

Studio di microzonazione sismica del comune di Negrar (VR)

ASPETTI METODOLOGICI E ALCUNE PARTICOLARITÀ

Premesse generali del lavoro

L'OPCM n. 3907 del 13.11.2010 ha dato la possibilità ai comuni del Veneto con $ag > 0.125g$ (ricadenti in zona sismica con livello di pericolosità ≤ 3 ai sensi della DCR n. 67 del 03.12.2003), di partecipare ad un bando per redigere lo studio di microzonazione sismica di Livello I, con la possibilità di godere di un significativo contributo regionale a fronte di un cofinanziamento da parte dell'Ente locale di un importo pari al 50% del costo reale dell'intervento.

Il Comune veronese di Negrar, già in possesso del PAT e prossimo a definire anche le norme relative al Piano degli Interventi, ha aderito a tale iniziativa risultando poi in possesso dei requisiti per usufruire del contributo regionale. Nel mese di settembre 2011 è pertanto iniziata l'attività di programmazione e di svolgimento del lavoro che si è conclusa nel mese di aprile 2012.

In relazione al fatto che lo studio di microzonazione sismica rappresenta un importante strumento finalizzato alla conoscenza della vulnerabilità sismica del territorio comunale nell'ottica di ridurre il rischio ($RISCHIO\ SISMICO = PERICOLOSITÀ \times VALORE\ ESPOSTO \times VULNERABILITÀ$) fin da subito ci si è accordati con l'Ente di ampliare l'offerta prevista dal bando proponendo, ad integrazione del I° livello, anche alcuni approfondimenti caratteristici dei livelli successivi (II° e III°). Lo studio è stato realizzato secondo le indicazioni e gli auspici degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome il 13.11.2008, dell'allegato A della Deliberazione della Giunta Regionale n. 3308/2008 e dell'allegato A del Decreto del Diri-

gente della Direzione Regionale Geologia e Attività Estrattive n. 69 del 27.05.2010. Lo studio è risultato inoltre conforme alle linee guida della DGRV n. 3308 del 2008 e alla metodologia di analisi stabilita dal Dipartimento della Protezione Civile, 2008. Gli obiettivi fondamentali dell'indagine sono stati quelli di individuare zone a comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica locale, evidenziare le penalità geologiche per una corretta pianificazione territoriale connessa con i possibili eventi sismici e fornire una serie di dati analitici sugli effetti sismici locali utili per l'applicazione della normativa antisismica. A tal riguardo, è stato specificato che la progettazione, che ricade nell'ambito delle NTC/08, non può utilizzare i dati riportati nello studio di microzonazione in sostituzione o per evitare specifiche indagini puntuali (Prot. 219/cl-PS/11 dell'O.R.G. del Veneto).

I contenuti dello studio di microzonazione sismica sono stati ampliati ed esposti anche con la consapevolezza che l'incarico ricevuto costituisce uno strumento che può sensibilizzare la Committenza e i tecnici dell'edilizia sul problema del rischio sismico. Per tale motivo, è stata dapprima elencata una raccolta di norme nazionali e regionali in materia antisismica e, successivamente, si è cercato di descrivere il significato e le applicazioni della microzonazione con lo scopo di portare a conoscenza, anche ai tecnici non geologi, i criteri di analisi sismica di tipo qualitativo, semiquantitativo e quantitativo. In particolare, si è puntato ad informare sulle condizioni di pericolosità sismica del territorio comunale, su cosa sono i fenomeni di amplificazione locale, sugli scopi della modellizzazione numerica, sugli



Dott. Geol. Enrico CASTELLACCIO
Libero professionista in Negrar (VR)



Dott. Geol. Matteo COLLAREDA
Libero professionista in Vicenza



Dott. Geol. Luca BERSANI
Libero professionista in Verona

effetti cosismici e sulle possibilità di prevenzione. Proprio a riguardo delle Norme Tecniche sulle Costruzioni lo studio di microzonazione sismica ha rimarcato l'importanza delle NTC/08 come criterio di prevenzione del rischio sismico e ha voluto essere un riferimento per incentivare l'applicazione di alcune prospezioni geofisiche, quali le indagini sismiche di superficie, auspicate nelle fasi di progettazione per indagare sugli effetti di sito.



Il territorio comunale di Negrar si estende per 44 km² e presenta una popolazione di 16.455 abitanti (censimento 2001); appartiene all'area della Valpolicella, quale zona geografica collinare compresa tra la città di Verona e la Val d'Adige, ed esso è circoscritto all'interno di una vallata disposta da Nord verso Sud delimitata da due principali bastioni collinari allungati in senso meridiano che convergono a Nord presso un rilievo situato alle quote di 800-900 m, mentre lo sviluppo a Sud del comune si raccorda dolcemente alla pianura atesina (q. 80 m).

La metodologia adottata

Lo studio di microzonazione sismica è stato articolato su livelli di approfondimento con complessità ed impegno crescenti, passando dal livello 1 al livello 3:

- il **livello 1** ha previsto l'elaborazione dei dati geologici, geotecnici, idrogeologici e geomorfologici

riportati nel quadro conoscitivo dello strumento urbanistico (PAT/2010) ed esso è stato finalizzato a suddividere il territorio comunale in zone qualitativamente omogenee in prospettiva sismica relativamente all'esistenza di fattori geologici che concorrono a modificare la pericolosità sismica locale. Nel corso di tale indagine sono stati utilizzati i dati più significativi delle prospezioni e sondaggi depositati presso l'ufficio comunale e quelli forniti dall'ISPRA (n. 38). Tutta la cartografia è stata prodotta in modalità GIS utilizzando le grafie e il data base proposti dalla Protezione Civile, 2012;

- il **livello 2** ha introdotto l'elemento quantitativo e a tale scopo è stato supportato da numerose indagini strumentali (H.V.S.R. e Re.Mi.) realizzate ad hoc (circa 80). In questa fase è stato possibile eseguire una stima puntuale della risposta sismica locale misurando le frequenze di risonanza del terreno e verificando l'esistenza di condizioni di amplificazione. Per numerosi siti è stata valutata la categoria del sottosuolo e la profondità del *bedrock geofisico* tramite la misura "diretta" della propagazione delle onde S. A seguito di tali elaborazioni è stata redatta la *Carta delle frequenze naturali dei terreni* suddividendo il territorio comunale in due classi fondamentali di frequenze, relative all'ambito geomorfologico del fondovalle alluvionale (1.2 ÷ 3.5 Hz) e a quello collinare-montano (1.3 ÷ 19.8 Hz);
- il **livello 3** ha riguardato lo studio più approfondito della microzonazione sismica che si è avvalso della modellizzazione numerica bidimensionale alle differenze finite per la verifica dell'amplificazione topografica alla sommità delle principali dorsali collinari, per la verifica dell'amplificazione stratigrafica e per l'"effetto di valle" in corrispondenza alle aree più densamente abitate (già individuate come zone stabili ma suscettibili di amplificazioni sismiche locali: Negrar Capoluogo e le frazioni di Saga, Arbizzano e Fane). Tramite la modellizzazione numerica

bidimensionale è stato possibile stabilire il fattore di amplificazione (FA) in termini di accelerazione massima (PGA) e fornire una precisa definizione numerica della risposta sismica locale presso i punti di monitoraggio ubicati in corrispondenza ad una serie di profili geo-sismici, ovvero:

- lo spettro di risposta elastico del valore normalizzato di g (S_e) al variare del periodo. In particolare, confrontando quello derivante dalla categoria del sottosuolo definita dalla normativa con approccio semplificato (NTC/08) con lo spettro medio calcolato mediante modellizzazione numerica;
- la massima accelerazione che può subire un edificio ad una determinata frequenza di vibrazione;
- il fattore di amplificazione (FA) medio che, moltiplicato per l'accelerazione sismica di base (a_g) fornita dalla normativa (corrispondente ad un suolo di categoria A in condizioni T1), fornisce il valore dell'accelerazione a_{max} attesa in superficie.

Nell'ambito del fondovalle alluvionale, lo studio è stato esteso anche alla valutazione della vulnerabilità sismica di alcuni edifici particolarmente importanti e di riferimento, come la scuola elementare del Capoluogo, un'abitazione con caratteristiche medie, la sede municipale, il campanile della chiesa, un hotel di recente costruzione alto 5 piani f.t.. Per essi, mediante il metodo HVSR, è stata misurata direttamente la frequenza fondamentale delle strutture che è stata poi confrontata con quella naturale del terreno per evidenziare eventuali condizioni di doppia risonanza. Gli elaborati prodotti per lo studio di microzonazione sismica sono stati i seguenti:

- Relazione illustrativa
- Norme di Attuazione per il PAT
- TAV. 1 - Carta dei punti di indagine
- TAV. 2 - Carta degli elementi geologici in prospettiva sismica
- TAV. 3 - Carta delle zone omogenee in prospettiva sismica
- TAV. 4 - Carta delle frequenze naturali dei terreni
- TAV. 5 - Carta dei profili geologici della modellizzazione numerica
- Schede allegare relative a: sondaggi geognostici (n. 38)

misure a stazione singola H.V.S.R. (n. 68)
 misure in array di tipo Re.Mi. (n. 13)
 misure di frequenza di alcuni edifici (n. 5)
 profili geologici per la modellizzazione numerica topografica e stratigrafica (n. 5)
 elaborazioni con FLAC versione 7.00 (n. 7)

Alcuni approfondimenti del lavoro

Nell'ambito dello studio di microzonazione sismica, sono stati adottati alcuni criteri di analisi, precedentemente mai evidenziati nelle linee guida, di cui se ne riportano alcuni brevi stralci. Tra questi, ci si riferisce alla metodologia utilizzata per realizzare la *Carta degli*

COMUNE DI NEGRAR (VR)

ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA

APPROFONDIMENTO	TIPOLOGIA DELLE INDAGINI E DEGLI ELABORATI
1° livello	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO L'ASSETTO GEOMORFOLOGICO E LITOLOGICO-STRATIGRAFICO LE CONDIZIONI TETTONICO-STRUTTURALI ED IDROGEOLOGICHE LA SISMICITA' STORICA E LA NORMATIVA ANTISISMICA
	CARTA DEI PUNTI DI INDAGINE
	CARTA DEGLI ELEMENTI GEOLOGICI IN PROSPETTIVA SISMICA
	CARTA DELLE ZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA
2° livello	LE MISURE HVSR PER LA MISURA DELLE FREQUENZE DI RISONANZA DEL TERRENO E PER LA VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI AMPLIFICAZIONE
	LE MISURE SISMICHE PASSIVE IN ARRAY (RE.MI.) PER STABILIRE IL V_{s30} , LA CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO E LA PROFONDITA' DEL BEDROCK GEOFISICO
	CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI
3° livello	CARTA DEI PROFILI GEOLOGICI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA
	VERIFICA CON MODELLAZIONE NUMERICA BIDIMENSIONALE DEGLI EFFETTI DI SITO
	INTERPRETAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA E STRATIGRAFICA
	STIMA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE (FA)
	MISURE DELLA FREQUENZA DI RISONANZA SU ALCUNI EDIFICI STRATEGICI
	VALUTAZIONI SULLE CONDIZIONI DI DOPPIA RISONANZA

elementi geologici in prospettiva sismica, il cui elaborato contiene le informazioni litologico-geomorfologiche di base utili per riconoscere le aree soggette ad amplificazione sismica. A riguardo dell'amplificazione stratigrafica sono state identificate le categorie SNA, SA1, SA2 sulla base delle condizioni elastiche dei terreni, procedendo con una campagna di verifiche strumentali per valutare la categoria di suolo (A e diversa da A) mediante misure in array per la stima delle Vs. In aggiunta sono state effettuate misure H.V.S.R. a stazione singola nelle quali si sono interpretati i picchi con ampiezza $H/V > 2$ all'interno del campo di frequenze compreso tra 0.1 e 20 Hz (criterio SESAME, 2004; Albarello e Castellarò, 2011). Ciò ha permesso di correlare i vari terreni individuati nella carta geolitologica del PAT alla possibile amplificazione sismica indotta dai contrasti di rigidità presenti nel sottosuolo e ciò a prescindere dalla loro appartenenza ad una determinata categoria di suolo (A o diversa da A delle NTC/08).

I criteri adottati per verificare l'esistenza di fenomeni di amplificazione topografica hanno fatto riferimento alle NTC/08 e a quanto riportato nelle linee guida regionali (DGR n. 3308/08). In prima analisi sono stati eseguiti numerosi profili topografici valutando sia quelle aree di versante appartenenti alla categoria T1 (inclinazione $< 15^\circ$), che altre aree appartenenti alle cate-

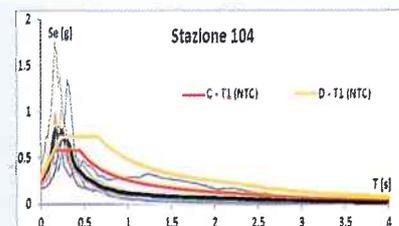
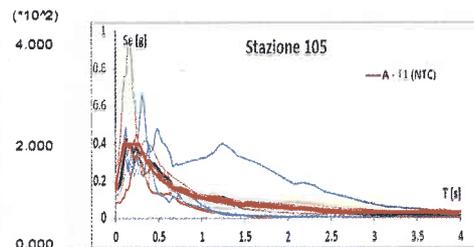
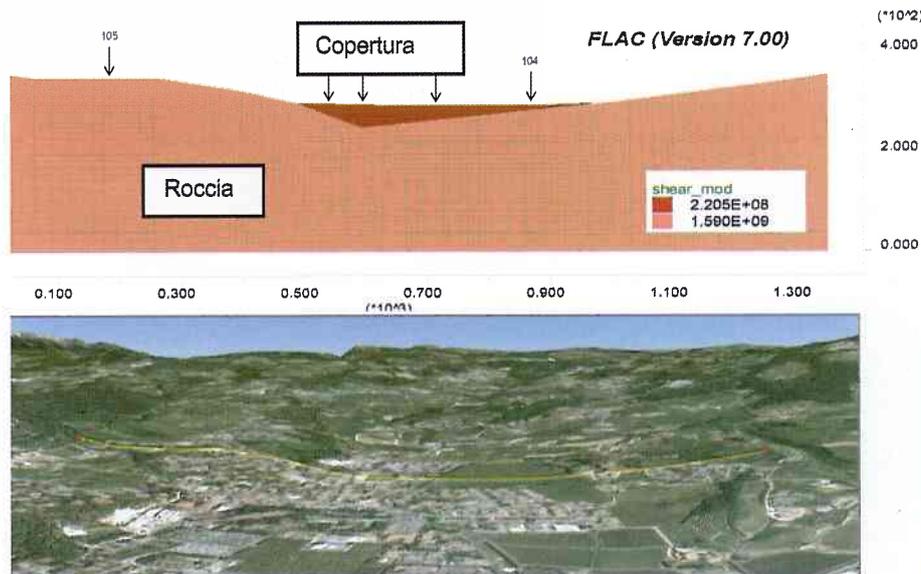
gorie T2, T3, T4 (altezze > 30 m), considerando però anche altezze comprese tra 10 e 30 m in accordo con gli indirizzi della Protezione Civile Nazionale in cui, in corrispondenza alla sommità del pendio, sono prevedibili fenomeni di amplificazione sismica. In questo contesto, sono state identificate numerose creste morfologiche con larghezza della sommità sensibilmente inferiore rispetto alla base.

Successivamente, la risposta sismica locale è stata determinata anche mediante simulazioni numeriche verificando l'amplificazione topografica dovuta alle configurazioni geometriche dei versanti (Tab. 3.2.IV e 3.2.VI delle N.T.C./08). Quindi, sono stati presi in considerazione n. 5 profili geologici significativi eseguiti trasversalmente alle dorsali maggiori sui quali è stata eseguita la modellizzazione numerica bidimensionale alle differenze finite mediante specifico software (FLAC 2D v.7.0 - Itasca Consulting Group, Minneapolis, Minnesota-USA, 2011). Da tale studio è stato possibile verificare che le maggiori dorsali del territorio comunale determinano sempre condizioni di amplificazione topografica anche in situazioni di acclività inferiore a 15° .

Seguendo, quanto proposto dalle linee guida della D.G.R.V. 3308 del 2008 sull'analisi degli effetti cosismici, sono stati anche individuati i cigli di scarpata di altezza compresa tra 10 - 30 m e > 30 m (orli netti di scarpata di degradazione e/o erosione, cigli di scarpata di origine estrattiva, nicchie di distacco in roccia) che possono presentare amplificazione sismica e/o instabilità a seguito di fenomeni di scuotimento. Per la definizione delle aree di rispetto localizzate a monte e a valle di tali elementi di criticità si è rimandato al Piano degli Interventi del PAT.

La *Carta delle zone omogenee in prospettiva sismica* rappresenta un documento di sintesi in cui si distinguono le aree stabili non suscettibili di amplificazione sismica, le aree stabili ma suscettibili di amplificazione sismica e le aree instabili per azione sismica. Come emerso dalle misure strumentali e dalle elaborazioni numeriche incrociando i dati stratigrafici e quelli topografici, si evidenzia che tutto il territorio comunale di Negrar è





soggetto ad amplificazione sismica, ovvero i valori attesi in termini di pseudoaccelerazione spettrale (PSA), pseudovelocità spettrale (PSV) e i fattori di amplificazione (FA) risultano a volte superiori a quelli forniti dalla normativa nell'approccio semplificato.

Per quanto riguarda la categoria delle Aree stabili suscettibili di amplificazione sismica si è riscontrato che essa riguarda per lo più suoli diversi dal tipo A a cui localmente si associa anche un'amplificazione topografica.

Le Aree instabili per azione sismica sono limitate ad alcuni contesti geomorfologici già fortemente penalizzati ai fini edificatori ed esse, per lo più, fanno già parte delle "aree non idonee" di Tav. 3 del PAT (Carta delle fragilità). Per tali aree possono manifestarsi fenomeni di instabilità sismoindoti (scarpate in roccia subverticali dotate di altezza > 10 m da cui sono prevedibili frane di crollo ritenute mobilitabili per scuotimento sismico, cigli di scarpata di origine estrattiva). Tra i fenomeni cosismici è stata segnalata la faglia denominata "Monte Noroni" (codice 79900 del Catalogo delle faglie capaci ITHACA), ovvero una faglia sismica con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni in corrispondenza della quale, in caso di terremoto con $M \geq 5$, possono verificarsi deformazioni in superficie. Inoltre, valutazioni basate sul *metodo empirico* in un'area meridionale del comune hanno identificato una certa suscettibilità di liquefazione, per la quale lo studio di microzonazione sismica rimanda ad ulteriori approfondimenti di

2° e 3° livello da definirsi nel Piano degli Interventi.

A titolo di esempio, di seguito si propongono alcuni risultati ottenuti dalla modellazione bidimensionale della risposta sismica locale lungo una sezione trasversale alla valle passante per il capoluogo comunale.

Dall'analisi effettuata si può osservare come lo spettro di risposta elastico nei pressi del punto 105 coincida, come era corretto attendersi, allo spettro associato alla Categoria di Sottosolo A in situazioni topograficamente pianeggianti (T1 da NTC/08) confermando, tra l'altro, la qualità dell'elaborazione.

Risultano interessanti i dati emersi dalla stazione 104 collocata nei pressi del raccordo tra il fondovalle e il versante, in quanto la Categoria C appare corretta per periodi superiori a 0,4 s mentre risulta penalizzante nei confronti della sicurezza per periodi inferiori. La Categoria D, invece, modella bene l'evento sismico atteso a circa 0,2 s mentre sovrastima abbondantemente la risposta sismica locale per periodi superiori.

Le frequenze di risonanza del terreno

Lo studio della risonanza suolo-edificio costituisce una delle più importanti indagini per far fronte ai danni causati dagli eventi sismici ed esso è collegato al concetto di risposta sismica locale in cui si evidenzia che, se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella propria degli edi-

fici, in caso di terremoto si produce un'amplificazione sismica rilevante in termini di accelerazione e spostamenti, con una possibile forte sollecitazione delle strutture che può innescare deformazioni oltre al limite di danno (fenomeno della *doppia risonanza*).

In aderenza alle NTC/08, lo studio di microzonazione sismica ha proposto la verifica della doppia risonanza su alcune tipologie di edifici del territorio comunale. A tale scopo mediante apposita strumentazione sono stati misurati i valori di vibrazione delle strutture, confrontando poi il risultato con quello emerso dalle formule semplificate NTC/08 (Cap. 7.3.3.2 NTC/08). A titolo conoscitivo, le misure effettuate hanno riscontrato che le frequenze principali di vibrazione degli edifici indagati sono comprese tra 1,2 Hz e 10 Hz (*range* molto variabile), constatando che tali frequenze diminuiscono all'aumentare dell'altezza (e dei piani).