



CONDIVISIONE E APPLICAZIONE DI STRATEGIE INNOVATIVE PER LA PROTEZIONE SISMICA DI EDIFICI IN MURATURA

MOTIVAZIONE DELLO STUDIO

I numerosi eventi sismici che si sono verificati negli ultimi decenni hanno comportato per la collettività enormi costi sociali, in termini di vittime e di costi economici; negli ultimi 50 anni in Italia e Slovenia si valutano circa 5000 vittime, centinaia di migliaia di sfollati e costi per emergenza e ricostruzione di oltre 200 miliardi di euro.

L'areadelProgramma comprendecinqueprovinceitaliane (Trieste, Udine, Pordenone, Gorizia, Venezia) e cinque regioni statistiche slovene (Primorsko-notranjska, Osrednjeslovenska, Gorenjska, Obalno-kraška, Goriška). Quest'area è diffusamente interessata da sismicità moderata ed elevata, per la presenza di numerose faglie attive, e una grossa parte del patrimonio edilizio è costituito da edifici in muratura. In queste zone, quindi, assume un notevole rilievo la protezione sismica degli edifici, per salvaguardare la sicurezza delle persone, delle costruzioni e dei beni contenuti nelle stesse. Il progetto CONSTRIN è inquadrato in particolare sugli edifici esistenti in muratura, maggiormente vulnerabili all'eccitazione sismica.

La gran parte del patrimonio edilizio è in muratura (pietra naturale, laterizi), inoltre, gli edifici sono stati costruiti per la maggior parte senza criteri antisismici e quindi vulnerabili al terremoto. Si rende allora necessaria un'azione di riduzione della vulnerabilità degli edifici, per la sicurezza delle persone, delle strutture e dei contenuti.

CRITICITÀ DEGLI EDIFICI IN MURATURA

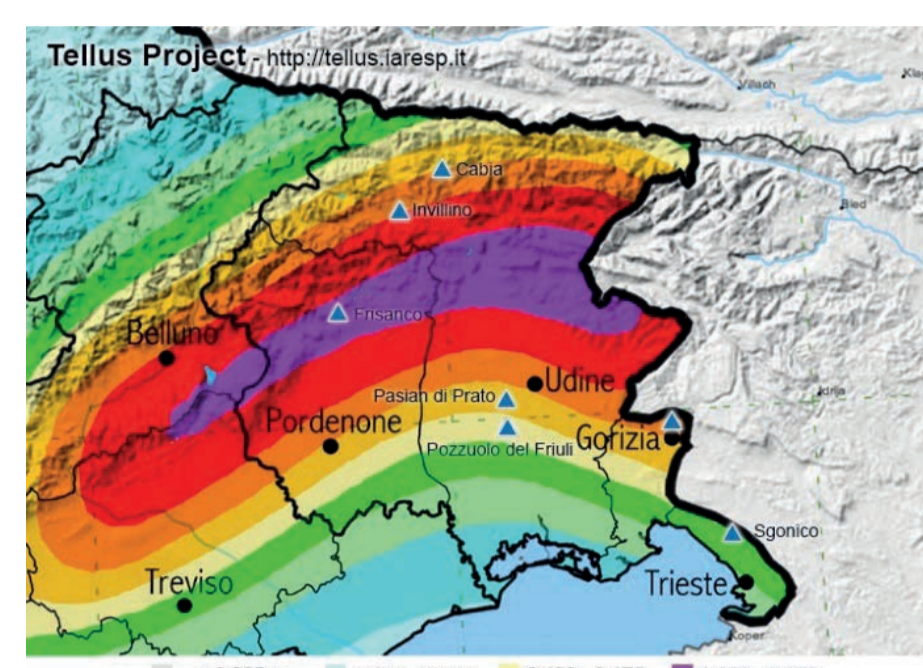
Lo studio dei danni successivo agli eventi sismici ha dimostrato che ci sono diverse carenze tipiche degli edifici in muratura: collegamento inadeguato tra elementi strutturali e mancanza di comportamento scatolare; disposizione inadeguata degli elementi strutturali (in pianta e in elevazione); resistenza inadeguata della muratura; problemi legati alla fondazione e al suolo. Gli edifici con connessioni inadeguate tra gli elementi strutturali tendono a scomporsi in singoli elementi in seguito all'eccitazione sismica. Diversamente, se le connessioni tra gli elementi sono adeguate, tutte le pareti lavorano assieme per resistere alle sollecitazioni di origine sismica (comportamento scatolare). Infine, l'inadeguata resistenza della muratura comporta rotture dei vari elementi per disgregazione della muratura (pietre tondeggianti), separazione degli strati (murature a più paramenti), fessurazione diagonale, scorrimento o pressoflessione.



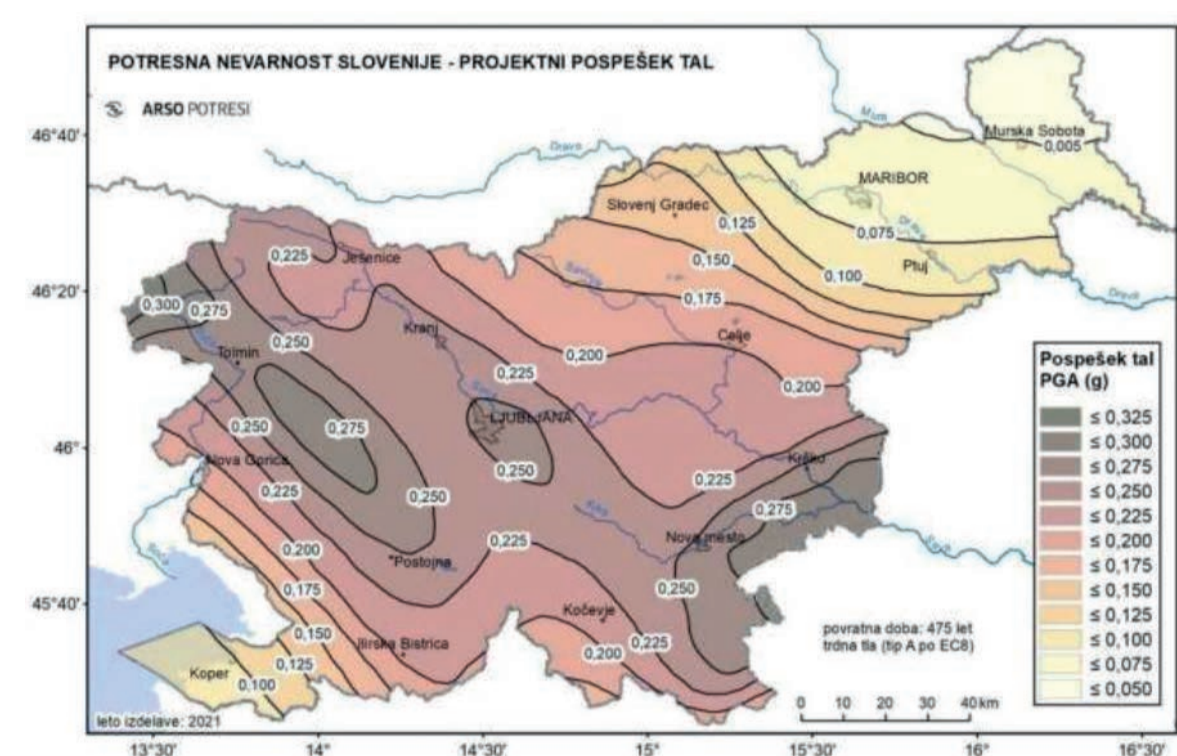
Friuli, 1976 - Venzone

Emilia, 2012 - Duomo di Mirandola

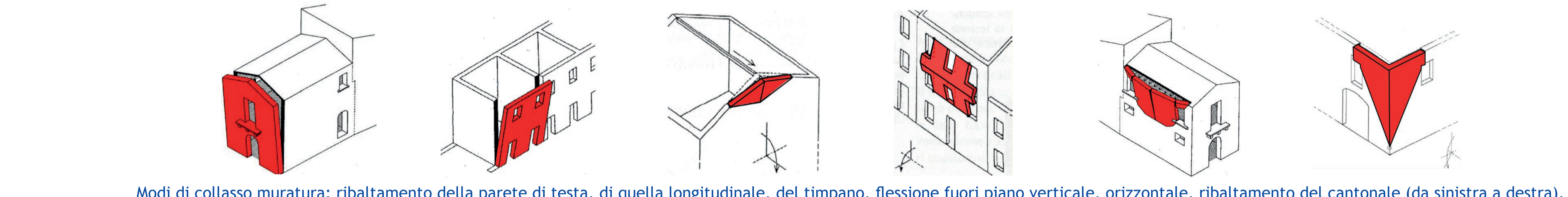
Posoçje, 1998 - Bovec



Mappa di pericolosità sismica Italia (INGV)



Mappa di pericolosità sismica Slovenia (Slovenia Seismology Office)

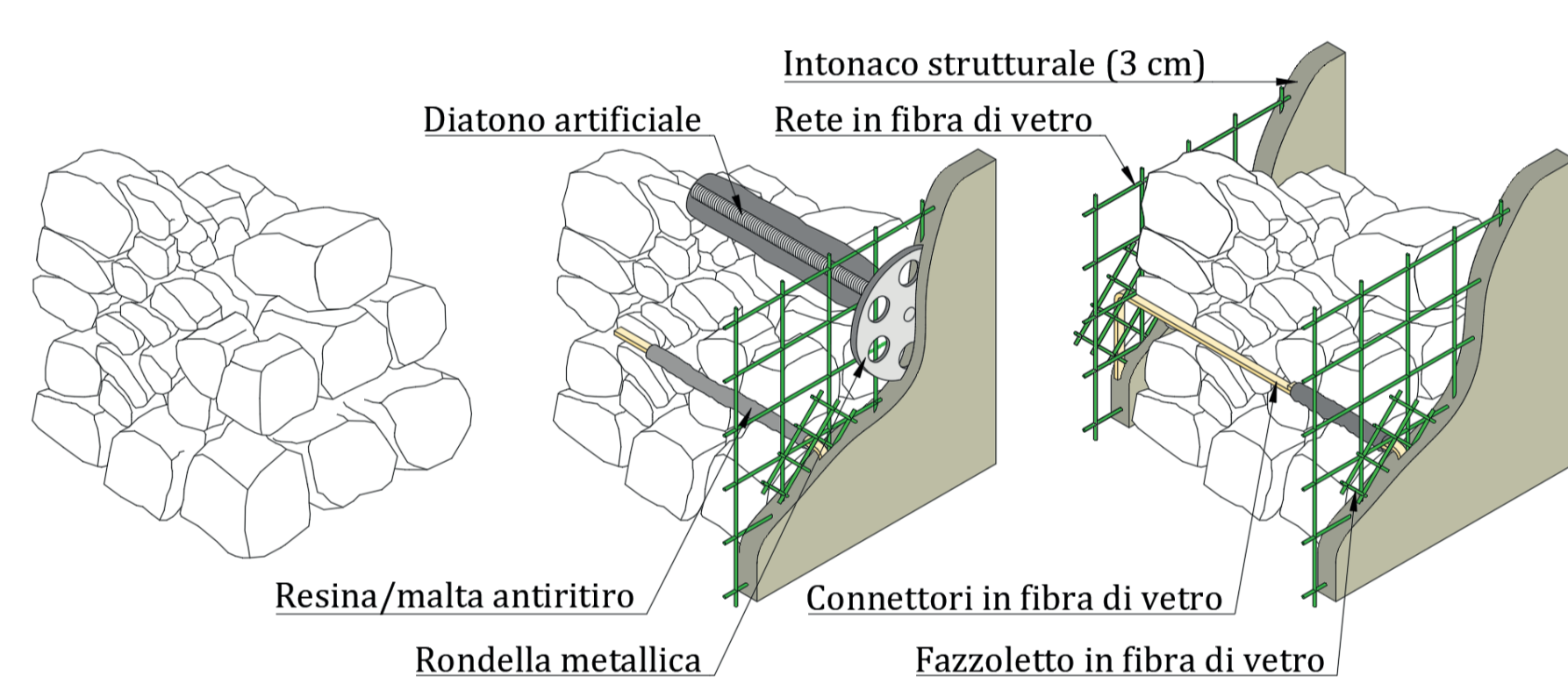


Modi di collasso muratura: ribaltamento della parete di testa, di quella longitudinale, del timpano, flessione fuori piano verticale, orizzontale, ribaltamento del cantonale (da sinistra a destra).

OBBIETTIVO

Il progetto è basato sulla sinergia di competenze nel campo del settore produttivo, esecutivo e della ricerca, per promuovere l'innovazione nell'ambito degli interventi di consolidamento strutturale e diffondere le conoscenze ed esperienze acquisite, per aumentare il know-how e la competitività degli operatori nel settore dell'edilizia.

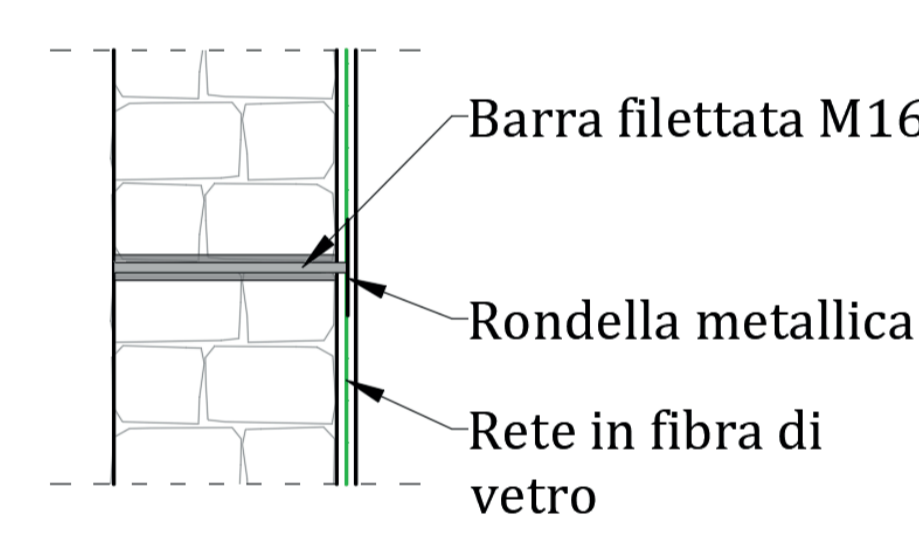
La maggior parte delle tecniche proposte in passato per l'adeguamento sismico degli edifici in muratura risultano generalmente invasive, prevedendo di evacuare l'edificio durante l'intervento. In questo senso il progetto ha sviluppato una tecnica d'intervento ad elevata efficacia e a basso impatto sui residenti e sulle attività che hanno luogo negli edifici, prevedendo di intervenire dall'esterno con un intonaco armato con rete in materiale composito e aggiunta, in caso di murature a più paramenti, di diatoni artificiali opportunamente ammortati al rinforzo, per evitare lo sfogliamento/disgregazione della parete.



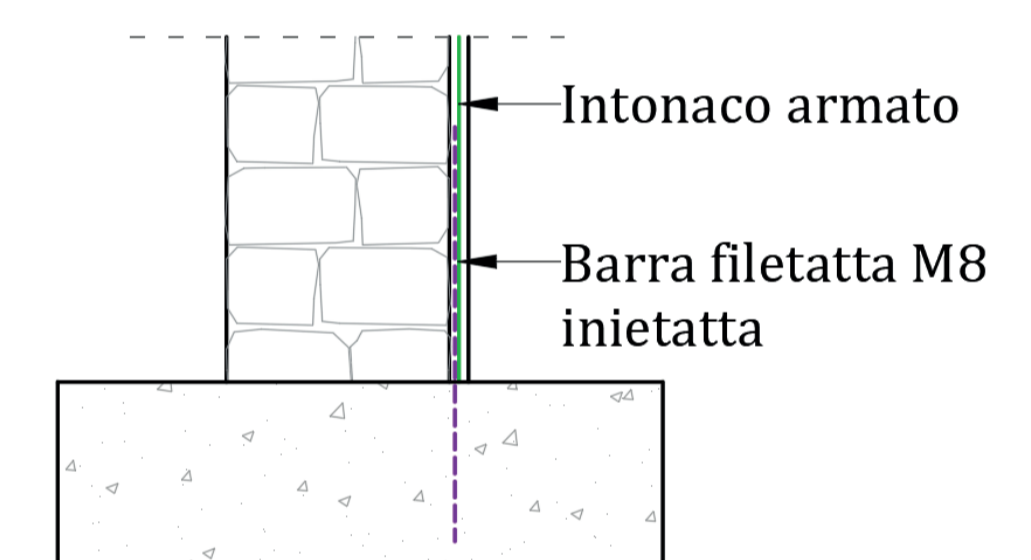
Dettagli della tecnica di rinforzo proposta (da sinistra a destra): confronto tra muratura non rinforzata, rinforzata su un solo lato e rinforzata da entrambi i lati; esempio di applicazione; collegamento in fondazione.



Connessione tra muratura e intonaco armato: vista in sezione



Connessione tra intonaco armato e fondazione: vista in sezione



RISULTATI DELLO STUDIO

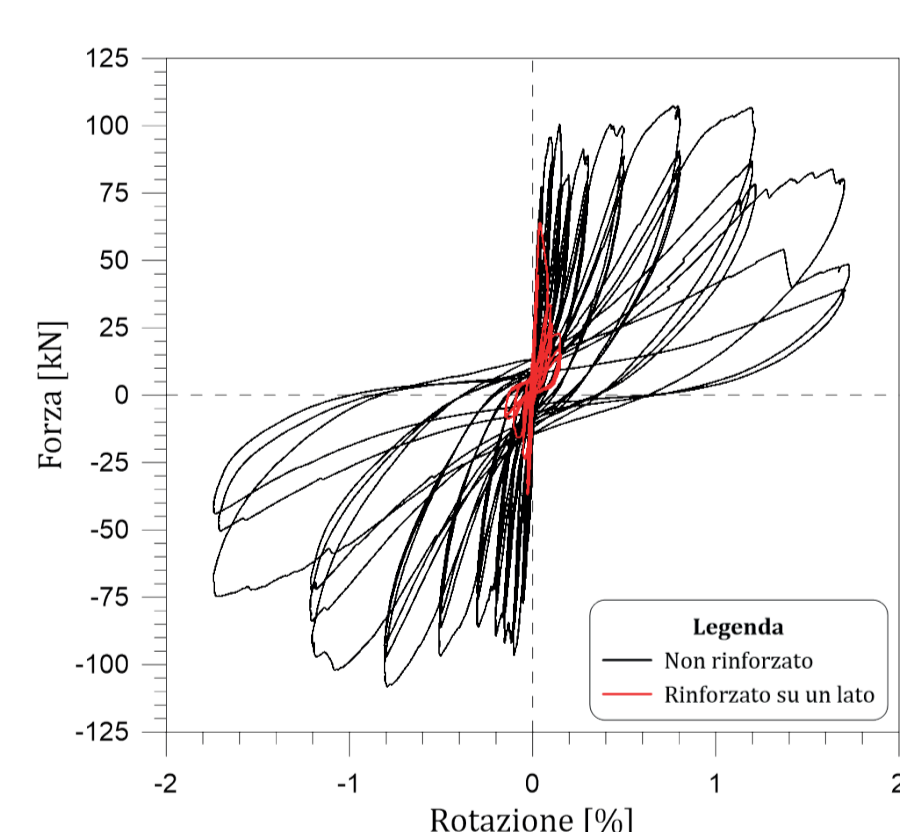
Vista la mancanza di evidenze sperimentali riguardanti la tecnica proposta, è stata eseguita un'ampia campagna sperimentale per la sua caratterizzazione. La campagna comprende prove su singoli elementi murari in scala reale, sollecitati sia nel piano che fuori dal piano e una prova ciclica quasi-statica su un edificio in muratura di pietra di due piani. Tutte le prove eseguite sono state di tipo ciclico quasi-statico, per consentire di evidenziare anche la capacità di dissipare energia ad ogni ciclo. Oltre a misure dirette dei vari spostamenti relativi, è stato utilizzato un sistema di lettura ottica degli spostamenti sulla superficie della parete, che ha consentito di rilevare la formazione ed estensione delle fessure nella muratura.

Prove di taglio-compressione su maschi murari

Le prove di taglio-compressione simulano lo stato di sollecitazione di un maschio murario. I risultati, che riguardano sia campioni non rinforzati (curva nera), che campioni rinforzati da un solo lato (curva rossa) e da entrambi i lati (curva blu), evidenziano chiaramente la maggiore resistenza (60%-120%) e capacità di spostamento (150%-400%) delle murature rinforzate.



Foto prova di taglio-flessione su traversa soprafinestra.



Confronto tra campione non rinforzato e campioni rinforzati su un lato e su entrambi i lati soprafinestra.

Prove su edificio pilota

Le prove sull'edificio pilota hanno mostrato un significativo incremento di prestazioni fra il caso non rinforzato e il caso rinforzato (più che raddoppiata la resistenza e più che triplicata la capacità di spostamento; pure la capacità dissipativa al ciclo risulta notevolmente superiore nell'edificio rinforzato).

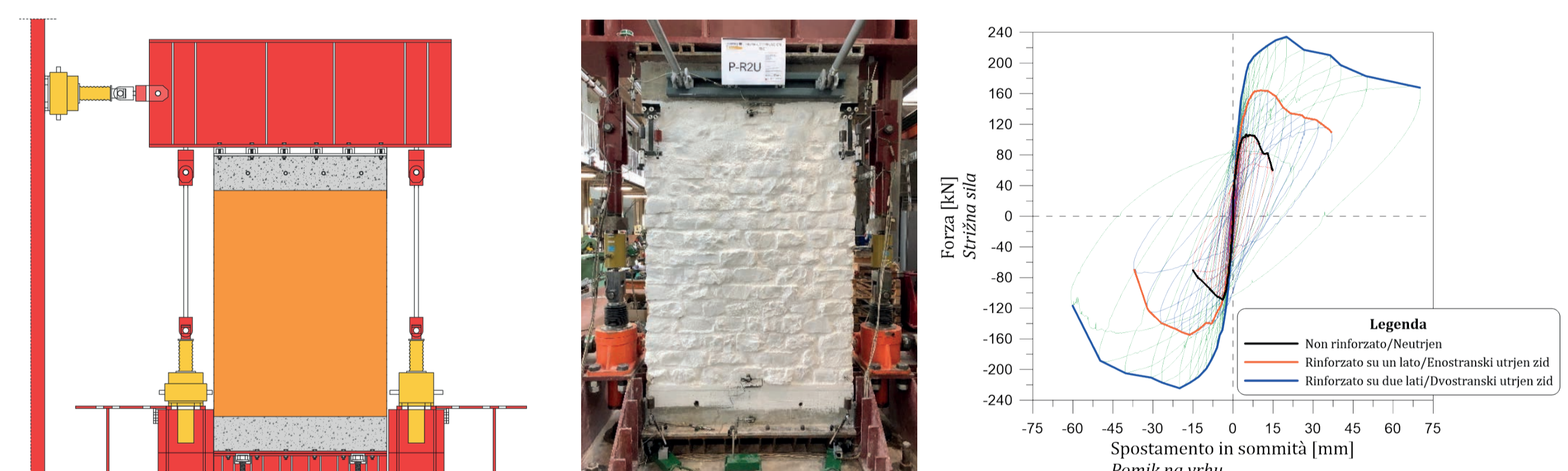


Foto prova di taglio-compressione.

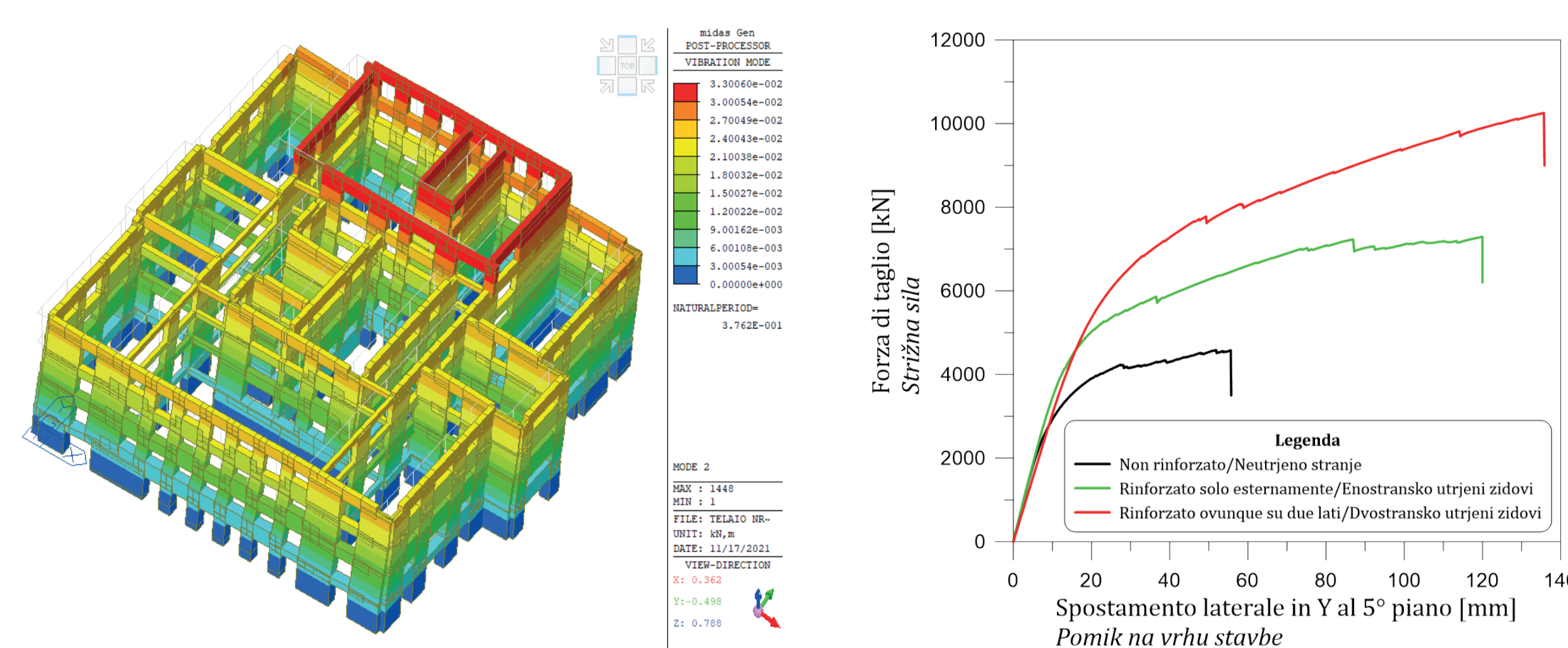
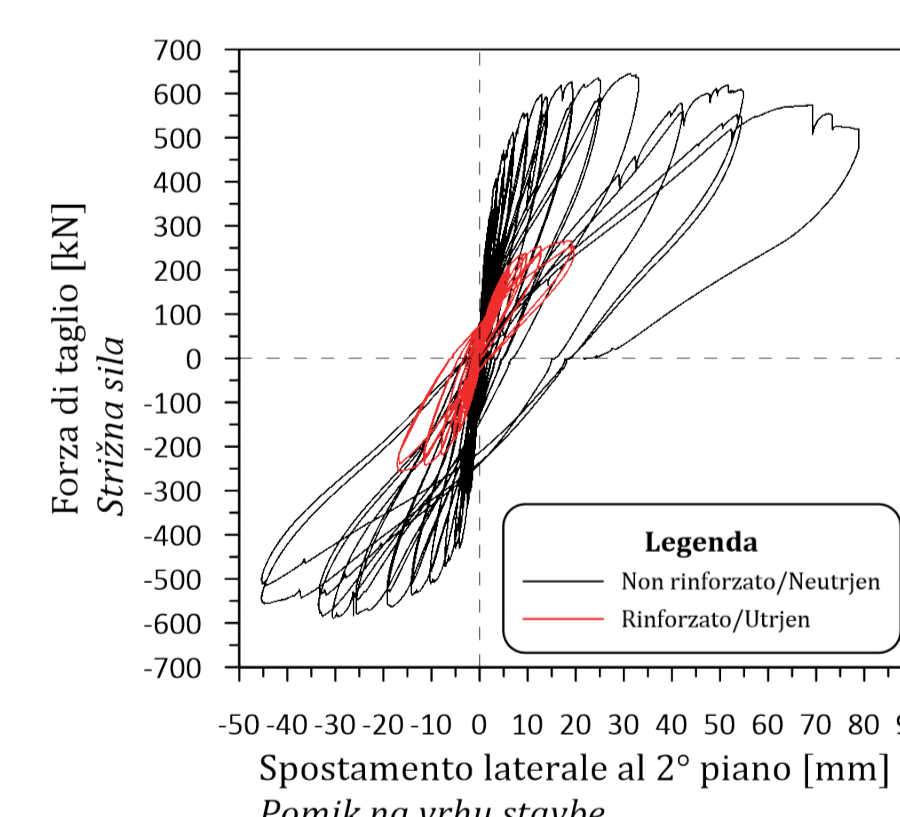
Confronto tra campione non rinforzato e campioni rinforzati.

Prove di taglio-flessione sulle traverse soprafinestra

Le prove di taglio-flessione simulano lo stato di sollecitazione nelle traverse soprafinestra di una parete di muratura con aperture. I risultati, che riguardano sia campioni non rinforzati (curva rossa) che campioni rinforzati da un lato (curva nera), evidenziano un significativo incremento di resistenza (50%) ed una enorme maggiorazione della capacità di spostamento (decuplicata) nella muratura rinforzata.



Edificio pilota sottoposto a prova sperimentale: vista e diagramma carico-spostamento in sommità.



Simulazione numerica Grande Albergo Terme di Comano: modello numerico e confronto tra le prestazioni dell'edificio non rinforzato, con le pareti perimetrali rinforzate solo all'esterno e con tutte le pareti portanti rinforzate su entrambi i lati.

RICADUTE SUL TERRITORIO

Per trasferire e diffondere le conoscenze acquisite dallo studio e favorire interventi ottimizzati di riduzione della vulnerabilità sismica delle costruzioni esistenti in muratura ed aumentare la sicurezza dei cittadini, è stata eseguita un'ampia campagna di comunicazione rivolta alle scuole del settore costruzioni, ambiente e territorio, agli ordini professionali, agli enti preposti al controllo della sicurezza ed efficienza delle costruzioni (ATER, Protezione Civile, Soprintendenze, ecc.), in modo da raggiungere il maggior numero di addetti coinvolti negli interventi per la riduzione della vulnerabilità sismica delle costruzioni. L'innovazione proposta con lo studio è stata quindi veicolata fino al cantiere, implicando importanti ricadute sul territorio, quali la riduzione dei costi sociali conseguenti agli eventi sismici futuri e principalmente la salvaguardia delle vite umane. Attraverso convegni tecnici sull'argomento e pubblicazioni su riviste nazionali e internazionali specifiche, le conoscenze acquisite con lo studio sono state divulgate ad un'ampia platea internazionale di tecnici e specialisti della riabilitazione strutturale di costruzioni esistenti in zona sismica.



RAZVOJ IN DISEMINACIJA INOVATIVNIH STRATEGIJ ZA POTRESNO ZAŠČITO ZIDANIH STAVB

MOTIVACIJA

Potresi v zadnjih desetletjih so na potresnem območju povzročili ogromno škodo. V zadnjih 50 letih je bilo v Italiji in Sloveniji približno 5.000 žrtev, več sto tisoččasno izseljenih, stroški za pomoč in obnovo pa so bili preko 200 milijard evrov.

Programsko območje vključuje pet italijanskih pokrajin (Trst, Videm, Pordenone, Gorica, Benečija) in pet slovenskih statističnih regij (Primorsko-notranjska, Osrednjeslovenska, Gorenjska, Obalno-kraška, Goriška). To je območje z zmerno in visoko seizmičnostjo zaradi prisotnosti številnih aktivnih prelomov, velik del stavbnega fonda pa predstavljajo zidane stavbe. Na teh območjih je zato potresna zaščita zgradb zelo pomembna za zagotavljanje varnosti ljudi, zgradb in premoženja v njih. Projekt CONSTRAIN je osredotočen predvsem na obstoječe zidane zgradbe, ki so najbolj potresno ogrožene.

Večina stavbne dediščine je zidane (naravni kamen, opeka), ti objekti pa so zelo potresno občutljivi, saj so večinoma celo brez potresnih vezi. Da bi zagotovili varnost ljudi, stavb in premoženja v njih, je potrebno zmanjšati potresno ranljivost teh stavb.

PORUŠNI MEHANIZMI V ZIDANIH STAVBAH

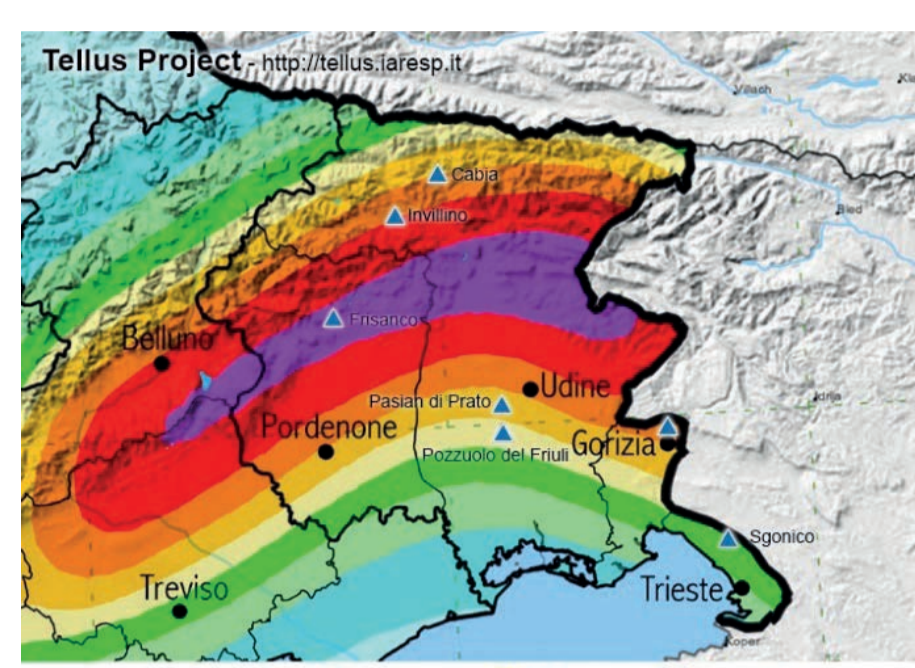
Analiza poškodb po potresih je pokazala, da obstaja nekaj tipičnih slabosti zidanih stavb: neustrezna povezava med konstrukcijskimi elementi in pomanjkanje škatlaste obnašanja; neustrezna razporeditev konstrukcijskih elementov (v tlorisu in po višini); neustrezna trdnost zidovja; težave, povezane s temelji in tlemi. Stavbe s slabimi povezavami med konstrukcijskimi elementi lahko med potresi razpadejo in se porušijo. Če so povezave med elementi ustrezne, vse stene sodelujejo pri prevzemu potresne obtežbe (škatlasto obnašanje). Kljub temu pa je lahko tudi neustrezna trdnost zidovja razlog, da pride do porušitev. Pride lahko do razpadanja zidu (zidovi iz prodnikov), ločevanja slojev (večslojni zidovi), diagonalnih strižnih razpok, zdrsa po regah, ali pa upogibnega porušnega mehanizma.



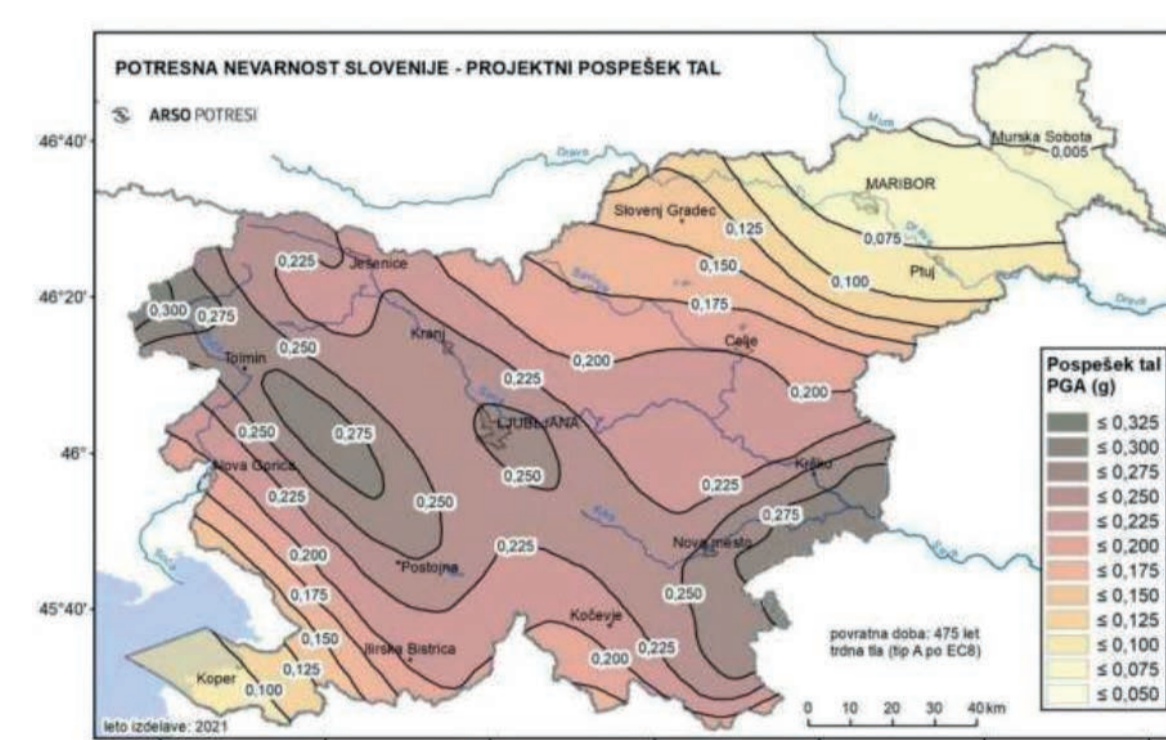
Friuli, 1976 - Venzone

Emilia, 2012 - Duomo di Mirandola

Posočje, 1998 - Bovec



Karta potresne ogroženosti Italije

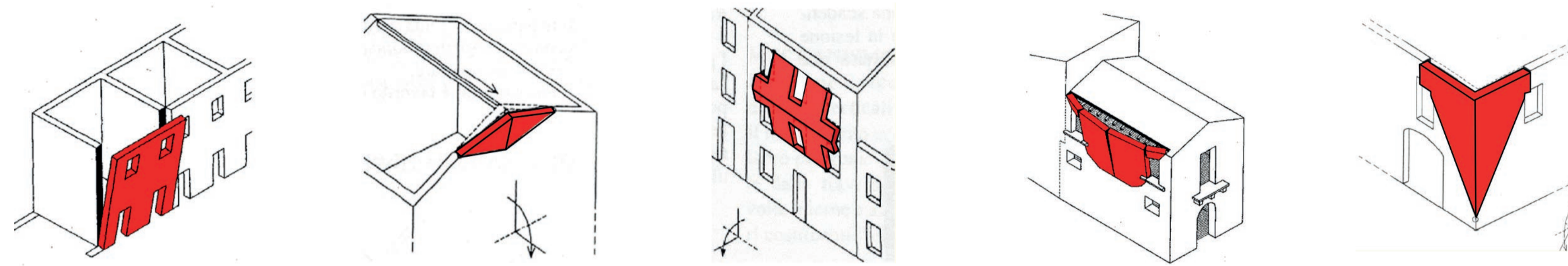


Karta potresne ogroženosti Slovenije

CILJI

Projekt CONSTRAIN temelji na sinergiji znanj iz proizvodnega, izvajalskega in raziskovalnega sektorja. S to sinergijo spodbujamo inovativnost na področju utrjevanja zidanih stavb in diseminiramo pridobljeno znanje in izkušnje. S tem povečujemo znanja in izkušnje ter konkurenčnost deležnikov v gradbenem sektorju.

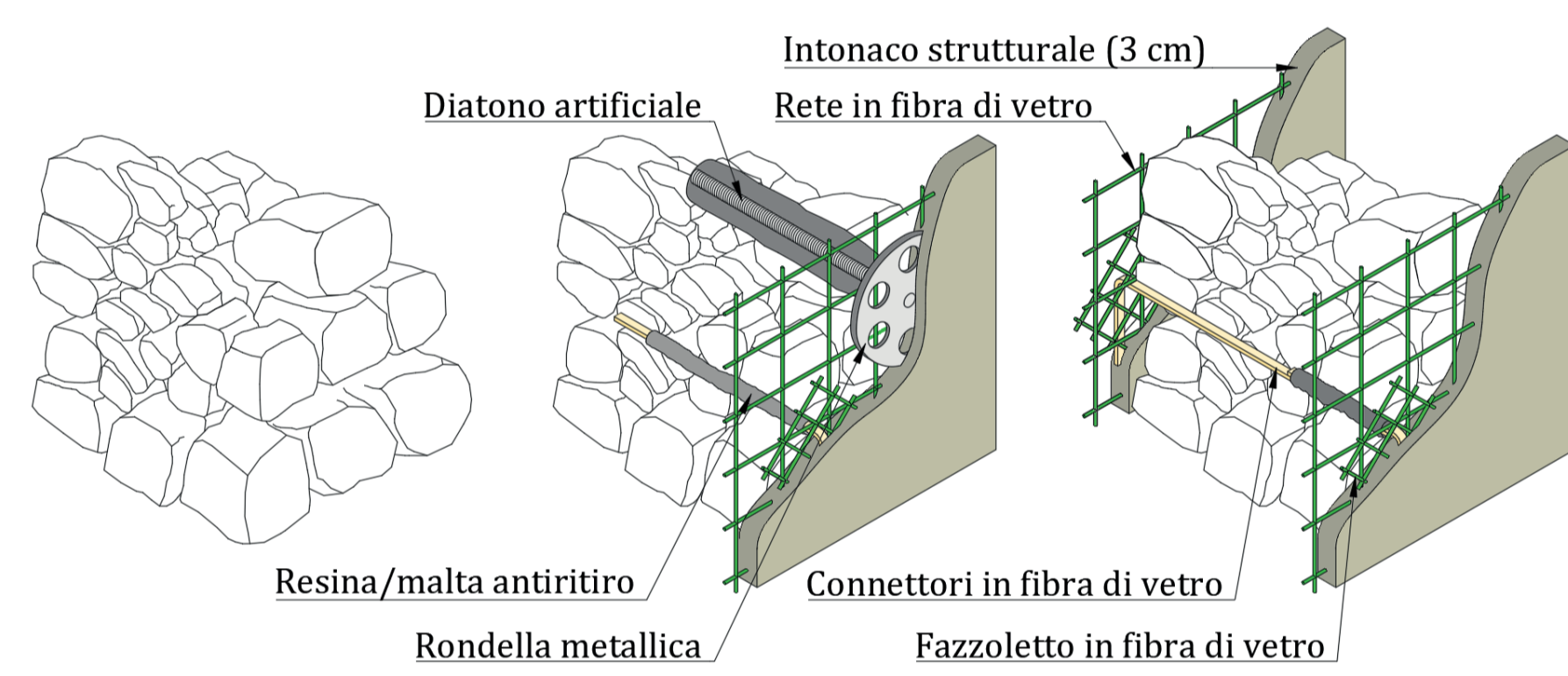
Večina obstoječih tehnik za potresno utrjevanje zidanih stavb je zelo zahtevnih in predvidevajo izselitev stanovalcev med gradbenimi deli. V sklopu projekta CONSTRAIN smo razvili zelo učinkovit način utrjevanja stavb, ki je lažji za izvedbo in zato ne zahteva izselitve stanovalcev in prekinitve dejavnosti v stavbi. Tehnika utrditve temelji na uporabi enoslojne obloge, ki je armirana z mrežico iz kompozitnega materiala in ki se jo nanese le na zunanost stavbe. Obloga je sidrana v zid z različnimi vrsti sider. V primeru večslojnih zidov se uporabljajo dodatna povezovalna sidra, ki hkrati povezujejo sloje zidu in pritrdijo oblogo na zid.



Lokalni porušni mehanizmi (od leve proti desni): zvrnitev čelne in vzdolžne stene, padec zatrepnega zidu, vodoravna in navpična porušitev izven ravnine zidu in porušitev vogala.

REZULTATI

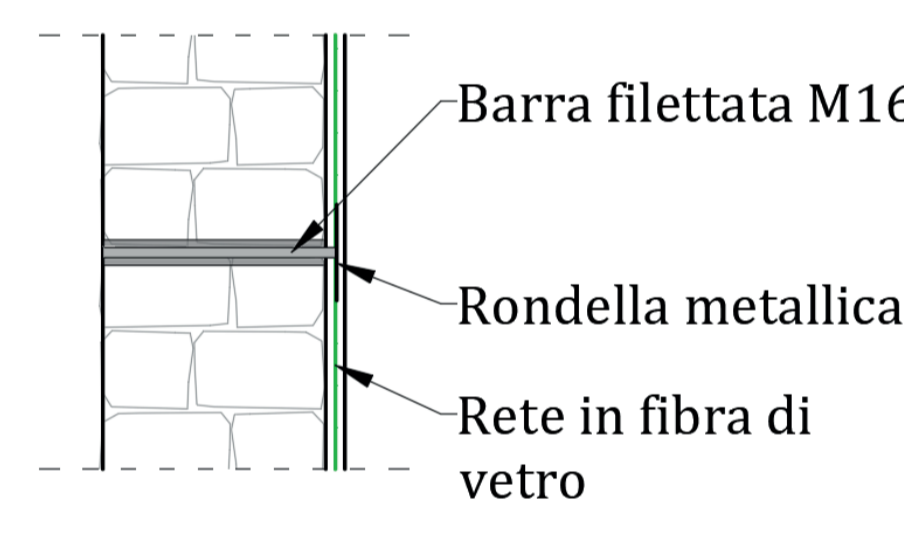
Večina obstoječih tehnik za potresno utrjevanje zidanih stavb je zelo zahtevnih in predvidevajo izselitev stanovalcev med gradbenimi deli. V sklopu projekta CONSTRAIN smo razvili zelo učinkovit način utrjevanja stavb, ki je lažji za izvedbo in zato ne zahteva izselitve stanovalcev in prekinitve dejavnosti v stavbi. Tehnika utrditve temelji na uporabi enoslojne obloge, ki je armirana z mrežico iz kompozitnega materiala in ki se jo nanese le na zunanost stavbe. Obloga je sidrana v zid z različnimi vrsti sider. V primeru večslojnih zidov se uporabljajo dodatna povezovalna sidra, ki hkrati povezujejo sloje zidu in pritrdijo oblogo na zid.



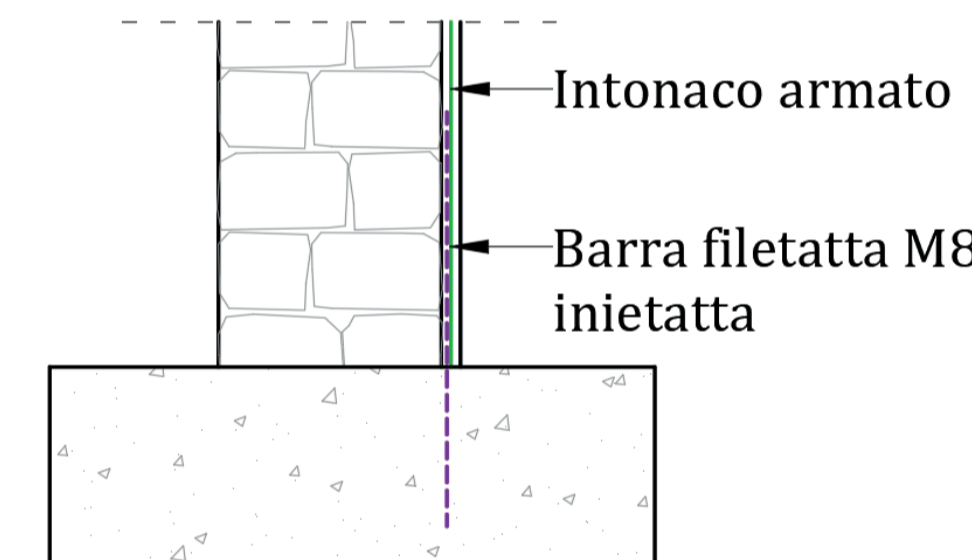
Skica predlagane tehnike utrjevanja (od leve proti desni): neutrjen, enostransko in dvostransko utrjen zid, primer iz prakse in načrt utrditve ter sidranja v temelj.



Connessione tra muratura e intonaco armato: vista in sezione

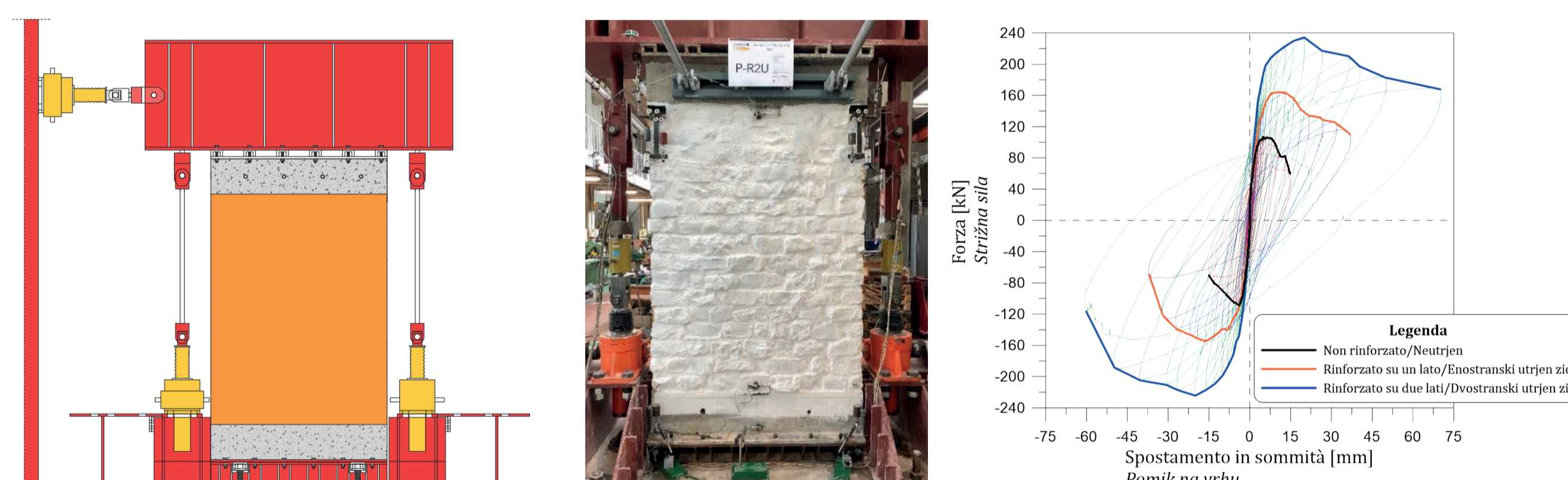


Connessione tra intonaco armato e fondazione: vista in sezione



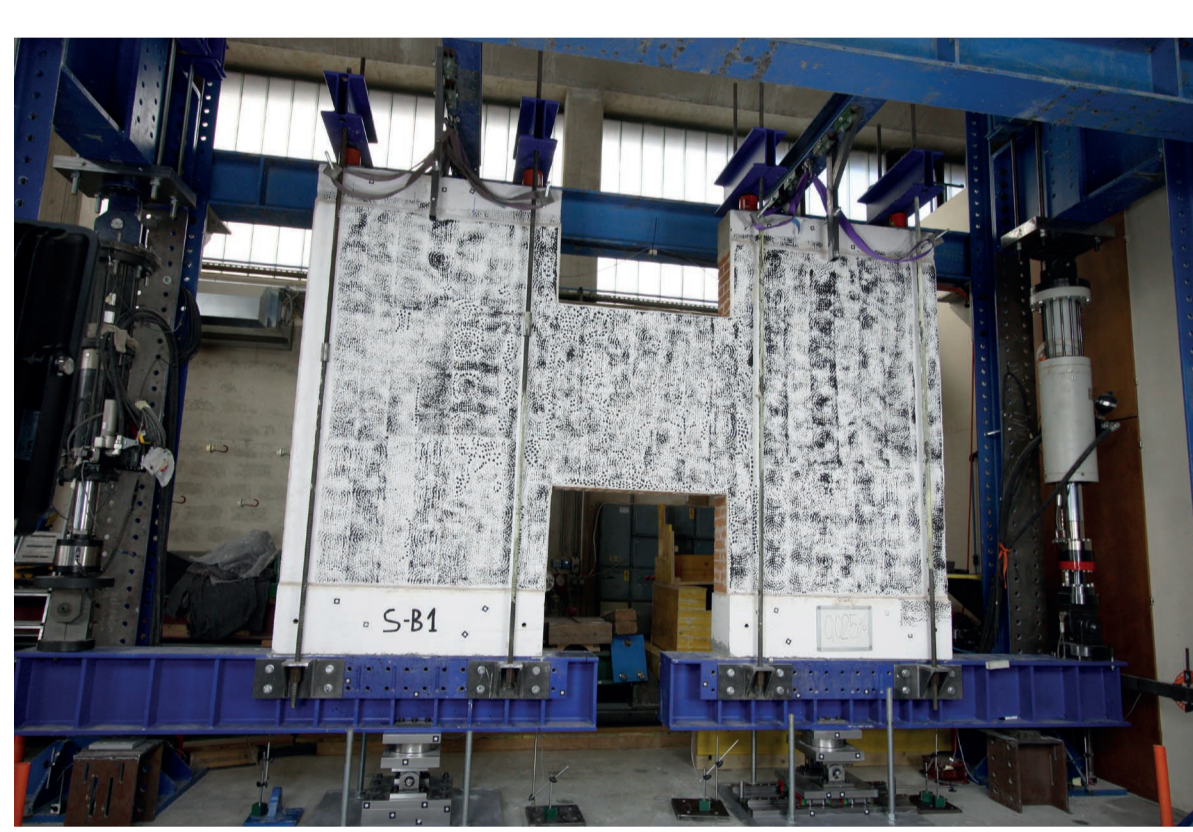
Ciklični strižni testi slopov

V cikličnem strižnem testu simuliramo stanje v zidnem slopu med potresom. Na sliki spodaj so prikazani rezultati neutrenjenih vzorcev (črna krivulja), enostransko utrjenih vzorcev (rdeča krivulja) in dvostransko utrjenih vzorcev (modra krivulja). Enostransko utrjevanje je povečalo nosilnost za 60 % in kapaciteto pomikov za 150 %. Dvostransko utrjevanje je povečalo nosilnost za 150 % in kapaciteto pomikov za 400 %.

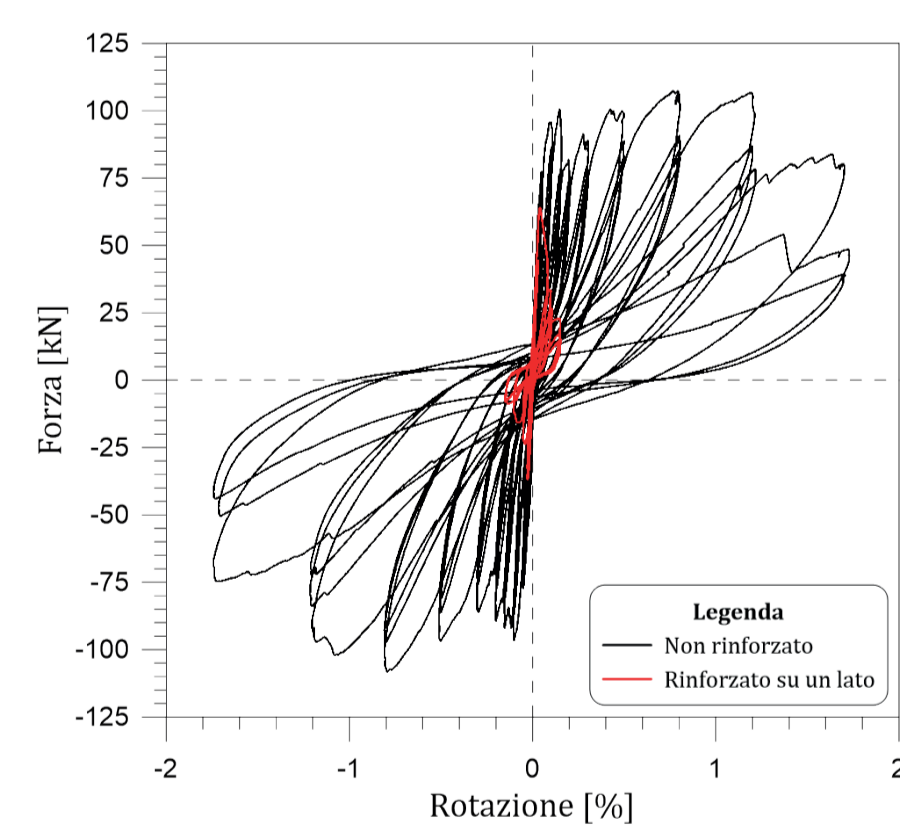


Slika cikličnega strižnega testa.

Primerjava neutrenjega, enostransko in dvostransko utrjenega slopa.



Slika strižno-upogibnega testa prekladnega dela.



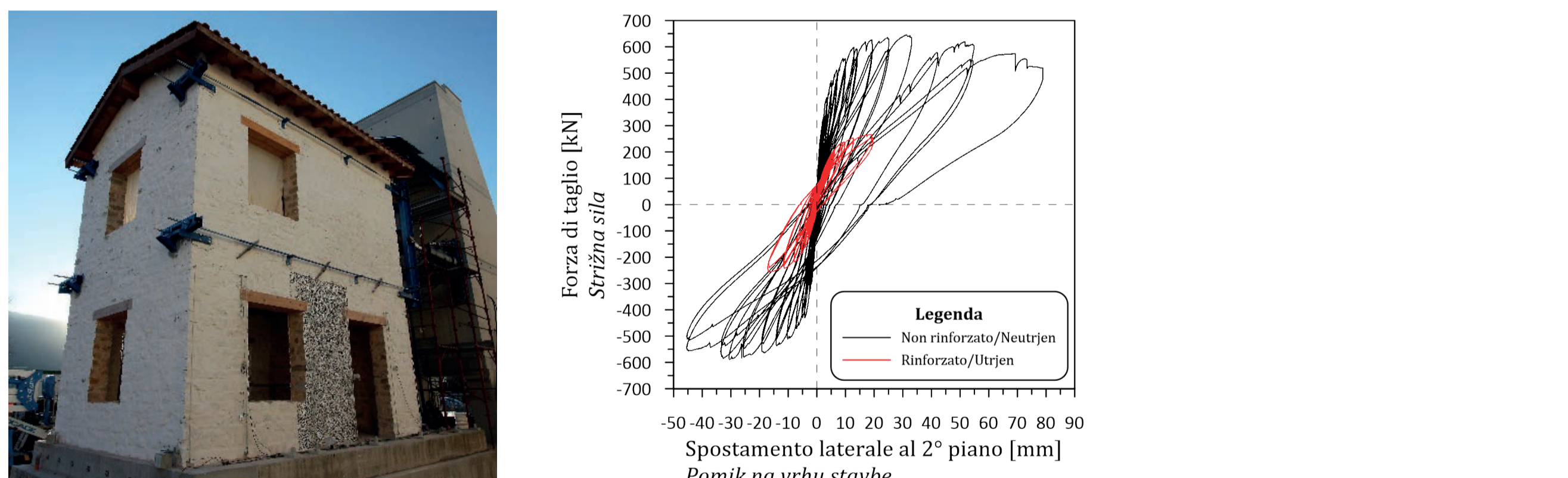
Primerjava neutrenjega in enostransko utrjenega prekladnega dela zidu.

Preizkus pilotne stavbe

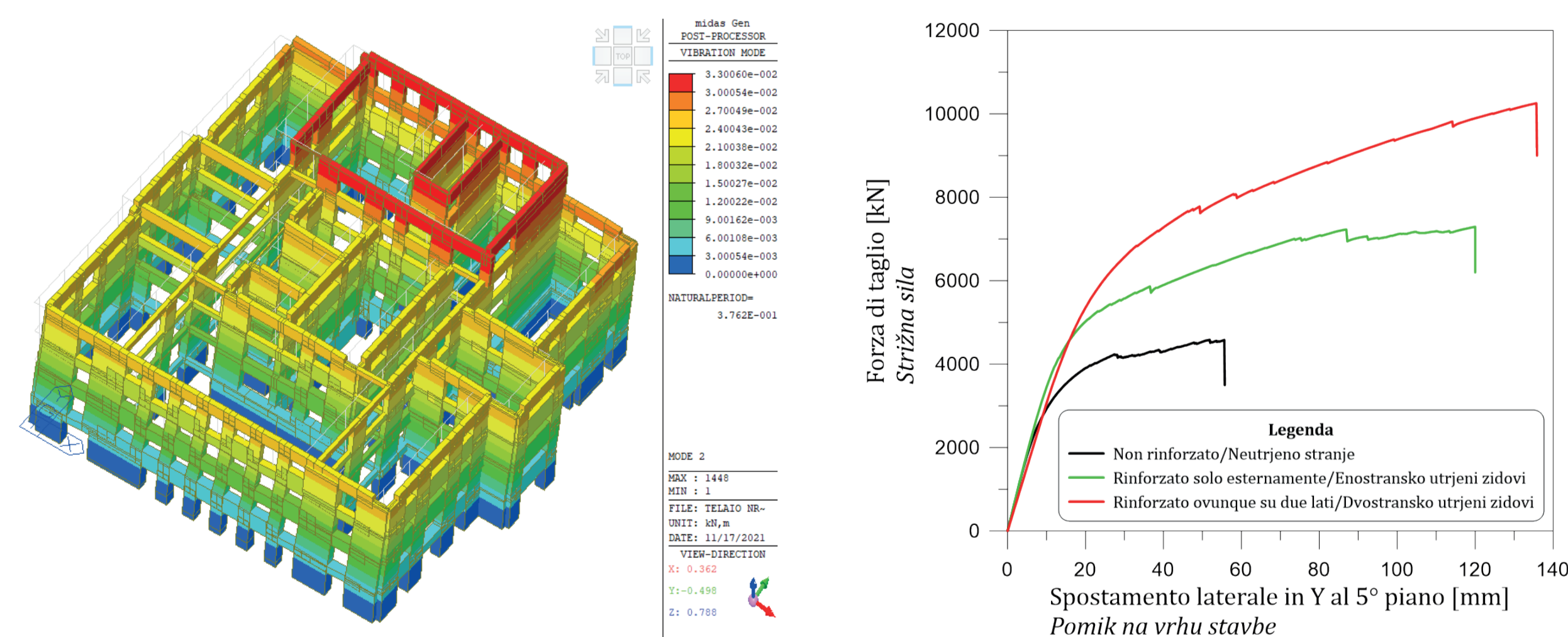
Preizkusi na pilotni zgradbi so pokazali občutno izboljšanje potresnega obnašanja zaradi enostranskega utrjevanja. Odpornost stavbe se je več kot podvojila, kapaciteta pomikov se je potrojila, kapaciteta za disipiranje energije pa se je povečala za red velikosti.

Ciklični strižno-upogibni testi prekladnih delov

Ciklični strižno-upogibni testi simulirajo dogajanje v prekladnih delih zidov med potresom. Na sliki spodaj so prikazani rezultati neutrenjenih vzorcev (črna krivulja) in enostransko utrjenih vzorcev (rdeča krivulja). Enostransko utrjevanje je povečalo nosilnost za 50 % in približno desetkrat povečalo kapaciteto pomikov.



Pilotna stavba med preiskavo in diagram odpornosti v odvisnosti od pomika na vrhu stavbe.



Numerična simulacija potresnega odziva stavbe Grande Albergo Terme di Comano: numerični model in primerjava odzivov neutrenjene, enostransko in dvostransko utrjene stavbe.

OBVEŠANJE NA PROGRAMSKEM OBMOČJU

Za prenos in širjenje znanja pridobljenega s to študijo, za spodbujanje posegov za zmanjšanje potresne ranljivosti obstoječih zidanih stavb in za povečanje varnosti prebivalcev je bila izvedena obsežna kampanja obveščanja. Izvedli smo jo v gradbenih šolah, strokovnih združenjih in različnih organih za nadzor varnosti in učinkovitosti objektov (ATER, Civilna zaščita, nadzorništvo, podjetja za projektiranje itd.). Na ta način smo želeli doseči čim večje število ljudi, ki so na različne načine vključeni v postopke za izboljšanje potresne odpornosti objektov. Znanje in inovativnost predstavljene študije je bila prenesena v prakso, kar ima lahko velik vpliv na programskem območju. Lahko se zmanjša škoda pri potresih in predvsem zagotovi varnost ljudi. Rezultate smo prikazali tudi na tehničnih konferencah ter v nacionalnih in mednarodnih revijah, s čimer smo znanje razširili med tehnike in strokovnjake na področju potresnega utrjevanja obstoječih zidanih stavb.