



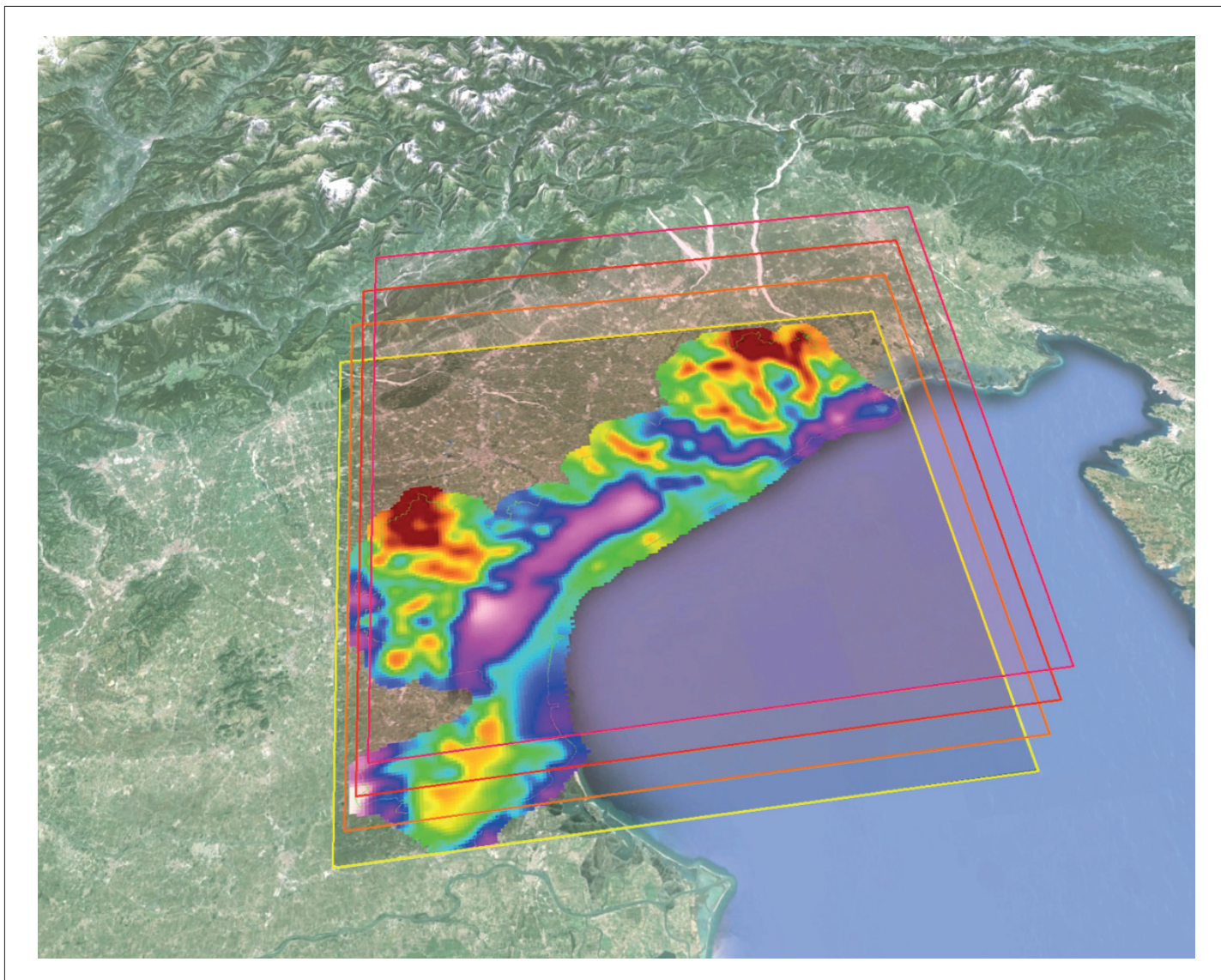
PROVINCIA
DI VENEZIA



ISTITUTO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA
E DI GEOFISICA SPERIMENTALE

ZONAZIONE GEO-SISMICA DELLA PROVINCIA DI VENEZIA

Sintesi divulgativa



PRESIDENTE

Francesca Zaccariotto

ASSESSORE alla Difesa del Suolo e
Tutela del Territorio

Paolo Dalla Vecchia

ASSESSORE alla Protezione Civile

Giuseppe Canali

DIRIGENTE Servizio Geologico, Difesa del Suolo e
Tutela del Territorio

Massimo Gattolin

RESPONSABILE DEL PROGETTO

Valentina Bassan¹

PUBBLICAZIONE SINTESI DIVULGATIVA

a cura di **Roberto Francese², Valentina Bassan¹**

¹. *Provincia di Venezia – Servizio Geologico, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio*

². *Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) – Sezione di Ricerca GEO*

³. *Università di Padova – Dipartimento di Geoscienze*

**ISTITUTO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA E DI
GEOFISICA SPERIMENTALE (OGS)**

DIRETTORE SEZIONE GEO

Angelo Camerlenghi

RESPONSABILE SCIENTIFICO

Roberto Francese²

REDATTORI DELLO STUDIO

**Roberto Francese², Massimo Giorgi² e
Aldino Bondesan³**

Lo studio che ho il piacere di introdurre riguarda una prima zonazione sismica, su scala provinciale, del territorio di Venezia.

Quanto accaduto due anni fa in Emilia Romagna e in Veneto, in provincia di Rovigo, ha evidenziato la necessità di valutare i potenziali effetti di sismi, anche di modesta entità, in quei territori dove la pericolosità sismica non è particolarmente elevata.

Per la redazione dello studio, di cui qui viene proposta una sintesi divulgativa, la Provincia di Venezia si è avvalsa della preziosa competenza dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste, il quale, per la parte geologica dello studio ha collaborato anche con l'Università di Padova. Dal canto suo la Provincia ha messo a disposizione le banche dati geologiche ed i risultati di diversi studi, a tema geologico, condotti negli ultimi anni. Si tratta di una scelta, quella di condividere il know how di enti di ricerca ed enti pubblici, che riteniamo vincente e che ha lo scopo di migliorare i processi organizzativo-decisionali e nel contempo di ottimizzare le risorse.

Lo studio vuole essere uno strumento conoscitivo di base, a scala provinciale, a supporto innanzitutto della pianificazione provinciale di protezione civile e urbanistica, ma anche dei Comuni, fornendo loro un quadro di riferimento per tutte le eventuali iniziative specifiche, e di aggiornamento dei Piani di Protezione Civile.

Credo che con questo studio la Provincia di Venezia, che ho l'onore di rappresentare, abbia introdotto un nuovo importante tassello per il completamento dell'articolato mosaico che compone il quadro delle conoscenze del suolo e del sottosuolo e del territorio veneziano.

FRANCESCA ZACCARIOTTO

Presidente della Provincia di Venezia

Introduzione

La classificazione sismica nazionale (redatta dall'INGV nel 2003), nella Provincia di Venezia, inserisce 24 comuni in classe 3 per una superficie di circa 900 kmq e 20 comuni in classe 4 per una superficie approssimativa di 1600 kmq. Si tratta quindi di un territorio nel quale il rischio non è molto elevato, ma merita certamente un approfondimento conoscitivo.

Le analogie geologiche e fisiche del territorio veneziano con quello dell'Emilia Romagna, interessato dai disastri dovuti ai sismi del maggio 2012, inducono in via cautelativa a prevedere degli approfondimenti conoscitivi, qui condotti a scala provinciale, dei potenziali effetti causati da sismi anche con epicentri lontani.

Tale attività si inserisce nelle competenze attribuite alle Province dall'art. 19, punto a) del D.Lgs 267/2000, di tutela e valorizzazione dell'ambiente e di prevenzione delle calamità, per le quali la Giunta della Provincia di Venezia prevede da anni lo svolgimento di attività conoscitive e di approfondimento tecnico a supporto delle decisioni dell'Ente e dei portatori d'interessi, affidandola al Servizio Geologia, Difesa del Suolo e Tutela del Territorio.

Il rischio sismico è oggetto di valutazione nell'ambito dei piani di protezione civile a varie scale. Quello provinciale è stato fondante nella redazione del PTCP, dove esso è stato introdotto nella carta dei vincoli.

Lo studio, di cui qui viene proposta una sintesi divulgativa, si pone principalmente come base conoscitiva a supporto dei Comuni, che ne terranno conto nei loro piani di protezione civile, i quali costituiscono elementi vincolanti di analisi per la predisposizione e l'aggiornamento della pianificazione urbanistica comunale, ai sensi dell'art. 109, punto 2, della L.R. 11/2001.

I risultati dello studio non possono invece essere esaustivi a scala locale, per la quale occorrono indagini ed approfondimenti specifici, alla scala di progetto; sono però certamente importanti per contestualizzare gli studi sismici necessari alla progettazione di opere ed edifici.

PAOLO DALLA VECCHIA
Assessore alla Difesa del Suolo

GIUSEPPE CANALI
Assessore alla Protezione Civile

INQUADRAMENTO E SISMICITA' DEL VENEZIANO

La provincia di Venezia occupa un'area dell'estensione approssimativa di 2500 kmq dei quali circa 2000 kmq sono rappresentati da territorio di pianura e circa 500 kmq da superficie lagunare. Lo studio ha coperto tutto il territorio che risulta costituito dai complessi deposizionali delle aste fluviali principali e cioè dei fiumi Adige, Brenta, Sile, Piave, Livenza e Tagliamento oltreché di una serie di piccoli fiumi minori che sfociano direttamente nell'Alto Mare Adriatico.

L'Italia nord-orientale (**Figura 1**) ed in particolare la zona veneto-friulana sono state storicamente colpite da numerosi terremoti particolarmente distruttivi con una maggiore frequenza nella fascia pedemontana (Verona, Vicenza, Gemona e Cividale) e prealpina (Belluno e Tramonti). In termini di terremoti significativi gli eventi di maggiore ampiezza si sono verificati in epo-

ca storica mentre la sismicità strumentale misurata a partire dall'entrata in operatività della rete OGS è risultata piuttosto bassa.

La sismicità nella fascia di media e bassa pianura ed in quella dei settori alpini risulta decisamente modesta. Altre zone attive sono la fascia di confine con la regione della Carinzia (Austria) e soprattutto la zona di confine con la Slovenia.

La maggior parte dei terremoti principali si sono verificati diversi secoli or sono e pertanto sia la localizzazione che l'intensità sono piuttosto incerti come ad esempio nel caso del terremoto del 1117 che una localizzazione non del tutto soddisfacente colloca nel Veronese. La parametrizzazione dei sismi è più precisa per alcuni di epoca storica quali i terremoti dell'Alpago (1873) e del Cansiglio (1936) in Veneto e di Tolmezzo (1926). Quello di Gemona (1976) in Friuli è stato misurato dalla rete.

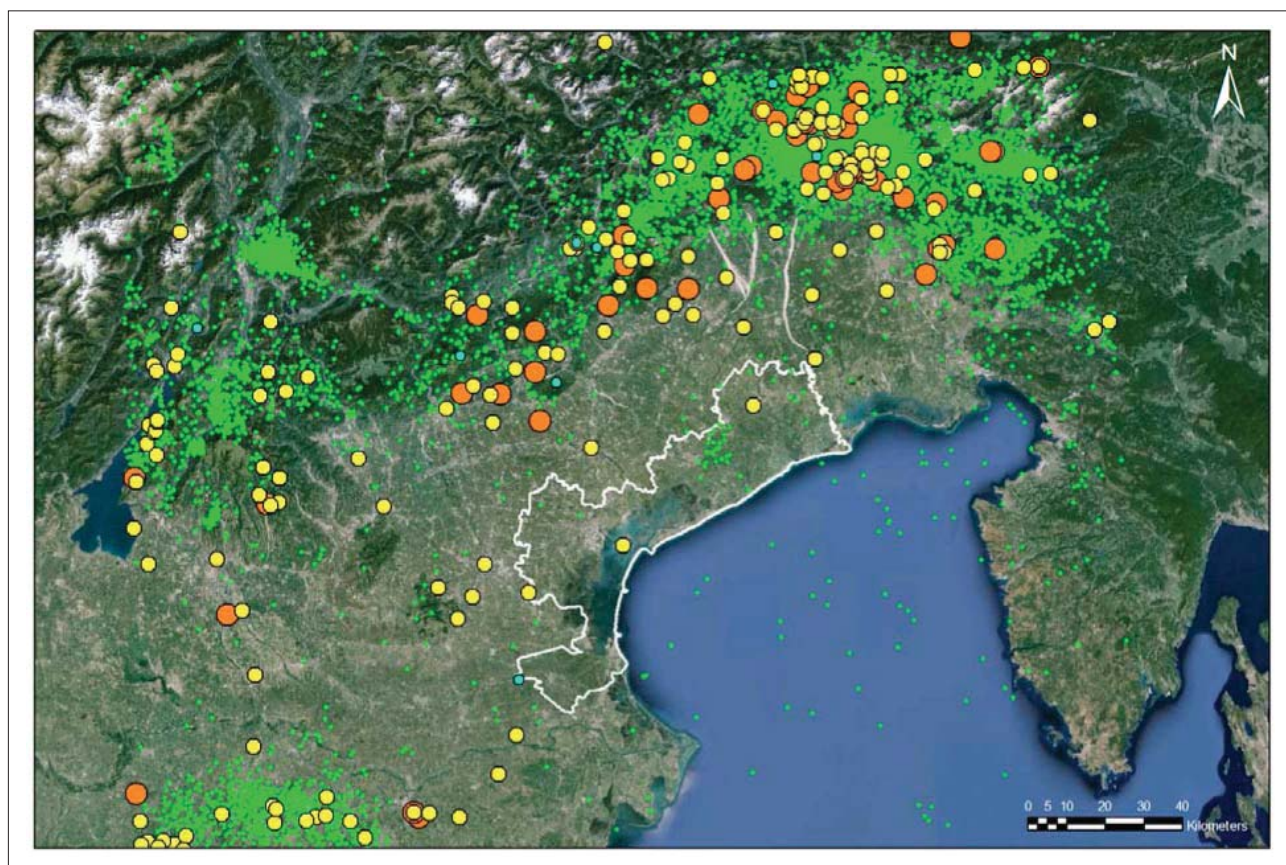


Figura 1. Terremoti storici e strumentali che hanno interessato l'Italia nord-orientale. I cerchi rossi rappresentano i sismi con magnitudo (M) superiore a 5 mentre i cerchi verdi indicano i terremoti strumentali ($M < 3$). Fonti INGV ed OGS. Mappa aggiornata al 2011.

Dal 2003 sono in essere i nuovi criteri di classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata magnitudo.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del

20 marzo 2003 detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei comuni (**Figura 2**) con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone, a pericolosità decrescente, nelle quali è stato riclassificato il territorio nazionale.

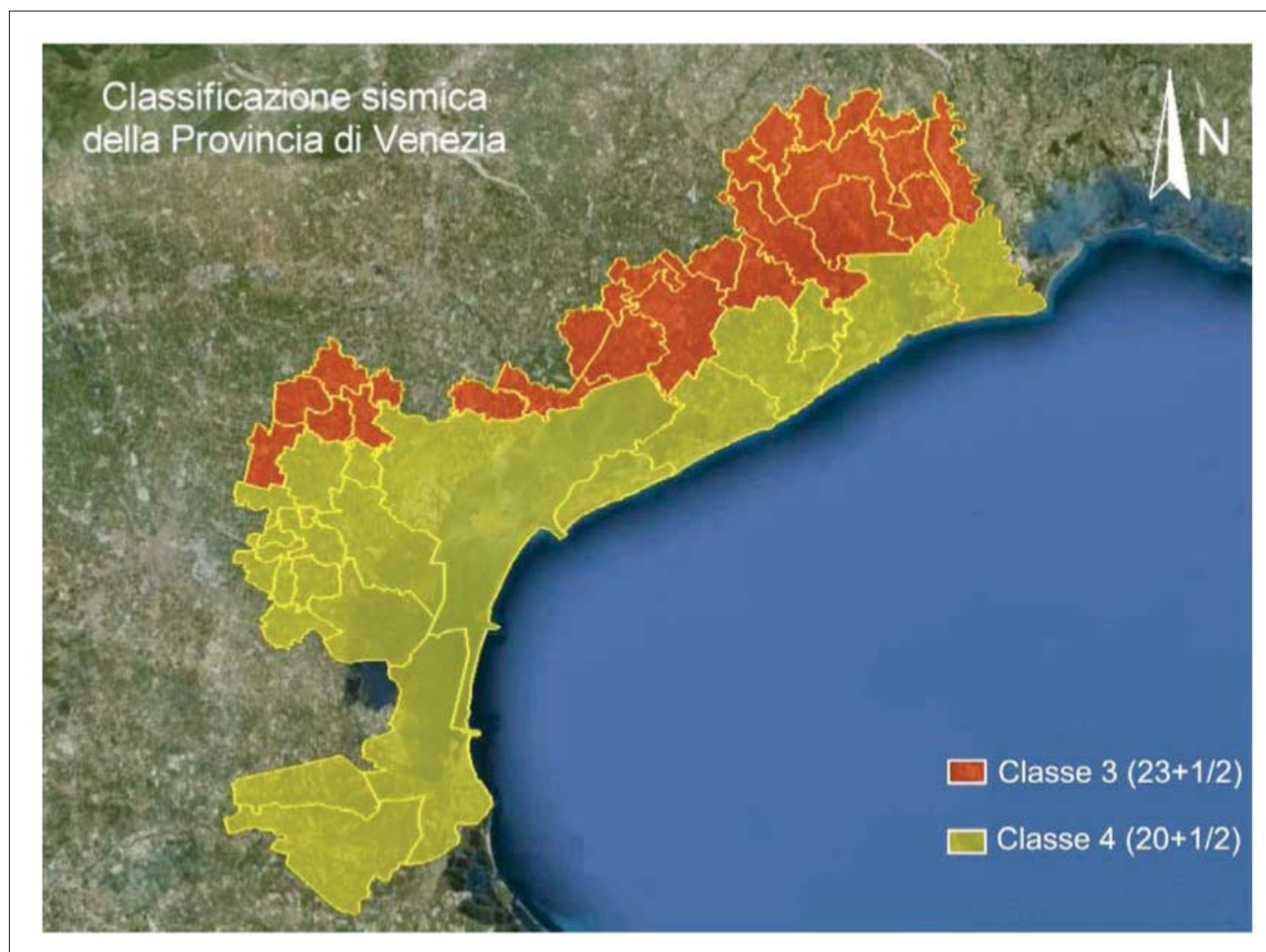


Figura 2.
Classificazione sismica dei comuni del territorio provinciale (INGV, 2003).

PERICOLOSITA' SISMICA

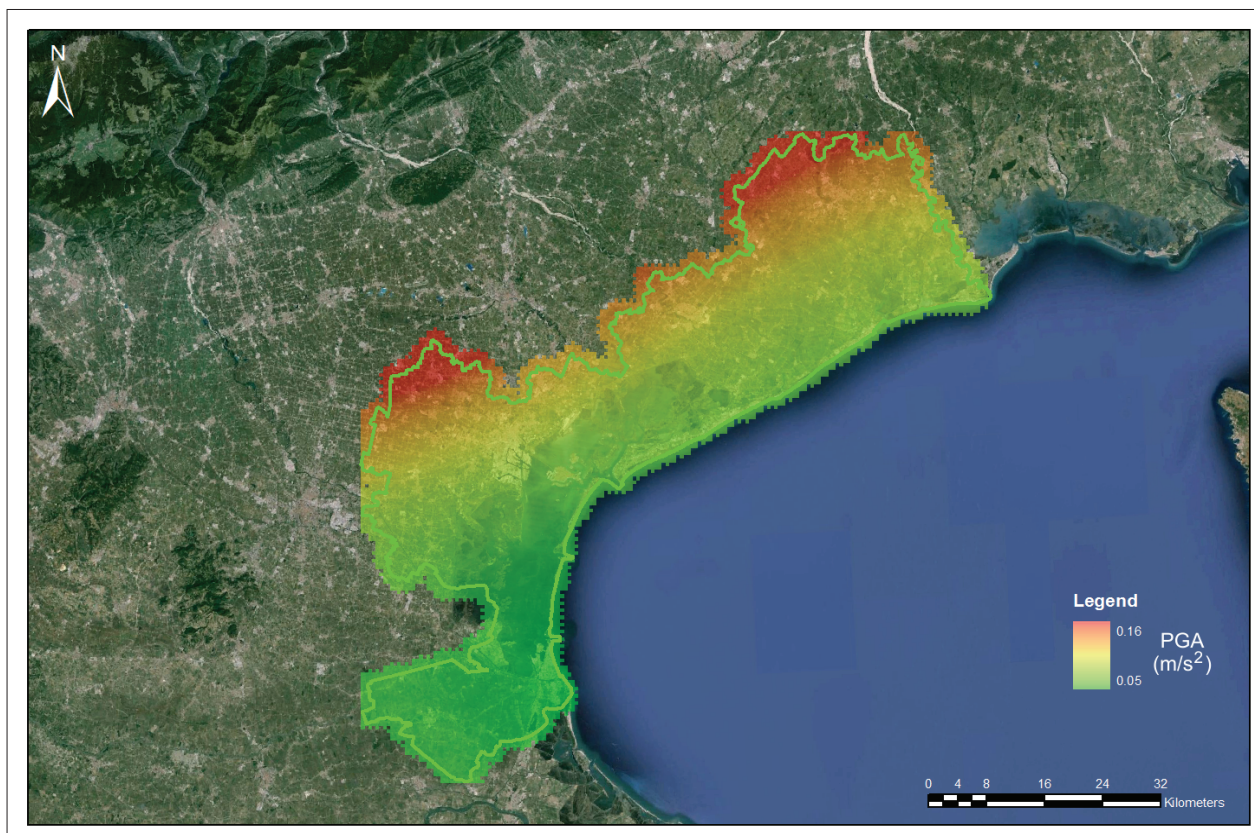


Figura3.
Mappa di pericolosità sismica della Provincia di Venezia con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% (rielaborata da dati INGV).

La zonazione sismica rappresenta uno strumento pianificatorio di primo livello in quanto consente di suddividere il territorio in aree simili in termini di effetto atteso in caso di terremoto.

La zonazione si articola in una pericolosità di base ed in una pericolosità locale ed al lato strettamente pratico risulta dalla combinazione di questi due aspetti.

La **pericolosità di base** è un fattore determinato per tutto il territorio nazionale (**Figura 3**) sulla base dell'analisi dell'intensità dei terremoti storici e di quelli misurati mediante la rete sismica. Questa pericolosità è espressa in termini di massima accelerazione al suolo (a_g o PGA) in funzione di una probabilità di superamento e quindi di un determinato periodo di ritorno dell'evento.

La **pericolosità locale** dipende da specifiche condizioni geologiche

di sito che possono determinare modificazioni significative in termini di ampiezza e di modo di vibrazione del treno d'onde che scuote la superficie del suolo durante un sisma.

La pericolosità locale cominciò ad essere studiata dopo il terremoto del Messico del 1985 quando la comunità scientifica si rese conto che gli effetti maggiori si verificarono a circa 350 km dall'epicentro proprio a Città del Messico, dove la scossa ebbe durata ed ampiezza devastante e provocò il collasso di centinaia di edifici ed il danneggiamento di migliaia di strutture. In quel caso era successo che, a causa della presenza in superficie di uno strato di sedimenti soffici (l'area storicamente era occupata da un lago), le onde sismiche erano state fortemente amplificate per un fenomeno di risonanza all'interno di questo strato poco coerente.

Come noto le onde più distruttive durante un terremoto sono le onde di taglio (Figura 4), in quanto la loro azione determina la traslazione relativa di travi e pilastri o dei muri portanti favorendo il collasso dell'edificio. Un tipico caso di amplificazione (non è comunque l'unico) si verifica quando uno strato superficiale incoerente (di caratteristiche meccaniche scadenti) poggia su uno strato rigido (con buone caratteristiche meccaniche). L'onda sismica rimane intrappolata nello strato incoerente (Figura 5), che entra in risonanza determinando l'amplificazione del moto del suolo nella componente di taglio (onda S o trasversale). L'effetto sugli edifici può essere anche maggiore quando si verifica il fenomeno della doppia risonanza

e cioè la frequenza di risonanza del suolo (che è grosso modo pari a "velocità delle onde di taglio / 4 volte lo spessore dello strato risonante" è molto prossima a quella tipica dell'edificio (che in prima approssimazione si può stimare in $10/\text{numero dei piani Hz}$).

In Italia la pericolosità locale, seppur nota da tempo negli ambienti scientifici ed anche in quelli istituzionali, ha cominciato ad essere considerata solo recentemente e gli indirizzi e criteri per la microzonazione sono stati pubblicati nel 2008. Gli studi sul territorio hanno avuto un forte impulso dopo i recenti terremoti dell'Abruzzo e dell'Emilia-Romagna, che hanno evidenziato come molti dei danni siano stati determinati da particolari condizioni geologiche locali quali l'amplificazione (Figura 5) e la liquefazione dei depositi sabbiosi (Figura 6).

La liquefazione è un fenomeno che interessa i materiali granulari che, qualora saturi e messi in vibrazione, possono perdere temporaneamente la resistenza al taglio e comportarsi in modo analogo a quello di un fluido.

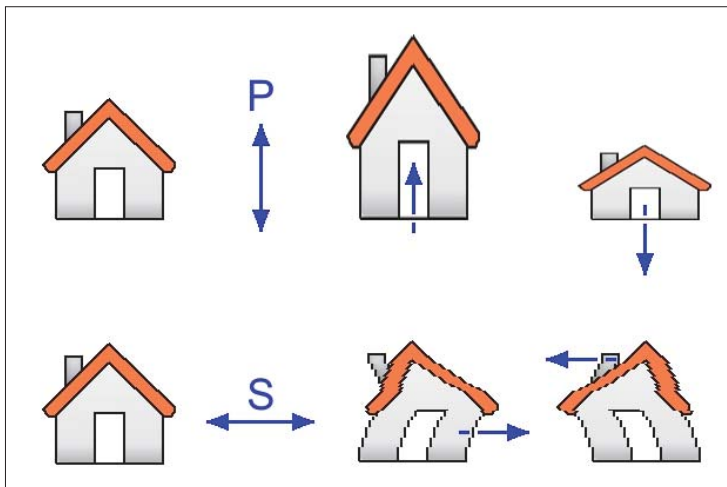


Figura 4. Modalità di oscillazione di un edificio al passaggio di un'onda di pressione (onda P) sopra e di un'onda di taglio (onda S) sotto.

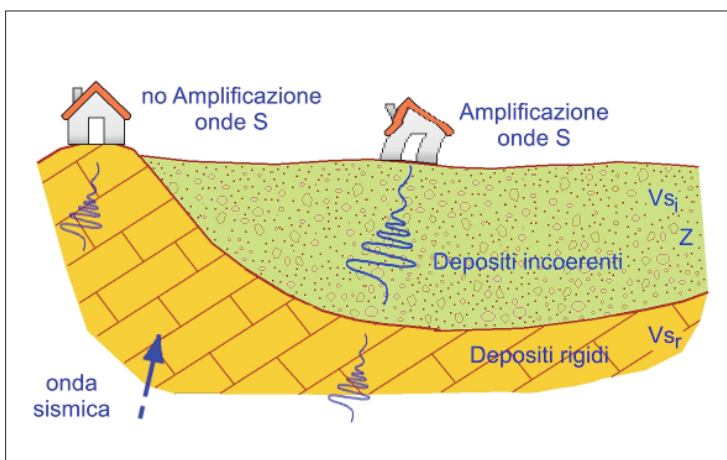


Figura 5. Fenomeno di amplificazione dell'onda di taglio (S) in presenza di depositi superficiali con caratteristiche scadenti giacenti su depositi rigidi. Z è lo spessore dello strato incoerente. V_{s_i} è la velocità delle onde di taglio nei depositi incoerenti.

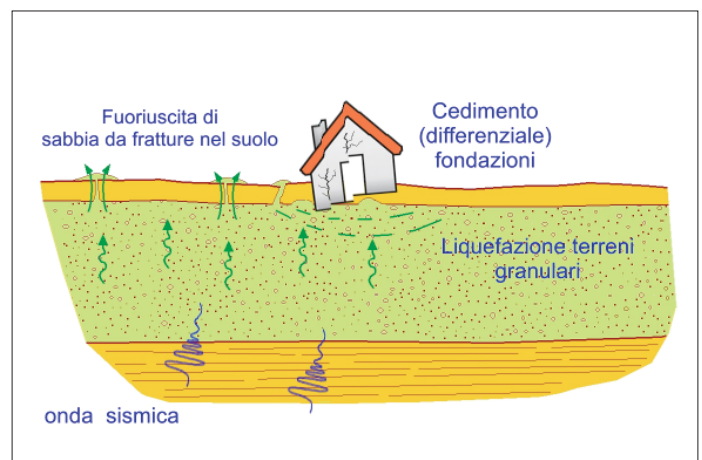


Figura 6. Fenomeno di liquefazione dei terreni granulari.

LA ZONAZIONE SISMICA IN PROVINCIA DI VENEZIA

Nei territori di pianura la pericolosità locale dipende essenzialmente dalla natura dei suoli, dalla possibile presenza di fenomeni di risonanza e dalla potenziale liquefazione dei depositi sabbiosi.

Per quanto riguarda la pericolosità locale nel territorio provinciale sono state quindi costruite tre mappe tematiche: la mappa della velocità delle onde di taglio nei depositi superficiali (natura dei suoli), la mappa del rapporto tra componenti orizzontale e verticale dei microtremori (che è un indicatore della potenziale risonanza) e la mappa

dei depositi sabbiosi suscettibili di liquefazione.

Trattandosi di un territorio molto vasto la rete di misura è stata ottimizzata sulla base del modello idrostratigrafico del territorio provinciale elaborato nell'ambito della carta dei sistemi idrogeologici della Provincia di Venezia, pubblicata nel 2013 (Figura 7), sulla quale è stata impostata la rete di misura che si compone di 215 stazioni di misura della velocità delle onde di taglio e di 202 stazioni di misura dei microtremori.

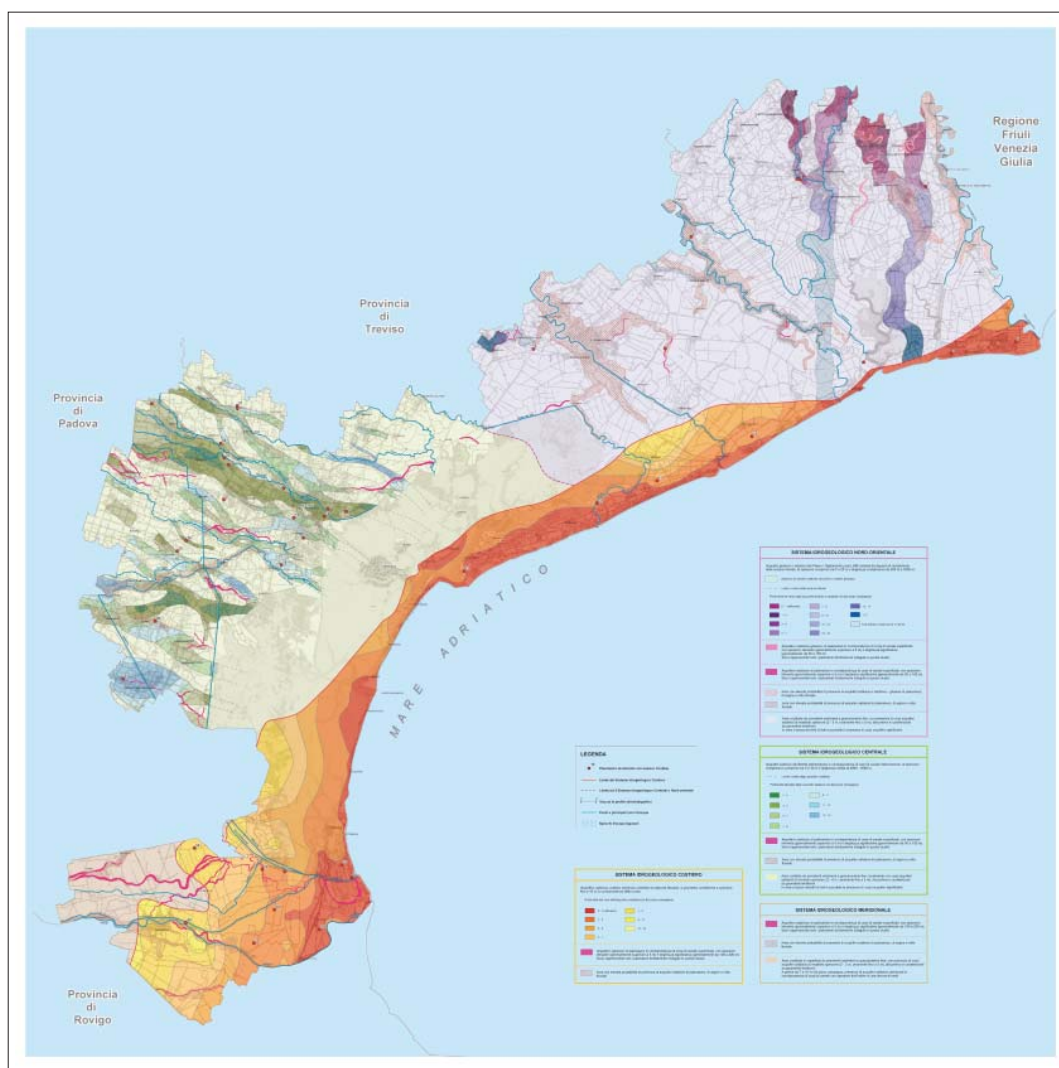


Figura 7.
Carta dei sistemi idrogeologici della Provincia di Venezia (Provincia di Venezia, 2013)

Velocità delle onde di taglio (V_s)

Dall'analisi dei dati si osserva una moderata differenziazione dei valori della V_s che scende dagli oltre 380 m/s nei depositi sabbio-ghiaiosi della bassa pianura del Tagliamento a valori anche inferiori a 160-170 m/s e 200-250 m/s nei terreni limo-argillosi e torbosi poco consolidati a sud-ovest dell'abitato di Chioggia (Figura 8). La geologia, per lo meno dei corpi deposizionali più importanti, esercita quindi un forte controllo sul campo di velocità.

I valori più alti sono quelli del settore orientale (bassa pianura del Fiume Tagliamento) si osserva una correlazione quasi diretta tra la presenza di depositi ghiaiosi e valori molto elevati della V_s .

Nel settore centro-orientale, nel tratto compreso tra il Fiume Livenza e l'orlo nord-orientale della laguna si osserva una considerevole riduzione dei valori della V_s che presenta valori intorno ai 200 m/s con piccoli salienti positivi lungo il confine nord-occidentale di provincia.

Nel settore centro-occidentale e quindi nella zona intorno a Venezia e sino al limite orientale della provincia di Padova i valori di velocità sono più elevati e localmente superano i 250 m/s indicando una abbondante presenza di depositi granulari in vicinanza della superficie.

Il cordone litorale sabbioso, che margina il territorio provinciale verso il mare Adriatico, presenta valori piuttosto elevati di V_s (290-300 m/s nella zona di Chioggia e 240-260 m/s alla Bocca di Lido). Nella zona sud-occidentale, al limite con la provincia di Rovigo, i valori della V_s scendono al di sotto dei 180 m/s su una superficie di estensione di circa 110 kmq.

Da un punto di vista strettamente normativo il territorio risulta appartenere quindi a tre categorie di suoli di fondazione (secondo i dettami delle NTC 2008): la zona B (in piccoli lembi del settore nord-orientale) e la zona C (in tutto il settore centrale) e la zona D (in una piccola porzione del settore sud-occidentale).

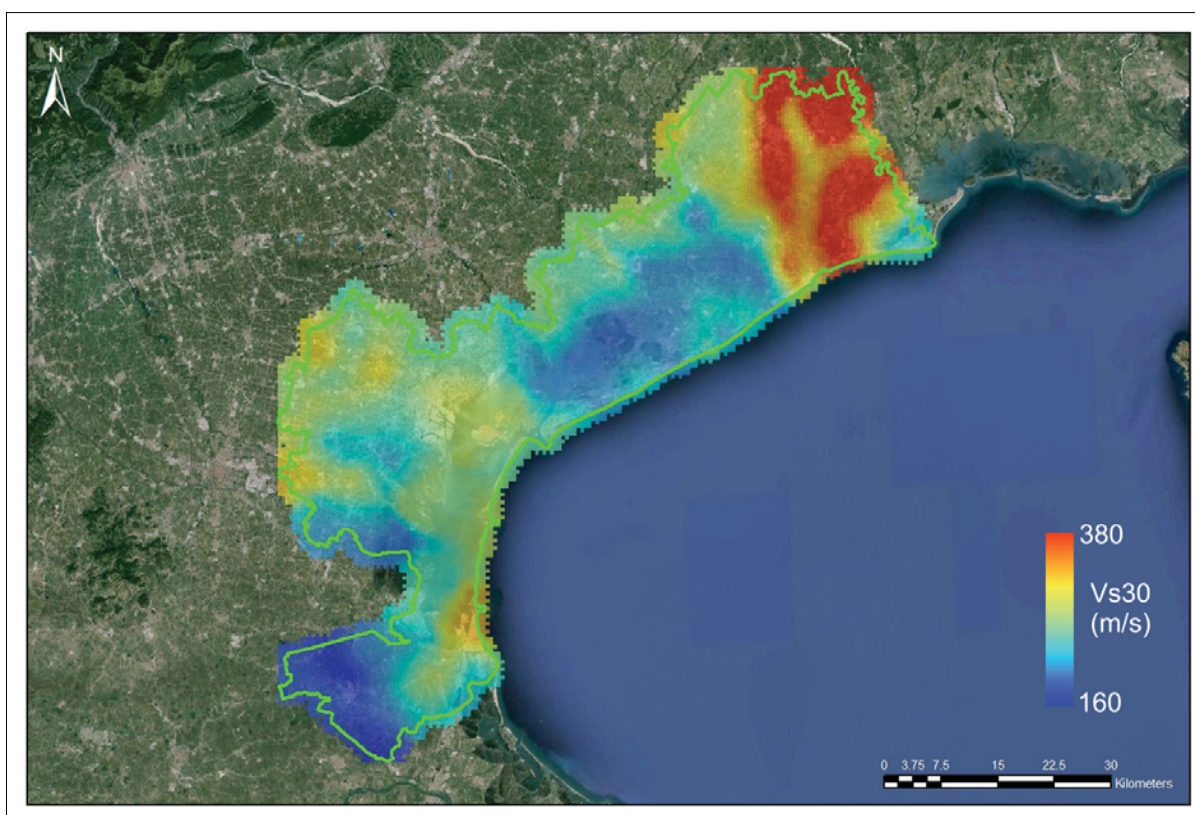


Figura 8. Mappa delle velocità delle onde di taglio nei depositi superficiali.

Rapporti spettrali (HVSR)

La mappa del rapporto spettrale individua quelle zone del territorio ove esistono, in profondità, dei contrasti di velocità delle onde di taglio che possono determinare fenomeni

di risonanza (e quindi amplificazione dello scuotimento sismico). Nel complesso tali fenomeni sono comunque modesti (**Figura 9**) e si localizzano nel settore centro-settentrionale.

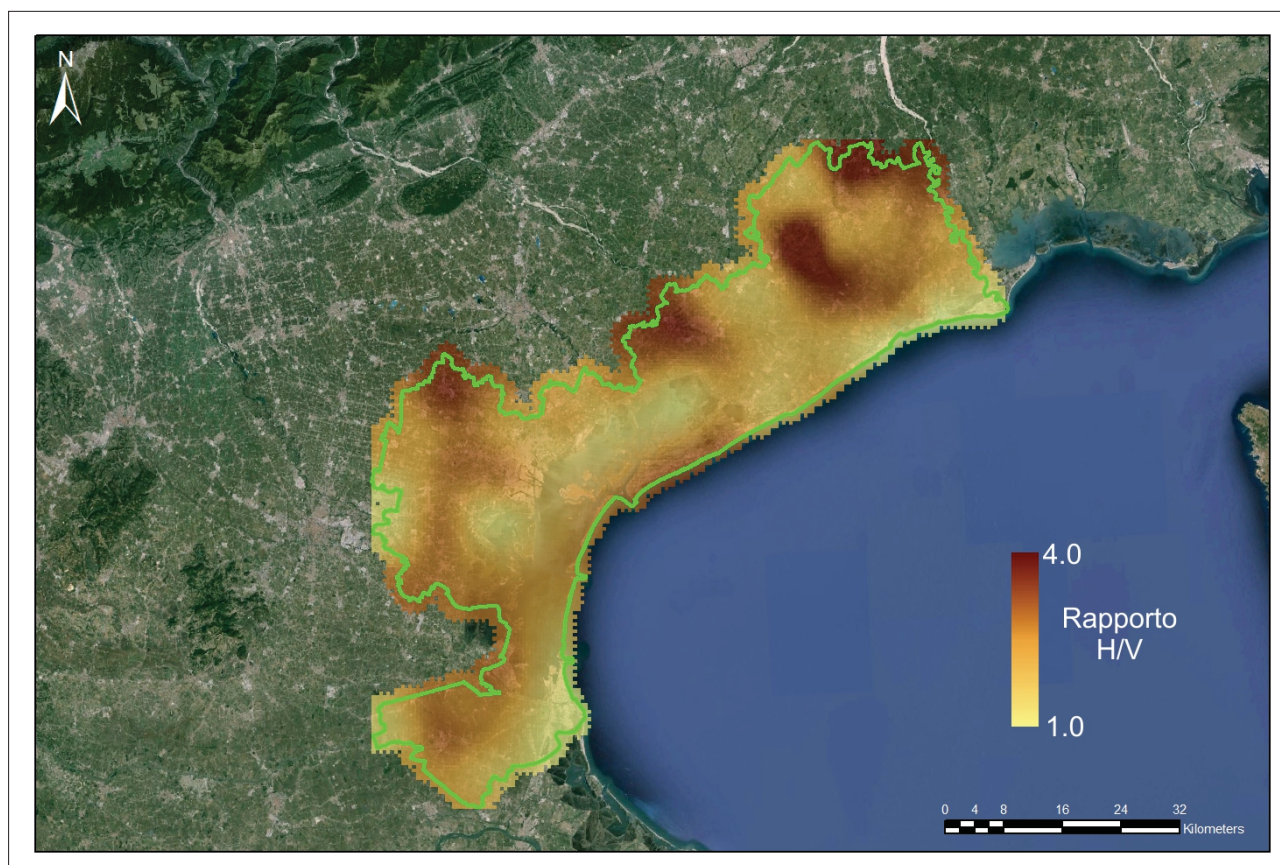


Figura 9.
Mappa dell'ampiezza del rapporto spettrale.

Liquefacibilità potenziale delle sabbie

L'elaborazione della mappa di liquefacibilità potenziale dei depositi granulari si è basata prevalentemente sulla geometria dei corpi sabbiosi, sulla litostratigrafia e sulla soggiacenza della falda freatica. Su alcuni siti campione è stata comunque verificata la liquefacibilità con metodi quantitativi basati su prove penetrometriche statiche.

La trattazione approfondita di questo particolare aspetto di pericolosità locale è comunque materia

piuttosto complessa e per essere condotta in modo efficace necessiterebbe innanzitutto dei parametri di intensità e di durata del sisma atteso e poi dell'analisi di dettaglio della capacità di resistenza alla liquefazione dei terreni.

Le geometrie dei corpi sabbiosi sono state ricostruite elaborando i dati presenti nel ricco database geologico messo a disposizione dai competenti uffici provinciali. Da questi dati è stata costruita una mappa semplificata dei depositi superficiali (**Figura 10**).

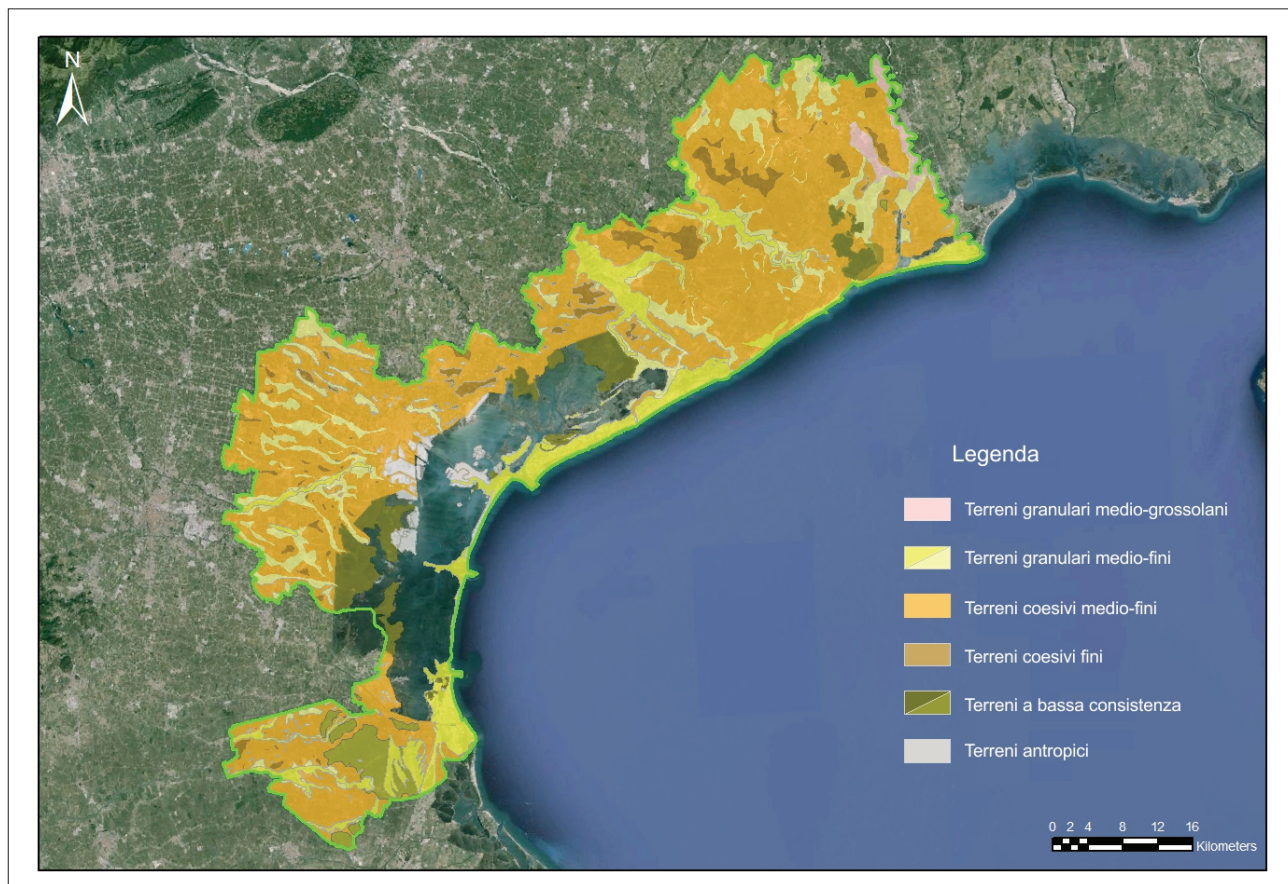


Figura 10.
Mappa delle tessiture superficiali.

Anche i bordi dei paleovalvei (**Figura 11**) sono noti fin dalla redazione della carta geomorfologica del territorio provinciale (pubblicata nel 2004) e possono essere un valido ausilio alla perimetrazione di quelle aree ove vi sia una prevalenza di depositi sabbiosi nei primi 15 m di profondità e quindi passibili di liquefazione. La posizione dei bordi dei paleovalvei è un'informazione di estrema importanza in quanto durante il recente terremoto che ha colpito la Regione Emilia-Romagna sono state osservate delle risalite di sabbie

liquefatte proprio lungo tali bordi.

L'analisi di dettaglio della liquefabilità potrà essere condotta alla scala locale con appositi studi di microzonazione sismica (MS). La futura MS comunale potrebbe essere anche l'occasione per procedere ad una prima digitalizzazione, nell'ambito dei singoli studi, di una serie di prove geognotiche che l'Amministrazione Provinciale ritiene significative e che potrebbero essere rese disponibili alle Amministrazioni Comunali prima di intraprendere lo studio.

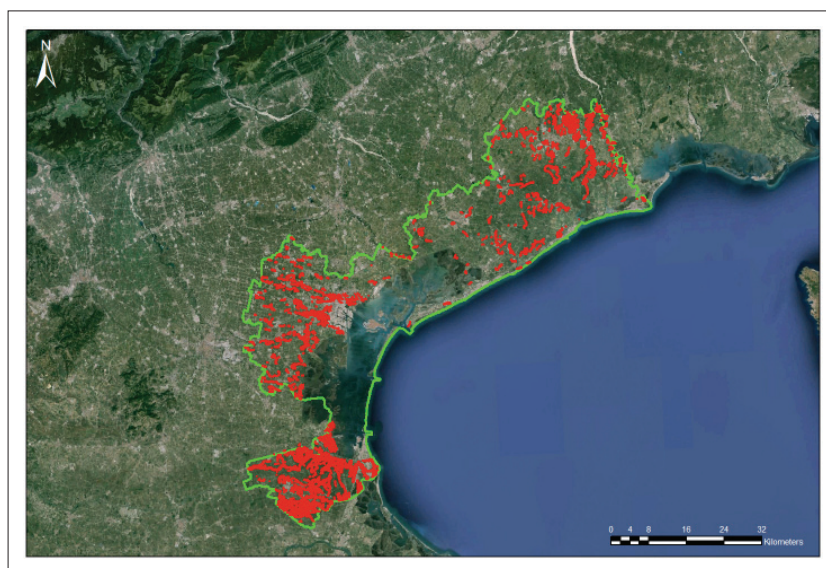


Figura 11.
Mappa dei limiti dei paleovalvei.

Sintesi sperimentale Indice Geosismico relativo

In via del tutto sperimentale è stata costruita una mappa che combinasse i tre fattori di pericolosità di locale con la pericolosità di base costruendo un indice di zonazione relativo.

I quattro insiemi di dati sono stati normalizzati e moltiplicati per opportuni fattori di peso (Figura 12). Il risultato è una mappa che nel complesso presenta una certa omogeneità spaziale e che comun-

que appare parzialmente condizionata dalla distribuzione dei livelli liquefacibili superficiali e dei paleoalvei.

Un risultato più rappresentativo si può ottenere gradando la pericolosità della della liquefacibilità potenziale delle sabbie con l'innalzamento a 1.5 del peso del parametro di pericolosità di base. In questo modo la liquefacibilità diminuisce dove sono più bassi i valori attesi di scuotimento sismico (Figura 12 e Figura 13).

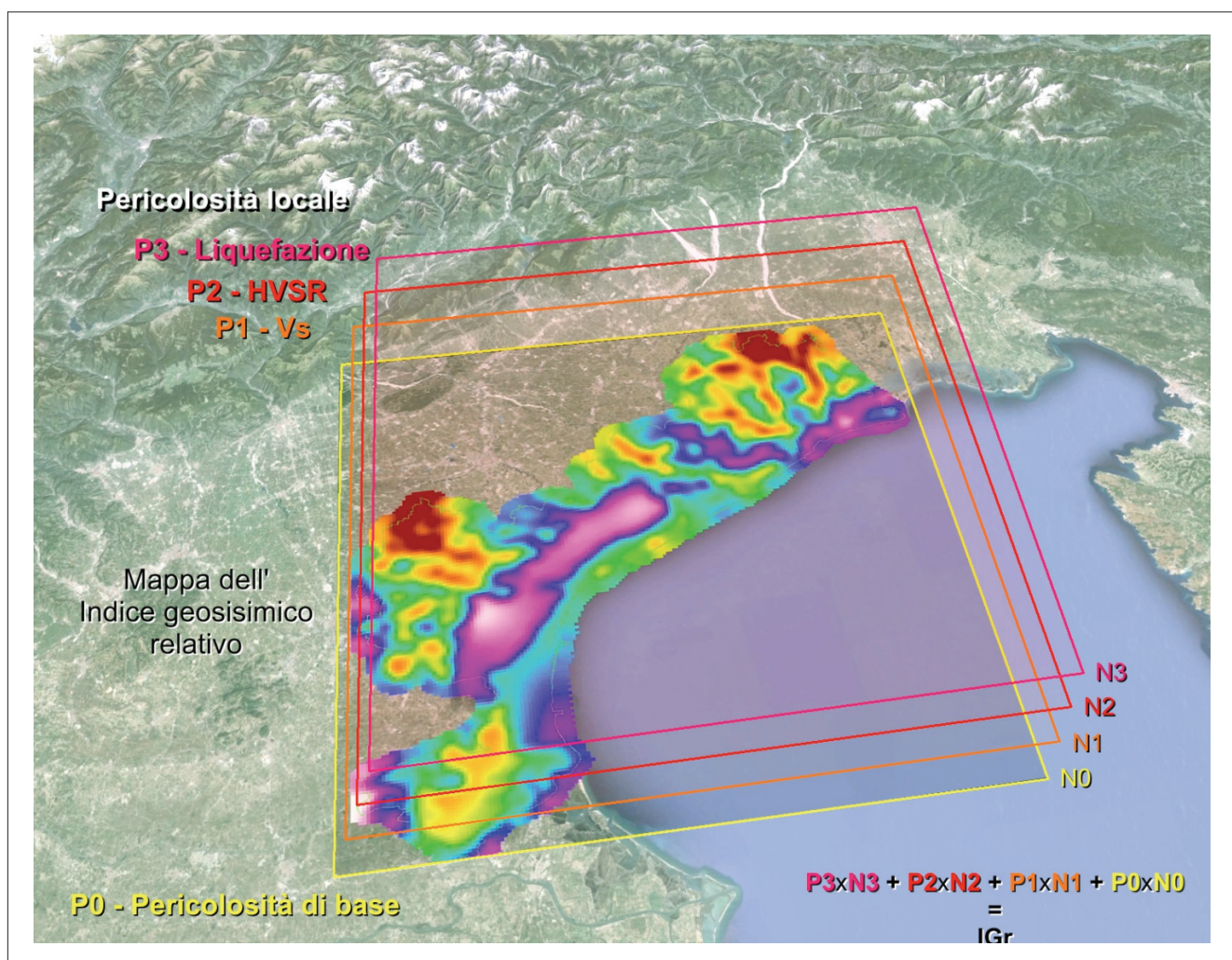


Figura 12.
Modalità di costruzione dell'indice geosismico relativo del territorio provinciale.

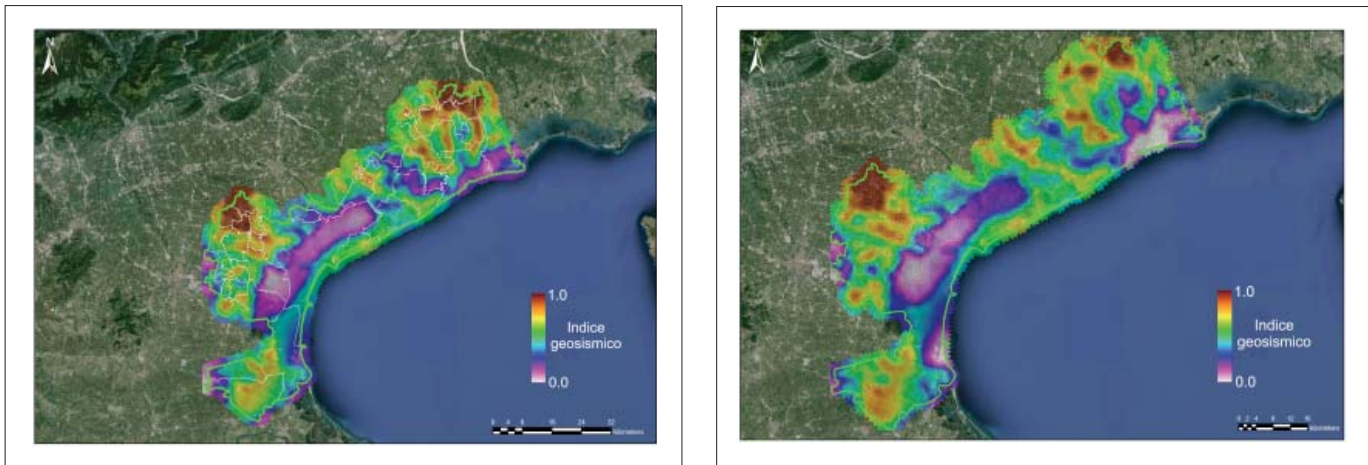


Figura 13. Mappa dell'indice geosismico relativo ottenuto con fattori di peso tutti uguali ad 1 (sinistra) e con fattore di peso della pericolosità di base pari a 1.5 (destra).

E' bene sottolineare come si tratti di una mappa del tutto relativa il cui è scopo è quello di valutare se in un quadro di pericolosità sismica bassa e medio-bassa quale è quella della bassa pianura veneta esistono delle condizioni locali più penalizzanti da approfondire eventualmente con i futuri studi di microzonazione sismica.

Le zone più penalizzate sono rappresentate dai territori dei comuni ubicati sullo spigolo delle tre provincie: Venezia, Padova e Treviso e lungo il confine nord con la provincia di Pordenone dove sono più elevati i valori della pericolosità di base ed anche quelli del rapporto spettrale (HVSR). In queste aree il valore elevato della velocità delle onde di taglio (V_s) ha contribuito ad una riduzione del valore dell'indice.

E' importante infine sottolineare come il presente studio sia stato

progettato e condotto con finalità principalmente pianificatorie e quindi che la scala di studio, come pure la rete di misura, hanno un carattere regionale con la principale finalità di caratterizzazione, da un punto di vista sismico, quei corpi deposizionali che costituiscono il suolo ed il sottosuolo del territorio provinciale. Lo studio, come pure la mappa della liquefacibilità potenziale, la mappa dell'ampiezza del rapporto spettrale e la mappa della velocità delle onde di taglio (V_s), come pure la mappa di sintesi, hanno quindi una valenza generale e devono servire solamente come guida per un corretto approfondimento delle conoscenze locali. Le indagini di legge, previste per le singole opere di ingegneria civile, da effettuare *in situ*, ed i futuri studi di microzonazione sismica non devono in nessun modo essere sostituiti dal presente documento.

COLLANA DEGLI STUDI GEOLOGICI E DI DIFESA DEL SUOLO DELLA PROVINCIA DI VENEZIA

1. COMEL A., VITTURI A. (a cura di) "Studio geopedologico ed agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte nord - orientale" (1983).
2. FREGONI M., BAVARESCO L., GAIATTO R., VITTURI A. "Carta nutrizionale e tematico - vocazionale della zona a D.O.C. di Lison - Pramaggiore (territori provinciali di Venezia, Pordenone e Treviso)" (1988).
3. GIARDINI L., GIUPPONI C., GIUPPONI A. "Studio agronomico del territorio provinciale di Venezia, parte meridionale" (1989).
4. ILICETO V. "Indagine sulle possibilità di rischio idraulico nella provincia di Venezia" (1992).
5. BASSAN V., FAVERO V., VIANELLO G., VITTURI A. "Studio geoambientale e geopedologico del territorio provinciale di Venezia, parte meridionale" (1994).
6. RIZZETTO C., VITTURI A., ZANGHERI P. "Studio geologico propedeutico al Piano provinciale dell'attività di cava" (1995).
7. VITTURI A. (a cura di) "Programma di previsione e prevenzione in materia di Protezione Civile" (1999).
8. DAL PRÀ A., GOBBO L., VITTURI A., ZANGHERI P. "Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia" (2000).
9. ZANGHERI P., GARBELLINI A., GREGO S., PAULON G., VITTURI A. (a cura di) "Indagine sulle acque sotterranee del Portogruarese" (2001).
10. BASSAN V., VITTURI A. "Studio geoambientale del territorio provinciale di Venezia, parte centrale" (2003).
11. CARBOGNIN L., TOSI L. "Il progetto ISES per l'analisi dei processi di intrusione salina e subsidenza nei territori meridionali delle province di Padova e Venezia" (2003).
12. BONDESAN A., MENEGHEL M. (a cura di) "Geomorfologia della provincia di Venezia. Note illustrative della Carta geomorfologica della provincia di Venezia" (2004).
13. BONDESAN A., LEVORATO C. "I geositi della provincia di Venezia" (2008).
14. RAGAZZI F., ZAMARCHI P. "I suoli della provincia di Venezia" (2008)
15. BONDESAN A., PRIMON S., BASSAN V., FONTANA A., MOZZI P., MENEGHEL M., VITTURI A. "Le unità geologiche della provincia di Venezia" (2009).
16. VITTURI A. (a cura di) "Atlante geologico della provincia di Venezia" (2011).
17. FABBRI P., ZANGHERI P., BASSAN V., FAGARAZZI E., MAZZUCCATO A., PRIMON S., ZOGNO C. "Sistemi idrogeologici della Provincia di Venezia" (2013).

