

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale in
Restauro e Valorizzazione del Patrimonio**

Tesi di
Laurea Magistrale

**FOTOGRAMMETRIA DA UAV INTEGRATA A STRUMENTI
GIS E URBAN BIM PER LA DOCUMENTAZIONE DI SCENARI
POST-SISMA. IL CASO STUDIO: CAMPI DI NORCIA (PG)**



Relatore
prof. Filiberto Chiabrando

firma del relatore

.....

Correlatrice:
Giulia Sammartano

Candidato

Mattia Contardi

firma del candidato

.....

A.A. 2018-2019

POLITECNICO DI TORINO

**Master Degree in
Restoration and Enhancement of Architectural Heritage**

**INTEGRATION OF
UAV PHOTOGRAMMETRY, GIS AND URBAN BIM
FOR POST-EARTHQUAKES DOCUMENTATION.
THE CASE STUDY: CAMPI DI NORCIA, ITALY**



Tutor:
prof. Filiberto Chiabrando

Candidate:
Mattia Contardi

Co-Tutor:
Giulia Sammartano

A.A. 2018-2019

*Dedicato alla mia famiglia
ai miei amici
a me...*

INDICE PARTE I

Premessa

I. Introduzione

I metodi	pag. 17
Il caso studio: Campi Alto di Norcia	pag. 20
Gli obiettivi	pag. 24

II. La geomatica per la rappresentazione e l'analisi del territorio

<i>Introduzione</i>	pag. 27
Cartografia e sistemi di riferimento	pag. 29
La cartografia numerica	pag. 34
La georeferenziazione	pag. 37
I sistemi di posizionamento globale, GPS	pag. 38
I sistemi informativi geografici GIS (Geographic Information System)	pag. 40
L'evoluzione dei GIS	pag. 41
I GIS per le aree in stato di emergenza	pag. 44
La fotogrammetria per il rilievo di beni architettonici e ambientali	pag. 46
La fotogrammetria digitale	pag. 48
Le immagini digitali	pag. 49
La fotogrammetria aerea	pag. 50
Le camere tradizionali	pag. 54
Le camere oblique	pag. 54
La fotogrammetria da UAV	pag. 55
Piattaforme e sensori	pag. 56
Accenni sulla Normativa di APR	pag. 58
La fotogrammetria da UAV in scenari post sismici	pag. 59
Il <i>Building Damage Assessment</i> da UAV	pag. 60

III. Inquadramento territoriale del terremoto nel centro Italia

<i>Introduzione</i>	pag. 64
Definizione di un sisma	pag. 68
I parametri sismici	pag. 70
Classificazione delle zone sismiche	pag. 72
Il terremoto del centro Italia	pag. 80
La sismicità storica	pag. 80
Gli “ <i>slip co-sismici</i> ”	pag. 83
La sequenza sismica 24, 26 Agosto e 30 Ottobre 2016	pag. 87
Il terremoto del 30 Ottobre 2016	pag. 92
I comuni nello <i>sciame sismico</i>	pag. 92
Il caso studio: Campi di Norcia	pag. 98
Cenni storici	pag. 98
Caratteri tipologici dell’ insediamento	pag. 101
I terremoti storici	pag. 106
Lo scenario post-sisma dopo il 30 Ottobre	pag. 114

INDICE PARTE II

IV. Acquisizione ed elaborazione dei dati cartografici

<i>Introduzione</i>	pag. 117
Acquisizione dei dati cartografici	pag. 118
Il <i>dataset</i> cartografico della regione Umbria	pag. 118
Elaborazione dei dati: fasi di <i>processing</i> cartografia	pag. 124
<i>Pre-processing</i> della cartografia	pag. 124
Creazione di <i>shapefiles</i>	pag. 130
Analisi geomorfologiche e tematizzazioni dei dati GIS	pag. 136

V. Acquisizione ed elaborazione dei dati fotogrammetrici

<i>Introduzione</i>	pag. 147
Acquisizione dei dati fotogrammetrici	pag. 150
Team DI.REC.T	pag. 150
Acquisizione dati da UAV	pag. 156
Elaborazione dei dati da UAV	pag. 160
<i>Pre-processing</i> dei fotogrammi	pag. 160
Allineamento fotogrammi	pag. 164
<i>Bundle Block Adjustment - BBA</i>	pag. 166
Generazione della Nuvola di punti densa	pag. 168
Generazione della <i>Mesh</i> e applicazione della <i>Texture</i>	pag. 169
I risultati ottenuti	pag. 171
L'interoperabilità dei risultati con il GIS	pag. 176
Identificazione delle U.M.I. di Campi Alto	pag. 178

VI. L' *Urban* BIM di Campi di Norcia

<i>Introduzione</i>	pag. 185
Il BIM - Building Information Modeling	pag. 188
L' integrazione tra BIM e GIS	pag. 191
L' <i>Heritage</i> BIM alla scala urbana: <i>Urban BIM</i>	pag. 193
L' <i>Urban BIM</i> di Campi di Norcia	pag. 195
Il contesto: modellazione degli elementi territoriali di Campi	pag. 196
Assegnazione delle <i>features</i> di progetto	pag. 197
Integrazione della nuvola all' <i>Urban</i> BIM	pag. 198
La modellazione parametrica	pag. 203
Risultati <i>Urban</i> BIM dello scenario post-sisma	pag. 219

VII. *Conclusioni*

VIII. *Ringraziamenti*

IX. *Bibliografia*

X. *Sitografia*

Premessa

L'ambiente che ci circonda permette l'esistenza dell'essere umano inteso come l'unico e profondo possessore della nostra terra: un cimelio prezioso a disposizione di tutti fondamentale per l'uomo che giova dei frutti delle sue risorse.

Purtroppo il nostro pianeta è da sempre soggetto ad eventi catastrofici, di origine naturale o antropica che provoca la perdita di numerose vite, ma anche gravi danni all'ambiente e al patrimonio costruito.

Tra gli eventi di maggiore impatto ci sono i terremoti. Calamità naturali che da secoli colpiscono in maniera improvvisa recando danni a intere nazioni. Come dimostrano i dati dell'EM-DAT - *International Disaster Database*¹, si evince che i terremoti significativi registrati sono in continuo aumento nel mondo. L'Italia è tra i paesi con il più alto rischio sismico e viene considerato, per questo, un paese estremamente vulnerabile. (fig.1)

1. EM-DAT contiene dati fondamentali sul verificarsi e sugli effetti di oltre 22.000 disastri nel mondo dal 1900 ad oggi. Da: www.emdat.be

I recenti terremoti in Italia, specificatamente nelle regioni centrali, come quello del 2009 a L' Aquila o di Amatrice e Norcia del 2016, di grave impatto, hanno interrotto il normale ciclo di utilizzo dell' uomo dei paesaggi antropici e recato notevoli danni alla popolazione, all' ambiente e alle città all' interno dello sciame sismico. E' importante conoscere le cause tramite opportune osservazioni e indagini, perchè l' informazione su un dato evento puo dare significativi aiuti alla gestione dell' emergenza in funzione della salvaguardia del patrimonio e del territorio, riducendo i tempi e i costi di recupero. Anche prevedere nuove forme di intervento che riducano gli effetti è sicuramente un' operazione essenziale e necessaria; per far questo bisogna, prima di tutto, partire da un' esaustiva documentazione del danno.

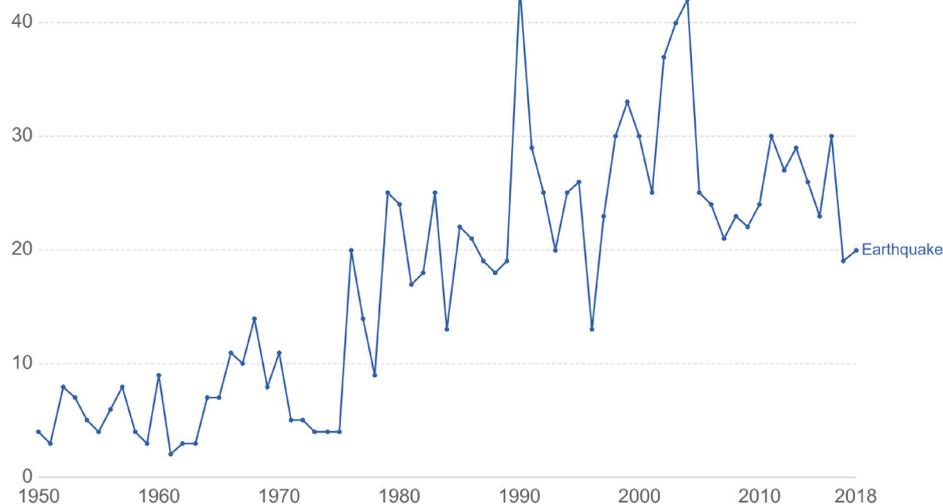


fig.1 - Numero di terremoti significativi su scala mondiale, registrati fino al 2018.

Da:

www.ourworldindata.org

Copernicus EMS (Emergency Management Service) è un programma europeo di supporto alle situazioni di emergenza. In particolare divulga informazioni geospaziali nell'ambito della mappatura dei disastri, come i terremoti.

Copernicus Emergency Management Service utilizzando dati da telerilevamento satellitare e non solo, perchè ad oggi si sta cercando di usare anche immagini da UAV con l'obiettivo di ottimizzare i risultati, fornisce una mappatura tempestiva di supporto alle fasi del ciclo di gestione delle emergenze: "preparazione, prevenzione, riduzione dei rischi di disastro, risposta alle emergenze e recupero."² Come Copernicus altre organizzazioni tra cui Ithaca, HOT, Wikimedia Foundation, Wikimedia Italia, tutte forniscono supporto cartografico all'emergenza.³

Data l'esigenza di aggiornare l'informazione sugli eventi sismici e sui luoghi colpiti, stanno nascendo gruppi didattici per la mappatura di queste aree in stato di crisi emergenziale. Esse, a seguito di questi avvenimenti, diventano zone inaccessibili, le cosiddette zone rosse⁴, in cui vi è difficoltà di rilevamento terrestre perchè poco sicuri e difficilmente fruibili dagli operatori per il rilievo. Quindi sono in continua evoluzione sistemi e strumenti sempre più veloci e low-cost per fornire informazioni e dati utili. Metodi e tecniche in continuo aggiornamento per permettere che le acquisizioni possano essere effettuate a distanza sicura. Il fine di queste operazioni di mappatura e rilievo è la salvaguardia dei centri storici, soprattutto in Italia. Il principio e l'obiettivo su cui si basa

2. Copernicus. Servizio di Gestione delle Emergenze. www.copernicus.eu

3. Lupia,F., Minghini,M., Napolitano,M., Palams,A., Saretta,A., (2016) *VGI ed Emergenze. GEOmedia* 5(2016):26-30

4. Zona di allerta o di esclusione

questa fase è la conoscenza degli aspetti che compongono tutto l'insieme urbano più che il singolo elemento architettonico; perchè l'identità di questi centri è data, anche dal rapporto simbiotico che hanno con il territorio su cui vengono eretti. Se venissero documentati i manufatti singolarmente il contesto ambientale in cui essi si collocano passerebbe in secondo piano. “(...) ormai ci siamo accorti di due verità: l'una è che un grande monumento ha valore in cui è sorto (...) l'altra è che l'aspetto tipico della città o delle borgate ed il loro essenziale valore d'arte e di storia risiedono soprattutto nella manifestazione collettiva data dallo schema topografico, negli aggruppamenti edilizi, nella vita architettonica espressa nelle opere minori”⁵

Attraverso l'utilizzo di sistemi geo-informatici, parte delle tecniche della geomatica, si ottiene un quadro a livello territoriale del contesto, grazie alla cartografia ufficiale, che le regioni mettono a disposizione su piattaforme web di comunicazione, i cosiddetti *Geoportali regionali*. In aggiunta ai dati cartografici, per ottenere risultati soddisfacenti, si possono integrare altri dati sul campo con l'utilizzo di piattaforme UAVs *Unmanned Aerial Vehicle*, che acquisiscono immagini ad alta risoluzione attraverso i sensori ottici.

L'obiettivo da raggiungere, per ottenere un sistema informativo, esaustivo nella sua completezza di scala e di dettaglio, sta nell'armonizzare le informazioni territoriali, del paesaggio, con quelle architettoniche dei manufatti. Riuscire ad avere un modello multi-scala e multi-contenuto, facilmente leggibile dagli attori coinvolti nella salvaguardia del patrimonio. Questo

5. Giovannoni, G., (1932) *Vecchie città ed edilizia nuova*. Torino: Città Studi Edizioni.

sistema, pensando al processo di recupero e tutela, può essere svolto in funzione della valorizzazione di questi centri. E' importante ricordare che con l' emanazione delle "Carte del Restauro": dalla prima "Carta di Atene" del 1931 fino alla "Carta di Cracovia" del 2000, sono chiari i principi da seguire per la salvaguardia e risanamento dei centri storici; invece la "Carta di Rischio del Patrimonio Culturale", prodotta dall' Istituto Superiore per la Conservazione, è un sistema GIS di consultazione a piccola scala dei centri considerati più vulnerabili perchè conservano beni di valore culturale che sono esposti a fattori esterni, aggressivi, che potrebbero causare danni significativi.⁶ Tuttavia sembra che questi SIT Sistemi Informativi Territoriali siano considerati strumenti obsoleti per la documentazione dei beni culturali perchè destinati ad una non-utilizzazione⁷. Per questo c'è bisogno di nuovi strumenti che documentino la vulnerabilità del territorio, ma che gestiscano l' informazione per l' utilizzo nelle reali situazioni di emergenza in maniera integrata e condivisa per i centri esposti a maggior rischio. Questi centri di particolare pregio storico, anche se considerati insediamenti minori, perchè dislocati lungo vasti vallate e circondati da un ambiente naturale non antropizzato, sono le realtà urbane che più conservano una storia antica in cui il tempo sembra sia fermo nel passato. Essi conservano un' identità particolare, il famoso *Genius Loci*, che deve essere necessariamente tutelato e conservato e che fa di questi luoghi patrimonio di un' intera nazione.

6. fonte:
www.cartadelrischio.it

7. Carlucci, R., (2009) *Dati Geografici per le Emergenze. Siamo Pronti? GEOMEDIA*

INTRODUZIONE

METODI
CASO STUDIO
OBIETTIVI



Metodi

Il lavoro di tesi utilizza i metodi della geomatica applicata al rilevamento di un sito in emergenza a seguito del terremoto del 2016, che ha recato gravi danni al patrimonio costruito delle aree terremotate del centro Italia, le quali oggi versano in uno stato di fatiscenza, diventando luoghi inagibili e inaccessibili.

L' *Emergency Mapping* è un' operazione volta a mappare le conseguenze che il sisma ha causato a questi territori in crisi e fornire una documentazione utile sullo stato di queste aree, oltre che avviare le fasi di recupero con l' elaborazione di dati gestibili e fruibili.

E' grazie alle operazioni di gruppi come il Team DIRECT (DIaster RE-Covery Team), nato nel 2011 e formato da docenti e studenti dell' area di architettura e ingegneria attivo nel campo del Rilevamento Metrico 3D, Telerilevamento e della elaborazione di cartografia, che si evidenziano le criticità del territorio a diverse scale, utile a fornire una documentazione, a scopo didattico, in tutte le fasi del *disaster management*, in risposta alle emergenze in scenari post-disastro. Grazie a queste operazioni effettuate dal team mi è stato concesso di gestire un set di dati *raw data* da UAV ottenuti. Utilizzando i metodi applicati della geomatica trattati nei seguenti capitoli.

Il telerilevamento, nella gestione delle emergenze sismiche, mostra limiti di "accuratezza", intesa come non sufficiente risoluzione spaziale a terra per una mappatura dettagliata. Invece con la fotogrammetria digitale

è possibile ridurre l'incertezza metrica con l'acquisizione di immagini di maggiore qualità. Così, è stata eseguita, dal DIRECT, una missione speditiva nell'area oggetto di questa tesi, per il rilevamento fotogrammetrico della zona rossa.

L'utilizzo di una piattaforma UAV, *Unmanned Aerial Vehicle*, comunemente chiamata drone, è servita per le acquisizioni dall'alto per il rilevamento metrico 3D di tipo fotogrammetrico. Da qui, ho avuto la possibilità di continuare il lavoro, iniziato sul campo dal team, elaborando i dati acquisiti per la loro gestione e la fruizione.

La tesi ha quindi come metodologia principale l'integrazione del rilievo da UAV a strumenti GIS, *Geographic Information System*, utilizzati per gestire e elaborare dati cartografici volta a fornire una documentazione dei danni al patrimonio costruito alla scala urbana.

La ricerca della cartografia di base è stata fondamentale per la georeferenziazione del rilievo su una base cartografica numerica di riferimento. A seguito della ricerca nelle banche dati della regione si è passato all'organizzazione di un *dataset* geografico, successivamente, il lavoro è stato quello di elaborazione di dati GIS per la produzione di carte tematiche d'inquadramento dello scenario.

Il primo capitolo tratterà di cartografia e di fotogrammetria. Si è fatto particolare riferimento alla fotogrammetria contemporanea, nata grazie all'utilizzo del digitale, e agli impieghi della tecnologia UAV in fotogrammetria, la quale si presta ottimamente nelle situazioni di forte

inaccessibilità delle aree. Inoltre, si è spiegato il funzionamento degli strumenti GIS e la loro evoluzione, dai primi approcci con lo strumento fino ad arrivare al loro impiego nella gestione delle emergenze da catastrofi naturali oggi. Attraverso metodi differenti e integrati GIS e BIM, *Building Information Model*, si fornirà il quadro critico dello scenario post-sisma. E' stato così prodotto un modello utile a documentare lo scenario post-evento, con l' utilizzo di metodologie BIM a piccola scala applicata all' area di Campi di Norcia distrutta dagli eventi del 30 Ottobre 2016. Si prenderanno come riferimento i metodi di valutazione per il *Rapid Mapping* che Copernicus EMS utilizza per la mappatura del danno nelle aree del centro Italia mettendo in luce le criticità del territorio tramite monitoraggi satellitari, a seguito del sisma dagli eventi



fig.2 - Workflow dell' *Emergency Mapping* con la fase sperimentale *Urban BIM*, come metodo aggiuntivo proposto.

del 24 Agosto.

Si sono trattate delle procedure strutturando il lavoro in più parti: acquisizione dati (cartografici e UAV) gestione ed elaborazione, per la mappatura in ambiente GIS e per produrre risultati da integrare con il metodo sperimentato in questa tesi Urban BIM (*Urban Building Information Model*). (fig.2)

Caso studio: Campi di Norcia (PG)

L' inquadramento comprende le aree colpite dalla sequenza sismica dal 24-26 Agosto 18 Gennaio 2017, ma più in particolare quelle relative all' evento sismico del 30 Ottobre 2016.

La sequenza sismica 2016/2017 si estende dalla provincia di Rieti, nell' alto Lazio, fino alla provincia di Macerata nelle Marche, interessando anche le zone sud est dell' Umbria, in particolare l'ambito comunale di Norcia nella provincia di Perugia, fino ad arrivare alla provincia di L' Aquila in cui si è conclusa la sequenza di eventi sismici.

Il territorio nursino si colloca al centro di questo cratere sismico ed è costellato da una serie di centri abitati minori, ma di particolare pregio perchè vi sono siti di interesse archeologico facenti parte di itinerari antichi della regione, immersi nelle valli di una zona territoriale prevalentemente montana. (*Carta 1*)

All' interno dei limiti amministrativi del comune di Norcia, sarà più significativa l'analisi dell' evento sismico, dove il terremoto ha raggiunto i

8. Gruppo di Lavoro INGV sul Terremoto in centro Italia. *Relazione sullo stato delle conoscenze sulla sequenza sismica in centro Italia 2016-2017* (aggiornamento al 2 febbraio 2017), doi: 10.5281/zenodo.267984

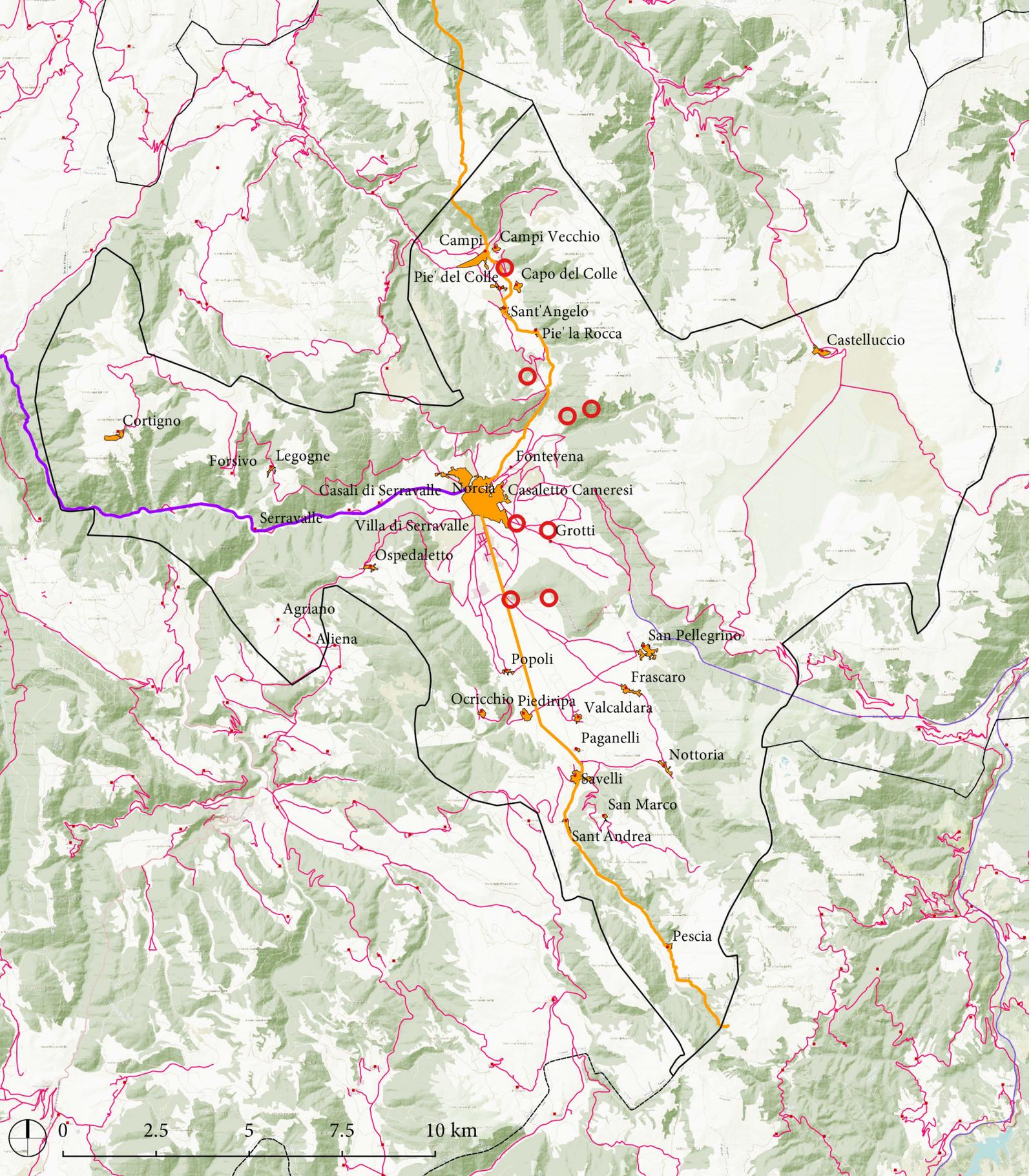
9. Bartolozzi, C. (2016). *Patrimonio architettonico religioso. Nuove funzioni e processi di trasformazione*. Roma: Gangemi. p.209

livelli più alti di magnitudo registrati negli ultimi trenta anni.⁷

Il caso studio, in cui verranno applicate le metodologie di documentazione, è il borgo vecchio di Campi di Norcia, conosciuto come Campi Alto. Questo piccolo centro era originariamente inserito tra le mure del Castello duecentesco di Campi, arroccato su una collina immersa nella Val Castoriana, ma oggi riversa in uno stato di abbandono a causa del terremoto.

“L’abbandono di centri o di porzioni di territori urbanizzati rappresenta oggi una questione sempre più attuale sulla quale si concentrano articolate indagini del mondo scientifico. Queste ultime mirano alla comprensione del fenomeno e alla formazione di eventuali ipotesi per la risoluzione del problema. (...) Le realtà abitate sono un fenomeno diffuso da millenni, basti pensare alle tante testimonianze archeologiche di centri saccheggianti, distrutti e quindi abbandonati, dove le tracce antropiche sono lasciate alla lenta e totale rovina, e dove lo studio delle ragioni che spinsero i loro abitanti al completo abbandono rappresenta un’importante occasione di ricerca. Motivi politico-militari, insieme a cause legate all’asperità dei luoghi o ad eventi calamitosi, sono causa di migrazioni.”⁹

Verrà presentato il caso studio confrontando la situazione attuale dopo il sisma, con la cartografia storica precedente l’evento sismico, tramite i dati cartografici acquisiti si fornirà l’inquadramento dello scenario.



Carta 1 - Siti e percorsi di interesse del territorio nursino.

(Rielaborazione con QGIS del Piano Urbanistico Territoriale della regione Umbria: *Siti archeologici ed elementi del paesaggio antico*)

Da: Geoportale Umbria

Carta dei centri minori del territorio nursino - Legenda

 Limite amministrativo comunale Norcia (Geoportale Nazionale)

 Limiti amministrativi province (Geoportale Nazionale)

Toponimi OpenStreetMap (Geofabrik)

NUOVI SHP:

 siti di interesse architettonico di Norcia

Percorsi storici del territorio nursino:

 via Nursina

 via Vissana

Centri abitati OpenStreetMap (Geofabrik)

• Frazioni

Strade OpenStreetMap (Geofabrik)

 secondarie

 terziarie

Copertura terreno OpenStreetMap (Geofabrik)

 Residenziale

WMS:

DTM, GSD>20metri (Sinanet-ISPRA)

OSM Humanitarian Data Model (QGIS webservice)map)

 foresta

 parco

 erba

 altro

Obiettivi

La tesi discuterà di metodologie finalizzate al rilievo del patrimonio nel suo contesto e degli insediamenti urbani danneggiati da eventi catastrofici, fornendo una documentazione utile sull'evento sismico recente, affrontando aspetti di primaria importanza sul recupero dell'architettonico di Campi di Norcia che versa in stato di degrado. L'obiettivo sarà quello di sperimentare un metodo innovativo, per la comprensione del danno di scenari post-sismici, tramite la mappatura del rilievo 3D dello stato di fatto alla scala urbana.

La mappatura verrà eseguita attribuendo il grado di danno su scala Copernicus EMS dei *main-assessts* dell'insediamento: le strade e gli edifici, elementi principali del nucleo urbano in stato di abbandono da parte degli abitanti di Campi.

L'abbandono di questi scenari post-sisma è conseguente all'inagibilità all'interno dell'area perimetrata come zona rossa; situazione che si prolunga nel tempo per via di azioni di ripristino lente dovuta alle difficoltà di gestione.

L'obiettivo è fornire una soluzione che potrebbe essere d'aiuto alla gestione dell'emergenza oltre che alla documentazione dei danni, con la generazione di un prototipo informativo dell'agglomerato urbano post-evento, attraverso un metodo di documentazione basato sull'elaborazione di un modello parametrico tridimensionale, multi-scala e multi-contenuto, sviluppato con l'integrazione di diverse di dati geo-

grafici e fotogrammetrici.

Lo scopo è quello di integrare questo insieme di dati elaborati a strumenti GIS e BIM, per raggiungere un livello descrittivo quanto più dettagliato dello scenario post-sisma, mantenendo una tolleranza di restituzione 3D relativa ad un modello urbano e che riporti le criticità attuali dello scenario. Il modello finale ha come oggetto la frazione Campi di Norcia, ed è sviluppato per poter essere navigabile interrogabile e inte-



roperabile con altri strumenti di progettazione esecutiva volta al recupero e al ripristino degli elementi architettonici distrutti. Quindi lo scopo sarà di documentare l'immagine attuale del borgo distrutto, con i dati raccolti dello scenario *post-disaster*, come risposta all'emergenza. Avere una testimonianza dei danni sul patrimonio costruito georeferenziati nel sistema di riferimento globale: WGS84, rispettando la normativa vi-

gente sulla georeferenziazione delle informazioni territoriali.

L'obiettivo, oltre che sperimentare nuovi metodi di documentazione di scenari post-sisma, è quello di fornire sia soluzioni che spunti per la gestione dell'emergenza sismica con nuovi strumenti integrativi al lavoro degli organi di protezione e soccorso. Uno strumento che potrebbe essere il punto di partenza per sviluppi futuri per ciò che riguarda l'informazione globale sui temi d'interesse pubblico.

La tesi è rivolta non solo a chi si occupa di geomatica applicata alla fotogrammetria da UAV e alla gestione di dati geospaziali GIS, ma anche a chi si interessa a tutto il sistema legato alle procedure preliminari per la valorizzazione e documentazione dei luoghi vulnerabili e soggetti a rischio per cause esterne per la salvaguardia e la tutela dei beni che esso custodisce.





LA GEOMATICA PER LA RAPPRESENTAZIONE DEL TERRITORIO

Introduzione

Il capitolo tratta di discipline che permettono la cartografia e la descrizione del patrimonio ambientale e costruito attraverso gli strumenti della geomatica.

A causa della frammentazione dei *dataset* territoriali, la comunità Europea ha deciso di istituire un' infrastruttura apposita per una migliore gestione delle informazioni e delle fonti disponibili. Nasce così nel 2007 la direttiva INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), in

Immagine: UAV DJI in volo durante le operazioni di rilievo fotogrammetrico. Fonte: team DIRECT (2018).

vigore in Italia con il D.lgs n°32/2010¹⁰. Essa regolamenta l' utilizzo dell' Informazione Spaziale per la conoscenza e la gestione dei rischi ambientali che rispondano a requisiti di interoperabilità e compatibilità. Le discipline della geomatica, per la conoscenza di queste informazioni spaziali relative al Globo terrestre nello spazio tridimensionale, sono sostanzialmente raggruppate in tre scienze: la Geografia, la Geodesia e la Topografia.¹¹ I contributi di queste discipline alla geomatica sono la base essenziale¹².

Partendo dai sistemi geo-informativi comunemente chiamati GIS, composti da elementi cartografici quali oggetti gestibili e editabili, a seconda delle esigenze di tematizzazione e analisi territoriale, si spiegherà cosa si intende per cartografia numerica e prodotti cartografici. Questi risultati dei GIS, sono indispensabili per conoscere il territorio attraverso la sua analisi. Inoltre, insieme alla cartografia verrà analizzata l'importanza dei sistemi di riferimento e della georeferenziazione nell' utilizzo della cartografia oggi. Fino ad arrivare ai sistemi GNSS, ovvero Global Navigation Satellite System, e di come siano fondamentali per geo-localizzare il rilievo nel suo contesto servendosi delle costellazioni satellitari in orbita nello spazio. Verrà trattato dei sistemi GIS in continua evoluzione nell' ambito della gestione delle emergenze in territori colpiti da eventi sismici e di metodi di *Rapid Mapping* che utilizzano sistemi di acquisizione rapida da *Remote Sensing* (telerilevamento) uniti a sistemi molto più *low-cost* come gli UAV per comprendere l' entità del disastro e dei

10.Art.1 comma 1: “Il presente decreto e' finalizzato alla realizzazione di una infrastruttura nazionale per l'informazione territoriale e del monitoraggio ambientale che consenta allo Stato italiano di partecipare all'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea, di seguito INSPIRE, per gli scopi delle politiche ambientali e delle politiche o delle attività che possono avere ripercussioni sull'ambiente.” Recuperato da <http://www.gazzettaufficiale.it/>

11. Gomasca M.A, (2004).*Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento

12. Fea M., Gomasca M.A, (2008). *Enciclopedia della scienza e della Tecnica*

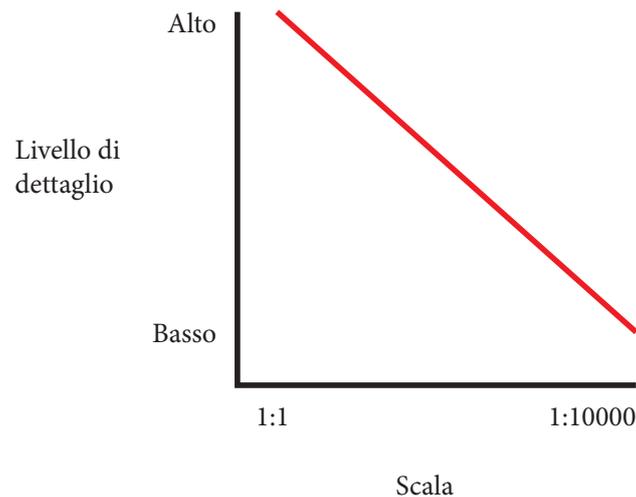
danni sul costruito a scala urbana. Questi strumenti stanno alla base di un processo conosciuto come *Building Damage Assessment* introdotto come diagnosi sugli scenari *post-disaster*.

Cartografia e sistemi di riferimento

La cartografia è definita, generalmente, come disciplina della geomatica. Essa descrive i luoghi della Terra, rilevati direttamente prima, o indirettamente oggi, tramite sistemi fotogrammetrici e di telerilevamento.

La cartografia è anche definita come l'insieme dei suoi prodotti: le carte.

Fig. 1 - Grafico esplicativo per la leggibilità del contenuto metrico di una carta. Come varia il livello di dettaglio al variare della scala della carta.



13.Gomasca M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento.

“Una carta è una rappresentazione piana, approssimata, ridotta e simbolica di una parte o di tutta la superficie terrestre”¹³ e per questo è un prodotto che contiene diverse caratteristiche che sono indici di qualità e attendibilità.

Principalmente sono tre:

- Il contenuto, che dipende dalla scala della carta. Se è a grande scala si avrà maggiore dettaglio, ma rappresenteranno una porzione minore di territorio, mentre per quelle di piccola scala ci saranno meno particolari, ma anche un' area più estesa.(fig.1)

- L' attualità di una carta, che dipende dalla data del rilevamento.

- L' accuratezza, che indica la qualità e la precisione del contenuto.¹⁴

Essendo uno strumento per la conoscenza deve avere dei requisiti di congruenza, leggibilità e veridicità che rendano i prodotti cartografici strumenti informativi.¹⁵

Le fasi del processo cartografico che portano alla realizzazione delle carte, comprendono per prima cosa il rilevamento, l' armonizzazione e la generalizzazione dei dati cartografici. I dati sono frutto di una trasformazione, ciò significa che i punti rilevati sulla Terra vengono trasformati in coordinate cartografiche. Per fare ciò avviene un' approssimazione di questi punti sulla superficie terrestre ad un'altra detta di riferimento.

Le funzioni della cartografia sono la conoscenza puntuale basata sull'osservazione di un fatto. Così come lo sviluppo di relazioni logiche tra diversi oggetti applicate alla conoscenza di fenomeni tangibili o di astrazioni.¹⁶ Infine, può considerarsi un supporto per la classificazione, progettazione, gestione, pianificazione del territorio.

La superficie di riferimento viene studiata dalla Geodesia. Questa scienza semplifica e approssima la Terra in una superficie chiamata Geoide. Essa è una superficie di riferimento fisica, individuabile, riproducibile

14.Surace L. *La georeferenziazione delle informazioni territoriali in Italia*

15. Rinaudo F. *Appunti di cartografia*. Dispense di lezione, Politecnico di Torino p.90

16.Gomasasca M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento. p.54

e significativa e irregolare per via delle variazioni di quota dovuta alla *gibbosità* della crosta terrestre. Il Geoide, utilizzato per definire la quota altimetrica dei punti, non è trattabile matematicamente per definire la posizione spaziale di ogni suo punto. Ci si affida quindi ad un'approssimazione del geoide definita come seconda superficie di riferimento, l'elissoide di rotazione, determinato tramite equazioni matematiche che non saranno oggetto di questa tesi.

L'elissoide negli anni ha preso diversi nomi in base al geografo che l'ha perfezionato (Everest, Bessel, Clarke, Helmert). Fino ad arrivare ad Hayford, elissoide di riferimento nazionale dal 1940 su proposta della Commissione Geodetica e Geofisica Internazionale.¹⁷

17.Surace L. *La georeferenziazione delle informazioni territoriali in Italia*

La carta quindi non è altro che un insieme di punti sulla terra con coordinate astronomiche, dette *geoidiche*, proiettate sulla superficie di riferimento attraverso le loro coordinate elissoidiche, dette *geodetiche*, che definiscono la posizione spaziale.

Con l'avvento della tecnologia satellitare si supera la dicotomia tra geoidi ed elissoide. Si è passato ad avere un sistema di coordinate cartesiane *geocentrico*: con l'asse Z, per il rilievo della quota altimetrica, coincidente con il centro di gravità della Terra.

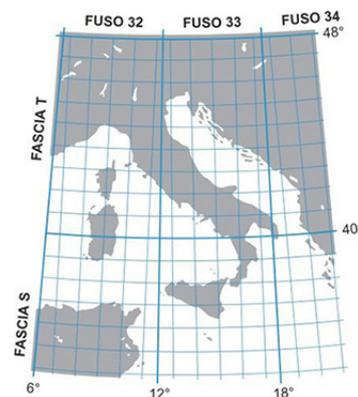
Nel 1984 il Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti, definisce il WGS84 (World Geodetic System) come sistema di riferimento *geodetico* e *geocentrico* per calcolare la posizione spaziale dei punti e la loro quote. Un sistema che era già stato cercato dalle nazioni europee durante la

grande guerra, con l' ED50 (European Datum 1950). C'era necessità, in campo bellico per questioni di operatività, di unificare il sistema di coordinate, di origine locale: ogni nazione ne utilizzava uno proprio. Esso usava la proiezione terrestre di Gauss detta anche UTM¹⁸ (Universale Trasversale di Mercatore), e l' elissoide di riferimento era quello di Hayford orientato a Postdam.¹⁹

Oggi, tutti i dati cartografici vengono georiferiti al WGS84. Questo succede solo ora, per dati nati di recente. Tuttavia, vi è un grande insieme di *dataset* cartografici, già a nostra disposizione, che però si riferisce ad un sistema locale e che quindi risulta non correlabile a dati geodetici nel sistema globale, se non previa trasformazione del sistema di riferimento. La globalizzazione nel campo del rilevamento del territorio ha fomentato l'esigenza di utilizzare dati georeferenziati in un sistema di riferimento univoco e globale, bisogno dovuto al progresso della tecnologia satellitare. Continuando ad usare un sistema di riferimento locale, i dati rilevati da un ricevitore GPS non sono impiegabili perché esso si riferisce al sistema geocentrico WGS84, utilizzato per orientare i satelliti. "E' tempo di ridurre tutti i dati ad un sistema comune che superi anche le discontinuità dei lavori soprannazionali."²⁰

In Italia, la possibilità di unificazione in un sistema di riferimento omogeneo per la nazione si deve all'unificazione del regno. Fino ad allora, gli stati preunitari avevano rilevato i loro territori nel loro sistema locale diversi uno dall'altro²¹.

18. Il sistema cartografico UTM è basato sulla rappresentazione conforme di Gauss-Boaga. Divide la Terra in 60 fusi. L' Italia è racchiusa in 3 fusi: 32, 33 e 34 divisi in Nord e Sud. Nel caso dei comuni colpiti dal sisma riportati in questa tesi siamo al confine tra due fusi, ma comunque nel 33Nord. (fig.1 - da: <https://www.openoikos.com/>)



19. Surace L. *La georeferenziazione delle informazioni territoriali in Italia*, pag.14

20. Surace L. *La georeferenziazione delle informazioni territoriali in Italia*.

21. Surace L. *La georeferenziazione delle informazioni territoriali in Italia*, pag. 10

22. Una proiezione di tipo *conforme o isogonica* mantiene inalterati gli angoli fra due direzioni nella realtà e sulla carta. (Gomarasca M.A., 1997)

23. Un DATUM è un sistema di riferimento geodetico costituito dalla scelta di elissoide, punto di emanazione e azimut (Gomarasca M.A., 1997)

Come è noto, i rilevamenti del territorio a copertura nazionale furono eseguiti dall' I.G.M (Istituto Geografico Militare). Per il sistema catastale venne utilizzato l' elissoide di Bessel, orientato a Genova, e successivamente quello di Hayford, orientato a Roma, sulla stazione di Monte Mario adottando la conforme²² di Gauss-Boaga. Quest'ultimo prese il nome di Roma40 che, oggi, costituisce il riferimento ufficiale nazionale e l'utilizzo del nuovo sistema si deve all' aggiornamento dell' elissoide. Così c' è stata una conversione di DATUM²³ dovuto al cambio di coordinate geodetiche o elissoidiche.

Purtroppo i problemi che riguardano la cartografia in Italia è proprio la mancata univocità dei dataset cartografici. Come riportato dalla Commissione Geodetica Italiana “La realizzazione della Cartografia Nazionale, con il dettaglio e l'accuratezza opportuna, è il fondamento per la conoscenza del territorio e dell'ambiente. Territorio per il quale si deve compiere la necessaria azione documentale per la sua tutela e conseguente valorizzazione.(...) Risulta pertanto oggi indispensabile l'armonizzazione di un opera, quale quella cartografica ‘probatoria’, che di per sé non può essere realizzata in modo diverso tra una regione e l'altra dovendo, almeno al confine, coincidere. Da quasi un secolo si è proceduto alla realizzazione di ‘Cartografie unitarie’ anche per l'adozione di un unico Sistema di Riferimento, oggi legato universalmente a sistemi satellitari, quali il GPS americano o il futuro Galileo europeo, al quale l'Italia sta dando un particolare contributo.(...) Basti pensare al fatto che

la cartografia che spesso si trova a disposizione di Enti e Organi è inquadrata nel sistema ED50 (European Datum 1950), spostata oggi di qualche centinaio di metri rispetto alla WGS84 (World Geodetic System 1984).(…)»²⁴

Fino ad oggi il primo problema che affligge la Cartografia Ufficiale Italiana riguarda la convivenza di sistemi cartografici diversi, che sono almeno 5: Roma40/Monte Mario, Roma40/Greenwich, ED50, WGS84, Sistemi Catastali.

C'è bisogno di portare i dati cartografici ad un sistema univoco per un buon utilizzo. Un sistema “ufficiale” e globale tramite opportune trasformazioni perchè i dati georiferiti a sistemi locali sono un insieme finito, mentre quelli appartenenti al sistema globale sono in continua crescita.

La cartografia numerica

L'utilizzo della tecnologia digitale ha permesso il progresso della cartografia. La sua evoluzione è rappresentata dalla sostituzione della cartografia tradizionale con quella numerica/digitale.

Il passaggio tra i due stadi è costituito dalla cartografia automatica dove, per esigenze di produzione, furono impiegati plotter che ottimizzano la produzione cartografica. Quella automatica viene considerata l'anticipatrice della numerica. Essa prevedeva una gestione del dato cartografico in forma numerica per via della facile riproducibilità. Per abbattere i tempi di produzione di cartografia e garantire un maggior uso si abban-

24. Rinaudo F. *Appunti di cartografia*. Dispense di lezione, Politecnico di Torino p.138. Riferito a: [<http://www.commissionegeodetica.it/presentaz.html>]

donò l'elaborazione della cartografia tradizionale. Questa possibilità fu permessa dalla Era informatica.

La differenza sostanziale, tra la tradizionale e la numerica, sta nella natura del dato. La cartografia numerica trasforma il dato cartografico in informazione. Esso è programmabile tramite un computer e può essere gestito dall'utente per processi analitici, di tematizzazione e di integrazione con altri dati. Però, nello stesso tempo, il dato può essere archiviato o condiviso tramite apposite piattaforme online. La numerica fornisce informazioni metriche in forma di dati numerici e in forma di visualizzazione video.

La visualizzazione è infatti parte integrante della cartografia numerica, poichè risulta in scala 1:1. Visto che ad ogni punto rilevato vengono associate coordinate assolute.²⁵

25.Rinaudo F. *Appunti di cartografia*. Dispense di lezione. Politecnico di Torino. p.94

Questo, però, non deve essere motivo di abbattimento del concetto di scala nominale di una carta. Importante, nella costruzione di una carta, tenere presente che la carta deve essere prodotta seguendo un determinato rapporto di scala a seconda dell'utilizzo che vogliamo farne. Questo rapporto, come per quella tradizionale, nella carta numerica indica un grado di precisione metrica e qualitativa.

La cartografia numerica ha quindi i caratteri della cartografia tradizionale, ma con sistemi di gestione dell'informazione molto più avanzati. I software di gestione di cartografia numerica per GIS o CAD sono molteplici e i formati, in cui si possono esportare, altrettanto (DXF, Shape-

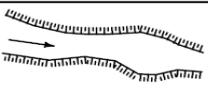
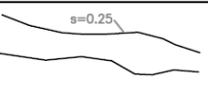
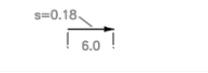
CODICE	ENTITA' D.B.	DEFINIZIONE	RAPPRESENTAZIONE COMPLESSIVA	RAPPRESENTAZIONE SUL LIVELLO E SPECIFICHE (mm)
020101	Polilinea	Fiume o torrente con larghezza del letto rappresentabile		
020101V		Simbolo per cod. 020201-020102 022101-022102		
020102	Polilinea	Torrente, rio con larghezza del letto non rappresentabile		

fig.2 - Estratto del documento: *Codifiche C.T.R. 1:10000 Livello: Idrografia*. Ufficio Cartografia e Informazioni Territoriali. Regione Marche.

file, etc.). Questo per favorire l' interoperabilità anche "attraverso una struttura condivisa delle informazioni e una definizione univoca, e indipendente dalle piattaforme utilizzate, delle entità geometriche."²⁶

La cartografia, come fonte di riconoscimento di un luogo, deve dotarsi di elementi che contraddistinguono un territorio ovvero: la viabilità, l' orografia, la vegetazione, le costruzioni, etc. Questi elementi vengono riportati sulla cartografia numerica sotto forma di geometrie o entità geometriche. Poligoni, linee e punti sono le entità che la cartografia numerica riconosce, a cui l' utente attribuisce le informazioni. I contenuti delle carte, infatti, devono avere dei codici chiamati codifiche.

"Per codifica in cartografia si intende associare all' entità geometrica un codice numerico o alfanumerico che la renda riconoscibile nel contesto generale della cartografia numerica realizzata."²⁷

Realizzare un sistema di codifica consiste nell'individuare le macro categorie (idrografia,costruzioni,viabilità,etc.) e ad esse si associa un codice numerico. A questo codice numerico si aggiungeranno altri codici che

26. Scianna A., Ammoscato A., Corsale R., Sciortino A., Villa B. (2005) *Modalità Standard per la strutturazione di Cartografia numerica per GIS*. Palermo: C.N.R. DAST - Dipartimento di Rappresentazione.

27.Rinaudo F. *Appunti di cartografia*. Dispense di lezione. Politecnico di Torino. p.104

andranno a comporre il codice totale dell'entità. Queste aggiunte sono i codici che identificano le sottocategorie (fig.2). Ad esempio la grande categoria idrografia, si dividerà in: fiumi principali, secondari, ecc.

La georeferenziazione

La localizzazione è un' informazione territoriale di tipo spaziale per cui il dato non si può dissociare perchè può essere considerata l' attributo più importante che un oggetto può possedere, in ambito cartografico. Questo rilevante riferimento è indice di qualità e accuratezza dei dati territoriali.

Georeferenziazione, è un neologismo usato per indicare una serie di corrispondenze tra: informazioni territoriali, oggetto, epoca del rileva-



fig.3 - Orbite dei satelliti GPS.
Recuperato da
www.pages.drexel.edu

mento del fenomeno e stima della posizione spaziale.²⁸ La georeferenziazione permette agli utenti che gestiscono le informazioni territoriali di poter muoversi senza ambiguità e incertezza.²⁹ Nei GIS è fondamentale che i dati siano georeferenziati correttamente in un sistema di riferimento omogeneo per tutti.

In questa tesi verrà spiegata, nella fase di elaborazione cartografica, che i dati cartografici per poter essere integrati al rilievo fotogrammetrico, acquisito nel sistema WGS84, sono stati georeferenziati, usando un software applicativo, trasformando il sistema di riferimento con cui sono stati prodotti. Tramite questa operazione è stata fatta una georeferenziazione con conseguente armonizzazione dei dati cartografici.

I sistemi di posizionamento globale: i GPS

Il sistema GPS (Global Positioning System) nasce da un progetto del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti d'America, chiamato NAVSTAR GPS. Gli americani lanciarono il primo satellite nello spazio nel 1978. Essi orbitano coprendo tutta la superficie della Terra, di modo che ogni suo punto sia osservabile contemporaneamente da tre satelliti. In questo modo il posizionamento risulta risolubile con sole tre distanze. In aggiunta, per ridurre l'ambiguità di posizionamento, viene calcolata una quarta distanza da un altro satellite.

La sua funzione è principalmente quella di determinare la posizione dei punti sulla superficie terrestre. Tramite il GPS possiamo conoscere le

28. Gomasca M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento.

29. Surace L. *La georeferenziazione delle informazioni territoriali in Italia*,



fig. 4 - Ricevitore GNSS. GEO-MAX Modello STONEX S10.
Da: www.i3map.fr

coordinate geocentriche x,y,z dei punti, risolvendo molti problemi cartografici.

La diffusione dei GIS è stata incrementata dalle tecniche di rilevamento GPS, anche se in realtà ne hanno beneficiato tutte le discipline della geomatica applicata al rilevamento del territorio.

L' applicazione dei sistemi satellitari al rilievo, è definita con l' acronimo GNSS (Global Navigation Satellite System). L'uso dei ricevitori GNSS (fig.4) nella rappresentazione del patrimonio ha ridotto i costi, semplificato le complessità e integrato i sistemi di fotogrammetria aerea da UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) alla cartografia.

All'atto pratico per orientare l'area da rilevare con UAV è importante che si fissi il ricevitore GNSS al suolo per diversi minuti (*stazionamento*). Poi si attende che venga riconosciuta la sua posizione dai satelliti in orbita. Eseguendo questa operazione su più punti a terra di "controllo", è possibile orientare un rilievo urbano accuratamente.

Servono a costruire un'estesa rete d'inquadramento per il rilievo territoriale, per una maggiore accuratezza, quando vi è l'impossibilità di costruirne una con metodi celerimetrici³⁰ ad esempio nel rilievo in tessuti storici compatti.

I sistemi informativi geografici: GIS

I sistemi GIS, nella definizione americana *Geographic Information System*, vengono utilizzati nel campo della rappresentazione di fenomeni del mondo reale. Con i GIS è possibile gestire oggetti reali sulla superficie terrestre perché tradotti in formati vettoriali e raster in modo da permettere il normale utilizzo dall'utenza.

Geographic, perché questi sistemi lavorano per la rappresentazione del territorio gestendo dati geografici.

Information, perché ad oggetti o entità possiamo attribuire informazioni di natura numerica, testuale, etc..

System, perché è un sistema formato da Hardware, procedure software e utenti e fanno parte del sistema organizzativo per il corretto funzionamento.³¹

30. Metodo di rilevamento topografico che utilizza i distanziometri a onde (stazioni totali) e prismi riflettenti (ricevitori) per creare una rete di inquadramento di supporto al rilievo diretto. Si determinano le coordinate plano-altimetriche riferite ad un sistema di riferimento locale.

31. Rinaudo F. (2017). *Fondamenti di GIS*, Dispense di lezione, Politecnico di Torino

Le informazioni, nei sistemi informativi geografici, sono in pratica gli attributi di un dato geografico. Essi vengono definiti qualitativamente, quantitativamente e spazialmente perché la correlazione qualitativa dei dati in un GIS è rappresentata dal sistema di riferimento. I dati possono così diventare strumento di interrogazione. (Surace L.)

“Cowen (1988) definisce un GIS come un sistema per il supporto alle decisioni su problemi di carattere ambientale utilizzando dati spazialmente riferiti”³²

32. Gomarasca M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento. p.10

Il GIS diventa, quindi, un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS). Come un mezzo per prevedere un evento o un disastro ambientale attraverso l'osservazione e l'analisi di un modello del mondo reale.

L'evoluzione dei GIS

La seconda metà del 1900 ha visto la progressiva crescita e lo sviluppo delle tecnologie legate all'elettronica e ai computer. Ne beneficiarono anche le scienze geografiche e cartografiche con un miglioramento nel sistema di lavoro e produzione.

Le prime sperimentazioni nella gestione del territorio furono in Nord America, patria dei SIT - Sistemi Informativi Territoriali (dall'inglese GIS).³³

33. Biallo G. *Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici*. MondoGIS. p.6

Negli anni '60 furono sviluppati software GIS che permettevano di elaborare dati geografici e di realizzare semplici carte tematiche. (Chrisman, 1988, citato da Biallo G.) I primi utenti erano istituti accademici

ed enti governativi per finalità scientifiche e politiche.

Dopo primi tentativi, mal riusciti, di commercializzare i software GIS, venne realizzato il primo vero e proprio SIT denominato C.G.I.S. (Canada Geographic Information System). (Tomlinson, 1967, citato da Biallo G.)

Fu studiato un modello topologico e uno scanner per l'acquisizione della cartografia. Nel 1971 il sistema era operativo e contenente una ampia banca dati.³⁴

L'evoluzione dei Personal Computer unitamente ad un interesse del pubblico per la conoscenza del territorio ha permesso il miglioramento di questi software come li usiamo noi oggi. Programmi, che da base OpenSource, possono essere gestiti da soggetti privati, senza elevate competenze informatiche o geografiche. Questo cambiamento di utenza è dovuto all'evoluzione del GIS inteso più come servizio che come tecnologia.

L'avvento di Internet ha permesso lo sviluppo dei GIS e la crescita dell'informazione. Si può dire, oggi, di aver raggiunto uno stato di informazione globalizzata.³⁵ Permessa da un utenza maggiore, dalla velocità di trasferimento dei dati, e dall'aumento delle informazioni disponibili. La tecnologia in ambiente Web permette che i dati siano disponibili a tutti. Tra i servizi GIS ci sono documenti redatti da un organizzazione *Open Geospatial Consortium* attiva nella divulgazione di specifiche tecniche riguardo lo sviluppo di prodotti e servizi in ambiente GIS. Gli standard

34. Biallo G. *Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici*. MondoGIS. p.7

35. Bottaro A. (2007). Dal GIS al GIS. Dall'ingegneria dei Sistemi a quella dei servizi. *GEOmedia*. Numero 1/07. p. 6

36. Standard OGC e documenti di supporto. Da: www.opengeospatial.org

37. Goodchild M.F., Glennon J.A. Crowdsourcing geographic information for disaster response: a research frontier. *International Journal of Digital Earth*. Vol. 3, No. 3, September 2010, pp. 231-241

38. Turner, A. (2006). *Introduzione alla neogeografia*. O'Reilly Media, Inc.

OGC sono i “prodotti” principali tra cui i WMS, i WCS, e i WFS.³⁶

L'evoluzione dei GIS ha portato al loro utilizzo in ambiente Web permettendo la divulgazione delle informazioni territoriali e il loro uso su internet senza scaricare specifici software. Ad esempio, in Italia le regioni sviluppano strumenti WebGIS, in cui è possibile consultare carte GIS e scaricarne i dati in modo semplice.

Lo sviluppo del GIS ha permesso una semplificazione nel suo utilizzo con conseguente aumento degli utenti per questo i dati geospaziali sono in continua crescita, anche grazie al *crowdsourcing*.

Questo termine è legato al concetto che l'informazione proveniente da una folla di persone possa essere più veritiera e attendibile di un solo osservatore anche se esperto³⁷. Il crowdsourcing può dirsi figlio dell'era moderna, in campo cartografico, in cui le informazioni geografiche vengono trattate non solo da professionisti. Questo fenomeno moderno viene descritto con la neogeografia, che combina le complesse tecniche di cartografia e GIS e le colloca alla portata di utenti e sviluppatori.³⁸ Oggi, soprattutto per quanto riguarda la strutturazione dei dati in risposta alle emergenze, dovute a eventi catastrofici che recano danni al territorio, è fondamentale il lavoro della società nel campo dell'informazione geografica.

Le VGI (Informazioni Geografiche Volontarie) stanno alla base di questo nuovo sistema di condivisione e divulgazione delle informazioni, tuttavia possono destare ancora qualche perplessità sulla loro attendi-

bilità, anche se permettono di incrementare il numero di informazioni disponibili e aggiornate rispetto agli eventi che modificano il territorio, estendendo notevolmente le applicazioni del *Rapid Mapping* e dell'*Emergency Mapping*.

“Gli esempi di applicazioni del VGI, ed in particolare di OSM *OpenstreetMap*, in contesti emergenziali sono diversi e sono oggetto di studi approfonditi a livello accademico e governativo. Il caso più famoso è il terremoto di Haiti nel gennaio 2010³⁹

Non devono essere prese come fonti sostitutive rispetto a quelle delle agenzie ufficiali, ma sono da considerare un'aggiunta di informazioni in risposta a determinati fenomeni come un evento sismico. “La società è ora entrata in una nuova era in cui l'informazione geografica non sarà solo utilizzata da tutti, ma creata da tutti, o almeno da una fitta rete di osservatori”⁴⁰

I GIS per le aree in stato di emergenza

Da anni, le tecniche topografiche, vengono impiegate per le attività di soccorso come supporto operativo agli eventi catastrofici che colpiscono il territorio italiano. Per far fronte all'emergenza sono nate vere e proprie figure occupate nella gestione di primo soccorso attraverso la mappatura di cartografia tematizzata per monitorare in tempo reale scenari complessi⁴¹.

Il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco nelle missioni di soccorso, da

39. Lupia,F, Minghini,M., Napolitano,M., Palams,A., Saretta,A., (2016) *VGI ed Emergenze*. *GEOMedia* 5(2016):26-30

40. Goodchild M.F., Glennon J.A. Crowdsourcing geographic information for disaster response: a research frontier. *International Journal of Digital Earth*. Vol. 3, No. 3, September 2010, pp. 231-241

41. Cuzzocrea F., Priori F. (2014). *Le tecniche topografiche applicate al soccorso*. *GEOMedia*. n°3-14. pp 10-14

tempo, integra l'effettiva attività di intervento tecnico d'urgenza con l'uso degli applicativi GIS a scopo operativo anche in collaborazione con le VGI.

I GIS, oltre ad essersi evoluti per semplificare l'elaborazione cartografica, sono considerati dei buoni strumenti per la gestione delle emergenze perchè sono utilizzati per organizzare i piani di recupero su scala ambientale. Il GIS viene utilizzato per le attività di protezione civile nelle diverse fasi, il quale diventa a tutti gli effetti un supporto alle strategie decisionali e di intervento⁴². Il controllo dei dati di un GIS può essere di aiuto per la gestione dei disastri e delle zone a rischio sismico.

I recenti terremoti in Italia hanno dato l'input alla programmazione di nuovi applicativi sempre più aggiornati per far fronte alle situazioni di forte emergenza. L'obiettivo è quello di permettere il libero scambio delle informazioni indipendentemente dagli enti o gli uffici che possiedono tali informazioni, in modo che tutti possano consultare queste informazioni grazie a semplici navigatori sul web.

Il gruppo della Protezione Civile mette a disposizione un *dataset* di dati cartografici aggiornati settimanalmente per descrivere le attività di ripristino e lo stato di avanzamento lavori nei territori colpiti dal sisma.⁴³ Come nel caso del terremoto del centro Italia, oggetto di questa tesi, in cui vengono messi in luce dei dati sulla popolazione dei comuni inseriti nel cratere sismico, oltre che la localizzazione GIS dei *container* per le abitazioni temporanee, tramite servizi web per la comunicazione "tra-

42. Albanese V. *Il Gis per la gestione dell'emergenza_L'applicativo ERIKUS*. Dipartimento della Protezione Civile recuperato da www.architettiarezzo.it

43. Terremoto Centro Italia - Mappe interattive. Protezione Civile. Recuperato da www.protezionecivile.gov.it

sparente”.

La Fotogrammetria per il rilievo di beni architettonici e ambientali

“La fotogrammetria è la scienza che consente di ottenere informazioni affidabili di oggetti fisici e dell’ ambiente attraverso processi di registrazione misura e interpretazione di immagini fotografiche e campioni di energia radiante elettromagnetica e altri fenomeni.”⁴⁴

Dalla fotogrammetria si possono ricavare informazioni metriche di un oggetto fisico attraverso l’ acquisizione da sensori ottici, camere fotografiche, di immagini da differenti punti di vista.⁴⁵ Questa prima operazione è chiamata fase di presa fotogrammetrica.

L’ elaborazione fotogrammetrica si basa sul principio che ogni punto oggetto ha un corrispettivo punto immagine determinato attraverso leggi

44. Slama, C. (1980). *Manual of photogrammetry (4th ed.)*. Falls Church: American Society of Photogrammetry.

45. Dominici D., De Bernardis P., Alicandro M., Rotilio M. (2018). *Fotogrammetria da UAV negli interventi di recupero: dalla fase pre-progettuale al cantiere*. *GEOMedia*, n°1-18, pp. 6-9.

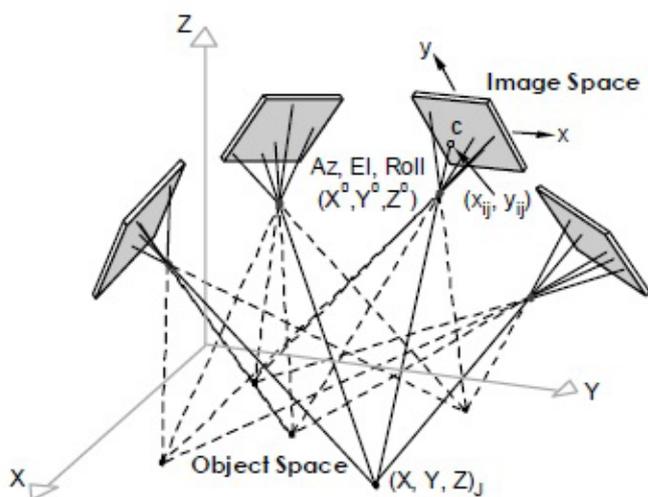


fig.5 - Triangolazione fotogrammetrica per il rilievo fotogrammetrico. Immagine recuperata da: *Basics of Photogrammetry*. Dispense di Lezione. Politecnico di Torino. p.12

46. Gomarasca M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento. p.82

47. Gomarasca M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento. p.82

48. Spanò A. (2010) Dispense del corso: *Fotogrammetria digitale e scansioni 3D*. Politecnico di Torino

49. Spanò A. (2010) Dispense del Corso di Fotogrammetria digitale e scansioni 3D. Politecnico di Torino

di trasformazione i cui parametri sono identici per ogni suo punto.⁴⁶

I parametri di coordinate X_0, Y_0, Z_0 del centro di presa rispetto al sistema di riferimento oggetto,⁴⁷ il sistema cartografico, determinano la posizione e l'assetto nello spazio.⁴⁸ Vengono chiamati dell'orientamento esterno. La determinazione di tali parametri avviene tramite un processo chiamato triangolazione fotogrammetrica. (fig.5)

In cui vengono calcolate le corrispondenze tra le coordinate immagine di un *punto immagine* e le coordinate oggetto di un relativo *punto oggetto*, un procedimento chiamato fase di orientamento.

La fotogrammetria applicata al rilievo dell'architettonico e del territorio *cattura* ogni punto del bene, ambientale o costruito, che grazie a corrispondenze di punti immagine può essere riprodotto sotto forma di modello parametrizzato. I passaggi per la determinazione di un modello misurabile, editabile e integrabile con rilievi ulteriori, definibile graficamente, sono compresi nella fase di ricostruzione⁴⁹.

La fotogrammetria, come già implicitamente affermato, è una scienza che deriva dalla fotografia. La fotografia non è altro che una trasformazione del mondo tridimensionale al mondo bidimensionale. Sulla base di ciò, non è scontato che si possano attuare processi di inversione per risalire all'informazione di profondità, ma è proprio questo che la fotogrammetria permette.

La ricostruzione dell'oggetto si ottiene attraverso l'acquisizione di minimo due differenti immagini. Per una maggiore completezza nella ri-

costruzione c'è bisogno di più immagini.⁵⁰

Le immagini acquisite non sono altro che fotografie o fotogrammi, in base al loro impiego per fini metrici, di natura analogica, digitale.⁵⁰ La natura del fotogramma è dato dall'approccio: analogico, nel caso in cui la ricostruzione delle corrispondenze geometriche è data dall'azione di componenti ottici, meccanici ed elettronici su restitutori analogici; o digitale, approccio in cui riversa la fotogrammetria odierna, qualora i fotogrammi vengano acquisiti direttamente in un formato digitale tramite camere fotogrammetriche digitali.⁵¹

La fotogrammetria digitale

Il digitale ha introdotto novità nelle fasi di orientamento e restituzione del processo fotogrammetrico. Avviene in maniera automatica. Tramite processi di ricostruzione basata su algoritmi di correlazione, *image matching*. Questa automazione consente di velocizzare le operazioni di restituzione.⁵² Permette il riconoscimento di segnali o altre forme sulle immagini digitali per l'individuazione di punti legame (omologhi), detti *Tie Points*. In funzione di determinare la posizione di un'immagine all'interno di un'altra.⁵³

Questi segnali vengono riconosciuti come entità su immagini in funzione dei valori radiometrici, tramite processi di correlazione automatica, autocorrelazione, o ABM⁵⁴ (Area Based Matching).

I vantaggi del passaggio dall'utilizzo del digitale, ormai assodato in fo-

50. Spanò A. (2010) Dispense del Corso di Fotogrammetria digitale e scansioni 3D. Politecnico di Torino

51. Gomasasca M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento. p.80

52. Spanò A. (2010) Dispense del Corso di Fotogrammetria digitale e scansioni 3D. Politecnico di Torino

53. Spanò A. (2012) Dispense del Corso di Fotogrammetria digitale e scansioni 3D. Politecnico di Torino

54. "L' ABM (Area Based Matching) è basato sul confronto statistico dell'intensità di grigio, o del valore RGB, tra i pixel delle immagini."
Da: Spanò A. (2012). *Corso di Fotogrammetria digitale e scansioni 3D*. Politecnico di Torino.

togrammetria, sono diversi: un' elevata risoluzione radiometrica, minor tempo dalla fase di presa per la disponibilità delle immagini, facilità e maggiore velocità di elaborazione, riproducibilità dell' originale in tempi brevi e a costi moderati e, infine, la possibilità di inserimento in sistemi informativi e di gestione, come i GIS.⁵⁵

55. Gomarasca M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento. p.101

Le immagini digitali

Sono il dato primario della fotogrammetria digitale. Sono particolari immagini fotografiche acquisite direttamente in formato digitale o analogica sottoposta a scansione con conseguente digitalizzazione.

56. Gomarasca M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento. p.101

“L' immagine si forma partendo da un segnale elettrico analogico che viene trasformato in pixel da un convertitore analogico-digitale attraverso un processo di campionamento.”⁵⁶ Ai pixel vengono assegnati valori RGB⁵⁷ differenti. Un elaboratore ricostruisce i colori dei pixel attraverso i valori caratteristici.

57. RGB, R (red) G (green) B (blue) è il sistema colorimetrico standard introdotto dal CIE (International Commission on Illumination) nel 1931. Da www.cie.co.at

Le immagini digitali conservano informazioni numeriche, permettendo la loro lettura da un calcolatore, sostituendo così il restitutore fotogrammetrico tradizionale. Queste informazioni sono contenute all' interno dell' immagine sotto forma di pixel formando una matrice numerica. Essa non è altro che una rappresentazione, chiamata raster, ottenuta suddividendo l' immagine fotografica in elementi di dimensione finite, posizione fissa, ma soprattutto non variabile nel tempo. E' così possibile determinare una corrispondenza biunivoca tra il pixel e una coppia di

coordinate x e y .⁴⁶ Questa caratteristica risulta fondamentale nei processi di autocorrelazione di diversi fotogrammi nell' *image matching*.

Proprietà importanti delle immagini digitali per gli usi fotogrammetrici sono:

- Risoluzione, ovvero i *dpi* di un immagine. Indica il numero di pixel contenuti in unità di lunghezza.
- Profondità di colore, che indica la quantità di colore registrabile con l'immagine. Bianco e nero, a toni di grigio e RGB. Quest'ultima corrisponde alla maggiore quantità di colore ottenibile. In totale 16 milioni.⁵⁸

La fotogrammetria aerea

Le tecniche di rilievo dei beni architettonici e ambientali sono compresi e suddivisi in due campi applicativi della fotogrammetria tradizionale: terrestre e aerea.

La fotogrammetria aerea si basa sullo stesso principio della fotogrammetria tradizionale terrestre, ovvero che “la presa di una stessa da due punti di vista, o centri di proiezione, diversi consente, sotto certe condizioni, di ottenere una visione tridimensionale, detta stereoscopica, dell'oggetto osservato.”⁵⁹

Partendo da questo presupposto è possibile ottenere una ricostruzione ad alta risoluzione del territorio.

La differenza quando si parla di fotogrammetria aerea, in senso pratico,

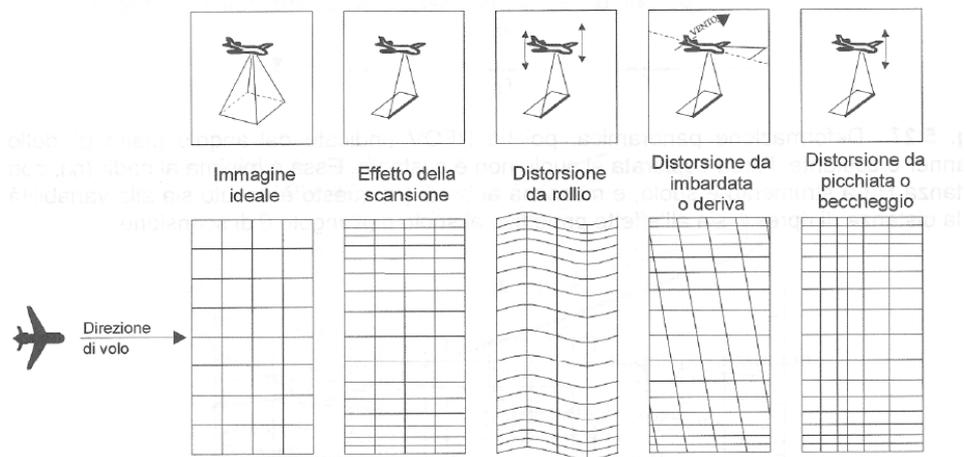
58. Spanò A. (2010) Dispense del Corso di Fotogrammetria digitale e scansioni 3D. Politecnico di Torino

59. Gomasca M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento.

è che la presa dei fotogrammi avviene dall'alto. Tramite camera aerea montata su un aeromobile. Attraverso questo metodo di acquisizione è possibile rilevare grandi porzioni di territorio. Il velivolo deve mantenere una posizione fissa con andamento e velocità costante durante l'acquisizione. Questo fa sì che non si abbiano problemi dovute alla distorsione dell'immagine (fig.6).

fig.6 - Effetti sulle immagini in base all'andamento di volo da aereo.

Da: *Strumenti di osservazione e Misura*. Dispense. Politecnico di Torino



Importante nel rilievo fotogrammetrico è quindi il *fattore di scala* utilizzato. Esso è il rapporto tra lunghezza focale f dell'obiettivo della camera e la distanza H tra il sensore e l'oggetto da rilevare.

$$\text{Fattore di scala: } f / H$$

Il fattore di scala è deciso prima dell'acquisizione dei fotogrammi in modo da raggiungere il livello di dettaglio prefissato per il rilievo. E' bene sapere che all'aumentare della f e la riduzione di H si ottiene un miglioramento della qualità fotogrammetrica della scena rilevata. Quin-

di il rapporto di scala risulterà maggiore e il prodotto più dettagliato.⁶⁰

La fotogrammetria con presa aerea è stata notevolmente impiegata per la produzione di cartografia, ed è tutt'ora necessaria per l'aggiornamento della cartografia nazionale a piccola scala (1:25000, 1:50000 e 1:100000) e per la Cartografia Tecnica Regionale, C.T.R., a 1:5000 e 1:10000.⁶¹ Oltre alla produzione di carte topografiche, vengono prodotte anche carte tematiche e modelli digitali di elevazione chiamati DTM (Digital Terrain Model), DSM (Digital Surface Model) o DEM (Digital Elevation Model) a seconda del tipo di rappresentazione. Infine, modelli tridimensionali di oggetti architettonici e complessi urbani.

Oltre ai prodotti numerici e vettoriali, sopra citati, con la fotogrammetria aerea è possibile ottenere anche prodotti immagine come le ortofotocarte.

Queste tecniche di rilievo da aeromobile hanno rivoluzionato i metodi di acquisizione digitale. Trovano oggi impiego nella creazione di modelli tridimensionali di intere città navigabili, i 3d City Models.⁶²

Grazie a tecniche di rilievo LIDAR⁶³ e fotogrammetria integrata seguiti da una successiva parametrizzazione 3D, si può ricostruire e documentare tutto il patrimonio culturale.

Attualmente le campagne di volo, per aeromobili utilizzati in fotogrammetria, sono regolamentate ai sensi degli ART. 788 e 793 del Codice di Navigazione, così come modificato dagli PAR 3 e 4 del D.P.R. 29 settembre 200, n 367.⁶⁴ Sono queste attività per cui è richiesta l'Autorizzazione

60. *Strumenti di Osservazione e misura*. Dispense. Politecnico di Torino

61. Spanò A. (2010) Dispense del Corso di Fotogrammetria digitale e scansioni 3D. Politecnico di Torino

62. Spanò A. (2010) Dispense del Corso di Fotogrammetria digitale e scansioni 3D. Politecnico di Torino

63. LIDAR (Light Detection and Ranging o Laser Detection and Ranging) tecnica di rilievo che sfrutta un impulso laser per il calcolo delle distanze di oggetti e superfici.

64. Chiabrando F., De Bernardi M. L., Roggero M. (2010). *Impiego di aerei ultraleggeri e camere di medio formato per la fotogrammetria aerea a grande scala*. Bollettino della società italiana di Fotogrammetria e Topografia. pp. 75-95

65. Spanò A. (2010) Dispense del Corso di Fotogrammetria digitale e scansioni 3D. Politecnico di Torino

66. Chiabrando F., De Bernardi M. L., Roggero M. (2010). *Impiego di aerei ultraleggeri e camere di medio formato per la fotogrammetria aerea a grande scala*. Bollettino della società italiana di Fotogrammetria e Topografia. pp. 75-95

67. Calantropio A., Chiabrando F., Spanò A. (2018) *UAV Photogrammetry and thematic maps for environmental risk assessment in construction safety*. EGU General Assembly 2018.

dall'Aviazione Civile. Quindi risulta spesso complicato organizzare un piano di volo.

La fotogrammetria aerea si è anche servita di mezzi aerei non convenzionali in cui vi era una scarsa manovrabilità. Si utilizzavano in passato mezzi quali mongolfiere con un range di misura scarso in cui l'acquisizione durante il volo era influenzata dal vento.⁶⁵

Attualmente i velivoli impiegati in voli fotogrammetrici sono sempre più leggeri e a basso costo. Negli USA vengono largamente impiegati aeromobili ultraleggeri dagli anni '80.⁶⁶

La fotogrammetria in ambiente aereo vede da qualche anno l'impiego di droni: vettori aerei con operatore a terra per le acquisizioni a distanza di fotogrammi. Tecnologie al servizio dell'uomo per svolgere un certo tipo di lavori di alto rischio per l'essere umano. Migliorando le condizioni svolgendo il lavoro in totale sicurezza. Questa tecnologia trova più spazio soprattutto nel campo delle costruzioni e nelle ispezioni visive di danni alle strutture dove il tasso di morti è alto. Il quadro strategico 2014-2020 introdotto dall'OSH (Occupational Safety and Health) ha come scopo il miglioramento dell'attuazione delle norme sulla sicurezza, e delle strategie di prevenzione, promuovendo la diffusione della tecnologia UAV.⁶⁷

Le camere tradizionali

Le camere aeree digitali, comparse dopo il 2000, sono state introdotte come supporto aerofotogrammetrico per le applicazioni di telerilevamento per fornire dati da utilizzare in ambiente cartografico. Un esempio di camere montabili su velivoli sono le Z/I Imaging DCM (DIGital Mapping Camera) che acquisiscono l'immagine a prospettiva centrale o nadirale.⁶⁸

Le camere oblique

Da qualche anno sono state introdotte nuove camere. L'acquisizione di immagini tramite camere oblique permette una migliore ricostruzione dell'oggetto architettonico. Queste camere hanno apportato miglioramenti in campo fotogrammetrico perchè con il loro utilizzo la generazione di *nuvole di punti dense* migliora.⁶⁹

Il rilievo tramite queste tecnologie permette un miglioramento nell'acquisizione dei fotogrammi, perchè orientate in due differenti direzioni: nadirale e obliqua. Visto che i dispositivi per le acquisizioni oblique sono stati introdotti successivamente, i sistemi, oggi in commercio e montati sui velivoli, dispongono di camere sincronizzate tra loro per entrambe le acquisizioni. Permettendo la presa sia immagini nadirali che di immagini oblique inclinate di 40-50°, in maniera simultanea nella fase di volo. In questo modo si hanno così maggiori informazioni sul rilievo del bene, ai fini di un monitoraggio di strutture in complessi urbani in emergenza sismica. “Le immagini oblique vanno a chiudere il

68. Spanò A. (2009) Dispense del Corso di Rilievo metrico 3D. Politecnico di Torino - DINSE

69. Gabriele Garnero. (2016). *Riprese aeree innovative per le emergenze*. GEOmedia, 20(5), GEOmedia, 01 December 2016, Vol.20(5).

70. Remondino F., Nex F., Rupnik E., Toschi I. (2014). Camere aeree oblique. Sistemi, applicazioni e prospettive future. *GEO-media*. n°3-14. pp 6-8

71. Fahlstrom, P., & Gleason, T. (2012). *Introduction to UAV systems* (4th ed.). Chichester (UK): Wiley. p.7

72. Calantropio A., Chiabrando F., Sammartano G., Spanò A.; Losè L. Teppati. (2018). UAV Strategies validation and remote sensing data for damage assessment in post-disaster scenarios. In: *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, pp.121-128

73. Einaudi, D., Chiabrando, F. (2019). Utilizzo Di Sistemi UAV Multi-sensore per La Modellazione 3d E La Realtà Virtuale. Tesi di Laurea. Politecnico di Torino.

tradizionale *gap* fra acquisizioni aeree ed acquisizioni terrestri”⁷⁰

La fotogrammetria da UAV

La tecnologia UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) ha visto la sua diffusione negli ultimi anni. Originariamente, questa tecnologia, nasce per usi militari. La sua evoluzione ha portato al suo utilizzo per scopi civili, anche in fotogrammetria. Il volo di UAV, in Italia, è regolamentato dall’ ENAC (Ente Nazionale di Aviazione Civile), a cui l’ operatore, dotato di apposito brevetto quando l’ APR supera i 300g, deve fare riferimento.

Gli APR (Aeromobili a Pilotaggio Remoto) sono UAV pilotati da una posizione *remota* di un operatore. E’ bene precisare, però, che non tutti gli UAV possono essere chiamati anche APR perchè il volo può essere programmato precedentemente la missione, e quindi volare autonomamente.⁷¹

Gli UAV, come strumenti della geomatica per il rilievo, hanno portato notevoli benefici in termini di: risparmio di tempo, sicurezza degli operatori, affidabilità e accuratezza dei risultati.⁷²

Questi aeromobili vengono in aiuto dell’ operatore nel caso in cui egli debba fare delle acquisizioni rapide a costi contenuti a quote drasticamente più basse. La fotogrammetria da aereo classica per ragioni di sicurezza non permetteva voli sotto i 300 metri di quota per fattori di sicurezza.⁷³

L’ innovazione, che questi sistemi hanno introdotto nella geomatica, ha

limitato l'uso del *Remote Sensing* (telerilevamento) nel mappaggio del territorio, quando è richiesta maggiore accuratezza. Anche se ancora oggi viene considerata la fonte primaria per il *Rapid Mapping* (Mappaggio Rapido)⁷² perchè l'accuratezza delle immagini da UAV è superiore per via delle camere ad alta risoluzione montate sotto. Si riesce ad ottenere un'accuratezza delle rilievi inferiore a 5 centimetri con gli UAVs.

Piattaforme e sensori

Gli APR vengono pilotati manualmente. La posizione degli UAV viene controllata dall'operatore esperto regolando l'altezza e la velocità di base. Attraverso un radiocomando collegato ad un dispositivo digitale: tablet o smartphone. Inoltre, tramite sistemi di navigazione come GPS⁷⁴ gli UAVs possono essere programmati per un volo autonomo e costantemente monitorati, senza controllo manuale.⁷⁴

Gli UAVs ad uso fotogrammetrico sono di svariati tipi. Di base si suddividono in taglia piccola, media o grande, che varia in base alla dimensione e al peso. Vengono classificati anche in base alla tipologia: ad ala fissa o multi-rotore. Gli APR multi-rotore si suddividono in *eptacotteri*, *esacotteri*, e *quadricotteri* a seconda del numero di bracci con *rotori* (eliche) montate in sommità. Essi servono a conferirgli la stabilità anche in situazioni di vento forte.

Come nella fotogrammetria aerea tradizionale per eseguire corrette acquisizioni in un volo con UAV è necessario impostare prima dei para-

74. Fahlstrom, P., & Gleason, T. (2012). *Introduction to UAV systems* (4th ed.). Chichester (UK): Wiley. p.8

metri che lo strumento eseguirà durante l'acquisizione. Si determinano: la quota di volo in base alle caratteristiche tecniche della camera per acquisire le immagini, come la distanza focale e la risoluzione dell'immagine ottenibile.

Per consentire la stabilità dell'obiettivo della camera, risolvendo i problemi di distorsione dell'immagine, dovuto all'impiego di questi mezzi ultraleggeri, la grande maggioranza degli APR ha un supporto motorizzato, a cui è attaccata la camera digitale, chiamato *Gymbal*.⁷⁵ Esso fa fronte alle vibrazioni del velivolo leggero durante il volo di rollio e di beccheggio.⁷⁶

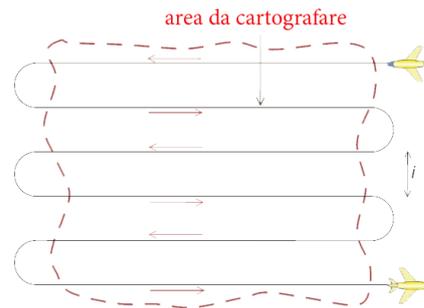
La traiettoria di volo che lo strumento deve necessariamente eseguire per un rilievo fotogrammetrico è per *strisciate* parallele. E' buona pratica eseguire anche delle traiettorie secondo *strisciate* ortogonali che aumentino la sovrapposizione di fotogrammi (*overlap*).⁷⁷ (fig.7)

75. De Meis, G. (2017). *Manuale sull'impiego dei droni (Sistemi aeromobili a pilotaggio remoto)*. Phasar Edizioni.

76. *Rollio*: rotazione lungo l'asse longitudinale dell'aeromobile. *Beccheggio*: rotazione lungo l'asse trasversale dell'aeromobile.

77. Einaudi, D. & Chiabrando, F. (2019). *Utilizzo Di Sistemi UAV Multi-sensore per La Modellazione 3d E La Realtà Virtuale*.

fig.7 - *Strisciate* parallele. Illustrazione post-prodotta da: corso Cannarozzo, Cucchiarini, Meschieri, (2012) *Misure, rilievo, progetto*. Bologna: Zanichelli editore.



Accenni alla Normativa SAPR⁷⁹

Il volo di Aeromobili a Pilotaggio Remoto è regolamentato dalla Normativa nazionale. La legislazione italiana in materia di APR fa riferimento a quella europea risultando molto simile a livello legislativo e amministrativo. Si sta cercando di unificare la normativa per avere un regolamento unico a cui attingere alle direttive per l' utilizzo dei SAPR. L' *ENAC- Ente Nazionale Aviazione Civile* si occupa in Italia di regolamentare il volo e l' utilizzo di questi sistemi. La stessa Enac fa riferimento all' *EASA - European Union Aviation Safety* che è l' ente europeo per la sicurezza aerea.

Prima di effettuare il volo è necessario richiedere l' autorizzazione ENAC, che deve dare il via libera per procedere alle operazioni. Essa può vietare il sorvolo in zone sul territorio nazionale per motivi di sicurezza. Ad esempio all' interno di determinate zone aeroportuali ATZ (*Aerodrome Traffic Zone*), è vietato il sorvolo di APR.

Per il controllo delle zone regolamentate, vietate e pericolose per il volo di APR è bene consultare i NOTAM: documenti pubblicati dall' ENAV - Ente Nazionale per l' Assistenza al Volo. La violazione dei codici della navigazione comporta reati penali.

La normativa classifica le operazioni sulla base delle loro *criticità*. Intese come operazioni operative divise in un due possibili scenari operativi: critiche e non critiche.

In determinate condizioni dettate dal peso dell' aeromobile e la sua inf-

78. SAPR: Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto.

fensività, oppure da luogo di volo e la distanza dai centri abitati si classifica l'operazione.

Aldilà del tipo di scenario operativo, ad oggi, è vietato il sorvolo di aree congestionate: ovvero assembramenti, anche temporanei, di persone, per un fattore di sicurezza che questa tecnologia ancora non assicura nella sua totalità.

La fotogrammetria da UAV in scenari post-sismici

Nell'ambito della documentazione di scenari post-sismici il *Disaster Management*, come gestione delle emergenze sismiche, interessa la geomatica nelle fasi iniziali di recupero del patrimonio.⁷⁹ Un evento calamitoso, come un terremoto di grave entità, però rende queste aree inagibili e inaccessibili e tuttalpiù non sicure.

Tra gli strumenti utili all'indagine di vulnerabilità di queste aree troviamo l'UAV, infatti "dall'uso consolidato in ambiente militare, è un'ottima piattaforma di acquisizione di dati per rilievi metrici dei danni nelle zone inaccessibili per l'essere umano o comunque non in sicurezza"⁸⁰ Tutt'ora vi è difficoltà nel rilevare tramite strumenti di acquisizione terrestre la "zona rossa", essendo per definizione un'area inagibile e *off-limits* per i non addetti alla messa in sicurezza. La fotogrammetria da UAV agevola le operazioni del rilevatore in questo senso.

Grazie all'estrema flessibilità di volo, gli UAVs possono avere accesso a qualsiasi posto con il pilota posto ad una distanza sicura, permessa dal

79. Calantropio, A, Chiabrandò, F, Sammartano, G, Spanò, A, & Losè, L. Teppati. (2018). UAV strategies validation and remote sensing data for damage assessment in post-disaster scenarios. In: *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*. - ISSN: 1682-1750.

80. Dominici,D., De Bernardis, P., Rotilio,M., Alicandro,M., (2018). *Fotogrammetria da UAV negli interventi di recupero:dalla fase pre-progettuale al cantiere*. GEOMEDIA n°1

controllo in remoto.

Inoltre la possibilità di volare a bassa quota rende le missioni di rilievo sempre più rapide e low-cost acquisendo prodotti digitali di alta qualità.

Il Building Damage Assessment

Il rilievo dei danni dopo il sisma è una pratica utile e necessaria; soprattutto per quanto riguarda i centri storici, nuclei vulnerabili che devono necessariamente conservare la loro identità attraverso un restauro consapevole e programmato attraverso valutazioni preliminari dello stato di fatto. Il ripristino risulta di particolare difficoltà quando vi è una scarsa e non esaustiva conoscenza del manufatto.

Lo stato di emergenza di un territorio colpito da un evento sismico necessita di avere particolare attenzione per quanto riguarda le attività di gestione tecnica. Per emergenze di rilevanza nazionale è il Dipartimento di Protezione Civile che coordina le operazioni di gestione insieme alle Amministrazioni competenti del territorio. Il loro supporto tecnico in pratica è dato da perizie e sopralluoghi nei siti post-sismici per redigere il “Censimento Danni e Agibilità post evento delle costruzioni.”⁸²

“Come noto, le campagne di sopralluogo si effettuano con l’ausilio della Scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell’emergenza post-sismica (AeDES).”⁸¹

La scheda AeDES introdotta con il terremoto del umbro-marchigiano nel 1997 è lo strumento di riferimento ufficiale che oggi viene utilizza-

81. Baggio, C. Bernardini, A. Colozza, R. Corazza, L. Della Bella, M. Di Pasquale, G. Dolce, M. Goretti, A. Martinelli, A. Orsini, G. Papa, F. Zuccaro, G. (2002). *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell’ emergenza post-sismica*. Roma: Editrice Italiani nel Mondo srl.

to per censire i danni e i livelli di agibilità che generalmente vengono stabiliti in tempi ristretti, sul posto e in base all'interpretazione di un rilevatore esperto. L'agibilità si può definire nel seguente modo: "la valutazione di agibilità in emergenza post-sismica è una valutazione temporanea e speditiva – vale a dire formulata sulla base di un giudizio esperto e condotta in tempi limitati, in base alla semplice analisi visiva ed alla raccolta di informazioni facilmente accessibili"⁸¹

L'agibilità è definita con un esito specifico assegnato dal rilevatore in base alla classe di danno dell'edificio ordinario. Le classi di danno attribuite dalla Protezione Civile si rifanno alla EMS98 ma con delle variazioni. La compilazione della scheda di 1° livello sancisce l'esito di agibilità dell'edificio oggetto di valutazione e si classifica come segue:

La compilazione deve concludersi con un esito intrinseco del fabbricato

fig.8 - Estratto della scheda AeDES compilata dagli organi di Protezione Civile durante le fasi di ispezione delle strutture inagibili nei luoghi colpiti dal sisma. Le lettere indicano l'esito AeDES assegnato.

Tratto dal *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica*.

A	Edificio AGIBILE (*)	<input type="radio"/>
B	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE (in tutto o in parte) ma AGIBILE con provvedimenti di P.I. (1)	<input type="radio"/>
C	Edificio PARZIALMENTE INAGIBILE (2)	<input type="radio"/>
D	Edificio TEMPORANEAMENTE INAGIBILE da rivedere con approfondimento (3)	<input type="radio"/>
E	Edificio INAGIBILE (4)	<input type="radio"/>
F	Edificio INAGIBILE per rischio esterno (5)	<input type="checkbox"/>

(classi dalla A alla E) da attribuire in base allo stato dell' edificio oggetto di analisi, con l' aggiunta di un esito estrinseco (classe F) qual' ora l' edificio presenti condizioni di rischio da cause esterne, come possibili crolli da strutture pericolanti vicine, o altre cause.

Nuovi metodi e lo sviluppo di tecnologie ha incrementato l' utilizzo delle piattaforme UAV nella gestione dell' emergenza e della documentazione dell' effettivo danno. Gli UAVs sono di grande utilità nelle fasi conoscitive perchè permettono di individuare certi aspetti legati alle conseguenze del collasso. Il cinematismo che ha subito la struttura è indagabile dall'entità e del tipo di danno, misurabile metricamente, attraverso un modello analitico: la nuvola di punti.

La tecnologia UAV in questo senso rispetto, al rilevamento da terra, restituisce anche le informazioni relative alle coperture danneggiate di un agglomerato urbano.

E' importante dire che l' utilizzo della sola tecnologia UAV nel rilievo del BDA (*Building Damage Assessment* - Valutazione del danno edilizio) non basta per definire completamente i danni con la massima accuratezza, per far questo c'è bisogno di un rilievo integrando i sistemi terrestri e aerei; tuttavia è possibile dare delle risposte tempestive ai casi d' emergenza.

Nei recenti anni, con il telerilevamento si sta cercando di restituire una mappatura di emergenza, attraverso la EO (Earth Observation) acquisendo immagini di scenari post-sisma attraverso sensori satellitari. Co-

pernicus Emergency Management Service fornisce informazioni tempestive nei casi di maggiore disastro. Recentemente si è occupato di mappare e documentare i danni agli aggregati urbani del centro Italia, a seguito degli eventi sismici iniziati il 24 Agosto 2016, facendo delle considerazioni sugli strumenti utilizzati nell'ambito della mappatura dei danni.

La mappatura prodotta da Copernicus per l' *Emergency Management Service* è basata sulla Scala Macrosismica Europea, per attribuire il livello di danno agli edifici. La proposta di Copernicus è quella di attribuire quattro classi di danno.

1. Distrutto
2. Danneggiato (Maggiore / Minore)
3. Possibile danno
4. Nessun danno visibile

I principali aspetti che influenzano i dati da telerilevamento satellitare è la risoluzione principalmente di due tipi spaziale e temporale. “La risoluzione spaziale esprime il livello di dettaglio raggiungibile da un sistema di acquisizione.”⁸² Essa è legata alla distanza campione del terreno (*Ground Sample Distance*) che corrisponde alla dimensione di un singolo lato di un pixel quadrato misurata nelle unità di terra.

Sono stati dimostrati però i limiti di risoluzione spaziale delle immagini da telerilevamento satellitare. (fig.9-10) Si sono studiati quindi nuovi metodi e strumenti di acquisizione che risolvessero i problemi legati ad

82. Cotrufo,S., Sandu C., Tonolo, F.G, & Boccardo,P. (2018) *Building damage assessment scale tailored to remote sensing vertical imagery*, European Journal of Remote Sensing

una diminuzione del *GSD*. Si è dimostrato che con UAV per l'acquisizione di immagini di scenari post-sisma, si ottiene un set di dati *raw* migliore che da strumenti satellitare, dovuto alla diminuzione del valore di *GSD*, anche se vi è una diminuzione anche di abbracciamento del fotogramma.

Le piattaforme UAV, ottimizzano la qualità dei dati e del rilievo, sia delle facciate che delle coperture sfruttando a pieno i sensori per avere entrambi gli angoli di presa fotogrammetrica: sia nadirale eseguita con un'altezza costante al terreno, integrate ad immagini oblique ottenute inclinando l'asse ottico del sensore così da acquisire fotogrammi anche delle facciate degli edifici danneggiati.

Livello di danno

Distrutto - Grado 5 su scala Copernicus EMS

Collasso totale o di una parte (maggiore al 50%) dell' edificio

Aerea
pre-sisma
 $0,1m < GSD < 0,3m$



Satellitare
post-sisma
 $0,3m < GSD < 0,5m$



Danno non leggibile

UAV
post-sisma
 $GSD < 0,1m$



Danno leggibile

fig.9 - Valutazioni a confronto, sulla classificazione dei gradi di danno su scala Copernicus.

fonte: Cotrufo,S., Sandu C., Tonolo, F.G, & Boccardo,P. (2018) *Building damage assessment scale tailored to remote sensing vertical imagery*, European Journal of Remote Sensing

Principali Vantaggi e svantaggi del Building Damage Assessment. Confronto tra dati da sensori Satellitare e sensori UAV

	Sensori satellitari	UAV s multirottore e ad ala fissa
Ground Sample Distance (m)	0.3 – 0.5	0.05 – 0.1
Tempi di consegna dopo la richiesta dati (giorni)	~ 1.5	> ~ 2*
Intervalli di aggiornamento dati	Giornaliero	Su richiesta
Ricoprimento (km)	13 – 20	~ 0.5**
Influenza delle nuvole	Alto	Low

* a seconda della capacità del Paese e delle questioni logistiche(including national regulations)

** pesato sull' altezza di volo

fig.10 - Confronto tra le diverse tipologie di sensori e la loro efficienza durante le operazioni di BDA. fonte: Cotrufo,S., Sandu C., Tonolo, F.G, & Boccardo,P. (2018) *Building damage assessment scale tailored to remote sensing vertical imagery*, European Journal of Remote Sensing





INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL CASO STUDIO

Introduzione

Il territorio italiano è da sempre soggetto all'azione di forti scosse sismiche che interessano in modo distribuito molti comuni della penisola, soprattutto quelli locati nelle regioni dell' Appennino Centrale. Il sottosuolo di questa area centrale è caratterizzato dalla presenza di faglie attive dell'ordine di 20-30km. Da questo dato si evince che le probabilità che si verifichi un evento sismico sono alte.

Tra il 24 Agosto ed il 18 Gennaio 2017 l' Italia centrale subì forti scosse di alta intensità in quella che

Immagine del borgo antico di Campi Alto o "Campi Vecchio", frazione di Norcia. (Foto della Pro Loco di Campi di Norcia)

è stata definita, dall' Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (INGV), la sequenza sismica di Amatrice - Norcia - Visso.⁸⁵

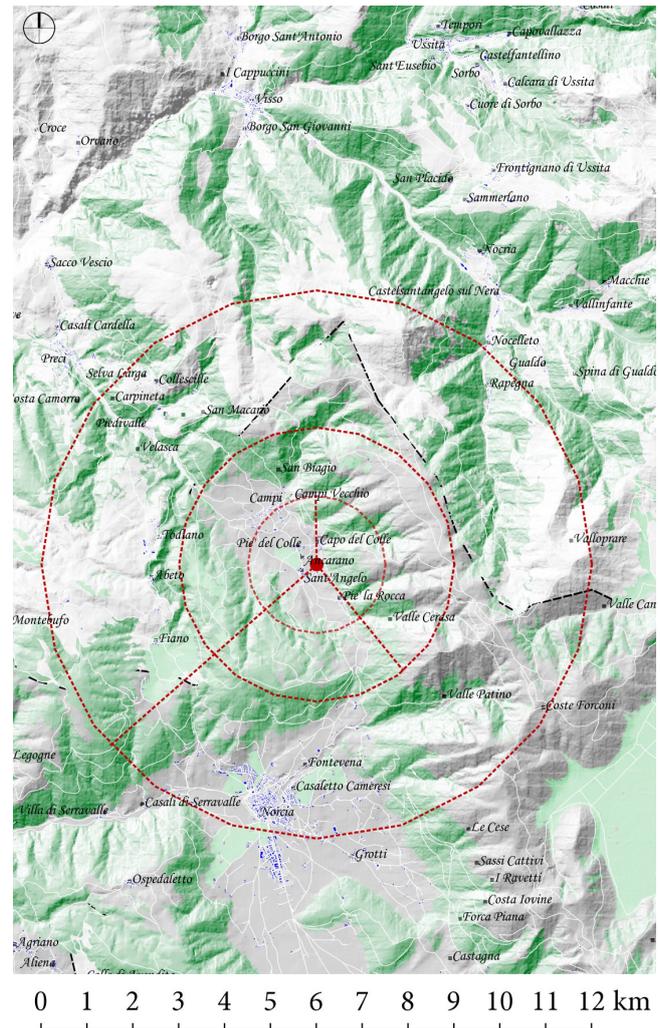
Nel capitolo verrà spiegato che cosa si intende per sisma e come viene classificato. Verranno inquadrare le aree comprese nello *sciame sismico* fornendo un rapporto cartografico che illustra, tramite le elaborazioni prodotte con strumenti GIS, le informazioni raccolte sull' evento sismico grazie a rapporti tecnici della Protezione Civile e dell' INGV.

Principalmente si è descritto il fenomeno riferito alla scossa del 30 Ottobre la cui intensità registrata è risultata superiore alle altre. Il sisma, con epicentro a pochi km dal comune di Norcia, non ha risparmiato le frazioni limitrofe come Campi di Norcia, divisa in parte bassa e parte alta, quest' ultima oggetto di studio.

Questo comune di epoca medioevale, prima dell' ultimo evento del 2016, ha visto nella sua storia il succedersi di altre forti terremoti. Quindi si è fatto un richiamo agli eventi sismici passati i quali, insieme ad opere di restauro attuate sul costruito,

85.Cuccurullo, F. (2017). *In che modo i geologi hanno contribuito, con la loro professionalità, all' attività di supporto alla Direzione di Comando e Controllo per l' emergenza sisma Italia Centrale. Conoscere GEOLOGIA.*

Da: www.conosceregeologia.it



Carta tematica - Inquadramento terremoto

nuovi shapefile
raggio-1,5km

 NORCIA

raggio-3km

 NORCIA

raggio-6km

 NORCIA

Sisma 2016

- NORCIA, 6,5M, 30 Ottobre (INGV)
Starde OpenStreetMap (Geofabrik)

shapefile scaricati

- Toponimi OpenStreetMap (Geofabrik)

 Edifici OpenStreetMap (Geofabrik)

Uso del suolo OpenStreetMap (Geofabrik)

 farm

 forest

 grass

 industrial

 meadow

 residential

 limiti_comune_norcias

DTM, GSD>20m (Sinanet - ISPRA)

Carta tematica generata con QGIS.

86.Citazione tratta da: *Rapporto Ambientale preliminare del Febbraio 2019*. Comune di Norcia
Recuperato da:
www.comune.norcias.pg.it

hanno modificato l'aspetto del nucleo originale fino ad arrivare alla conformazione attuale. Come risposta agli eventi del 2016 il comune di Norcia ha programmato gli obiettivi generali e specifici che strutturano il Piano Regolatore Generale del comune. Tra gli obiettivi che promuovono la sostenibilità ambientale si fa particolare riferimento alla tutela dei centri storici del comune anche quelli "minori" perchè facenti parte di un percorso di valorizzazione del territorio nursino. Vi è un richiamo infatti ai borghi rurali del territorio tra cui la frazione Campi di Norcia in particolare la parte alta "Campi Vecchio": "area con morfologia di valle che racchiude un complesso mosaico di ecosistemi forestali e pascolivi che la rendono di notevole valore paesaggistico e biologico"⁸⁶

Tra le iniziative e i piani di recupero e sviluppo comunale vi sono numerose a livello locale di primaria importanza per i cittadini. Si stanno attuando progetti e iniziative per il recupero fondi, gestite dalla Pro Loco di Campi, con lo slogan "Back to Campi", per far fronte all'emergenza e non abbandonare definitivamente questo cen-

tro, dando alloggio agli sfollati della frazione, Inoltre, ha l' obiettivo di promuovere il turismo sostenibile e la crescita dell' economia locale attraverso i prodotti tipici tradizionali del territorio. La conoscenza e lo studio di questa realtà sta alla base del suo sviluppo e dalla sua rinascita.

Definizione di un sisma

Sisma, dal greco *σεισμός* (*sei-smòs*) significa “scossa”. “E’ rapido movimento della superficie terrestre dovuto al brusco rilascio dell’ energia accumulatosi all’ interno della Terra in un punto ideale chiamato ipocentro o fuoco.”⁸⁷ Esso è il punto in cui avviene la rottura delle rocce della crosta terrestre, dal quale le onde sismiche si propagano in tutte le direzioni. Il corrispettivo punto sulla superficie prende il nome di epicentro. Individuabile attraverso coordinate in unità di latitudine e longitudine.

“La comprensione dei fenomeni sismici si avvale inoltre dei progressi compiuti dalle tecniche geodetiche, tra cui l’ avvento della *geodesia spaziale*”⁸⁸

Infatti, l’ avvento della geodesia spaziale o geodesia satellitare, permette la comprensione dei fenomeni *geodinamici* da parte degli istituti e di rilevarne la localizzazione nel sistema di riferimento globale come l’ I.N.G.V. (*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*) che si occupa della comprensione e della divulgazione delle informazioni di tali fenomeni adotta il sistema geodetico WGS84.

87.Tratta da: www.ingv.it

88.Boschi, E., & Dragoni, M. (2000). *Sismologia*. Torino: UTET.



Immagine della “zona rossa” di Campi Alto. (da DJI Phantom 4 Pro)

I parametri sismici

Un terremoto è un rilascio di energia di debole o di forte intensità. Essa è rappresentata da un valore rappresentato dalla “magnitudo” M_w . Si consideri che il terremoto più forte mai registrato è quello del 1960 in Cile di magnitudo di 9.5, il valore positivo maggiore della scala.

Ogni unità della scala corrisponde ad un aumento di 32 volte dell’ energia rilasciata. Questo numero è un indice calcolato “attraverso l’ ampiezza delle oscillazioni del terreno provocate dal passaggio delle onde sismiche.”⁸⁹ La sismologia distingue diverse tipologie di magnitudo basate sulla misurazione delle onde sismiche in diversi intervalli di frequenza. La scala che classifica i valori di magnitudo è chiamata Richter (fig.1).

L’ intensità di un terremoto si misura attraverso indici in una scala di riferimento. Gli effetti che un terremoto ha sulle costruzioni, sull’ uomo e sull’ ambiente, vengono classificati in dodici gradi, compresi nella scala Mercalli (fig.2), dal nome del sismologo che l’ ha brevettata e diffusa a livello internazionale all’ inizio del XX secolo. Il grado viene assegnato da tecnici specializzati che effettuano la ricognizione nel luogo dell’ evento sismico, valutando i danni che ha provocato. Raccolgono i dati per carte *macrosismiche* che riportino il grado di intensità nelle diverse aree colpite. Perché anche se il valore di magnitudo, misurato all’ epicentro, rimane lo stesso, l’ intensità del sisma può cambiare nelle diverse zone. In genere l’ intensità maggiore si ha nelle aree più vicine all’ epicentro. E’ bene specificare che il grado di intensità riportato sulla scala Mercal-

89.INGV. *Glossario*. Da: <https://ingvterremoti.wordpress.com>

SCALA RICHTER		
Magnitudo	TNT equivalente	Frequenza
0	1,0 chilogrammo	circa 8.000 al giorno
1	31,6 chilogrammi	
1,5	178,0 chilogrammi	
2	1,0 tonnellata	circa 1.000 al giorno
2,5	5,6 tonnellate	
3	31,6 tonnellate	circa 130 al giorno
3,5	178,0 tonnellate	
4	1.000,0 tonnellate	circa 15 al giorno
4,5	5.600,0 tonnellate	
5	31.600,0 tonnellate	2-3 al giorno
5,5	178.000,0 tonnellate	
6	1,0 milione di tonnellate	120 all'anno
6,5	5,6 milioni di tonnellate	
7	31,6 milioni di tonnellate	18 all'anno
7,5	178,0 milioni di tonnellate	
8	1,0 miliardo di tonnellate	1 all'anno
8,5	5,6 miliardi di tonnellate	
9	31,6 miliardi di tonnellate	1 ogni 20 anni
10	1.000,0 miliardi di tonnellate	Mai registrata

fig.1 - Scala Richter. Da: www.folignometeo.it/

SCALA MERCALLI	
I - Strumentale	Avvertita solo dagli strumenti
II - Debole	Avvertita solo da poche persone sensibili in condizioni particolari
III - Leggera	Avvertita da poche persone
IV - Moderata	Avvertita da molte persone; tremiti di infissi e cristalli; oscillazione di oggetti sospesi
V - Piuttosto forte	Avvertita da molte persone, anche addormentate; caduta di oggetti
VI - Forte	Qualche lesione agli edifici
VII - Molto forte	Caduta di comignoli; lesione agli edifici
VIII - Distruttiva	Rovina parziale di alcuni edifici; vittime isolate
IX - Rovinosa	Rovina totale di alcuni edifici; molte vittime; crepacci nel suolo
X - Disastrosa	Crollo di parecchi edifici; numerose vittime; crepacci evidenti nel terreno
XI - Molto disastrosa	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci; frane; maremoto
XII - Catastrofica	Danneggiamento totale; distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto

fig.2 - Scala Mercalli. Da: www.folignometeo.it/

li non è misurato da un *sismometro*, come per il valore di magnitudo Richter, ma è solo una classificazione degli effettivi danni del terremoto, su ambiente, persone e costruzioni.

Riguardo alla classificazione dei danni la Scala Macrosismica Europea (EMS) ha progressivamente sostituito la Mercalli, perchè ha semplificato l'individuazione del danno prevedendo solo cinque livelli differenti di danno per edifici in muratura e in cemento armato. (fig.3) La sua efficienza sul campo del rilievo dei danni agli edifici è dimostrata dagli organi di Protezione Civile e da Copernicus, che utilizza come riferimento la EMS98 per le documentazioni.

Classificazione delle zone sismiche

Attualmente il territorio italiano è suddiviso in zone sismiche. Classificate sull'analisi della probabilità che un terremoto avvenga in una determinato lasso di tempo, in genere 50 anni, da un evento che superi una determinata soglia di magnitudo. Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) n°3274 del 20/03/2003 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n° 105 dell' 8 Maggio 2003⁹⁰. Un nuovo aggiornamento *OPCM n°3519*, 2006 “ha reso tale mappa uno strumento ufficiale di riferimento per il territorio nazionale”⁹¹. Riferendo le zone a valori di accelerazione orizzontale del suolo, A_g , con probabilità di superamento pari al 10% ogni 50 anni.

La classificazione vigente risulta quindi quanto segue:

90. *Opdm n. 3274 del 20 marzo 2003: primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. Da: www.protezionecivile.gov.it

91. *La pericolosità sismica*
Da: www.ingvterremoti.wordpress.com

fig.3 - Tertulliani,A., Azza-
ro,R., Buffarini,G., (2019) *Sca-
la Macrosismica Europea 1998.*
EMS1998. Lussemburgo: Centre
Européen de Géodynamique et
de Séismologie

Classificazione del danno a edifici in muratura	
	Grado 1: Danno da trascurabile a leggero (nessun danno strutturale, leggero danno non strutturale) Crepe capillari su pochissimi muri. Caduta di piccoli pezzi di intonaco. Caduta di pietre non fissate dalla parte supe- riore degli edifici in pochissimi casi.
	Grado 2: Danno moderato (leggero danno strutturale, moderato danno non strutturale) Lesioni in molti muri. Caduta di pezzi di intonaco piuttosto grandi. Parziale collasso di comignoli.
	Grado 3: Danno da sostanziale a grave (moderato danno strutturale, grave danno non strutturale) Lesioni larghe diffuse sulla maggior parte dei muri. Tegole si staccano. Comignoli si frattura- no alla base; cedimento di singoli elementi non strutturali (tramezzi, cornicioni).
	Grado 4: Danno molto grave (grave danno strutturale, danno non strutturale molto grave) Importanti cedimenti dei muri; parziale cedimento strutturale di tetti e solai.
	Grado 5: Distruzione (danno strutturale molto grave) Collasso totale o quasi totale.

Zona 1: pericolosità molto elevata - $A_g > 0.25$

Zona 2: pericolosità elevata - $0.15 < A_g \leq 0.25$

Zona 3: pericolosità media - $0.05 < A_g \leq 0.15$

Zona 4: pericolosità moderata - $A_g \leq 0.05$

Tutti i comuni italiani ricadono in una di queste quattro *macrozone*, che a loro volta si suddividono in *microzone* o *sottozone* introdotte dalle Regioni in tempi diversi per classificare al meglio il proprio territorio, come riportato nella carta della pericolosità sismica del 2012 usata come base della carta illustrante la classificazione delle zone sismiche.

Nella *Carta tematica 1* si vede che le aree centrali della nazione vengono classificate come più pericolose in termini sismici, dove vi sono maggiori probabilità che un evento sismico di una certa entità si verifichi

Carta 1: Classificazione delle zone sismiche nel centro Italia

Legenda

Shapefile:

-  Limiti amministrativi dei comuni facenti parte del cratere sismico 2016/17 (Protezione Civile)
-  Limiti amministrativi delle province (Geoportale Nazionale)
-  Limiti amministrativi delle regioni (Geoportale Nazionale)

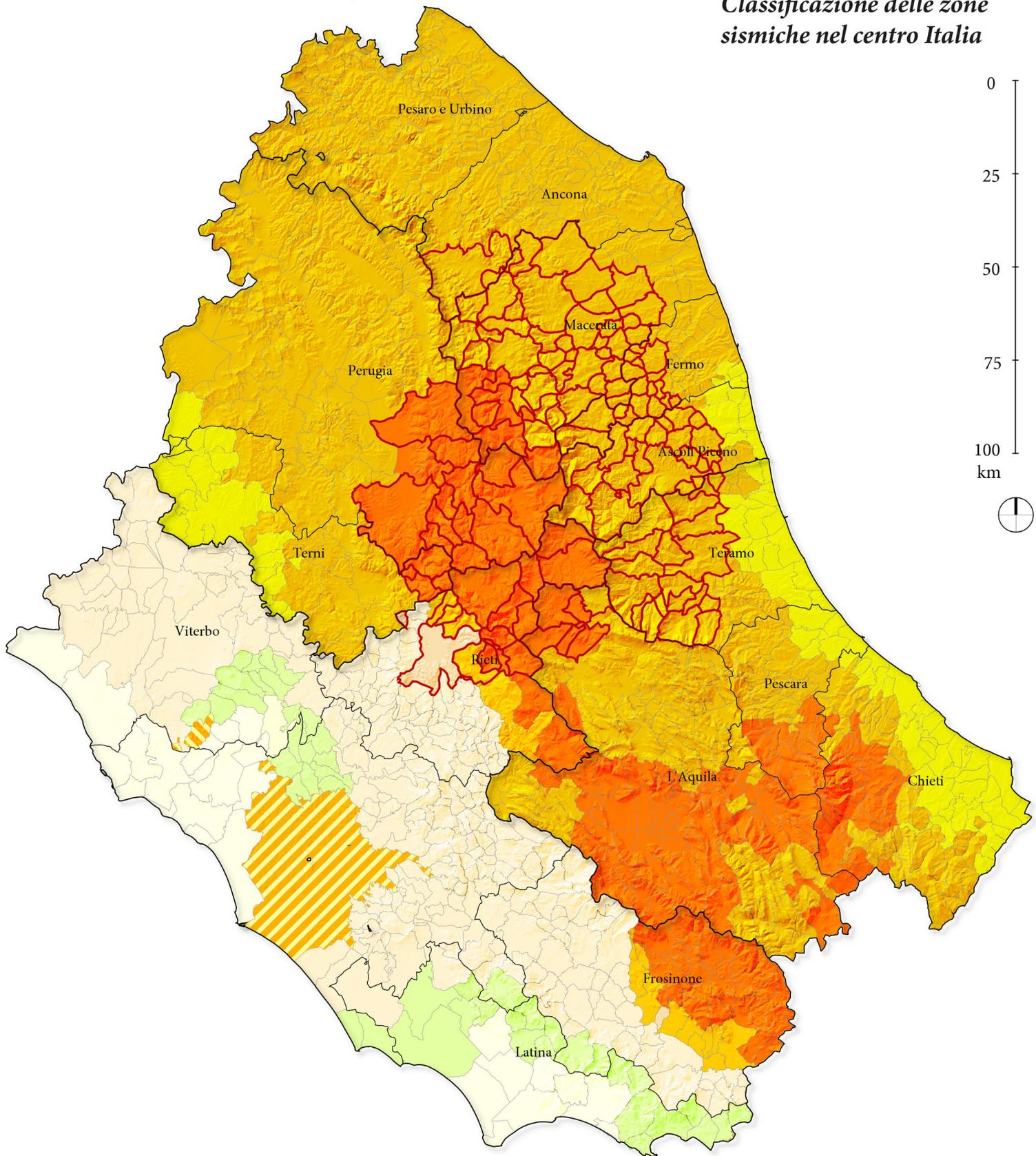
WMS:

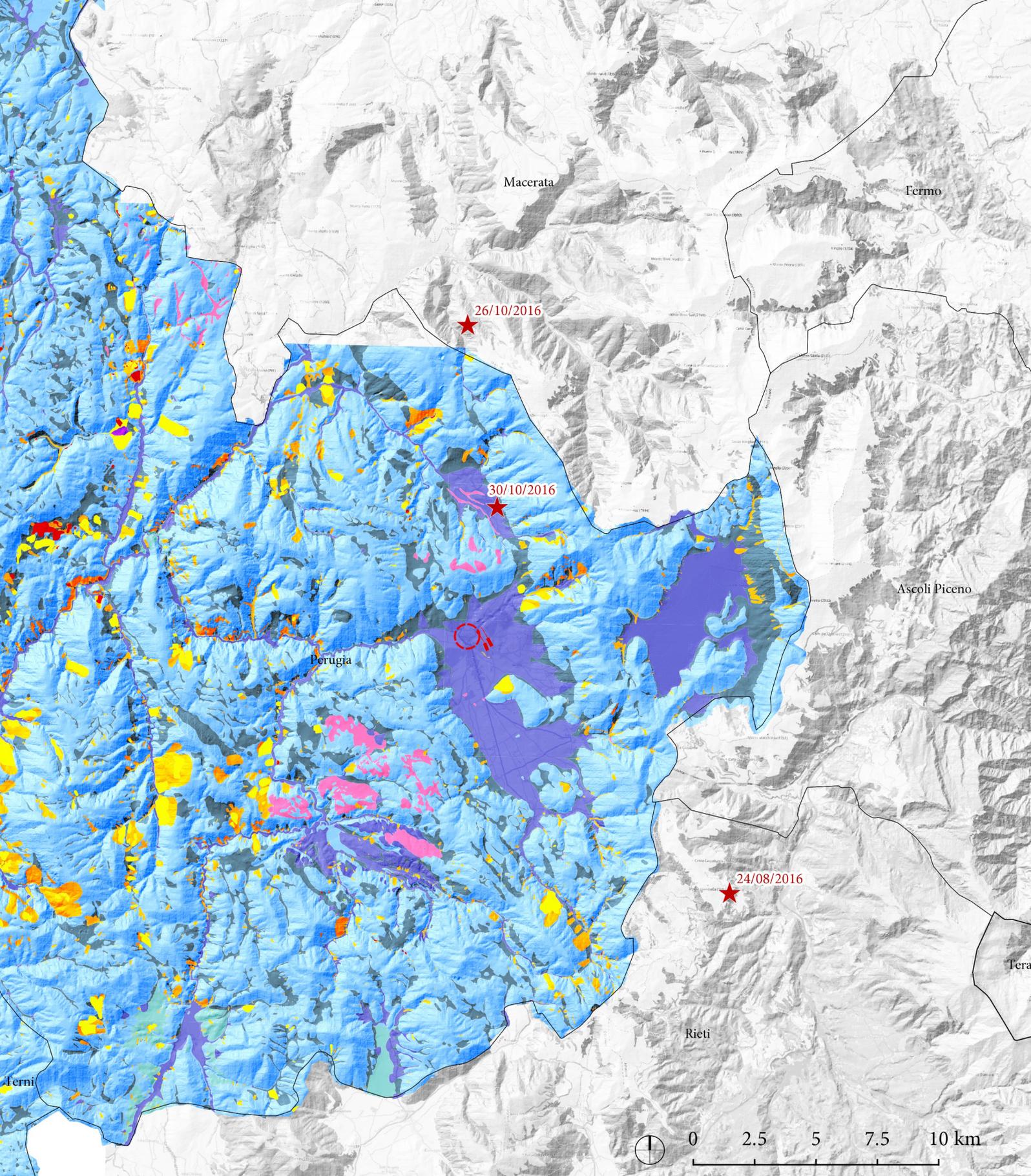
DTM (Geoportale Nazionale)

Classificazione sismica dei comuni italiani al 2012 (INGV)

-  Zona 1 - Livello di pericolosità elevato
-  Zona 1 - Livello di pericolosità elevato / Sottozona 2A
-  Zona 2 - Livello di pericolosità medio
-  Sottozona 2A
-  Sottozona 2A/Sottozona 2B
-  Sottozona 2B
-  Sottozona 2B/Sottozona 3A
-  Sottozona 2B/Sottozona 3A/Sottozona 3B
-  Zona 3 - Livello di pericolosità basso
-  Zona 3s
-  Sottozona 3A
-  Sottozona 3A/Sottozona 3B
-  Sottozona 3B
-  Zona 3 - Livello di pericolosità basso / Zona 4
-  Sottozona 3B

*Classificazione delle zone
sismiche nel centro Italia*





Macerata

Fermo

26/10/2016

30/10/2016

Ascoli Piceno

Perugia

24/08/2016

Rieti

Terni



0 2.5 5 7.5 10 km

Nella carta tematica viene raffigurata la zonizzazione dei terreni in base alla pericolosità sismica delle aree dovuta all'instabilità della tipologia di suolo. Esse vengono definiti stabili o suscettibili a particolari eventi sismici, fattori che ne modificano la morfologia, in base alla potenza dello scuotimento di un dato fenomeno sismico. E' possibile dimostrare con il DTM che nel territorio Umbro le aree maggiormente instabili sono per la maggior parte le aree montane situate nei settori sulla parte bassa dei versanti d'altura caratterizzati da una forti pendenze della roccia, risultando zone vulnerabili potenzialmente a rischio sismico.

Classificazione della stabilità del suolo della regione Umbria sotto l'azione sismica

Shapefile

Elementi_areali

-  Zona stabile
-  Zona instabile - Aree caratterizzate da movimenti franosi attivi
-  Zona instabile - Aree caratterizzate da movimenti franosi quiescenti
-  Zona instabile - Aree potenzialmente franose o esposte a rischio di frana
-  Zona instabile - Aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti
-  Zona instabile - Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci
-  Zona stabile suscettibili di amplificazioni locali - Aree di fondovalle con depositi alluvionali
-  Zona stabile suscettibili di amplificazioni locali - Aree pedemontane di falda di detrito o cono di deiezione
-  Zona stabile suscettibili di amplificazioni locali - Aree con travertini non ricomprese in altre zone
-  Zona stabile suscettibili di amplificazioni locali - Aree dei depositi delle unità sintemiche
-  Norcia
-  Limiti amministrativi delle province (Geoportale Nazionale)
-  Limiti amministrativi delle regioni (Geoportale Nazionale)
-  Epicentri della sequenza sismica 2016

Base:

DTM, GSD>20m (ISPRA Sisnet)

 Carta di base OpenStreetMap (QGIS web service map)

IL TERREMOTO DEL CENTRO ITALIA

La sismicità storica

L'area dell'Appennino centrale è di fatto ad alto rischio sismico come dimostra la carta della classificazione sismica a scala nazionale del 2012 *Carta 1* e il *report* dell'INGV (fig.3), il quale mette a confronto la sequenza sismica 2016 con quelle che vanno dal 1965 fino 2015 che hanno interessato l'area. Si capisce quanto, in questo territorio, sia alta la frequenza sismica e quindi quanto possa essere vulnerabile e soggetto a rischio il suo patrimonio.

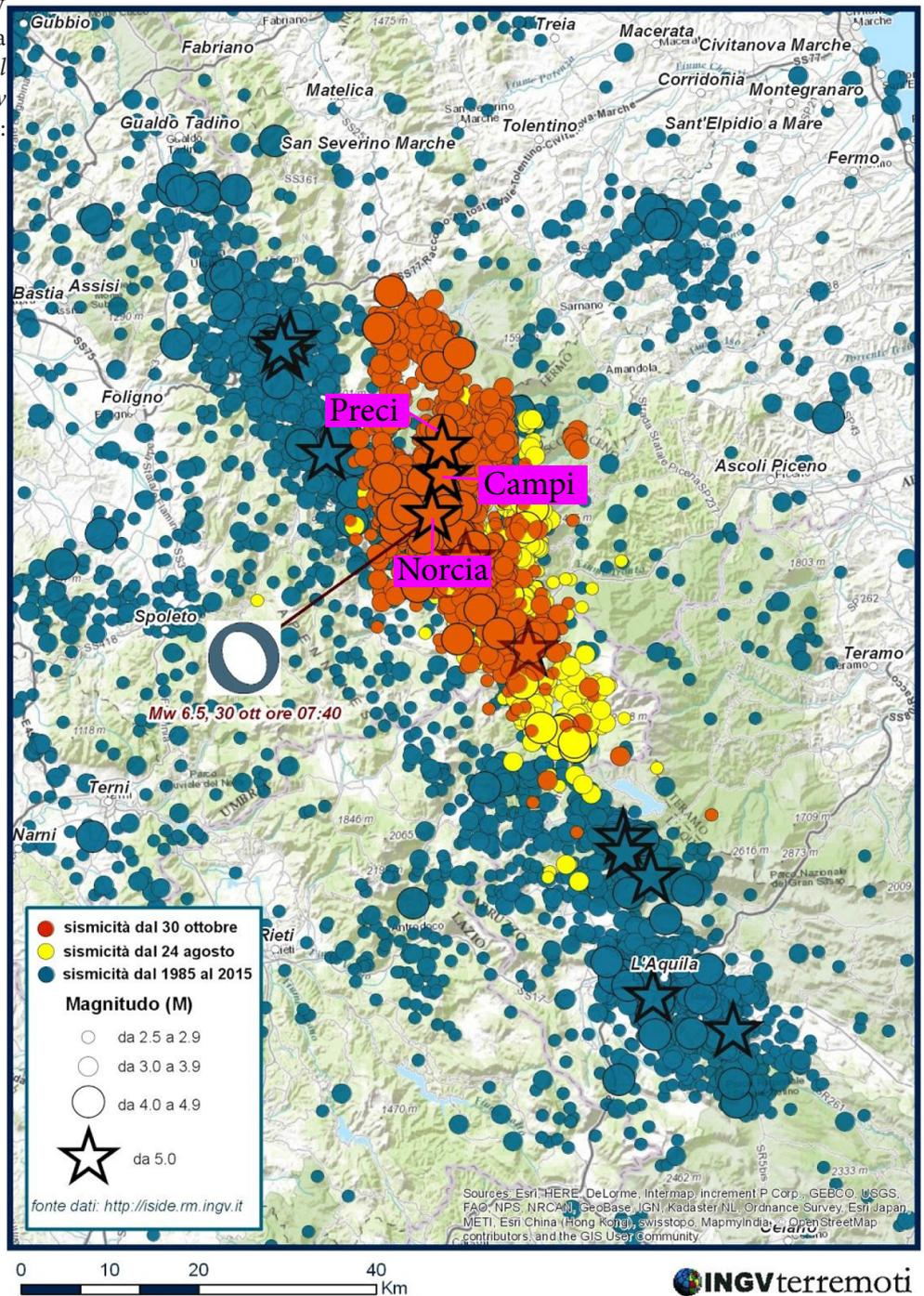
Vengono riportati tutti gli epicentri delle scosse con particolare riferimento a quelli di magnitudo superiori a 5.0. Viene inoltre indicato il punto in cui vi è l'epicentro del terremoto del 30 Ottobre.

Il confine tra le regioni di Umbria - Marche - Lazio - Abruzzo, nel territorio compreso fra i Monti della Laga e la Valnerina, ha visto il susseguirsi di numerosi terremoti nella sua storia anche se diversi dalla sequenza del 2016.

Come mostra la carta dell'INGV dei terremoti storici (fig.4) l'ultimo grave terremoto della storia, paragonabile a quello del 2016, anche se di impatto estremamente più grave, è stato quello datato 14 Gennaio 1703. La magnitudo di quel terremoto fu di 6.9, superando quest'ultimo del 30 Ottobre 2016. Il terremoto del 1703 è considerato la *sorgente sismogenica* (generatrice di un sisma) di un sistema di *faglie attive*⁹² tra gli abitati di Cittareale a sud e Preci a nord, sostanzialmente, lungo l'asse Nor-

92. "La *faglia* è la superficie attraverso il quale due blocchi scorrono durante un sisma. La grandezza di un terremoto è proporzionale all'area della faglia." (www.ingvterremoti.com). La grandezza della faglia è proporzionale alla magnitudo generabile da un terremoto.(fig.3)

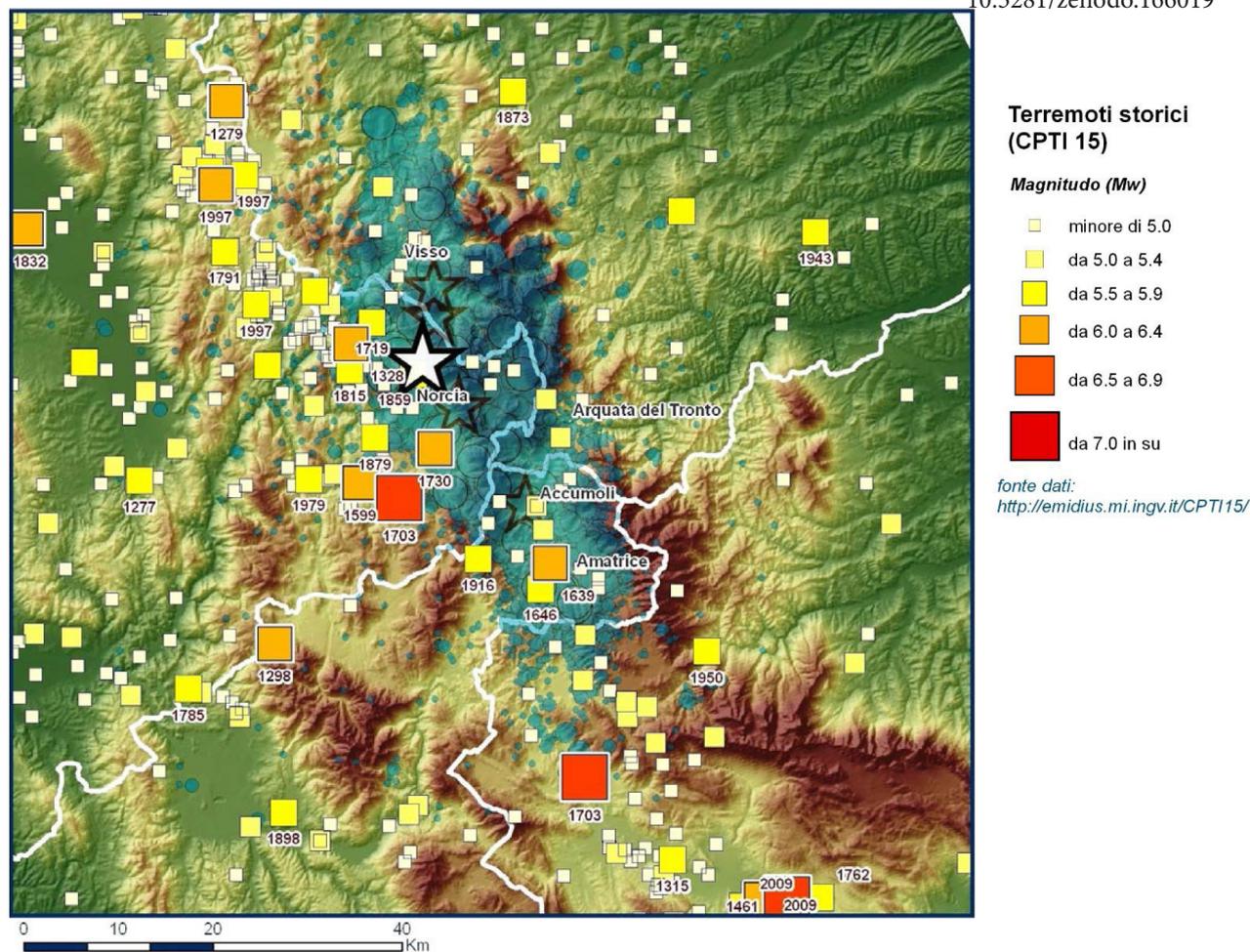
fig.3 - Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia (2016). *Rapporto di sintesi sul Terremoto in centro Italia Mw 6.5 del 30 ottobre 2016*, doi: 10.5281/zenodo.166019



cia-Campi-Preci. Per i sismologi può essere una causa dell' instabilità geomorfologica di queste aree. Il sistema di faglie misurato nella sequenza sismica del 2016 ha un'estensione in direzione Nord Ovest - Sud Est, di lungo tra i 55-60 km composto da diversi segmenti di differenti lunghezze, mentre la faglia principale ha una profondità rilevata di circa 10 km.

fig.4 - Terremoti Storici del centro Italia.

Da: Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia (2016). *Rapporto di sintesi sul Terremoto in centro Italia Mw 6.5 del 30 ottobre 2016*, doi: 10.5281/zenodo.166019



Gli “slip co-sismici”

Con l' utilizzo del Global Position System per il rilevamento sismico si misurano gli slittamenti del terreno che modificano la morfologia del territorio, in sismologia sono chiamati “slip sismici”. Riuscire a capire i movimenti legati alla faglia durante un terremoto è di primaria importanza per capire i difetti geomorfologici di un' area a rischio sismico. Il rilievo di queste movimenti, è importante per capire il cambiamento naturale della territorio geomorfologico dell' Appenninico centrale a distanza de anni a seguito di numerose di scosse sismiche. Infatti a causa di queste rotture *co-sismiche* dovute a spostamenti di faglia, cambia drasticamente la morfologia del terreno. Lo slittamento è visibile attraverso *rigetti* in superficie; come nel caso del terremoto del 30 Ottobre, dove le



fig.5 - Operatore misura la dislocazione lungo il piano di faglia in roccia.

Da: www.ingvterremoti.com

rotture sono visibili sulla roccia. (fig.5)

Nel caso della sequenza sismica partita il 24 Agosto, sono state installate diverse stazioni GPS, non permanenti (Ca-GeoNet), dall' INGV e dall' IGM. Rete realizzata tra il 1999 e il 2000 in seguito al terremoto Umbria-Marche del 1997, anch'esso di grave entità, per studiare i movimenti delle faglie in questa regione.⁹⁶ In collaborazione con l'Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico del Dipartimento Protezione Civile - DPC e l' Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA ha effettuato un rilievo del territorio nei pressi dell' epicentro del terremoto, registrando gli *slip co-sismici* dei terremoti del 26 e 30 Ottobre.⁹⁷ Il risultato del rilievo GPS è pesato sulle misurazione delle diverse stazioni indipendenti appartenenti a diversi centri di analisi.

Appositi software minimizzano gli errori da diverse strategie di elaborazione stimando un risultato in termini metrici di slittamento, *slip*.⁹⁸ Tante più stazioni GPS partecipano alla raccolta di dati tanto più sarà accurata la stima degli *slip co-sismici*. I risultati ottenuti hanno generato un

96. *Terremoto in Italia centrale: le reti GPS misurano lo spostamento della faglia*. Da: <https://ingvterremoti.wordpress.com>

97. Gruppo di Lavoro INGV sul Terremoto in centro Italia. *Relazione sullo stato delle conoscenze sulla sequenza sismica in centro Italia 2016-2017* (aggiornamento al 2 febbraio 2017), doi: 10.5281/zenodo.267984. p.25

98. INGV Working Group "GPS Geodesy (GPS data and data analysis center)", 2016. Preliminary co-seismic displacements for the August 24, 2016 ML6, Amatrice (central Italy) earthquake from the analysis of continuous GPS stations, DOI: 10.5281/zenodo.61355.

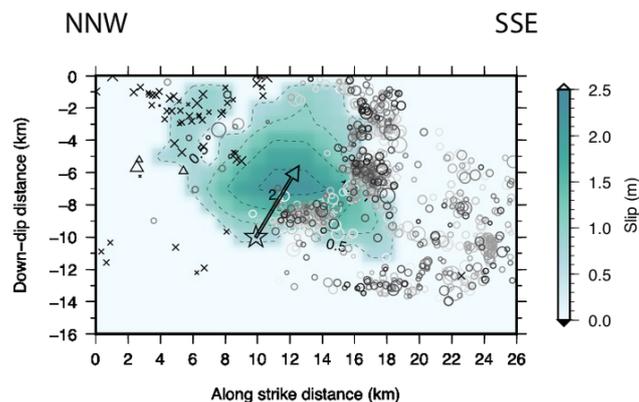


fig.6 - Analisi dei risultati dalle analisi co-sismiche e geologiche relative agli *slip* del 30 Ottobre 2016.

modello preliminare legato agli eventi sismici fino al 30 Ottobre. Il modello mostra l'area in cui si concentra uno *slip* superficiale con valore massimo di 250 centimetri.(fig.6)

“Il monitoraggio della sismicità con reti sismiche molto fitte e una conoscenza approfondita della geometria delle faglie rendono possibile questo tipo di analisi in tempo quasi reale e quindi si potrebbero identificare le aree verosimilmente interessate da prossimi terremoti.”⁹⁹

Lo scopo di queste analisi è fornire dati tempestivi agli organi di Protezione Civile nazionale per far fronte all' emergenza. Da anni si cerca di sperimentare metodi più veloci e precisi per definire le analisi e modelli fisico-matematici per il rilievo delle deformazioni del terreno che posso-

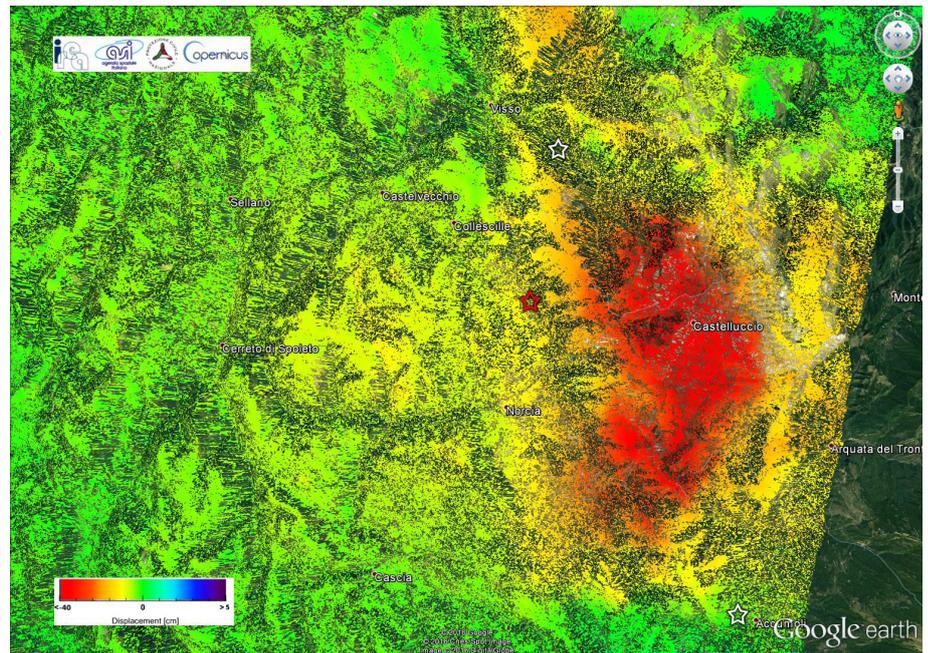


fig.7 - Mappa delle deformazioni relative all' evento del 30 Ottobre 2016. Ottenuta con DInSAR elaborando due acquisizioni pre-evento (25 Ottobre) e post-evento (31 Ottobre) la zona rossa è l' area deformata di maggiore entità.

Da: www.copernicus.eu

no essere ottenuti attraverso acquisizioni via satellite. Utilizzando l' "interferometria differenziale" (DInSAR) in cui si mettono a confronto due immagini *InSAR* (Interferometria radar ad apertura sintetica) acquisite via satellite in due momenti differenti, per misurare i cambiamenti della superficie. Si ottengono modelli da radar satellitari che attraverso i quali è possibile rilevare le sorgenti sismiche responsabili degli eventi sismici e caratterizzarne l' attività.⁹⁹

99. Da: www.irea.cnr.it

La sequenza sismica 24 Agosto, 26 e 30 Ottobre 2016 e 18 Gennaio 2017

Gli eventi più significativi compresi nella sequenza sismica del centro Italia sono iniziati con il terremoto M_w 6.0 di Amatrice del 24 Agosto 2016, che ha visto il susseguirsi di altre scosse di minore entità fino alla fine del mese di Ottobre. La sequenza è proseguita con altre forti scosse registrate il 26 Ottobre: “due eventi di M_w 5.4 e 5.9 hanno interessato l’area posta al confine Marche - Umbria tra i comuni di Castelsantangelo sul Nera (MC), Norcia (PG) e Arquata del Tronto (AP).” Fino ad arrivare alla scossa del 30 Ottobre con epicentro nei pressi di Norcia, considerata la scossa più forte registrata negli ultimi 30 anni in Italia, si parla di M_w 6.5.⁹³ La sequenza si è conclusa con altre cinque scosse significative più a sud di Amatrice. Tra questi scuotimenti quello più forte fu di magnitudo 5.5 non lontano dal comune abruzzese di Capitignano in provincia di L’Aquila.

I comuni che riportano gravi danni alle strutture sono in totale 140, secondo dati Istat, ovvero: 62 comuni per il terremoto del 24 Agosto, e 69 comuni per quanto riguarda i due eventi del 26 e del 30 Ottobre.⁹⁴

La *Carta 3* mostra le quattro regioni centrali interessate dagli eventi sismici del 2016 e del 2017 in Italia. Inoltre si evidenzia l’area del cratere che ricopre buona parte di territorio italiano investito dall’azione sismica, in cui si sono registrate “oltre 92 mila scosse da inizio sequenza di cui 9 di magnitudo pari o superiori a 5”⁹⁵

93. Gruppo di Lavoro INGV sul Terremoto in centro Italia. *Relazione sullo stato delle conoscenze sulla sequenza sismica in centro Italia 2016-2017* (aggiornamento al 2 febbraio 2017), doi: 10.5281/zenodo.267984

94.(2017) *Caratteristiche dei territori colpiti dal sisma del 24 Agosto, 26 Ottobre e 30 Ottobre 2016 e 18 Gennaio 2016*. Da: www.istat.it

95. Dipartimento di protezione civile. (22 Agosto 2018) *I numeri del sisma del centro Italia*. Da: www.protezionecivile.gov.it

Il terremoto del centro Italia

Le regioni colpite dalla sequenza sismica del 24 Agosto, 26 e 30 Ottobre 2016, 18 Gennaio 2017

VISSO (MC)

26 Ottobre 2016
21:18:17
Magnitudo 5.9
Epicentro (lat,lon):
42.9, 13.09

NORCIA (PG)

30 Ottobre 2016
7:40:17
Magnitudo 6.5
Epicentro (lat,lon):
42.83, 13.11

AMATRICE (RI)

24 Agosto 2016
3:36:32
Magnitudo 6.0
Epicentro (lat,lon):
42.7, 13.23

CAPITIGNANO (AQ)

18 Gennaio 2017
11:14:09
Magnitudo 5.5
Epicentro (lat,lon):
42.53, 13.28

25 0 25 50 75 100 125 150 km



Carta 3

(Progetto generato con Q-GIS)
Inquadramento degli eventi più significativi della sequenza di terremoti del 2016 e 2017, che ha colpito quattro regioni del centro Italia.

Il terremoto del centro Italia

Le regioni colpite dalla sequenza sismica del 24 Agosto, 26 e 30 Ottobre 2016, 18 Gennaio 2017

Legenda

Eventi principali sequenza sismica (INGV)

-  AMATRICE (RI)
-  CAPITIGNANO (AQ)
-  NORCIA (PG)
-  VISSO (MC)

 Estensione del cratere sismico 2016/17 (Protezione Civile)

 Limiti amministrativi regioni del centro Italia (Geoportale Nazionale)

WMS:

Bing Aerial

ESRI Ocean

Ampiezza cratere sismico

Il territorio colpito dal sisma del 2016 coinvolge 4 Regioni, 10 province, 138 comuni e circa 8.000 km²

MARCHE 4 province 85 comuni (35% del totale)

UMBRIA 2 province 15 comuni (16% del totale)

ABRUZZO 3 province 23 comuni (8% del totale)

LAZIO 1 provincia 15 comuni (4% del totale)

fonte: Dipartimento di protezione civile. (22 Agosto 2018) *I numeri del sisma del centro*

Italia.

Popolazione coinvolta

Nei territori del cratere sono residenti quasi 600.000 persone

MARCHE 348.473 (22,6% della regione)

ABRUZZO 103.483 abitanti (7,8% della regione)

UMBRIA 57.505 abitanti (6,5% della regione)

LAZIO 72.798 abitanti (1,2% della regione)

fonte: Dipartimento di protezione civile. (22 Agosto 2018) *I numeri del sisma del centro*

Italia.

Vittime e Feriti

“Le vittime del sisma che ha colpito il Centro Italia sono 299: 237 ad Amatrice (RI), 11 ad Accumoli (RI) e 51 ad Arquata del Tronto (AP). I cittadini feriti per cui è stata necessaria l’ospedalizzazione sono stati 365.”¹⁰⁰

La risposta degli organi di Protezione Civile ai terremoti del 2016-2017 è stato attribuire gli esiti agli edifici nelle aree post-sisma delle 4 regioni colpite dalle scosse. (fig. 8-9)

100. Dipartimento di protezione civile. (22 Agosto 2018) *I numeri del sisma del centro Italia.*

Da: www.protezionecivile.gov.it

Regione	Schede Aedes + GL_Aedes					TOTALE Schede
	A	AF	E + EF	(B+BF+C+CF+D+DF)	Senza Esito	
ABRUZZO	7707	562	2318	3268	261	14116
LAZIO	5614	1304	5934	2701	447	16000
MARCHE	12524	1565	9148	8496	446	32179
UMBRIA	8873	991	3770	4171	337	18142
Totale	34718	4422	21170	18636	1491	80437
%	43%	5%	26%	23%	2%	

fig.8 - Tabella con i risultati AeDES dei sopralluoghi completati a Marzo 2018 dal Dipartimento della Protezione Civile. Da: www.protezionecivile.gov.it

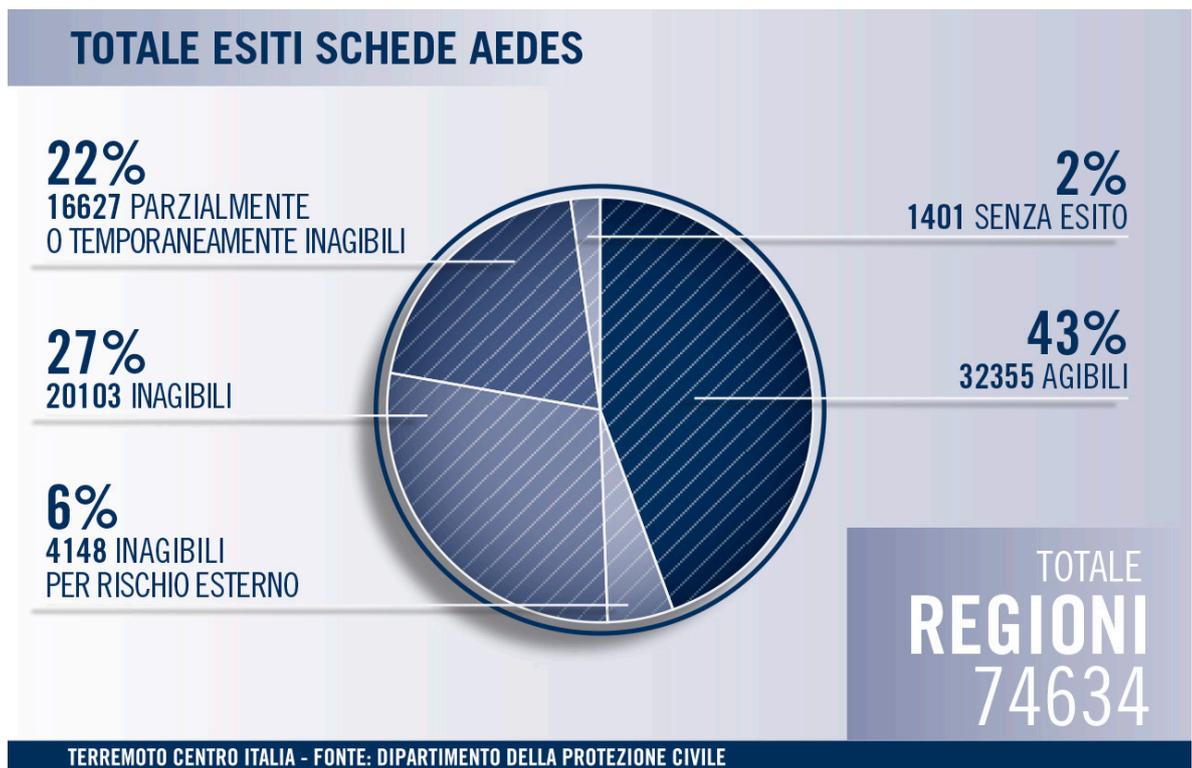


fig. 9 - Grafico con il totale degli esiti AeDES di tutte e quattro le regioni colpite. Da: www.protezionecivile.gov.it

Il terremoto del 30 Ottobre 2016

Nella descrizione della sequenza sismica sono stati identificati tre grandi eventi come principali perchè di maggiore intensità. Si tratta degli eventi del 24 Agosto, del 26 e del 30 Ottobre.

Il terremoto del 30 Ottobre delle 7:40:17 (ora italiana) è stato l'evento sismico italiano più forte dopo quello di Irpinia 1980. La magnitudo registrata è di 6.5. L'ipocentro a 9 km di profondità ha coordinate: 42.84 latitudine nord, 13.11 longitudine est. L'evento ha interessato le provincie di Perugia, Macerata, e Rieti. Il suo epicentro è risultato a 5 km dal comune di Norcia.¹⁰¹

Come precedentemente spiegato, una magnitudo alta, attiva una maggiore superficie della faglia. In questo caso 6.5 Mw ha attivato un'area di qualche centinaio di chilometri quadrati,¹⁰² quindi ha interessato parecchi comuni nelle provincie di Perugia, Macerata, Ascoli Piceno e Rieti.

I comuni nello sciame sismico - Gli eventi sismici sono definiti come un addensamento spazio-temporale di numerose scosse, con diverse magnitudo, chiamato "sciame sismico".

L'area interessata dallo scuotimento si estende per circa 40 km: da Accumoli (RI) a sud a Visso (MC) a nord.

101. Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia (2016). *Rapporto di sintesi sul Terremoto in centro Italia Mw 6.5 del 30 ottobre 2016*, doi: 10.5281/zenodo.166019

102. Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia (2016). *Rapporto di sintesi sul Terremoto in centro Italia Mw 6.5 del 30 ottobre 2016*, doi: 10.5281/zenodo.166019

Le carte mostrano i comuni nello sciame sismico.

Si riporta la lista dei comuni nell' area sismica in ordine di distanza dall'

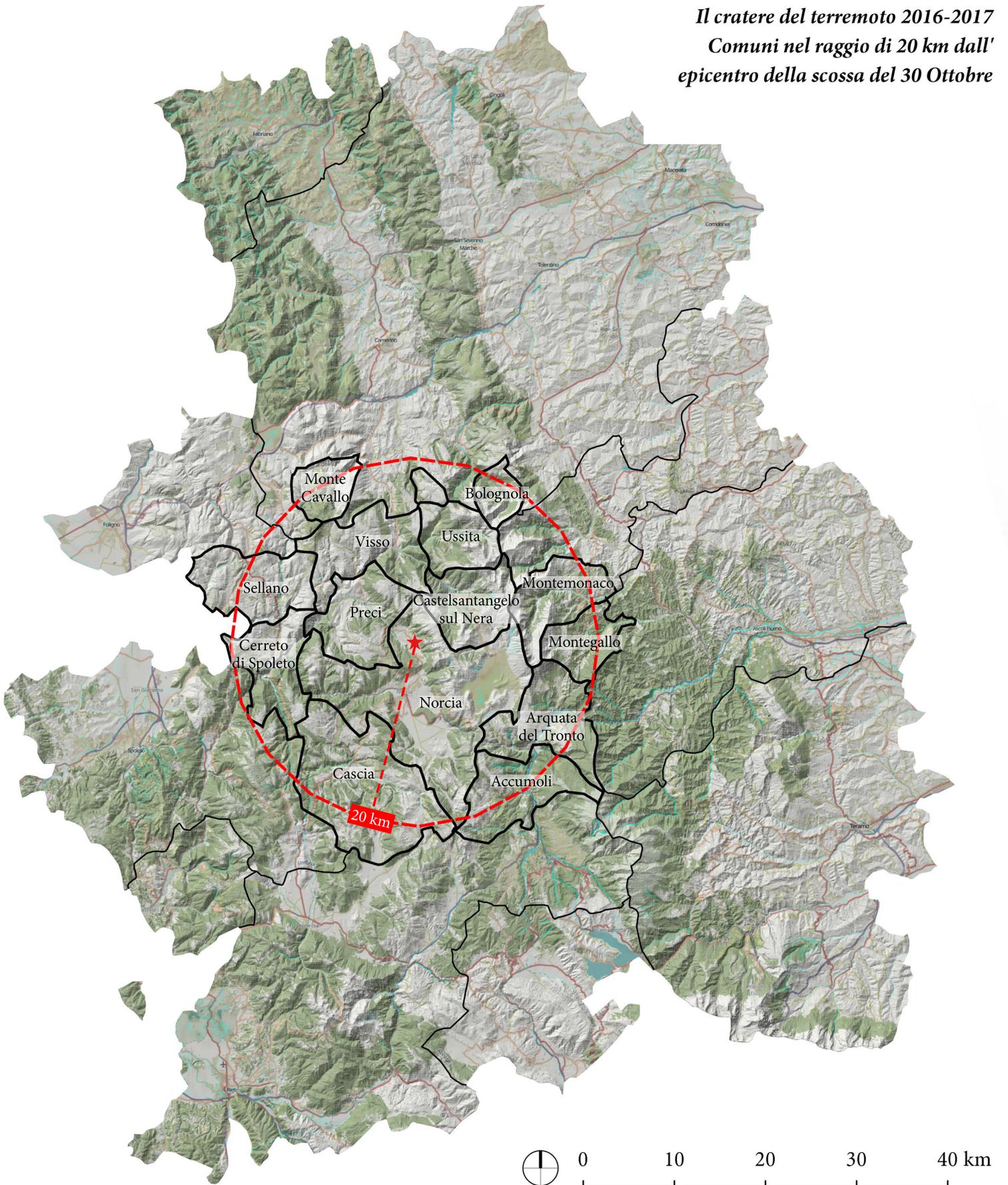
103. Sequenza sismica in Italia centrale: nuovo evento di magnitudo 6.5, 30 Ottobre 2016, ore 7:40.

Da: www.ingvterremoti.wordpress.com

epicentro¹⁰³:

Norcia	(PG)	5.5 km - Umbria
Castelsantangelo Sul Nera	(MC)	7.0 km - Marche
Preci	(PG)	7.3 km - Umbria
Visso	(MC)	10.3 km - Marche
Ussita	(MC)	11.8 km - Marche
Cascia	(PG)	15.7 km - Umbria
Sellano	(PG)	15.9 km - Umbria
Cerreto Di Spoleto	(PG)	16.0 km - Umbria
Arquata Del Tronto	(AP)	17.0 km - Marche
Montegallo	(AP)	18.2 km - Marche
Montemonaco	(AP)	18.9 km - Marche
Monte Cavallo	(MC)	19.3 km - Marche
Accumoli	(RI)	19.6 km - Lazio

*Il cratere del terremoto 2016-2017
Comuni nel raggio di 20 km dall'
epicentro della scossa del 30 Ottobre*



*Carta 4 (elaborata con QGIS)
I comuni nel raggio di 20 km dall' epicentro del 30 Ottobre 2016*

Legenda

NUOVI SHP:

Epicentro

 NORCIA

 Area buffer con raggio di 20 km dall' epicentro

 Comuni compresi nell' area buffer

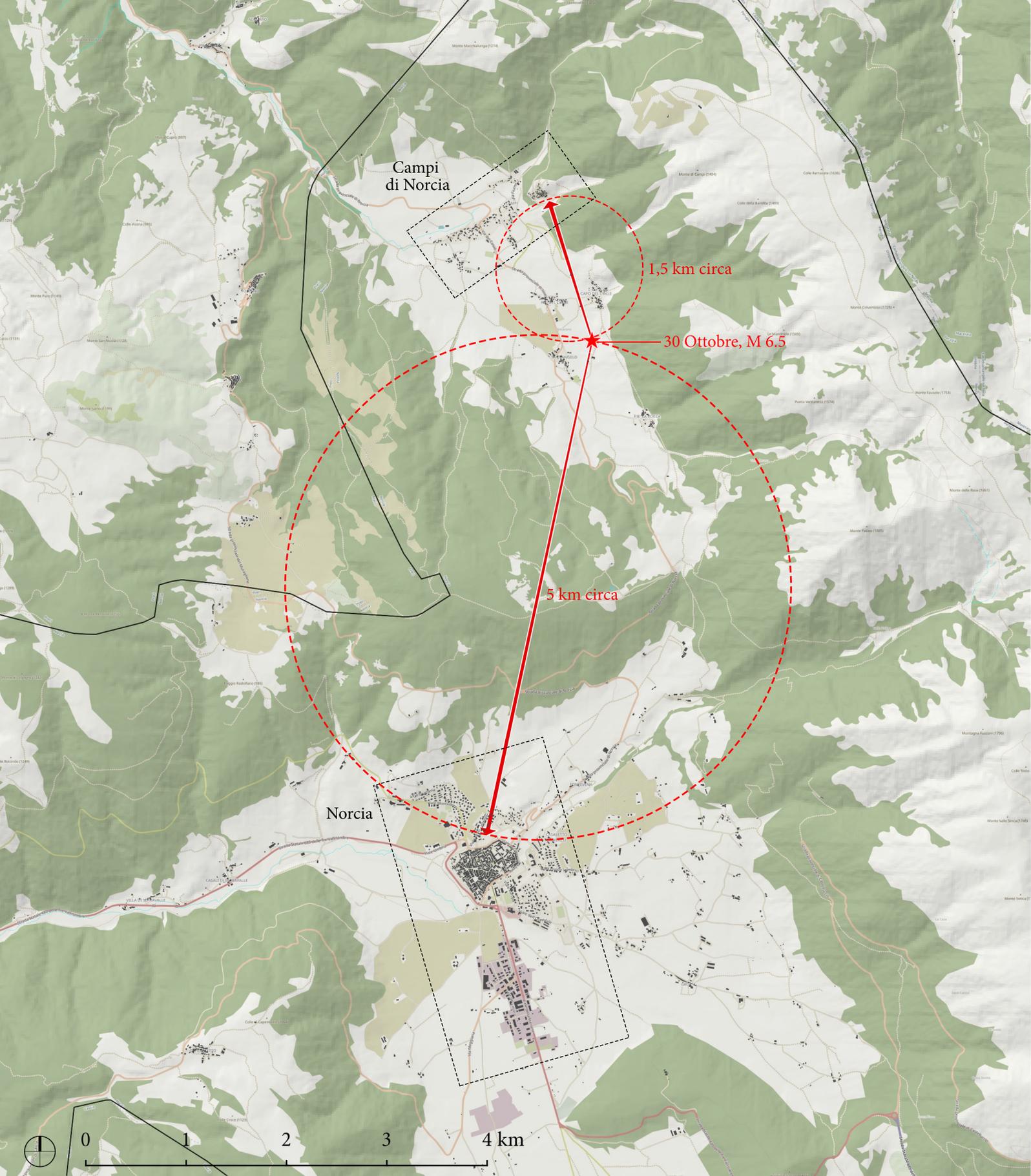
Base

 shapefile: Limite amministrativo province (Geoportale Nazionale)

 Idrografia OpenStreetMap (Geofabrik)

 shapefile: DTM GSD>20 metri (Sinanet - ISPRA)

 Carta OpenStreetMap (qgis webmapservice)



Carta tematica. L' epicentro del 30 Ottobre 2016

Legenda

NUOVI SHP:

Epicentro

★ NORCIA

○ Area buffer con raggio di 1,5/5 km circa dall' epicentro

→ dist_epi

□ Comuni compresi nell' area buffer

Base

□ shapefile: Limite amministrativo province (Geoportale Nazionale)

■ Edificato OpenStreetMap (Geofabrik)

— Idrografia OpenStreetMap (Geofabrik)

shapefile: DTM GSD>20 metri (Sinanet - ISPRA)

Carta OpenStreetMap (qgis webmapservice)

Dalla carta si dimostra la vicinanza dell' epicentro negli ambiti comunali di Norcia. E' stato inserito nel progetto GIS un nuovo vettore punto per la localizzazione dell' epicentro del sisma, attribuendo le sue relative coordinate ellissoidiche (Latitudine 42,84 nord e Longitudine 13,11 est) tratte dai rapporti tecnici dell' INGV. Si è dimostrato che la distanza che per Norcia il raggio d' aria è maggiore di 5 km per Campi la distanza è minore di 1,5 km; quindi è palese il motivo per cui le scosse percepite a Campi di Norcia sono state di intensità elevata.

Caso studio: Campi di Norcia

Cenni storici

Il comune di Campi storicamente rientrava nei possedimenti monasteriali Eutiziani. Il monastero aveva sede in un complesso non lontano dal comune di Campi, l' Abbazia di S. Eutizio. Esso visse un periodo di fiorente magnificenza tra il X e il XII secolo, durante il quale vi fu l' organizzazione di un vero e proprio feudo ecclesiastico. Esso si estendeva, oltre che nelle marche, anche nelle valli nursine.

Il XIII secolo segnava la fine del feudalesimo mentre “(...) il sorgere e l' affermarsi del comune, che dai principali centri urbani, più attivi e potenti, volgea cupidamente lo sguardo su quelle rocche isolate dove si annidavano gli ultimi resti del feudalesimo rurale (...) All' alba del Duecento, già la maggior parte di quei castelli erano andati a costituire il *comitatus* dei liberi comuni cittadini (...). I possessi eutiziani, sotto l' alta protezione della Santa Sede, potevano resistere più degli altri, ma sarebbe stato vano sperare che fossero lasciati incolumi. Dopo essersi aggregati altri luoghi più vicini, Norcia sentiva il bisogno di più Larga espansione. (...)”¹⁰⁴

Il passaggio dal possesso monastico a quello comunale segnò per Campi un cambiamento con la conseguente espansione. Così come successe per altri borghi della valle vi fu la costruzione di nuovi borghi satellite lungo la valle. Questo portò alla nascita di nuovi insediamenti fortificati tra cui il Castello di Campi su una collina al di sopra di Campi Bassa

104. Pirri, P. (1960). *L' Abbazia di Sant Eutizio in Val Castoriana presso Norcia e le chiese dipendenti, notizie storico-artistiche*. Roma: Studia Anselmiana 45, Pontificio Institutum S. Anselmi, Horbis Catholicus Herder.

105. Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni.* Tesi di dottorato. Politecnico di Milano

(Campi Vecchio). Il nuovo nucleo comprende abitazioni civili con annessi orti e manufatti ecclesiastici. L'insediamento viene denominato Campi Nuovo o Castello di Campi.¹⁰⁵

Oggi il comune è una frazione di Norcia (PG) in Umbria situato nella Val Castoriana. Della valle fanno parte il comune di Norcia che comprende le frazioni di Ancarano e Campi, e il comune di Preci di cui fanno parte altre piccole frazioni, costruite con caratteristiche particolari ma affini. Infatti la particolarità dei comuni della Val Castoriana sta nel fatto che sono insediamenti edilizi formati da due centri abitati, cioè divisi in una parte bassa e una parte alta, quest'ultima arroccata su un'altura. Disposizione di origine antica dovuta ad un'esigenza di sicurezza abitativa. Costruire l'insediamento su un'altura aveva una funzione sia simbolica che protettiva. Nel corso dei secoli, quando non vi fu più l'esigenza di protezione ci fu la discesa a valle della popolazione.

In questo senso a Piedivalle (parte bassa) corrisponde Valle (parte alta), a Borgo Preci (parte bassa) il castello di Preci (parte alta), ad Ancarano (parte bassa) le rovine di Ancarano (parte alta). Infine a Campi, la parte bassa in cui oggi vi sono i maggiori servizi agli abitanti, corrisponde Campi Alto, la parte alta della frazione, il quale storicamente faceva parte dell'antico Castello di Campi.¹⁰⁶

106. Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni.* Tesi di dottorato. Politecnico di Milano

Il Castello di Campi Alto venne cinto da mura intorno al 1288. Primo Castello della valle, nell'ordine di importanza, insieme a Preci. Dalla numerosa presenza di chiese all'interno del borgo eretto è testimo-

nianza della ricchezza della comunità che ci viveva. Sant' Andrea, chiesa principale dell' insediamento in Campi Vecchio o Campi Alto, fu costruita nel 1493.

L' identità di questi piccoli insediamenti sta nel loro rapporto con la conformazione del territorio ambientale in cui si inseriscono. Dovuto ad un atteggiamento costruttivo tipicamente medioevale, essi venivano costruiti con l' utilizzo di materiali locali: pietra e legno. Grazie a tali caratteristiche, queste antiche costruzioni, suscitano oggi interesse, perchè considerati beni storici-culturali e sono quello che noi oggi considereremmo costruzioni “sostenibili”; per l' utilizzo di materiali a km 0 e il rapporto con il territorio in cui sono locate. Per questo sono soggette a pratiche di conservazione e tutela.

Campi Alto, per questo, è un caratteristico esempio di comune della Val Castoriana. Esso è riconosciuto oggi come Campi Vecchio, dovuto allo sviluppo contemporaneo della parte bassa. Il centro è arroccato sull' altura verso nord-est e originariamente si inscriveva all' interno delle mura dell' antico castello. L' altitudine misurata dalla CTR supera la quota di 800 metri slm¹⁰⁷ fino a raggiungere la quota di circa 900 metri slm.

A questa struttura si doveva l' organizzazione territoriale del proprio sistema a discapito del rapporto con la città dominante. Lo stesso valeva per le Ville dislocate nel territorio della valle che erano delle vere e proprie “comunità rurali”.

107. *Slm*: punto corrispondente alla quota ellissoidica o anche detta geoidica definita dalla distanza tra il punto misurato e il Geoide.

Generalmente rappresenta il punto di elevazione rispetto al livello del mare.

108. Chiuni G. (1986). *Umbria. L'architettura popolare in Italia*. Roma: Laterza Ed.

Il carattere originale di questi organismi indipendenti stava nella numerosità piccoli insediamenti piuttosto che nella concentrazione di nuclei grandi e densi.

Caratteri tipologici dell'insediamento

Prima di procedere con qualsiasi operazione di rilievo a scala urbana è bene conoscere le caratteristiche che identificano il nucleo urbano da documentare. Soprattutto se si tratta di un agglomerato urbano di particolare pregio storico e culturale. Le indagini tipologiche sono alla base del processo di documentazione dell'architettura.

Alle tipologie di insediamento, vengono attribuite differenti denominazioni, che si differenziano in base alla morfologia dell'agglomerato urbano stesso costruito anche secondo caratteristiche geo-morfologiche territoriali.

Tuttavia la distribuzione degli isolati può essere differente all'interno del nucleo abitativo. Nel territorio nursino, possiamo ritrovare differenti tipologie abitative, che si differenziano in base alla disposizione dell'edificato in relazione ad migliore uso degli spazi, ma vengono classificate in diversi modi. (fig.11)

La conformazione dell'insediamento di Campi Alto è denominato di "controcrinale". Le costruzioni si sviluppano su diversi livelli seguendo le quote del terreno; mentre il sistema viario segue l'andamento delle curve di livello raccordandosi alle estremità. Il nucleo e i suoi aggregati

si può dire “compatto” derivante anche dalla conformazione del pendio e del terreno scosceso su cui si erige.

La morfologia planimetrica dell’ insediamento deriva dai suoi aspetti funzionali. Le porte del paese erano situate ai lati del centro fortificato ad una quota intermedia (ad Ovest in corrispondenza di Sant’ Andrea), collegate da due tratti stradali differenti. La conformazione delle mura era di forma triangolare con la punta a monte. (fig.10)

La disposizione delle abitazioni è a fasce parallele con la facciata principale, lato lungo, rivolto verso sud-ovest, orientamento che permette una migliore esposizione solare. Questa particolare conformazione planimetrica viene denominata “a ventaglio”. Per definire meglio questo “schema insediativo”, il punto da cui si apre il “ventaglio” di edifici è il punto più alto del nucleo, corrispondente ad un edificio significativo in genere: laico, politico o religioso. Nel caso di Campi Alto il sistema converge verso i ruderi della chiesa Santa Maria delle Grazie, edificio significativo in cima alla collina. (fig.12)

La tipologia abitativa è a schiera e nella maggior parte dei casi la stessa costruzione è servita da due strade una a valle e una monte. L’ accesso a valle, nella parte inferiore dell’ edificio, è per piani seminterrati mentre a monte si accede allo spazio abitativo. Gli orti sono collocati all’ interno, esso permetteva di svolgere funzioni abitativa e di lavoro in uno spazio ristretto. Sotto o a fianco delle abitazioni vi sono anche dei locali interrati o seminterrati che avevano la funzione di depositi, fienili, cantine,

fig.10 - L' insediamento alto di Campi. Il borgo si sviluppa a "ventaglio". Un impianto di questo genere viene definito "di controcrinale" perchè eretto sulle creste di un' altura. Immagine tratta da: www.google.com/earth/



stalle. Data la disposizione e la grandezza e la collocazione degli appezzamenti, si può affermare che l' economia del centro abitato andava più verso l' allevamento e la pastorizia piuttosto che essere incentrata sull' agricoltura.

Le abitazioni sono per la maggior parte blocchi di case unifamiliari su tre livelli generalmente. L' altezza dei piani è data dalla morfologia del terreno su cui si poggia, cioè l' elevata pendenza del terreno porta ad un aumento dell' altezza degli edifici, per colmare il dislivello tramite l' aggiunta di piani fuori terra.

La tipologia costruttiva dei fabbricati di epoca medioevale presenti nel territorio nursino, è a muratura in pietra locale di poca lavorazione costruita con conci di diverse dimensioni. In casi specifici la tipologia di muratura è costituita da materiale lapideo con inserti, in particolari

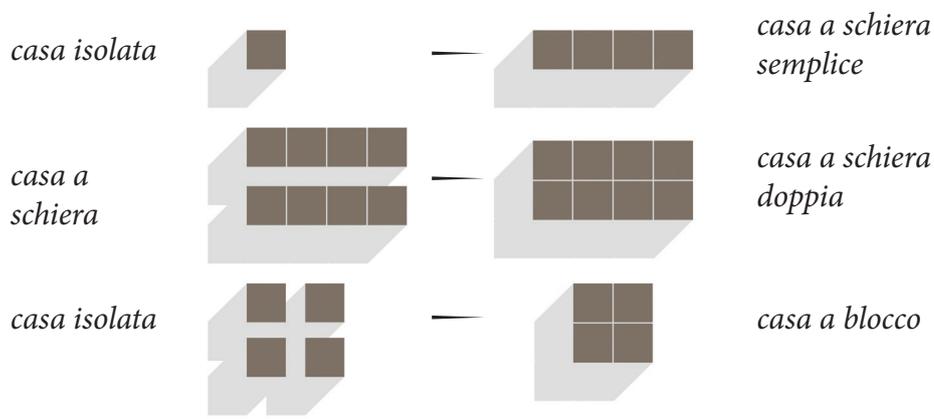


fig.11 - Schemi di tipologie abitative riscontrabili nel territorio nursino. Rielaborazione di immagine tratta da: Chiuni G. (1986). *Umbria. L'architettura popolare in Italia*. Roma: Laterza Ed.

punti, laterizi come zeppe nella muratura.¹⁰⁹

I cantonali degli edifici sono formati da conci più grandi di pietra. Le aperture dei muri al pian terreno per gli ingressi principali alle abitazioni, sono spesso ad arco, mentre la posizione delle finestre risulta in corrispondenza dello stesso asse verticale dei portali. Tipico schema costruttivo tradizionale che permette lo scarico a terra dei maschi murari. I solai e le coperture hanno una struttura formata da travi in legno. I contrafforti e la presenza di catene metalliche presenti sugli edifici indicano i precedenti restauri testimoniano la sismicità dell'area. Soprattutto, fin all'ultimo ventenni del secolo scorso, Campi Alto ha subito una trasformazione dovuta agli interventi di restauro e ripristino dei paramenti murari delle murature. Gli adeguamenti sismici come in questo caso risultano spesso compromettenti perchè mascherano l'aspetto

109. Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni*. Tesi di dottorato. Politecnico di Milano

originario della costruzione. (fig.13)

“Già con i terremoti del secolo passato che colpiscono il paese (1703, 1730, 1859), la prima risposta al sisma fu quella di intervenire sulle murature costruendo contrafforti e speroni su quasi tutte le facciate a valle degli edifici, soprattutto quelli alle estremità delle schiere. Pertanto gli originari paramenti si presentano già in gran parte coperti.”¹¹⁰ Gli speroni e i contrafforti (fig.16) non sono altro che sostegni della muratura, per contrastare le forze agenti perpendicolarmente al piano del muro, che a causa dell’ azione sismica, possono portare al ribaltamento della facciata. In genere vengono considerati degli elementi strutturali *tampo-*

110. Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni.* Tesi di dottorato. Politecnico di Milano



fig.12.1 - Sezione stilizzata di un “Insediamiento di controcinale”
 fig.12.2 - Carta delle asperità di Campi Alto, identificazione della tipologia “a ventaglio”.
 In rosso l’ edificio significativo rappresentato dai ruderi di Santa Maria delle Grazie.



ne, per il rinforzo della muratura, il quale se ammorsato male al muro, può anche essere totalmente inefficace durante un terremoto. E' una tipologia di consolidamento molto usata nei restauri moderni.

I terremoti storici

Gli eventi sismici in cui sono documentati i maggiori danni furono quelli del: 1703, del 1730, del 1859 e del 1979.

Il terremoto del 14 gennaio 1703 è considerato il terremoto storico con il livello di magnitudo che più si avvicina a quello recente del 2016. La scossa “provocò il crollo di venti case, mentre altre venticinque divennero inabitabili.”¹¹¹

“Il terremoto del 12 Maggio 1730, distrusse gran parte delle abitazioni e fece delle vittime.”¹¹¹ Sul sisma del 22 Agosto 1859 non ci sono informazioni precise ma vi sono delle iscrizioni sul paramento murario di alcuni edifici che riportano la data dell' intervento di riparazione. (fig.13)

“Il terremoto del 19 settembre 1979, danneggiò dodici edifici dei quali l' 85% era costituito da case vecchie o mal ristrutturate, o in pietra grezza legata con malta scadente, il 10% delle abitazioni subì crolli parziali; il 15% danni gravi; il 60% danni di media entità, il 15% danni leggeri”¹¹¹

Secondo le testimonianze di Romano Cordella che visitò la situazione post-sisma del '79, i crolli ci furono nelle abitazioni poco più a monte di Sant' Andrea. Riguardo la chiesa, le condizioni interne erano peggiori di quelle esterne, dovuto a ristuccature degli intonaci in facciata. La co-

111.Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni.* Tesi di dottorato. Politecnico di Milano

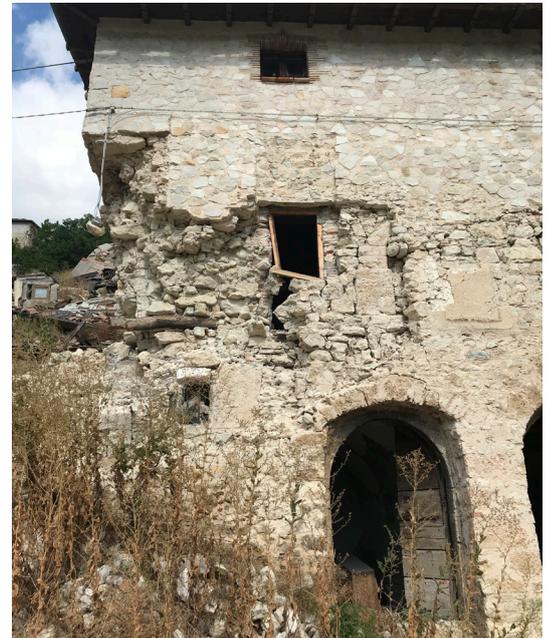
fig. 13 - Immagine delle iscrizioni (1704 e 1859) sulla muratura che indicano gli anni degli interventi di restauro post-sismici.
 fonte: Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni.* Tesi di dottorato. Politecnico di Milano



fig. 14 - Foto di un particolare del paramento murario della chiesa di Sant'Andrea.

fig. 15 - Crollo di una porzione di edificio che riporta alla luce la sezione interna la muratura.

fonte: Sopralluogo team DIRECT 2018



apertura non cedette all' azione sismica. La porta delle mura del castello riportava crolli e lesioni selettive. Il restauro sulle strutture abitative a seguito del sisma del '79 non stravolse il tessuto originario di Campi Alto.¹¹¹

Attraverso le informazioni contenute nei *Brogliardi di Mappa*, documenti annessi alle mappe catastali, oggi possiamo avere una documentazione su come è cambiato l' insediamento nel tempo.

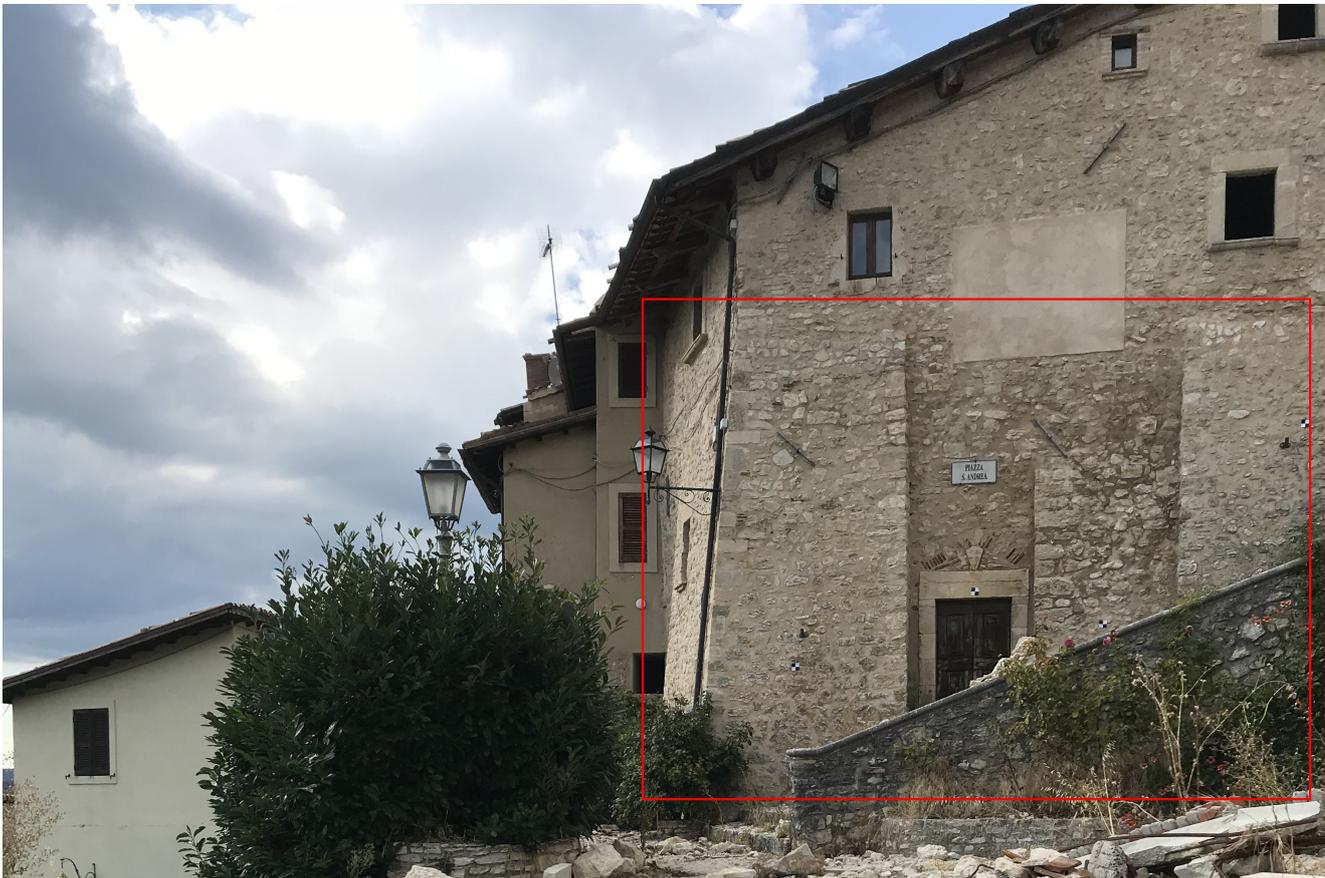


fig. 16 - I contrafforti sulla facciata di un edificio civile. Da: Sopralluogo 2018 team DIRECT.

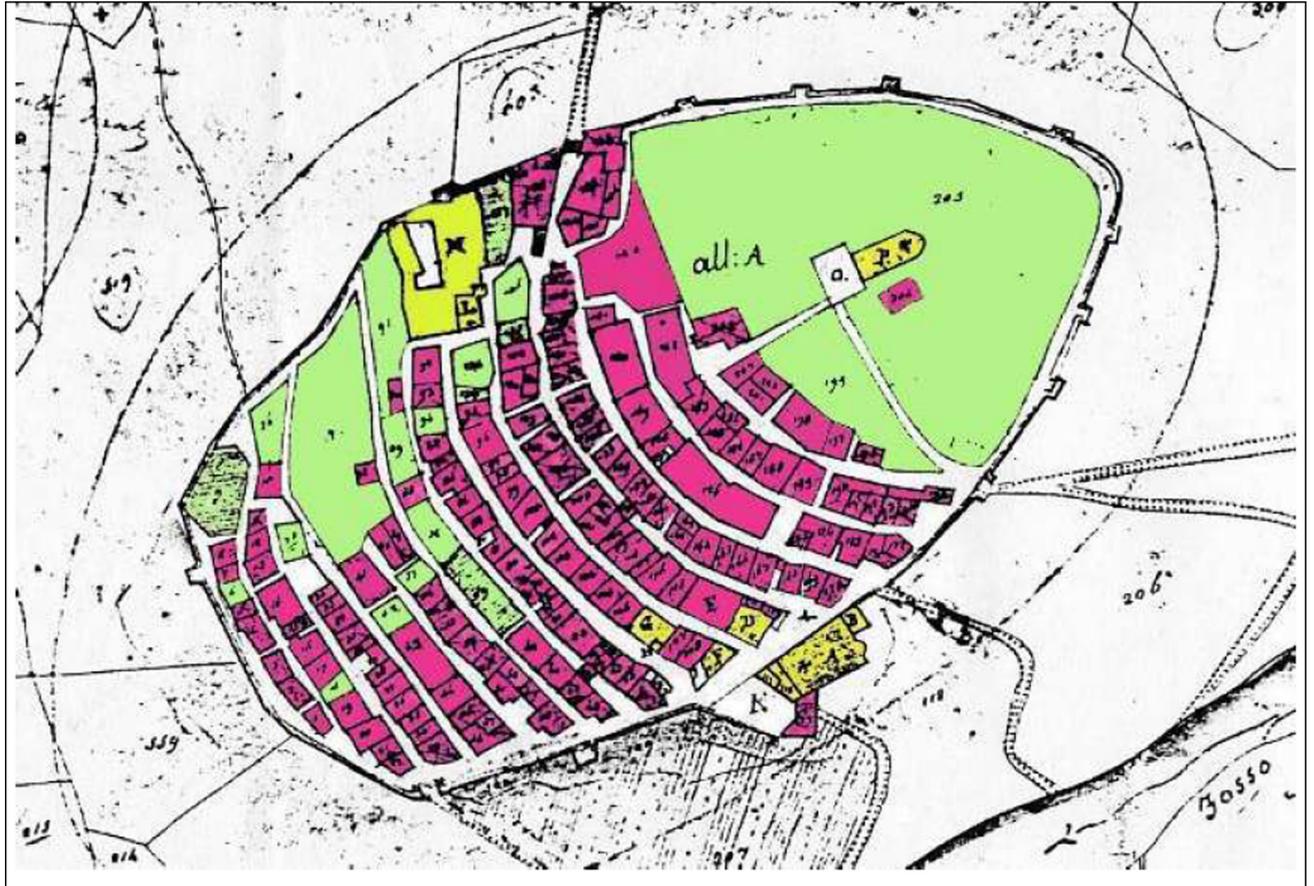


fig.17 - Presunto scenario post-sisma del 1703. Mappatura delle abitazioni (rosa) e degli edifici ecclesiastici (giallo) aree verdi (verde).

Base cartografica: Catasto Gregoriano, in vigore dal 1836 al 1956

Fonte primaria: Archivio di Stato di Perugia (Catasto Gregoriano, fol

Fonte secondaria: Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni.* Tesi di dottorato. Politecnico di Milano (mappatura)

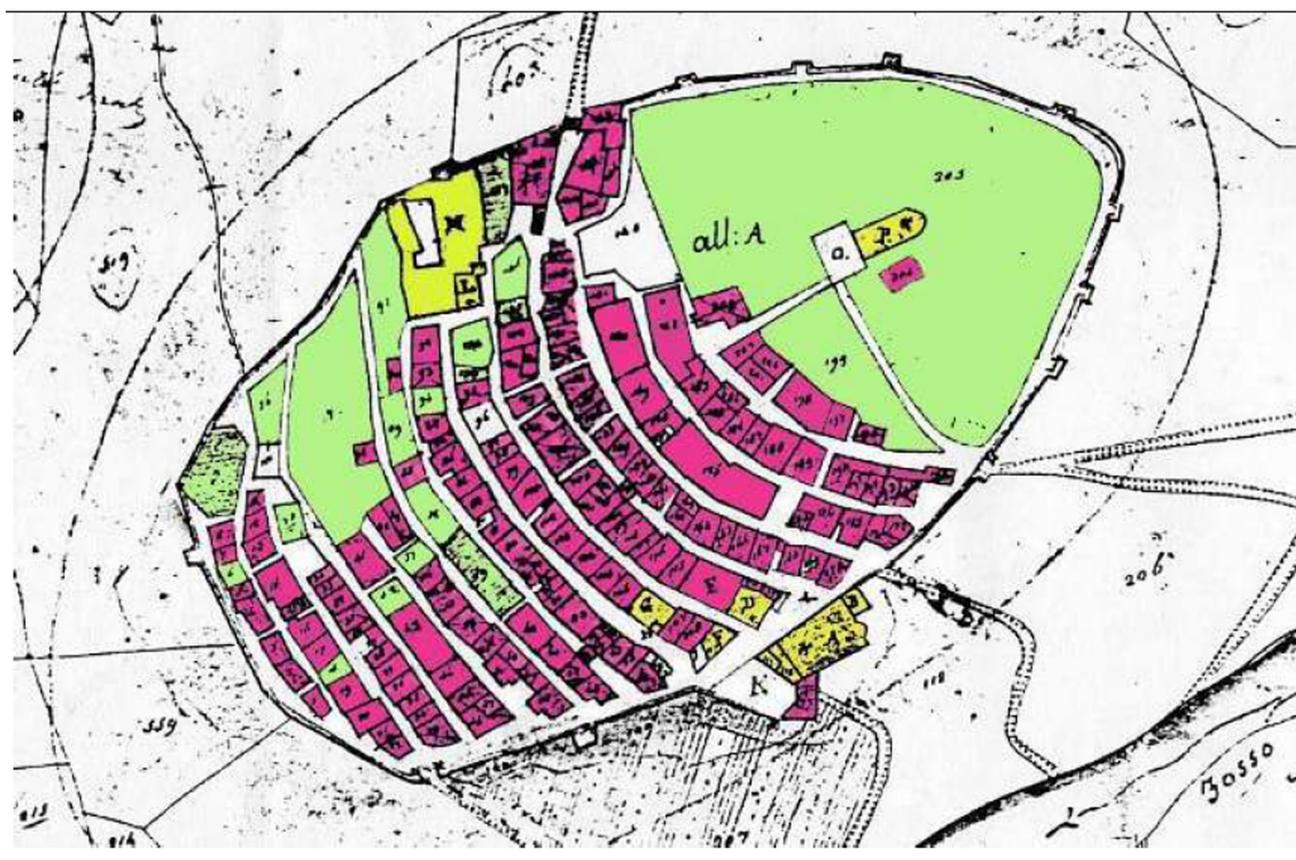


fig. 18 - Presunto scenario post-sisma del 1719. Mappatura delle abitazioni (rosa) e degli edifici ecclesiastici (giallo) aree verdi (verde).

Base cartografica: Catasto Gregoriano, in vigore dal 1836 al 1956

Fonte primaria: Archivio di Stato di Perugia

Fonte secondaria: Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni*. Tesi di dottorato. Politecnico di Milano

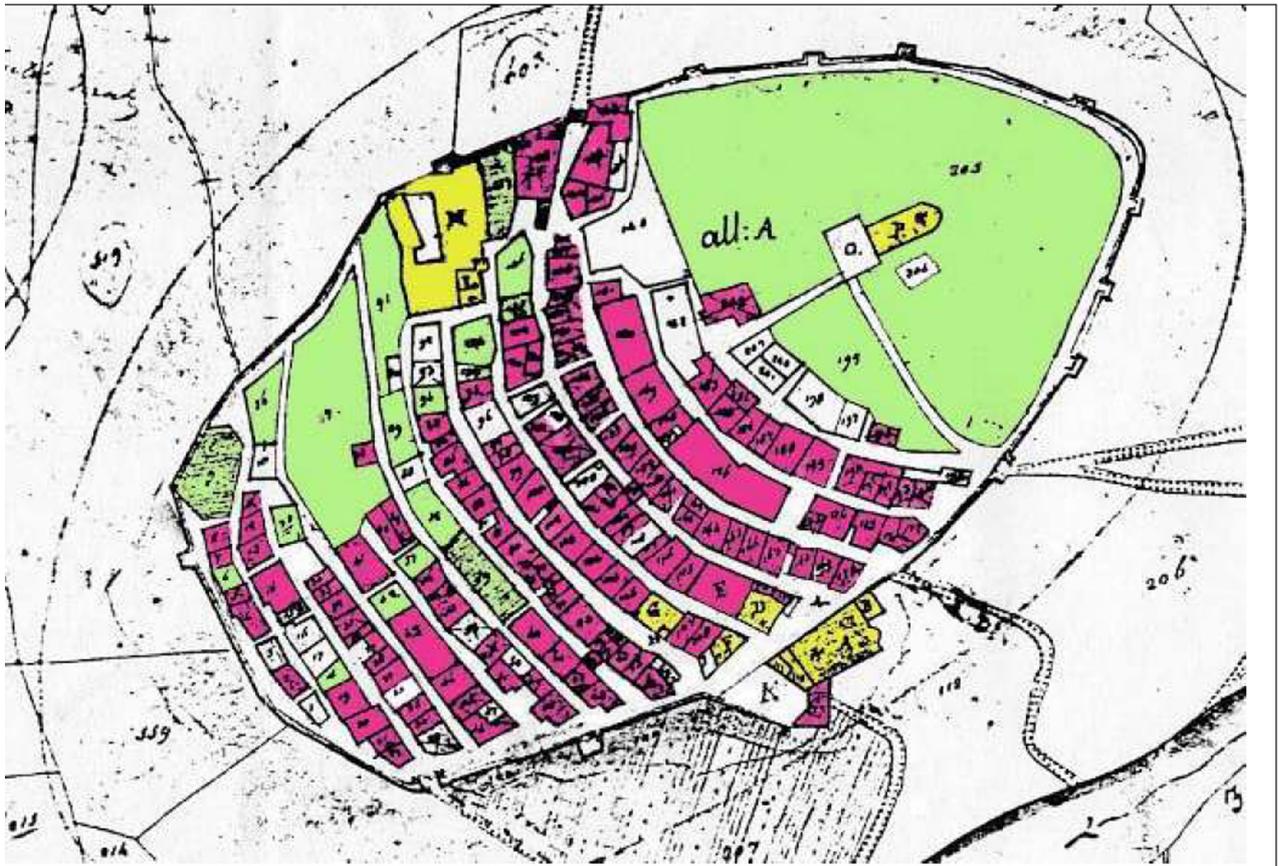


fig. 19 - Presunto scenario post-sisma del 1730. Mappatura delle abitazioni (rosa) e degli edifici ecclesiastici (giallo) aree verdi (verde).

Base cartografica: Catasto Gregoriano, in vigore dal 1836 al 1956.

Fonte primaria: Archivio di Stato di Perugia

Fonte secondaria: Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni*. Tesi di dottorato. Politecnico di Milano

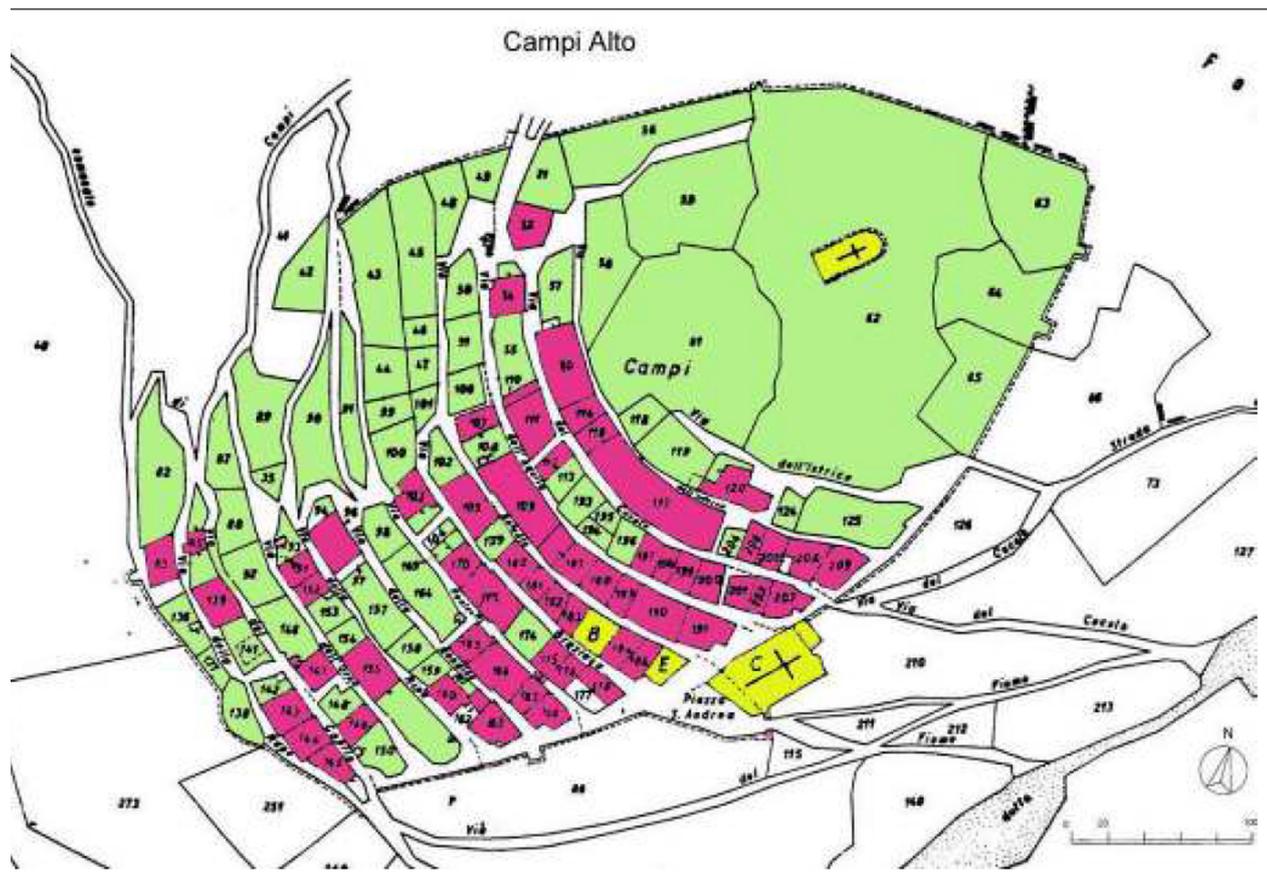


fig. 20 - Presunto scenario post-sisma del 1859. Mappatura delle abitazioni (rosa) e degli edifici ecclesiastici (giallo) aree verdi (verde).

Base cartografica: Mappa catastale del 1939

Fonte primaria: Archivio di Stato di Perugia

Fonte secondaria: Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni*. Tesi di dottorato. Politecnico di Milano

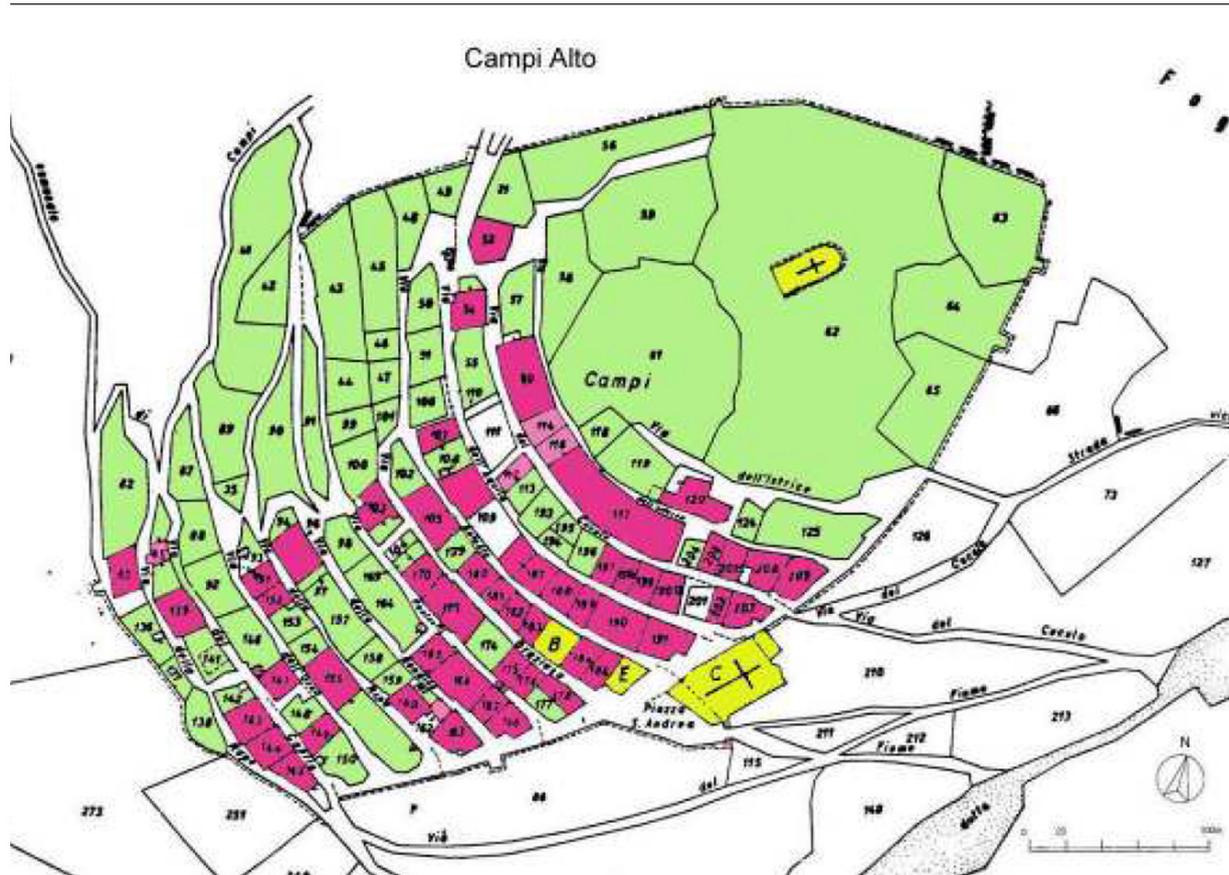


fig. 21 - Presunto scenario post-sisma del 1979. Mappatura delle abitazioni (rosa) e degli edifici ecclesiastici (giallo) aree verdi (verde).

Base cartografica: Mappa Catastale del 1939.

Fonte primaria: Archivio di Stato di Perugia

Fonte secondaria: Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni.* Tesi di dottorato. Politecnico di Milano

La cartografia riportata mostra delle *campiture* con diversi colori che documentano l'evoluzione di Campi Alto dal XVIII sec. al XX sec., prendendo visione dei presunti scenari post-sisma alla luce in successione cronologica.¹¹² (fig. 17, 18, 19, 20, 21)

Lo scenario post-sisma dopo il 30 Ottobre

I crolli cominciarono già a partire dal 24 Agosto, data in cui ci furono le prime scosse molto intense. Lo scenario di Campi Alto dopo il 30 Ottobre è quindi il risultato di una sequenza di scosse sismiche che si sono succedute nell'arco temporale.

Il centro abitato di Campi Alto presenta molti danni alle strutture, (fig. 21-22) lo dimostrano i dati degli organi di competenza che si sono occupati della perizia sul loro livello di agibilità: infatti gli esiti relative a quarantanove schede di rilievo AeDES, valutazioni richieste in base all'Ordinanza n.25/2017, riportano che la percentuale di edifici inagibili della zona perimetrata di Campi Alto è pari al 98%. Inoltre il livello di intensità macrosismiche rilevato è maggiore all' 8° grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).¹¹³

112. Cardani, G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di intervento per la prevenzione dei danni*. Tesi di dottorato. Politecnico di Milano

113. Dati Ufficiali recuperati da: Scheda Allegato 2. ORDINANZA COMMISSARIO STRAORDINARIO N. 25 DEL 23 MAGGIO 2017. Perimetrazione dei centri e nuclei di particolare interesse che risultano maggiormente colpiti



fig.21 - Foto del fronte della chiesa di Sant' Andrea
Fonte: Sopralluogo (2018) Team DIRECT



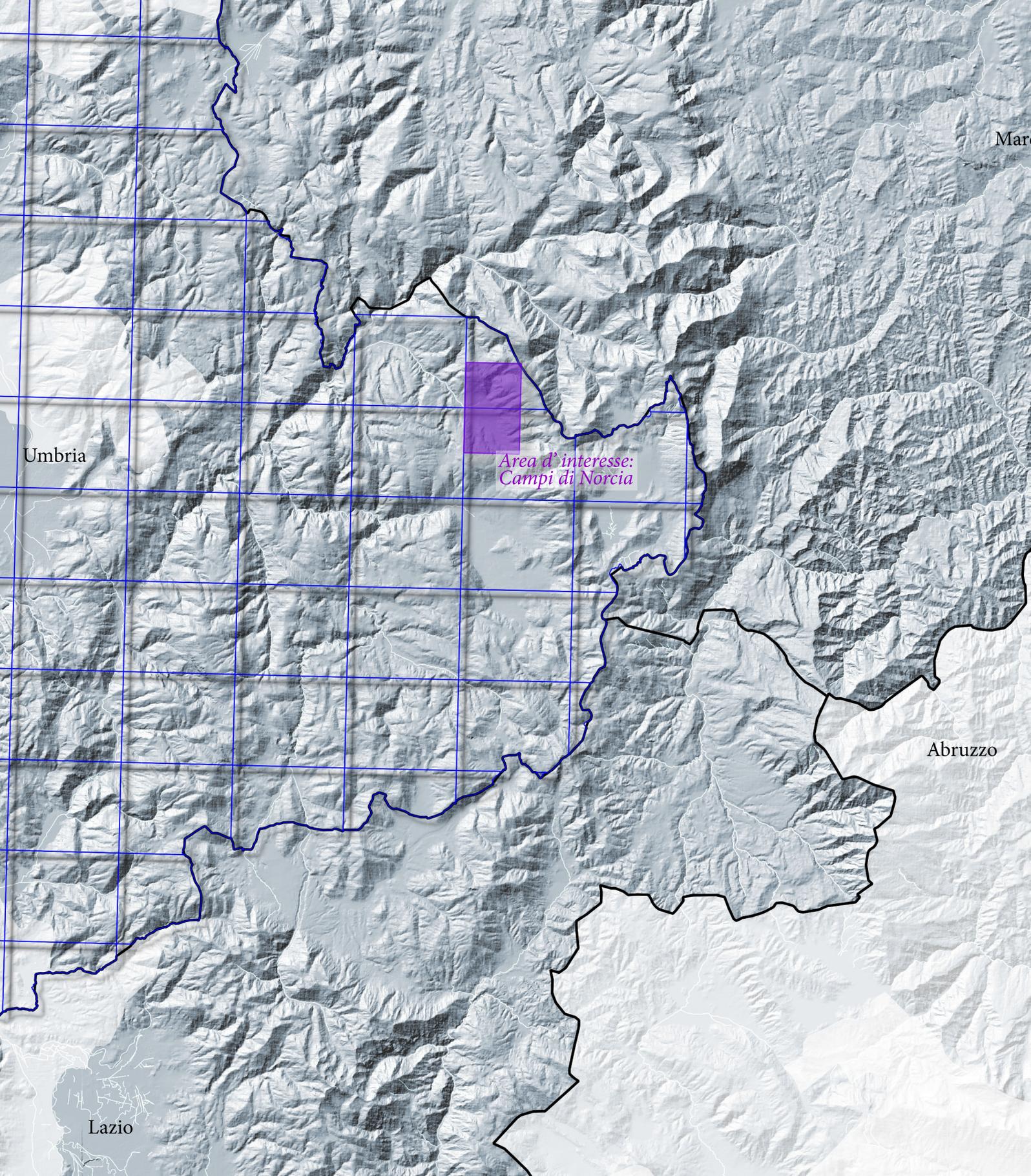
fig.22 - Foto dell' esterno delle abitazioni.
Fonte: Sopralluogo (2018) Team DIRECT



fig.23 - Immagine dell' area da Phantom 4
Fonte: Sopralluogo (2018) Team DIRECT



fig.24 - Immagine dell' area da Phantom 4
Fonte: Sopralluogo (2018) Team DIRECT



Mar

Umbria

*Area d'interesse:
Campi di Norcia*

Abruzzo

Lazio

ACQUISIZIONE, GESTIONE ED ELABORAZIONE DI DATI CARTOGRAFICI

Introduzione

Il capitolo tratta di due fasi operative, fondamentali per la documentazione a diverse scale di scenari post-sisma.

La prima fase riguarda l'acquisizione di due tipologie di dati: strutturati e grezzi. I dati strutturati sono quelli provenienti dagli enti regionali, che forniscono la cartografia del proprio territorio a diverse scale. Si tratta di dati geografici georiferiti in un loro sistema di riferimento cartografico nazionale. Con l'utilizzo di questi dati è stato possibile visualizzare l'area di riferimento a differenti

Carta tematica elaborata con QGIS. Suddivisione dei "fogli" della cartografia numerica regionale in scala 1:10000 e marcatura dei due "fogli" corrispondenti ai dati utilizzati alla scala 1:5000 della cartografia regionale di riferimento.

Legenda

-  Area d'interesse cartografico
-  Fogli 1:10000 Regione Umbria (GeoUmbria)
-  Limiti regionali (Geoportale Nazionale)
-  Idrografia OSM (Geofabrik)
-  Cratere sismico 2016 (Umbria, Marche, Lazio)
-  Cratere sismico 2017 (Abruzzo)
-  DTM, GSD > 20m (Sisanet - ISPRA)



0

10

20 km

scale per inquadrare lo scenario da documentare, oltre che georeferenziare il caso studio nel suo contesto ambientale e territoriale.

ACQUISIZIONE DI DATI CARTOGRAFICI

Il *dataset* cartografico della regione Umbria

La cartografia numerica, essenziale per la base cartografica, è stata ricercata all'interno delle banche dati della regione Umbria. Si sono ricercate tipologie di dati geospaziali disponibili che hanno lo scopo di rendere più trasparente l'azione delle amministrazioni pubbliche divulgando una serie di contenuti fruibili da tutti per un determinato territorio i cosiddetti *Open Data*.

Grazie ad un sistema di codifica unico è stato facile capire l'appartenenza e le localizzazioni di "fogli" (Quadri d'Unione) riferiti all'area da inquadrare. Essa comprende i seguenti settori: Sud-Est di Umbria nello specifico l'area compresa nei limiti comunali di Norcia.

I dati geografici acquisiti sono state le CTR - Carte Tecniche Regionali che hanno un ruolo prominente per fornire informazioni territoriali tecniche delle aree, sia per la progettazione che per il rilievo, quindi utili per applicazioni ai fini della elaborazione cartografica.

Per quanto riguarda i dati comunali sono disponibili le CTR in scala 1:10000, mentre per la cartografia a livello alla scala delle frazioni della val Castoriana, in particolare i "fogli" che inscrivono il caso studio, le

CTR 1:5000.

Le CTR 1:10000 sono servite come base di appoggio all' inquadramento della sequenza sismica, mentre per la base geografica da integrare al rilievo fotogrammetrico è stata usata la CTR in scala 1:5000.

CTR 1:5000

Elemento: 325103 File: Raster - TIFF + Vettoriale - DXF

Elemento: 325144 File: Raster - TIFF + Vettoriale - DXF

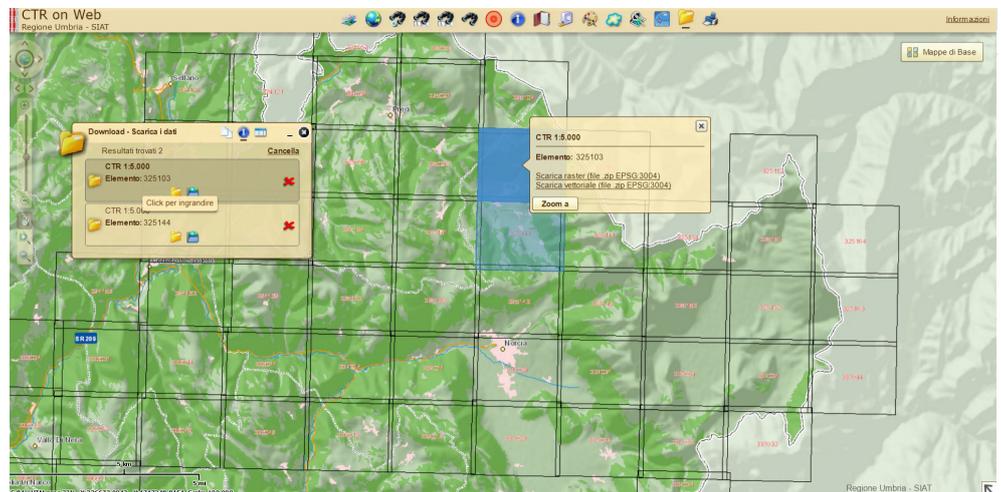


fig.1 - Immagine raffigurante l'operazione di acquisizione della cartografia regionale 1:5000. In *CTR on WEB* su Geoportale della Regione Umbria.

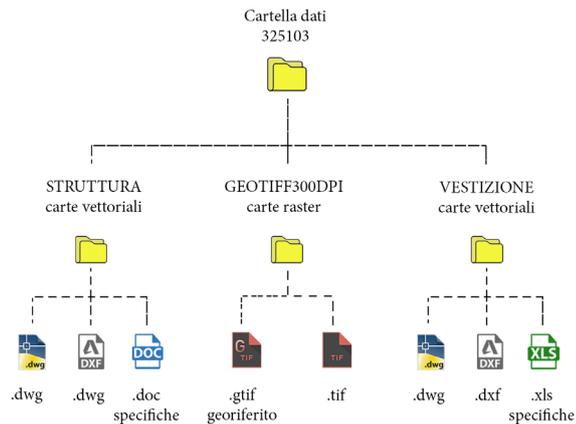


fig.2 - Schema che illustra il contenuto della cartella scaricata dal Geoportale Umbria: www.siat.regione.umbria.it

Campi di Norcia risulta tra i due quadranti, ma Campi Alto è contenuto nel primo elemento.

La CTR 1:5000, che ricopre solo le aree maggiormente antropizzate pari a circa il 60% della regione, è la cartografia con il rapporto di scala più grande che il Geoportale Umbria mette a disposizione come contenuto *open*. Il contenuto della cartella scaricata è riportato nello schema. (fig.3) Essa contiene i vettoriali (.dwg,.dxf) della *struttura* e della *vestizione* cartografica con le relative specifiche in documenti di testo (.doc,.xls) e le carte in formato *raster* (.g.tif,.tif) di cui una è geo-riferita nel sistema precedente: *Roma40*.

Il file di *vestizione cartografica* è stato usato per la decodifica dei dati strutturati. Essa è un metodo di valorizzazione della carte numeriche che consiste nell'attribuire simboli grafici per rappresentare gli oggetti.

I simboli vengono definiti attraverso database topografici regionali.

Altri Open Data raccolti provengono dal dataset di Copernicus EMS che fornisce una serie di dati vettoriali gestibili in campo GIS sui territori colpiti da eventi sismici. I dati scaricati sono quelli relativi all'area d'interesse inscritta nei *fogli 07 e 08*. (fig.3)

Questi fogli sono cartografie chiamate Grading Maps realizzate da Copernicus EMS dopo il terremoto. Il servizio fornisce elaborazioni e analisi delle aree colpite tramite mappature tempestive sulle immagini satellitari acquisite poche ore dopo l'evento sismico. I prodotti cartografici vengono poi pubblicati successivamente pochi giorni dopo offrendo un

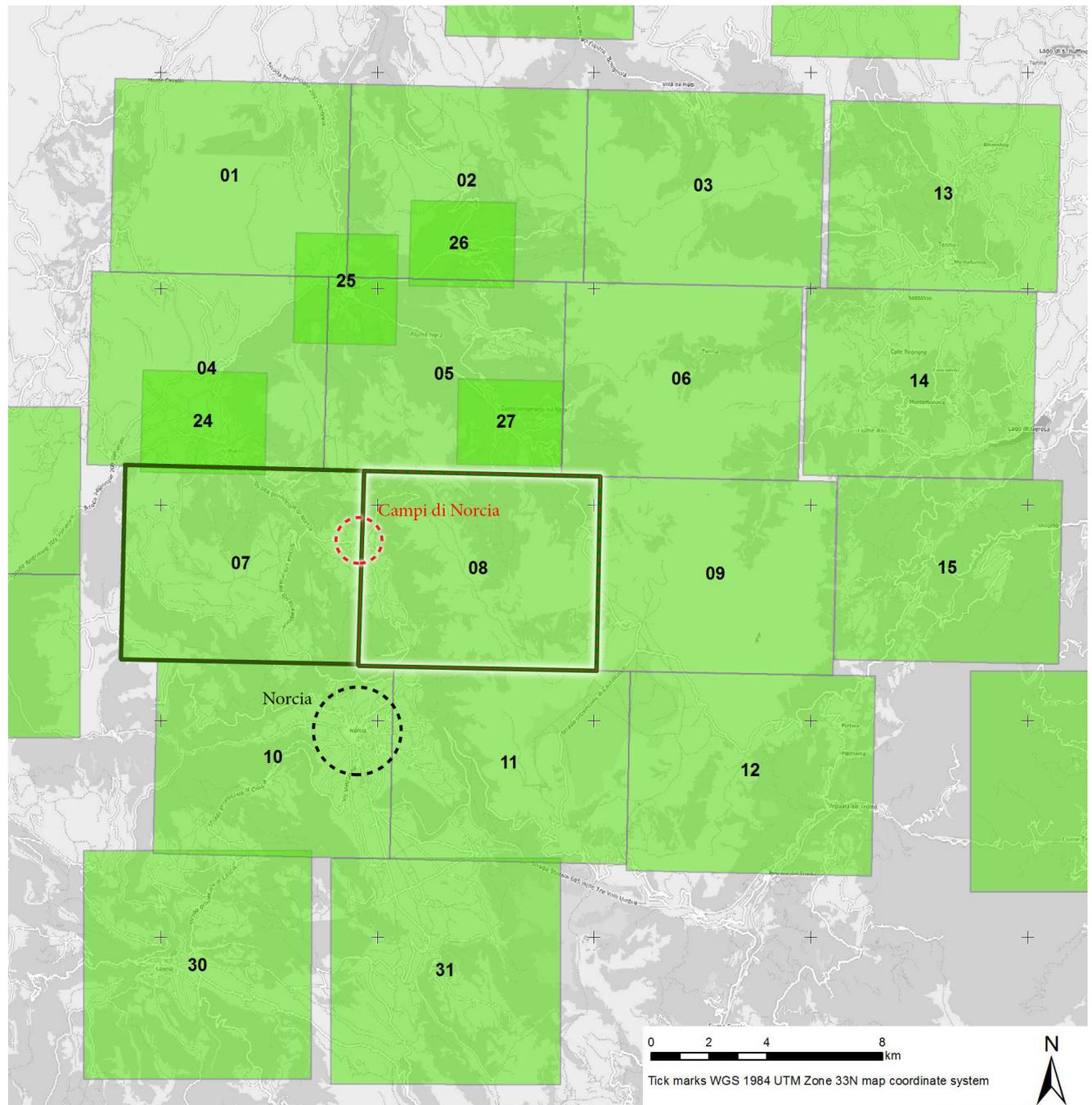


fig.3 - Suddivisione dei fogli cartografici riferiti alla produzione cartografica di Copernicus EMS sulle aeree colpite dal terremoto del 2016. Da: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/search/node/italy>

Copernicus EMS - Gradient Maps

■ EMSR190: 07 (Todiano) 08 (Pie del Colle)

□ Caso studio (Campi di Norcia)

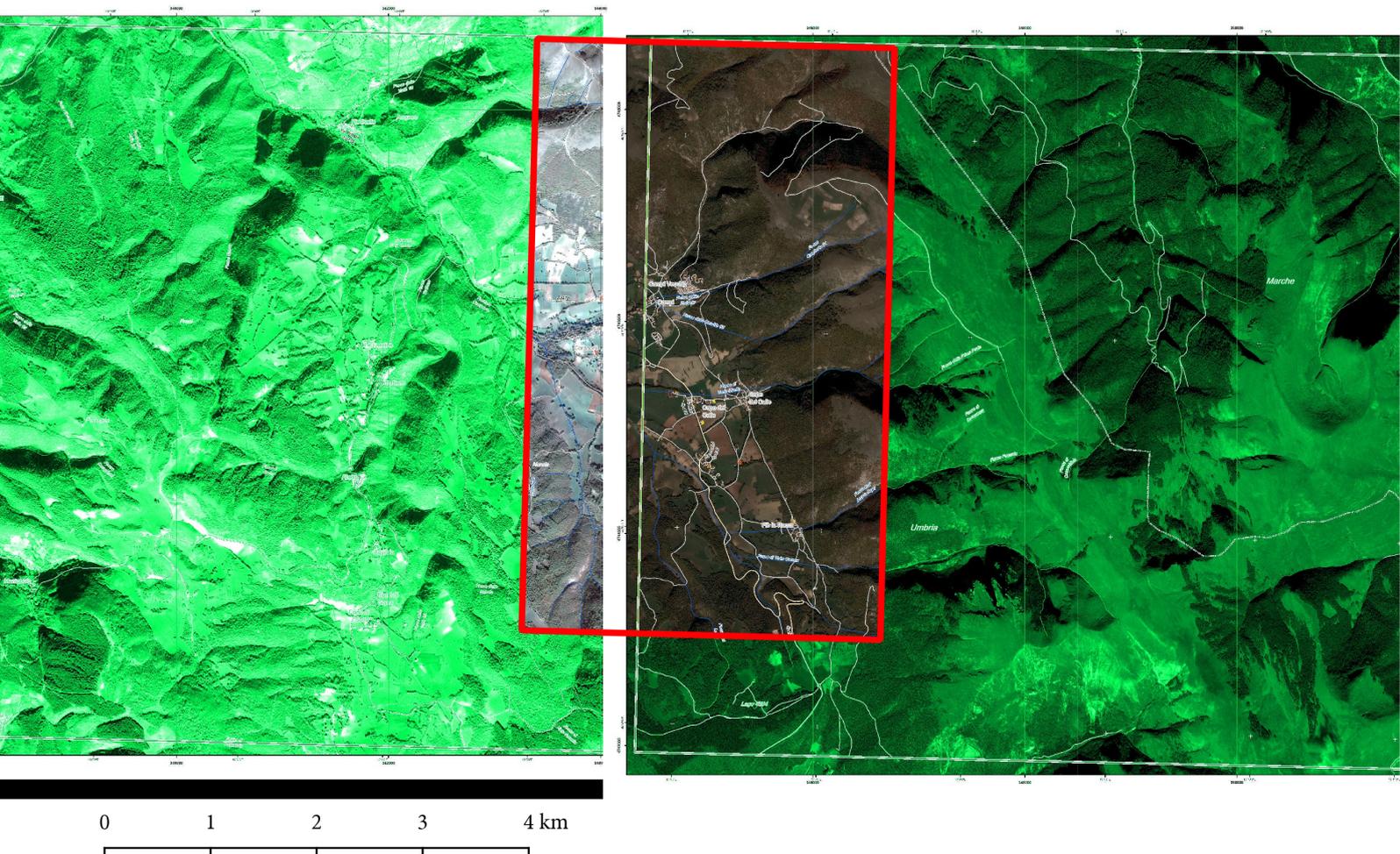


fig.4 - Immagine elaborata con QGIS che mostra l' accostamento dei fogli 07 e 08 georeferenziati in WGS84, con indicata l' area di riferimento al caso studio Campi di Norcia oggetto per la raccolta dati geografici. Da: <https://emergency.copernicus.eu/mapping/search/node/italy>

servizio di risposta all' emergenza. Purtroppo le Grading Maps realizzati non hanno interessato tutti i comuni e le frazioni colpite distrutte dal sisma ma solo quelle dove il danno era più rilevante e visibile da satellite. A queste mappe si è fatto riferimento principalmente solo per acquisire i file vettoriali associati, sono stati raccolti i dati, provenienti da *OpenStreetMap* già in formato *.shp (shapefile)*, di edificato e viabilità. Questi dati creati attraverso il *crowdsourcing*, cioè non generati da organi competenti, risultano però gestibili con GIS per le procedure di *Rapid Mapping*.

ELABORAZIONE DELLA CARTOGRAFIA

Pre-processing dati cartografici

Scelte le sezioni che includono il caso studio nella scala desiderata, per poterla utilizzare, si è dovuto attuare un processo di armonizzazione dei sistemi di coordinate, solo per alcuni dati. La cartografia scaricata, fornita dalle regioni, era nel sistema di riferimento nazionale come segue:

Nome: Monte Mario/ Italy Zone 2

Datum: ROMA40

Proiezione: Gauss-Boaga

Fuso: Est

EPSG: 3004

Quindi tutto il dataset scaricato è stato georiferito nel sistema di riferimento del progetto GIS:

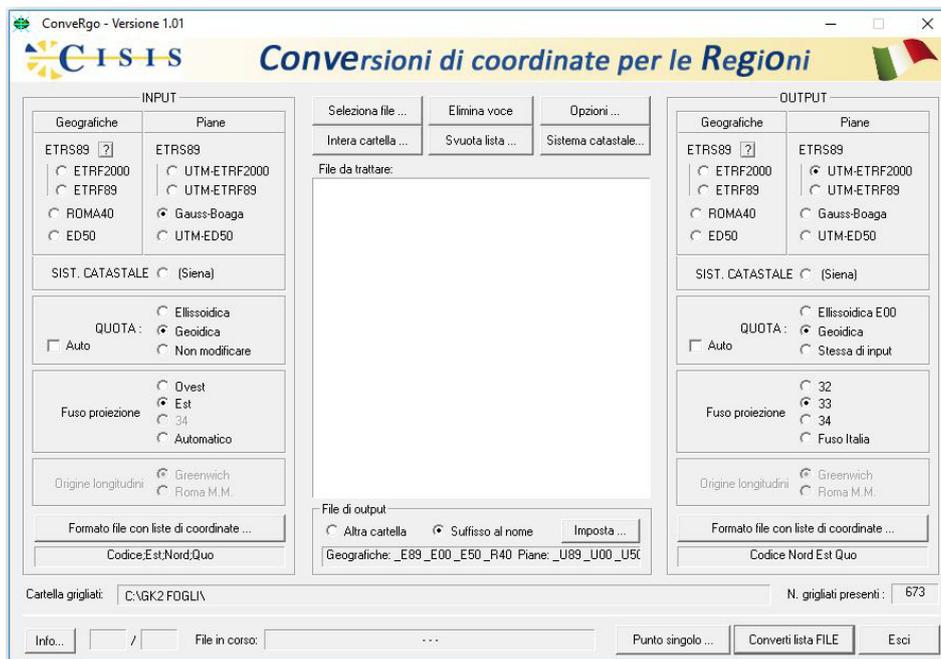


fig.5 - Immagine tratta dal software *ConveRgo Versione 1.01* per la trasformazione del sistema di riferimento.

Nome: WGS84, UTM 33N

Datum: WGS84

Proiezione: UTM

Zona: 33 Nord

EPSG: 32633

Sistema a cui sono stati riferiti anche i dati acquisiti sul campo per la misura dei vertici topografici della rete d' inquadramento del rilievo. Attraverso l' utilizzo di *ConveRgo*, software per la conversione di DATUM cartografici. (fig.5) Prima della conversione è stato inserito il grigliato di riferimento. I grigliati GK1 e GK2, prodotti dall' IGM, sono grigliati di trasformazione in coordinate *ortometriche*: ovvero geoidiche riferite alla superficie del geoide. I due grigliati si differenziano in base al geoide a cui si riferiscono e all' accuratezza della conversione delle coordinate. I GK1 si riferisce al modello di geoide *ITALGEO99* mentre il GK2 al *ITALGEO2005*. E' stato caricato il secondo perchè di accuratezza maggiore avendo un valore errore residuo di ordine minore rispetto al primo pari a 0,04 m.¹¹⁴

114. Convertire coordinate con *Convergo*.

Da: www.3dmetrica.it

115. Versioni di QGIS utilizzate: versione 2.14 e 2.18



Caricando i file in formato DXF nel software di conversione è poi possibile inizializzare il processo da una "lista file" (cartella di dati da convertire).

Per gestire i dati cartografici scaricati è stato utilizzato il sistema GIS con il software *QuantumGIS* un software *open source* di gestione di dati geografici informatizzati.¹¹⁵

Dalla cartella della *struttura cartografica* è stata isolata ed esportata in

formato .dxf solo il *layer* dell'orografia tridimensionale del territorio. Il motivo per cui è stata fatta questa operazione è di primaria importanza perchè ha consentito di utilizzare i dati orografici del terreno come base formata da curve di livello a cui sono state attribuite le quote altimetriche.

Il vettoriale della *vestizione cartografica* è stato usato come base territoriale principale per tutti gli altri oggetti territoriali. Sono stati usati gli strati provenienti dal file di vestizione perchè prodotta con una simbologia topografica elaborata in ambiente GIS e quindi più comunicativo come base informativa perchè rispetta principi descrittivi comuni nei *database* topografici.

Con le specifiche sono stati decodificati i *layers*. E' stato opportuno fare questo passaggio in modo da attribuire all' entità geometrica un nome più affine all' oggetto territoriale che rappresenta.

I contenuti presenti nella ctr, a cui sono stati attribuiti codici numerici, sono stati suddivisi in macro categorie o strati informativi. Essi sono "strati proposti dalla Commissione Geodetica Italiana negli anni '70 dello scorso secolo e ancora oggi adottati nella formazione di cartografia tecnica".¹¹⁶

- **Viabilità** - codice: 1
- **Edificato** - codice: 2
- **Idrografia** - codice: 3
- **Impianti Elettrici** - codice: 4

116. Rinaudo F. *Appunti di cartografia*. Dispense di lezione, Politecnico di Torino p.68

- **Costruzioni** - codice: 5, 6
- **Vegetazione** - codice: 7
- **Orografia e punti quotati** - codice: 8

Ad ogni *layer* è stato attribuito un nome, per il riconoscimento nel progetto cartografico, in base alla categoria d' appartenenza. Per esempio, nella macro categoria "viabilità" i *layers* sono stati rinominati nelle se-

NOME	LAYERS	DESCRIZIONE CODICE
STR	1000	STRADA ASFALTATA
STR_1	1010	STRADA NON ASFALTATA
STR_2	1030	SENTIERO MULATTIERA
STR_3	1040	STRADA IN COSTRUZIONE
STR_4	1070	PONTE VIADOTTO
STR_5	1080	SPARTITRAFFICO
STR_6	1090	PASSERELLA_SOTTOPASSAGGIO PEDONALE
STR_7	1100	SCALINATA_RAMPA
STR_8	1150	BINARIO IN DISUSO
STR_9	1180	FUNIVIA
STR_10	1190	BASAMENTO PILONI (AREA)
STR_11	1330	PIETRA E SCRITTA KILOMETRICA
STR_12	1350	SVILUPPO SOTTERRANEO IN GALLERIA
STR_13	1380	IMBOCCO DI GALLERIA
STR_14	1970	PUNTO SCRITTA DI INNESTO STRADALE
ED	2010	EDIFICIO
ED_1	2020	STABILIMENTO INDUSTRIALE_COMMERCIALE
ED_2	2030	EDIFICIO DI CULTO_CAMPANILE
ED_3	2040	EDIFICIO IN COSTRUZIONE
ED_4	2050	RUDERE EDIFICIO SEMIDIROCCATO
ED_5	2060	BARACCA_BOX_PREFABBRICATO
ED_6	2070	TETTOIA_PENSILINA
ED_7	2090	SERRA
ED_8	2100	OGGETTO MONUMENTALE (AREA)
ED_9	2100	OGGETTO MONUMENTALE (PUNTUALE)
ED_10	2103	MONUMENTO NON RAPPR
ED_11	2110	GRADINATA (AREA)
ED_12	2150	CIMITERO (AREA EXT)
ED_13	2170	IMPIANTI SPORTIVI ALL_APERTO (AREA)
ED_14	2200	LINEE PROPRIE DEGLI IMPANTI SPORTIVI
SIM	2210	SIMBOLO TORRE CIMINIERA
ED_15	2320	GRADINI

SIM_1	2960	SIMBOLO DI CIMITERO
ED_16	2970	TABERNACOLO
ED_17	2980	CROCE ISOLATA
SIM_2	2990	SIMBOLO DI EDIFICIO DI CULTO (CROCE)
IDRO	3010	FIUME DI I ORDINE
IDRO_1	3020	CORSO D_ACQUA NON RAPPRESENTABILE A MISURA
IDRO_3	3030	CANALETTA DI SCOLO IRRIGUA
IDRO_4	3040	LAGO (LIM_DEF DI ACQUE)
IDRO_5	3060	ACQUEDOTTO VISIBILE
IDRO_6	3080	VASCA_CISTERNA (AREA)
IDRO_6	3080	VASCA_CISTERNA (PUNTUALI)
IDRO_7	3090	POZZO_SORGENTE (AREA_PUNTO)
IDRO_7	3090	SIMBOLO POZZO
IDRO_8	3110	CASCATA BRIGLIA
IDRO_11	3200	CANALE O CANALETTA IN MURATURA
IDRO_12	3960	ACQUEDOTTO SOTTERRANEO
IDRO_13	3970	SIMBOLO ACQUA
IDRO_14	3980	PALUDE STAGNO (SIMBOLO)
IMP	4010	IMPIANTO DI ESTRAZIONE - CAVA - SALINA - POZZO DI PETROLIO
IMP_1	4030	ELETTRODOTTO > 20 kw
IMP_2	4040	SIMBOLO SOSTEGNI ELETTRODOTTI
IMP_3	4080	IMPIANTO_CABINA DI TRASFORMAZIONE_CABINA
IMP_4	4990	SAETTA CABINA ELETTR
MURO	5010	FILO SPINATO_PALIZZATA
MURO_1	5020	MURO ISOLATO (A CALCE)
MURO_2	5030	MURO A SECCO
MURO_3	5100	MURO DI SOSTEGNO
MURO_4	6010	ROCCIA
MURO_5	6020	AREA SABBIOSA
MURO_6	6030	CIGLIO DI SCARPATA (TESTA)
MURO_7	6040	PIEDE DI SCARPATA
MURO_8	6050	CAVERNA_GROTTA
VEG	7010	LIMITE_DIVISIONE DI COLTURA AGRARIA
VEG_1	7020	LIMITE BOSCO
VEG_2	7040	ALBERO ISOLATO
VEG_3	7050	FILARI DI ALBERI
VEG_4	7060	FILARI DI VITI
VEG_5	7070	FILARI DI OLIVI
VEG_6	7080	FILARI DI ALBERI DA FRUTTO
VEG_7	7082	SIMBOLO DI MANDORLO
VEG_8	7110	VIGNETO
VEG_9	7120	OLIVETO
VEG_10	7130	FRUTTETO
VEG_11	7200	LIMITE MACCHIA
VEG_12	7310	SIMBOLO DI VITE
VEG_13	7320	SIMBOLO DI OLIVO
VEG_14	7330	SIMBOLO DI ALBERI DA FRUTTO
VEG_15	7340	SIMBOLO DI ARBUSTO - MACCHIA
VEG_16	7360	SIMBOLO DI PIOPPO
VEG_17	7370	SIMBOLO DI QUERCIA_OLMO
VEG_18	7390	SIMBOLO DI FAGGIO

VEG_19	7400	SIMBOLO DI ABETE
VEG_20	7410	SIMBOLO DI PINO
VEG_21	7420	SIMBOLO DI BOSCO CEDUO
VEG_22	7430	SIEPE
ALT	8010	CURVA DI LIVELLO DIRETTRICE
ALT	8010	SCRITTA QUOTA CURVA DI LIVELLO
ALT	8020	CURVA DI LIVELLO ORDINARIA
GEOM	8030	PUNTO QUOTATO
GEOM	8030	TESTO DEI PUNTI QUOTA NOTEVOLI
GEOM_1	8200	VERTICE TRIGONOMETRICO I_G_M_
GEOM_2	8220	VERTICE DI RAFFITTIMENTO VTR
GEOM_3	8230	PUNTO D APPOGGIO FOTOGRAMMETRICO PAF
GEOM_4	8240	PUNTO DI TRIANGOLAZIONE AEREA TA
GEOM_6	8250	CAPOSALDO DI LIVELLAZIONE GEOM I II III
GEOM_7	8260	CAPOSALDO DI LIVELLAZIONE GEOM IV
LIM	9110	LIMITE AMMINISTRATIVO COMUNALE
LIM_1	9130	LIMITE AMMINISTRATIVO REGIONALE
SIM_3	9210	SIMBOLO FRECCIA ACQUE
SIM_4	9230	SIMBOLO ANTENNA RIPETITORE
TOPO	A000	TOPONOMASTICA
FOGLIO	C000	FOGLIO
RET_RES	V200	RETINO RESIDENZE
RET_IND	V210	RETINO INDUSTRIE

fig.6 - Tabella delle specifiche decodificate per descrivere il codice con un valore di tipo testuale per il riconoscimento.

guenti sotto categorie lasciando la descrizione originale della specifica.

Per quanto riguarda gli altri *layers* si riporta la decodifica dei dati nella tab.1. I *layers* presenti nella ctr di Campi sono stati evidenziati di giallo.

Dalla vestizione sono stati separati i *layers* appartenenti alla stessa macro categoria.

Creazione di shapefiles

In questa fase di processing sono stati salvati i file utili a comporre la cartografia di progetto in *shapefiles*, formati vettoriali (*.shp*) gestibili in ambiente GIS. Al momento dell' importazione dell' orografia del territorio, nel nuovo progetto GIS, è stato riscontrato un problema: quello che le curve di livello importate in Q-GIS non possedevano un attributo che identificasse la quota altimetrica. E' stato quindi creato uno *shapefile* dell' orografia (ALT) è gestito con il software *Archscene*, perchè tra le funzioni di questo software c'è la gestione di dati GIS in 3D. Qui il dato aveva conservato la sua natura geometrica tridimensionale. E' stato così creato un nuovo campo *Z_Mean*: ovvero la sua quota altimetrica.(fig.9)

Successivamente sono stati importati nel progetto GIS i *layers* della vestizione divisi per strati informativi in formati *.dxf*. Utilizzato come formato di scambio di dati tra i diversi software vettoriali. Dopo l' importazione nel progetto sono stati salvati come *shapefiles* dal menù a tendina del *pannello layers*, per poter gestire il loro contenuto geometrico e modificarne la simbologia per costruire carte tematiche.

117. Il “campo”, o meglio *Field* nel GIS, è visualizzato nella tabella attributi come colonna. Definisce l’ oggetto, argomento, informazione di un set di dati in disposti in riga.

Il dato però non aveva però attributi specifici che descrivesse il contenuto perciò è stato creato un nuovo campo¹¹⁷ nella tabella degli attributi corrispondente alla descrizione dei layers. In questo modo sarà facile interrogare il GIS che sarà composto di elementi categorizzati e definiti. La nuova tabella attributi, creata sulla base dell’ informazione condivisa sul *geoportale* web dalla regione. Ulteriori campi non sono stati inseriti per via della mancanza di informazioni sul dato. Gli attributi degli strati informativi sono composti dai seguenti campi: “*Layer*” e “*specificata*”

Una volta definiti e assegnati gli attributi degli *shapefile*, è stato possibile elaborare la cartografia di riferimento riportata sistematicamente in questa tesi per inquadramenti territoriali e altre tematizzazioni.

Per quanto riguarda gli strati vettoriali recuperati nelle banche dati di Copernicus, divisi nei fogli 07 e 08, è stata eseguita un’ operazione di unione vettoriale e una fusione di campi (colonne della tabella attributi) per poter gestire due file vettoriali in un unico *shapefile* con gli stessi *Fields*. Sono stati così ottenuti i nuovi vettori uniti: Edificato, Viabilità, Idrografia e Terreno.

Dopo la decodifica della cartografia della regione Umbria. Si è passati alla gestione dei vettori prodotti da Copernicus. Visionando la struttura tabellare dei vettoriali si è visto che era formata da numerosi campi e valori, tra cui anche l’ informazione legata al livello di danno degli edifici, utile alla documentazione dello stato post-sisma della frazione. Si è deciso di utilizzare questi *shapefiles* *OpenStreetMap* già creati per gli

strati informativi relativi a Edificato e Viabilità anche se non ufficiali per i seguenti motivi:

1. Accuratezza temporale: dati prodotti nel 2016
2. Accuratezza spaziale: per un rilievo urbano
3. Accuratezza dell'informazione: per la documentazione del danno sismico.

Nella tabella seguente vengono riportate le diverse strutture dei dati ragionali e dei dati di Copernicus per un confronto, relative alla chiesa di Sant' Andrea a Campi Alto. Oltre alla differenza temporale, si è notato anche che vi era un'informazione volta a dimostrare che la documentazione operata da Copernicus non è sufficiente a capire il vero livello di danno dello scenario post-sisma relativo al 31 Ottobre 2016 giorno dopo l'evento di magnitudo 6.5. Infatti sotto la voce "GRADING" (grado di danno su scala EMS) Copernicus riporta il valore "*Not Afflicted*" cosa che non vera visto lo stato attuale della Chiesa. Questo perchè è stato usato un sensore satellitare che non permetteva l'efficace riconoscimento dei danni. L'attributo sotto il campo "SOURCE_NAM" corrisponde al gsd utilizzato per la mappatura del BDA: 0,5 m. (fig.8)

Si è dimostrato quindi che non vi è nessuna corrispondenza precisa con i dati che sono oggi pubblicati. Per questo c'è bisogno che i dati siano aggiornati, tramite delle missioni rapide e low-cost con strumenti utili a fornire una documentazione chiara e accurata.

Open Data regione: CTR Regione Umbria fonte: Geoportale Umbria decodificata seguendo le specifiche ufficiali

Prodotta 1996-2006	Scala 1:5000	Layer ED_2	Specifica 2030	Destinazione Edificio di culto_campanile
-----------------------	-----------------	---------------	-------------------	---

Open Data: Copernicus EMS Shapefiles fogli 07-08 fonte: Copernicus EMS

SRC_DATE 2016-10-31	EXT_SCALE 1:12.500	NAM Chiesa di Sant'Andrea	EXT_DATE 2016-10-31	TXT & !
SRC_INFO Pleiades - 0.5m pansharp	ACT_ID EMSR190	GRADING Not Affected	FUNCTIONAL Fully Functional	SETTL_TYPE Other
SOURCE_NAM Pleiades - 0.5m pansharpened imagery	SUBTYPE AL015 - Building			

fig.8 Confronto degli attributi di shapefile provenienti da diverse fonti: Regione Umbria (blu) Copernicus (verde). E' possibile vedere come i dati ufficiali della regione non siano provvisti di attributi e informazioni essenziali alla conoscenza dell' evento sismico del 30 Ottobre 2016. Tuttavia anche gli attributi dello shapefile inseriti da Copernicus non forniscono alcuna risposta corrispondente all' emergenza per quanto riguarda la Chiesa di Sant' Andrea, c'è quindi bisogno di integrare altri dati per attribuire il giusto valore sotto il campo "GRADING" degli oggetti cartografici.

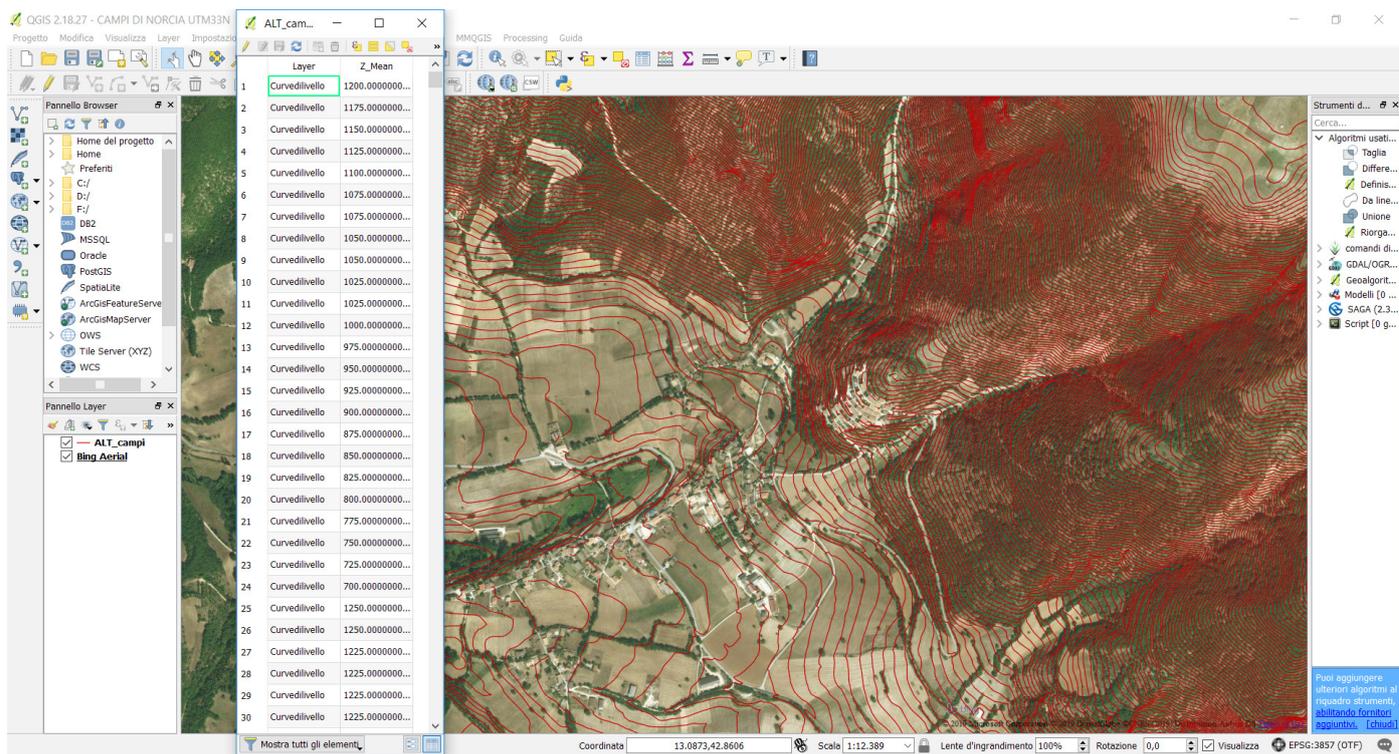


fig. 9 - Immagine tratta dal progetto Q-GIS. Lettura del nuovo attributo altimetrico Z_{Mean} dell'orografia del terreno.

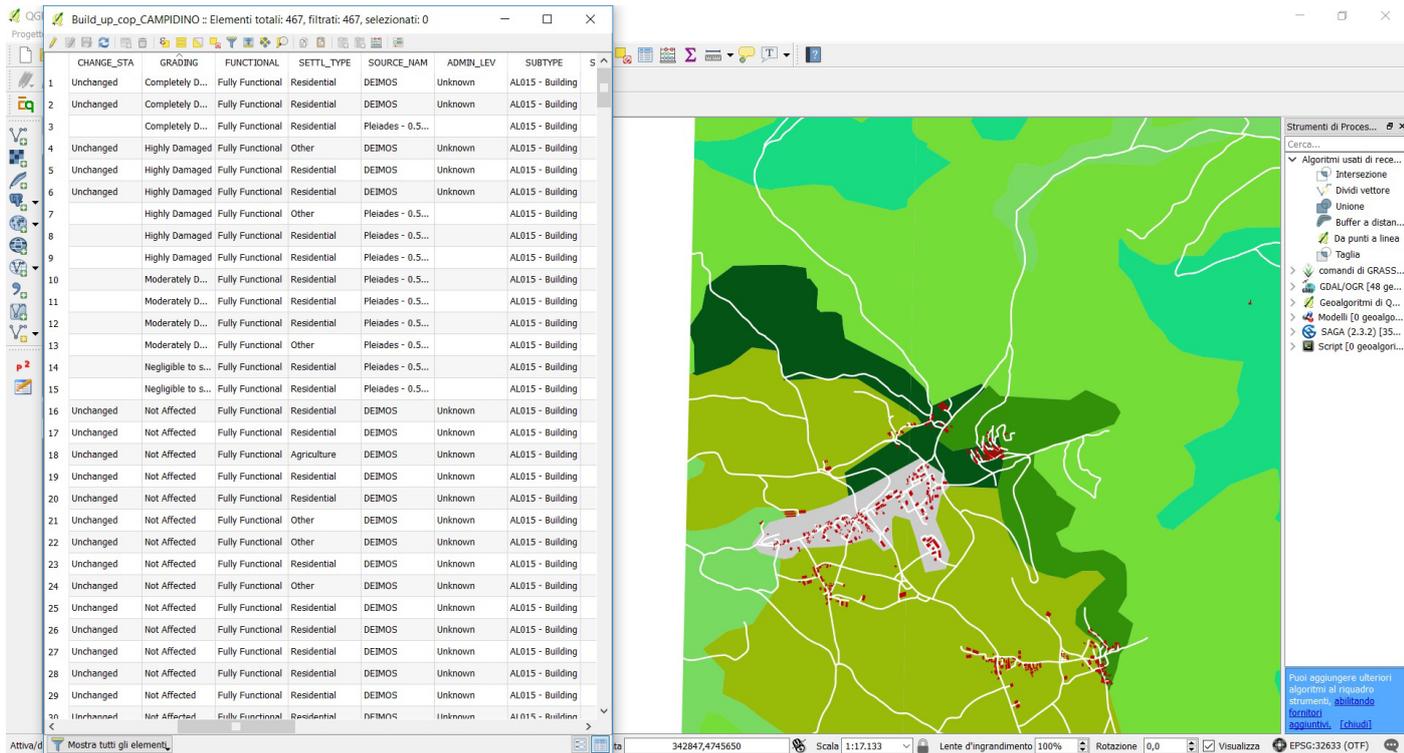


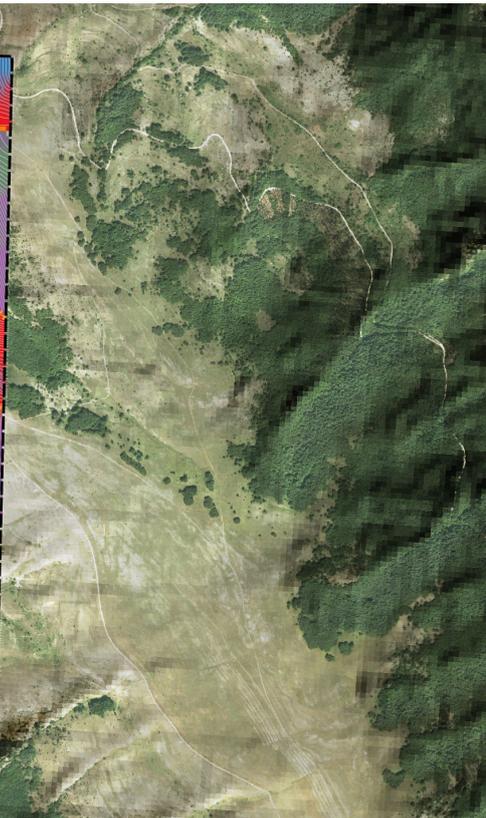
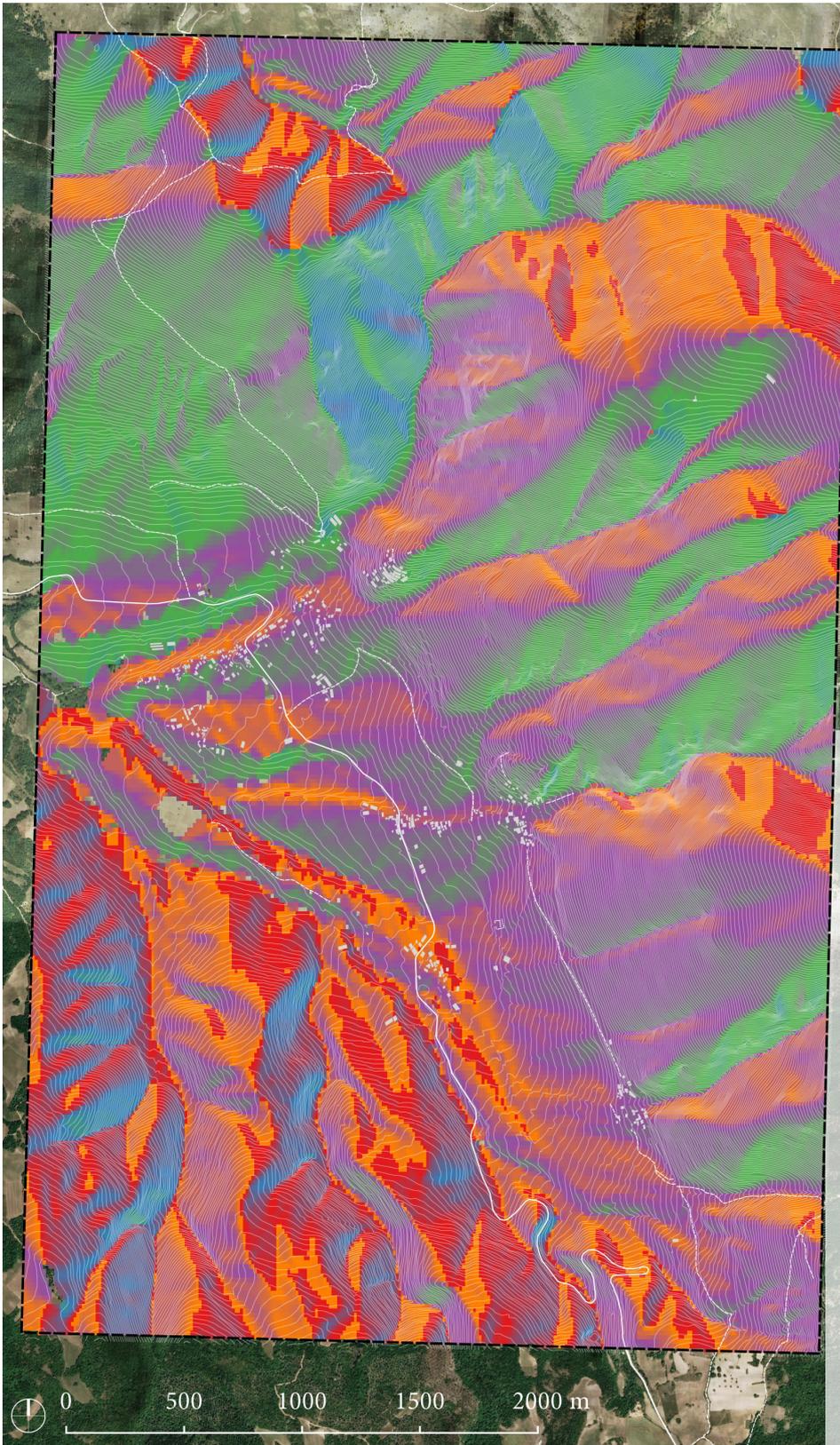
fig. 10 - Immagine tratta dal progetto su Q-GIS. Trattamento dei dati di Copernicus acquisiti: Unione Vettoriale e fusione di campi della tabella attributi.

Analisi geomorfologiche e tematizzazioni dei dati GIS

Il GIS ha permesso di generare analisi relative alla morfologia del terreno dell' area di Campi, utilizzando esclusivamente il vettore corrispondente all' orografia del territorio. L' analisi *DEM - Digital Elevation Model* è il modello digitale di elevazione dell' area è stata ottenuta con un' *interpolazione*¹¹⁸ del *layer ALT* (orografia) usando le curve di livello e la relativa quota altimetrica come struttura per eseguire l' elaborazione. Essa è stata da base raster per le successive analisi.

L' *analisi 1* delle esposizioni indica i versanti e le parti di territorio esposte verso nord 0 gradi e continuando in senso orario mostra le diverse esposizioni in ai 4 punti cardinali geografici Nord (0°) , Est (90°), Sud (180°), Ovest (270°) in base a diverse colorazioni è possibile distinguere e vedere la distribuzione degli orientamenti dell' orografia del territorio. Si può notare che Campi Alto è in una zona favorevole al soleggiamento in diverse ore della giornata, perchè l' esposizione dell' altura su cui si colloca è compresa in un arco di gradi d' esposizione che va dai 94° ai 265°.

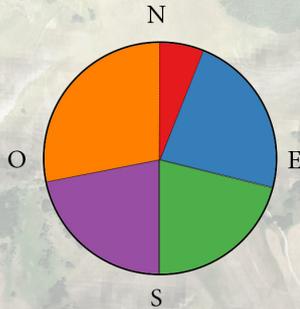
118. L' *interpolazione* permette di generare un *TIN - Triangulation Irregular Network*: un modello costruito con l' unione di facce triangolari. (Triangolazione Delaunay). Si genera caricando un layer vettoriale nel plugin del programma si può generare il modello DEM in Q-GIS, sempre che il vettoriale abbia gli attributi necessari di elevazione.
Da: www.docs.qgis.org



Esposizioni

Analisi

- 8.64°
- 94.2°
- 180°
- 265°
- 351°

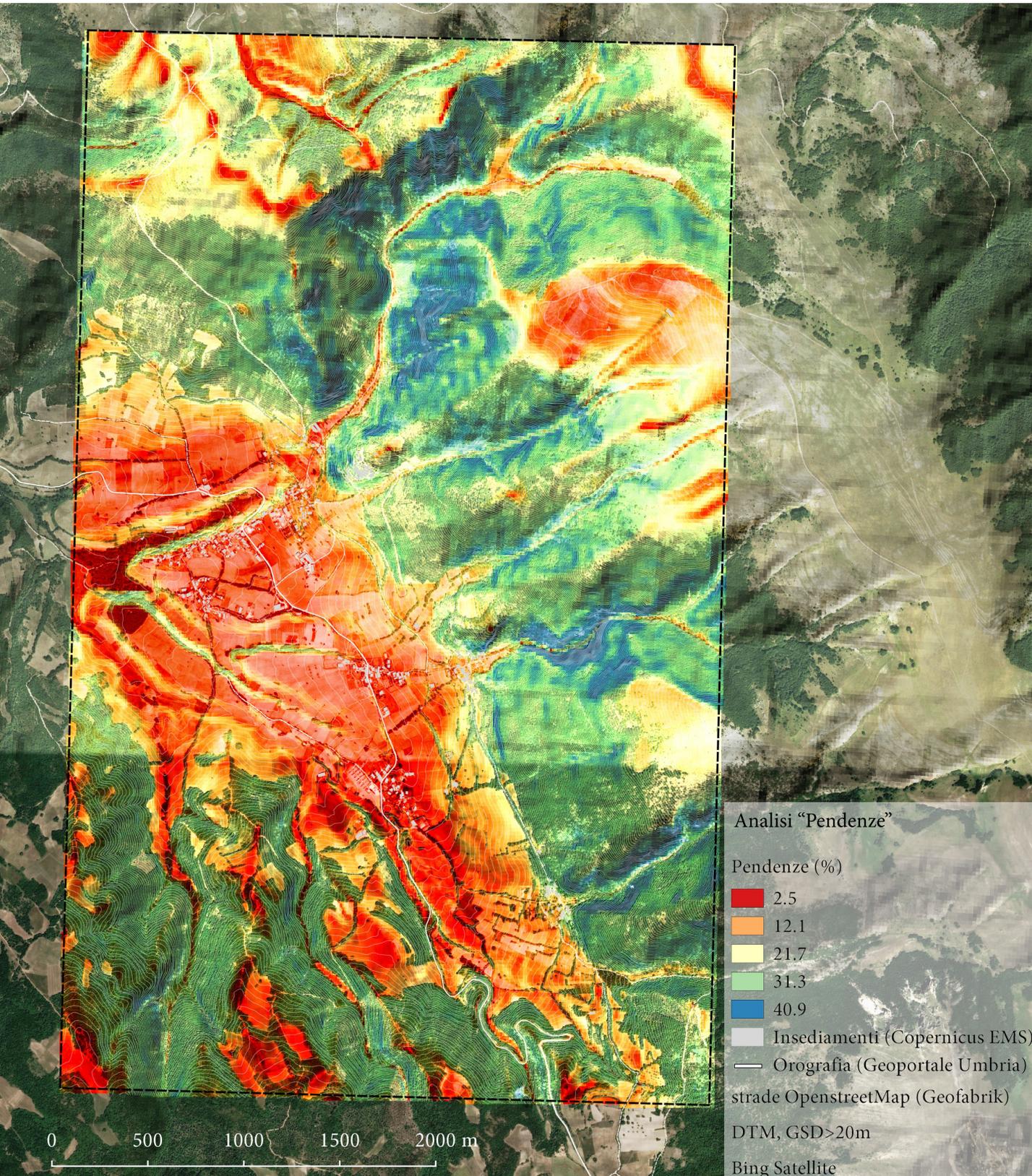


Shapefile:

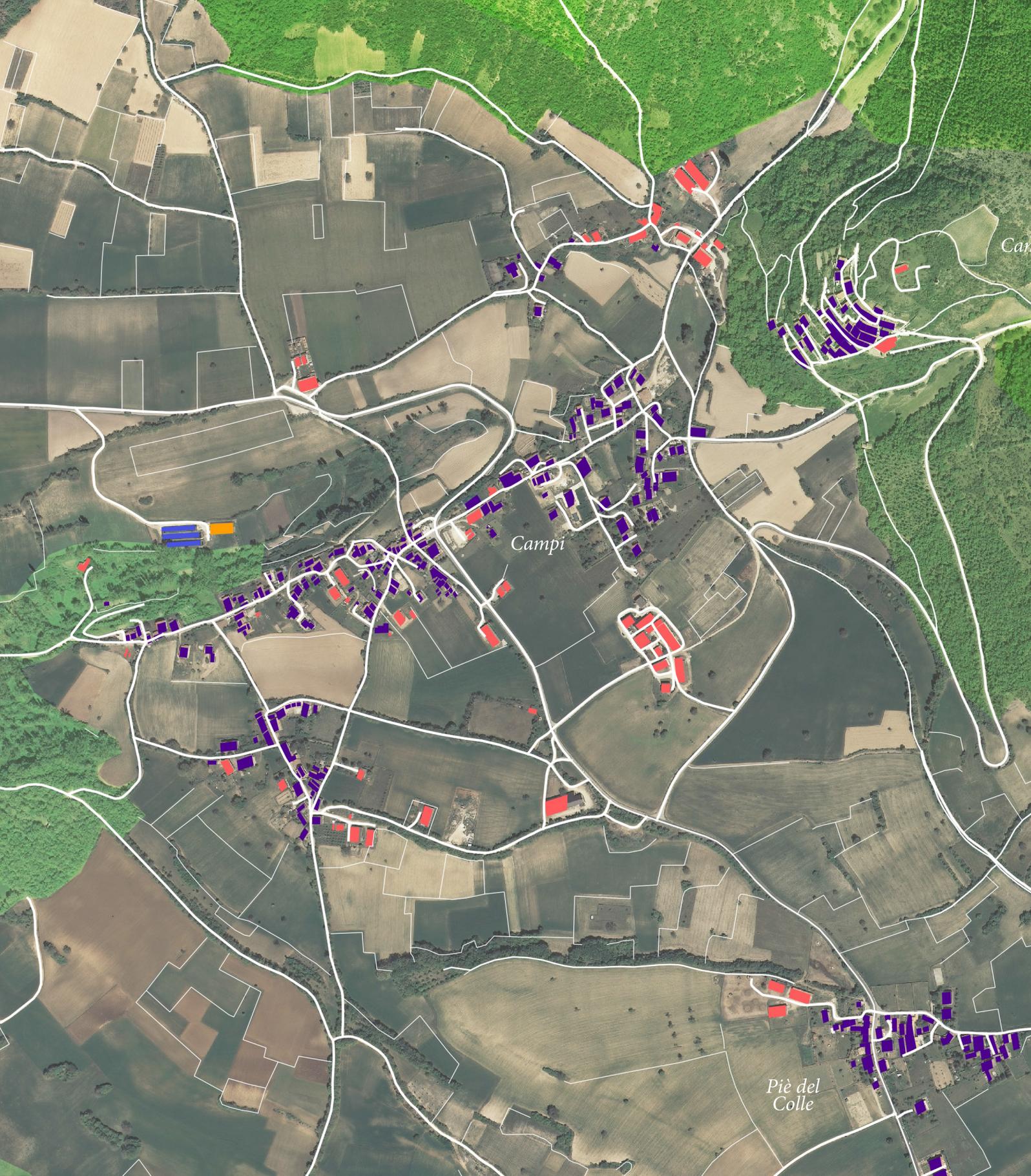
- Insediamenti (Copernicus EMS)
- poligono area
- ALT_campi
- Strade OpenStreetMap (Geofabrik)
- primary
- secondary
- DTM, GSD>20m (Sinanet - ISPRA)

Base cartografica:

Bing Satellite (qgis webmap service)



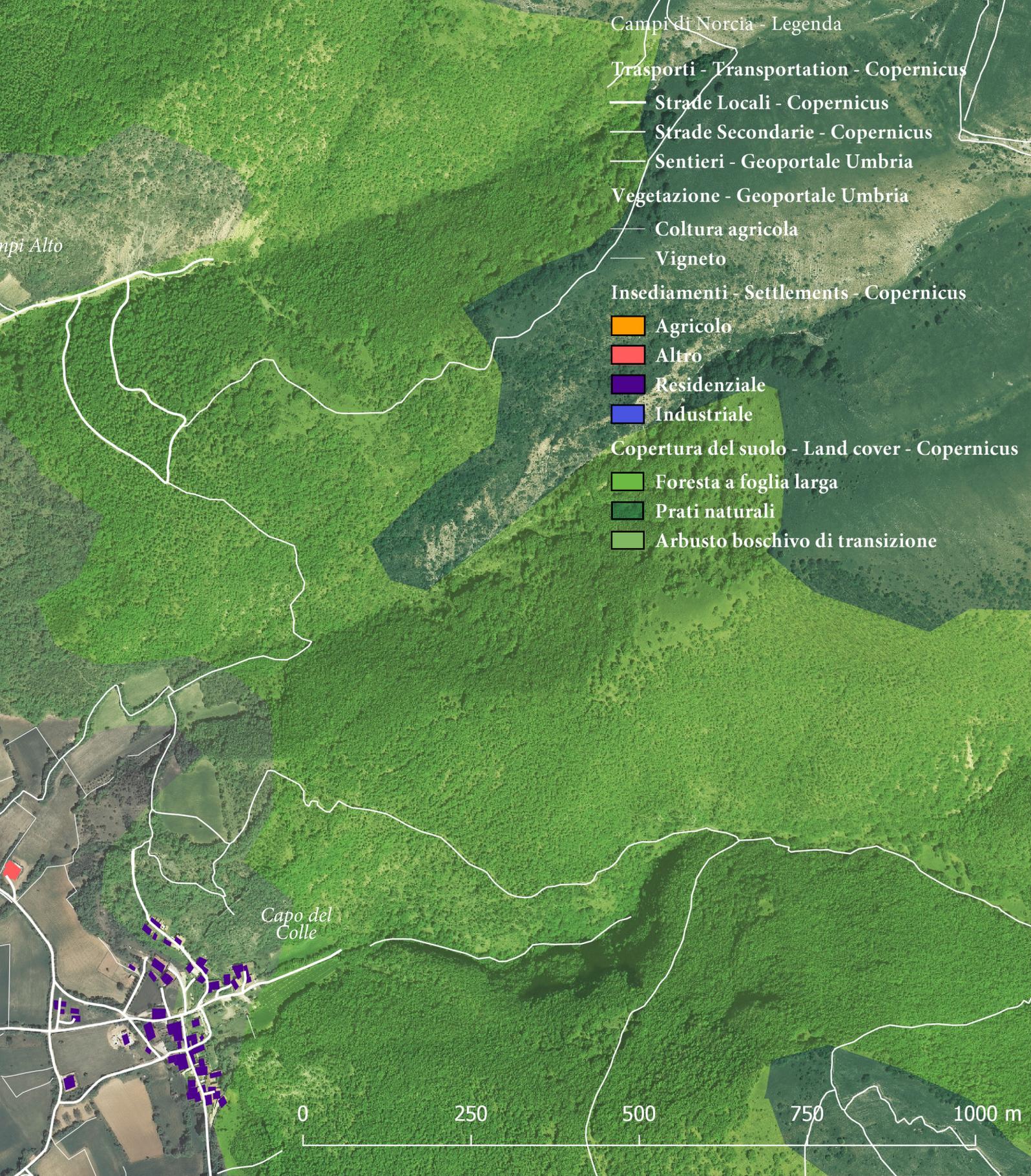
La seconda analisi mostra le *pendenze* altimetriche, ovvero le acclività del terreno espresse in percentuale. Nella porzione di territorio analizzata, riferita al caso studio, le pendenze minori sono rappresentate da colori caldi (rosso e arancione) mentre quelle maggiori da colori freddi. Possiamo vedere che l' agglomerato urbano di Campi Alto indicato dal riquadro si trova in una zona territoriale particolarmente scoscesa in cui le pendenze percentuali hanno valori compresi tra i 31% al 41% stando ai dati in scala 1:5000 rilevati dalla regione Umbria della zona presa in esame.



Campi

Piè del
Colle

Can...





Campi

Piè del
Colle

Can

Campi di Norcia - Legenda

Trasporti - Transportation - Copernicus

— Strade locali - Copernicus

— Strade secondarie - Copernicus

— Sentieri - Geoportale Umbria

Vegetazione - Geoportale Umbria

— Coltura agricola

— Vigneto

Insediami, valutazione dei danni - Settlements, Grading damage - Copernicus

Copertura del suolo - Copernicus

■ Foresta a foglia larga

■ Prati naturali

■ Arbusto boschivo di transizione

Ortofoto - Geoportale Umbria

Nella carta viene mostrata l' area di Campi di Norcia con i dati relativi al 31 Ottobre 2016 sul livello di danno degli edifici a seguito dell' evento sismico. Il danno attribuito, con immagini con un gsd di 0,5m, è risultato troppo grande per dare una chiara valutazione dello scenario in cui la frazione di Norcia versa; quindi è chiaro il bisogno di integrare nuovi sistemi e utilizzare nuovi strumenti per mappare lo scenario in risposta all' emergenza.

Campi Alto

Capo del Colle

0

250

500

750

1000 m





ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DI DATI FOTOGRAMMETRICI

Introduzione

Il capitolo tratta della seconda parte di acquisizione, di gestione e di elaborazione dati che strutturano il progetto di tesi presentato relativa alla fase che consiste nel rilievo fotogrammetrico da UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

Questa tipologia di dati definiti come “grezzi”, *Raw Data*, si distinguono da quelli geografici illustrati nel capitolo precedente perchè acquisiti sul campo, quindi non *strutturati*. Grazie alle operazioni di rilievo della zona rossa, effettuate dal team DIRECT, è stato possibile ottenere un insie-

Immagine del team DIRECT, rielaborata.

me di immagini digitali da UAV ad alta risoluzione, accompagnate da un *reportage* fotografico di Campi Alto.

Successivamente le fasi di acquisizione e *pre-processing* delle immagini si sono generate le elaborazioni necessarie per avere i dati da integrare agli strumenti GIS e BIM. L'elaborazione dei dati acquisiti è infatti uno step fondamentale in cui la mole di tempo necessaria per generare i dati è rapportata ai tempi di *processing* del software.

Immagine da Autodesk ReCap della nuvola di punti generata.





ACQUISIZIONI DEI DATI FOTOGRAMMETRICI

I dati sono stati acquisiti tramite tecniche di rilievo integrate in risposta all'emergenza ambientale del borgo alto di Campi di Norcia. Il rilievo è stato eseguito in data 5 Settembre 2018, giorno in cui le condizioni di cielo sereno permettevano una buona visibilità in modo da eseguire il volo in V-LOS.¹²¹

Per l'acquisizione da UAV è stata creata la rete d'inquadramento di supporto alle misurazioni dei punti di controllo sia per il volo che per LIDAR.

Il Team DI.REC.T

Il team si è occupato del rilievo dei danni al patrimonio costruito di Campi Alto. Le tecniche utilizzate per il rilievo fotogrammetrico sono state due: fotogrammetria da UAV e fotogrammetria terrestre tramite celerimensura con stazione totale, per il rilievo sulle facciate della Chiesa e di alcuni edifici.

Come nel caso di questo rilievo, la campagna di rilevamento parte con la costruzione di una rete topografica che serve per inquadrare lo scenario oggetto del rilevamento. Questo procedimento si articola con il rilievo di una serie di vertici che andranno a definire:

1. *Inquadramento*
2. *Orientamento*

Per costruire l'inquadramento si rilevano alcuni punti all'interno dell'

121. V-LOS: condizione di volo in cui l'APR è sempre visibile dall'operatore durante il volo.

122. I *target* vengono utilizzati nelle operazioni di rilievo per la costruzione della rete di riferimento per l' inquadramento. Questi *markers* di forma e colore visibile indicano i punti di appoggio che vengono misurati a cui si attribuiscono misure. Nel caso della fotogrammetria da UAVs ad essi vengono associate coordinate geografiche.

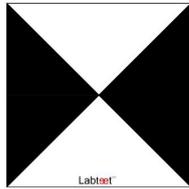


fig.1 - Coordinate ortometriche compensate della rete d' inquadramento di supporto di supporto alle acquisizioni.

area da misurare materializzandoli con chiodi e picchetti. Questi punti di appoggio in totale sono 4. Due punti chiamati *CA_100* e *CA_400* sono stati misurati con i ricevitori GNSS (GPS), GEOMAX ZENITH 35. Vengono acquisite con questa tecnica che permette di rilevare le coordinate di Latitudine (Nord), Longitudine (Est) e l' Altitudine (H). Queste informazioni si acquisiscono attendendo in posizione *statica* che lo strumento riceva il segnale dai satelliti. Il rilievo è stato così georiferito nel sistema di riferimento globale WGS84. Gli altri due vertici della rete: *CA_200* e *CA_300* sono stati misurati con la stazione totale. Posizionando il treppiede con un prisma come ricevitore della stazione totale (teodolite). Una volta costruita la rete essa è stata compensata per ridurre gli errori residui attraverso il software *StarNet*. Procedimento effettuato dai membri del team.

L' *Orientamento* è stata costruito per mezzo di punti di appoggio a terra, per il rilievo da UAV, con il posizionamento di *target*.¹²² Il posizionamento a terra avviene in punti che devono essere visibili dallo strumento in volo durante l' acquisizione delle immagini. I *target*, in totale 25, sono stati misurati con il ricevitore GEOMAX ZENITH 35 agganciato ad una

VERTICI	X	Y	Z
CA_100	344846.213	4746278.604	857.819
CA_200	344861.9207	4746287.251	863.8808
CA_300	344864.575	4746293.85	867.3513
CA_400	344903.574	4746311.275	879.1822

fig.1 - Stazione totale posizionata sul vertice CA_100: primo vertice della rete



fig.2 - Prisma sul vertice CA_400



fig.3 - Prisma su vertice CA_300



fig.4 - Prisma su vertice CA_200



Fonte: Documentazione di rilievo. Foto del team DIRECT

Ortofoto da UAV con i vertici della rete. (Immagine elaborata con QGIS)



CA_100
Rilevato con gnss



CA_200 e CA_300
Rilevato con stazione totale



CA_400
Rilevato con gnss

fonte: Immagini prese da www.google.it degli strumenti di rilievo utili al fine di misurare i vertici dell' inquadramento topografico

Punti di appoggio a terra



0 25 50 75 100 m



palina, per ricevere le coordinate ellissoidiche dei punti dei markers. Questa tecnica di misura chiamata *RTK - real-time-kinematic*, serve a costruire una rete di punti di appoggio per l' orientamento del blocco fotogrammetrico. E' stata utilizzata questa modalit  di rilievo perch  pi  veloce e coerente con l' accuratezza ricercata.

Carta tematica - Punti di appoggio a terra - Legenda:
 -ortomosaico elaborato con il software Agisoft Pohotscan
 -nuovi shapefiles

■ Target - 25 totali

Target	X	Y	Z
CM1	344902.027	4746301.737	919.798
0062	344346.016	4738420.484	656.824
CM2	344896.04	4746305.163	922.78
CM3	344908.274	4746316.598	929.246
CM4	344868.546	4746326.718	933.67
CM5	344841.466	4746351.079	933.571
CM6	344823.487	4746354.418	929.395
CM7	344832.395	4746379.94	933.484
CM8	344831.493	4746421.251	928.974
CM9	344804.681	4746401.584	921.113
CM10	344818.424	4746354.064	926.066
CM11	344868.061	4746311.476	924.202
CM12	344820.466	4746327.664	919.861
CM13	344787.217	4746375.898	910.358
CM14	344801.998	4746332.065	913.793
CM15	344831.795	4746302.229	913.887
CM16	344856.888	4746270.347	905.203
CM17	344830.161	4746271.777	898.744
CM18	344804.943	4746289.629	900.066
CM19	344779.648	4746326.266	901.864
CM20	344754.957	4746358.542	888.307
CM21	344763.48	4746295.154	885.074
CM22	344787.752	4746271.297	886.08
CM23	344768.033	4746254.325	874.416
CM24	344730.459	4746277.632	865.628
CM25	344781.809	4746231.136	867.414



fig.5 - Target misurati con tecnica GPS/GNSS. Operatore con GEOMAX ZENITH 35 posizionato con palina su un marker della rete, per il ricevere le coordinate ellissoidiche da satellite. (Foto del Team)

fig.6 - Tabella attributi dei punti della rete di dettaglio. Con le relative coordinate. Prodotta con Q-GIS.

Acquisizioni dati da UAV

Il volo fotogrammetrico è stato eseguito con: Phantom 4 PRO di DJI.
(fig.3)

Inoltre, prima di pianificare il volo deve essere decisa la scala del rilievo. In base alla scala di rappresentazione del rilievo si è definita l' altezza di volo, equivalente alla distanza tra la fotocamera e il terreno. Questi due parametri vengono messi in relazione dal valore di GSD_{max} .

Il *Ground Simple Distance* - GSD è la distanza tra il centro di due pixel, vicini, di un' immagine a terra. Il GSD in mm/pixel viene stabilito insieme alla scala del rilievo, perchè fortemente dipendente.

In questo caso, per il rilievo di Campi Alto a scala urbana il valore di GSD_{max} fissato è di 2-3 cm/pixel. Come valore di impronta a terra per ogni pixel.

Con l' inversa della formula per ricavare il GSD si trova piano di volo:

$$\text{Piano di volo} = (GSD \times f) / d_{\text{pixel}}$$

Per la fotocamera montata sul Phantom la dimensione di un pixel dell'immagine (d_{pixel}) è di 0.0024mm/pixel. La lunghezza focale della camera è di 8.8 mm. Il piano di volo è stato di 80 metri circa. (Quota media relativa ai tre diversi piani di volo). Il GSD così ottenuto è di 1,8 cm/pix minore del valore stimato ppri l' acquisizione

A causa della morfologia del territorio, per assicurare l' acquisizione ad altezza costante, è stato opportuno procedere seguendo tre piani di volo a quote differenti. (fig.7) Lo strumento in volo grazie ha acquisito imma-

fig.7 - UAV utilizzato. Foto scattata dal team. fig.2 - Fotocamera utilizzata. Da: www.dxomark.com



PHANTOM 4 PRO, DJI

Caratteristiche velivolo:

Peso con batteria ed eliche: 1388 g

Velocità Massima: 72km/h

Autonomia velivolo: 30 minuti circa

Batteria: Li-Po 4s, 15,2 V

Frame Rate: 14

Acquisizione dei fotogrammi:

Fotocamera: FC6310

Numero dei fotogrammi primo volo: 636

Numero di fotogrammi secondo volo: 62

Dimensione del fotogramma: 5472 x 3648 pixel

FOV (FieldOfView): 84°

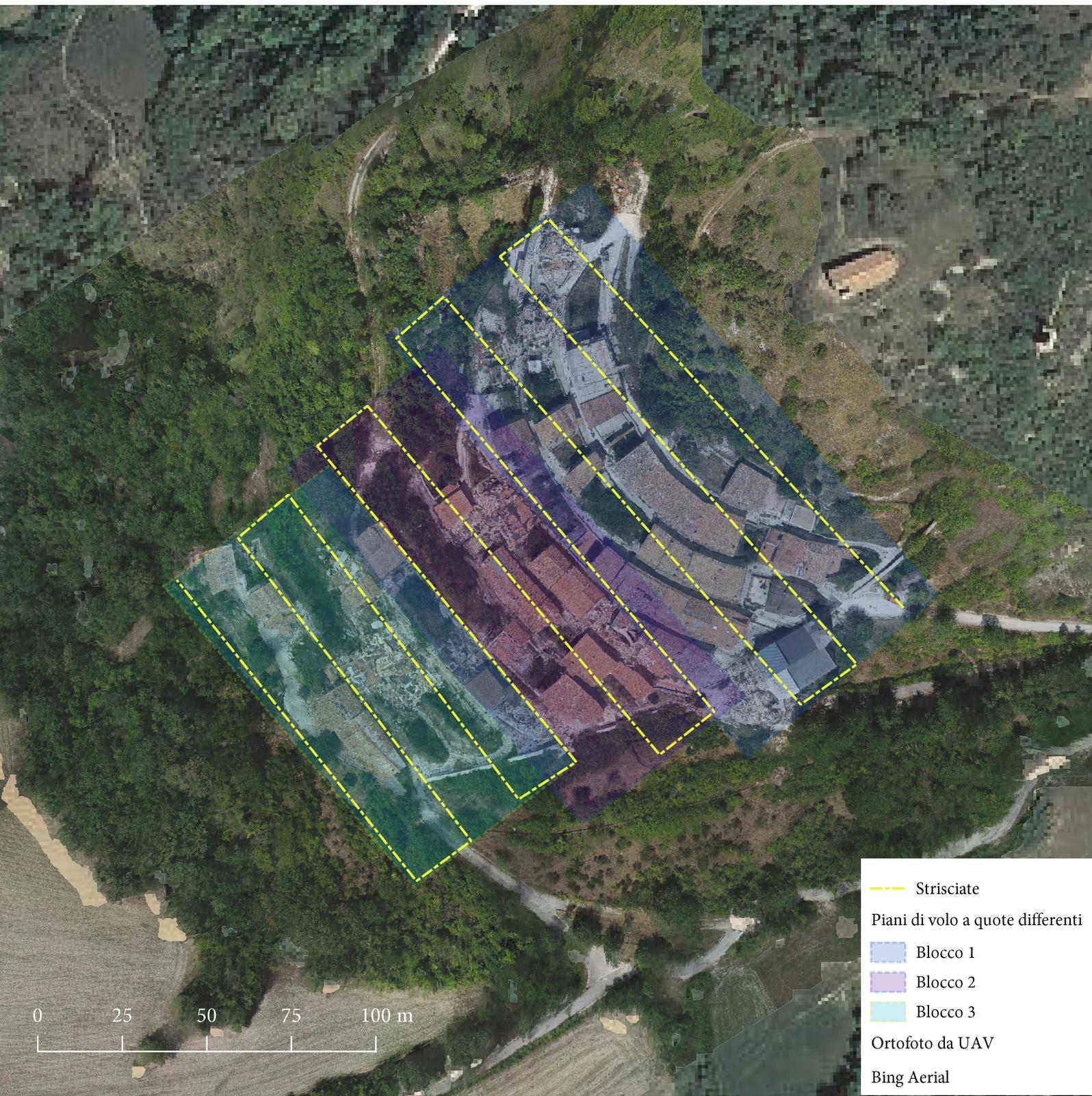
Lunghezza focale: 8.8 mm

Dimensione Sensore: 8,8 x 13,2 mm

Quota di volo relativa: 80m circa

CAMERA FC6310





--- Strisciate

Piani di volo a quote differenti

■ Blocco 1

■ Blocco 2

■ Blocco 3

Ortofoto da UAV

Bing Aerial

Carta realizzata con Q-GIS. Si riporta il ricoprimento dei tre blocchi, riferiti a diversi piani di volo.

Nel GIS sono presenti i seguenti dati:

- Ortofoto (Geoportale Umbria)
- Ortomosaico (Photoscan)
- Nuovo .shp: "Strisciate"

gini nadirali (fig.8) e oblique con asse inclinato 45° .(fig.9)

Grazie a queste immagini è possibile generare tramite algoritmi una nuvola di punti per rilevare i danni non solo alle coperture ma anche alle facciate degli edifici. Per ricostruire in maniera più completa il modello urbano. Le buone condizioni meteorologiche hanno permesso il sorvolo dell'intera area con l'acquisizione di circa 700 fotogrammi.



fig.8 - Fotogramma da UAV. Nadirale

Piano di volo 1



fig.9 - Fotogramma da UAV. Obliqua

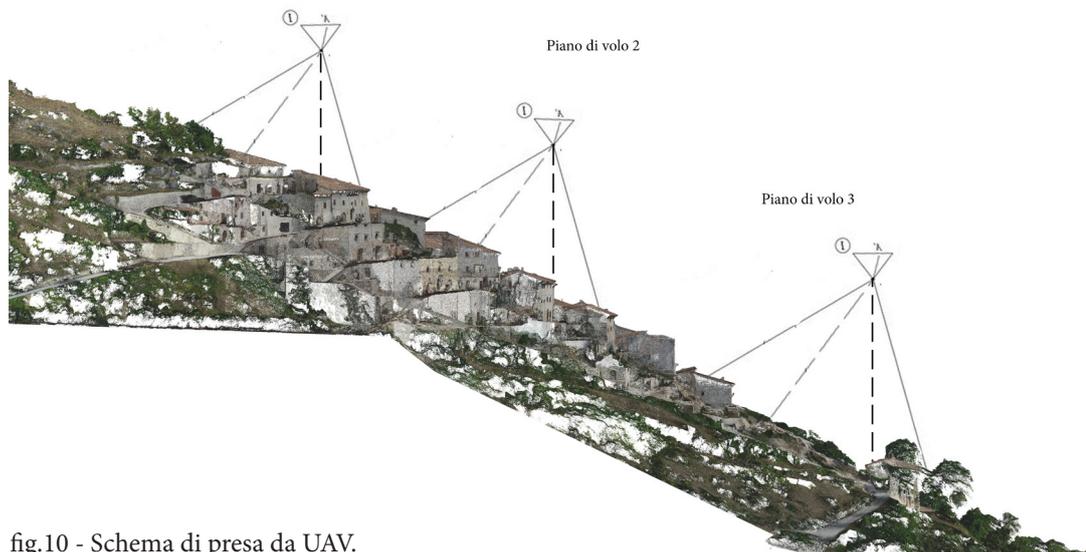


fig.10 - Schema di presa da UAV.

ELABORAZIONE DATI DA UAV

Questa è la fase principale del lavoro svolto. Per elaborare i dati UAV è stato usato il software *Agisoft Photoscan*: un programma *stand-alone*, *user-friendly* e *low-cost*¹²³ tra i più conosciuti in fotogrammetria e nel mondo della Computer Vision (CV).

Il software lavora secondo principi di *Structure from Motion*: algoritmi della CV che struttura la scena da ricostruire tridimensionalmente attraverso l' utilizzo di immagini bidimensionali acquisiti da un oggetto in movimento.

Il primo step ha riguardato l' ottimizzazione dei fotogrammi acquisiti, che consiste in una modifica applicata ai fotogrammi prima di inserirli nel programma di elaborazione, il quale gestisce le immagini originali secondo principi di *Image Matching* per la correlazione di una serie di pixels in punti di legame: i *Tie Points*.

Pre-processing dei fotogrammi

Il *pre-processing* in questo caso è consistito in una modifica radiometrica delle immagini digitali, che ha permesso il *Matching* desiderato.

In seguito alla acquisizione da UAV le immagini, che risultavano troppo luminose, sovraesposte, avrebbero dato problemi durante le fasi di post-processing.

E' stato effettuata una correzione al livello di esposizione dei fotogrammi, diminuendo la luminosità e aumentando il contrasto del contenuto

123. Un software è di tipo *stand-alone*: quando prevede un utilizzo senza necessitare di procedimenti di installazione. *User-friendly*: relativamente di facile comprensione per l' utenza e per chi non si intende di informatica perchè intuitivo nel suo complesso.

radiometrico. (fig.11) Una volta raggiunto un livello di esposizione ragionevole è stata regolata la curva dell'istogramma di ogni foto correggendo leggermente la gamma tonale dell'immagine in modo che non ci fossero parti troppo in ombra o troppo in luce.

Dopo la correzione si è notata una resa più nitida delle *texture* degli oggetti fotografati. I contrasti sono aumentati e i dettagli sono più leggibili con la modifica delle zone di luce intensa. Questo processo permette un miglior funzionamento degli algoritmi di *matching* tramite riconoscimento di *features* comuni tra immagini.

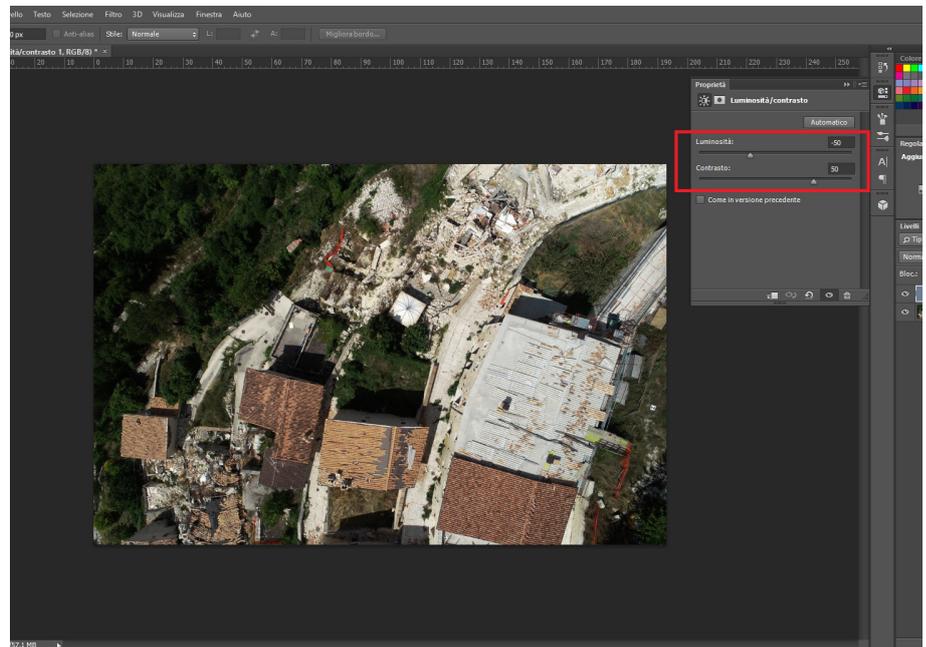


fig.11 - Immagine di Adobe Photoshop. Durante la correzione di luminosità (-50) e del contrasto (+50) e dopo la successiva regolazione delle curve tonali. Attraverso l' utilizzo del comando *Batch* la stessa operazione è stata replicata in serie alle altre immagini.



fig.8 - Immagine DJI_0016 acquisita con camera FC6310



fig.9 - Immagine DJI_0016 dopo la modifica radiometrica

Allineamento dei fotogrammi.

Il primo step per l'elaborazione riguarda il processo di orientamento delle immagini in base ad una stima di parametri che il software comprende in maniera automatica definiti dall'orientamento interno della camera. Sono state aggiunte nel progetto *Photoscan* le immagini che il programma archivia all'interno di una cartella, o gruppo di foto, che il programma chiama *Chunk*. Nel caso di questa elaborazione il *Chunk* è uno solo contenente 698 immagini di cui 697 allineate correttamente. Con il caricamento delle immagini e il conseguente allineamento il programma inizializza la generazione di una nuvola sparsa di punti formata dall'insieme dei *Tie Points*. Verrà utilizzata dal programma come base per le elaborazioni successive.

RISULTATI:

Numero di immagini: **698**

Quota di volo stimata: **80.1 m**

Risoluzione pixel a terra: **18.1 mm/pix**

Ricoprimento area: **0.102 km²**

Immagini localizzate (allineate): **697**

Tie Points: **302,743**

Proiezioni: **988,840**

Errore di proiezione: **3.17 pix**

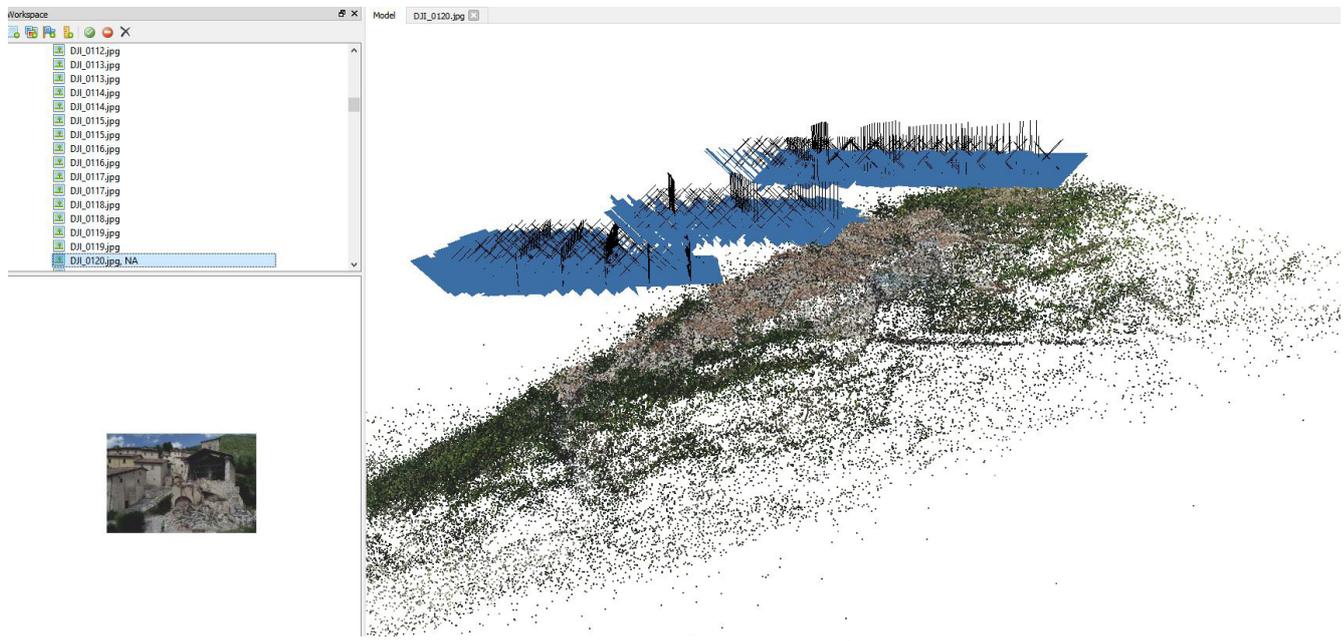
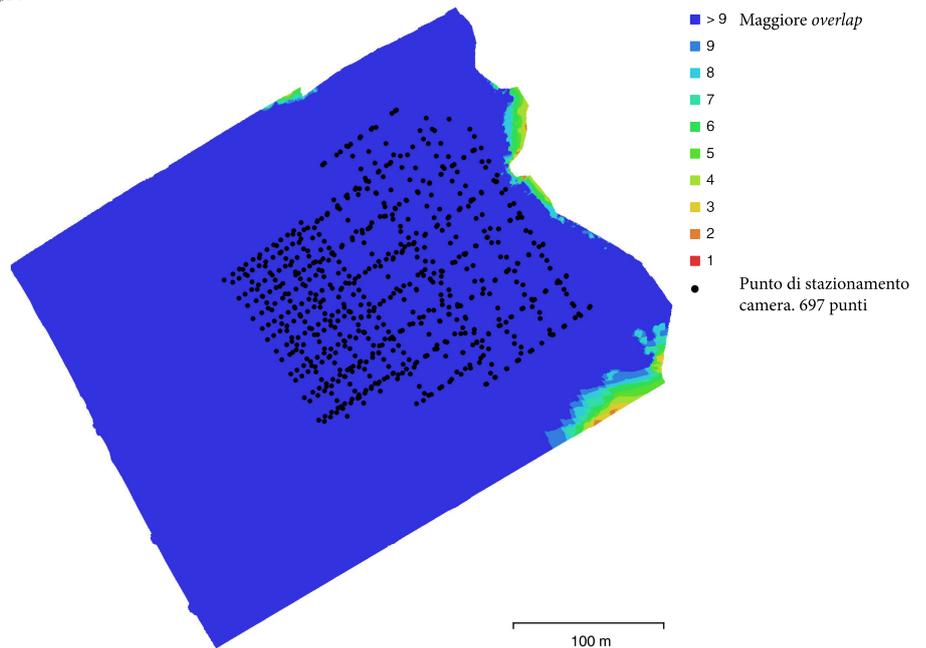


fig.12 - *Photoscan* illustrante l'operazione di allineamento foto (riquadri blu) e la costruzione della nuvola sparsa di punti. Viene anche mostrato il *chunk* dei fotogrammi e selezionato quello che risulta non allineato.
 fig.13 - Raffigura i dati di allineamento con un immagine. L'area blu corrisponde ad una maggiore sovrapposizione di immagini (overlap) mentre i punti rappresentano la localizzazione nel modello delle immagini allineate.



Bundle Block Adjustment

Il procedimento è fondamentale per il corretto orientamento esterno del modello utilizzando i dati forniti dal rilievo sul campo della rete di appoggio.

L'orientamento del blocco fotogrammetrico è definito da una roto-traslazione e dalla sua variazione di scala. Si ottiene grazie alle misurazioni delle coordinate di almeno 3/4 target sul modello. I quali durante la costruzione della rete sono stati opportunamente distribuiti nell'area in maniera omogenea.



fig.14 - Collimazione del target sul centro del target CM17

124. La collimazione consiste nel far coincidere un determinato punto, da misurare, con il centro di mira dello strumento usato.

Nel caso della collimazione dei GCP su Photoscan significa far coincidere un *marker* (bandierina) al centro del *target*.

Perciò in *Photoscan* vengono inserite le coordinate ellissoidiche rilevate con il GNSS/GPS sul campo trasformate in coordinate ortometriche.

Attraverso un file *.txt* è stato possibile importare questi dati, che devono però necessariamente essere indicati con punti precisi sulle immagini.

Questo procedimento si svolge manualmente andando a collimare¹²⁴ i *GCP- Ground Control Points*: i punti di vincolo del rilievo. Sono costituiti dai *target* della rete di orientamento tramite *markers* visualizzati nel programma con un' icona a bandierina. (fig.14)



fig. 15-16 - Due fotogrammi d' esempio in cui è stato collimato lo stesso GCP (CM17)

La collimazione dei target, per poter orientare il rilievo, può essere effettuata su *photoscan* attraverso un metodo automatico che il programma utilizza. Per poter inizializzare l'automatizzazione di questo processo è fondamentale collimare lo stesso GCP in diversi fotogrammi, almeno due. (fig.15-16) Essi servono per controllare statisticamente la propagazione dell' errore che incide sull' accuratezza del modello. Non tutti i

target della di orientamento sono stati convertiti in GCP da *Photoscan*.

Alcuni di essi sono stati utilizzati come punti di controllo *Check Points* -

CP per valutare gli errori della compensazione della rete. In totale sono

stati collimati 18 marker (13 GCP e 5 CP) su 25 target.

Generazione della Nuvola di punti densa

La Nuvola di Punti è il prodotto che struttura un rilievo fotogrammetri-

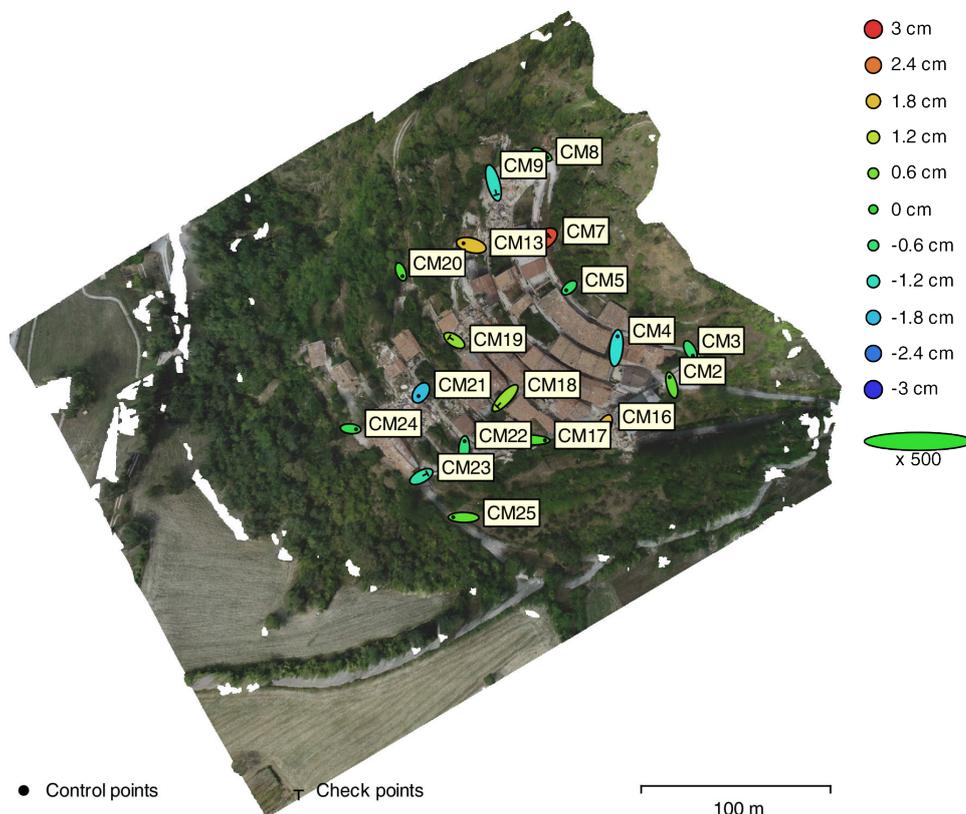
fig.14 - *Ground Control Points* e *Check Points* con i relativi errori in cm. Tratta dal *report* dei risultati di *Photoscan*.

GCP: 13

Errore residuo: 2.06 cm

CP: 5

Errore residuo: 2.44 cm



co. Essa e' un modello *reality-based* che serve a descrivere, analizzare e comunicare la realt  di oggetti d'interesse.

Generazione della Mesh e della Texture

Dalla nuvola di punti   stato possibile costruire la mesh del modello. La mesh   una superficie generata grazie all' unione dei punti tramite linee

fig.15 - Nuvola Densa lato ovest
fig.16 - Nuvola densa lato est



Caratteristiche e parametri
della Nuvola Densa:
Punti: 120915440
Qualit : Alta
Filtraggio: Aggressivo
Tempo di elaborazione: 2
giorni e 21 ore



che formano dei triangoli, tecnica derivante dalla Triangolazione Delaunay.¹²⁵ Quanto più l'area di questi triangoli è piccola tanto più sarà dettagliata la *mesh*. Tuttavia sarà anche più pesante la superficie. Tuttavia, la pesantezza può generare rumore indesiderato. Il rumore in una *mesh* genera una superficie che appare confusa e non definita, risulta quindi essere gibbosa e frastagliata invece che liscia e delineata.

In questo caso è stato possibile correggere la *mesh* lavorando sul software *3dReshaper*. Le operazioni effettuate hanno riguardato la riduzione del rumore generato dagli alberi che appesantivano inutilmente la nuvola. Sono state cancellate le facce generate in maniera automatica da punti sparsi nel modello che andavano. Esse sono facce della *mesh*, generate erroneamente, che si sovrapponevano alla superficie principale.

125. La Triangolazione Delaunay introdotta nel 1934 dal matematico da cui prende il nome. Si genera con l'unione di punti nello spazio 3D formando dei triangoli con facce piane.
Da: Spanò A. (2009) Dispense del Corso di Rilievo metrico 3D. Politecnico di Torino - DINSE



fig.17 - Immagine della mesh generata. Tratta dal progetto Photoscan

Inoltre, sono state generate nuove superfici, unendo i contorni delle *aree bucate* della *mesh*. Esse sono porzioni in cui non sono state acquisite foto. Infine il modello è stato ritagliato ai lati per definire un contorno più regolare. Successivamente è stata applicata la *Texture* che il programma applica alla *mesh*.

Risultati ottenuti

Le elaborazioni fotogrammetriche hanno permesso di generare diversi risultati step by step dalla nuvola di punti alla *mesh* texturizzata. Gli altri risultati consistono in modelli raster generati dal programma come ortofoto che servono come base di confronto tra l'esistente prima del sisma del 30 Ottobre e quello che è stato rilevato con UAVs. Essi possono essere integrati in ambiente GIS per la loro gestione.

Caratteristiche della *mesh*:

Facce: 9309565

Vertici: 4567884

Tempo di elaborazione: 1 ora e 15 minuti



fig.18 - Ortomosaico del modello di Campi Alto. Lato sinistro. Risoluzione (23700 x 9042 - 18 mm/pix)

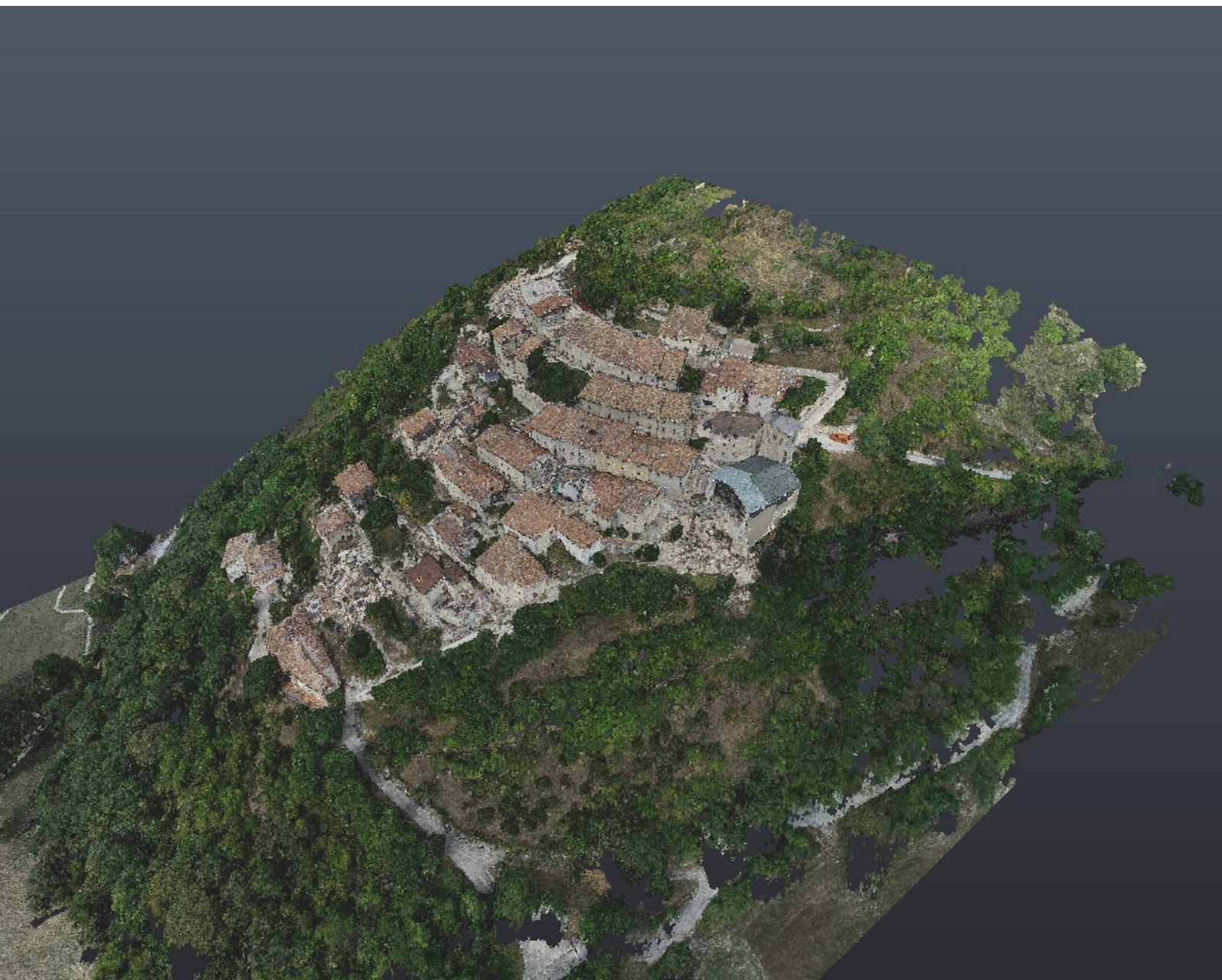


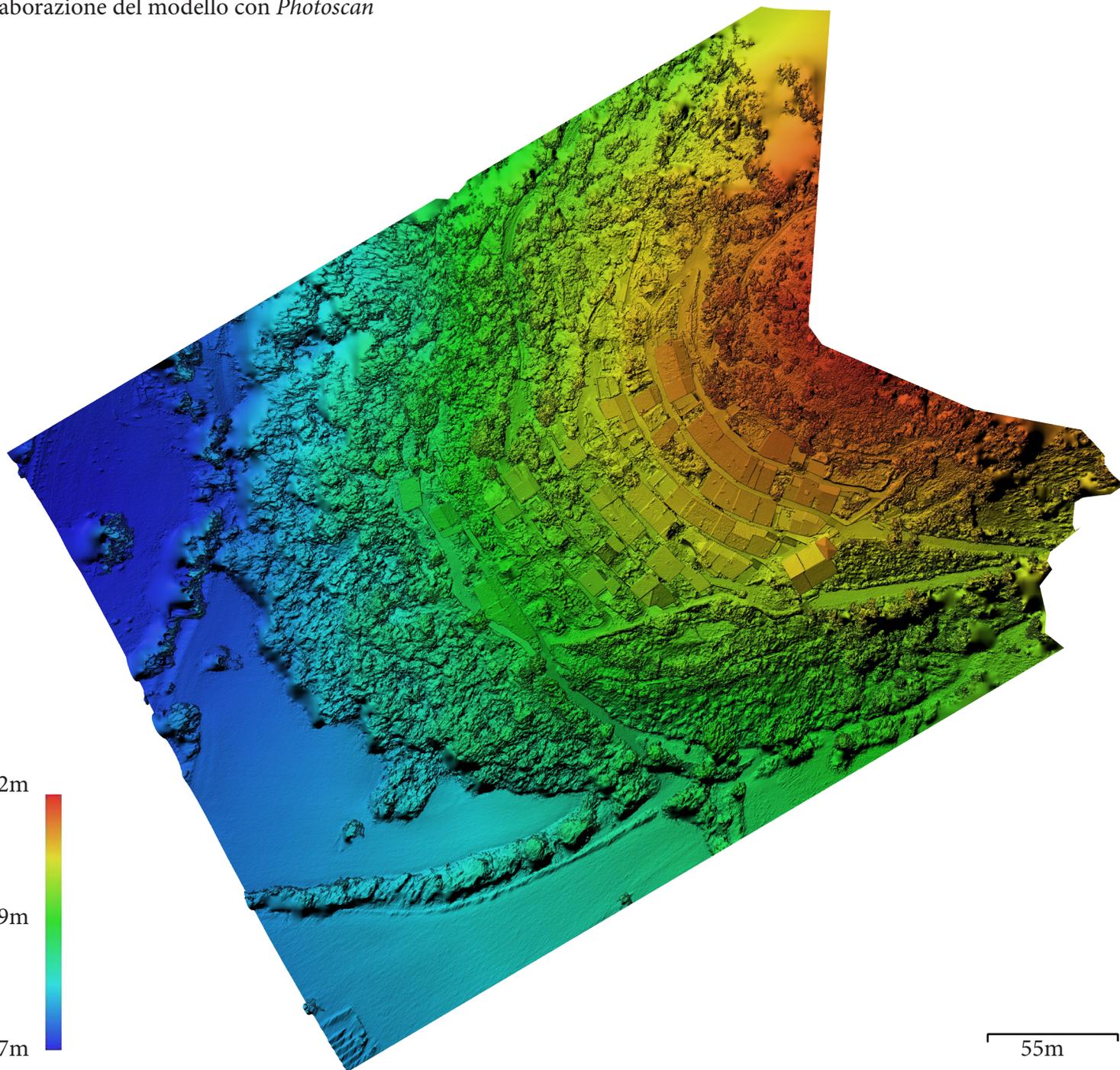
fig.19 (immagine tratta da *Autodesk RecapPro*). Vista est della nuvola di punti.



fig.20 (immagine tratta da *Autodesk RecapPro*). Vista ovest della nuvola di punti.

Modello DEM

Elaborazione del modello con *Photoscan*



Ortomosaico

Elaborazione con *Photoscan*



Interoperabilità dei risultati con il GIS

L' *interoperabilità* è la capacità di comunicazione tra differenti programmi o in questo caso il confronto tra i risultati ottenuti.

Il principale confronto effettuato è tra l' esistente urbano prima del sisma del 30 Ottobre e quello che è stato rilevato da UAV.

E' stato inserito l' *ortomosaico* di Campi Alto generato con *Photoscan* nel progetto GIS sotto lo *shapefile* delle costruzioni. Si può analizzare grazie alla sovrapposizione i vuoti dell' agglomerato urbano lasciati dagli edifici collassati durante il sisma. Sono stati perciò identificati, come edifici totalmente distrutti per cause esterne, ovvero il sisma.

Grazie all' importazione dell' *ortomosaico* all' interno del progetto GIS è stato possibile visualizzare lo scenario post-sisma dall' alto con una maggiore "accuratezza".¹²⁶ Quindi attraverso la sovrapposizione del file raster in alta risoluzione, di 18 mm/pix di risoluzione a terra, è possibile avere un quadro dettagliato della situazione.

E' stato quindi possibile migliorare il livello di accuratezza spaziale delle geometrie. Con un' operazione di avvicinamento al valore di misura reale degli oggetti. Cosa che con la cartografia in scala 1:5000, da cui provengono i dati di base non era possibile avere, perchè il livello di accuratezza è proporzionale al rapporto di scala.

Inoltre, al progetto, sono state aggiunte nuove geometrie come i poligoni che identificano le aree delle gradinate in planimetria.(fig.2)

Quindi l' interoperabilità tra i risultati ottenuti ha portato ad un miglio-

126. "Con il termine «accuratezza» si indica la massima distanza che al 95% di probabilità può esserci tra le misure desumibili dalla carta e le dimensioni reali dell'oggetto rappresentato, la tolleranza: generalmente assunta pari a 0.2mm alla scala della carta."

Definizione recuperata da: Rinaudo,F. (2017) *Gis e modellazione dei beni culturali. Fondamenti di Gis*. Dispense di Lezione. Politecnico cdi Torino

ramento del livello di accuratezza dei dati.

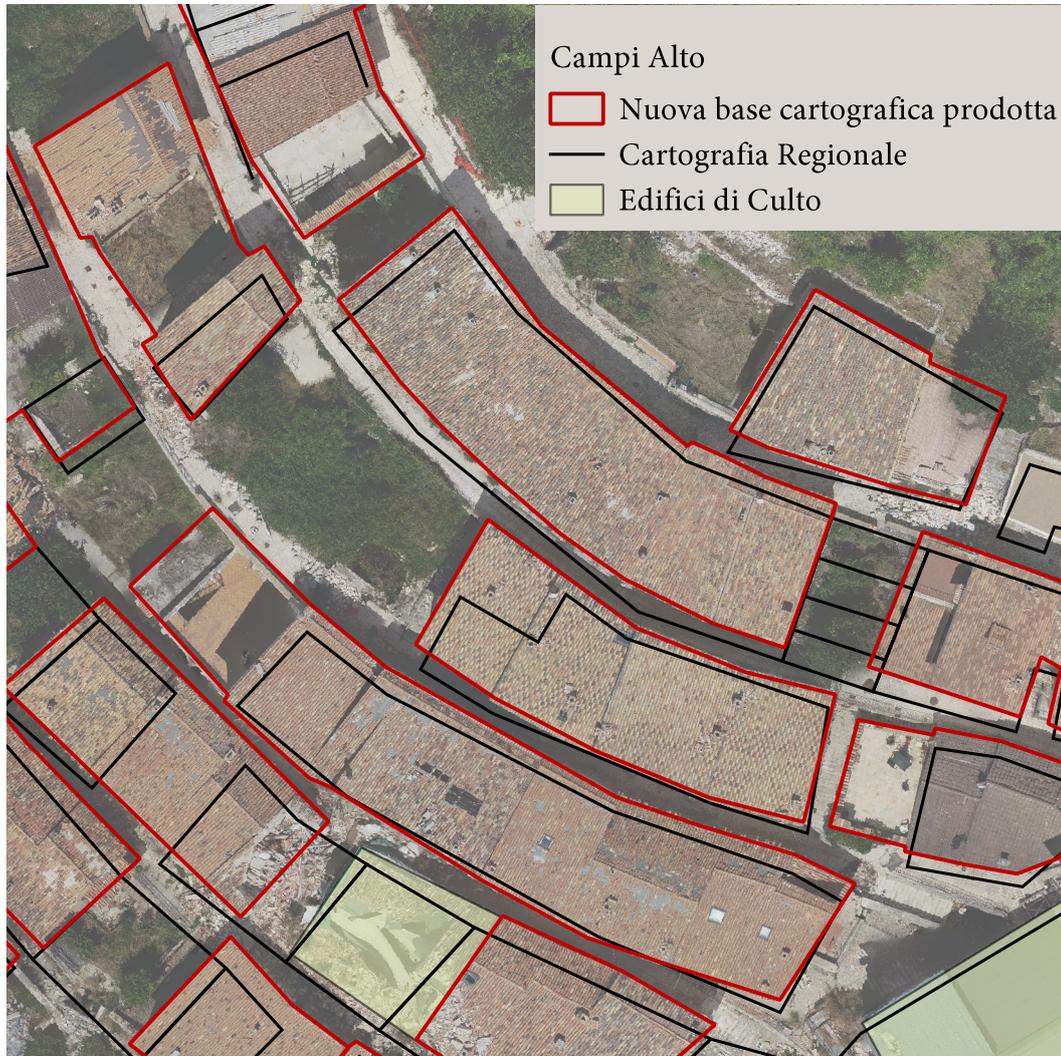


fig.21 - Carta prodotta con Q-GIS. Si mostra il confronto tra la cartografia regionale in scala 1:5000 dell' area di Campi Alto, e le nuove geometrie prodotte sull' ortofoto da UAV. L' accuratezza è aumentata con l' utilizzo di una base generata da UAV. Aumentando il rapporto di scala si è abbassata la tolleranza passando da 1,5m a 2 cm.

Identificazione delle U.M.I. di Campi Alto

Il GIS è un sistema informativo utile a gestire l'emergenza attraverso la pianificazione a diverse scale con la gestione e utilizzo di dati geografici. E' possibile usare il GIS come fonte di informazione univoca usando dati anche statistici, associati alle entità geometriche, provenienti da fonti specifiche.

All'interno del GIS si è eseguita un'operazione di identificazione degli aggregati urbani, che non è un lavoro semplice soprattutto per quanto riguarda i centri storici, in cui è difficile comprendere lo sviluppo degli aggregati tipici in muratura a causa della loro continuità strutturale. Quindi ogni sua parete risulta portante e risulta difficile separare le unità strutturali, mentre per gli edifici in cemento armato è più semplice la suddivisione delle strutture perchè essi sono più isolati. Si tratta di un'operazione per l'identificazione degli edifici che formano il complesso urbano di Campi Alto.

Secondo quanto riportato dal Manuale Aedes: “L' *identificativo edificio* è formato dal concatenamento di una serie di informazioni, costituite dall'insieme dei dati Istat identificativi del Comune (Regione+Provincia+Comune) in unione con il numero di aggregato e quello di edificio, consentendo così l'identificazione dell'edificio senza ambiguità.”¹²⁷

In tabella si riportano i codici alfanumerici identificativi impiegati in lavori cartografici. In casi particolari però potrebbero esserci delle situazioni in cui non sia prevista la codifica sopra riportata, ad esempio

127. Baggio, C. Bernardini, A. Colozza, R. Corazza, L. Della Bella, M. Di Pasquale, G., Dolce, M. Goretti, A. Martinelli, A. Orsini, G. Papa, F. Zuccaro, G. (2002). Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica. Roma: Editrice Italiani nel Mondo srl.

quando la cartografia non è aggiornata.

Per il caso studio secondo i dati Istat (ultimo aggiornamento: 30 Giugno 2019) sono stati attribuiti agli edifici i seguenti codici alfanumerici:

Regione: **Umbria** codice: **10** fonti Istat. (*www.istat.it*)

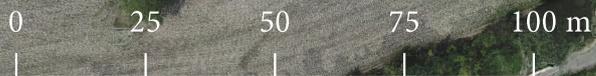
Provincia: **Perugia** codice: **054** fonti Istat. (*www.istat.it*)

Comune: **Norcia** codice: **035** fonti Istat. (*www.istat.it*)

Dato che il comune di Campi di Norcia non era riportato sui dati Istat, è stato inserito il codice alfanumerico del comune di Norcia: *054035*.

Il numero aggregato è stato identificato in base ad una suddivisione che sfrutta i dati elaborati con la nuvola di punti. Con i nuovi dati acquisiti si è visto che due aggregati in cartografia regionale corrispondono ad un aggregato singolo nella realtà. Quindi per semplificare il lavoro di identificazione si sono accorpati più aggregati edilizi in base alla loro struttura in planimetria. Se invece dell' aggregato non vi erano nè tracce nè macerie, perchè demolito prima del sisma, è stato semplicemente escluso dal progetto. Secondo i dati a disposizione, sono state identificate delle U.M.I. Unità Minime d' Intervento, che corrispondono a porzioni di aggregato particolarmente complesse.

“Per gli aggregati particolarmente complessi è prevista la individuazione delle UMI (Unità Minime di Intervento) coincidenti con le Porzioni di Aggregato. La porzione di aggregato pertanto può essere costituita da una o più unità strutturali che sarà oggetto di intervento unitario, nel rispetto di una corretta modellazione degli aspetti di interazione strut-



128. Martinelli,A., Cifani,G., Lemme,A., Miozzi,C., Petracca,A. *Manuale per la compilazione della scheda di progetto: Proposta di intervento porzione aggregato in formato digitale*. A cura di: Comune dell'Aquila Servizio Ri-pianificazione Politiche del Territorio e Ambientali

turale tra la parte stralciata e quella posta in adiacenza esterna alla UMI.

La scelta ottimale delle UMI - Porzione di Intervento sarà tale da minimizzare le reciproche interazioni sotto l'aspetto dell'azione sismica.”¹²⁸

Quindi è una suddivisione che è opportuno fare per migliorare la pianificazione per il recupero architettonico del costruito.

In riferimento alla *Carta* le U.M.I. sono insieme di una o più particelle catastali, inserite nella tabella attributi.

La tabella attributi degli *shapefiles* generati riporta una serie di informazioni tra cui il livello di danno e gli esiti AeDes della Protezione Civile.

La Protezione Civile attribuisce il livello di danno per ogni particella durante attenti ispezioni sul campo. Nella scala europea la scala del livello di danno è formata da cinque livelli, mentre quella utilizzata dalla Protezione Civile è formata da tre livelli che vengono illustrati nelle sezioni 4 e 5 del manuale.

Per mezzo di questa suddivisione si andrà a generare i modelli parametrici 3D dell' agglomerato, che successivamente andranno ad integrarsi all' Urban BIM per la documentazione dello scenario post-sisma di Campi.

U.M.I. di Campi Alto - Legenda:

Nuovo shapefile:
- Edificato_CampiAlto

BASE:
-ortofoto (UAV)
-google satellite (qgis webservice)





L' URBAN BIM DI CAMPI DI NORCIA

Introduzione

Il capitolo tratterà la fase di modellazione degli elementi che andranno a documentare lo scenario post-sisma, per fornire l' informazione sul caso studio, attraverso lo sviluppo di un sistema integrato di dati gestiti ed elaborati precedentemente. Il sistema in questione prevede l' utilizzo della metodologia BIM alla scala urbana che prende il nome di Urban BIM. Esso è stato applicato al caso studio a Campi di Norcia per il rilievo del patrimonio costruito gravemente danneggiato a

Immagine: (da *Infraworks*) Immagine rielaborata dell' Urban BIM di Campi di Norcia.

seguito del terremoto del 30 Ottobre.

La conoscenza di queste realtà urbane è di particolare importanza per capire le conseguenze che un evento del genere può avere sulle strutture nel loro complesso. La rappresentazione parametrica a scala urbana, quindi può risultare uno strumento fondamentale di analisi conoscitiva legata non solo al singolo edificio, ma ad un intero insieme urbano: “modellare e visualizzare i principali fenomeni di vulnerabilità del patrimonio culturale è senza dubbio il primo passo nella riduzione del rischio a cui esso è soggetto.”¹²⁹

All’ interno del modello parametrico si potrà osservare la distribuzione degli organismi edilizi e i danni che essi hanno subito. Attraverso l’ attribuzione di un gradiente di colore si può capire, in maniera immediata, il livello di danno degli aggregati urbani e delle strade (*main-assets*) definiti come U.M.I. (Unità Minime d’Intervento), descrivendo lo stato attuale di Campi Alto, area definita come “zona rossa” in funzione dell’ *Emergency Mapping*.¹³⁰

L’ Urban BIM, peraltro, può portare a sviluppi futuri legati alla gestione e condivisione in *Cloud*, a scopo divulgativo, per fornire informazioni relative allo scenario post-sisma. In questo modo il modello U-BIM potrà essere utile come strumento rappresentativo degli effetti indotti dal sisma. Il sistema può essere visto come uno strumento di appoggio per i piani di gestione e operazioni di recupero da parte di enti governativi e organi di protezione civile e per adempire agli obiettivi prefissati, pre-

129. Pelliccio A., Sacucci M., Grande E. (2017) *HT_BIM: La modellazione parametrica per l’ analisi del rischio nei centri storici*. DISEGNARECON v.10/n.18

130. Dorati C., Kucera, J., Marí i Rivero I., Wania, A., (2018) *Product User Manual of Copernicus EMS Rapid Mapping*, JRC Technical Report JRC111889.

senti nel nuovo Piano Regolatore, legati al recupero del territorio comunale di Norcia, come ripristinare la mobilità interrotta, inserire nuovi servizi che possono portare ad un aumento dei flussi turistici e ad un ripopolamento delle aree in abbandono risolvendo l'economia locale dei nuclei storici delle valli nursine.

È stato scelto il metodo BIM perché meglio si adatta alla gestione del dato informatizzato che da anni sta prendendo sempre più spazio ed è sempre più utilizzato in Italia anche nel campo della documentazione del patrimonio. Il software ricercato permette la gestione e l'integrazione di dati geografici, da UAV, e modelli 3D per la restituzione della frazione di Campi di Norcia. Si è utilizzato il software *Autodesk Infraworks 360*.

La nuvola di punti insieme all'ortofoto danno una visione particolarmente dettagliata dell'agglomerato urbano. Infatti, i dati acquisiti con UAV hanno permesso di ottenere l'informazione da attribuire per il *Building Damage Assessment*, la valutazione del danno edilizio. L'integrazione della nuvola di punti all'interno dell'U-BIM, ha permesso la riuscita del BDA, che però riguarda esclusivamente l'area di Campi Alto, dove sono stati acquisiti i dati da UAV.

In conclusione, si può dire che terremoto ha causato innumerevoli danni, agli edifici e ai trasporti rendendo inagibile la mobilità e i flussi turistici fondamentali per far accrescere e risollevare l'economia del territorio. Quindi sarà di primaria importanza avviare, il prima possibile,

buoni progetti di recupero e riqualificazione delle aree che incrementino e ripopolino queste aree in emergenza. Attraverso il sistema integrato, fornito da un modello urbano parametrico che è analizzabile spazialmente, è possibile visualizzare le connessioni legate al patrimonio costruito danneggiato. Il modello è preliminare al recupero del territorio e lo scenario sismico, per fronteggiare l'emergenza e la crisi del territorio. Tutto questo è stato possibile con le innovazioni approntate nel campo dei sistemi di rilievo integrato.

Il BIM: Building Information Modeling

Il BIM è considerato un sistema di lavoro nel campo architettonico, ingegneristico successore dei programmi di disegno CAD (*Computer Aided Design*) concepiti in due dimensioni. I software con cui si progetta il BIM, invece, più che programmi di disegno sono considerati veri e propri costruttori di realtà digitale.

Dagli anni '80 il progetto di architettura cambia con il passaggio alla modellazione parametrica. Questo con l'affermarsi di software sempre più intuitivi di modellazione tridimensionale che riconoscono gli elementi costruttivi e tecnici di un progetto. Invece che categorizzarli come semplici linee, gli oggetti parametrizzati in BIM vengono associati a degli attributi di categoria. Il primo di questi software fu *Graphisoft ArchiCad*, uscito nel 1986.

Dagli anni 2000, inizia ad evolversi il *BIM - Building Information Model*

fig.1 - Evoluzione di sistemi di disegno su supporto elettronico.
Da: Osello A., (2012) *Il futuro del disegno con il BIM per architetti ed ingegneri* Dario Flaccovio Editore

fig.1 - Schema raffigurante le principali azioni metodologiche eseguibili con il metodo BIM.
Rielaborato da: Lo Turco M., Piumatti P., Rinaudo F. (2018) *Gis e modellazione dei beni culturali*. Dispense di Lezione.



come lo intendiamo noi oggi, ovvero più che un software, è una metodologia. (fig.1). Il quale sta progressivamente sostituendo i sistemi di disegno CAD.

Le aziende di software di progettazione in questi anni si stanno infatti occupando di far uscire programmi sempre più aggiornati che utilizzano questa metodologia che offre numerosi vantaggi e arricchisce il progetto di informazioni legate agli elementi parametrici dei manufatti edilizi.

Il metodo di lavoro BIM è inoltre progettato per essere condiviso all'interno del gruppo di lavoro per revisionare il progetto da diverse figure operative. Esso rende più collaborativa la progettazione di diversi sistemi nell'ambiente di lavoro. Queste funzioni sono adattabili in svariati progetti dal singolo edificio di nuova costruzione al progetto infra-

strutturale, ma anche applicato alla documentazione dei beni culturali. Quest' ultima applicazione sul patrimonio costruito di interesse storico e culturale è chiamata *Heritage BIM*. Questa flessibilità di impiego lo rende molto utile per praticità alle diverse utenze, dall' ingegnere civile al restauratore architettonico.

Entro il 2025 sarà obbligatorio l' utilizzo della metodologia BIM e gli enti appaltatori di progetti edilizi pubblici dovranno richiedere che il progetto venga eseguito nel formato elettronico eseguito in Building Information Modeling.

In attuazione da quanto previsto dalla norma UNI 11337 sul BIM divisa in dieci sezioni, la numero 9 che riguarda la gestione del rilievo e le nuvole di punti, presenta nuove direttive nella digitalizzazione e gestione del rilievo, che dovrà essere fatta per fornire e documentare il ciclo di vita dell' edificio, noto come *Building Condition Assessment*.¹³¹

La rivoluzione BIM è stata avviata a causa di un' inefficienza delle politiche di gestione delle fasi di cantiere e di costruzione degli appalti pubblici. Il blocco del settore delle costruzioni negli ultimi anni ha fatto in modo di sviluppare nuovi sistemi che migliorino il processo di *cantierizzazione*, riducendo i costi e i tempi e gli errori. E' dimostrato da diverse società, che la metodologia BIM nel settore delle infrastrutture può essere la chiave per rendere *cantierabili* le opere in brevissimo tempo, in modo da poter essere finanziabili dal paese.¹³²

Studi confermano che il BIM possa portare a risparmi significativi e ad

131. Tratto da:
www.bimportale.com

132. *Progettazione stradale BIM e Sblocca Italia (2014)*
Da: www.gisinfrastutture.it

133. Nuovo studio: la realtà aumentata può sbloccare risparmi in infrastrutture e costruzioni complesse. Da: www.cowi.com

una migliore qualità progettuale. Inoltre con l'aggiunta della realtà aumentata (VR - *Virtual Reality*) si possono visualizzare le informazioni direttamente dal modello 3D, eseguito in BIM. Così è possibile avere un miglior senso di scala e un maggiore riconoscimento dei componenti.¹³³

L'integrazione tra GIS e BIM

La rivoluzione del BIM ha investito anche il mondo GIS, il quale ha iniziato ad aggiornare i software per la comprensione degli oggetti in tre dimensioni.

In sostanza lo scopo è quello di integrare gli oggetti BIM in ambiente GIS, in modo da poter gestire l'informazione spaziale. In modo che la

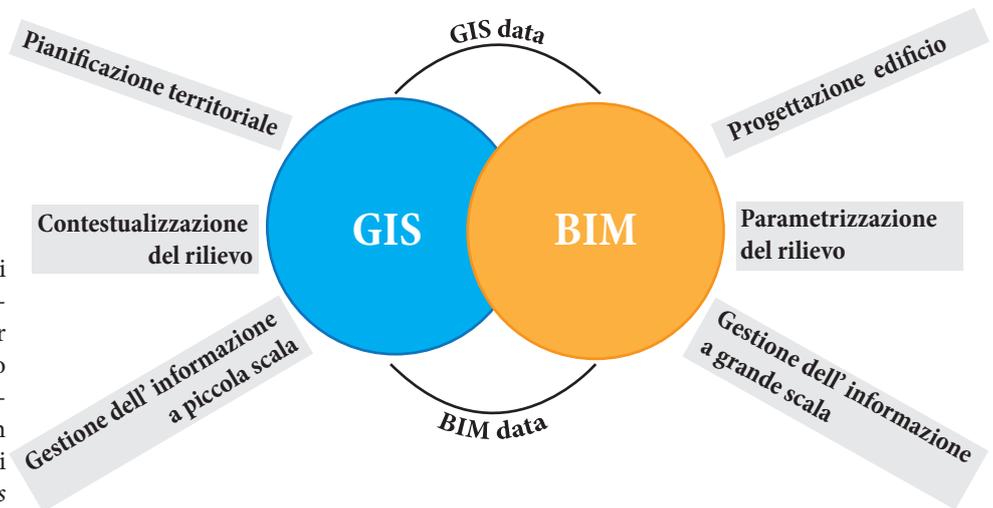


fig.2 - Integrazione GIS e BIM. Vengono indicate le possibili operazioni che si possono svolgere con i due strumenti per la progettazione e il rilievo. Lo scambio dati risulta più facilitato integrando i GIS e BIM in un unico sistema riducendo i tempi delle operazioni e i *workflows* (flussi di lavoro).

progettazione possa avvenire in contesti territoriali e non singoli modelli non georeferenziati nel sistema globale.

Il *concept* di integrazione nasce dall'idea di poter pianificare le strutture di strade, ponti, edifici, etc... con il GIS, mentre al BIM affidare la progettazione e costruzione di queste strutture.

E' partita quindi l'alleanza tra GIS e BIM per il futuro della progettazione del settore edilizio e alla restituzione 3D dei beni culturali.

Così *Esri* e *Autodesk*, aziende leader dei settori dell'informazione geospaziale GIS (*Esri*) e della modellazione digitale BIM (*Autodesk*) hanno dato il via alla partnership tecnologica come anello di congiunzione tra le due tecnologie.

L'obiettivo sarà quello di migliorare la restituzione e l'informazione dei modelli. Con una maggiore trasparenza sui progetti accelerandone l'approvazione e riducendo tempi e costi.



fig.3 - Foto della conferenza, tenuta a Roma l'11 aprile del 2018, per il lancio della collaborazione tra *Esri* e *Autodesk*. Sul palco a sinistra il CEO di *Autodesk* Andrew Anagnost e a destra il presidente di *Esri* Jack Dangermond.

Da: www.gisinfrastrutture.it

134. (2017) *Esri e Autodesk: una partnership per combinare GIS e BIM*. Da: www.esriitalia.it

“È importante pensare ai bisogni delle generazioni future durante la progettazione e la costruzione delle infrastrutture”. “La nostra partnership sottolinea l’importanza di assicurare risorse sostenibili per la crescita della popolazione, un impatto responsabile sull’ambiente naturale, un uso migliore delle risorse del pianeta e città più resilienti”¹³⁴

Jack Dangermond, Presidente di Esri.

“La partnership con Esri ha lo scopo di potenziare l’ integrazione BIM/ GIS e consentire ai clienti di costruire qualsiasi cosa ovunque”. “I nostri obiettivi sono quelli di fornire all’industria e agli urbanisti la possibilità di progettare in un contesto. Questo consentirà alle comunità di costruire città sempre più connesse, efficienti e resilienti e infrastrutture che hanno un occhio più attento alla sostenibilità”¹³⁵

135. (2017) *Esri e Autodesk: una partnership per combinare GIS e BIM*. Da: www.esriitalia.it

Andrew Anagnost, CEO di Autodesk.

L’ Heritage BIM alla scala urbana: L’ Urban BIM

Dall’ unione tra le due compagnie volte a rendere la progettazione integrata, l’ occhio di riguardo è rivolto verso il sistema urbano e infrastrutturale nel suo complesso, oltre che creare un sistema che faccia da ponte tra l’ informazione geografica e la modellazione.

La documentazione dei beni culturali e del patrimonio edilizio alla scala urbana, attraverso l’ Urban BIM integra i dati che permetteranno la documentazione di manufatti di pregio architettonico. La creazione di modelli “intelligenti” Urban BIM di centri storici permette di avviare

progetti di valorizzazione e riqualificazione nel rispetto del bene e del territorio circostante, partendo dagli attributi associati ai modelli parametrici che formano questi nuclei.

Con l' Urban BIM si può elaborare un modello "multi-scala", integrato cioè gestibile e fruibile a diverse scale, sempre su una piattaforma elettronica attraverso l' utilizzo di specifici software, tra cui Infracore il software Urban BIM applicato al caso studio.

Con la metodologia Urban BIM è possibile restituire il rilievo parametrizzato, e integrarlo ad una base cartografica formata da *shapefile*, gestiti nell' U-BIM, con l' obiettivo di documentare i beni culturali inseriti nel loro contesto geografico di riferimento, per procedere alle analisi conoscitive e alle indagini sul modello digitale 3D dei siti d'interesse.

L' U-BIM gestisce diversi formati vettoriali tra cui gli *shapefiles* per fornire le informazioni alla scala territoriale, che si potranno poi successivamente integrare in tutto il sistema globale con il BIM 360, che sfrutta dati provenienti da diverse utenze per fornire l' informazione su tutto il territorio che ci circonda.

L' Urban BIM rende la progettazione più integrata al contesto territoriale rendendolo molto adatto alle funzioni legate alla modellazione del patrimonio dislocato su vaste aree ambientali. Come nel caso del territorio nursino in cui le frazioni e i borghi rurali sono dislocati lungo vaste vallate; quindi è possibile integrare i dati provenienti da diverse realtà urbane che vengono unite insieme, in un unico modello territoriale.

Inoltre, è possibile gestire i dati passando dal GIS al BIM lavorando in stretta sinergia di composizione di un progetto urbano. I dati cartografici con Infracore possono essere integrati con i dati da una nuvola di punti nell' U-BIM per ottimizzare il rilievo ed aumentarne l' accuratezza, cosa che in ambiente GIS non è possibile fare. Le potenzialità dell' utilizzo del BIM sono innumerevoli si può dire che sia la metodologia chiave per la restituzione di un rilievo parametrico a scala urbana.

L' Urban BIM di Campi di Norcia

In questo caso nasce con l' esigenza di rispondere agli eventi sismici che hanno danneggiato il patrimonio. La proposta è quella di restituire un modello parametrico 3D degli elementi territoriali quali edificato, viabilità e orografia del terreno elaborati e gestiti con lo strumento GIS e, inoltre, rappresentare lo stato dell' edificato e la situazione post-sisma. Tuttavia, la rappresentazione è permessa dalle informazioni raccolte e l' interoperabilità dei formati di gestione dati geospaziali sull' evento oltre che dai dati acquisiti sul campo con UAV risultati utili nell' operazione di documentazione del danno degli aggregati edilizi. Grazie all' utilizzo di questi dati è stato possibile generare il modello presentato in questa tesi.

Il contesto: modellazione degli elementi territoriali di Campi

La base del modello è data dalla superficie altimetrica di una porzione della vallata nursina. L' area di riferimento, che si è considerata, è quella inscritta nei fogli cartografici acquisiti dal database regionale gestiti con GIS, e poi con BIM. La configurazione tridimensionale della superficie è consentita grazie agli attributi di quota altimetrica. Si è così generata una superficie orografica 3D dell' Urban BIM, su cui si sono sovrapposte le immagini satellitari. (fig.4)

Le elaborazioni successive hanno riguardato altri elementi che andranno a completare l' insieme urbano di Campi. Definito grazie agli attributi di progetto e alle *features* (caratteristiche) del modello.

Attraverso delle espressioni date da un linguaggio proprio del software è

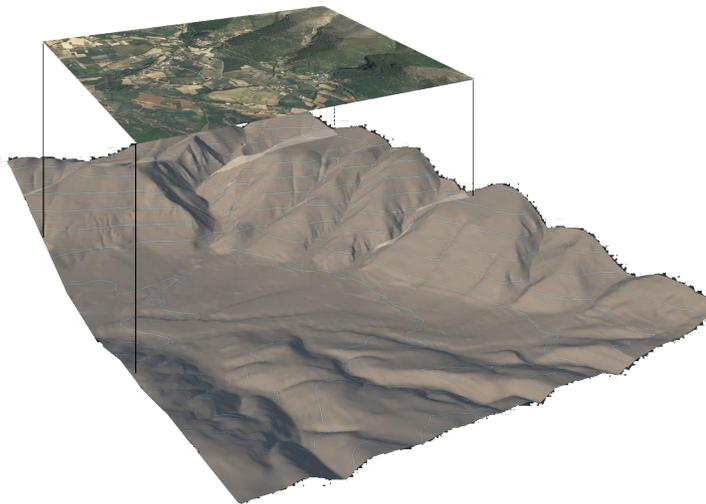


fig.4 - Orografia BIM configurata in Infracore nel suo sistema di riferimento: WGS84-UT-M33N

nome: VEG_2



fig.5

nome: VEG_1

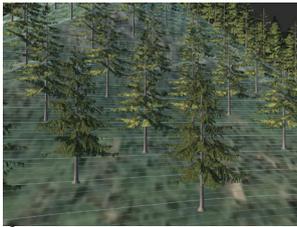


fig.6

nome: VEG_11

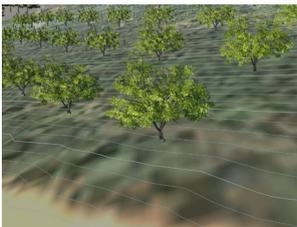


fig.7

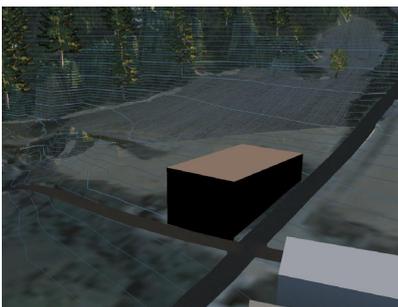
stato possibile regolare degli stili o filtrare i “campi” degli elementi, per ottenere le *features* desiderate attraverso una corretta tabella attributi predefinita. Così è possibile lavorare tramite processi “relativamente” automatici, da gestire e conoscere per avviare l'intero *processing*.

Assegnazione delle features di progetto

Vegetazione - Lo strato deriva dallo *shapefile* in cui l'attributo sotto il campo “*Layer*”, inserito nel GIS, ha permesso di assegnare le *features* tramite delle espressioni leggibili dal programma per modellare gli elementi in 3D velocizzando il *processing* e la modellazione U-BIM. (fig. 5-6-7)

Viabilità - Al campo DESCRIPTION, già presente nella piattaforma BIM, si sono stati associati i valori di viabilità con l'attributo di origine dei dati relativi alle strade locali e strade secondarie così facendo si sono generate diverse *features* per poter essere identificabili facilmente nel

DESCRIPTION: 'Church' ■



DESCRIPTION: 'Residential' ■



DESCRIPTION: 'Other' ■

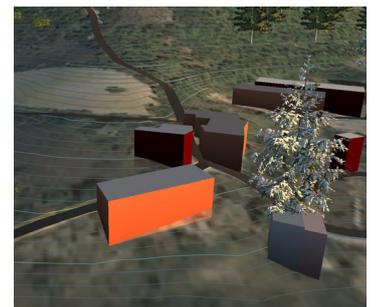


fig.8-9-10. Elementi territoriali relativi allo shapefile: Insediamenti (Copernicus EMS)

modello.

Edificato - Rappresenta il gruppo di elementi primario del modello. Si sono definiti gli *shapefile* 3D associando un colore al campo DESCRIPTION in modo da visualizzare la tipologia in maniera immediata degli edifici della frazione di Campi parte bassa. (fig.8-9-10)

Invece, per quanto riguarda Campi Alto, come è stato già detto in precedenza si deve necessariamente apportare un aggiornamento e una modifica al livello di danno, perchè non rispecchia l' attributo reale.

Integrazione della nuvola con l' Urban BIM

L' integrazione della nuvola di punti è servita per generare una superficie orografica, più accurata, come base all' edificato parametrizzato che andrà a costituire gli elementi dell' U-BIM. La superficie generata risulta più dettagliata e accurata perchè sfrutta i dati del rilievo da UAV acquisiti sul campo con immagini ad alta risoluzione. La nuvola di punti serve a conferire maggiori dettagli a porzioni di terreno rilevate attraverso i sensori che permettono di avere un GSD minore. Infatti con la nuvola di punti densa è stato possibile passare da una *mesh* poco dettagliata, costruita sull' interpolazione dei punti quota delle curve di livello dello *shapefile* della regione, ad una superficie molto più accurata della collina di Campi Alto. (fig. 11-12)

Inoltre, i dati da UAV integrati all' U-BIM sono serviti ad attribuire l' informazione effettiva del danno valutato con la nuvola di punti. Soprattutto



fig.11-12 Inserimento della nuvola di punti sull' orografia e generazione del nuovo terreno con i dati del rilievo.

tutto per ciò che riguarda i fronti dell' edificato, che non potevano essere visualizzati con l' ausilio di sensori d' acquisizione d' immagini nadirali; così attraverso le immagini da UAV oblique a 45° si sono individuati i degradi locali delle facciate degli edifici ancora in piedi e le criticità come lacune nelle costruzioni e i crolli parziali della muratura. In base a queste valutazioni si sono classificati seguendo le indicazioni relative alla scala di riferimento introdotta da Copernicus.

“Distretto” grado 4

Assegnato a strutture che nella totalità (grado 5) o in una parte corri-

fig.13 - Tabella utilizzata per il BDA del caso studio. Essa è stata presa come riferimento dal lavoro di Copernicus EMS nei servizi mappatura d' emergenza delle aree in crisi.

Vengono riportati i gradi di danno utilizzati per descrivere lo scenario attuale post-sisma.

Distrutto	grado: 4
Danneggiato (Maggiore)	grado: 3
Danneggiato (Minore)	grado: 2
Possibilmente danneggiato	grado: 1
Nessun danno visibile	grado: 0

spondente a più del 50% (grado 4) dell' edificio vi è il collasso.

“Danneggiato” diviso nei gradi 3 e 2 quando si dispone di dati da UAV

($GSD < 0,1m$)

“Danneggiato (Maggiore)” gradiente di danno 3

Ribaltamenti di parti delle murature o il collasso di porzioni di muratura.

“Danneggiato (Minore)” gradiente di danno 2

Lesioni di minore entità come assenza materica parziale solo del manto di copertura o circondato da detriti e macerie

“Possibilmente danneggiato” gradiente 1

Quando dalle immagini non è possibile distinguere il livello di danno.



fig.14 - Immagine da Infraworks. Metodi di valutazione utilizzati per valutare il livello di danno.

- Distrutto - Edificio completamente distrutto. Grado 4
- Danneggiato in quantità superiore - Ribaltamenti di porzioni di muratura Grado3
- Danneggiato in quantità inferiore- Lesioni al manto di copertura. Grado 2

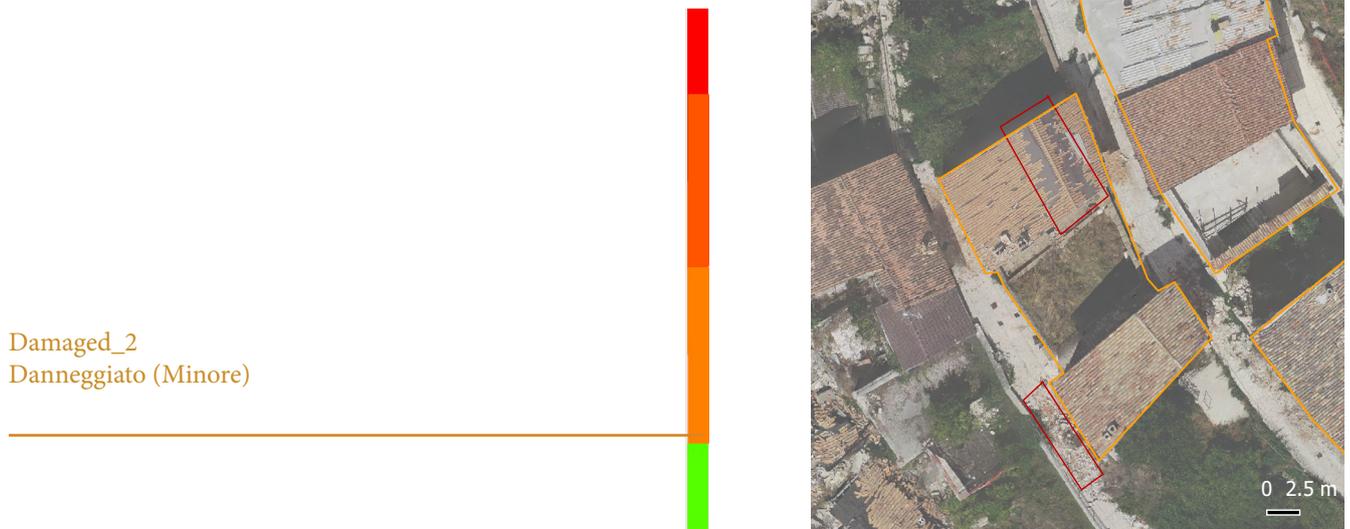


fig.15 - Immagine nadirale della UMI 26 (elaborata con QGIS). Base raster: Ortomosaico da *Photoscan* di Campi Alto.

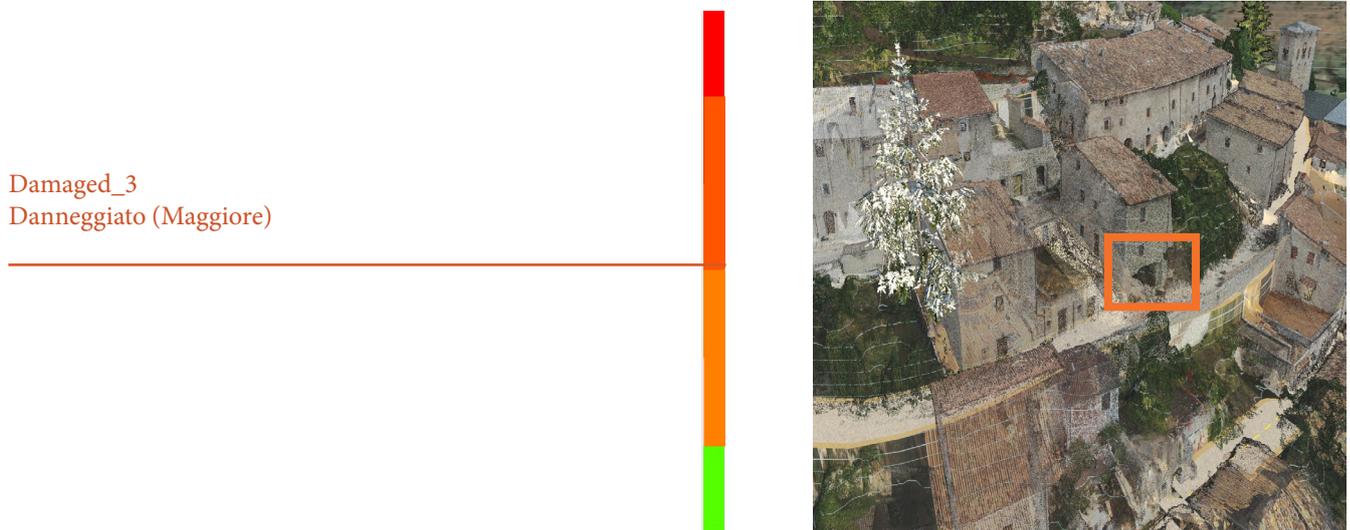


fig.16 - Immagine obliqua (tratta da Infraworks.) Nuvola di punti di Campi Alto con inquadrata la UMI 26 da cui è possibile valutarne lo stato di fatto.

Viene usato quando l' interpretazione è incerta, dovuto all' utilizzo di immagini di bassa qualità.

“Nessun danno visibile” gradiente 0

Assegnato a strutture che appaiono completamente integre. Quando la muratura rimane in piedi e la copertura non è danneggiata. Riepilogando le classi della scala utilizzata sono le seguenti:

La nuvola permette quindi di suddividere le diverse classi con una valutazione più consapevole dello stato di fatto per procedere con il ripristino dell' unità.

Dalla lettura dell' immagine della UMI 26 riportata nelle *figure 15-16* si possono notare alcuni danni sul manto di copertura come l' assenza dei coppi di copertura, in corrispondenza del l' incontro tra le due falde, e alcune macere di modeste dimensioni alla base di una delle due particelle. L' esito, in questo caso, relativo al grado di danno da attribuire sarebbe più orientato verso il grado 2 - Danneggiato (Minore), per l' assenza materica parziale del manto di copertura e per i detriti attorno.

Dalla seconda immagine, cioè nell' Urban BIM, invece, si vede che le lesioni della copertura non sono le uniche criticità riscontrate. Si è verificato che le macerie visibili sull' ortofoto, risultato del processing della nuvola con *gsd* pari a 0,018 m, sono dovute ad un collasso della muratura del piano terra dell' unità. Quindi si è attribuito alla UMI di grado 3 - Danneggiato (Maggiore). Verificando dalla nuvola gli effettivi degradi si sono attribuiti i livelli di danno degli aggregati edilizi.

Definite le regole da seguire per la valutazione del danno si è pensato alla modellazione degli edifici e dei caratteri generali secondo le Unità Minime d' Intervento. L' Urban BIM deve essere uno strumento utile anche per i tecnici coinvolti nel recupero di singole unità, quindi si è proceduto alla restituzione 3D in scala 1:500 degli elementi principali grazie alla nuvola, utilizzata per la modellazione parametrica dei componenti edilizi principali, quali muri, coperture e aperture.

La modellazione parametrica

“Sebbene l' uso delle tecnologie digitali sia in grado di velocizzare e perfezionare sempre più la conoscenza dell' oggetto architettonico, rimane invariato il ruolo del rilevatore post processing per la discretizzazione e segmentazione dei singoli componenti e parti di componenti.”¹³⁶

La modellazione, in base ai dati raccolti e all' accuratezza metrica del rilievo, è stata eseguita in con il software di applicazione di metodologia BIM alla scala del singolo edificio: *Autodesk Revit*.

La nuvola di punti ha permesso di ottenere dei modelli 3D di ogni singolo edificio di Campi Alto ancora in piedi o parzialmente. La modellazione è stata eseguita in LOD3¹³⁷ visto che le acquisizioni dei fronti degli edifici hanno permesso di sapere la posizione delle aperture in facciata. Si è proceduto seguendo le informazioni sulla nuvola di punti quando non vi erano informazioni necessarie a distinguere le geometrie si è proceduto per deduzione, per il corretto funzionamento del sistema

136. Pelliccio A., Sacucci M., Grande E. (2017) *HT_BIM: La modellazione parametrica per l' analisi del rischio nei centri storici*. DISEGNARECON v.10/n.18

137. *LOD*: Livello di definizione o sviluppo del modello BIM. Un LOD di classe 3 significa che il modello restituisce oltre che il volume principale dell' aggregato edilizio comprese le coperture anche le aperture nelle facciate e i volumi in oggetto connessi a quello principale. (fig.14)



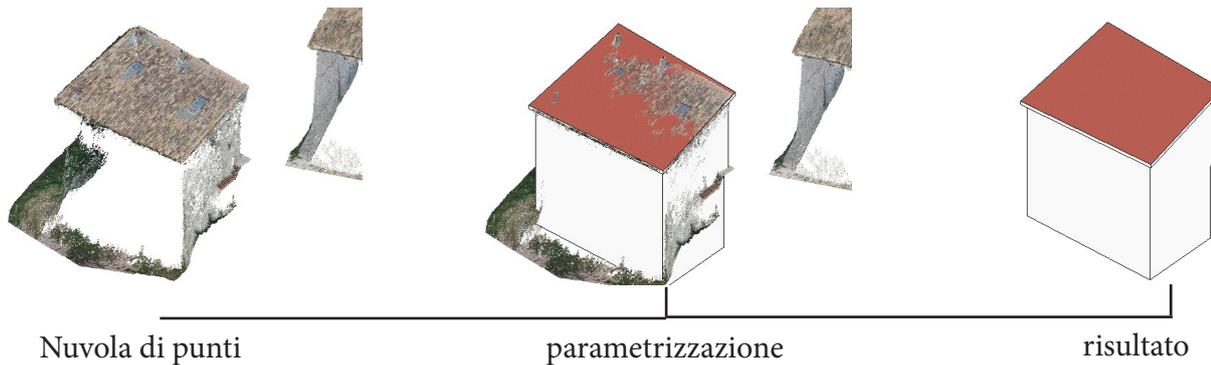


fig.17 - Immagini tratte da *Revit*.

Modellazione della U.M.I. 1. Si è riscontrata una mancanza di dati del fronte, questo non ha permesso di generare la nuvola densa di quella porzione.

In questo caso si sono parametrizzati solo i muri principali e la copertura.

U-BIM, formato dall' insieme delle UMI nel modello.

I risultati di modellazione in una piattaforma BIM alla scala del singolo edificio sono serviti per poter essere integrati nel sistema BIM a scala urbana gestito con *Infraworks* attraverso corrispondenze di coordinate di origine della nuvola di punti. (fig.19-20) Ogni aggregato edilizio 3D risulta essere georeferenziato in un sistema di riferimento univoco (fig.16) assegnato prima della parametrizzazione con *Revit* per la georeferenziazione della nuvola di punti con BIM. Sono state assegnate le coordinate esatte acquisite con il rilievo nel “punto base progetto” eseguendo una traslazione del sistema di riferimento relativo per poter gestire i modelli parametrici nell' Urban BIM.

Le fasi di conoscenza partono anche dalla restituzione del modello urbano del centro storico di Campi Alto, in modo da attuare vari processi di studio. Sono stati quindi modellati tutti gli aggregati edilizi ancora in

piedi presentati nella successiva tabella indicando le seguenti informazioni: U.M.I., le particelle catastali comprese nell' unità, l' area complessiva (compresi i muri) e la destinazione d'uso.

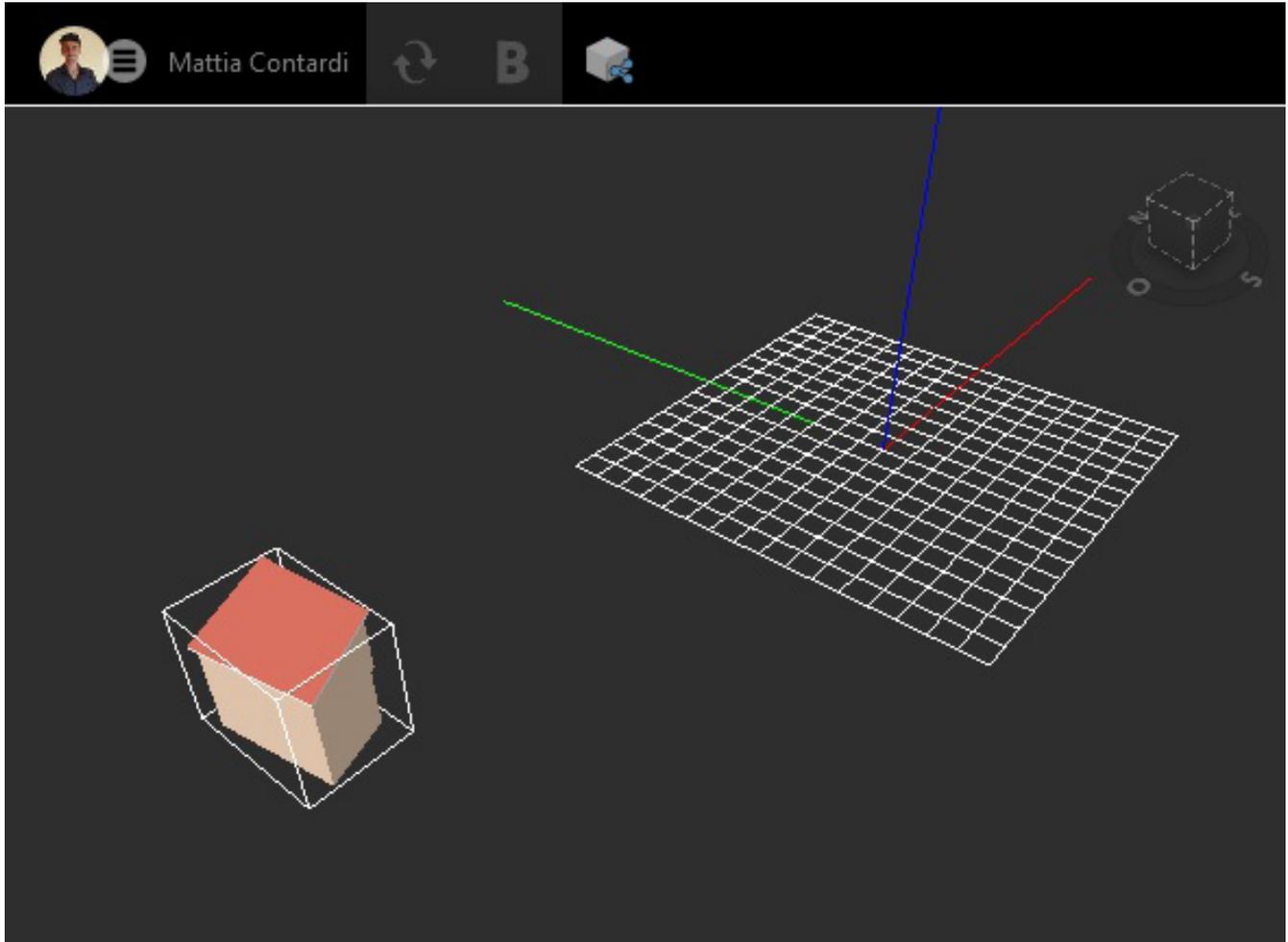


fig.19 - (Immagini da *Infracore*)

Configurazione della U.M.I 1 in *Infracore* ed assegnazione delle coordinate di origine acquisite con il rilievo e inserite con BIM per la georeferenziazione dei modelli nel sistema U-BIM per avere lo stesso riferimento spaziale, e minimizzare le imprecisioni di posizionamento dei modelli 3D.

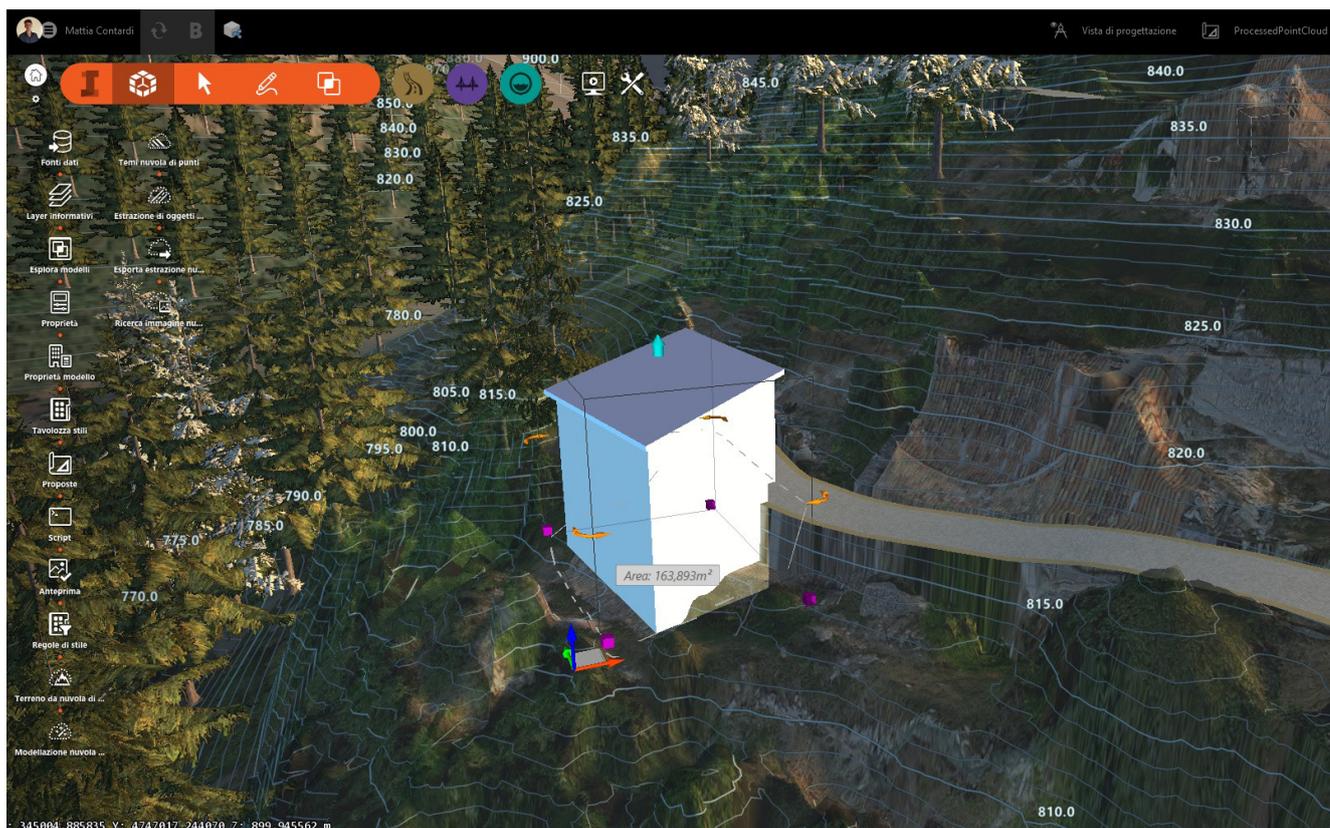
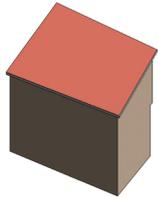
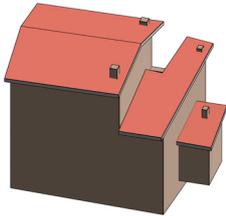


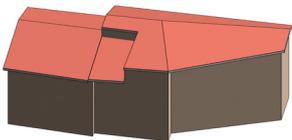
fig.20 - (Immagine da Infracore) U.M.I. 1 correttamente georeferenziata nel modello Urban BIM



U.M.I.	1
Particelle	83
Area (m²)	96
Uso	Civile



U.M.I.	3
Particelle	139
Area (m²)	108.46
Uso	Civile

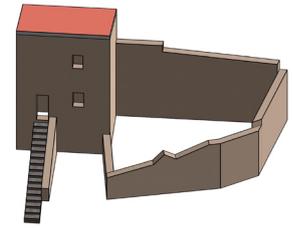


U.M.I.	4
Particelle	143-144
Area (m²)	276.23
Uso	Civile



U.M.I.	5
Particelle	145
Area (m²)	120.13
Uso	Civile

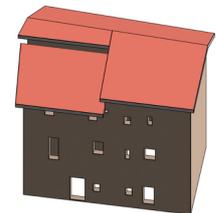
U.M.I.	9
Particelle	163
Area (m²)	122.97
Uso	Civile



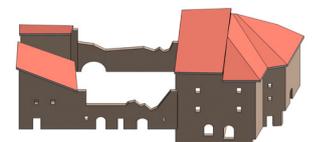
U.M.I.	10
Particelle	163
Area (m²)	68.72
Uso	Civile

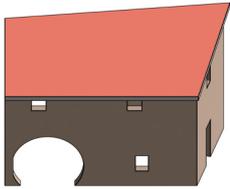


U.M.I.	11
Particelle	96
Area (m²)	123.02
Uso	Civile

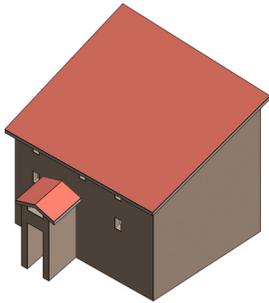


U.M.I.	12
Particelle	165
Area (m²)	348.05
Uso	Civile

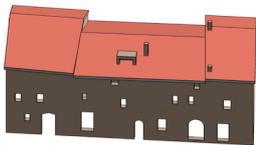




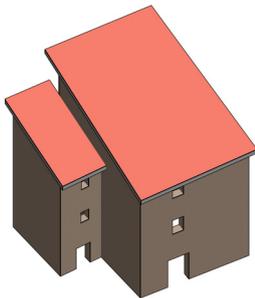
U.M.I.	13
Particelle	175
Area (m²)	68.53
Uso	Civile



U.M.I.	14
Particelle	175
Area (m²)	128.39
Uso	Civile

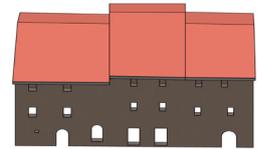


U.M.I.	15
Particelle	157
Area (m²)	229.04
Uso	Civile

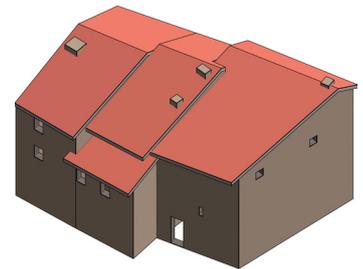


U.M.I.	16
Particelle	103
Area (m²)	72.26
Uso	Civile

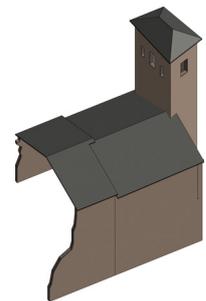
U.M.I.	18
Particelle	182
Area (m²)	191.93
Uso	Civile



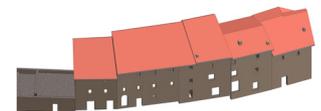
U.M.I.	20
Particelle	185
Area (m²)	182.57
Uso	Culto

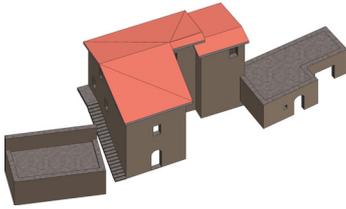


U.M.I.	21
Particelle	C
Area (m²)	339
Uso	Culto

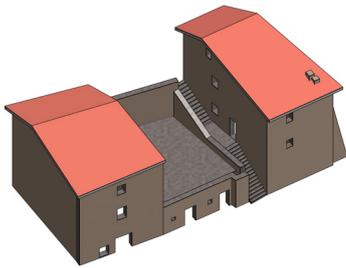


U.M.I.	22
Particelle	187-190-191
Area (m²)	459.56
Uso	Civile

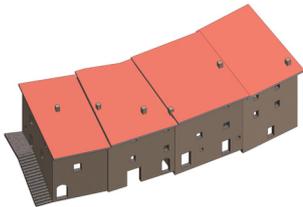




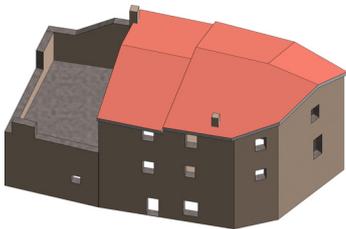
U.M.I.	23
Particelle	107
Area (m²)	154.45
Uso	Civile



U.M.I.	26
Particelle	112
Area (m²)	218.63
Uso	Civile

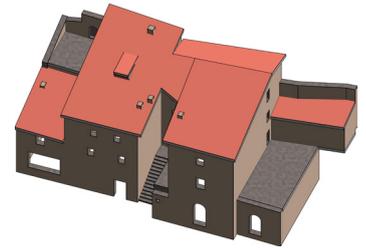


U.M.I.	27
Particelle	196
Area (m²)	302.62
Uso	Civile

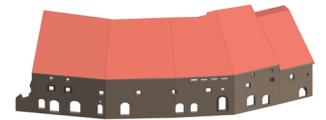


U.M.I.	28
Particelle	203
Area (m²)	169.17
Uso	Civile

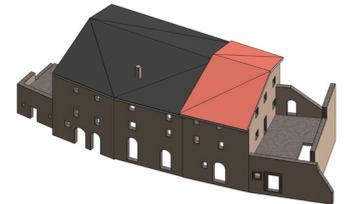
U.M.I.	29
Particelle	206-209
Area (m²)	253.87
Uso	Civile



U.M.I.	30
Particelle	116-117
Area (m²)	465.48
Uso	Civile



U.M.I.	31
Particelle	60
Area (m²)	378.90
Uso	Civile



U.M.I.	32
Particelle	120
Area (m²)	225.28
Uso	Civile

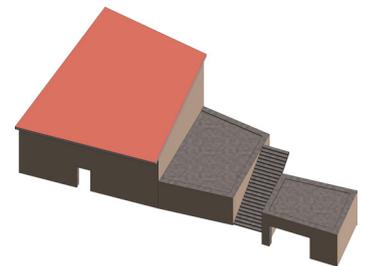




fig.21 - (Immagine da *Infraworks*) Nuvola di punti inserita nell' Urban BIM.



fig.22 - (Immagine da Infracore) Restituzione 3D del rilievo in LOD 3 attraverso i punti della nuvola.

Successivamente la modellazione parametrica della viabilità della zona rossa, ha permesso di valutare anche altri aspetti dell' *Emergency Mapping* legati alle connessioni interrotte da macerie e detriti che rendono non “permeabile” e poco sicura l' area. Per modellare le strade con “accuratezza spaziale” si sono creati degli oggetti lineari (vettori) direttamente con i dati della nuvola, lavorando tramite procedure volte a rispettare i dati e le geometrie della nuvola stessa. Tramite delle sezioni trasversali si sono generate le strade in modo tale che seguissero direttamente l' andamento altimetrico del terreno. Essendo Campi Alto un insediamento di controcinale le strade si collocano a diverse quote perciò si è attuata questa procedura direttamente con BIM su *Infraoworks*. La modellazione 3D, infatti, permette di ottimizzare “l' accuratezza spaziale” nelle tre dimensioni cosa che con il GIS non è così immediato.

Estratti gli oggetti lineari si sono integrati al GIS e sovrapponendo i nuovi *shapefile* da BIM all' ortomosaico da nuvola è stato possibile localizzare le macerie sulle strade. Sono stati attribuiti dei valori di grandezza in base alle dimensioni del materiale a terra che interrompono e rendono inagibile dei tratti di strada. Questo permetterebbe la possibile gestione del modello da parte di organi di protezione e messa in sicurezza dell' area. Le macerie ora indicate come vettori punto nello *shapefile* possono essere integrati nell' Urban BIM di Campi Alto ed essere visualizzati come oggetti parametrici nello spazio tridimensionale Urban BIM.

fig.23 - Immagine da In-fraworks della estrazione di oggetti vettoriali integrabili al GIS. Si riporta il processo di generazione delle strade da nuvola di punti in una vista in sezione trasversale della nuvola. Come si può vedere l' estrazione di oggetti può essere eseguita nelle tre dimensioni.



fig.24 - U-BIM. Assi viari dell' insediamento e localizzazione delle macerie.

Analisi delle "accessibilità" di Campi Alto (zona rossa)



fig.25 - Immagine dell' U-BIM di Campi Alto tratta da *Infraworks*. Tematismi alla viabilità estratta dalla nuvola.

Risultati Urban BIM dello scenario post-sisma

Le analisi effettuate che dimostrano l' efficacia dello strumento Urban BIM come documentazione di scenari di emergenza post sismica ha riguardato i principali elementi che rendono agibile un insediamento abitativo, quali strade e edifici. Per quanto concerne i risultati dell' utilizzo degli assi viari della zona rossa lo scenario in cui versano i trasporti è descritto dall' immagine di elaborata con *Infraworks*.

Analisi delle “accessibilità” di Campi Alto (zona rossa) - Legenda:

Shapefile:

Orografia (Geoportale Umbria)

Vegetazione (Geoportale Umbria):

Albero isolato, VEG_1

Limite bosco, VEG_2

Limite Macchia, VEG_11

Viabilità (*Copernicus EMS*):

 Strade Principali e strade Secondarie

Nuovi *shapefile* generato con l' estrazione di oggetti lineari da nuvola:

Viabilità zona rossa:

 *Strade Inagibili*

 *Strade Agibili*

Espressione per la visualizzazione delle strade interrotte nell' Urban BIM:

DESCRIPTION = 'interrupted'

Quindi facilmente è possibile la fruizione dell' Urban BIM tramite le espressioni per interrogare il modello ed estrarre le informazioni necessarie.

File *raster* inseriti:

Ortofoto 2011 (Geoportale Umbria)

Ortomosaico da nuvola (elaborato con Photoscan)

Terminata la modellazione degli elementi principali si è ottenuto il risultato finale su cui si sono applicati i tematismi per il *Building Damage Assessment*, relativi al grado di danno di edifici e trasporti.

Lo scenario post-sisma relativo ai dati provenienti da Copernicus EMS non risultavano esaustivi e non riportavano il reale livello di danno degli edifici oltre che un LOD1 come mostrato dalla *figura 26*. Essa rappresenta il modello U-BIM generato con i soli dati geografici a disposizione georeferenziati correttamente in WGS84, ma non dettagliati tridimensionalmente che invece sarebbe tra i principali obiettivi di modellazione del patrimonio con BIM.

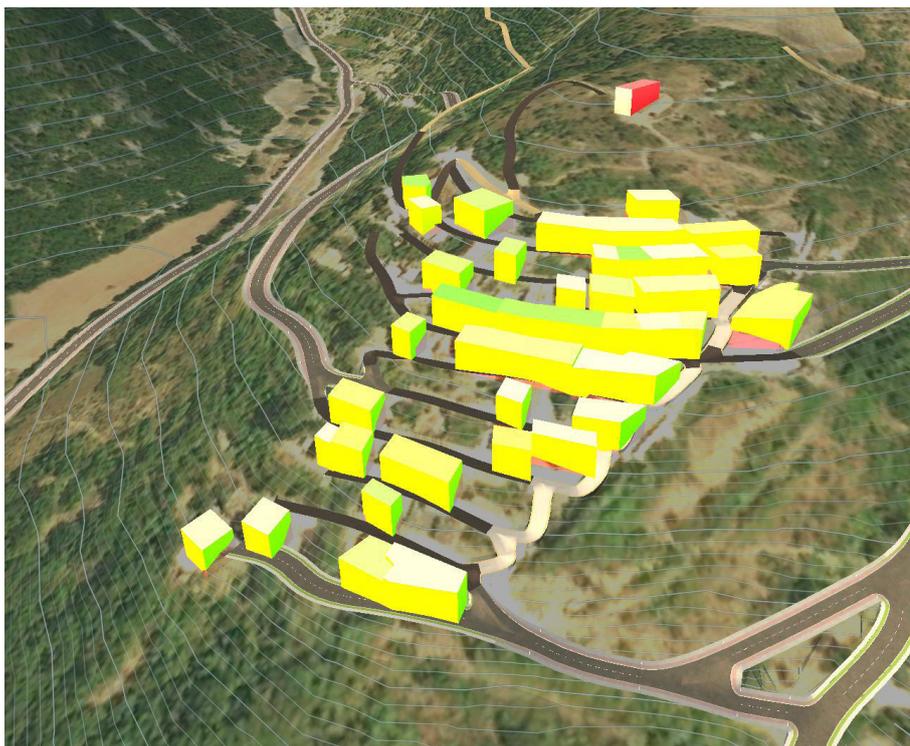
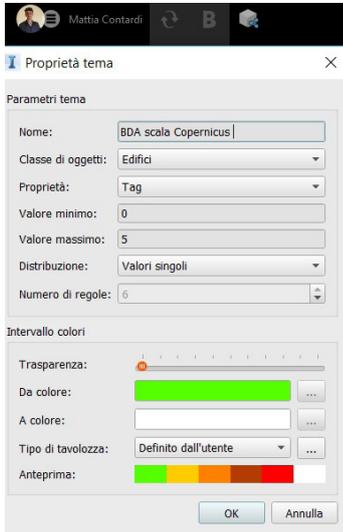


fig.26 - Immagine da *Infraworks* Tematizzazione del livello di danno allo shapefile "Insediamenti" di Copernicus EMS.

- "Not Afflicted"
Nessun danno
- "Destroyed"
Distrutto

fig.27 Immagine da Infracworks tematizzazione attributi per il livello di danno.



Si è provveduto ad impostare il livello di danno con i *tools* di *Infracworks* per assegnare il gradiente di colore corrispondente l'attributo di gestione dell'informazione sul danno che è nel modello il campo chiamato "TAG".

Grazie all'assegnazione del valore di danno al campo TAG si sono generate le tematizzazioni opportune per elaborare i risultati 3D del modello per la rapida identificazione dello stato di fatto delle U.M.I. post-sisma. Gli edifici che invece risultano crollati e che quindi non avevano informazioni tridimensionali in elevazione dalla nuvola si è scelto di mantenere i dati geografici a piccola scala, perciò non vi è un LOD3 dell'unità in questione. In questo caso l'accuratezza spaziale risulta quella del dato primario dell'aggregato edilizio che costituisce l'Urban BIM. (fig.26)

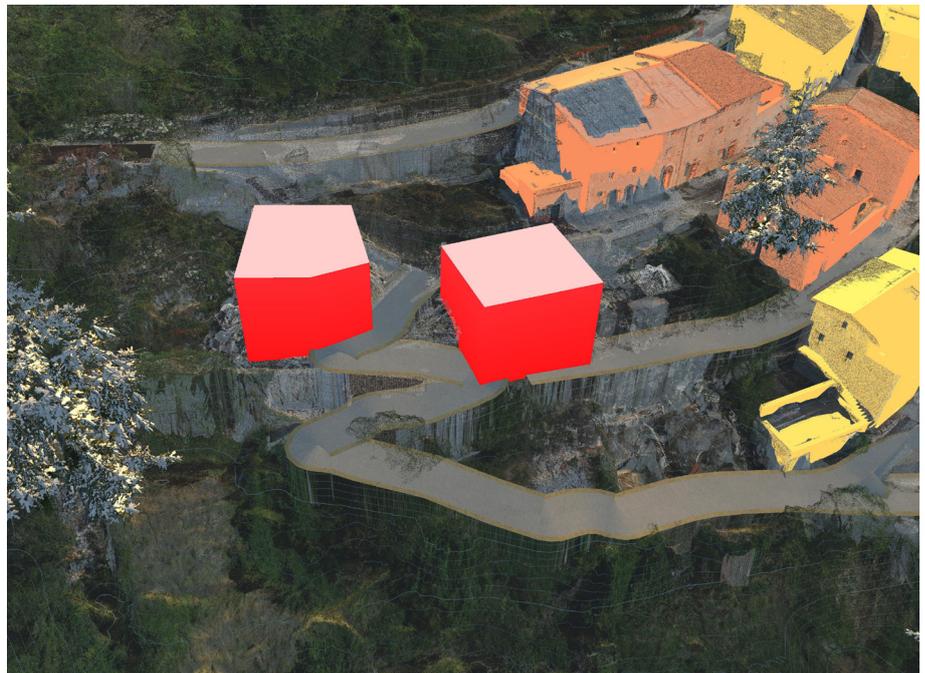


fig.28 - UMI 24 e 25 completamente distrutte dal sisma. Vengono riportati nel modello U-BIM con lo shapefile "Insediamenti" successivamente rigestito, con QGIS, alla scala del rilievo e trasformato in un nuovo shapefile, utilizzato nell' U-BIM (Immagine da Infracworks)

Tematizzazione del livello di danno su scala Copernicus EMS delle
U.M.I. della "zona rossa"



Immagine da Infracore con i gradienti di colore con riferimento alla scala Copernicus EMS che documentano il livello di danno degli edifici.

fig.29 - Immagine dell' U-BIM di Campi Alto tratta da *Infraworks*. Tematismi al rilievo del caso studio, generati con l' assegnazione dell' attributo di danno al campo "TAG".

Assegnazione del livello di danno agli edifici della zona rossa - Legenda degli elementi 3D dell' Urban BIM:

Shapefile:

Orografia (Geoportale Umbria)

Vegetazione (Geoportale Umbria)

Albero isolato, VEG_1

Limite bosco, VEG_2

Limite Macchia, VEG_3

Viabilità (Copernicus EMS)

Strade principali, *Local road*

Strade secondarie, *Secondary road*

Espressioni utilizzate per l' assegnazione dei tematismi che definiscono l' attributo principale delle U.M.I. di Campi Alto. Definito il campo (TAG) si sono inseriti gli attributi:

	TAG = 'Destroyed_4'
	TAG = 'Damaged_3'
	TAG = 'Damaged_2'
	TAG = 'No visible damage_0'

File *raster* inseriti:

Ortofoto 2011 (Geoportale Umbria)

Ortomosaico da nuvola (elaborato con Photoscan)

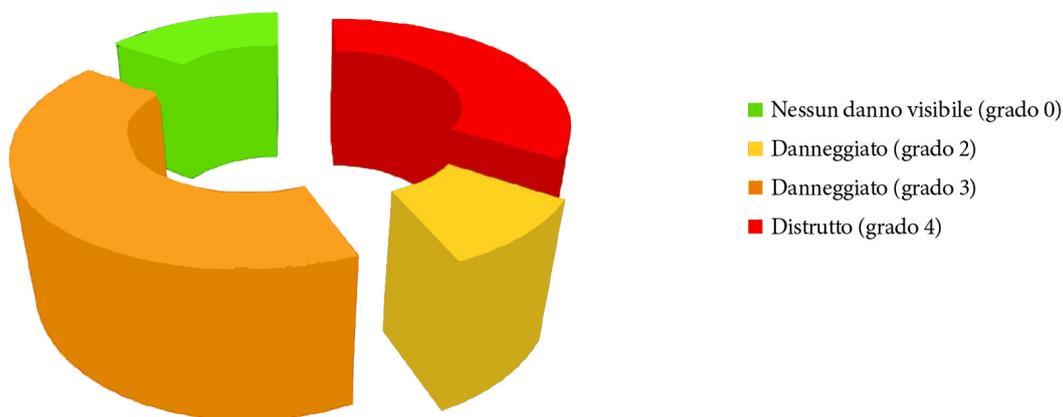


fig.30 - Grafico a torta relativo al livello di danno rilevato e riportato con Urban BIM a seguito dell' evento sismico del 30 Ottobre 2016. Gli edifici danneggiati maggiormente sono in quantità superiore rispetto agli edifici crollati o in buona parte distrutti, mentre risulta inferiore il numero di UMI con l' attributo di grado 0 (Nessun danno visibile) prima attribuito per mezzo del solo monitoraggio satellitare post-evento sismico, ora è stato valutato per mezzo di dati sul campo e restituito con Urban BIM.

Di seguito viene riportata la tabella attributi contenente tutti i dati sulla zona di appartenenza (dati Istat), le informazioni raccolte dalle banche dati dalle amministrazioni (destinazione d'uso, nome) e dagli organi di Protezione civile (particella catastale, esiti AeDES) e inserite nell' Urban BIM come at-

ZONA	U.M.I.	PARTICELLA	USO	NOME
10054035	1	83	Civile	Privato
10054035	2	85	Civile	Privato
10054035	3	139	Civile	Privato
10054035	4	143-144	Civile	Privato
10054035	5	145	Civile	Privato
10054035	6	147	Civile	Privato
10054035	7	93	Civile	Privato
10054035	8	155	Civile	Privato
10054035	9	163	Civile	Privato
10054035	10	163	Civile	Privato
10054035	11	96	Civile	Privato
10054035	12	165	Civile	Privato
10054035	13	175	Civile	Privato
10054035	14	175	Civile	Privato
10054035	15	157	Civile	Privato
10054035	16	103	Civile	Privato
10054035	17	105	Civile	Privato
10054035	18	182	Civile	Privato
10054035	19	B	Culto	Chiesa Madonna di Piazza
10054035	20	185	Culto	Casa Parrocchiale e cappella
10054035	21	C	Culto	Chiesa di Sant' Andrea
10054035	22	187-190-191	Civile	Privato
10054035	23	107	Civile	Privato
10054035	24	52	Civile	Privato
10054035	25	54	Civile	Privato
10054035	26	112	Civile	Privato
10054035	27	196	Civile	Privato
10054035	28	203	Civile	Privato
10054035	29	206-209	Civile	Privato
10054035	30	116-117	Civile	Privato
10054035	31	60	Civile	Privato
10054035	32	120	Civile	Privato

tributi per ogni U.M.I. del modello (BIM), a cui sono stati inseriti i nuovi campi per l'attribuzione del livello di danno (danno, grado). Sarà possibile quindi fruire e gestire l'Urban BIM dall'utenza per avere un quadro attuale che registri lo stato attuale degli aggregati edilizi e della condizione in cui versano oggi a tre anni di distanza dal terremoto.

BIM	AeDES	DANNO	GRADO
si	e	Damaged	2
no	e	Destroyed	4
si	ef	Damaged	2
si	ef	Damaged	2
no	ef	Destroyed	4
no	ef	Destroyed	4
si	ef	Destroyed	4
no	ef	Destroyed	4
si	ef	Destroyed	4
si	ef	No visible damage	0
si	ef	Damaged	2
si	ef	Damaged	2
si	ef	Damaged	2
si	ef	No visible damage	0
si	ef	Damaged	2
si	ef	Damaged	2
no	ef	Destroyed	4
si	ef	Damaged	2
no	ef	Destroyed	4
si	af	Damaged	3
si	ef	Destroyed	4
si	ef	Damaged	3
si	ef	No visible damage	0
si	ef	Destroyed	4
no	ef	Destroyed	4
si	ef	Damaged	2
si	ef	Damaged	2
si	ef	No visible damage	0
si	ef	No visible damage	0
si	ef	Damaged	2
si	ef	Damaged	2
si	bf	Damaged	3

fig.31 - Tabella attributi (prodotta con QGIS) che riporta le informazioni per ogni singola UMI di Campi Alto.





CONCLUSIONI

Lo sviluppo delle tecniche e dei metodi innovativi nel campo del rilievo dei beni culturali e della rappresentazione del territorio 3D permettono sicuramente la comprensione immediata del rilievo, soprattutto se si tratta di elementi architettonici ed urbanistici in contesti di particolare valore.

Le tematiche trattate hanno permesso di affrontare indagini conoscitive a diversa scala sulle aree del terremoto che ha investito il centro Italia nel 2016, grazie alla gestione di dati geospaziali sul territorio italiano. La tesi verte sull'effettiva realtà legata al problema sismico del nostro paese e sulle questioni riguardanti l'utilizzo nuovi metodi di rappresentazione del danno post-evento con strumenti innovativi, per rispondere all'emergenza.

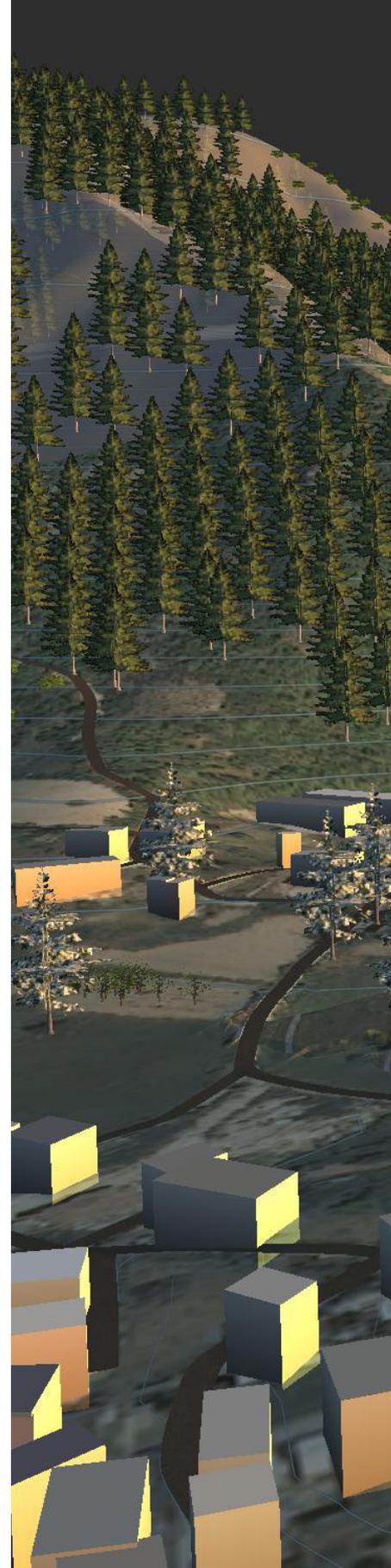
La prima fase di lavoro ha riguardato l'acquisizione di due tipologie di dati: esistenti strutturati e acquisiti grezzi in cui è stato possibile lavorare con l'inquadramento geografico e il rilievo metrico per la documentazione dello scenario post-sisma e dei danni all'anti-

co insediamento di Campi Alto; i quali non sono stati mappati nelle Grading Map, e che per questo si è eseguita un'acquisizione di dati ravvicinata con UAV, utile a far emergere le criticità dell'area.

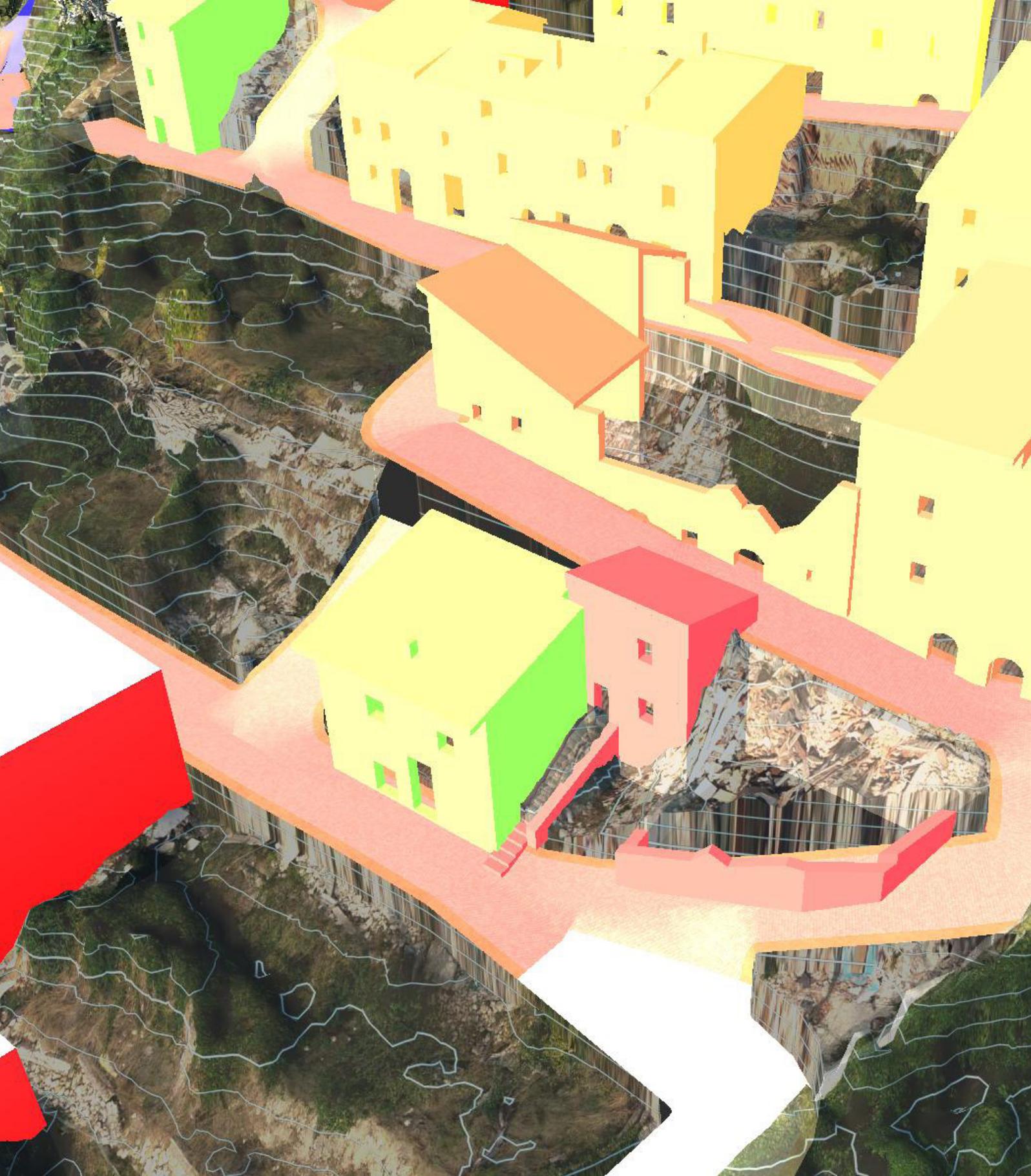
La tesi propone l'applicazione di una metodologia di modellazione parametrica 3D, chiamata Urban BIM, volta a fornire una documentazione del danno indotto alla frazione Campi di Norcia (PG) in seguito alla scossa di magnitudo 6.5 del 30 Ottobre 2016. Da qui si è partiti con il lavoro che segue le procedure di Emergency Mapping, applicate già da Copernicus Emergency Management Service, ente competente alla rappresentazione degli effetti post-disastro tramite mappatura delle aree geografiche colpite. La metodologia U-BIM sperimentata si è rivelata un buon punto di partenza per analizzare le caratteristiche del caso studio, definito come "zona rossa".

Partendo dal presupposto che la quantità di dati a cui possiamo attingere è un insieme finito, ma al tempo stesso in continua evoluzione, è bene sapere che perseguire la strada nell'acquisizione di dati geospaziali ufficiali, cioè provenienti dalle amministrazioni competenti del territorio oggetto di studio, non è sempre

Immagine: (da *Infraworks*) Modello finale Urban BIM proposto









la via più rapida, per ottenere informazioni tempestive. Essi, talvolta, non dispongono di attributi aggiornati in funzione del Rapid Mapping e della rappresentazione delle conseguenze di un evento calamitoso. In questo caso si sono riscontrate criticità relative all' accuratezza temporale e alla quantità di informazione su tali dati regionali. Infatti, c' è stato bisogno di integrare alla cartografia ufficiale i dati provenienti dalla cartografia crowdsourcing OpenStreetMap i quali, limitatamente per questa area geografica, sono risultati più completi e aggiornati.

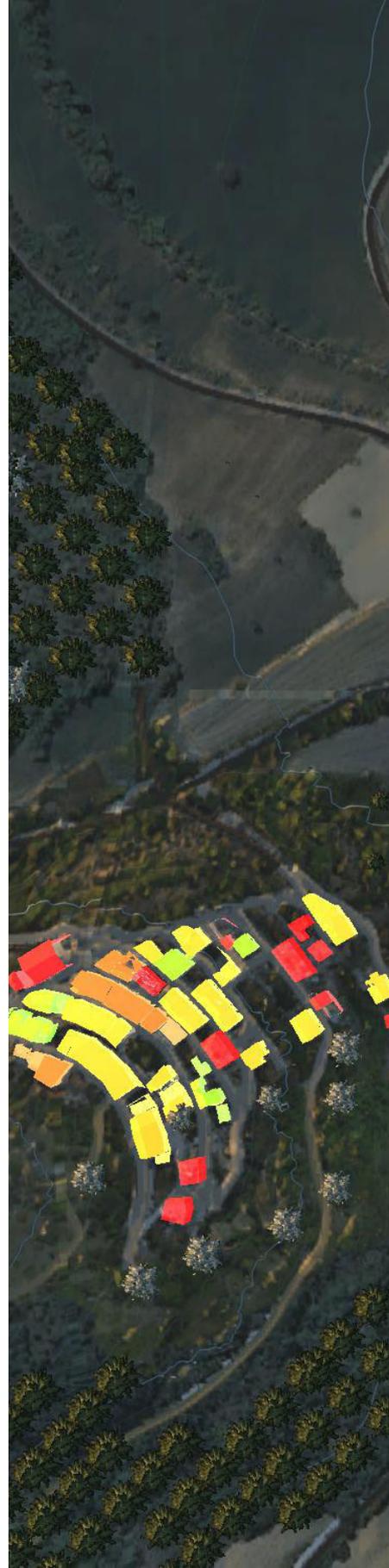
Il team DIRECT, sorvolando Campi Alto di Norcia nelle operazioni di rilievo con piattaforma UAV, ha registrato le conseguenze del sisma sull' area studio con rapidità d' esecuzione visto che vi era la necessità. Le immagini così elaborate hanno permesso di ottenere la nuvola di punti densa, fondamentale per il completamento del Building Damage Assessment a una scala maggiore. L' elaborazione dei dati si è dimostrata una parte onerosa del lavoro, per la quantità di immagini da elaborare, ma allo stesso tempo fondamentale a generare un modello reality-based formato da una grande quantità di punti utile alla restituzione 3D dell' edifica-
Immagine: (da *Infraworks*) Modello 3D del rilievo di Campi Alto con applicazione dei temi per il BDA come documentazione dello scenario post-sisma

to tramite la modellazione parametrica delle geometrie dell' area rilevata.

L' approccio metodologico sviluppato ha riguardato la modellazione parametrica, partendo dalla nuvola di punti, con il metodo BIM alla scala del singolo edificio per poi integrare ogni modello generato singolarmente nella piattaforma di gestione BIM alla scala urbana consentito attraverso le proprietà di georeferenziazione dei modelli in un unico sistema di riferimento.

La parametrizzazione è stata possibile con il metodo BIM sul programma Autodesk Revit che restituisce sotto forma di modello 3D un rilievo fotogrammetrico da UAV; inoltre, si possono gestire una serie di informazioni sul modello generato. Tuttavia, questa fase è risultata ancora poco gestibile dal punto di vista operativo della georeferenziazione. Per integrare i dati da UAV al BIM è necessaria infatti una traslazione del sistema di coordinate del modello per georeferenziarlo correttamente, procedura trascurabile quando si integrano direttamente all' U-BIM; tuttavia, esso risulta ancora limitato per quanto concerne la modellazione parametrica, il quale non consente di definire nel dettaglio geometrie per ottenere un LOD3, livello di dettaglio otti-

Immagine: (da *Infracworks*) Modello finale Urban BIM proposto con tematismi di danno post-sisma.









male per la restituzione 3D dei beni culturali. L' Urban BIM, però, può essere usato per la lettura del rilievo in un contesto ambientale, qualora si abbia a disposizione dati cartografici da integrare per realizzare mappature dello stato dei luoghi. Le possibilità, con il software di gestione dati U-BIM per il rilievo 3D sono innumerevoli: visualizzare, navigare all' interno del modello generato, interrogare i suoi elementi informatizzati ed integrare qualsiasi altro dato cartografico se georeferenziato nel sistema di riferimento globale (WGS84). Inoltre, grazie alla sua interoperabilità con altri strumenti come il GIS è possibile velocizzare i workflows, generando la modellazione dei dati tramite la parametrizzazione degli attributi GIS, i quali, come il livello di danno, possono essere assegnati direttamente con l' U-BIM, aggiornando e implementando il numero di attributi del modello 3D.

L' Urban BIM è un sistema condivisibile che può svolgere un ruolo utile per la gestione dell' emergenza come modello preliminare a tutte le fasi di restauro e ripristino per far fronte al bisogno di recupero urbano post-sisma gestito dagli organi di competenza, visto che oltre

ad essere un rilievo rappresentativo dello stato dei beni
Immagine: (da *Infraworks*) Modello 3D del rilievo di Campi Alto. Inquadratura del retro di Sant'Andrea, sulla strada d' ingresso alla zona rossa.

è anche un modello parametrico che conserva le informazioni geospaziali e metriche rilevate con UAV.

In conclusione gli sviluppi futuri delle tematiche trattate nella tesi sono innumerevoli, le questioni principali però sono quelle riguardanti l' interoperabilità, prima di tutto, tra lo strumento GIS e BIM. Il miglioramento tra i due sistemi può portare ad un' integrazione maggiore di dati acquisiti progredendo nel processo di gestione multi-scala e multi-contenuto 3D del patrimonio storico. Fondamentale sarà il riconoscimento del bisogno di rilevare il patrimonio costruito e ambientale con l' aumento nell' utilizzo delle piattaforme BIM per la modellazione parametrica dei dati da UAV, al fine di incrementare le indagini conoscitive sui paesaggi naturali e antropici del nostro paese e non solo. La disponibilità, da parte degli enti competenti, ad aggiornare la cartografia ufficiale in modo che i *dataset* prodotti possano essere integrati al sistema Urban BIM allo scopo di incrementare l' utilizzo di questo strumento innovativo per rispondere tempestivamente all' emergenza mappando il danno su modelli 3D condivisi, navigabili e integrabili.

Immagine: (da *Infracworks*) Modello 3D del rilievo di Campi Alto. Inquadratura del modello digitale dello stato attuale dell' agglomerato urbano.

Con il QR code è possibile visualizzare la presentazione della tesi e il l' Urban BIM.

SCAN IT!





Ringraziamenti

I miei più sentiti ringraziamenti vanno a chi mi è stato vicino durante la scrittura della mia tesi di Laurea, l'atto conclusivo del mio lungo percorso formativo più importante e significativo di tutti perchè mi ha permesso di apprendere e di formarmi nell'ambito della pratica professionale che vorrei svolgere nel mio futuro, con la consapevolezza che non si finisce mai di imparare.

Al professor Filiberto Chiabrando rivolgo i miei primi ringraziamenti perchè mi ha permesso di sviluppare questo appassionante tema ed è stato, al tempo stesso, fondamentale nella buona riuscita della tesi seguendo tutte le fasi del lavoro con interesse. Il professore è inoltre colui che mi ha permesso di lavorare nel laboratorio di geomatica a contatto con i membri del team DIRECT, a cui devo i miei secondi ringraziamenti, perchè con il *Networking* è stato possibile colmare i miei dubbi e avere informazioni utili durante la stesura della tesi; quindi ringrazio ogni singolo membro del team, in particolare Giulia Sammartano, correlatrice di questa tesi, per il suo prezioso aiuto *step-by-step*.

“Professore, Giulia e team vi auguro ogni bene! Grazie!”

I ringraziamenti vanno anche ai miei colleghi-amici, anche se la seconda definizione gli si addice maggiormente, perchè oltre ad essere stati miei fedeli compagni nei progetti universitari durante questi due anni di magistrale con loro posso confron-

tarmi e parlare di tutto. Spero che un giorno le nostre strade in ambito lavorativo possano incontrarsi.

“Grazie Marco e Vittorio!”

Ai miei amici, che sanno come tirarmi su quando ho dei problemi. Loro sono per me dei compagni di uscite, bevute, serate, viaggi, attività sportive, relax, avventure, divertimenti, vita in generale quella che vale la pena di vivere. Anche se penso che sappiano a chi mi sto rivolgendo nominerò i principali.

“A Fil, Andre, Ben, Teo e Nico. Siete amici veri, grazie!”

Infine, i miei più grandi ringraziamenti spettano alla mia famiglia che più mi è stata vicina non solo per la tesi, ma in tutta la vita appoggiandomi e consigliandomi in ogni mia scelta; se concludo questo percorso in questo modo non posso che ringraziarvi ed esservi grato.

“Papà, Mamma, Nonna, Erika e Robi grazie per esserci sempre!”

In conclusione dico che avrei voluto nominare tutti coloro che mi sono stati vicino durante questi anni di università, per voi riservo questi ultimi ringraziamenti, parlo di vecchi amici, parenti, compagni di università e colleghi di lavoro

“Grazie a tutti!”

BIBLIOGRAFIA

Libri e Tesi:

1. Giovannoni, G., (1932) *Vecchie città ed edilizia nuova*. Torino: Città Studi Edizioni.
2. Pirri, P. (1960). *L' Abbazia di Sant Eutizio in Val Castoriana presso Norcia e le chiese dipendenti, notizie storico-artistiche*”. Roma: Studia Anselmiana 45, Pontificio Institutum S.Anselmi, Horbis Catholicus Herder.
3. Slama, C. (1980). *Manual of photogrammetry (4th ed.)*. Falls Church: American Society of Photogrammetry.
4. Chiuni G. (1986). *Umbria. L' architettura popolare in Italia*. Roma: Laterza Ed.
5. Kraus, K., Waldhäusl, P., & Dequal, S. (1994). *Fotogrammetria vol. 1 Teoria e applicazioni*. Torino: Libreria universitaria Levrotto e Bella.
6. Gomarasca, M.A. (1997). *Elementi di Geomatica*. Milano: Associazione Italiana di Telerilevamento.
7. Boschi, E., & Dragoni, M. (2000). *Sismologia*. Torino: UTET.
8. Bonfanti, F. e F. Pisco. (2002) *Campi Alto di Norcia: Metodologia per un'indagine conoscitiva del centro storico e per la valutazione delle tecniche di intervento con individuazione delle principali cause di vulnerabilità ai fini della prevenzione*. Tesi di Laurea, Università Tecnica di Milano , Italia
9. Baggio,C. Bernardini,A. Colozza,R. Corazza,L. Della Bella,M. Di Pasquale,G., Dolce,M. Goretti,A. Martinelli,A. Orsini,G. Papa,F. Zuccaro,G. (2002). *Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell' emergenza post-sismica*. Roma: Editrice Italiani nel Mondo srl.
10. Cardani,G. (2003). *La vulnerabilità sismica dei centri storici: il caso di Campi Alto di Norcia. Linee guida per la diagnosi finalizzata alla scelta delle tecniche di*

BIBLIOGRAFIA

intervento per la prevenzione dei danni. Tesi di dottorato. Politecnico di Milano

11. Turner, A. (2006). *Introduzione alla neogeografia.* O'Reilly Media, Inc.
12. Sacerdote, F., & Tucci, G. (2007). *Sistemi a scansione per l'architettura e il territorio (Manuali 97).* Firenze: Alinea.
13. Biagi, L. (2009). *I fondamenti del GPS.* Como: Geomatics Workbooks, Vol. 8
14. De Luca, L., Gaiani, M., & De Domenico, F. (2011). *La fotomodellazione architettonica rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie.* Palermo: Flaccovio.
15. Fahlstrom, P., & Gleason, T. (2012). *Introduction to UAV systems* (4th ed.). Chichester (UK): Wiley.
16. Osello A., (2012) *Il futuro del disegno con il BIM per architetti ed ingegneri* Dario Flaccovio Editore
17. Sammartano, G. (2014). Cinque Terre Conservazione Dell'ordinario E Rischio Dello Straordinario Una Proposta Di Database Geografico-spaziale per Il Patrimonio Paesaggistico Di Vernazza (SP).
18. Bartolozzi, C. (2016). *Patrimonio architettonico religioso. Nuove funzioni e processi di trasformazione.* Roma: Gangemi.
19. De Meis, G. (2017). *Manuale sull'impiego dei droni (Sistemi aeromobili a pilotaggio remoto).* Phasar Edizioni.
20. Battino, A. Lingua, A.M., Chiabrando, F. (2017). *Acquisizione Speditiva Di Informazioni 3d Post-emergenza Mediante UAV Il Caso Del Sisma 2016 Nel Centro Italia the Case of 2016 Earquake in Central Italy.* Tesi di laurea. Politecnico di Torino

21. Battino, A., Lingua, A.M., Chiabrando, F. (2017). *Acquisizione Speditiva di Informazioni 3d Post-emergenza mediante UAV. Il Caso Del Sisma 2016 Nel Centro Italia. The Case of 2016 Earthquake in Central Italy*. Politecnico di Torino
22. Possi, G., Regis, D., Spanò, A. (2017). *I Terrazzamenti Della Val Grande Censimento E Valorizzazione Del Patrimonio Rurale Tradizionale*. Tesi di Laurea. Politecnico di Torino.
23. Matamoros Torres, N., Spanò A., Chiabrando, F., Naretto, M. (2017). *Modelli 3D, Strumenti GIS E Fonti Cartografiche*. Tesi di Laurea. Politecnico di Torino.
24. Colucci, E. (2017). *Architettura E Natura Di Paesaggi Archeologici Analisi Spaziali Integrate in Ambiente WEB-GIS per La Conservazione E La Comunicazione Della Memoria Storica Il Parco Archeominerario Di San Silvestro*.
25. Dorati C., Kucera, J., Marí i Rivero I., Wania, A., (2018) *Product User Manual of Copernicus EMS Rapid Mapping*, JRC Technical Report JRC111889.
26. Pasqualini, Paola, Lingua, Andrea Maria, Colucci, Elisabetta, & Matrone, Francesca. (2019). *Costruzione Di Un GIS 3D per La Rappresentazione Delle Aree Terremotate a Scala Urbana. = Building a 3D GIS to Represent the Earthquake Areas in a Urban Scale*. Politecnico di Torino. Facoltà di Ingegneria. Tesi di Laurea
27. Martinelli,A., Cifani,G., Lemme,A., Miozzi,C., Petracca,A. *Manuale per la compilazione della scheda di progetto: Proposta di intervento porzione aggregato in formato digitale*. A cura di: Comune dell'Aquila Servizio Ripianificazione Politiche del Territorio e Ambientali

BIBLIOGRAFIA

Articoli su rivista, Atti di convegno e Rapporti tecnici:

1. Carlucci, R., (2009) *Dati Geografici per le Emergenze. Siamo Pronti? GEOMEDIA*
2. Goodchild M.F., Glennon J.A. Crowdsourcing geographic information for disaster response: a research frontier. *International Journal of Digital Earth*. Vol. 3, No. 3, September 2010.
3. Chiabrando F., De Bernardi M. L., Roggero M. (2010). *Impiego di aerei ultraleggeri e camere di medio formato per la fotogrammetria aerea a grande scala*. Bollettino della società italiana di Fotogrammetria e Topografia.
4. Cuzzocrea F., Priori F. (2014). *Le tecniche topografiche applicate al soccorso. GEOMedia*. n°3-14.
5. Remondino F., Nex F., Rupnik E., Toschi I. (2014). Camere aeree oblique. Sistemi, applicazioni e prospettive future. *GEOMedia*. n°3-14.
6. Antonia Teresa Spanò, & Giulia Sammartano. (2014). Mapping speditivo da sensori mobili per il controllo della conservazione dei valori paesaggistici del territorio. *Territorio Italia*, 2014(2/14), 35-55.
7. Gabriele Garnerò. (2016). *Riprese aeree innovative per le emergenze*. *GEOMedia*, 20(5), *GEOMedia*, 01 December 2016, Vol.20(5).
8. Gambino, R., & Sargolini, M. (2017). *La rigenerazione di nuclei e borghi storici dell'Italia Centrale danneggiati dal sisma del 2016*. 15(2), 218-229.
9. Scianna A., Ammoscato A., Corsale R., Sciortino A., Villa B. *Modalità Standard per la strutturazione di Cartografia numerica per GIS*. Palermo: C.N.R. DAST - Dipartimento di Rappresentazione.
10. INGV Working Group “GPS Geodesy (GPS data and data analysis center)”, 2016. Preliminary co-seismic displacements for the August 24, 2016 ML6, Amatrice (central Italy) earthquake from the analysis of continuous GPS stations,

DOI: 10.5281/zenodo.61355.

11. Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia (2016). *Rapporto di sintesi sul Terremoto in centro Italia Mw 6.5 del 30 ottobre 2016*, doi: 10.5281/zenodo.166019
12. Gruppo di Lavoro INGV sul Terremoto in centro Italia. *Relazione sullo stato delle conoscenze sulla sequenza sismica in centro Italia 2016-2017* (aggiornamento al 2 febbraio 2017), doi: 10.5281/zenodo.267984
13. Pelliccio A., Sacucci M., Grande E. (2017) *HT_BIM: La modellazione parametrica per l'analisi del rischio nei centri storici*. DISEGNARECON v.10/n.18
14. Calantropio, Alessio, Patrucco, Giacomo, Sammartano, Giulia, & TEPPATI LOSE', Lorenzo. (2017). *Sensori low-cost per il mapping speditivo di beni culturali. Primi test su di una spedycam low-cost*. In: *BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FOTOGRAMMETRIA E TOPOGRAFIA*. - ISSN: 1721-971X, In: *BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FOTOGRAMMETRIA E TOPOGRAFIA*. - ISSN: 1721-971X.
15. Silvana Cotrufo, Constantin Sandu, Fabio Giulio Tonolo & Piero Boccardo (2018) *Building damage assessment scale tailored to remote sensing vertical imagery*, European Journal of Remote Sensing
16. Dominici D., De Bernardis P., Alicandro M., Rotilio M. (2018). *Fotogrammetria da UAV negli interventi di recupero: dalla fase pre-progettuale al cantiere*. *GEO-media*, n°1-18.
17. Calantropio A., Chiabrando F., Spanò A. (2018) *UAV Photogrammetry and thematic maps for environmental risk assessment in construction safety*. EGU General Assembly 2018.

SITOGRAFIA

1. <https://ingvterremoti.wordpress.com/www.protezionecivile.gov.it>
2. <http://www.pcn.minambiente.it/mattm/>
3. <http://www.geoportale.piemonte.it/cms/>
4. <https://www.bimportale.com/>
5. <https://www.gisinfrastrutture.it/>
6. <http://www.cartadelrischio.it/>
7. <https://www.architettiarezzo.it/>
8. <http://www.cie.co.at/>
9. <http://www.conosceregeologia.it/>
10. <http://www.comune.norcia.pg.it/>
11. <http://www.irea.cnr.it/>
12. <https://www.istat.it/>
13. <https://3dmetrica.it/>
14. <https://www.qgis.org/en/docs/index.html>
15. <https://www.cowi.com/>
16. <https://www.spar3d.com/>
17. <https://www.esriitalia.it/>
18. <https://www.rivistageomedia.it/>

19. <https://www.copernicus.eu/it>
20. <https://www.openoikos.com/>
21. https://it.wikipedia.org/wiki/Pagina_principale
22. <http://www.treccani.it/>
23. https://it.wikipedia.org/wiki/Commissione_geodetica_italiana
24. <https://www.enac.gov.it/>
25. <https://www.agisoft.com/>
26. <https://geoportale.regione.lazio.it/geoportale/>
27. <https://www.autodesk.com/products/infraworks/overview>
28. <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>
29. <https://webthesis.biblio.polito.it/>