

TRAIANO – Progetto per la Stima e la Riduzione della Vulnerabilità dell’Ambiente Costruito

Coordinatore: Prof. Edoardo Cosenza

Introduzione

Il progetto ha l’obiettivo di affrontare in maniera multidisciplinare ed innovativa la problematica della valutazione della vulnerabilità dei centri urbani, in modo da integrare tutte le informazioni di tipo geofisico, geologico, geotecnico, strutturale ed urbanistico che concorrono alla definizione degli scenari di danno.

Lo scopo finale del progetto è di fornire ai comuni uno strumento informativo territoriale che sia di supporto alle differenti fasi della gestione della problematica della vulnerabilità, ed il perseguimento di tale scopo è previsto grazie al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Definizione dell’input sismico atteso sulla base di modelli delle sorgenti sismiche potenzialmente attive e modelli di propagazione a scala regionale e locale; in pratica si fa riferimento ad analisi di scenari, con tre scenari di diversa rilevanza.
- Definizione degli effetti di sito con l’impiego di differenti metodologie, tanto numeriche quanto strumentali, e realizzazione di mappe di microzonazione basate su livelli di attendibilità collegati alla ricchezza della base dati.
- Classificazione del patrimonio edilizio in classi strutturalmente omogenee e definizione di mappe di vulnerabilità del costruito effettuata impiegando tanto metodi semi-quantitativi su classi di edifici, quanto sviluppando analisi di dettaglio di avanguardia scientifica su edifici in cemento armato, muratura e costruzioni archeologiche e monumentali.
- Metodologie innovative di riduzione della vulnerabilità basate su tecniche di trattamento dei terreni o rinforzo strutturale con applicazione di compositi avanzati.
- Costruzione di un sistema informativo territoriale (GIS) integrato con le banche dati disponibili presso gli enti territoriali e dotato di strumenti di calcolo semplificato che implementano i modelli sviluppati.

Si è scelto di fare riferimento, per l’applicazione in forma esemplificativa delle procedure e metodologie sviluppate, al comune di Benevento, opportunamente scelto per la sua collocazione in un’area ad alto potenziale sismogenetico, per le peculiarità morfologiche e stratigrafiche del sito e per la presenza di edifici di rilevanza storica ed archeologica.

Le attività del progetto e la suddivisione delle stesse fra le diverse unità di ricerca (UR) sono organizzate in 8 task (sottoprogetti), per i quali nel seguito è data una sintetica descrizione evidenziando gli obiettivi previsti, quelli conseguiti ed i risultati raggiunti (task 1 e 8 sono accorpati in quanto afferenti alla medesima UR e strettamente connessi nello svolgimento del progetto). L’integrazione delle attività svolte nei singoli task è garantita dal comune obiettivo di produzione di una piattaforma GIS contenente le diverse basi dati ed opportuni algoritmi relazionali fra le stesse per la valutazione della vulnerabilità urbana. Per consentire un adeguato scambio di informazioni e concordanza di intenti fra le diverse UR che lavorano al progetto, inoltre, sono periodicamente organizzate riunioni plenarie e fra sottogruppi

suddivisi in base all'intersezione degli obiettivi dei relativi task [G²S (geofisici, geotecnici, strutturisti); G³ (geologi, geofisici, geotecnici); GU (geologi, urbanisti); G² (geotecnici, geofisici); S³ (strutturisti del c.a., muratura, monumenti)].

Task 1: Cartografia di riferimento**Task 8: Sistema informativo territoriale per la gestione del rischio****Responsabile: R. Papa****Obiettivi previsti nei tre anni**

primo anno (Task 1)

- O1/1 Definizione della cartografia di base digitalizzata
- O1/2 Raccolta dai disponibili presso le amministrazioni riguardanti il patrimonio insediativo
- O1/3 Collegamento con banche dati a livello comunale
- O1/4 Definizione di possibili metodologie per il rilievo speditivo

terzo anno (Task 8)

- O8/1 Costruzione (implementazione) del GIS
- O8/2 Collegamento alle banche dati ed integrazione al SIT comunale
- O8/3 Rappresentazione di scenari di danno atteso

Obiettivi raggiunti

Tutti gli obiettivi previsti per il primo anno sono stati perseguiti ed in particolare per l'O1/1, è stata reperita la cartografia digitale del Comune di Benevento in formato vettoriale restituita su file DWG georeferenziati. Si sono, inoltre, acquisiti i piani particolareggiati Zevi-Rossi (1980) utili per il reperimento di dati riguardanti le caratteristiche del patrimonio edilizio degli ambiti urbani scelti quali aree per la sperimentazione operativa. Tali dati hanno contribuito anche alla definizione del O1/2, relativo alla raccolta di dati riguardanti il patrimonio insediativo, per il quale è stata considerata una parcellizzazione territoriale corrispondente alla suddivisione del territorio in sezioni di censimento e sono stati reperiti i relativi dati del censimento ISTAT '91. Tali dati hanno consentito di valutare, per elementi di aggregazione a scala superiore del singolo edificio, anche le epoche di costruzione e le altre caratteristiche del patrimonio edilizio. Per l'O1/3 sono stati avviati contatti con il C.E.D. del comune di Benevento per rendere possibile una integrazione tra la costruenda banca dati geografica del Progetto Traiano e il Sistema Informativo Territoriale comunale in via di implementazione. L'O1/4, relativo alla definizione di possibili metodologie di rilievo speditivo e alla definizione degli standard di strutturazione del GIS, ha pervaso costantemente tutte le altre fasi di lavoro ed è stato caratterizzato dalla costante interazione con le altre unità di ricerca. Sebbene non fossero previsti obiettivi per il secondo anno si è comunque continuato a lavorare alla strutturazione del GIS e per avviare la fase di popolazione dei livelli informativi. Si è operato per la ricostruzione del danno storico e sono in fase di svolgimento le attività di ricerca delle fonti per la determinazione storica del danno sismico. Per gli obiettivi del task 8, è possibile affermare che l'O8/1 è in fase di raggiungimento e gli altri riguarderanno le attività conclusive del progetto

Risultati conseguiti

Il principale risultato è riconducibile alla progettazione, realizzazione e popolazione del sistema informativo che rappresenta sincronicamente uno strumento di supporto alle attività di ricerca, l'ambiente per lo sviluppo degli scenari di danno, il principale prodotto consegnabile da trasferire ai gestori delle trasformazioni urbane e territoriali. La customizzazione del GIS, per un uso non esperto, rappresenterà l'ultimo impegno dell'UR all'interno del progetto. L'esempio di applicazione del GIS, nello stato attuale (marzo 2003) è disponibile su CD per i Referee.

Descrizione delle attività

È stata definita la struttura dei livelli informativi del GIS, che in funzione dei vari settori disciplinari e delle scale di analisi previste, costituiranno il collegamento grafico per la corretta georeferenziazione delle informazioni e, attraverso gli strumenti di analisi spaziale (select by theme), consentiranno il confronto tra le informazioni di livelli topologici distinti. Questo permetterà, nelle attività previste per l'ultimo anno di progetto, la definizione di procedure per il confronto dei dati relativi ai vari ambiti disciplinari e la mappatura del danno relativo agli scenari previsti.

Sono stati definiti i livelli topologici (LT) ed avviato il popolamento di livelli informativi (fig. 1.1) di base relativamente ai dati di pertinenza delle UR impegnate nei task 4 (LT puntuale relativo alla posizione dei sondaggi), 5 (LT puntuale relativo alla posizione dei siti di rilevamento dei dati sismici), 6 (LT poligonale relativo alla patrimonio edilizio degli ambiti di approfondimento) e 8 (LT poligonale relativo ai dati socio-urbanistici).

E' infine in fase di realizzazione un CD-Rom contenente l'attuale fase di avanzamento nella popolazione del GIS in grado di mostrare la struttura e le funzionalità generali del sistema.

Task 2: Definizione input atteso

Responsabile: G. Iannaccone

Obiettivi realizzativi nei tre anni:

- O2/1 Definizione e caratterizzazione delle zone sorgenti sismiche attive
- O2/2 Generazione radiazione accelerometrica
- O2/3 Modello velocità 3D dell'area del Sannio
- O2/4 Mappe di accelerazione PGA, spettri di risposta
- O2/5 Accelerogrammi sintetici
- O2/6 Implementazione GIS con i dati di Benevento

Obiettivi raggiunti

Sono state definite e caratterizzate le zone sorgenti sismiche relative ai terremoti del 1688, 1962, 1930; si sono prodotte le Mappe di accelerazione relative ai terremoti del 1688 (fig. 2.1) e 1930. Si è implementato un Modello di velocità bi-dimensionale relativo alla propaazione delle onde P a scala regionale, ed è stata effettuata la generazione della radiazione accelerometrica prodotta per l'ipotizzato meccanismo di faglia relativo all'evento del 1688.

Risultati conseguiti

Effettuando il confronto fra i valori di PGA calcolati con la simulazione e le leggi di attenuazione esistenti si evidenzia una maggiore attenuazione con la distanza dei valori di PGA determinati di quanto previsto dalle relazioni empiriche (fig. 2.2). Questo effetto è in parte attribuibile alla metodologia utilizzata che considera solo le onde S dirette non includendo il contributo delle onde di superficie.

Relativamente al sito, corrispondente alla città di Benevento, sono stati calcolati gli spettri di pseudo-accelerazione normalizzati per i cento episodi di rottura considerati. L'andamento della forma spettrale è compatibile con lo spettro EC8, i valori medi di ampiezza risultano essere in ottimo accordo per periodi superiori a 0.8 sec, per frequenze maggiori risultano leggermente sottostimati.

Descrizione delle attività

E' stato ultimato il lavoro di definizione dei parametri sorgente per i terremoti del 1688, 1930 e 1962. In particolare per l'evento del 1688 è stato effettuato un dettagliato studio che, in base a considerazioni geologiche, sismotettoniche e di interpretazione della distribuzione del danneggiamento, ha permesso di ipotizzare in modo ragionevole la posizione e dimensione della faglia responsabile del terremoto.

L'andamento spaziale dei valori di accelerazione calcolati sono stati confrontati con quelli previsti da relazioni empiriche. In particolare sono state considerate le curve di attenuazione proposte da Sabetta e Pugliese (1987) e da Spudich et alii (SEA 99). Oltre la classica Sabetta-Pugliese è stata utilizzata anche la relazione SEA99 in quanto ottenuta solo da una selezione di eventi con meccanismo di faglia diretta.

Task 3: Caratterizzazione geologica dell'area di studio

Responsabile: T. S. Pescatore

Obiettivi previsti nei tre anni

- O3/1 Acquisizione e organizzazione della banca dati geologici e definizione dei parametri GIS
- O3/2 Fase preparatoria alla cartografia digitalizzata
- O3/3 Rilevamento geologico di dettaglio all'interno del territorio
- O3/4 Produzione della carta litologica (scala 1: 25000) e litografica (scala 1: 5000)
- O3/5 Carta degli spessori della unità di copertura (alluvium, eluvium colluvium, detrito, macerato di frana, terreni di riporto ecc,)
- O3/6 Carta geologico-strutturale
- O3/7 Carta della franosità
- O3/8 Modello tridimensionale del sottosuolo
- O3/9 Carta dei complessi idrogeologici
- O3/10 Carta dei tipi litologici adoperati nella costruzione delle strutture storiche in elevazione
- O3/11 Implementazione GIS con i dati di Benevento

Obiettivi raggiunti

L'acquisizione ed organizzazione di banche dati esistenti ha permesso innanzitutto di definire e predisporre i parametri GIS, e di coadiuvare la fase preparatoria per la

cartografia digitalizzata. Sono stati effettuati nuovi sondaggi ed un rilievo geologico di dettaglio (scala 1:2.000). Si sono studiate, in particolare, le carote di 7 nuovi sondaggi realizzati in Contrada Cellarulo. È stato condotto, inoltre, un rilievo di dettaglio nell'area centro-occidentale della città per meglio interpretare i dati dei nuovi sondaggi.

Risultati conseguiti

I nuovi dati acquisiti hanno consentito la reinterpretazione delle stratigrafie dei numerosi sondaggi commissionati da vari enti nell'area in esame, e di distinguere una serie di unità stratigrafiche per la realizzazione di più modelli dell'assetto geologico-strutturale dell'area. I dati stratigrafici di sottosuolo e di superficie noti sono stati interpretati in termini idrogeologici per ricostruire un modello di circolazione idrica sotterranea dell'area e le possibili relazioni tra la falda e i corsi d'acqua Calore e Sabato ed emungimenti. Grazie allo studio stratigrafico geologico ed archeologico di depositi alluvionali, eluvio-colluviali ed antropici recenti ed attuali, inoltre, è stata individuata una successione di eventi vulcanici, alluvionali ed antropici che ha condizionato l'evoluzione morfologica recente ed attuale dell'area.

Descrizione delle attività

Le attività sono consistite essenzialmente nello studio per l'interpretazione dei sondaggi eseguiti e nella nuova valutazione delle informazioni esistenti da sondaggi pregressi, anche alla luce dei nuovi dati acquisiti. È stato avviato un utile ed indispensabile confronto con le altre UR che utilizzano modelli geologici, al fine di paragonare ed integrare le informazioni possedute ed arrivare ad un modello di sottosuolo quanto più attendibile, coerente ed utilizzabile agli scopi del progetto.

Si prevede di procedere con il rilievo geologico dell'area urbana per avere dati stratigrafici e tettonici su tutta la zona; si analizzeranno i sondaggi già eseguiti con l'ausilio di sondaggi da fare al fine di costruire una colonna stratigrafica con datazioni relative ed assolute e di valutare le variazioni di facies dei depositi nello spazio e nel tempo.

Task 4: Caratterizzazione geotecnica ed analisi della vulnerabilità sismica del sottosuolo **Responsabile: F. Vinale**

Obiettivi previsti nei tre anni

- O4/1 Caratterizzazione geotecnica dell'intera area beneventana
- O4/2 Analisi della vulnerabilità sismica globale dell'area beneventana e zonazione sismica di massima
- O4/3 Selezione dei siti campione e loro caratterizzazione geotecnica
- O4/4 Analisi della vulnerabilità sismica dei siti campione e linee guida per la microzonazione

Obiettivi raggiunti

È stata realizzata la caratterizzazione geotecnica dell'intera area beneventana, si sono svolte l'analisi della vulnerabilità sismica globale dell'area beneventana e la zonazione sismica di massima e sono stati selezionati i siti campione ed è stata svolta la loro caratterizzazione geotecnica.

Risultati conseguiti

- Definizione dell'architettura GIS in riferimento al livello geotecnico.
- Caratterizzazione geotecnica di massima dell'intero territorio beneventano attraverso la raccolta dei dati disponibili presso gli uffici tecnici comunali.
- Definizione di un modello di velocità 1D per 16 verticali distribuite sul territorio di Benevento.
- Esecuzione di tre nuovi sondaggi nelle aree campione (30 metri), uno ai piedi della collina del centro storico (Porta Rufina) e due nella zona di Rione Libertà con prove penetrometriche sia statiche che dinamiche, prelievo di dieci campioni indisturbati per l'esecuzione di prove cicliche e dinamiche di laboratorio e condizionamento del foro per l'esecuzione di prove Down-hole.
- Analisi numeriche sia monodimensionali che bi-dimensionali per la valutazione della RSL.
- Zonazione di massima dell'intero territorio beneventano.

Descrizione delle attività

Nell'ambito delle due aree campione è stata condotta una campagna sperimentale, tuttora in corso, per la determinazione del comportamento non lineare e dissipativo dei terreni incontrati nei primi trenta metri del sottosuolo. Da una prima analisi delle stratigrafie ottenute sono emerse alcune evidenze significative:

- Rilevante presenza di materiale di riporto con spessore anche dell'ordine dei 9 metri nella zona ai piedi dell'insediamento storico.
- Presenza di materiali non campionabili (ghiaie, e sabbie).
- Strato di torba di spessori di circa 50 cm nella zona di Porta Rufina.
- Individuazione del substrato (argilla pliocenica) a profondità tra i 10 e i 20 m.

Saranno eseguite prove di taglio torsionale statico e dinamico su provini prelevati dai campioni indisturbati. Per caratterizzare i terreni di riporto e la torba si intende procedere attraverso la preparazione di materiale opportunamente ricostituito in laboratorio, mentre per i materiali a grana grossa non campionabili non sarà possibile eseguire prove di laboratorio pertanto le caratteristiche di non linearità e smorzamento saranno desunte da correlazioni empiriche. La generalizzazione della caratterizzazione meccanica delle unità litologiche incontrate nelle aree campione sarà possibile grazie alla costruzione di opportune correlazioni tra prove in sito e prove di laboratorio su base locale.

Sono state condotte analisi numeriche monodimensionali lungo 16 verticali distribuite nel territorio comunale, con codici di calcolo del tipo Shake e derivati (Shake 91, EERA, Proshake), utilizzando in via preliminare l'accelerogramma di Sturno (Irpinia 1980) amplificato nelle ampiezze ($PGA = 0.38 g$). I risultati delle analisi monodimensionali sono stati sintetizzati in termini di spettro di risposta del segnale applicato al bedrock e di quello calcolato in superficie per ciascuna verticale. Gli spettri ottenuti sono stati raggruppati in quattro classi Al fine di valutare l'eventuale influenza della geometria del sottosuolo sulla risposta sismica free-field è stata effettuata un'analisi bidimensionale (utilizzando un codice F.E.M. (QUAD4-M)) su una sezione che attraversa la valle del Sabato nella zona S-E della città, per la quale sono disponibili diverse prove per la caratterizzazione dei terreni. Incrociando i risultati delle analisi effettuate è stato possibile proporre una carta di microzonazione

nella quale si distinguono 4 microzone (fig. 4.1). Al fine di fornire una carta completa delle microzone, resta comunque da effettuare uno studio più capillare, sfruttando una serie di verticali distribuite su un'area più estesa in modo da dare indicazioni dettagliate e complete per tutti i terreni del sottosuolo di Benevento.

Task 5: Acquisizione dati sismici in città e validazione effetti di sito

Responsabile: A. Rovelli

Obiettivi realizzativi nei tre anni

- O5/1 Installazione stazioni sismiche nell'area
- O5/2 Acquisizione ed elaborazione dati
- O5/3 Ri-posizionamento di alcune stazioni sismiche e funzioni di Green
- O5/4 Confronto fra le metodologie
- O5/5 Implementazione GIS con i dati di Benevento

Obiettivi raggiunti

Si è ottimizzata la posizione delle stazioni sismiche in città includendo aree di interesse monumentale e archeologico, e i rioni Capodimonte e Libertà, caratterizzati da diverse tipologie costruttive. Dal punto di vista geologico, sono state monitorate in dettaglio le formazioni geologiche potenzialmente responsabili di amplificazioni del moto sismico (le valli del Calore e del Sabato) e i terrazzi alluvionali Quaternari.

Si dispone già di stime delle amplificazioni locali sulle diverse unità affioranti. Per diversi siti investigati queste stime possono essere considerate definitive, vista la loro stabilità.

Sono stati selezionati numerosi eventi di debole magnitudo in aree sismogenetiche di interesse per la città, potenzialmente utilizzabili come Empirical Green's Functions.

Risultati conseguiti

Sono stati calcolati rapporti spettrali rispetto al sito di riferimento (Arco di Traiano), rapporti spettrali H/V su microtremiti e eventi sismici. Sono stati calcolate funzioni di trasferimento 1D con il metodo di Thomson-Haskell, che mostrano spesso un buon accordo con le stime empiriche. Nella figura 5.1 le curve in rosso rappresentano l'incertezza statistica (± 1 s.d.) della media dei rapporti spettrali convenzionali. La curva in blu è la funzione di trasferimento teorica 1D. Per la stazione di riferimento (ARC1) il confronto è effettuato rispetto al rapporto spettrale H/V.

Il confronto indica come un approccio basato su modellazioni numeriche 1D che simulino il comportamento dei terreni a diversi livelli di deformazione possa essere utilmente impiegato, in molti siti, per la previsione dei forti scuotimenti nella città.

Descrizione delle attività

- installazione stazioni sismiche all'interno dell'area urbana di Benevento;
- acquisizione e trattamento dei dati seguendo le classiche procedure spettrali su stazioni singole e rispetto ad una stazione assunta come riferimento.

Task 6: Vulnerabilità del centro urbano**Responsabile: E. Cosenza****Obiettivi realizzativi nei tre anni**

- O6/1 Individuazione delle tipologie per strutture in c.a., in muratura e monumenti
- O6/2 Attività di rilievo sul campo per aree campione
- O6/3 Definizione di schede per il rilievo
- O6/4 Definizione di modelli di calcolo, sofisticati e semplificati ed esecuzioni di analisi parametriche
- O6/5 Validazione dei modelli mediante l'esecuzione di prove su elementi strutturali in c.a. caratteristici: nodi e colonne
- O6/6 Esecuzione di prove su tavola vibrante per elementi strutturali in muratura
- O6/7 Riclassificazione del costruito secondo criteri basati su modelli di risposta
- O6/8 Analisi di emergenze monumentali (Arco di Traiano)
- O6/9 Linee guida per la classificazione ed il rilievo del patrimonio edilizio urbano
- O6/10 Linee guida per la vulnerabilità delle emergenze archeologiche ed architettoniche
- O6/11 Mappe di vulnerabilità
- O6/12 Implementazione GIS con i dati di Benevento

Obiettivi raggiunti

Sono state individuate le tipologie per edifici in c.a., in muratura e monumentali, sono state messe a punto schede di rilievo per le stesse (v. allegati) ed è stato effettuato il rilievo per la quasi totalità degli edifici nelle aree campione e per i monumenti. Sono stati definiti modelli di calcolo sofisticati ed eseguite analisi con gli stessi per edifici campione delle tipologie edilizie in c.a. e muratura, e per il monumento chiesa di S. Sofia. Sono state definite le procedure di valutazione per analisi di vulnerabilità a larga scala con modelli meccanici semplificati per edifici in c.a. e muratura e tali modelli sono in fase di implementazione. La metodologia stabilita per i beni monumentali si fonda, invece, su una classificazione tipologica dei monumenti e sull'attribuzione ad i manufatti di opportuni indici di vulnerabilità. Tutte le metodologie mirano a fornire una relazione analitica tra la severità del sisma e la distribuzione probabilistica per livelli di danno. Sono state eseguite prove su elementi strutturali in c.a. quali nodi e colonne progettati per soli carichi gravitazionali e particolari di ancoraggio degli stessi (barre lisce dritte o ad uncino).

Risultati conseguiti

Definizione classi tipologiche edifici in c.a. in base a fattori morfologico/geometrici distintivi per comportamento sismico e secondo una logica di analisi multilivello. Al livello di minor dettaglio le classi sono definite, oltre che dalla forma della pianta (informazione morfologica di base) dall'epoca di costruzione, dal numero di piani e dagli intervalli dimensionali dei lati della pianta (L e B per edifici rettangolari). È quasi completa la messa a punto di un modello analitico che consente di generare l'organismo strutturale (dimensioni e armature degli elementi, e caratteristiche meccaniche di resistenza e deformabilità degli stessi) per l'esecuzione di analisi speditive su edifici di geometria assegnata e per la valutazione della vulnerabilità di

classi di edifici. Si è effettuata l'analisi di push-over di dettaglio per uno degli edifici campione (fig. 6.1), e se ne sono interpretate le caratteristiche di rigidità, resistenza e duttilità globali grazie all'applicazione del metodo del sistema equivalente.

Per quanto riguarda gli edifici in muratura si sono individuati i parametri maggiormente significativi per il danno strutturale, e si è stabilita una correlazione fra la risposta dell'oscillatore elastico-plastico e quella dell'oscillatore degradante, in dipendenza della *durata* del moto del terreno. Parallelamente si è svolto uno studio numerico parametrico sulla risposta dinamica fuori dal piano di pareti murarie, individuando una procedura semplificata per la verifica a collasso, basata sull'uso di spettri di risposta in spostamento e sulla definizione di una opportuna rigidità e di un periodo proprio "efficaci". La procedura, che consiste in una sostanziale modifica ed estensione della procedura agli spostamenti proposta a suo tempo da Calvi (1997), è al momento applicabile a meccanismi semplici ed è allo studio l'estensione a casi più generali. Per uno degli edifici campione sono state eseguite analisi pushover di dettaglio (fig. 6.2). Le analisi pushover eseguite sono state anche utilizzate per una previsione preliminare della risposta dell'edificio considerando spettri da normativa.

La raccolta effettuata sul campo di dati sulle caratteristiche sismiche dei manufatti storico-monumentali del centro storico di Benevento, sulla base della scheda elaborata, ha permesso di sperimentare l'applicabilità della stessa e quindi, seppur in modo parziale, la validità della metodologia stabilita. Inoltre, una preliminare analisi in ambiente GIS dei dati raccolti ha fornito indicazioni sulla distribuzione tipologica dei fabbricati, le caratteristiche costruttive ricorrenti, i principali elementi di vulnerabilità, lo stato generale di manutenzione del costruito. L'analisi di dettaglio della chiesa di S.Sofia attraverso la modellazione FEM (fig. 6.3), sebbene sia stata per ora svolta in campo esclusivamente lineare, ha dato alcune prime indicazioni sul suo comportamento sismico: l'individuazione dei modi di vibrazione, la definizione delle zone più vulnerabili della costruzione, le interazioni tra i suoi vari elementi.

Descrizione delle attività

L'elaborazione delle risultanze del rilievo effettuato per gli edifici in c.a. di Rione Libertà e l'esecuzione di analisi parametriche con una prima versione (da ritrarre opportunamente per edifici progettati in zona sismica) del modello analitico implementato per analisi speditive per classi di edifici, hanno consentito di effettuare una ritrattura della scheda di rilievo inizialmente utilizzata per edifici in c.a., organizzandola secondo un approccio multilivello; essa può costituire una utile base per la formulazione di linee guida per il rilievo di edifici in c.a..

Al fine di individuare i parametri maggiormente significativi per il danno strutturale per edifici in muratura sono state effettuate analisi di regressione sui risultati di analisi nonlineari parametriche (input di più di 400 accelerogrammi su oscillatori a comportamento isteretico degradante (caratteristico delle murature soggette a rottura per taglio)). Per consentire l'esecuzione di analisi di push-over di dettaglio è stato necessario predisporre un idoneo pre- e post-processore per il codice a macroelementi SAM, utilizzato nell'analisi. Sono, inoltre, stati raccolti dati reperibili in letteratura sui valori limite di deformabilità angolare (drift) relativi a diverse tipologie murarie (risposta nel piano). I dati vengono elaborati in modo statistico, con

riferimento al drift corrispondente a: prima fessurazione per taglio, apertura delle lesioni, collasso incipiente. Tali valori vengono utilizzati come dati di input per la procedura sopra introdotta.

Nell'ambito delle attività volte alla valutazione della vulnerabilità del centro storico di Benevento (edifici storico/monumentali) si è prodotto un elenco completo dei manufatti monumentali del centro storico di Benevento (119 manufatti), provvedendo alla georeferenziazione degli stessi ed al rilievo dei dati sulla base della scheda elaborata, introducendo i dati in formato GIS. Per quanto riguarda la modellazione di dettaglio della chiesa di S. Sofia si è provveduto innanzitutto alla raccolta di materiale grafico-fotografico e bibliografico, che ha permesso di conoscere la geometria ed i principali aspetti costruttivi della chiesa, i suoi interventi e trasformazioni, i danni sismici subiti. Si è realizzato, quindi, un modello solido 3D in CAD, che è stato la base per la realizzazione del modello strutturale FEM di grande dettaglio. Per esso sono state eseguite alcune analisi preliminari (analisi lineare, analisi modale, analisi sismica) per la valutazione del comportamento sismico.

Task 7 Scenari di danno e metodi di riduzione della vulnerabilità

Responsabile: G. Magenes

Obiettivi realizzativi nei tre anni

- O7/1 Definizione dell'effetto, in relazione ai modelli di vulnerabilità sviluppati, di alcune tecniche di intervento per la mitigazione del rischio
- O7/2 Sistemi di riduzione della vulnerabilità mediante trattamento dei terreni
- O7/3 Valutazione degli scenari di danno per l'edificato in cemento armato di Benevento
- O7/4 Valutazione degli scenari di danno sulle chiese
- O7/5 Valutazione degli scenari di danno sul centro storico di Benevento
- O7/6 Aggiornamento degli scenari di danno a seguito di interventi di miglioramento sismico
- O7/7 Linee guida per l'impiego di compositi avanzati nella riduzione di vulnerabilità di strutture esistenti
- O7/8 Linee guida sui trattamenti dei terreni per la riduzione della vulnerabilità del sottosuolo

Obiettivi raggiunti

Lo sviluppo di procedure su base meccanica portato avanti per edifici in c.a. e muratura consente di poter valutare in maniera razionale e 'quantitativamente' l'effetto di tecniche di intervento per la mitigazione del rischio. Tali procedure sono in fase di taratura e permetteranno il prefigurare scenari di danno sul territorio. Gli scenari di danno per le chiese, invece, saranno basati su una procedura con approccio misto tipologico/semiempirico. L'esecuzione di prove su elementi in c.a. rinforzati in CFRP è alla base per la valutazione degli effetti di possibili interventi per la mitigazione del rischio.

Descrizione delle attività

Per quanto riguarda i sistemi di riduzione della vulnerabilità mediante trattamento dei terreni è in corso di reperimento materiale bibliografico ed è stata messa a punto una

strategia di analisi che verrà intrapresa a breve. La ricerca si muove seguendo due direttive: da una parte si pensa di costituire degli strati con una forte rigidità in modo che le onde sismiche vengano in parte riflesse, con attenuazione delle onde trasmesse in superficie, dall'altra si possono realizzare strati di materiale con fattori di smorzamento relativamente alti, in modo che il terreno sia di per se in grado di assorbire l'energia trasmessa da un terremoto.

Conclusione

Le attività svolte nei primi due anni del progetto hanno già consentito di raggiungere alcuni degli obiettivi prefissati per l'intero progetto. È stato definito, in particolare, l'input sismico atteso a Benevento sulla base di modelli estesi delle sorgenti sismiche potenzialmente attive per uno di tre ipotizzati eventi di differente magnitudo e per tale evento si sono generate le radiazioni accelerometriche ottenendo risultati attendibili anche in base al confronto con leggi di attenuazione note e con forme spettrali normative. Sono stati indagati gli effetti di sito e, sulla base di analisi numeriche mono e bidimensionali rese possibili grazie alla approfondita conoscenza delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo è stata proposta una microzonazione della zona comunale di Benevento. È stato classificato il patrimonio edilizio relativamente alle tre categorie di edifici in c.a., muratura e di manufatti storico/monumentali, ne è stato quasi completato il rilievo sulla base di schede opportunamente predisposte e sono in corso gli studi per la definizione di mappe di vulnerabilità con metodi semi-quantitativi e tipologici. Si è valutato l'effetto di alcune tecniche di rinforzo strutturale ed è in corso di costruzione un GIS integrato con le banche dati raccolte.

Nel corso del secondo anno, per aumentare la forza innovativa e multidisciplinare del progetto, sono stati creati dei Gruppi interdisciplinari che si riuniscono con maggior frequenza:

G²S (geofisici, geotecnici, strutturisti): per valutare e migliorare l'affidabilità ingegneristica degli accelerogrammi generati;

G³ (geologi, geofisici, geotecnici): per studiare sperimentalmente dal punto di vista geologico, geofisico e geotecnica alcune verticali di terreno giudicate particolarmente significative dai tre gruppi;

G² (geotecnici, geofisici): per studiare dal punto di vista numerico e sperimentale gli effetti di sito, confrontando le metodologie proprie delle diverse discipline

S³ (strutturisti del c.a., muratura, monumenti): per studiare metodologie semi-quantitative e di dettaglio che siano omogenee fra di loro; gli strutturisti del gruppo hanno interagito anche sul Progetto Liguria, su suggerimento dei Referee.

Figure

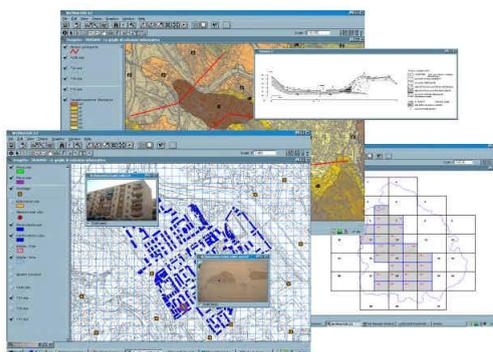


Figura 1.1. Struttura del GIS e popolamento dei livelli.

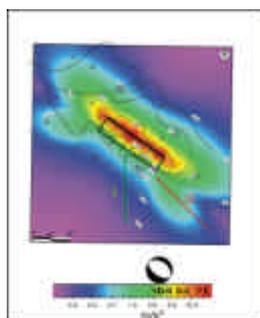


Figura 2.1. Scenario 1688.

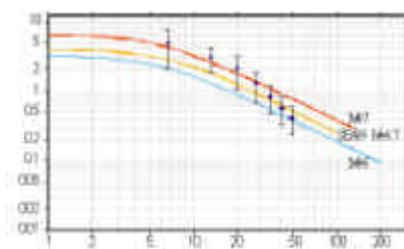


Figura 2.2. Profilo SE: attenuazione PGA stimate e leggi empiriche.

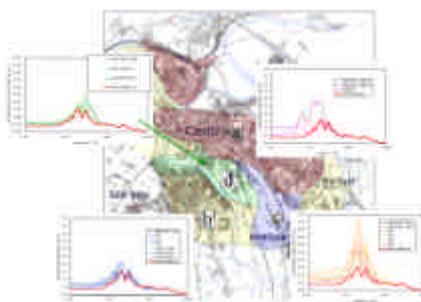


Figura 4.1. Microzonazione comunale proposta.

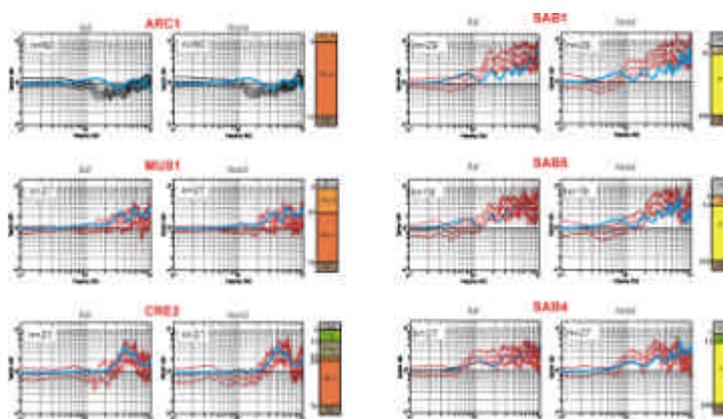


Figura 5.1. Funzioni di trasferimento teoriche 1D ed incertezze relative per diverse stazioni.

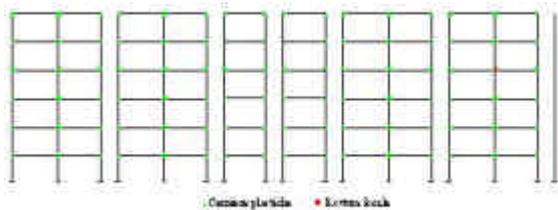


Figura 6.1 a). Treno di telai con indicazione delle cerniere plastiche e a rottura.

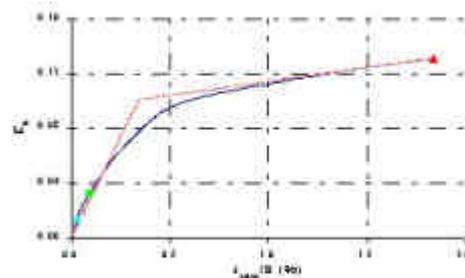


Figura 6.1 b). Curva di push-over con bilineare per trasformazione MDOF-SDOF.

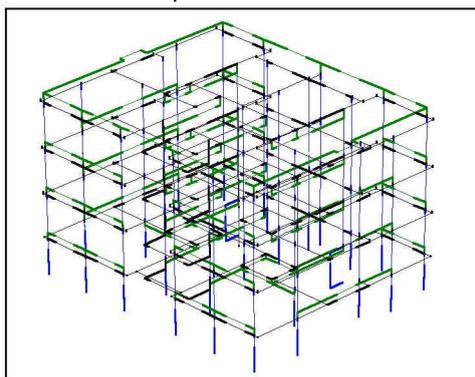


Figura 6.2 a). Modello tridimensionale a macroelementi di un edificio.

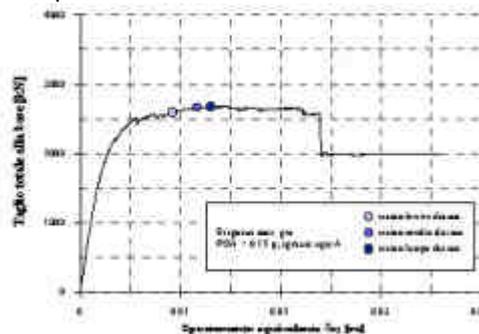


Figura 6.2 b). Curva pushover e stima della risposta massima dell'edificio.

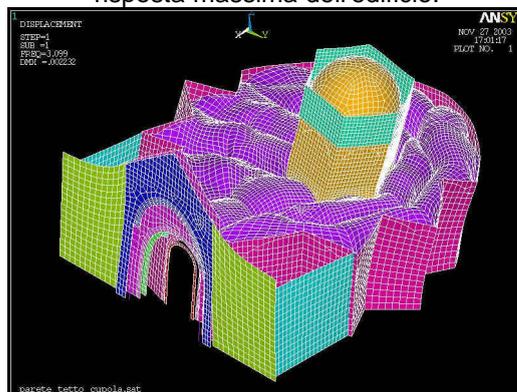
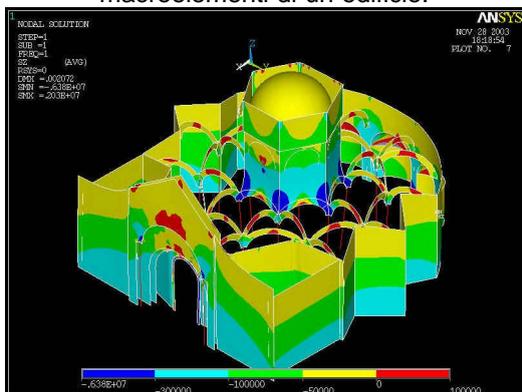


Fig.6.3. analisi lineare e sismica (1° modo) della chiesa di S.Sofia.