

## Qui DPC

M. Dolce<sup>1</sup> ■



### Il monitoraggio sismico del Dipartimento della Protezione Civile (2) - L'Osservatorio Sismico delle Strutture

Nel precedente numero di QuiDPC si è fornita una sintetica descrizione della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN), rimandando al presente numero la descrizione della rete dell'Osservatorio Sismico delle Strutture (OSS). Prima, però, di entrare nel merito, appare opportuno richiamare, per completezza, la strategia del monitoraggio sismico del Dipartimento della Protezione Civile (DPC). Essa è basata su tre reti nazionali: (1) la rete sismometrica nazionale, costituita da circa trecento stazioni sul territorio italiano, gestita dal Centro Nazionale Terremoti (CNT) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), che effettua la sorveglianza sismica (7/24) per la determinazione dell'epicentro e della magnitudo dei terremoti anche di bassa magnitudo in tempo quasi-reale, (2) la Rete Accelerometrica Nazionale (RAN), che effettua il monitoraggio permanente delle accelerazioni indotte al suolo dai terremoti forti (strong motion), e (3) l'Osservatorio Sismico delle Strutture (OSS), per il monitoraggio permanente delle accelerazioni di edifici pubblici e ponti. La seconda e la terza rete sono gestite direttamente dal Dipartimento della Protezione Civile, e in

particolare dal Servizio Monitoraggio Sismico del Territorio dell'Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico. Tutte e tre le reti hanno, innanzitutto, lo scopo primario per la Protezione Civile di fornire informazioni sull'entità delle scosse e sui loro possibili effetti nell'immediato post-evento. Gli stessi dati diventano poi riferimenti fondamentali per studi ed approfondimenti scientifici in campo sismologico e ingegneristico. Queste reti costituiscono, per numerosità e qualità degli strumenti di misura, eccellenze in campo internazionale.

L'OSS nasce nel 1995 con l'installazione, da parte dell'allora Servizio Sismico Nazionale, poi confluito nel DPC, di un primo sistema di monitoraggio sismico in un edificio in c.a.: l'Istituto Tecnico Commerciale di Moliterno (PZ). A questo sistema è seguito nel 1997, in collaborazione con l'ENEA, la realizzazione di un sistema di monitoraggio sismico nell'edificio in muratura che ospita il Poliambulatorio di Pievepelago, nell'appennino modenese. Successivamente la rete si è sviluppata in quattro grandi lotti successivi attraverso altrettante gare di appalto concorso, fino a raggiungere l'attuale consistenza di 124 sistemi di monitoraggio, dei quali 116 installati su edifici, 7 su ponti e uno su una diga. La distribuzione geografica delle strutture (Figura 1) segue la mappa di pericolo-

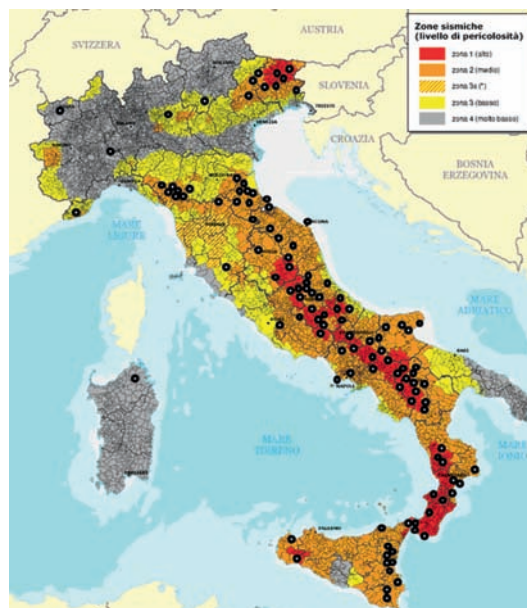


Figura 1  
Distribuzione sul territorio delle strutture dell'Osservatorio Sismico.

<sup>1</sup> Direttore dell'Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del Dipartimento della Protezione Civile.

sità e di vulnerabilità del territorio nazionale. Per quel che riguarda le tipologie edilizie si è privilegiata la scelta di monitorare per lo più strutture di tipo ordinario, che siano rappresentative dell'edilizia pubblica che caratterizza le diverse realtà del territorio nazionale. Fanno comunque parte della rete anche alcuni edifici storici, come il Palazzo degli Elefanti a Catania, Palazzo Ducezio a Noto (SR), Palazzo de Nobili a Catanzaro, o edifici di particolare interesse perché dotati di sistemi di isolamento sismico, come l'edificio 3D del campus di Potenza – loc. Macchia Romana dell'Università delle Basilicata (già monitorato), e la nuova scuola Jovine a San Giuliano di Puglia e il nuovo edificio degli Istituti Scolastici Superiori di Bojano (sistemi in corso di realizzazione). Per quel che riguarda la destinazione d'uso, gli edifici dell'OSS sono per la maggior parte scuole (50% ca.), municipi o ospedali. Non mancano però altri edifici di importanza sociale, come le Chiese di Fivizzano (MS) e di Pescosolido (FR), o il palazzo dello sport di Castel di Sangro (AQ).

Fin dall'origine l'OSS è stato pensato come una rete di tipo *strong-motion*, finalizzata a raccogliere dati sul comportamento delle strutture civili per terremoti in grado potenzialmente di danneggiarle. Pur cercando sempre di valorizzare l'importanza scientifica dei dati raccolti, negli ultimi anni l'attenzione è stata sempre più focalizzata sulle ricadute della rete in termini di Protezione Civile. In particolare si è lavorato sulla possibilità di avere in remoto, a poche decine di minuti da un'importante scossa sismica, una stima, sia pure di massima, del grado di danneggiamento delle strutture dell'OSS collocate nell'area epicentrale, ottenendo così dati utili anche per una migliore valutazione delle conseguenze del sisma sul territorio. Ogni struttura dell'OSS è monitorata con accelerometri a bilanciamento di forza (Figura 2) in un numero che varia tra 15 e 32, in ragione delle dimensioni e della complessità della strutture. È sempre presente anche un accelerometro trias-

siale fissato sul terreno o collegato alla base della struttura (Figura 2) per la misura dell'input sismico. In ragione del livello di pericolosità sismica del sito, l'intervallo di misura degli accelerometri alla base è  $\pm 0,5$  g o  $\pm 1,0$  g (dove g è l'accelerazione di gravità), mentre quello sulla struttura è  $\pm 1,0$  g o rispettivamente  $\pm 2,0$  g, per tener conto dell'amplificazione dinamica. Nel caso degli edifici, al fine di descrivere adeguatamente il loro comportamento dinamico, il numero e la posizione degli accelerometri sono selezionati, ad ogni piano, tenendo conto del comportamento sismico previsto. In particolare, quando si considera valida l'ipotesi di piano rigido, come nel caso di edifici intelaiati in cemento armato a pianta regolare, vengono misurate solo tre componenti orizzontali di accelerazione per piano. Negli altri casi si aggiungono sensori per cogliere possibili modi di vibrazione che coinvolgano la deformabilità in pianta dell'edificio. Quando possibile si cerca di strumentare tutti i piani, in quanto lo spostamento relativo tra due piani contigui è un significativo indice di danno. Nel caso esistano più corpi di fabbrica separati da un giunto sismico, a cavallo di tale giunto vengono posizionati uno o più trasduttori per misurare lo spostamento relativo. Specifici criteri sono infine adottati per i ponti e le dighe, tenendo conto dei modi di vibrazione attesi.

Ciascun sensore è collegato a un'unità per l'acquisizione e la registrazione dei dati (Figura 2), dotata di un convertitore analogico digitale a 16 bit per i sistemi più vecchi e a 24 bit per quelli di ultima generazione, che sono quindi in grado di registrare correttamente sia microtremiti che terremoti violenti. Le misure di accelerazione e di spostamento delle ultime 12 ore (o 48 per i sistemi più recenti) sono registrate in continuo in una memoria ad anello. Quando le accelerazioni misurate superano determinate soglie, definibili in ragione della rumorosità e di altre caratteristiche del sito, i dati sono registrati in modo permanente e inviati al centro OSS di Roma attraverso una connessione ADSL o, nei

Figura 2  
Le componenti principali di un sistema di monitoraggio sismico: (da sinistra a destra) la terna accelerometrica al suolo, un accelerometro fissato sulla struttura, unità per l'acquisizione e la registrazione dei dati.





pochi casi in cui questa non sia disponibile, utilizzando una connessione UMTS o satellitare. Qualora il terremoto non abbia provocato il superamento delle soglie suddette, ma si vogliono comunque acquisire i dati, è possibile da remoto, entro le suddette 12 (48) ore, recuperare manualmente dalla memoria le registrazioni, collegandosi al sistema locale dal server centrale dell'OSS. Appositi programmi (Figura 3) permettono di controllare l'efficienza dei sistemi ed estrarre le misure di interesse (vibrazioni ambientali o terremoti). Come si è detto, per le finalità di protezione civile, è di fondamentale importanza che i dati che confluiscono nel centro OSS siano immediatamente elaborati in modo da stimare il livello di danno subito dalle strutture coinvolte dal sisma. A ciò provvede il programma RADOSS (Rapporto Automatico Dati OSS), che, sviluppato in ambiente MATLAB dai tecnici del DPC, analizza in automatico tutte le registrazioni sismiche in arrivo, stima i principali parametri di letteratura che caratterizzano il moto del terreno, calcola le massime accelerazioni strutturali, i massimi spostamenti relativi di punti caratteristici della struttura, dai quali è a sua volta possibile una stima del danno subito. RADOSS identifica anche le frequenze naturali della struttura nella fase terminale del moto sismico. Le differenze fra tali frequenze e quelle identificate da precedenti test dinamici contribuiscono a valutare le conse-

guenze del sisma sulla struttura. Il rapporto sulle analisi eseguite è tempestivamente reso disponibile all'Unità di Crisi. Accanto a questa tipologia di sistemi per il monitoraggio dettagliato delle strutture è stata sviluppata anche una piccola rete sperimentale di sistemi di monitoraggio di tipo "semplificato". Tale rete è attualmente composta da 14 sistemi: 2 installati in ospedali in Umbria e 10 installati nell'Aquilano dopo il terremoto del 2009; altri 8 sistemi sono previsti in ulteriori 8 ospedali umbri. Questi sistemi sono composti in genere, oltre che da una terna accelerometrica alla base, da due accelerometri (uno biassiale e uno monoassiale) all'ultimo livello dell'edificio. Oltre al minor numero di sensori, le due caratteristiche che distinguono questi sistemi da quelli della rete principale, sono la connessione wireless fra i sensori e l'integrazione di ciascun sensore con un'unità di calcolo che provvede all'elaborazione in loco dei dati e invia i risultati al centro OSS attraverso una connessione GPRS. Per poter interpretare efficacemente le registrazioni del sistema di monitoraggio in occasione di eventi sismici, si effettuano, prima e a seguito dell'installazione del sistema di monitoraggio, alcune attività conoscitive sulla struttura. In primo luogo si reperiscono le informazioni disponibili da varie fonti, come disegni originali di progetto, prove regolamentari sui materiali, documenti di collaudo, ecc (Figura 4). Quindi si procede ad un

Figura 3 Alcune viste dell'interfaccia per il controllo e l'interrogazione dei sistemi.

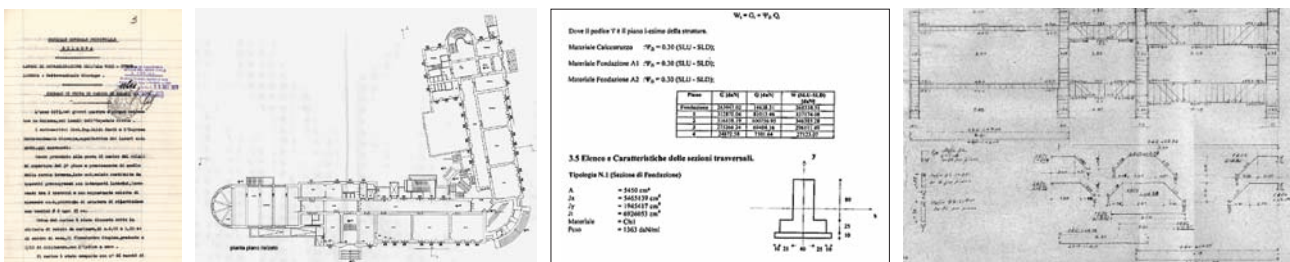


Figura 4 Esempi di documenti reperiti per le strutture (da sinistra a destra e dall'alto in basso): atti di collaudo, disegni architettonici, calcoli di verifica, disegni costruttivi.



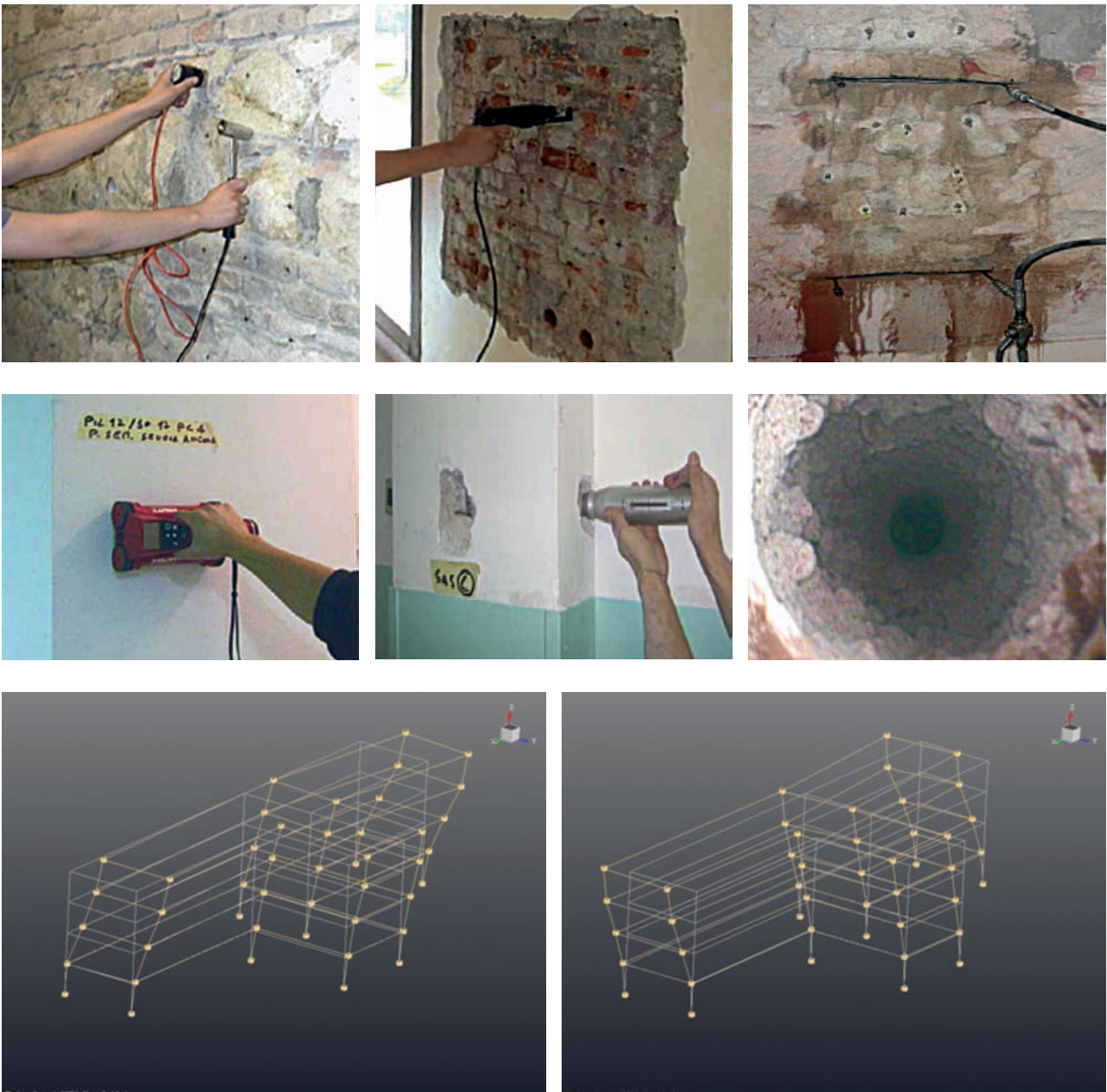
Figura 5  
Esempi di indagini conoscitive sugli edifici (da sinistra a destra e dall'alto in basso): tomografia su muratura, penetrometro su malta, martinetti piatti, rilievo pachometrico della armature, prova sclerometrica sul calcestruzzo, endoscopia di solaio.

Figura 6  
Esempi di forme modali ottenute con le misure dinamiche sperimentali.

Figura 7  
Esempi di modello di calcolo lineare (a sinistra) e nonlineare (a destra) di edifici di muratura.

rilievo accurato architettonico e strutturale, quest'ultimo di fondamentale importanza per elaborare modelli di calcolo affidabili. Si completano le informazioni sull'edificio con indagini in situ, anche con prelievi di materiali e prove di laboratorio (Figura 5). Le proprietà dinamiche del sistema per piccoli livelli di vibrazione vengono misurate eccitando la struttura con una macchina vibrante (vibroдина) o con cadute di gravi; in molti casi si ricorre anche all'eccitazione ambientale dovuta al vento o al traffico veicolare. Si procede quindi ad un'analisi modale sperimentale, per lo più con i metodi dell'analisi modale operativa (Figura 6), per passare poi alla modellazione agli elementi finiti (Figura 7). I modelli di calcolo sono basati sui rilievi e sulle proprietà dei materiali di cui sopra, in modo da partire da

un'approssimazione già buona della struttura. Quindi si procede alla cosiddetta identificazione strutturale, modificando opportunamente i parametri di questi modelli in modo da approssimare le caratteristiche dinamiche (frequenze e forme modali) sperimentali. I modelli così ottenuti in campo lineare vengono opportunamente modificati per prevedere il comportamento sotto sisma, quindi prevalentemente nonlineare. Sono allo studio metodi analitici di valutazione del danno basati sui risultati dei modelli nonlineari. Quest'ultima categoria di modelli viene anche utilizzata per valutazioni di adeguatezza sismica delle strutture interessate. Tutte queste informazioni vengono conservate su supporto informatico e sono consultabili, per gli utenti abilitati, mediante un'interfaccia web (Figura 8).



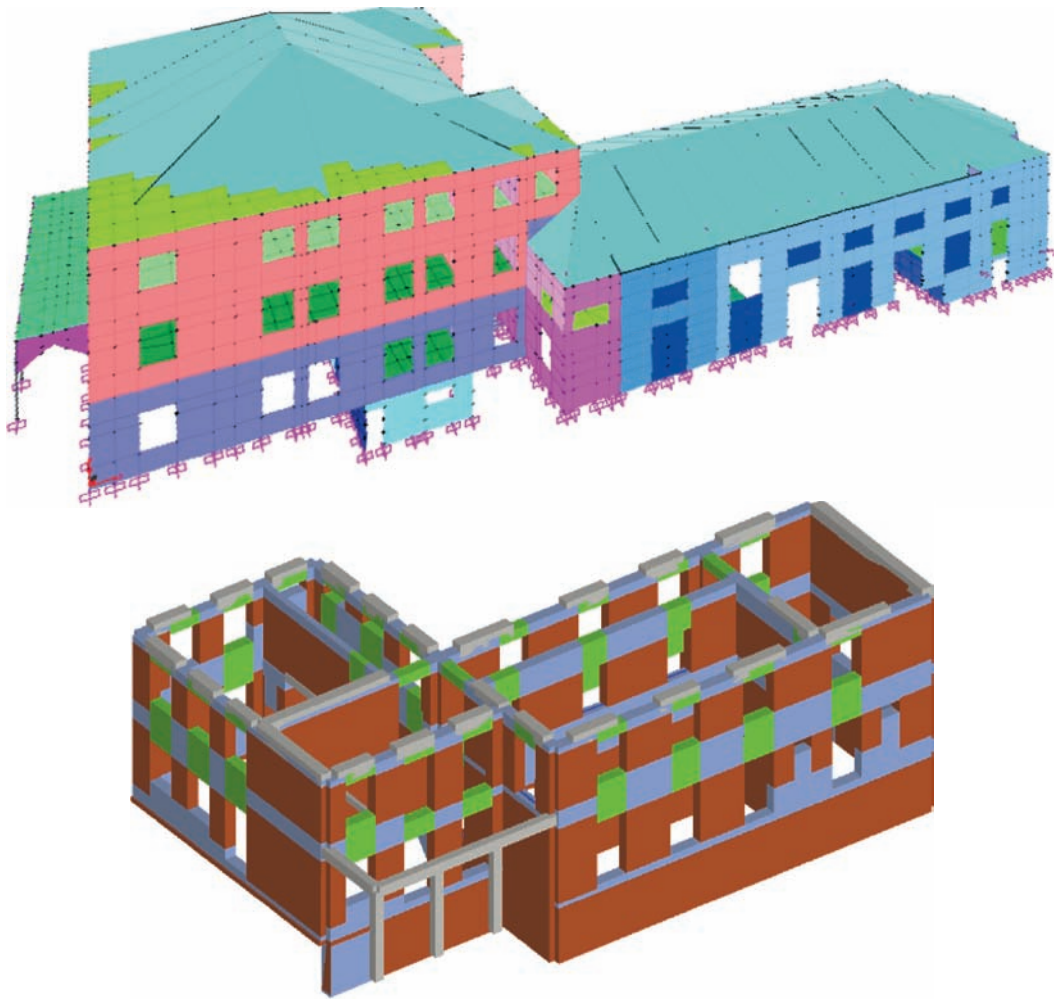


Figura 8  
Alcune viste dell'interfaccia  
web per la consultazione di  
dati e documenti sulle  
strutture dell'OSS.