

# I risultati del progetto H2020 STORM nella valutazione dei danni subiti dai beni culturali a seguito di eventi sismici

Ing. Stefano Marsella  
Ministero dell'Interno  
Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco  
[stefano.marsella@vigilfuoco.it](mailto:stefano.marsella@vigilfuoco.it)

Ing. Davide Pozzi  
Ministero dell'Interno  
Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco  
[davide.pozzi@vigilfuoco.it](mailto:davide.pozzi@vigilfuoco.it)

Ing. Luigi Palestini  
Ministero dell'Interno  
Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco  
[luigi.palestini@vigilfuoco.it](mailto:luigi.palestini@vigilfuoco.it)

Ing. Marcello Marzoli  
Ministero dell'Interno  
Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco  
[marcello.marzoli@vigilfuoco.it](mailto:marcello.marzoli@vigilfuoco.it)

**Abstract**—Il Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco nelle attività di soccorso tecnico urgente e nelle calamità provvede alla verifica in emergenza della sicurezza statica degli edifici. Tale attività riguarda anche i beni culturali ed è stata oggetto di un progetto di ricerca e sviluppo finanziato dalla Commissione Europea nel programma Orizzonte 2020. Tale progetto (STORM) ha consentito di verificare, con esito positivo, la possibilità di usare tecnologie lidar a supporto delle valutazioni di sicurezza in condizioni di emergenza.

**Keywords:** CNVVF, Emergenza, patrimonio culturale, edifici storici, laser scanner, lidar, terremoto, opere provvisorie

## I. PREMESSA

Il Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco (CNVVF) rappresenta, nel settore degli interventi in emergenza sugli edifici storici, un'eccellenza a livello internazionale. Anche in virtù della ricchezza e della densità di beni culturali presenti sul territorio nazionale, il Corpo è l'unico organo di soccorso tecnico che abbia maturato esperienze decennali sul campo ed abbia sviluppato tecniche di intervento e schemi organizzativi appropriati alle necessità.

I terremoti che hanno colpito l'Italia tra il 2009 ed il 2017 hanno mostrato la capacità del CNVVF di operare in modo coordinato anche su larga scala nella messa in sicurezza degli edifici danneggiati, garantendo la presenza di personale specializzato e la catena degli approvvigionamenti necessaria per realizzare le opere di messa in sicurezza.

Con riferimento all'esigenza di valutare in emergenza la stabilità degli edifici danneggiati da eventi sismici, il progetto di ricerca H2020 STORM, terminato a giugno 2019, ha offerto la possibilità di migliorare l'affidabilità e la precisione delle valutazioni attraverso l'uso di strumenti laser scanner disponibili sul mercato, il cui uso è integrabile nelle procedure adottate dal CNVVF nelle verifiche di stabilità degli edifici in situazioni di emergenza.

## II. IL CNVVF E LE TECNICHE DI INTERVENTO NELLA MESSA IN SICUREZZA DEGLI EDIFICI STORICI

### A. Evoluzione degli interventi sui beni culturali nelle calamità

L'attività che il Corpo ha svolto sui beni culturali nasce negli anni della II Guerra mondiale quando fu chiamato ad operare negli eventi bellici per salvare le vittime dei bombardamenti ma anche per mettere in sicurezza gli edifici storici ed il loro contenuto. Da quel momento, tale impegno è stato sempre onorato anche all'estero ed ha vissuto una rapida evoluzione organizzativa e nell'uso di tecniche innovative negli ultimi 20 anni, anche a seguito dei diversi progetti di ricerca o di standardizzazione di protezione civile che negli anni sono stati finanziati dalla Commissione Europea (DrHouse, Matilda, STORM, Promedhe, Proculther). A tali iniziative si è aggiunta, più di recente, il protocollo sottoscritto con l'ICCROM (*International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property*) che ha dato luogo alla collaborazione nell'organizzazione del corso *First Aid to Cultural Heritage in Times of Crisis 2019* [1].

Nel corso degli anni è aumentata la sensibilità verso il tema della protezione del patrimonio culturale e, di conseguenza, il quadro normativo è divenuto più complesso. L'attuale quadro normativo in materia di calamità prevede che il Corpo operi in soccorso dei beni vincolati, deve rispettare quanto indicato dall'Amministrazione dei beni culturali nell'ambito della gestione generale affidata al Dipartimento nazionale della protezione civile. Proprio il coordinamento operativo con le funzioni di tutela del patrimonio culturale, esercitate dal Ministero per i beni e le attività culturali [2] e di organizzazione e gestione della protezione civile, affidate alle regioni ed al Dipartimento nazionale della Protezione Civile [3] ha costituito una delle questioni più complesse da risolvere per garantire l'operatività del Corpo durante le emergenze. Il problema di definire le responsabilità nei contesti

in cui non è garantita la sicurezza degli operatori - gli scenari comunemente definiti come "zone rosse" - ha reso necessario un lungo percorso, al termine del quale sono stati chiariti limiti e competenze dei soggetti coinvolti.

Il nodo può essere riassunto nella difficoltà di conciliare la responsabilità esclusiva degli operatori del MIbaCT, in materia di tutela del patrimonio culturale con quella attribuita ai Vigili del Fuoco dal Codice di Protezione Civile [4] relativa alla competenza, anche questa esclusiva, in materia di operazioni nelle zone rosse, comprese quelle in cui sono presenti edifici di carattere storico e culturale. Questa contraddizione divenne evidente in modo drammatico il 27 ottobre 1997 quando, nella Basilica superiore di Assisi, un crollo indotto da una scossa sismica uccise due tecnici della Sovrintendenza alle Belle Arti e due frati della Basilica che stavano svolgendo un sopralluogo per valutare i danni dovuti alle scosse della notte precedente [5]. Le vicende giudiziarie che seguirono questo evento chiarirono che i Vigili del fuoco sono responsabili della sicurezza delle persone che accedono negli edifici a rischio, compresi quelli di interesse culturale. Ciò rese necessario definire quali aree sono ad accesso limitato (le cosiddette "zone rosse") che, però, impediscono l'attività di chiunque non sia del Corpo nazionale, compresi i tecnici dei Beni Culturali, che sono gli unici soggetti che possono operare sui beni di valore storico o artistico. In sostanza, con l'evento del 1997 emerse il conflitto tra le norme sulla gestione del soccorso e quelle sulla tutela dei Beni Culturali.

Le emergenze degli anni recenti hanno consentito di individuare gradualmente una soluzione a questa criticità. In particolare, a partire dal sisma del 2009, l'individuazione puntuale dei limiti di attività dei Vigili del Fuoco ed il coordinamento delle loro attività con le Soprintendenze competenti e il Dipartimento di Protezione Civile ha permesso a tutte le parti di operare negli ambiti di propria competenza. In tale occasione, inoltre, il Corpo nazionale ha introdotto l'uso delle tecnologie dell'informazione per migliorare lo scambio dei dati con le Soprintendenze [6]. Un'ulteriore evoluzione è stata registrata con l'integrazione nel quadro istituzionale della figura del Soggetto attuatore. Tale figura è responsabile per la messa in sicurezza degli edifici al fine di garantire l'incolumità pubblica, la mitigazione del rischio e il ripristino dei servizi essenziali nei comuni colpiti dal terremoto [7].

Le competenze del CNVVF, con il nuovo Codice della protezione civile [3], riguardano gli interventi sugli edifici che costituiscono il patrimonio culturale nazionale. L'art. 10 prevede, a questo riguardo, che in occasione degli eventi calamitosi il Corpo "assicura, sino al loro compimento, le seguenti funzioni:

- gli interventi di soccorso tecnico indifferibili e urgenti;
- gli interventi di ricerca e salvataggio delle persone, degli animali e dei beni;
- la direzione e responsabilità nell'immediatezza degli eventi, attraverso il coordinamento tecnico-operativo e il raccordo con le altre componenti e strutture coinvolte."

Il quadro generale che permette il coordinamento che mancava è però indicato nell'articolo 2, che attribuisce i poteri di ordinanza al Presidente del Consiglio dei Ministri, "per il tramite del Capo del Dipartimento della protezione civile" e che possono spettare, con successivi

atti, anche all'eventuale commissario delegato, con specifica funzione di coordinatore dell'attuazione delle ordinanze, con attenzione all'azione dei "Soggetti Attuatori" degli interventi previsti.

Nei fatti, le attività della nuova figura incaricata della messa in sicurezza degli edifici, espressa dai Vigili del Fuoco, hanno riguardato anche gli interventi sul patrimonio culturale. In tale quadro, collaborando con il Soggetto attuatore per i Beni Culturali, tale figura ha collaborato alla progettazione e alla programmazione degli interventi sui beni culturali immobili e del recupero dei beni culturali mobili come pure alle attività di intervento e recupero.

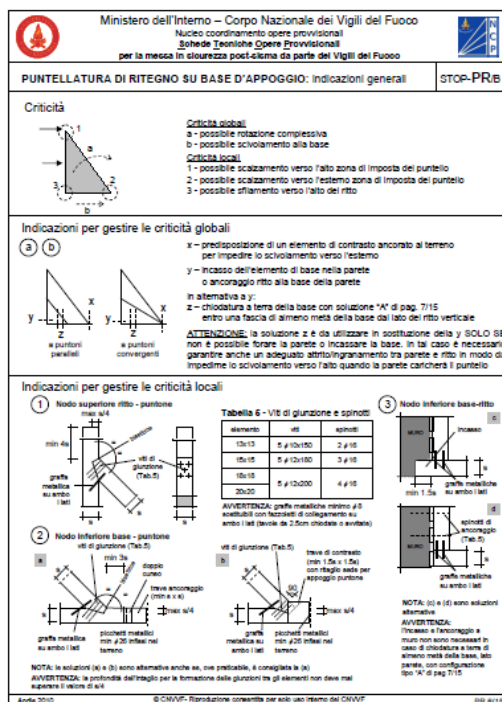


Fig. 1 - Esempio di scheda tecnica di opera provvisoria del manuale STOP.

## B. Il manuale STOP

A seguito dell'evento sismico del 2009 che ha colpito l'Italia centrale, è emersa la necessità di disporre di uno strumento di standardizzazione per la progettazione e realizzazione delle opere provvisorie. Sulla base di questa necessità il CNVVF ha sviluppato procedure di pronto intervento che fanno riferimento alla realizzazione di opere di supporto e di puntellamento realizzabili sul posto, partendo da schede di progetto uniformate, denominate STOP - Schede Tecniche di Opere Provvisorie (Fig. 1).

Le schede, realizzate dal CNVVF insieme all'Università di Udine, hanno consentito nel corso del terremoto del 2009, del 2012 e di quello 2016 di realizzare diverse centinaia di operazioni di messa in sicurezza attraverso una sequenza di operazioni e un flusso di lavoro standardizzato; l'utilizzo delle schede STOP si è accompagnato, più in generale, all'adozione di una metodologia di approccio ingegnerizzata - rilievo, progettazione, organizzazione logistico-operativa dell'intervento, esecuzione, documentazione e rendicontazione - che ha consentito realizzazioni di livelli di complessità crescenti su strutture di grandi dimensioni che sarebbe stato impen-

sabile anche pochi anni prima [8] (si ricordano, ad esempio, la Chiesa delle Anime Sante AQ-2009. La Chiesa di Santa Giusta AQ-2009, la Chiesa di San Silvestro AQ-2009, la Chiesa di Santa Maria Paganica AQ-2009, la Basilica di San Benedetto PG-2016 e la Torre di Accumoli RI-2016). L'utilizzo di queste schede, come sarà discusso nel seguito del documento, risulterebbe facilitato nell'ipotesi di progettare le strutture basandosi su rilievi di precisione acquisiti a distanza, limitando in questo modo l'esposizione al rischio del personale incaricato di eseguire i rilievi. Il lavoro, inoltre, sarebbe più facilmente cantierabile in quanto scevro da incertezze nella scelta delle soluzioni strutturali e dei materiali da costruzione.

### C. La formazione

La formazione del personale dei Vigili del Fuoco ha accompagnato l'evoluzione delle esigenze operative anche nel settore specifico dei corsi rivolti al personale operativo impegnato negli scenari di messa in sicurezza degli edifici. A tale riguardo, nei corsi di ingresso al Corpo è previsto un modulo di una settimana che fornisce le competenze necessarie alla realizzazione delle opere provvisorie previste dal manuale STOP.

Il modulo di formazione si compone di 36 ore di formazione suddivise tra parte teorica e parte pratica, nella quale sono applicate le tecniche di realizzazione delle strutture di puntellamento dalla loro progettazione alla realizzazione dei singoli elementi (Fig.2).



Fig. 2 - Modulo formativo del CNVVF relativo alla realizzazione delle opere provvisorie - Direzione Centrale per la Formazione - Scuole Centrali Antincendio.

## III. IL PROGETTO STORM: LA SPERIMENTAZIONE DELL'USO DEL LASER SCANNER A SUPPORTO DELLE VALUTAZIONI DI EMERGENZA

### A. Il progetto STORM

Partendo da precedenti esperienze di ricerca, la Commissione Europea ha finanziato nel 2016 all'interno del programma Horizon 2020 (Grant Agreement nr. 700191) il progetto STORM (*Safeguarding Cultural Heritage through Technical and Organisational Resources Management*) [9] per sviluppare modelli e metodi, per una previsione efficace dei rischi legati al cambiamento climatico, per rivelare le minacce e le condizioni che potrebbero danneggiare il patrimonio culturale e per gestire le fasi dell'emergenza.

Il progetto, attivo tra il maggio 2016 ed il giugno 2019, ha dimostrato l'utilità dell'impiego di sistemi integrati di sensori (acustici, fluorescenti e wireless), piattaforme di diversa natura (compresi LiDAR e UAV) e tecniche di *crowdsourcing* basate su cloud aperto. Tali sistemi includono una piattaforma per la raccolta collaborativa dei dati per migliorare la conoscenza, i processi e le metodologie sostenibili ed efficaci sulla salvaguardia e la gestione del patrimonio culturale europeo. Il sistema ha mostrato l'effettiva capacità di supportare la valutazione del rischio tenendo conto dei pericoli naturali e dei rischi ambientali e antropogenici attraverso casi di studio in cinque diversi paesi (Italia, Grecia, Regno Unito, Portogallo e Turchia) presso i quali sono stati individuati siti in grado di rappresentare adeguatamente il ricco patrimonio culturale europeo.

Il CNVVF, in qualità di partner e utente finale, ha collaborato soprattutto con la Sovrintendenza speciale al Colosseo del MiBACT per verificare l'utilizzabilità di sistemi laser scanner a supporto delle verifiche di emergenza dei beni culturali danneggiati da eventi sismici. L'esercitazione finale di questo indirizzo di ricerca è stata svolta con successo a Roma, presso il Museo delle Terme di Diocleziano il 13 maggio 2019 (Fig. 3).



Fig. 3 - Progetto STORM. Esercitazione finale del 13 maggio 2019 presso il sito pilota del Museo delle terme di Diocleziano sull'uso del laser scanner per il rilievo in emergenza e l'uso di una piattaforma integrata per la progettazione delle opere provvisorie (immagine: CNVVF).

### B. L'innovazione tecnologica a servizio delle valutazioni di stabilità in emergenza

In caso di evento sismico, è necessario effettuare nei tempi più rapidi possibili le valutazioni necessarie a stimare se il danno subito da un edificio sia compatibile con il suo uso o se il bene debba essere interdetto, in attesa di lavori di ripristino della sicurezza statica.

La verifica post sisma degli edifici è una delle operazioni più impegnative dal punto di vista ingegneristico e organizzativo. Accanto alla difficoltà tecnica, tali valutazioni possono riguardare diverse migliaia di edifici (di cui una parte significativa di interesse storico e artistico) che, in caso di repliche di intensità elevata, dovranno essere in gran parte nuovamente sottoposti a verifica.

Il CNVVF in questo contesto opera fin dalle prime ore delle calamità, sia per esigenze di soccorso alle persone (per valutare la sicurezza delle operazioni e il grado di pericolosità delle vie di comunicazione minacciate da edifici pericolanti ai fini della logistica di soccorso), sia per effettuare interventi urgenti di messa in sicurezza di edifici e strutture di interesse storico e artistico.

Di fronte a questo problema, in Italia come nel resto del mondo, si utilizza fundamentalmente la capacità dei singoli operatori che, sulla base di un esame visivo, devono esprimere un proprio giudizio sulla condizione di sicurezza statica degli edifici. Nonostante le capacità e l'esperienza del personale tecnico dei Vigili del fuoco, che compie valutazioni di questo tipo quasi quotidianamente, è evidente che questo approccio è soggetto a discrepanze. Gli esiti delle valutazioni, infatti, dipendono essenzialmente dalla capacità di analizzare i quadri fessurativi ma anche da quella di stabilire le condizioni di comportamento statico e dinamico di strutture più o meno complesse, che possono anche aver subito alterazioni significative per effetto del danneggiamento. Per rispondere a queste esigenze, il Corpo si è dotato negli anni di procedure operative specifiche ed ha condotto una intensa attività formativa in materia di costruzioni e dissesti statici, rivolta al proprio personale tecnico.

La continua ricerca per migliorare l'efficienza di queste operazioni, ha riguardato soprattutto uno dei punti più critici delle procedure, quello di poter stimare solo visivamente i danni degli edifici. I risultati hanno portato a valutare la fattibilità dell'impiego dei sistemi di telerilevamento con tecnologie laser scanner (LIDAR - *Laser Imaging Detection And Ranging*), che utilizzano un emettitore laser per individuare un bersaglio e determinarne la distanza per mezzo del confronto con le caratteristiche della luce riflessa. L'evoluzione degli applicativi di gestione delle immagini tridimensionali derivanti dalle scansioni Lidar e la progressiva riduzione dei costi degli apparati, insieme alla semplificazione del loro uso, permettono, infatti, di ipotizzare l'introduzione di questa tecnologia nelle procedure operative di soccorso e messa in sicurezza.

A questo fine il CNVVF ha potuto sviluppare e provare le ipotesi operative nel contesto del progetto comunitario STORM. L'ipotesi di partenza prevede che i Vigili del fuoco, chiamati a valutare la sicurezza statica di un edificio, utilizzino un laser scanner per il cui utilizzo siano stati formati, effettuando in pochi minuti una scansione da confrontare con una immagine tridimensionale acquisita in precedenza. Tale immagine, disponibile attraverso un servizio in *cloud*, permette il confronto tra le situazioni pre e post danno e l'individuazione e misura delle variazioni geometriche che un dato evento - per esempio una scossa sismica - ha determinato nella struttura. Il confronto, tra l'altro, può riguardare anche gli elementi non strutturali di particolare pregio storico e artistico.

Gli scenari considerati in STORM possono applicarsi non soltanto alle tecniche di intervento specifiche per i beni architettonici di pregio, ma anche, in una prospettiva di più generale, ai fini del miglioramento e l'evoluzione delle procedure di gestione degli interventi per seguito di crisi statica (fino al crollo) di edifici. Infatti il rilievo 3D può essere applicabile per:

- supporto alle squadre USAR (*Urban Search and Rescue*), per il monitoraggio continuo dell'assetto geometrico degli edifici nel corso degli interventi di ricerca e soccorso;
- esecuzione di rilievi accurati degli edifici danneggiati, da eseguire con grande rapidità, in modo tale da ridurre l'esposizione al rischio degli operatori;
- progettazioni di dettaglio delle opere provvisorie, adeguate ai meccanismi di danno, facilmente cantebrabili e scevre da incertezze nella scelta delle soluzioni strutturali e dei materiali da costruzione;

- monitoraggio dell'evoluzione temporale della configurazione geometrica degli edifici e del relativo stato di danneggiamento, nel corso delle crisi sismiche, a seguito di after-shock di intensità simile alla scossa principale o a seguito di fenomeni di migrazione della zona epicentrale;
- monitoraggio del comportamento deformativo nel medio-lungo termine, delle opere provvisorie stesse, nel caso di grandi realizzazioni, e di valutazione dell'interazione edificio-opera provvisoria (da eseguire con il concorso delle Amministrazioni locali sfruttando i principi di interoperabilità e condivisione dati di cui si parlerà più diffusamente nel seguito).

Si deve aggiungere che, anche nell'ambito del progetto citato, per completare le valutazioni spedite sono state sperimentate anche le tecniche di fotogrammetria terrestre. Tali tecniche, però, al momento delle sperimentazioni non sono sembrate idonee agli scopi operativi rispetto alle esigenze di accuratezza richieste, di tracciamento della qualità del dato e di semplicità di acquisizione, lavorazione e fruizione delle immagini tridimensionali acquisite.

#### IV. I METODI DI RILIEVO NON INVASIVI

In termini generali, l'intervento di soccorso in emergenza è favorito dalla conoscenza del territorio o del contesto in cui esso avviene. In caso di calamità che investono aree estese, questa conoscenza è essenziale per organizzare e coordinare l'afflusso dei soccorritori. La disponibilità di dati aggiornati è quindi fondamentale per aiutare il personale coinvolto nelle fasi di riduzione e di gestione dei rischi connessi all'evento. Anche a livello di singolo edificio, un quadro aggiornato e completo della sua conformazione geometrica e dello stato di conservazione, basato sulla documentazione dello stato precedente e possibilmente successivo al disastro, appare essere uno dei primi elementi di cui il soccorso tecnico ha bisogno.

Nel caso dei beni culturali, che costituiscono una parte particolarmente qualificante delle valutazioni in emergenza, disporre di informazioni sullo stato dei manufatti prima dell'evento è di grande importanza, sia per rispondere in modo appropriato, ed evitare che ulteriori danni derivino dall'intervento, che per facilitare la pianificazione e l'avvio delle operazioni di recupero.

In una prospettiva futura, quindi, la rappresentazione digitale degli edifici può essere considerata il presupposto per una maggiore qualità di questo tipo di interventi di emergenza, in termini di sicurezza per gli operatori, rapidità e adeguatezza delle azioni di recupero dei beni mobili e riduzione delle criticità strutturali degli edifici.

Al momento, le tecnologie disponibili offrono diversi strumenti da considerare nelle procedure operative. Ad esempio, i metodi più comuni per il monitoraggio e la valutazione dei danni agli edifici storici si basano sull'uso di sistemi satellitari, della fotogrammetria, delle tecniche di scansione laser (terrestre e in movimento), nonché dell'*imaging* termico a infrarossi. Un'ulteriore tecnologia esistente è quella del rilevamento acustico (paesaggio sonoro), rappresentata da un metodo economico che sfrutta la rete di sensori audio wireless.

Tra gli strumenti citati, gli scenari di intervento sviluppati nel progetto STORM hanno verificato l'uso nelle operazioni di soccorso del laser scanner terrestre (TLS, *Terrestrial Laser Scanner*), considerato un sensore di



misurazione attivo (invia un raggio laser, registra il suo ritorno e calcola la distanza tra il sensore e l'oggetto scansionato), in contrapposizione alla termografia all'infrarosso e alla fotografia digitale (e quindi alla fotogrammetria che su questa si basa) che registrano passivamente la lunghezza d'onda della luce, rispettivamente intorno a 8-15  $\mu\text{m}$  e 0,4-0,75  $\mu\text{m}$ .

#### A. Metodologia di uso del laser scanner

Gli strumenti impiegati nell'ambito del progetto europeo STORM sono TLS compatti, di ridotte dimensioni e sufficientemente solidi per un uso di tipo campale, ma in grado di effettuare misurazioni accurate. Integrano un laser a impulsi, il cui raggio invisibile viene diretto sull'ambiente circostante mediante uno specchio rotante, per misurare le distanze ed un sistema motorizzato costituito da tre fotocamere digitali calibrate, per costruire immagini panoramiche sferiche a 360°, coordinate con le distanze misurate.

Tra le esigenze del CNVVF è stata considerata anche la semplicità d'uso, la versatilità e la velocità di acquisizione e restituzione della nuvola 3D. Già durante la fase di rilievo, infatti, i dati devono poter essere caricati su di un tablet, che ne permette la visualizzazione e, con il proprio software è in grado, a partire da un minimo di tre punti non allineati, di unire i risultati di scansioni successive in un unico progetto, visibile come immagine panoramica sferica a 360°.

#### B. Elaborazione dei dati

In una sessione di scansione laser possono essere riconosciute diverse fasi successive, la prima delle quali è la pianificazione accurata delle stazioni. Tale pianificazione dovrebbe tenere conto anche della risoluzione richiesta per l'output o del livello necessario di dettagli per il prodotto finale. In effetti, la maggior parte degli scanner ha alcune configurazioni predefinite che aiutano gli operatori a scegliere il miglior compromesso tra risoluzione, precisione e tempo necessario per il completamento del rilievo (di solito, minuti o poche ore, in base alla velocità del sensore e la complessità ed estensione del manufatto).

Alcuni scanner hanno anche la capacità di riconoscere automaticamente marcatori (target in bianco e nero con motivi specifici), oggetti (prismi e sfere calibrate) o forme (superfici piane, angoli di edifici, bordi di elementi). Tali dati sono di fondamentale importanza quando si deve poi procedere a fondere i rilievi di diverse stazioni. Infatti, una volta raccolte le nuvole di punti provenienti da più postazioni, la fase più delicata nell'elaborazione consiste nell'allineamento e nella fusione dei set di dati. Questa operazione può essere svolta identificando manualmente punti o caratteristiche omologhi in più scansioni, ovvero mediante riconoscimento automatico cloud-to-cloud, il che significa che un sottoinsieme del cloud completo di ogni stazione viene automaticamente confrontato con sottoinsiemi dei cloud delle altre stazioni in sequenza. Quando l'algoritmo trova che un determinato numero di punti da due nuvole condivide le stesse informazioni interne (come distanza e angoli), il software propone di allineare le due nuvole nello spazio in modo coerente.

Informazioni complementari per facilitare l'allineamento possono essere derivate dai sensori interni dello scanner, come barometro, bussola o GPS, quando disponibili. Una volta unite tutte le nuvole di punti delle sessioni di

scansione laser, il gruppo di dati risultante può essere esportato in file di formato aperto in cui sono memorizzati i valori x, y, z più RGB (come il formato E57) oppure essere convertito per scopi specifici. Inoltre, i dati grezzi possono essere utilizzati per disegni, modelli CAD, modelli di superfici 3D o animazioni video.

Le operazioni descritte sono rese possibili da applicativi dedicati e, tra le diverse possibili elaborazioni dei dati di un progetto, oltre a correzioni e allineamenti, vi è la possibilità di estrapolare immagini, dati e misure. Ulteriori software, permettono di condividere i dati dei progetti in un ambiente *cloud*, rendendoli accessibili a più utenti, che possono elaborarli a distanza, tenendo traccia di ogni operazione in immagini tridimensionali "navigabili" e visibile da ogni angolazione.

Infine, la possibilità di georeferenziare i punti in cui viene posizionato lo strumento consente un preciso riferimento su mappe di tutti i rilievi effettuati. Tale aspetto è importante, sia per successive elaborazioni, sia per la presentazione dei dati rilevati, uniti ad altre informazioni (come ad esempio già avviene nel CNVVF per la Topografia Applicata al Soccorso).

#### C. Fotogrammetria

La fotografia è uno dei mezzi più importanti per la registrazione e la documentazione del patrimonio culturale, per la conservazione o la sua ricostruzione. In questo ambito, la fotogrammetria svolge un ruolo importante, consentendo l'estrazione di informazioni metriche da una o da serie di fotografie di oggetti, quando alcuni requisiti sono soddisfatti.

Le singole immagini dalle telecamere, dotate di distorsione dell'obiettivo minima o nulla, possono normalmente essere elaborate per ottenere metriche bidimensionali, come la larghezza di una strada, l'altezza di un edificio o le dimensioni dei mattoni di un muro.

In generale, è possibile ottenere una maggiore precisione quando è possibile elaborare fotogrammetricamente più immagini della stessa telecamera da angolazioni diverse.

In tutti i casi, la disponibilità di punti di controllo al suolo misurati o metriche note è essenziale. Queste misurazioni possono essere in un sistema di coordinate locale (con assi cartesiani e unità di misura arbitrariamente orientati) o valori assoluti (cioè coordinate geografiche proiettate).

Le immagini di un edificio, da catturare da diverse posizioni e angolazioni, vengono poi elaborate attraverso programmi per determinare la posizione esatta da cui sono state scattate le foto e interpolare le forme 3D degli oggetti raffigurati. Quando sono note le posizioni della fotocamera, un software specifico cerca i punti comuni in due o più foto per determinare dove esistono oggetti nello spazio 3D. Questo metodo è attualmente utilizzato per generare il modello di terreno 3D, nonché per mappare edifici e manufatti, a notevoli scale di dettaglio.

L'uso di sistemi aerei a pilotaggio remoto ha permesso, poi, di condividere rapidamente questa metodologia anche grazie alla riduzione dei costi rispetto alla fotogrammetria aerea tradizionale. L'uso in emergenza di questi sistemi, però, non risulta essere ancora stato oggetto di analisi sistematica come, invece, è avvenuto per il laser scanner terrestre nell'ambito del progetto STORM.

	LASER SCANNER	FOTOGRAMMETRIA
<b>COSTO</b>	Prezzo relativamente elevato, spesso proporzionale alla precisione delle apparecchiature e alle capacità del software Costi elevati anche per manutenzione e calibrazione	Significativamente economico, in particolare con il recente sviluppo e le prestazioni di fotocamere e soluzioni informatiche / software
<b>ERRORE</b>	Risolto (correlato alle capacità dell'apparecchiatura) TLS è anche meno soggetto all'errore umano, dato l'alto tasso di automazione della maggior parte dei sistemi moderni Problemi con superfici riflettenti o trasparenti Alta precisione-Alta precisione	Non coerente su ampi spazi Più sensibile all'input e all'esperienza umana durante l'elaborazione Problemi nel trattare superfici riflettenti o trasparenti Precisione medio / alta - Bassa precisione
<b>TEMPO</b>	Ogni scansione è già ridimensionata e orientata, quindi il tempo di elaborazione è spesso limitato al download dei dati (per sondaggi non complessi)	Meno tempo sul campo ma tempo di elaborazione normalmente maggiore per allineamento, ridimensionamento e orientamento
<b>TRACCIABILITÀ / VALORE LEGALE DEL RILIEVO</b>	Ogni scansione è automaticamente certificata dallo strumento stesso, quindi gli errori per singola scansione sono certificati come inferiori a quelli strumentali. I software per la fusione delle nuvole di punti offrono spesso un report che certifica la stima dell'errore commesso nella operazione di fusione. Di conseguenza il rilievo 3D risulta di facile difendibilità in tribunale, anche in assenza degli operatori che hanno proceduto al rilievo e al suo successivo processamento.	La qualità e accuratezza del rilievo 3D risultante risente fortemente dell'esperienza e impegno dell'operatore che ha proceduto alla elaborazione dei dati. Di conseguenza, la difendibilità in tribunale del rilievo è completamente basata sulla perizia dell'operatore stesso.
<b>CONDIZIONI DI LUCE</b>	Può funzionare anche al buio (ma senza informazioni sul colore per le superfici scansionate)	Necessita di luce (meglio se diffusa) e non può operare al buio Immediatezza della trama di output come risultato della fusione regolare di immagini fisse. Più realismo fotografico visivo
<b>TRAMA</b>	Ancora difficile ottenere una trama uniforme sulle superfici	Immediatezza della trama di output come risultato della fusione regolare di immagini fisse. Più realismo fotografico visivo
<b>DATI PROPRIETARI</b>	n/d	Solo la fotogrammetria può operare su materiale storico (su questo, vedi Gruen et al. 2003) che fornisce la ricostruzione dello stato precedente (pre-disastro o fase precedente) di manufatti o paesaggi. I moderni pacchetti software possono anche operare facilmente con buoni risultati su fotografie non raccolte per la fotogrammetria (Agarwal et al. 2010).

**Tabella 1: confronto tra i metodi di scansione laser e fotogrammetria digitale. Tradotto da: [11].**

#### D. Confronto tra metodi

Le stazioni totali e i laser scanner, per la loro facilità di installazione e interrogazione in tempo reale o elaborazione e post-elaborazione, possono essere utilizzate in diversi tipi di ambienti sia interni che esterni, sono resistenti alla pioggia, al vento, sono utilizzabili in una gamma di temperature da -10 °C a 50 °C e soprattutto non risentono delle condizioni di luce. Esse consentono l'acquisizione e l'archiviazione dei dati o la loro post-elaborazione al fine di valutare eventuali cambiamenti strutturali in caso di monitoraggio negli edifici o di evidenziare possibili movimenti di frane. Inoltre, i dati raccolti possono essere elaborati in CAD, stampati e conditi.

Per quanto riguarda l'invasività del metodo, il sondaggio con la stazione totale e il laser scanner ha caratteristiche del tutto favorevoli, in quanto lo strumento è caratterizzato da modalità operative senza contatto. La misurazione dei punti topografici può essere eseguita con prismi, posizionati in corrispondenza dei punti bersaglio o attaccando obiettivi riflettenti sul manufatto. In caso di stazioni totali senza riflettore, i punti vengono misurati senza alcun contatto ed in questo caso le misure sono completamente non invasive.

Per quanto riguarda i costi, la tecnologia basata sulla stazione totale ha bisogno di pochi strumenti per il rilevamento delle strutture. Il costo più rilevante è quello

associato alla stazione totale stessa, con gli accessori di base. Il costo oscilla generalmente da 5.000 a 20.000 euro.

Le variazioni di costo dipendono dalla precisione angolare dello strumento, dalla gamma operativa del misuratore di distanza (EDM) e dalla presenza di funzionalità motorizzata. In caso di indagine sulle strutture del patrimonio culturale, vengono generalmente utilizzati campi operativi del misuratore di distanza da 5" e 250/300 m: uno strumento con queste caratteristiche può essere trovato a circa 8.000/10.000 euro. I sistemi laser scanner sono più complessi e costosi, fino a 50.000/70.000 euro, anche se recentemente sono stati immessi sul mercato strumenti di ottima qualità a 15.000 euro.

La fotogrammetria digitale, in particolare quando le fotografie sono raccolte con l'uso di dispositivi su supporto aereo, è particolarmente adatta per strutture alte (es. merlature, tetti o interi appezzamenti di terreno) ed è spesso preferita per la sua elevata scalabilità e facilità di raccolta dei dati. Le tendenze recenti, tuttavia, implicano la combinazione di fotogrammetria digitale e scansione laser per una documentazione completa, in particolare per architetture più complesse.

Un altro aspetto positivo della fotogrammetria è che, una volta acquisite le immagini, un software open source può essere utilizzato anche per generare nuvole di punti 3D e modelli di superfici *mesh*. L'uso della fotogrammetria e

della scansione laser ai fini di una sua adozione nelle procedure operative degli organi di soccorso obbliga a porsi le seguenti domande:

- esiste una sensibile differenza tra i due metodi di indagine in termini di costi e relativi risultati?
- l'output può essere utilizzato per rilevare i movimenti o il degrado d'insieme degli edifici e dei singoli elementi strutturali monitorati?
- è possibile rilevare l'impatto dei principali pericoli o minacce confrontando i modelli time-lapse?
- è possibile applicare questo approccio per la conservazione e l'analisi della valutazione del rischio?
- quanto è ripida la curva di apprendimento relativa all'uso di hardware e software?
- quanto sono sensibili alla manipolazione ed al trasporto le apparecchiature?
- i costi in questione sono accessibili entro un budget tipico per l'adozione di un progetto sul patrimonio?
- l'acquisizione dei dati e il tempo di elaborazione dei modelli sono appropriati per le diverse fasi operative della gestione della crisi?

A titolo esemplificativo, nel progetto STORM la fotogrammetria è stata proposta come metodo appropriato per il sito pilota di Troia (Portogallo), per registrare strutture romane situate in aree con condizioni difficili come pendii instabili di dune, ostacoli, alberi e cespugli e aree costiere sommerse durante l'alta marea. Però la scelta di usare un metodo piuttosto che un altro è dovuta soprattutto alla specifica superficie documentata. Ad esempio, per architetture basse con superfici non troppo ondulate e abbastanza rettilinee, la scansione laser è stata ritenuta la più appropriata. Poiché la scansione laser e la fotogrammetria digitale producono risultati abbastanza simili in termini di output finale, conviene illustrare le differenze più evidenti secondo lo schema indicato nella Tabella 1, tratto da [11].

La piattaforma prevista dal progetto STORM consiste in uno strumento che mette a disposizione dei gestori le informazioni necessarie per operare al meglio nelle fasi di preparazione, gestione e recupero dall'emergenza. In sostanza, quindi, è stata concepita come un serbatoio di informazioni di diversa natura, alcune delle quali di tipo statico (procedure, linee guida, riferimenti normativi ecc.) ed altre di tipo dinamico, in quanto soggette a cambiamenti nel tempo (condizioni meteorologiche, affollamento, stato di degrado di un dato elemento ecc.). In questo ambito, l'ipotesi sviluppata dal Corpo nell'ambito del progetto è stata quella di verificare l'effettiva praticabilità di uso del laser scanner nello specifico contesto operativo della valutazione in emergenza (nel caso specifico, a seguito di un'azione sismica) relativa alla stabilità di edifici storici.

Per raggiungere tale obiettivo, il Corpo ha definito le esigenze informative da porre alla base della realizzazione della piattaforma per il supporto della gestione in emergenza ed ha approfondito le conoscenze sugli strumenti disponibili sul mercato, svolgendo dei test negli scenari operativi del sisma del 24 agosto 2016 a Norcia.

In estrema sintesi, l'ipotesi sviluppata nel progetto prevedeva di aumentare la capacità operativa del Corpo nelle valutazioni di sicurezza attraverso l'uso di sistemi LIDAR e il supporto della piattaforma realizzata dal progetto per confrontare le scansioni acquisite in emergenza con quelle realizzate preventivamente dal gestore

degli edifici e rese disponibili sulla piattaforma attraverso un sistema *cloud* accessibile in emergenza (Fig. 4). Tale scenario è stato verificato con successo nel corso del test organizzato al Museo delle Terme di Diocleziano (sito pilota italiano nel progetto) il 13 maggio 2019.

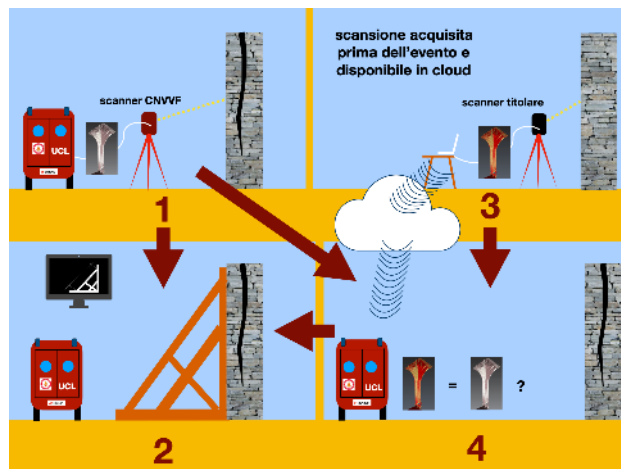


Fig. 4: Schema grafico riassuntivo dell'ipotesi operativa sviluppata nel progetto STORM relativa all'impiego del laser scanner per il supporto alla valutazione della stabilità degli edifici. L'ipotesi generale (1) prevede il CNVVF intervenga e utilizzi il rilievo effettuato sullo scenario per la valutazione del rischio e la progettazione della struttura provvisoria (2). Nell'ipotesi in cui sia disponibile in cloud una scansione dell'edificio acquisita in condizioni ordinarie (3), il CNVVF potrebbe confrontarla (4) con quella scansione acquisita sullo scenario (1) per una valutazione del rischio più precisa e per la progettazione della struttura provvisoria (2).

#### E. Gestione delle immagini 3D nel sistema di scambio dati in emergenza del CNVVF

Il CNVVF si è dotato negli anni di un sistema interno di scambio dei dati riguardanti la gestione delle operazioni di soccorso e di emergenza in generale che consente anche la piena interoperabilità con le altre strutture che operano nell'emergenza [9]. Tale funzionalità si basa sul protocollo CAP (*Common Alerting Protocol*), già adottato a livello comunitario dall'ERCC (*European Response Coordination Center*) [12] e dalle organizzazioni di protezione civile di diversi Paesi (ad esempio, USA, Cina) [13] [14].

Nel solco del principio di interoperabilità e di condivisione delle informazioni tra autorità competenti nella gestione delle emergenze, già attuato in precedenti progetti comunitari, nel progetto STORM il Corpo ha promosso una ulteriore ipotesi strategica che ha portato a svolgere la sperimentazione sull'uso del Laser Scanner basata sulla possibilità di dotare gli edifici da tutelare di scansioni 3D da rendere disponibili in cloud. Questo approccio, applicato in una emergenza su vasta scala, consentirebbe ai Vigili del Fuoco di confrontare le scansioni acquisite sul momento con quelle realizzate prima dell'evento incidentale, per valutare gli spostamenti differenziali subiti da punti significativi dalle strutture (spostamenti acquisiti dell'ordine di grandezza dei millimetri, o nelle peggiori condizioni, di centimetri). Tale ipotesi, già realizzabile in quanto le tecnologie sono validate e disponibili sul mercato a costi accessibili, presuppone un accordo tra le parti interessate per definire gli standard di acquisizione e scambio delle nuvole di punti 3D, ivi compresa la documentazione necessaria a determinare l'accuratezza delle immagini 3D.

In questo quadro, il CNVVF ha avviato la sperimentazione di utilizzo dei sistemi Laser Scanner nella valutazione rapida della stabilità degli edifici inserendo, fin dal primo momento, il flusso delle immagini 3D acquisite in emergenza all'interno di una piattaforma tecnologica pensata per consentire la condivisione delle informazioni e dei dati con le altre istituzioni coinvolte nelle valutazioni. La dimostrazione della effettiva capacità operativa di tale progetto è stata dimostrata nell'esercitazione svolta, nell'ambito del progetto STORM, al museo delle Terme di Diocleziano a Roma, sito pilota del progetto. In tale ambito, le scansioni sono state usate anche come base per progettare le opere provvisorie delle strutture di cui era stato simulato il danneggiamento post-sisma [15].

#### IV. DISCUSSIONE

L'evoluzione tecnologica e la crescente aspettativa sociale nei riguardi di interventi di soccorso sempre più attenti alla salvaguardia del patrimonio culturale rendono indispensabile analizzare le prospettive di evoluzione delle procedure di intervento, con le connesse esigenze di selezione degli strumenti da usare e di formazione. Stante la rilevanza degli aspetti culturali e tecnologici del settore da esplorare per aggiornare il servizio, appare evidente la necessità di coinvolgere soggetti esterni al Corpo nel processo di messa a punto delle nuove procedure di acquisizione e valutazione delle informazioni, e di conseguente intervento.

Così come avvenuto per l'elaborazione delle schede STOP, per le quali l'Amministrazione si è avvalsa del contributo del prof. Stefano Grimaz e del Laboratorio SPRINT dell'Università di Udine [16], si rende necessario procedere ad accordi con istituzioni universitarie per validare il processo di individuazione delle procedure, selezione delle tecnologie e formazione del personale. Una funzione analoga è assicurata dai progetti di ricerca e sviluppo finanziati dalla Commissione Europea, che però dal 2016 (anno di finanziamento del progetto STORM) non hanno più contemplato in modo esplicito attività finalizzate allo specifico argomento trattato in questo documento.

##### A. HBIM e interoperabilità dei dati a supporto delle valutazioni in emergenza

Nelle sezioni precedenti sono stati illustrati i presupposti tecnici che hanno guidato la sperimentazione del progetto STORM relativa all'impiego di laser scanner e stazioni totali per il rilievo in emergenza di edifici di carattere storico. L'uso previsto dal Corpo nazionale dei Vigili del fuoco potrebbe limitarsi ad attività svolte sul momento, nelle quali i dati acquisiti dallo strumento sono utilizzati sul posto per le finalità di valutazione speditiva della stabilità finalizzate al soccorso ed eventuale supporto alla progettazione e valutazione di efficacia delle strutture temporanee di sostegno.

In una visione di sistema, però, questa procedura operativa potrebbe apportare notevoli benefici all'intero processo di gestione della sicurezza, sia durante le ordinarie attività di soccorso, sia in condizioni emergenza post-sismica. Infatti, applicando quanto sviluppato nel progetto STORM e provato nell'esercitazione svolta a Roma il 13 maggio 2019, disporre di un sistema che permetta ai soccorritori (nel caso specifico i Vigili del Fuoco) di attingere ad una base dati accessibile in cloud, consenti-

rebbe loro di valutare il danneggiamento della struttura al netto delle lesioni o delle altre deformazioni presenti prima della crisi.

Il progetto STORM, a questo riguardo, ha curato la predisposizione della piattaforma informatica su cui depositare le scansioni dell'edificio (effettuate in condizioni ordinarie) ed alle quali il personale ha potuto accedere in quanto il sistema è stato progettato e realizzato in modo da essere interoperabile con gli applicativi in uso al CNVVF. L'interoperabilità dei sistemi, a sua volta, è stata consentita anche dall'impiego del protocollo CAP (*Common Alerting Protocol*) che il Dipartimento dei Vigili del Fuoco ha adottato dal 2008 per facilitare lo scambio dei dati in emergenza con tutti gli enti coinvolti nelle attività di soccorso tecnico urgente o di protezione civile. Per un approfondimento sul protocollo CAP e sulle sue possibilità si rimanda alla bibliografia tecnica disponibile sul tema [17], [18], [19] e [20].

Nella situazione descritta, in cui per migliorare la propria capacità di valutazione in emergenza il CNVVF può avvalersi di rilievi 3D (effettuati secondo determinati parametri) degli edifici storici che i titolari stanno già acquisendo per finalità diverse, un ulteriore miglioramento potrebbe essere generato dalla graduale adozione del modello informativo degli edifici (BIM, *building information modelling*) agli edifici storici (HBIM, *historical BIM*). Tale processo, obbligatorio ai sensi del decreto 01/12/2017 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti [21] per l'esecuzione di tutti gli interventi edilizi pubblici a partire dal 2025 (art. 6, lettera f), potrebbe essere utile anche nel rilievo in emergenza per i dati che esso contiene. Come dimostra l'ampia bibliografia disponibile, infatti, l'applicazione del BIM agli edifici storici è utile per documentare e tenere sotto controllo gli stati di degrado degli edifici per la pianificazione degli interventi di conservazione e consolidamento.

Partendo dalla previsione di un crescente ricorso alle scansioni 3D da parte dei gestori del patrimonio edilizio storico per le esigenze di conservazione e manutenzione, un'ipotesi di evoluzione che il progetto STORM ha messo in luce riguarda l'uso di tali scansioni per le operazioni di messa in sicurezza, per il recupero dei beni o per evitare di arrecare danni ad oggetti o strutture ritenute di particolare valore. Per consentire tale utilizzo sarebbe necessario che le scansioni fossero rese fruibili anche in condizioni di emergenza ai soccorritori. Nel progetto STORM tale condizione è stata simulata attraverso l'uso di dati in *cloud*, ma appare evidente che, prima della soluzione dei problemi di natura tecnologica si porrebbe il tema del consenso tra le parti interessate al progetto.

#### VI. CONCLUSIONI

La diffusione di strumenti di scansione Laser Scanner a costi contenuti offre la possibilità di rendere l'attività di rilievo in condizioni di emergenza più aderente alle esigenze di tutela degli operatori e di efficienza del processo di recupero di beni mobili di elevato valore storico artistico e di riduzione delle criticità strutturali degli edifici storici danneggiati da eventi improvvisi.

L'utilizzo di tecnologie innovative di rilievo potrebbe essere utilmente sfruttata per fare fronte alle situazioni di complessità verificatesi nel corso delle attività poste in essere dal CNVVF per il superamento delle emergenze sismiche, durante le quali si assiste sempre più spesso a fenomeni (*after shock* di intensità simile alla scossa



principale e migrazione degli epicentri) ed implementare le attuali procedure operative per conseguire un monitoraggio temporale della configurazione geometrica degli edifici e del relativo stato di danneggiamento più oggettivo e maggiormente condivisibile con altri operatori del sistema di emergenza e con le amministrazioni locali.

Il progetto H2020 STORM ha permesso di valutare con successo l'ipotesi di introdurre nel CNVVF procedure operative che comprendano l'uso di laser scanner e stazioni totali per il rilievo in emergenza. Una ipotesi di sviluppo ed ulteriore miglioramento dei risultati offerti da tale approccio prevede l'uso da parte dei soccorritori di scansioni acquisite dai titolari degli edifici storici per le esigenze di conservazione e manutenzione. A questo scopo, la definizione delle procedure operative e la realizzazione di una infrastruttura informatica sono temi di cui il progetto STORM ha dimostrato la praticabilità tecnica.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- [1] <https://iccrom.org/firts-aid-cultural-heritage-times-crisis-fac-2019>
- [2] <http://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC/MenuPrincipale/Ministero/index.html>
- [3] <http://www.protezionecivile.gov.it/dipartimento>
- [4] Decreto legislativo 2 gennaio 2018, n. , Codice della protezione civile (GU Serie Generale n.17 del 22-01-2018)
- [5] [https://it.wikipedia.org/wiki/Restauro\\_della\\_basilica\\_superiore\\_di\\_Assisi](https://it.wikipedia.org/wiki/Restauro_della_basilica_superiore_di_Assisi)
- [6] Marsella, S., Marzoli, M. (2016). Improving Emergency Management DSS through the CAP Protocol. In 2016 IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)
- [7] Ordinanza n. 393 del 13 settembre 2016: ulteriori interventi urgenti di protezione civile per l'eccezionale evento sismico che ha colpito le Regioni Lazio, Marche, Umbria e Abruzzo il 24 agosto 2016 - Gazzetta Ufficiale n. 217 del 16 settembre 2016
- [8] Grimaz, S. (2011). Management of urban shoring during a seismic emergency: Advances from the 2009 L'Aquila (Italy) earthquake experience. *Bollettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata*, 52, 341–355. <https://doi.org/10.4430/bgta0005>
- [9] <http://www.storm-project.eu/>
- [10] [http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Scheda\\_AEDES.pdf](http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Scheda_AEDES.pdf) - Scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica
- [11] STORM Deliverable - D1.2 Non-invasive and non-destructive methods of surveying and diagnosis – 10 June 2017
- [12] [https://ec.europa.eu/echo/what/civil-protection/emergency-response-coordination-centre-ercc\\_en](https://ec.europa.eu/echo/what/civil-protection/emergency-response-coordination-centre-ercc_en)
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/Common\\_Alerting\\_Protocol](https://en.wikipedia.org/wiki/Common_Alerting_Protocol)
- [14] <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/flood/ffgs/nwsaffgs/presentations/planning/CAP-101.pdf>
- [15] <http://progettieuropai.vigilfuoco.it/it/node/271>
- [16] Grimaz, S. (2016). Sul tetto del mondo. NoiVVF
- [17] <http://docs.oasis-open.org/emergency/cap/v1.2/CAP-v1.2-os.html>
- [18] <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/flood/ffgs/nwsaffgs/presentations/planning/CAP-101.pdf>
- [19] <https://www.fema.gov/common-alerting-protocol> ], <https://www.preparecenter.org/resources/cap-workshop-2019-italy>], [https://www.preparecenter.org/sites/default/files/cap-workshop-2018-italy\\_1\\_0.pdf](https://www.preparecenter.org/sites/default/files/cap-workshop-2018-italy_1_0.pdf)], <http://conference.ing.unipi.it/vgr2016/images/papers/197.pdf>
- [20] Marsella, S., & Marzoli, M. (2014). Interoperability as a Daily Challenge: Enhancing Operational Data Exchange between Rescue Organisations. In 9th Security Research Conference »Future Security. Berlin: Fraunhofer IOSB
- [21] <http://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-560-del-01122017>