RELAZIONE ILLUSTRATIVA

1. INTRODUZIONE

Lo studio delle caratteristiche sismiche locali del territorio comunale di Vendone, rientra nel contesto degli studi relativi alla valutazione della componente microsismica ai sensi della OPCM 3907/2011 ed illustrati a livello nazionale dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" formulati dal Dipartimento della Protezione Civile – Presidenza del Consiglio dei Ministri nel 2008 ed aggiornati nel 2011, nonché dalle "Specifiche tecniche per la redazione degli elaborati cartografici di microzonazione sismica- ottobre 2011 – V 1.5" a cura della "Commissione tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica" mentre a livello regionale gli studi di microzonazione sismica sono normati dalla D.G.R. 471 del 22/03/2010 e ripresi dalla successiva D.G.R. 714 del 21/06/2011 nell'ambito della pianificazione urbanistica comunale ligure.

Tale valutazione va a definirsi in generale attraverso uno studio di microzonazione sismica che, a seconda della pericolosità sismica del territorio comunale, può articolarsi su tre livelli successivi di approfondimento. Il presente studio prende in esame il territorio insediato ed insediabile del Comune di Vendone ed è riferito al livello 1 di microzonazione, in sostanza un'analisi di tipo qualitativo che costituisce lo studio di base per i livelli di approfondimento maggiori.

Obiettivo degli studi di primo livello è quello di ottenere, anche solo limitatamente alle parti di territorio insediate o in cui è prevista dal PUC (o dai restanti piani territoriali di livello superiore) un'espansione urbanistica, una "*Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica".*

Il Comune di Vendone, situato nella parte sud-occidentale della Provincia di Savona, in sponda sinistra del Torrente Arroscia, confina a nord con il Comune di Castelbianco, a est con il Comune di Arnasco, a sud con il Comune di Ortovero e a ovest con quello di Onzo.

La superficie comunale misura all'incirca 10,11 km2, la quota varia da un minimo di 140 m ad un massimo di 1094 m s.l.m. in corrispondenza della zona di Castellermo.

Il territorio è rappresentato da un'ampia fascia di versante rivolta a sud, corrispondente alle pendici meridionali della dorsale montuosa di Rocca Livernà-Castellermo; in tale ambito è possibile individuare una parte settentrionale caratterizzata da terreni montuosi fortemente acclivi e una parte centro-meridionale ad acclività più bassa, dove sono concentrati i nuclei insediativi di Vendone, quali Celsa, Castellaro, Crosa, Vallone, Cantone, Leuso, Villa, Curenna e Borgo.

Tali centri sono principalmente ubicati lungo la Strada Provinciale 35, la quale percorre trasversalmente l'intero comune seguendo le irregolarità morfologiche del versante dovute alle incisioni vallive dei rii principali ad andamento circa nord-sud; la restante viabilità è formata da alcune strade comunali e da numerose strade interpoderali e forestali.

Il presente studio sulla base delle previsioni del PUC e del PTCP prende in esame tutte le aree insediate sopraccitate ed i territorio non insediati lungo la Strada Provinciale 35 che funge da collegamento continuo tra i centri abitati.

L'area indagata presenta una superficie di circa 2,75 kmq ed è visibile nella seguente tavola in scala 1:20.000 (bordo puntinato confine comunale – in Magenta limite area di studio).

La cartografia di base utilizzata sono i fogli in scala 1:10000 della carta tecnica regionale editi da Regione Liguria su raster georeferenziati con file .tab su sistema di coordinate Gauss Boaga Datum Roma 40.

Per quanto riguarda i tematismi di base occorrenti per la redazione del presente studio si è acquisita la cartografia geologica l.s. di analisi del livello preliminare del Piano Urbanistico Comunale redatta nell'anno 2012 (ovvero carta geologica, carta geomorfologica, carta idrogeologica e carta dell'acclività) nonché alla cartografia di analisi e di sintesi del Piano di Bacino Stralcio per dissesto idrogeologico del Fiume Centa (anno 2003 più aggiornamenti temporali) ai quali si fa riferimento per gli specifici dati tematici.

Sulla base di questi dati sono state sviluppati ulteriori tematismi intermedi, riferiti all'area in studio, che sono espressi dalle seguenti carte tematiche:

- carta delle indagini;
- carta geologico tecnica (Elementi geologico tecnici ed idrogeologici)
- carta geologico tecnica (Elementi geomorfologici)

Per integrare le pochissime indagini pregresse sul territorio presenti negli archivi Comunali sono state eseguite misure geofisiche per determinare, ove ricavabile, la frequenza fondamentale di risonanza dei terreni.

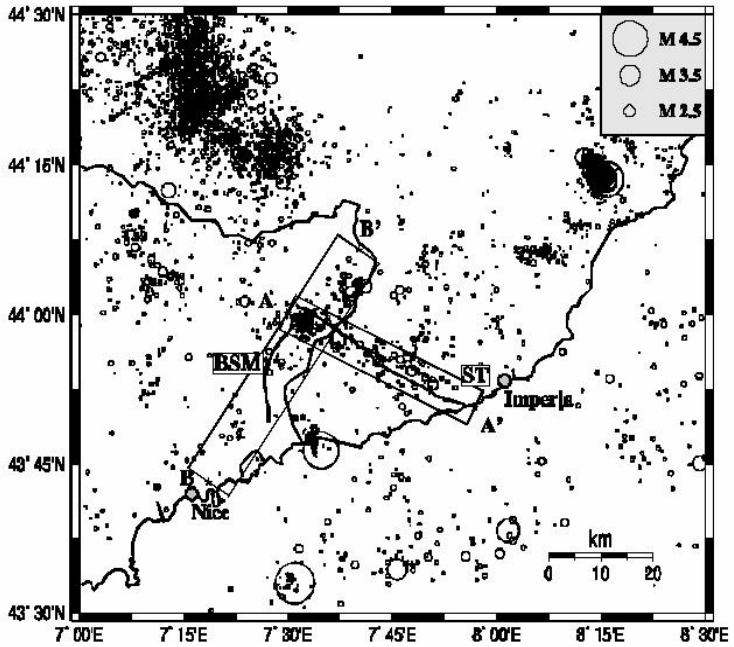
Dalla sovrapposizione delle informazioni ricavate sia dalla campagna di misurazioni sia dai rilevamenti svolti in precedenza, è stato possibile quindi suddividere le parti di territorio analizzate in microzone a comportamento sismico omogeneo individuate nella carta delle MOPS secondo le specifiche e le normative prima citate.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

La zonazione sismica di un territorio ha come scopo la definizione delle aree a maggiore probabilità di essere soggette a diversi livelli di scuotimento sismico. La scala a cui viene affrontato il problema va a definire due tipologie di zonazione: quella riferita alla pericolosità sismica a livello regionale viene detta macrozonazione sismica (quella riferita alla pericolosità sismica a livello locale viene detta invece microzonazione sismica).

Sismicità della Liguria Occidentale

Le aree a maggior attività sismica del settore ligure occidentale sono concentrate nella parte centrale del Mar Ligure e ad una o più fasce in corrispondenza della scarpata e del piede di scarpata continentale, mentre sulla terra emersa l'allineamento più significativo, con andamento NW-SE, si estende dalla costa sino al limite meridionale del Massiccio dell'Argentera (*Eva et al., 2000)*.



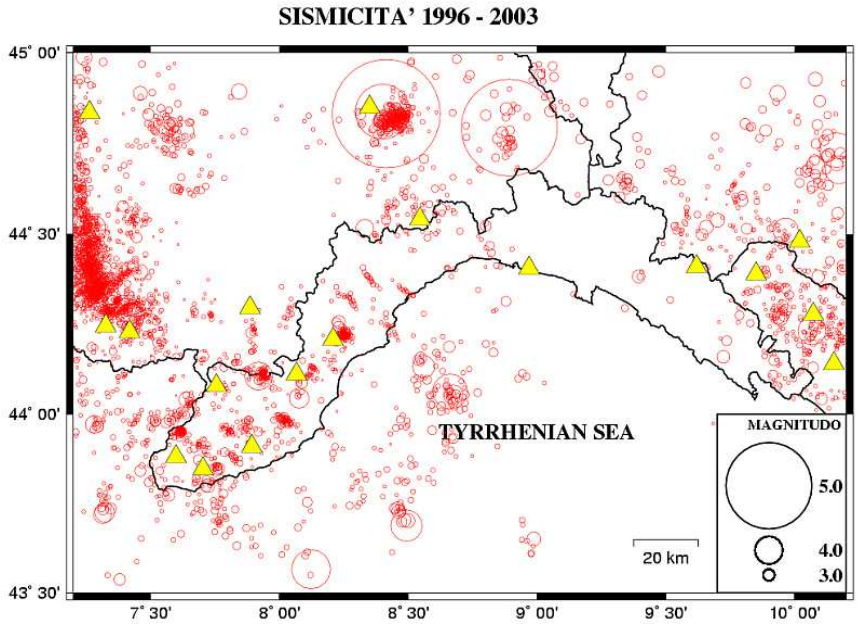
Mappa della sismicità strumentale per il periodo 1983-1999 (*Eva et al., 2000*)

L'allineamento a terra corrisponde alla cosiddetta linea Saorge-Taggia (ST in figura), un complesso fascio di faglie a trascorrenza destra, attiva dal Pliocene, che verso nord va ad intersecarsi

con la linea Breil-Sospel-Monaco (BSM in figura), attiva dal Miocene medio-superiore e caratterizzata da trascorrenza sinistra.

La sismicità storica dell'area tende a concentrarsi nella parte meridionale della Saorge-Taggia in prossimità del Mar Ligure. I valori di intensità sono mediamente inferiori al VII grado nella parte centrale della linea ST e superiori a tale valore nella parte più a sud.

La sismicità strumentale (1985-1999) è caratterizzata da scosse di bassa energia e da brevi sequenze e va a disporsi in prevalenza lungo i due lineamenti BSM e ST, con una concentrazione a Ne della BSM e nel punto di intersezione tra i due sistemi di faglia (*Eva et al., 2000).*



Sismicità ligure nel periodo 1996-2003 (tratta dal sito *www.dipteris.unige.it/geofisica/*)

Il territorio della Provincia di Savona quindi non appare particolarmente sismico, anche se nella porzione più occidentale può risentire della sismicità dell'estremo ponente ligure.

Zona sismogenetica

In ottemperanza all' O.P.C.M. 3274/03 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha realizzato una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, chiamata ZS9, risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone della precedente zonazione sismogenetica, la ZS4, e dell'introduzione di nuove zone.

In questa nuova zonazione il territorio comunale di Vendone si trova collocato ai margini della zona sismogenetica 910, ex area 22 di ZS4; per tale zona il terremoto di riferimento è quello del 1887 (Liguria Occidentale, Mw 6.3 in CPTI2 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani).

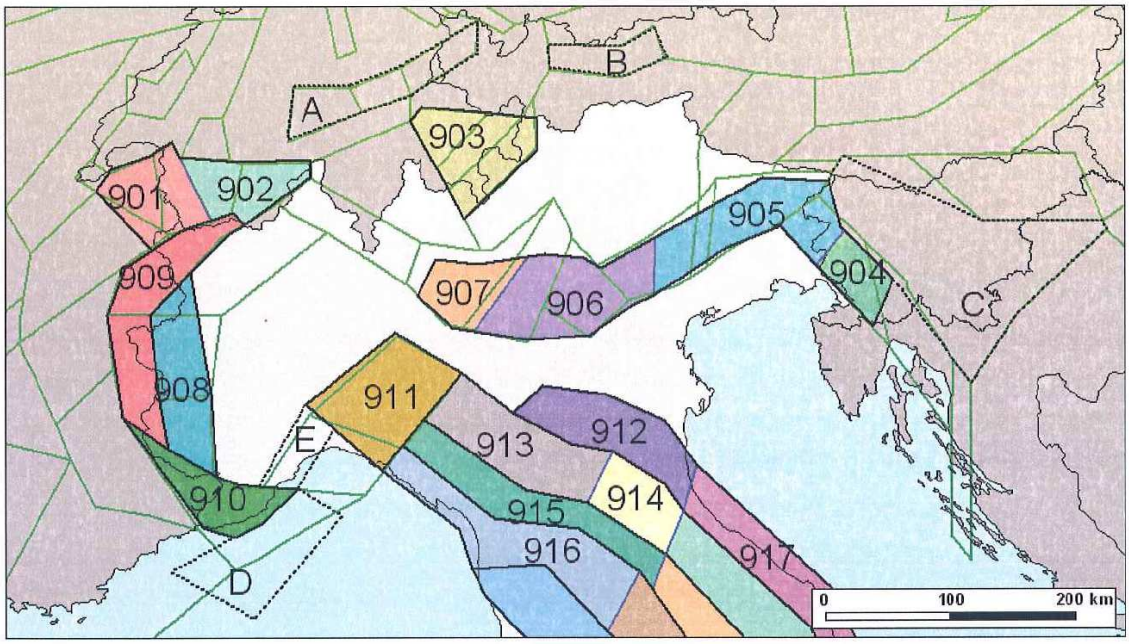


Figura 7 - Zonazione sismogenetica ZS9 per il Nord Italia (bordi in nero e blu) a confronto con la zonazione adottata dal progetto SESAME (bordi verdi, da Jiménez et al., 1991).

Zonazione sismogenetica ZS9 del territorio italiano a cura dell'INGV

La zona 910 (22 in ZS4) è tuttora poco caratterizzata dal punto di vista sismo tettonico. Nonostante alcuni studi recenti (es. Eva et al. 2000, Larroque et al. 2001 e relativa bibliografia) ed il fatto che ad essa sia riferibile il forte terremoto del 1887 (Mw 6.29 in CPTI2). L'individuazione della sismicità storica e macrosismica dell'area è definita rispettivamente dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPT11) e dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11) dal Catalogo parametrico dei terremoti italiani al di sopra della soglia del danno NT4.1 redatti dall'INGV.

Di seguito vengono riportati i relativi dati tratti dal sito dell'INGV

NT4.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno
versione NT4.1.1 luglio 1997, con aggiornamenti 1981-1992 (marzo 1998).

Zona sismogenetica 22

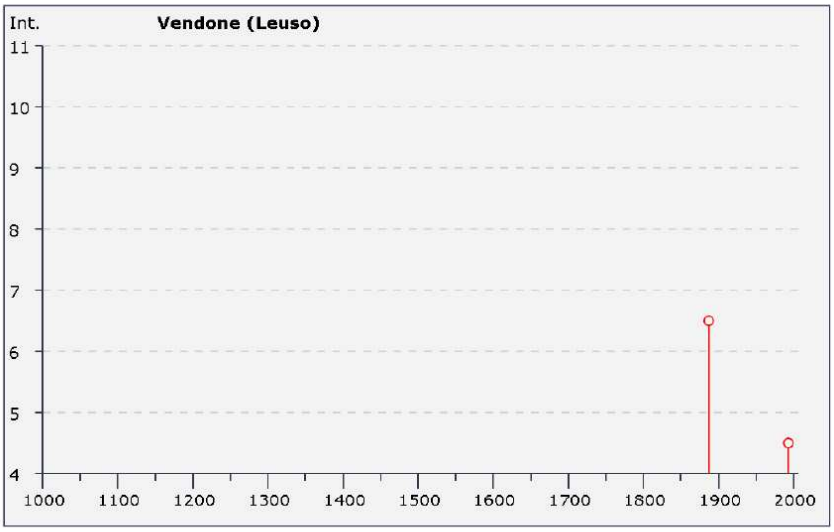
N	Tr	Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Ax	Rt	Os	Nmo	Nip	Ix	Io	Lat	Lon	Pa	Sz	Ta	Agm	Ms	Td
467	DB	1494	06	13				LANTOSQUE	GDTGE	6U	3	3	55	55	43.933	7.367		22	A		42	M
468	DB	1564	07	20				ALPI MARITTIME	LAA94	6P	18	15	85	85	44.083	7.317		22	G		59	M
469	DB	1612	01	31				ROCCA BIGLIERA	GDTGE	6U	6	5	65	65	44.000	7.000		22	A		47	M
470	DB	1618	01	18				NIZZARDO	GDTGE	6U	7	7	70	70	43.917	7.367		22	A		50	M
471	DB	1644	02	15				ALPI MARITTIME	GDTGE	6U	17	12	85	85	43.883	7.283		22	A		59	M
472	DB	1818	02	23				MAR LIGURE	GDTMI	6U	44	42	70	70	43.833	8.000		22	G		50	M
473	DB	1819	01	08				MAR LIGURE	GDTMI	6U	6	4	65	65	43.867	7.967		22	G		47	M
474	DB	1831	05	26				TAGGIA	GDTMI	6U	31	30	85	80	43.867	7.850		22	G		55	M
475	CP	1831	11	25	00	45		EUSSANA	POS85	1P				60	43.833	7.833		22	G		44	M
476	DB	1854	12	29	01	45		MAR LIGURE	GDTSP	6U	84	84	75	80	43.790	7.633		22	G		55	M
477	DB	1858	08	30				VALDIERI	GDTMI	6U	8	8	65	65	44.183	7.300		22	G		47	M
478	CP	1885	01	24	20	12		MAR LIGURE	POS85	1P				60	43.833	8.000		22	G		44	M
479	DB	1887	02	23				LIGURIA OCC.	CFT95	3P	1516	1367	100	95	43.883	8.100		22	G		64	M
480	CP	1892	05	08	07	10		TAGGIA	POS85	1P				60	43.867	7.833		22	G		44	M
481	DB	1896	10	16				ALBENGA	GDTSP	6U	60	44	60	60	44.050	8.217		22	G		44	M
482	CP	1897	10	12	07	05		BORGOMARO	POS85	1P				55	43.967	7.833		22	G		42	M
483	CP	1900	04	05	22	27	30	BAGNI	POS85	1P				60	44.300	7.050		22	G		44	M
484	CP	1900	04	22	00	20		EUSSANA	POS85	1P				60	43.800	7.933		22	G		44	M
485	CP	1903	03	21	21	35		BAGNI	POS85	1P				55	44.300	7.050		22	G		42	M
486	CP	1904	11	15	19	16		CERIANA	POS85	1P				55	43.900	7.783		22	G		42	M
487	DB	1906	08	11	09	58		TAGGIA	GDTSP	6U	82	43	55	55	43.867	7.850		22	G	MAA93	37	O
488	DB	1916	08	19	05	30		VINADIO	GDTSP	6U	1	1	50	50	44.300	7.050		22	G	MAA93	41	O
489	DB	1919	11	28	21	38		ALPI MARITTIME	GDTSP	6U	24	24	55	55	44.183	7.533		22	G	MAA93	48	O
490	DB	1936	12	11	17	25		PIGNA	GDTSP	6U	12	12	60	60	43.933	7.683		22	G	KAR71	39	O
491	CP	1941	02	23	20	12	42	CIRIEGIA	POS85	1P				60	44.133	7.283		22	G	KAR71	43	O
492	CP	1968	04	18	19	38	15	PORGHETTO	POS85	1P				50	44.083	8.017		22	G	MAA93	41	O

Tratto dal Database Macrosismico Italiano (DBMI11)

Storia sismica di Vendone (Leuso)
[44.076, 8.070]

Numero di eventi: 6

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	**Data**	**Ax**	**Np**	**Io Mw**
6-7	1887 02 23 05:2	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
3	1989 12 26 19:5	Mar Ligure	290	4.60 ±0.22
4-5	1993 07 17 10:35	Finale Ligure	336	5 4.51 ±0.10
3	1995 04 21 08:0	Riviera di Ponente	49	4.21 ±0.22
NF	2000 08 21 17:1	Monferrato	597	6 4.86 ±0.09
3	2001 02 25 18:3	Mar Ligure	59	4.50 ±0.09



[download]



Pericolosità Sismica

Secondo l'approccio più comune, adottato anche dalla normative italiane, la pericolosità sismica di un sito viene indicata attraverso il valore di accelerazione orizzontale (PGA) che ha una determinata probabilità di essere superato in un intervallo di tempo.

Con l'Ordinanza PCM 3274/2003 si è avviato in Italia un processo per la stima della pericolosità sismica secondo il metodo classico di probabilità indipendente dal tempo di Cornell. Tale metodo prevede l'individuazione delle sorgenti sismiche e la suddivisione del territorio in zone con supposta uniforme probabilità di essere epicentro di futuri terremoti. Per ciascuna zona viene calcolato il tasso medio di terremoti di una certa magnitudo e il passaggio da magnitudo alla sorgente ad accelerazione risentibile al sito è effettuato attraverso opportune leggi di attenuazione. La probabilità di avere una certa PGA in un sito è data infine dal prodotto tra la probabilità condizionata di avere quella PGA da un terremoto di magnitudo M avvenuto a distanza R date e le probabilità indipendenti che si verifichino eventi di quella M a quella R, integrando su tutti i possibili valori di M e R e per tutte le sorgenti della zona.

Questo processo ha portato alla realizzazione della Mappa di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante.

Dopo l'approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006.

I valori di scuotimento attesi al sito costituiscono anche l'azione sismica di riferimento per la progettazione secondo le Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC08) emanate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici con il D.M. del 14 gennaio 2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008).

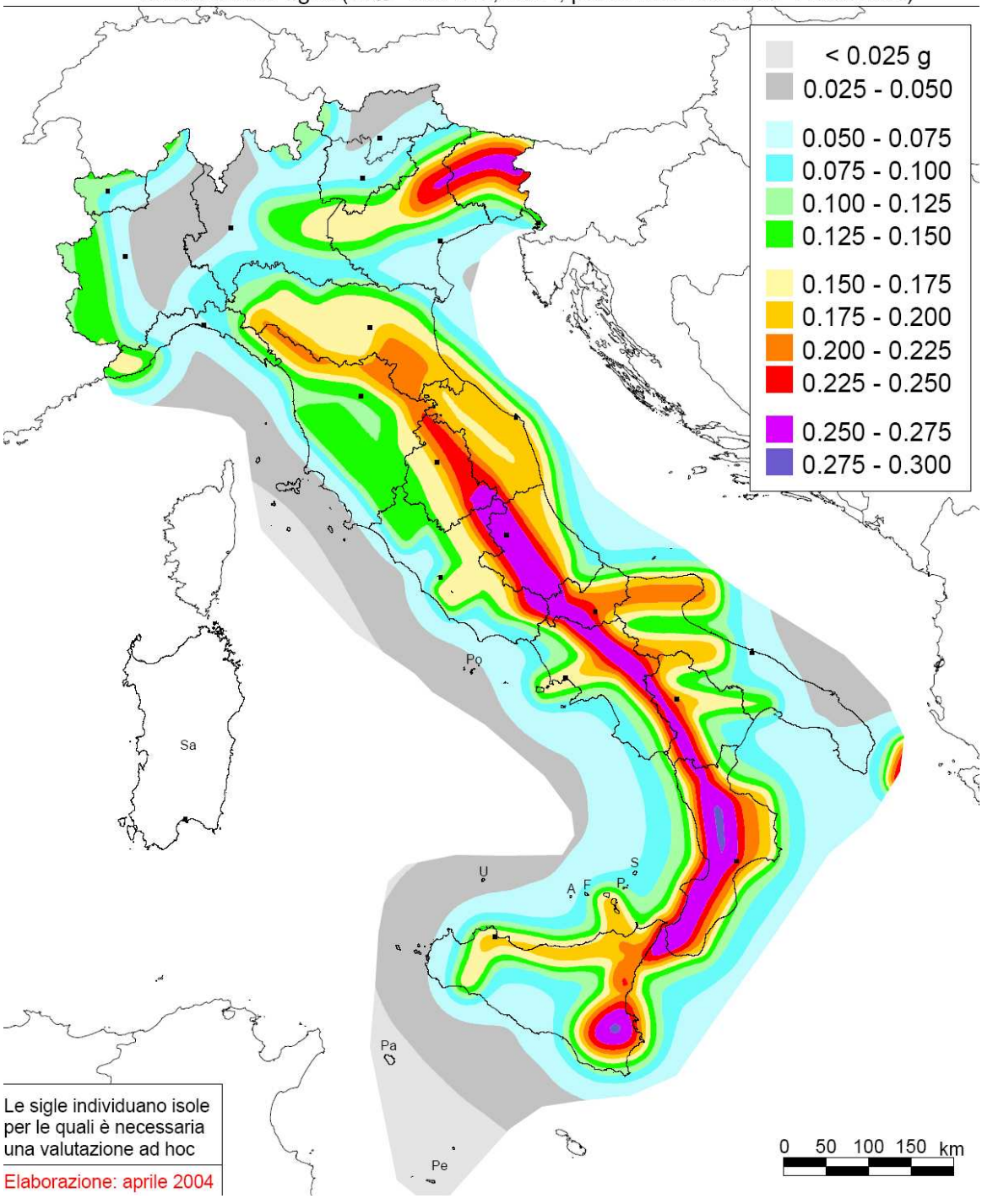
Mappa Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale

ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

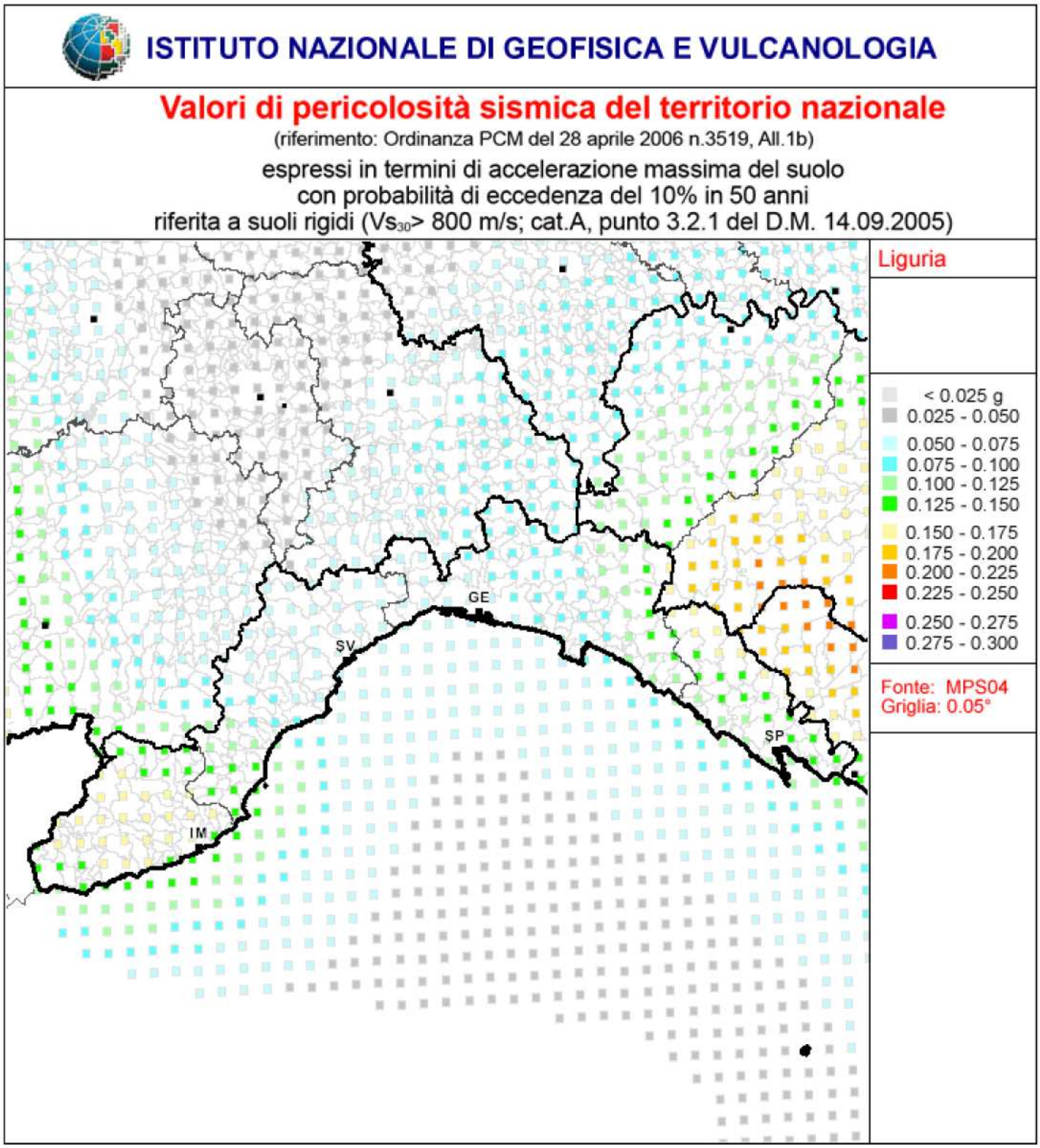
Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
riferita a suoli rigidi (Vs_{30}> 800 m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)



Le mappe di pericolosità sismica sono state prodotte anche in scala regionale.



Al Comune di Vendone come visibile sulle mappe precedenti e come dall'elenco Comuni contenute nell'Allegato7 alla OPCM viene assegnata una pericolosità espressa in termini di accelerazione

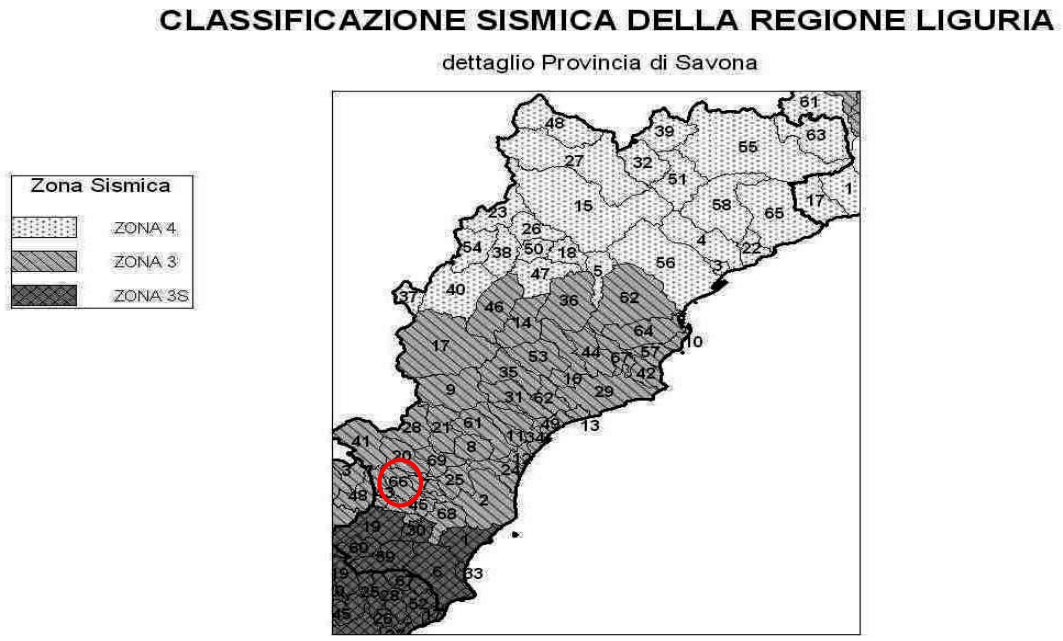
massimadel suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni pari ad Ag = 0,135 corrispondente al colore verde scuro sulle mappe.

Classificazione sismica regionale del territorio comunale

Per quanto riguarda la Liguria, dopo l'ultimo aggiornamento effettuato dalla Regione con la D.G.R. n. 1362/2010, il territorio ligure viene suddiviso in una zona a molto bassa pericolosità sismica denominata zona 4, in una zona a bassa pericolosità sismica denominata zona 3 e in una sottozona denominata 3S (di pericolosità maggiore della zona 3 – medio-bassa).

La DGR 1362/2010 "Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione" sulla base di una suddivisione per Comune assegna lo stesso grado di sismicità a tutto un territorio comunale.

A questo riguardo, il Comune di Vendone ricade nella zona a bassa pericolosità (zona 3),



Classificazione sismica della Regione Liguria, dettaglio della Provincia di Savona, a seguito della D.G.R. n. 1362/2010 (il cerchio rosso evidenzia il Comune di Vendone)

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Lineamenti geologici generali

All'interno del Comune di Vendone i litotipi affioranti appartengono a formazioni geologiche molto differenti tra loro per età ed origine, interessate però dalle stesse fasi deformative che hanno caratterizzato l'orogenesi alpina.

Nell'areale comunale sono state quindi riconosciute e cartografate tre diverse unità tettoniche, separate tramite sovrascorrimenti; dall'unità strutturalmente più bassa a quella più elevata, in riferimento all'appilamento tettonico delle Alpi Liguri, sono presenti: l'unità Arnasco-Castelbianco, l'unità Colla Domenica-Leverone e l'unità Borghetto d'Arroscia-Alassio.

Inoltre, sono stati distinti i depositi plio-quaternari presenti nell'area di studio.

Nell'area oggetto di studio di microzonazione sismica non sono tuttavia presenti tutte le formazioni appartenenti all'Unità Arnasco-Castelbianco presenti all'interno del territorio comunale che tuttavia vengono di seguito citati per completezza dell'assetto geologico generale del territorio.

L'Unità Arnasco-Castelbianco è costituita da una successione di terreni prepiemontesi di età compresa tra il Triassico e l'Eocene e si estende su più della metà del territorio comunale.

Nel settore settentrionale l'unità è rappresentata da una serie triassico-giurassica (Elemento di Castelbianco) composta dalle Dolomie di Monte Arena (Carnico?-Norico), dai Calcari di Veravo (Retico-Hettangiano), dai Calcari di Rocca Livernà (Lias medio) e dalle Brecce di Monte Galero (Lias superiore-Dogger) dalle Radiolariti di Arnasco (Malm) e daii Calcari di Menosio (Titonico-Neocomiano.

Terreni appartenenti all'Unità Arnasco Castelbianco affioranti nell'area di studio sono ascrivibili alla Formazione di Albenga, costituita da una spessa successione torbiditica di età cretacica superiore-eocenica, Essa si estende su buona parte dell'area settentrionale di studio ed è composta da due unità litostratigrafiche informali: i Calcari di Curenna-Monte Bello, più antichi, e le Arenarie di Leuso-Quartarole, più recenti.

I Calcari di Curenna-Monte Bello si presentano come calcari micritici scistosi, insieme a calcareniti in strati sottili, con colorazione caratteristica grigio-bianca. Gli affioramenti maggiori si trovano nell'area del caratteristico borgo di Curenna.

Le Arenarie di Leuso-Quartarole (Eocene inferiore) a nord si trovano a contatto tettonico con i Calcari di Menosio mentre a sud vengono a trovarsi a contatto con la soprastante unità di Colla Domenica-Leverone tramite un contatto di natura incerta, indicato come tettonico. Trattasi di arenarie torbiditiche grossolane, quarzo-feldspatiche e molto micacee, grigie, con numerosi inclusi pelitici.

All'interno della Formazione di Albenga le giaciture degli strati, molto spesso discordanti, sono prevalentemente immergenti a S-SW con inclinazioni variabili comprese tra 15 e 50°, mostrando condizioni generali di franapoggio rispetto ai versanti.

La successione dell'Unità Colla Domenica-Leverone, ultima in ordine cronologico ad essere stata distinta ed inserita nel gruppo dei "Flysch del Ponente Ligure", affiora tra l'Unità Arnasco-Castelbianco e l'unità Borghetto d'Arroscia-Alassio ed formata da due formazioni: le Peliti di Colla Domenica e la Formazione di Leverone.

Le Peliti di Colla Domenica (Paleocene?), che costituiscono il termine inferiore ("complesso di base") della successione, occupano una limitata fascia del settore centro-meridionale del territorio comunale, seguente circa l'andamento arcuato del contatto con la sottostante Formazione di Albenga fino a nord di Vallone, dove sembrano terminare contro il contatto stesso. Negli affioramenti individuati (a Cantone e in alcuni tagli stradali della Strada Provinciale 35) esse si presentano come argilliti grigio-scure molto scistose, con all'interno dispersi alcuni ciottoli di varia natura (calcari, arenarie, selci), mostrando a tratti una tessitura caotica.

La Formazione di Leverone (Eocene) rappresenta la parte superiore della successione e si estende su buona parte del settore meridionale. Si tratta di un flysch costituito da un insieme di torbiditi calcareo-marnose e pelitico-arenacee in stradi da medi a sottili, a cui si alternano frequenti calcareniti che possono ricordare le arenarie appartenenti alla Formazione di Albenga. Gli affioramenti, per esempio lungo la strada comunale di Migliarina o nei pressi di Castellaro, risultano intensamente deformati ed è possibile riconoscere alla mesoscala più fasi deformative sovrapposte tra loro.

L'insieme appoggia con giacitura diritta sulle peliti, per poi venire direttamente a contatto con le Arenarie di Leuso-Quartarole in corrispondenza del crinale poco sopra Castellaro. A sud, la Formazione di Leverone è separata dalla soprastante unità Borghetto d'Arroscia-Alassio tramite un netto contatto tettonico che dal Rio Paraone risale fino a una piccola sella poco a nord del rilievo "Carimonti", per poi ridiscendere verso SE.

L'Unità Borghetto d'Arroscia-Alassio, anch'essa appartenente ai "Flysch del Ponente Ligure", occupa una parte poco estesa dell'area meridionale di Vendone (a sud del rilievo "Carimonti") e si sovrappone alla Colla Domenica-Leverone secondo una superficie tettonica immergente a sud.

La successione è qui rappresentata dal solo elemento intermedio, le Quarziti di Monte Bignone (Cretacico superiore-Paleocene), costituite da quarziti bianco-rosate in strati medi, con subordinate argilliti grigio-verdi in strati sottili.

Nella parte meridionale del territorio comunale, in marcata discordanza stratigrafica sui terreni finora descritti, poggiano alcuni depositi riconducibili ai “lembi pliocenici della Liguria Occidentale”, in particolare quello di Marta-Cenesi-Bastia del “bacino di Albenga” (Boni A., 1984).

Questo lembo pliocenico è rappresentato nell’area di studio da affioramenti estesi di Conglomerati di Monte Villa, questi conglomerati rappresentano spesse successioni alluvionali di grandi apparati deltizi; i clasti costituenti lo scheletro sono in maggioranza di natura calcarea e in minor parte quarzosi, di dimensioni variabili (generalmente centimetriche ma talvolta anche decimetriche), più o meno cementati.

La matrice è generalmente arenacea, ma localmente una matrice argillosa rossastra sembra legare i clasti. Al loro interno sono molto spesso disorganizzati e mal selezionati, e solo a tratti è possibile riconoscere una stratificazione.

Tettonica ed assetto strutturale

L’attuale posizione delle unità tettoniche, finora descritte nelle loro caratteristiche litologiche-stratigrafiche, è il risultato di una serie complessa di eventi deformativi legati all’orogenesi alpina.

Sulla base della letteratura esistente e delle osservazioni effettuate durante i rilevamenti vengono ora riportati, per ciascuna unità tettonica, i tratti salienti tettonico-strutturali riconoscibili nell’area di studio.

- Unità Arnasco-Castelbianco

L’aspetto più evidente osservando l’ordine geometrico con cui i terreni della successione si presentano consiste nel fatto che tale successione è per la maggior parte dei suoi affioramenti rovesciata. L’attuale assetto, secondo Dallagiovanna & Vanossi (1982), confermato da Dallagiovanna & Seno (1984) e, per quanto riguarda l’Elemento di Arnasco, da Galbiati (1987), è ritenuto il risultato di tre eventi deformativi e di tardive deformazioni fragili. Secondo queste ricostruzioni, la prima fase, la più intensa, ad assi E-W con vergenza a sud, avrebbe generato un’anticlinale coricata di vaste dimensioni (“falda di Arnasco-Castelbianco-Borghetto”), di cui il fianco inverso rappresenterebbe l’Elemento di Castelbianco; le parassite di fianco inverso di questa falda costituirebbero invece le grandi anticlinali sinformi che rappresentano la principale struttura dell’Elemento di Arnasco. La suddivisione in due elementi tettonici dell’unità lungo piani di taglio è contemporanea a questa fase e il successivo trasporto tettonico verso l’esterno disarticola ulteriormente i due elementi; essi presentano differenze di stile deformativo a causa del contrasto tra i caratteri litologici “intrinseci” (viscosità, spessore degli strati, ecc.) e del livello strutturale diverso, comportante una differenza di

carico litostatico attorno ai 3 kb tra le dolomie e le calcilutiti eoceniche, producendo una deformazione molto disarmonica (Dallagiovanna & Vanossi, 1982).

La seconda fase deformativa, coassiale alla prima, genera strutture retrovergenti riscontrabili soprattutto nei livelli meno competenti alla mesoscala, sottoforma di un clivaggio di piano assiale in pieghe asimmetriche a piccola lunghezza d'onda, ma è ininfluente a scala maggiore.

La terza fase, di debole intensità, si manifesta raramente con pieghe ad ampio raggio a direzione circa N-S, che non modificano sostanzialmente l'assetto raggiunto con le prime due fasi.

In particolare, l'Elemento di Arnasco sembra strutturato in pieghe di tipo subisoclinale, sudvergenti, ascrivibili alla prima fase tettonica: una sinclinale con nucleo in Arenarie di Leuso-Quartarole (la cui cerniera è stata erosa) ed una soprastante anticlinale con nucleo nei Calcari di Curenna-Monte Bello (la cui cerniera è sepolta). Queste pieghe e l'elemento stesso appaiono laminate in corrispondenza di superfici di scorrimento corrispondenti a un trasporto tettonico verso sud, attribuibili ad un momento secondario della prima fase deformativa (Galbiati, 1987). Alla mesoscala, la fase deformativa più antica è riconoscibile sotto forma di una scistosità molto pervasiva, generalmente subparallela alla stratificazione, e in un clivaggio di frattura molto angolato rispetto alla stratificazione nei litotipi più competenti; tale scistosità viene deformata da pieghe successive sudvergenti, connesse ad una nuova scistosità avente spaziatura da millimetrica a centimetrica. Un clivaggio di frattura molto spaziato, in prevalenza inclinato verso sud, taglia le precedenti foliazioni e si associa alle pieghe legate alla seconda fase deformativa.

- <u>Unità Colla Domenica-Leverone e unità Borghetto d'Arroscia-Alassio</u>

Le due unità flyschoidi presentano assetti strutturali analoghi e in quella di Borghetto d'Arroscia-Alassio sono state individuate (Galbiati & Seno, 1984; Galbiati, 1984; Vanossi et al. 1984) almeno tre fasi deformative. Alla traslazione tettonica verso l'esterno delle falde è riferibile una prima fase deformativa multipla che ha prodotto un'anticlinale sinforme chilometrica (detta della valle Arroscia) a nucleo delle Peliti di Ranzo, in cui è riconoscibile ovunque il fianco diritto e solo a tratti il fianco rovescio, con associate numerose parassite. Successivamente, ma sempre in riferimento alla prima fase, si sviluppano piani di taglio che portano alcune delle parassite maggiori a divenire degli elementi tettonici minori, costituiti da successioni diritte o da pieghe analoghe alla struttura principale: l'unità di Colla Domenica-Leverone rappresenterebbe uno di questi elementi.

Una seconda fase deformativa retrovergente è riferibile a pieghe aperte associate a faglie inverse, mentre una terza fase a vergenza "appenninica" sviluppa localmente pieghe blande.

- Deformazioni fragili

Sull'edificio dell'Unità Arnasco-Castelbianco sono presenti più fasi deformative fragili, tra cui quella più importante e probabilmente più antica è rappresentata dalle grandi faglie normali, alle quali sembra anche associata una componente trascorrente sinistra.

Fasi più recenti, accompagnate da faglie a direzione N-S, hanno determinato un generale sollevamento dell'area (Dallagiovanna & Vanossi, 1982).

Attraverso l'analisi di foto aeree e della cartografia geologica disponibile sulla zona di Vendone, sono state riportate sulla carta geologica solo i lineamenti tettonici ritenuti più netti. Questi lineamenti mostrano effettivamente una direzione N-S e i principali sono stati individuati nel settore nord-occidentale del territorio, al di fuori dell'area oggetto di studio di microzonazione,. Essi condizionano in modo rilevante il reticolo idrografico e i tratti geografici e morfologici del paesaggio ma sono da considerarsi inattivi ai fini del presente studio.

Lineamenti geomorfologici generali

I lineamenti geomorfologici ai fini del presente studio sono riferiti ai nuclei abitati principali presenti sul territorio oggetto di studio.

Borgo

Il tratto di versante, individuabile approssimativamente a partire dalla zona denominata "Gerbidi" fino a superare la frazione Borgo, è costituito da alcuni corpi di frana relitti (o paleoaccumuli) di vaste dimensioni, legati ad eventi che hanno avuto origine in un contesto morfotettonico e climatico differente da quello attuale; essi si presentano come zone a medio-bassa pendenza interessate da coperture detritiche molto diffuse di cui si è ipotizzato uno spessore maggiore di 3 m. Il corpo più esteso è quello che viene percorso dalla strada sterrata che da Borgo porta alla Colla d'Onzo, caratterizzato da ampie aree prative, mentre i rimanenti sono posizionati nei pressi di Borgo, dove sono stati utilizzati dall'uomo per l'attività agricola. All'interno di questi accumuli detritici posti più a sud, sono presenti blocchi litici di grosse dimensioni appartenenti ai Calcari di Curenna, interpretati come corpi di crollo isolati connessi ai movimenti neotettonici che presumibilmente hanno generato questi corpi di frana relitti. Il substrato roccioso è presente solo in alcuni tratti, uno di questi è la zona dove è stato edificato l'abitato di Borgo; in particolare, alcuni manufatti di non recente edificazione appaiono lesionati non a causa di movimenti franosi ma piuttosto all'abbandono ed alla vetustà degli edifici. Nelle vicinanze scorre il Rio Fontana, che a monte della strada comunale appare in netta

erosione, creando condizioni d'instabilità locali lungo le scarpate; a valle, il rio è stato tombinato per un breve tratto e ricompare al di sotto della strada provinciale.

Curenna

L'areale di Curenna sembra essere quello in cui i fenomeni tettonici hanno giocato il ruolo più importante nella formazione del paesaggio; il tratto più appariscente è dato da una rottura di pendio di alcune decine di metri, la cui genesi non può essere legata unicamente all'erosione al piede operata dal rio sottostante ma, più facilmente, anche ad un'attività tettonica fragile (neotettonica). Sulla sua sommità è stata sviluppata parte dell'abitato, con alcuni edifici storici, ora abbandonati e in condizioni di vetustà, costruiti praticamente sul ciglio della scarpata, con evidenti problematiche di sicurezza. Il resto della frazione si trova a monte della strada provinciale su di un versante in roccia con pendenze medio-alte.

Il Rio Gombo appare in fase fortemente erosiva sia a valle che a monte di Curenna, con scarpate accentuate; all'intersezione con la strada provinciale il rio appare tombinato per un breve tratto e sopra di esso sono stati riportati terreni artificiali. Un edificio, comprendente un vecchio mulino, è ubicato al di sopra del rio. Nella stessa zona, un movimento franoso che coinvolge il substrato roccioso (crollo di blocchi in roccia) ha interessato parte del versante sovrastante la strada che sale alle case alte di Curenna; come opera di sistemazione, al piede della frana è stata posta una gabbionata di contenimento allo scopo di proteggere la strada dall'eventuale distacco di materiale dal ciglio e sono state impostate reti parasassi.



Figura 27. Scarpata di Curenna.

Villa e Leuso

Le due frazioni sono posizionate nella parte alta del versante occidentale della dorsale secondaria Carimonti-Terra Bianca, sponda sinistra del Rio Paraone, in un contesto caratterizzato da pendenze contenute e coltri di copertura di spessore modesto ma diffuse, in particolare a Leuso, che hanno consentito un utilizzo agricolo di ampie zone del territorio. Al di sotto dell'abitato di Leuso il versante è più acclive, con alcuni rii fortemente incisi in roccia (Sotto Leuso, Pistone, Lairette, Argio) che ne modellano la forma; al di sopra, è localizzato un ampio bacino artificiale per la raccolta delle acque piovane a scopi irrigui. Il crinale della dorsale perde quota regolarmente verso sud fino alla sede comunale di Vendone, dove riprende quota fino al rilievo "Carimonti", venendo a individuare in questo modo un'evidente sella morfologica.

Cantone

L'abitato di Cantone è posto a mezzacosta lungo il versante orientale della dorsale secondaria Carimonti-Terra Bianca, in sponda destra del Rio Gombo (poi Merco); in particolare, è stato edificato principalmente su substrato roccioso affiorante o subaffiorante, seguendo l'andamento di una dorsale minore, laterale a quella principale. Le aree limitrofe, meno acclivi, sono interessate da coltri di copertura di natura eluvio-colluviale relativamente diffuse e vengono utilizzate dall'attività agricola; localmente, il ruscellamento delle acque superficiali crea nelle zone in coltre delle situazioni erosive che possono provocare danneggiamenti ai terrazzamenti.

Lungo la strada provinciale, risalendo da Cantone con alcuni tornanti il versante ora più ripido e costituito da substrato roccioso, sono presenti alcuni dissesti superficiali relativamente poco estesi che interessano i riporti antropici presenti nel lato sottostrada; essi paiono di recente formazione, ma al momento il tratto asfaltato non presenta segni di cedimento.

Vallone e Castellaro

Sono costituiti da alcuni piccoli nuclei e da diverse abitazioni sparse poste a SW della dorsale secondaria più orientale, quella che separa il sottobacino del rio Merco dal sottobacino del rio Acian.

La zona mostra pendenze generalmente medio-basse con substrato affiorante o subaffiorante principalmente lungo il crinale della dorsale e nelle aree a ridosso dello stesso, con inferiormente ampie zone interessate da coltri di copertura, prevalentemente lungo il contatto tra le calcareniti della

Formazione di Leverone ed i Conglomerati di Monte Villa; secondo quanto riportato nell'Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria - Provincia di Savona per la scheda di Celsa, comprendente anche quest'area, alcune di queste coltri potrebbero rappresentare corpi di frana relitti sviluppati in prevalenza secondo meccanismi complessi (scorrimento roto-traslativo evolvente in colamento nei settori frontali).

Come nel caso delle altre frazioni, queste zone sono molto spesso coltivate e terrazzate; il ruscellamento delle acque superficiali crea spesso situazioni erosive che possono provocare fenomeni d'instabilità superficiali rappresentati da scoscendimenti in terra e danneggiamento dei muretti a secco.

Celsa

La frazione di Celsa, affiancata all'abitato di Campi (appartenente al Comune di Ortovero) e sottostante a Castellaro, è disposta lungo il versante che dalla sponda sinistra del Rio Merco risale al crinale de "Le due Torri". Il centro abitato è ubicato in una zona a bassa pendenza caratterizzato da coltri detritiche di spessore ipotizzato maggiore di 3 m, mentre alle spalle del paese è ben visibile un netto cambio di pendenza con versanti molto più ripidi: tale assetto mostra la presenza di un corpo di frana su cui è stata edificata Celsa e di un'area di distacco superiore, collocata nei Conglomerati di Monte Villa.

Sulla cartografia specifica di P.d.B., a Celsa viene individuato un fenomeno di instabilità quiescente valutato di tipologia complessa (scorrimento roto-traslativo evolvente in colamento nei settori frontali); lungo la strada provinciale, all'altezza del primo tornante, è visibile l'intervento di sistemazione che è stato effettuato a margine del consolidamento di un edificio di civile abitazione, per il quale è stato messo in esercizio un muro in cemento armato consolidato da tiranti.

Sono diffuse nell'intorno dell'abitato le aree destinate all'agricoltura, contraddistinte sul territorio anche dalla presenza di alcune serre. Riguardo al ruscellamento superficiale vale quanto già detto per le frazioni precedenti.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

I dati geotecnici e geofisici utilizzati per il presente studio provengono in parte esigua dai dati presenti negli archivi comunali estrapolati da relazioni geologiche depositate e per la maggior parte da rilievi effettuati ex novo.

In particolare i dati pregressi consistono unicamente in una misura di frequenza di risonanza del terreno ed in rilievi geomeccanici; tutte i restanti dati geofisici (sismica a rifrazione e misure di frequenza di risonanza dei terreni) riportati nella carta delle indagini e nel database provengono da indagini effettuate ex novo nel corso del presente studio.

I dati presenti negli archivi comunali riguardanti per lo più prove penetrometriche dinamiche leggere interrotte a profondità minime non sono state ritenute funzionali agli obiettivi del presente studio. Le indagini in totale comprendono: 9 stazioni geomeccaniche, 1 sismica a rifrazione (nuova indagine), 15 misure di F0 con tromografo (14 nuove indagini).

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il modello del sottosuolo effettuato è rappresentato nelle due carte geologico tecniche relative l'una agli elementi litotecnici ed idrogeologici e l'altra agli elementi geomorfologici.

Le unità litotecniche determinate nonché gli elementi geomorfologici verranno meglio descritti nel paragrafo relativo alla cartografia. I dati di base utilizzati per la redazione del modello di sottosuolo e relativa rappresentazione grafica provengono come già riportato nell'introduzione dalla cartografia e dati contenuti nel progetto preliminare del Piano Urbanistico Comunale e nelle carte tematiche del Piano di Bacino del Fiume Centa.

Detti dati e cartografie nell'ambito più circoscritto dell'area in studio sono stati verificati ed in qualche caso aggiornati sia tramite il geologico-geomorfologico in sito sia in base alle risultanze delle indagini strumentali.

6. INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

Per quanto riguarda la definizione delle unità litotecniche rappresentanti il substrato rigido roccioso ci si è basati sia sulle indicazioni relative alla classificazione dei litotipi contenute nelle DGR 714/2011 della Regione Liguria derivanti da studi propedeutici effettuati dall'Università di Genova, sia dai rilievi geomeccanici effettuati o reperibili da dati di archivio e bibliografici.

Per quanto riguarda alcuni litotipi (Calcari di Curenna) si è notato come i vari affioramenti non possano essere ascritte ad una sola classe rappresentativa del parametro Jv quindi la medesima formazione geologica è stata suddivisa per interpolazione come appartenente a diverse unità litotecniche.

Per quanto riguarda i terreni di copertura la valutazione in termini di addensamento e consistenza è stata effettuata dall'esame visivo superficiale mancando purtroppo sul territorio in studio indagini geotecniche strumentali attendibili.

Gli spessori dei terreni di copertura sono stati valutati tramite le indicazioni della cartografia tematica esistente (già citata) e verificati di massima nelle zone circostanti i nuclei abitati tramite rilievo in sito ed esecuzione di misure con tromografo atte a definire eventuali frequenze di risonanza dovuti a contrasti di impedenza tra terreni di copertura e substrato rigido. Sono presenti alcune misure anomale (cmq di bassa qualità) in cui le evidenze geologiche geomorfologiche evidenziano situazioni non immediatamente correlabili con le misure di frequenza e quindi meritevoli di approfondimenti ulteriori anche per la posizione in prossimità di abitati, zone in frana quiescente e lineamenti tettonici (misura a ovest abitato di Celsa, misura a sud dell'abitato di Leuso).

Da quanto sopra le maggiori incertezze derivano dalla povertà di indagini geotecniche strumentali non speditive reperibili nel territorio comunale, del resto poco insediato e con limitati interventi costruttivi recenti.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

MISURE PASSIVE DEL RUMORE SISMICO AMBIENTALE

Ad integrazione delle informazioni riguardanti la stratigrafia di sottosuolo ottenute da indagini precedenti svolte nell'area di interesse (su cui normalmente si basa la microzonazione di livello 1), si è ritenuto di procedere nell'esecuzione di una campagna di misure del rumore sismico ambientale in vari punti d'interesse del territorio comunale. In aggiunta alla misura pregressa, sono state effettuate 14 nuove misure mediante tromografo digitale, modello Tromino (Micromed S.p.A), allo scopo di stimare la frequenza di risonanza in quei siti in cui si è ritenuto opportuno valutare sperimentalmente l'eventuale presenza di effetti di amplificazione sismica locale (depositi alluvionali/coltri di spessore ipotizzato maggiore di 3 m, substrato rigido fratturato).

Tale metodologia di indagine, descritta nei paragrafi successivi, consente infatti di valutare in modo molto speditivo la presenza di effetti di amplificazione sismica locale permettendo, in caso di contrasti di impedenza significativi e in siti non caratterizzati dalla presenza di forme sepolte particolarmente complesse (valli, bacini, ecc.) di definire il valore della frequenza fondamentale (f_0) del sito stesso.

Il rumore sismico ambientale costituisce il campo di onde sismiche presente in ogni punto della superficie terrestre, dovuto a fenomeni di origine naturale (onde marine, vento, variazioni barometriche, ecc.) e antropica (traffico veicolare, rumore industriale, ecc.). Nel complesso, si tratta di piccole vibrazioni caratterizzate da ampiezze non percettibili dall'uomo (dell'ordine di 10^{-4}-10^{-2} mm). L'analisi del campo delle vibrazioni ambientali costituisce la base di numerose tecniche di sismica passiva, finalizzate alla determinazione delle caratteristiche del sottosuolo al di sotto del punto di osservazione. Tali tecniche di sismica passiva si prestano bene ad essere utilizzate nello studio della risposta sismica locale, in quanto il rumore ambientale è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri) che risultano confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici; tramite queste tecniche risulta possibile determinare i periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e il profilo di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri (*Gruppo di lavoro MS, 2008*).

Le configurazioni sperimentali per la misurazione del rumore sismico sono essenzialmente due:

- a stazione singola, configurazione basata sull'analisi dell'ampiezza delle componenti spettrali del rumore nelle tre direzioni dello spazio, misurate in un punto tramite un sensore a tre componenti;

- ad antenna sismica (array), configurazione in cui vengono analizzati i rapporti di fase o di gruppo dei diversi treni d'onda che attraversano una distribuzione di geofoni disposti su una superficie estesa di terreno (antenna sismica o array).

Per quanto riguarda la configurazione a stazione singola, una tra le tecniche più utilizzate è quella conosciuta come metodo H/V o come tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o ancora come metodologia Nakamura (1989).

Il metodo H/V si basa sui rapporti di ampiezza spettrali tra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) del rumore sismico registrato in un determinato punto della superficie del terreno, e consente, generalmente, di ottenere informazioni riguardo i possibili fenomeni di risonanza sismica (in particolare circa la *frequenza fondamentale*, $\mathbf{f_0}$) attraverso l'interpretazione delle cosiddette curve H/V.

Le curve H/V sono curve sperimentali che rappresentano il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali (riferite alle componenti orizzontali del moto e alla componente verticale) in funzione della frequenza. Le frequenze a cui la curva H/V mostra dei valori massimi possono essere riconducibili alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura; questi picchi possono essere più o meno evidenti e interpretabili a seconda dell'entità del contrasto d'impedenza sismica tra il substrato rigido e lo strato più superficiale di copertura. Nel caso in cui la misura venga effettuate su substrato roccioso affiorante la curva non mostra massimi significativi e si attesta attorno a 1 in tutto il dominio di frequenza.

L'ampiezza dei picchi H/V è correlata in modo non lineare con l'entità del contrasto di impedenza tra i due mezzi che genera risonanza e quindi anche – seppure sempre in modo non lineare - al fattore di amplificazione dell'onda SH.

Le misure H/V danno quindi la possibilità di individuare la presenza di fenomeni di risonanza sismica e indicano per quali frequenze il fenomeno possa avvenire (ma non immediatamente del valore assoluto dell'amplificazione, che può invece essere stimato attraverso altre correlazioni o modellazioni); per questo motivo vengono utilizzate sempre più frequentemente negli studi di microzonazione sismica, in considerazione anche della rapidità e dell'economicità della misura.

Oltre ad alcuni limiti di applicabilità del metodo (presenza di sorgenti antropiche monocromatiche, effetto del vento,

Strumentazione e modalità di acquisizione

La strumentazione utilizzata per la misura del microtremore è costituita da un tromografo digitale, modello Tromino®Zero distribuito dalla Micromed S.p.A.. Si tratta di un apparecchio di ridotte

dimensioni (10x7x13 cm) e dal peso minimo (circa 1 kg), progettato appositamente per questo tipo di misure; è costituito essenzialmente da tre velocimetri orientati secondo le direzioni N-S, E-W e Verticale, rispettivamente ortogonali tra loro, che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore, con conversione A/D > 24 bit. La strumentazione opera nell'intervallo di frequenze compreso tra 0.1 e 200 Hz, consentendo di ottenere un'elevata risoluzione. I dati del moto del terreno, dopo essere stati amplificati e digitalizzati, vengono memorizzati su una memoria interna digitale di 1 GB, da cui possono essere trasferiti ad un PC mediante cavo usb.

Dal punto di vista pratico, al fine di ottenere una corretta registrazione del rumore, ogni singola prova è stata effettuata tenendo conto dei seguenti criteri realizzativi:

- sono stati scelti siti per la misura grosso modo pianeggianti e per quanto possibile lontani da sorgenti di rumore monocromatiche di tipo antropico;
- il contatto tra lo strumento e il suolo è stato reso ottimale, con i piedini di forma conica di cui è dotato direttamente infissi nel terreno;
- una volta reso solidale con il terreno, il tromografo è stato messo in bolla e orientato secondo la direzione del Nord;
- lo strumento è stato acceso e, una volta controllato il funzionamento dei sensori, si è potuto iniziare la registrazione per un periodo della durata di 14 minuti, utilizzando una frequenza di campionamento pari a 128 Hz;
- durante la registrazione è stato evitato ogni possibile movimento da parte dello strumento e attorno ad esso, verificando a fine misura il mantenimento dell'orizzontalità.

Analisi ed elaborazione dei dati

Successivamente all'acquisizione delle registrazioni di rumore sismico, si è provveduto ad analizzare i segnali attraverso il codice di calcolo denominato "Grilla", appositamente sviluppato per lo strumento Tromino; in pratica, con questo software è possibile archiviare, analizzare e revisionare le serie temporali registrate nelle tre componenti del moto durante le registrazioni.

Obiettivo dell'elaborazione dei dati è stato quello di calcolare la curva H/V media per ogni singola misurazione. Preliminarmente, è stata controllata la qualità del rumore sismico acquisito, verificando la stazionarietà del segnale e l'assenza di eventuali transienti sismici monocromatici legati ad attività antropiche, così da riconoscere gli intervalli di frequenza realmente utilizzabili in fase di interpretazione.

La curva H/V media è stata ottenuta mediante un procedimento che può essere schematizzati nel seguente modo:

1) frazionamento dell'intera traccia registrata in sotto-finestre della durata in genere di 20 secondi ("*Window size*");

2) eliminazione delle sotto-finestre contenenti transienti legati a sorgenti specifiche prossime al sensore come passi o passaggio di automobili;

3) calcolo degli spettri in ampiezza di Fourier per ogni sotto-finestra selezionata e per ogni componente del moto;

4) lisciamento degli spettri di Fourier generalmente attraverso un tipo di smoothing triangolare ("*Smoothing type*") al 10% rispetto alla frequenza centrale;

5) calcolo per ogni sotto-finestra selezionata della curva H/V, dove H rappresenta la media (solitamente geometrica) delle due componenti spettrali del rumore sul piano orizzontale (N-S e E-W);

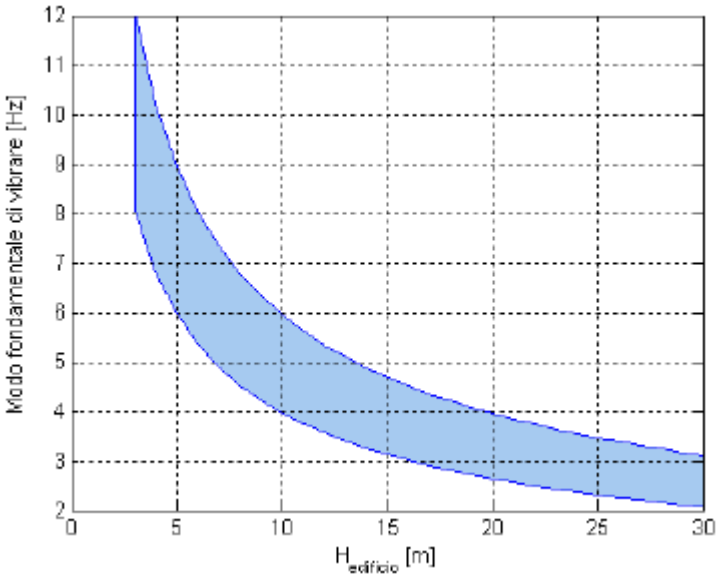
6) calcolo della curva H/V finale, corrispondente alla media dei rapporti spettrali calcolati in ciascuna sotto-finestra, e definizione del relativo intervallo di confidenza.

Come precedentemente accennato, prima di utilizzare le informazioni ricavabili dall'applicazione della metodologia Nakamura ovvero dalle curve H/V, è assolutamente necessario stimare il livello di affidabilità di ciascuna singola misura effettuata. Solo a seguito di questa fase di validazione del dato sperimentale, la curva H/V e, quindi, il valore della eventuale frequenza di risonanza del sito, può essere interpretata al fine di confermare o meno la presenza di effetti di sito all'interno dell'area investigata. La qualità delle misure H/V è stata valutata attraverso i criteri di significatività del Progetto SESAME (2004).

Interpretazione e sintesi dei risultati

La carta evidenzia 15 misurazioni a fianco di ciascuna misurazione viene riportato il valore ove presente della frequenza fondamentale di risonanza del terreno corrispondente al picco principale evidenziato dal grafico H/V medio di ogni misura. Nel caso di più picchi di frequenza si è riportato il principale solo se ricadente in un campo di frequenza di interesse ingegneristico (confrontabile con i campi di frequenze proprie caratterizzanti in genere gli edifici) altrimenti si è riportato il valore di eventuale picco secondario ricadente in tale campo.

A titolo di esempio indicativo tale campo per edifici in cemento armato entro gli 8 piani circa può variare tra i 2 Hz e i 12 Hz in dipendenza dall'altezza del fabbricato (ovviamente il calcolo effettivo deve essere fatto col confronto con il periodo della struttura evinto dai calcoli strutturali).



Questo per l'importanza di valutare nella programmazione di un approfondimento quantitativo degli studi di microzonazione sismica (livello 2 e livello 3) una eventuale verifica di possibili fenomeni di doppia risonanza (edificio/terreno) estremamente pericolosi dal punto i vista del rischio sismico.

Di fatto le misure effettuate in presenza di substrato rigido di diversa natura non hanno riscontrato fenomeni di amplificazione determinanti una frequenza fondamentale di risonanza di interesse (le frequenza di oltre 20 Hz sono prive di interesse per l'amplificazione sismica locale e denotano solamente la presenza di una esigua copertura detritica).

Le misure effettuate su terreni di copertura evidenziano amplificazioni locali con frequenze fondamentali di risonanza variabili tra 2,6 e 3,8 Hz in corrispondenza dei maggiori spessori (paleofrane, frane quiescenti) mentre per coltri di minor spessore risultano variabili tra 7 e 14 Hz.

Sono presenti alcune misure anomale (cmq di bassa qualità) in cui le evidenze geologiche e geomorfologiche evidenziano situazioni non immediatamente correlabili con le misure di frequenza e quindi meritevoli di approfondimenti ulteriori anche per la posizione in prossimità di abitati, zone in frana quiescente e lineamenti tettonici. (misura a ovest abitato di Celsa, misura a sud dell'abitato di Leuso).

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Il presente studio è riferito al Livello 1 di microzonazione sismica nel seguito vengono descritte le elaborazioni e le delle carte tematiche intermedie:

- **carta delle indagini;**
- **carta geologico tecnica: elementi litotecnici ed idrogeologici**
- **carta geologico tecnica: elementi geomorfologici**

e della carta finale sintesi dello studio:

- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica**

Carta delle indagini

Sulla carta delle indagini sono state riportate l'ubicazione e la tipologia delle indagini puntuali sia di quelle pregresse che delle nuove effettuate appositamente per lo studio di microzonazione sismica.

Le indagini sono costituite da misure di rumore sismico ambientale allo scopo di verificare possibili amplificazioni sismiche e nel caso determinare la frequenza fondamentale di risonanza dei terreni, indagini sismiche a rifrazione, stazioni di rilievo geomeccanico sugli ammassi rocciosi.

Carta geologico tecnica: elementi litotecnici ed idrogeologici

Tematismo realizzato appositamente per lo studio di microzonazione allo scopo particolare di differenziare in unità litotecniche le zone caratterizzate sia da substrato rigido affiorante sia da terreni di copertura accorpate per tipologia e per indice di compattezza. Essa deriva fondamentalmente dalla carta geologica e dalla carta geomorfologica del PUC e del Piano di Bacino e dalla loro validazione attraverso i dati delle indagini nuove e pregresse, dalle quali trae informazioni circa la presenza di roccia affiorante o subaffiorante, di coltri di copertura e depositi alluvionali di spessore (ipotizzato) superiore ai 3 m; vengono inoltre riportati i lineamenti tettonici (non attivi), per completezza i lineamenti tettonici vengono estesi anche al di fuori dell'area di studio. Lungo l'area in studio sono diffuse coperture detritiche di natura mista pluvio colluviale di spessore inferiore a 3 m e pertanto non cartografate ai fini del presente studio.

Al fine della redazione della carta litotecnica è stata condotta un'analisi geomeccanica su affioramenti-tipo (dati pregressi e nuovi), relativamente alle formazioni geologiche presenti nelle aree di interesse dallo studio di microzonazione, in modo da confermare o correggere le indicazioni sulla distinzione generale in termini litotecnici delle formazioni geologiche adoperata all'interno della D.G.R. 714 del 21/06/2011, la quale prende una suddivisione della tipologia del substrato (lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato), della stratificazione (stratificato, non stratificato) e del grado di fratturazione (valore del parametro Jv).

Il parametro Jv, è definito come il numero totale di discontinuità che intercettano un'unità di volume (1 m3) dell'ammasso roccioso, viene solitamente determinato attraverso la formula:

Jv = ∑ n° discontinuità/lunghezza di misura

Tuttavia la suddivisione della tipologia dei litotipi in base al grado di fratturazione è stata effettuata dal punto di vista quantitativo secondo quanto indicato nell'"Aggiornamento degli Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica" formulati dal Dipartimento della Protezione Civile nel 2011 Versione 1.5.

Sono state individuate le seguenti unità litologiche, per quanto riguarda il substrato rigido:

Zona 1a caratterizzata da formazioni rocciose lapidee stratificate con Jv <10 costituite da Quarziti massicce appartenenti alle Quarziti di Monte Bignone.

Zona 1b caratterizzata da formazioni rocciose lapidee stratificate con 11<Jv <20 costituite da arenarie e calcari in strati sottili appartenenti alle Arenarie di Leuso alla Formazione di Leverone ed ai Calcari di Curenna ove meno fratturati.

Zona 1c caratterizzata da formazioni rocciose lapidee stratificate con 21<Jv <30 costituite da peliti e calcari in strati sottili appartenenti alle Peliti di Colla Domenica ed ai Calcari di Curenna ove più fratturati.

Zona 3 caratterizzata da substrato granulare cementato non stratificato o solo a tratti stratificato costituito da conglomerati polgenici appartenenti alla formazione dei Conglomerati di Monte Villa.

Per quanto riguarda i terreni di copertura si sono classificati in base alla codifica contenute negli ICMS:

S001 – riporti in genere a granulometria grossolana

S009 – depositi alluvionali antichi e recenti a granulometria mista da poco a moderatamente addensati

S013 – altri terreni: coltri di granulometria mista di natura sia eluviale che colluviale da poco a moderatamente addensate

Carta geologico tecnica: elementi geomorfologici

Tematismo realizzato appositamente per lo studio di microzonazione allo scopo di in particolare di rilevare gli elementi geomorfologici di importanza per lo studio di microzonazione. Essa deriva fondamentalmente dalla carta geologica e dalla carta geomorfologica del PUC e del Piano di Bacino.

In particolare tra gli elementi areali sono evidenziate le zone instabili, all'interno dell'area in studio sono presenti 2 zone in frana quiescente complessa una in corrispondenza dell'abitato di Celsa (per completezza il perimetro della frana viene riportato anche al di fuori dell'area di studio), l'altra in zona agricola e due zone in frana inattiva corrispondenti a due estese paleofrane a monte e valle dell'abitato di Borgo.

Per quanto concerne gli elementi lineari sono state riportati gli orli di scarpata particolare rilievo hanno le scarpata delimitanti l'abitato di Curenna, orli di terrazzo e linee si cresta. E' da rilevare che quasi tutti gli abitati sono ubicati su linee di cresta (Cantone, Leuso, Villa, Curenna, Borgo).

CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Scopo dello studio di microzonazione di livello 1 è stato quello di definire una suddivisione qualitativa del territorio comunale nelle tre macrozone a comportamento sismico omogeneo individuate dalla normativa, relativamente alle aree in cui sono presenti centri abitati o in cui è prevista dai piani territoriali un'espansione urbanistica. Tale suddivisione è stata realizzata attraverso l'elaborato denominato "*Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*" (Mops). Lo schema procedurale utilizzato per la redazione della "*Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica*" ha avuto come riferimento quanto previsto dalla D.G.R. 471/2010 DGR 714/2011 e soprattutto dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" formulati dal Dipartimento della Protezione Civile, e successivo aggiornamento e può essere così riassunto:

1) individuazione delle aree caratterizzate da acclività maggiore di 15°. allo scopo di definire le zone con possibili fenomeni amplificativi di carattere topografico;

2) individuazione delle zone stabili non suscettibili di amplificazioni: sono derivate dalle unità litotecniche della carta geologico tecnica con indicazione circa la tipologia e la qualità litotecnica delle zone a substrato rigido, e dall'acclività con l'elisione delle zone di substrato rigido con inclinazione superiore a 15° (in quanto soggette a possibile amplificazione topografica);

3) individuazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione litostratigrafica: sono derivate dalle unità litotecniche della carta geologico tecnica;

4) individuazione delle zone instabili per instabilità di versante: in base ai dati geomorfologici;

5) individuazione di forme di superficie: in base ai dati geomorfologici, da cui sono stati riportati gli orli di scarpata morfologica, le creste e i terrazzi.

Tutte le informazioni provenienti da cartografia di base e rilevamenti di superficie sono state confrontate con i dati provenienti dalle indagini strumentali nuove e pregresse.

Sulla "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", sono state quindi cartografate le microzone all'interno delle quali la risposta sismica locale dal punto di vista QUALITATIVO presenta comportamento omogeneo. In legenda a fianco di ogni microzona individuata ove possibile dai dati delle indagini e dalla bibliografia è stata visualizzata una sezione stratigrafica indicativa ai sensi degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica".

La carta delle Microzone omogenee si presenta quindi come un elaborato piuttosto articolato nel quale le tre principali zone omogenee

– stabili
– stabili suscettibili di amplificazioni locali
– suscettibili di instabilità

vengono suddivise in sottoclassi in ragione della variabilità litologico-litotecnica, dei caratteri geomorfologici e del gradiente di acclività dei territori indagati.

Per le "zone suscettibili di instabilità", devono essere evidenziati tutti i fenomeni cosismici riscontrati, afferenti alle classi FR (instabilità di versante), LI (liquefazione), CD (cedimenti differenziali) , FA (faglia attiva capace), le zone di sovrapposizione di due zone (FA/FR);

Sono state individuate sulla carta

4 tipologie di microzone appartenenti alla Classe Stabile costituite da substrato rigido affiorante in aree a pendenza inferiore a 15° (3 zone a substr ato lapideo stratificato con diversi valori di Jv, 1 zona a substrato granulare cementato).

3 tipologie di microzone appartenenti alla Classe Stabile Suscettibile di Amplificazione Stratigrafiche (riconducibili a riporti, depositi alluvionali misti, coltri eluvio-colluviali miste).

2 tipologie di microzone appartenti alla Classe Suscettibile di Instabilità (riconducibili a frane quiescenti ed a frane stabilizzate).

In tratteggio sono state evidenziate le aree del territorio con acclività media superiore ai 15° in quanto suscettibili di amplificazione topografica (tali aree non vengono considerate per le zone già classificate come instabili).

Tra le forme di superficie che possono generare possibili amplificazioni locali sono stati cartografate scarpate e terrazzi fluviali (con altezza >/< 20 m), linee di cresta, picchi isolati.

Per quanto riguarda la redazione in ambiente GIS della Carta MOPS sono stati seguiti gli "Standard di Rappresentazione ed Archiviazione Informatica Versione 1.5" emessi dalla Commissione Tecnica per il Monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica.

Gli elaborati prodotti sono contenuti nel DVD allegato alla presente relazione nella sottocartella Vendone/MS1/Shapefiles e sono costituiti da:

- Shapefile poligonale *Stab:* contiene informazioni sulle zone stabili e zone stabili suscettibili di amplificazione. Alle zone stabili caratterizzate da un'acclività del versante i>15° è stata assegnata la classe 2014, rappresenta tiva di aree stabili soggette ad amplificazione topografica a cui non è stato assegnato alcun codice dagli standard di riferimento precedentemente citati
- Shapefile poligonale *Instab*: contiene informazioni sulle zone instabili, sia quelle legate a instabilità di versante sia quelle soggette a possibili fenomeni di liquefazione.
- Shapefile lineare *Elineari*: contiene informazioni sugli elementi lineari (escluse le isobate)
- Shapefile puntuale *Epuntuali*: contiene informazioni sugli elementi puntuali

Si ricorda che non sono state prodotte gli shapefiles *Stab_Instab, Forme* e *Isosub* in quanto nell'areale oggetto del presente studio di micro zonazione non sono presenti elementi/forme che possano caratterizzare il popolamento dei record di tale shapes.

Tra le forme di superficie che possono generare possibili amplificazioni locali sono stati cartografate scarpate e terrazzi fluviali (con altezza >/< 20 m), linee di cresta, picchi isolati.

9. RISULTATI

In sintesi, dall'analisi della "*Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica"* è stato notato che:

- le categorie di microzone Stabili (distinte in funzione della tipologia del substrato e della qualità litotecnica) sono relativamente poco frequenti ma in alcuni casi estese (ad esempio a Leuso e Castellaro con riferimento agli abitati). Il fatto che siano presenti in numero ridotto non è tanto da attribuire all'assenza di substrato roccioso affiorante o subaffiorante quanto al valore di acclività dei versanti, molto spesso maggiore dei 15° posto come limite dalle ICMS e dalla normativa regionale per rientrare nelle zone stabili;
- le microzone Stabili Suscettibili di Amplificazione Stratigrafica sono relativamente poco frequenti in quanto nell'area di studio sono presenti limitatissimi depositi alluvionali e la maggior parte dei terreni di copertura presentano spessori entro i 3 m (dovuti anche all'acclività del territorio); queste microzone sono praticamente concentrate nel settore sud-orientale del territorio comunale dove le morfologie sono meno acclivi specie al piede dei versanti.
- le microzone Suscettibili di Instabilità sono anch'esse ubicate nel settore sud-orientale del territorio per quelle riconducibili ai due movimenti franosi quiescenti complessi di Località Barbigioni e di Celsa; mentre due zone riconducibili a frane stabilizzate (paleofrane) sono presenti nel settore nord-occidentale a monte e valle dell'abitato di Borgo.

INDIRIZZI PER GLI APPROFONDIMENTI DI LIVELLO 2/3 E PER LE RELAZIONI DI PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO RIFERITE ALLE SINGOLE PROGETTAZIONI.

Ferme restando le norme che regolano gli studi di pericolosità sismica per gli interventi di pianificazione territoriale a livello di SUA o PUO contenuti nella DGR 471/2010 e 714/2011 e quelle contenute nel DM 14/01/ 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successive circolari esplicative, dai risultati del presente livello 1 di microzonazione sismica si possono trarre alcuni indirizzi per gli studi di approfondimento necessari.

Tra le microzone sucettibiliti di instabilità, vista l'estensione e l'urbanizzazione attuale e prevista ricadente nell'area, risulta sicuramente meritevole di approfondimenti di livello 2, la microzona in corrispondenza dell'abitato di Celsa.

Da questo punto di vista comunque meritevoli di un approfondimento risultano tutte le microzone suscettibili di amplificazioni locali.

Questa necessità emerge non solo dalla carta delle MOPS ma anche da quella di frequenza fondamentale dei terreni dalla quale si evincono frequenze di risonanza ricadenti nel campo di frequenze di interesse per i fabbricati specie nel settore sud-orientale del territorio.

A livello di singolo intervento edilizio fermo restando quanto richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, la relazione sulla pericolosità sismica del sito che sempre deve accompagnare la progettazione, dovrà obbligatoriamente contenere per gli interventi ricadenti nelle zone Suscettibili di Instabilità verifiche della pericolosità sismica anche in funzione della riattivazione di fenomeni franosi inattivi o quiescenti effettuate in base alle risultanze di adeguate indagini strumentali.

In tutte le zone Stabili Suscettibili di Amplificazioni la determinazione della fattore di amplificazione litostratigrafico richiesta dalle Norme Tecniche per le Costruzioni dovrà essere effettuata in base alle risultanze di adeguate indagini strumentali, possibilmente con misurazione diretta del parametro Vs (velocità delle onde di superficie), e con misurazioni di frequenza atte alla verifica di eventuali fenomeni di doppia risonanza in fase di progettazione strutturale (confronto frequenza fondamentale terreno di fondazione / frequenza propria fabbricato).

Giugno 2012

Bibliografia

- BONI A. (1984). "*Il pliocene e la neotettonica nelle Alpi Liguri*", Mem. Soc. Geol. It., 28, 229-265, 1 tav.
- BONI A., CERRO A., GIANOTTI R. & VANOSSI M. (1971). *"Note illustrative della C.G.I., F. 92-93 Albenga-Savona"*, II Ed., Serv. Geol. It.
- BONI A., VANOSSI M. (1972). *"Carta geologica dei terreni compresi tra il Brianzonese ligure s.l. ed il Flysch ad Elmintoidi s.s."*, Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, v.23, tav. 24.
- BONI P., PELOSO G. F., VERCESI P. L. (1984). *"Il Bacino pliocenico di Albenga (Liguria Occidentale)"*, Rend. Soc. Geol. It., 7, 11-12.
- COMUNE DI VENDONE (2012). *"Progetto preliminare Piano Urbanistico Comunale" – Relazione Geologica*.
- DALLAGIOVANNA G., SENO S. (1984). *"Rilevamento geologico e analisi strutturale del settore meridionale dell'unità di Arnasco-Castelbianco (Alpi Marittime)"*, Mem. Soc. Geol. It., 28, 441-445, 1 tav.
- DALLAGIOVANNA G., VANOSSI M. (1982). *"La struttura tettonica dell'unità di Arnasco-Castelbianco (Prepiemontese delle Alpi Marittime)"*, Rend. Soc. Geol. It., 5, 119-122.
- EVA C., AUGLIERA P., EVA E., SOLARINO S., SPALLAROSSA D. (2000). *"Sintesi delle conoscenze sulla sismotettonica della Liguria Occidentale ed influenza sui parametri di hazard"*, Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999).
- FEDERICI P. R., CAPITANI M., SERANI A., STANO S. (2006) *"Atlante dei Centri Abitati Instabili della Liguria. III. Provincia di Savona"*, C.N.R.-Regione Liguria-Università di Pisa.
- GALBIATI B. (1981). *"Nuovi dati e considerazioni sull'elemento di Arnasco (Alpi Marittime)"*, Rend. Soc. Geol. It., 4, 343-345.
- GALBIATI B. (1984). *"L'unità di Borghetto d'Arroscia-Alassio"*, Mem. Soc. Geol. It., 28, 181-210.
- GALBIATI B. (1987). *"Assetto strutturale dell'elemento di Arnasco (Alpi Liguri)"*, Boll. Soc. Geol. It., 106, 745-755.
- GALBIATI B. & SENO S. (1984). *"Evoluzione polifasica dell'unità di Borghetto d'Arroscia (Alpi Liguri): caratteri e geometria della deformazione"*, Rend. Soc. Geol. It., 7, 19-20.
- GNACCOLINI M. (1998). *"Le successioni conglomeratiche plioceniche della Liguria Occidentale: osservazioni preliminari sulla loro architettura e relativo significato"*, Atti Tic. Sc. Terra, 40, 203-214.
- GRUPPO DI LAVORO MS (2008). *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"*, parti I e II.

- MARINI M. (1988). *"Evoluzione tettonico-sedimentaria e geodinamica dei flysch cretacico-eocenici della Liguria Occidentale"*, Boll. Soc. Geol. It., 107, 193-218.

- MARINI M. (1989). *"Considerazioni sulle associazioni di litofacies marnoso-argillose terziarie diffuse nella zona dei Flysch della Liguria Occidentale (Valle Arroscia)"*, Boll. Soc. Geol. It., 108, 83-103, 1 tav.

- MARINI M. (2004). *"Carta geologica del Pliocene Ligure di Albenga"* alla scala 1:25000.

- PROVINCIA DI SAVONA (2003). *"Piano per l'individuazione di scenari di rischi inerenti la presenza di sbarramenti e dighe sui corsi d'acqua della Provincia di Savona"*, relazione generale.

- PROVINCIA DI SAVONA (2003). *"Piano di Bacino Stralcio sul rischio idrogeologico del Bacino del Centa"*, relazione generale.

- SESAME EUROPEAN RESEARCH PROJECT (2004). *"Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation"*.

- VANOSSI M. (1970). *"Contributi alla conoscenza delle unità stratigrafico-strutturali del Brianzonese Ligure s.l.-III. L'unità del Castellermo"*, Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, v.21, 89-107.

- VANOSSI M., CORTESOGNO L., GALBIATI B., MESSIGA B., PICCARDO G. B. & VANNUCCI R. (1984). *"Geologia delle Alpi Liguri: dati, problemi, ipotesi"*, Mem. Soc. Geol. It., 28, 5-75.

INDICE

1.	INTRODUZIONE	pag.	1
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	pag.	3
3.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	pag.	12
4.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	pag.	20
5.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	pag.	20
6.	INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	pag.	21
7.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	pag.	22
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI	pag.	27
9.	RISULTATI	pag.	31
10.	Bibliografia	pag.	34