STUDIO SISMICO LOCALEDEL TERRITORIO COMUNALE

PREMESSA

Lo studio delle caratteristiche sismiche locali del territorio comunale di Borghetto Santo spirito, rientra nel contesto degli studi relativi alla valutazione della componente microsismica 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 2015" 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, tali studi devono far parte integrante degli elaborati previsti a supporto degli Strumenti Urbanistici Comunali ai sensi della D.G.R. 1745/2013 .

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. Nel caso del Comune di Borghetto santo Spirito, la normativa prevede l'obbligo di effettuare uno studio di microzonazione di livello 1, 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".*

A tale scopo, in riferimento all'iter previsto dalla normativa regionale per la redazione di questo elaborato, con acquisita la cartografia geologica l.s. di analisi del PUC (ovvero carta geologica, carta geomorfologica e carta idrogeologica) a cui si fa riferimento per gli specifici dati tematici, sono state sviluppati ulteriori tematismi intermedi, riferiti a tutto il territorio comunale, che sono espressi dalle seguenti carte tematiche:

- carta dell'acclività;
- carta delle indagini;
- carta delle frequenze fondamentali dei terreni
- carta litotecnica.

Per integrare le indagini pregresse sul territorio presenti negli archivi Comunali sono state eseguite misure geofisiche per determinare, ove ricavabile, la frequenza fondamentale di risonanza dei terreni, anche ai fini della compilazione della "carta delle frequenze"

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 nelle tre microzone a comportamento sismico omogeneo individuate dalla normativa:

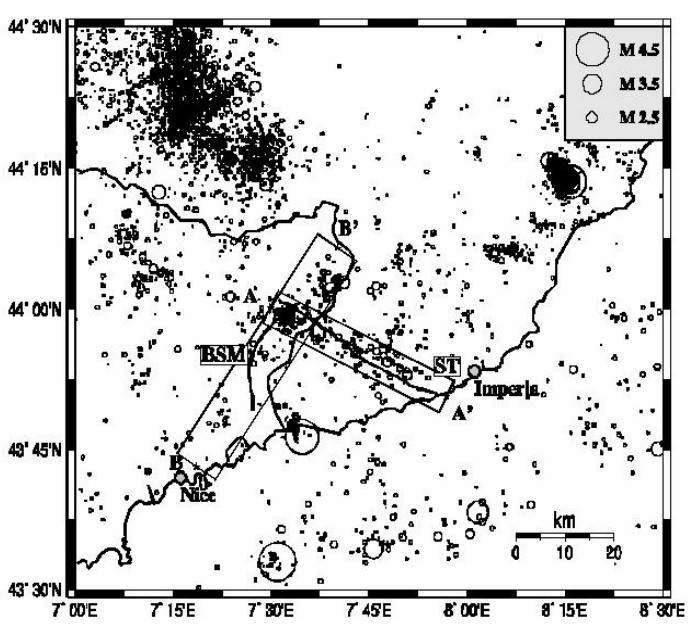
- le zone stabili;
- le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali;
- le zone suscettibili d'instabilità.

MACROZONAZIONE SISMICA

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)*.

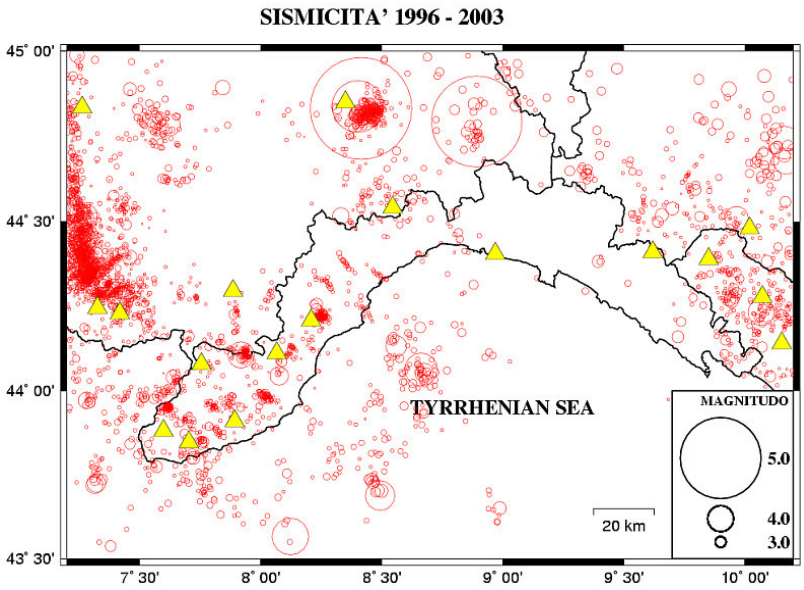


Mappa della sismicità strumentale per il periodo 1983-1999 (*Eva et al., 2000*)

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 Borghetto Santo Spirito 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 6.29 in CPTI2, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani).

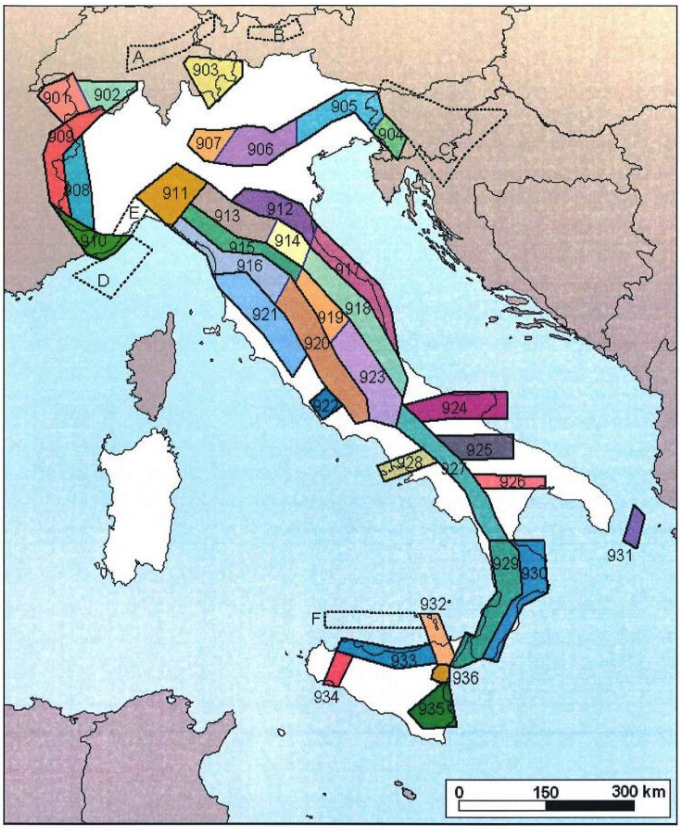


Figura 1. Zonazione sismogenetica ZS9 del territorio italiano a cura dell'INGV

L'individuazione della sismicità storica e macrosismica dell'area è definita rispettivamente dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani e dal Database Macrosismico Italiano, entrambi redatti dall'INGV.

Le informazioni macrosismiche relative al Comune di Borghetto S. Spirito segnalano 4 osservazioni disponibili e di seguito riportate.

Storia sismica di Borghetto Santo Spirito (SV)
[44.109, 8.239]

Osservazioni disponibili: 4

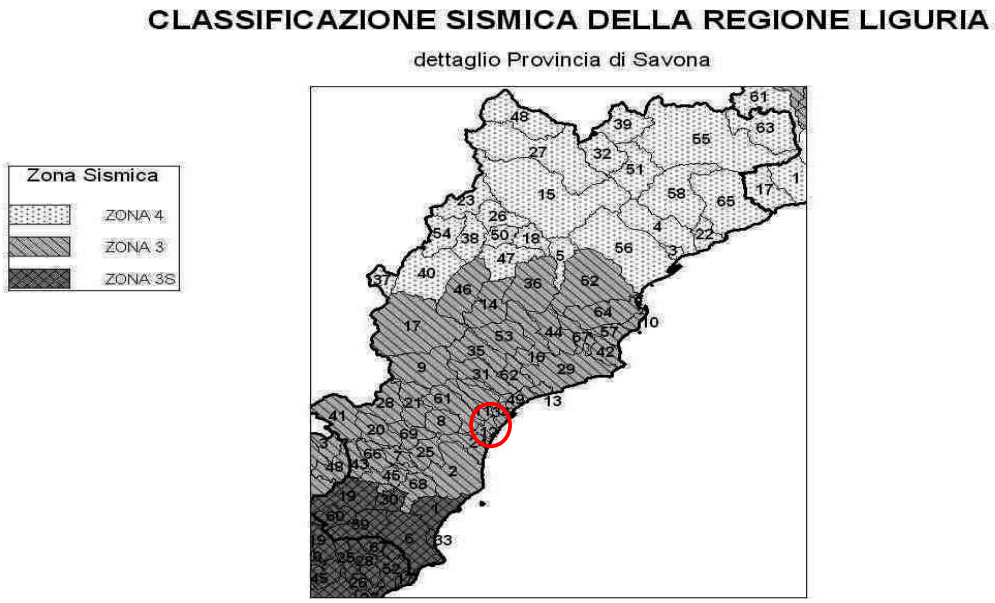
Effetti	In occasione del terremoto:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Io	Mw
7	1887	02	23	05	21	50	Liguria occidentale	9	6.29
6-7	1972	01	18	23	26		RIVIERA DI PONENTE	6	4.76
3	1971	07	15	01	33	23	Parmense	7-8	5.61
NF	1989	12	26	19	59	58	MAR LIGURE	5	4.63

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 denominate 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 Borghetto Santo Spirito 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)

MICROZONAZIONE SISMICA

La macrozonazione sismica, attribuisce a un determinato territorio esteso sostanzialmente lo stesso grado di pericolosità sismica. Le evidenze locali relative agli effetti di un terremoto mostrano invece variazioni significative nella distribuzione dei danni, sia all'interno dello stesso comune che in ambiti molto più ristretti. Dalla necessità di ottenere informazioni sui possibili effetti locali indotti da un sisma (amplificazione, liquefazione, frane, ecc.) è nata quindi l'esigenza della realizzazione di studi di microzonazione sismica.

Gli studi di microzonazione sismica sono in grado di fornire una base conoscitiva della pericolosità sismica a scala comunale o sub comunale, suddividendo il territorio in questione in zone a comportamento sismico omogeneo; l'obiettivo è di individuare le condizioni di sito che possono causare variazioni sensibili nelle caratteristiche del moto sismico atteso (moto sismico di riferimento) o che possono generare fenomeni d'instabilità del terreno (fratture, frane, liquefazione, cedimenti, ecc.) rilevanti per le costruzioni e le infrastrutture.

In altre parole, la microzonazione simica si basa sostanzialmente su una valutazione della risposta sismica locale (che rappresenta il modo in cui la struttura geologica superficiale influenza la propagazione delle onde sismiche) e su una definizione dei probabili effetti indotti che possono interessare l'area in questione. Tali effetti, molto spesso determinanti per quanto riguarda la distribuzione del danneggiamento, possono essere ipotizzati tramite l'analisi di registrazioni di

terremoti e di rumore sismico ambientale (metodi sperimentali) e/o la simulazione della propagazione delle onde sismiche in modelli del sottosuolo (metodi numerici).

Il risultato dello studio viene sintetizzato attraverso una carta del territorio su cui vengono indicate:

a) le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante;
b) le zone in cui il moto sismico è amplificato a causa delle caratteristiche morfologiche, strutturali, stratigrafiche, geofisiche e geotecniche dei terreni;
c) le zone in cui sono presenti, o suscettibili di attivazione, fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti dal sisma o incrementati da esso.

Microzonazione sismica nell'ambito della pianificazione urbanistica comunale

La microzonazione sismica rappresenta uno strumento basilare e propedeutico alla realizzazione di una corretta pianificazione territoriale, in particolar modo riguardo:

- alla scelta delle aree potenzialmente insediabili;
- alla definizione degli interventi ammissibili in una data area;
- alla programmazione delle indagini e dei livelli di approfondimento;
- alla scelta degli orientamenti e delle modalità di intervento nelle aree urbanizzate;
- alla definizione di opportune gerarchie di pericolosità per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico.

La Regione Liguria, in attuazione della L.R. n. 29/1983, modificata dalla successiva L.R. n. 29/2006, ha approvato con D.G.R. 471 del 22/03/2010 i "*Criteri e linee guida regionali per l'approfondimento degli studi geologico-tecnici e sismici a corredo della strumentazione urbanistica comunale"*, in linea con gli "*Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*" (ICMS), elaborati a livello nazionale dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento Nazionale di Protezione Civile-Servizio Sismico Nazionale. Tali criteri hanno reso uniforme il processo di adeguamento degli strumenti urbanistici, generali e attuativi, fornendo agli Enti Locali la metodologia da seguire per la valutazione della componente sismica, da svilupparsi sulla base di studi di microzonazione sismica.

In generale, tale schema prevede tre livelli di approfondimento, con complessità ed impegno crescenti dal livello 1 al livello 3.

Livello 1

Livello di approfondimento di carattere qualitativo, essenziale per lo sviluppo degli eventuali livelli successivi di approfondimento, prevede la realizzazione di un quadro conoscitivo generale del territorio tramite una raccolta di dati geologici, geomorfologici, litotecnici di base allo scopo di individuare sul territorio delle microzone qualitativamente omogenee in termini di prospettiva sismica, definendo una "*Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica"*.

Tali risultati andranno ad influenzare la scelta del livello successivo di approfondimento e solo in alcuni casi possono essere considerati esaustivi e definitivi.

INDAGINI	Raccolta dati pregressi: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici e sondaggi
ELABORAZIONI	Sintesi dei dati e delle cartografie disponibili
PRODOTTI	Carta delle indagini Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica Relazione illustrativa

Livello 1, sintesi delle indagini, elaborazioni e prodotti (da*"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" parte I, Gruppo di Lavoro MS, 2008).*

Livello 2

Nel livello 2 vengono introdotti approfondimenti conoscitivi di tipo quantitativo per compensare le incertezze relative al livello 1 e vengono fornite quantificazioni numeriche, con metodi semplificati, della modificazione locale del moto sismico in superficie (zone stabili suscettibili di amplificazioni) e dei fenomeni di deformazione permanente (zone suscettibili di instabilità).

Determinate le aree con i maggiori livelli di incertezza, vengono programmate le nuove indagini, la cui localizzazione viene riportata su una "*Carta delle indagini*", dove, inoltre, possono essere segnalate le aree dove si ritiene più importante la previsione di ulteriori indagini relative ad un eventuale approfondimento di livello 3.

Il risultato di questo livello è la definizione di una "*Carta di microzonazione sismica*", costruita associando una quantificazione numerica (fattori di amplificazione FA e FV per le zone stabili suscettibili di amplificazione e valori quantitativi per le zone di deformazione permanente) degli effetti considerati rispetto alle zone, o a parte di esse, rappresentate nella "*Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica"* del livello 1.

INDAGINI	Indagini geofisiche in foro del tipo DH o CH, cono sismico, sismica a rifrazione, analisi con tecniche attive e passive della dispersione delle onde superficiali per la stima di Vs, microtremori ed eventi sismici
ELABORAZIONI	Correlazioni e confronti con i risultati del livello 1, revisione dl modello geologico, abachi per i fattori di amplificazione, abachi e formule empiriche per le instabilità di versante
PRODOTTI	Carta delle indagini Carta di microzonazione sismica Relazione illustrativa

Livello 2, sintesi delle indagini, elaborazioni e prodotti (da*"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" parte I, Gruppo di Lavoro MS, 2008).*

Livello 3

Il livello 3 porta alla realizzazione di una "*Carta di microzonazione sismica con approfondimenti*" su tematiche o aree particolari e nello specifico viene adottato:

- nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nei casi di situazioni geologiche e geotecniche complesse, quando l'estensione della zona di studio renda conveniente un'analisi globale di dettaglio o per opere di particolare importanza;

- nelle zone suscettibili di instabilità particolarmente gravose per complessità del fenomeno e/o diffusione areale, non risolvibili con l'uso di metodologie speditive

I risultati ottenuti potranno, limitatamente alle aree oggetto di approfondimenti, modificare la "*Carta di microzonazione sismica*" definita nel precedente livello.

INDAGINI	Campagne di acquisizione dati sismometrici, sondaggi, prove in foro e in superficie per la determinazione del profilo di Vs, sismica a rifrazione, prove geotecniche in sito e di laboratorio, microtremori
ELABORAZIONI	Analisi numeriche 1D e 2D per amplificazioni, analisi dinamiche complete per la stima delle deformazioni permanenti
PRODOTTI	Carta delle indagini Carta di microzonazione sismica con approfondimenti Relazione illustrativa

Livello 3, sintesi delle indagini, elaborazioni e prodotti (da*"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" parte I, Gruppo di Lavoro MS, 2008).*

IL PRESENTE STUDIO ALLA SCALA DI PIANIFICAZIONE DELL'INTERO TERRITORIO COMUNALE E' RIFERITO AL

LIVELLO 1

NEL SEGUITO VENGONO DESCRITTE LA ELABORAZIONE E LE RISULTANZE DELLE CARTE TEMATICHE INTERMEDIE:

- **carta dell'acclività;**
- **carta delle indagini;**
- **carta delle frequenze fondamentali dei terreni**
- **carta litotecnica**

E DELLA CARTA FINALE DI SINTESI DELLO STUDIO:

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

Carta dell'acclività

La carta dell'acclività del territorio comunale è stata realizzata distinguendo solamente tre classi di pendenza (vedi tabella) allo scopo di individuare quelle zone suscettibili di fenomeni amplificativi di tipo topografico. Il valore di acclività discriminante per questo fine è quello dei 15°, in quanto la normativa prevede che le aree con inclinazioni superiori a tale valore siano riferibili alle "Zone stabili suscettibili di fenomeni di amplificazione locale (zone B)".

CLASSI DI PENDENZA	INTERVALLI DI VALORE (IN GRADI)
classe 1	0-15°
classe 2	15-30°
classe 3	> 30°

Classi di pendenza e relativi intervalli di valore.

La metodologia utilizzata per l'elaborazione è consistita nel sovrapporre sul foglio C.T.R. una maglia dei centri di 1 cm di diametro, pari a 100 m, e nel conteggio delle curve di livello contenute in ogni singola maglia, considerando come discriminante tra le classi un numero di curve inferiore a 5 per la classe 1, tra 5 e 12 per la classe 2 e maggiore di 12 per la classe 3. E' stato così possibile circoscrivere le varie aree del territorio a diversa acclività

Come si può vedere dalla carta la maggior parte del territorio insediato ed insediabile del Comune di Borghetto S. Spirito ricade in aree pianeggianti o a bassa pendenza, con l'eccezione della zona facente capo al monte Castellaro (Pineland). Le maggiori acclività sono in corrispondenza dei versanti sud-occidentali.

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 pregresse sono state estrapolate dagli archivi degli Uffici Tecnici Comunali sia Edilizia Privata che Lavori Pubblici; sono state prese in considerazioni carotaggi, prove penetrometriche pesanti, indagini geofisiche, pozzetti di scavo in aree significative, le stratigrafie dei pozzi comunali ove attendibili.

Le indagini effettuate ex novo, eseguite dalla ditta Indago s.r.l.,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.

Le risultanze di tutte le indagini sia pregresse che di nuova esecuzione oltre che essere cartografate sono raccolte nell'apposito allegato ed identificate con un numero progressivo corrispondente a quello segnato sulla carta.

Carta delle frequenze fondamentali dei terreni

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 alle 6 misure pregresse, sono state effettuate 9 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 e le tecniche di sismica passiva

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 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.

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 alla componente verticale e alle componenti orizzontali del moto) 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.

Da rimarcare il fatto per cui il livello di ampiezza fornito da una curva H/V ottenuta tramite l'analisi del rumore, non rappresenta un valore assoluto (e quindi rappresentativo della reale amplificazione che il sito in esame potrebbe subire alla frequenza di risonanza durante un terremoto), ma un termine relativo correlato con il contrasto di impedenza al sito.

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 il valore assoluto

dell'amplificazione); 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, analisi della risposta sismica in caso di basso contrasto d'impedenza, presenza di terreno a grana fine ad alto contenuto in acqua), questa metodologia non è idonea a valutare gli effetti di amplificazione locale dovuti alle caratteristiche morfologiche-topografiche (effetto topografico), in quanto in questo caso i fenomeni locali di propagazione non sono generalmente rilevabili attraverso l'analisi H/V.

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:

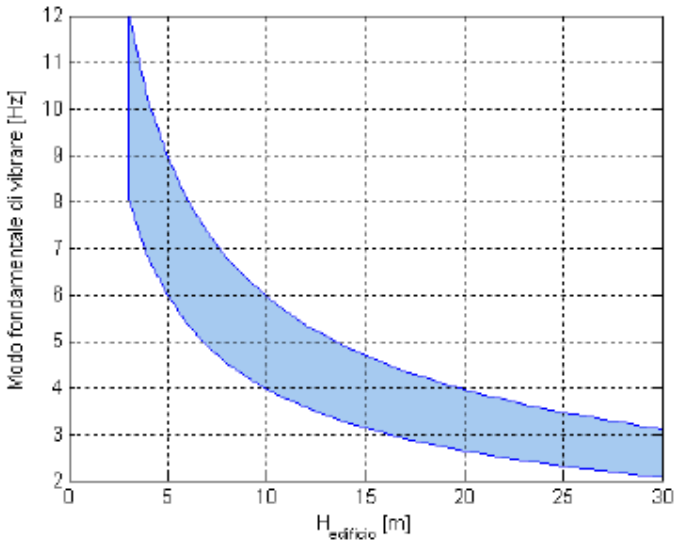
1) frazionamento dell'intera traccia registrata in sotto-finestre della durata in genere di 20 secondi ("*Window size*");
2) eliminazione delle sotto-finestre contenenti transienti legati a sorgenti specifiche prossime al sensore come passi o passaggio di automobili;
3) calcolo degli spettri in ampiezza 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, 6 pregresse e 9 effettuate ex novo, 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 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 (zona Pineland-quarziti; zona nuovo cimitero –dolomie; zona Campirossi-conglomerati Pliocenici) non hanno riscontrato fenomenici di amplificazione determinanti una frequenza fondamentale di risonanza di interesse (la frequenza di 20 Hz è priva di interesse per l'amplificazione sismica locale e denota solamente la presenza di una esigua copertura detritica).

Le misure effettuate su terreni alluvionali antichi compatti (bacino rio Casazza-Castellaro) evidenziano amplificazioni locali con frequenza fondamentali di risonanza variabili tra 1 e 2,5 Hz

(solo nella parte alta del bacino la frequenza fondamentale presenta un valore 5,5 Hz probabilmente dovuto all'assottigliarsi della copertura alluvionale sul substrato rigido).

Le misure effettuate nella pianura franca alluvionale caratterizzata da depositi recenti sciolti in superficie variano tra 1,3 e 5 hz; con variazioni spazialmente discontinue che sono probabilmente indice di una certa variabilità sia in termini orizzontali che verticali della tipologia e dello stato di addensamento dei depositi. Variabilità del resto confermata dalle stratigrafie dei carotaggi disponibili.

Carta litotecnica

Tematismo realizzato appositamente per lo studio di microzonazione allo scopo di in particolare didifferenziare in subclassi le "Zone litostratigraficamente stabili" caratterizzate da substrato rigido affiorante. Essa deriva fondamentalmente dalla carta geologica e dalla carta geomorfologica 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) e i limiti formazionali.

Al fine della redazione della carta litotecnica è stata condotta un'analisi geomeccanica su n. 11 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 J_v).

Il parametro J_v, è definito come il numero totale di discontinuità che intercettano un'unità di volume (1 m^3) dell'ammasso roccioso, viene solitamente determinato attraverso la formula:

$$J_v = \sum n° \text{ discontinuità/lunghezza di misura}$$

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.

Per alcuni litotipi al di fuori dell'area di effettivo interesse di studio (Dolomie di Monte Arena, Calcari di Veravo) si è proceduto alla classificazione in base alle caratteristiche del litotipo deducibili dai dati bibliografici (es Dolomie di Monte Arena = dolomie stratificate in banchi).

Sulla carta sono riportati anche altri elementi utili alla realizzazione della carta delle MOPS ovvero la tipologia dei terreni non rigidi di copertura i livelli della falda misurati in pozzi o piezometri.

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), a scala 1:5000.

Criteri realizzativi

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 negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" formulati dal Dipartimento della Protezione Civile, e può essere così riassunto:

1) <u>delimitazione dell'area oggetto di studio</u>: per il territorio del Comune di Borghetto viste le cartografie di base disponibili si è esteso lo studio di livello 1 all'intero territorio comunale; approfondendo le considerazioni per quanto riguarda le aree urbanizzate ed urbanizzabili nelle quali si sono rese disponibili indagini strumentali.

2) <u>individuazione delle zone instabili per instabilità di versante</u>: in base ai dati della carta geomorfologica;

3) <u>individuazione delle zone stabili suscettibili di amplificazione litostratigrafica</u>: sono derivate dalla carta geologica e dalla carta geomorfologica, da cui sono state riportate le coltri di copertura di spessore maggiore di 3 m, i riporti antropici e i depositi alluvionali;

4) <u>individuazione delle zone stabili</u>: sono derivate dalla carta litotecnica circa la tipologia e la qualità litotecnica delle zone a substrato roccioso affiorante o subaffiorante, e dalla carta dell'acclività circa l'individuazione dei pendii con inclinazione inferiore ai 15°;

5) individuazione di forme di superficie: derivate dalla carta geomorfologica, da cui sono state riportati gli orli di scarpata morfologica, le creste e i picchi isolati;

6) individuazione delle aree caratterizzate da acclività maggiore di 15°: informazione derivata dalla carta dell'acclività, allo scopo di definire le zone con possibili fenomeni amplificativi di carattere topografico.

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 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

Zone A – Stabili

Zone B – stabili suscettibili di amplificazioni locali

Zone C – suscettibili di instabilità

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

Lla microzona omogenea B, viene suddivisa in tre macroareali:

zone stabili soggette ad amplificazione per effetti litostratigrafici – B1,

zone stabili soggette ad amplificazione per effetti topografici – B2,

zone stabili soggette ad amplificazione per sovrapposizione degli effetti litostratigrafici e topografici – B1+B2;

per la microzona omogenea C, "zone instabili soggette ad amplificazione", 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) e le zone suscettibili di instabilità di versante soggette a fenomeni di amplificazione topografica;

Sono state individuate sulla carta

2 tipologie di microzone appartenenti alla Classe A denominate Z1 e Z2

3 tipologie di microzone appartenenti alla Classe B1 denominate Z3-Z4-Z5

1 tipologia di microzona B2 denominata Z6

1 tipologia di microzona B1+ B2 denominata Z7

1 tipologia di zona instabile (frana) denominata Fr

1 tipologia di zona instabile (possibile Liquefazione terreni) denominata LI

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

Risultati

- le zone A sono poco estese in quanto nel territorio comunale le situazioni con substrato rigido ricoperto da esigui spessori di depositi corrispondono quasi sempre a situazioni topografiche con pendenze superori a 15°
- le zone B presentano due situazioni diverse riguardo la possibile amplificazione del moto sismico dovuta ad effetti stratigrafici e ad effetti topografici. Per quanto riguarda le zone B2 con possibili effetti topografici (versanti con inclinazione maggiore di 15°), queste si estendono specialmente lungo i versanti sud-occidentali e più limitatamente nel settore nord-orientale del territorio; Con poche eccezioni (Pineland – Castello Borelli – Villaggio Torino) ritratta di settori di territorio non insediati/abili.

Le Zone B1 con possibile amplificazione del moto sismico dovuta ad effetti stratigrafici e ad effetti topografici corrispondeno per lo più alle aree caratterizzate da depositi alluvionali antichi e ricadono quasi sempre in aree insediate/abili. Le zone di sovrapposizione B1+B2 sono poco estese e rilevanti.

- Le zone C sono suddivise in FR corrispondenti ad un limitato settore di versante non insediato soggetto a fenomeni pseudo calanchivi di erosione profondo e crollo e in LI.

Le zone LI ovvero instabili per possibili fenomeni di liquefazione dei terreni sono estremamente estese e corrispondono a tutta l'area di pianura franca (alluvionale/costiera) caratterizzata da depositi alluvionali recenti per lo più incoerenti o poco coerenti con falda posizionata a meno di 15 m di profondità dal piano campagna. Quest'area comprende la maggior parte del territorio insediato/insediabile del Comune. Occorre comunque considerare che i dati delle indagini pregresse nella maggior parte dei casi rilevano terreni generalmente con valori di resistenza abbastanza elevati (Dati da SPT, Dp, misure di Vp e Vs) che tenderebbero ad escludere, per lo meno a vasta scala fenomeni di liquefazione; tuttavia dette analisi quantitative competono a livelli di studio di microzonazione sismica di approfondimento maggiore (livello 2-3) del presente livello 1 a carattere qualitativo.

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.

Le zone C sucettibiliti di instabilità ed in particolare la Zona LI suscettibile di liquefazione, vista l'estensione e l'urbanizzazione attuale e prevista ricadente nell'area, risulta sicuramente meritevole di approfondimenti di livello 2, **sicuramente necessari** in fase di progettazione urbanistica (PUO- SUA) all'interno delle aree di prevista espansione ,ma possibilmente estesi anche alle aree già insediate.

Da questo punto di vista altrettanto meritevole di un approfondimento di livello 2 risultano tutte le zone B (suscettibili di amplificazioni locali) ed in particolare le B1.

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 per tutti i terreni alluvionali antichi e recenti con valori (da 1 a 5 Hz) ricadenti nel campo di frequenze di interesse per i fabbricati.

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 nella zona LI una verifica della possibile liquefazione dei terren**i effettuata in base alle risultanze di adeguate indagini strumentali (ad esempio prove penetrometriche dinamiche pesanti/statiche, SPT in foro, determinazione della Vs ecc.).

In tutte le zone B e C 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).

Ceriale, lì marzo 2012