

Attività di monitoraggio sismico degli edifici sentinella in Friuli Venezia Giulia

Dott. Gabriele Peressi

PROTEZIONE CIVILE REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA

gabriele.peressi@protezionecivile.fvg.it



Buongiorno a tutti,

le attività di monitoraggio che oggi illustrerò sono parte di un progetto di ampio respiro in cui il progetto READINESS si inserisce e che ha come scopo finale il fornire degli strumenti operativi alla sala operativa regionale e all'unità di crisi nel caso un evento sismico intenso interessi il territorio regionale.

OBIETTIVI DEL PROGETTO

Obiettivo generale

Realizzazione di una rete di monitoraggio sismico finalizzata alla elaborazione di scenari di scuotimento e di danno nell'immediato post sisma.

Creazione di una rete accelerometrica con strumenti cost-effective di edifici significativi (edifici sentinella) distribuiti sul territorio in alcuni comuni della regione, per poi implementarla su scala più ampia.

Nell'ambito del progetto READINESS sono stati installati e monitorati 18 edifici.

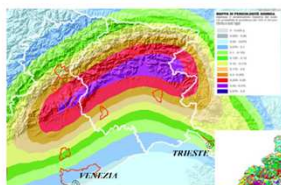


L'obiettivo generale del progetto è la realizzazione di una rete di monitoraggio sismico finalizzata alla elaborazione di scenari di scuotimento e di danno nell'immediato post sisma.

Per giungere a questo obiettivo si è pensato di realizzare una rete accelerometrica con strumenti cost-effective di edifici significativi (edifici sentinella) distribuiti sul territorio di alcuni comuni della regione, per poi implementarla su scala più ampia, realizzando la base infrastrutturale per successivi sviluppi.

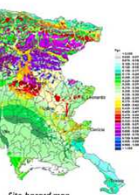
Nell'ambito del progetto READINESS sono stati installati e monitorati 18 edifici.

Individuazione dei siti e degli edifici sentinella



I siti e gli edifici sono stati individuati in base a conoscenze di natura:

- Sismica
- Geologica
- Patrimonio edilizio
- Distribuzione popolazione



Elenco dei Comuni candidati per la prima installazione dei sensori



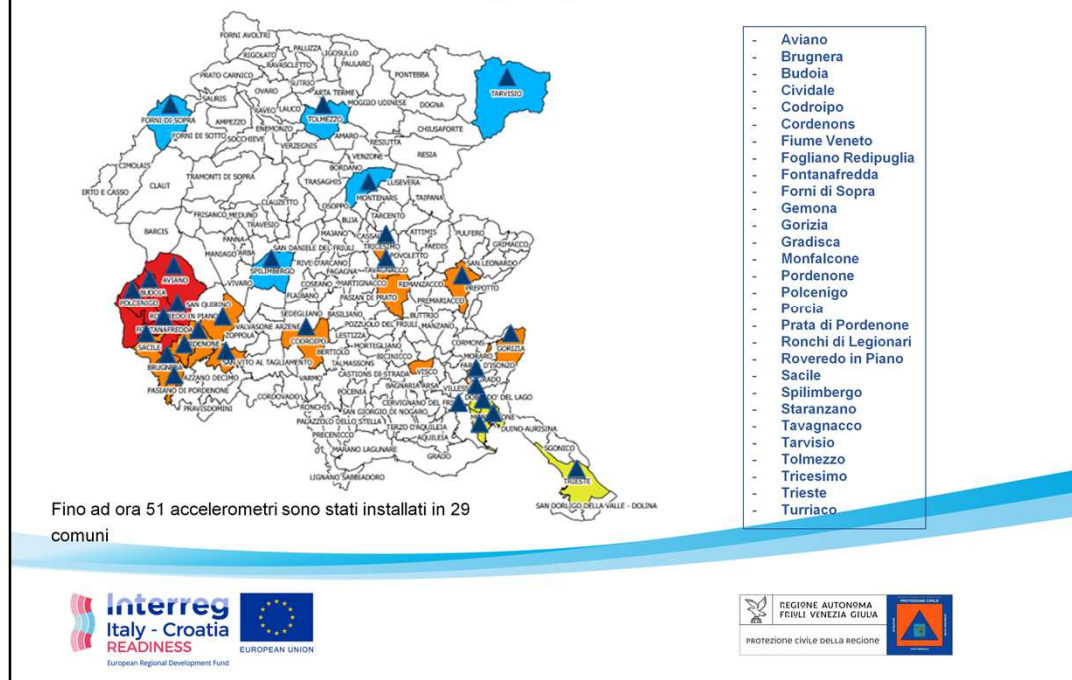
Totale 33 comuni



Come base di partenza sono stati scelti 33 edifici distribuiti su altrettanti comuni individuati sulla scorta di conoscenze di natura:

- Sismica (mappe di scuotimento)
- Geologica (microzonazione sismica)
- Patrimonio edilizio (dati ISTAT)
- Distribuzione della popolazione

Aree di interesse del progetto Edifici Sentinella



Il progetto è in avanzata fase di realizzazione e, attualmente sono stati installati 51 accelerometri in 29 comuni

Caratterizzazione dell'edificio con analisi dei microtremori



Al fine di posizionare nel punto più significativo dell'edificio gli accelerometri è stata dapprima eseguita un'analisi con i microtremori sia all'interno dell'edificio sui diversi livelli e in diversi punti della struttura sia in campo libero al fine di definire – a grandi linee – la risposta sismica locale o meglio valutare se sono possibili e prevedibili fenomeni di amplificazione e di doppia risonanza.

Visual and dimensional screenings

interreg
Italy - Croatia
READINESS

CARATTERIZZAZIONE SISMICA: SCHEDA RILIEVI E ELABORAZIONI

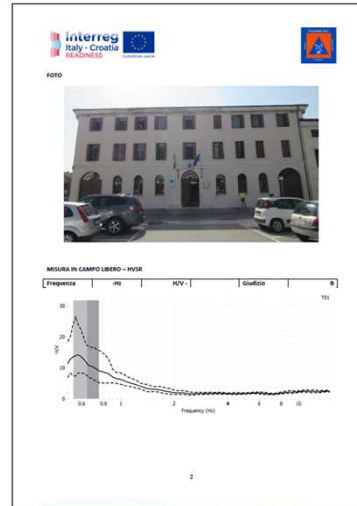
DESCRIZIONE E LOCALIZZAZIONE EDIFICIO				
Edificio	Municipio di Aiano	Comune	Aiano	
Indirizzo	Piazza Martirio 1	Coordinate	46.061027 13.188330 (EPSG: 31466)	Rilevi
				Elaborazione: 09/03/2019

COROGRAFIA E MAPPA DELLE MISURE

MISURA IN CAMPO LIBERO

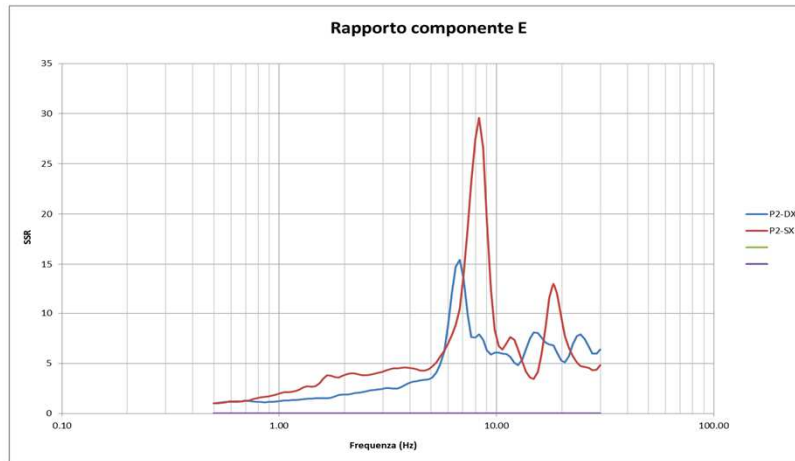
MISURA IN CAMPO LIBERO - PIVOT

MISURA IN CAMPO LIBERO - PIVOT



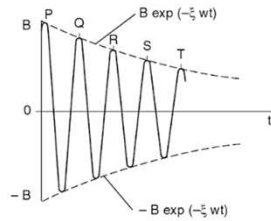
I risultati dei rilievi e delle valutazioni sopra sono state riportate in una scheda di sintesi presente anche all'interno del progetto READINESS per i 18 edifici analizzati nell'ambito del progetto stesso.

Analisi: SSR - SPECTRAL SIGNAL RATIO



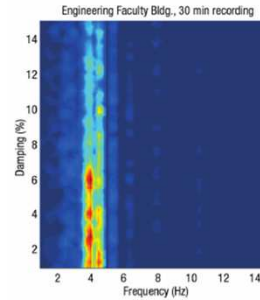
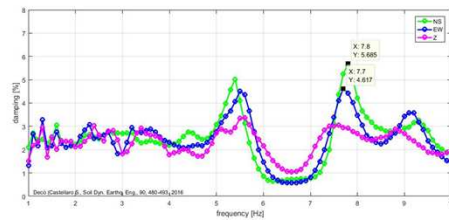
Le misure dinamiche sono state analizzate in maniera «tradizionale» ossia si sono valutati i modi di vibrare fondamentali attraverso la tecnica dei rapporti spettrali fra la misura eseguita alla base (o in free field se disponibile) e ai diversi livelli

Analisi: DAMPING



Damping con 3 metodi:

- Random Decrement (RDM)
- NonPaDAn
- Decò



Limitatamente al modo di vibrare fondamentale è stata posta nella stima del DAMPING in quanto si voleva ricercare un parametro significativo per il danneggiamento.

In realtà tale parametro è risultato di difficile valutazione tant'è che – in taluni casi – la sua determinazione con diversi metodi porta a risultati molto dispersi e poco stabili (funzione ad esempio dei parametri di filtraggio dei dati richiesti da taluni algoritmi).

Stime del livello di vulnerabilità sismica

Il massimo trasferimento di energia dal suolo alla struttura avviene in corrispondenza delle frequenze di risonanza di questa ultima ed inoltre, in presenza di fenomeni di risonanza del suolo, saranno le frequenze corrispondenti ai modi di vibrazione propri quelle maggiormente eccitate in caso di terremoto.

Confrontando quindi le modalità di vibrazione del suolo e della struttura è quindi possibile individuare le situazioni più pericolose almeno nella fase iniziale del danneggiamento secondo la relazione (Bondarelli, 2009):

$$D = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{F_e}{F_s}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{S \cdot F_e}{F_s}\right)^2}}$$

- dove:
- D amplificazione dinamica
- F_e frequenza della struttura
- F_s frequenza del terreno
- S damping della struttura

Si è pensato al damping in quanto, insieme agli altri parametri rilevati nel corso della caratterizzazione, permette di ricavare una stima del danneggiamento atteso.

Confrontando le modalità di vibrazione del suolo e della struttura è quindi possibile individuare le situazioni più pericolose almeno nella fase iniziale del danneggiamento secondo la relazione di Bondarelli, 2009.

L'idea quindi con questa formula era quella di categorizzare gli edifici.

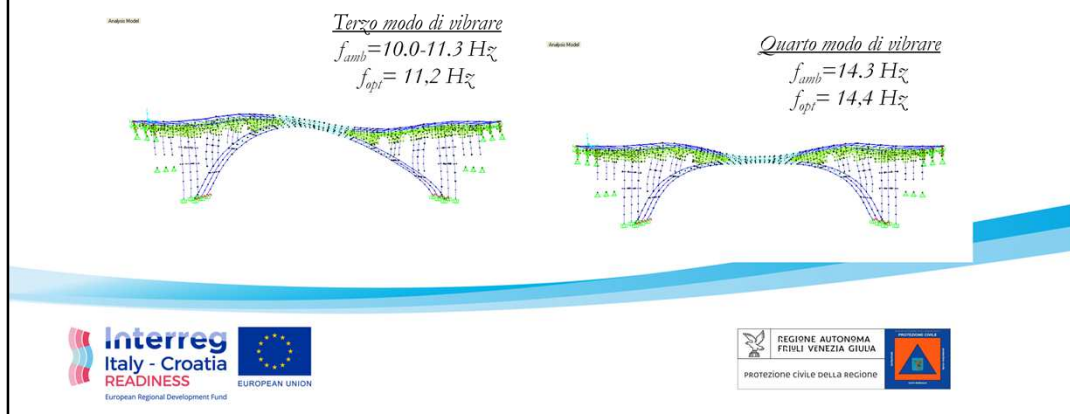
Sintesi dei dati

Edificio	Frequenza SSR		Frequenza RDM		Metodo RDM		Frequenza NOPAdaN		Metodo NOPAdaN		K	H	Tipologia
	F nord (Hz)	F east (Hz)	F nord (Hz)	F east (Hz)	D nord (%)	D east (%)	F nord (Hz)	F east (Hz)	D nord (%)	D east (%)			
01 Aviano	6.7	7	6.99	7.07	8.44	8.3	7	7.1	7.1	8.4	4.4	6	M
03 Budrio Municipio	9.3	10.3	8.08	9.44	2.27	4.29	8.4	10	3.1	2.9	9	6	M
04 Caneva sede PC	6.2	6.7	6.6	7.7	9.19	14.36	6.3		11.8		2.9	3	M
08 Codroipo Municipio	5.8	5.6	5.65	5.34	5.5	3.7	5.8	5.5	2.8	3.4	6.7	9	CA
09 Cordenons Ed1	5.58	4.67	5.49	4.38	1.46	1.4	5.3	4	4.8	3.6	52	6	CA
09 Cordenons Ed2	3.79	3.79	3.86	3.86	1	1.1	3.9	4	1.4	1.9	260	4	CA
17 Gorizia 22	4.08	4.67	4.1	4.64	1.09	2.32	4.7	4.7	2.8	2.9	50.6	10	M
Monfalcone	5.27	7.65	4.86	7.78	2.3	2.26	4.9	6	2.2		15.5	10	CA
24 Polcenigo	8.25	7.38	7.81	7.24	6.1	1.82	7.2	7	1.9	1.1	8.4	3	CA
25 Porcia	8.25	5.86	8.28	5.6	4.57	1.57	7.8	5.6	5.2	1.6	22	6	CA
26 Pordenone	4.67	5.72	4.56	5.36	4.42	5.3	4.5	5	2.3	3.8	8.1	9	CA
30 Rovereto	9.4	10.33	9.71	10.79	2.7	5.7	9.5	10	1.6	1.2	3.9	3	CA
31 Sacile municipio storico	4.67	6.16	3.74	6.21	2.56	1.2	4.1	5.8	3.3	1.9	8	8	M
31 Sacile municipio nuovo	9.44	10.63	9.31	11.01	4.08	11	6		3.8	5	5	6	CA
37 Staranzano	9	7.05	9.06	6.77	1.2	2.6	3	7	1.2	4.9	7	6	CA
43 Tricesimo	5	4.67	4.8	4.55	1.3	1.2	4.8	5.2	1.1	1.4	30.6	9	M
48 Turriaco	7	8	6.72	7.66	2.9	4.1	6.9	7.9	3.5	3.3	7.6	7	M
Gradisca Municipio	8.32	8.32	7.92	8.44	3.6	3.2	8.1	7.6	1.9	4.9	15.5	7	M

In questa slide su cui non mi soffermo i risultati delle analisi.

Cosa serve la caratterizzazione dinamica

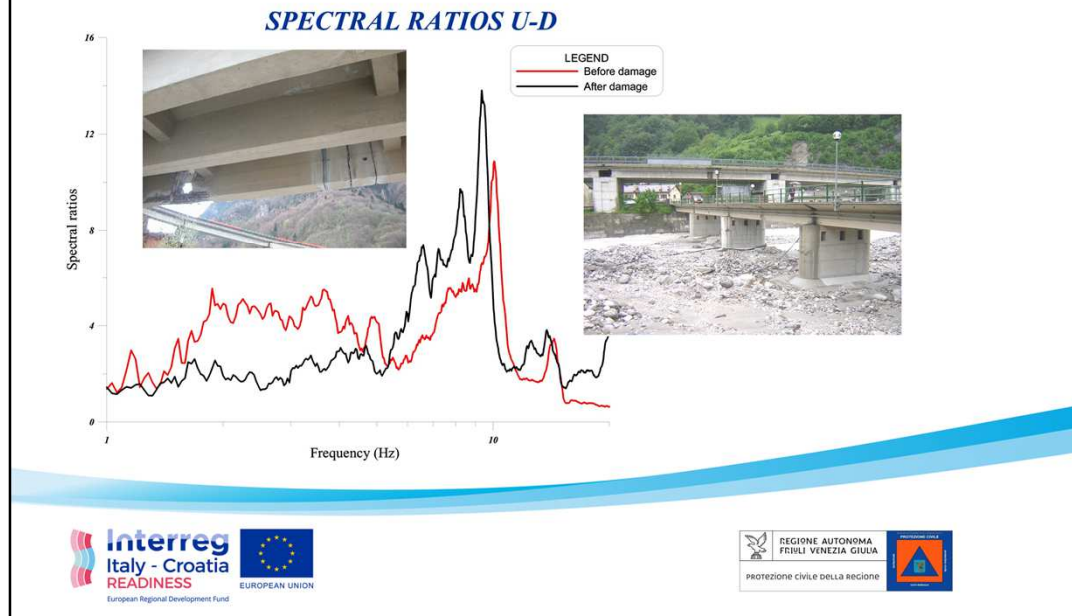
- Per definire il corretto posizionamento in sito della strumentazione utilizzata per il monitoraggio continuo
- Per definire i parametri da monitorare
- Eventualmente per tarare un modello strutturale



La caratterizzazione dinamica quindi serve ed è servita nel progetto al fine di:

- definire il corretto posizionamento in sito della strumentazione utilizzata per il monitoraggio continuo
- definire i parametri da monitorare
- tarare un modello strutturale, quest'ultimo utilizzo in realtà in base all'esperienza è il più utile in quanto in presenza di varie incertezze a livello strutturale i dati che si ricavano da una caratterizzazione dinamica sebbene speditiva sono molto utili per tarare parametri quali la rigidezza e i vincoli imposti alla struttura.

Quali parametri variano con il danneggiamento?



Ma quali parametri variano con il danneggiamento?

E' noto che un edificio in seguito a danneggiamento sismico varia il suo modo di vibrare, si ha un decadimento della frequenza fondamentale.

Purtroppo con misure non continue variazioni nel modo di vibrare anche apprezzabili strumentalmente possono venire erroneamente attribuite a danneggiamento mentre in realtà le cause possono essere altre come manutenzioni, variazioni di temperatura ecc..

Da qui l'importanza nel monitoraggio continuo degli edifici che permette di valutare se le variazioni delle caratteristiche dinamiche avvengono in corrispondenza di eventi sismici.

Monitoraggio continuo con strumenti cost-effective

Municipio di Aviano



Installazione
alla base

Installazione
al top



Vengono installati sensori nel punto piu' basso (piano terra, interrato) e piu' alto (l'ultimo piano, sottotetto) dell'edificio. La misura alla base viene considerata 'free field' (campo libero), mentre quella al top identifica il comportamento dinamico della struttura sottoposta a sollecitazione.

Nell'ambito del progetto vengono pertanto installati sensori nel punto piu' basso (piano terra, interrato) e piu' alto (l'ultimo piano, sottotetto) dell'edificio.

La misura alla base viene considerata 'free field' (campo libero), mentre quella al top identifica il comportamento dinamico della struttura sottoposta a sollecitazione.

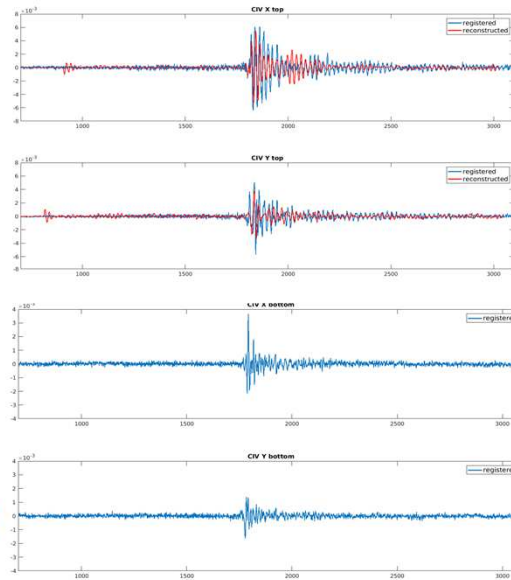
Stime di scuotimento



CIVIDALE

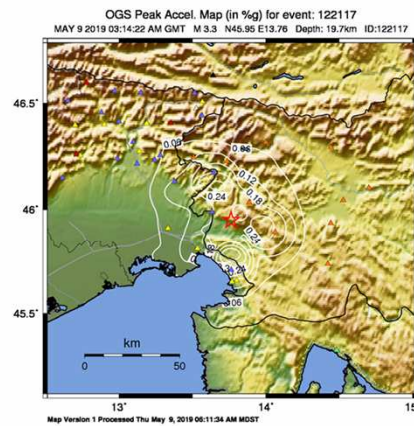


Basato sulla caratterizzazione degli edifici (frequenze e contributo dei modi) con le registrazioni del rumore ambientale viene calcolato lo scuotimento al top dell'edificio.



Una frontiera del progetto è questa che vi illustro e viene sviluppata dall'OGS. Viene eseguita cioè una stima dello scuotimento in base alle risultanze della caratterizzazione dinamica degli edifici (frequenze e contributo dei modi) e viene calcolato lo scuotimento al top dell'edificio, il confronto fra dato misurato e calcolato permette una taratura del modello e una sua validazione. Se attendibile, questo metodo, permetterà attraverso una caratterizzazione dinamica degli edifici di stimare, noto l'input sismico alla base lo scuotimento al topo della struttura e valutare così il drift di interpiano che sembra il parametro e meglio la misura che meglio si correla con il danneggiamento.

Evento del 9 Maggio 2019 (M = 3.3 SLO)



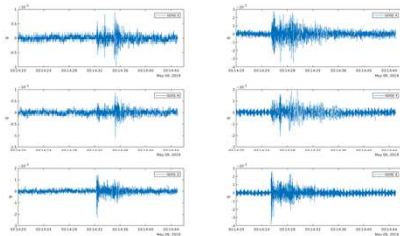
Quindi se la stima del danneggiamento strutturale degli edifici è ancora oggetto di ricerca anche all'interno del progetto, i frutti operativi sono quelli che vi illustro.

Per farlo prenderò in esame un recente evento che ha interessato la nostra regione all'inizio di maggio si tratta di un evento piccolo, un terremoto di magnitudo 3.3 con epicentro la vicina Slovenia.

Nell'immagine la shake map che per eventi sopra una determinata soglia viene prodotta nel nostro caso da OGS ma anche da INGV.

Queste mappe riportano i valori di picco registrati da accelerometri e sismometri presenti nella zona del terremoto. Ove non sono presenti valori osservati, il software interpola i dati avvalendosi, ad esempio, delle leggi di attenuazione dello scuotimento con la distanza disponibili per l'area in esame.

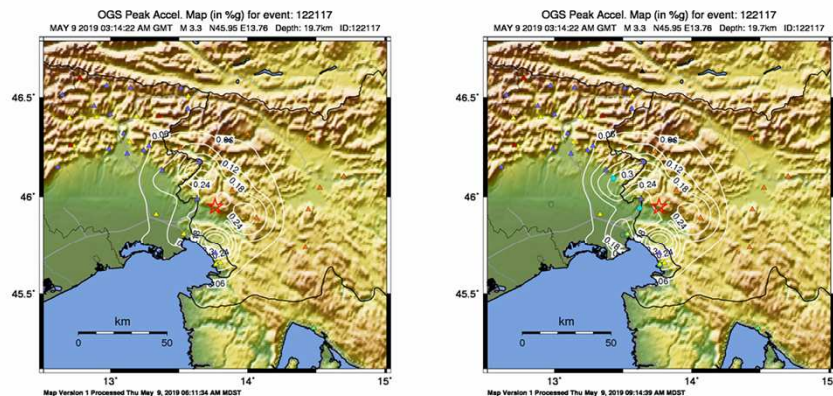
Evento del 9 Maggio 2019 registrazione a Gorizia



Disponendo una fitta rete di sensori anche al suolo, per terremoti di un certa intensità, questa mappa conterrà più dati misurati e sarà capace di cogliere anche fenomeni di amplificazione locale proprio nelle zone dove maggiore è l'edificato o più vulnerabile è il territorio.

Nel caso in esame il terremoto del 9 maggio è stato registrato da alcuni sensori della rete edifici sentinella come quello di Gorizia ma anche nella stazione di Cividale che abbiamo visto prima.

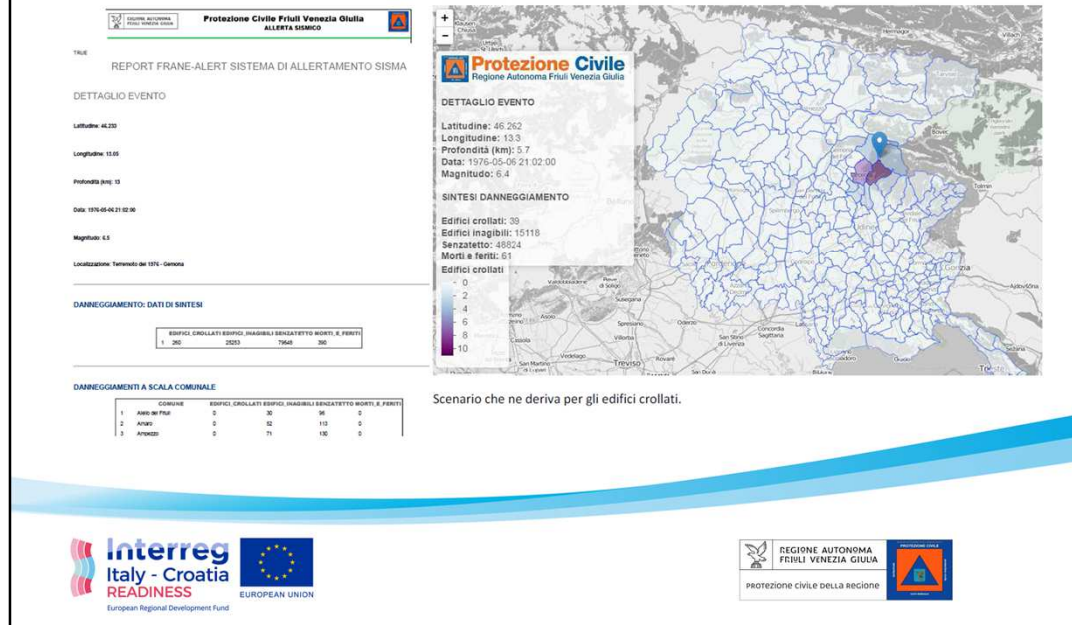
Integrazione nelle shake maps



I soli sensori presenti alla base hanno permesso di ricalcolare la mappa di scuotimento andando così a meglio definire i valori di **accelerazione** e **velocità di picco del suolo** proprio nelle zone edificate.

Già una **trasposizione di questi valori in intensità macrosismica** (Mercalli Cancani Sieberg, MCS) fornisce **una prima e più dettagliata indicazione sul livello di scuotimento osservato** e quindi del **potenziale impatto** per il coordinamento e l'organizzazione delle squadre di soccorso in caso di terremoti rilevanti.

Stima del danno – SIGE FVG



Questi dati misurati affinati con modelli più evoluti che tengono conto di curve di fragilità specifiche permetteranno un upgrade del sistema di valutazione del danno attualmente implementato nella nostra regione che, in maniera molto semplice, utilizza i dati dell'ultimo censimento ISTAT (2011) a livello di zona censuaria e esegue una stima del danneggiamento secondo una procedura di calcolo individuata negli studi di Giovinazzi S. e Lagomarsino S.