

Scenari di danno nell'area veneto-friulana

Coordinatore: Prof. Marcello Riuscetti

INTRODUZIONE

L'obiettivo del progetto è la definizione del potenziale sismogenetico della regione considerata e la configurazione di alcuni scenari di danno nel test-site di Vittorio Veneto. A ciò si intende arrivare dopo una revisione completa del catalogo sismico onde valutarne, soprattutto, la completezza, la rilocalizzazione dei principali terremoti storici e la definizione parametrica delle principali sorgenti.

A partire da questi dati si vuole modellare la risposta di sito, in prima approssimazione in tutta la regione, ed in dettaglio a Vittorio Veneto dove verranno condotti studi dettagliati di microzonazione, di vulnerabilità sismica e di esposizione.

I due terremoti di scenario prescelti sono quello del Cansiglio (1936) e quello associabile alla struttura del Montello. Parallelamente si affronta il tema della vulnerabilità del sistema viario per ciò che riguarda i ponti.

Sottotema 2.1 – Faglie attive dell'Italia nordorientale ed ipotesi di nuova zonazione sismogenica (A.Rebez)

Il principale obiettivo del secondo anno era quello di arrivare ad una definizione cinematica delle faglie attive nel nord-est Italia. La nuova visione delle sorgenti sismogenetiche nella parte orientale delle Alpi Meridionali è frutto della collaborazione tra CNR-IGAG e RU Uni-Udine. Le ipotesi di zonazione sismica per il nordest Italia sono state fatte in collaborazione tra CNR-IGAG e il coordinatore del task 2.3 (A. Rebez)

L'area prealpina Veneto-Friulana rappresenta il fronte della parte orientale delle Alpi Meridionali, caratterizzata da sovrascorrimenti SSE vergenti che si estendono dal Lago di Garda al Friuli, in evoluzione dall'Oligocene Superiore. In questo studio sono state definite le faglie attive e tutte le strutture tettoniche che hanno mostrato attività tettonica almeno dal Pleistocene. Le informazioni che sono servite per l'individuazione, la descrizione (sia della parte superficiale che in profondità) ed infine per la parametrizzazione delle faglie attive deriva da: 1) una mappatura di dettaglio dei depositi Quaternari (parzialmente all'interno del Progetto di cartografia geologica nazionale CARG – fogli Maniago e Udine); 2) mappatura geomorfologica e morfotettonica delle aree studiate; 3) analisi delle foto aeree; 4) analisi cinematica delle strutture individuate; 5) analisi e reinterpretazione delle sezioni sismiche della pianura Friulana (ENI/Agip) e di quella Veneta (British Gas).

Sin dall'inizio del 2002, sono state ipotizzate delle geometrie relative alle sorgenti sismogenetiche per l'area studiata basate sulla segmentazione del sistema di sovrascorrimenti che caratterizzano la parte settentrionale della pianura Veneto-Friulana. La nuova segmentazione deriva da uno studio geomorfologico a larga scala e da dati strutturali (superficiali e non). I dati strutturali sono stati forniti dalla unità di ricerca Uni-Udine e sono stati ampiamente verificati e discussi allo scopo di: 1) provare l'attendibilità dei dati geomorfologici relativi alle estremità dei singoli segmenti; 2) definire le geometrie profonde. Le formulazioni di ipotesi sulle geometrie

in profondità delle faglie risulta di fondamentale importanza per definire realmente le sismogenetiche. Una volta ipotizzate le strutture e la loro geometria profonda sono state fatte anche delle ipotesi sulle “thrust ramps” cioè quelle parti dei piani di faglia che sono caratterizzate dal maggior angolo. Noi crediamo infatti che le “thrust ramps” costituiscano la porzione attiva delle strutture compressionali che sono adatte a rilasciare eventi sismici. Le geometrie delle sorgenti indicano che mentre la lunghezza di una singola struttura è la stessa del segmento superficiale la larghezza in profondità è stata corretta per la rappresentazione in pianta.

Sono state formulate delle specifiche ipotesi di associazione terremoti-faglie basate principalmente sul confronto della geometria delle strutture e la distribuzione del danneggiamento dei terremoti storici. È stata inoltre valutata la consistenza delle stime di M_w ottenuta dalle classiche equazioni che legano questa quantità alla lunghezza di faglia a quelle che derivano dai valori di M associate ai terremoti in catalogo.

Dai dati disponibili è possibile individuare 10 principali strutture tutte associate a sovrascorrimenti nella regione che va da Tione (Veneto) a Pozzuolo (Friuli). Ogni struttura è stata parametrizzata nella definizione della sua geometria (lunghezza del piano di scorrimento, area di rottura, ...), cinematica (rake, slip rate – anche se con bassa attendibilità), magnitudo M_w associata e terremoto storico associato. Due di queste strutture sono da considerarsi silenti. Una di queste, la struttura Montello-Conegliano è particolarmente interessante per il progetto Vittorio Veneto. La assenza di un terremoto storico associato e il probabile comportamento silente degli ultimi otto secoli definiscono un alto livello di pericolosità. Questa struttura insieme con quella Monte Consiglio-Monte Cavallo e Polcenigo-Maniago dovrebbero essere usate per definire gli scenari di danneggiamento dell'area studiata.

Le strutture individuate sono state utilizzate per disegnare una nuova zonazione sismogenica per il nordest Italia. La prima zona è stata disegnata tracciando un poligono che include tutte le sorgenti che possono essere legate ai terremoti di magnitudo $M=6$. Questa zonazione è definita infatti a “strati”. La seconda e più larga zona include tutti i terremoti con magnitudo con $5.1 \leq M \leq 5.9$, mentre la terza contiene i terremoti con $M=5$. Su questa zonazione sono in corso dei test allo scopo di verificarne il grado di efficienza.

Anche sulla struttura silente Maniago-Ragogna sono in corso ulteriori approfondimenti. In particolare sono stati eseguiti durante l'anno degli studi geomorfologici a larga scala sul bacino di Squall, mediante l'analisi di fotogrammetria aerea, con lo scopo principale di definire l'origine del bacino stesso. Sono stati inoltre datati, con il metodo del Radiocarbonio, dei depositi da pozzo sempre con lo scopo di definire la geocronologia del bacino. Queste analisi continueranno nel corso del 2003 e i risultati verranno pubblicati alla fine del progetto in corso.

Inversione di intensità macrosismiche per le faglie di terremoti storici - Sono state eseguite tre tipi di analisi:

A) la validazione della nostra nuova tecnica di inversioni automatiche per la sorgente. L'inversione, che è stata utilizzata per validare tale tecnica, è stata prodotta ancora con la relazione I/KF calibrata su dati californiani (I è l'intensità macrosismica, e KF è la grandezza adimensionale radiata dalla sorgente sismica nel modello cinematico

KF). Le inversioni sono state eseguite con due tecniche diverse: mediante il calcolo di tutte le possibili soluzioni (grid-search), e mediante l'uso di un algoritmo genetico con più popolazioni che si possono evolvere in modo semi-indipendente (Niching Genetic Algorithm, NGA). L'uso dei dati californiani si è reso all'inizio indispensabile perché solo nella zona di Los Angeles erano disponibili: i) buoni dati macrosismici di più terremoti, riferiti agli stessi siti (con conseguente minimizzazione delle eventuali deviazioni sistematiche dovute ad effetto di sito), ii) terremoti con sorgenti ben note attraverso misure sismometriche. In particolare, abbiamo invertito con successo la sorgente del terremoto di Whittier Narrows, 1987; la validazione è avvenuta mediante confronto con risultati consolidati provenienti da elaborazioni di misure strumentali.

B) per tarare una nuova relazione I/KF nell'Italia del NE, avevamo bisogno di nuove inversioni nell'area. Durante il 2002, è emerso che il data set di intensità disponibile per il terremoto del 6 Maggio 1976 in Friuli non era pronto per venire trattato a causa dell'assenza della parte del campo osservato compreso nei confini austriaci e sloveni. Abbiamo quindi dovuto preparare un nuovo database, georeferenziando per ora i dati austriaci. Abbiamo infine invertito per la sorgente i dati di intensità del DOM4.1 per il terremoto di Tolmezzo del 1928, e i relativi risultati sono stati validati perché sono compatibili con l'ipocentro e la fault-plane solution disponibili su base strumentale indipendentemente dal nostro studio.

C) abbiamo eseguito l'inversione automatica delle intensità dei due maggiori terremoti che colpirono Vittorio Veneto negli ultimi secoli: gli eventi di Bosco Cansiglio (1936) e di Belluno (1873). Abbiamo trattato, e con diverse tecniche, sia la base dati di DOM4.1 che quella di CFTI. Per quanto riguarda l'evento del 1936, la validazione è stata ottenuta mediante confronto dei parametri di sorgente da noi ricavati con quelli ottenuti per via strumentale indipendentemente dal nostro studio. La sorgente del 1936 risulterebbe essere stata un segmento del cosiddetto Sovrascorrimento di Aviano. Questo risultato appare convincente. Due diversi modelli a minima varianza sono stati trovati per via automatica per l'evento del 1873, uno dei quali, quello con direzione NW-SE, più verosimile dal punto di vista sismotettonico. Comunque sia, la sorgente del 1873 non appare compatibile con quella del 1936; in particolare, essa è ubicata più a nord. Questi risultati suggeriscono la presenza di almeno due potenziali sorgenti sismiche nell'area.

Valutazione di completezza, su base storica, dei dati del catalogo sismico CPTI nell'area corrispondente alle ZS n. 5 e 6 (Belluno/Cansiglio e Asolo/Vittorio Veneto) - Obiettivo - Determinazione degli intervalli temporali di completezza per i terremoti con $M = 5.5$ nelle zone suddette, da utilizzarsi in sede di valutazioni di hazard con metodi convenzionali. Le ricerche svolte hanno riguardato in primo luogo la località di Vittorio Veneto, e inoltre quelle di Belluno, Asolo, Treviso, Bassano del Grappa per il periodo 1100-1899.

È stata compilata per ciascuna località una storia sismica che contiene sia le osservazioni macrosismiche disponibili nelle banche dati DOM e CFTI sia i valori di intensità calcolati (a partire dal catalogo CPTI) per quei terremoti per i quali non si dispone di dati osservati nelle località considerate.

Ciascuna storia sismica così ottenuta è stata analizzata per comprendere quale fosse il background informativo sinora utilizzato dagli studi storico-macrosismici. Ne

sono emerse indicazioni utili a orientare il momento successivo della ricerca, teso a individuare e consultare nuova documentazione storiografica e fonti primarie.

L'insieme degli elementi raccolti ha permesso di formulare una prima ipotesi degli intervalli di completezza delle informazioni per diverse classi di intensità, rappresentata sia in forma di tabella sia come linea spezzata evidenziata nella storia sismica per ciascuna località.

Sottotema 2.2 – Modelli di attenuazione nell'Italia nordorientale

Coordinatore: D. Slejko

Poiché lo scopo del task 2.2. è quello di sviluppare nuove relazioni di attenuazione regionali utili per i calcoli di pericolosità sismica per l'area di Vittorio Veneto, è stata fatta un'analisi dettagliata dei risultati finora ottenuti e questa ha portato a una loro revisione con conseguente loro sensibile miglioramento. Più precisamente, sono stati studiati gli effetti provocati dal troncamento dati e dalla qualità delle stime di magnitudo usate ed è stata analizzata la dipendenza del modello di attenuazione da certi parametri. È stata ottenuta alla fine una nuova relazione di attenuazione che, tenendo in debito conto l'effetto di saturazione con la magnitudo, risulta valida sia per nel campo "weak" che "strong motion".

Per fare ciò, è stata aggiornata al febbraio 2002 la collezione di registrazioni ed è stata abbassata la soglia di magnitudo da 3 a 2,5. Sono state inserite, anche, le registrazioni del terremoto del Friuli 1976 dal database europeo di registrazioni "strong-motion". L'insieme conta ora 1032 registrazioni tra "strong" e "weak motion"

Durante il primo anno di progetto era stata considerata la magnitudo da durata per i terremoti recenti in Friuli. Poiché sono state messe a punto dal CNR di Milano delle metodologie di simulazione numerica del sismometro Wood-Anderson ed è stata calibrata una scala di magnitudo per l'Italia nordorientale, è stata calcolata con questo approccio la magnitudo locale per tutte le scosse del nostro insieme di dati.

I dati relativi a un terremoto sono incompleti a causa della modalità di registrazione a trigger delle stazioni. I campioni disponibili constano solo di osservazioni al di sopra di una certa soglia, risultano cioè, in termini statistici, troncati a sinistra. Il troncamento può condizionare significativamente i risultati della regressione. Per ovviarlo, si è fatto ricorso a tecniche note di regressione con dati troncati con soglia fissa e si è anche sviluppata una nuova tecnica per la regressione con soglia casuale. Si è osservato che, per i dati disponibili, la casualità del troncamento può essere trascurata e si può assumere, per ciascuna stazione, un troncamento fisso al più piccolo valore osservato.

Le suddette tecniche sono state utilizzate per calcolare i coefficienti della relazione:

$$\log(y)=a+(b+cM)M+(d+eM^3)\log(r)$$

$$r=(D^2+h^2)^{1/2}$$

per tutto il nostro insieme di dati da magnitudo 2,5 a 6,3. Le regressioni sono state fatte sia per PGA che per SA e i risultati sono in buon accordo con quelli in letteratura per magnitudo alte mentre per magnitudo più basse (5-6) l'accordo vale solo nel campo vicino mentre a maggiori distanze il nostro nuovo modello attenua più velocemente.

Sottotema 2.3 - Modellazioni del moto del suolo e scenari di scuotimento sismico

Scenario di scuotimento a scala regionale per il terremoto $M=5.8$ del Consiglio del 18 ottobre 1936 - È stato concluso il lavoro, iniziato nel primo anno con le modellazioni a sorgente puntuale, di simulazione del terremoto del Consiglio con la costruzione di scenari di scuotimento per sorgente estesa. Il modello strutturale usato nelle modellazioni è il modello differenziato per aree di pertinenza dei maggiori elementi strutturali. Al fine di considerare un numero esaustivo di possibili scenari di sorgente estesa, sono state ipotizzate tre diverse distribuzioni del momento sismico ed un elevato numero (160) di punti di enucleazione della rottura. Ad un dato sito (ovvero, ricevitore), lo scenario consiste nella statistica costruita sul set di valori di un certo indicatore di scuotimento (ad esempio, PGA) ottenuto dalle simulazioni effettuate per tutti i modelli di sorgente, e cioè la media, la prima deviazione standard, ed i valori massimo e minimo. Lo scenario ottenuto per il sito di Vittorio Veneto è illustrato in Figura 1. In questo sito il valore medio di PGA è di circa 60 cm/s^2 per la componente orizzontale e di 30 cm/s^2 per la verticale. Si noti come valori fino a tre volte maggiori (che corrispondono alla media più la prima deviazione standard) presentano un'elevata probabilità di occorrenza. Il massimo assoluto raggiunge i 500 cm/s^2 , ed è un valore possibile seppure improbabile.

Validazione - Modellazione di alcuni eventi deboli - Il metodo utilizzato per il calcolo dei sismogrammi sintetici e la costruzione di scenari di scuotimento a scala regionale è stato validato tramite la modellazione di tre terremoti deboli ($2.7 < M < 3.2$). I tre eventi sono localizzati a breve distanza dall'evento del Consiglio e sono stati registrati dalle stazioni della rete sismometrica dell'OGS. Il confronto tra i sismogrammi sintetici e quelli registrati è più che soddisfacente, e mostra che sia l'ampiezza che i tempi di arrivo delle fasi principali sono riprodotti correttamente. Invece, i sismogrammi registrati hanno una lunga coda che probabilmente è dovuta alla risposta di sito o allo scattering del mezzo. Per investigare questi aspetti è necessaria una più specifica analisi.

Scenario di scuotimento a scala regionale per un ipotetico terremoto $M=6.7$ nell'area del Montello - Lo scopo di questo lavoro è la costruzione di uno scenario deterministico di scuotimento sismico, per un ipotetico terremoto di riferimento localizzato lungo la faglia inversa del Montello. Le modellazioni sono effettuate con il *Wavenumber Integration Method (WIM)*. La metodologia seguita è molto simile a quella utilizzata per la modellazione dell'evento del Consiglio, eccetto per alcune modifiche migliorative che sono state apportate alla procedura, come l'interpolazione dei sismogrammi sul piano di faglia e l'aggiunta di una componente stocastica ai sismogrammi calcolati in modo deterministico. Per la modellazione della sorgente estesa, sono state ipotizzate tre diverse distribuzioni del momento sismico ed un elevato numero (338) di punti di nucleazione

Scenari dettagliati di scuotimento a Vittorio Veneto per l'evento del Consiglio - Lo scopo è di costruire uno scenario di scuotimento dettagliato lungo alcuni transetti che attraversano l'area di Vittorio-Veneto. Le modellazioni sono state effettuate con il

metodo agli elementi spettrali 2-D (SPEM 2-D), che permette di risolvere la propagazione del campo d'onda sismico attraverso una struttura geologica complessa. Il campo d'onda è calcolato lungo piani verticali, orientati in direzione NE-SW. L'evento di riferimento è il terremoto $M=5.8$ del Cansiglio del 18 ottobre 1936. Il modello strutturale è stato costruito utilizzando le sezioni geologiche disponibili, mentre per la definizione di dettaglio della parte più superficiale saranno utilizzate le informazioni ottenute dai risultati delle indagini geofisiche attualmente in corso, che forniranno informazioni sulla geometria e le proprietà fisiche dei suoli superficiali.

Pericolosità sismica regionale - Ad integrazione della modellazione deterministica del moto del suolo per il sito di Vittorio Veneto è stata calcolata la accelerazione probabilistica di progetto. Per ottenere questo risultato è stata stimata la pericolosità sismica secondo l'approccio di Cornell per il territorio intorno al sito di Vittorio Veneto. Il calcolo di pericolosità è stato sviluppato mediante la metodologia dell' "albero logico" che permette di considerare le incertezze associate ai vari ingredienti di base dell'hazard. Sono state, infatti, prese in considerazione diverse zonazioni sismotettoniche, differenti valutazioni di massima magnitudo, e due leggi di attenuazione. Ogni ramo dell'albero logico rappresenta una serie di scelte che condizionano l'hazard finale.

Sono state usate *tre differenti zonazioni sismotettoniche* che rappresentano tre differenti livelli di conoscenza sismotettonica. Il primo modello, piuttosto generale, è riferito alla zonazione GNTD adottata dal progetto di pericolosità sismica a scala nazionale. Il secondo, è una evoluzione del primo basata principalmente sulle evidenze della sismicità più recente. Il terzo è basato su un concetto completamente diverso: i forti terremoti vengono associati alle principali faglie sismogenetiche mentre i terremoti di media e bassa energia vengono associati ad aree più ampie. Più precisamente la sismicità alta ($M>6$) viene associata al fronte attivo; la media sismicità ($M>5$) ad un'area più ampia che circonda il fronte attivo; ed infine la bassa sismicità ad un'area decisamente più vasta.

La *magnitudo massima* è stata calcolata in tre differenti modi. Il primo semplicemente utilizzando la massima magnitudo osservata per ciascuna zona. Il secondo estrapolando di una classe (0.3 unità) la classe di magnitudo osservata quando il periodo di ritorno della magnitudo massima è maggiore della durata del periodo di osservazione del catalogo sismico (1000 anni). Il terzo è basato su un calcolo prettamente statistico.

Poichè non è attualmente disponibile una relazione di attenuazione del picco di accelerazione (PGA) specifica per l'Italia nordorientale, sono state utilizzate due leggi una a carattere europeo ed una calibrata sui dati italiani.

Il risultato è una struttura ad albero logico a 14 rami: 3 zonazioni, 3 differenti magnitudo massime, 2 leggi di attenuazione; quattro rami risultano però vuoti. Il risultato di hazard aggregato finale proviene dal contributo di ogni ramo egualmente pesato.

L'*accelerazione di progetto* per il test site Vittorio Veneto è stata calcolata mediante la generazione di accelerogrammi sintetici compatibili con lo spettro di risposta a probabilità uniforme. La metodologia usata è quella delle vibrazioni stocastiche. Lo spettro di risposta della serie temporale sintetica viene quindi comparata e corretta con delle serie di eventi reali coerenti con terremoti di progetto per il sito di Vittorio

Veneto. Questi ultimi sono stati estratti dal databank strong-motion Europeo. Questi accelerogrammi devono obbedire a dei requisiti di magnitudo e distanza compatibili con i dati derivati dal processo di disaggregazione dell'hazard probabilistico.

Sottotema 2.4 - Caratterizzazione degli effetti di sito nel test-site di Serravalle

Coordinatore: M. E. Poli

Introduzione - Come previsto nel piano di lavoro per il secondo anno, sono state eseguite a Serravalle sia indagini dirette (rilievi geologico-geomorfologici, sondaggio meccanico a carotaggio continuo, prove geotecniche) che indirette (sismica a rifrazione, misure down-hole in pozzo). Sempre come previsto dal programma sono state applicate ulteriori tipologie di indagine come la misura di tremori e la stima delle amplificazioni spettrali da analisi di ground-motion. Una prima analisi comparata dei dati mostra un buon accordo fra le amplificazioni spettrali ottenute da metodi di analisi di ground-motion e le frequenze di risonanza stimate con il metodo di Nakamura (in particolare si veda l'esempio della zona posta ad sud-est rispetto alla stretta di Serravalle, che mostra le maggiori amplificazioni spettrali). La presenza di un bedrock "geofisico", la cui interfaccia compresa fra 8-16 m di profondità, corrisponde al contatto fra argille e ghiaie sottostanti, è confermato nella zona di S.Andrea di Bigonzo sia dal sondaggio meccanico che dall'analisi di sismica a rifrazione. Dal progetto, è invece venuta a mancare l'analisi della distribuzione del danno nell'abitato di Serravalle-Ceneda in risposta ai terremoti del 1873 e del 1936. Poiché in particolare secondo la testimonianza di alcuni abitanti del luogo l'area di Ceneda subì dei danni elevati durante il terremoto del 1936, si tenterà un'indagine più approfondita anche in quella zona per individuare eventuali fenomeni di amplificazioni locali e mettere in luce le zone a più alto rischio. Considerata l'estrema interdisciplinarietà degli argomenti trattati nel task, si è scelto di descrivere sinteticamente ma distintamente le attività svolte da ciascun gruppo di ricerca durante il secondo anno.

Indagini geologico-tecniche e modellazioni 1D - Durante il secondo anno di attività è stata creata una banca dati informatizzata contenente i dati di sottosuolo ricavati dalle stratigrafie di una cinquantina di pozzi per acqua, sondaggi geognostici e pozzi profondi per esplorazione mineraria reperiti in tutta la conca di Vittorio Veneto. In particolare nella zona di Serravalle i dati a disposizione si sono rivelati assai scarsi: non vi sono informazioni sperimentali sulle caratteristiche geotecniche dinamiche dei sedimenti quaternari e nemmeno risultati penetrometrici SPT in quantità sufficiente per stimare le caratteristiche di decadimento dei moduli elastici e di andamento dello smorzamento con correlazioni empiriche da letteratura. Al fine di ricostruire dettagliatamente la stratigrafia del sottosuolo del test-site e di conoscere le caratteristiche geotecniche e geofisiche dei terreni, è stato eseguito un sondaggio geognostico verticale in località Pieve di Sant'Andrea di Bigonzo. Il sondaggio che è stato eseguito dalla Ditta IMPREFOND (Trieste) secondo gli standard internazionali, (carotaggio continuo, prove SPT, campionamento) si è fermato ad 80 m dal piano campagna senza raggiungere il substrato roccioso ed ha evidenziando la presenza fra i 3 e gli 8 metri dal p.c. di una potente livello di materiale argilloso seguito da una monotona successione di materiali ghiaiosi poligenici più o meno addensati e

cementati. All'esecuzione del sondaggio meccanico sono state affiancate prove geotecniche di laboratorio (in collaborazione con il Laboratorio geotecnico dell'Università di Trieste) e l'esecuzione di misure down hole per determinare le caratteristiche elastiche del sito. Infine, è stata realizzata una serie di profili geologici per definire lo spessore dei depositi quaternari del bacino alluvionale di Vittorio Veneto.

Sismica di rifrazione - Vista l'impossibilità di realizzare un transetto, anche frammentato, attraverso il centro abitato, sono stati scelti tre siti per un'indagine puntuale: 1) il Parco Fender, (margine ovest, al di là della linea ferroviaria): qui la copertura sedimentaria mostra uno spessore variabile fra 6 e 8 m e presenta una velocità delle onde P variabile fra 550 e 600 m/s. La velocità delle onde S si rileva fra 250 e 270 m/s. L'unità sottostante, che presenta un andamento concorde con la topografia del sito, mostra velocità delle onde P variabili tra 1250 e 1400 m/s; 2) Via Rio dei Casai (margine est): la copertura sedimentaria appare simile al sito 1, con uno spessore variabile fra 4 e 7 m e una velocità delle onde P variabile fra 500 e 550 m/s. La velocità delle onde S si rileva fra 250 e 270 m/s. L'unità sottostante mostra una maggiore velocità delle onde P, compresa tra 1700 e 2000 m/s.; 3) Area Borca presso Sant' Andrea di Bigonzo. In questo sito sono stati individuati tre strati. Mentre l'unità sottostante presenta velocità di propagazione simili a quelle dei primi due siti (velocità onde P variabile fra 2200-2300 m/s), la sua copertura sedimentaria (che presenta uno spessore variabile fra i 7 e i 16 m e velocità delle onde di taglio comprese fra 200 e 250 m/s) mostra un contrasto di velocità fra un primo strato superficiale di potenza variabile tra 2 e 3 m (onde P comprese fra 480-530 m/s) e un secondo strato più profondo (1300-1450 m/s). Non si riscontrano significative differenze tra le velocità determinate per gli stendimenti ortogonali, suggerendo una sostanziale isotropia del mezzo. Tutte le energizzazioni per le onde P sono state effettuate con l'impiego di un Mini Bang armato con colpi tipo Kiln 8. Nel sito di S. Andrea di Bigonzo, sono stati inoltre eseguiti anche due profili per l'analisi a dispersione. L'analisi dei profili è stata effettuata con il metodo GRM a due strati (Palmer, 1980).

Stima dei rapporti spettrali - Si è effettuata un'acquisizione dati per la stima degli effetti di sito nel distretto di Serravalle. Durante i sei mesi di acquisizione si sono registrate le forme d'onda relative a 35 eventi registrati anche dalla rete sismometrica del NE-Italia. Abbiamo calcolato gli spettri di Fourier dei dati per finestre di segnale corrispondenti agli arrivi delle onde S. In questa analisi preliminare dei dati, abbiamo utilizzato 11 eventi e determinato le amplificazioni spettrali ai 10 siti in cui era stato posizionato l'array. I risultati ottenuti indicano che il sito con il maggior livello di amplificazione è situato presso la scuola elementare di Via Parravicini con circa 8 volte il livello del sito medio di riferimento. Amplificazioni di 5 volte sono state individuate presso il sito VV01 ed il sito VV04 rispettivamente a frequenze di 5 e 8-9 Hz. Le rimanenti stazioni indicano invece amplificazioni molto contenute.

Misure di rumore sismico ambientale per la stima della risposta di sito - Nel periodo compreso tra Novembre 2002 e Gennaio 2003 è stata intrapresa una campagna di acquisizione sismica di rumore ambientale (microsismi) nell'area

urbana di Vittorio Veneto. I siti già indagati sono una cinquantina. Di questi, 7 sono allineati lungo una sezione (GNDT3) che sarà oggetto di modellazione 2-D. In aggiunta sono state acquisite misure ad antenna presso Sant'Andrea di Bigonzo. Per tali misure sono state usate simultaneamente 13 stazioni. Per completare il lavoro è prevista un'acquisizione aggiuntiva di ulteriori 20 misure a stazione singola. I rapporti spettrali H/V (HVSr) mostrano che la maggior parte dei siti presenta delle chiare frequenze di risonanza. Risposte piatte sono osservate solo in pochi casi. La presenza di evidenti picchi di risonanza suggerisce la presenza di un forte contrasto di velocità delle onde S (> 2) fra la copertura sedimentaria, con spessore variabile, e le formazioni sottostanti. Sono portati ad esempio di HVSr stimati due siti localizzati rispettivamente vicino al centro cittadino (Serravalle, S. Andrea di Bigonzo) e nella parte periferica a Sud (Ceneda bassa). I rapporti ottenuti per le misure di rumore identificano la frequenza di vibrazione del modo fondamentale rispettivamente a 6 Hz per il sito di S. Andrea e a 10.5 Hz per quello di Ceneda bassa. Le misure effettuate saranno integrate in seguito con sondaggi di sismica superficiale, analisi della dispersione delle onde di superficie, e dati di log in pozzo, per caratterizzare le proprietà dinamiche dei suoli e definirne il loro spessore.

Misure in sito di velocità delle onde di taglio di terreni superficiali attraverso l'analisi e l'inversione delle onde di superficie - Per una linea sismica a rifrazione è stata eseguita un'analisi sul singolo canale di registrazione basata sull'inversione delle curve di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh con lo scopo di ottenere profili verticali di velocità delle onde S. La velocità di gruppo del modo fondamentale è stata misurata per numerose tracce sismiche nella banda in frequenza compresa tra 8 Hz e 30 Hz. Successivamente sono state utilizzate le osservazioni derivate dall'analisi dei rapporti spettrali H/V (HVSr) – in particolare l'identificazione a profondità variabile di un netto contrasto di velocità - per vincolare le soluzioni ottenute dall'inversione delle onde di superficie. È stata invertita la velocità di gruppo del modo fondamentale utilizzando una tecnica non lineare e vincolando i parametri dell'inversione affinché la soluzione evidenziasse un contrasto di velocità delle onde S superiore a 2 per profondità comprese tra i 10 m ed i 20 m. L'inversione così condizionata ha fornito due diversi modelli con un netto contrasto di velocità a 14 m ed a 17 m. Entrambi i modelli ottenuti sono caratterizzati da una frequenza fondamentale di risonanza di 6 Hz, la stessa frequenza stimata con dati indipendenti ed evidenziata dagli HVSr sullo stesso sito. Ai profili così ottenuti saranno in seguito aggiunte nuove informazioni derivanti da log in pozzo e sismica classica per fornire una mappa dettagliata delle proprietà dei terreni e loro spessore nel comune di Vittorio Veneto. Questa tecnica di analisi sarà applicata alle altre due linee sismiche a rifrazione acquisite, se i parametri di acquisizione lo consentiranno.

Sottotema - 2.5 Vulnerabilità urbana

Coordinatore: A. Bernardini

L'obiettivo del sottotema riguarda la misura di parametri di vulnerabilità sismica di sistemi territoriali ed in particolari edilizi, parametri che possano essere incrociati con le misure di scuotibilità al fine di produrre scenari di danno e mappe di rischio, con particolare focalizzazione sul centro storico di Serravalle (Vittorio Veneto).

Per quanto riguarda la vulnerabilità urbana in area veneta l'attività del secondo anno ha solo riproposto i risultati del primo anno, risultati che sono stati utilizzati per la scelta di un campione di Comuni significativo nell'ambito dell'area più ristretta (AS1) in cui viene valutata la vulnerabilità degli edifici ordinari.

Per quanto riguarda la vulnerabilità della rete stradale nel secondo anno è proseguito il rilievo e l'informatizzazione dei parametri utili relativi ai ponti lungo le due direttrici del fiume Piave e del fiume Brenta e lungo le principali arterie della rete stradale nella zona compresa tra i Comuni di Bassano del Grappa, Montebelluna, Conegliano, Vittorio Veneto, Belluno e Feltre. È stata inoltre chiarita la metodologia con cui procedere alla taratura delle curve di fragilità mutate dalla normativa americana (HAZUS) in funzione di una serie di indagini di dettaglio condotte su alcuni ponti, individuati come rappresentativi delle tipologie strutturali e costruttive più ricorrenti nell'area di interesse; si sta utilizzando in particolare una procedura statica non lineare semplificata (Capacity Spectrum Method).

Per quanto riguarda la vulnerabilità degli edifici ordinari sta proseguendo l'estesa campagna di raccolta dati relativi al campione di Comuni e (all'interno dei Comuni scelti) Sezioni Censuarie. L'obiettivo, da raggiungere tramite stretta collaborazione fra le UR di Padova e di Milano (e nel terzo anno anche Udine 1), è quello di produrre, dalla lettura dei dati ISTAT 1991 opportunamente corretti, distribuzioni delle classi di vulnerabilità EMS98 in ogni singola sezione censuaria dell'area AS1. A tal fine sono stati prodotti modelli preliminari di classificazione EMS98 da dati ISTAT e da dati ricavati con la scheda AeDES 05/2000 impiegata nel rilievo sul campo. Matrici di Probabilità di danno coerenti con EMS98 e curve di fragilità (VULNUS) per particolari tipologie edilizie (in particolare l'edilizia tradizionale in muratura ampiamente presente nella zona) saranno utilizzate per l'incrocio con i dati di scuotibilità. Alla fine del secondo anno sono stati schedati con AeDES circa 1500 edifici e con la procedura VULNUS circa 70 edifici in 6 diversi Comuni (circa il 50% dell'obiettivo finale del rilievo).

Per quanto riguarda infine il test site di Serravalle, durante il 2° anno dell'attività di ricerca si è proceduto al rilevamento fotogrammetrico delle facciate degli edifici di via Casoni mediante la procedura di "raddrizzamento digitale" di immagini fotografiche. Tali edifici sono stati individuati di particolare interesse per le approfondite indagini statiche e dinamiche che saranno svolte nel terzo anno. Durante il secondo anno è già stata applicata la procedura di rilievo e analisi di vulnerabilità VULNUS a questo campione di edifici, producendo curve preliminari di fragilità dei singoli edifici e del gruppo in funzione del valore atteso di PGA.

Sottotema 2.6 - Vulnerabilità dei centri storici e beni culturali

Coordinatore: C. Modena

Il secondo anno di attività di ricerca si è articolato in relazione al raggiungimento dei seguenti obbiettivi:

1. Calibrazione di procedure non distruttive e aggiornamento di procedure di identificazione (primo semestre)
2. Test-site di Vittorio Veneto (TV): applicazione della metodologia di studio e contributo all'analisi della vulnerabilità sismica (secondo semestre)

Si è quindi conclusa la fase di analisi sperimentale sulle tipologie di edifici individuate nel primo anno di ricerca (torre, parete isolata, chiesa) e di elaborazione dei risultati ottenuti, in relazione ai seguenti aspetti:

- a. caratterizzazione del comportamento meccanico dei manufatti e calibrazione delle procedure di indagine non distruttive
- b. aggiornamento delle procedure di identificazione dinamica sulla base delle diverse condizioni di vulnerabilità riscontrate.

La metodologia di analisi messa a punto sui casi studio sopraccitati, è stata resa disponibile per lo studio analitico-sperimentale del centro urbano di Vittorio Veneto, su cui si svilupperanno le attività del 3° anno del progetto. In particolare, lo studio si è articolato nell'analisi de:

- a. individuazione delle tipologie edilizie esistenti
- b. analisi della vulnerabilità intrinseca di edifici campione
- c. applicazione delle procedure sperimentali di indagine conoscitiva.

1. Calibrazione di procedure non distruttive e aggiornamento di procedure di identificazione

1.1 Calibrazione delle procedure di indagine non distruttive - Per ciascuna delle tipologie edilizie oggetto di studio (torre, parete isolata, chiesa) è stato individuato l'insieme delle indagini a basso grado di invasività, necessarie per la caratterizzazione meccanica dei manufatti. Le procedure d'indagine sono state calibrate in relazione alle stesse tipologie riscontrate, ed i risultati favoriscono l'affinamento di modelli comportamentali d'insieme o di singole componenti strutturali, sia di tipo fisico-meccanico (Coro Vecchio di S.ta Giustina a Padova) che analitico-numerico (Mura di Cittadella, Facciata della chiesa di S.ta Giustina, Torre dell'Orologio in Padova, Torre di S.Stefano a Venezia).

1.2 Aggiornamento di procedure di identificazione dinamica - Nell'ambito dell'applicazione delle procedure di identificazione dinamica si è aggiunto e completato, ai casi studio già impostati durante il primo anno di attività (Torre di S. Stefano a Venezia, Teatro Romano di Verona, Chiesa di S.ta Sofia in Padova) l'analisi sperimentale del comportamento dinamico dell'ala libera dell'Arena di Verona. La caratterizzazione dinamica ha consentito di aggiornare le procedure di identificazione sulla base delle misure ottenute mediante monitoraggio, già impostato in alcuni dei manufatti sopraccitati, e di tarare il modello ad elementi finiti degli stessi, attraverso i quali effettuare opportune simulazioni di intervento.

2. Test-site di Vittorio Veneto: applicazione della metodologia di studio e contributo all'analisi della vulnerabilità sismica

2.1 Catalogazione dell'edilizia esistente - Nell'ambito del test-site di Vittorio Veneto si è impostata l'attività di catalogazione mediante l'analisi di database già disponibili, nonché da informazioni raccolte direttamente dall'amministrazione comunale, al fine di individuare gli edifici di maggiore rilevanza, riconducibili alle tipologie precedentemente analizzate nel progetto. Tale catalogazione tipologica comprenderà

inizialmente il sito specifico di Serravalle ma sarà estesa, durante il terzo anno di attività, a tutta la cinta urbana di Vittorio Veneto.

2.2 Analisi della vulnerabilità sismica mediante macromodelli strutturali - Lo studio sulla vulnerabilità sismica è stato concentrato sul test-site di Serravalle e riguarda l'utilizzo di modelli cinematici elementari che analizzano il comportamento meccanico di componenti strutturali (macromodelli). L'analisi viene effettuata a livello generale, edificio per edificio, mediante l'applicazione del programma Vulnus [1] e, più localmente, selezionando all'interno degli edifici le componenti più significative, attraverso l'applicazione di singoli modelli cinematici.

Nella fattispecie, il lavoro è stato impostato su 13 edifici appartenenti a due schiere contigue (complesso di Via Casoni) e ad un edificio singolo (Palazzo Troyer sito in Via Martiri della Libertà) (Fig. 1).

Dalle analisi, è finora emerso che:

- per la valutazione della vulnerabilità risultano fonti di problemi strutturali il piano terra porticato, il ridotto numero di catene associate alla mancanza collegamenti fra murature e solai o coperture, la disomogeneità del terreno di fondazione.
- la calibratura del procedimento Vulnus ha permesso di individuare le pareti meno resistenti a meccanismi nel piano e fuori piano: in particolare, per $a/g=0,28$ (valore caratteristico della zona sismica considerata), il 46,2% degli edifici è vulnerabile a meccanismi fuori piano e il 53,8% a meccanismi sia nel piano che fuori di esso.
- la verifica puntuale con i modelli cinematici elementari ha confermato la vulnerabilità al ribaltamento globale dei setti di facciata.

Da tali evidenze, e attraverso le procedure automatizzate di calcolo, sarà possibile simulare alcuni interventi di rinforzo strutturale (es. incatenamenti delle pareti).

Sottotema 2.7 – Stima dei danni e delle perdite

È stata analizzata la consistenza del patrimonio edilizio abitativo di V.Veneto. 85.99% delle unità è adibito esclusivamente ad abitazione, l'11.87% ha uso misto. Il 2% è per uso rurale; di questo solo la metà per esclusivo uso residenziale. Tenendo in conto, inoltre, del tipo di struttura, della sua età, del numero di unità abitative per immobile, del numero di piani e della presenza di ascensore si è costruito il quadro fisico completo, con riferimento ai dati ISTAT-1991.

Per la valutazione economica, invece, gli edifici sono stati pesati in base a: localizzazione nel contesto urbano (centro, periferia, campagna), destinazione d'uso, stato di conservazione, tipologia.

A conclusione risulta un valore esposto complessivo di un miliardo di Euro.

CONCLUSIONI

Alla fine del secondo anno si è riusciti a recuperare gran parte dei ritardi accumulati durante il difficoltoso avvio del progetto. Gli studi di sismotettonica hanno portato alla definizione di una nuova zonazione con la parametrizzazione di sorgenti collegate ai

maggiori terremoti storici catalogati. L'analisi di completezza dei cataloghi porta ad escludere che vi siano terremoti "nascosti" con magnitudo superiore a 6.3-6.4.

Si è valutato il potenziale sismogenico della struttura del Montello cui non è associabile alcun terremoto storico ma che presenta grandi evidenze di attività neotettonica. Il terremoto del Cansiglio (1936) ed, appunto, quello ipotetico del Montello costituiranno gli elementi di partenza per la costruzione di due scenari di danno a V.Veneto. Per la definizione della risposta di sito si è proceduto ad una valutazione di prima approssimazione per l'intera regione con approcci diversi (curve di attenuazione e modellazione della funzione di trasferimento). Anche per la vulnerabilità si è proceduta alla valutazione del patrimonio edilizio ordinario per l'intera regione (secondo una metodologia testata in Friuli) e si è sviluppata un'analisi di dettaglio per il sito campione. Un primo approccio al problema della vulnerabilità dei sistemi è stato iniziato con lo studio dei ponti su Brenta e Piave. Infine è stata completata la valutazione monetaria del patrimonio edilizio abitativo del comune di Vittorio Veneto.

BIBLIOGRAFIA

- Bernardini A., Gori R., Modena C., (1988): Valutazioni di resistenza di nuclei di edifici in muratura per analisi di vulnerabilità sismica, R.I. 2/88, Università di Padova, Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni,.
- Bernardini, A., Mario, E., Rizzardo, D. (2002). Vulnerabilità e scenari di danno degli edifici ordinari nel Comune di Fontanafredda (TV). Università degli Studi di Padova. Dipartimento di Costruzioni e Trasporti. Rapporto Interno 2002/2.
- Carulli G.B., Codermatz R., Cucchi F., Peruzza L., Pettenati F., Rebez A., Sirovich L. and D. Slejko (2002). A Site-Dependent Seismic Hazard Map For The Friuli-Venezia Giulia Region (NE Italy). Proc. 12ECEE, London, Spt. 8-13, 2002, CD-ROM.
- Carulli G.B., Cucchi F., Rebez A., Peruzza L., Slejko D. and Codermatz R.; 2002: Seismic hazard in the Friuli - Venezia Giulia region (NE Italy) considering different soil typologies. In: Atti Convegno Soc. Geol. It., in press.
- Codermatz R., Nicolich R. and Slejko D.; 2002: Seismic risk assessment and GIS technology: applications to infrastructures in the Friuli - Venezia Giulia region (NE Italy). Earth. Eng. Struct. Dyn., accepted.
- Garcia J., Slejko D., Alvarez L., Peruzza L. and Rebez A.; 2002: Probabilistic seismic hazard assessment for Cuba. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 173-176.
- Garcia J., Slejko D., Alvarez L., Peruzza L. and Rebez A.; 2002: Seismic hazard maps for Cuba and surrounding area. In: DipTeRis, E.S.C. 28th General Assembly Book of Abstracts, Studio64, Genova, pp. 126.
- Gentile F., Pettenati F. and L. Sirovich (2002). Instrumental Validation of the Automatic Source-Parameter Inversion of The USGS Intensities of the Whittier Narrows, California, 1987 Earthquake. Conv. GNGTS, 6-8 nov. 2001, extended abstract.
- Iliceto V., Peruzza L., Slejko D. e Rovelli A.; 2002: La difesa dei terremoti mediante zonazione sismica: sinergie tra Protezione Civile e Piani Regolatori. Geologia tecnica & ambientale, 3, 15-36.
- Pettenati F. and Sirovich L., 2002. Test of source parameters inversion of the USGS intensities of the Whittier Narrows, 1987 Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, in press.
- Pettenati F., Gentile F. e L. Sirovich (2002). Sorgenti degli eventi del 1693 da inversioni automatiche delle intensità. Atti Conv. GNDT, 2-3 dic. 2001, CD-ROM.
- Pettenati F., Sirovich L. and F. Gentile (2003). Source inversion of the intensities of an M 5.2-5.9 earthquake in NE Italy, the use of a genetic algorithm and instrumental validation included. In preparation.

- Pettenati F., Sirovich L., Gentile F. (2003). Validation of some TRANSALP results (southern segment) by source inversion of the Cansiglio, 1936 earthquake. TRANSALP Conf., Feb. 10-12 2003, Trieste, Italy — transalp@dic.units.it
- Poli M.E., Peruzza L., Rebez A., Renner G., Slejko D. and Zanferrari A.; 2002: New seismotectonic evidence from the analysis of the 1976-1977 and 1977-1999 seismicity in Friuli (NE Italy). *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 43, 53-78.
- Rebez A. and Slejko D.; 2002: A simplified soil-type dependent seismic hazard assessment for north-eastern Italy. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 189-191.
- Rebez A. and Slejko D.; 2002: Introducing epistemic uncertainties into seismic hazard assessment for north-eastern Italy. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 192-193.
- Rebez A., Slejko D., Peruzza L. and Codermatz R.; 2002: Soil type dependent seismic hazard assessment for the Veneto region (NE Italy). In: DipTeRis, E.S.C. 28th General Assembly Book of Abstracts, Studio64, Genova, pp. 125.
- Rivera Alvarez Z.C., Slejko D., Peruzza L., Rebez A. and Codermatz R.; 2002: Seismic hazard of the Bayamo region (eastern Cuba). In: DipTeRis, E.S.C. 28th General Assembly Book of Abstracts, Studio64, Genova, pp. 126.
- Rivera Alvarez Z.C., Slejko D., Peruzza L., Rebez A. and Codermatz R.; 2002: Soil-type dependent seismic hazard map for the Bayamo region (eastern Cuba). In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 235-236.
- Sabetta F. and Slejko D.; 2002: The PEGASOS project: a robust way to assess seismic hazard. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 196-197.
- Sirovich L., Pettenati F., Cavallini F., Bobbio M., 2002. Natural-Neighbor Ioseismals. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 92, 5, 1933-1940.
- Slejko D. (ed); 2002: Advances in solid Earth geophysics. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 43(1-2).
- Slejko D. and Rebez A.; 2002: A robust seismic hazard assessment for NE Italy. In: DipTeRis, E.S.C. 28th General Assembly Book of Abstracts, Studio64, Genova, pp. 125.
- Slejko D. and Rebez A.; 2002: Ground shaking at the Vittorio Veneto (NE Italy) test site from earthquake scenario modelling. In: DipTeRis, E.S.C. 28th General Assembly Book of Abstracts, Studio64, Genova, pp. 258.
- Slejko D. and Rebez A.; 2002: Modelling the expected ground motion at the Vittorio Veneto (NE Italy) test site from uniform hazard response spectra. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 199-201.
- Slejko D. e Rebez A. (a cura di); 2002: G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni. Tipografia Mosetti, Trieste, 444 pp.
- Visintini, 2002a. Using MMS Techniques and CCD Images to Survey Building Façades for Seismic Vulnerability. Proceedings of the 2nd Symposium on "Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering", Berlin, 2002, pp. 216-226.
- Visintini, 2002b. Integrated Techniques for Low-Cost Surveying of Urban Areas. Proceedings of the ISPRS Commission III Symposium, Graz, 2002, IAPRS, vol. XXXIV, part 3B, pp. 287-292.

<http://ibrid.dic.unipd.it>: **Italian Bridge Interactive Database project - 2002.**