

La definizione del rischio sismico dei centri storici: il caso di Bussana Vecchia (Sanremo, Liguria occidentale)

A. Valente
M. Fornaro
C. Borra
C. Strobbia, A. Penna
A. Ferrarotti

Geologo, libero professionista, Torino - Sanremo - Bra
Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino
Laurea magistrale in Geologia Applicata e Ambientale, Università degli Studi di Torino
Eucentre, Pavia
Geologo, libero professionista, Torino - Trino

Nel presente articolo viene trattata la definizione del rischio sismico del borgo di Bussana Vecchia, frazione del Comune di Sanremo (Provincia di Imperia, Liguria occidentale). Tale paese, caratterizzato dalla presenza di un notevole patrimonio architettonico storico, venne pesantemente danneggiato dal terremoto che colpì il Ponente ligure il 23 Febbraio del 1887, in occasione del quale vi furono numerose vittime nella popolazione residente.

A seguito di tale evento, per ordine delle Autorità locali, il paese venne abbandonato, per poi essere nuovamente occupato, a partire dagli Anni '60, da una comunità internazionale di artisti. Furono così operati diversi restauri degli edifici diroccati, mediante interventi essenzialmente di carattere estetico per nulla mirati al consolidamento, con funzione antisismica, delle strutture.

Lo scopo del lavoro, eseguito su incarico del Comune di Sanremo, è stato quello di definire il livello di rischio attualmente vigente presso Bussana Vecchia, il quale risulta essere notevolmente elevato specie se si considera l'ingente affluenza giornaliera di turisti presso tale borgo. E' stato quindi condotto uno studio di tipo geologico, geofisico e di analisi della vulnerabilità sismica sia del centro storico che delle aree limitrofe, i cui risultati portano a quantificare correttamente l'entità del rischio sismico locale.

The definition of historical centres seismic risk: the Bussana Vecchia example (Sanremo, western Liguria)

In this article the definition of the seismic risk of the Bussana Vecchia village, hamlet of Sanremo (Province of Imperia, western Liguria) is dealt with. This town, characterized by a remarkable historical architectural heritage, had been heavy damaged by the earthquake occurred on February 23rd, 1887, in which many residents died.

After this event, by order of the local Authority, the village has been abandoned, but it has been taken again, from the '60s, by an international artists community. Lots of restoration of tumbledown buildings had been done,

however this intervenes were only aesthetic, instead of anti - seismic.

It is object of this work, carried out on behalf of the Sanremo town-hall, the definition of the current Bussana Vecchia seismic risk, that results very high, owing to the number of tourists that visit this town every day. So, a geological and a geophysic study has been done, besides a vulnerability analysis of the historical centre of the village and the neighbouring areas, which results allow us to quantify the entity of the local seismic risk.

Définition du risque sismique des centres historiques: le cas de Bussana Vecchia (Sanremo, Ligurie de l'ouest)

Le sujet de cet article est l'évaluation des risques sismiques du faubourg de Bussana Vecchia, hameau de la Commune de Sanremo (Province de Imperia, Ligurie de l'Ouest). Ce pays, qui est doué d'un considérable patrimoine architectural historique, fût lourdement endommagé par le tremblement de terre qui frappa l'Ouest ligurien le 23 Février 1887, et qui provoqua des nombreuses victimes parmi les résidents.

Faisant suite à cet événement, le faubourg fût abandonné par ordre des Autorités locales: il viendra a nouveau occupé, dès les Années 60, par une communauté internationale d'artistes. Les maisons en ruine furent restaurées avec des œuvres essentiellement de caractère esthétique et non envisagés a la consolidation, avec fonction anti - seisme, des structures.

Le but du travail, confié par la Mairie de Sanremo, était la définition du niveau de risque actuel dans le pays de Bussana Vecchia, qui se révèle être très élevé, surtout si l'on considère le considérable nombre de touristes dans ce pays. On a donc fait un étude soit de genre géologique que géophysique et d'analyse de la vulnérabilité sismique, soit pour ce qui concerne le centre historique que les zones limitrophes, dont les résultats nous ont permis de correctement quantifier l'importance du risque sismique des lieux.

INTRODUZIONE

Il costruito dei centri storici rappresenta da sempre non solo la risposta ad esigenze abitative che nel tempo si sono evolute, ma la testimonianza di secoli di civiltà e cultura che, grazie anche al patrimonio architettonico giunto sino ai giorni nostri, viene oggi giudicato e valorizzato quale risorsa economica e turistica insostituibile: il centro storico, sia quello più o meno contaminato inglobato dalla metropoli moderna o quello più integro e puro del piccolo paese, rappresenta il riferimento geografico della nostra storia, della cultura e dell'arte, ma costituisce spesso di per sé un bene architettonico ed artistico dal valore unico, il quale determina un forte richiamo turistico tale da rivestire un ruolo importante nell'economia del territorio.

I centri storici sono peraltro i testimoni dell'adattamento secolare dell'uomo all'ambiente che lo circonda: è facile notare, infatti, come le scelte architettoniche ed urbanistiche siano sempre state dettate non solo da motivi di carattere politico e funzionale, ma soprattutto dalla morfologia e dalle peculiarità ambientali dell'area ove essi sorgono.

I centri storici italiani, molti di impianto medievale, sono costituiti spesso da compatti aggregati edilizi, molto raccolti e strutturalmente massicci, con edifici strettamente connessi tra loro: alcuni elementi strutturali di collegamento, quali archi e contrafforti, venivano anche introdotti a contrasto di meccanismi di danno attivati da eventi tellurici. Si tratta dunque di sistemi strutturali estremamente complessi, la cui vulnerabilità sismica risulta spesso di difficile valutazione e necessiterebbe di un approccio unitario per l'intero aggregato, non essendo possibile estrapolare il comportamento del singolo edificio, che, anzi, può variare a seconda della posizione nell'aggregato stesso (Fig. 1). L'antico borgo di Bussana Vecchia, oggi frazione del Comune di Sanremo, è un centro storico dalle caratteristiche forse uniche proprio a causa della sua storia sismica: in occasione del terremoto che colpì la Liguria Occidentale il 23 Febbraio 1887, Bussana fu uno dei centri più gravemente colpiti sia in termini di danni riportati dagli edifici che di perdite vite umane. L'intensità dell'evento fu molto più grave rispetto agli altri centri vicini, tanto da determinarne il forzoso abbandono delle abitazioni da parte della popolazione residente ed il divieto a stabilirvi nuovi insediamenti

(Fig. 2).

Per oltre mezzo secolo il paese fu solo luogo della memoria dei sopravvissuti, trasferiti in parte nella nuova Bussana ricostruita a valle, vicino alla costa. A partire dagli anni '60 vi è stato un progressivo, estemporaneo ripopolamento da parte di artisti originali e personaggi stravaganti, con occupazione non solo degli edifici profondamente dissestati, ma persino dei ruderi. A parte ogni aspetto giuridico ed amministrativo, ciò presenta non pochi problemi in termini di sicurezza, essendo state operate quasi esclusivamente ristrutturazioni architettoniche spicciole e tralasciando, invece, i necessari interventi strutturali e di consolidamento.

Da alcuni decenni Bussana Vecchia si va affermando quale apprezzata meta turistica, grazie anche alla presenza della comunità internazionale di artisti ed alla favorevole posizione su un rilievo collinare sito a circa km 3 dalla linea di costa. L'inegabile fascino di questo piccolo borgo, sito nel settore orientale del territorio comunale di Sanremo, ben visibile dalla vicina Autostrada dei Fiori, è però legato anche alla sua natura di "rovina vissuta", di istantanea reale scattata apparentemente 120 anni fa, in cui, però, la violenza della catastrofe è addolcita dal

tempo, dalla vegetazione spontanea e dalla presenza più o meno discreta dei nuovi abitanti (Fig. 3).

Questa situazione non può ovviamente lasciare indifferente chi abbia a cuore la tutela della sicurezza, sia dei cittadini occupanti, sia dei sempre più numerosi turisti. Per anni il rischio sismico è stato azzerato, venendo a mancare l'esposizione della popolazione: oggi esplose ed ha due componenti dominanti, la risposta sismica locale e l'elevatissima vulnerabilità degli "edifici".

L'interdisciplinarietà dello studio commissionato dal Comune di Sanremo al dott. geol. Andrea Valente, allo scopo di valutare il rischio e studiare possibili misure di mitigazione, ha richiesto l'apporto di specifiche competenze, soprattutto per quanto attiene alle necessarie indagini conoscitive geofisiche sul terreno, alle preliminari analisi delle condizioni di stabilità di siti naturali ed opere antropiche esistenti, nonché alle elementari verifiche di fattibilità per operazioni di soccorso a seguito di eventi sismici importanti. Le indagini geologiche e la caratterizzazione geofisica, gli strumenti di analisi, modellazione e valutazione, hanno quindi seguito e testato un approccio metodologico di più generale applica-



FIG. 1 - Ubicazione geografica di Bussana Vecchia (Sanremo, Liguria occidentale).
Geographic location of Bussana Vecchia (Sanremo, western Liguria).

FIG. 2 - La chiesa parrocchiale di Bussana Vecchia, fortemente danneggiata a seguito del terremoto del 1887. Si nota la presenza di presidi in posto parzialmente strapati.

The church of Bussana Vecchia, heavily damaged after the earthquake of 1887. You can see some structural protection partially broken.



bilità.

E' apparsa quindi evidente la necessità di definire correttamente la vulnerabilità del costruito e la risposta locale e del rilievo sulla quale sorge il borgo, valutando soprattutto quali effetti potrebbe avere oggi un nuovo sisma con intensità pari a quella del 1887.

Di seguito si riporta una sintesi della metodologia utilizzata e dei risultati ottenuti nel suddetto studio, nell'intento anche di fornire un supporto metodologico all'analisi delle problematiche connesse al rischio sismico nei numerosi centri storici presenti nella Liguria Occidentale ed, in generale, nell'intero territorio nazionale.

METODOLOGIA D'INDAGINE

Il rischio sismico può essere inteso come la stima delle perdite complessive che potranno interessare una data area in un dato intervallo di tempo. A costituire il rischio sismico concorrono diversi fattori, tra cui le caratteristiche sismologiche dell'area, le caratteristiche geologiche, geotecniche e morfologiche del sito, la resistenza alle azioni sismiche di strutture e sistemi presenti, ed infine la presenza di popolazione ed il valore di attività e sistemi danneggiabili. Il rischio, quantitativamente, è definito classicamente come prodotto di tre componenti, pericolosità, vulnerabilità ed esposizione: la perico-

FIG. 3 - Vista aerea di Bussana Vecchia (da W). L'abitato, praticamente distrutto in occasione del terremoto del 1887, è stato negli scorsi decenni ripopolato e costituisce attualmente una attrazione turistica, tanto suggestiva quanto affetta da problematiche di stabilità strutturale del ricostruito.

Aerial view of Bussana Vecchia (from W). This built-up area, practically destroyed in the earthquake of 1887, has been repopulated during the last decades, and now it's a tourist attraction, as suggestive as affected by structural stability problems of the reconstructed.



sità sismica è la probabilità che si verifichi, in una data area, entro un dato periodo di tempo, un terremoto di una data energia; la vulnerabilità è la predisposizione di strutture e sistemi naturali ed antropici a subire danni o modificazioni, che ne riducano temporaneamente l'efficienza o ne causino l'irrecuperabilità; l'esposizione rappresenta la presenza di popolazione, strutture, infrastrutture, attività o comunque beni che possono essere influenzati da eventi sismici.

La riduzione del rischio sismico richiede ovviamente di mitigare vulnerabilità ed esposizione, ma a tal fine è fondamentale la conoscenza della pericolosità complessiva dell'area in oggetto. È ormai noto che le caratteristiche locali del sito, geologiche, geotecniche e morfologiche, possono influenzare significativamente lo scuotimento, amplificando notevolmente il moto. La risposta sismica locale (nel seguito abbreviata a RSL) può rendere significativamente diversa la pericolosità di siti anche ubicati a breve distanza, tanto che nel citato schema di valutazione del rischio si potrebbe includere la RSL quale ulteriore componente del rischio, intermedia fra pericolosità e vulnerabilità.

Si tende quindi a separare, nel calcolo dello scuotimento atteso, la componente di pericolosità 'regionale', riferita al substrato rigido, ed il contributo di amplificazione dovuto agli 'effetti locali', legati alla presenza di materiali più deformabili in superficie ed a concentrazione di energia per effetto di morfologie sepolte e della topografia.

Dal punto di vista della pericolosità, in prima analisi, è stata effettuata una ricerca dettagliata di tutti i dati sismici storici riguardanti il territorio in esame ed il suo intorno: nel caso dello studio di Bussana Vecchia sono state raccolte da numerose fonti le testimonianze scritte relative agli eventi sismici verificatisi nel Ponente ligure dal '500 fino ad oggi, ed analizzato il catalogo parametrico dei Terremoti Italiani CPTI-04 (GDL CPTI, 2004), che contiene gli eventi su una finestra temporale dal 217 a.C. al 2002, sul territorio nazionale o sulle aree limitrofe arrivando a definire la "storia sismica" del territorio, contestualmente ad una stima qualitativa delle intensità massime rilevate. Un ulteriore riferimento fondamentale è lo studio probabilistico di pericolosità sismica condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia che ha portato alla redazione della Mappa di

Pericolosità Sismica MPS04, che fornisce, per tutto il territorio nazionale, l'accelerazione di picco su suolo rigido per il periodo di ritorno di 475 anni, corrispondente ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Per quanto concerne gli effetti di sito, un approccio possibile è l'osservazione dei dati macrosismici, di danneggiamento prodotto da eventi storici: l'analisi delle intensità osservate in corrispondenza del terremoto del 1887 mostra un valore anomalo, con un incremento di due unità di intensità sul Borgo di Bussana (Faccioli 1991). Tali effetti di sito, ascrivibili in parte alla topografia del sito, con possibili 'effetti cresta', possono dipendere anche da ulteriori fattori: si è successivamente passati allo studio degli aspetti geologici, litostratigrafici e geomorfologici del rilievo sul quale sorge il borgo, il tutto esteso ad un suo significativo intorno (5,5 km²). Per definire le caratteristiche di una data area, nell'ottica di valutazione della risposta di sito, infatti, è indispensabile estendere il contesto delle indagini di terreno in misura tale da comprendere una porzione di territorio "sismicamente influente". A titolo d'esempio, nel caso di Bussana Vecchia si sono analizzate non solo la porzione sommitale del rilievo collinare sul quale sorge il borgo, ma anche le pendici e le aree vallive poste ai lati di questo, fino a raggiungere la sommità dei versanti opposti, nonché l'area costiera a valle ed una ristretta porzione di territorio a monte verso l'entroterra.

Finalità del rilevamento geologico generale e di quello geomorfologico specifico è stata l'individuazione di tutti gli elementi presenti nell'area d'indagine capaci di influenzare la risposta sismica locale: in particolare, dal punto di vista litologico - strutturale, nell'area in esame sono stati considerati l'assetto stratigrafico del rilievo e l'eventuale presenza di faglie, attive e non. Per il primo punto sono stati approfonditi essenzialmente due aspetti: anzitutto si è definito il rapporto deposizionale vigente tra la formazione litologica, costituente la quasi totalità della collina, nota in letteratura come "Lembo pliocenico", ed il sottostante substrato cretaceo, rappresentato dal "Flysch di Sanremo"; poi è stato eseguito uno studio di maggior dettaglio sul rilievo di Bussana Vecchia, analizzando in modo specifico la suddetta formazione pliocenica ed, in particolare, le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dei terreni

che la costituiscono. L'analisi geomorfologica corrispondente al secondo punto d'indagine ha invece avuto come finalità quella di evidenziare eventuali elementi morfologici, capaci d'amplificare la RSL, quali scarpate, coltri detritiche di notevole spessore, ecc., nonché d'individuare le aree potenzialmente instabili in occasione, ma non solo, di un evento sismico paragonabile a quello del 1887.

Successivamente a questa prima fase di rilevamento sul terreno (opportunitamente integrata da apposite riprese aeree da elicottero di tutta l'area indagata), il cui risultato finale è stato l'elaborazione della carta geomorfologica e degli affioramenti, a cui è seguita la carta geologica - interpretativa dell'intera area d'indagine (entrambe elaborate alla scala 1:5.000), si è passati ad una seconda fase di studio, incentrata esclusivamente sul poggio di Bussana Vecchia: è stata così realizzata una terza carta, alla scala 1:2.000, comprensiva sia degli elementi geologici che di quelli geomorfologici. Integrando il rilievo con le informazioni geognostiche e geofisiche e con i dati diretti dello scavo di tunnel in profondità sotto la collina, sono state elaborate tre significative sezioni stratigrafiche, eseguite alla scala 1:2.000 (Fig. 4). In questo modo è stato possibile ottenere un primo modello tridimensionale del rilievo, impiegato per la successiva implementazione di modelli numerici per la simulazione della risposta sismica locale. La caratterizzazione dei materiali, necessaria al calcolo della risposta sismica, è stata effettuata mediante prove geofisiche di tipo sismico.

Contestualmente agli studi geologici di terreno, sono state anche eseguite delle indagini geognostiche e geofisiche in corrispondenza e nell'intorno del centro abitato, atte a definire le caratteristiche locali dei geomateriali presenti in funzione della risposta sismica. Tra la seconda metà di Giugno e la prima di Luglio 2004 sono stati effettuati, nell'ordine, un sondaggio a carotaggio continuo, profondo 75 m, successivamente attrezzato con un tubo sonico in PVC da 3", ed una campagna di indagini sismiche (per la loro ubicazione vedasi la figura di seguito proposta) (Fig. 5). Quest'ultima è stata articolata in prove geofisiche in foro ed in superficie: sono state realizzate indagini sismiche di tipo VSP (vertical seismic profiling) ed indagini sismiche a rifrazione, entrambe sia in onde P che in onde SH. Sono inoltre stati effettuati alcuni

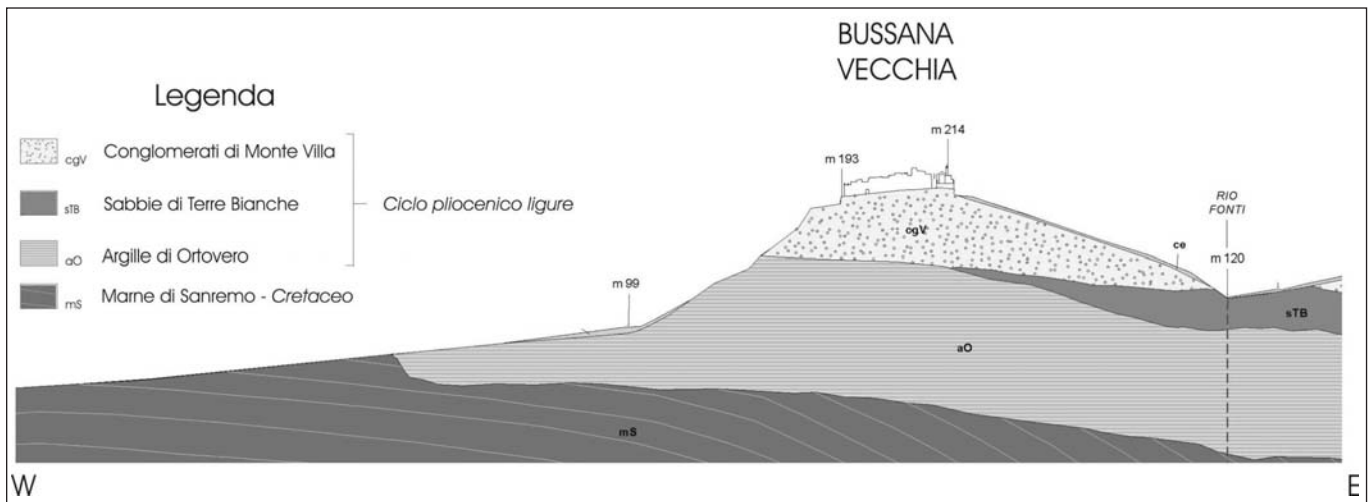


FIG. 4 - Sezione stratigrafica schematica del rilievo di Bussana Vecchia. Si osserva il contatto stratigrafico tra i conglomerati e le argille sottostanti.

Schematic stratigraphy section of the Bussana Vecchia hill. You can see the stratigraphic contact between the conglomerates and the clays below.

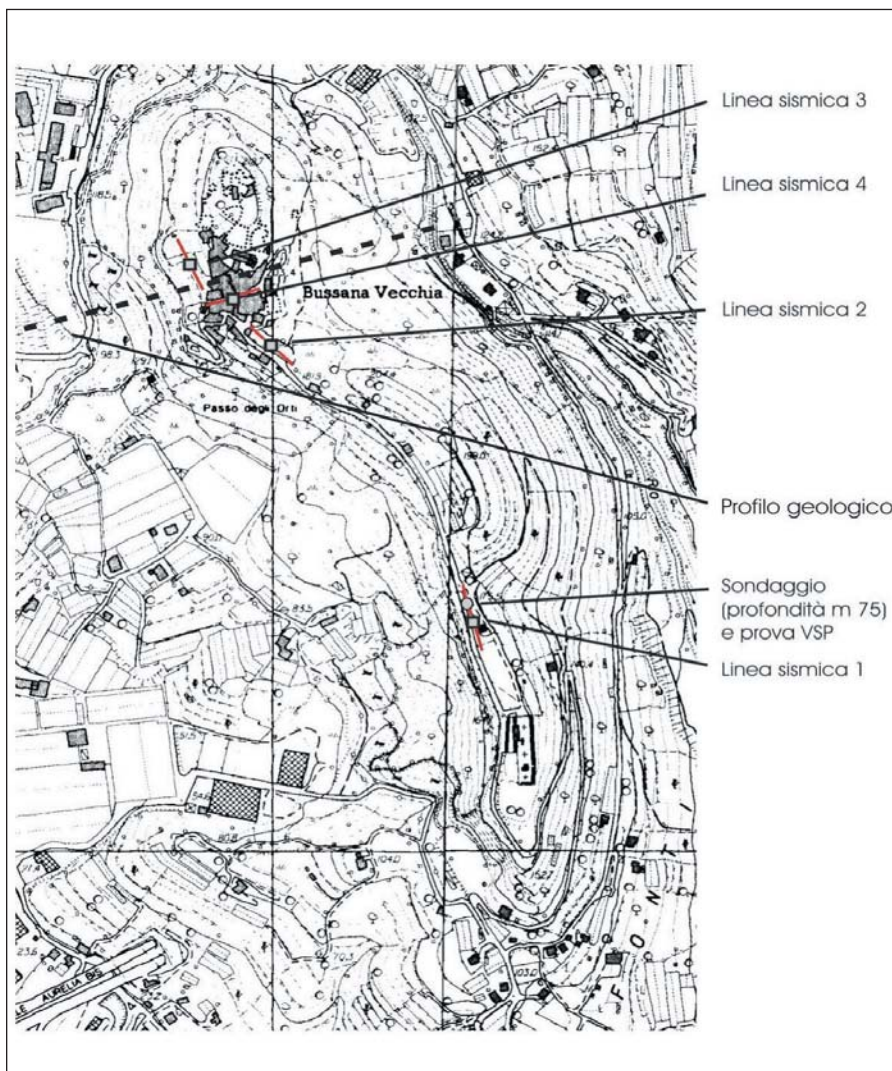


FIG. 5 - Indicazione e localizzazione delle prove geognostiche e geofisiche realizzate nella campagna di indagini sul rilievo di Bussana Vecchia.

Indication and location of geognostic and geophysical trials performed during the geological investigation of the Bussana Vecchia hill.

profili di analisi di onde superficiali.

Le indagini geofisiche di tipo sismico sono tecniche di caratterizzazione indiretta del sottosuolo che si basano sullo studio della propagazione di onde sismiche artificialmente generate. Alle tecniche sismiche a rifrazione in onde P, tradizionalmente e comunemente impiegate nell'esplorazione del sottosuolo, si affiancano oggi le tecniche basate sulla generazione ed analisi delle onde SH. L'impiego delle onde di taglio è più oneroso, specialmente in fase di acquisizione, perché occorre impiegare ricevitori orizzontali e sorgenti polarizzate per separare affidabilmente onde P ed onde SH, ma è necessario per stimare la velocità delle onde di taglio Vs, parametro fondamentale nella risposta dinamica dei terreni.

Analogamente si può dire per le indagini in foro, in cui l'impiego delle onde SH nelle prove down-hole costituisce una metodologia ormai assodata.

Nella caratterizzazione dei materiali a Bussana Vecchia si sono adottate entrambe le metodologie: nell'esecuzione delle indagini in foro, inoltre, è stato impiegato un approccio di tipo VSP (Vertical Seismic Profiling), in cui la finestra temporale di acquisizione è incrementata per individuare non solo le onde dirette ma anche le riflessioni, e la distanza tra foro e punto di scoppio viene variata, in modo da estendere lateralmente l'area indagata ed incrementare la ridondanza dei dati.

Le indagini dalla superficie, sebbene abbiano in generale una minore risoluzio-

ne in profondità, presentano il vantaggio di indagare un volume di terreno più ampio e significativo, e le indagini in foro possono costituire una utile calibrazione. La sismica a rifrazione, tuttavia, presenta alcuni limiti intrinseci, che, come è noto, ne riducono l'efficacia in alcune situazioni sismostratigrafiche. L'inversione di velocità presente nei siti indagati, con materiali a minor velocità posti sotto materiali a maggior velocità, costituisce un fattore critico per la tecnica. Un approccio alternativo per la stima delle caratteristiche dinamiche di taglio dei terreni è l'impiego delle onde superficiali di Rayleigh. Tra le tecniche sismiche impiegate nella prospezione a bassa profondità, le tecniche basate sull'analisi spettrale delle onde superficiali sono le più recenti: l'analisi delle onde di Rayleigh consente di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio V_s in modo rapido, anche in situazioni in cui la rifrazione presenta limiti intrinseci (Fig. 6). Un altro parametro che in alcuni casi si può stimare dai dati di onde superficiali è il rapporto di smorzamento, grandezza fondamentale nella descrizione del comportamento dinamico a piccola deformazione.

L'insieme dei risultati ottenuti mediante tali prove, unitamente ai modelli stratigrafici bi- e tridimensionali del rilievo, hanno permesso di elaborare il modello dinamico della collina, impiegato per le simulazioni della risposta sismica della collina mediante un apposito software di calcolo bidimensionale, con modello costitutivo lineare equivalente.

È stato così possibile stimare i parametri di scuotimento (accelerazione di picco, spettri di risposta), arrivando a definire i tassi d'incremento della sollecitazione sismica in corrispondenza sia del centro abitato che dei versanti che lo delimitano, ottenendo risultati che confermano quanto osservato dall'analisi macrosismica dei dati del terremoto del 1887.

Determinata la RSL, sono stati poi analizzati e definiti i necessari interventi prioritari di mitigazione del rischio sismico, relativi non solo al concentrico, ma anche, e soprattutto, alle scarpate potenzialmente instabili che circondano l'abitato, nonché alla viabilità d'accesso al borgo.

Per quanto riguarda il patrimonio architettonico del centro storico, è stato eseguito un censimento della vulnerabilità degli edifici, utilizzando una specifica e speditiva metodologia di rilevamento dei

manufatti esistenti, sviluppata presso l'Università di Genova e recentemente applicata in un progetto di ricerca nazionale che ha avuto come oggetto proprio il rischio sismico nella Liguria Occidentale (¹) (Fig. 7). Il risultato del censimento, opportunamente informatizzato mediante GIS, è stato posto alla base di una simulazione virtuale del danno atteso per gli edifici, in funzione di diversi scenari di severità dell'azione sismica; sono stati così prodotti degli elaborati cartografici specifici, nei quali è stato possibile evidenziare i settori del centro storico ritenuti maggiormente vulnerabili.

La vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in muratura è caratterizzata, molto più che per gli edifici nuovi, dalla possibilità che si verifichino prematuramente meccanismi di collasso locali, quali ad

esempio il ribaltamento fuori piano di pareti o porzioni di pareti, anziché dall'instaurarsi una vera e propria risposta d'insieme: così, come previsto dalla nuova normativa (Allegato 2 dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 e s.m.i.) nel caso di verifica sismica di edifici esistenti in muratura, questo tipo di meccanismo deve essere adeguatamente preso in considerazione. La metodologia speditiva utilizzata si basa proprio sull'identificazione della tipologia costruttiva e consente di effettuare previsioni del danno atteso in caso di sisma, rifacendosi a correlazioni statistiche con i danni osservati nei terremoti passati, in funzione delle caratteristiche tecnologiche e geometriche dell'edificio, e tenendo conto della presenza di elementi di elevata vulnerabilità o di presidio antisismico (ad es. catene metalliche, contrafforti), nonché dello stato di conservazione e del degrado.

Un discorso analogo è stato fatto per la definizione degli interventi di messa in

(¹) Progetto Liguria Occidentale INGV-GNDT 2000-2002, finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile (coord. S.Lagomarsino)

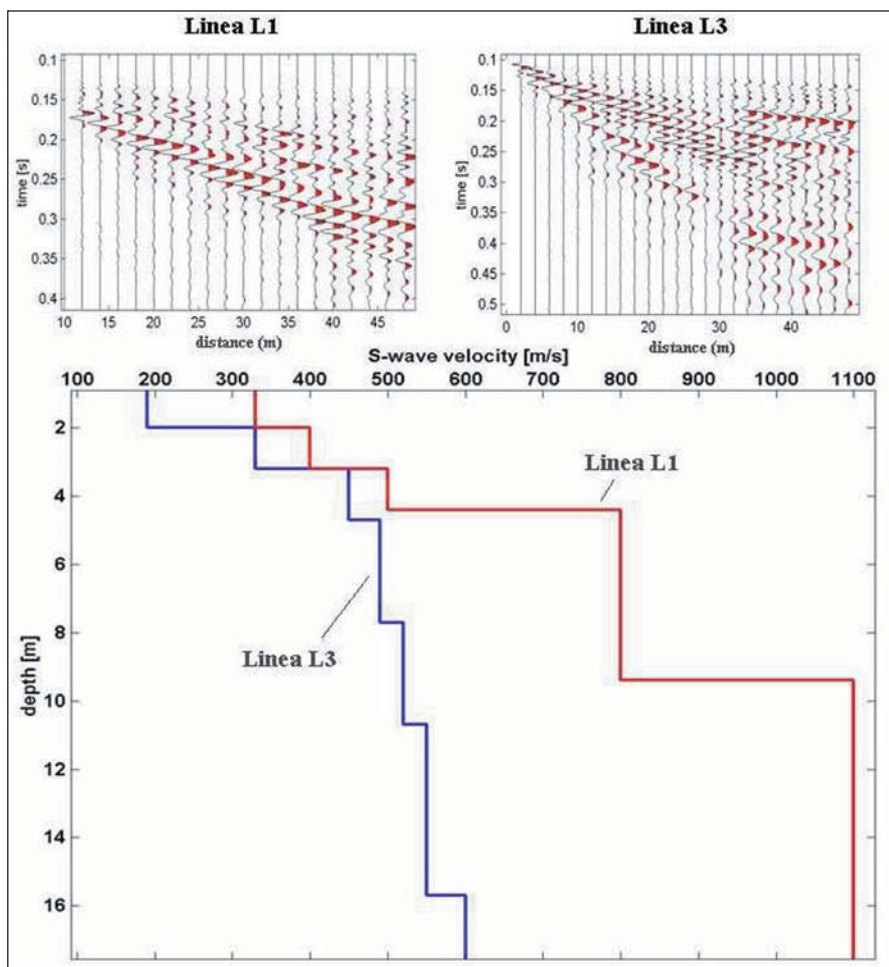


FIG. 6 - Esempio di dati sismici per onde superficiali. In alto i sismogrammi, in basso i profili di velocità delle onde di taglio V_s .

Example of superficial seismic wave data. On the top the seismograms, down the S wave speed (V_s) profiles.

sicurezza delle aree prossime al concentrico e della rete viaria: in prima analisi, sono state eseguite diverse verifiche di stabilità dei versanti in settori ritenuti potenzialmente critici, introducendo nei calcoli una sollecitazione sismica addizionale in funzione delle accelerazioni ottenute dalla simulazione di risposta di sito.

In tal modo è stato possibile indicare i potenziali dissesti franosi che si potrebbero verificare lungo i versanti, in occasione di un sisma, e conseguentemente determinare gli effetti che questi avrebbero sull'accessibilità al concentrico. Va infatti detto che un aspetto ritenuto fondamentale nella mitigazione del rischio sismico è stato proprio quello di valutare la possibilità, da parte dei mezzi di soccorso, di raggiungere il concentrico in seguito ad un terremoto, allo scopo di prestar aiuto il più celermente possibile alla popolazione colpita (Fig. 8).

Evidenziatasi in tal modo la forte vulnerabilità dell'unica via d'accesso al paese attualmente esistente, sviluppata sui versanti S e W del rilievo, si è avanzata la proposta di realizzare una via alternativa di collegamento con il fondovalle sul versante E, da adibirsi esclusivamente a strada d'emergenza e pedonale, suggerendo però di eseguire prioritariamente i necessari interventi di consolidamento della rete viaria esistente. Per quanto riguarda la messa in sicurezza dei versanti, a partire dall'individuazione dei settori a maggior criticità, sono stati progettati dei possibili interventi atti a migliorarne la stabilità (anche in condizioni non sismiche, alla luce delle evidenti problematiche morfogeniche dissestive in atto in vari settori), prediligendo, al fine di contenere al massimo l'impatto ambientale, l'utilizzo di tecniche d'ingegneria naturalistica e salvaguardando, ove necessario, le forme tipiche esistenti del paesaggio, quali le aree calanchive presenti sul versante W del rilievo, in modo tale da non cancellare o compromettere irrevocabilmente le peculiarità geomorfologiche locali.

RISULTATI DELLO STUDIO E CONSIDERAZIONI FINALI

Alla luce delle indagini svolte, è possibile affermare che il borgo di Bussana Vecchia e, più in generale, l'intero rilievo sul quale esso sorge, presentano un grado di rischio sismico elevato, dovuto sia allo stato di pessima conservazione degli edi-



FIG. 7 - Evidenza del grave stato di dissesto di un edificio di Bussana Vecchia. E' possibile osservare come gli interventi di recupero abitativo non riducano certamente la criticità dal punto di vista della sicurezza strutturale.

Evidence of heavy troubles in a house of Bussana Vecchia. You can see how the dwelling interventions have not reduced the structural problems of this building.

fici esistenti che alla verificata presenza di molteplici fattori geologici e geomorfologici dai quali deriva una consistente amplificazione della RSL.

I rilevamenti di terreno e la campagna d'indagini geognostiche, diretta ed indiretta, nonché la successiva elaborazione del modello di scuotibilità del rilievo, hanno permesso di quantificare con buona approssimazione il fattore moltiplicativo del segnale sismico locale: dati storici mostrano un residuo di due gradi di intensità macrosismica, con un fattore di amplificazione stimabile in circa 2.

Le simulazioni indicano fattori di ampli-

ficazione che raggiungono valori prossimi a 2 per la PGA (peak ground acceleration), impiegando come accelerazione di picco su roccia, per il periodo di ritorno di 475 anni, il valore calcolato nello studio INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), estratto dalla mappa per il sito in esame, che si attesta intorno a 0.15 g.

Da un punto di vista normativo, l'adozione dei valori di zona 2 porta ad una a_g di 0.25 [g], che può essere incrementata del fattore topografico S_T pari a 1.4. Per il calcolo del fattore stratigrafico S , la $V_{S,30}$ in questo caso non è un parametro discri-

minante, se si considera la stratigrafia della porzione sommitale del borgo, poiché le formazioni più soffici si trovano a profondità superiore ai m 30. Tuttavia il valore di accelerazione di normativa $a_{g,S_T,S}$, pari a 0.35 g, risulta sufficientemente cautelativo.

Per quanto riguarda il costruito, le simulazioni del danno atteso, sulla base dello screening speditivo, in funzione dei diversi scenari di terremoto, hanno mostrato una vulnerabilità elevata della maggior parte degli edifici: nell'ipotesi che si verifichi nuovamente un terremoto pari a quello del 1887 è stata prevista una pressoché totale inagibilità del borgo, con distruzione di quasi tutte le costruzioni presenti nei settori centrale e settentrionale del paese, nonché di buona parte di quelle rimanenti. Di conseguenza, tale scenario non può che confermare l'assoluta inidoneità all'abitabilità degli edifici, così come si presentano allo stato attuale, i quali determinano, pertanto, un rischio notevole per gli abitanti ed i molti turisti che quotidianamente visitano il borgo.

Anche la stabilità dei versanti prossimi a Bussana Vecchia si ritiene, ipotizzando una sollecitazione sismica di intensità uguale a quella registrata nel 1887, assai compromessa: mentre gli orizzonti argillosi della formazione pliocenica, costituenti la metà inferiore del rilievo, risultano essere altamente suscettibili di una dinamica gravitativa di tipo rotazionale, il sovrastante orizzonte conglomeratico appare senz'altro predisposto al distacco di grossi blocchi. I fattori di sicurezza ottenuti dalle simulazioni sono decisamente bassi, arrivando in alcuni casi, con l'introduzione pseudo-statica delle azioni sismiche, ad assumere valori sensibilmente inferiori all'unità.

Appare quindi prioritario valutare nel proseguo dello studio quali interventi eseguire al fine di migliorare le caratteristiche di stabilità dei versanti e delle scarpate che delimitano il concentrico: a tale scopo devono essere prodotti degli elaborati cartografici specifici, sui quali riportare i settori di maggior instabilità e le modalità di messa in sicurezza consigliabili.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Comune di Sanremo per la collaborazione e la disponibilità dimostrata nel corso della realizzazione di questo primo studio.



FIG. 8 - Vista sui calanques del settore SW del rilievo di Bussana Vecchia. E' possibile osservare la loro estrema vicinanza con la strada che porta al borgo, non escludendosi quindi possibili interferenze, in occasione di un grave terremoto, con la stabilità dell'unico accesso all'abitato.

View on the calanques of the SW sector of the Bussana Vecchia hill. You can see their closeness to the road that leads to the hamlet, so that it's possible to suppose that, during a strong earthquake, there could be some effects on the stability of the only access to the built-up area.

BIBLIOGRAFIA

EVA C., AUGLIERA P., EVA E., SOLARINO S. & SPALLAROSSA D. (1999) - *Sintesi delle conoscenze sulla sismotettonica della Liguria occidentale ed influenza sui parametri di hazard. Le ricerche del GNDT nel campo della vulnerabilità sismica (1996 - 1999)*, CNR gruppo GNDT, Roma, 12 pp.

FACCIOLI E. (1991) - *Seismic amplification in the presence of geological and topographical irregularities*. Proc. 2nd Int. Conf. on Recent Advances in Geotech. Earth. Eng. Amd Soil Dynamics, St. Louis, Missouri, vol. 2, pp. 1779-1797.

GIOVINAZZI S. & LAGOMARSINO S. (2002) - *A Methodology for the Vulnerability Analysis of Built-up Areas*. Proc. of the Int. Conf. Earthquake Loss Estimation and Risk Reduction, Bucarest.

MARGOTTINI C., MOLIN D., CARDINI B. & SERVA L. (1992) - *Intensità versus ground motion. A new approach using italian data*. Engineering Geology, **33**, 45-58.

MARINI M. (2000) - *Il Pliocene Ligure a Taggia (Imperia, Alpi Marittime liguri):*

stratigrafia fisica ed evoluzione sedimentaria. Boll. Soc. Geol. It., **119**, 423 - 443.

ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI n. 3274 del 20 marzo 2003 - *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. GU n. 105 del 8-5-2003 Suppl. Ordinario n.72.

SAGRI M. (1984) - *Litologia, stratimetria e sedimentologia delle torbiditi di piana di bacino del Flysch di Sanremo (Cretaceo Superiore, Liguria Occidentale)*. Mem. Soc. Geol. It., **28**, 577 - 586.

SCANDONE P., STUCCHI M. (1999) - *La zonizzazione sismogenetica ZS4 come strumento per la valutazione della pericolosità sismica*. In: GALADINI F., MELETTI C., REBEZ A. (Eds.), *Le ricerche del GNDT nel campo della vulnerabilità sismica (1996 - 1999)*, CNR gruppo GNDT, Roma, 1 - 12.

TARAMELLI T. & MERCALLI G. (1898) - *Il terremoto ligure del 23 febbraio 1887*. Annali Ufficio Centrale di Meteorologia e di Geodinamica, Vol. VIII, Roma.