

Miha Tomaževič*

Slovenska stroka in potres 1976

1. Uvod

Varstvo pred potresi je bolj kot pri drugih naravnih nesrečah osnovano na dejstvu, da potresov ne moremo preprečiti, lahko pa ublažimo njihove posledice na sprejemljiv obseg. Znana misel, da "ne ubijajo potresi, pač pa stavbe, ki se med potresi porušijo", nam pove, da posledice potresov najbolje ublažimo tako, da se bodisi izognemo gradnji na potresnih območjih bodisi gradimo objekte, ki jih potresi ne bodo poškodovali ali porušili.

Kot so nesporno dokazali vsi močni potresi, ki so prizadeli dežele razvitega sveta, današnje znanje o potresno odporni gradnji omogoča, da celo najzahtevnejši sodobni objekti po potresu ostanejo uporabni oziroma jih preživijo z zanemarljivim obsegom poškodb. Žal bi pa na podlagi posledic potresov, ki so zadnja desetletja prizadeli potresno ogrožene sredozemske dežele, ki tudi pripadajo razvitemu svetu, lahko sklepali, da se v istem času nismo kaj dosti naučili o tem, kako pred potresi obvarovati stare zidane stavbe. Te stavbe predstavljajo pomemben del gradbenega fonda, hkrati pa pomenijo arhitekturno kulturno dediščino, ki številnim evropskim mestom in naseljem daje vrednost in značaj, in se jim prav zato nobena dežela ne bo odrekla. Zato je vprašanje, zakaj se med potresi celo v razvitem svetu še vedno podirajo stara mesta in podeželska naselja, na eni strani na mestu, na drugi pa odveč, saj je odgovor enostaven. Tehnične rešitve, kako te stavbe utrditi, danes poznamo, nimamo pa ne političnega poguma niti sredstev, da bi rešitve uporabili in stavbe utrdili, preden jih prizadene potres. Kljub izkušnjam jih po potresu raje nadomestimo z novimi, na zunaj podobnimi, ali pa poškodovane popravljamo, čeprav je to dražje kot preventivna utrditev. Da ne govorimo o žrtvah zaradi potresa in sekundarni škodi, ki nastane, ker po potresu poškodovanih stavb daljše obdobje ne moremo uporabljati.

Furlanski potresi leta 1976 so za razumevanje obnašanja starih stavb med

* Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana – miha.tomazevic@zag.si

potresom in poznavanju razlogov, zakaj takšne, kot so bile zgrajene, večinoma niso odporne proti potresu, pomenili prelomnico. Ravno tako so pomenili prelomnico pri razvoju nabora tehničnih rešitev, kako takšne stavbe utrditi, da bodo postale bolj odporne na potres. Tako so se šele po potresu leta 1976 začele tudi bolj ali manj sistematične raziskave, kakšne materiale in postopke uporabiti za utrditev starih hiš, da jih bodo sprejeli tudi varstveniki arhitekturne dediščine.

Po furlanskem potresu smo se začeli učiti tudi tisti, ki smo s tem že imeli nekaj izkušenj. Še bolj in še več pa tisti, ki smo jim svoje izkušnje prenesli, saj so morali obvladati neprimerno večje število ranljivih objektov. Nekaj o tem, kako se je slovenska stroka, ki so jo na tem področju predstavljali sodelavci takratnega Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij, današnjega Zavoda za gradbeništvo Slovenije iz Ljubljane, odzvala na furlanski potres na obeh straneh meje, in kaj je njeno sodelovanje pri odpravi posledic potresa pomenilo, bomo predstavili v nadaljevanju.

2. Izkušnje ZRMK pred potresi leta 1976

Čeprav so se raziskovalci na Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij (ZRMK) že za časa njegove ustanovitve pred več kot šestdesetimi leti zavedali, da potresno odporna gradnja kljub potresni nevarnosti v nekdanji Jugoslaviji ni ustrezno urejena s predpisi, in so po lokalnem potresu leta 1956 v Ilirski Bistrici sodelovali pri pripravi ustrezne slovenske tehnične regulative, je resnejši mejnik v dejavnosti pomenil šele potres leta 1963, ki je prizadel Skopje, glavno mesto Makedonije. Mimogrede, slovenska priporočila za projektiranje [1], ki so izšla tik pred skopskim potresom, so leta 1964 z nekaterimi spremembami in dopolnitvami postala jugoslovanski začasni tehnični predpis za projektiranje na potresnih območjih. Sloveniji, in s tem ZRMK kot njeni takrat edini raziskovalni inštituciji za gradbeništvo, ki je imel na področju sanacij gradbenih konstrukcij že nekaj izkušenj, je bila po potresu leta 1963 poverjena skrb za zidane stavbe.

Zvezna država (takratni jugoslovanski Zvezni fond za znanstvena raziskovanja) je po potresu v Skopju financirala obsežen program raziskav obnašanja zidov pri potresni obtežbi ter preverjanja učinkovitosti nekaterih metod utrjevanja opečnih zidov (injektiranje razpok, prednapetje, oblaganje z armirano cementno oblogo), ki so bile uporabljene pri sanaciji poškodovanih stavb, ki so preživele potres. Najpomembnejši rezultat teh raziskav je bila enačba za izračun strižne odpornosti zidov, ki jo je predlagal takratni direktor inštituta

in iniciator eksperimentalnega raziskovanja na področju potresno odporne gradnje pri nas, profesor Viktor Turnšek [2]. Enačba se zaradi enostavnosti in inženirske vrednosti še danes uporablja, z malimi posodobitvami pa je bila vpeljana v kasnejše jugoslovanske in nekatere tuje predpise.

Za eksperimentalne raziskave, s katerimi naj bi se ponazoril vpliv potresnih sil, je bilo treba prirediti tudi preizkuševalno opremo. Zato so že na koncu 60-tih let prejšnjega stoletja raziskovalci Zavoda skupaj s švicarskim podjetjem Amsler, ki je do takrat dobavilo večino hidravlične preskuševalne opreme, zasnovali eno prvih potresnih miz v Evropi. Istočasno so zasnovali tudi posebno napravo za preiskave zidov, ki je omogočila ovrednotenje parametrov, ki jih rabimo v računskih analizah potresne odpornosti.

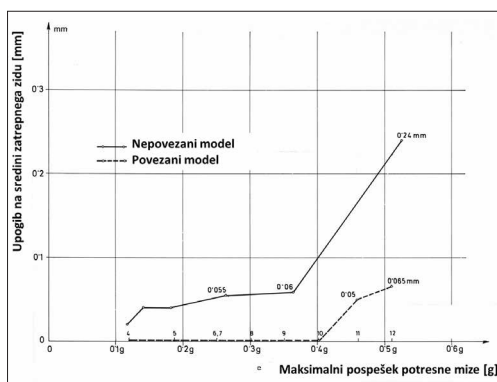
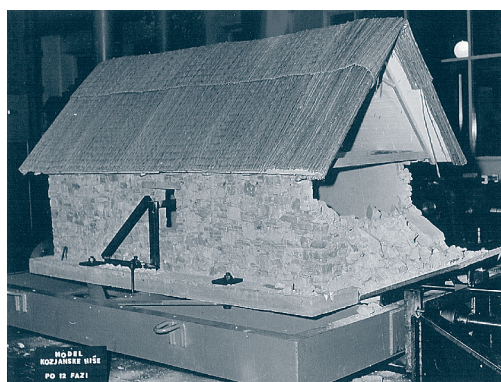
Potresna miza in naprava za ciklične strižne preiskave zidov nista bili fiksni napravi, saj je laboratorij za konstrukcije opremo želel izkoristiti tudi za druge namene. Za svojo postavitev sta potrebovali poseben temelj, ki je danes del preizkuševalne ploščadi laboratorija, 110 cm debelo, s stenami podprto močno armiranobetonsko ploščo, ki ima v rastru 120x120 cm predvidena pritrdišča za jekleno oporno konstrukcijo, ki se jo da prilagoditi vsakokratni preiskavi. Kletni prostor, v katerem so danes in po razširitvi temelja sredi 80-tih let nameščeni hidravlični agregati za pogon programskih batov, je dovolj visok, da se na strop temelja po potrebi lahko pritrdijo bati za vnos navpično delujočih sil. Zmogljivost potresne mize je bila skromna, omejena na skupno maso premikajočih se delov v velikosti 2500 kg, zato se je z njo raziskovalo le obnašanje konstrukcij v zmanjšanem merilu – modelov, in ne konstrukcij v naravni velikosti. Da bi bili rezultati modelnih preiskav zanesljivi, je bilo treba osvojiti tehniko fizičnega modeliranja konstrukcij in obtežbe in razviti ustrezne materiale za modeliranje betona, armature in zidovja [3 in 4]. Tudi zmogljivost naprave za strižne preiskave zidov je bila omejena. Dimenzionirana je bila za preiskave nearmiranih zidov s strižno odpornostjo, ki ne presega 250 kN. Velik zadržek za izvedbo dinamičnih preiskav je v tistem obdobju predstavljal tudi zelo skromen analogni merilni sistem in sistem za zajemanje podatkov. Meritve fizikalnih veličin so bile v tistem času omejene na meritve ključnih pomikov, deformacij in sil, zato je bilo treba merilna mesta pred preiskavo skrbno izbrati. Težavna je bila tudi obdelava rezultatov, saj je bilo treba vse zapise pred resnejšo analizo ročno digitalizirati.

Skopskemu potresu je leta 1969 sledil rušilni potres v Banja Luki, kjer je ZRMK ponovno odigral ključno vlogo pri sanaciji in utrditvi nekaterih pomembnejših zidanih, pa tudi armiranobetonskih javnih stavb. V okviru obnove mesta je

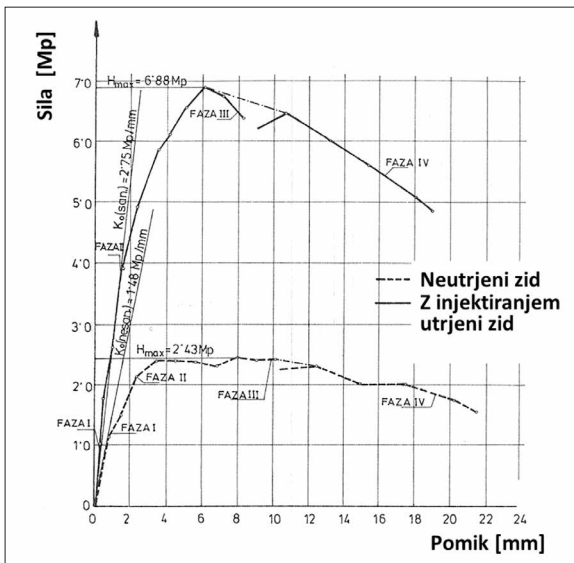
Zavod za obnovo Banja Luke, ki je upravljal tudi s sredstvi zvezne pomoči, financiral obsežne raziskave, s katerimi so bile raziskane mehanske lastnosti tipičnega zidovja. Zato so bili v nekaterih stavbah v mestu izrezani zidovi v velikosti običajnih preizkušancev, ki so bili varno prepeljani v Ljubljano in preiskani v novi napravi. Podatki so bili uporabljeni pri projektiranju utrditvenih ukrepov. Da bi dobili bolj zanesljive ocene potresne odpornosti, je Zavod na podlagi analiz poškodb po potresu in rezultatov laboratorijskih raziskav predlagal nov način razporeditve potresnih sil po zidovih. Nova metoda je temeljila na strižnem in ne na upogibnem mehanizmu obnašanja zidov, kot je bilo do takrat v navadi [5].

Potresa v Skopju in Banja Luki sta vzbudila tudi zanimanje tuje strokovne javnosti. Obenem s pomočjo prizadetim območjem je iz tujine prišla pobuda za znanstveno-raziskovalno sodelovanje. Da bi se seznanili z Zavodovimi raziskavami zidanih konstrukcij, so v začetku 70-tih let Zavod obiskali predstavniki Univerze v Kaliforniji v Berkeleyu. Poznavanje problematike in opravljeno raziskovalno delo je naredilo dober vtis, tako da so bile Zavodove raziskave opisane v poročilu berkeleyske univerze o stanju stroke na tem področju, in vključene v raziskave na področju potresnega inženirstva v okviru ameriško-jugoslovenskega znanstveno-tehnološkega sodelovanja. To je dalo Zavodovim raziskavam obnašanja zidanih konstrukcij dodatno težo.

Leta 1974 se je zgodil potres na Kozjanskem, sicer manjši potres, ki je resneje prizadel eno takrat najbolj revnih območij v Sloveniji z večinoma kamniti-



1. Preiskava modela enostavne kamnite hiše na potresni mizi po potresu na Kozjanskem leta 1974. Pri hiši brez vezi se je, tako kot med potresom, porušil zatrejni zid [6] 2. Upogib, izmerjen na sredini zatrepnega zidu, v odvisnosti od potresnega vzbujanja. Prirejeno po [6]



3. Preiskava kamnitega zidu po potresu na Kozjanskem leta [6] 4. Učinek injektiranja kamnitega zidu na Kozjanskem. Prirejeno po [6]

mi zidanimi hišami. Zavodu je bilo poverjeno strokovno vodenje ugotavljanja uporabnosti prizadetih stavb in skrb za tehnične rešitve pri popotresni obnovi. Na podlagi stanja na terenu, analize poškodb stavb in izkušenj pri sanaciji kamnitih mostov so Zavodovi raziskovalci kot najustreznejšo rešitev predlagali injektiranje kamnitega zidovja s cementnimi injekcijami in povezovanje zidovja z jeklenimi armaturnimi palicami. Učinke enostavne in ekonomsko sprejemljive metode so preverili s preiskavo obnašanja modela enostavne povezane hiše na potresni mizi (sliki 1 in 2) in preiskavami odpornosti injektiranih zidov (sliki 3 in 4, [6 in 7]). ZRMK je pripravil tudi navodila, kako vgrajevati zidne vezi [8], na podlagi rezultatov preiskav obstoječih in injektiranih kamnitih zidov, sezidanih iz lokalnega materiala, pa priporočil vrednosti mehanskih lastnosti zidovja, ki naj bi jih v izračunih potresne odpornosti upoštevali projektanti.

3. Dejavnosti po furlanskem potresu leta 1976

Leta 1976 se je zgodil furlanski potres (pravzaprav zaporedje treh potresov v maju in septembru 1976), ki je opustošil vzhodni del Furlanije in močno prizadel tudi Posočje. Potresi so porušili oziroma poškodovali večinoma stare kamnite hiše, zato so bile izkušnje, pridobljene po potresu na Kozjanskem,

pov sta septembrska sunka dokončala, kar je majski potres začel. Še posebej to velja za stavbe arhitekturne kulturne dediščine v Breginjskem kotu, kjer se kljub že nekaj let pred potresom pripravljenim načrtom prenove in oživljanja krajev, poleti 1976 ni zgodilo skoraj nič. Politično pobarvane polemike, zakaj je bil izgubljen stari Breginj in kako bi se lahko rešil, se še danes niso polegale. Zavod je šele po septembrskih potresih prevzel strokovno vodenje obnove poškodovanih hiš v Posočju. Skrbel je za izobraževanje projektantov in usposabljanje izvajalcev, njegove operativne skupine so izvajale demonstracije tehničnih ukrepov na izbranih hišah, inženirji pa strokovni nadzor nad deli in svetovanje projektantom.

Se je pa takratna slovenska vlada že po majskem potresu odločila priskočiti na pomoč rojakom v Beneški Sloveniji, v po potresu najbolj prizadetih Nadiških in Terskih dolinah. V okviru pomoči je bil ZRMK zadolžen za izobraževanje projektantov-statikov, ki jih je Slovenija poslala na pomoč, da bi izdelali vzorčne projekte za utrditev poškodovanih hiš. Zavod je bil tudi zadolžen, da s svojimi izkušnjami usposobi slovensko podjetje Benedil iz Čedadu, ki je bilo ustanovljeno predvsem za to, da bi utrjevalo po potresu poškodovane hiše v slovenski lasti. Operativna ekipa Zavoda se je že poleti, po majskem potresu, lotila instruktorskega dela (slika 6).



6. a. in b. Utrditvena dela na hišah v zamejstvu. **a.** polaganje zidnih vezi, **b.** injektiranje kamnitega zidovja (foto: Edo Vugrinec)

Med hišami, ki so jih Zavodovi operativci s podjetjem Benedil utrdili, je bila tudi ena izmed močno poškodovanih hiš v Bardu (hiša v lasti Benjamina Sinicca), ki so jo Zavodovi inženirji izbrali kot šolski primer za prikaz, kaj se da

storiti, čeprav so jo italijanske oblasti že predvidele za rušenje. Groba utrditvena dela (injektiranje in povezovanje zidov) na hiši so bila končana pred septembrskim potresom, hiša, utrjena s povezovanjem in injektiranjem zidov, pa je septembrski potres podobne intenzitete, kot jo je imel majski, prestala brez poškodb. Ker so bila prenovitvena dela šele v fazi utrjevanja nosilne konstrukcije in je bilo vse ostalo še odprto gradbišče, na prvi pogled ni bilo videti, da je tako. Po zaključeni fazi utrjevanja naj bi se v celoti nanovo pozidalo močno poškodovani podstrešni del in izdelala nova strešna konstrukcija, zato je bila hiša še brez strehe. Med septembrskim potresom se je poškodoval tudi oder in porušile okoliške hiše, vendar natančnejši pregled ni pokazal poškodb na utrjenem in povezanem nosilnem zidovju.

Potresa 11. in 15. septembra sta bila eksperiment, izveden v naravi. Še bolj nazorno kot predhodni v laboratoriju sta potrdila, da je predlagana metoda utrjevanja enostavnih kamnitih hiš s povezovanjem in z injektiranjem zidov, učinkovita, in da bi jo zato, ker je enostavna za izvedbo in ne predraga, kazalo uvesti tudi na splošno.

Zavodovi strokovnjaki so svoje izkušnje predstavili tudi širši strokovni javnosti na prizadetem območju v zamejstvu, pri čemer so ključno vlogo pri povezovanju že od vsega začetka odigrali kolegi, slovenski rojaki. Prav na dan takšnega seminarja-delavnice v Čedadu v septembru je udeležence presenetil tudi potres. Še bolj kot predavanja o Zavodovih izkušnjah je pozornost italijanske strokovne javnosti vzbudilo obnašanje utrjene hiše v Bardu med septembrskim potresom.

Ker je hiša v Bardu utrdila tudi zaupanje v predlagane tehnološke rešitve utrjevanja, so se italijanski kolegi iz Vidma odločili, da Zavodove strokovnjake pokličejo na pomoč pri širši obnovi prizadetega območja. Tako prvi prispevek Zavoda v italijanskih uradnih dokumentih najdemo že v publikaciji, ki jo je oktobra 1976 izdalo ministrstvo (assessorato) za javna dela avtonomne dežele Furlanije Julijske krajine FVG [9], in v kateri je doprinos Zavoda tudi posebej omenjen (slika 7).

Septembrski potres je maja načete in neustrezno utrjene hiše na obeh straneh meje dodatno poškodoval, mnoge težko poškodovane porušil in postavil na glavo že opravljeno delo v prvi fazi obnove. Ponovno je bilo treba oceniti uporabnost hiš in izdelati načrte, na podlagi katerih naj bi hiše utrdili. Tokrat je Slovenija akcijo resneje zastavila s ciljem, da nihče od prizadetih bližajoče se zime ne bi smel preživeti v začasnem bivališču. Da bi dosegla cilj in prizadeto območje prenovila do božiča oziroma do konca leta 1976, je takratna

Il fascicolo è arricchito da una interessante documentazione, frutto della generosa collaborazione dell'Istituto di prove materiali e strutture di Lubiana, i cui tecnici hanno avviato una serie di esperimenti dimostrativi nelle valli del Torre e del Natisone. Tale documentazione, essendo incentrata sugli edifici di struttura più semplice, e quindi di categoria più modesta, potrà interessare un esteso numero di operatori e di proprietari.

7. Izvleček iz uvoda v publikacijo *Esempi di intervento per la riparazione e il rafforzamento antisismico di edifici di abitazione* [9]

socialistična republika Slovenija angažirala projektantska podjetja in gradbeno operativno, ki so na teren poslala najbolj izkušene statike in arhitekta ter operativce z vso potrebno mehanizacijo. Hkrati je ocenila, da lahko zaradi tipologije poškodovanih hiš in poznanih tehničnih rešitev, katerih učinki so bili že preverjeni (eksperimenti na ZRMK in primer hiše v Bardu) poenostavi izdelovanje projektov utrditve. Namesto pravega projekta z vsemi izračuni in načrti je bil dovolj izpolnjen vprašalnik o posledicah potresa z oceno obsega del in materialov, potrebnih za utrditvena dela, ki mu je bila dodana skica s tlorisi in tipičnimi prerezi stavbe z vrisanimi utrditvenimi posegi. Navadno je bila to vgradnja zidnih vezi, zamenjava lesenih stropov z masivnimi, območje injektiranja zidov in podobno. Zato so se skupine (komisije) za ocenjevanje uporabnosti stavb okrepile s projektanti statiki in arhitekti, ki so bili usposobljeni, da predpišejo utrditvene ukrepe in stroške tehničnih posegov ocenijo na podlagi od države predpisanega enotnega cenika. Na podlagi tako pripravljene in potrjene dokumentacije so lastniki hiš dobili za obnovo potrebna finančna sredstva deloma v obliki ugodnega posojila deloma v obliki nepovratne pomoči. Na hitro so bile pripravljene tudi urbanistične podlage v primerih, ko je bilo treba porušene hiše nadomestiti z novimi, bodisi zidanimi bodisi (predvsem v breginjskem kotu) lesenimi montažnimi. Obnova je bila z manjšimi izjemami zaključena do zastavljenega roka, seveda pa je bil sam postopek kasneje deležen kritik, ki so letele predvsem na račun odločitev, ki so morale biti sprejete odločno in hitro, brez dolgotrajnih razprav, in tudi takoj izpeljane, sicer glavni cilj obnove (ne preživeti zime v začasnih bivališčih) ne bi mogel biti dosežen.

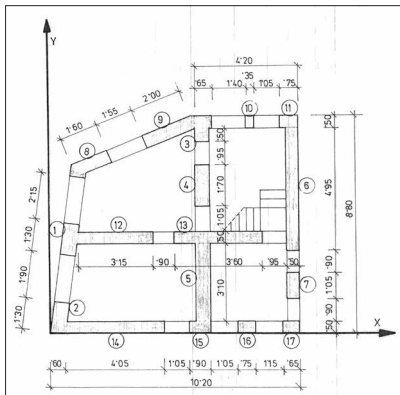
V jesenski akciji obnove Posočja je bil angažiran tudi gradbeno inženirski in operativni kader ZRMK. ZRMK je nudil strokovno pomoč pri vodenju prenove in skrbel za izobraževanje sodelujočih projektantov in pripravil navodila za tipične posege z vsemi potrebnimi izvedbenimi detajli. Zavodovi strokovnjaki so koordinirali delovanje komisij za popis škode in izdelavo ocen utrditve. Sodelovali so pri reševanju zapletenih primerov, ki so se reševali bodisi na terenu bodisi na rednih koordinacijskih sestankih. Operativne skupine Zavoda so izvajale demonstracije tehničnih ukrepov utrditve na zahtevnejših stavbah, njihovi člani pa delovali tudi kot inštruktorji, ki so usposabljali izvajalce, nevarne specialnih utrditvenih del.

Čeprav je bil ZRMK močno vpet v odpravo posledic potresa doma, ni zamenjaril čezmejnega sodelovanja. Na drugi strani meje je po septembrskem potresu podjetje Benedil začelo uspešno samostojno prenavljati prve hiše. Tudi sodelovanje s kolegi iz Vidma je teklo naprej. Tako je na pobudo slovenskih kolegov iz zamejstva Inženirska zbornica iz Vidma v začetku leta 1977 za italijanske inženirje organizirala dva dobro obiskana seminarja v Vidmu

in Pordenonu, na katerih so Zavodovi sodelavci udeležence seznanili z osnovami dinamike konstrukcij, z računom potresnih sil, načeli varnosti in preverjanja strižne opornosti zidanih konstrukcij ter z metodami in tehnološkimi rešitvami utrjevanja. V italijanščino prevedeno učno gradivo je izdal CRAD (Centro di Ricerca Applicata e Documentazione) iz Vidma. Kot dokaz, kako pomembno je bilo v danem trenutku, je gradivo danes razstavljeno v posebni sobi potresnega muzeja Tiere Motus (<http://www.tieremotus.it/index.html>) v obnovljeni Pušji vas (Venzone). Sodelovanje se je nadaljevalo tudi po ustanovitvi Centralne interdisciplinarne skupine (Gruppo interdisciplinare centrale), v katero je, da bi Zavodove izkušnje bolje izkoristili, predsednik deželne vlade Furlanije Julijske krajine imenoval tudi Zavodovega predstavnika. Tako večino določil osnovnega tehničnega dokumenta (slika 8), priporočil za obnovo hiš [10], predstavljajo Zavodove izkušnje.



8. Naslovna stran ene od izdaj Priporočil za sanacijo konstrukcij zidanih stavb. Publikacija je bolj znana pod imenom "tehnični dokument DT 2"



| 2 | | | | | |
|---------------------------------------|------|-----|--------|------|------|
| HIŠA BARDU 1 - PRITLICE PRED SANACIJO | | | | | |
| 17 | 2.43 | | 6000. | 1.5 | 283. |
| 50 | 129 | 90 | 324 | 1419 | 155 |
| 50 | 129 | 40 | 65 | 1419 | |
| 50 | 80 | 635 | 820 | 1419 | |
| 50 | 190 | 625 | 600 | 1419 | |
| 50 | 140 | 625 | 205 | 1419 | |
| 50 | 495 | 995 | 382 | 1419 | |
| 50 | 105 | 995 | 103 | 1419 | |
| 146 | 50 | 482 | 693 | 1678 | 150 |
| 123 | 50 | 511 | 821 | 1729 | 150 |
| 35 | 50 | 323 | 855 | 1888 | 150 |
| 35 | 50 | 983 | 855 | 1935 | |
| 345 | 50 | 268 | 385 | 1955 | |
| 360 | 50 | 695 | 385 | 2115 | |
| 415 | 50 | 258 | 25 | 1725 | |
| 90 | 50 | 615 | 25 | 1950 | |
| 75 | 50 | 805 | 25 | 1023 | |
| 65 | 50 | 988 | 25 | 1888 | |
| HIŠA BARDU 1 - PRITLICE PØ SANACIJI | | | | | |
| 17 | 2.43 | | 10000. | 7.0 | 283. |
| PODATKI ZA POSAMEZNE ZIDOVE SO ENAKI! | | | | | |

9. Shema zidov za račun potresne odpornosti hiše v Bardu 10. Formular z vhodnimi podatki za računalniško analizo potresne odpornosti

Dokument je predpisal tudi uporabo na Zavodu razvitih računskih metod, ki jih je Zavod solidarno dal na razpolago. Tako je v dokumentu objavljen tudi računalniški program metode, ki zasluži omembo. Metoda temelji na oceni potresne odpornosti zidane konstrukcije s krivuljo odpornosti kritične etaže [11] in je bila ena prvih na svetu, ki je za račun krivulje uporabila metodo, ki se danes imenuje "potisna (push-over) metoda". Še posebej velja omeniti, da se krivulja izračuna tako, da se povečujejo vsiljeni pomiki in ne sile, kot je še danes v navadi. Metoda je tipična metoda porušnega mehanizma, zato je bil računalniški program za račun krivulje odpornosti, imenovan POR (PORušna metoda), po programu pa z istimi kraticami tudi sama metoda. V Italiji se to ime (il metodo POR) v različnih verzijah programa še danes uporablja, pri nas pa smo metodo in s tem tudi program v 80-tih letih prejšnjega stoletja, dopolnjeno in izboljšano, preimenovali v SREMB (po angleškem Seismic Resistance analysis of Masonry Buildings) z namenom, da bi jo kasneje komercializirali. Kar pa nam, mimogrede, kljub številnim izboljšavam in poskusom, da bi jo naredili projektantom čim bolj prijazno, ni uspelo. Izboljšani osnovni algoritem za račun potresne odpornosti služi bolj ali manj za interno uporabo. Metoda se je dobro prijela, saj je omogočala dokaj zanesljivo oceniti, kolikšna je potresna odpornost hiše v neutrjenem in utrjenem stanju. Zidana stavba, ki je konstrukcija škatlastega tipa, se razdeli na posamezne zidove, ki pa, povezani z vezmi in s stropno konstrukcijo, delujejo skupaj. Računski model obnašanja posameznih zidov vse do porušitve se poenostavi z bilinearno

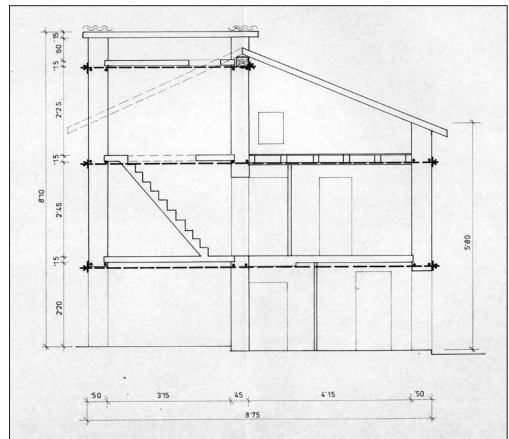
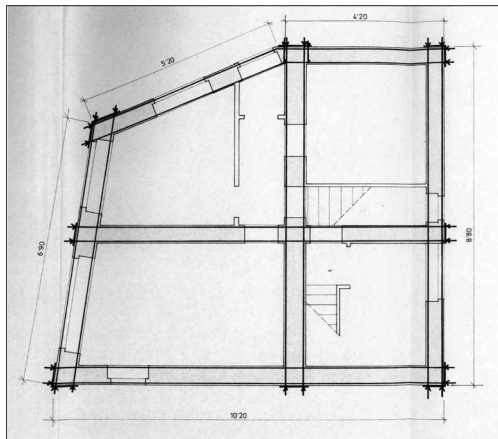
| | | | | |
|---|--------------|-----------|----------|------------|
| 13 | .197E+02 | .515E-02 | .382E+04 | .147E+01 |
| 14 | .213E+02 | .441E-02 | .482E+04 | .137E+01 |
| 15 | .297E+01 | .441E-02 | .673E+03 | .619E+00 |
| 16 | .199E+01 | .441E-02 | .451E+03 | .491E+00 |
| 17 | .142E+01 | .441E-02 | .322E+03 | .414E+00 |
| KARAKTERISTIKE ETAZE V SMERU Y | | | | |
| VREDNOSTI NA MEJI ELASTICNOSTI - ETAZA | | | | |
| STRIZNA SILA | .581E+02MP | | | |
| DEFORMACIJA | .201E-02H | | | |
| TOGOST | .291E+05MP/M | | | |
| VK | .205E+00 | | | |
| VREDNOSTI NA MEJI ELASTICNOSTI - POSAMEZNI ZIDOVI | | | | |
| | H | D | K | FI |
| | (MP) | (H) | (MP/M) | |
| 1 | .623E+01 | .223E-02 | .280E+04 | .100E+01 |
| 2 | .304E+01 | .225E-02 | .135E+04 | .438E+00 |
| 3 | .193E+01 | .198E-02 | .521E+03 | .266E+00 |
| 4 | .421E+01 | .198E-02 | .212E+04 | .512E+00 |
| 5 | .938E+01 | .198E-02 | .473E+04 | .626E+00 |
| 6 | .146E+02 | .182E-02 | .802E+04 | .611E+00 |
| 7 | .168E+01 | .182E-02 | .921E+03 | .331E+00 |
| 8 | .355E+01 | .219E-02 | .162E+04 | .479E+00 |
| 9 | .415E+01 | .204E-02 | .203E+04 | .442E+00 |
| 10 | .738E+00 | .190E-02 | .389E+03 | .346E+00 |
| 11 | .456E+00 | .103E-02 | .250E+03 | .183E-03 |
| 12 | .225E+01 | .215E-02 | .105E+04 | .215E-03 |
| 13 | .234E+01 | .196E-02 | .120E+04 | .190E-03 |
| 14 | .297E+01 | .215E-02 | .138E+04 | .215E-03 |
| 15 | .597E+00 | .199E-02 | .300E+03 | .199E-03 |
| 16 | .476E+00 | .191E-02 | .250E+03 | .191E-03 |
| 17 | .395E+00 | .182E-02 | .216E+03 | .182E-03 |
| VREDNOSTI H-D DIAGRAMA ETAZE | | | | |
| .607E+02MP | DCM = | .211E-02M | KE = | .290E+05MP |
| .634E+02MP | DCM = | .222E-02M | KE = | .289E+05MP |
| .675E+02MP | DCM = | .224E-02M | KE = | .287E+05MP |

11. Del računalniškega izpisa analize potresne odpornosti

idealizacijo dejanskih, z laboratorijsko preiskavo izmerjenih zakonitosti, privzamejo se pa tudi z ustreznimi preiskavami določene trdnostne in deformabilnostne lastnosti zidovja. Sliki 9 in 10 na primeru hiše v Bardu prikazujeta, kako je bilo treba v času, ko je bila metoda prvič uporabljena, pripraviti podatke za račun, slika 11 pa del rezultatov računa, kot jih je izpisal računalnik. Med utrditvijo so bili v celoti zainjektirani vsi zidovi, kako so bile položene zidne vezi, pa prikazujeta sliki 12 in 13.

4. Raziskave in sodelovanje v prvih letih po potresu 1976

ZRMK je s Centralno interdisciplinarno skupino iz Vidma sodeloval do leta 1981, to je še nekaj časa po potresu v Irpiniji-Basilicati 23. novembra 1980, po katerem je zaradi izkušenj, dobljenih po furlanskem potresu, skupina sodelovala pri izobraževanju tamkajšnjih inženirjev. Tako je



12. Razporeditev zidnih vezi hiše v Bardu (tloris) 13. Razporeditev zidnih vezi hiše v Bardu (prerez)

leta 1981 ZRMK pripravil dva prispevka za lokalno revijo *Politecnico*, ki jo je izdajala Inženirska zbornica iz Cosenze, in sodeloval na izobraževalnih seminarjih v Potenzi in Materi spomladi istega leta. Avtonomna dežela Basilicata je "posvojila" tudi tehnični dokument DT 2.

Ker je vmes maja leta 1979 močan potres prizadel tudi nekdanjo jugoslovansko republiko Črno goro, pri odpravi posledic katerega je ravno tako sodeloval ZRMK, je na željo kolegov iz Vidma Zavod organiziral strokovni ogled prizadetega območja v Črni gori, kjer so si videmski kolegi lahko izmenjali izkušnje s Črnogorci.

V letih po potresu 1976 so bili strokovnjaki ZRMK redni vabljeni predavatelji na skoraj vseh strokovnih srečanjih, ki so bila v Italiji posvečena zidanim konstrukcijam, za objavo v italijanskih strokovnih revijah pa napisali tudi nekaj člankov [npr. 11 in 12]. Začelo se je tudi sodelovanje na področju raziskovanja obnašanja zidanih stavb med potresom. Seveda je bilo treba najprej raziskati učinkovitost utrjevanja kamnitega zidovja, tipičnega za kamnite hiše v Furlaniji, z injektiranjem. Čeprav je struktura zidovja načelno podobna tisti na Kozjanskem, za katero je Zavod imel eksperimentalne podatke, ki so bili za današnje pojme morda nekritično privzeti tudi v dokumentu DT 2, je primerjava poškodb na stavbah in rezultatov računskih analiz potresne odpornosti pokazala na neskladja. Hiše, ki bi se po računih morale porušiti, so potres prestale ne preveč resno poškodovane. To so potrdile tudi preiskave večjega števila kamnitih zidov, ki so bili sezidani in injektirani v Benečiji, prepeljani v Ljubljano in preiskani v laboratoriju ZRMK. Rezultati preiskav so pokazali, da se pri preverjanju potresne odpornosti z injektiranjem zidovja utrjenih kamnitih hiš lahko upoštevajo višje vrednosti strižne (natezne) trdnosti zidovja, kot je bilo prvotno predlagano [13].

Posebej pomembno je bilo sodelovanje z Univerzo v Padovi in opekarstvo industrijo iz Furlanije, ki je padovski Univerzi takrat ponudila možnost za postavitev laboratorija za preiskave zidov, pri čemer je Zavod nesebično pomagal z nasveti. Ker so bile preizkuševalne naprave bolj preproste kot tiste v Ljubljani, je bil na začetku analiziran vpliv različnih metod preizkušanja na rezultate. To je bilo pomembno, saj je bilo treba po sprejeti metodologiji računa (metoda POR) kot vhodni podatek upoštevati vrednosti mehanskih lastnosti zidovja, ki so dobljene s simulacijo obnašanja zidu med potresom. Ker je bilo kamnito zidovje že preiskano v Ljubljani, je bila primerjalna raziskava izvedena na sodobnem zidovju iz opečnih votlakov, ki so se v tistem obdobju uporabljali za zidanje. Rezultati primerjave na tri različne načine preiskanih zidov so po-

kazali (del zidov je bil preiskan v Ljubljani), da med rezultati glede bistvene lastnosti zidovja, t.j. strižne oziroma natezne trdnosti, ni bistvenih razlik [14]. V obdobju po potresu 1976 je bilo pomembno tudi sodelovanje z milansko Politehniko, katere profesorji so razumeli pomen Zavodovih raziskav in pripomogli, da so bila Zavodova priporočila dobro sprejeta v Italiji. V tem pogledu zelo pomemben prispevek predstavlja članek, objavljen v prvi številki revije *Ingegneria sismica* [15], prve specializirane znanstvene revije, ki je v Italiji začela izhajati na področju potresnega inženirstva.

Sklep

Na eni od predstavitvenih strani razstave v muzeju *Tiere Motus*, ki opisuje prostor, kjer so predstavljene popotresne dejavnosti na področju znanosti in tehnične regulative, je zapisano (http://www.tieremotus.it/it/percorso_06.html):

»Il terremoto infatti è un fenomeno ancora poco conosciuto nell'Italia degli anni '70. L'ingegneria sismica sta muovendo i suoi primi passi. Non ci sono precedenti da cui trarre ispirazione. La riparazione degli edifici pone delle problematiche inedite nel campo dell'ingegneria. Non si conosce il comportamento dinamico degli edifici in pietra, non si sa come intervenire per renderli antisismici, non si sa con quali tecniche riparare i dissesti strutturali. Il mondo della ricerca scientifica e tecnologica si mobilita. Si effettuano prove di resistenza sui materiali, vengono predisposti modelli di calcolo strutturale per indirizzare la progettazione, si studiano le modalità costruttive capaci di dare maggiore solidità agli edifici. È una sfida che viene raccolta e che in breve tempo porta ad un rapido avanzamento delle conoscenze e alla loro altrettanto rapida diffusione«.

Le starejši poznavalci morda vedo, da je bila fotografija, ki predstavlja preiskavo zidu, posneta v Ljubljani, v Ljubljani pa so nastali tudi načrti detajlov zidnih vezi, prikazani na isti strani. Na spletni strani sicer ni zapisano, da so bile pri "prvih korakih" potresnega inženirstva v Italiji zraven tudi izkušnje sosednje Slovenije, ki je najprej priskočila na pomoč rojakom, nato pa vse svoje znanje dala na razpolago italijanskim kolegom. Zavedajoč se, da potresi ne poznajo meja in da jih zato ne sme poznati niti znanje, kako se obranimo pred njimi. Pa morda niti ni treba, da je to posebej zapisano, saj priznanj do danes ni manjkalo: veliko so vredna poznanstva in prijateljstva, ki so se stkala na področju raziskovanja v desetletjih po potresu. Ta še danes trajajo in se prenašajo na mlajše generacije. Vredno je tudi zavedanje, da je slovenska stroka

pripomogla k zagonu potresnega inženirstva v Italiji, ki je, pred štiridesetimi leti učenec, danes ena od svetovnih velesil. Največ je pa vredno spoznanje, da je imelo sodelovanje slovenske stroke pri odpravi posledic furlanskega potresa v zamejstvu velik vpliv na izboljšanje položaja do takrat precej zapostavljene slovenske manjšine, živeče v Beneški Sloveniji. Poleg tega je povečalo ugled Slovenije, na področju znanosti in raziskovanja pa odprlo vrata za sodelovanje s številnimi univerzami v severni Italiji, ki traja še danes.

Miha Tomažević*

L'ingegneria edile slovena e il terremoto del 1976

1. Introduzione

La protezione dai terremoti si basa, più di quanto accada per le altre catastrofi naturali, sul fatto che non possiamo prevenirli; possiamo tuttavia circoscrivere le loro conseguenze a un'estensione accettabile. L'idea comune secondo cui "non sono i terremoti ad uccidere, bensì gli edifici che crollano durante i terremoti", ci dice che il miglior modo di mitigare le conseguenze dei terremoti consiste nell'evitare la costruzione in aree sismiche ovvero nel costruire edifici che non vengano danneggiati o distrutti dai terremoti.

Come hanno indubbiamente dimostrato tutti i maggiori terremoti che hanno colpito aree del mondo sviluppato, l'attuale conoscenza dell'edilizia antisismica rende possibile che addirittura gli edifici contemporanei più complessi rimangano agibili dopo un terremoto e lo superino con danni di entità trascurabile. Sulla base delle conseguenze dei terremoti che negli ultimi decenni hanno colpito le aree sismiche mediterranee, che pure appartengono al mondo sviluppato, potremmo invece concludere che, in questo periodo, non abbiamo purtroppo imparato molto su come proteggere dai terremoti gli antichi edifici in muratura. Questi edifici rappresentano una parte importante del fondo architettonico e al contempo costituiscono un patrimonio culturale architettonico che dà valore e caratterizza numerose città e abitati europei, e proprio per questo motivo nessun paese rinuncerà a essi. Per questo la domanda, perché anche nel mondo sviluppato i terremoti distruggano tuttora vecchie città e paesi di campagna, è da una parte pertinente, dall'altra superflua, dal momento che la risposta è semplice. Oggi conosciamo le soluzioni tecniche per consolidare questi edifici, mancano invece il coraggio politico e i mezzi per utilizzare queste soluzioni e rinforzare gli edifici prima che un terremoto li colpisca. Nonostante le esperienze, preferiamo sostituirli dopo il terremoto con dei nuovi esternamente simili o riparare quelli danneggiati,

* Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, 1000 Ljubljana – miha.tomazevic@zag.si

anche se i costi sono maggiori rispetto al consolidamento preventivo. Per non parlare delle vittime dei terremoti e dei danni secondari che sorgono per via del fatto che gli edifici danneggiati dal terremoto rimangono per un lungo periodo inutilizzabili.

I terremoti del Friuli del 1976 hanno significato un punto di svolta per la comprensione del comportamento dei vecchi edifici durante un terremoto e per la conoscenza dei motivi per cui, così come sono stati costruiti, perlopiù non siano resistenti ai sismi. Al contempo hanno significato un punto di svolta anche nello sviluppo del complesso di soluzioni tecniche volte a consolidare tali edifici affinché diventino più resistenti ai terremoti. Anche le ricerche più o meno sistematiche su quali materiali e procedimenti utilizzare per il consolidamento di vecchi edifici, in modo che siano accettati anche dai tutori del patrimonio architettonico, hanno avuto inizio solo dopo il terremoto del 1976. Dopo il terremoto del Friuli ha cominciato a studiare anche chi, come me, aveva già delle esperienze in questo campo. Ciò vale ancor di più per coloro ai quali noi abbiamo trasmesso le nostre esperienze, dal momento che dovettero fronteggiare un numero spropositatamente maggiore di obiettivi vulnerabili. Nella parte seguente diremo qualcosa su come l'ingegneria slovena, rappresentata in questo campo dai colleghi dell'allora Istituto per le Ricerche sui Materiali e le Costruzioni ZRMK, l'attuale Istituto nazionale sloveno di ingegneria civile ed edile di Ljubljana, abbia risposto al terremoto del Friuli su entrambi i lati del confine e sul significato della sua collaborazione per il recupero dopo il terremoto.

2. Le esperienze dello ZRMK prima dei terremoti del 1976

Seppure i ricercatori dell'Istituto per le Ricerche sui Materiali e le Costruzioni (ZRMK) si fossero resi conto già al tempo della sua fondazione, più di sessant'anni fa, che nell'allora Jugoslavia l'edilizia antisismica, nonostante il pericolo di terremoti, non fosse adeguatamente regolamentata e avessero collaborato alla preparazione di un'adeguata normativa tecnica slovena dopo il terremoto locale del 1956 a Ilirska Bistrica, solo il terremoto che nel 1963 colpì Skopje, la capitale della Macedonia, significò per la sua attività un'importante pietra miliare. Nel frattempo, le raccomandazioni della Slovenia per la progettazione [1], pubblicate appena prima del terremoto di Skopje, diventarono nel 1964, con alcuni cambiamenti e aggiunte, il regolamento tecnico provvisorio della Jugoslavia per la progettazione in aree sismiche. La cura degli edifici in muratura fu affidata dopo il terremoto del 1963 alla Slovenia e con ciò allo

ZRMK in quanto unica istituzione per la ricerca nel settore dell'edilizia che avesse già alcune esperienze nel campo del risanamento di strutture edilizie. Lo stato federale (l'allora fondo federale jugoslavo per la ricerca scientifica) ha finanziato dopo il terremoto di Skopje un ampio programma di ricerca sul comportamento delle murature durante una sollecitazione sismica e di verifica dell'efficacia di alcuni metodi di consolidamento dei muri in mattoni (iniezioni nelle crepe, precompressione, rivestimento in cemento armato) che erano stati utilizzati per il risanamento degli edifici danneggiati sopravvissuti al terremoto. Il risultato più importante di queste ricerche è stata l'equazione per il calcolo della resistenza a taglio delle murature proposta dall'allora direttore dell'istituto e iniziatore della ricerca sperimentale nel campo dell'edilizia antisismica in Slovenia, il professore Viktor Turnšek [2]. Per la sua semplicità e il valore ingegneristico, l'equazione viene tuttora utilizzata, con piccoli aggiornamenti è stata introdotta nei regolamenti jugoslavi successivi e in alcuni regolamenti di altri stati.

Per le ricerche sperimentali con cui rappresentare l'effetto delle forze sismiche è stato necessario predisporre anche l'attrezzatura di prova. Per questo, già alla fine degli anni '60 del secolo scorso, i ricercatori dell'Istituto assieme alla ditta svizzera Amsler, che fino ad allora forniva la maggior parte dell'attrezzatura per prove idrauliche, hanno ideato una delle prime tavole vibranti in Europa. Contemporaneamente hanno ideato anche uno speciale apparecchio per l'esame dei muri che ha permesso di stimare i parametri utilizzati nelle analisi numeriche della resistenza sismica.

La tavola vibrante e l'apparecchio per le prove cicliche di taglio sui muri non erano apparecchi fissi in quanto il laboratorio per le strutture desiderava servirsi delle apparecchiature anche per altri motivi. Per essere collocati necessitavano di una base particolare che oggi fa parte della piattaforma di prova del laboratorio, una piastra di cemento armato, sostenuta da muri, spesso 110 cm, con ancoraggi su un reticolo di 120x120 cm predisposti per una struttura di supporto in acciaio, adattabile all'esame specifico. Lo spazio interrato, dove oggi, dopo l'ampliamento della base a metà degli anni '80, sono collocati i gruppi idraulici per l'azionamento dei pistoni programmabili, è abbastanza alto da permettere, se necessario, di fissare al soffitto della base pistoni per l'inserimento di forze ad azione verticale.

La capacità della tavola vibrante era modesta, limitata ad una massa complessiva di parti in movimento dell'ordine di 2500 kg, perciò con essa si studiò solamente il comportamento di strutture in scala ridotta – modelli, e non

strutture a grandezza naturale. Affinché i risultati delle prove su modelli fossero affidabili era necessario acquisire la tecnica di modellazione fisica delle strutture e delle sollecitazioni e sviluppare materiali adatti per la modellazione del cemento, dell'armatura e delle mura [3 e 4]. Anche la capacità dell'apparato per le prove di taglio dei muri era limitata. Era dimensionata per l'esame di muri non armati con resistenza a taglio non superiore ai 250 kN. Una grande limitazione per la conduzione di prove dinamiche era rappresentata in quel periodo anche dal sistema di misura analogico e dal sistema di acquisizione di informazioni molto modesti. Le misurazioni delle grandezze fisiche erano limitate, a quel tempo, al rilevamento di spostamenti, deformazioni e relazioni chiave, perciò bisognava scegliere accuratamente i punti di misurazione prima della prova. Difficile era anche la manipolazione dei dati dal momento che quelli registrati, prima di essere analizzati seriamente, andavano digitalizzati manualmente.

Al terremoto di Skopje fece seguito, nel 1969, un devastante terremoto a Banja Luka, dove lo ZRMK ha nuovamente svolto un ruolo chiave nel risanamento e nel consolidamento di alcuni importanti edifici pubblici in muratura e anche in cemento armato. Nel quadro della ricostruzione della città lo Zavod za obnovo Banja Luke (Istituto per la ricostruzione di Banja Luka), che gestiva anche i fondi degli aiuti federali, ha finanziato ampie ricerche con le quali furono studiate le proprietà meccaniche dei muri tipici. Perciò i muri di alcuni edifici della città vennero ritagliati a grandezza dei soggetti di prova abituali, trasportati in sicurezza a Ljubljana e studiati nel nuovo apparecchio. I dati vennero utilizzati nella progettazione degli interventi di consolidamento. Per ottenere valutazioni della resistenza sismica più attendibili, l'Istituto, sulla base delle analisi dei danni dopo il terremoto e dei risultati delle ricerche di laboratorio propose un nuovo modo di distribuzione delle forze sismiche lungo i muri. Il nuovo metodo si basava sul meccanismo di comportamento a taglio dei muri e non su quello a flessione, come era d'uso fino ad allora [5].

I terremoti a Skopje e Banja Luka hanno destato anche l'interesse del pubblico specializzato estero. Assieme agli aiuti alle zone colpite è giunto dall'estero anche lo spunto per la collaborazione nel campo della ricerca scientifica. Per informarsi sulle ricerche dell'Istituto sulle costruzioni in muratura, all'inizio degli anni '70, alcuni rappresentanti dell'università della California a Berkeley fecero visita all'Istituto. La conoscenza della problematica e l'opera di ricerca svolta ha lasciato una buona impressione, cosicché le ricerche dell'Istituto vennero descritte nel rapporto dell'università di Berkeley sullo

stato del sapere in questo campo ed inserite tra le ricerche nel campo dell'ingegneria sismica nell'ambito della collaborazione scientifico-tecnologica americano-jugoslava. Ciò diede alle ricerche dell'Istituto sul comportamento delle costruzioni in muratura un peso ulteriore.

Nel 1974 ebbe luogo un terremoto nel Kozjansko, a dire il vero di entità minore, che colpì gravemente uno dei territori allora più poveri della Slovenia con case perlopiù in muratura di pietra. All'Istituto venne affidata la supervisione professionale della verifica di agibilità degli edifici colpiti e la cura delle soluzioni tecniche per la ricostruzione dopo il terremoto. Sulla base dello stato sul campo, dell'analisi dei danni agli edifici e delle esperienze nel risanamento di ponti in pietra, i ricercatori dell'Istituto hanno proposto come soluzione più adatta l'iniezione di cemento nei muri in pietra e il collegamento dei muri con barre di armatura in acciaio. L'efficacia di questo metodo semplice ed economicamente accettabile fu verificata con l'esame del comportamento di un modello di casa semplice con collegamenti sul tavolo sismico (**figura 1**. Prova su modello di semplice casa in pietra eseguita su tavola vibrante dopo il terremoto nel Kozjansko del 1974. Nella casa senza collegamenti murari è crollata la parete del timpano, così come durante il terremoto [6] e **figura 2**. Flessione misurata al centro della parete del timpano in funzione della sollecitazione sismica. Adattato da [6], **pag. 213**) e della resistenza dei muri iniettati (**figura 3**. Esame di muro in pietra dopo il terremoto nel Kozjansko del 1974 [6] e **figura 4**. Effetto delle iniezioni su muro in pietra nel Kozjansko. Adattato da [6], **pag. 214** [6 e 7]). Lo ZRMK ha predisposto anche le indicazioni su come incorporare i collegamenti murari[8], sulla base dell'esame dei muri in pietra esistenti ed iniettati, costruiti con materiali locali, e delle raccomandazioni sui valori delle caratteristiche meccaniche dei muri che i progettisti dovrebbero considerare nel calcolo della resistenza sismica.

3. Attività dopo il terremoto friulano del 1976

Nel 1976 ebbe luogo il terremoto friulano (a dire il vero il susseguirsi di tre terremoti nel maggio e settembre 1976), che ha devastato la parte orientale del Friuli e colpito fortemente anche l'alta valle dell'Isonzo. I terremoti hanno distrutto o danneggiato soprattutto vecchie case in pietra, perciò le esperienze ottenute dopo il terremoto nel Kozjansko sono state molto preziose. Dopo il maggio 1976 lo ZRMK condusse nel più ampio territorio dell'alta valle dell'Isonzo il censimento dei danni subiti dalle case, predisponendo con i collaboratori della Facoltà di architettura, edilizia e geodesia dell'università

di Ljubljana un questionario, con cui non veniva valutata solo l'agibilità degli edifici (abitabile – momentaneamente inabitabile – distrutta, danneggiata irreparabilmente), bensì si stabiliva anche l'estensione degli interventi di risanamento necessari, ovvero dei danni. Per decisione del governo sloveno il danno venne valutato sulla base del valore dei lavori necessari per rimuovere le conseguenze del terremoto e non sulla base del valore assicurativo delle case. Perciò nel questionario bisognava indicare quali dei lavori indicati vadano presi in considerazione per il risanamento dell'edificio nonché valutarli quantitativamente (**figura 5. Questionario sulle conseguenze del terremoto del 6. maggio 1976, pag. 215**).

Purtroppo dopo il terremoto di maggio nella parte slovena della valle dell'Isonzo non ci fu un'iniziativa seria, nell'ambito della quale le case danneggiate fossero risanate e consolidate in maniera antisismica. Dopo questo sisma si stava ancora cercando un accordo su chi avrebbe eseguito gli interventi di consolidamento e chi, ovvero come, li avrebbe finanziati. Dopo il terremoto di maggio le riparazioni delle case danneggiate nell'alta valle dell'Isonzo avevano come obiettivo rendere le case nuovamente abitabili il più presto possibile. Erano di natura più o meno cosmetica (sostituzione delle coperture danneggiate, chiusura e rattoppo delle crepe con intonaco). Nella maggior parte dei casi venivano svolte senza aiuto professionale dagli stessi proprietari, a cui vennero in aiuto anche le brigate giovanili di lavoro. Seppure i metodi di consolidamento fossero conosciuti già dopo il terremoto nel Kozjansko, gli edifici non venivano consolidati in maniera antisismica.

Per colpa dei rinvii ovvero dell'indecisione riguardo all'esecuzione degli interventi di consolidamento le scosse di settembre terminarono ciò che il terremoto di maggio aveva iniziato. Questo vale soprattutto per gli edifici del patrimonio culturale architettonico del Breginjski kot, dove, nonostante il progetto di ristrutturazione e ravvivamento dei luoghi preparato già alcuni anni prima del terremoto, nell'estate del 1976 non è successo quasi nulla. Le polemiche dalle sfumature politiche su perché sia andata perduta la vecchia Bergogna (Breginj) e su come si sarebbe potuta salvare, non si sono calmate tutt'oggi. L'istituto prese in mano la guida professionale del restauro delle case danneggiate nell'alta valle dell'Isonzo solo dopo i terremoti di settembre. Ebbe cura della formazione dei progettisti e della qualificazione degli operatori, i suoi gruppi operativi eseguirono dimostrazioni degli interventi tecnici su case scelte, mentre gli ingegneri esercitavano il controllo tecnico sui lavori e fornivano consulenze ai progettisti.

L'allora governo sloveno decise invece già dopo il terremoto di maggio di venire in aiuto ai connazionali della Slavia friulana, nelle valli del Natisone e del Torre, le più colpite dal terremoto. Nell'ambito degli aiuti era affidata allo ZRMK la formazione di progettisti esperti in statica inviati in aiuto dalla Slovenia per creare progetti modello per il consolidamento delle case danneggiate. L'istituto aveva anche l'onere di qualificare con l'aiuto delle proprie esperienze la ditta slovena Benedil di Cividale, fondata soprattutto per consolidare le case di proprietà di sloveni danneggiate dopo il terremoto. La squadra operativa dell'Istituto iniziò l'opera di formazione già dopo il terremoto di maggio (**figura 6**. Lavori di consolidamento sulle case d'oltreconfine **a**. applicazione dei collegamenti murari, **b**. iniezioni nelle mura in pietra – foto: Edo Vugrinec, pag. 216).

Tra le case consolidate dagli operativi dell'Istituto con la ditta Benedil, c'era pure una delle case fortemente danneggiate a Lusevera (casa di proprietà di Beniamino Sinicco), scelta dagli ingegneri dell'Istituto come esempio da manuale per rappresentare ciò che è possibile fare, nonostante le autorità italiane avessero già previsto la sua demolizione. I lavori di consolidamento grossolano (iniezioni e collegamenti murari) sulla casa furono terminati prima del terremoto di settembre e la casa consolidata con i collegamenti e le iniezioni nei muri ha superato il terremoto di settembre, di intensità simile a quello di maggio, senza danni. Poiché i lavori di restauro erano ancora nella fase di consolidamento della struttura portante e tutto il resto era ancora un cantiere aperto, a prima vista non sembrava così. Terminata la fase di consolidamento si sarebbe costruita completamente di nuovo la parte della soffitta, fortemente danneggiata, e creata una nuova struttura di copertura, perciò la casa era ancora senza tetto. Durante il terremoto di settembre fu danneggiata anche l'impalcatura e crollarono le case dei dintorni, un esame più attento tuttavia non mostrò danni alla muratura portante consolidata e collegata.

I terremoti dell'11 e 15 settembre sono stati un esperimento condotto in natura. Hanno confermato in modo ancor più chiaro di quelli precedenti condotti in laboratorio l'efficacia del metodo proposto per il consolidamento di semplici case in pietra con il collegamento e le iniezioni nei muri, e l'opportunità di introdurlo anche in modo generale, dal momento che è di semplice attuazione e non troppo caro.

Gli esperti dell'Istituto presentarono le proprie esperienze anche al pubblico specializzato più ampio nel territorio colpito oltre confine, un ruolo chiave

nello stringere legami ebbero in questo processo i colleghi connazionali sloveni. Proprio nel giorno di un seminario-laboratorio di questo tipo, in settembre a Cividale, i partecipanti furono sorpresi da un terremoto. Ancor più che dalle lezioni sulle esperienze dell'Istituto, l'attenzione del pubblico specializzato italiano fu catturata dal comportamento della casa consolidata a Lusevera durante il terremoto di settembre.

Visto che la casa di Lusevera ha rafforzato anche la fiducia nelle soluzioni tecnologiche di consolidamento proposte, i colleghi italiani di Udine decisero di chiamare in aiuto gli esperti dell'Istituto per il recupero generale dell'area colpita. Così troviamo il primo contributo dell'Istituto nei documenti ufficiali italiani già nella pubblicazione edita nel 1976 dall'assessorato per le opere pubbliche della regione autonoma Friuli Venezia Giulia [9], nella quale l'apporto dell'Istituto viene anche nominato espressamente (**figura 7**. Espunto dall'introduzione della pubblicazione *Esempi di intervento per la riparazione e il rafforzamento antisismico di edifici di abitazione*, pag. 218 [9]).

Il terremoto di settembre ha danneggiato ulteriormente le case colpite da quello di maggio e non consolidate adeguatamente da entrambe le parti del confine, distrutto molte di quelle danneggiate pesantemente e stravolto il lavoro già svolto nella prima fase di recupero. Fu necessario valutare nuovamente l'agibilità delle case e preparare i piani, sulla base dei quali consolidarle. Questa volta la Slovenia ha predisposto l'iniziativa in modo più deciso con l'obiettivo che nessuno dei colpiti avesse dovuto passare l'inverno alle porte in un rifugio temporaneo. Per raggiungere l'obiettivo e rinnovare l'area colpita prima di natale, ovvero entro la fine dell'anno 1976, l'allora repubblica socialista slovena ha coinvolto ditte di progettazione e reparti operativi edilizi che hanno mandato sul campo gli esperti di statica e architetti più esperti, nonché gli operativi con tutti i macchinari necessari. Al contempo valutò che fosse possibile, per via della tipologia delle case danneggiate e delle soluzioni tecniche conosciute, i cui effetti erano già stati verificati (gli esperimenti dello ZRMK e la casa modello di Lusevera), semplificare la stesura dei progetti di consolidamento. Al posto di un vero e proprio progetto con tutti i calcoli e i piani era sufficiente compilare un questionario sulle conseguenze del terremoto con la valutazione dell'estensione dei lavori e dei materiali necessari per l'opera di consolidamento, a cui andava aggiunto uno schizzo con le piante e le sezioni tipiche dell'edificio con iscritti gli interventi di consolidamento. Normalmente si trattava dell'inserimento di collegamenti murari, della sostituzione dei solai in legno con solai massicci, di interventi di

iniezione dei muri e cose simili. Perciò i gruppi (commissioni) per la valutazione dell'agibilità degli edifici furono arricchiti da progettisti statici e architetti abilitati a ordinare gli interventi di consolidamento e valutare i costi degli interventi tecnici sulla base del tariffario unico prescritto dallo stato. Sulla base della documentazione così predisposta e confermata, i proprietari delle case ricevettero i mezzi finanziari necessari per il restauro in parte in forma di prestiti favorevoli in parte in forma di sovvenzioni. Furono velocemente predisposte anche le basi urbanistiche nei casi in cui bisognava sostituire le case crollate con delle nuove, sia in muratura sia (soprattutto nel Breginjski kot) prefabbricate in legno. Il recupero è stato completato, con eccezioni minori, nei tempi stabiliti, naturalmente il procedimento stesso è stato successivamente oggetto di critiche che prendevano di mira soprattutto scelte che dovevano essere prese con decisione e in fretta, senza lunghe discussioni, e anche messe immediatamente in pratica, altrimenti non sarebbe stato possibile raggiungere l'obiettivo principale del risanamento (non passare l'inverno in rifugi temporanei).

Nell'intervento autunnale di risanamento dell'alta valle dell'Isonzo sono stati coinvolti anche i quadri di ingegneria edile e operativi dello ZRMK. Lo ZRMK ha offerto aiuto tecnico anche nella direzione del restauro ed ebbe cura della formazione dei progettisti che vi collaborarono, e preparò le istruzioni per gli interventi tipici con tutti i dettagli necessari per la loro attuazione. Gli esperti dell'Istituto hanno coordinato il lavoro delle commissioni per il censimento dei danni e la preparazione delle valutazioni del consolidamento. Hanno collaborato alla soluzione di esempi complessi che venivano risolti sia sul campo che nel corso delle regolari riunioni di coordinazione. I gruppi operativi dell'Istituto eseguivano dimostrazioni degli interventi tecnici di consolidamento sugli edifici più impegnativi, mentre i suoi membri operavano anche come istruttori che abilitavano gli operatori non abituati a lavori di consolidamento speciali.

Seppure lo ZRMK fosse fortemente coinvolto nella rimozione delle conseguenze del terremoto in patria, non ha trascurato la collaborazione transfrontaliera. Dall'altra parte del confine la ditta Benedil, dopo il terremoto di settembre, ha iniziato con successo a restaurare autonomamente le prime case. Continuò anche la collaborazione coi collegi di Udine. Così, su iniziativa dei collegi sloveni d'oltreconfine, l'ordine degli ingegneri di Udine ha organizzato all'inizio del 1977 per gli ingegneri italiani due ben frequentati seminari a Udine e Pordenone, dove i collaboratori dell'Istituto hanno presentato ai

partecipanti le basi della dinamica delle strutture, il calcolo delle forze sismiche, i principi di sicurezza e verifica della resistenza a taglio delle strutture in muratura e i metodi e le soluzioni tecniche di consolidamento. Il materiale didattico tradotto in italiano è stato pubblicato dallo CRAD (Centro di Ricerca Applicata e Documentazione) di Udine. A dimostrazione di quanto fosse importante in quel momento, questo materiale è ora esibito in una sala speciale del museo sul terremoto Tieri Motus (<http://www.tieremotus.it/index.html>) nella rinnovata Venzone. La collaborazione continuò anche dopo la fondazione del Gruppo interdisciplinare centrale, nel quale è stato nominato dal presidente del governo regionale del Friuli Venezia Giulia anche un rappresentante dell'Istituto per meglio usufruire delle sue esperienze. Così la maggior parte delle disposizioni del documento tecnico di base (**figura 8**. Copertina di una delle edizioni delle *Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura*. La pubblicazione è più conosciuta con il nome "documento tecnico DT 2", **pag. 219**), le raccomandazioni per la riparazione delle case [10], era rappresentata dalle esperienze dell'Istituto.

Il documento prescriveva anche l'uso dei metodi di calcolo sviluppati dall'Istituto, solidalmente messi a disposizione dallo stesso. Nel documento è così pubblicato anche il programma informatico per un metodo, che merita di essere nominato. Il metodo si basa sulla valutazione della resistenza sismica di costruzioni in muratura con la curva di resistenza nel piano critico [11], ed era uno dei primi al mondo che per il calcolo della curva utilizzava il metodo oggi chiamato "metodo push-over (di spinta)". Va notato in particolare che la curva è calcolata aumentando gli spostamenti indotti e non le forze, come si usa tutt'oggi. Si tratta di un tipico metodo per meccanismo di collasso, perciò il programma informatico per il calcolo della curva di resistenza fu chiamato POR (PORušna metoda, metodo di demolizione), con le stesse iniziali prese nome dal programma anche il metodo stesso. In Italia questo nome (il metodo POR) viene tuttora usato in versioni diverse del programma, in Slovenia invece negli anni '80 del secolo scorso abbiamo cambiato il nome del metodo integrato e migliorato, e con esso anche del programma, in SREMB (in inglese Seismic REsistance analysis of Masonry Buildings) con l'intenzione di commercializzarlo successivamente. Cosa che tra l'altro, nonostante i numerosi miglioramenti e tentativi di renderlo il più agevole possibile per i progettisti, non ci è riuscita. Il migliorato algoritmo di base per il calcolo della resistenza sismica serve ad un uso più o meno interno.

Il metodo ha attecchito bene, dal momento che permetteva di valutare in ma-

niera piuttosto affidabile quale fosse la resistenza sismica di una casa prima e dopo il consolidamento. L'edificio in muratura, essendo una struttura scatolare, è composto dai singoli muri, che però se uniti da collegamenti murari e dalla struttura del tetto funzionano come un insieme. Il modello di calcolo del comportamento dei singoli muri fino al crollo si semplifica con un'idealizzazione bilineare delle proprietà effettive misurate con esami di laboratorio, assumendo anche le proprietà di resistenza e deformabilità dei muri stabilite con esami appropriati. Le figure 9 e 10 (9. Schema dei muri per il calcolo della resistenza sismica della casa di Lusevera 10. Formulario con i dati da inserire per l'analisi informatica della resistenza sismica, pag. 220) raffigurano sull'esempio della casa di Lusevera in che modo fosse necessario preparare i dati per il calcolo al tempo in cui il metodo fu utilizzato per la prima volta, mentre la figura 11 (pag. 221) mostra parte dei risultati del calcolo, come venivano trascritti dal calcolatore. Durante il consolidamento furono completamente iniettati tutti i muri; le figure 12 e 13 raffigurano come sono stati disposti i collegamenti murari (12. Disposizione dei collegamenti murari della casa di Lusevera, pianta 13. Disposizione dei collegamenti murari della casa di Lusevera, sezione, pag. 221).

4. Ricerche e collaborazione nei primi anni dopo il terremoto del 1976

Lo ZRMK collaborò con il gruppo interdisciplinare centrale di Udine fino al 1981, ovvero ancora un po' di tempo dopo il terremoto nell'Irpinia-Basilicata del 23 novembre 1980, dopo il quale il gruppo, per via delle esperienze ottenute dopo il terremoto friulano, collaborò alla formazione degli ingegneri del luogo. Così nel 1981 lo ZRMK preparò due contributi per la rivista locale Politecnico, pubblicata dall'ordine degli ingegneri di Cosenza, e collaborò ai seminari formativi a Potenza e Matera nella primavera dello stesso anno. La regione autonoma Basilicata ha "fatto proprio" anche il documento tecnico DT 2.

Poiché nel frattempo, nel maggio del 1979, un forte terremoto colpì anche l'allora repubblica jugoslava del Montenegro, dopo il quale collaborò al recupero lo stesso ZRMK, l'Istituto organizzò, su desiderio dei colleghi di Udine, una visita professionale della zona colpita del Montenegro, dove i colleghi di Udine poterono scambiare esperienze con i Montenegrini.

Negli anni dopo il terremoto del 1976 gli esperti dello ZRMK erano relatori regolarmente invitati a quasi tutti gli incontri specialistici in Italia dedicati alle strutture in muratura e scrissero anche alcuni articoli per la pubblica-

zione su riviste specializzate italiane [ad esempio 11 e 12]. Cominciò anche la collaborazione nel campo della ricerca del comportamento degli edifici in muratura durante un terremoto. Naturalmente bisognava innanzitutto studiare l'efficacia del consolidamento dei muri in pietra tipici delle case in pietra del Friuli con iniezioni. Nonostante la struttura delle mura fosse in linea di principio simile a quella del Kozjansko, per la quale l'istituto disponeva di dati sperimentali, che sono stati assunti in maniera per i criteri odierni forse acritica anche nel documento DT 2, la comparazione dei danni agli edifici e dei risultati delle analisi numeriche della resistenza sismica rilevò delle inconsistenze. Case, che per i calcoli sarebbero dovute crollare, sono sopravvissute al terremoto senza danni troppo gravi. Ciò venne confermato anche dall'esame di un gran numero di muri in pietra costruiti e iniettati nella Slavia Veneta, trasportati a Ljubljana ed esaminati nel laboratorio dello ZRMK. I risultati degli esami hanno mostrato che per la verifica della resistenza sismica delle case in pietra consolidate con iniezioni nei muri si possono considerare valori più alti della resistenza a taglio (trazione) dei muri, rispetto a quelli suggeriti inizialmente [13].

Particolarmente importante è stata la collaborazione con l'università di Padova e l'industria laterizia del Friuli che allora offrì all'università di Padova la possibilità di disporre un laboratorio per l'esame delle mura, progetto a cui l'Istituto fornì aiuto con generosi consigli. Dal momento che gli apparecchi di esame erano più semplici di quelli a Ljubljana, fu inizialmente analizzato l'effetto dei diversi metodi di esame sui risultati. Questo era importante, dal momento che secondo la metodologia di calcolo accettata (il metodo POR) bisognava considerare come dato da inserire i valori delle proprietà meccaniche dei muri ottenuti con la simulazione del comportamento del muro durante un terremoto. Visto che i muri in pietra erano già stati studiati a Ljubljana, la ricerca comparativa fu svolta su muri contemporanei di mattoni forati, che venivano all'epoca usati per la costruzione. I risultati della comparazione di muri esaminati in tre modi differenti mostrarono (parte dei muri fu esaminata a Ljubljana), che tra i risultati riguardo alle proprietà fondamentali dei muri, cioè la resistenza a taglio ovvero a trazione, non c'erano differenze di rilievo [14]. Nel periodo dopo il terremoto del 1976 è stata importante anche la collaborazione con il Politecnico di Milano i cui professori hanno capito l'importanza delle ricerche dell'Istituto e contribuito al fatto che le sue raccomandazioni fossero ben accettate in Italia. A questo riguardo un contributo molto importante è rappresentato da un articolo pubblicato nel primo nume-

ro della rivista Ingegneria sismica [15], la prima rivista scientifica specializzata nel campo dell'ingegneria sismica ad iniziare ad uscire in Italia.

Conclusione

Su una delle pagine di presentazione della mostra del museo Tiere Motus, che descrive lo spazio dove sono presentate le attività dopo il terremoto nel campo della scienza e della regolamentazione tecnica si legge (http://www.tieremotus.it/it/percorso_06.html):

«Il terremoto infatti è un fenomeno ancora poco conosciuto nell'Italia degli anni '70. L'ingegneria sismica sta muovendo i suoi primi passi. Non ci sono precedenti da cui trarre ispirazione. La riparazione degli edifici pone delle problematiche inedite nel campo dell'ingegneria. Non si conosce il comportamento dinamico degli edifici in pietra, non si sa come intervenire per renderli antisismici, non si sa con quali tecniche riparare i dissesti strutturali. Il mondo della ricerca scientifica e tecnologica si mobilita. Si effettuano prove di resistenza sui materiali, vengono predisposti modelli di calcolo strutturale per indirizzare la progettazione, si studiano le modalità costruttive capaci di dare maggiore solidità agli edifici. È una sfida che viene raccolta e che in breve tempo porta ad un rapido avanzamento delle conoscenze e alla loro altrettanto rapida diffusione».

Solo i conoscitori più anziani probabilmente sanno che la fotografia che rappresenta l'esame di un muro è stata scattata a Ljubljana e sempre a Ljubljana sono nati anche i progetti dei dettagli dei collegamenti murari raffigurati sulla stessa pagina. Sulla pagina in rete a dire il vero non c'è scritto che durante i "primi passi" dell'ingegneria sismica in Italia furono presenti anche le esperienze della vicina Slovenia, che corse dapprima in aiuto ai connazionali e diede poi tutte le proprie conoscenze a disposizione dei colleghi italiani, rendendosi conto che i terremoti non conoscono confini e che perciò non deve conoscerli nemmeno la conoscenza dei modi per proteggerci da loro. Forse però non è neppure necessario che ciò sia scritto espressamente, dal momento che fino ad oggi i riconoscimenti non sono mancati: le conoscenze e le amicizie che si sono tessute nel campo della ricerca nei decenni dopo il terremoto hanno un grande valore. Queste persistono tuttora e si trasmettono alle generazioni più giovani. Ha valore anche la coscienza del fatto che l'ingegneria slovena ha contribuito all'avvio dell'ingegneria sismica in Italia, quarant'anni fa un alunno, ma oggi uno degli attori più importanti al mondo. Il valore maggiore però è dato dalla conoscenza del fatto che la collaborazio-

ne dell'ingegneria slovena nel recupero dopo il terremoto friulano ha avuto oltre confine un'importante influenza sul miglioramento della posizione della minoranza slovena che vive nella Slavia Friulana, fino ad allora piuttosto trascurata. Oltre a ciò ha migliorato l'immagine della Slovenia e aperto le porte, nel campo della scienza e della ricerca, alla collaborazione con numerose università nel Nord Italia, che continua tutt'oggi.

LITERATURA | BIBLIOGRAFIA

- [1] Odredba o dimenzioniranju in izvedbi gradbenih objektov v potresnih območjih, Ur. list SR Slovenije, št./n.18, Ljubljana, 1963.
- [2] Turnšek, V., Čačovič, F. Some experimental results on the strength of brick masonry walls, Proceedings, 2nd International Brick-Masonry Conference, British Ceramic Society, Stoke-on-Trent: 149-156, 1971.
- [3] Boštjančič, J. Pogoji modelne podobnosti pri mehaničnih obremenitvah, Gradbeni vestnik, 17 (10): 177-181, 1968.
- [4] Čačovič, F., Turnšek, V., Boštjančič, J., Tomaževič, M., Droljc, S., Tomšič, J. Modelne preiskave na programirani vibracijski mizi, Poročilo ZRMK, Ljubljana, 1970.
- [5] Turnšek, V., Terčelj, S. Razporeditev dinamične horizontalne sile na zidne elemente opečnih zgradb, Simpozijum o prameni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, knjiga/tomo 2, ref./rel. 2/13, 1972.
- [6] Terčelj, S., Boštjančič, J., Sheppard, P., Turnšek, V. Seizmična odpornost tipičnih kamnitih zgradb na Kozjanskem. Poročilo ZRMK 107/75, Ljubljana, 1976.
- [7] Boštjančič, J., Sheppard, P., Terčelj, S., Turnšek, V. Use of a modelling approach in the analysis of the effects of repair to earthquake-damaged stone-masonry buildings, Bolletino di geofisica teorica ed applicata, Part 2, 19 (72): 1091-1116, 1976.
- [8] Vugrinec, E. Izvedba povezovanja zidov z jeklenimi vezmi v praksi, Informacije ZRMK, Gradbeni vestnik, 26 (7-8), 1977.
- [9] Esempi di intervento per la riparazione e il rafforzamento antisismico di edifici di abitazione. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Udine, 1976.
- [10] Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura - DT 2. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Udine, 1977.
- [11] Tomaževič, M., Turnšek, V. Il comportamento degli edifici in muratura in zona sismica. Costruire, 21 (110): 1-10, 1979.
- [12] Terčelj, S., Turnšek, V., Tomaževič, M., Sheppard, P. Le ricerche di laboratorio sui problemi del recupero strutturale dell'edilizia preesistente in zone sismiche. Ricostruire, 10/11: 29-34, 1980.
- [13] Terčelj, S., Turnšek, V., Sheppard, P. Report on the testing of the load-carrying capacity of grouted stone-masonry walls. Poročilo ZRMK 777/79, Ljubljana, 1981.
- [14] Bernardini, A., Modena, C., Turnšek, V., Vescovi, U. A comparison of three laboratory test methods used to determine the shear resistance of masonry walls, Proceedings, 7th World Conference on Earthquake Engineering, Vol.7: 181-184, 1980.
- [15] Benedetti, D., Tomaževič, M. Sulla verifica sismica di costruzioni in muratura, Ingegneria sismica, 1 (0): 9-16, 1984.