

Analisi di scenario nella Liguria occidentale e soluzioni per la conservazione dei centri storici

Coordinatore: Prof. Sergio Lagomarsino

Introduzione

Il progetto si propone mettere a confronto ed integrare diverse metodologie, consolidate ed innovative, per la costruzione di scenari di scuotimento, vulnerabilità e danno in aree di media estensione (circa 2000 km²), caratterizzate da un assetto geomorfologico complesso e dalla presenza di molti centri abitati, di dimensioni medio-piccole, sia di impianto antico che di recente urbanizzazione. Lo studio è applicato alla Liguria Occidentale, una regione di grande interesse per la sua storia sismica e la sismogenesi, per la varietà di potenziali effetti di sito e per le caratteristiche del costruito, nel quale emergono anche manufatti ed elementi di pregio.

Le Unità di Ricerca (UR) che partecipano al progetto sono le seguenti:

UR	Responsabile	Ente
1	EVA Claudio	DIPTERIS, Univ. di Genova
2	GUIDOBONI Emanuela	Storia Geofisica Ambiente s.r.l.
3	FACCIOLI Ezio	DIS, Politecnico di Milano
4	BINDA Luigia	DIS, Politecnico di Milano
5	BAGGIO Carlo	DiPSA, III Università di Roma
6	MAGENES Guido	DMS, Università di Pavia
7	LAGOMARSINO Sergio	DISEG, Università di Genova
8	DALAI Maria Luisa EMILIANI	Dip.to di Storia dell'Arte, <i>La Sapienza</i> di Roma

1. Sismicità e caratterizzazione delle sorgenti

Responsabile: Claudio Eva

Le attività previste riguardano il miglioramento delle conoscenze della sismicità per la definizione dei terremoti di scenario. Ciò ha comportato: 1) la revisione dei terremoti storici, con approfondimenti delle ricerche d'archivio degli eventi più significativi che hanno interessato la Liguria Occidentale; 2) la revisione della sismicità strumentale registrata da reti sismiche, con determinazione dei parametri focali (magnitudo, momento, meccanismi di sorgente); 3) correlazioni fra sismicità e strutture, con calcolo delle eterogeneità della crosta tramite inversione tomografica.

a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Sono stati studiati i terremoti del 1818, 1819, 1831, 1854 e 1887 per un miglioramento delle informazioni sulla sorgente sismica e dei livelli di danno. (UR2)
- Raccolta di tutte le informazioni relative alla sismicità strumentale del territorio e raccolta delle forme d'onda dei terremoti degli ultimi dieci anni anche ai fini

dell'analisi delle eterogeneità laterali della crosta. (UR1)

- Raccolta di tutte le informazioni su profili sismici a riflessione (mono e multi-canale) e a rifrazione, eseguiti lungo il margine continentale del Mar Ligure. (UR1)
- Correlazioni fra strutture e sismicità e predisposizione di una zonazione sismica della Liguria Occidentale da utilizzarsi ai fini della valutazione dell'*hazard*. (UR1)

b) Attività svolta nel secondo anno

- Per cercare di meglio definire l'area sorgente del terremoto del 1887, è stato preso in esame il terremoto del 19 luglio 1963, per il quale era noto un epicentro strumentale ed un PQ con 70 località italiane (NT e DOM, 1997). Lo studio ha portato a valutare 463 località, consentendo di avere un quadro della propagazione di notevole dettaglio, in relazione all'epicentro in mare (87 km dalla costa). (UR2)
- Proseguimento della ricerca sulla sismicità storica, attraverso l'esame della documentazione conservata all'Archivio di Stato di Torino e all'Archivio di Stato di Imperia, sez. di San Remo. E' migliorata la conoscenza del quadro amministrativo determinatosi dopo il terremoto, caratterizzato da una notevole burocrazia e frammentazione decisionale. Si è aggiunta una località danneggiata (Poggio). (UR2)
- Sulla base dei dati strumentali raccolti, la UR1 ha eseguito:
 - a) Un'analisi tomografica della crosta del Mar Ligure e della Liguria Occidentale, che ha messo in luce le forti eterogeneità laterali; i risultati ottenuti sono stati utilizzati per la modellazione del terremoto del 1887.
 - b) La sismicità strumentale è stata riparametrizzata tramite una nuova legge Mwe.
 - c) Avviata una ricerca su nuove legge di attenuazione basate su dati velocimetrici.
 - d) E' stata eseguita una revisione dei meccanismi focali dei terremoti della Liguria Occidentale, con determinazione della direzione dello stress regionale.

c) Risultati ottenuti

Gli studi avviati hanno portato alla determinazione di un quadro coerente della sismicità e delle strutture sismogenetiche nel Mar Ligure. Questo ha consentito di vincolare opportunamente i parametri ipocentrali della sorgente sismica responsabile del terremoto del 1887 e di modellare il processo di rottura-propagazione, considerando sia sorgenti puntuali che sorgenti estese. I risultati trovano una buona coerenza con il piano macrosismico permettendo altresì di utilizzare tale evento come terremoto di scenario. Va sottolineato che la modellazione ha tenuto conto delle eterogeneità crostali, derivate dalla tomografia sismica. La revisione della sismicità, le correlazioni sismotettoniche ed il campo dello stress hanno consentito inoltre la predisposizione di una zonazione alternativa ai fini del calcolo dell'*hazard*.

d) Attività prevista nel terzo anno

- Calibrazione dei valori di intensità più elevati (terremoto 1887), chiarendo se questi sono dovuti alla particolare vulnerabilità o alla topografia locale. A tal fine sarà approfondita la conoscenza dell'edilizia storica locale analizzando

paesi limitrofi con effetti diversi (anche due gradi di differenza) e diversa posizione orografica. (UR2)

- Miglioramento delle conoscenze sugli effetti macrosismici con riferimento ai caratteri della rete insediativa del 1887 e 1963 (distribuzione e scala demografica). (UR2)
- Archivio informatico, in ambiente GIS, delle fonti storiche (amministrative e scientifiche), dei danni ai monumenti, cartografia ed iconografia. (UR2)
- Analisi sismotettonica per la definizione di un secondo terremoto di scenario: in tal senso è prevista la revisione della sismicità associata alla linea Saorge-Taggia. Tale linea, responsabile di eventi minori sia nel diciannovesimo secolo (evento 1831) che in epoca più recente, potrebbe essere considerata come sorgente di un evento sismico di magnitudo medio-bassa. (UR1)

2. Moto sismico, effetti di sito ed interazione

Responsabile: Ezio Faccioli

Analisi dello scuotimento sismico del suolo, da impiegare per l'analisi della risposta e la stima del danneggiamento degli edifici, alle due scale: scala sub-regionale (Provincia di Imperia), scala urbana (Taggia). Nella scala sub-regionale, alle rappresentazioni deterministiche dello scuotimento (in intensità e PGA), viene associata anche una valutazione con modelli probabilistici. A scala urbana sarà condotto uno studio più approfondito di simulazione delle scosse sismiche di scenario, avvalendosi di registrazioni locali di piccoli terremoti.

a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Individuato il terremoto del 23 febbraio 1887 come terremoto di scenario, si è ipotizzata come struttura sismogenetica una faglia normale, a 20 km dalla costa e disposta parallelamente alla stessa, a cui è stato associato un valore di magnitudo pari a 6.3. Si è generato uno scenario deterministico di scuotimento sismico del suolo a scala regionale, ottenendo valori dell'accelerazione di picco molto bassi a paragone dei risentimenti macrosismici osservati in occasione dell'evento storico. (UR3)
- Analisi probabilistiche della pericolosità sismica sono state condotte nell'area di Arma di Taggia, come esempio della metodologia proposta. (UR1, Geodeco Spa)
- Per i centri abitati posti in posizione di alto topografico si sono osservati e potuti quantificare gli effetti amplificativi locali. (UR3)
- L'acquisizione e l'analisi di rumore sismico in Valle Argentina, in particolare l'interpretazione dei rapporti spettrali, ha condotto all'elaborazione di una mappa delle frequenze dominanti stimate di sito. (UR1)

b) Attività svolta nel secondo anno

- Si sono proposte due ipotesi per la sorgente del terremoto del 1887, una struttura sismogenetica perpendicolare alla costa e una parallela alla stessa; dal confronto degli scenari deterministici generati si osserva una buona concordanza con i risentimenti macrosismici per entrambe le strutture, a patto che il segmento di faglia si attivi a 20 km dalla costa e che ad esso si possa

associare un valore di magnitudo di 6.5 - 6.7. (UR3)

- Sono stati calcolati accelerogrammi sintetici ibridi, come somma di un segnale deterministico (generato con il metodo di HISADA per un profilo stratigrafico crostale da bibliografia), filtrato passa basso a 2Hz, e di un segnale stocastico (generato con il metodo basato sulle funzioni di Green empiriche), filtrato passa alto. Le analisi inducono a preferire come sorgente del terremoto del 1887 il sistema di faglie parallelo alla costa, a cui associare una magnitudo superiore a 6.5. (UR3)
- Gli accelerogrammi stocastici hanno come input registrazioni di piccoli terremoti verificatisi nel 2001, fornite dalla UR1.
- Dall'analisi di tutte le registrazioni sismometriche delle reti RSNI (Rete Sismica dell'Italia Nord-Occidentale) e RSLG (Rete Sismica della Lunigiana e Garfagnana) si sono individuati gli effetti di amplificazione locale in corrispondenza delle stazioni e si è calibrata una scala m_{Wa} (Wood-Anderson equivalente) per i siti in questione. Quindi si è costruita una legge di attenuazione per l'accelerazione di picco di eventi sismici di bassa energia.
- Le mappe morfologiche e litologiche alla scala di piano di bacino fornite dalla Regione Liguria (tramite UR7) sono state elaborate in modo da renderle compatibili con l'ambiente GIS (UR3). Si è curata la classificazione geotecnica. (UR3)
- Sono stati eseguiti in Valle Argentina due sondaggi geotecnici, con relative misure di velocità S e P con tecnica tomografica *downhole*. Le fasi dell'indagine sono state seguite delle UR1 e UR3.
- Sempre per la Valle Argentina si è completata la raccolta di dati relativa ai sondaggi presenti nel territorio. Si è ricostruito il profilo stratigrafico lungo una sezione trasversale della valle e lungo questa si sono stimate le funzioni di amplificazione, poi confrontate con le frequenze fondamentali di risonanza desunte dall'analisi del rumore sismico.
- Sono state definite le funzioni di amplificazione in corrispondenza dei sondaggi *downhole*, in modo da poter introdurre nell'analisi probabilistica della pericolosità gli effetti di amplificazione locale. (UR1)

c) Risultati ottenuti

- Conferma dell'identificazione della struttura sismogenetica associata all'evento del 1887, sulla base di analisi di diversa matrice.
- Caratterizzazione della risposta sismica locale per la Valle Argentina.

d) Attività prevista nel terzo anno

- Verrà generato lo scenario di scuotimento deterministico per un evento meno energetico (M 5.5), individuato come ripetizione del terremoto del 26 maggio 1831 sulla faglia Saorge – Taggia.
- Gli scenari di scuotimento saranno generati in termini di intensità macrosismica e di accelerazione di picco al suolo.
- Per la provincia di Imperia si potrà tenere conto delle condizioni di sito, così come descritte dalle carte litologiche dei piani di bacino.
- Gli stessi scenari verranno corretti considerando l'amplificazione topografica.

3. Censimento a scala sub-regionale e analisi di vulnerabilità

Responsabile: Sergio Lagomarsino

L'inventario dell'esposto vulnerabile (costruito ordinario, manufatti e beni di valore artistico e storico) rappresenta uno degli aspetti critici in un'analisi di rischio o di scenario; sarebbe infatti auspicabile utilizzare al massimo le banche dati esistenti, ma i modelli di vulnerabilità disponibili sono in genere legati a specifiche schede di rilievo, e ciò rende necessari rilievi *ad hoc*, con notevoli oneri. Questo obiettivo si propone, in primo luogo, di raccogliere i dati esistenti (Amministrazioni Pubbliche, Soprintendenza, bibliografia), strutturandoli in modo opportuno e georiferendoli in ambiente GIS (Task 7). Vengono quindi esaminati criticamente i modelli di vulnerabilità esistenti, proponendo nuovi metodi che facciano tesoro delle metodologie consolidate, ma che risultino applicabili alle diverse scale e con banche dati esistenti. La validità dei modelli proposti è ovviamente generale e non limitata alla realtà della Liguria Occidentale. In particolare, nel Task 3 vengono sviluppati modelli di vulnerabilità macrosismica, idonei per l'analisi a scala sub-regionale; nel Task 5 sono sviluppati modelli di vulnerabilità meccanica, adeguati per la scala urbana. Entrambi i modelli possono, comunque, essere utilizzati alle due scale ed il confronto tra i risultati forniti dai due approcci rappresenta uno dei contributi originali attesi dal progetto. Il patrimonio monumentale è trattato con una metodologia analoga, analizzando sia la vulnerabilità fisica dei manufatti architettonici, sia quella dei beni storico-artistici (affreschi, stucchi, ecc.); l'attenzione verso questi ultimi è finalizzata anche a stabilire un parametro di valore, utile negli scenari delle perdite.

a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Acquisizione dei dati disponibili sulla Liguria Occidentale, con riferimento all'esposto vulnerabile (costruito ordinario, popolazione residente): limiti amministrativi, sezioni censuarie (Regione Liguria); consistenza del costruito da dati ISTAT (forniti da Vincenzo Petri). (UR7)
- Acquisizione dei dati disponibili sul patrimonio culturale: elenco dei beni vincolati (Soprintendenza); PTCP - piano territoriale di coordinamento paesistico, con individuazione dei centri urbani di valore storico e di altri manufatti isolati (Regione Liguria); indagine bibliografica. (UR7)
- Analisi critica delle metodologie in uso per l'analisi di vulnerabilità del costruito ed impostazione di un nuovo modello di vulnerabilità macrosismica. (UR7)
- Rilievo delle chiese di Taggia, con la scheda elaborata dalla UR 7 a seguito del terremoto Umbria-Marche. (UR7)
- Mappatura dei beni artistici e storici, catalogati dalla Soprintendenza. Bibliografia ragionata relativa al patrimonio culturale dell'area in esame. (UR8)
- Scheda di rilevamento per l'analisi di vulnerabilità dei beni storico-artistici. (UR8)
- Rilievo di dettaglio dei beni storico-artistici nei manufatti dell'area di Taggia (30 chiese, 2 palazzi, 6 sagrestie, 2 conventi nei Comuni di Taggia, Badalucco, Bussana Vecchia e Castellaro). Sono stati schedati complessivamente: 51 altari, circa 1196 mq di dipinti murali, circa 569 mq di stucchi, 93 arredi fissi, 23 campane di diverse dimensioni, 8 organi, 62 elementi scultorei, 231 dipinti su tela di diverse dimensioni, 502 pezzi di suppellettile, 137 statue di diverse

dimensioni, 124 arredi mobili, 213 metri lineari di materiale cartaceo. (UR8)

b) Attività svolta nel secondo anno

- Definizione di una nuova metodologia di analisi della vulnerabilità, con un approccio macrosismico direttamente derivato dalla scala EMS 98 (*European Macroseismic Scale*); il metodo si basa sulla considerazione che la EMS 98 rappresenta già un modello di vulnerabilità vago (le quantità di edifici che subiscono determinati livelli di danno sono espresse in forma linguistica – *few, many, most*) ed incompleto (la distribuzione dei danni è fornita solo per i livelli prevalenti). Il modello è ottenuto grazie all'uso della teoria degli insiemi sfuocati (*fuzzy-set*) e proponendo una nuova distribuzione discreta dei livelli di danno (derivata dalla distribuzione β), più efficiente della ben nota binomiale. Il modello è validato da numerosi dati di vulnerabilità osservata; esso può essere usato alle diverse scale, con dati di diversa origine e dettaglio, riducendosi conseguentemente le incertezze nella stima dei danni. (UR7)
- Rielaborazione dei dati relativi al patrimonio monumentale a scala sub-regionale, consistente in: acquisizione delle schede di catalogo (ICR – Istituto Centrale per il Restauro) ed inserimento dei dati nel *data base* del patrimonio vincolato, elaborato nel 1° anno; georeferenziazione in ambiente GIS, grazie alla cartografia disponibile ed a fonti bibliografiche (la collocazione sul territorio è puntuale per oltre il 50% dei monumenti, mentre è riferita al baricentro del centro abitato nei rimanenti). (UR7)
- Modifica e messa a punto del tracciato schedografico per l'analisi di vulnerabilità degli beni storico-artistici. Definizione di procedure standard per il rilevamento fotografico documentario digitale. Revisione delle tipologie, definizione e strutturazione dell'area informativa relativa allo stato di conservazione ed al degrado. (UR8)
- Predisposizione di una banca dati relazionale "Apparati decorativi", in formato Access, per l'integrazione e la comunicazione di tutti i dati raccolti (mappatura del catalogato, riferimenti bibliografici, documentazione fotografica documentaria e interpretativa, censimento e analisi di vulnerabilità a scala sub-regionale). (UR8)

c) Risultati ottenuti

- Metodologia macrosismica per l'analisi di vulnerabilità del costruito ordinario, applicabile a scala sub-regionale con dati esistenti.
- Georeferenziazione del patrimonio monumentale, con creazione di una banca dati contenente le informazioni delle schede di catalogo (Soprintendenza).
- Scheda di rilievo della vulnerabilità dei beni storico-artistici a scala sub-regionale.
- Banca dati "apparati decorativi", con archivio delle immagini digitali.

d) Attività prevista nel terzo anno

- Controllo sistematico a campione della attendibilità dei dati ISTAT sul costruito nella Provincia di Imperia. Definizione di categorie di edifici (dai dati ISTAT) e valutazione dei loro parametri di vulnerabilità, secondo la metodologia messa a punto nel 2° anno (indice di vulnerabilità, modificatori di comportamento).
- Analisi di vulnerabilità e scenari di danni a scala sub-regionale.

- Analisi di vulnerabilità del patrimonio monumentale, con un approccio a due livelli: / livello – scala sub-regionale, modello nel Progetto Traiano); // livello – chiese nell'area di Taggia, modello a macroelementi messo a punto nel Progetto SAVE.
- Definizione e messa a punto dei parametri per la valutazione della rilevanza dei beni architettonici, per gli scenari di danno in termini di valore. (UR7-8)
- Integrazione delle schede di II livello per i manufatti architettonici e per gli apparati decorativi, al fine di mettere in relazione la vulnerabilità nei macroelementi della fabbrica con il rischio di danno ai beni storico-artistici. (UR7-8)

4. Classificazione tipologica e rilievo del costruito

Responsabile: Luigia Binda

I modelli di vulnerabilità, sia quelli derivati da un approccio macrosismico (Task 3) sia quelli che utilizzano modelli meccanici semplificati (Task 5), sono basati su una classificazione tipologica. E' evidente che questa classificazione deve essere affiancata da una conoscenza dettagliata degli aspetti peculiari del costruito nella regione. La finalità del Task 4 è individuare tipologie ricorrenti, caratterizzandone la vulnerabilità attraverso rilievi di dettaglio delle tecniche costruttive e prove in sito ed in laboratorio sui materiali. L'indagine è particolarmente importante per gli edifici in muratura nei centri storici, dove materiali e tecniche spesso cambiano in centri storici non lontani, ma è anche rivolta al costruito in c.a., realizzato senza norme sismiche.

a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Classificazione delle tipologie murarie (materiali ed apparecchiature), nei centri storici di Taggia (UR4-5), Baiardo (UR4) e Bussana Vecchia (UR5).
- Analisi di dettaglio del Convento delle Suore della Visitazione. (UR4)
- Prove in sito di caratterizzazione meccanica della muratura, a Taggia e a Baiardo: prove soniche, martinetti piatti, carotaggi, indagini di laboratorio sulle malte. (UR4)
- Analisi delle tipologie di edifici in muratura e meccanismi di accrescimento di un comparto a Bussana Vecchia. (UR 5)
- Raccolta di dati riguardanti gli edifici in cemento armato tipici del costruito nella Liguria Occidentale (tipologie strutturali, criteri di progetto, dettagli strutturali) da materiale bibliografico e d'archivio, nonché dai dati ISTAT. (UR6)
- Analisi storica dei danni subiti da alcune chiese a Taggia ed a Castellano, sulla base di ricerche d'archivio. Confronto tra i danni nel centro storico di Taggia a seguito dei terremoti del 1831 e del 1887. (UR2)
- Identificazione delle tipologie di apparati decorativi che caratterizzano lo spazio urbano dei centri storici (sopraporta, portali e stipiti scolpiti, edicole, fontane, intonaci di pregio ecc.). Delimitazione dell'area di indagine al centro storico di Taggia. (UR8)

b) Attività svolta nel secondo anno

- Per comprendere meglio il quadro degli effetti relativamente ai gradi di

intensità più elevati, dovuti al terremoto del 1887, sono stati cercati elementi della vulnerabilità edilizia al tempo. Le relazioni tecniche e scientifiche del tempo indicano un precario stato dell'edilizia nei paesi più colpiti, mettendo in luce vulnerabilità specifiche quali: i difetti di collegamento tra le murature; l'eccessiva pesantezza dei tetti (con lastre in ardesia); la presenza ai piani alti di volte molto pesanti; l'altezza eccessiva delle case, sproporzionata alle fondamenta e allo spessore dei muri portanti; la disomogeneità delle costruzioni, edificate in varie fasi; la presenza di danni sismici mal riparati; la povertà dei materiali usati. (UR2)

- *Comune di Taggia*. Sono stati terminati i rilievi dei paramenti e delle sezioni murarie; informazioni sulle caratteristiche tecnologiche e sullo sviluppo del centro storico sono state ottenute da dati d'archivio e da rilievi *in situ*. Completamento del rilievo e analisi storica del Convento delle Suore della Visitazione e della Chiesa di Santa Teresa, con individuazione delle zone maggiormente vulnerabili. Ulteriori prove soniche e prove con martinetto piatto; sui materiali prelevati negli stessi punti è stata eseguita in laboratorio la caratterizzazione chimica, fisica e meccanica. (UR4)
- *Comune di Baiardo*. Reperimento di documenti d'archivio e rilievo, nella parte più vecchia del centro storico, danneggiata dal terremoto dell'1887, dei monumenti (chiesa e Castello) e di un edificio in fase di restauro. Il rilievo ha riguardato le caratteristiche tecnologiche e morfologiche dei diversi elementi della costruzione (volte, porte, finestre, colonne, ecc.). È stato reperito il progetto di intervento, al fine di valutare la sua efficacia in ottica sismica. Sono state eseguite prove con martinetti piatti, prove soniche e prove di laboratorio su pietre e malte prelevate *in situ*. (UR4)
- Confronto tra i risultati delle prove di Taggia e di Baiardo, al fine di valutare le differenze nelle tecniche costruttive e nelle caratteristiche meccaniche della muratura (le malte usate a Baiardo, apparentemente terrose, sono risultate a base di calce idrata, anche se meno consistenti di quelle di Taggia). (UR4)
- Analisi dei percorsi storici, a scala territoriale, nell'area del Comune di Taggia: principali centri romani, strade romane (tra cui il tracciato della Iulia Augusta), ponti; la morfologia del territorio e le direttrici medievali risalenti le valli del Roja e dell'Argentina; sono stati ipotizzati antichi percorsi di crinale e utilizzando mappe storiche la viabilità locale intorno all'abitato di Taggia e al suo ponte. (UR5)
- Sono state reperite le mappe storiche dell'abitato di Taggia (Vinzoni 1758, catasto 1879) e si è tracciata l'evoluzione dell'abitato dal X al XX secolo. (UR5)
- Analisi tipologica dei percorsi urbani, con individuazione di tre tipi di tessuto: tessuto edilizio spontaneo su percorsi anulari (via Tages); tessuto edilizio pianificato su assi stradali rettilinei (via Lercari, via Spagnuoli); trasformazione di impianti medievali a corte, su lottizzazione agricola romana (via Lotti-via Anfossi). (UR5)
- Rilievi diretti di alcune unità abitative e reperimento di planimetrie, sezioni e prospetti dell'abitato in scala opportuna (1:200-500) per una parte consistente del nucleo storico di Taggia. Nota la consistenza dell'abitato storico (altezze degli edifici, spessori murari, aspetto esteriore), è stato prodotto un

planivolumetrico del centro. (UR5)

- Raccolta d'informazioni dettagliate (elaborati di progetto) su singoli edifici in c.a. nell'Imperiese, costruiti in diverse epoche (prevalentemente anni '60 e '70). (UR6)
- Predisposizione di un modello di rilevamento specifico per gli arredi urbani. (UR8)

d) Attività prevista nel terzo anno

- Classificazione tipologia delle murature, con individuazioni di parametri utili ad un rapido riconoscimento sul campo. Caratterizzazione meccanica dei diversi tipi murari, sulla base delle prove *in situ* eseguite nel 1° e 2° anno, anche in comparazione con i risultati di indagini analoghe eseguite in Umbria in altro Progetto GNDT. (UR2)
- Classificazione delle tipologie d'edificato, considerando i meccanismi di accrescimento e trasformazione; definizione di parametri utili al rapido riconoscimento.
- Censimento degli arredi urbani nel centro storico di Taggia, con rilevamento fotografico digitale. Informatizzazione dei dati. (UR8)

5. Modelli di vulnerabilità e scenari di danno

Responsabile: Guido Magenes

Per eseguire un'analisi di vulnerabilità omogenea e predisporre scenari di danno confrontabili, i modelli di vulnerabilità devono essere basati su un unico impianto concettuale per tutte le costruzioni (edifici in muratura, edifici in c.a., monumenti). Nel Task 3 vengono sviluppati ed applicati modelli di vulnerabilità macrosismica, di semplice utilizzo ed idonei per l'analisi a scala sub-regionale. Nel Task 5 viene invece definito un insieme di modelli di vulnerabilità meccanica, diversamente formulati per ogni tipologia di costruito e per l'analisi alle varie scale. Uno dei pregi di un approccio meccanico è la possibilità di considerare un'azione sismica in termini spettrali, con una valutazione del danno che tiene conto dell'interazione tra le proprietà dinamiche degli edifici e le caratteristiche geodinamiche del sito.

a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Applicazione preliminare di una procedura semplificata a base meccanica (Calvi 1999) per la valutazione di scenari di danno a scala urbana o territoriale, usando dati ISTAT relativi alla provincia di Imperia. (UR6)
- Sviluppo di un modello numerico per l'analisi dinamica non lineare di telai multipiano in c.a. che tenga conto del possibile danno nei nodi trave-colonna. Analisi non lineare preliminare su alcuni telai multipiano e valutazione dell'effetto del danneggiamento nei nodi (Calvi, Magenes a Pampanin, 2001 & 2002). (UR6)

b) Attività svolta nel secondo anno

- Formulazione di una nuova procedura, basata sugli stati limite di deformazione, per analisi di scenario (Glaister & Pinho, 2003). Calibrazione, tramite prove sperimentali, di un modello che simula l'interazione telaio-tamponature. (UR6)

- Analisi non lineari su telai multipiano con la simulazione di nodi "deboli" e presenza di tamponamenti. I modelli sono stati sviluppati tramite il codice di calcolo "Ruaumoko" (Carr, 2001). (UR6)
- Sviluppo di un metodo di analisi per costruzioni in muratura, basato sull'approccio *capacity-spectrum* (Hazus, 1999), ovvero sulla definizione di curve di capacità, associate ad ogni tipologia di costruzione in muratura (materiale, altezza), e nell'intersezione con la domanda spettrale del terremoto, opportunamente ridotta al crescere del danneggiamento. Confronto con il metodo macrosismico. (UR7)
- Rilievo dell'intero centro storico di Taggia, tramite una scheda speditiva (che non richiede l'accesso all'interno), contenente informazioni geometriche, sulla regolarità, sulla collocazione dell'edificio nell'aggregato, sulla presenza di presidi antisismici (catene, contrafforti, archetti, ecc.). I dati raccolti, compresa una documentazione fotografica, sono stati archiviati in ambiente GIS; essi potranno essere utilizzati per analisi di vulnerabilità sia di tipo macrosismico che meccanico. (UR7)

c) Risultati ottenuti

- E' stato valutato il ruolo del danneggiamento dei nodi trave colonna e dell'interazione telaio-tamponamenti nella risposta sismica di diverse configurazioni strutturali tipiche. I modelli di dettaglio su edifici prototipo, analizzati in campo dinamico non lineare, rappresentano un riferimento per la procedura semplificata a base meccanica, da utilizzare per la creazione degli scenari di danno. La nuova procedura proposta basata sugli stati limite di deformazione rappresenta un avanzamento rispetto a metodologie simili (ad es. Calvi, 1999), in quanto viene riconosciuta ed introdotta la mutua dipendenza della capacità di deformazione e del periodo efficace di vibrazione della struttura. (UR6)

d) Attività prevista nel terzo anno

- Completamento del rilievo degli edifici in c.a. di Arma di Taggia. Analisi di dettaglio di alcuni edifici rappresentativi. Applicazione della nuova procedura basata sugli stati limite di deformazione all'area studio. Valutazione degli scenari di danno e confronto con metodi basati sull'approccio macrosismico.
- Analisi di vulnerabilità e scenari di danno per gli edifici in muratura, sia a scala sub-regionale sia nel centro storico di Taggia, con il metodo sviluppato sull'approccio *capacity-spectrum*. Confronto con i risultati del Task 3.

6. Soluzioni tradizionali e innovative per la riduzione del danno

Responsabile: Carlo Baggio

Ci si propone di individuare interventi per il miglioramento sismico, caratterizzati da efficacia e compatibilità con le esigenze di conservazione, coerenti con le tecniche costruttive degli edifici della Liguria Occidentale. Il risultato sarà un *codice di pratica*, organizzato per schede che, oltre a descrivere con accuratezza gli aspetti progettuali ed esecutivi di ogni tecnica, metteranno in luce i principi meccanici da cui discende il miglioramento. Ipotizzando diverse strategie di intervento nelle due aree campione

(ad esempio attraverso l'adozione sistematica di interventi di incatenamento) sarà possibile rielaborare con i modelli di vulnerabilità lo scenario di danno, verificando quindi in modo diretto il risultato in termini di abbattimento del rischio.

a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Le attività del Task 6 sono iniziate nel secondo anno.

b) Attività svolta nel secondo anno

- La ricerca storica d'archivio ha portato al reperimento di una normativa tecnica, emanata con Regio Decreto 13 novembre 1887, contenente le regole da osservare nella ricostruzione e restauro degli edifici danneggiati; tra le numerose indicazioni di cita: i nuovi edifici devono essere costruiti su terreni "di non dubbia stabilità"; gli edifici pubblici (scuole, ospedali, municipi) non devono avere più di 3 piani di altezza; per le chiese si deve preferire la forma a basilica (è vietato "l'uso delle volte nelle navate"); la costruzione delle volte reali è consentita soltanto nei sotterranei; porte e finestre devono stare a non meno di m 1.5 dallo spigolo esterno dei muri perimetrali; le interruzioni nella continuità dei muri maestri (condotte, canne fumarie, ecc.) devono essere eseguite in modo da non pregiudicare "la solidità dei muri". (UR2)
- Analisi della vulnerabilità di un'aggregazione complessa di cellule su pendio, nella sua realtà tridimensionale, con particolare attenzione alle connessioni murarie. Su alcuni tipi di connessione sono state condotte analisi meccaniche con ANSYS: gli elementi *gap* permettono la modellazione 3D di assemblaggi murari complessi in cui è schematizzabile la tessitura degli elementi anche nello spessore. (UR5)

c) Risultati ottenuti

- La normativa emanata nel 1887, che raccoglie il frutto di una diretta osservazione dei danni prodotti dal terremoto sul costruito ligure, rappresenta un punto di partenza per lo sviluppo di un *codice di pratica* degli interventi di miglioramento sismico.

d) Attività prevista nel terzo anno

- Individuazione di tecniche tradizionali ed innovative per interventi di miglioramento sismico su costruzioni in muratura nei centri storici e per le chiese. Sviluppo di modelli di calcolo per la verifica di efficacia dei suddetti interventi. (UR2-4-5-6-7)
- Esecuzione di prove sperimentali in scala su tavola vibrante di alcune connessioni murarie elementari. Alla luce dei risultati sperimentali e numerici saranno proposti metodi di mitigazione della vulnerabilità, privilegiando quelli tradizionali. (UR5)
- Elaborazione di un *codice di pratica* per interventi sul costruito ligure. (UR4-5)
- Elaborazione di scenari di danno virtuali, sia a scala urbana che sub-regionale, simulando l'adozione di diverse strategie di prevenzione sul costruito (manutenzione programmata, miglioramento leggero sulle costruzioni di una data tipologia, interventi sulle costruzioni più vulnerabili, ecc.). Confronto con gli scenari di danno nella situazione attuale ed analisi costi-benefici. (UR7)
- Valutazione della compatibilità degli interventi di miglioramento sismico,

previsti nel *codice di pratica*, con la conservazione dei manufatti storico artistici. (UR8)

- Elaborazione di un protocollo operativo per la gestione dei beni storico artistici in emergenza volto alla mitigazione dei rischi di danneggiamento o dispersione. Tale protocollo prevede: l'individuazione e la predisposizione, in collaborazione con la Soprintendenza, di uno spazio da adibire a deposito temporaneo delle opere d'arte; la definizione delle procedure per la protezione dei beni fissi in caso di emergenza sismica; la valutazione della compatibilità dei pronti interventi strutturali con la conservazione delle opere. (UR8)

7. Gestione informatica dei dati

Responsabile: Vera Pessina

a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Sono stati raccolti, corretti ed inseriti nel GIS i dati disponibili: cartografia della Regione Liguria; censimento ISTAT del 1991 sulla popolazione; la localizzazione delle faglie; le mappe geologiche a scala 1:500.000 e 1:10.000 (solo per il comune di Taggia); il DEM (Digital Elevation Model) a scala 200x200m e 40x40m). (UR3-7)
- Si è proceduto ad un'analisi per l'adozione del software (ArcInfo e MapInfo) e si sono messe a punto procedure di compatibilità per lo scambio dei dati. (UR3)

b) Attività svolta nel secondo anno

- Due sono le finalità che hanno motivato un'evoluzione metodologica nella gestione informatica dei dati del progetto. Da una parte la necessità di tenere aggiornato lo stato delle informazioni disponibili e delle conoscenze raggiunte nei vari *task* ha portato alla creazione di un CD di dati omogenei e corretti, condivisibili tra le UR (per quelle che non dispongono di un GIS, si sono archiviati i dati in un formato compatibile con ArcExplorer, che è *freeware*). Dall'altro lato si è proceduto a definire la struttura del sistema informativo, per soddisfare le esigenze di visibilità/diffusione del progetto e di pubblicazione dei risultati. Per far ciò è stato necessario:
 - Proseguire nella raccolta organica degli strati informativi (strati uniformati in formato shapefile ArcView, ArcInfo e MapInfo; controllati e corredati di metadati, previo controllo del loro contenuto informativo).
 - Definire la struttura del *project* ArcView, per essere consultabile su CD e, in futuro, essere messo a disposizione ad un'utenza più vasta. Si è proceduto: 1) alla sua personalizzazione come *kiosk application*; 2) al progetto dell'architettura dati, secondo alcune informazioni scelte; 3) alla creazione di interfaccia *friendly-user*.
 - Creare il CD di dati da distribuire internamente al progetto, scegliendo quali informazioni rendere condivisibili tra le diverse UR.
 - Definire il contenuto dei metadati (livello di precisione, attendibilità e qualità degli strati informatici) e creare una scheda per la raccolta degli stessi. (UR3)

c) Risultati ottenuti

- Progetto del CD contenente tutti gli strati informativi raccolti ed elaborati. (UR3)

d) Attività prevista nel terzo anno

- Distribuire il CD dei dati alle UR e raccogliere pareri e critiche a riguardo, coinvolgendo le UR nella progettazione del GIS (decidere contenuti e struttura).
- Terminare la raccolta dei contenuti e degli stati informativi prodotti dalle varie UR.
- Compilare le schede dei metadati per ogni informazione che si intende distribuire.
- Esportare la struttura del GIS in ambiente ArcIMS, il modulo Internet Map Server per la diffusione in rete dei dati del progetto, attraverso un browser.

Conclusione

Il progetto sta procedendo coerentemente con le fasi inizialmente previste, a parte alcuni inevitabili cambiamenti, emersi come opportuni nello sviluppo del lavoro. La ricerca non si è limitata all'applicazione di strumenti consolidati, ma ha portato, in alcuni casi, allo sviluppo di nuove metodologie e modelli teorici di valore scientifico.

Nel terzo anno si procederà ad una completa integrazione tra i *task*, con lo sviluppo degli scenari di danno. I risultati del progetto saranno pubblicati su Internet e attraverso un rapporto scritto; inoltre sono previste alcune monografie, relative a singoli aspetti: pericolosità, vulnerabilità, *codice di pratica* degli interventi sul costruito, gestione nell'emergenza dei beni monumentali e storico-artistici.

Infine, si prevedono alcune iniziative di presentazione dei risultati del lavoro alle Amministrazioni Pubbliche ed alla società civile in genere. Ciò avverrà sia attraverso un convegno, a carattere prevalentemente divulgativo, sia con l'allestimento di una mostra fotografica sui beni storico-artistici-ambientali della Liguria Occidentale.

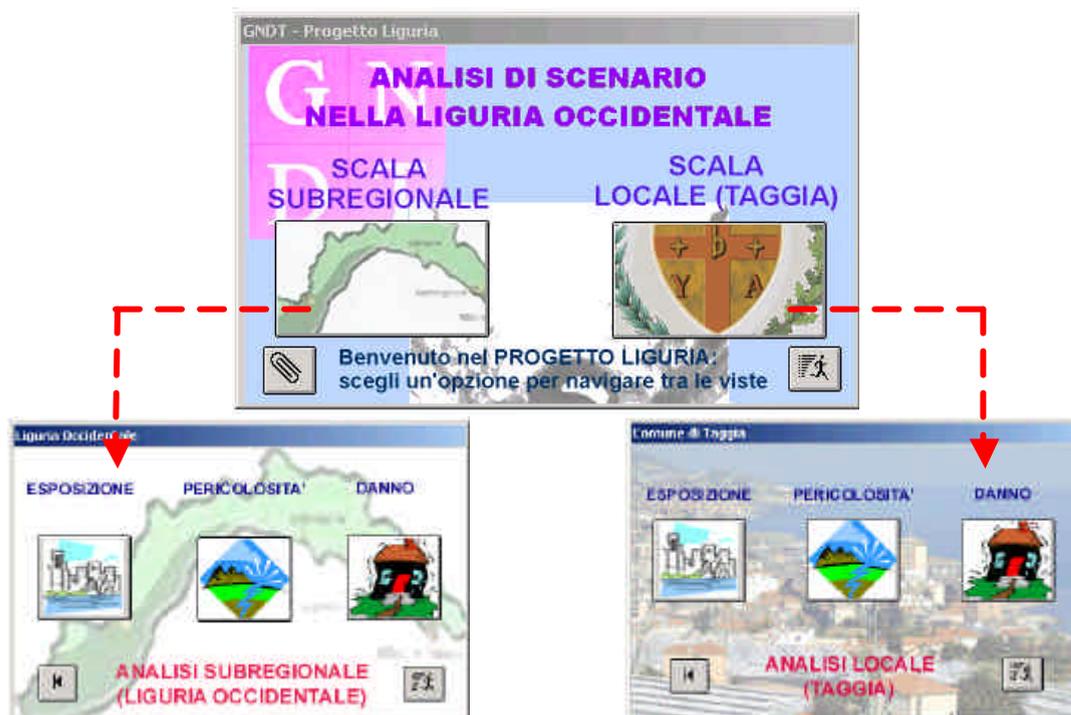


Figura 1. Navigazione tra i dati del Progetto Liguria Occidentale, con pulsanti che rimandano alle view "Esposizione", "Pericolosità", "Danno", per le analisi a scala sub-regionale e locale (Taggia).

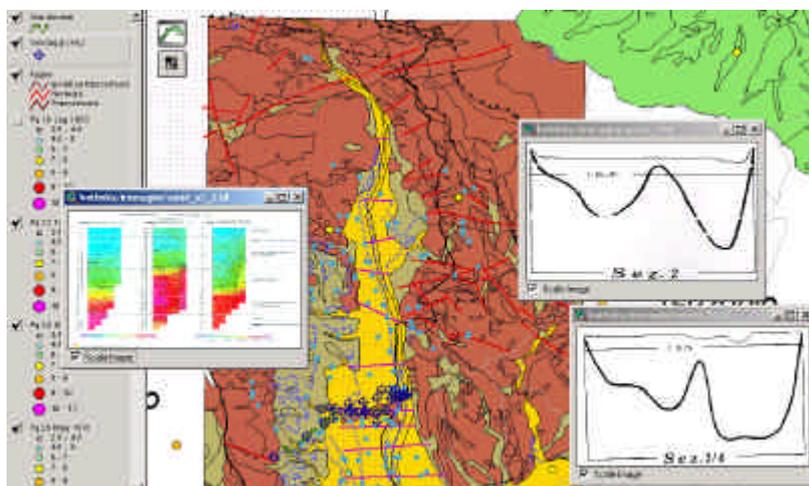


Figura 2. "Pericolosità" a scala urbana (Taggia) e interrogazione di alcune informazioni associate ai sondaggi ed alle sezioni geoelettriche.