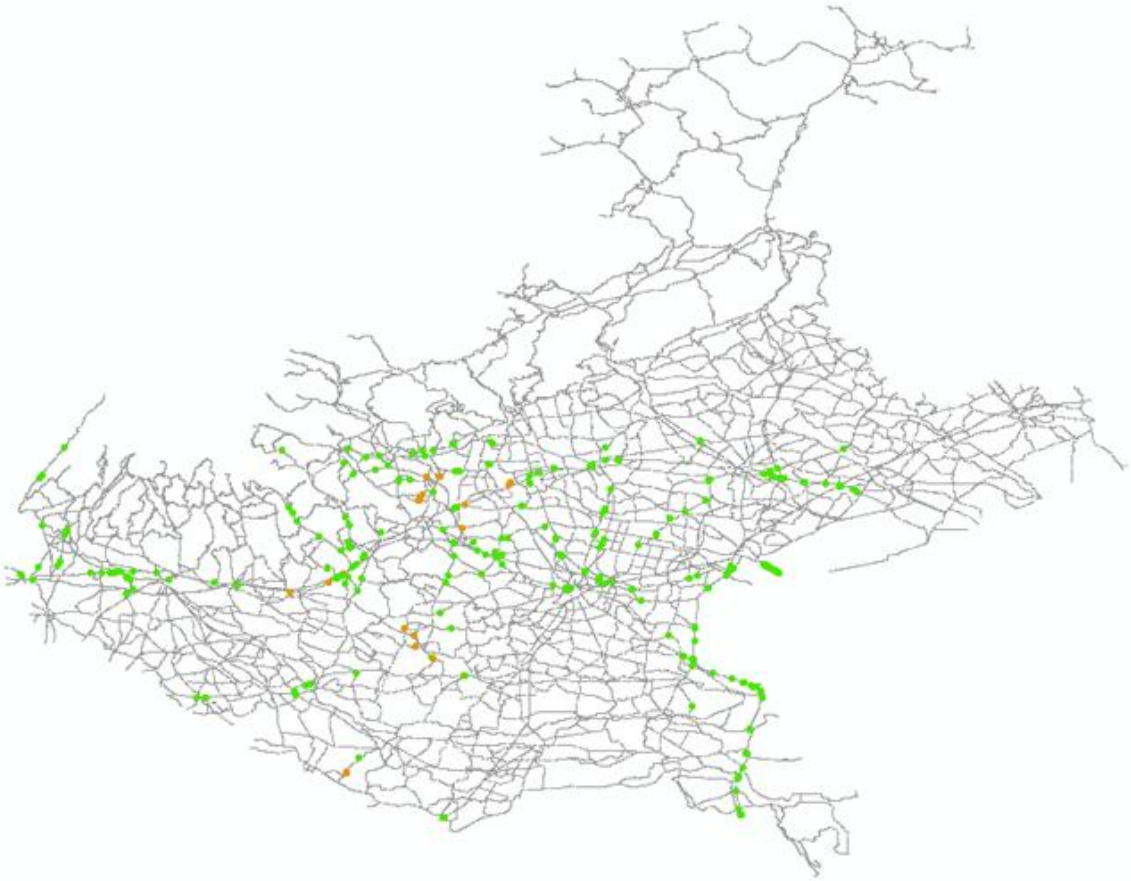


Fig. 7.6 Visualizzazione delle conseguenze del sisma sui ponti

Nonostante si possano trarre conclusioni solo parziali, data l'incompleta catalogazione all'interno del database, si nota che alcuni ponti subirebbero dei danni abbastanza considerevoli, fortunatamente non tali da provocare crolli.

Nel capitolo 5 sono state quindi proposte di intervento per alcune zone in particolare, rifacendosi a quanto esposto nel capitolo 4 sugli interventi di adeguamento. Per i ponti che insistono su strade provinciali può essere sufficiente un intervento semplice, come l'aggiunta di barre e cavi. Per ponti in strade regionali, come quelli sulle strade regionali, è importante progettare in modo più dettagliato l'intervento. Una possibile soluzione può essere quella dell'utilizzo di dispositivi di isolamento. Quindi si osserva come l'automatizzazione può essere

utile per individuare immediatamente quali ponti siano più deboli e di conseguenza studiare le relative contromisure.

Infine nel capitolo 6 sono stati sviluppati quegli argomenti che in questo momento, per vari motivi (ad esempio la non completa catalogazione dei ponti o la mancanza di materiale), non sono stati ancora automatizzati ma che in futuro verranno implementati all'interno del database.

- ***Generazione casuale degli scenari sismici:*** l'obiettivo è di automatizzare l'inserimento di fenomeni sismici in punti casuali (generazione di epicentri) e la successiva propagazione dell'onda attraverso leggi di attenuazione. Sono state proposte diverse leggi che possono essere facilmente automatizzate.
- ***Metodo di Monte Carlo:*** attraverso questo metodo si riesce a tenere conto delle possibili combinazioni di danno che caratterizzano ogni ponte. Nel capitolo viene riportata una panoramica sul metodo e sulla sua applicazione.
- ***Danno agli archi della rete:*** per automatizzare il passaggio dallo stato di danno del ponte (BDI) a quello del link (LDI) è necessario conoscere tutti i ponti presenti sul grafo stradale, altrimenti si corre il rischio di arrivare a conclusioni errate. Nel caso in cui un eventuale ponte non catalogato non subisca danni rilevanti in seguito ad un fenomeno sismico, allora non ci sono problemi e il risultato parziale ottenuto è attendibile; se invece un ponte non rilevato subisce danni importanti, dire che un link è sicuro è sbagliato. Per questo motivo è importante inserire tutti i ponti presenti.
- ***Simulazione degli effetti sul sistema viario:*** la valutazione del danno diretto (danneggiamento o perdita dell'infrastruttura) non permette di dare una informazione completa sulle perdite che si verificano in una rete di trasporto.

  E' necessario andare a valutare gli effetti risentiti dagli utenti del sistema. Per riuscire nell'obiettivo, è necessario svolgere un'assegnazione della

domanda di trasporto alla rete. In particolare si sfrutta un particolare algoritmo, l'algoritmo di Frank e Wolfe, descritto con precisione nel capitolo ma che in pratica consiste nel minimizzare il parametro di riferimento (può ad esempio essere il tempo speso nella rete) rimanendo in condizioni ammissibili.

- ***Priorità di adeguamento:*** per stabilire quale sia la priorità di adeguamento di un ponte, si procede all'adeguamento dei manufatti in cui transita il maggior numero di veicoli. Questa operazione coincide con l'ipotesi di considerare la rete di trasporto nelle condizioni post-sismiche come se tutto restasse immutato rispetto allo stato di rete intatta. L'ipotesi non è del tutto realistica, in quanto il territorio, dopo il passaggio di un sisma, è molto mutato e quindi un confronto con la situazione pre-sismica non è calzante perché i danni riportati dalle infrastrutture, dalle abitazioni non permetterebbero un confronto diretto con lo stato pre-catastrofe.

  Quindi vi sono molte limitazioni nella scelta dell'ipotesi precedente. Per ovviare a esse sono state realizzate tre diverse metodologie di ricerca della soluzione ottimale di un processo di adeguamento sismico dei ponti: il metodo diretto, gli algoritmi genetici e il metodo step-wise. Solitamente si fa riferimento al terzo metodo che a sua volta si rifà al metodo diretto. In poche parole il parametro di riferimento è il beneficio massimo annuo che viene registrato. Dopo aver diviso i ponti in gruppi, in funzione di un criterio che viene scelto, si procede alla valutazione del beneficio per ogni ponte in modo tale da individuare i ponti che necessitano dell'adeguamento. Poi si procede con una nuova analisi tenendo conto del miglioramento del gruppo interessato e si registrano i nuovi valori di beneficio degli altri gruppi. Si procede in maniera iterativa fino a quando non si relizza l'adeguamento completo della rete.

In conclusione di quanto analizzato in questa opera, Il lavoro svolto permette di inquadrare l'intero problema della gestione del patrimonio infrastrutturale costruito, passando dall'analisi del singolo manufatto (con le questioni inerenti al

danno e ai possibili interventi di adeguamento) alla trattazione generale in un'ottica più ampia di rete di trasporto, ove tutti i manufatti concorrono all'agibilità e fruibilità della stessa: in questa prospettiva ogni manufatto è sì un oggetto da analizzare nel dettaglio, ma i risultati delle analisi condotte devono essere trattati con una visione più larga, valutando il peso e la rilevanza che lo stesso ha sull'esercizio delle funzioni primarie della rete di trasporto.

Quello che è stato automatizzato consente già delle utili analisi, ma non appena verrà implementato tutto ciò che è stato presentato in questa pagine si potrà avere una panoramica rapida ed efficace del comportamento della rete veneta. Ovviamente l'obiettivo sarebbe di estendere il lavoro alle altre regioni in modo da creare un database completo italiano.

APPENDICE A

DESCRIZIONE DEI PROGRAMMI UTILIZZATI

A.1 Microsoft Access 2010

Microsoft Access è un software per la gestione di basi di tipo relazionale (DBMS) che integra nativamente un modulo per lo sviluppo rapido di applicativi (RAD, *Rapid Application Development*) gestionali di piccole/medie dimensioni.

A.1.1 Formato dati

Può utilizzare dati immagazzinati in formato Access/Jet, SQL Server, Oracle o qualsiasi database in formato compatibile ODBC. La struttura di salvataggio segue il modello tabella relazionale: ossia è possibile immagazzinare i dati da gestire in tabelle composte da un numero elevato di record, ed ogni record contiene i dati distinti per campi. Se una tabella non fosse sufficiente per immagazzinare i dati necessari e fosse necessario utilizzarne altre, è possibile a questo punto collegare le varie tabelle tra di loro con una relazione. Questo consente l'esame dei dati contenuti nel database utilizzando diverse tabelle e quindi giungere ad una pluralità di dati anche complessa.

A.1.2 Utilizzi possibili

L'utilizzo più diffuso e con il migliore equilibrio prestazioni/costi corrisponde ad un impiego desktop (usufruendo quindi del motore JET) indirizzato ad applicazioni concepite per LAN con meno di dieci utenti. È comunque possibile usarlo come interfaccia utente verso altri Database Server progettati per gestire un maggior numero di utenti.

La possibilità data da Access di utilizzare strumenti per la creazione guidata di basi di dati consente anche a sviluppatori principianti di essere produttivi in breve

tempo. Per un utilizzo più evoluto è possibile usare il linguaggio proprietario *Visual Basic for Applications*

Il programma non possiede un registratore di macro come quello di Excel o Open Office. Le macro sono create da un pannello che indica le azioni da eseguire e il loro argomento, sia come tipo di oggetto che percorso e nome per raggiungerlo.

Access non è in grado di fare il *merge* fra due tabelle, non supporta un legame di tipo *full outer join* fra i dati, che crei una tabella con tutte le occorrenze di quelle di origine e i rispettivi campi. I possibili legami fra campi di due tabelle prevedono la selezione delle occorrenze comuni, di quella della prima e solo quelle della seconda che sono identiche, o viceversa (inner join, right e left outer join).

A.1.3 Memorizzazione dati

A differenza di altri ambienti di sviluppo, in Access un unico file comprende tutti gli elementi utilizzabili per lo sviluppo di applicazioni complete: *tabelle, query, maschere, report, macro, pagine e moduli*. E' comunque possibile, con tutte le versioni, progettare applicazioni nelle quali si mantenga la separazione fisica tra tabelle di dati (*Back-End o BE*) ed i restanti elementi (*Front-End o FE*). Queste soluzioni permettono di migliorare la distribuzione e la manutenzione di applicazioni condivise tra più utenti.

Di seguito si descrivono gli elementi caratteristici:

- le *tabelle* sono i contenitori dove vengono memorizzati i dati; è disponibile una interfaccia grafica elementare per la definizione o la modifica delle proprietà dei campi, inclusa la definizione degli indici e della chiave primaria (che può essere basata su più campi). Come nel caso di database professionali, il controllo della sintassi esercitato da Access può consistere in soli messaggi di avvertimento nei casi in cui la modifica dei campi può comportare perdita irreparabile dei dati (ad esempio, la riduzione della dimensione di un campo nel quale sono già presenti dati di lunghezza maggiore): questo non è necessariamente visto come un difetto di Access, per quanto la destinazione

potenziale del prodotto, ad utenti non esperti, possa rendere questi casi più frequenti;

- le *query* sono gli strumenti idonei all'interrogazione ed alla manipolazione dei dati. Access dispone sin dall'origine di un ambiente grafico per la definizione delle query (detto *Query By Example* o QBE) che permette anche ad utenti poco esperti la loro costruzione, con un minimo di controllo della correttezza sintattica; questa facilità, per contro, può comportare situazioni di blocco del sistema come conseguenza di errori concettuali che comportino ricorsioni. Il linguaggio utilizzato nella definizione delle query è una versione leggermente semplificata di T-SQL; in alternativa all'ambiente QBE è possibile utilizzare direttamente questo, anche per ottenere query non altrimenti costruibili con QBE;
- le *maschere* (o *form*) consistono negli elementi grafici utili alla interazione da parte degli utenti con i dati delle tabelle o delle query. Le maschere possono contenere gli elementi standard di Access ed elementi aggiuntivi (ad esempio, controlli OCX sviluppati a parte). Le maschere possono includere codice VBA destinato all'automazione degli elementi contenuti; l'area di visibilità delle *routine* è locale;
- i *report* consentono la visualizzazione, destinata alla stampa, dei risultati basati sui dati, tabelle e query. L'ambiente grafico destinato alla costruzione della struttura dei report ricalca quello delle maschere, pur conservando le differenze dovute alla diversa destinazione; sono disponibili funzioni di base, quali aggregazione dei dati e totali parziali. Anche in questo caso è possibile l'inserimento di codice VBA (area di visibilità locale) per un livello maggiore di automazione;
- le *macro* possono contenere semplici sequenze di istruzioni, tipicamente tutto ciò che è possibile ottenere attraverso i menu di Access. Si tratta di elementi che permettono scarsa interazione con l'utente, per contro la loro costruzione è semplice;

- le *pagine* (ovvero *pagine di accesso ai dati*) permettono la pubblicazione dei dati attraverso un server web. Sono state introdotte a partire dalla versione 2000 di Access;
- i *moduli* possono contenere codice VBA (moduli di codice e classi) che si intende rendere globali (salvo specifica dichiarazione), ovvero richiamabili da uno qualsiasi degli altri elementi dell'applicazione.

Una funzionalità presente in tutte le versioni di Access consente di accedere a dati residenti in file di database esterni, sotto forma di *tabelle collegate*. Database strutturati in questo modo facilitano la distribuzione e la manutenzione della medesima applicazione a più utenti, fermo restando le limitazioni del motore Access/Jet circa il numero massimo di accessi simultanei. Occorre sottolineare che queste soluzioni non possono essere definite "client/server" in quanto il carico di lavoro per la elaborazione dati è sempre locale; una alternativa praticabile con le versioni dalla 2000 in poi è rappresentata dal *progetto di database* (estensione del file *.adp*) dove di fatto si realizza solo la parte di presentazione grafica, in appoggio a motori professionali già esistenti, ai quali è demandato il lavoro di elaborazione.

Le *tabelle collegate* sono utilizzabili allo stesso modo delle tabelle residenti, con l'unica limitazione data dalla non modificabilità della loro struttura se non nel database nel quale risiedono fisicamente. Le tabelle possono essere *collegate* attraverso il motore di database di Access se risiedono fisicamente in altri database Access, o in alcuni formati di file di database "standard", oppure via ODBC. In questo caso l'accesso a database eterogenei può richiedere la installazione di *driver* specifici.

Le versioni più recenti di Access dispongono di procedure guidate per la separazione in file distinti dei dati e dei restanti elementi a partire da applicazioni inizialmente costruite in un singolo file Access.

A.1.4 Sviluppo progetti

Per lo sviluppo di applicazioni semplici, si può evitare di programmare direttamente, usufruendo di alcuni template già inclusi nel pacchetto.

Per esigenze di sviluppo più evolute è disponibile nel prodotto il linguaggio di programmazione Microsoft Visual Basic (per gli applicativi Office definito VBA - Visual Basic for Applications). Sebbene il prodotto supporti tecniche di programmazione object-oriented (OO), tuttavia non costituisce un ambiente di sviluppo interamente orientato agli oggetti.

È possibile inoltre distribuire i propri lavori tramite un tool (Access Runtime) scaricabile dal sito Microsoft che permette, con alcune limitazioni, di far funzionare un applicativo Access anche su PC dove non è presente una versione del programma.

A.1.5 Versione 2010

L'ultima versione del programma appartenente al pacchetto Office presenta diverse caratteristiche rispetto alle versioni precedenti.

- Interfaccia Microsoft Fluent, più conosciuta come barra multifunzione, introdotta con Access 2007, con la differenza di una componente rispetto alla versione precedente: il pulsante Microsoft Office, che in Access 2007 si trovava nell'angolo superiore sinistro della finestra del programma, è stato sostituito dalla scheda *File*.

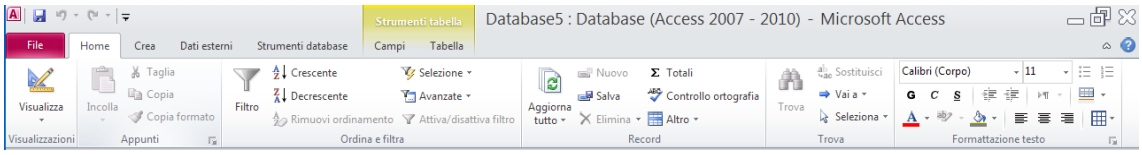


Fig. A.1 Dettaglio della Barra Multifunzione

- Visualizzazione Backstage. Dopo il rilascio di Microsoft Office 2007, il team che si occupa dell'esperienza utente di Microsoft Office ha riesaminato le interfacce utente dei programmi al fine di comprendere come migliorarle. Con questa analisi ha scoperto che era possibile dividere le attività dell'utente in due categorie: attività "interne", come la creazione di tabelle e report, che influenzano direttamente il contenuto del database, e attività "esterne", come il

salvataggio e la stampa, che potrebbero essere ricomprese nella gestione dei file.

Quando il team dedicato all'esperienza utente e quello dedicato ad Access hanno concentrato la loro attenzione sull'interfaccia utente di Access 2007, si sono accorti che molte attività di gestione dei file erano sparse in più schede della barra multifunzione. Il team di Access ha spostato tutte le attività di gestione dei file nella scheda File, su cui gli utenti possono fare clic per mostrare questi comandi nella nuova visualizzazione Backstage.

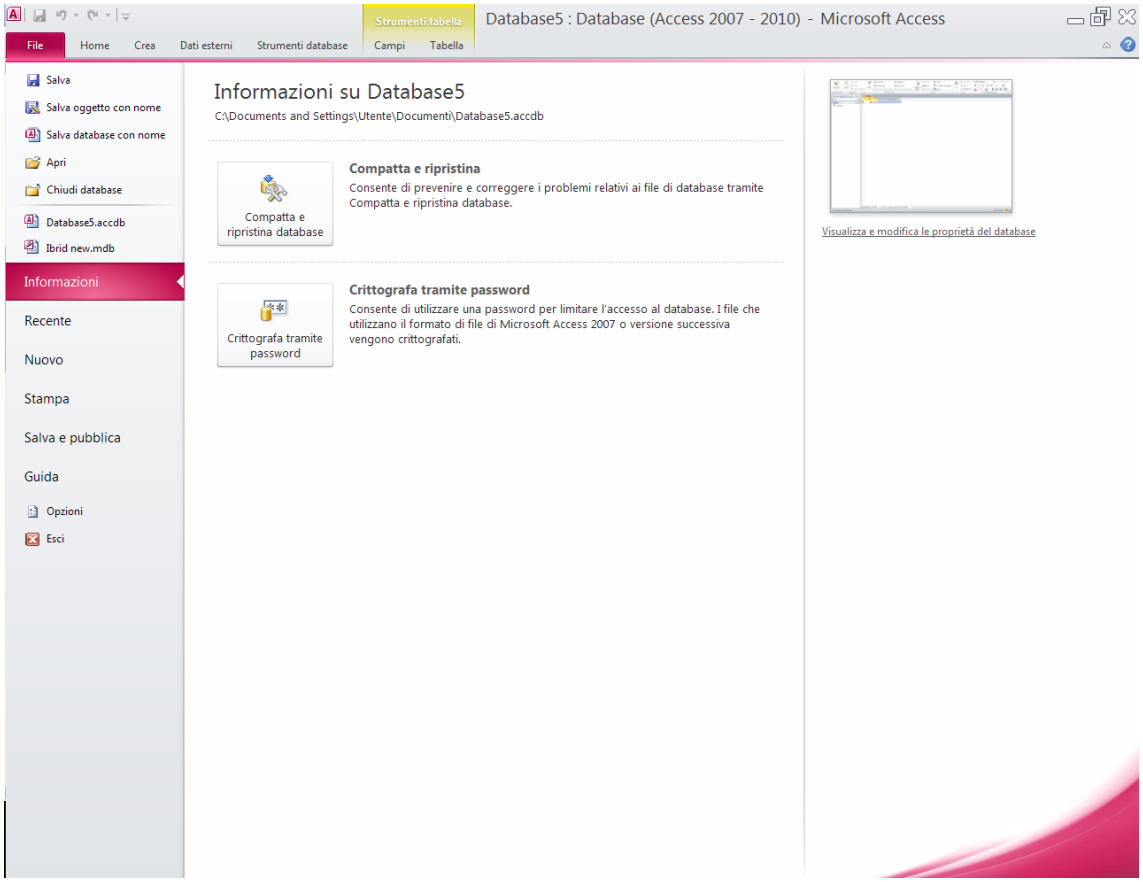


Fig. A.2 Visualizzazione Backstage

- Personalizzazione Interfaccia Utente: quando il team dedicato all'esperienza utente di Microsoft Office ha progettato la barra multifunzione per Access 2007, ha previsto la capacità dell'utente di modificare la finestra del programma aggiungendo e rimuovendo

comandi sulla barra di accesso rapido. In Access 2010 è ancora possibile modificare la barra di accesso rapido, ma sono disponibili molte più opzioni per personalizzare la barra multifunzione. Gli utenti possono nascondere e visualizzare a piacere le schede incorporate della barra multifunzione, cambiare l'ordine delle schede incorporate, aggiungere gruppi di controlli personalizzati a una scheda e creare schede personalizzate che possono contenere a loro volta gruppi di controlli personalizzati. Questi gruppi personalizzati offrono un facile accesso a controlli esistenti della barra multifunzione e a controlli personalizzati che eseguono macro memorizzate nel database.

- Creazione di database utilizzando modelli migliorati: gli utenti sono indubbiamente diversi fra loro, tuttavia il team di prodotto di Access ha scoperto, attraverso la ricerca, che creano spesso gli stessi tipi di database. Alcuni utenti creano database per tenere traccia di eventi futuri; altri li utilizzano per registrare studenti e insegnanti di istituti educativi; altri ancora per tracciare progetti di marketing, vendite o attività che sono state loro assegnate. Access 2010 include molti modelli di database predefiniti che si possono utilizzare per creare un database contenente oggetti adatti per l'applicazione di cui hai bisogno. In Access 2010 sono disponibili due tipi di modelli di database: database normali e database Web. Un database normale è memorizzato sul computer e può essere utilizzato da chi possiede l'autorizzazione per usare il computer e visualizzare i file. Un database Web può essere utilizzato sul computer oppure memorizzato su un server Microsoft SharePoint. Quando un database è caricato su un server SharePoint, altri utenti possono interagire con il database utilizzando un browser Web.

- Dopo avere utilizzato Access 2010 per un po', si nota quasi certamente che si possono utilizzare gli oggetti di database che sono

stati creati in precedenza come base per nuovi oggetti. Il programma include molti modelli di maschere incorporati, chiamati parti di applicazioni, di cui puoi avvalerti per accelerare il lavoro. Facendo clic sulla scheda Crea della barra multifunzione e quindi clic su Parti applicazioni, compaiono le parti di applicazioni disponibili. Alcune sono maschere vuote che si possono collegare a un'altra tabella, mentre i modelli Attività, Contatti e Problemi della sezione Avvio rapido della raccolta permettono di creare e collegare maschere seguendo i passi di una creazione guidata.

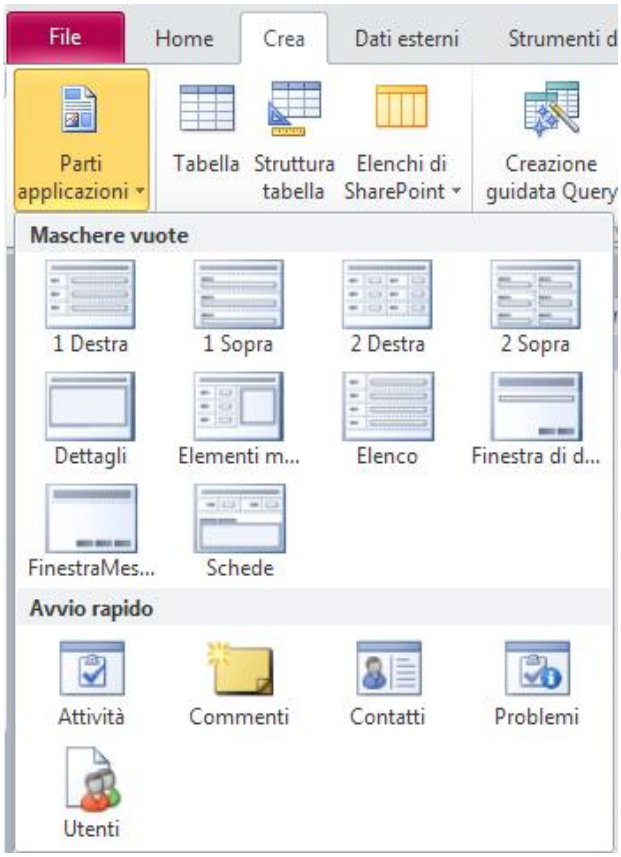


Fig. A.3 Dettaglio sulle Parti di Applicazioni

- Creazione maschere per lo spostamento nel database: la maggior parte dei database contengono più tabelle, maschere, report e query. Anche se il database è stato creato da una persona, può essere complicato ricordare quali elementi eseguono le sue varie funzioni. Le cose si complicano ancora di più utilizzando un database creato

da altri o un database creato molto prima. In questi casi è necessario esaminare il contenuto del database per scoprire (o riscoprire) come immettere e analizzare i dati.

In Access 2007 e nelle versioni precedenti del programma era possibile creare maschere che fungevano da pannello comandi, per guidare gli utenti agli oggetti che dovevano utilizzare per svolgere le varie attività. La procedura prevista per creare i pannelli comandi era piuttosto lenta, perciò il team del programma Access ha creato le maschere per lo spostamento nel database. Si possono trascinare maschere e report su una maschera di spostamento, in modo da poter accedere facilmente agli elementi che permettono di inserire, modificare e riepilogare il contenuto del database.

- Formattare gli oggetti di database utilizzando i temi di Office: Access 2010 include nuove capacità di applicare combinazioni di colori accattivanti agli oggetti di database.

  È possibile cambiare l'aspetto delle maschere e dei report a piacere, ma la soluzione più efficiente è rappresentata dalle raccolte di colori complementari, chiamate temi di Office, incluse nel programma. Si possono utilizzare i temi di Office installati con Access 2010 per formattare gli oggetti del database oppure creare temi personalizzati che riflettono le scelte di progettazione o la combinazione di colori ufficiale dell'azienda.

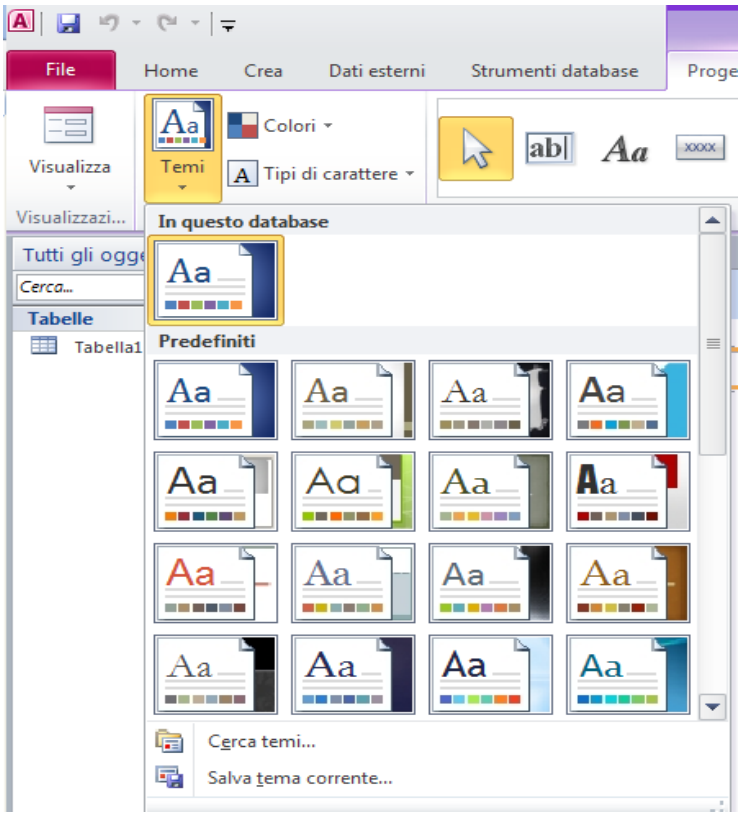


Fig. A.4 Dettaglio sui Temi di Office

- Evidenziare i dati importanti tramite la formattazione condizionale: Microsoft Access ha sempre fornito strumenti potenti per gestire e riepilogare raccolte di dati di grandi dimensioni. La nuova versione del programma estende queste capacità consentendo di applicare formati condizionali che riepilogano i dati visivamente. Un formato condizionale cambia a seconda del valore numerico del campo del report. Se per esempio si crea un report che riepiloga le performance di vendita dell'azienda, si potrebbero definire formati condizionali per indicare se le performance hanno superato gli obiettivi, hanno soddisfatto le aspettative o sono state deludenti.

- Definire campi calcolati tramite il Generatore di espressioni migliorato: in Access 2007 e versioni precedenti era possibile definire il valore di un campo come funzione dei valori di altri campi. Si poteva per esempio calcolare le imposte di vendita dovute per un acquisto moltiplicando il prezzo totale dell'ordine per l'aliquota. Per

creare questo tipo di campo, chiamato campo calcolato, si utilizzava il Generatore di espressioni in cui si definiva il calcolo. Il Generatore di espressioni in Access 2007 sfortunatamente era difficile da usare, a causa della sua affollata interfaccia utente e della mancanza di strumenti di guida contestuali. Nella nuova versione del programma il migliorato Generatore di espressioni fornisce un'esperienza utente più pulita. Anziché essere costretti a indovinare quali comandi si possono utilizzare quando si crea un'espressione, rende disponibili soltanto i comandi che possono essere utilizzati nell'espressione corrente. Offre inoltre il completamento dei comandi in fase di immissione tramite IntelliSense, che consente di inserire le espressioni più velocemente e con meno errori di digitazione.

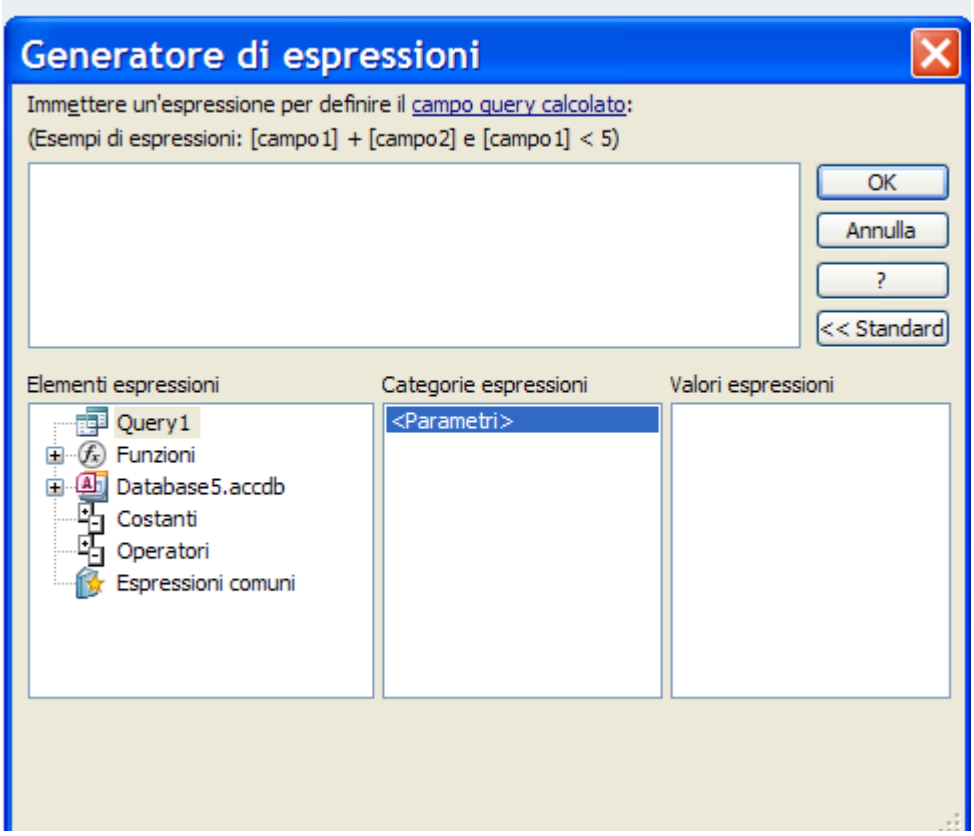


Fig. A.5 Generatore di epressioni

A.2 ESRI ArcGIS 10

Esri ArcGIS è un sistema di informazione geografica (GIS) utilizzato per lavorare con mappe e informazioni geografiche. In particolare consente la creazione e l'utilizzo di mappe, la compilazione dei dati geografici; l'analisi delle informazioni mappate, la condivisione e la scoperta di informazioni geografiche, utilizzando mappe e informazioni geografiche in una vasta gamma di applicazioni, e la gestione di informazioni geografiche in un database.

Il sistema fornisce un'infrastruttura per la realizzazione di mappe e informazioni geografiche disponibili all'interno di un'organizzazione, attraverso una comunità, e apertamente sul web.

ArcGIS include le seguenti software desktop di Windows :

- ***ArcReader*** , che permette di visualizzare e interrogare le mappe create con gli altri prodotti ArcGIS;
- ***ArcGIS*** for Desktop, che è concesso in licenza in tre livelli di funzionalità :
  - ArcGIS for Desktop Basic (precedentemente noto come ArcView), che permette di visualizzare i dati spaziali, creare layer di mappe ed eseguire analisi spaziali di base;
  - ArcGIS for Desktop Standard (precedentemente noto come ArcEditor), che, oltre alla funzionalità di ArcView, include strumenti più avanzati per la manipolazione di shapefiles e geodatabases;
  - ArcGIS for Advanced Desktop (precedentemente noto come ArcInfo), che include funzionalità per la manipolazione dei dati, l'editing e l'analisi.

Ci sono anche prodotti ArcGIS basati sui server, così come i prodotti ArcGIS per PDA . Da menzionare anche la versione MOBILE. Le estensioni possono essere acquistati separatamente per aumentare la funzionalità di ArcGIS.

Nella figura A.6 è mostrata la suddivisione dei diversi prodotti.

Fig. A.6 Prodotti ArcGIS

A.2.1 Storia del prodotto

Prima della suite ArcGIS, Esri aveva concentrato lo sviluppo del software sulla riga di comando della workstation Arc/INFO e su diversi prodotti basati sull'interfaccia grafica per l'utente come il programma desktop ArcView GIS 3.x. Inoltre Esri ha lavorato su altri prodotti incluso MapObjects, una libreria di programmazione per gli sviluppatori, e come ArcSDE, un sistema di gestione di database relazionali. I vari prodotti erano ramificati in più alberi di origine e non si integravano bene uno con l'altro. Nel gennaio del 1997, Esri ha deciso di rinnovare la sua piattaforma software GIS, con la creazione di un'unica architettura software integrata.

- ***ArcGIS 8.x*** : alla fine del 1999, Esri ha rilasciato ArcGIS 8.0, funzionante sul sistema operativo Windows. ArcGIS combinava l'aspetto visivo dell'interfaccia utente di ArcView GIS 3.x con parte del poter della workstation Arc/INFO versione 7.2. Questo accoppiamento ha portato ad una nuova suite chiamata ArcGIS, che comprendeva la riga di comando della workstation ArcInfo e una nuova applicazione di interfaccia grafica chiamata ArcMap (v8.0) che incorporava alcune delle funzionalità di ArcInfo con un'interfaccia più intuitiva, così come una applicazione di gestione dei file ArcGIS chiamata ArcCtalog (v8.0). Il rilascio della suite

ArcGIS costituisce un cambiamento importante nella offerta del software Esri, allineando tutti i loro prodotti client e server in una sola architettura software nota come ArcGIS, sviluppata utilizzando gli standard COM di Microsoft Windows.

Una differenza importante è data dai linguaggi di programmazione disponibili per personalizzare o estendere il software per soddisfare le esigenze degli utenti particolari. Nella transizione verso ArcGIS, Esri ha abbandonato il supporto dei suoi linguaggi di scripting, Avenue e ARC Macro Language (AML), in favore di Visual Basic e il pieno accesso ai componenti di ArcGIS utilizzando gli standard COM di Microsoft. ArcGIS è progettato per memorizzare i dati in un formato proprietario RDBMS, noto come geodatabase. ArcGIS 8.x ha introdotto altre nuove funzionalità, tra cui la proiezioni on-the-fly della mappa e le annotazioni nel database.

- ***ArcGIS 9.x:*** ArcGIS 9 è stato rilasciato nel maggio 2004, includendo ArcGIS Server e ArcGIS Engine per gli sviluppatori. La versione include un ambiente di geoprocessing che permette l'esecuzione dei tradizionali strumenti di elaborazione GIS (come ritaglio, sovrapposizione e l'analisi spaziale) interattivamente o da qualsiasi linguaggio di scripting che supporta gli standard COM. Anche se il più popolare di questi è Python, altri sono stati utilizzati, in particolare Perl e VBScript. ArcGIS 9 include un ambiente di programmazione visuale, simile all' ERDAS IMAGINE's Model Maker è (uscito nel 1994, v8.0.2). La versione Esri si chiama ModelBuilder e, proprio come la versione ERDAS IMAGINE, consente agli utenti di collegare graficamente strumenti di geoprocessing in nuovi strumenti chiamati modelli. Questi modelli possono essere eseguiti direttamente o esportati in linguaggi di scripting che possono essere eseguiti in modalità batch (lanciata da una riga di comando), oppure possono subire ulteriori modifiche per aggiungere ramificazioni o looping.

  Il 26 giugno 2008, Esri ha rilasciato ArcGIS 9.3. La nuova versione di ArcGIS Desktop dispone di nuovi strumenti di modellazione e di funzioni di controllo di errori geostatistici, mentre ArcGIS Server ha migliorato le

prestazioni, e il supporto per la protezione role-based. Ci sono anche nuovi JavaScript API che possono essere utilizzati per creare mashup, e integrati sia con Google Maps o Microsoft Virtual Earth.

Al Summit 2008 degli Sviluppatori Esri, c'era poca enfasi su ArcIMS, ad eccezione di una sessione in transizione da ArcIMS per le applicazioni ArcGIS Server-based, che indica un cambiamento di punto di riferimento per Esri con ArcGIS 9.3 per applicazioni web-based mapping. [10]

Nel maggio 2009, è stato pubblicato Esri ArcGIS 9.3.1, che ha migliorato le prestazioni della pubblicazione di mappe dinamiche e ha introdotto una migliore condivisione delle informazioni geografiche.

- ***ArcGIS 10.x:*** nel 2010, Esri ha annunciato che quello che era stato precedentemente pensato come versione 9.4 sarebbe stata la versione 10 e sarabbe uscita nel secondo trimestre del 2010. La versione attuale è la 10.1, uscita nel Giugno del 2012.

A.2.2 Geodatabase

I vecchi prodorri Esri, incluso AcrView 3.x, lavoravano con dati nel formato shapefile. ArcInfo Workstation ha gestito le coperture, memorizzate le informazioni sulla topologia sui dati spaziali. Le coperture, introdotte nel 1981, quando è stata rilasciata per la prima volta ArcInfo, hanno delle limitazioni nel modo di gestire i tipi di caratteristiche. Alcune funzioni, come ad esempio strade con incroci stradali o sovrappassi e sottopassi, devono essere gestiti in modo diverso rispetto ad altri tipi di caratteristiche.

ArcGIS è costruito attorno al geodatabase, che utilizza un approccio object-relational database per la memorizzazione dei dati spaziali. Un geodatabase è un "contenitore" per lo svolgimento di set di dati, legando insieme le caratteristiche territoriali con gli attributi. Il geodatabase può anche contenere informazioni sulla topologia, e può modellare il comportamento di funzioni, come ad esempio intersezioni stradali, con regole su come le caratteristiche siano legate l'una all'altra. Quando si lavora con geodatabase, è importante capire come funzionano

le classi di funzioni che sono un insieme di funzioni, rappresentate con punti, linee o poligoni. Con gli shapefile, ogni file può gestire solo un tipo di funzione. Un geodatabase può memorizzare diversi tipi di funzioni all'interno di un file.

I geodatabase in ArcGIS possono essere memorizzati in tre modi diversi: come "geodatabase file", "personal geodatabase", e "geodatabase ArcSDE". Introdotto con la versione 9.2, il file di archiviazione delle informazioni geodatabase memorizza in una cartella denominata con estensione gdb . L'interno è simile a quello di una copertura, ma non è, in effetti, una copertura. Simile al personal geodatabase, il geodatabase file supporta solo un singolo editor. Tuttavia, a differenza del personal geodatabase, non c'è praticamente alcun limite di dimensione. Per impostazione predefinita, ogni singola tabella non può essere superiore a 1 TB, ma questo può essere cambiato. I personal geodatabase archiviano i dati in file di Microsoft Access utilizzando un campo BLOB per memorizzare i dati geometrici. La libreria OGR è in grado di gestire questo tipo di file, per convertirlo in altri formati di file. Le attività di amministrazione di database per i personal geodatabase, come ad esempio la gestione di utenti e la creazione di copie di backup, possono essere svolte attraverso ArcCatalog. I personal geodatabase, che sono basati su Microsoft Access, si eseguono solo su Microsoft Windows e dispongono di un limite di 2 gigabyte di dimensione. I geodatabase di livello aziendale (multi-user) sono trattati con ArcSDE, che si interfaccia DBMS di fascia alta come Oracle, Microsoft SQL Server, DB2 e Informix per gestire gli aspetti di gestione di database, mentre ArcGIS è trattato con la gestione di dati spaziali. I geodatabase di livello aziendale supportano la replica del database di supporto, il controllo delle versioni e la gestione delle transazioni, e sono cross-platform, in grado di girare su Linux, Windows , e Solaris.

Pubblicato anche nella versione 9.2 è il database personale SDE che opera con SQL Server Express. I database personal SDE non supportano l'editing multi-user, ma garantiscono il controllo delle versioni e l'editing disconnesso. Microsoft limita il database SQL Server Express a 4 GB.

A.2.3 Componenti

ArcGIS per Desktop è caratterizzato da varie applicazioni integrate, tra le quali ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox e ArcGlobe.

ArcCatalog è l'applicazione di gestione dei database, usato per visualizzare diversi elementi: dati e file sul proprio computer, database, o elementi provenienti da altre fonti. Oltre a mostrare i dati disponibili, ArcCatalog permette agli utenti di visualizzare in anteprima i dati su una mappa. Inoltre fornisce anche la possibilità di visualizzare e gestire metadata per i dataset apaziali.

ArcToolbox contiene gli strumenti di geoprocessing, conversione dati e di analisi. E' possibile inoltre usare il batch processing con ArcToolbox, per funzioni ripetute frequentemente.

ArcMap è il principale componente del pacchetto ed è usato principalmente per vedere, editare, creare e analizzare data geospaziali. Permette all'utente di esplorare un dataset, di dare una simbologia alle caratteristiche visualizzate e di creare mappe.

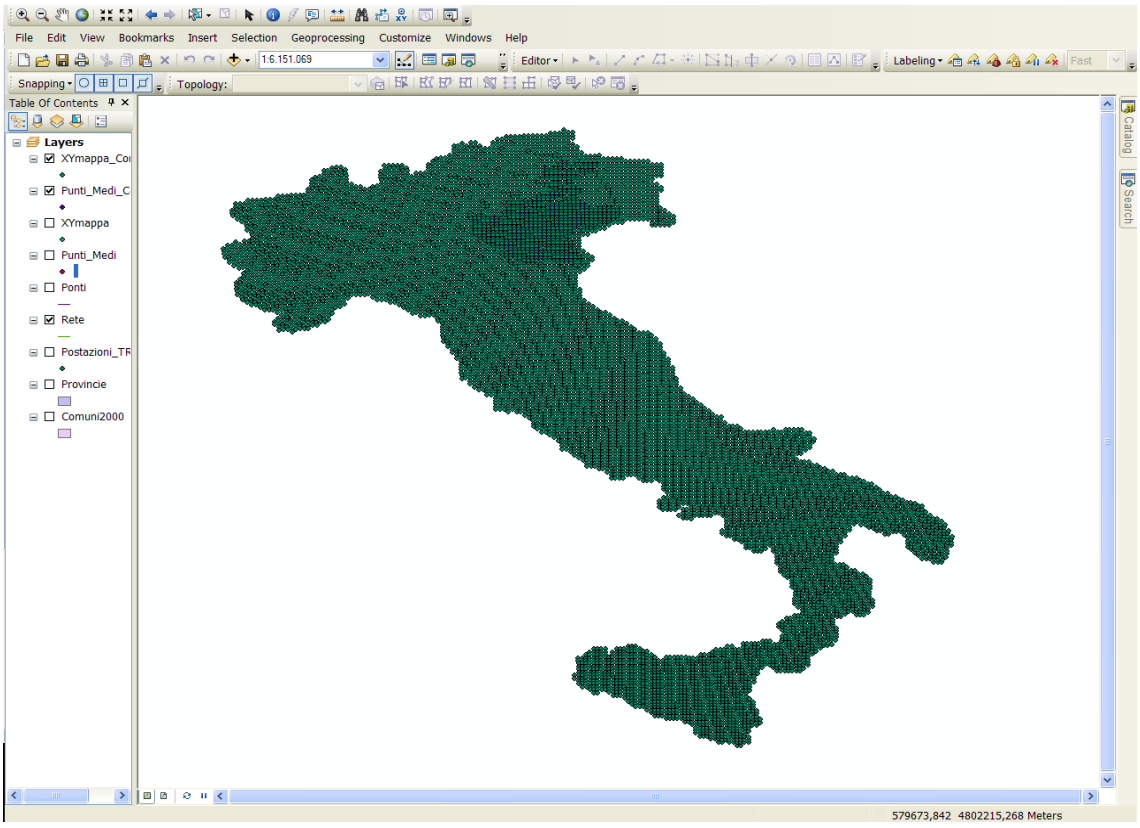


Fig. A.7 Schermata di ArcMap

A.2.4 Estensioni

Vi sono un buon numero di estensioni software che possono essere aggiunte ad ArcGIS per garantire funzionalità aggiuntive, tra le quali si segnalano: 3D Analyst, Spatial Analyst, Network Analyst, Analista Survey, Tracking Analyst e Geostatical Analyst. Numerose estensioni sono state sviluppate da terze parti, come ad esempio ST-Link PgMap XTools e MAP2PDF per la creazione di pdf geo-referenziati (GeoPDF).

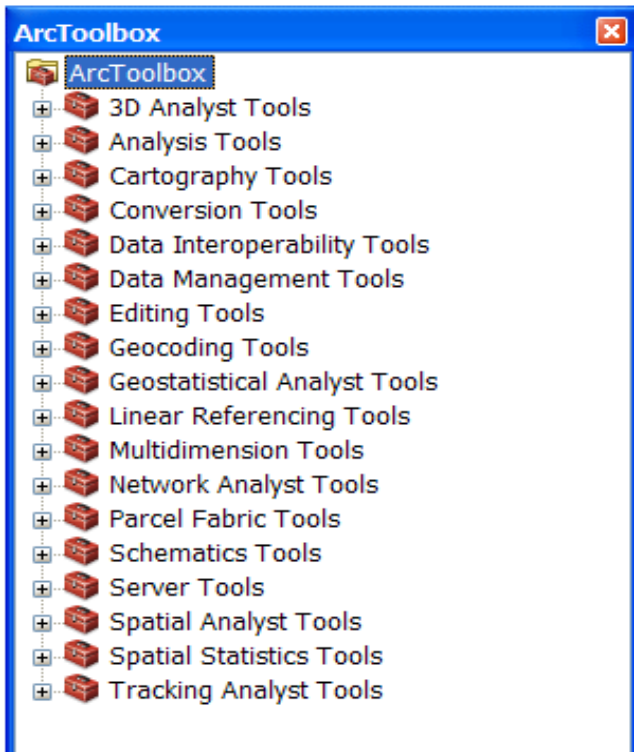


Fig. A.8 Dettaglio della finestra di ArcToolbox con tutte le estensioni

A.2.5 Versione 10

L'ultima versione del programma Esri presenta dei miglioramenti rispetto alle versioni precedenti.

- Presenza di nuovi strumenti per la condivisione dei dati e dei servizi, per l'analisi delle tendenze all'interno di un insieme di dati complessi e per rendere più facile l'uso dei prodotti. Tra le numerosissime novità nei prodotti desktop:

- Modifica di qualsiasi aspetto o componente di una mappa e gestione delle informazioni riferibili ai singoli oggetti geografici (feature-level metadata);
- Accesso ai nuovi strumenti per l'analisi spaziale, quali l'autocorrelazione spaziale, in grado di permettere la creazione di modelli di previsione e offrire una migliore lettura delle informazioni geografiche;
- Gestione ancora più semplice di consistenti collezioni di immagini e dati raster;
- Gestione dei completa di dati Lidar nel formato LAS contenenti nuvole di punti, superfici e raster.

- ArcGIS Server è una componente centrale del sistema ArcGIS. E' infatti il motore che, nelle infrastrutture geospaziali, consente agli utenti di trasformare rapidamente qualsiasi risorsa GIS in un servizio estremamente veloce, affidabile e utilizzabile su web, sistemi desktop e qualsiasi tipologia di dispositivo portatile. Tra le numerose novità in ArcGIS Server 10.1:

  - Architettura nativa a 64-bit su Windows e Linux;
  - Utilizzabile su infrastrutture fisiche, virtualizzate e cloud o in qualsiasi altra combinazione;
  - Notevole incremento delle prestazioni;
  - Gestione semplificata;
  - Ancora più affidabile.

- Esri continua a supportare un numero eterogeneo di ambienti di sviluppo e di API per lo sviluppo di applicazioni. Con il rilascio di ArcGIS 10.1 gli sviluppatori potranno disporre dei nuovi *ArcGIS Runtime SDKs for WPF* e *for Java* SDK, una nuova tecnologia che permette di creare applicazioni di ingombro ridotto, in grado di offrire elevate prestazioni e semplici da installare.

APPENDICE B

TIPOLOGIA DI COORDINATE

L'evoluzione delle conoscenze geografiche, la scoperta dei nuovi mondi e lo sviluppo cartografico sono progrediti parallelamente. Le carte dei navigatori del 500 avevano una notevole precisione; ciò dipendeva però esclusivamente dalla bravura del cartografo in quanto non esisteva un metodo matematico unificato per rappresentare il globo terrestre o una porzione dello stesso.

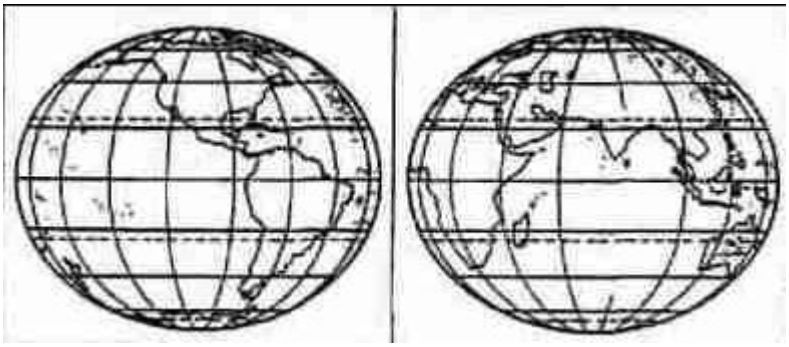


Fig. B.1 Globo terrestre

Nel 1549 Mercatore studiò una proiezione geografica che prenderà il suo nome.

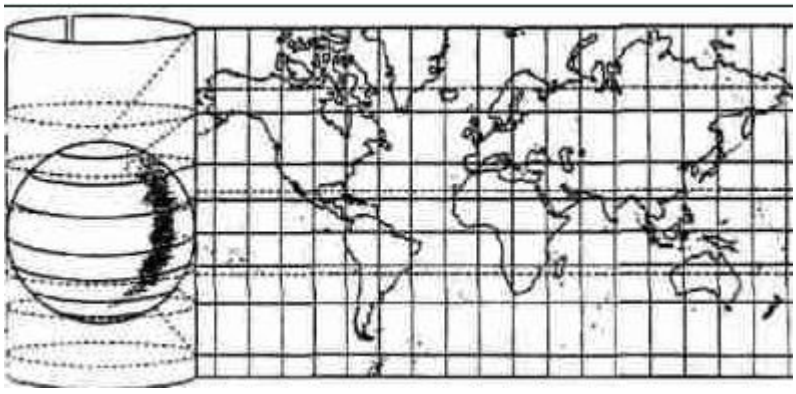


Fig. B.2 Proiezione geografica di Mercatore

Nasce così un metodo matematico di proiezione cartografica. Si evidenzia immediatamente che il vero limite della rappresentazione non è la precisione del cartografo, ma l'impossibilità di rappresentarla geometricamente. La Terra ha una

forma irregolare; è un ellissoide appiattito ai poli con uno schiacciamento di circa 20 chilometri. Possiamo quindi paragonarla ad una sfera di Km 6.370 di raggio che però è impossibile proiettare su di un foglio senza deformarla (Fig. B.3).

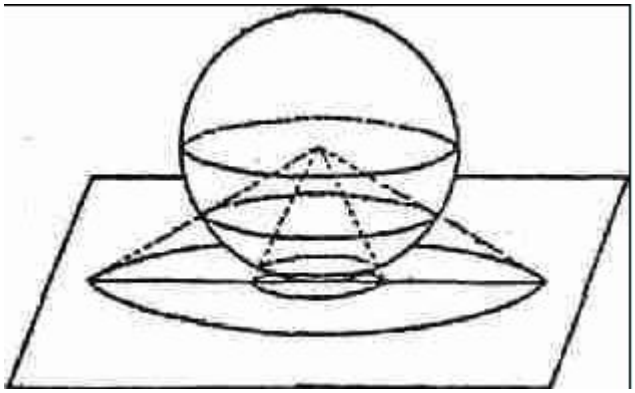


Fig. B.3 Proiezione di una sfera su un piano

I continenti, se proiettati su un piano, si deformano e perdono o i contorni reali o quelli angolari o quelli lineari. Se vogliamo fare una carta che sia esatta per almeno uno di questi tre parametri, gli altri due, inevitabilmente, cambiano. Per esempio: per calcolare la rotta di una nave, il capitano deve avere una carta isogona: in altre parole una cartina in cui gli angoli, fra i punti misurati, siano gli stessi della realtà. Questa carta è conforme rispetto agli angoli, ma le distanze e le aree misurate sulla stessa sono imprecise. Viceversa un geometra necessita di una carta catastale le cui aree equivalgono a quelle reali. Nelle carte catastali però angoli e distanze sono sfalsati. Se vogliamo una carta equidistante, in cui la distanza fra due punti sia perfettamente in scala rispetto alla realtà, le aree e gli angoli che leggeremo su questa carta saranno deformati. Non esiste una carta geografica ideale (afilattica) perché tutte le proiezioni, cioè i metodi per riportare la terra o parte di essa su un foglio, creano delle deformazioni. Possiamo affermare che le carte geografiche non sono una porzione di territorio in scala, ma un simbolismo grafico che rappresenta un territorio. Esistono dei metodi di correzione che permettono di ridurre l'errore; se si ottiene che questo sia uguale a quello grafico, possiamo considerare la carta, in sostanza, esatta.

B.1 Latitudine e Longitudine

Anche i cartografi antichi, autori di carte regionali e di carte del mondo (mappae mundi), dovettero tener conto del fatto che la Terra è una sfera. I Greci derivarono dai Babilonesi l'idea di dividere il cerchio in 360 gradi. Nel II secolo a.C. il geografo greco Eratostene (~ 274-194 a.C.) fu il primo a calcolare la lunghezza della circonferenza terrestre. Sulla Terra i principali punti di riferimento sono i poli, situati alle estremità dell'asse terrestre e la circonferenza massima ad esso perpendicolare, l'Equatore (Fig. B.4).

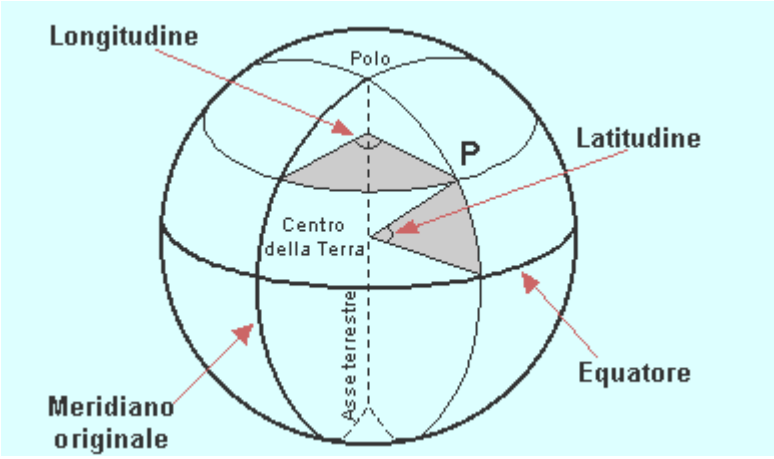


Fig. B.4 L'Equatore

Le circonferenze parallele all'Equatore, di lunghezza progressivamente minore andando verso i poli, prendono il nome di paralleli ed ognuno di questi si trova ad una latitudine che cresce dall'Equatore verso il Polo Nord (da 0° a 90° di latitudine Nord) e verso il Polo Sud (da 0° a 90° di latitudine Sud). L'insieme di semicirconferenze (360) che uniscono i due poli tagliando i paralleli ad angolo retto prendono il nome di meridiani e la loro posizione rispetto a quello fondamentale permette la misura della longitudine, che va da 0° a 180° est e da 0° a 180° ovest. Nel 1884, nel corso di una conferenza internazionale tenutasi a Washington, si scelse come meridiano fondamentale o meridiano zero quello passante per l'osservatorio di Greenwich (Londra) (Fig. B.5).

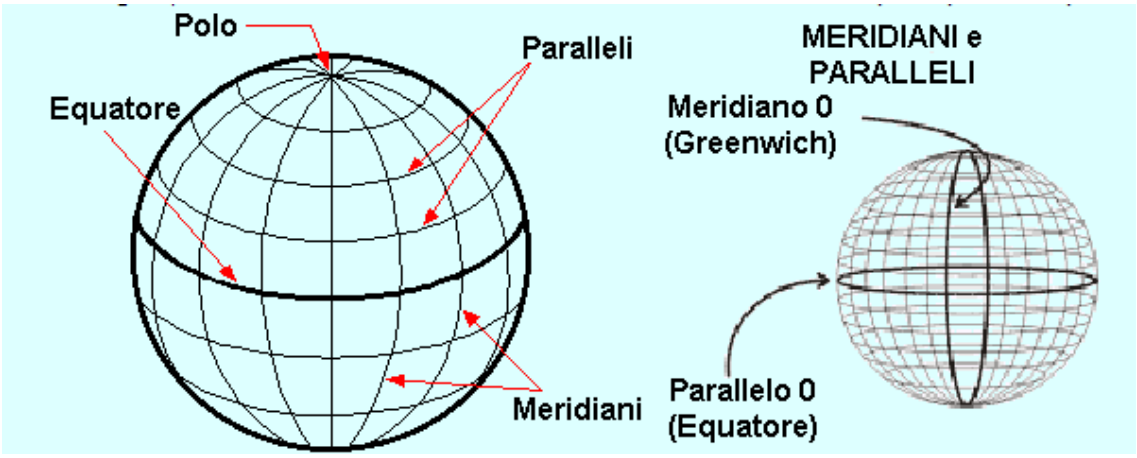


Fig. B.5 Meridiani e paralleli

Mentre sin dai tempi antichi è stato possibile determinare la latitudine misurando l'altezza del Sole sull'orizzonte o (nell'emisfero boreale) della Stella Polare di notte, determinazioni esatte della longitudine non furono possibili sino alla metà del Settecento, quando fu inventato il cronometro e si poté disporre di tavole astronomiche più esatte.

B.2 I fusi orari

Un fuso è l'area compresa fra due Meridiani. Il fuso che comprende Greenwich è stato scelto come fuso zero per il tempo legale. Il globo è stato diviso in ventiquattro fusi, ognuno dei quali è sfalsato di un'ora, rispetto agli adiacenti. Ad esempio, quando a Greenwich sono le dodici nel fuso successivo sono le tredici, perciò, quando a Londra è mezzogiorno a Roma sono le tredici e a Mosca sono le quattordici essendo Mosca due fusi ad est di Greenwich. Per comodità i fusi non sono stati tracciati esattamente lungo i Meridiani, ma si sono seguiti i confini fra gli Stati. Alcune nazioni, come l'Arabia Saudita, non hanno adottato il sistema dei fusi orari ed hanno un'ora locale mentre altri Paesi, come l'India, hanno adottato un orario sfasato di mezz'ora anziché di un'ora (Fig. B.6).

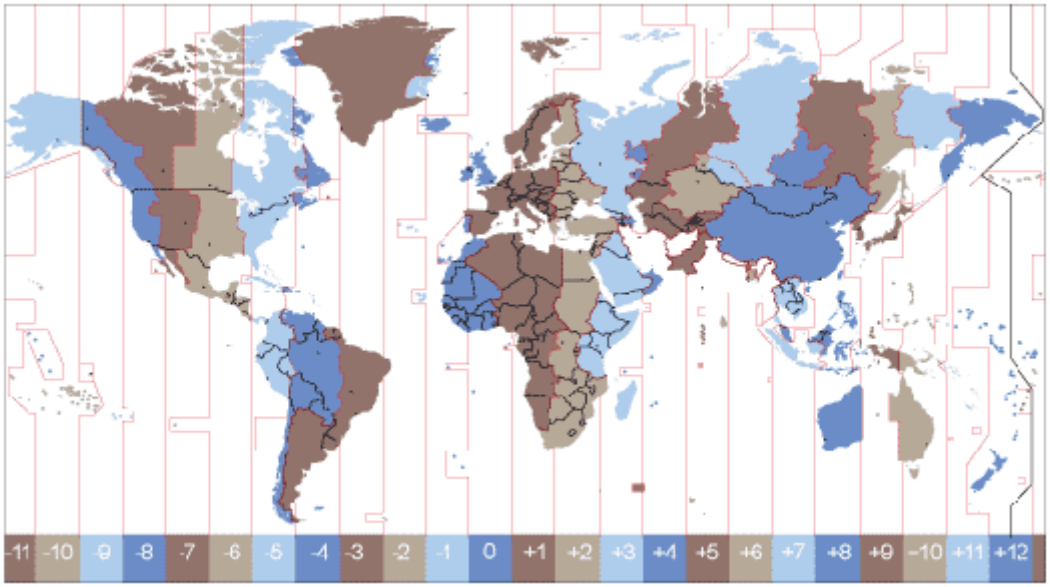


Fig. B.6 Mappa dei fusi orari

B.3 Le coordinate geografiche

Ogni incrocio fra un meridiano e un parallelo stabilisce un punto sul globo terrestre. Se diamo i valori del meridiano e del parallelo che passano per un punto, identifichiamo immediatamente un punto ed uno solo che sarà l'incrocio tra quel meridiano e quel parallelo; queste sono le coordinate geografiche del punto. Se invece di riferirci al Meridiano di Greenwich poniamo come meridiano di riferimento quello passante per Monte Mario (Roma), avremo le coordinate geografiche nazionali. Ai vertici di una qualsiasi carta geografica I.G.M.I. troverete scritti i valori espressi in gradi, primi, secondi, della latitudine e della longitudine dei vertici stessi. Se la carta è a colori i valori scritti in viola fanno riferimento al meridiano di Greenwich, quelli scritti in nero al meridiano di Monte Mario. La longitudine di Monte Mario è 12° 27' 08",40 (Fig. 7) Rispetto al sistema internazionale, ed è ovviamente questo valore che differenzia la longitudine scritta in nero e in viola nelle carte I.G.M.I. a colori.

B.3.1 Come calcolare le coordinate geografiche

I valori del meridiano e del parallelo che definiscono le coordinate geografiche del punto, si leggono sul bordo della carta; lungo la verticale si legge la latitudine mentre lungo l'orizzontale si legge la longitudine. Si riporta un esempio di carta I.G.M.I. - 1:25.000. (Fig. B.7)

Fig. B.6 Coordinate geografiche: latitudine e longitudine

Il bordo della tavoletta è marcato da segmenti bianchi e neri (non vanno considerati i numeri in grassetto, ne il reticolo); ogni segmento rappresenta l'ampiezza di un primo di grado (1: 60° di grado). Una carta in scala 1: 25.000 copre cinque primi in latitudine e sette primi e trenta secondi in longitudine. Per determinare le coordinate del luogo interessato si devono tracciare le parallele ai bordi della carta passanti per il punto (l'ortogonalità deve essere perfetta e non si deve usare assolutamente il reticolo, ma occorre tracciare due rette nuove). Si ottengono due punti sui lati più vicini al punto. Questi due punti danno un valore di latitudine sul verticale e di longitudine sull'orizzontale. Si prende il valore della longitudine del verticale più vicino (nel nostro caso sarà il vertice in alto a sinistra): 0° 38'.

Si contano i segmenti che dal vertice arrivano al punto sull'orizzontale e si sottrae il loro numero ricordando che ogni segmento vale un primo (nel nostro caso: un primo e mezzo). Si devono poi calcolare i secondi, cioè quel tratto che va dal punto sull'orizzontale e il primo segmento. Per fare ciò si deve misurare il tratto suddetto con un righello, poi misurare quanto è lungo un segmento che esprime un primo e dividerlo per 60. In questo modo si ottiene la lunghezza di un secondo. Un primo è lungo mm 47, diviso 60 si ottiene mm 0.78. Ogni secondo è, quindi, lungo mm 0.78. Il tratto è mm 20 Quindi 20/0.78 = 25,6 cioè 25 secondi e sei centesimi di grado che si possono trascurare. 25 sono i secondi da sottrarre per avere la longitudine del punto (0° 38' - 1' 30" - 25" = 0° 36' 05"). Il calcolo della latitudine è il medesimo.

B.4 Le coordinate UTM

Se per le coordinate geografiche, l'origine è sempre il parallelo passante all'equatore per la latitudine, e il meridiano passante su Greenwich per la longitudine, per le coordinate chilometriche UTM non è così.

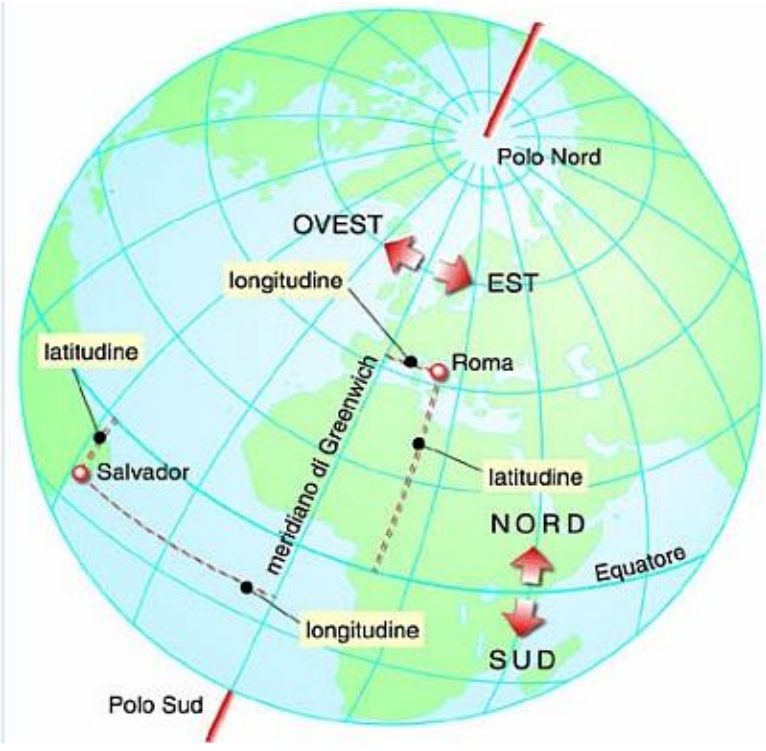


Fig. B.7 Rappresentazione del globo terrestre con origine delle coordinate geografiche

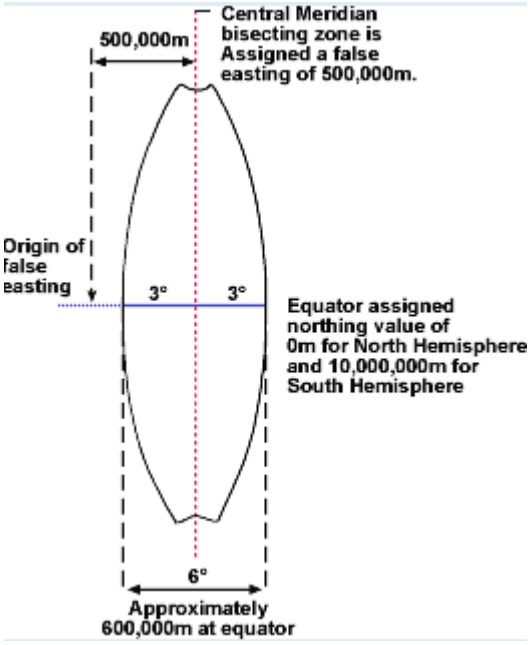


Fig. B.8 Rappresentazione di un fuso UTM avente una larghezza di 6°

Per la longitudine l'origine è il meridiano passante per il centro del fuso (nella figura la linea verticale rossa tratteggiata) e, per convenzione viene assegnato un valore di 500000 metri (falso est). Un esempio: se mi trovo su un qualsiasi punto della linea tratteggiata la coordinata di longitudine sarà sempre 0500000; se ora mi sposto di un metro in direzione ovest la coordinata diventerà 0499999. Se invece mi sposto di un metro in direzione est la coordinata sarà 0500001. Per la latitudine l'origine è l'equatore (linea orizzontale azzurra) e, sempre per convenzione viene assegnato un valore di 0 metri per l'emisfero nord (il nostro) e un valore di 10000000 metri per l'emisfero sud (falso nord). Esempio: se mi trovo esattamente all'equatore, la mia coordinata di latitudine sarà 0000000; se mi sposto di un metro in direzione nord la coordinata sarà 0000001. Se invece mi sposto in direzione sud, sempre di un metro, la coordinata sarà 9999999.

B.5 Differenze tra sistemi di coordinate

In questo paragrafo si mettono a confronto i tre sistemi di coordinate utilizzati per l'Italia.

- ***Sistema Gauss-Boaga (Roma40)***

  E' basata sulla proiezione di Gauss ed è riferita all'ellissoide di Hayford orientato a Roma M.te Mario (datum"Roma40"). Utilizza i seguenti parametri:

  - 2 fusi (I e II) di ampiezza ~6°, che coprono l'intera penisola con alcune estensioni
  - False origini: N=0 km; E1=1500 km; E2=2520 km
  - Fattore di contrazione: m=0,9996

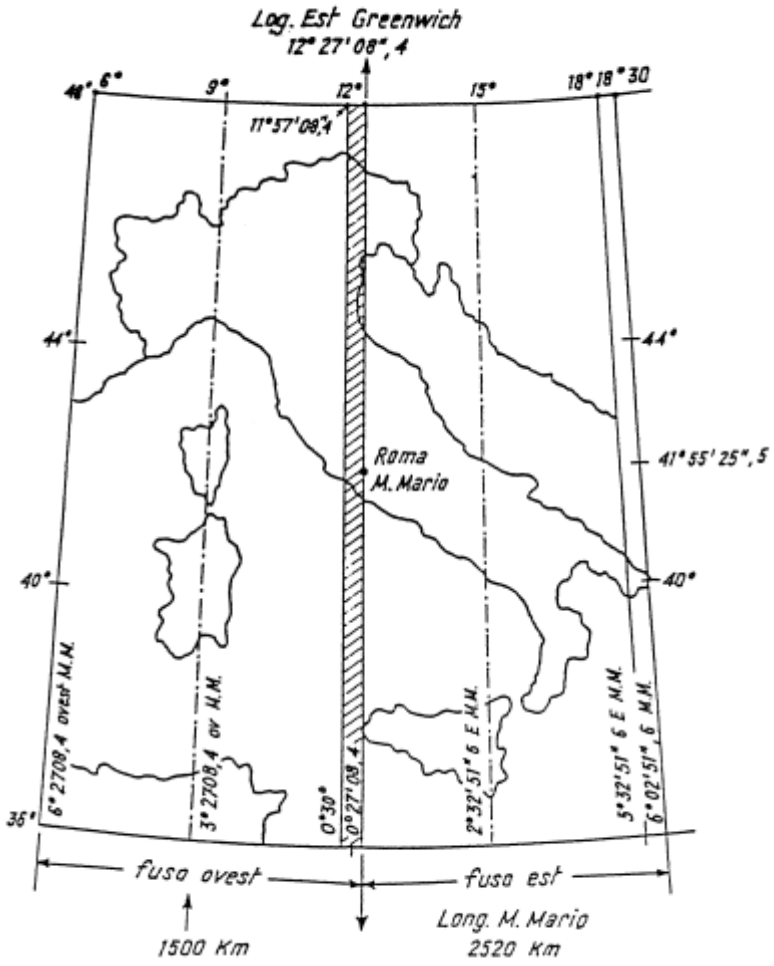


Fig. B.9 Sistema Gauss-Boaga

- ***Sistema UTM-WGS84 (ETRF89)***

  E' basata sulla proiezione di Gauss ed è riferita all'ellissoide geocentrico WGS84-datum ETRF89, materializzata in Italia tramite la rete IGM95. Utilizza i seguenti parametri:

  - 3 fusi "italiani" (32,33,34) di ampiezza ~6°
  - False origini: N=0 km E=500 km
  - Fattore di contrazione: m=0,9996
  -

Fig. B.10 Sistema UTM-WGS84

- ***Sistema UTM-ED50***

  E' basata sulla proiezione di Gauss ed è riferita all'ellissoide di Hayford orientato a Postdam (Germania) nel 1950.

  E' il sistema delle "tavolette" 25k dell'IGM ed è scarsamente utilizzato in altri tipi di carte tecniche.

  Utilizza gli stessi parametri di UTM-WGS84.

Fig. B.11 Sistema UTM-ED50

B.5.1 Differenze tra UTM-WGS84 e Gauss-Boaga (Roma40)

Si tratta di due sistemi di coordinate cartografiche piuttosto simili:

- entrambi basati sulla proiezione di Gauss;
- entrambi proiettano la superficie terrestre su un piano per "fusi";
- entrambi presentano deformazioni cartografiche simili.

Differenze:

- Il sistema UTM è pensato per l'intero globo (suddivisione generale dei fusi) mentre Gauss-Boaga (1940) è stato pensato per l'Italia e dunque è specializzato per il nostro territorio.
- Ad esempio:
  - UTM è strutturato (per l'Italia) su 3 fusi, G.B. su 2
  - UTM ha le stesse false origini per tutti i fusi, G.B. le ha distinte
- Il riferimento geodetico (ellissoide di riferimento cambia):
  - Roma40 (ellissoide di Hayford orientato a M.te Mario/rete trigonometrica IGM)
  - WGS84-ETRF89 (ellissoide geocentrico WGS84, rete IGM95)

B.5.2 Convenienza nell'uso del SdR UTM-WGS84

Il sistema di riferimento UTM-WGS84 è dunque, a differenza del precedente Gauss-Boaga/Roma 40 (retetrigonometrica IGM):

- Preciso (incertezze sui vertici di rete di pochi cm invece che di diversi decimetri)
- I rilievi per la produzione e l'aggiornamento dei DbT sono inquadrati tramite GPS nella rete IGM95, a differenza di quanto avveniva in passato attraverso il collegamento topografico alla rete trigonometrica (le carte erano sempre disallineate e non sovrapponibili!)
- Stabile nel tempo
- Permette di inserire direttamente rilievi GPS

B.5.3 Trasformazioni tra i sistemi di riferimento cartografici

E' opportuno fare lo sforzo di trasformare i vecchi dati in UTM-WGS84 e non viceversa! Teoricamente si potrebbero applicare trasformazioni aventi validità generale sull'intero territorio nazionale. Praticamente tale operazione è impossibile, se si vogliono ottenere accuratezze sub-metriche:

- L'inquadramento della cartografia (vecchia e nuova) nel rispettivo SdR cartografico è realizzato tramite il collegamento ai vertici delle reti geodetiche (datum ellissoidico)
- I vertici delle reti geodetiche sono affetti dagli errori dovuti alla loro misurazione
  - Di ordine dm-m per la rete trigonometrica IGM (datum Roma 40)
  - Di ordine cm per la rete IGM95 (datum ETRF89)

Si procede dunque calcolando trasformazioni locali,
determinate sulla base di punti noti in entrambi i datum
geodetici

BIBLIOGRAFIA

TESTI CONSULTATI

- Majorana C., Modena C., Franchetti P., Grendene M. ,Secchi S., 2007, *Fondamenti di dinamica e di ingegneria sismica*, ed. McGraw-Hill
- Modena C., Franchetti P., Grendene M., 2004, *Linee guida per la progettazione ed esecuzione di ponti in zona sismica*, DCT - Università di Padova, pubblicazione a cura di Veneto Strade
- Mazzoni S., McKenna F., Scott M.H., Gregory F.L. et al., 2007, *OpenSees Command Language Manual*, The Regents of the University of California
- *Norme Tecniche per le Costruzioni*, D.M. 14 gennaio 2008 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
- *HAZUS-MH MR3, Technical Manual*. (Cited on pages 2 and 31.) Department of Homeland Security Emergency Preparedness and Response Directorate FEMA Mitigation Division. Washington, D.C., 2003
- Tecchio G., A.A. 2004-2005, *Valutazione della vulnerabilità sismica di ponti e viadotti*, tesi di laurea, relatore Prof. Ing. Modena C., correlatori Ing. Franchetti P. e Ing. Grendene M., Università di Padova
- Morbin R., A.A. 2008-2009, *Strategie di valutazione della vulnerabilità sismica di tipologie ricorrenti di ponti stradali*, tesi di laurea, relatori Prof. Ing. Modena C., Dott. Ing. Pellegrino C., correlatore Ing. Grendene M., Università di Padova
- 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
- Briseghella B., Siviero E., 2009, *Problematiche di adeguamento sismico nei ponti e nei viadotti*, Ordine Ingegneri – Ordine Architetti Provincia di Pordenone

- D'Ambrosio S., A.A. 2003-2004, *La valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in c.a. attraverso modelli teorici e sperimentazione al vero*, tesi di laurea, relatore Prof. Ing. Mazzolani F. M., correlatori Dr. Ing. Della Corte G., Dr. Ing. Fiorino L., Università di Napoli
- Nilsson E., 2008, , *Seismic risk assessment of the transportation network of Charleston, SC,* thesis approved by Dr. DesRoches R., Dr. Goodno Barry, Dr. Jacobs Laurence, Dr. Doyoyo Mulalo, Georgia Institute of Technology
- Polese M., 2002, *Un approccio a doppio livello per la valutazione della vulnerabilità sismica delle strutture in c.a.,* Università di Napoli
- Taccari L., A.A. 2007-2008, *Algoritmi di ottimizzazione concava per l'estrazione delle caratteristiche,* tesi di laurea, relatore Prof. Schoen F., correlatore Ing. Cassioli A., Università di Firenze
- Autori vari, 2006, *Study on early earthquake damage evaluation of existing buildings in Bucharest, Romania*, Technical University od Civil Engineering, Bucharest
- Shinozuka M., Feng M. Q., Kim H., Uzawa T., Ueda T., 2001, *Statistical Analysis of Fragility Curves,* University of Southern California

ARTICOLI CONSULTATI

- She T. H., Aouad G., Sarshar M., 1999, *A geographic Information System (GIS)-Based Bridge Management System,* Computer_Aided Civil and Infrastucture Engineering
- Autori vari, 2006, *Best practices of Bridge System Management-A synthesis,* ASCE
- Miyamoto A., Kawamura K., Nakamura H., 2000, *Bridge Management System and Maintenance Optimization for Existing Bridges,* Yamaguchi University
- YIN Zi-hong, LI Yuan-fu, Jian-GUO, LI Yan, 2011, *Integration Research and Design of the Bridge Maintenance Management System, Elsevier*
- Nanjo A., Kanjo N., Ueda K., Nozaki S., 2007, *A structure database and its application: Maintenance Information Management System And Bridge Management System of Hanshin Expressway, Structure and Infrastructure Engineering*
- *Wang L., Tang A., Ciu Y., Yang S., Zhan Z., 2009, Study of the development of Sihui Bridge management system,* World Congress on Software Engineering

- Liu H., 2008, *An efficient concrete bridge disease identification system based on sample database,* College of Information Science and Engineering, Shenyang, China
- Shan D., Fu C., Li Q., 2010, *Application of database technology in bridge condition assessment,* Southwest Jiatong University, Chengdu, China
- Ye W., Li S., 2009, *Research and design for distributed bridge data acquisition system,* Beijing Aeronautics and Astronautics University
- Shinozuka M., Masanoblu , 2005, *Effect of seismic retrofit of bridges on transportation networks*, Engineering Structures.
- Shinozuka M., Shiraki N., Moore J.E., Chang S.E., Kameda H., Tanaka S., Mar 2007, *System Risk Curves: Probabilistic Performance Scenarios for Highway Networks Subject to Earthquake Damage*, Journal of Infrastructure Systems, pp. 43-54.
- Shinozuka M., Zhou Y., Banerjee S., 2008, *Mechanistic quantification of RC bridge damage states under earthquake through fragility analysis*, Probabilistic Engineering Mechanics, 23, pp. 12-22
- Kim S., Shinozuka M., 2004, *Development of fragility curves of bridges retrofitted by column jacketing,* Elsevier
- Basu S. B., Shinozuka M., 2011, *Effect of ground motion directionality on fragility characteristics of a highway bridge,* Hindawi Publishing Corporation, Advances in Civil Engineering, Volume 2011, Article ID 536171, 12 pages
- Ambraseys N.N. e Bommer J.J., 1992, *On the attenuation of ground accelerations in Europe,* Earthquake Engineering, Tenth World Conference, Balkema, Rotterdam
- Iervolino I., Fabbrocino G., Manfredi G., 2004*, Un Metodo per la Analisi di Rischio Sismico a Scala Territoriale,* XI Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Genova 25-29 gennaio 2004
- Humbert N. and Viallet E., *An Evaluation of epistemica and random uncertainties included in attenuation relationship parameters,* 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China
- Costantino D., Seminara M.P., 2007, *Rischio sismico e struttura urbana minima: il caso di Messina,* Atti 11° Conferenza Nazionale ASITA
- Asterios L., Angelos L., Panagiotis P., *Seismic structural mechanics: vulnerability functions for bridges of Egnatia motorway in Northern Greece,* 11th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics, 2-5 Sept. 2009, Borovets, Bulgaria
- S. Giovinazzi & A. Nicholson, *Transport Network Reliability in Seismic Risk Analysis and Management, ECEE 2010*

- S. Giovinazzi & S. Lagomarsino, *Damage assessment of current buildings at territorial scale: a mechanical model calibrated on a macroseismic vulnerability model,* Interdisciplinary Workshop on Management of Earthquake Risks, August 28-29 2006, Zurich, Switzerland
- Catherine Berge-Thierry; Fabrice Cotton; Oona Scottia; Daphné-Anne Griot-Pommera; Yoshimitsu Fukushima, *New empirical response spectral attenuation laws for moderate european earthquakes,* Journal of Earthquake Engineering, 7: 2, 193 — 222
- J. Irizarry · N. Lantada · L. G. Pujades ·A. H. Barbat · X. Goula · T. Susagna · A. Roca, *Ground-shaking scenarios and urban risk evaluation of Barcelona using the Risk-UE capacity spectrum based method,* Bulletin of Earthquake Engineering Official Publication of theEuropean Association forEarthquake EngineeringISSN 1570-761X Volume 9 Number 2
- Riccardo Morbin, Carlo Pellegrino, Daniele Pontarin, Claudio Modena, *Influenza dell'Inclinazione in Pianta dell'Impalcato sulla Vulnerabilità Sismica di Ponti Stradali con Tipologia Ricorrente*, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, Università degli Studi di Padova, 2011
- Pitilakis et Al, *An advanced approach to earthquake risk scenarios: the case of Thessaloniki (Greece), Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction,* ISTANBUL – TURKEY, 30 MAY – 1 JUNE 2005
- Lantada N.1, Pujades L.G. 1 and A.H. Barbat, RISK SCENARIOS FOR BARCELONA, SPAIN, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, Paper No. 423
- Di Ludovico M., Prota A., Manfredi G., Nanni O., 2005, *Valutazione ed adeguamento sismico di ponti in c.a.: il caso di studio di un ponte sulla SA-RC*, ANIDIS 325, pp. 371-400
- Di Ludovico M., Prota A., Manfredi G., Nanni O., 2005, *Rinforzo sismico di una struttura in c.a. in scala reale: criteri di progetto e modellazione* , ANIDIS 402, pp. 1-12
- De Felice G., Giannini R., 2004, *Affidabilità sismica di ponti in c.a.: applicazione a viadotti autostradali*, ANIDIS, pp. 1-12
- Padgett, Jamie, 2002, *Risk based seismic life-cycle cost-benefit analysis for bridge retrofit assessment*, Engineering Structures
- Mackie, Wang, *Post earthquake bridge repair cost and repair time extimation methodology*, Engineering Structures

- Augusti G., Borri A., Ciampoli M., 1994, *Optimal allocation of resources in reduction of the seismic risk of highway networks*, Engineering Structures,16, pp. 485-497.
- Karlafitis, Konstantinos, *Fund allocation for transportation networks recovery following natural disasters*, Engineering Structures
- Lupoi, Franchin, *Seismic fragility analysis of structural systems*, Engineering Structures
- Mander J.B., *Fragility Curves Development for Assessing the Seismic Vulnerability of Highway Bridges*, sponsors: MCEER Highway Project/FHWA National Institute of Buildings Science (NIBS)
- Pinto P.E., Franchin P., Schotanus M.IJ., 2006, *Seismic Loss Estimation by Efficient Simulation*, Journal of Earthquake Engineering, vol. 10, pp. 31-44
- Pinto P.E., Franchin P., Lupoi A., 2006, *On the role of road networks in reducing human losses after earthquakes*, Journal of Earthquake Engineering, vol. 10, n. 2 , pp. 195-206.