

RESPONSABILE SCIENTIFICO

Prof. Arch. Francesco Karrer

COORDINAMENTO GENERALE E R.U.P.

Arch. Gianpiero Ribolla

UFFICIO DI PIANOErmes Barba & Mauro Salvadori
Architetti Associati

Arch. Lorenza Barbagallo

Ing. Laura Boldi

Arch. Ornella Fogliata

Arch. Mariarosa Maifrini

Arch. Daniela Marini

Arch. Elena Pivato

Ing. Claudia Rebuffoni
Studio Rossi e Associati

Arch. Mattia Romani

Arch. Pierfrancesco Terlizzi
Studio G & T Gallucci e Terlizzi Architetti Associati

Arch. Paolo Livi

Geom. Paolo Martinelli

Dott. Davide Moretti

COLLABORATORI

Arch. Marco Agostini - Ing. Susi Canti

Alberto Gadola - Arch. Laura Treccani

Avv. Diana Mastrilli

Servizio Amministrativo del Settore Urbanistica

CONSULENZA INFORMATICA

Ing. Marino Bocchi

CONSULENZA LEGALE

Avv. Mauro Ballerini

COMPONENTE AGRONOMICA

Dott. Agr. Benedetto Rebecchi

D.ssa Agr. A. Mazzoleni - D.ssa For. E. Zanotti

COMPONENTE GEOLOGICA

Dott. Pier Luigi Vercesi

COMPONENTE COMMERCIOSettore Marketing Urbano,
Commercio e tutela consumatori

Adozione: Straolzi & Partners Srl

Approvazione: Prassicoop Srl

MOBILITA' E TRAFFICO

Settore Mobilità e Traffico

Brescia Mobilità Spa

AUTORITA' COMPETENTE PER LA V.A.S.

Ing. Angelantonio Capretti

Tavola N.

ALaII04r

Allegati - Componente geologica**Studio geologico del Comune di Brescia -
Relazione illustrativa****Sindaco**

On. Avv. Adriano Paroli

Assessore all'Urbanistica

Avv. Paola Vilardi

Responsabile Area Gestione del Territorio

D.ssa Daria Rossi

Responsabile Settore Urbanistica**Responsabile Unico del Procedimento - Progettista**
Arch. Gianpiero Ribolla**Quadro:****Adozione:** Delibera n°163/71826 del 29/09/2011**Scala:****Approvazione:** Delibera n 57/19378 del 19/03/2012**Data:**

Settembre 2012

Pubblicazione:



COMUNE DI BRESCIA

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

*Aggiornamento degli elaborati dello studio geologico
ai sensi del DGR 8/1566 del 22 dicembre 2005,
in raccordo dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n° 12.*

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Febbraio 2008

Progetto a cura di:


S.G.P.
SERVIZI DI GEO-INGEGNERIA E PROGETTAZIONE s.r.l.
Via Bona di Savoia 10 - 27100 Pavia
Tel. 0382-463385/466111/571865 (fax) - e-mail:sggp@iol.it

Il tecnico:

Prof. Geol. Pier Luigi Vercesi
Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1015

Committente: Amministrazione Comunale di Brescia (BS)



COMUNE DI BRESCIA

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

COMPONENTE GEOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

*Aggiornamento degli elaborati dello studio geologico
ai sensi del DGR 8/1566 del 22 dicembre 2005,
in raccordo dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n°12*

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

INDICE

1 - INTRODUZIONE	pag.	2
2 - ANALISI DEL RISCHIO SISMICO DI 1° LIVELLO E REDAZIONE DELLA “CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	pag.	5
2.1 - Premessa	pag.	5
2.2 - “Carta della pericolosità sismica locale”	pag.	9
3 - ANALISI DEL RISCHIO SISMICO DI 2° LIVELLO E REDAZIONE DELLA “CARTA DI DELLE AMPLIFICAZIONI SISMICHE LOCALI”	pag.	11
3.1 - Premessa	pag.	11
3.2 - Scenari a pericolosità sismica locale Z3a e Z3b con effetti di amplificazione topografiche	pag.	12
3.2.1 – Scenario Z3a (scarpate)	pag.	12
3.2.2 – Scenario Z3b (creste)	pag.	14
3.3 - Scenari a pericolosità sismica locale Z4a e Z4b con effetti di amplificazione litologiche e geometriche	pag.	17
3.4 - “Carta delle amplificazioni sismiche locali”	pag.	20
4 - AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DEI VINCOLI E DELLE LIMITAZIONI	pag.	21
5 - AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO E DELLE NORME GEOLOGICHE DI ATTUAZIONE	pag.	23
6 - BIBLIOGRAFIA	pag.	29

1 - INTRODUZIONE

Il presente lavoro costituisce aggiornamento degli elaborati dello studio geologico a supporto del Piano di Governo del territorio ai sensi del DGR 8/1566 del 22 dicembre 2005, in raccordo dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n°12.

In particolare, con i "Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo de territorio" pubblicati sul B.U.R.L. n°13 Edizione Speciale del 28 marzo 2006, la Regione Lombardia introduce specifiche linee guida, indirizzi e metodologie per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica, a seguito della nuova classificazione del territorio nazionale avvenuto con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

Il presente studio è stato redatto anche in considerazione del D.M. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n°222 del 23 settembre 2003, Supplemento ordinario n°159 ed entrato in vigore il 23 ottobre 2005.

Lo studio, nel suo complesso, è articolato in due distinte parti: nella prima fase è stata eseguita l'analisi del rischio sismico, mentre per la seconda parte, poiché il Comune di Brescia è già dotato di uno studio geologico a supporto delle pianificazioni urbanistiche, sono state aggiornate le tavole dei vincoli e quelle riguardanti la fattibilità geologica per le azioni di Piano, come stabilito dai criteri regionali.

Per quanto concerne l'analisi del rischio sismico, con la l.r. 12/05, vengono riprese, dal D.M. 14/09/2005, le indicazioni relative all'azione sismica da analizzare già nello studio finalizzato alla fase di pianificazione, rimandando alla fase attuativa l'applicazione specifica delle norme tecniche costruttive, introducendo in tal modo elemento di novità in quanto la direttiva tiene conto delle recenti normative in materia di rischio sismico e ne specifica alcuni profili, propri del livello comunale (microzonazione) sulla base della attuale classificazione sismica dei comuni lombardi.

Il concetto di microzonazione sismica deriva dal fatto che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale e del substrato roccioso, proprietà litologiche, geotecniche e geofisiche del substrato, presenza e profondità della falda, etc).

Questa parte del presente lavoro è volta alla suddivisione del territorio comunale in zone omogenee rispetto alla risposta sismica locale, intesa come modificazioni in ampiezza, durata e contenuto energetico che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (riempimento) fino alla superficie.

La microzonazione sismica, infatti, individua e delimita zone alle quali vengono attribuiti parametri e prescrizioni atti a ridurre il rischio sismico, da utilizzare nella pianificazione urbanistica e nella progettazione di opere.

Con rischio sismico si intende il probabile danno che un determinato sito può subire in occasione di un sisma; in maniera analitica può essere espresso come il prodotto della pericolosità sismica, della vulnerabilità sismica e della quantificazione economica delle realtà danneggiate: la pericolosità sismica può esser direttamente riferita alla vibrazione che un sito può subire durante un sisma, mentre la vulnerabilità definisce lo stato di conservazione del patrimonio edilizio e delle strutture sociali potenzialmente rese inattive dal sisma.

La fase di analisi sismica del presente studio ha quindi come obiettivo quello di definire una zonazione a scala comunale in funzione del possibile comportamento dinamico del terreno prima di un eventuale futuro evento distruttivo.

La metodologia seguita per la microzonazione sismica del comune di Brescia è quella proposta dalle linee guida predisposte dalla Regione Lombardia, che prevede tre livelli di approfondimento con un grado di dettaglio crescente e differente in funzione della classe sismica: i primi due livelli afferiscono alla fase di pianificazione del territorio, mentre il terzo livello riguarda la fase di progettazione.

In particolare l'analisi di 1° livello prevede il riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento) sia di dati esistenti, al fine di redigere una "Carta della pericolosità sismica locale" nella quale vengono individuati vari scenari di pericolosità sismica in funzioni degli effetti sismici locali.

Il 2° livello prevede la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate nella carta di pericolosità sismica locale e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di fattore di amplificazione (Fa).

L'analisi di 3° livello, invece, definisce gli effetti di amplificazione tramite indagini specifiche in fase progettuale, di conseguenza non è stata considerata nel presente studio.

I livelli di approfondimento previsti dalla normativa per i comuni in classe sismica 3, quale è il Comune di Brescia, sono il 1° livello per la totalità del territorio e il 2° livello nelle zone definite da una classe di pericolosità sismica locale i cui effetti di amplificazione sono individuabili come "amplificazioni topografiche" di seguito indicati come scenari Z3, e "amplificazioni litologiche e geometriche, di seguito indicati come scenari Z4, dove interferenti con l'urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle sole aree già definite inedificabili; per gli

scenari rimanenti sarà necessario passare direttamente all'analisi di 3° livello in fase progettuale.

Per quanto riguarda la restante fase del lavoro, è stata aggiornata la “Carta dei vincoli e delle limitazioni” in ottemperanza alla l.r. 12/05, che prevede la rappresentazione cartografica delle limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore, ed è stata aggiornata la “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano” sempre in base a quanto previsto dalla normativa regionale ed in particolare con la sovrapposizione delle aree soggette ad amplificazione sismica, desunte dall'analisi della sismicità del territorio.

Nei capitoli seguenti verranno riportati i dettagli delle analisi eseguite per la definizione del rischio sismico, e i criteri adottati per la redazione delle suddette carte.

La “Carta di fattibilità geologica per le azioni di Piano” è completata dalle “Norme geologiche di attuazione”, riportate nel capitolo finale della presente relazione, in cui si riassumono le normative d'uso, intese come prescrizioni per gli interventi urbanistici, studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, etc. in ogni caso il riferimento principale è rappresentato dalle norme contenute nel D.M. 14 settembre 2005, “Norme tecniche per le costruzioni”, e s.m.i., alle quali si rimanda.

2 - ANALISI DEL RISCHIO SISMICO DI 1° LIVELLO E REDAZIONE DELLA “CARTA DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE”

2.1 - Premessa

L'analisi di 1° livello costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; consiste in un approccio di tipo qualitativo ed empirico per la redazione della “Carta di pericolosità sismica locale” (TAVOLE 1 Nord, 1 Sud).

Il metodo proposto dalla Regione Lombardia, ed attuato nel presente studio, permette l'individuazione di zone in cui gli effetti prodotti da un terremoto sono prevedibili sulla base di osservazioni geologiche e sulla base della raccolta di dati già disponibili.

Sono infatti le condizioni geologiche e geomorfologiche locali che influenzano la pericolosità sismica, cioè la vibrazione che un sito può subire durante un evento sismico, producendo effetti anche molto differenti tra loro in aree vicine.

Di seguito viene riportata la classificazione proposta dalla Regione Lombardia e adottata nel presente studio.

<i>Sigla</i>	<i>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>EFFETTI</i>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tabella 1: tabella per la definizione degli scenari a pericolosità sismica locale in funzione degli effetti prodotti.

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area.

Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti.

In funzione delle caratteristiche del terreno presente, si distinguono due grandi gruppi di effetti locali: quelli dovuti ad instabilità e quelli di sito o di amplificazione sismica locale.

Effetti di instabilità: interessano le tipologie di substrato che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche; l'instabilità è rappresentata da fenomeni diversi in funzione delle condizioni locali del sito.

Versanti in equilibrio precario (scenari **Z1a Z1b Z1c**) sia in materiale sciolto sia in roccia: in caso di sollecitazioni sismiche questi scenari possono presentare fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti o colamenti); l'evento sismico potrebbe rappresentare il fattore di innesco di eventuali movimenti franosi.

Sono stati ricondotti a questa categoria gli elementi di dissesto idrogeologico (indipendentemente dal grado di assestamento) e le frane di crollo riportati nella cartografia comunale redatta a suo tempo dallo scrivente e quelli cartografati dal PAI.

Quindi, in funzione della presenza degli elementi sopra citati, della litologia, e della morfologia dei versanti, si è proceduto a delimitare le zone che possono essere considerate in equilibrio precario: aree di dimensioni molto limitate, corrispondenti ai suddetti elementi con opportune fasce di sicurezza.

Terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche (scenari **Z2**) in corrispondenza dei quali si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione ed addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua sono possibili fluimenti e colamenti parziali o generalizzati a causa di fenomeni di liquefazione.

Dall'analisi effettuata sul territorio comunale non sono state riscontrate aree con caratteristiche corrispondenti ai criteri proposti dalla Regione Lombardia, in quanto le litologie presenti sul territorio sono quelle grossolane proprie del margine alpino.

Aree interessate da particolari strutture geologiche sepolte e/o affioranti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici quali faglie sismogenetiche o siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vacuolari presenti nel sottosuolo (scenari **Z5**): scenari in cui si possono verificare

movimenti relativi verticali e orizzontali tra diversi settori areali che conducono a scorrimenti e cedimenti differenziali interessanti le sovrastrutture, oppure scenari in cui si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati in relazione al crollo parziale o totale di cavità sotterranee.

Dall'analisi della cartografia esistente e dalle apposite indagini in situ, sono state riscontrate alcune zone di contatto tettonico, indicate nella cartografia come "lineamenti, faglie e sovrascorrimento", tuttavia si ritiene che tali strutture non possano dare origine ad alcun tipo di movimento relativo in quanto risultano completamente cementate.

Dalle indagini di campagna, infatti le strutture sopra elencate sono state senza dubbio sede di circolazione idrica che ha dato origine alla formazione di minerali di neoformazione, nonché alla precipitazione di carbonati di calcio, che hanno cementato le suddette strutture.

È stata posta in evidenza una zona di contatto stratigrafico tra i calcari dolomitici compatti della "Corna" e le marne variegiate della "Scaglia lombarda", litologie con caratteristiche fisico-meccaniche differenti tra loro, che possono dare origine a movimenti differenziali.

Per quanto riguarda le grotte di origine carsica riscontrate e cartografate, si ritiene che queste siano di dimensioni troppo esigue per dar origine a crolli sia parziali sia totali delle cavità, anche in occasione di eventi sismici.

Effetti di sito o di amplificazione sismica locale: interessano i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali.

In particolare questi effetti si distinguono in:

Effetti di amplificazione topografica (scenari **Z3a** e **Z3b**), che si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità dell'orlo di scarpata o della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto.

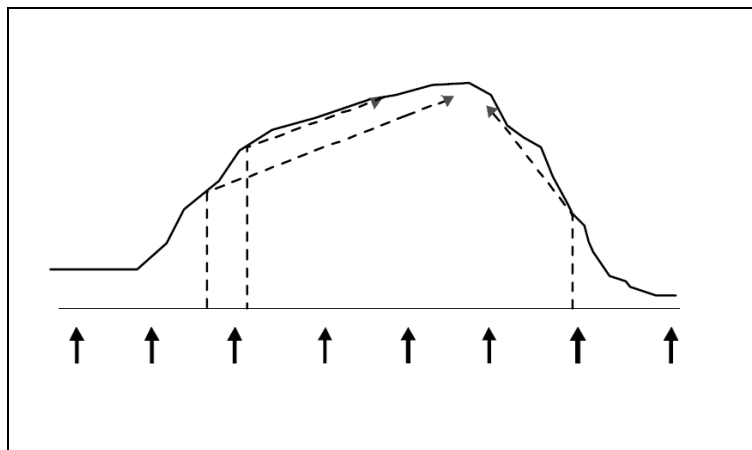


Figura 1: Possibili effetti di amplificazione topografica sui crinali

Il grado di amplificazione è condizionato dalle caratteristiche geometriche del rilievo e delle scarpate; l'analisi dettagliata dei fattori di forma è oggetto dello studio di 2° livello.

Nell'analisi di 2° livello sono stati presi in considerazione tutti i crinali principali, e i crinali secondari interferenti con l'urbanizzato e l'urbanizzabile.

Inoltre rientrano nello scenario delle amplificazione topografica le scarpate, sia artificiali (scarpate di cava) sia naturali (principalmente di erosione fluviale, ma anche scarpate morfologiche) e le paleosuperfici, indipendentemente dalle caratteristiche morfologiche delle stesse.

Effetti di amplificazione litologica (scenari **Z4a**, **Z4b**, **Z4c** e **Z4d**) si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia, etc) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onde sismiche incidenti e modi di vibrare del terreno, fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

Gli scenari Z4a e Z4b sono stati individuati sulla base della cartografia esistente e di studi appositamente eseguiti (vedi "Studio finalizzato ad una microzonazione sismica del Comune di Brescia" redatta dal Settore Sicurezza e Protezione civile del Comune di Brescia), mentre gli scenari Z4c e Z4d sono assenti sul territorio del Comune di Brescia,

Sono state considerate come appartenenti allo scenario Z4a "zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi" le porzioni di pianura alluvionale ascrivibili alla valle del fiume Mella e alla valle del fiume Po, presente nella porzione meridionale del Comune, mentre la fascia pedemontana sia nel settore nord-orientale del comune sia in quello nord-occidentale rientra nello scenario Z3b: " zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre".

Sono stati, inoltre, considerati gli “effetti di bordo” che si producono nel caso di valle alluvionale e sono dovuti alla focalizzazione delle onde sismiche e alla genesi delle onde superficiali.

Il limite tra i due scenari, Z3a e Z3b è stato proposto in corrispondenza, grossomodo, del limite fisico costituito dalla rottura di pendenza tra i conoidi e la piana alluvionale vera e propria, partendo dal presupposto che ad uno spessore differente degli strati di copertura (depositi eluvio- colluviali ed alluvionali) corrisponda una differente risposta sismica.

2.2 - “Carta della pericolosità sismica locale”

Per l’analisi di primo livello è stato utilizzato un approccio esclusivamente qualitativo degli effetti prodotti dall’azione sismica, basato su osservazioni geologiche e mirato alla definizione delle condizioni locali in funzione degli effetti sismici.

La “Carta della pericolosità sismica locale” (TAVOLE 1 Nord e 1 Sud), riporta quindi la perimetrazione dei diversi scenari proposti dalla Regione Lombardia.

In particolare sono stati individuati le porzioni dei versanti in equilibrio precario (scenari Z1a, Z1b e Z1c) in corrispondenza delle frane, in quanto aree suscettibili di fenomeni di instabilità, consistenti in veri e propri collassi (per le frane di crollo) o movimenti di grandi masse di terreno e incompatibili, quindi, con la stabilità delle strutture (il grado e la tipologia di instabilità sono differenti in funzione delle condizioni presenti nelle singole aree).

Per quanto riguarda la quantificazione degli effetti di instabilità, questa dovrà, eventualmente, avvenire in fase progettuale con l’analisi di 3° livello, e pertanto non è stata effettuata nel presente studio.

Gli altri elementi areali individuati suddividono tutta la porzione pianeggiante del comune negli scenari Z4a e Z4b, corrispondenti, rispettivamente, alle zone di fondovalle, caratterizzate da depositi alluvionali e alle zone pedemontane delle falde di detrito e dei conoidi, per le quali la quantificazione delle amplificazioni topografiche avverrà con l’analisi di 2° livello.

La zona di contatto stratigrafico tra litotipi con caratteristiche meccaniche differenti individuata nella porzione occidentale del comune, scenario Z5, indica una limitazione che può essere rimossa qualora in fase progettuale si operi in modo da avere un terreno di fondazione omogeneo, pertanto per tale scenario non sarà sufficiente la sola analisi quantitativa a livelli di approfondimento maggiore (3° livello).

I restanti scenari Z3a e Z3b, rappresentati come elementi lineari, corrispondono ad aree caratterizzate da irregolarità topografiche, in quanto suscettibili di amplificazioni causate proprio dalla morfologia; rientrano in questa categoria tutti i crinali principali e quelli secondari interessati da costruzioni, e le scarpate

morfologiche sia naturali sia artificiali, oggetto degli approfondimenti previsti dall'analisi di 2° livello.

La “Carta di pericolosità sismica locale”, pertanto, definisce, per l'intero territorio comunale, gli scenari di pericolosità in funzione degli effetti attesi, definendo le aree da indagare in modo più analitico con l'analisi di 2° livello o di 3° livello.

3 - ANALISI DEL RISCHIO SISMICO DI 2° LIVELLO E REDAZIONE DELLA “CARTA DELLE AMPLIFICAZIONI SISMICHE LOCALI”

3.1 – Premessa

L’analisi di secondo livello prevede una caratterizzazione semi quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate nella “Carta di pericolosità sismica locale”, e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di Amplificazione (Fa).

L’approfondimento di 2° livello non è stato eseguito per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità e per la zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (scenari Z1a, Z1b, Z1c e Z5). Per tali aree infatti la normativa prevede direttamente il passaggio all’analisi di 3° livello, o l’esclusione dalla possibilità di edificazione.

Il 2° livello, invece, è obbligatorio nelle aree individuate nella “Carta di pericolosità sismica locale” suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche e litologiche interferenti con l’urbanizzato e/o con le aree ad espansione urbanistica per il Comune di Brescia, che ricade in zona sismica 3.

Gli studi sono stati condotti utilizzando i metodi semi quantitativi semplificati per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche, in funzione del Fa, che sono stati proposti dalla Regione Lombardia con i “Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio”.

L’applicazione di analisi di 2° livello ha lo scopo di individuare le aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare le strutture sia esistenti sia future dagli effetti di amplificazione sismica locale; per queste aree si dovrà procedere alle indagini di 3° livello o, in alternativa, utilizzare i parametri di progetto previsti per la zona sismica superiore (zona 2).

La Regione Lombardia ha fissato i valori soglia dei Fa per ogni Comune; questi valori sono stati calcolati dal Politecnico di Milano in base alle diverse categorie di suolo (ai sensi del D.M. 14/09/2005) e in funzione di due intervalli di periodo.

I due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più frequenti sul territorio regionale; in particolare l’intervallo tra 0,1 – 0,5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari, piuttosto rigide, mentre l’intervallo tra 0,5 – 1,5 s si riferisce a strutture più alte e flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici fornisce valori di Fa solo per l’intervallo 0,1-0,5 s.

3.2 – Scenari a pericolosità sismica locale Z3a e Z3b con effetti di amplificazioni topografiche

Le analisi della risposta sismica locale su scenari di scarpata e di cresta sono state condotte seguendo una metodologia basata su analisi morfologiche bidimensionali che rappresentano le irregolarità topografiche (scarpate e creste).

Infatti, per la valutazione degli effetti di amplificazione sismica di tipo morfologico e geometrico, è molto influente l'angolo di incidenza delle onde sismiche rispetto all'irregolarità morfologica stessa.

L'amplificazione, infatti, è prodotta dalla focalizzazione delle onde sismiche in corrispondenza delle scarpate o delle creste, a causa della riflessione sulla superficie libera e dell'interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto.

3.2.1 – Scenario Z3a (scarpate)

Per il calcolo del fattore di amplificazione per lo scenario Z3a, la Regione Lombardia propone delle apposite schede di valutazione, realizzate sulla base di analisi morfologiche eseguite su casistiche reali presenti nel territorio regionale, che hanno permesso di individuare criteri geometrici da utilizzare per l'identificazione degli scenari di riferimento.

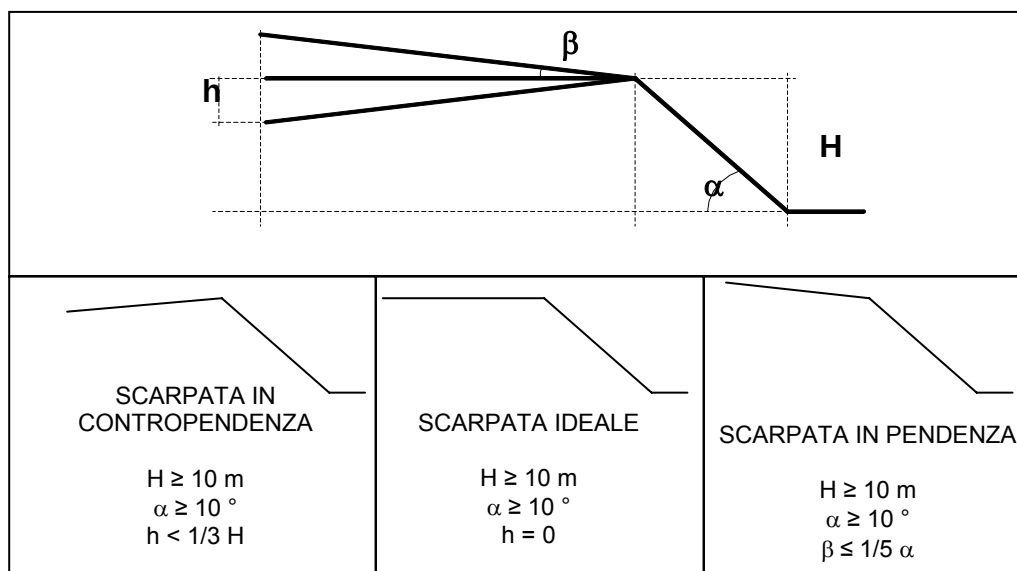


Figura 2: Criteri di riconoscimento delle scarpate proposti dalla Regione Lombardia.

Una scarpata è definita come irregolarità morfologica classificabile nello scenario Z3a, quando presenta fronte di altezza (H) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione (α) del fronte principale uguale o superiore ai 10° .

In funzione della tipologia del fronte superiore, si distinguono scarpate in contropendenza, scarpate ideali (con fronte superiore orizzontale) e scarpate in

pendenza, ognuna delle quali fissa dei criteri geometrici limite per la definizione della stessa come scarpata.

Per quanto riguarda il Comune di Brescia, ed in particolare gli scenari definiti con l'analisi di 1° livello come Z3a nella "Carta di pericolosità sismica locale", l'approfondimento di 2° livello ha comportato la verifica "geometrica" di tutti gli elementi cartografati come scarpate per ricondurli ai modelli proposti dalla Regione Lombardia.

Sono stati esclusi da tale analisi gli orli di scarpata in corrispondenza di pareti subverticali, già cartografati nel 1° livello come scenari suscettibili di instabilità (frane di crollo); infatti, la normativa prevede che in caso di presenza di più di uno scenario contemporaneamente, si debba prendere in considerazione quello più sfavorevole; pertanto tali aree saranno eventualmente oggetto di analisi di 3° livello in caso di progettazione di nuovi interventi.

Per quanto riguarda gli orli di scarpata fluviale, sia quelli del fondovalle, sia quelli sui versanti collinari e montani, l'analisi ha evidenziato trattarsi di irregolarità morfologiche riconducibili alle scarpate ideali, ma con un dislivello troppo piccolo per rientrare nei criteri fissati dalla Regione Lombardia, che prevedono invece un'altezza non inferiore ai 10 m.

Per quanto attiene alle scarpate di cava o alle paleosuperfici localizzate sui versanti collinari o montani, l'inclinazione del fronte superiore (β) è sempre decisamente superiore ad un quinto dell'inclinazione (α) del fronte principale, limite fissato per la definizione di scarpata.

Le scarpate di cava presenti nella piana alluvionale della porzione meridionale del comune, risultano a priori inedificabili.

In ogni caso, considerando la condizione geometrica più critica ($H > 40$ m; $40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$) il fattore di amplificazione definito dalla metodologia applicata risulta pari a 1,3, vale a dire ben inferiore alla soglia (Fa 1,6) definita per il Comune di Brescia per la categoria di suolo B, attribuibile ai depositi alluvionali, per l'intervallo di periodo 0,1 – 0,5 s.

Pertanto le scarpate di cava presenti nella piana alluvionale risulterebbero, in ogni caso, verificate.

In conclusione, sulla base dell'analisi delle scarpate presenti sul territorio, sia quelle lungo i versanti dei rilievi principali, sia quelle in area collinare e di pianura nell'ambito di zone di cava o dei principali terrazzi fluviali, si ritiene che i suddetti elementi non costituiscano "irregolarità morfologiche" tali da poter provocare significative amplificazioni in occasione di eventi sismici.

3.2.2 – Scenario Z4a (creste)

La procedura semplificata valida per lo scenario di zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo (Z3b), definisce che i pendii debbano avere un'inclinazione maggiore o uguale ai 10°, e il dislivello altimetrico minimo dovrebbe essere maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo; tutti i crinali principali e quelli secondari interferenti con l'urbanizzato rientrano nei parametri fissati, e pertanto sono stati sottoposti ad analisi di 2° livello.

Per gli scenari di cresta, la Regione Lombardia propone una scheda di valutazione, riportata nella pagina seguente, che utilizza i seguenti parametri:

- larghezza del rilievo L;
- larghezza in cresta del rilievo l;
- dislivello altimetrico massimo H e dislivello altimetrico minimo h dei versanti;
- coefficiente di forma H/L.

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA

$$\alpha_1 \geq 10^\circ \text{ e } \alpha_2 \geq 10^\circ$$

$$h \geq 1/3 H$$

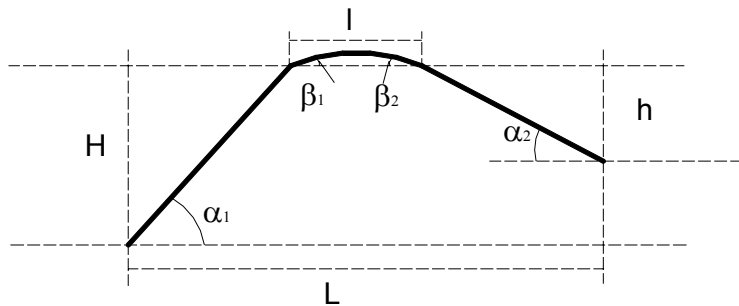
CRESTA ARROTONDATA

$$\beta_1 < 10^\circ \text{ e } \beta_2 < 10^\circ$$

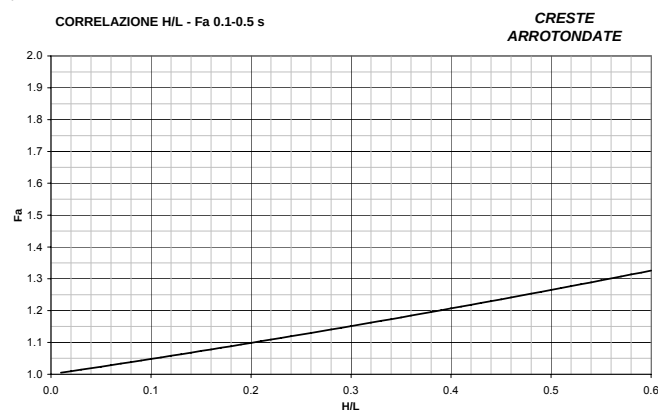
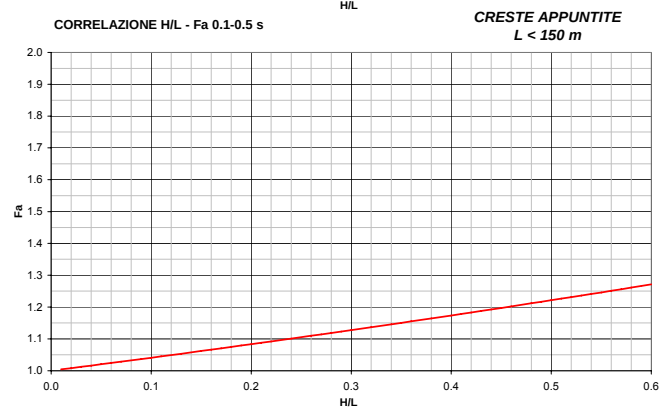
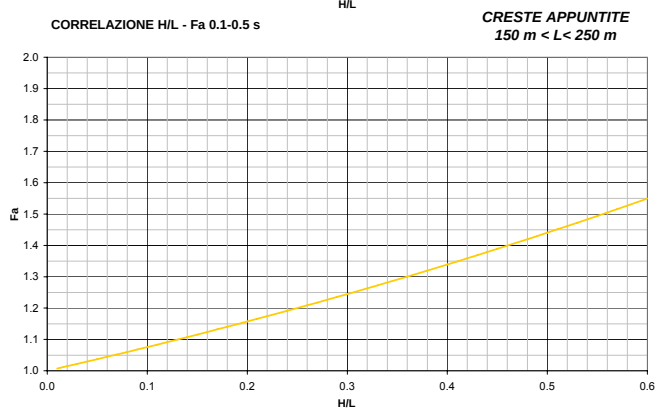
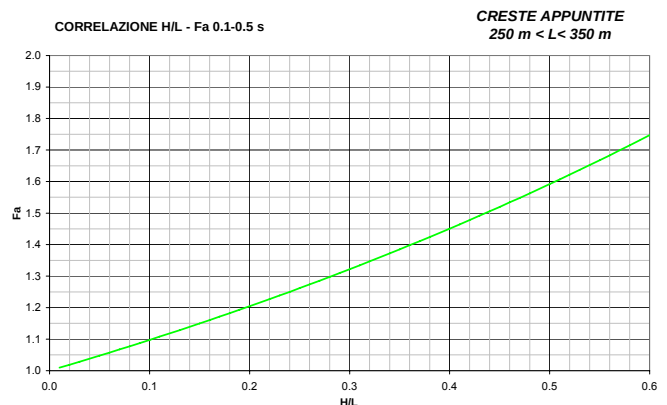
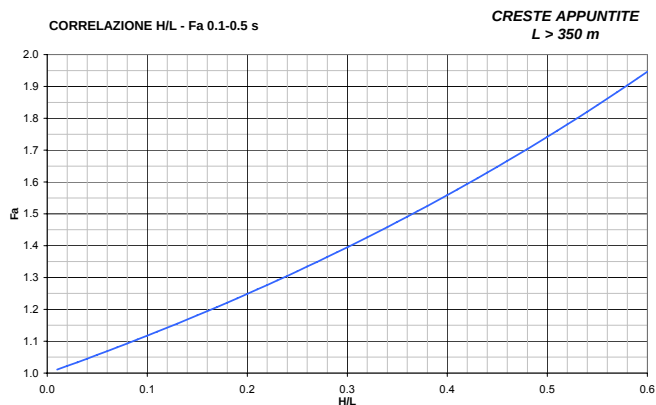
$$l \geq 1/3 L$$

CRESTA APPUNTITA

$$l < 1/3 L$$



	L > 350	250 < L < 350	150 < L < 250	L < 150
Creste Appuntite	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.93H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$
Creste Arrotondate	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$			



I suddetti fattori definiscono due situazioni, quelle di cresta arrotondata o appuntita; da notare che sul territorio comunale di Brescia la quasi totalità delle creste rientra nella descrizione di cresta appuntita.

In funzione della tipologia di cresta, e della larghezza della base del rilievo, per le creste appuntite, vengono proposte 4 curve per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0,1-0,5 s, mentre per le creste arrotondate esiste una sola curva (poiché le coppie h/L e F_a non sono influenzate dal valore della larghezza della base).

La scheda di valutazione proposta e adottata nel presente studio parte dal presupposto che l'influenza della geometria di superficie si risente maggiormente alla sommità di un rilievo in caso di evento sismico, e il fenomeno di amplificazione del moto alla sommità di un rilievo topografico va attribuito alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta stessa a seguito della riflessione sulla superficie libera e all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello rifratto.

La suddetta amplificazione è direttamente proporzionale al fattore di forma H/L del rilievo ed è massima quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è comparabile con la semilarghezza $L/2$ della base del rilievo.

Per quanto riguarda l'analisi dei crinali del comune sono state analizzate sezioni topografiche a distanze variabili tra loro in funzione della morfologia del crinale e del grado di urbanizzazione dei rilievi considerati, utilizzando il modello digitale del terreno (DTM) della Regione Lombardia con passo di 20x20 m. In questo modo si sono ottenute sezioni rappresentative dei crinali, per chiarezza individuati con lettere da A a N, da cui sono stati ricavati i dati richiesti dalla procedura per l'elaborazione del fattore di amplificazione F_a (vedi schede appositamente redatte in Allegato 1).

I valori di F_a così ottenuti sono stati utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto per il sito dall'applicazione della normativa sismica vigente, che prevede, per il comune di Brescia, zona sismica 3, nell'intervallo di periodo 0,1-0,5 s e per la categoria di suolo di tipo A ($V_s \geq 800\text{m/s}$) un valore soglia di 1,2, che rappresenta il valore oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Pertanto per ogni sezione è stato confrontato il valore soglia di F_a con il valore di F_a ottenuto con la procedura semplificata proposta dalla Regione Lombardia.

Poiché la Regione Lombardia prevede un fattore di variabilità di $\pm 0,1$, sono state considerate verificate le sezioni che hanno fornito valori di $F_a \leq 1,3$ ($1,2 \pm 0,1$) e non verificate le sezioni con $F_a > 1,3$.

Per ogni tratto di crinale in cui è stato riscontrato un F_a maggiore di 1,3 è stato incrementato il numero di sezioni al fine di delimitare le aree non verificate.

Per la perimetrazione delle suddette aree è stato utilizzato il criterio dell'interpolazione lineare, assegnando, per ciascuna sezione non verificata, in modo omogeneo a tutta la cresta (l) il valore di Fa e diminuendo linearmente tale valore lungo i versanti, fino al valore 1 alla base di questi; tale scelta si fonda sul concetto che le amplificazioni topografiche sono massime alla sommità del crinale e nulle alla base dei versanti.

Sono risultate aree di dimensioni molto ridotte, campite in rosso nelle schede allegate (vedi Allegato 1), poiché i valori di Fa non verificati sono compresi fra 1,325 e 1,36, che, considerando il fattore di correzione 0,1, si discostano dal valore soglia di 0,02-0,06 punti.

Le aree individuate con il colore rosa, invece, sono quelle in cui il valore del Fa è compreso tra 1,2 e 1,3, vale a dire entro la variabilità di soglia, in cui la normativa è ancora sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito, e quindi è possibile applicare lo spettro previsto dalla normativa.

Per le aree con Fa maggiore rispetto a quello soglia per il Comune di Brescia, la normativa, invece, risulta insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica; pertanto è necessario effettuare analisi più approfondite (di 3° livello) in fase di progettazione edilizia o, in alternativa, applicare i parametri di progetto previsti per la zona sismica superiore (quindi zona 2).

Le aree con Fa maggiore di quello di soglia sono state individuate nei crinali secondari E, F e M, nonché in corrispondenza della porzione del crinale principale indicata come crinale N.

Occorre sottolineare che l'analisi di 2° livello è stata effettuata sui crinali riportati in Allegato 1 e indicati con le lettere da A a N, in quanto interferenti con l'urbanizzato; i restanti crinali sono stati "tralasciati" e quindi non vanno automaticamente considerati con Fa minore rispetto a quello di soglia, ma ulteriormente indagati qualora si voglia edificare o modificare le attuali destinazioni d'uso.

In allegato (vedi ALLEGATO 1) sono riportate le schede appositamente redatte con gli stralci riportanti l'ubicazione delle sezioni.

3.3 – Scenari a pericolosità sismica locale Z4a e Z4b con effetti di amplificazioni litologiche e geometriche

Come già sottolineato, nel caso delle valli alluvionali, quale la pianura alluvionale costituita dai depositi riconducibili al Fiume Mella, il fattore che influenza maggiormente l'amplificazione del moto sismico in superficie è la focalizzazione delle onde sismiche in aree prossime al bordo valle, a causa della genesi di onde

superficiali o per incidenza delle onde di volume sull'interfaccia obliqua roccia-sedimento del bordo stesso.

La Regione Lombardia propone una procedura semplificata anche per la valutazione dei fattori di amplificazione per gli scenari Z4; in particolare, la procedura richiede una caratterizzazione del sito dal punto di vista stratigrafico, geotecnico e geofisico.

Con l'analisi di 1° livello si è proceduto ad una valutazione qualitativa delle litologie presenti, mentre con l'analisi di 2° livello si è provveduto ad analizzare nel dettaglio gli scenari Z4a e Z4b attraverso lo studio dei dati lito-stratigrafici desunti da indagini geotecniche di dettaglio, quali prove penetrometriche statiche e dinamiche, per la ricostruzione delle Vs con la profondità (di seguito indicato come profilo geofisico).

La normativa, infatti, propone una serie di schede di valutazione che correlano il fattore di amplificazione con il periodo proprio del sito T, calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum h_i}{\sum v_s \times h_i / \sum h_i}$$

Dove h_i e V_{si} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del profilo geofisico.

Il periodo proprio del sito T è stato calcolato sulla base dei dati geotecnici ricostruendo l'andamento delle Vs con la formula di Otha e Goto (1978):

$$V_s = C \times (N_{60})^{0,17} \times (z)^{0,20} \times f_a \times f_g$$

C = costante = 68,5

N_{60} = numero colpi SPT per ER = 60%

z = profondità in metri

f_a = fattore di età del deposito

f_g = fattore litologico

Per ogni stratigrafia analizzata, la procedura proposta dalla Regione Lombardia, si basa sull'utilizzo di schede di riferimento per le seguenti litologie:

- una per litologie prevalentemente ghiaiose,
- due per litologie prevalentemente limoso-sabbiose,
- due per le litologie limoso-argillose.

Una volta scelta la scheda litologica di riferimento, in base alla litologia presente, si è verificata la validità della suddetta scheda, in funzione dei valori di Vs con la profondità, calcolati in base ai parametri geotecnici disponibili.

All'interno della scheda di riferimento, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, è stata scelta, per ogni profilo geofisico, la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0,1-0,5 s; quindi sono stati ricavati i valori del fattore di amplificazione, in relazione a T , periodo proprio del sito, per gli intervalli 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s.

Anche per lo scenario Z4 sono state predisposte apposite schede per ciascun profilo geofisico analizzato, in cui sono stati riassunti i dati geotecnici del terreno, l'andamento delle V_s con la profondità, la correlazione con la curva proposta per ciascuna litologia, il valore numerico del periodo proprio del sito T , la scheda litologica di riferimento e la curva adottate e il valore di F_a ricavato.

I valori di F_a ottenuti sono stati utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto per il sito dall'applicazione della normativa vigente; tale valutazione è stata fatta confrontando questi ultimi con i parametri di analogo significato definiti per il comune di Brescia (zona sismica 3), per la categoria di suolo oggetto di indagine (D, C e E).

Il valore soglia per l'intervallo 0,1-0,5 s è fissato pari a 1,6, il valore soglia per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s è fissato pari a 2,5.

Questi parametri rappresentano i valori di soglia oltre i quali lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione sismica presente nel sito.

La procedura seguita, pertanto, ha consentito di valutare il valore di F_a e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, sempre considerando una variabilità di $\pm 0,1$ che tiene in conto della variabilità del valore di F_a ottenuto dalla procedura semplificata.

Sono state riscontrate due situazioni:

- il valore di F_a ottenuto è inferiore o uguale al valore soglia corrispondente (caso evidenziato con il colore verde nelle schede di determinazione del F_a); la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito, per cui si applica lo spettro previsto dalla normativa in fase progettuale;
- il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente (caso evidenziato in rosso nelle schede allegate); la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica, di conseguenza sarà necessario effettuare le analisi di 3° livello in fase di progettazione edilizia, o, in alternativa, applicare i parametri di progetto previsti per la zona sismica superiore (zona 2).

Per quanto riguarda l'intervallo 0,5-1,5 s (che si riferisce a strutture alte e in genere flessibili) i fattori di amplificazione ottenuti risultano sempre inferiori al

valore soglia fissato dalla Regione Lombardia, mentre per l'intervallo 0,1-0,5 s, ci sono situazioni non verificate, in cui il Fa ottenuto è superiore a quello soglia.

In particolare, dei 38 punti di indagine presi in considerazione, 12 hanno dato un valore di Fa superiore a 1,6+0,1. La maggior parte dei punti non verificati sono collocati in corrispondenza della fascia di raccordo tra la pianura e il rilievo, cioè la fascia di bordo valle modellata in depositi eluvio-colluviali, dove l'interfaccia roccia-sedimento è obliqua (causa della focalizzazione delle onde).

Tali materiali presentano, dal punto di vista geofisico, Vs molto basse, trattandosi per lo più di litologie fini (limi sabbiosi e sabbie limose).

Analogo discorso può essere fatto per il centro storico della città: anche quest'ultimo infatti rientra nell'area con Fa superiori alla soglia fissata dalla Regione Lombardia, ed è caratterizzato da Vs molto basse. Infatti, tutte le prove penetrometriche e i sondaggi analizzati riportano un primo strato di potenza variabile, compresa tra i 3 e i 7 metri, di riporti riconducibili al susseguirsi di demolizioni e ricostruzioni della storia anche a causa dei danni causati da eventi sismici.

L'analisi eseguita in corrispondenza del punto 25 delle indagini per la Metropolitana leggera ha dato come risultato un valore di Fa < 1,6 e, pertanto, risulta un valore anomalo, imputabile ad una situazione locale e, di conseguenza, è stato trascurato.

Per quanto riguarda invece la porzione sud occidentale del comune, il confronto tra i valori di Fa ottenuti dalle valutazioni di 2° livello e i valori soglia mostra come, nell'intero settore caratterizzato da una soggiacenza della falda bassa, e dalla traccia di un paleoalveo, la normativa non sia sufficientemente cautelativa a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione litologica.

La perimetrazione delle aree è stata eseguita partendo da criteri geometrici basati sulla triangolazione e perfezionata in base alle conoscenze litostratigrafiche del comune.

In allegato (vedi ALLEGATO 2) vengono riportate le schede appositamente redatte e l'ubicazione dei punti di indagine utilizzati per le suddette valutazioni.

3.4 – “Carta delle amplificazioni sismiche locali”

L'analisi sismica di 2° livello prevede una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione topografica, litologica e geometrica attesi nelle aree perimetrate nella “Carta di pericolosità sismica locale” (vedi TAVOLE 1 Nord e 1 Sud).

Pertanto nella “Carta delle amplificazioni sismiche locali” (TAVOLE 2 Nord e 2 Sud) sono stati riportati gli scenari Z3 e Z4 oggetto di approfondimento e i risultati conseguiti con le analisi di dettaglio descritte nei precedenti paragrafi.

In particolare, la restituzione cartografica dei risultati dell’analisi sismica di 2° livello ha permesso di individuare le aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare le strutture dagli effetti di amplificazione sismica locale, per le quali il valore del Fattore di Amplificazione (F_a) calcolato è risultato maggiore rispetto al valore soglia comunale.

Nella “Carta delle amplificazioni sismiche locali” (TAVOLE 2 Nord e 2 Sud), infatti, sono state cartografate con retini trasparenti:

- per gli scenari di scarpata (Z3a) e di cresta (Z3b), cui è possibile associare suoli di categoria A, le aree con $F_a > 1,3$ (valore derivato da 1,2 –valore soglia comunale- +0,1 –fattore di correzione-), riferito all’intervallo di periodo 0,1-0,5 s;
- per gli scenari di amplificazioni litologiche e geometriche (Z4a e Z4b), cui è possibile associare suoli di categoria B, C ed E, le aree con $F_a > 1,7$ (valore derivato da 1,6 –valore soglia comunale- +0,1 –fattore di correzione-), riferito all’intervallo di periodo 0,1-0,5 s;

Per tali aree la normativa nazionale non è sufficiente e pertanto sarà necessario effettuare, in fase di progettazione, gli studi di 3° livello, oppure utilizzare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore (zona sismica 2).

Nelle restanti aree, che ricadono negli scenari Z3 e Z4, in fase di progettazione, si potrà, invece, utilizzare lo spettro di risposta elastica previsto dal D.M. 14 settembre 2005 “Norme tecniche per le costruzioni”.

4 - AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DEI VINCOLI E DELLE LIMITAZIONI

Nella “Carta dei vincoli e delle limitazioni”, alla quale si rimanda per i dettagli (TAVOLE 3 Nord e 3 Sud), sono stati riportati i vincoli e le limitazioni di uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore.

Tra i vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L. 183/89 sono state cartografate le fasce del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico, approvato con d.p.c.m. 24 maggio 2001 (Elaborato n°8 – Tavole di delimitazione delle Fasce Fluviali): Fasce A, B e C.

È stato inoltre riportato il quadro del dissesto (così come rappresentato nelle Tavole 2a, 2b, 2c, 2d e 2e dello Studio Geologico in Revisione del Piano regolatore Generale del 1996) rappresentante i seguenti elementi:

- accumuli di paleofrana di dimensioni alquanto ridotte, complessivamente assestati;
- corpi di frana attivi e/o recenti di entità modesta e di entità estremamente limitata;
- tratti di versante interessati da frane di crollo.

Per quanto riguarda i vincoli di polizia idraulica, ai sensi della d.g.r. 25 gennaio 2002, n° 7/7868 e s.m.i., sono state cartografate la rete idrografica e le relative fasce di rispetto individuate nello studio finalizzato alla definizione del reticolo idrico minore.

Inoltre sono state cartografate le aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile, rappresentate da sorgenti captate ad uso acquedottistico e da pozzi ad uso acquedottistico con le relative zone di rispetto, in base alla normativa vigente, definite sia con semplice criterio geometrico, sia con criterio idrogeologico.

Inoltre sono stati cartografate le aree sottoposte ai seguenti vincoli derivanti normative nazionali:

- aree sottoposte a vincolo idrogeologico ai sensi del R.D.L. 3267/23, art. 7,
- tutela paesaggistico-ambientale (oggi normate dal D.Lgs. 22 gennaio 2004, n°42 (Parte III, Capo II)
- vincolo monumentale e archeologico previsto dalla L. 1089/39,
- aree di rispetto di 150 m dei corsi d’acqua pubblici (D. Lgs n° 42/2004).

È stato delimitato il PLIS (Parco Locale di Interesse Sovracomunale) provinciale “il Parco delle Colline di Brescia”.

Da ultimo sono state individuate le aree soggette a tutela in base a previsioni derivate dalla pianificazione comunale:

- centro storico, zona “A” (D.M. 1444/68 art. 2),
- aree di rispetto di attrezzature, di cimiteri e impianti tecnologici,
- aree di rispetto generiche,
- aree sottoposte a specifiche discipline di P.R.G.,
- Parco delle Cave, (parco urbano).

5 - AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO E DELLE NORME GEOLOGICHE DI ATTUAZIONE

La valutazione incrociata degli elementi messi in luce durante gli studi condotti ha consentito di elaborare una zonizzazione del territorio comunale in merito alla fattibilità geologica di eventuali progetti di realizzazione edilizia (vedi “Carta della fattibilità geologica delle azioni di piano”, TAVOLE 4 Nord, 4 Sud e 4 Legenda).

Le indicazioni in merito alla fattibilità geologica, in quanto espresse a scala territoriale, sono da ritenersi indicative, non sostituiscono, anche se possono comprenderle, né costituiscono deroga alle indagini previste dal D.M. 14 settembre 2005 “Norme tecniche per le costruzioni” (e s.m.i.).

Le indicazioni fornite in merito all’edificabilità si riferiscono a costruzioni di mole e complessità strutturale non particolare, inoltre sono fatte salve le disposizioni maggiormente restrittive rispetto a quelle indicate contenute nelle leggi dello Stato e della Regione, negli strumenti di pianificazione sovracomunale e in altri piani di tutela del territorio e dell’ambiente.

La Carta della fattibilità delle azioni di piano fornisce per le varie classi di stabilità utilizzate per la zonizzazione geostatica del territorio comunale di Brescia (sostanzialmente le medesime già individuate sulla Carta morfologica) indicazioni di massima in merito alla edificabilità ed alla tipologia e grado di approfondimento delle indagini geologiche che si devono eseguire a supporto di eventuali realizzazione edilizie o di interventi di salvaguardia idrogeologica o idraulica che possono localmente rendersi necessari per garantire l'integrità delle costruzioni in progetto.

Le classi di fattibilità geologica utilizzate corrispondono a quelle proposte dalla normativa regionale (l.r. n.°12 del 11 marzo 2005 e criteri geologici attuativi – d.g.r. n°871566 del 22/12/05-) relativa alla predisposizione della componente geologica dei Piani di Governo del Territorio.

Esse ricalcano sostanzialmente quelle a suo tempo predisposte, in base alla normativa regionale pregressa (D.G.R.L. n.°5/36147 del 18/05/93).

Classe 1 - Fattibilità senza particolari limitazioni;
Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni;
Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni;
Classe 4 - Fattibilità con gravi limitazioni.

CLASSE 1- FATTIBILITÀ SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI

Aree per le quali non si individuano in genere specifiche controindicazioni di carattere geologico all'urbanizzazione o alla modifica delle destinazioni d'uso, per

le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dal D.M. 14/09/05 "Norme tecniche per le costruzioni". Sono tutte le aree di pianura dove non sussistono problemi di interferenza tra la falda ed il primo sottosuolo, dove gli interventi edilizi, preliminarmente supportati dall'esecuzione di accurate indagini geologico-tecniche, risultano in genere attuabili senza l'adozione di particolari accorgimenti costruttivi.

classe 1a

Area stabile, coincidente con zone di pianura e talora con la fascia marginale delle superfici di raccordo tra pianura e rilievi, caratterizzata da un substrato in genere contraddistinto da buone caratteristiche geotecniche (ad esclusione delle zone subpianeggianti poste al margine dei rilievi dove negli strati superficiali del terreno, di natura colluviale, si possono frequentemente riscontrare orizzonti litologici dalle scadenti caratteristiche geotecniche o le zone che sono state oggetto di ritombamento con materiali limoso-terrosi ecc.).

Edificabile in genere senza particolari interventi ed accorgimenti cautelativi eventualmente, laddove si riscontra la presenza di sensibili spessori di materiali dalle scarse proprietà geotecniche, si dovrà prevedere l'adozione di idonee strutture fondazionali, quali palificazioni ecc. Le indagini geologiche da realizzare a supporto di interventi edilizi, che devono essere più o meno approfondite in relazione alla portata dell'intervento ed alla complessità della situazione litostratigrafica locale (presenza di eterogeneità latero-verticali nel terreno alluvionale o di coltri di copertura colluviale), devono essere finalizzate ad ottenere una buona caratterizzazione geotecnica del substrato di fondazione per consentire il corretto dimensionamento delle opere in progetto.

CLASSE 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI

Aree dove sono state rilevate condizioni parzialmente limitative alla modifica delle destinazioni d'uso e, in particolare, all'edificabilità. Ricadono in questa classe tutte le aree a debole acclività, modellate in depositi eluvio-colluviali, che costituiscono il raccordo tra la pianura ed i rilievi (2b), le aree subpianeggianti del rilievo impostate prevalentemente in roccia (2a) e tutte le aree di pianura contraddistinte da bassa soggiacenza della falda dove si possono verificare fenomeni di interferenza tra la falda ed il primo sottosuolo (2c). L'edificazione comporta in genere l'adozione di appropriati accorgimenti costruttivi e/o la realizzazione di idonei interventi di salvaguardia idrogeologica da definire sulla base di approfondite indagini geologico-tecniche da estendersi spesso anche al di fuori delle zone di diretto interesse.

classe 2a

Area stabile, subpianeggiante o a debole acclività, coincidente in genere con le porzioni sommitali dei principali crinali o dorsali montuose, generalmente impostata in roccia coerente affiorante o subaffiorante.

Edificabile in genere senza particolari interventi ed accorgimenti cautelativi. Le indagini geologico-tecniche da eseguire a supporto delle eventuali progettazioni edilizie devono essere finalizzate a determinare, ove la roccia non risulti direttamente affiorante, la profondità e la morfologia del substrato roccioso su cui devono poggiare le fondazioni degli edifici.

classe 2b

Area da stabile a sufficientemente stabile, corrispondente alla fascia di raccordo tra la pianura o i fondovalle secondari ed il rilievo, contraddistinta da bassa acclività, modellata in depositi eluviali e/o colluviali spesso contraddistinti da intercalazioni di materiali dalle scadenti caratteristiche geotecniche; può essere soggetta a dissesti di carattere comunque localizzato consistenti per lo più in fenomeni di mobilitazione della coltre detritica superficiale (creepings, smottamenti o piccole frane).

Edificabile; l'edificabilità è tuttavia sconsigliata per gli interventi intensivi e dovrebbe essere limitata a costruzioni di mole ridotta, in genere previa adozione di idonei accorgimenti costruttivi e, talora, di opere di salvaguardia idrogeologica estese ad un adeguato intorno dei siti prescelti per gli interventi. Le indagini di carattere geologico da eseguire a supporto di eventuali realizzazioni edilizie devono fornire un quadro completo della situazione litostratigrafica locale e definire i parametri geotecnici caratteristici del terreno di fondazione allo scopo di consentire una corretta progettazione delle opere previste; ove possibile il piano di fondazione degli edifici dovrebbe essere appoggiato direttamente sul substrato roccioso o, quanto meno, quest'ultimo dovrebbe essere raggiunto ricorrendo a fondazioni su pali. Localmente, soprattutto laddove la situazione idrogeologica consiglia la predisposizione di interventi di salvaguardia, le indagini geologiche dovrebbero essere estese anche al di fuori delle aree di diretto interesse.

classe 2c

Area stabile, coincidente con zone di pianura caratterizzata da un substrato in genere contraddistinto da buone caratteristiche geotecniche, ma caratterizzate da bassa soggiacenza della falda freatica (profondità della falda inferiore ai 5 m dal piano campagna).

Edificabile in genere senza particolari interventi ed accorgimenti cautelativi; si sconsiglia la realizzazione di scantinati o locali seminterrati per evitare possibili dannose interferenze tra falda e costruzioni; laddove la falda è sensibilmente prossima al piano campagna è consigliabile soprelevare la struttura dell'edificio mediante rilevati. Le indagini geologiche da realizzare a supporto dei progetti edilizi, finalizzate ad ottenere una buona caratterizzazione geotecnica del substrato di fondazione, devono essere accompagnate da studi sulle oscillazioni del livello di falda freatica.

CLASSE 3 - FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI

Aree nelle quali sono state riscontrate limitazioni, da modeste a consistenti, alla modifica delle destinazioni d'uso e, in particolare, all'urbanizzazione, a causa l'entità e la natura dei rischi, sia reali sia potenziali, individuati. Sono comprese in questa classe le aree acclivi impostate prevalentemente in roccia coerente (3a), quelle site ai margini dei rilievi contraddistinte da forti spessori di materiali eluvio-colluviali (3b) e le aree ex-golenali protette da arginature (3c). L'edificazione è spesso subordinata all'adozione di appropriati accorgimenti costruttivi ed alla realizzazione di idonei interventi di salvaguardia idrogeologica o idraulica che richiedono una approfondita conoscenza geologico-tecnica dell'area di intervento e di quelle ad essa limitrofe da acquisire eventualmente anche attraverso studi tematici specifici di carattere idrogeologico, ambientale, pedologico, ecc. Per le strutture edilizie esistenti nelle aree in considerazione

dovranno essere fornite, ove se ne presenti la necessità, a causa della presenza di situazioni di rischio idrogeologico o idraulico, indicazioni in merito alla progettazione e realizzazione di opere di difesa o sistemazione (e predisposti eventualmente, nelle zone di rilievo, sistemi di monitoraggio che controllino l'evoluzione di fenomeni di dissesto in atto).

classe 3a

Area complessivamente stabile, coincidente con versanti ad acclività da media ad elevata generalmente modellati in roccia affiorante o subaffiorante; può essere soggetta a fenomeni di dissesto di carattere localizzato, quali fenomeni di mobilitazione della coltre detritica superficiale (creepings, smottamenti o piccole frane), di erosione incanalata o frane di crollo in corrispondenza di pareti a forte acclività.

Edificabile; l'edificabilità è tuttavia generalmente sconsigliata per interventi intensivi e, soprattutto, per le zone ad elevata acclività. Può risultare talora necessaria l'adozione di appropriati interventi costruttivi e/o (laddove sussistono condizioni di instabilità potenziale) di salvaguardia idrogeologica eventualmente estesi anche ad un adeguato intorno delle zone di intervento. Le indagini geologico-tecniche da eseguire a supporto della realizzazione di strutture edilizie devono fornire una buona caratterizzazione geotecnica del terreno di imposta ed individuare la profondità cui si colloca il substrato roccioso che dovrebbe costituire, ove possibile, il piano di posa delle fondazioni. La progettazione di eventuali opere di difesa idrogeologica, necessaria in zone contraddistinte da condizioni di stabilità non ottimali (solitamente di ridotta estensione) o comunque potenzialmente soggette a rischio, richiede studi geologici più approfonditi con l'estensione delle indagini ad un'area più ampia di quella di diretto interesse. Da sottolineare che nell'ambito delle aree in questione, impostate in roccia affiorante o subaffiorante, la fattibilità geologica degli interventi edilizi è ovviamente condizionata dalle caratteristiche litologiche e giaciture delle successioni rocciose. Sono da privilegiare, a parità di altre condizioni (acclività, grado di fratturazione della roccia, ecc.), i pendii impostati in roccia coerente a stratificazione indistinta e quelli con giaciture a reggipoggio ed a franapoggio con inclinazioni maggiore del pendio.

classe 3b

Area da sufficientemente stabile a mediamente stabile, inclusa nella fascia di raccordo tra la pianura o i fondovalle ed il rilievo, ad acclività da media ad elevata, modellata in coltri alquanto potenti di depositi eluvio-colluviali spesso contraddistinti da intercalazioni di materiali dalle scadenti caratteristiche geotecniche; può essere soggetta a dissesti di carattere comunque localizzato consistenti per lo più in fenomeni di mobilitazione della coltre detritica superficiale (smottamenti o piccole frane).

Edificabile, l'edificabilità è tuttavia sconsigliata per gli interventi intensivi, in genere previa adozione di accorgimenti costruttivi comunque molto cautelativi e di opere di salvaguardia idrogeologica estese, nonché un elevato approfondimento del grado di conoscenza delle caratteristiche geologiche dell'area.

classe 3c

Area stabile, subpianeggiante o con blande ondulazioni del piano campagna, caratterizzata da un substrato in genere contraddistinto da buone caratteristiche

geotecniche, corrispondenti a tratti di zone ex-golenali, potenzialmente inondabili, ma generalmente protette da arginature.

Edificabile in funzione delle caratteristiche geotecniche del substrato, con l'adozione di normali accorgimenti costruttivi e previa esecuzione di indagini di carattere geologico-geotecnico di supporto alla progettazione edilizia; si sconsiglia tuttavia l'edificazione di strutture abitative o produttive permanenti (a meno che non si provveda a sopraelevare artificialmente mediante riporti il piano campagna). In ogni caso l'edificabilità è subordinata alla realizzazione di opere di preventiva salvaguardia idraulica laddove non siano presenti arginature.

CLASSE 4 - FATTIBILITÀ CON GRAVI LIMITAZIONI

Aree nelle quali l'alto rischio idrogeologico o idraulico limita fortemente la possibilità di modifica delle destinazioni d'uso, deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica. Corrispondono a piccole aree golenali ed alle depressioni artificiali prossime agli alvei fluviali soggette a rischio di inondazione (4a), alle zone di sviluppo di modesti corpi di paleofrana (4b), ad aree caratterizzate dalla presenza di potenti coltri detritiche mobilizzabili da parte delle acque torrentizie (4c) e a zone con scarpate di cava incombenti al contorno (4d).

classe 4a

Area stabile, subpianeggiante, coincidente con zone golenali o depressioni artificiali prossime agli alvei, inondabili in quanto, in genere, non protette da arginature.

Non edificabile nelle attuali condizioni morfologiche. La sopraelevazione artificiale del piano campagna mediante riporti ne consentirebbe l'utilizzo ai fini edilizi.

classe 4b

Area ad elevata instabilità potenziale, coincidente con lo sviluppo di piccoli corpi di paleofrana.

Edificabilità decisamente sconsigliata; eventuali locali e ridotte edificazioni dovranno essere subordinate all'esecuzione di accurate indagini ed alla realizzazione di opere di consolidamento e di risanamento idrogeologico non limitate alle sole aree destinate alle singole costruzioni, ma estese ad un'ampia zona circostante, ed all'adozione di particolari accorgimenti costruttivi.

classe 4c

Area potenzialmente instabile, ad acclività da media ad elevata, modellata in una coltre di materiali di prevalente origine detritica alquanto potente e mobilizzabile da parte delle acque torrentizie.

Non edificabile.

classe 4d

Aree estrattive dismesse o non ancora recuperate con una scarpata incombente al contorno, con pericolo potenziale di crolli.

Non edificabile.

Nelle fasce di transizione tra le varie classi occorrerà tener conto anche delle indicazioni fornite per la classe dotata di caratteristiche più scadenti. Dovranno inoltre essere valutati i possibili areali d'influenza delle puntuali e lineari situazioni di dissesto e delle altre limitazioni esistenti (vedi anche TAVV. 3 Nord e 3 Sud).

Al mosaico delle classi di fattibilità sono state sovrapposte, con apposito retino "trasparente" le aree soggette ad amplificazione sismica locale desunte dalla "Carta di pericolosità sismica locale" e dalla "Carta delle amplificazioni sismiche locali", costruite secondo le modalità definite dai criteri attuativi della l.r. 12/05 proposti dalla Regione Lombardia, che non comportano un cambio della classe di fattibilità, ma forniscono indicazioni sulla necessità o meno di ulteriori indagini sismiche.

In particolare, sono stati evidenziati gli scenari a pericolosità sismica locale Z1a, Z1b, Z1c e Z5, rispettivamente caratterizzati da effetti di instabilità e da comportamenti differenziali, per i quali è reso obbligatorio il 3° livello di approfondimento delle analisi sismiche in fase progettuale, qualora queste aree non siano comunque considerate inedificabili a priori per situazioni geologiche, geomorfologiche o ambientali o perchè sottoposte a vincolo.

Per gli scenari Z3a, Z3b, Z4a e Z4b, invece, sono stati eseguiti gli studi di 2° livello, e sono state individuate, all'interno di questi scenari le aree in cui la normativa sismica nazionale risulta inadeguata:

- aree suscettibili di amplificazioni morfologiche (Z3) con valore del Fattore di amplificazione superiore al valore soglia di 1,2 (+0,1 fattore di correzione), stabilito per il territorio comunale di Brescia per categorie di suolo A (formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s) per l'intervallo di periodo 0,1 – 0,5 s;
- aree suscettibili di amplificazioni litologiche (Z4) con valore del Fattore di amplificazione superiore al valore soglia di 1,6 (+0,1 fattore di correzione), stabilito per il territorio comunale di Brescia per categorie di suolo B, C, E per l'intervallo di periodo 0,1 – 0,5 s.

Per tali aree sarà necessario realizzare in fase di progettazione gli studi di 3° livello, oppure utilizzare i parametri di progetto previsti dalla normativa nazionale per la zona sismica superiore (zona 2)

Si ricorda che per la zona sismica 3 è assegnato al parametro a_g corrispondente all'accelerazione orizzontale di picco, riferita ai suoli di categoria A, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, un valore convenzionale di 0,15 g da adottare nella progettazione antisismica, mentre per la zona sismica 2, tale parametro è fissato dalla normativa pari a 0,25 g.

6 - BIBLIOGRAFIA

Compagnoni M., Pergalani F. “Procedure per la valutazione della componente sismica nei PGT della regione Lombardia: messa a punto e descrizione”, Atti del Convegno: *Microzonazione Sismica*, Università degli Studi di Pavia, giugno 2006.

Compagnoni M., Pergalani F.. “Valutazione degli effetti di amplificazione sismica locale: approccio numerico”, Atti del Convegno: *Microzonazione Sismica*, Università degli Studi di Pavia, giugno 2006.

Comune di Brescia – Settore Sicurezza Urbana e Protezione Civile. “Studio finalizzato ad una microzonazione sismica del Comune di Brescia”, Roma, settembre 2002

Pergalani, F., *et alii*. “Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell’aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio - RAPPORTO” Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano, Milano novembre 2005

Pergalani, F., *et alii*. “Analisi e valutazione degli effetti sismici di sito in Lombardia finalizzate alla definizione dell’aspetto sismico nei Piani di Governo del Territorio – ALLEGATO 5, INTEGRAZIONI” Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano, Milano novembre 2005

Otha, Y., Goto, N., (1978). “Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes”, *Earthquake Engineering Structural Dynamics* 6, pp 67-187.

Direzione Generale Territorio e Urbanistica della Regione Lombardia “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n°12” Bollettino ufficiale Regione Lombardia n°13, Edizione Speciale del 28 marzo 2006, Milano, marzo 2006

Pavia, febbraio 2008



Prof. Geol. Pier Luigi Vercesi
Ordine dei Geologi della Lombardia n° 1015