

DANNI DA SISMA: DALL'ACQUISIZIONE DATI DA DRONI AL PROCESSING DELLE IMMAGINI

di Elena Candigliota, Francesco Immordino e Valentina Coppola

A Luglio del 2012, due mesi dopo l'evento sismico che ha colpito le province di Ferrara, Modena e Bologna, è stata condotta una sperimentazione relativa ad acquisizione di immagini su alcuni edifici storici danneggiati dal sisma da ricercatori ENEA, Unità Tecnica di Ingegneria Sismica, in accordo con il comune di Bondeno.

Il territorio di Bondeno è stato gravemente danneggiato, dal centro alla periferia; dichiarati inagibili case, edifici industriali e gran parte del patrimonio architettonico (Candigliota et al., 2012).

Le acquisizioni sono state eseguite mediante metodologie di telerilevamento a bassa quota (LARS, Low Altitude Remote Sensing) tramite velivoli radiocomandati con telecamere a bordo allo scopo di verificare l'efficacia di tale strumentazione nell'individuazione dei danni in zone inaccessibili e in situazioni di emergenza (Candigliota & Immordino, 2013a,b). Successivamente le immagini acquisite sono state processate mediante software di elaborazione dati al fine di individuare tramite procedure automatiche eventuali danneggiamenti da sisma.

Oggetto della sperimentazione sono stati Rocca Possente di Stellata, una fortezza militare patrimonio UNESCO, la chiesa e il campanile di San Giovanni, in area urbana esterna al centro storico, la chiesa della Natività di Maria con la sua torre campanaria, detta chiesa Matildica, nel cuore del centro storico e una scuola elementare degli anni '30; di seguito si riportano le acquisizioni e i processamenti riguardanti Rocca Possente di Stellata.

IL TELERILEVAMENTO A BASSA QUOTA

Il Telerilevamento di prossimità o a bassa quota è un insieme di tecniche di raccolta dati attraverso l'uso di sensori di varia natura (ottici, chimici, ecc.) montati su vettori che operano a bassa quota; viene utilizzato in tutti quei casi in cui non sia possibile o conveniente utilizzare le piattaforme tradizionali (satellite o aereo) o in cui sia richiesta un'elevata risoluzione al suolo, o ci sia la necessità di eseguire rilevamenti su aree molto piccole (piccoli appezzamenti agricoli, scavi archeologici, indagini su edifici).

Il telerilevamento di prossimità viene eseguito sfruttando specifiche tipologie di velivoli tra cui quelli più interessanti per caratteristiche tecniche, risultati attuali e future potenzialità sono gli UAV (Unmanned Aerial Vehicles); si tratta di una classe di aeromobili in grado di operare senza equipaggio a bordo e con l'uso remoto di sensori.

Gli UAV di piccole dimensioni hanno trovato utilizzo in ambito civile in svariati contesti tematici; tra questi, i mini e micro UAV hanno peculiarità che li rendono particolarmente adatti agli usi civili.



Fig. 1 - Elicottero con propulsione a scoppio e telecamera inserita nella slitta.

Interessante è l'uso di questa tecnologia associata ad altre tecniche sia tradizionali che innovative che permette un'analisi di tipo integrato per la valutazione di vulnerabilità del patrimonio storico architettonico ed archeologico.

La piattaforma permette di acquisire, a bassa quota e ad alta risoluzione, dettagli architettonici e strutturali degli edifici, stato di conservazione, danni strutturali e situazioni di pericolo crollo. La tecnologia risulta, infatti, particolarmente utile nei casi in cui gli edifici siano inaccessibili a causa di gravi danni.



Fig. 2 - Quadricottero elettrico con radiocomando e telecamera a bordo utilizzato per le riprese.

STRUMENTAZIONE

La strumentazione utilizzata durante la sperimentazione è costituita da un elicottero, di circa 1.60 m di lunghezza, con propulsione a scoppio (Figura 1), e un quadricottero, di dimensioni più piccole 56cm x 56cm x 30cm, a propulsione elettrica (Figura 2). L'elicottero, è stato modificato inserendo una slitta più grande di alluminio, sistema di telemetria per la visualizzazione in tempo reale dei livelli di quota, posizione e carburante. Entrambi i velivoli sono dotati di un sistema GPS di posizionamento e uno stabilizzatore che agisce sui tre assi di movimento XYZ. I sistemi così configurati permettono la stabilizzazione dei velivoli durante l'acquisizione delle immagini.

Le riprese sono state eseguite mediante telecamera montata sui velivoli, in posizione fissa nella slitta dell'elicottero e alloggiata in una slitta auto-stabilizzante nel quadricottero il cui movimento secondo gli assi x, y, z è consentito tramite un servo radiocomandato. La telecamera, GoPro con risoluzione video 960 x 540 px, acquisisce immagini e video ad alta definizione nel campo del visibile (0,45-0,69 μ m).

ACQUISIZIONE IMMAGINI: ROCCA POSSENTE DI STELLATA

Rocca Possente (figura 5), patrimonio UNESCO dal 1999, è situata nel piccolo borgo di Stellata, nel comune di Bondeno, all'interno di un'area golenale sulla riva destra del fiume Po (figura 3). Edificata intorno all'anno mille, fu ampliata e potenziata dagli Estensi nel 1362. La sua posizione strategica sul Po le permetteva di controllare la navigazione ancora oggi punto di confine tra Emilia-Romagna, Lombardia e Veneto. Distrutta e ricostruita più

volte, con la sua pianta poligonale a stella, sembra appartenere a quella fase dell'architettura militare tra il 1500 ed il 1570 che segna il passaggio dall'uso di armi tradizionali all'artiglieria da fuoco.

I voli di acquisizioni sono stati effettuati "a vista" previa chiusura al traffico veicolare e pedonale di un'area con buffer di circa 20 metri. Quattro diverse acquisizioni sono state eseguite, una per ogni lato (figura 4). Tre acquisizioni sono state effettuate con l'elicottero (figura 6), la quarta sulla facciata principale con il quadricottero; infatti, la presenza della scala che porta al primo piano, un piccolo edificio di fronte alla fortezza e la presenza di diversi ostacoli non lasciava sufficiente spazio di manovra per l'elicottero, di dimensioni maggiori.



Fig. 3 - Immagini ad alta risoluzione Pléiades (by ASTRIUM). Individuazione della rocca rispetto al centro abitato di Bondeno e particolare della rocca nell'area golenale del fiume.

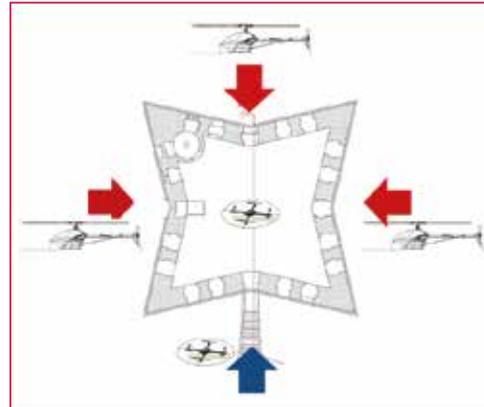


Fig. 4 - Pianta della Rocca e schema dei velivoli utilizzati per le acquisizioni (ENEA su pianta da Fabbri 2012).

Il quadricottero e altri piccoli veicoli radiocomandati sono stati utilizzati per le riprese all'interno nella sala voltata del primo piano (figura 4), in situazione di pericolo crollo della volta; i droni sono stati pilotati dall'esterno della stanza, in posizione di assoluta sicurezza per l'operatore.



Fig. 5 - Differenti viste della Rocca.



Fig. 6 - Elicottero durante le acquisizioni della Rocca.



Fig. 7 - Immagini estratte dai filmati acquisiti dai droni.

Le immagini ad alta risoluzione estratte dai video acquisiti hanno consentito l'osservazione di particolari costruttivi, fenomeni di degrado e danneggiamento in zone inaccessibili quali la copertura e il solaio di calpestio al di sopra della volta lesionata del primo piano (figura 7).

Analisi delle murature lesionate mediante image processing Le immagini acquisite (figura 7) sono state elaborate utilizzando una metodologia di classificazione object oriented (Definiens 2006) che ha permesso, attraverso un campionamento in sub-oggetti della scena estratta, la conoscenza dello stato di conservazione e di danneggiamento dell'edificio. Lo studio in oggetto rientra in un progetto più ampio che mira all'applicabilità del software di image processing eCognition Developer in campo architettonico per evidenziare e quantificare il danno sismico sugli edifici in analisi. Lo studio riguarda edifici in muratura di carattere storico-culturale colpiti dal terremoto del maggio 2012 in Emilia-Romagna.

Il lavoro è finalizzato ad ottenere due tipologie di informazione: il degrado del materiale (mattoni mancanti, vuoti nella superficie muraria, materiale lesionato e non più nella forma originale, ecc.) e il quadro fessurativo dell'edificio in oggetto.

Nel caso presentato in seguito le immagini evidenziano gravi lesioni sui paramenti murari superiori e lungo gli orizzontamenti voltati (figura 8) della Rocca.

Attraverso una serie di processamenti statistici sui pixel, il software è in grado di creare degli oggetti detti segmenti che racchiudono un'area dell'immagine con proprietà similari, per esempio un'ombra o una lesione. Questa operazione, chiamata segmentazione, viene eseguita sotto l'input di alcune indicazioni tipologiche, su una scala di riferimento e su due parametri che sono forma (shape) e compattezza (compactness). Quest'ultimo indicatore, se regolato da valori alti, permette di individuare elementi (oggetti) dalla forma regolare, tendenti alla forma quadrata e quindi per l'appunto compatti. Il ragionamento contrario avviene nel caso in cui si dia priorità al valore shape che invece tende a creare oggetti longilinei dando prevalenza alle proprietà proprie dei pixel indipendentemente dalla formazione di segmenti compatti e regolari. Questo valore infatti è stato generalmente mantenuto alto durante la segmentazione proprio alla luce del fatto che le lesioni non sono compatte ma longilinee.

In questo caso l'obiettivo è quello di evidenziare il degrado della muratura come descritto in precedenza.

La segmentazione di primo livello dell'immagine ha lo scopo di creare oggetti identificabili dando molta rilevanza, come detto, alla forma (shape) e meno alla compattezza (compactness) dal momento che la tessitura muraria presenta mancanze longilinee con una scarsa compattezza, vedi figura 9.



Fig. 8 - Immagine estratta dalla camera GoPro.

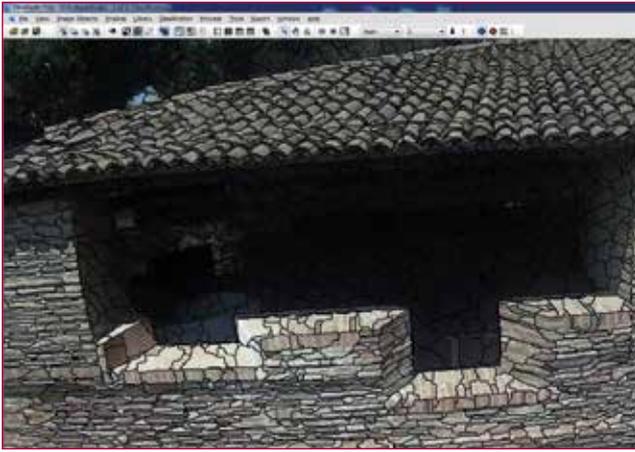


Fig. 9 - Procedura di analisi multivariata di livello 1 (segmentazione).



Fig. 10 - Classificazione degli oggetti letti come degrado murario.

Feature	Value
Layer Values	
Brightness	73.07
Layer 1	65.87
Layer 2	76.17
Layer 3	77.17
Max. diff.	0.1547
To neighbors	
Layer 1 (0)	Mean Diff. to neig... -10.94
Layer 1	Mean diff. to dark... (undefined)
Layer 1	Mean diff. to brigh... 10.94
Layer 1	Number of brighter... 6
Layer 1	Number of darker ... 0
Geometry	
Area	Extent 60 Pxl
Length	11 Pxl
Length/Width	1.571
Width	7 Pxl
Geometry	
Border index	Shape 1.059
Compactness	1.283
Elliptic Fit	0.7667
Main direction	85.03
Rectangular Fit	0.8500
Roundness	0.4023
Shape index	1.162
Geometry	
Curvature/length (only ...	Based on Skeletons 12.36
Degree of skeleton bra...	0

Fig. 11 - Pannello object information.

Ogni oggetto presenta valori differenti (per quanto riguarda le proprietà geometriche, spettrali, di relazione con i vicini segmenti ecc.) che permettono di inserire delle soglie numeriche nelle classi create; in questo modo gli oggetti precedentemente identificati rientrano nella classificazione di riferimento. Le proprietà degli oggetti sono visibili nel pannello object information (figura 11) e rappresentano i valori medi dei pixel appartenenti a tale segmento.

Gli algoritmi e le soglie considerate sono:

- ▶ **area degli oggetti:** in quanto i vuoti nella muratura presentano grandezze massime coincidenti con la dimensione del singolo mattone;
- ▶ **luminosità:** poiché il degrado e il materiale mancante creano aree scure causate appunto dalla presenza di una cavità o rientranza rispetto alla superficie piana del muro, facendo sì che l'oggetto identificato risulti più scuro;
- ▶ **differenza media con gli oggetti vicini:** in quanto gli og-

getti che si vuole classificare presentano notevoli differenze di contrasto che ci permettono di percepirla rispetto ai circostanti oggetti;

- ▶ **ampiezza:** permette di escludere le ombre più lievi prodotte dai mattoni stessi rispetto al degrado ricercato che invece produce ombre e oggetti più larghi (figura 10).

Dopo l'individuazione del degrado si è passati allo studio delle lesioni diagonali da sisma; nell'immagine seguente (figura 12) la segmentazione ha riguardato il profilo dei mattoni lungo la lesione diagonale nella parte in ombra proiettata dalla copertura. Il software distingue i distacchi verticali come oggetti più scuri, essendo la parte inferiore della spaccatura non più coesa con la muratura ma comunque appoggiata. In questo caso pertanto si è reso necessario un aumento del parametro "compactness" poiché gli oggetti interessati hanno una forma meno longilinea.

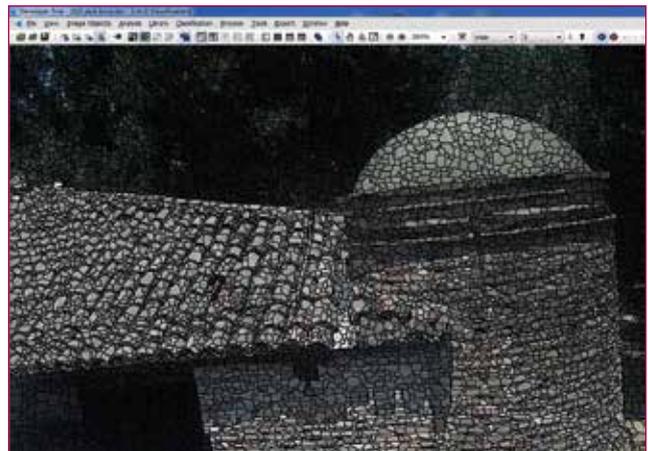


Fig. 12 - Segmentazione di secondo livello.



Fig. 13 - Immagine estratta dalla camera GoPro.

Il criterio usato per classificare gli oggetti appartenenti alla lesione diagonale visibile in figura 13 ha richiesto l'uso di due classi:

- ▶ la prima individua gli oggetti con le proprietà che accomunano i segmenti della lesione, ossia area ridotta, bassa luminosità, compattezza, differenza media con i vicini oggetti, direzione principale di poco angolata rispetto alla verticale 0 (direzione prevalente del singolo oggetto non della relazione fra essi che altrimenti sarebbe vicina ai 45°).
- ▶ la seconda classe identifica la lesione diagonale vera e propria escludendo la quota della copertura (in cui diversi oggetti simili vengono trovati) con il criterio della vicinanza reciproca degli oggetti precedentemente classificati. Rientrano così nella seconda classificazione (figura 14) solo quegli oggetti già appartenenti alla prima classe che pos-

siedono, in aggiunta ai valori di soglia sopra citati, il valore di distanza massima reciproca impostata. Poiché gli oggetti già identificati nella segmentazione devono comporre una lesione diagonale a distanza ridotta, non sono di alcun interesse e pertanto vanno esclusi quegli oggetti rispondenti soltanto alle proprietà della prima classificazione ma con una distanza reciproca superiore (ombre o oggetti indipendenti dalla classificazione ricercata).

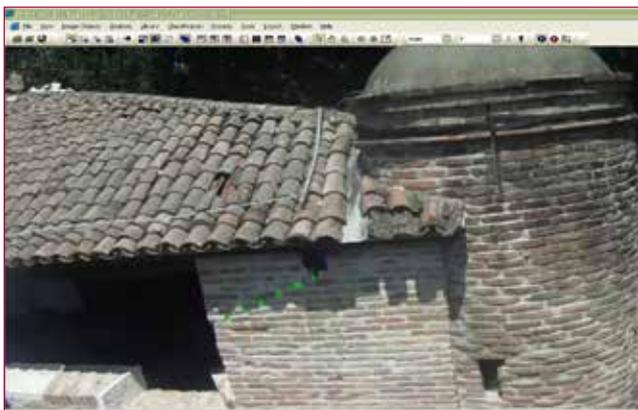


Fig. 14 - Classificazione della lesione diagonale

Schematicamente, il procedimento eseguito è riportato in figura 15.



Fig. 15 - Schema del processing

Con la stessa metodologia è stata classificata l'immagine del danno al solaio dell'ultimo piano della Rocca, in cui peraltro le condizioni luminose che creavano un forte contrasto luce-ombra hanno reso il lavoro più complesso (figure 16 e 17). Dopo il processo di segmentazione, individuati gli oggetti corrispondenti alle lesioni, si è proceduto a classificarli secondo una prima classe di riferimento in relazione alle proprietà e alle soglie più significative: area ridotta, bassa luminosità, compattezza, differenza media con i vicini oggetti ecc.

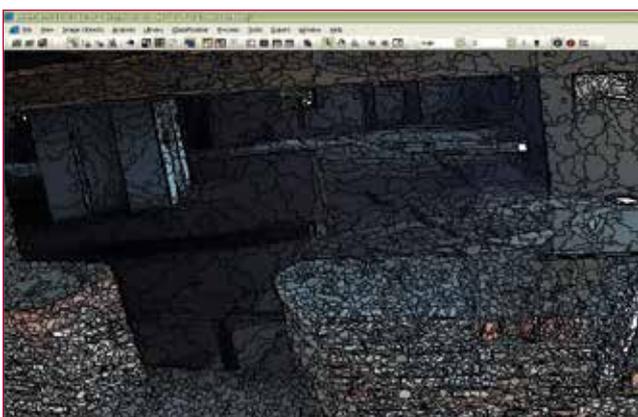


Fig. 16 - Segmentazione finale per la classificazione

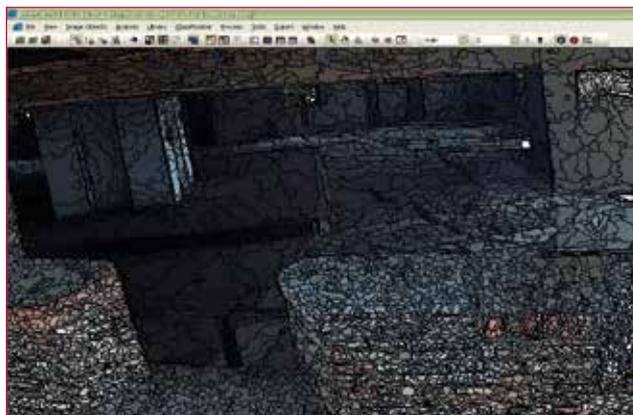


Fig. 17 - Classificazione della fessurazione del solaio

A questo punto si è resa necessaria una seconda classificazione che prevede anche l'esclusione di una parte dell'area dell'immagine inserendo dei parametri di quota degli oggetti oltre che la già descritta vicinanza reciproca fra oggetti di classe 1.

In conclusione, la tecnica di classificazione suddetta, "a cascata" e di tipo speditivo, permette di evidenziare in modo preciso gli oggetti cercati (in questo caso lesioni e degrado) e potrebbe costituire una base di studio per ulteriori approfondimenti. L'acquisizione remota di immagini tramite velivoli radiocomandati, associata a questa metodologia di processing, sembra costituire quindi un valido supporto per lo studio e la diagnostica su edifici storici.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano l'Amministrazione Comunale e l'Ufficio Tecnico di Bondeno per disponibilità e collaborazione, Paola Giaquinto e Roberto Ciardi, ENEA Roma, per le foto di Rocca Possente durante le acquisizioni e per la realizzazione del filmato per la webTV ENEA (www.enea.it). Un ringraziamento particolare va alla ditta Cavinato di Padova per l'assistenza tecnica e logistica durante i voli.

BIBLIOGRAFIA

- E. Candigliota, B. Carpani, F. Immordino, A. Poggianti, 2012. Damage to religious buildings due to the Pianura Padana Emiliana earthquake, *EAI Energia Ambiente ed Innovazione*, 4-5 parte II, 58-68.
- E. Candigliota, F. Immordino 2013a. Low Altitude Remote Sensing by UAV for monitoring and emergency management on historical heritage. ANIDIS Congress, Padova 30 June-4 July.
- E. Candigliota, F. Immordino 2013b. Historical Heritage Safeguard: Remote Sensing by drones for Knowledge and emergency, *EAI Energia Ambiente ed Innovazione*, 3-4, 78-85.
- Definienti Reference Book, 2006
- A. Fabbri, 2012. *Rocca Possente di Stellata: ipotesi di recupero e restauro* presentato al MADE expo il 19 ottobre, Milano
- P. Giaquinto, R. Ciardi, 2012. Droni in azione per la verifica degli immobili danneggiati dal sisma. WebTV ENEA Video, July.

ABSTRACT

The paper presents an innovative technology for data acquisition and image processing applied to an historical building damaged by Emilia-Romagna earthquake. The images were acquired by Unmanned Aerial Vehicles (UAV) able to capture real-time data in inaccessible areas or in emergency situation. The images captured by camera mounted on carriers, processed using segmentation and object-oriented classification tools, have allowed the extraction of qualitative geometric data about deterioration and cracks of the masonry.

PAROLE CHIAVE

UAV; IMAGE-PROCESSING; DANNI; SISMA

AUTORI

ELENA CANDIGLIOTA
elena.candigliota@enea.it

FRANCESCO IMMORDINO
francesco.immordino@enea.it

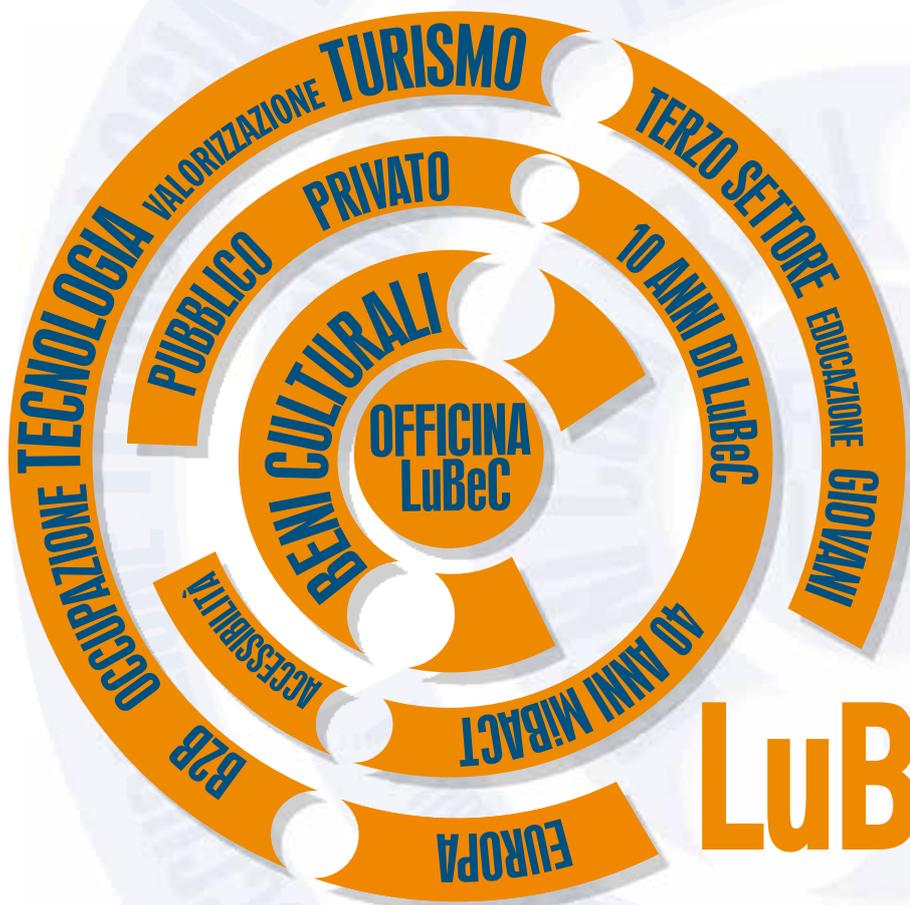
ENEA AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE
 UTSISM UNITÀ TECNICA DI INGEGNERIA SISMICA, VIA MARTIRI DI MONTE SOLE 4, 40129 BOLOGNA

VALENTINA COPPOLA
valentina.coppola6@studio.unibo.it
 UNIVERSITÀ ALMA MATER STUDIORUM DI BOLOGNA, LAUREANDA IN ARCHITETTURA



BENI CULTURALI TECNOLOGIA TURISMO

Europa, giovani, lavoro e terzo settore



LuBeC 2014

09 - 11 Ottobre | Real Collegio, Lucca

LuBeC è un evento di



**PROMO P.A.
FONDAZIONE**
RICERCA, ALTA FORMAZIONE E PROGETTI
PER LA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

www.lubec.it - info@lubec.it

segui su

