



Problematiche relative all'identificazione di fenomeni cosismici di Livello 0

A cura di
Ing. Federico Mori (CNR-IGAG)
Dott. Geol. Giuseppe NASO (DPC)

NAPOLI, 28 GIUGNO 2023



Obiettivo:

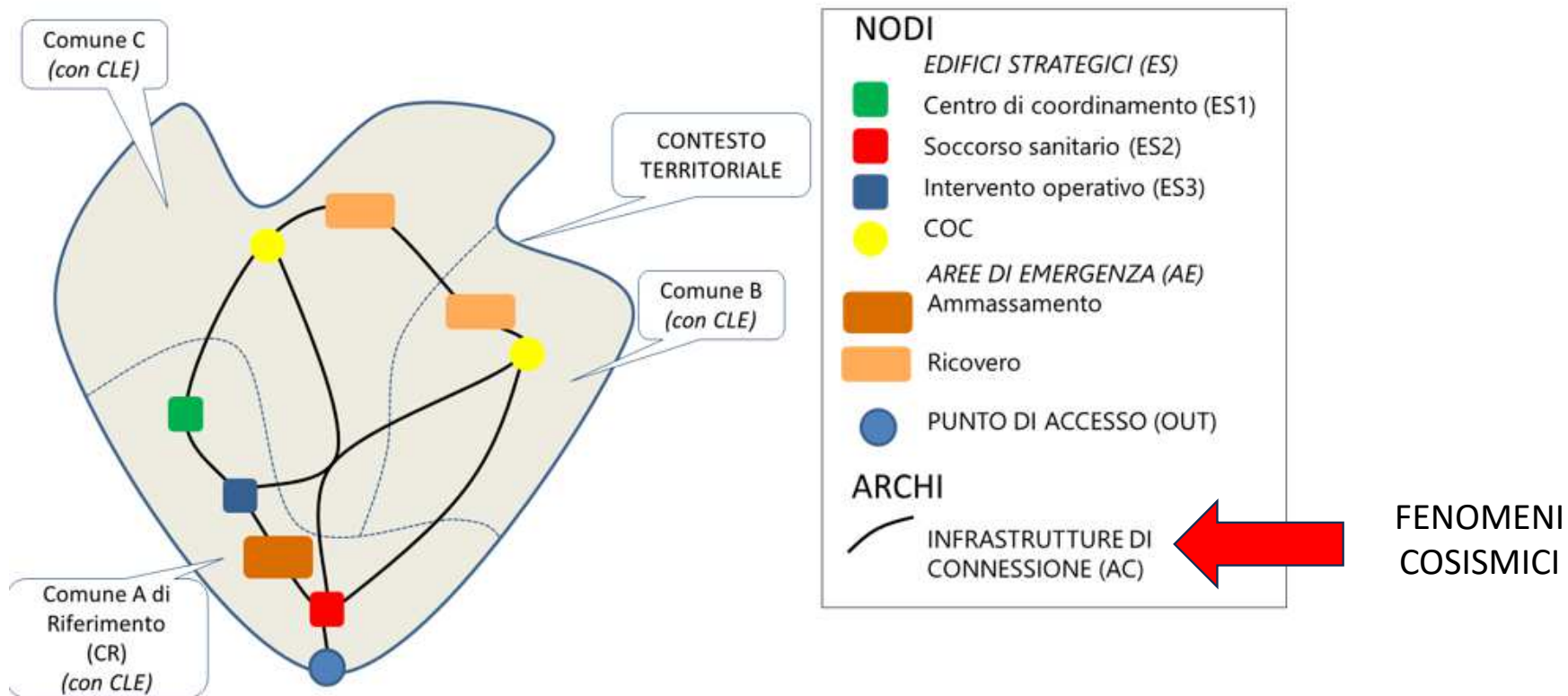
Valutare i fenomeni cosismici (frane e liquefazione) ad una scala territoriale partendo da informazioni e cartografie di base (scale 100-500k) con l'obiettivo di fornire cartografie di livello 0 utili al professionista

Nel progetto PON-Governance Rischio Sismico e Vulcanico (2014-2020) il CNR-IGAG ha sviluppato una metodologia per la valutazione dell'Indice di Operatività strutturale del sistema di emergenza di un Contesto Territoriale

In questa metodologia si valutano scenari di pericolosità stocastici sugli archi stradali relativamente a:

- scenari di franosità sismo-indotta
- scenari di liquefazione

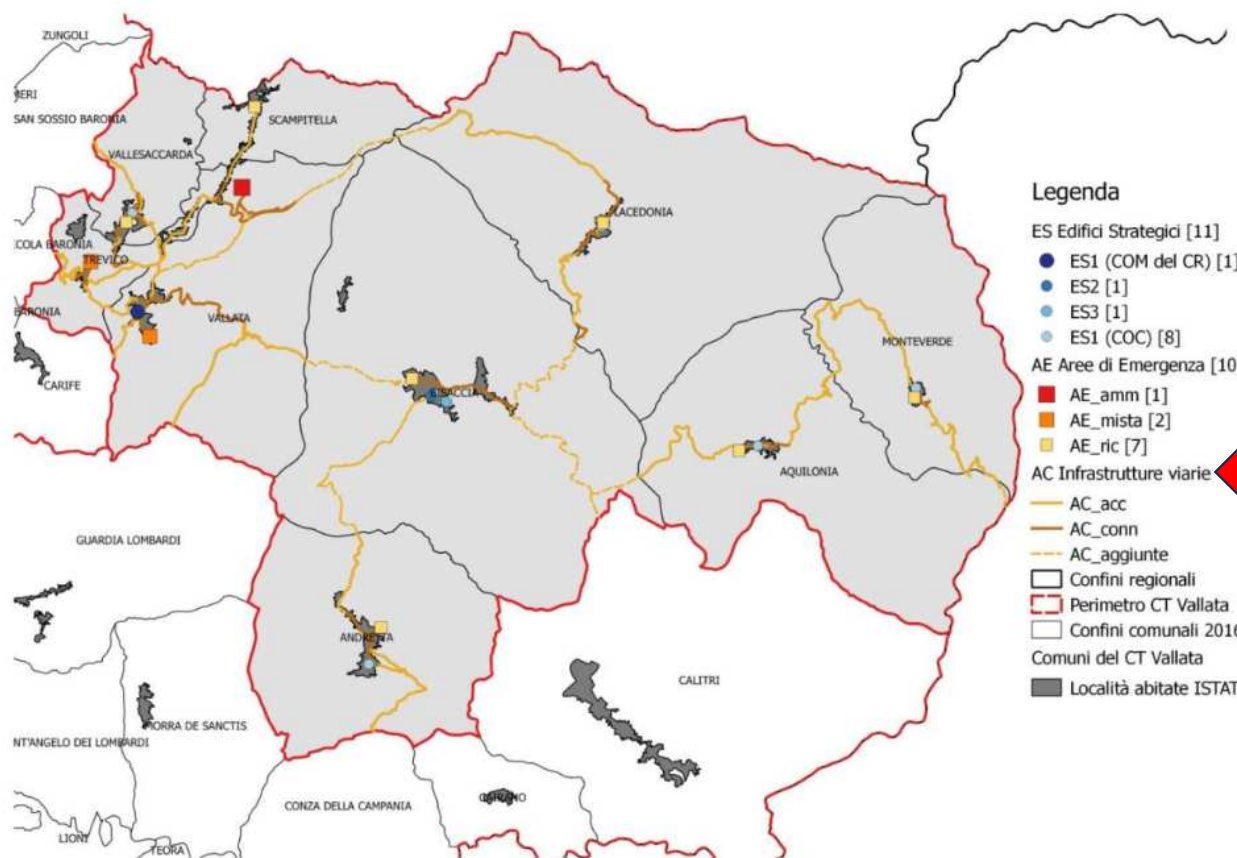
ESPERIENZA DEL PROGETTO PON SISMICO 2014-2020



ESPERIENZA DEL PROGETTO PON SISMICO 2014-2020



Contesto
Territoriale di
Vallata



Legenda

- ES Edifici Strategici [11]
 - ES1 (COM del CR) [1]
 - ES2 [1]
 - ES3 [1]
 - ES1 (COC) [8]
- AE Aree di Emergenza [10]
 - AE_amm [1]
 - AE_mista [2]
 - AE_ric [7]
- AC Infrastrutture viarie
 - AC_acc
 - AC_conn
 - AC_aggiunte
- Confini regionali
- Perimetro CT Vallata
- Confini comunali 2016
- Comuni del CT Vallata
- Località abitate ISTAT

FENOMENI
COSISMICI



Modellistiche predittive per la valutazione dei cosismici:

1. Modello di Nowicki et al. 2018 per le frane
2. Modello di Zhu et al. 2017 per la liquefazione

Entrambi i modelli sono ad oggi in uso ad USGS per la valutazione in tempo quasi reale dei fenomeni cosismici dopo l'accadimento di un terremoto (<https://earthquake.usgs.gov/data/ground-failure/background.php>)

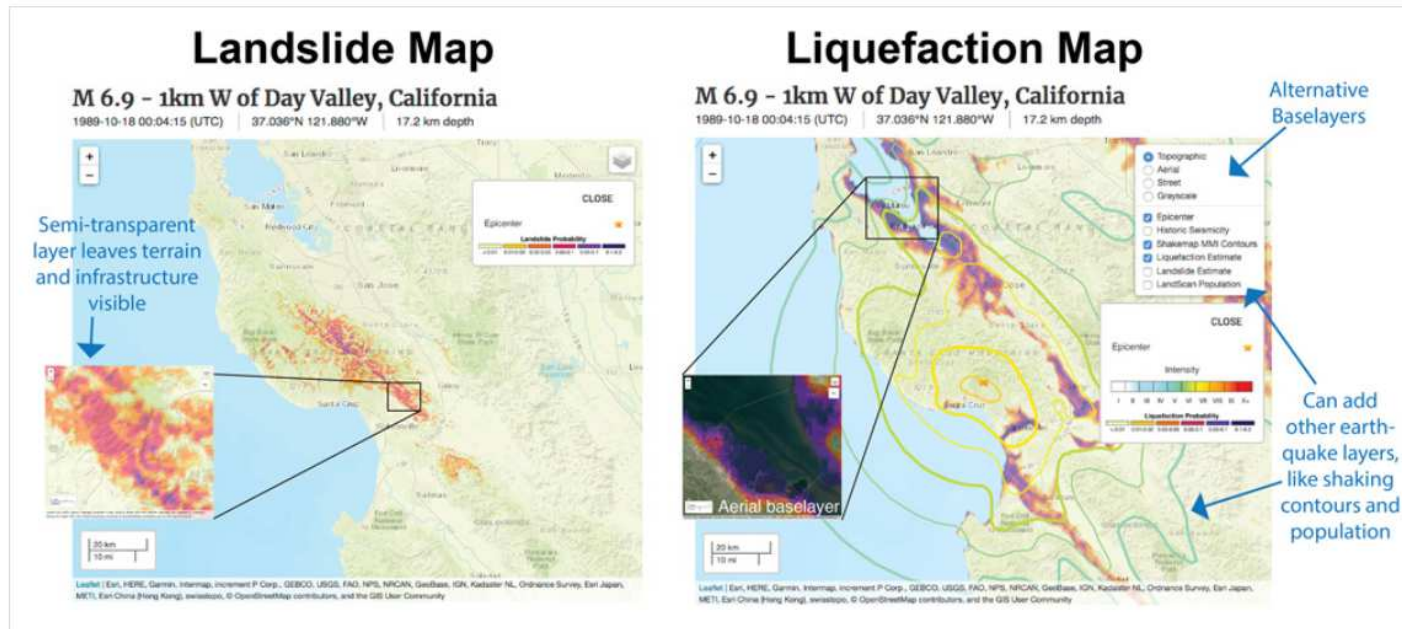


Modellistiche predittive per la valutazione dei cosismici

1. Modello di Nowicki et al. 2018 per le frane
2. Modello di Zhu et al. 2017 per la liquefazione

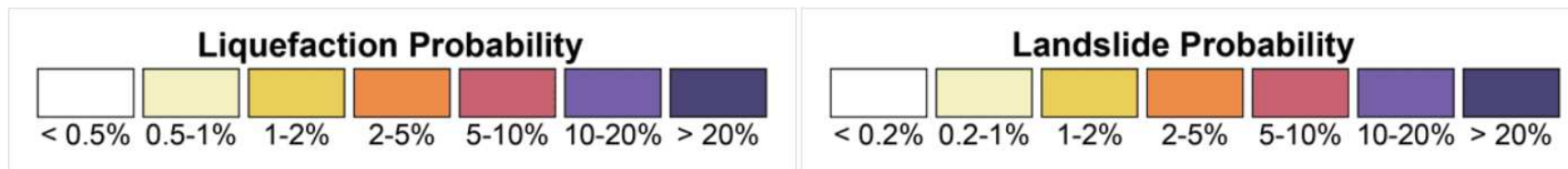
Entrambi i modelli sono ad oggi in uso ad USGS per la valutazione in tempo quasi reale dei fenomeni cosismici dopo l'accadimento di un terremoto (<https://earthquake.usgs.gov/data/ground-failure/background.php>)





(<https://earthquake.usgs.gov/data/ground-failure/background.php>)

Figure 4. Screenshots of interactive map for the Loma Prieta earthquake for landslide hazard (left) and liquefaction hazard (right). Insets show zoom in on area indicated.



Come funzionano i modelli predittivi?

1. Modello di Nowicki et al. 2018 per le frane
2. Modello di Zhu et al. 2017 per la liquefazione

Entrambi i modelli sono basati sulla regressione logistica ovvero partono dal catalogo dei fenomeni descritti in modo binario (presenza del fenomeno/assenza del fenomeno) e utilizzano una serie di variabili per calcolare la probabilità di accadimento

1. Modello di Nowicki et al. 2018 per le frane

- Il modello è stato sviluppato mettendo in relazione 23 inventari di frane innescate da terremoti passati con diverse combinazioni di variabili predittive (riassunte di seguito) utilizzando la regressione logistica
- La risoluzione dell'output è di circa 250 m
- 5 Variabili predittive



Table 1: Summary of Nowicki Jesse and others (2018) model inputs

Input	Source
Slope	Derived from Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010) (Danielson and Gesch, 2011)
Peak Ground Velocity (PGV)	U.S. Geological Survey ShakeMap (Worden and Wald, 2016)
Lithology	Global Lithological Map Database (GLiM) (Hartmann and Moosdorf, 2012)
Land cover	Moderate resolution (300 m) Envisat MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer) GlobCover land cover dataset for 2009 (Arino and others, 2012)
Compound topographic index (CTI) (wetness index)	U.S. Geological Survey HYDRO1k geographic database (Moore and others, 1991)

ESPERIENZA DEL PROGETTO PON SISMICO 2014-2020



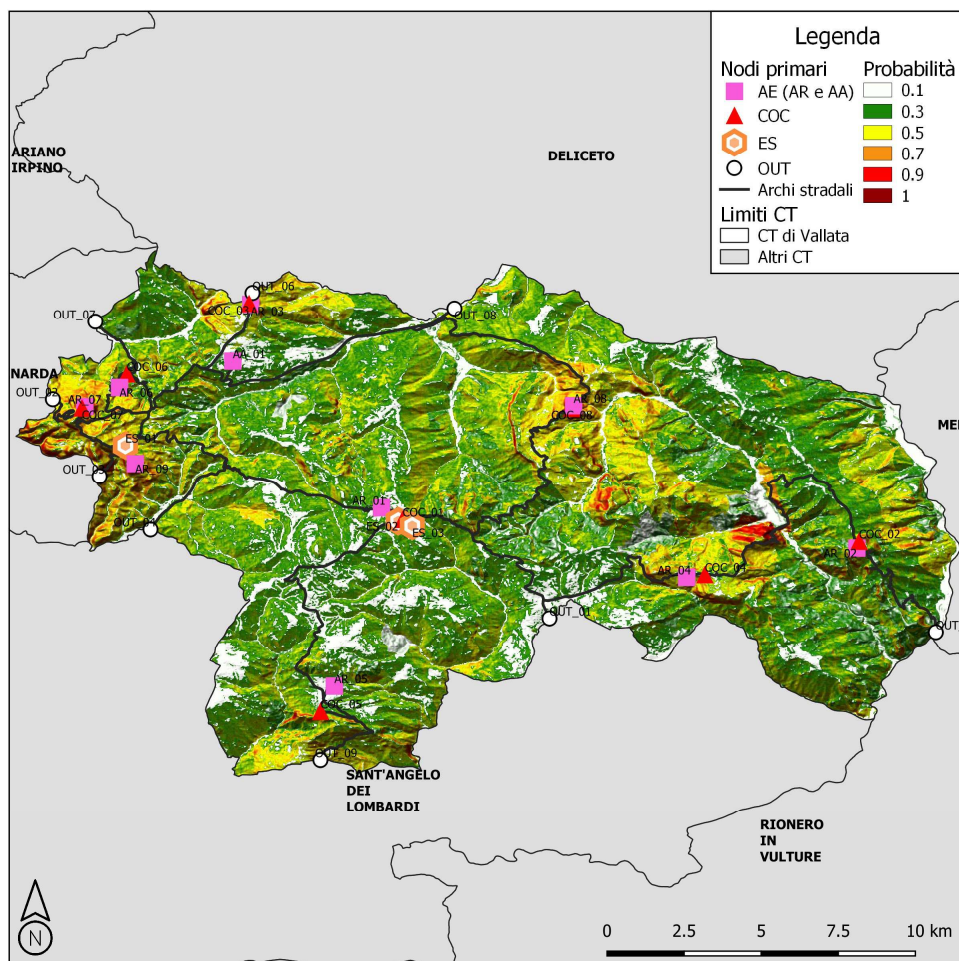
1. Modello di Nowicki et al. 2018 per le frane
2. Modello di Zhu et al. 2017 per la liquefazione
 - Il modello è stato sviluppato mettendo in relazione 27 inventari di liquefazione innescati da terremoti passati con proxy geospaziali disponibili a livello globale (riassunti di seguito) utilizzando la regressione logistica.
 - soglia di accelerazione di picco al suolo (PGA) di $> 0,1$ g
 - escludiamo le aree con pendenze $> 5^\circ$
 - Le variabili sono 6

Table 2: Summary of Zhu and others (2017) model inputs

Input	Source
Peak Ground Velocity (PGV)	U.S. Geological Survey ShakeMap (Worden and Wald, 2016)
Shear wave velocity averaged over top 30 m (V_{s30})	Computed from GMTED2010 using methods of Wald and Allen (2007) based on topographic slope
Mean Annual Precipitation	WorldClim database, last accessed March 2014 (Hijmans and others, 2005)
Distance from coast	Global distance to coast dataset by NASA's Ocean Color Group
Distance from rivers	Computed from U.S. Geological Survey HydroSHEDS database
Water table depth	Global model by Fan and others (2013)

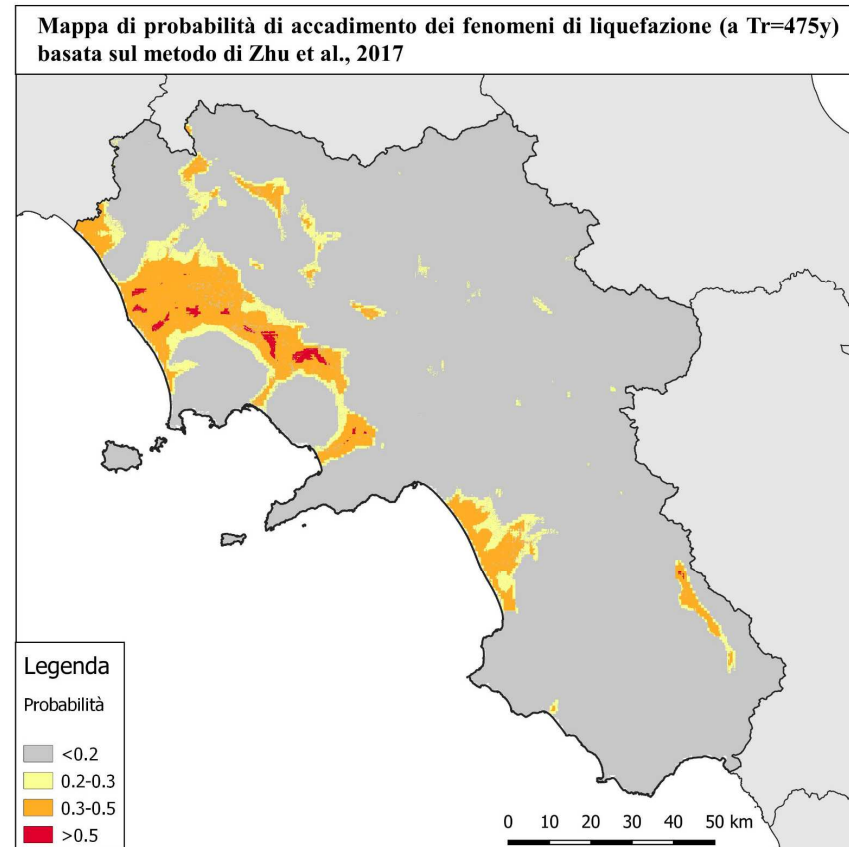
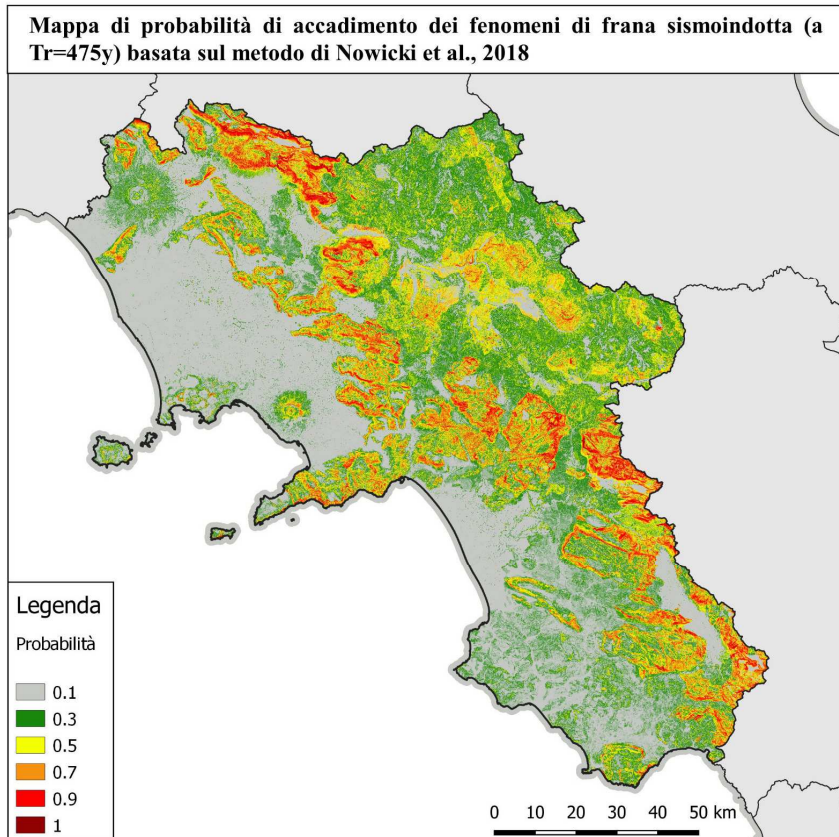


Esempio di mappa di probabilità di frana sul Contesto Territoriale di Vallata



Le infrastrutture stradali a maggiore criticità sono quelle per cui la probabilità è maggiore di 0.5

Mappe regionali Tr=475 anni



NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE



Nell'ambito del progetto URBISIT 8 per DPC e in collaborazione con CNR-IRPI stiamo sperimentando un nuovo modello di machine learning basato sull'algoritmo Random Forest che predice la probabilità di frana sismo-indotta basandosi su:

- le 8 mappe di suscettibilità del lavoro Loche et al. 2022
- il trigger sismico in termini di PGV calcolato secondo il lavoro Mori et al. 2022

Perché stiamo realizzando questo nuovo modello?

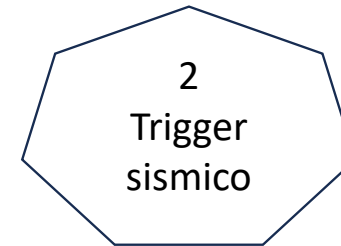
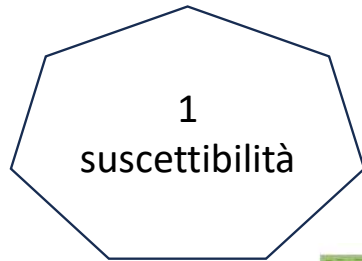
Questo modello è specifico per l'Italia e partendo da catalogo IFFI comprende sia le riattivazioni che le nuove generazioni di frane



NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE



2 ingredienti:





Earth-Science Reviews
Volume 232, September 2022, 104125



Review Article

Landslide susceptibility maps of Italy: Lesson learnt from dealing with multiple landslide types and the uneven spatial distribution of the national inventory

Marco Loche^a, Massimiliano Alvioli^b, Ivan Marchesini^c, Haakon Bakka^c, Luigi Lombardo^d  

^a Institute of Hydrogeology, Engineering Geology and Applied Geophysics, Charles University, Albertov 6, 128 43 Prague, Czech Republic

^b Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, via Madonna Alta 126, I-06128 Perugia, Italy

^c Norwegian Veterinary Institute, Aas, Norway

^d Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente, PO Box 217, Enschede AE 7500, the Netherlands

Received 26 February 2022, Revised 3 June 2022, Accepted 11 July 2022, Available online 18 July 2022, Version of Record 30 July 2022.

Ground motion prediction maps using seismic-microzonation data and machine learning

Federico Mori¹, Amerigo Mendicelli¹, Gaetano Falcone¹, Gianluca Acunzo¹, Rose Line Spacagna¹, Giuseppe Naso², and Massimiliano Moscatelli¹

¹Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IGAG), Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Area della Ricerca di Roma 1, Via Salaria km 29.300, 00015 Monterotondo (Rome), Italy

²Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile (DPC), via Vitorchiano 2, 00189 Rome, Italy

Correspondence: Federico Mori (federico.mori@igag.cnr.it)



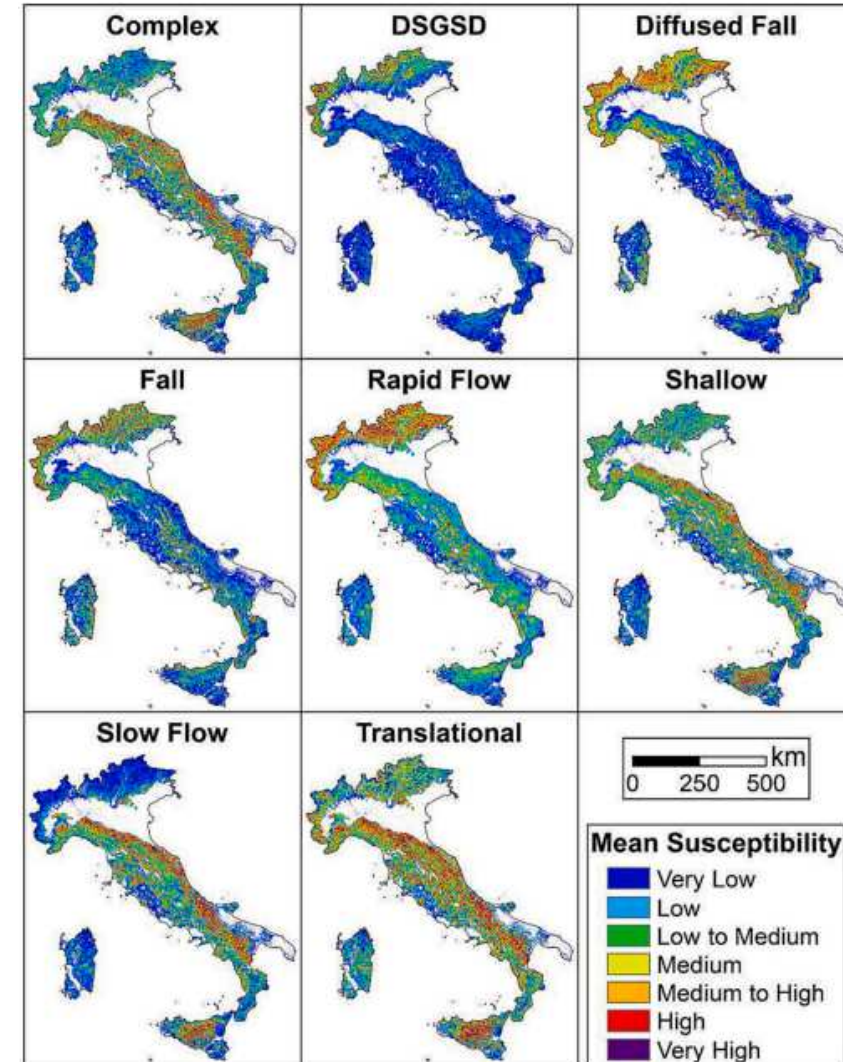
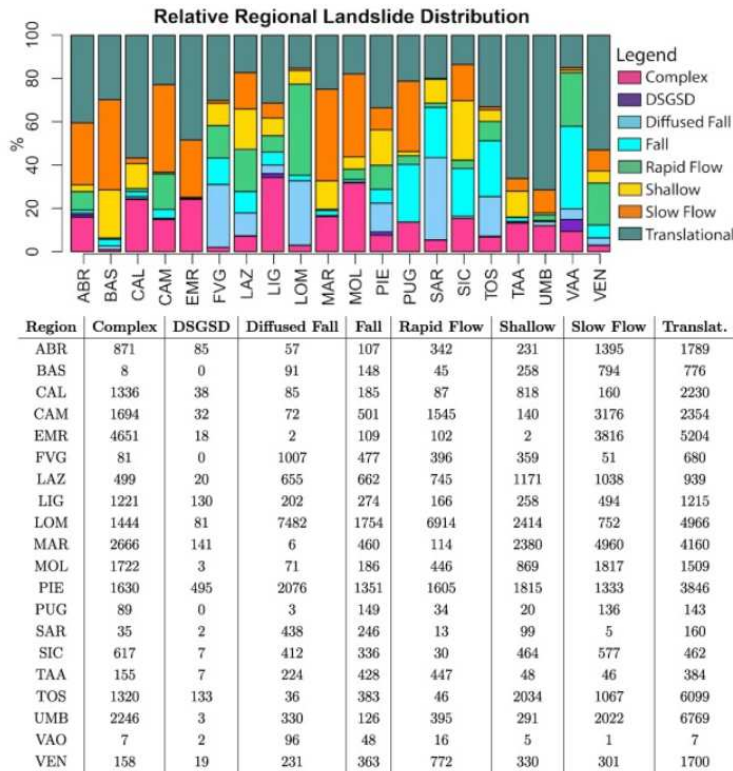
 **Consiglio Nazionale delle Ricerche**

NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE



1
suscettibilità

Le 8 mappe di suscettibilità sono state realizzate a partire dalle oltre 600 mila frane presenti su IFFI <https://idrogeo.isprambiente.it/app/iffi?@=41.55172525894153,12.57350148381829,1>



NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE



1
susceptibilità

Il modello (Integrated Nested Laplace Approximations INLA) utilizza come supporto le Slope Units IRPI e i seguenti predittori:

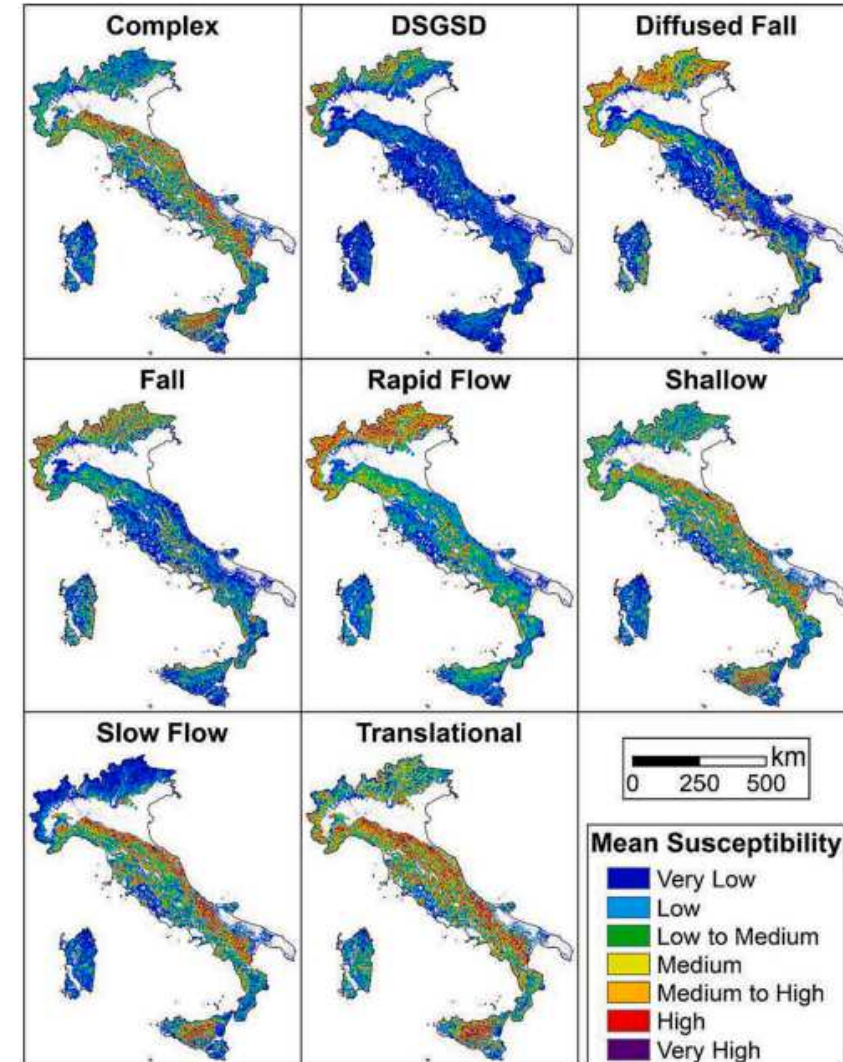
Name	Acronym	Reference
Maximum Distance within SU	MD	(Forman and Godron, 1986)
Maximum Distance/ \sqrt{SUArea}	MD/ \sqrt{Area}	(Forman and Godron, 1986)
Mean Slope Steepness	Mean Slope	(Zevenbergen and Thorne, 1987)
Region	Region	(Garson, 2013)
SD of Slope within SU	SD of Slope	(Zevenbergen and Thorne, 1987)
Eastness	Eastness	(Lombardo et al., 2018b)
Northness	Northness	(Lombardo et al., 2018b)
Planar Curvature	Plan Cur	(Heerdegen and Beran, 1982)
Profile Curvature	Prof Cur	(Heerdegen and Beran, 1982)
Relative Slope Position	RSP	(Böhner and Selige, 2006)
Topographic Wetness Index	TWI	(Böhner and Selige, 2006)
Distance to stream	Dist2Stream	(Arabameri et al., 2019)
Depth to bedrock (up to 2.4 m)	BDRICM	(Hengl et al., 2017)
Bulk density	BLDFIE	(Hengl et al., 2017)
Weight % of clay particles	CLYPPT	(Hengl et al., 2017)
Weight % of sand particles	SNDPPT	(Hengl et al., 2017)
Weight % of silt particles	SLTPPT	(Hengl et al., 2017)

Approximate Bayesian Inference for Latent Gaussian models by using Integrated Nested Laplace Approximations INLA

Håvard Rue ✉, Sara Martino, Nicolas Chopin

Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology, Volume 71, Issue 2, April 2009, Pages 319–392, <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2008.00700.x>

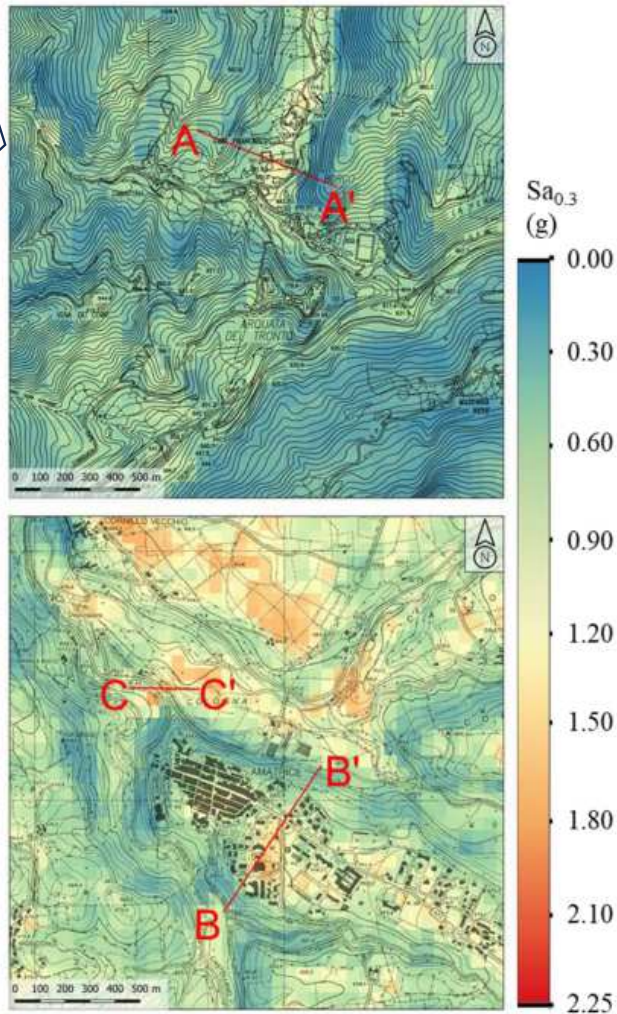
Published: 06 April 2009



NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE

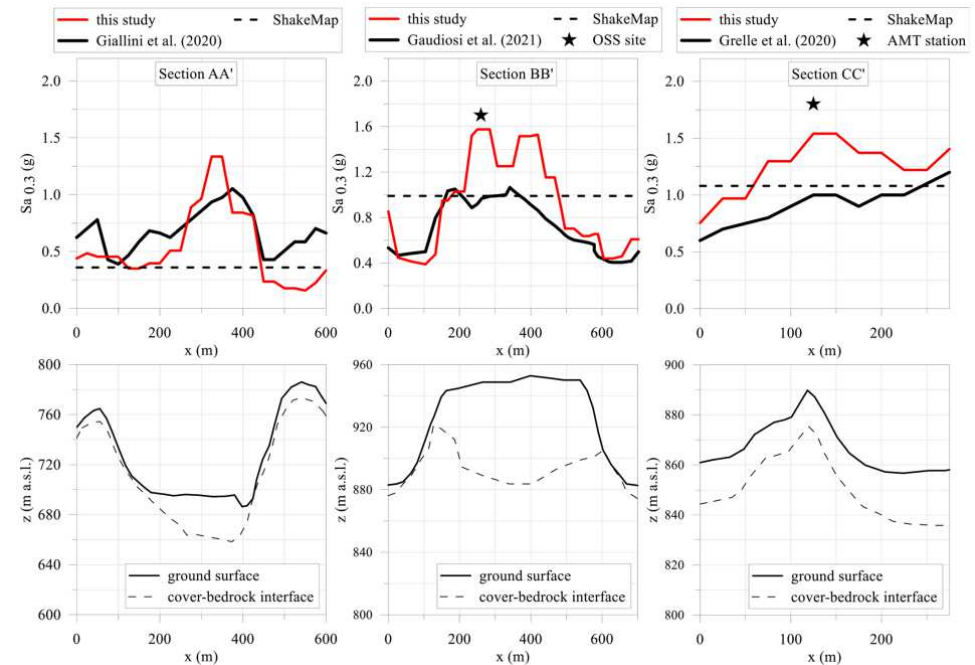


2
Trigger
sismico



Esempio di mappe di scuotimento con risoluzione del centro abitato ottenute con ML per l'evento del 24 agosto 2016 in Centro Italia

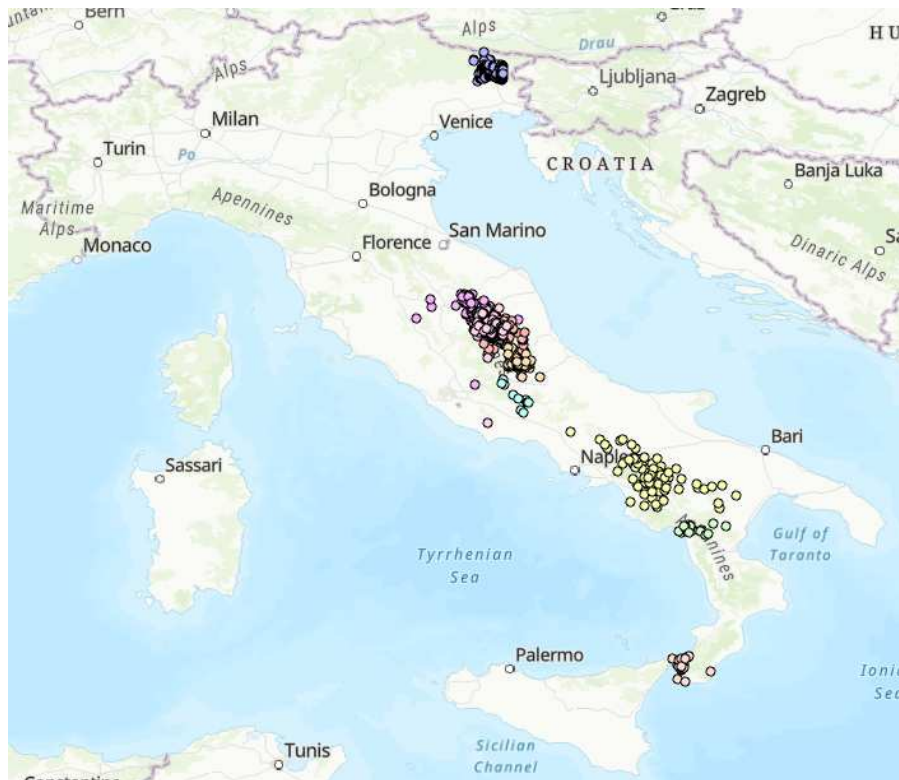
Media e deviazione standard dello scuotimento in termini di ordinata spettrale a 0.3 secondi per le zone di Arquata del Tronto (riquadri superiori) e per Amatrice (riquadri inferiori). Qui sotto confronto su 3 transetti tra scuotimenti predetti, Shakemap e modellazioni numeriche



NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE



Predittori Fase 1: il modello di scuotimento viene applicata ai 10 eventi sismici del catalogo delle frane cosismiche CEDIT presenti nel catalogo mondiale USGS
Lo scuotimento sismico viene valutato come media e deviazione standard nelle *slope units* della PGV



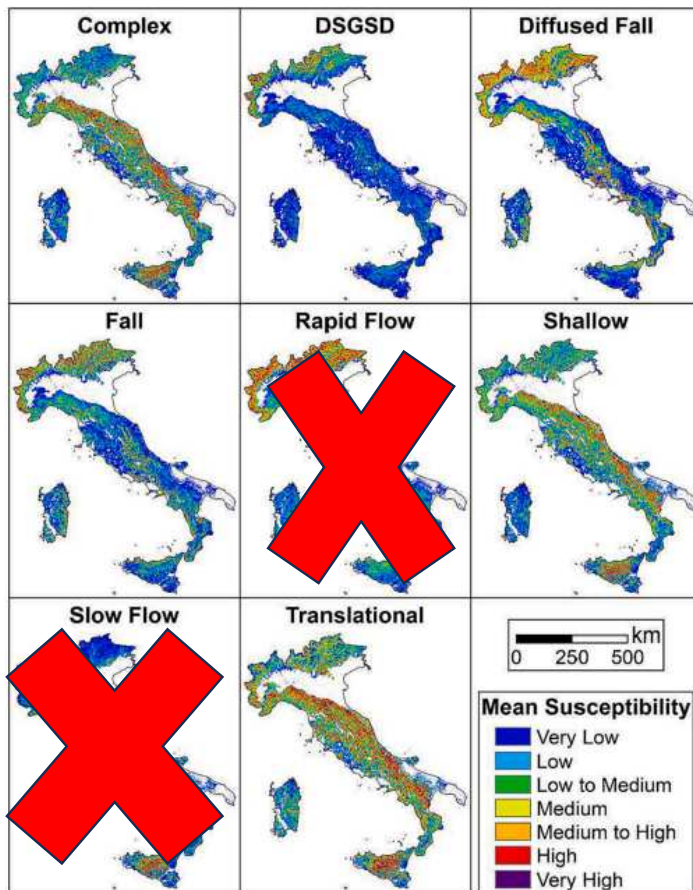
- M 5.6 - southern Italy
- M 6.0 - central Italy
- M 6.1 - Visso, Italy
- M 6.2 - Norcia, Italy
- M 6.3 - central Italy
- M 6.5 - Austria-Italy-Slovenia border region
- M 6.6 - Norcia, Italy
- M 6.7 - central Italy
- M 6.9 - southern Italy
- M 7.0 - Sicily, Italy



NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE



Predittori Fase 2: le suscettibilità considerate per la parte sismica sono 6:



L'analisi di Multicollinearità (VIF) tra la PGV e le 6 suscettibilità ci mostra che le frane complesse e le superficiali sono tra loro ridondanti e lo si nota anche nelle mappe

	VIF Factor	features
0	5.658868	falls_pred
1	4.286510	dfall_pred
2	10.624894	cmplx_pred
3	2.921553	dsgsd_pred
4	10.770617	shall_pred
5	6.787366	trans_pred
6	1.540700	pgv_mean

Quindi si rimuovono le frane superficiali. Ora VIF < 7 ed è accettabile

	VIF Factor	features
0	5.280907	falls_pred
1	4.285159	dfall_pred
2	6.023202	cmplx_pred
3	2.921507	dsgsd_pred
4	6.354468	trans_pred
5	1.540443	pgv_mean

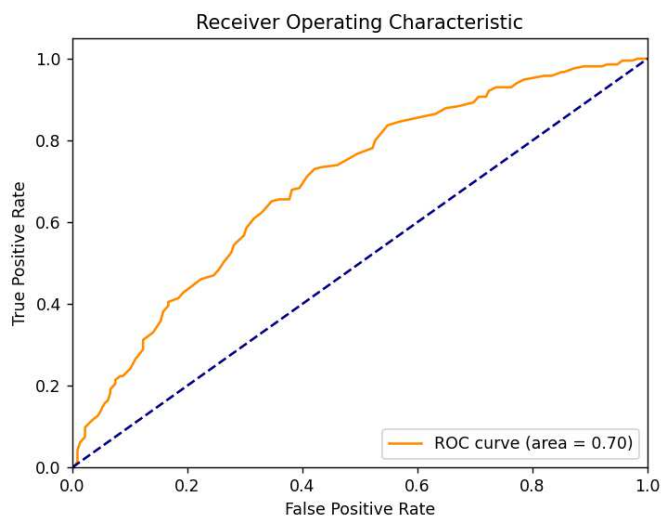


NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE

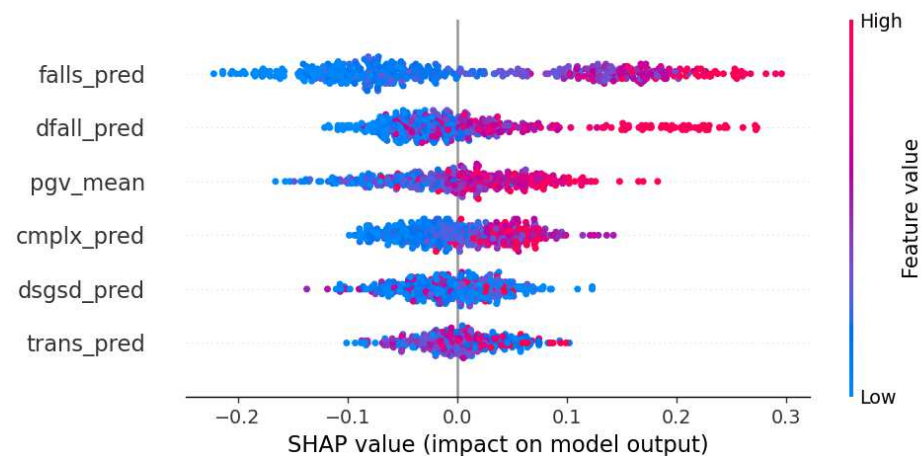


Modello Random Forest con train/test 70-30%

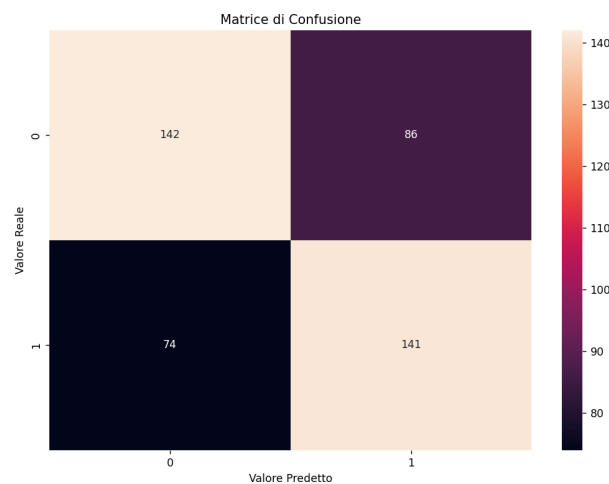
Area under Curve ROC = 0.7
Accuracy= 65%



Importanza dei 6 predittori:



Matrice di confusione



NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE



Applicazione di questo modello in prospettiva hazard con tempo di ritorno 475 anni



La carta nazionale di FA della PGV è stata calcolata con un machine learning Random Forest su 15mila fattori di amplificazione FA delle MOPS (calcolati nel WP19 Reluis con software NC92soil) e spazializzazione con carta nazionale Vs30 e PGV di base a 800 m/s (pgv_ref)

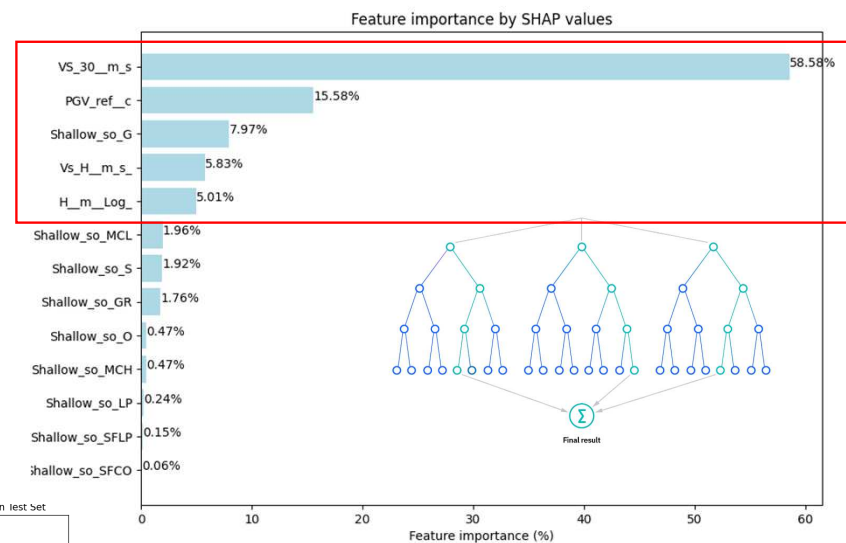
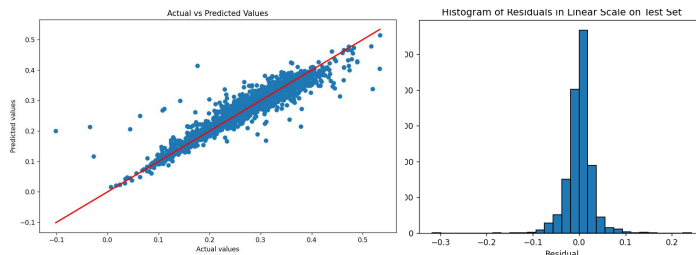
15 mila MOPS



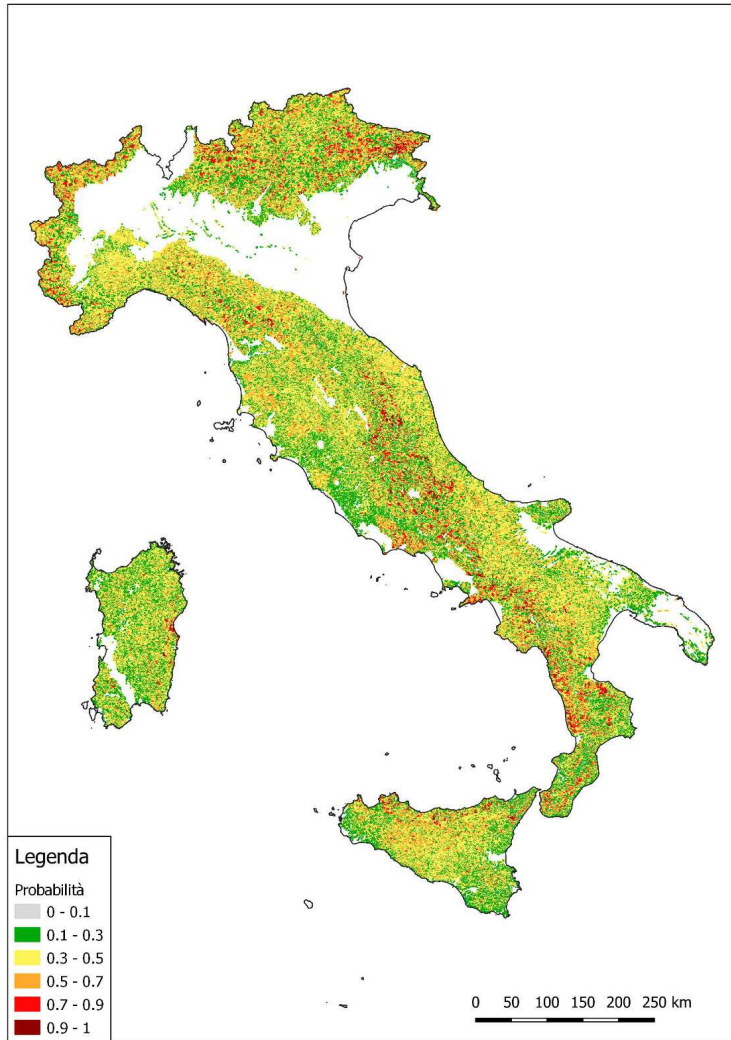
Input del modello:

1. Vs30
2. H800
3. Vsh800
4. pericolosità di base
5. GT in superficie

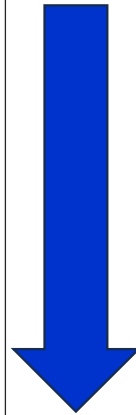
FA PGV R-squared: 0.91



NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE



Applicazione di questo modello in prospettiva hazard con tempo di ritorno 475 anni

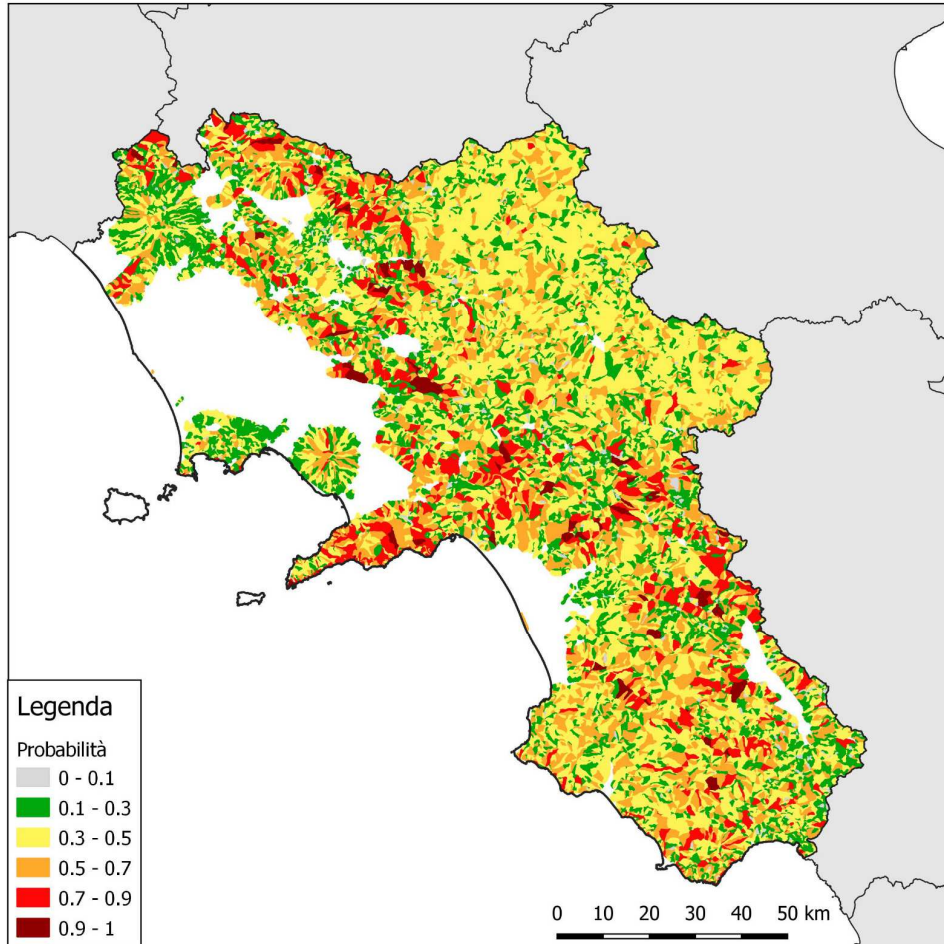


1. PGV di base ai baricentri delle slope units (SU)
2. FA PGV (con Modello ML) ai baricentri SU
3. PGV amplificata ai baricentri SU
4. Probabilità frana sismo-indotta alle SU (modello ML)

FA = Fattore Amplificazione
SU = Slope Unit
ML = Machine Learning



NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE



Applicazione di questo modello in prospettiva hazard con tempo di ritorno 475 anni



1. PGV di base ai baricentri delle slope units (SU)
2. FA PGV (con Modello ML) ai baricentri SU
3. PGV amplificata ai baricentri SU
4. Probabilità frana sismo-indotta alle SU (modello ML)

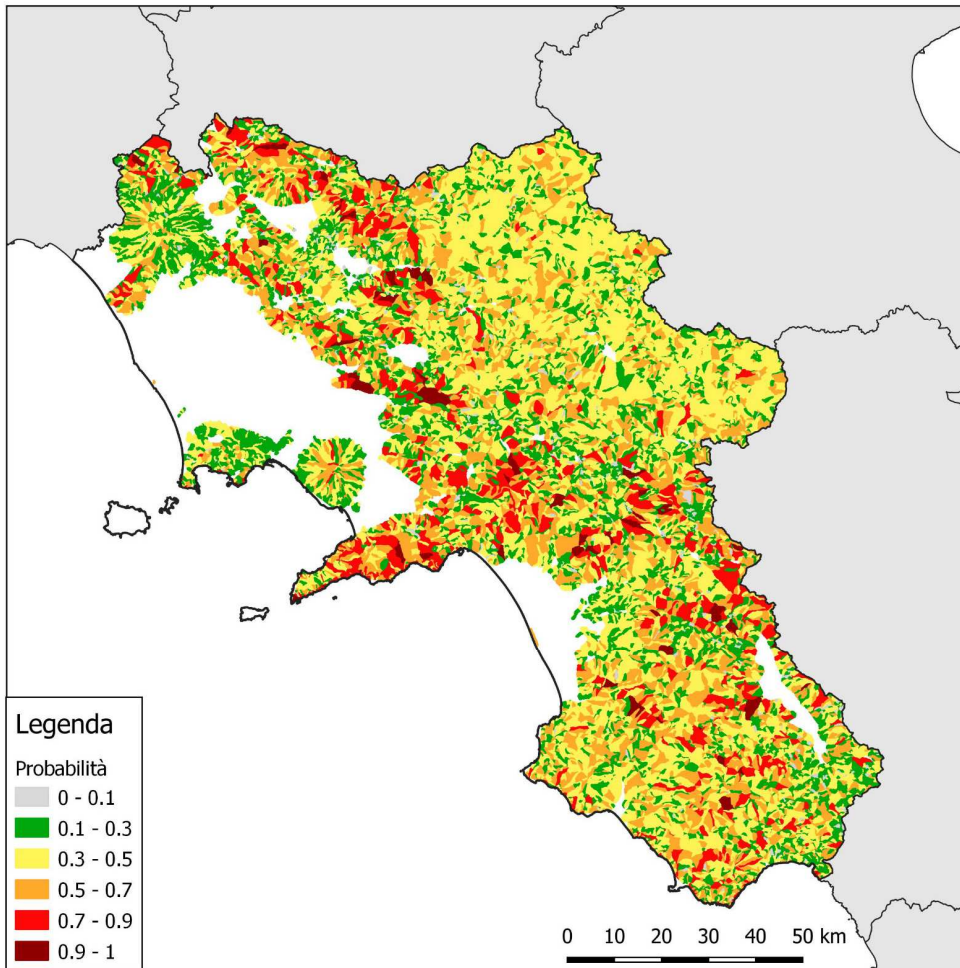
FA = Fattore Amplificazione
SU = Slope Unit
ML = Machine Learning



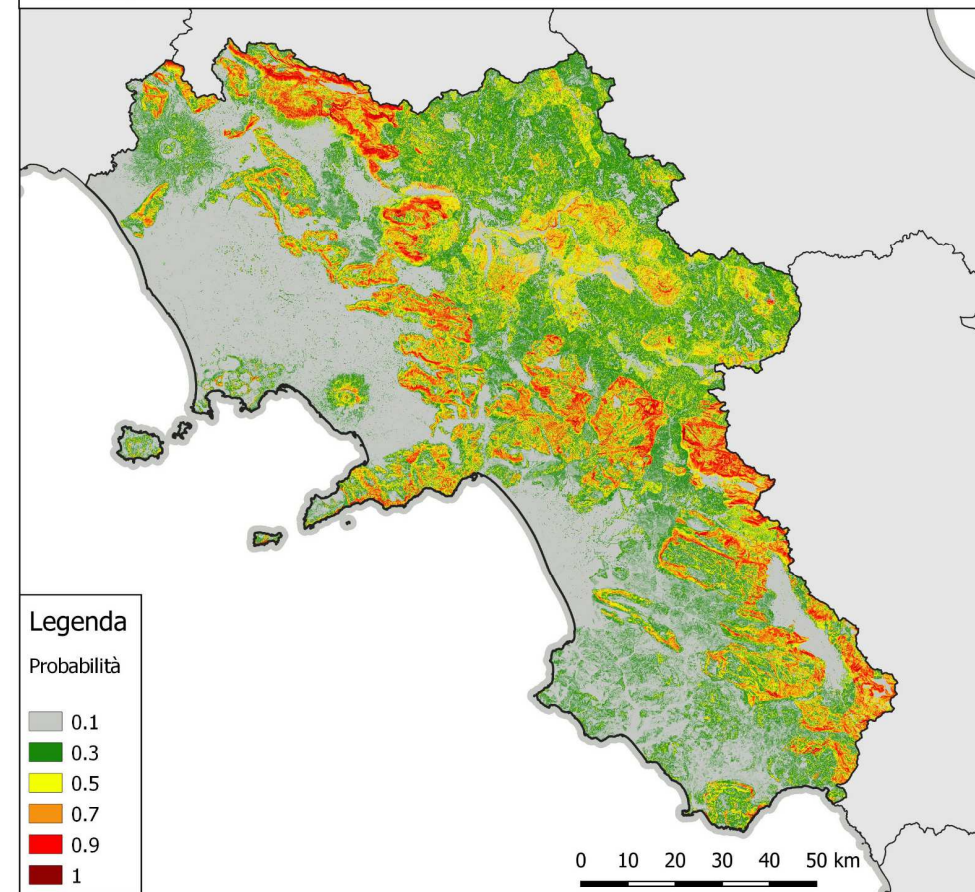
NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - FRANE



Mappa di probabilità di accadimento 2023 (in lavorazione)



Mappa di probabilità di accadimento dei fenomeni di frana sismoindotta (a $Tr=475y$) basata sul metodo di Nowicki et al., 2018



NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - LIQUEFAZIONE

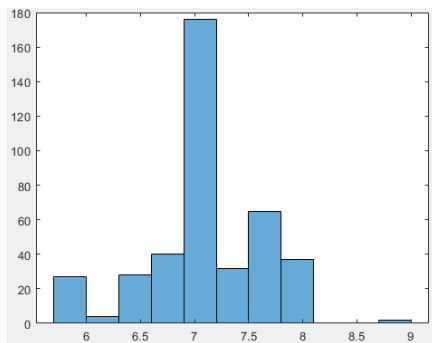


415 records

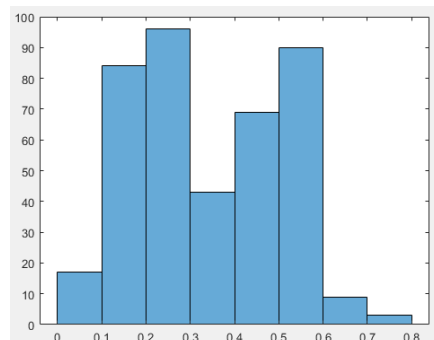
Vs-based dataset
Kayen et al., 2013

site ID	LOCATION	M_w	Liquefied?	Crit. Depth Range (m)	Depth to GWT (m)	S_{vw} (kPa)	S'_{vw} (kPa)	a_{max} (g)	r_d	CSR	V_{s1}	ORIGINAL SITE REFERENCE	
1906 San Francisco M7.7 Earthquake, California, USA													
9001	Coyote Valley	7.7 ± 0.10	YES	3.5 -	6	77.08 ±	8.53 54.03 ±	5.41	0.36 ±	0.09	0.09 ± 0.09 0.30 ± 0.09	172.0 ± 2.00	Barrow, 1983
9002	Salinas River North	7.7 ± 0.10	NO	9.1 -	10.6	155.24 ±	8.31 117.47 ±	6.09	0.32 ±	0.08	0.68 ± 0.16 0.19 ± 0.07	172.1 ± 5.64	Barrow, 1983
1948 Fukui M7.1 Earthquake, Japan													
116	HINO GAWA EAST BANK, FUKUI PREF. EQUESTRIAN CENTER.	7.1 ± 0.12	Yes	6.0 -	10	143.50 ±	14.15 74.83 ±	8.10	0.50 ±	0.13	0.64 ± 0.14 0.40 ± 0.14	142.3 ± 17.04	Office of the Engineer (1949); Hamada et al. (1992); This study
103	MORITA-CHO GAKKU, HAMADA ET AL. 5'	7.1 ± 0.12	Yes	4.0 -	8	112.83 ±	13.90 61.23 ±	8.08	0.50 ±	0.13	0.92 ± 0.11 0.55 ± 0.18	201.9 ± 38.20	Office of the Engineer (1949); Hamada et al. (1992); This study
101	MORITA-CHO KOEN, HAMADA ET AL. 1':5'	7.1 ± 0.12	Yes	6.0 -	10	144.67 ±	14.21 73.45 ±	8.18	0.50 ±	0.13	0.84 ± 0.14 0.53 ± 0.18	169.4 ± 61.39	Office of the Engineer (1949); Hamada et al. (1992); This study

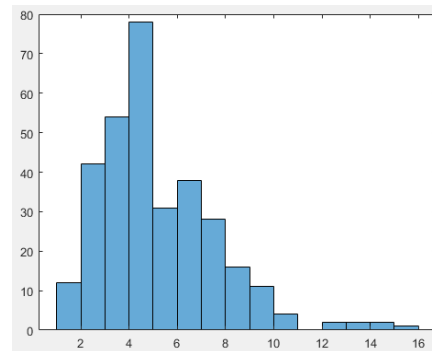
Magnitude M_w



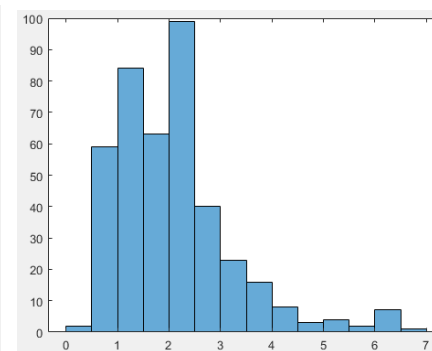
Peak ground acceleration a_{max}



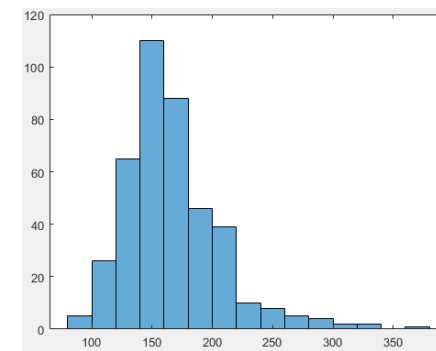
Average depth of liquefiable layer



Ground Water Table GWT depth



Vs1

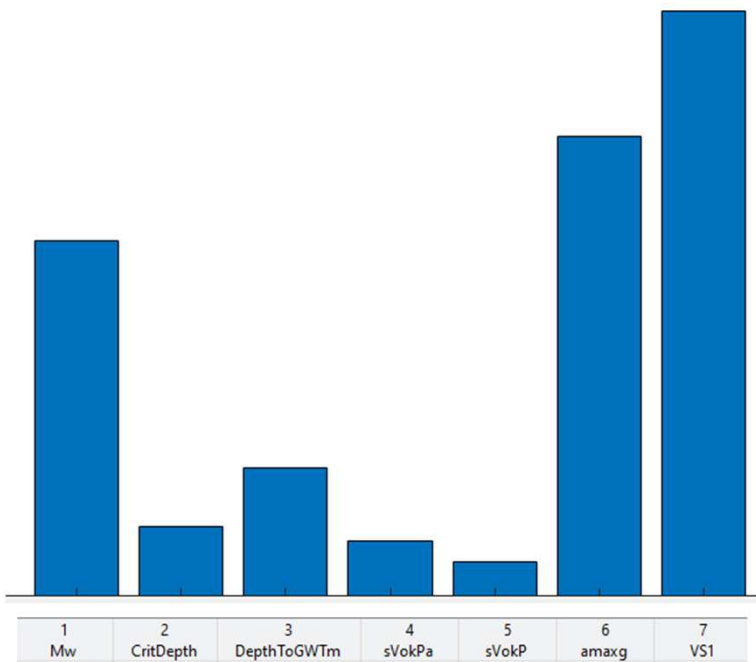


NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - LIQUEFAZIONE

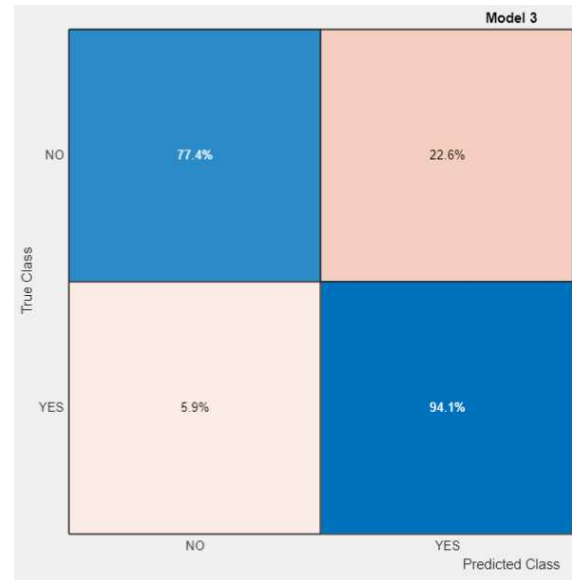


415 records

Vs-based dataset
Kayen et al., 2013



ML algorithm *Ensemble Bagged Tree*



This ML model can predict the liquefaction occurrence in 94.1% of the cases (True positive = Yes vs Yes), and the absence of liquefaction in the 77.4% (True negative= No vs No).

False positives are obtained in 22.6% of the cases (No vs Yes), while false negatives correspond to 5.9% (Yes vs No)

$$Accuracy = \frac{TrueNegative + TruePositive}{TrueNegative + TruePositive + FalsePositive + False\ Negative} = 90\%$$

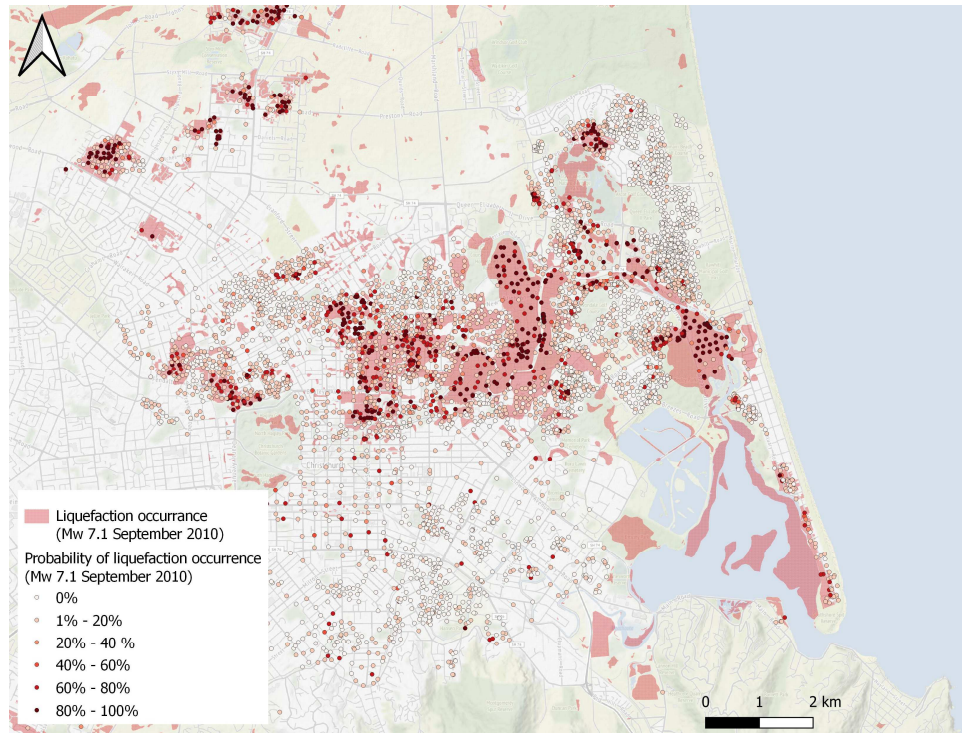


NUOVI MODELLI IN FASE DI SVILUPPO - LIQUEFAZIONE

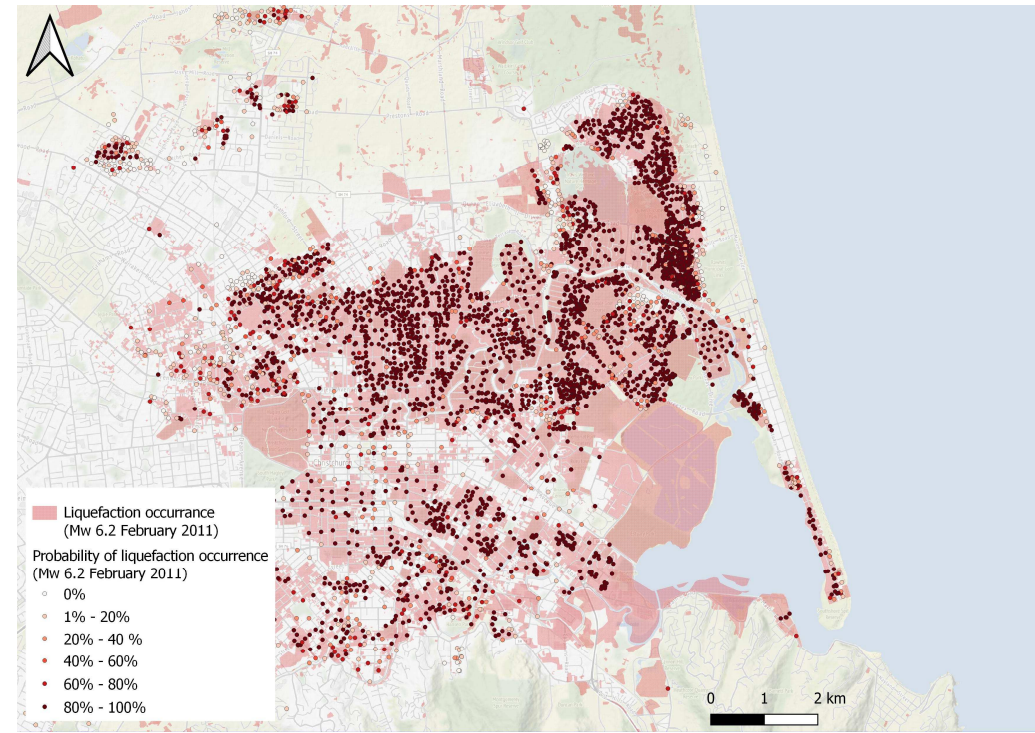


WIDE AREA

Christchurch



Earthquake M_w 7.1 (September 2010)



Earthquake M_w 6.2 (February 2011)



CONCLUSIONI



CONCLUDO

Per la realizzazione di mappe di livello 0 stiamo puntando ad approcci data-driven allenati sulla enorme mole di dati raccolti dalla Microzonazione Sismica (database unico al mondo) e su quanto presente in altre banche dati esistenti

Affinché l'affidabilità di queste mappe di livello 0 sia sempre maggiore è fondamentale lavorare sul miglioramento dei predittori dei modelli che sostanzialmente sono:

- lo scuotimento (il trigger) che a sua volta dipende da
- la predizione del parametro V_s



CONCLUSIONI



CONCLUDO

Per fare questo stiamo lavorando su:

- analisi del dataset dei profili delle Vs (circa 22.000 profili) e sperimentazione di nuove tecniche di clustering direttamente sulle forme dei profili
- aggiornamento della carta nazionale delle Vs30
- aggiornamento della carta nazionale degli FA
- integrazione dei dati dei pozzi della 464 da tradurre in chiave GT (accordo con ISPRA) che potrà inoltre colmare anche le zone meno coperte dalla Microzonazione Sismica e dare indicazione sulla falda superficiale e orizzonte H800



Grazie per l'attenzione!