

UN'APPLICAZIONE ARCGIS PER LA SICUREZZA DEL COSTRUITO

di Luigi Colombo e Barbara Marana

La difesa delle città da eventi naturali, come i terremoti, richiede sia il miglioramento delle qualità costruttive degli edifici, sia la riduzione consistente della loro danneggiabilità. Questi requisiti sono conseguibili, per gli edifici di nuova costruzione, attraverso l'applicazione della normativa anti-sismica, e, per quelli esistenti, utilizzando strumenti che si basano su un'attenta classificazione della predisposizione al danneggiamento (vulnerabilità), sia per l'aspetto costruttivo sia per quello strutturale, materico e geo-ambientale.

La difesa delle città da eventi naturali, come i terremoti, richiede sia il miglioramento delle qualità costruttive degli edifici, sia la riduzione consistente della loro danneggiabilità. Questi requisiti sono conseguibili, per gli edifici di nuova costruzione, attraverso l'applicazione della normativa anti-sismica, e, per quelli esistenti, utilizzando strumenti che si basano su un'attenta classificazione della predisposizione al danneggiamento (vulnerabilità), sia per l'aspetto costruttivo sia per quello strutturale, materico e geo-ambientale. Un altro elemento fondamentale, per la gestione della prevenzione e della difesa dal rischio, consiste nell'utilizzo di procedure informatizzate, automatizzabili e in grado di monitorare il mantenimento, anche in tempo reale, di adeguate condizioni di esercizio durante il ciclo di vita di un'opera, sia nell'ordinarietà sia nell'emergenza.

L'integrazione e la comparazione delle esigenze sopra indicate possono essere ben supportate da un potente strumento di indagine e analisi, come è per definizione un sistema GIS.

Il patrimonio edilizio, presente sul territorio italiano, è rilevante sia per quanto riguarda il numero di edifici, la loro importanza e il significato. Gli edifici, ma più in generale le opere edili, hanno una rilevanza economica oltre che storica, giacché rivestono un ruolo significativo all'interno della comunità che utilizza l'opera e influenzano anche la qualità del paesaggio.

Adesso, non c'è ancora la tendenza a una conoscenza diffusa e approfondita sullo stato di tutte le opere edili (per esempio: le geometrie effettive, i materiali utilizzati, le tecniche costruttive, l'interazione tra gli elementi strutturali, il tipo di sottosuo-

lo), che possa risultare utile sia nelle condizioni abituali di esercizio, sia quando la struttura è sottoposta a eventi speciali, come sismi, esondazioni, frane, ecc.

In questa situazione, la disponibilità di una catalogazione delle informazioni costruttive e materiche e di una classificazione sistematica degli edifici riveste un ruolo fondamentale per aiutare gli operatori nella fase di prevenzione, allerta, gestione e recupero del patrimonio edilizio e nelle scelte riguardanti il futuro conservativo del patrimonio stesso. Tutti questi aspetti sono supportabili quasi automaticamente attraverso l'implementazione di strumenti GIS.

Sicurezza e rischio nel costruito

Negli ultimi anni, il problema della sicurezza strutturale ha attirato sempre più l'attenzione di progettisti, tecnici delle costruzioni ed esperti del comportamento dei materiali, anche a causa di gravi eventi che interessano periodicamente in modo drammatico l'edificato, sensibilizzando profondamente opinione pubblica e istituzioni.

Questa esigenza di sicurezza è resa ancora più pressante dal fatto che nella progettazione attuale si tende a far lavorare i materiali a valori molto vicini ai livelli di sollecitazioni ammissibili; inoltre, il miglioramento dei criteri di progettazione e di costruzione richiede una conoscenza più dettagliata del comportamento delle strutture e dei materiali che le compongono.

Le strutture costituiscono in genere un patrimonio che deve essere conservato e questo può richiedere, in particolare per gli edifici storici e quelli antichi, interventi di restauro, durante i quali il concetto di sicurezza dell'opera acquisisce nuova importanza.

Gli edifici sono inevitabilmente soggetti a deterioramenti strutturali e materici, che producono uno scadimento delle condizioni di sicurezza originarie. Così, un'opera può essere definita *efficiente* se manifesta modificazioni strutturali contenute entro prefissati intervalli di sicurezza: i limiti sono stabiliti sulla base della valutazione del progetto, del comportamento della struttura e dei materiali nonché delle diverse condizioni di sollecitazione cui la struttura potrà essere soggetta nel corso della sua vita, anche in relazione al luogo di collocazione dell'opera, ai caratteri geotecnico-geologici e alla stabilità del terreno.

Il rischio integrato

La Regione Lombardia ha avviato in questi anni un programma integrato di mitigazione del rischio inerente al proprio territorio.

L'approccio considera la pluralità dei rischi possibili, determinando un fattore di rischio globale, indicato come *rischio integrato*.

Tale fattore si basa sulla valutazione di eventi calamitosi quali il rischio idrogeologico, quello meteorologico, sismico, da incendio, ecc.

In questo lavoro viene considerato solo il rischio sismico (R) dell'ambiente costruito, che peraltro è quello analizzato in letteratura nel modo più dettagliato e completo.

In tale caso, è possibile indicare il parametro identificativo del rischio con la seguente relazione:

$$R = P * V * E$$

dove P rappresenta la pericolosità, V la vulnerabilità ed E l'esposizione.

In particolare:

- la *pericolosità* indica la possibilità che, in un prefissato intervallo di tempo, una certa area sia interessata da terremoti in grado di produrre danni:

$$P = \frac{1}{\text{indice di zona sismica}}$$

Il territorio italiano è stato classificato (2012) secondo indici di zona, variabili da 1 a 4, che identificano il livello di pericolosità, ovvero la predisposizione dell'area a essere soggetta a eventi sismici (Fig. 1). L'indice 1 contraddistingue le zone di pericolosità più elevata, potendosi verificare eventi molto forti, anche di tipo catastrofico. A rischio risultano anche le zone con indice 2 (e la zona con indice 3S della Toscana), dove gli eventi sismici, seppur di intensità minore, possono creare gravissimi danni. Le zone con indice 3 sono caratterizzate da una bassa sismicità che però, in particolari situazioni geologiche, può vedere amplificati i propri effetti. Infine, le zone con indice più basso (4) sono quelle che presentano il minor livello di pericolosità sismica, essendo possibili solo sporadiche scosse in grado di produrre danni con bassa probabilità.

- l'*esposizione* è un indicatore del numero di persone che utilizzano un certo edificio e che, quindi, sarebbero coinvolte in caso di evento sismico. In ogni programma di protezione il primo obiettivo è la tutela della vita umana e, pertanto, risulta di estrema importanza valutare il numero di quanti sono esposti a questo rischio. Il valore è calcolato dalla relazione:

$$E = \frac{E}{E_{max}}$$

dove E rappresenta l'utenza di un edificio ed E_{max} quella dell'edificio avente utenza massima, cioè caratterizzato da esposizione maggiore;

- la *vulnerabilità* definisce la propensione al danno di un edificio, a seguito di un evento sismico, ed è funzione dei materiali impiegati, delle caratteristiche costruttive e territoriali e dello stato di manutenzione.

La valutazione della vulnerabilità sismica delle opere si configura come una fase di diagnosi preventiva; in questo senso, la Regione Lombardia ha predisposto una metodologia che registra una serie di informazioni sugli elementi costitutivi di un edificio, catalogate tramite schede.

La vulnerabilità V è assegnata in modo convenzionale, tramite un indicatore numerico che varia tra 0 (edifici che rispet-

tano le normative sismiche vigenti) e 100 (edifici con caratteristiche scadenti) e si basa su undici parametri. Per ognuno di essi è attribuita una classe scelta fra quattro: da A (la migliore) a D (la peggiore). Inoltre, al fine della definizione dell'indicatore numerico, a ogni classe è attribuito un punteggio p_i , a volte diverso da parametro a parametro, e a ogni parametro è assegnato un peso w_i .

L'indice di vulnerabilità è poi definito come la somma pesata dei punteggi associati a ogni parametro:

$$V = \sum_i p_i * w_i$$

La procedura di classificazione richiede la creazione di una banca dati costruita sulla base della compilazione, per i vari edifici, di una serie di schede, definite di

primo o di secondo livello, proposte dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, GNDT (Figg. 2, 3).

Le prime schede sono di tipo generale e contengono le informazioni dell'edificio inerenti all'uso, all'ubicazione, all'età della costruzione e agli interventi subiti, allo stato degli impianti, alla tipologia strutturale e alla presenza di eventuali danneggiamenti.

Per la corretta compilazione di queste schede è importante conoscere la natura dell'edificio e distinguere altresì tra edificio e aggregato strutturale. Un aggregato strutturale è un insieme di elementi costruttivi non omogenei che possono interagire nel caso di un'azione sismica (o di tipo dinamico in genere).

Il secondo tipo di scheda è più complesso e si utilizza specificamente per il calcolo della vulnerabilità di un edificio.

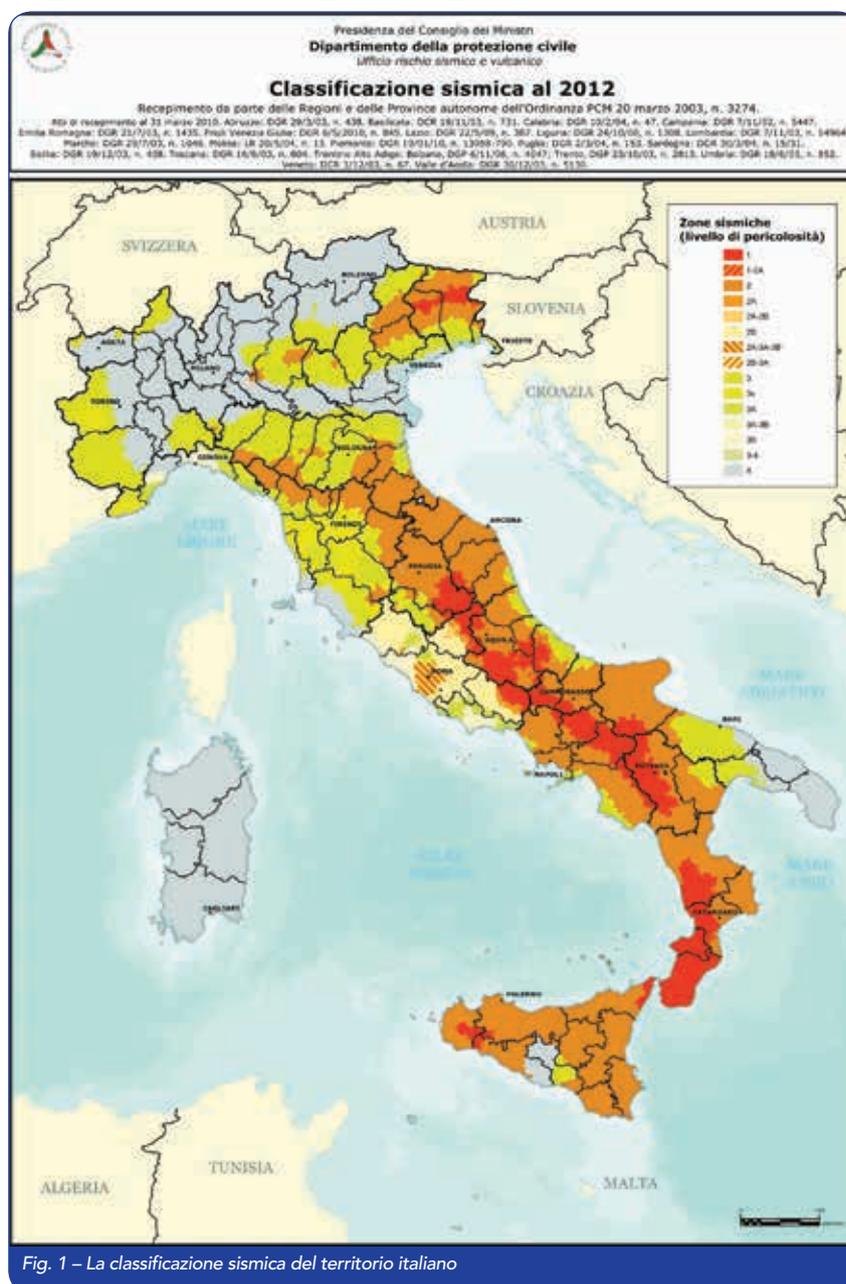


Fig. 1 - La classificazione sismica del territorio italiano

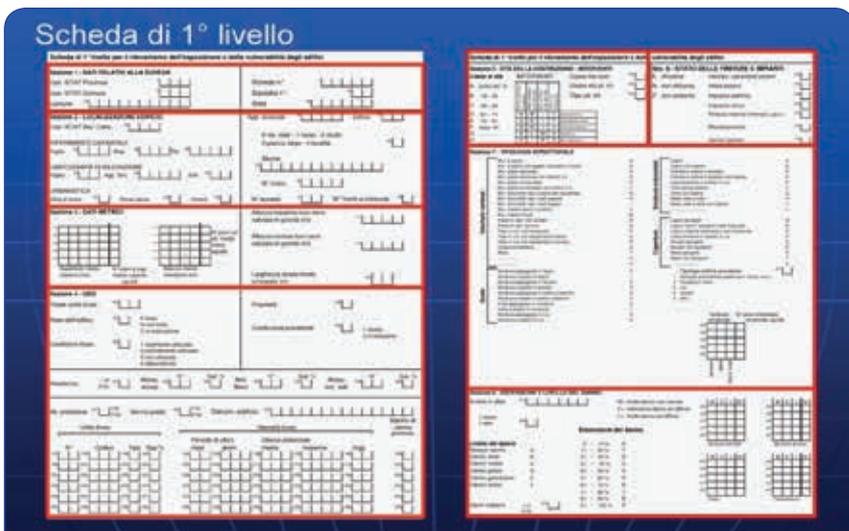


Fig. 2 – Scheda per la classificazione di primo livello degli edifici

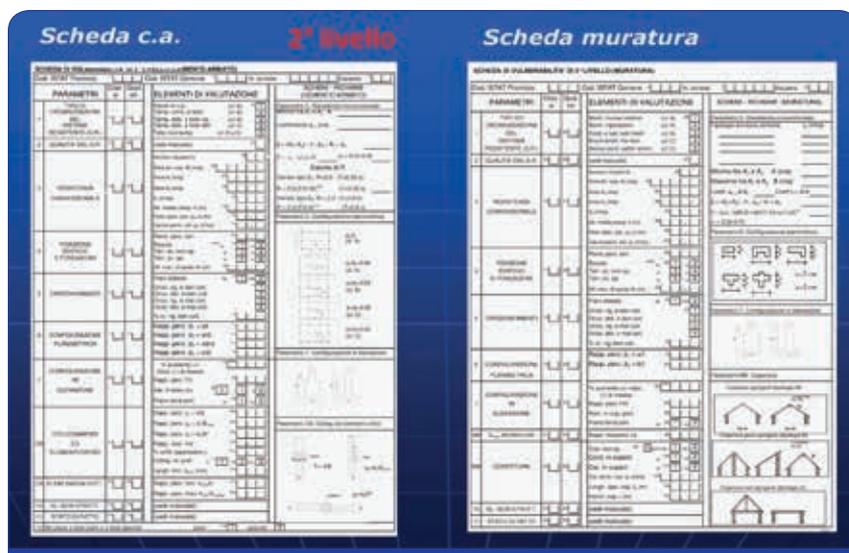


Fig. 3 – Scheda per la classificazione di secondo livello



Fig. 4 – Base cartografica raster del comune di Verdellino, con gli edifici censiti. A destra, dettaglio di un edificio

Un approccio GIS al problema

Come emerge dalle considerazioni sin qui esposte, l’analisi del rischio è un problema complesso che origina dal concorso di una serie di fattori molto diversi (anagrafici, strutturali, territoriali). L’utilizzazione di un sistema GIS potrebbe essere decisiva, giacché si tratta di uno strumento in grado di automatizzare i processi di analisi, di produrre elaborati tematici e di supportare efficacemente l’utente nella formulazione di valutazioni e scelte operative. In questo caso, è possibile inserire in un unico geo-database, tramite tabelle collegate tra loro, tutti i dati riguardanti gli edifici sensibili e non e visualizzarli tramite strumenti come ortofoto, cartografie vettoriali, grafici e rielaborazioni tabellari.

Un esempio applicativo

Si presenta qui un prototipo di applicazione GIS, realizzato attraverso la costituzione di un geo-database, finalizzato all’analisi del rischio sismico, a supporto di interventi a livello comunale, provinciale e regionale. L’intento è fornire uno strumento per visualizzare, gestire, classificare e aggiornare i dati che si riferiscono agli edifici (solo quelli pubblici, in prima istanza) del comune di Verdellino in provincia di Bergamo (Fig. 4). I dati grafici archiviati sono di tipo diverso: dalla cartografia comunale vettoriale, a quelle raster tratte dal geo-portale della Regione Lombardia, a disegni costruttivi dei progettisti, a fotografie e informazioni tematiche raccolte in schede; tutto il materiale è documentato da metadati dettagliati, riguardanti gli autori, l’anno di produzione e aggiornamento, il livello di dettaglio, la precisione delle misure, il sistema di riferimento, la proprietà, ecc.

La piattaforma di sviluppo è ArcGIS Desktop, versione 10.1, prodotto da Esri.

La fase di acquisizione e documentazione

La fase di acquisizioni delle informazioni ha sempre un ruolo decisivo nella realizzazione di un geo-database corretto. Innanzitutto, l’analisi è stata per ora limitata ai soli edifici pubblici del comune scelto, a causa della difficoltà di acquisire i dati esistenti su quelli privati e di ottenere le autorizzazioni per i necessari sopralluoghi. Le informazioni caratteristiche di ogni edificio sono state registrate sulle schede di rilevazione, indicate in precedenza, e, in particolare, su quella di primo livello che raccoglie i dati essenziali per la prevenzione: la localizzazione geografica dell’edificio, i dati metrici, la destinazione d’uso, l’età, gli interventi subiti,

lo stato delle finiture e degli impianti, la tipologia strutturale e la presenza di degrado e dissesto precedenti.

Le informazioni, come premesso, sono state estratte *indirettamente* da progetti e documenti conservati negli archivi comunali e/o *direttamente* con sopralluoghi sugli edifici. Il loro corretto recupero, essenziale per garantirne la qualità, ha incontrato varie problematiche che, talvolta, ne hanno ridotta l'attendibilità.

La costruzione del geo-database

Il database è stato progettato secondo il modello entità-relazioni illustrato in figura 5, utilizzando *feature class* (cioè una raccolta di *feature* omogenee, aventi la stessa rappresentazione spaziale, come poligoni, linee, punti) e tabelle opportunamente collegate (Fig. 6).

I modelli entità-relazioni rappresentano, infatti, classi di oggetti (le entità) che hanno proprietà comuni ed esistenza autonoma ai fini dell'applicazione, mentre le relazioni rappresentano un legame tra due o più entità. Le entità e le relazioni vengono poi descritte usando una serie di attributi.

Il database è stato costruito attraverso l'applicativo ArcCatalog: tutte le informazioni raccolte sono state inserite in esso, operando una fase di editing con il modulo ArcMap.

Le tabelle e le *feature class* create sono collegate tra loro nel database, in modo da avere tutte le informazioni quando si deve procedere all'interrogazione dei dati.

Valutazione del rischio sismico

Come già indicato in precedenza, il termine *rischio sismico* indica i possibili danni (stimati) causati da terremoti che dovessero interessare, in un determinato periodo, una certa area di territorio. La valutazione può essere quantificata in diversi modi: per esempio attraverso il costo dei danni riguardanti gli edifici, il costo complessivo in termini economici e sociali subito dalla popolazione presente, oppure attraverso il numero prevedibile di morti e feriti.

L'indicatore preposto per la valutazione del rischio sismico (R%) è espresso mediante la seguente relazione fra parametri:

$$R\% = \left[\left(\frac{P}{P_{max}} \right) * \left(\frac{V}{V_{max}} \right) * \left(\frac{E}{E_{max}} \right) \right] * 100$$

In essa, P rappresenta la pericolosità, V la vulnerabilità ed E l'esposizione; i vari parametri sono calcolati secondo le modalità prima descritte, con

$$V_{max} = 100 \text{ e } P_{max} = 1.$$

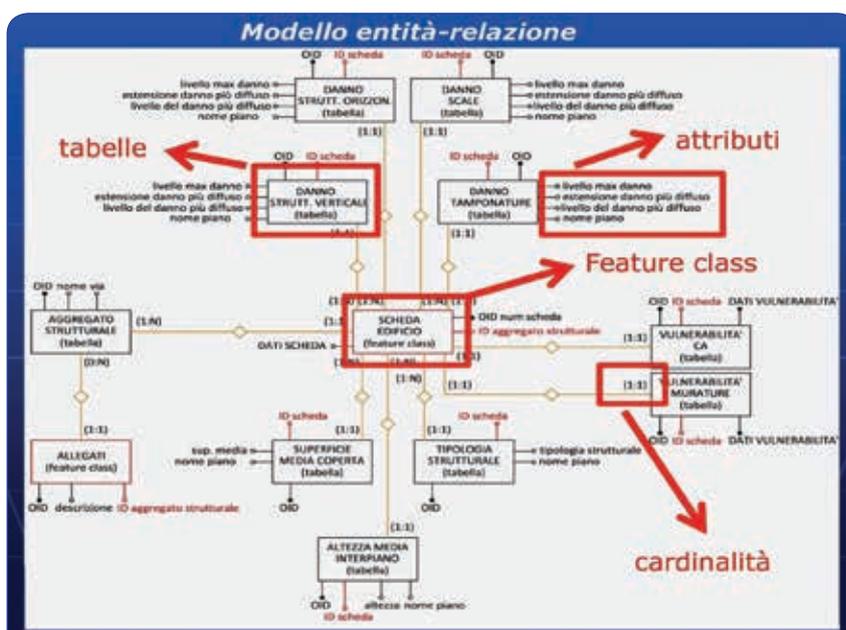


Fig. 5 - Modello entità-relazioni del progetto di geo-database

Fig. 6 – Esempio di tabella associata a un edificio

Il calcolo della vulnerabilità, dell'esposizione e quindi del rischio sismico, associato a ogni edificio, può essere eseguito agevolmente all'interno del modulo ArcMap, tramite operazioni di *join* fra tabelle e il comando *field-calculator*. Di conseguenza, è possibile realizzare carte tematiche del territorio, nelle quali

si possono rappresentare gli edifici con colori diversi secondo la classe di appartenenza: le carte prodotte riguardano, nello specifico, la vulnerabilità e la sua affidabilità (desunta in funzione della modalità diretta o indiretta di acquisizione dei parametri strutturali e materici), l'esposizione e il rischio sismico (Figg. 7, 8, 9).

Un'altra interessante applicazione riguarda la valutazione dell'interazione esistente tra gli edifici in esame e il reticolo stradale: sempre in ArcMap, avendo a disposizione un file vettoriale delle strade del comune interessato, è possibile eseguire delle *query* spaziali, in grado di evidenziare vie di fuga, utili in caso di emergenza, e la loro relazione con gli edifici.

Sviluppi futuri

Un possibile sviluppo funzionale del *geo-database* riguarderà la creazione di una procedura automatizzata per il calcolo della vulnerabilità, dell'affidabilità della vulnerabilità stessa, dell'esposizione e del rischio. Questa procedura è realizzabile tramite lo strumento *Model Builder* in ArcMap, un'applicazione utilizzata per generare, modificare e gestire modelli che rappresentano sequenze di comandi di *geo-processing*.

Ovviamente, il database deve comprendere tutti gli edifici sia pubblici sia privati e, nell'ottica di una definizione del rischio integrato, prevedere anche dati riguardanti altri possibili fonti di rischio inerenti al territorio.

Considerazioni finali

Lo studio descrive la realizzazione di un'applicazione GIS, di supporto alle Amministrazioni comunali, per la gestione automatizzata degli aspetti connessi alla protezione degli edifici di competenza dal rischio sismico.

Il *geo-database* progettato consente, infatti, di mantenere sotto controllo e in costante aggiornamento le condizioni di sicurezza di ogni edificio e costituisce, inoltre, uno strumento efficace per avviare piani di manutenzione programmata del costruito laddove si evidenzino situazioni di precarietà conservativa.

In caso di evento sismico, o di altro fenomeno calamitoso naturale, è altresì possibile evidenziare interattivamente le aree a maggior rischio, così da procedere con priorità ed efficacia.

I GIS sono strumenti in grande crescita che diverranno presto un'interfaccia utente multi-funzione capace di fornire soluzioni rigorose ed esaurienti per ogni problema tecnico connesso alla conoscenza, alla gestione e all'analisi del territorio e delle sue antropizzazioni.

Questi sistemi rappresentano già oggi una realtà operativa diffusa e accessibile come ben evidenzia ArcGIS Online di Esri, un sistema *web-based* progettato per quanti desiderino trattare contenuti geo-spaziali attraverso infrastrutture di tipo *cloud*. Un portale

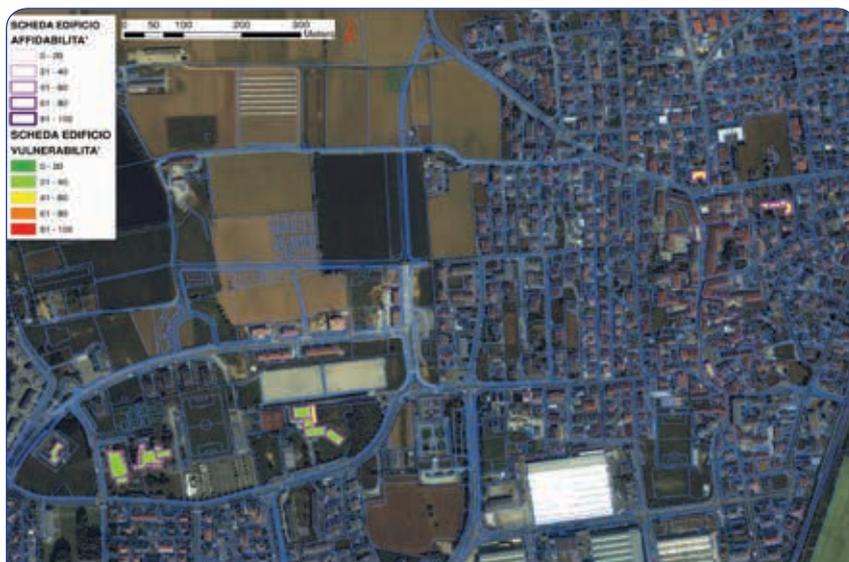


Fig. 7 – Tematizzazione della Vulnerabilità

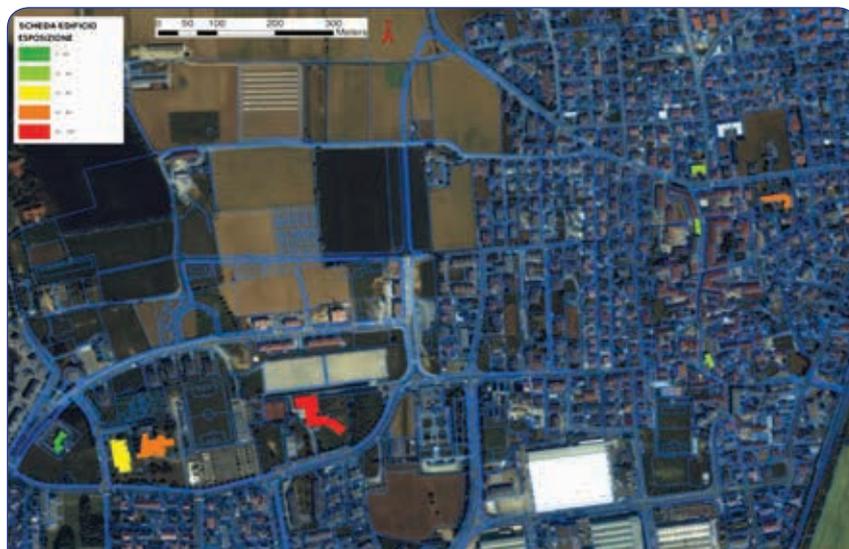


Fig. 8 – Tematizzazione dell'Esposizione

per operatori e professionisti di tutto il mondo, che potranno integrare le proprie cartografie e informazioni geo-spaziali con quelle, condivise e gratuite, aggiornate da Esri in tempo reale.

Ringraziamenti

A Giorgio Ubbiali per il contributo fornito nello sviluppo dell'applicazione GIS, che ha costituito parte essenziale della sua tesi di laurea specialistica in Ingegneria Edile.

Parole chiave

RISCHIO INTEGRATO; RISCHIO SISMICO; GIS; ARCGIS

Abstract

THE ITALIAN LAND HAS A GREAT AMOUNT OF BOTH ANCIENT OUTSTANDING BUILDINGS AND MODERN ONES. NOWADAYS, RISK EVALUATION AND ANALYSIS ARE EXTREMELY USEFUL TO PREVENT THE DANGEROUS NATURAL CALAMITIES, WHICH HAVE ALWAYS BEEN HAPPENING IN ITALY, INVOLVING BOTH HUMAN LIVES AND STRUCTURES MAINTENANCE. THIS IS A VERY COMPLEX PROBLEM WHICH REQUIRES A WIDE KNOWLEDGE CONCERNING STRUCTURAL, MATERIAL AND TERRITORIAL INFORMATION: A GIS SYSTEM COULD BE THE EFFECTIVE INSTRUMENT ABLE TO AUTOMATIZE ANALYSIS PROCESSES, TO PROVIDE THEMATIC OUTPUTS AND TO HELP THE USERS IN OPERATIONAL CHOICES AND ONLINE ANALYSES. THE PAPER DEALS WITH A GIS APPLICATION IN THE LITTLE TOWN OF VERDELLINO, CLOSE TO BERGAMO, WHICH HAS BEEN DEVELOPED CARRYING OUT A DETAILED GEO-DATABASE FOR SEISMIC BUILDINGS CLASSIFICATION. THE EXPERIENCE HAS PROVED THE MEANINGFUL ROLE OF INFORMATICS INSTRUMENTS IN VISUALIZATION, RISK CLASSIFICATION AND IN PRE/POST EVENTS MANAGEMENT FOR A MORE GENERAL SAFEGUARD.

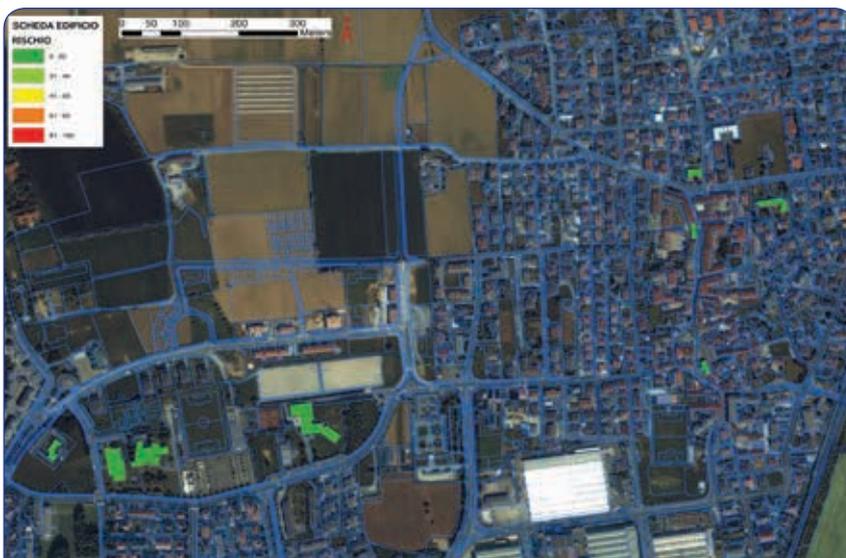


Fig. 9 – Classificazione dei valori di Rischio

Riferimenti web

HTTP://WWW.PROTEZIONECIVILE.REGIONE.LOMBARDIA.IT - SITO WEB PROTEZIONE CIVILE LOMBARDIA.
 HTTP://WWW.CARTOGRAFIA.REGIONE.LOMBARDIA.IT/GEOPORTALE, GEO-PORTALE DELLA REGIONE LOMBARDIA.
 HTTP://WWW.ESRITALIA.IT/
 HTTP://WWW.PROTEZIONECIVILE.GOV.IT

Autori

LUIGI COLOMBO
 LUIGI.COLOMBO@UNIBG.IT
 BARBARA MARANA
 BARBARA.MARANA@UNIBG.IT
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
 UNIVERSITÀ DI BERGAMO

Bibliografia

- AA. VV. (1993), Rilevamento dell'esposizione e vulnerabilità sismica degli edifici. Istruzioni per la compilazione della scheda di I livello, Appendice n. 1 alla pubblicazione Rischio sismico di edifici pubblici. Parte I – Aspetti Metodologici, CNR – GNDT, 1993.
- AA. VV. (1993), Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura. Istruzione per la compilazione della scheda di II livello, Appendice n. 2 alla pubblicazione Rischio sismico di edifici pubblici. Parte I – Aspetti Metodologici, CNR – GNDT, 1993.
- AA.VV. (2003), Individuazione delle zone sismiche, formazione dell'elenco dei comuni sismici della regione Lombardia ed analisi di fattibilità di un'indagine sulla vulnerabilità degli edifici strategici del territorio lombardo (Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Strutturale); parte seconda: analisi di fattibilità di un'indagine sulla vulnerabilità degli edifici strategici del territorio lombardo; allegato 1: scheda di I livello.
- Angeletti P., Petri V. (1993), Valutazione della vulnerabilità: edifici in muratura, Rischio sismico di edifici pubblici. Parte I – Aspetti Metodologici, CNR – GNDT, 1993.
- Dainelli N., Bonechi F., Spagnolo M., Canessa A. (2008), Cartografia numerica, manuale per l'utilizzo dei GIS, Dario Flaccovio editore, 2008.
- Graci G., Pileri P., Sedazzari M. (2008), GIS e ambiente, guida all'uso di ArcGIS per l'analisi del territorio e la valutazione ambientale, Dario Flaccovio editore, 2008.
- PRIM 2007-2010, Programma Regionale Integrato di Mitigazione dei Rischi Studi preparatori. Il rischio integrato in Lombardia: misurazioni di livello regionale e individuazione delle zone a maggiore criticità, luglio 2007.
- Rilevamento della vulnerabilità sismica degli edifici, istruzioni per la compilazione della scheda di II livello – Cemento armato. Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria strutturale, ottobre 2003.

TEOREMA srl
SOLUZIONI TOPOGRAFICHE INNOVATIVE

The advertisement features several Leica instruments against a background of a surveying grid. On the left is the **Leica Multistation MS50**. In the center is the **Leica GS08 Plus** GNSS receiver, with the text 'GNSS future proof' below it. To its right is the **Leica Viva** handheld device. Further right is the **Leica Disto D510 per iPhone e iPad**. Next is the **Leica 3D Disto** laser distance measurer. On the far right is the **Leica P20** total station. The Leica logo and 'Geosystems' are at the bottom left, and the slogan '- when it has to be right' is also present.

www.disto.it • www.geomatica.it



Via A. Romilli, 20/8 20139 Milano • Tel. 02 5398739 - Fax 02 57301988
 teorema@geomatica.it

