

Riduzione del rischio sismico nella pianificazione territoriale e urbanistica in Emilia-Romagna: definizione e rappresentazione della pericolosità sismica locale. L'esempio della cartografia per il quadro conoscitivo del PTCP di Rimini

L. Martelli⁽¹⁾, M. Filippini⁽²⁾, S. Bagli⁽²⁾, P. Severi⁽¹⁾ e F. Tomasetti⁽²⁾

¹ Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - Bologna

² Provincia di Rimini - Servizio Pianificazione, Territoriale, SITUA - Rimini

RIASSUNTO

Gli studi di risposta sismica locale e zonazione sismica del territorio costituiscono uno degli strumenti più importanti per un'efficace strategia di riduzione del rischio sismico, permettendo l'individuazione e la rappresentazione cartografica delle aree a maggiore pericolosità sismica e quindi la scelta delle aree urbanizzabili con minore rischio e degli interventi ammissibili.

Tali carte sono particolarmente efficaci se applicate fin dalle prime fasi della pianificazione, cioè se vanno ad arricchire i quadri conoscitivi degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica.

Occorre perciò acquisire informazioni di buona qualità sulla pericolosità sismica locale in tempi rapidi e a costi contenuti.

Il metodo proposto permette di ottenere in maniera speditiva, grazie all'elaborazione di dati esistenti tramite GIS, carte a scala provinciale delle aree potenzialmente suscettibili di effetti locali.

Questa cartografia può risultare utile anche per una migliore definizione degli scenari di danno per la pianificazione dell'emergenza, come previsto nei piani di protezione civile.

INTRODUZIONE

Gli studi e le politiche di riduzione del rischio sismico possono risultare più efficaci se applicate fin dalle prime fasi della pianificazione territoriale e urbanistica.

La legge nazionale 741/1981 "Ulteriori norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche", pubblicata sulla G. U. n. 344 del 16/12/1981, stabilisce, perciò, che gli Enti Territoriali sono tenuti a promuovere studi e formulare indirizzi per la riduzione del

rischio sismico, da applicarsi nelle fasi di programmazione territoriale e pianificazione urbanistica.

La Regione Emilia-Romagna ha recepito tale normativa con la legge regionale 35/1984 "Norme per lo snellimento delle procedure per le costruzioni in zone sismiche e per la riduzione del rischio sismico, attuazione dell'art. 20 della Legge 10 dicembre 1981, n. 741" (B.U.R. n. 81, 21/6/1984) ma già con la circolare 1288/1983 "Indicazioni metodologiche sulle indagini geologiche da produrre a corredo dei piani urbanistici comunali", ribadita dalla legge regionale 31/2002 "Disciplina generale dell'edilizia" (B.U.R. n. 163, 26/11/2002), e dalla relativa circolare applicativa 6515/2003, nei comuni sismici dell'Emilia-Romagna era richiesto che negli strumenti urbanistici fossero identificati e cartografati quegli elementi del territorio, depositi e forme, che possono determinare effetti locali, cioè modificare il risentimento del moto sismico in superficie aumentandone gli effetti (amplificazione) o causando modificazioni permanenti del territorio (effetti cosismici), quali ad esempio le frane e i cedimenti, e che le scelte pianificatorie fossero congruenti con tale zonazione.

In particolare, l'articolo A-2 dell'allegato alla legge 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" (B.U.R. n. 52, 27/3/2000) stabilisce che gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica devono concorrere alla riduzione ed alla prevenzione del rischio sismico, sulla base di analisi di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione.

La componente pericolosità del rischio sismico dipende:

- dalle caratteristiche sismiche dell'area, cioè dalle sorgenti sismiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti; questi aspetti sono comunemente indicati come "pericolosità sismica di base";
- dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del ter-

ritorio, in quanto alcuni depositi e forme del paesaggio possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie e costituire aspetti predisponenti al verificarsi di fenomeni di amplificazione (effetti di sito) o di instabilità dei terreni (cedimenti, frane, fenomeni di liquefazione); questi aspetti sono comunemente indicati come “effetti locali” e costituiscono la componente di “pericolosità sismica locale”.

La zonazione del territorio sulla base della risposta sismica del terreno è perciò uno dei più efficaci strumenti di definizione e rappresentazione della pericolosità sismica e quindi di prevenzione e riduzione del rischio sismico, poiché fornisce un contributo essenziale per l'individuazione delle aree a maggiore pericolosità sismica e agevola la scelta delle aree urbanizzabili con minor rischio e la definizione degli interventi ammissibili.

Anche il recente D.M. del 14/09/2005 auspica che gli Enti Territoriali promuovano analisi di risposta sismica locale e studi di microzonazione sismica del territorio. A questo proposito, la Delibera di Giunta della Regione Emilia-Romagna n. 1677/2005, che fornisce indirizzi applicativi in merito al D.M. 14/09/2005, ribadisce (paragrafo 6) che negli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica siano individuate e mappate le aree soggette ad effetti locali sulla base delle indicazioni contenute nella circolare regionale 1288/1983 e della L.R. 31/2002.

Tali carte sono particolarmente efficaci se utilizzate per la scelta delle aree di nuova previsione edificatoria, per la definizione delle indagini di approfondimento e degli interventi ammissibili, anche nelle aree già urbanizzate, e quindi devono essere utilizzate fino dalle fasi preliminari dei processi di pianificazione territoriale e urbanistica. Ciò richiede dunque che costituiscano documentazione dei quadri conoscitivi dei Piani Territoriali di Coordinamento Provinciali (PTCP) e dei Piani Strutturali Comunali (PSC). Pertanto, per una migliore pianificazione territoriale è importante disporre di informazioni di buona qualità sugli scenari di pericolosità sismica locale che permettano una zonazione del territorio in tempi rapidi e a costi compatibili con il livello informativo dei quadri conoscitivi.

La necessità di disporre di dati in tempi brevi e a costi contenuti

contrasta con l'importanza delle informazioni richieste; occorre dunque individuare una metodologia speditiva che permetta la definizione e la rappresentazione di scenari di pericolosità sismica locale sulla base di dati il più possibile dettagliati e verificati.

METODO PROPOSTO

Esiste ormai un generale accordo su quali depositi e forme del paesaggio possono, durante o a seguito di un terremoto, determinare amplificazioni del moto sismico in superficie o concorrere a modificare in maniera permanente l'assetto del territorio causando cedimenti, franamenti e rotture del terreno.

Le conoscenze territoriali oggi disponibili, soprattutto grazie alle carte geologiche, alle banche dati geognostiche, alle carte topografiche e ai modelli digitali del terreno, permettono la rapida individuazione degli elementi geologici e morfologici che possono favorire gli effetti locali.

I principali elementi del territorio che concorrono alla pericolosità sismica in Emilia-Romagna sono elencati nella tabella 1.

Gran parte dei dati necessari per l'individuazione di

Tab. 1

<p>Depositi che possono determinare amplificazione (spessore ≥ 5 m):</p> <ul style="list-style-type: none"> - detriti di versante (frane, detriti di falda, detriti eluvio-colluviali, detriti di versante s.l., depositi morenici, depositi da geliflusso); - detriti di conoide alluvionale; - depositi alluvionali terrazzati e di fondovalle; - accumuli detritici in zona pedemontana (falde di detrito e coni di deiezione); - depositi fluvio-lacustri - riporti antropici poco addensati; - substrato affiorante alterato o intensamente fratturato (per uno spessore ≥ 5 m); - litotipi del substrato con $V_s < 800$ m/sec¹.
<p>Elementi morfologici che possono determinare amplificazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> - creste, cocuzzoli, dorsali allungate, versanti con acclività $> 15^\circ$ e altezza ≥ 30 m
<p>Depositi suscettibili di amplificazione, liquefazione e cedimenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - depositi granulari fini (sabbie) con livello superiore della falda acquifera nei primi 15 m dal piano campagna (fattori predisponenti al fenomeno di liquefazione); - depositi (spessore ≥ 5 m) di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti, caratterizzati da valori $N_{SPT} < 15$ o $c_u < 70$ kpa.
<p>Aree soggette ad instabilità di versante:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aree instabili: aree direttamente interessate da fenomeni franosi attivi; - aree potenzialmente instabili: aree in cui sono possibili riattivazioni (frane quiescenti) o attivazioni di movimenti franosi (tutti gli accumuli detritici incoerenti, indipendentemente dalla genesi, con acclività $> 15^\circ$; pendii costituiti da terreni prevalentemente argillosi e/o intensamente fratturati² con acclività $> 15^\circ$; versanti con giacitura degli strati a franapoggio con inclinazione minore o uguale a quella del pendio; aree prossime a zone instabili che possono essere coinvolte dalla riattivazione del movimento franoso; scarpate subverticali; accumuli detritici incoerenti prossimi all'orlo di scarpate).
<p>Elementi che possono determinare effetti differenziali, sia amplificazione che cedimenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse; - cavità sepolte.

¹ Possono rientrare in questa categoria le argille e le argille marnose oligo-mioceniche della Successione Epiligure, le argille e le argille marnose tardo messiniane e plio-pleistoceniche, le sabbie poco cementate plio-pleistoceniche

² Rientrano in questa categoria i terreni con spaziatura della fratturazione < 20 cm

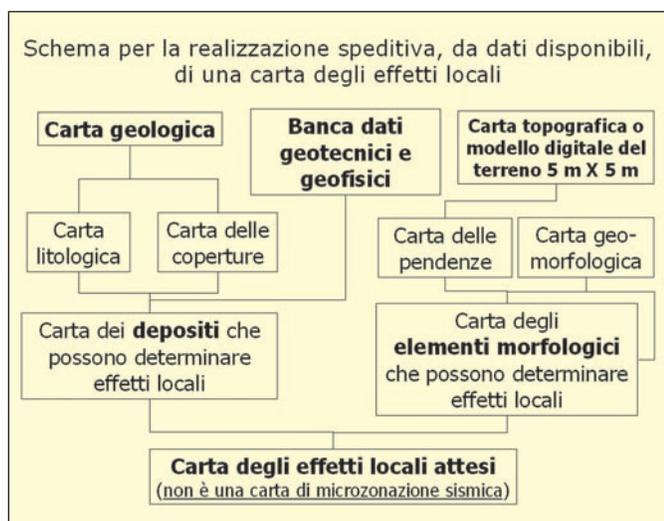


Figura 1 - schema per la realizzazione speditiva, da dati preesistenti, di una carta degli effetti locali attesi

questi elementi sono già disponibili presso i vari Enti con competenze gestionali del territorio (Regioni, Province, Comuni, Autorità di Bacino, Comunità Montane, Consorzi di Bonifica), presso le società e i consorzi locali che gestiscono servizi e presso le grandi società che curano la progettazione e la realizzazione di grandi opere (Autostrade per l'Italia, Italferr, ANAS, ENEL, ENI).

Grazie all'elaborazione di questi dati di base, tramite GIS, è oggi possibile realizzare carte delle aree soggette ad effetti locali in tempi rapidi e a basso costo, secondo lo schema illustrato in figura 1.

Poiché le carte geologiche disponibili sono realizzate per la maggior parte secondo i criteri della litostratigrafia (Azzaroli et al., 1969; Salvador, 1994), è quasi immediato derivare carte litologiche del substrato e delle coperture detritiche. L'elaborazione di queste mappe è agevolata dalla disponibilità di banche dati in cui sono contenute informazioni sulla stratigrafia e sulle caratteristiche geotecniche e geofisiche dei litotipi del sottosuolo.

I dati geognostici di solito disponibili presso gli Enti Territoriali, prove penetrometriche e sondaggi, in genere permettono un buon dettaglio litostratigrafico fino ad una profondità di circa 30 m, localmente anche fino a circa 50 m ed oltre se si dispone di sondaggi a carotaggio continuo realizzati per il progetto Carta Geologica 1:50.000. Laddove sono presenti pozzi per uso idropotabile, possono essere disponibili informazioni stratigrafiche, sebbene molto meno dettagliate, fino a circa 250-300 m di profondità. La disponibilità di profili sismici e pozzi per la ricerca di idrocarburi consente l'interpretazione fino a profondità ben maggiori, permettendo di individuare anche il substrato di depositi alluvionali di centinaia di metri di spessore, come nel caso della Pianura Padana a nord di Modena e Bologna o lungo la costa a nord di Rimini (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998; Boccaletti et al., 2004).

Dall'analisi delle carte dei litotipi del substrato e delle coperture, selezionando i depositi d'interesse (v. ad esempio la Tab. 1), si ottiene la carta dei depositi suscettibili di effetti locali.

Per l'individuazione degli elementi morfologici possono essere sufficienti le carte topografiche di dettaglio, ad esempio le CTR alle scale 1:5.000 o 1:10.000.

La selezione delle forme del paesaggio è senz'altro più rapida se si dispone di un modello digitale del terreno ad una scala adeguata; da questo è possibile derivare, automaticamente tramite GIS, una carta delle classi di pendenza.

La realizzazione di una carta degli elementi morfologici è più agevole se si dispone di carte geomorfologiche, ma questo tipo di cartografia non è di solito disponibile per ampie porzioni di territorio.

Non esistendo molti studi sul comportamento degli elementi morfologici durante i terremoti, sono disponibili solo poche indicazioni sulle forme del paesaggio che possono modificare il moto sismico in superficie. In assenza di più precise indicazioni, per l'elaborazione della carta degli elementi morfologici il riferimento può essere l'EuroCodice 8, parte 5 (EN 1998-5; 2003).

La cartografia finale delle aree suscettibili di effetti locali è quindi la sintesi della carta dei depositi e della carta degli elementi morfologici.

Questa carta, riportando solo informazioni qualitative, non è una carta di zonazione sismica; tuttavia, è di estrema utilità per la programmazione territoriale poiché permette l'individuazione dei possibili scenari di pericolosità sismica locale, sia come delimitazione areale che tipo di effetti attesi.

Poiché l'elaborazione proposta si basa esclusivamente su dati esistenti e non prevede l'integrazione di informazioni con nuove indagini, la carta che si ottiene con il metodo proposto è da ritenersi valida a scala territoriale, cioè sovracomunale (1:25.000). Alla scala comunale o urbanistica (1:10.000 o 1:5.000) è possibile che la quantità e la distribuzione dei dati non permettano l'elaborazione automatica di una carta adeguatamente documentata e affidabile e che siano necessarie nuove indagini. In sede di pianificazione urbanistica, dovranno dunque essere eseguiti approfondimenti per la verifica, ad una scala di maggiore dettaglio, della reale presenza ed estensione areale delle condizioni che possono determinare effetti locali.

In particolare, poiché il fenomeno dell'amplificazione dovuta alla presenza di depositi incoerenti interagisce con le opere antropiche di superficie solo in caso di spessori superiori a 5 m, in fase di pianificazione a scala comunale dovranno prioritariamente essere determinati gli spessori delle coperture e la profondità del substrato al fine di escludere le parti del territorio non interessate dal fenomeno.

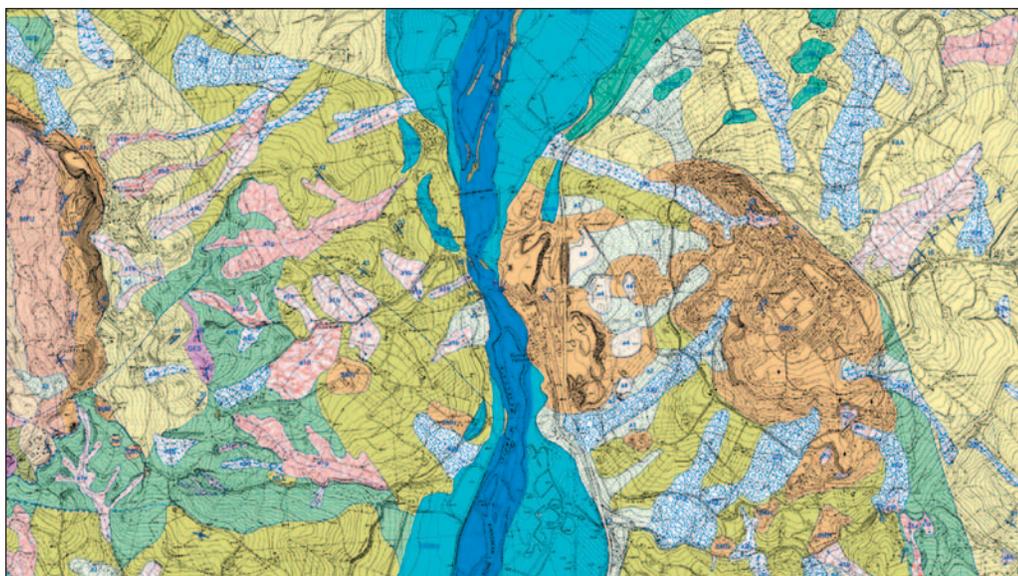


Figura 2 - Esempio di carta geologica 1:10.000 (tratto dalla Carta Geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo alla scala 1:10.000, sez. 267010 Torriana e 267020 Verucchio)

UN ESEMPIO DELLA CARTOGRAFIA PROPOSTA: LA CARTA DEGLI EFFETTI LOCALI DELLA PROVINCIA DI RIMINI

Per meglio illustrare la metodologia proposta, vengono descritte le varie fasi di realizzazione della carta di pericolosità sismica locale realizzata per il quadro conoscitivo del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Rimini.

Dalla carta geologica alla scala 1:10.000 dell'Appennino Emiliano-Romagnolo (fig. 2) è stata realizzata la carta litologica del substrato (fig. 3), mediante raggruppamenti delle unità litostratigrafiche nei seguenti due grandi sistemi litologici:

1. materiale lapideo costituito da un unico tipo non stratificato; materiale lapideo stratificato; alternanze arenitico-pelitiche con rapporto arenite/pelite $\geq 1/5$; marne, argille sovraconsolidate e argilliti;

2. alternanze pelitico-arenitiche con rapporto arenite/pelite $< 1/5$; argille; areniti poco cementate o sabbie; litotipi intensamente fratturati.

La suddivisione dei litotipi del substrato in queste due grandi classi deriva da considerazioni sulle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni appenniniche affioranti nella Provincia di Rimini e dall'analisi sulle velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) disponibili anche per altre zone dell'Appennino emiliano-romagnolo (fig. 4). Tali misure indicano che i litotipi della classe 2 (ad esempio i litotipi plio-pleistocenici prevalentemente argillosi e le sabbie pleistoceniche del margine appenninico-padano) sono spesso caratterizzati da V_s paragonabili a quelle dei depositi di copertura, comprese tra 350 e 600 m/s, e di parecchio inferiori al valore solitamente considerato indicativo di bedrock sismico ($V_s \sim 750 \div 800$ m/s) per profondità talora anche di alcune decine di metri dalla superficie. Perciò, questi litotipi, sebbene appartenenti a suc-

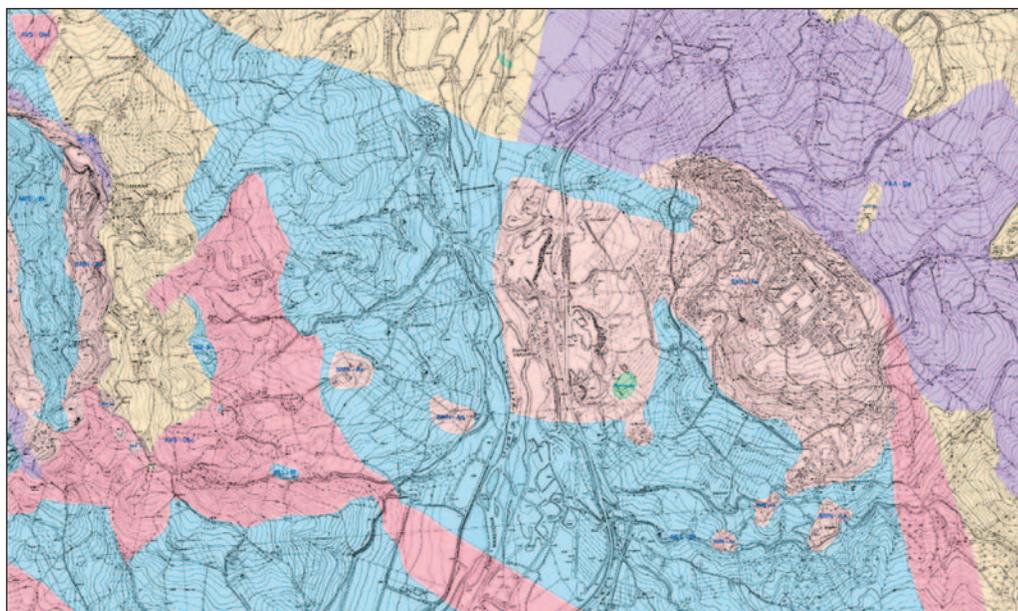


Fig. 3 - Esempio di carta litologica del substrato derivata dalla carta geologica di fig. 2. As: materiale lapideo stratificato; Bl: alternanze livelli lapidei/peliti $L/P \geq 3$; Blp: alternanze livelli lapidei/peliti $3 > L/P \geq 1/3$; Blp: alternanze livelli lapidei/peliti $L/P < 1/3$; Da: argille, argille marnose, argille siltose, con possibili slump pelitici; Dsc: argilliti, argille scagliose.

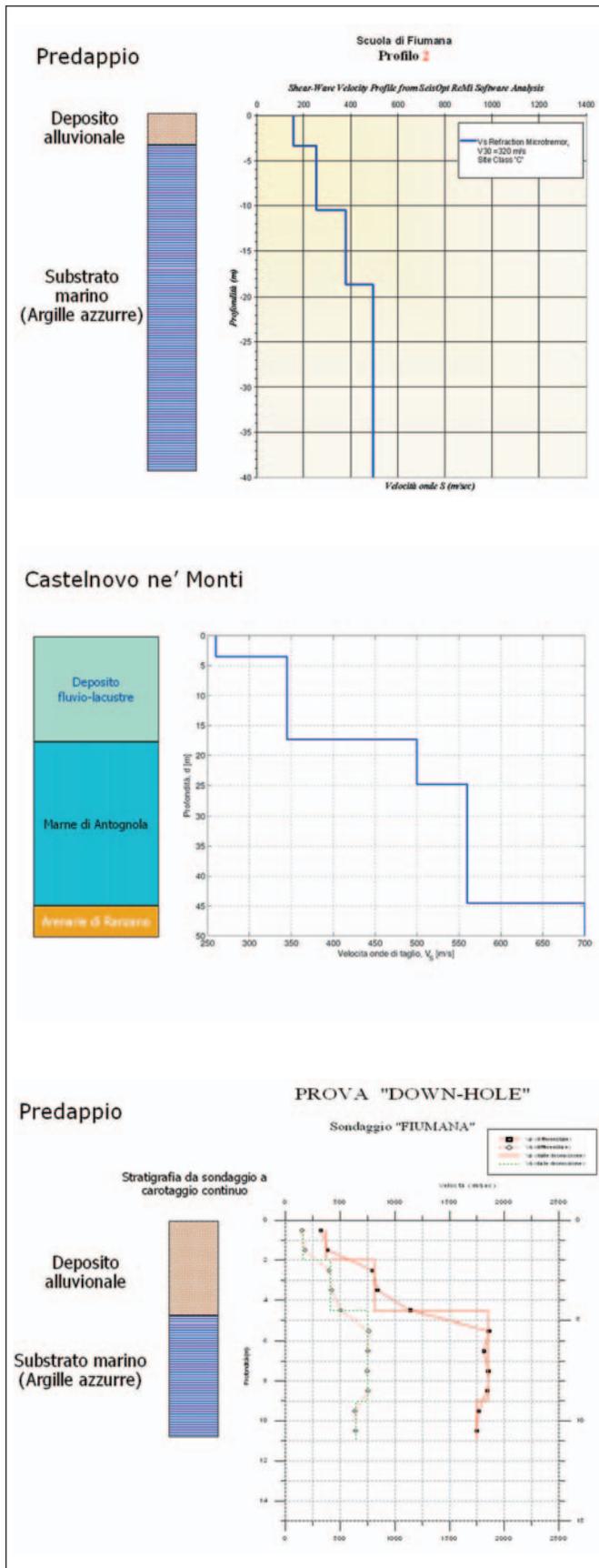


Fig. 4 - Esempi di risultati di prove geofisiche in sito (down-hole e prove di rifrazione dei microtremori) eseguite nell'Appennino emiliano-romagnolo. Si noti la bassa velocità delle onde di taglio (V_s) dei depositi prevalentemente pelitici del substrato.

cessioni appenniniche del substrato, non possono essere considerati terreni che costituiscono il bedrock sismico ma, al contrario, devono essere trattati come depositi che possono causare amplificazione.

Dalla carta geologica 1:10.000 dell'Appennino Emiliano-Romagnolo è derivata anche la carta delle coperture del settore appenninico (fig. 5). Quest'elaborazione è favorita dall'organizzazione della banca dati in diversi livelli informativi, che consente la gestione separata delle informazioni.

I depositi continentali quaternari sono stati raggruppati nelle seguenti 3 grandi classi:

1. frane attive;
2. detriti di versante, comprese le frane non attive;
3. depositi alluvionali.

La distinzione tra frane attive e detriti di versante, sebbene entrambi siano suscettibili di amplificazione e instabilità del pendio, è stata mantenuta per l'evidente maggiore propensione al dissesto dei depositi della classe 1 e perché gli utilizzi del territorio interessato da frane in atto sono generalmente già limitati da apposite norme, indipendentemente dal rischio sismico.

Nel settore della pianura e della costa, per meglio descrivere la pericolosità sismica locale, sono state realizzate una carta dei depositi affioranti e una carta dei depositi sepolti.

La carta dei depositi affioranti deriva dai rilevamenti realizzati per la nuova Carta Geologica d'Italia (fig. 6). I depositi della pianura e della costa sono stati distinti in due grandi classi litologico-ambientali:

1. depositi alluvionali, costituiti da ghiaie, limi sabbiosi e sabbie limose;
2. depositi costieri, costituiti da prevalenti sabbie fini e medie ben classate, di spessore generalmente variabile da 6 a 10 m, con tetto della falda acquifera prossimo alla superficie.

Tali depositi sono tutti suscettibili di amplificazione; la distinzione nelle due classi si è resa necessaria poiché i terreni della classe 2 presentano caratteri predisponenti alla liquefazione. Fonti bibliografiche relative a terremoti storici riportano descrizioni di effetti di liquefazione in provincia di Rimini (Serpieri, 1889; Postpischl, 1985; Galli and Meloni, 1993); inoltre, la propensione alla liquefazione di questi terreni, in alcune aree della costa riminese, è confermata dallo studio realizzato da Cipriani et al. (2000).

Nella carta dei depositi sepolti (fig. 7), realizzata grazie alla banca dati geognostici di sottosuolo disponibile in Regione per tutta la pianura emiliano-romagnola in cui sono raccolte numerose stratigrafie di sondaggi a carotaggio continuo, di pozzi per acqua, di pozzi per ricerca di idrocarburi (cortesia ENI) e di prove penetrometriche (v. anche Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998; Boccaletti et al., 2004; Martelli et al., 2005), sono stati rappresentati i corpi del sottosuolo che potenzialmente possono costituire il bedrock sismico o possono determinare inversioni di V_s . Sono perciò state cartografate le superfici superiori (isobate riferite al livello medio del mare) dei principali corpi ghiaiosi, di spessore > 5 m, e le zone in cui tali depositi sono affioranti.

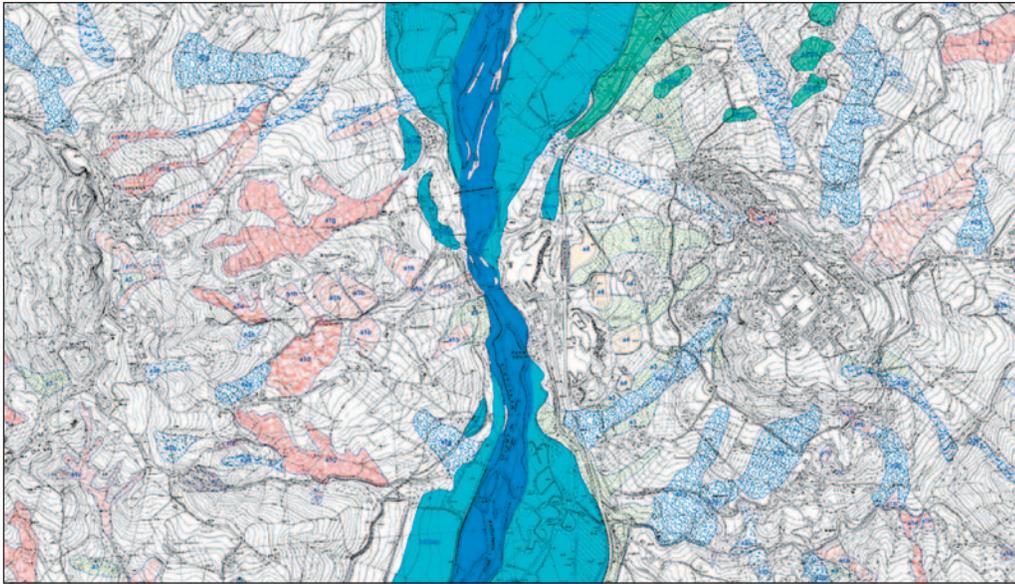


Figura 5 - Esempio di carta delle coperture detritiche derivata dalla carta geologica di fig. 2.
 Depositi di versante - a1: accumuli di frane attive; a2: accumuli di frane quiescenti; a3: detrito di versante s.l.; a4: detrito eluvio-colluviale; a6: detrito di falda.
 Depositi alluvionali - AES7: Subsistema di Villa Verucchio, depositi terrazzati del Pleistocene superiore; AES8: Subsistema di Ravenna, depositi terrazzati dell'Olocene; AES8a: unità di Modena, depositi recenti e attuali

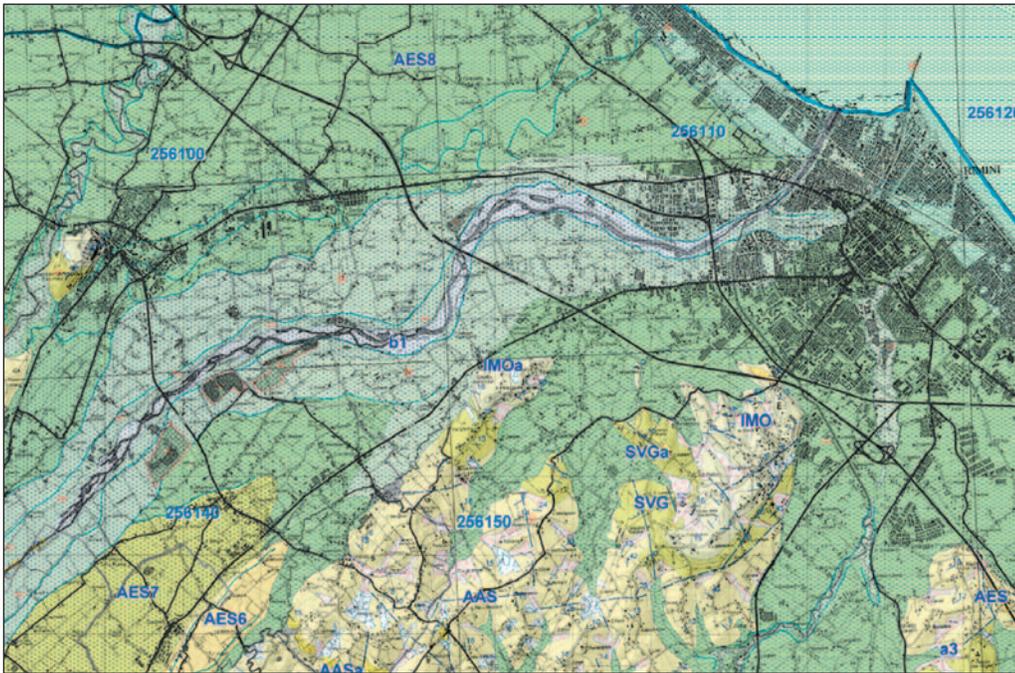


Figura 6 - esempio di carta geologica di pianura (tratto dalla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 256 Rimini)

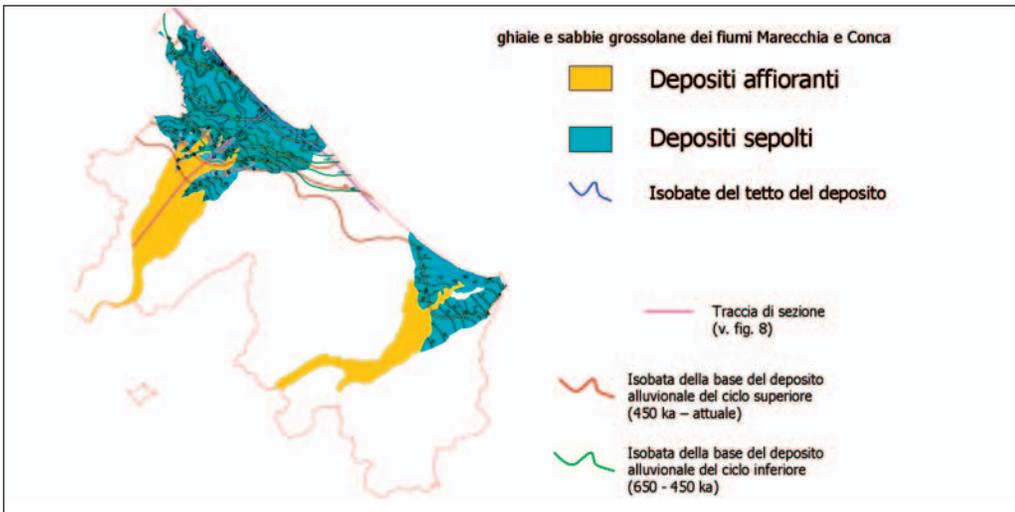


Figura 7 - Carta dei principali corpi ghiaiosi della provincia di Rimini (conoidi del F. Marecchia e del T. Conca); elaborazione dalla Banca Dati Geognostici del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna

Questi corpi appartengono alle conoidi dei fiumi Marecchia e Conca.

Nella carta di sottosuolo, sono state rappresentate anche le isobate delle principali discontinuità stratigrafiche corrispondenti al tetto del ciclo alluvionale inferiore (Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore, 650.000 - 450.000 anni) e al tetto del substrato marino, qui generalmente costituito dalle Sabbie di Imola (800.000 - 650.000 anni) o dalla parte alta delle Argille Azzurre (Pleistocene inferiore).

Per meglio rappresentare la geometria, l'assetto, gli spessori e la stratigrafia dei corpi del sottosuolo padano-adriatico, sono state allegate anche due sezioni geologiche (fig. 8), una orientata NW-SE, lungo la costa tra Cesenatico e Riccione, e una orientata WNW-ESE,

lungo il fiume Marecchia, in cui sono rappresentate anche le verticali indagate con sondaggi e prove penetrometriche.

Per individuare e rappresentare gli elementi morfologici che possono determinare amplificazione è stata realizzata, attraverso un'apposita elaborazione del modello digitale del terreno (in celle di 5 m x 5 m), una carta delle pendenze (fig. 9). Per i criteri di selezione degli elementi morfologici ci si è riferiti alle indicazioni contenute nell'EuroCodice 8, parte 5 (EN 1998-5; 2003) che raccomandano di considerare gli effetti topografici per i pendii maggiori di 15° e con dislivello maggiore di 30 m. Inoltre, secondo alcuni autori è importante evidenziare anche le scarpate con altezza ≥ 10 m (v. ad es.: Di Bucci et al., 2005 e i "Criteri per l'esecuzione degli studi di

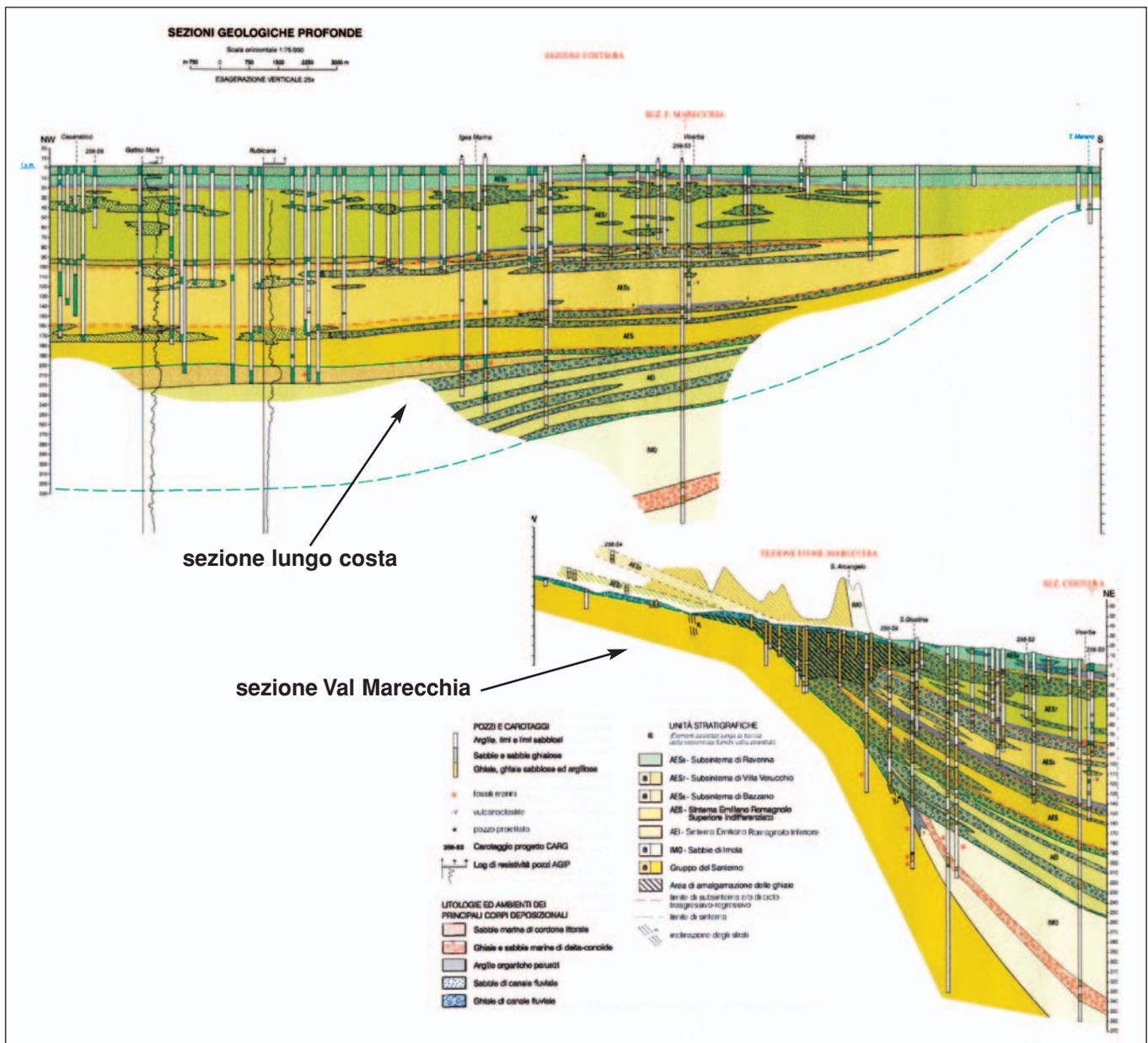


Fig. 8 - sezioni geologiche attraverso la pianura riminese; elaborazione dalla Banca Dati Geognostici del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna

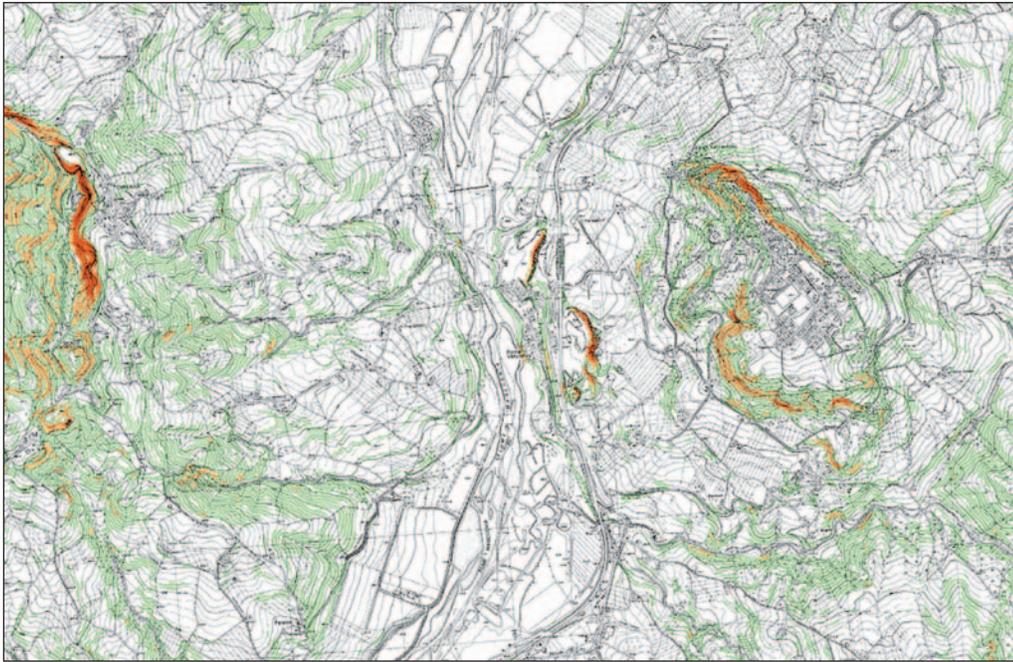


Figura 9 - Esempio di carta delle pendenze derivata da DTM 5 m X 5 m; aree non colorate: acclività $\leq 15^\circ$; aree verdi: acclività compresa tra 15° e 30° ; aree arancioni: acclività compresa tra 30° e 45° ; aree rosse: acclività $\geq 45^\circ$

microzonazione sismica a supporto della redazione degli strumenti urbanistici”, Del. G. R. della Regione Umbria n. 226/2001, Suppl. ord. n. 2, Boll. Uff. Regione Umbria n. 16, 4/4/2001).

Sono state così evidenziate, su base CTR 1:5.000, le aree con acclività $> 15^\circ$, suddividendole in 3 classi di pendenza: 1) aree con acclività compresa tra 15° e 30° , 2) aree con acclività compresa tra 30° e 45° e 3) aree con acclività $\geq 45^\circ$. È così possibile evidenziare,

oltre ai versanti con pendenze maggiori di 15° , le creste e i picchi con acclività dei pendii $\geq 30^\circ$ e altezza ≥ 30 m e le scarpate, qui intese come versanti con acclività $\geq 45^\circ$.

Dalla sintesi delle carte di analisi sopra descritte è derivata la cartografia finale, alla scala 1:25.000, delle aree suscettibili di effetti locali (fig. 10).

Nella legenda, oltre alla sintetica descrizione degli elementi distinti, sono indicati anche gli effetti attesi

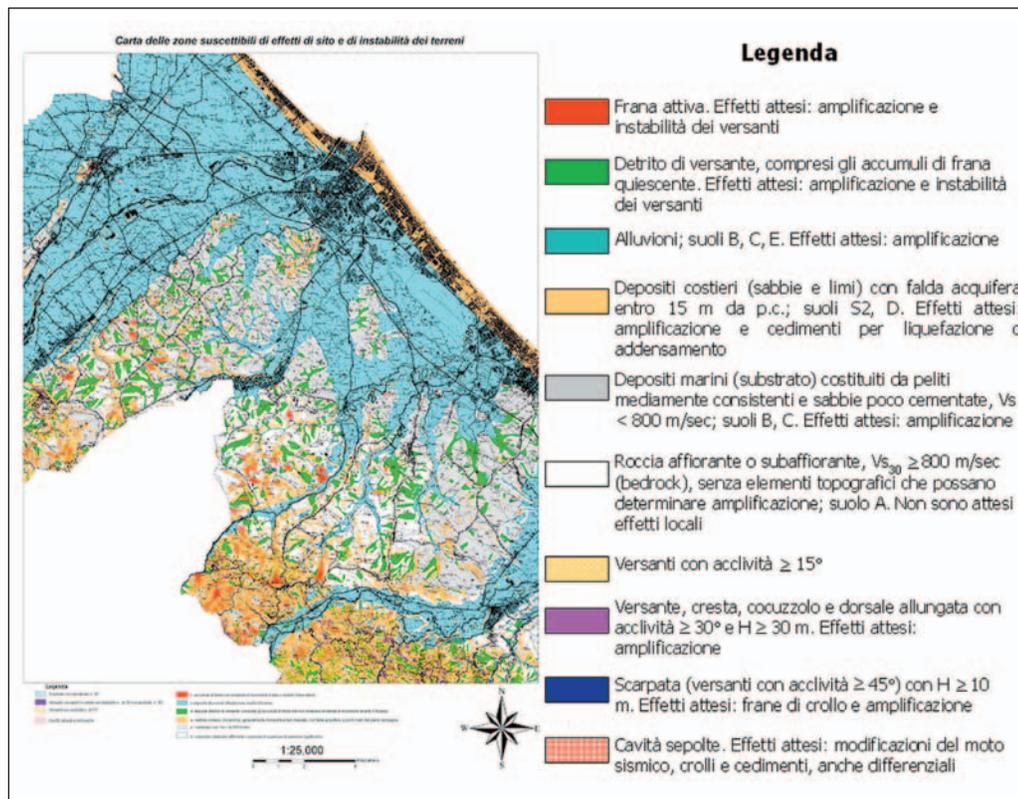


Figura 10 - Esempio di cartografia delle aree soggette ad effetti locali (da Quadro Conoscitivo per il PTCP di Rimini)

e le possibili categorie di suolo, secondo la classificazione prevista dal D.M. 14/09/2005 e dall'EuroCodice 8, parte 1 (EN 1998-1; 2003). La correlazione tra le aree cartografate e le categorie di suolo previste nelle normative vigenti è stata possibile, oltre che sulla base di considerazioni litologiche, anche grazie alla disponibilità di prove geofisiche e geotecniche.

Più in dettaglio le caratteristiche degli elementi cartografati sono le seguenti.

Con il colore verde sono indicati tutti i depositi detritici di versante, compresi gli accumuli di frana che non mostrano evidenze di movimenti recenti. In queste aree, suscettibili di amplificazione (possibili categorie di suolo B, C, D e S₁), in caso di forti scosse si possono verificare anche fenomeni di instabilità dei versanti; in esse, pertanto, dovranno essere valutati, oltre al potenziale di amplificazione, anche la stabilità dei pendii, tenendo conto delle possibili sollecitazioni sismiche.

Con il colore rosso sono indicati gli accumuli di frana con evidenze di movimenti in atto o recenti (frane attive). Come già anticipato, la distinzione degli accumuli di frane attive dagli altri depositi di versante si è resa necessaria per la maggiore suscettibilità al dissesto dei primi, condizione di criticità che può essere ulteriormente aggravata dalle scosse sismiche. In queste aree gli utilizzi del territorio sono in genere già limitati da specifiche norme che non consentono la realizzazione di nuove costruzioni e infrastrutture; nel caso di eventuali interventi di consolidamento e messa in sicurezza di edifici esistenti, anche in questo caso le indagini e gli studi dovranno valutare, oltre all'amplificazione, anche le condizioni di stabilità dei versanti, tenendo conto delle sollecitazioni sismiche.

Con il colore azzurro sono indicati tutti i depositi alluvionali, sia quelli di fondovalle e terrazzati del settore appenninico, sia quelli di pianura. Tutte queste aree sono potenzialmente soggette ad amplificazione (possibili categorie di suolo B, C, D, E e S₁).

Con il colore marrone chiaro sono indicate le aree in cui sono presenti, nei primi 10 m dal p.c., depositi costieri, prevalentemente sabbiosi, generalmente incoerenti e ben classati, con il livello della falda prossimo alla superficie. La concomitanza di sabbie incoerenti e ben classate nei primi 20 m dal p.c. e della falda acquifera a profondità inferiore a 15 m dal p.c. costituiscono caratteri predisponenti al verificarsi del fenomeno della liquefazione in caso di forti scosse sismiche (magnitudo uguale o maggiore di 5). Queste aree presentano dunque i caratteri del profilo stratigrafico corrispondente alla categoria di suolo S₂; in queste zone, pertanto, dovranno essere valutati, oltre all'amplificazione, anche il potenziale di liquefazione e gli eventuali cedimenti.

Con il colore grigio sono indicate quelle zone in cui

il terreno di fondazione è costituito da terreni riferibili al substrato marino con caratteristiche litologiche e meccaniche (argille mediamente e poco consolidate, sabbie poco cementate) tali da lasciare ipotizzare $V_s < 750 \div 800$ m/sec anche a profondità di alcune decine di metri e perciò potenzialmente soggette ad amplificazione. Queste aree possono essere caratterizzate da profili stratigrafici corrispondenti alle categorie di suolo B e C. Di conseguenza in queste zone, in fase di pianificazione urbanistica comunale, dovranno essere realizzate soprattutto indagini per la valutazione di V_s e, nel caso risultasse $V_s < 750 \div 800$ m/s, dovranno essere realizzati i necessari studi per la valutazione della risposta sismica locale.

Le aree bianche indicano le zone in cui il terreno di fondazione è costituito da roccia affiorante o subaffiorante, cioè a profondità minore di 5 m, con V_s indicativamente $> 750 \div 800$ m/s. Queste aree possono quindi essere considerate bedrock sismico affiorante; inoltre non presentano elementi topografici che possano determinare amplificazione. Questi terreni sono quindi caratterizzati da un profilo stratigrafico corrispondente alla categoria di suolo A e in queste aree non sono attesi effetti di sito.

Le aree soggette ad effetti locali per cause topografiche evidenziate sono le seguenti.

Con il retinato diagonale giallo sono indicati i versanti con acclività $>$ di 15° .

Con il colore viola sono indicati i versanti, le creste, i cocuzzoli e le dorsali allungate con acclività $\geq 30^\circ$ e dislivello ≥ 30 m.

Con il colore blu sono indicate le scarpate (acclività $\geq 45^\circ$) con altezza ≥ 10 m.

Sono state segnalate anche le aree interessate da cavità sotterranee (retinato rosso), sia di origine antropica che naturale, poiché tali cavità possono modificare il moto sismico in superficie e causare crolli o cedimenti, anche differenziali.

Successivamente alla realizzazione di questa carta sono state realizzate, anche per altri progetti, nuove indagini geofisiche in sito (down-hole e prove penetrometriche con cono sismico) che hanno permesso l'acquisizione di altri dati di V_s e, in alcuni casi, anche di V_{s30} (velocità media dei primi 30 m di profondità dal piano di posa delle fondazioni), parametro che permette la classificazione dei terreni come previsto dall'EuroCodice 8, parte 1 (EN 1998-5, 2003), e dal D.M. 14/9/2005. Alcuni esempi di queste prove sono rappresentati in figura 11.

Questi nuovi dati hanno confermato le correlazioni tra le aree cartografate e le categorie di suolo ipotizzate in legenda.

Nelle zone pedemontane, dove prevalgono le ghiaie delle conoidi e dei terrazzi dei fiumi Marecchia e

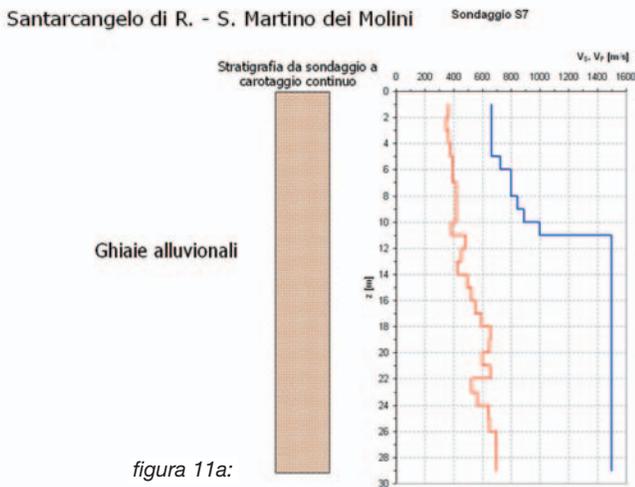


Figura 11 - esempi di risultati di prove geofisiche in sito (down-hole e prove penetrometriche statiche con cono sismico) eseguite nella provincia di Rimini;

figura 11a: Prova down-hole eseguita su un terrazzo del F. Marecchia;

figura. 11b: prove SCPT eseguite lungo la costa;

figura 11c: prove down-hole che attraversano il substrato dei depositi di copertura; anche in questo caso si noti la bassa velocità delle onde di taglio (V_s) del substrato marino plio-pleistocenico (cfr. fig. 4)

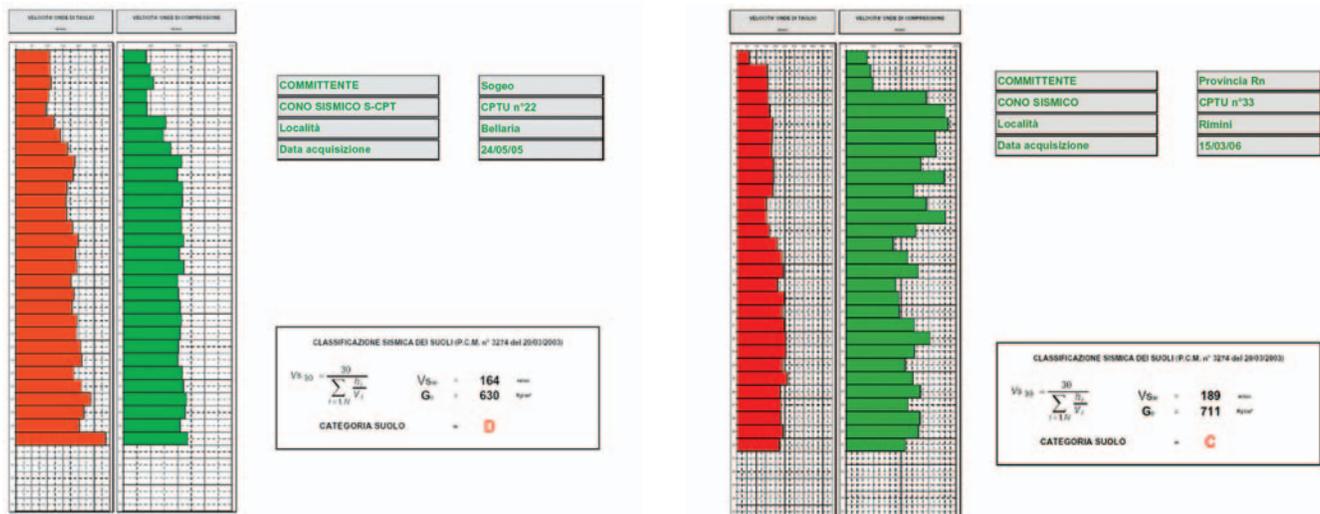


figura 11b

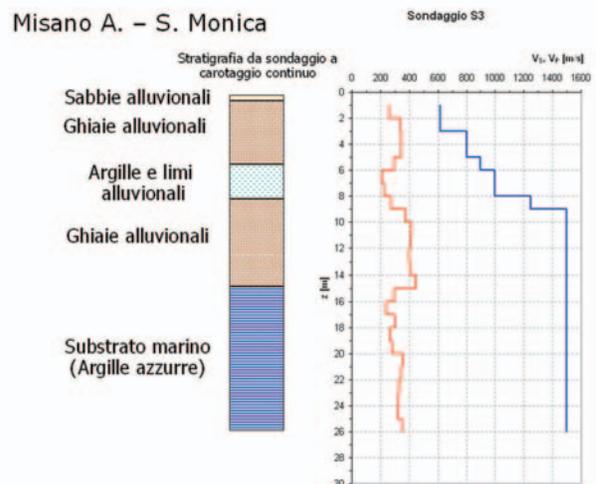
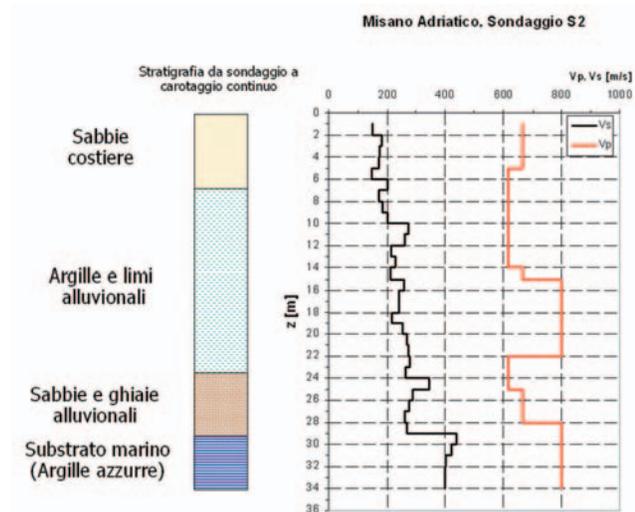


figura 11c

Conca, la V_{s30} risulta compresa tra 360 e 800 m/s e perciò i profili stratigrafici dei terreni indagati appartengono alla categoria di suolo B (Fig. 11a). Lungo la costa, al di sotto dell'orizzonte di sabbie co-

stiere di spessore mediamente compreso tra 6 e 10 m, prevalgono invece i depositi alluvionali fini, prevalentemente costituiti da limi argillosi e limi sabbiosi con intercalazioni di sabbie. Le prove disponibili indi-

cano valori di V_{s30} compresi tra 160 m/s e 200 m/s, indicativi di profili stratigrafici appartenenti alle categorie di suolo C ($180 \text{ m/s} < V_{s30} < 360 \text{ m/s}$), D ($V_{s30} < 180 \text{ m/s}$) ed S_2 (Fig. 11b).

Alcuni sondaggi hanno oltrepassato la coltre alluvionale e perforato per alcuni metri il substrato pre-alluvionale, permettendo così di ottenere profili di V_s anche relativi alla porzione di tetto delle successioni marine. A conferma di quanto anticipato, i depositi tardomiocenici e quelli plio-pleistocenici del margine, prevalentemente costituiti da argille marnose e arenarie poco cementate, sono caratterizzati da V_s generalmente comprese tra 360 m/s e 800 m/s, anche per parecchi metri (Fig. 11c); di conseguenza, è confermato che anche i terreni plio-pleistocenici del margine appenninico padano-adriatico risultano potenzialmente soggetti ad amplificazione.

CONCLUSIONI

La conoscenza delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio permette di elaborare cartografie delle aree a maggiore pericolosità sismica locale, cioè di quelle zone in cui sono presenti elementi del territorio che possono determinare effetti locali.

L'organizzazione ed elaborazione tramite GIS dei dati geologici di base e morfologici consente la realizzazione di queste mappe a scala territoriale in tempi rapidi e a costi contenuti.

Questa zonazione del territorio, sebbene a scala territoriale e non quantitativa, è fondamentale per un'efficace strategia di riduzione del rischio sismico, soprattutto se impiegata fino dalle prime fasi della programmazione territoriale e della pianificazione urbanistica, cioè come parte dei quadri conoscitivi dei Piani Territoriali di Coordinamento Provinciali e dei Piani Strutturali Comunali. Tale documentazione rappresenta dunque un prezioso strumento per una migliore politica di governo e gestione del territorio che compete alle Amministrazioni Locali.

La cartografia delle aree suscettibili di effetti locali a scala provinciale può, a nostro avviso, migliorare anche l'elaborazione degli scenari di danno per la pianificazione dell'emergenza (piani di Protezione Civile), in quanto permette di considerare la distribuzione degli effetti tenendo conto anche delle caratteristiche fisiche del territorio ad una scala adeguata.

Considerate le tecniche speditive di analisi ed elaborazione dei dati e la scala di questo tipo di cartografia, nelle successive fasi di pianificazione di maggiore dettaglio, a scala comunale, sono necessarie indagini per la verifica delle informazioni e delle indicazioni fornite.

Lavori citati

- BOCCALETTI M., BONINI M., CORTI G., GASPERINI P., MARTELLI L., PICCARDI L., TANINI C. AND VANNUCCI G.; 2004: *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000*. Regione Emilia-Romagna, SGSS - CNR, IGG, Firenze. S.EL.CA., Firenze.
- CIPRIANI S., CREPELLANI T., PIERUCCI D., MADIÀ C., VANNUCCHI G., MARCELLINI A., MARTELLI L. AND FRASSINETI G.; 2000: *Carta del rischio di liquefazione in un'area ricca di beni storico-culturali: la costiera romagnola*. In: Lollino G. (ed), *Convegno GeoBen 2000*, Torino, CNR-GNDICI, pubbl. n. 2133, pp. 61-71.
- DI BUCCI D., NASO G., MARCUCCI S., MILANA G. AND SANÒ T.; 2005: *A methodology to account for local geology at large scale in the SHA approach through numerical modelling of theoretical geological setting*. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, Vol. 46, n. 1, 3-13.
- D.M. 14/9/2005: *Norme Tecniche per le Costruzioni*. G. U. n. 222, 23/9/2005, Suppl. Ord. n. 159.
- EN 1998-1; 2003: *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. CEN, European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium. January 2003, Draft No 6.
- EN 1998-5; 2003: *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects*. CEN, European Committee for Standardization, Bruxelles, Belgium. December 2003, Final Draft.
- GALLI P. AND MELONI F.; 1993: *Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia*. *Il Quaternario*, 6 (2), 271-292.
- MARTELLI L., SEVERI P. AND ROVERI M.; 2005: *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio n. 256 Rimini*. APAT, Difesa del Suolo-SGI - Regione Emilia-Romagna, SGSS. S.EL.CA., Firenze.
- OPCM 3274; 2003: *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"*. G. U. n. 155, 8/5/2003, Suppl. Ord. n. 72.
- POSTPISCHL D. (ed); 1985: *Atlas of the isoseismal maps of the Italian earthquakes*. CNR-PFG, Quad. "La ricerca scientifica", 114, 2A, Bologna.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA & ENI-AGIP; 1998: *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G.M. Di Dio. S.EL.CA., Firenze, 120 pp.
- SALVADOR A.; 1994: *International Stratigraphic Guide. Second Edition*. ISSC of IUGS International Commission of Stratigraphy. IUGS and Geol. Soc. of Am. Inc., 214 pp.
- SERPIERI A.; 1889: *Scritti di sismologia, Parte II, I terremoti del 18 marzo 1875 e del 28 Luglio 1883*. Tipografia Editrice Calasanziana, Firenze.