



Vademecum per la verifica sismica di edifici esistenti

a cura di

Giuliano Panza

Professore Ordinario

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste
panza@units.it

Fabio Romanelli

Ricercatore

Dipartimento di Matematica e Geoscienze, Università degli Studi di Trieste
romanel@units.it

Franco Vaccari

XeRiS Project Manager

eXact lab Srl

info@xeris.it, <http://www.xeris.it>

Giorgio Altin

Libero Professionista

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Trieste
galtin@altingiorgio.191.it

Agosto 2015

Vademecum per la verifica sismica di edifici esistenti

Introduzione

Il presente documento vuole descrivere il processo che porta alla verifica sismica di un immobile mediante l'uso di un approccio neodeterministico (NDSHA, Panza et al, 2001; 2012) per il calcolo dell'input sismico, con controllo della fase di modellazione numerica dell'edificio mediante misure di vibrazione della struttura reale.

La normativa cui si fa riferimento sono le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) D.M. del 14/01/2008, nonché la Circolare 617 di data 02/02/2009.

Si ricorda che originariamente l'obbligo di verifica sismica per gli edifici di carattere strategico e di interesse rilevante, era stata introdotta dall'ordinanza 3274/2003.

Una strategia efficace per la mitigazione del rischio sismico dipende sostanzialmente da tre fattori:

- a) la stima adeguata della pericolosità sismica, ossia la descrizione realistica dei terremoti attesi e degli effetti legati alla propagazione delle onde sismiche;
- b) la valutazione della vulnerabilità delle strutture ed infrastrutture presenti nella regione in esame in funzione delle loro caratteristiche tecnico-strutturali e del moto del suolo atteso nell'eventualità di un forte terremoto;
- c) la valutazione dell'esposizione di tali strutture ed infrastrutture (cioè del loro "valore", tenendo conto dei contenuti in termini sia di vite umane che di oggetti).

Per ridurre significativamente il rischio associato agli eventi sismici è necessario l'impiego di avanzate metodologie sismologiche per la stima realistica della pericolosità sismica, come previsto anche al punto C3.2.3.6 della Circ. 617/2009.

Tale approccio però, se non abbinato ad un adeguato controllo della fase di modellazione e calcolo della risposta dell'edificio, che comunemente vien condotta dall'ingegnere, rischia di non sfruttare adeguatamente il modello di pericolosità per quanto accurato esso sia.

Stima della pericolosità sismica da eventi di scenario (NDSHA)

Una stima adeguata della pericolosità per il sito di interesse può essere ottenuta mediante il calcolo degli input sismici associati a una serie di "terremoti di scenario": si considera un insieme di sorgenti sismiche ubicate all'interno di zone sismogenetiche omogenee e si assegna, entro ciascuna zona, una tipologia di sorgente sismica rappresentativa (meccanismo focale). Il momento sismico (che è una quantità indicativa dell'energia rilasciata da un terremoto) associato a ciascuna sorgente è stimato considerando la massima magnitudo dedotta dalla storia sismica nell'area d'interesse, integrata da ulteriori informazioni disponibili, quali il potenziale sismico delle faglie attive (e.g. DISS, 2010) e le analisi morfostrutturali (e.g. Gorshkov et al., 2013). Il valore di magnitudo considerato deve essere prossimo al Massimo Terremoto Credibile (MCE) per l'area in esame che, nel caso di incertezze, può essere adeguato tramite uno studio parametrico ad hoc, del tutto agevole usando NDSHA.

Le analisi sismologiche e morfostrutturali permettono quindi la definizione di "terremoti di scenario", ossia dei forti terremoti che possono aver luogo nella regione di interesse, e quindi di modellare l'input sismico in siti predeterminati. Le sorgenti sismiche così definite sono infatti utilizzate per generare una banca-dati composta di accelerogrammi ottenuti mediante la modellazione realistica del moto del suolo, effettuata utilizzando i principi fisico-matematici che stanno alla base della generazione, propagazione e amplificazione locale delle onde sismiche, come suggerito dalla norma (§ C3.2.3.6 e § 3.2.3.6). La modellistica sismologica fornisce parametri che, trasformati in termini ingegneristici, possono consentire una valutazione affidabile e adeguata del carico che dovrà essere sopportato dalle strutture di particolare rilevanza (e.g. ponti, dighe, aree industriali a rischio, ospedali, scuole ed edifici di rilevante interesse storico) in caso di forte terremoto, consentendo la verifica della idoneità progettuale delle strutture presenti nelle aree campione e dei siti dove esse insistono. L'analisi ingegneristica per la stima completa della risposta non-lineare di strutture specifiche, infatti, richiede una descrizione appropriata del moto del suolo mediante sismogrammi completi, mentre le metodologie tradizionali per la stima della pericolosità sismica si limitano a fornire dei valori di picco e sono difficilmente generalizzabili.

La modellazione realistica del moto del suolo, unitamente a un'adeguata rappresentazione del comportamento delle strutture, può consentire una stima preventiva del quadro di danni fisici, permettendo di individuare le misure strutturali utili al consolidamento, ove possibile, e alla salvaguardia delle opere civili e degli insediamenti urbani, anche mediante tecnologie innovative quali l'isolamento sismico e la dissipazione di energia.

Modellazione e verifica sismica dell'edificio

La fase di modellazione numerica dell'edificio viene in parte anticipata ed in parte accompagnata da quella di rilievo della geometria, delle caratteristiche strutturali e di quelle dei materiali che lo compongono. Tale fase, coerentemente con il livello di conoscenza che si vuole e può raggiungere, viene dettagliatamente descritta nella Circ. 617/2009. Essa condiziona anche il tipo di analisi numerica che si può effettuare imponendo precise limitazioni tra lineare, non lineare, statica o dinamica.

Nella corretta modellazione di edifici esistenti non si può prescindere dal condurre uno studio che affianchi all'approccio tradizionale di modellazione numerica, anche un'attenta analisi vibrometrica dell'edificio. Lo studio della vibrometria permette all'ingegnere di tarare e affinare il modello di calcolo nella direzione suggerita dal risultato sperimentale di una misura fisica. Se a questo si accompagna parallelamente lo studio neodeterministico (NDSHA) di input sismici specifici per il sito, contemplando adeguatamente tutti gli scenari conseguenti a diversi meccanismi di sorgente, allora l'approccio permette di lavorare sia nella direzione di ottenere modelli con comportamento dinamico il più possibile aderente a quello reale sia in quella di applicare agli stessi modelli le accelerazioni che in fase di verifica risultino maggiormente conservative. Per una migliore comprensione dei concetti esposti si veda la Figura 1 nella quale è rappresentato un tipico spettro di risposta standard, e quindi regolarizzato, ottenuto da normativa NTC 2008, che viene utilizzato come input sismico.

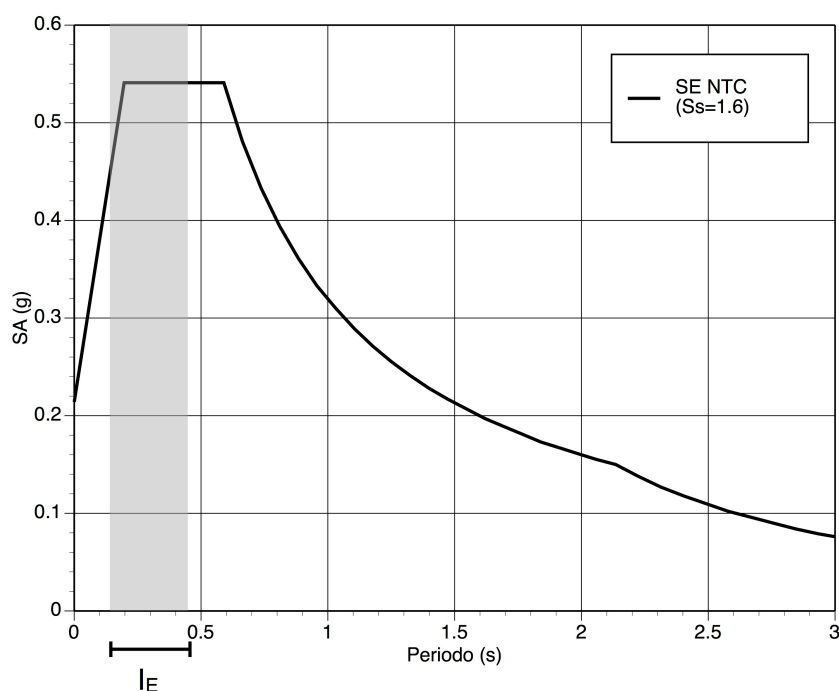


Figura 1. Esempio di spettro di normativa standard, dove l'intervallo I_E evidenziato è riferito ai periodi di vibrazione tipici degli edifici in muratura.

L'intervallo I_E rappresenta realisticamente i periodi propri delle tipologie di edifici in muratura, di tre/cinque piani, caratteristici, ad esempio, della zona del Borgo Teresiano del centro di Trieste. Tale intervallo, dato l'edificio oggetto di verifica, può essere individuato mediante uno studio ingegneristico (i.e. modello di calcolo e analisi modale), ma deve essere validato, ed eventualmente adattato, tramite uno studio vibrometrico, pur se non espressamente richiesto dalla normativa vigente.

Come è evidente, tale intervallo rappresenta la zona di ingresso sull'asse delle ascisse che permette di ottenere il valore delle accelerazioni cui sottoporre le masse della struttura.

Il metodo NDSHA come già detto permette di definire, per il sito su cui insiste l'edificio, una serie di spettri definiti "di scenario" i cui valori di accelerazione spettrale, con particolare riferimento al suddetto intervallo I_E , generalmente non coincidono con quelli che si ottengono utilizzando lo spettro standard di normativa. Nell'esempio di Figura 2 sono rappresentati gli spettri di scenario per un sito del centro di Trieste, precisamente nel Borgo Teresiano, e l'intervallo I_A di accelerazioni cui le strutture andrebbero sottoposte con l'adozione di tali spettri. Se ne deduce che l'intervallo I_A definisce le possibili variazioni di accelerazione rispetto allo spettro ottenuto dal reticolo INGV.

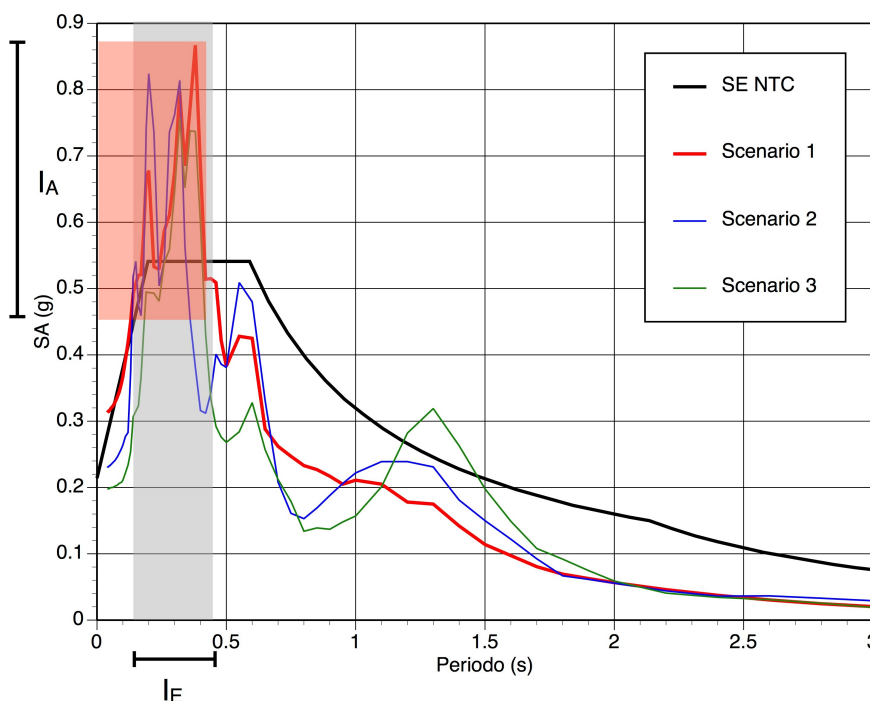


Figura 2. Intervallo di accelerazioni I_A cui sarebbero sottoposti gli edifici caratterizzati da periodi propri di risonanza corrispondenti all'intervallo I_E .

Sovente gli spettri di scenario portano ad accelerazioni diverse, sia per difetto che per eccesso, rispetto a quelle che si deducono adottando gli spettri da NTC 2008 (Nekrasova et al., 2015). Sarà compito del verificatore decidere come agire affinché la soluzione della verifica sia maggiormente conservativa e realistica.

Una possibilità è quella di amplificare lo spettro di normativa attraverso il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s in modo tale da mediare la differenza di accelerazioni che si ottiene dal confronto tra gli spettri. In tal caso i picchi di accelerazione vengono trascurati ma al contempo nei modelli numerici di calcolo verranno utilizzati valori di accelerazione comunque superiori a quelli degli spettri da normativa.

La Figura 3 può essere letta come riassuntiva del procedimento: una volta tarato il modello mediante l'analisi vibrometrica, si può "entrare" nello spettro adottando l'intervallo corretto di periodi per poi "uscirne", attraverso opportune amplificazioni che tengono conto degli input da scenario, con valori realistici di accelerazione da applicare al modello tarato.

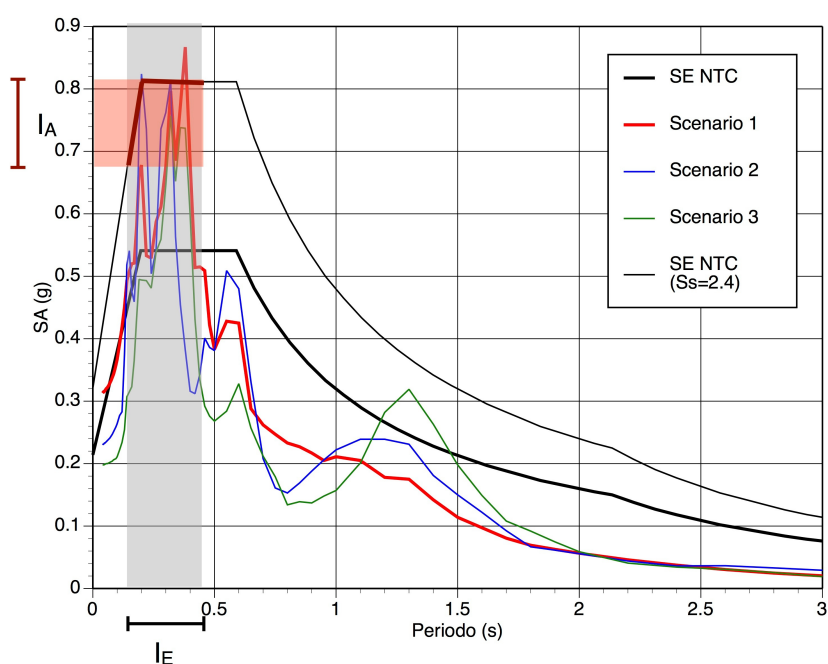


Figura 3. Intervallo di accelerazioni I_A corretto utilizzando l'analisi vibrometrica e la stima delle amplificazioni ottenute dagli scenari di scuotimento.

Bibliografia

DISS Working Group (2010). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1.

Gorshkov, A., Peresan, A., Soloviev, A., Panza, G.F. (2013). Morphostructural Zonation and Pattern Recognition of Earthquake Prone Areas in the Po Plain. Atti del 32° Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida (Trieste, 19-21 Novembre 2013), 87-94.

Nekrasova, A., Peresan, A., Kossobokov, V.G., Panza, G.F. (2015). A new probabilistic shift away from seismic hazard reality in Italy?. In: (Eds.) B. Aneva and M. Kouteva-Guentcheva. Nonlinear Mathematical Physics and Natural Hazards. Springer Proceedings in Physics, 163, 83-103. Doi: 10.1007/978-3-319-14328-6_7.

Panza, G.F., Romanelli, F., Vaccari, F. (2001). Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: theory and applications to the seismic zonation. *Advances in Geophysics*, 43, 1–95.

Panza, G.F., La Mura, C., Peresan, A., Romanelli, F., Vaccari, F. (2012). Seismic Hazard Scenarios as Preventive Tools for a Disaster Resilient Society, *Advance in Geophysics*, 53, 93-165.

Appendice

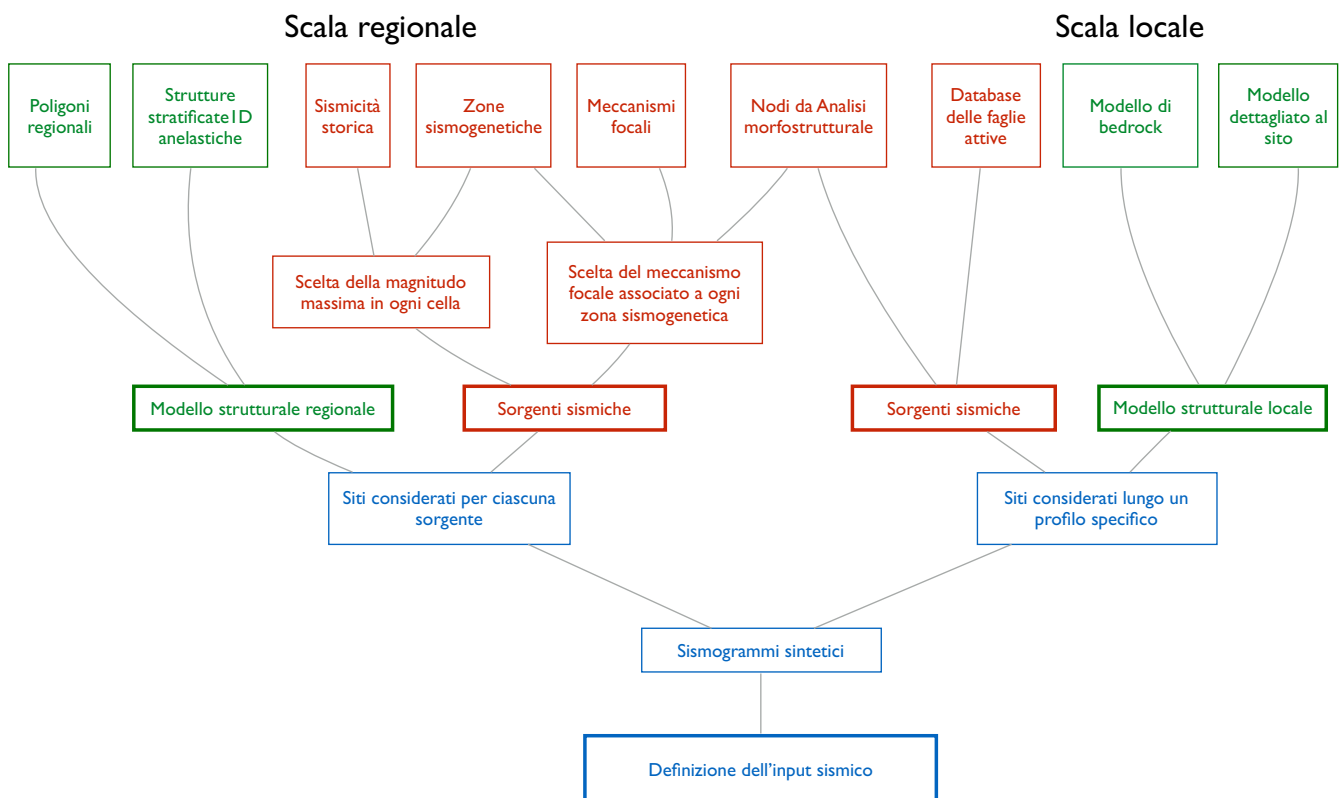
Illustrazione del flusso di lavoro proposto:
schema sismologico-ingegneristico

Verifica sismica di edifici esistenti

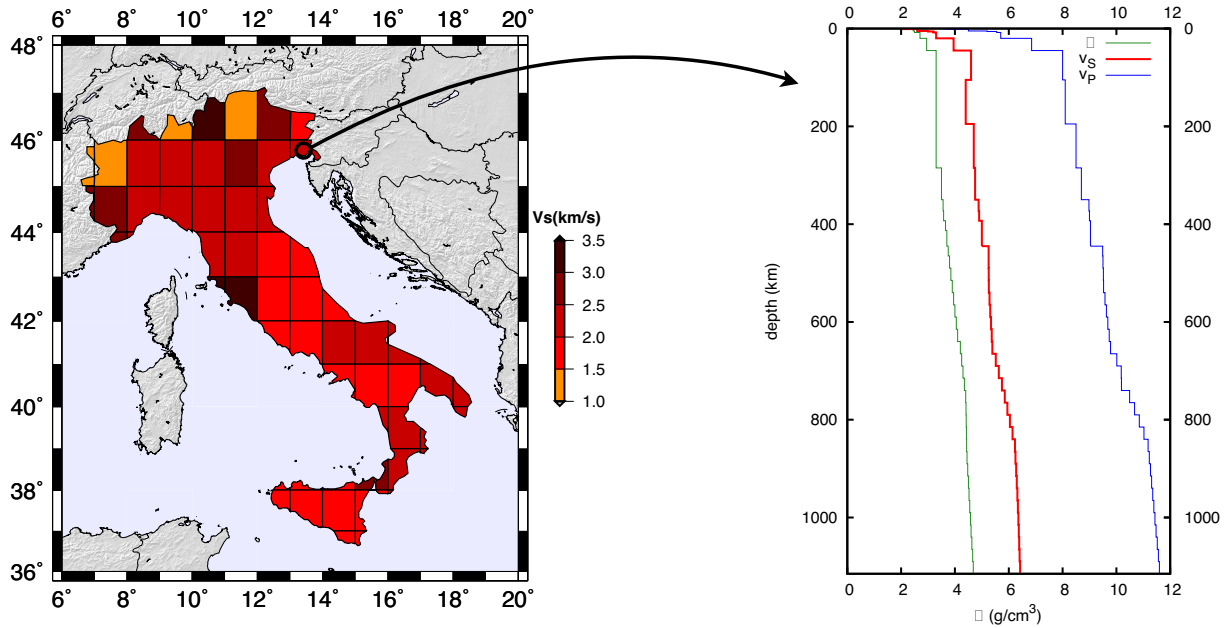
Illustrazione dello schema di lavoro

Elaborazione sismologica

Schema generale

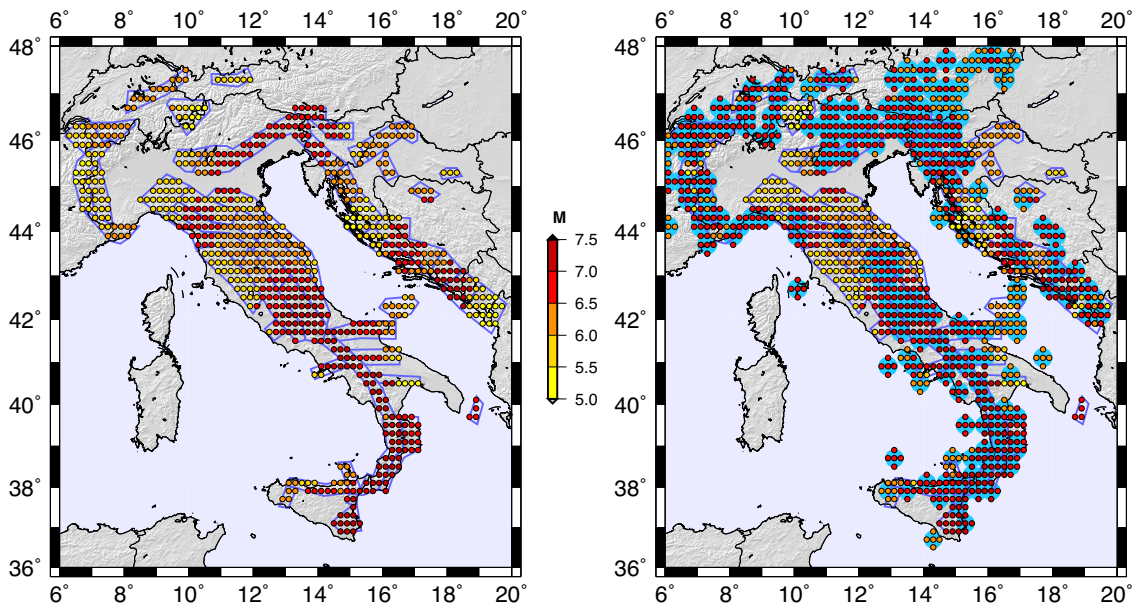


Modello strutturale regionale



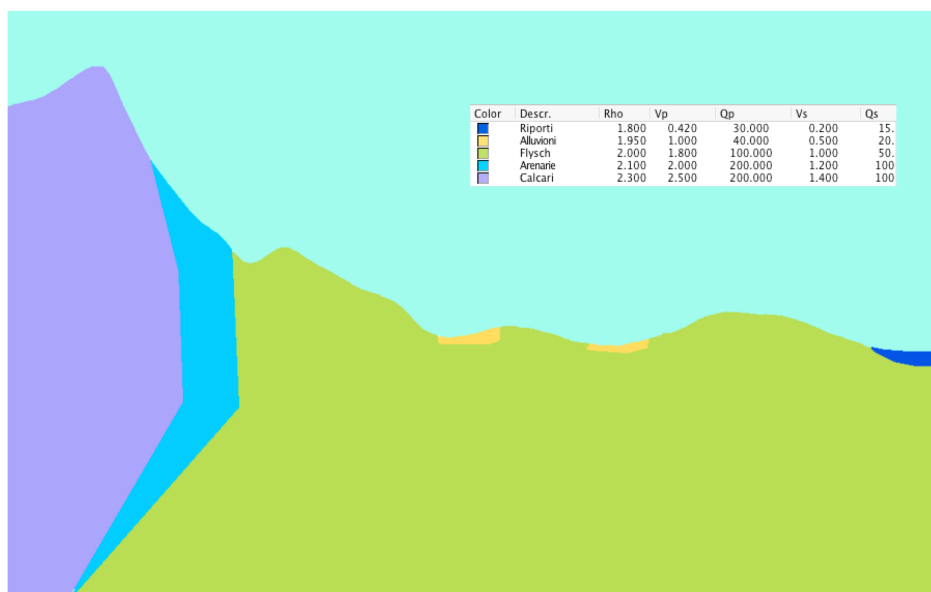
Caratterizzazione del modello di bedrock per ciascun poligono strutturale

Sorgenti sismiche



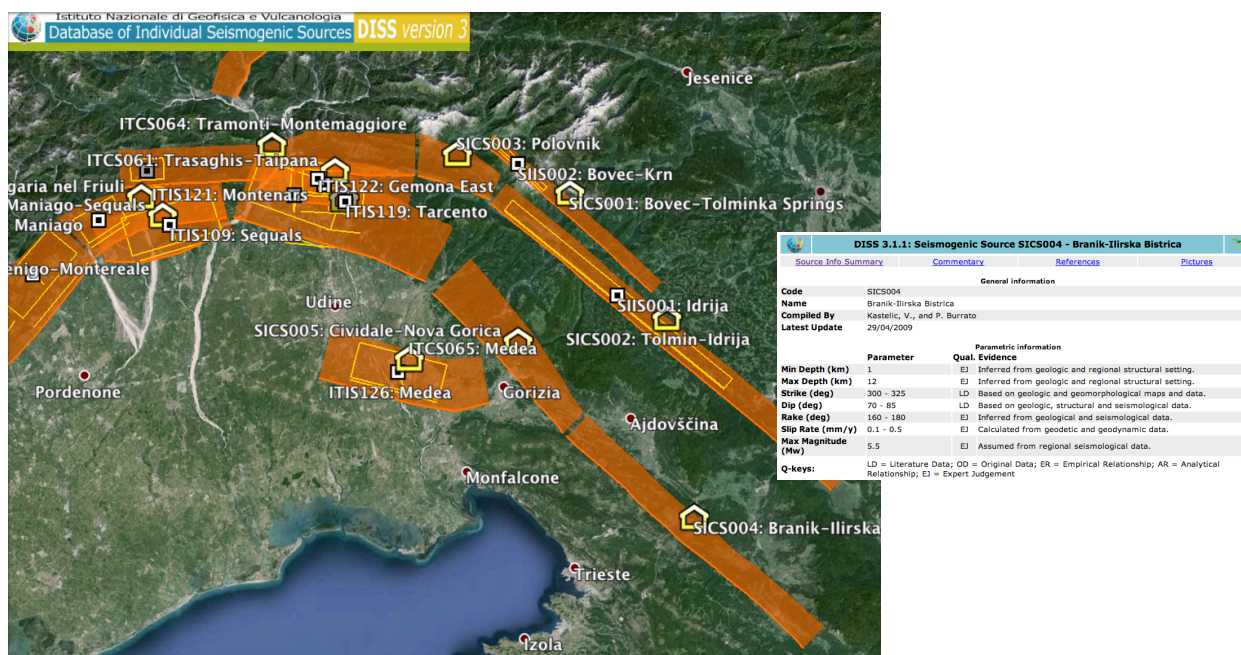
Definizione delle sorgenti sismiche con eventuale inclusione dei nodi sismogenetici

Modello strutturale locale



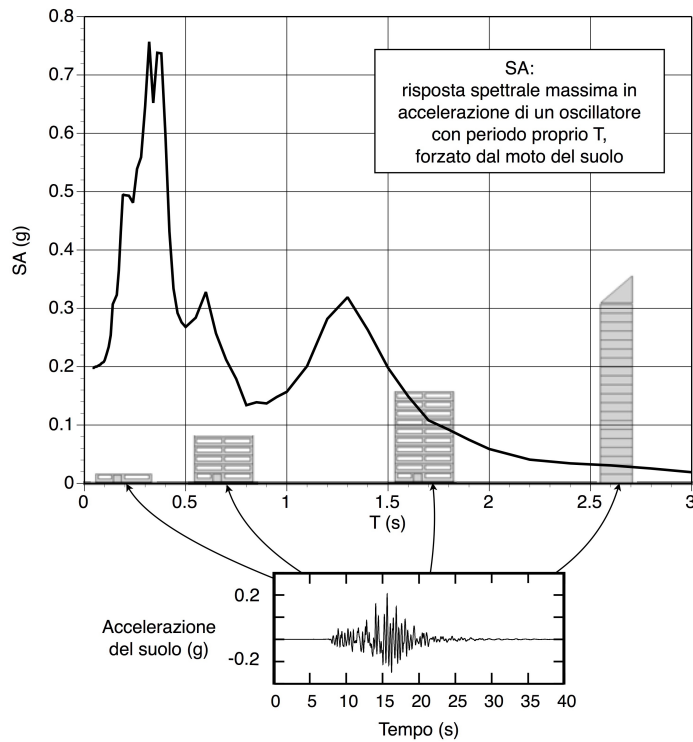
Definizione della sezione geologica e della parametrizzazione geotecnica

Sorgenti sismiche

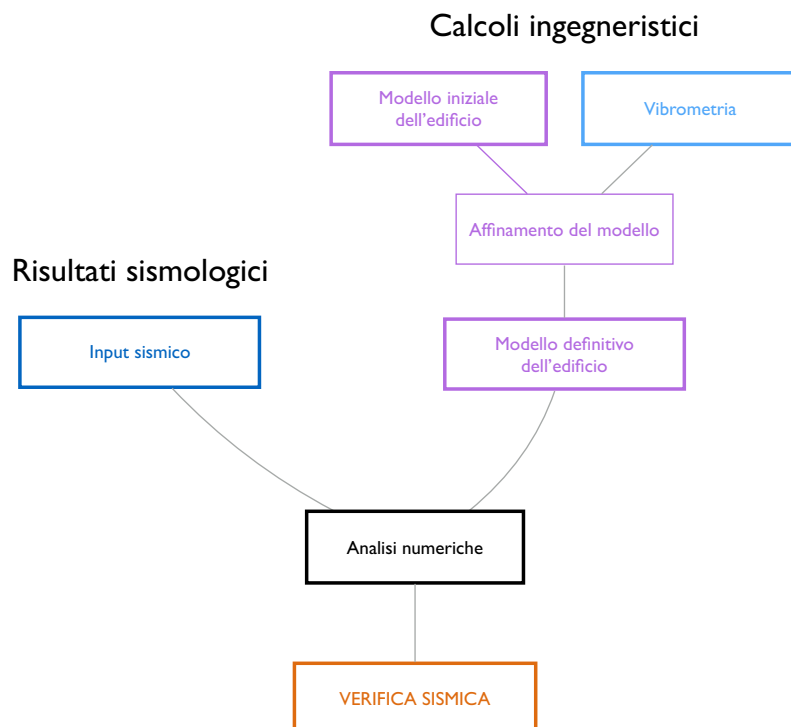


Definizione delle sorgenti a partire dal database DISS (INGV)

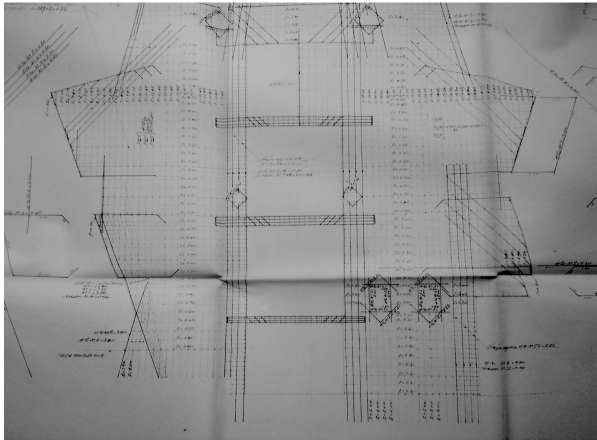
Input sismico



Spettro di risposta ottenuto da accelerogramma sintetico



Modello iniziale dell'edificio

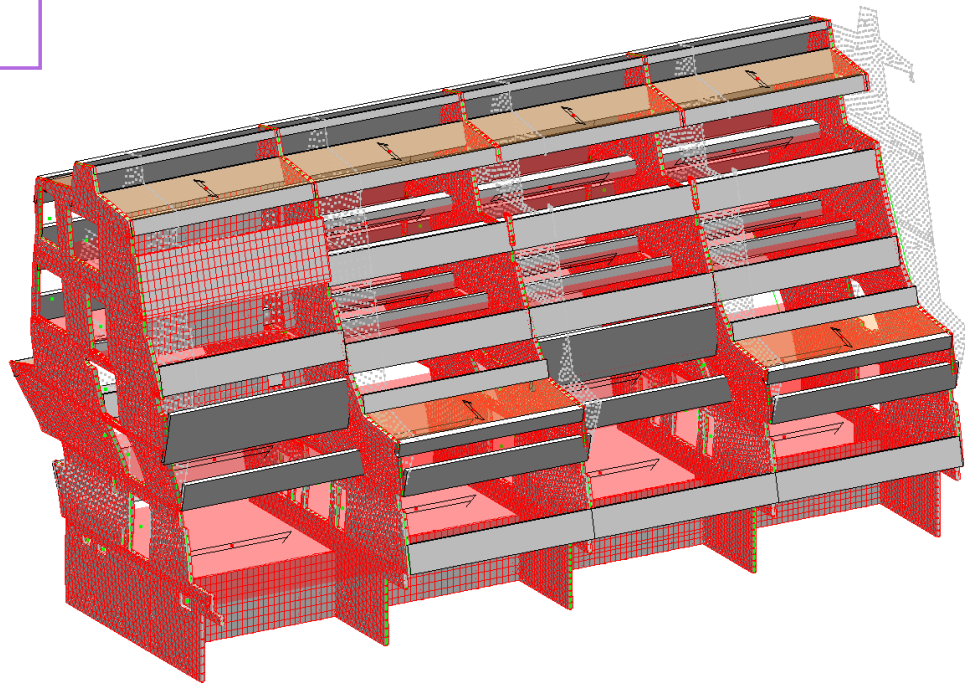


Acquisizione della documentazione progettuale



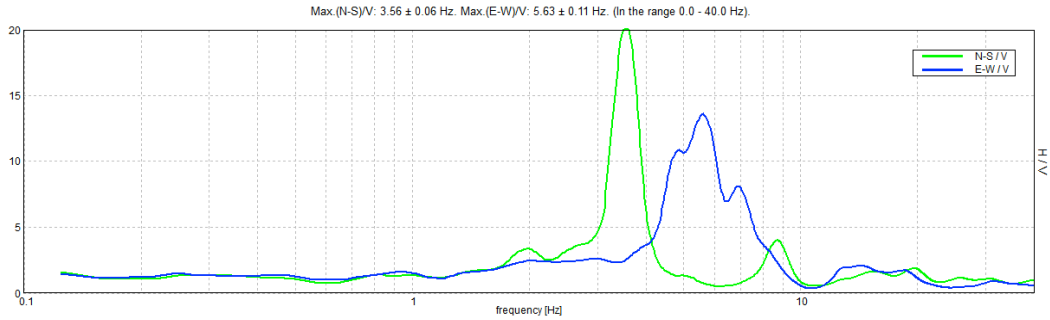
Prelevamento e analisi dei campioni di muratura per la caratterizzazione dei materiali

Modello iniziale dell'edificio



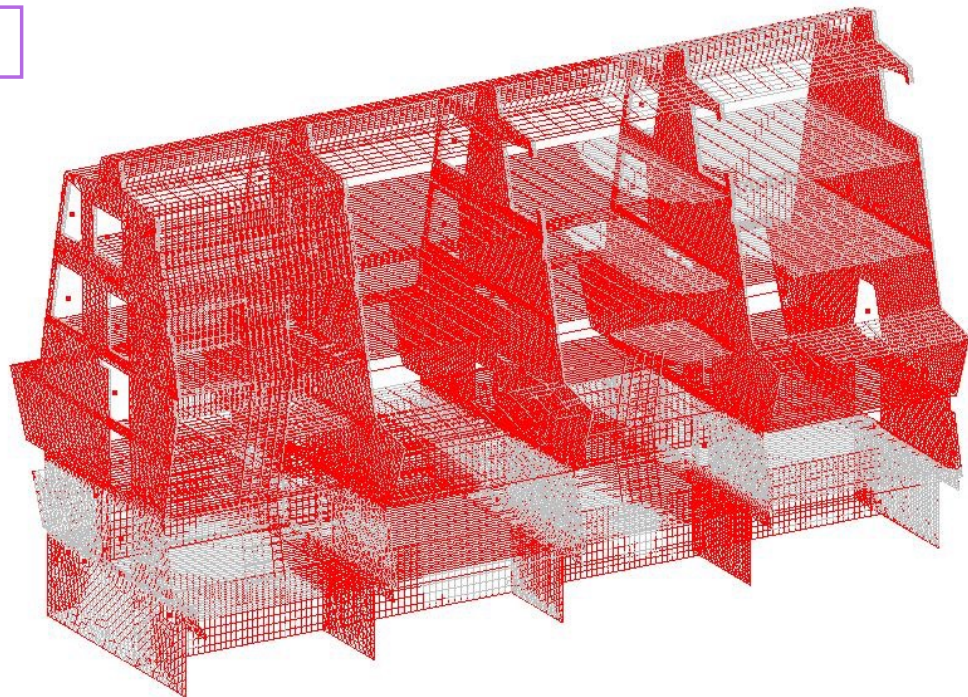
Prima ipotesi di modello

Vibrometria



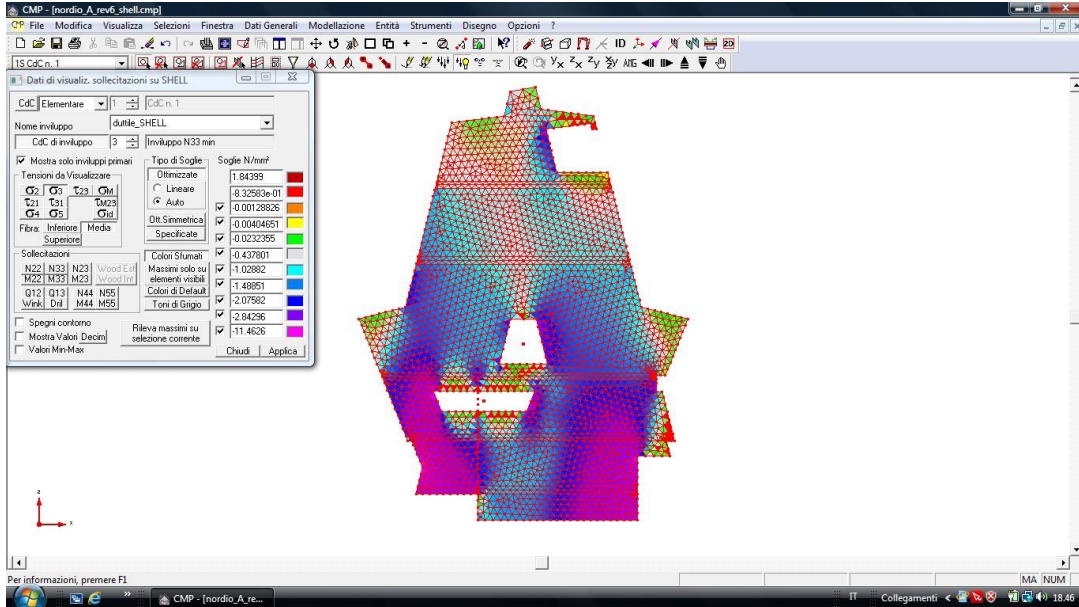
Misurazione sperimentale delle frequenze di risonanza lungo gli assi principali dell'edificio da confrontare con le frequenze teoriche

Modello definitivo dell'edificio



Rimodellazione dell'edificio calibrata sui risultati della vibrometria sperimentale

Analisi numeriche



Tensioni verticali

VERIFICA SISMICA



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE
UFFICIO SERVIZIO SISMICO NAZIONALE

Allegato 1

SCHEDA DI SINTESI DELLA VERIFICA SISMICA DI "LIVELLO 1" O DI "LIVELLO 2" PER GLI EDIFICI STRATEGICI AI FINI DELLA PROTEZIONE CIVILE O RILEVANTI IN CASO DI COLLASSO A SEGUITO DI EVENTO SISMICO
(Ordinanza n. 3274/2003 - Articolo 2, commi 3 e 4)

1) Identificazione dell'edificio		Spazio riservato DPCM	
Regione	Friluli Venezia Giulia	Codice DPCM	N° progressivo intervento
Provincia	Trieste	Scheda n°	Data
Comune		Complesso edilizio composto da 104 edifici	
Frazione/Località	TRIESTE	Codice identificativo	
Indirizzo	VIA DITICIALE	Dati Catastali	Foglio Allegato
Num. Civico	2	C.A.P.	34100
Denominazione edificio		Particelle	
Proprietario		Posizione edificio	
Utilizzatore		Coordinate geografiche (ED50 - UTM fuso 32-33)	
2) Dati dimensionali e età costruzione/ristrutturazione		E	
N° Piani totali con interrati	Altezza media di piano [m]	Superficie media di piano [m²]	Anno di progettazione
A	B	C	E
3) Materiale strutturale principale della struttura verticale		Fuso	
Materiale		N	
4) Dati di esposizione		5) Dati geomorfologici	
Numero di persone mediamente presenti durante la fruizione ordinaria dell'edificio		Morfologia del sito	
5) Dati geomorfologici		Fenomeni franosi	