

VIA - Riduzione della Vulnerabilità sismica di Sistemi infrastrutturali e Ambiente Fisico

Coordinatore: Prof. Gian Michele Calvi

Relazione generale attività secondo anno

Il progetto si propone di studiare le problematiche legate alla valutazione di vulnerabilità e rischio sismico dell'ambiente fisico e di alcune tipologie infrastrutturali comprese in una selezionata area test collocata nella provincia di Benevento e nel seguito definita area campione. Gli studi descritti nel seguito, oltre all'ambiente fisico, si riferiscono a: input sismico, reti stradali (ponti e opere di sostegno); linee di distribuzione dell'energia elettrica; grandi complessi industriali e dighe in terra.

Sono stati trattati aspetti riguardanti la catalogazione, la modellazione del moto atteso, la modellazione delle tipologie strutturali, la valutazione di vulnerabilità e rischio, i metodi per la riduzione della vulnerabilità.

Gli obiettivi del progetto si possono sintetizzare nei seguenti punti:

- catalogazione di opere e sistemi vulnerabili all'interno dell'area campione;
- sviluppo di modelli semplificati per la valutazione della vulnerabilità di infrastrutture e ambiente a livello sia deterministico che probabilistico;
- realizzazione di uno strumento informatico territoriale (GIS) capace di rappresentare la cartografia dell'area e i sistemi infrastrutturali e di visualizzare le informazioni relative e i parametri sintetici attraverso i quali si identificano vulnerabilità e rischio sismico in funzione degli eventi occorsi;
- implementazione di procedure a livelli di complessità differenziati da integrare al GIS utilizzabili per le valutazioni assistite di rischio di sistemi infrastrutturali e dell'ambiente (utilizzabili off line e on line);
- sviluppo di metodi innovativi di riduzione della vulnerabilità riguardanti: il trattamento dei terreni, l'isolamento e la dissipazione artificiale, l'utilizzo di materiali avanzati quali i fibrorinforzati;
- produzione di mappe e dati per la gestione delle emergenze: danno atteso, percorsi alternativi, effetti sull'ambiente.

L'attività prevalente del primo anno è consistita nella raccolta dei dati relativi alla sismicità dell'area campione, nel censimento e rilievo delle opere infrastrutturali, nell'acquisizione degli strumenti cartografici per l'implementazione del GIS e nello studio teorico dei modelli di valutazione di pericolosità, vulnerabilità e rischio.

L'attività del secondo anno si è concentrata su aspetti più applicativi del programma di ricerca. È stata innanzitutto implementata una prima versione del GIS, a cura del gruppo di lavoro del Task 3, *Sviluppo di un sistema GIS*, consultabile all'indirizzo web <http://geo-survey.unipv.it/progvia>, al cui interno sono stati collocati i primi risultati delle analisi di pericolosità e di rischio per l'area campione e interfacciati con sistemi di consultazione intelligente dei database e di correlazione con i dati identificativi del territorio. In merito ai dati inseriti occorre segnalare che il gruppo di lavoro del Task 1, *Input sismico*, si è occupato della definizione della pericolosità sismica dell'area campione e dello sviluppo teorico di metodi per raffinarne la valutazione. Nel Task 2, *Vulnerabilità dell'ambiente fisico*, sono stati affrontati i problemi relativi alla

zonazione, allo sviluppo di un modello di schedatura delle frane suscettibili d'instabilità e al rilievo dell'area campione per l'individuazione dei siti maggiormente esposti al rischio. Nell'ambito del Task 4, *Vulnerabilità delle reti viarie*, sono proseguiti gli sviluppi sui temi specifici di valutazione di vulnerabilità, rischio e correlazione tra stati limite transitabilità dei ponti e della rete. Si è in particolare affrontato il problema della valutazione della vulnerabilità/sicurezza dei ponti e si è poi passati ad uno studio di rete rappresentato in modo efficiente e intuitivo all'interno del GIS. Sono state inoltre messe a punto delle linee guida per la valutazione della vulnerabilità di ponti. Per quanto riguarda il Task 5, *Vulnerabilità delle reti elettriche*, è stato effettuato un fondamentale studio del comportamento meccanico dei componenti di una stazione elettrica ad alta tensione, della sua vulnerabilità e dei sistemi di riduzione della medesima. In questo quadro è stata svolta un'importante attività teorica e sperimentale finalizzata alla caratterizzazione meccanica dei dispositivi di isolamento prescelti e dello sviluppo di modelli analitici corrispondenti. Nel Task 6, *Impianti industriali*, sono state prodotte linee guida per valutazioni di vulnerabilità di strutture prefabbricate di grande luce, sia esistenti che sottodimensionate. Per quanto riguarda il Task 7, *Dighe in terra*, sono state caratterizzate le proprietà meccaniche dei materiali del corpo diga e dei terreni di fondazione, sono state effettuate differenti modellazioni del problema al contorno. L'aspetto più interessante legato allo sviluppo del GIS è l'implementazione della funzionalità per il calcolo dell'hazard sismico e per le valutazioni di rischio secondo un approccio di tipo deterministico. I risultati presentati nel seguito appaiono in soddisfacente accordo con gli obiettivi previsti dal programma sia a livello globale che dei singoli task.

TASK 1 – “INPUT SISMICO E EFFETTI DI SITO”

Contributo a cura di: Dott. A. Herrero, ING - UniNA-DSF (Coordinatore)
UniCAL-DDS Prof. F. Silvestri
UniNA-DIG Prof. F. Vinale

L'U. R. si propone di definire la pericolosità sismica nella area campione in funzione della posizione delle strutture rilevate e di sviluppare metodi innovativi per raffinarne la valutazione. Il secondo anno è servito a mettere a punto i metodi più adeguati al compito richiesto e a fornire supporto e calcoli di input sismico specifici ad ogni Task. Lo sviluppo teorico sulla stima probabilistica della pericolosità sismica, inoltre, è continuato giungendo a risultati molto promettenti.

Lo studio effettuato sull'input sismico segue un approccio probabilistico basato sulla definizione di zone caratterizzate da una sismicità omogenea rispetto alla legge di Gutenberg-Richter. Mediante la definizione di una legge di attenuazione opportuna, per un sito dato e per un insieme di coppie di valori magnitudo-distanza individuanti il livello di accelerazione di picco, è possibile stimare la curva di probabilità di superamento associata. Data la curva, è possibile ricavare l'accelerazione di soglia corrispondente ad una probabilità di superamento (10%) su una finestra temporale data (50 anni). Il calcolo della curva può essere effettuato anche per un insieme di siti che ricoprono la zona di interesse (mappa di pericolosità sismica). La curva di probabilità di superamento per un sito assegnato, rappresenta l'input sismico di base richiesto dagli altri Task. Per la sua determinazione nella area campione, sono state prese in considerazione 5 zone sismogenetiche (fig. 1); i valori del tasso di sismicità,

del parametro b della legge di Gutenberg-Richter e delle massime magnitudo sono riassunti in tabella 1. Il picco di accelerazione spesso non è sufficiente per uno studio dettagliato della risposta della struttura ad una sollecitazione sismica. Esistono relazioni empiriche (Sabetta & Pugliese, 1996; Ambraseys et al., 1996) che seguono la filosofia delle leggi di attenuazione usate per calcolare la PGA, ma che esprimono la variazione di un certo parametro spettrale (PSV) ad una certa frequenza, in funzione della distanza, della magnitudo e per un livello assegnato di smorzamento. Utilizzando queste relazioni è possibile stimare per un sito dato e per un tempo di interesse assegnato, la probabilità di superamento del parametro spettrale in funzione dei diversi valori della frequenza propria (fig 2).

Altro obiettivo del Task consiste anche nello sviluppo di nuove metodologie. Una delle strade perseguite in questo Progetto è l'introduzione di informazione a priori sulla sorgente sismica nell'analisi probabilistica della pericolosità sismica. Questa informazione, introdotta a livello di legge di attenuazione, comprende il pattern di radiazione del meccanismo focale, l'effetto di direttività, la finitezza della faglia e la profondità focale. Nell'ultimo anno è stata studiata l'influenza del meccanismo focale sui risultati dell'analisi della pericolosità sismica; la ricerca effettuata ha permesso di introdurre nell'approccio probabilistico un'informazione a priori sul meccanismo focale; la sismicità di una data zona non solo verrà definita dal tasso di sismicità, dalla pendenza della legge di Gutenberg-Richter b e dalla magnitudo massima, ma anche da una distribuzione di meccanismi focali (p.e. 20% faglie trascorrenti e 80% faglie normali). Per un sito dato, dove il risultato si riassume in un solo valore di accelerazione, risulta complesso definire qual è la coppia magnitudo-distanza effettivamente associata. Il particolare studio chiamato *disaggregazione* permette di definire il terremoto di progetto in base ad un approccio probabilistico, partendo dalla frequenza annuale di superamento. Avendo precedentemente introdotto informazioni a priori sotto forma di pattern di radiazione nello studio della pericolosità sismica, è possibile applicare la tecnica di disaggregazione anche a questo tipo di parametro. La figura 3 mostra la marginale della densità di probabilità per tutti i parametri. Il risultato interessante e nuovo si osserva sul meccanismo focale e permette di dimostrare la maggiore importanza del dip della faglia sulla PGA.

Per quanto concerne gli obiettivi raggiunti e la congruenza con gli impegni assunti, il lavoro svolto durante il secondo anno è da considerare soddisfacente.

TASK 2 – “VULNERABILITÀ AMBIENTE FISICO”

Contributo a cura di: Prof. F. Silvestri, UniCAL-DDS (Coordinatore)
UniNA-DIG Prof. F. Vinale
ANAS Ing. A. Capuani

I principali prodotti del secondo anno di progetto sono: a) elaborazione della zonazione del rischio di instabilità dell'ambiente fisico di Livello II mediante analisi pseudo-statiche; b) sviluppo di un modello di schedatura delle frane suscettibili di instabilità in fase sismica e applicazione alla zona in esame; c) delimitazione e rilievo geologico dell'area da studiare con metodi di Livello III; d) individuazione dei siti di maggior esposizione al rischio da analizzare con metodi dinamici. Questi prodotti risultano leggermente modificati rispetto agli obiettivi iniziali a causa della necessità, avvertita nel corso del secondo anno di ricerca, di procedere per livelli crescenti di approfondimento sulle conoscenze del sottosuolo.

Nell'ambito dei fenomeni di grandi deformazioni del suolo sismicamente indotte, l'analisi del rischio di liquefazione e di subsidenza è marginale rispetto a quella del rischio di instabilità dei versanti naturali. Si è deciso pertanto di procedere all'analisi ed alla zonazione del rischio frana in un'area di dimensioni limitate, in cui numerosi fenomeni franosi incombenti sono stati censiti (fig. 4). La metodologia di analisi e zonazione ha richiesto come elementi conoscitivi essenziali la raccolta e la sintesi di dati già disponibili per l'individuazione di zone omogenee per caratteristiche non solo litologiche ma anche fisico-meccaniche. La definizione dei caratteri geotecnici dei litotipi è stata possibile grazie alla raccolta di dati provenienti da numerose indagini in sito e prove di laboratorio eseguite nell'area campione. Ciascuna verticale di indagine è stata georeferenziata e inserita nel GIS in forma di scheda riassuntiva.

E' stato messo a punto un modello di schedatura di frane ricadenti in zona sismica, in base a esempi pubblicati in letteratura tecnica (Andrighetto, 1994) o utilizzati dalle Autorità di bacino (Regione Calabria, 2001). La scheda, in formato ACCESS, si articola nelle tre sezioni di dati generali, geomorfologici e geotecnici. La scheda è stata usata nel corso dei rilievi geomorfologici 1:10.000 che hanno condotto alla cartografia dei movimenti franosi in atto nella zona di studio, per la descrizione di alcune delle frane attive. Il precedente Task ha calcolato le curve di pericolosità di tale zona per un periodo d'interesse di 50 anni, nonché gli spettri di hazard uniforme, con riferimento ad una probabilità di superamento del 10%.

Sono stati completati i rilievi geologici 1:10.000 ottenendo una descrizione ed una perimetrazione più attendibili degli affioramenti e delle frane attive, individuando, inoltre, due siti di particolare interesse per gli approfondimenti di Livello III. Per queste frane sono state elaborate le sezioni longitudinali 1:10.000, ma si prevede di sottoporle a studi più accurati nel corso del 3° anno di progetto.

Dopo aver preparato gli strumenti metodologici, l'attività del secondo anno è stata in gran parte dedicata agli studi sull'area-campione, pervenendo ad un soddisfacente grado di conoscenza delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei depositi. La cartografia topografica, geologica e geomorfologica (scala 1:25.000 e 1:10.000) è già predisposta per l'immediata implementazione su GIS e pronta per la redazione di mappe di rischio sia di livello II (in termini di coefficienti di sicurezza) che di livello III (in termini di spostamenti).

La caratterizzazione delle proprietà fisico-meccaniche dei depositi risulta praticamente completata e di soddisfacente affidabilità, anche se indubbiamente penalizzata dalla difficoltà di reperimento dei dati geotecnici esistenti e dell'attendibilità non sempre elevata degli stessi.

La definizione della pericolosità di riferimento è completa: a breve si adotteranno scenari per mappe di zonazione secondo un approccio deterministico, facendo riferimento ad un evento recente (Irpinia 1980, $M_S=6.9$) ed uno storico (Sannio 1688, $I=X$). Alla distribuzione di accelerazioni massime previste su affioramento rigido verranno applicati coefficienti di amplificazione secondo le indicazioni dell'Eurocodice 8. Per le frane attive verranno invece sviluppate analisi di vulnerabilità e rischio secondo approcci probabilistici, riferendosi alle curve elaborate dal precedente Task. Nonostante le correzioni di obiettivi in corso d'opera, e le difficoltà incontrate per effetto del ritardato finanziamento, gli obiettivi di questo Task per il secondo anno di progetto debbono quindi ritenersi senz'altro conseguiti soddisfacentemente.

TASK 3 “PRODUZIONE DEL GIS E CATALOGAZIONE A LIVELLO NAZIONALE”

Contributo a cura di: Prof. R. Galetto, UniPV-DIET (Coordinatore)
tutte le Unità di Ricerca

Le attività svolte dal presente Task nel primo anno sono state: a) definizione del modello concettuale del GIS; b) definizione dell'area test; c) acquisizione dei dati di impianto di conoscenza del territorio; d) scelta ed acquisto della strumentazione hardware e software per la realizzazione del prototipo di GIS; e) prime elaborazioni del GIS.

Durante il primo anno sono stati acquisiti dati di descrizione del territorio (cartografia nazionale di base, carte tematiche sulle frane e sui dissesti, ortofoto digitale). In sede di esame consuntivo delle attività dell'intero Gruppo di Ricerca, è emersa l'opportunità di realizzare un Map Server in grado di consentire a tutte le Unità di Ricerca la consultazione in rete dei dati del GIS e di utilizzarne le funzionalità.

In seguito a queste considerazioni ed agli obiettivi del primo anno, le attività del presente Task hanno riguardato: a) inserimento nel GIS di nuovi dati cartografici territoriali e di dati vettoriali e descrittivi relativi alle infrastrutture; b) predisposizione della struttura hardware e software per il Web server; c) realizzazione del Map server in ambiente ESRI; d) implementazioni di funzionalità per la gestione dei dati delle infrastrutture; e) sviluppo della funzionalità di simulazione degli effetti di un terremoto secondo un approccio deterministico; f) realizzazione del Map server in ambiente Java; g) ottimizzazione della gestione delle immagini raster e dei tempi di trasmissione via rete.

L'inserimento di nuovi dati cartografici territoriali e vettoriali delle infrastrutture per tutta la area campione è stato effettuato mediante la cartografia dell'IGMI alla scala 1:25.000 e 1:100.000 ed operando in ambiente ArcInfo. Sono state inserite nel GIS molte cartografie tematiche, fra cui la carta degli insediamenti urbani e delle infrastrutture e quella della vulnerabilità segnalata del tessuto urbano ed infrastrutturale. È stata inoltre inserita una funzionalità dedicata alla visualizzazione delle informazioni descrittive per tutti i tipi di cartografia e delle relative legende.

I seguenti dati, acquisiti dagli altri Task, sono stati inseriti nel GIS in forma di entità vettoriali sempre operando in ambiente ArcInfo: a) 40 ponti di diversa struttura e tipologia; b) 26 stazioni di energia elettrica; c) un impianto industriale.

Per l'inserimento dei dati descrittivi dei ponti è stato realizzato un database di informazioni riguardante i particolari strutturali, le immagini fotografiche, le PGA di snervamento e di collasso dei ponti rilevati. La sismicità di una data zona è simulata numericamente mediante il calcolo della PGA in funzione di intensità sismica, coordinate epicentrali, legge di attenuazione. Lo stato delle strutture susseguente al sisma è visualizzato sotto forma di rapporto tabellare in cui sono confrontate le PGA discendenti da un'analisi di vulnerabilità e quella relativa alla sismicità del sito.

Una seconda fase del lavoro ha riguardato sia l'ottimizzazione del Map server che della gestione delle immagini. Il lavoro di ricerca è stato ampliato effettuando uno studio di confronto tra Map server realizzati in ambienti differenti: la personalizzazione del Map server con l'aggiunta di funzioni non standard è risultata molto impegnativa, sia per la complessità dell'architettura client-server che per la struttura del software ArcIMS. La soluzione alternativa è stata realizzata con componenti di tipo open-source e interfaccia scritta in linguaggio Java con le stesse funzionalità della precedente in ambiente Esri. È stata dedicata particolare attenzione

alla gestione delle immagini raster, i cui tempi di risposta erano inizialmente non ottimizzati, ma successivamente ridotti di un fattore 10 mediante l'utilizzo di un apposito software di compressione.

Per quanto riguarda gli obiettivi conseguiti e la congruenza con gli impegni assunti, la ricerca effettuata nel secondo anno di attività è in perfetto accordo con quanto previsto originariamente. La pubblicazione del GIS in rete mediante Map server, inoltre, costituisce un importante miglioramento rispetto alle previsioni iniziali.

TASK 4 – “VULNERABILITÀ RETI VIARIE”

Contributo a cura di: Prof. P.E. Pinto, UniROMA1-DISeG (Coordinatore)
UniPV-DMS Prof. G.M. Calvi
UniNA-DIG Prof. F. Vinale

L'attività del secondo anno è consistita nella naturale prosecuzione del lavoro svolto durante il primo anno per il raggiungimento dei seguenti obiettivi: a) realizzazione di linee guida per la valutazione della vulnerabilità sismica dei ponti; b) realizzazione di strumenti informatici per la valutazione di vulnerabilità e rischio interfacciati con il GIS; c) calibrazione del grafo di rappresentazione stradale; d) definizione dei pesi di traffico sulla rete viaria dell'area campione.

I primi tre risultati sono stati effettivamente conseguiti; l'indisponibilità dei dati ha reso necessario posporre all'anno successivo l'ultimo punto. È stato in ogni caso anticipatamente e significativamente sviluppato l'argomento “vulnerabilità della rete stradale”, previsto per il terzo anno. Le tecniche di soluzione adottate fanno riferimento allo stato dell'arte con significativi spunti innovativi.

L'Unità di Roma ha operato in ambito probabilistico mettendo a punto una procedura per la valutazione del rischio sismico di una rete viaria partendo dalla valutazione della fragilità delle opere d'arte presenti. Dal rilievo effettuato sui ponti dell'area campione risulta che la tipologia largamente predominante è quella a travi isostatiche. Ai fini dell'analisi strutturale, le pile sono modellate come un oscillatore non-lineare ad un grado di libertà; le statistiche della risposta massima di una generica pila soggetta ad eccitazione sismica si ricavano mediante simulazione. Nota la capacità di una specifica pila, ed assumendo che la capacità e la risposta siano caratterizzate da una distribuzione di probabilità log-normale, la probabilità di collasso si stima mediante un'analisi FORM ed è espressa sotto forma di curve di fragilità. Al fine della determinazione delle curve di fragilità (fig. 5), è stato calcolato il valor medio della massima domanda di duttilità in spostamento in funzione del periodo proprio e del coefficiente di progetto, sono stati utilizzati 41 accelerogrammi naturali, un legame costitutivo di tipo Takeda e uno smorzamento del 5%. La rete viaria è rappresentata mediante vari tronchi connessi ai loro estremi in cui possono essere presenti una o più opere d'arte. Il sistema ipotizzato è di natura esclusivamente connettiva; si assume inoltre che per ciascun tronco siano possibili solo due stati: transito garantito o transito interrotto. Il collasso della rete viaria a seguito di un evento sismico è definito come la mancata connessione tra due punti prescelti del grafo. La probabilità di collasso di ciascun tronco si determina ipotizzando un sistema in serie, mentre la probabilità complessiva è valutata sfruttando la teoria dei *minimal cut-set* (minimo insieme di tronchi necessari per interrompere la connessione tra due punti prescelti della rete) e i limiti di Ditlevsen.

L'Unità di Pavia ha proseguito lo studio di tipo deterministico: il codice di calcolo

SVVS per la valutazione della vulnerabilità dei ponti in c.a. è stato ulteriormente sviluppato e quindi applicato alla maggior parte delle opere d'arte rilevate nell'area campione. La procedura messa a punto prevede la definizione iniziale di stati limite di progetto globali (transitabilità ininterrotta, transitabilità consentita solo ai mezzi di soccorso, transitabilità interrotta) definiti sulla base del danneggiamento locale, individuato da variabili meccaniche quali lo spostamento o la richiesta di duttilità in sommità delle pile, la curvatura nelle sezioni di base, la resistenza a taglio e flessione. Il tipo di procedura di calcolo per la valutazione della risposta sismica del generico ponte (DDBA, direct displacement based assessment) è dipendente dalla tipologia strutturale (es: ponte a campate isostatiche, ponte a campate continue) ed è basata sull'esecuzione di analisi push over mediante le quali vengono determinati diagrammi forza-spostamento locali e globali e diagrammi momento curvatura delle sezioni degli elementi strutturali. La struttura viene successivamente ricondotta al caso dell'oscillatore semplice equivalente, caratterizzato da un periodo, da una duttilità ed uno smorzamento (Kovalsky) calcolati in funzione della risposta globale. Scelto uno spettro di risposta in spostamento (EC8) in funzione del tipo di suolo e dello smorzamento precedentemente calcolato, si determina lo spostamento spettrale per una accelerazione di picco al suolo (PGA) unitaria corrispondente al periodo equivalente. La PGA associata allo stato limite prescelto è valutata come il rapporto tra lo spostamento di stato limite ed il precedente spostamento spettrale. La procedura descritta è stata applicata alle principali opere d'arte rilevate nell'area campione. In fig. 6 sono riportati alcuni risultati parziali (curve forza-spostamento delle singole pile) per il viadotto autostradale "Sambuchi". Entrambe le metodologie (probabilistica e deterministica) sono state implementate nel GIS ad opera dell'Unità di Pavia-DIET al fine della determinazione di un database per la valutazione dello stato post-sismico delle opere d'arte dell'area test.

Secondo il presente Task, per quanto riguarda gli obiettivi raggiunti nel secondo anno di ricerca e la congruenza degli impegni assunti, il lavoro effettuato è da ritenersi soddisfacente.

TASK 5 – "VULNERABILITA' DI RETI ELETTRICHE"

Contributo a cura di: Prof. R. Giannini, UniROMA3-DiPSA (Coordinatore)
UniROMA1-DiSeG Prof. P.E. Pinto

Gli obiettivi posti per l'attività del 2° anno riguardavano prevalentemente lo studio del comportamento meccanico dei componenti di una stazione elettrica ad alta tensione, della loro vulnerabilità e dei sistemi di riduzione della medesima. In questo quadro è stata svolta una cospicua attività sperimentale, oltre che teorica, per la caratterizzazione meccanica dei dispositivi di isolamento prescelti e dello sviluppo di modelli analitici corrispondenti. È in fase di svolgimento la caratterizzazione del comportamento meccanico delle apparecchiature e del materiale ceramico che le costituisce. A compensazione del lieve ritardo dell'attività sperimentale, è già stata messa a punto una procedura informatica per la valutazione del rischio sismico della rete elettrica nazionale.

Presso il Laboratorio dell'Università di Roma Tre sono state effettuate prove sperimentali per l'analisi del comportamento ciclico di ammortizzatori a cavo metallico (Wire-Rope), costituiti da un unico cavo a trefoli in acciaio inox elicoidale. La flessibilità meccanica dell'intero cavo conferisce al Wire-Rope ottime proprietà di

isolamento dalle vibrazioni, mentre lo scorrimento mutuo dei trefoli conferisce un'elevata capacità dissipativa. Le prove sono state effettuate su tre differenti tipologie dimensionali. La fig. 7 mostra alcuni esempi del comportamento dell'isolatore sottoposto a cicli di diversa ampiezza e frequenza. Una caratteristica comune è la sostanziale stabilità e indipendenza dalla frequenza dell'eccitazione, mentre, la loro forma dipende fortemente dalla direzione di sollecitazione. Nel caso di trazione/compressione, i cicli sono asimmetrici con softening in compressione e hardening in trazione. Lo smorzamento associato è circa del 15-20%. Il comportamento ciclico per sollecitazioni di taglio è di tipo simmetrico con rigidità equivalente dipendente dallo sforzo normale. La rigidità diminuisce all'aumentare del livello di compressione. La capacità dissipativa è più elevata nel caso di sollecitazioni di taglio in direzione longitudinale (Shear). E' in fase avanzata la seconda parte dell'attività sperimentale riguardante le prove statiche su apparecchiature elettriche della sottostazione di Valmontone (isolatori per colonne portanti e di manovra di sezionatori e trasformatori TA). La finalità delle prove è la valutazione della resistenza statica dei singoli elementi, utile per la successiva fase che prevede analisi di fragilità delle apparecchiature elettriche.

Al fine di effettuare simulazioni numeriche del comportamento sismico di apparecchiature elettriche isolate alla base, i wire-rope sono stati modellati con l'ausilio del modello di Buoc-Wen classico, mentre per il caso di trazione/compressione è stato necessario adottare una parziale modifica. I parametri utilizzati per tipologia e sollecitazione sembrano cogliere soddisfacentemente il comportamento sperimentale. Sono state condotte analisi numeriche per la valutazione del comportamento sismico di apparecchiature elettriche ad alta tensione. Utilizzando un modello strutturale semplificato a 5 g.d.l. è stata simulata la risposta sismica di un interruttore da 420 kV isolato alla base con 4 ammortizzatori wire-rope. Esaminando la time-history del taglio alla base dell'interruttore con e senza isolamento si nota l'efficacia del sistema di controllo (riduzioni intorno al 50%).

Per quanto concerne gli strumenti di calcolo per analisi di affidabilità sismica della rete elettrica, lo stato dell'arte è rappresentato da ASKxELP [Giannini e Vanzi, 1999], un programma basato su procedure Monte Carlo. Nell'ottica di includere gli effetti della variabilità spaziale del moto del suolo, che possono dare luogo a localizzazioni del danno con conseguente sconnessione dello schema di rete, il valore della PGA nello spazio $F(\mathbf{x}, \mathbf{g}, q_m, q_v)$ è stato trattato come la somma di una componente deterministica data dalle leggi di attenuazione comunemente impiegate in ingegneria sismica, ed un termine aleatorio a media nulla, $\epsilon(\mathbf{x}, \theta_v)$, dove \mathbf{x} indica la posizione, \mathbf{g} le altre quantità osservabili che influenzano il campo, mentre θ_m e θ_v sono i parametri necessari a modellare la componente deterministica e aleatoria del campo. Una misura statistica della componente aleatoria e' rappresentata dalla funzione di auto-covarianza, $C_{FF}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, q_v) = \text{Cov}[\epsilon(\mathbf{x}_1, q_v), \epsilon(\mathbf{x}_2, q_v)]$, dove \mathbf{x}_1 e \mathbf{x}_2 sono due punti nello spazio. Differenti metodi per la valutazione della struttura di autocorrelazione dai dati di un campo sperimentale sono disponibili in letteratura e saranno oggetto di studio nel prosieguo del progetto di ricerca. Volendo integrare il funzionamento della procedura di calcolo Monte Carlo di ASKxELP generando una statistica di $F(\mathbf{x}, \mathbf{g}, \theta_m, \theta_v)$ sufficientemente prossima a quella obiettivo, la correlazione è stata ottenuta attraverso una decomposizione di Cholesky della matrice di correlazione e, per campi non-Gaussiani.

Il lavoro svolto nel secondo anno del Progetto di ricerca è da ritenere soddisfacente in termini di obiettivi raggiunti e congruenza con gli impegni inizialmente assunti.

TASK 6 – “VULNERABILITÀ DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI”

Contributo a cura di: Prof. G. Manfredi, UniNA-DAPS (Coordinatore)
UniPV-DMS Prof. G.M. Calvi
UniROMA1-DISeg Prof. P.E. Pinto
UniROMA3-DiPSA Prof. R. Giannini

Il presente Task sviluppa in parallelo gli argomenti legati alla valutazione delle vulnerabilità di strutture prefabbricate e di impianti industriali, in particolare petrolchimici. Gli obiettivi del secondo anno sono: a) la realizzazione di linee guida per la valutazione della vulnerabilità di strutture prefabbricate di grande luce esistenti e sottodimensionate; b) la definizione di parametri sintetici di valutazione del potenziale di rischio e della vulnerabilità di impianti petrolchimici.

Per il raggiungimento del primo obiettivo sono state analizzate le caratteristiche strutturali degli edifici industriali prefabbricati costruiti in Italia negli anni '60 e '70, sulla base dello studio di opere effettivamente eseguite. Un edificio industriale prefabbricato, opportunamente identificato come rappresentativo di una classe di strutture costruite nel periodo di riferimento, è analizzato come caso studio in campo non lineare sotto carichi verticali ed orizzontali. L'influenza di alcuni parametri, come la deformabilità delle unioni trave-pilastro ed il fenomeno della “fixed and rotation” sulla capacità dell'edificio, sono stati valutati mediante analisi push over. Il collasso dell'edificio di riferimento è dovuto alla formazione di una cerniera plastica alla base dei pilastri, che anticipa anche il collasso della unione trave-pilastro; soltanto nel caso di barre lisce in assenza di gancio nell'unione pilastro-fondazione il collasso è dovuto al pull-out dell'armatura e, conseguentemente, la struttura presenta una duttilità molto bassa. I risultati delle analisi spettrali semplificate fondamentalmente confermano i risultati del calcolo convenzionale, sebbene il ruolo della “fixed end rotation” alla base dei pilastri appare essere rilevante.

Per quanto riguarda il secondo obiettivo, è stata dapprima analizzata la situazione italiana degli impianti industriali a rischio, in particolare le installazioni che rientrano nella definizione degli articoli 6 ed 8 del Dgls 334/99 “Seveso Bis”. Per l'analisi dei dati territoriali sono intersecati tra loro i dati del censimento degli impianti del Ministero dell'Ambiente (2001) e quelli del Servizio Sismico Nazionale per la classificazione sismica del territorio. Ciò ha consentito non solo una prima quantificazione del rischio industriale/petrolchimico nell'area campione, ma su tutto il territorio nazionale. È stato condotto uno studio dettagliato sulla vulnerabilità strutturale di serbatoi in acciaio saldati seguendo un approccio di tipo statistico-osservazionale ed uno di tipo affidabilistico. E' stato necessario eseguire una analisi di vulnerabilità sismica specifica per i serbatoi in acciaio. Gli stati limite presi in considerazione si riferiscono all'instabilizzazione del mantello ed allo spostamento rigido della struttura a seguito del superamento della soglia di attrito statico tra serbatoio e terreno di posa. I risultati della analisi, sebbene provvisori, sono stati implementati nel sistema GIS con l'aiuto dell'Unità di Pavia-DIET; è attualmente in corso la generazione di un modello tridimensionale navigabile interattivamente, inoltre, per ciascuno dei serbatoi presenti nell'impianto, sono associati una scheda di vulnerabilità e le curve di fragilità per l'instabilizzazione del mantello.

Gli studi realizzati ed i risultati ottenuti sono congruenti con gli obiettivi prefissati per il secondo anno.

TASK 7 – “VULNERABILITÀ DELLE DIGHE IN TERRA”

Contributo a cura di: Prof. F. Vinale, UniNA-DIG (Coordinatore)
UniCAL-DDS Prof. F. Silvestri

Durante il primo anno del progetto l'attività di ricerca è stata finalizzata allo studio di letteratura sui possibili danni che terremoti strong-motion possono arrecare alle dighe in terra e sugli approcci utilizzabili per lo studio del comportamento sismico di tali strutture. E' stata inoltre selezionata una case-history da utilizzare come diga campione per l'applicazione delle diverse procedure di analisi individuate. Durante il secondo anno di attività sono state determinate le caratteristiche meccaniche dei materiali appartenenti al corpo diga ed ai terreni di fondazione; sono state effettuate diverse modellazioni del problema al contorno risolto per via numerica.

Previsioni affidabili del comportamento sismico delle dighe in terra rispetto a meccanismi di instabilità globale ed alla riduzione del franco disponibile richiedono la definizione di uno scenario sismico plausibile e l'adozione di modellazioni in grado di prevedere in modo attendibile gli effetti dell'input sismico. Approcci numerici adeguati devono tenere in considerazione tutte le peculiarità che caratterizzano la risposta meccanica di un elemento di terreno: dipendenza dallo stato tensionale efficace, dipendenza dalla storia di sollecitazione, isteresi, liquefazione, degrado ciclico. A valle dell'ampia attività di ricerca condotta nel corso del primo anno è stata selezionata una diga campione ben documentata ed è stato individuato un approccio dinamico-accoppiato come strumento idoneo alla previsione. Nell'ambito di tale approccio il comportamento tenso-deformativo dello scheletro solido del materiale da nucleo e dei fianchi è modellato attraverso la legge costitutiva elastoplastica ad incrudimento combinato (Aubry et al., 1982 e Hujeux, 1985). Il modello riproduce attendibilmente gli aspetti principali che caratterizzano il comportamento non lineare dei terreni entro un ampio intervallo di deformazione. Il set di equazioni di governo è implementato nel codice agli elementi finiti Gefdyn. Il programma di ricerca che è stato elaborato prevede la determinazione del comportamento tenso-deformativo di tipo monotono dall'interpretazione delle prove di laboratorio e di sito disponibili, nonché dalla back-analysis dei dati del monitoraggio statico. Il comportamento ciclico è definito, invece, parametricamente sulla base di dati di letteratura.

Durante il secondo anno di attività di ricerca è stata svolta un'intensa attività sperimentale. La tecnica SASW è stata applicata al fine di determinare la rigidità iniziale dei terreni della diga (nucleo e fianchi) e della fondazione. E' stato inoltre progettato e realizzato un sistema di monitoraggio sismico costituito da cinque postazioni accelerometriche in grado di cogliere con accuratezza sia il comportamento tenso-deformativo, fortemente influenzato dalla storia di carico passata, sia l'amplificazione del segnale sismico sulla struttura.

Le fasi statiche (costruzione e primo invaso) della diga campione sono state simulate numericamente per controllare e ricalibrare i parametri costitutivi del terreno a medie e grandi deformazioni. Tramite una procedura di back-analysis sulle fasi statiche della diga è stato individuato un set di parametri in grado di riprodurre in modo soddisfacente i cedimenti e le pressioni neutre durante la costruzione ed il primo invaso. Sono state eseguite analisi bidimensionali usando l'ipotesi semplificata di

stato di deformazione piano e portando in conto la dipendenza della rigidità dei materiali dalla tensione media efficace. Lo sviluppo della ricerca ha richiesto durante il secondo anno lo svolgimento delle seguenti attività: a) caratterizzazione meccanica dei materiali da costruzione e dei terreni di fondazione; b) modellazione numerica del problema al contorno con differenti metodi di analisi. A parere del gruppo di ricerca UniNa-DIG, ciascuno degli impegni su indicati sono stati soddisfacentemente portati a termine.



Fig. 1. Geometria delle 5 zone sismogenetiche dell'area test.

Zona	l (tasso di sismicità)	b (Gutenberg-Richter)	Magnitudo max
Z56	0.004	0.7278	6.2
Z57	0.10	0.9295	5.0
Z58	0.088	0.5850	7.3
Z62	0.091	0.5722	6.7
Z63	0.315	0.6716	7.0

Tab. 1: Tabella riassuntiva della massima magnitudo delle 5 zone dell'area test.

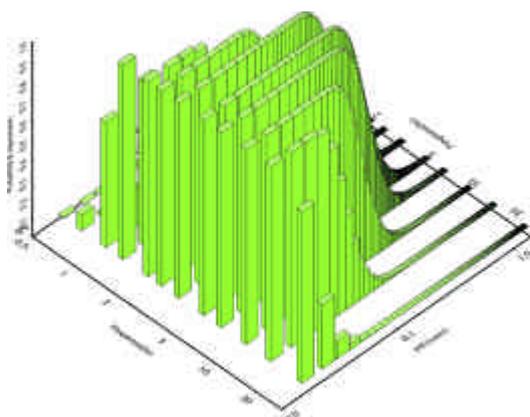


Fig. 2. Curve di probabilità di superamento di pseudo velocità per diverse frequenze proprie.

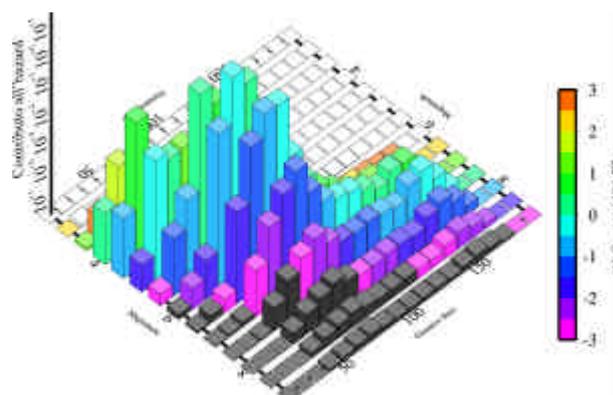


Fig. 3. Contributo alla pericolosità sismica in funzione della distanza e della magnitudo.

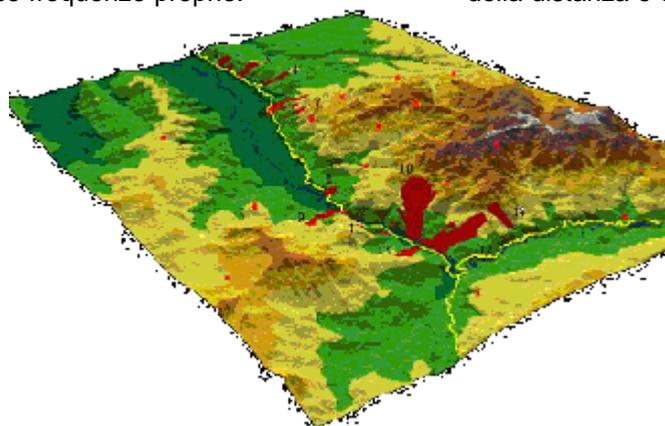


Fig. 4. Modello digitale 1:25.000 e aree in frana zona di interesse (S.S.88 lungo Fiume Sabato).

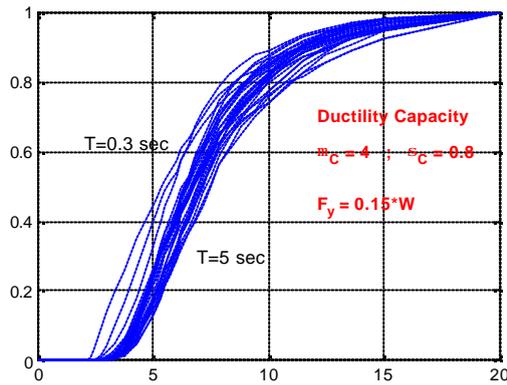


Fig. 5. Curve di fragilità per pile di capacità 4 e periodo compreso fra 0.3 s e 5 s.

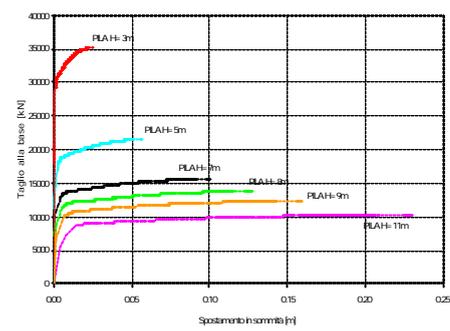


Fig. 6. Viadotto Sambuchi: curve forza-spostamento delle singole pile.

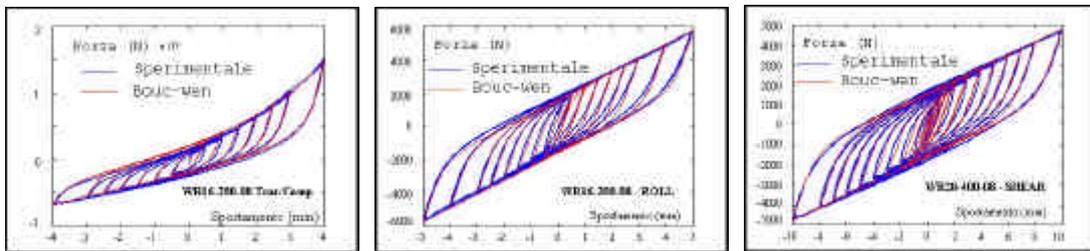


Fig. 7. Esempi di cicli sperimentali per le tipologie di sollecitazione tipiche.

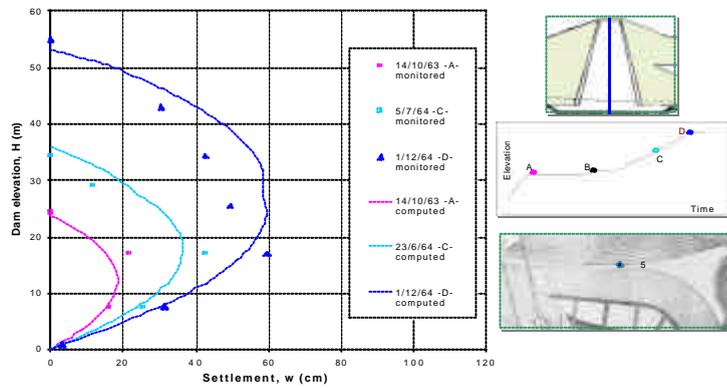


Fig. 8. Diga campione: confronto fra sedimenti calcolati e misurati in fase di costruzione.

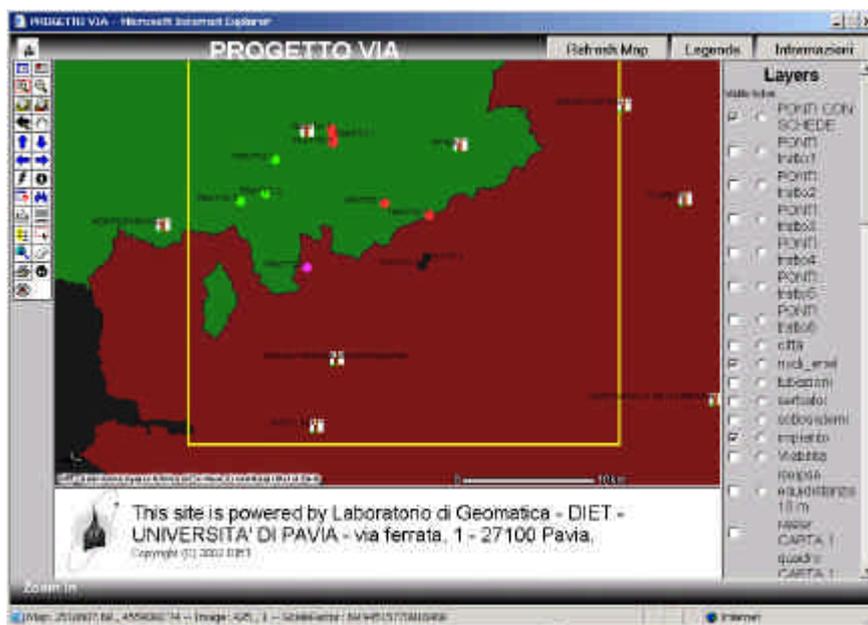


Fig. 9. Esempio di schermata del Map Server per l'interazione col client.

Caratteristiche Sisma								
Coordinate Ipocentro			Magnitudo	Parametro tipo di terreno				
Nord [m]	Est [m]	Profondità [m]						
4551196	2505018	1500	7			1		
Risultati della simulazione								
Nome	Tipo	Nord [m]	Est [m]	Dist. Ipocentro [Km]	PGA snerv.	PGA collasso	PGA simulato	Stato
DENTECANE	viadotto	2511350	4542749	10.198	0.24	0.9	0.476	Parzialmente agibile
DEL DUCA	viadotto	2511030	4542126	11	0.11	0.75	0.449	Parzialmente agibile

Fig. 10. Esempio di report dello stato post-sismico delle strutture.