

Università degli Studi della Basilicata



SCUOLA DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA CICLO UNICO (4/S)

IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

Tesi di Laurea in

PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

**Change detection e classificazione del danno sismico con rilievi
LiDAR e RADAR a supporto della pianificazione di emergenza.**

IL CASO DI AMATRICE

Relatore:

Prof. Beniamino Murgante

Correlatori:

Ing. Francesco Scorza

Prof. Marco Vona

Ing. Federico Amato

Ing. Gabriele Nolè

Ing. Biagio Tucci

Laureanda:

Lucia Saganeiti

matricola 31606

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

*“L’occhio non vede cose
ma figure di cose
che significano altre cose”*

Italo Calvino, *Le città invisibili*

*Alla mia famiglia
mamma, papà,
Lella e Simona*

A Vincenzo

Indice

Introduzione	4
1. Rischio sismico	7
1.1 Natura dei rischi	7
1.1.1 Il rischio sismico e le sue variabili	8
1.1.2 Valutazione del rischio sismico	14
1.2 Politiche di riduzione del rischio sismico	17
1.2.1 Pianificazione territoriale per la riduzione del rischio	18
1.2.2 Norme costruttive antisismiche	21
1.2.3 Interventi di emergenza post-disastro	23
1.3 Nuove forme di monitoraggio del territorio e politiche partecipative aperte	27
1.3.1 Mitigazione del rischio e sostenibilità ambientale	27
1.3.2 Nuove forme di monitoraggio del territorio	29
1.3.3 Crisis mapping	30
1.4 Analisi dello stato dell'arte nel campo delle VGI e del <i>crisis mapping</i>	37
1.4.1 OpenStreetMap	37
1.4.2 Ushahidi	43
1.4.3 Haiti	49
1.4.4 Kibera	57
1.4.5 Kathmandu - Nepal	60
1.4.6 Centro Italia	68
2. Tecnologie LiDAR e RADAR a confronto per la valutazione del danno sismico	73
2.1 Il telerilevamento	73
2.1.1 Sensori per l'acquisizione dei dati	73
2.1.2 Proprietà dei sensori	75
2.2 Change detection 3d	75

2.2.1	Change representation.....	76
2.2.2	Confronto geometrico	77
2.3	Tecnologie RADAR: DEM e interferometria differenziale per monitorare gli spostamenti del terreno	78
2.3.1	Acquisizione dati	79
2.3.2	Co - registrazione.....	80
2.3.3	Interferogramma	81
2.3.4	Correzioni.....	86
2.3.5	Phase unwrapping	88
2.3.6	Dalla mappa interferometrica al modello di elevazione digitale....	90
2.3.7	Dalla mappa interferometrica alla valutazione degli spostamenti del terreno	91
2.4	Tecnologie LiDAR per la realizzazione di DEM.....	94
2.4.1	Acquisizione dati	95
2.4.2	Classificazione dei punti e realizzazione di DEM	96
2.4.3	Tipologie di DEM.....	97
2.5	Livellazione GPS.....	101
2.5.1	Conversione di coordinate da ellissoidiche a ortometriche	102
3.	Change detection e classificazione del danno sismico in seguito agli eventi sismici che hanno colpito il centro Italia il 24 Agosto 2016	105
3.1	Caso studio: centro abitato Amatrice	105
3.1.1	Evoluzione dell' edificio.....	106
3.1.1	Tipologie costruttive	107
3.2	Analisi dei risultati	108
3.2.1	WorkFlow chart.....	108
3.2.2	Change detection da dataset RASTER.....	109
3.2.3	Vertical Displacement	109
3.2.4	Change detection, triple change mask – dataset LiDAR.....	110

3.2.5	Change detection in corrispondenza dell'edificio	111
3.2.6	Classificazione EMS98	111
3.2.7	Considerazioni sulla classificazione del danno sismico effettuata mediante rilievi LiDAR	113
3.3	Elaborati grafici	114
4.	Discussione e conclusioni	121
4.1	Riassumendo	121
4.2	Confronto tra dataset LiDAR e RADAR	122
4.3	Metodologia proposta	123
4.3.1	Situazione di non emergenza: PRE evento	124
4.3.2	Situazione di emergenza e POST evento	125
	Bibliografia e sitografia	127
	Indice delle figure	128

Introduzione

Questo lavoro di tesi dal titolo “*Change detection e classificazione del danno sismico con rilievi LiDAR e RADAR a supporto della pianificazione di emergenza. IL CASO DI AMATRICE*” ha come obiettivo lo studio di tecnologie RADAR e LiDAR per monitorare il territorio e intervenire tempestivamente in caso di evento sismico.

La questione del rischio sismico in Italia è di fondamentale importanza data l'elevata sismicità dell'intero territorio. Questa, nonostante sia regolata da normative antisismiche, piani di emergenza e di monitoraggio del territorio, viene sempre affrontata in piena emergenza ossia ci si ritrova spesso impreparati dinanzi all'accadimento dell'evento.

Le gestione delle situazioni di emergenza richiede un'efficace pianificazione che può essere strutturata all'interno di un modello ciclico definito dalle seguenti fasi: allerta precoce, evento disastroso, primo impatto, recupero, attenuazione e preparazione. Da questo modello ciclico deriva la necessità di porre una costante attenzione sul tema del rischio sismico, un'attenzione che sia continua nel tempo a prescindere dall'accadimento o meno dell'evento stesso.

Nella prima parte di questo lavoro si affronterà il rischio sismico con tutte le sue variabili, le forme di prevenzione e le nuove tecniche di monitoraggio del territorio. Alla base di un buon piano di emergenza deve esserci un database cartografico aggiornato che permetta, nelle prime ore dell'evento sismico di individuare le aree colpite e ricavare informazioni utili per le operazioni di soccorso. L'ultimo evento sismico che ha colpito il centro Italia nell'Agosto del 2016 ha messo in luce le criticità della disomogeneità della cartografia sul territorio nazionale. Infatti, il sisma ha colpito una zona al confine di quattro regioni, alcune delle quali molto carenti dal punto di vista dell'informazione cartografica. Nell'ultimo decennio si stanno sviluppando nuove forme di mappatura volontaria comunemente conosciute come VGI – *Volunteered Geographic Information* – ossia, informazioni geolocalizzate create volontariamente e consapevolmente dagli utenti del web. Queste sono supportate da piattaforme come *OpenStreetMap* che si è mostrata in molti casi di emergenza e non, una valida fonte di dati, dettagliata al punto tale da essere utilizzata per le operazioni di soccorso. Un'altra piattaforma completamente open source che ha rivoluzionato il mondo delle informazioni geografiche e il modo di fare segnalazioni è *Ushaidi* che attraverso mappe interattive rappresenta le

testimonianze, le segnalazioni, i diari e i report dei cittadini. Nonostante numerose esperienze positive, bisognerebbe verificare la continuità nel tempo di questi progetti che talvolta producono i massimi risultati nel momento in cui nascono e si trovano ad affrontare un'emergenza e, muoiono, alla stessa velocità quando l'emergenza termina.

Nella seconda parte di questo lavoro si affronterà il tema del telerilevamento soffermandosi sulle tecnologie RADAR e LiDAR. Lo scopo è quello di ricavare dai dati satellitari e dai rilievi LiDAR le informazioni necessarie per affrontare nel migliore dei modi un'emergenza sismica. Negli ultimi anni l'utilizzo dei dati satellitari per il monitoraggio del territorio ha avuto grandi sviluppi. Questo è stato possibile, in Europa, grazie al progetto Copernicus che, con i suoi satelliti *Sentinel* dal 2014 rende disponibili (gratuitamente) istantanee della terra con cadenza di cinque giorni. I rilievi LiDAR, invece, sono spesso dati proprietari. Questi stanno prendendo piede negli ultimi anni grazie alla diffusione di nuove apparecchiature come i droni che permettono di realizzare il rilievo di un'area e la successiva elaborazione dei dati ottenuti in tempi ragionevoli. Scopo di questo lavoro è quello di proporre una metodologia per la pianificazione territoriale d'emergenza.

1. Rischio sismico

1.1 Natura dei rischi

In generale si può affermare che il rischio rappresenta la possibilità che si verifichi un evento dannoso di carattere incerto e, in termini matematici, è definibile come una funzione di tre termini:

$$R = f(Sc, P, D)$$

dove:

R: rischio;

Sc: scenario incidentale, evoluzione dell'incidente;

P: probabilità di avvenimento dello scenario, frequenza di accadimento;

D: danno conseguente all'evento o magnitudo. Numero di morti, feriti, danni potenziali alle infrastrutture e all'ambiente.

Il rischio può avere carattere naturale e derivare direttamente da cause naturali del normale ciclo della crosta terrestre: sismico, idrologico, idrogeologico, vulcanico. Diversamente, esso può risultare di carattere antropico, ovvero essere derivante dalle trasformazioni effettuate dall'uomo: incidenti industriali, incendi dolosi, rischi strutturali ecc.

A causa della continua antropizzazione dei territori da parte dell'uomo, questi rischi la maggior parte delle volte si fondono assumendo un carattere misto come succede ad esempio con eventi sismici, vulcanici o idrogeologici - che rappresentano rischi naturali – i quali entrando in contatto con la crosta terrestre assumono carattere misto causando danni diversi in base al territorio che incontrano. Questo può essere classificato come libero, edificato, con infrastrutture industriali o altro. Il rischio si può considerare come il prodotto tra un evento naturale e un ambiente o una popolazione umana vulnerabile. Questo mostra come sebbene non si possa prevedere esattamente la posizione, l'intensità e l'ora esatta dell'accadimento di un evento disastroso, si possa comunque intervenire con forme di prevenzione sulla salvaguardia del proprio ambiente mediante una corretta pianificazione territoriale che attenui la portata dei fenomeni distruttivi indotti da un evento. Ciò si può attuare solamente studiando la vulnerabilità di un territorio.

Bisogna pertanto abbandonare totalmente la politica della ricostruzione post-evento e attuare delle efficaci politiche di prevenzione integrando politiche urbanistiche di prevenzione del rischio efficaci nella pianificazione territoriale ordinaria (non di emergenza). Occorre intervenire su forme di prevenzione da attuare nel lungo periodo.

1.1.1 Il rischio sismico e le sue variabili

Alcune definizioni di rischio sismico:

Probabilità di perdita di valore di uno o più elementi (popolazione, manufatto, attività sociale o economica) esposti al pericolo degli effetti prodotti da un particolare fenomeno naturale ritenuto pericoloso.

[UNDRO¹ 1972]

Con il termine rischio sismico si indica una stima delle perdite complessive causate dai terremoti che potranno interessare in un determinato periodo una determinata area. Questa stima può essere espressa in diversi modi. Per esempio attraverso il costo dei danni subiti dagli edifici, il costo complessivo in termini economici e sociali subito dalla popolazione dell'intero paese, oppure attraverso il numero prevedibile di morti e feriti.

[Protezione Civile]

Il rischio sismico si può definire come il prodotto tra la pericolosità, la vulnerabilità e l'esposizione, vale a dire come il prodotto tra la suscettibilità del territorio e il suo assetto socio-economico.

[UNESCO² – conferenza generale del 1972]

La sismicità (frequenza e forza con cui si manifestano i terremoti) è una caratteristica fisica del territorio, al pari del clima, dei rilievi montuosi e dei corsi d'acqua. Il terremoto rappresenta il movimento improvviso e rapido della crosta terrestre, provocato dalla liberazione di energia in un punto interno, detto ipocentro. Di qui, una serie di onde elastiche, dette "onde sismiche", si propagano in tutte le direzioni,

¹ UNDRO: United Nations Disaster Relief Organization - Organizzazione delle Nazioni Unite per il soccorso di emergenza.

² UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Educazione, la Scienza e la Cultura.

anche all'interno della Terra stessa. Il luogo della superficie terrestre posto sulla verticale dell'ipocentro è detto epicentro ed è generalmente quello più interessato dal fenomeno.

Il rischio sismico è associato alla quantità di popolazione ed edificato esposti. Infatti, si può affermare che un'area ad elevata pericolosità sismica ma disabitata presenta un rischio sismico nullo. Quindi, specificando che il rischio sismico non è la pericolosità in se per sé, possiamo affermare che esso è funzione di tre variabili: pericolosità, vulnerabilità ed esposizione.

$$R = f(P, E, V)$$

dove:

R: rischio sismico

P: pericolosità

E: esposizione

V: vulnerabilità

Queste tre variabili devono sempre essere valutate insieme e integrate tra di loro, la valutazione di una sola delle tre non può restituirci un valore di rischio sismico attendibile e veritiero.

Pericolosità

La variabile pericolosità riguarda l'evento sismico in se per sé. L'UNESCO ha definito la pericolosità come *“la probabilità che un fenomeno potenzialmente dannoso di una certa intensità si verifichi in un dato periodo di tempo ed in una data area e per determinate cause d'innescio”*. L'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), la definisce invece come *“lo scuotimento del suolo atteso in un sito a causa di un terremoto”*. La presenza di fattori di pericolosità è una condizione necessaria ma non sufficiente per poter considerare un territorio a rischio, come avviene ad esempio per quelle aree interessate da intensi fenomeni geodinamici che però non comportano nessun problema per la popolazione o i manufatti: queste aree saranno classificate come molto pericolose ma a rischio quasi nullo.

La pericolosità sismica si può distinguere in diretta e indotta. La pericolosità indotta riguarda gli eventi che potrebbero verificarsi in seguito ad un sisma: frane, tsunami, smottamenti ed altro. Essa è quindi riconducibile alla previsione a breve termine. Le previsioni a breve termine consentono di prevedere il sisma e lanciare l'allarme in

tempi tali da consentire l'evacuazione dei locali. Questa mira alla salvaguardia delle vite umane ma non del patrimonio edilizio.

La pericolosità diretta riguarda invece gli effetti propri del terremoto ed è riconducibile alle previsioni a lungo termine che permettono, attraverso l'utilizzo di tre indicatori, di fare una previsione abbastanza probabilistica. Questi tre indicatori riguardano:

- Caratteristiche storiche di sismicità dell'area: si esegue uno studio statistico sugli eventi sismici verificatisi nella storia utilizzando dati riguardanti i *cataloghi sismici* contenenti informazioni su sismi già avvenuti, censimenti delle vittime e dei danni e altro. La precisione di queste analisi è tanto maggiore quanto più approfondite e più antiche sono le fonti a disposizione.
- Caratteristiche sismologiche e sismo genetiche: queste sono le caratteristiche principali. L'indagine è basata sull'individuazione delle faglie attive o potenzialmente attive che consentono poi di costruire le *carte di macrozonazione sismica* utilizzate come base informativa per la redazione delle normative antisismiche.
- Caratteristiche geologiche: l'indagine è basata sullo studio delle caratteristiche geologiche degli strati superficiali i quali permettono di valutare con maggiore esattezza l'intensità massima di scossa e le sue caratteristiche.

Quest'indagine è conosciuta anche come *microzonazione sismica*.

Analizzando questi tre indicatori ed in particolare gli ultimi due si possono eseguire operazioni di macro e micro zonazione.

La macrozonazione³ sismica consente di realizzare carte di zonazione sismica a scala vasta utili sia per individuare i comuni che saranno soggetti a normativa antisismica che a stabilire le priorità d'intervento. La microzonazione⁴ sismica è invece uno studio più dettagliato e preciso e, a sua volta più costoso, che consente di individuare nella stessa macrozona delle aree a più o meno elevato rischio. Rappresenta la giusta direzione per poter effettuare previsioni precise ed intervenire su centri edificati in maniera differente in base alla tipologia di terreno.

³ Si inizia a parlare di carte di macrozonazione sismica nel 1974; nel 1908 si era tentato di realizzare una carta sismo genetica ma era fatta a posteriori: una zona veniva considerata sismica solamente dopo l'avvenimento del terremoto cosicché, venivano escluse dalla classificazione quelle aree in cui non si era mai verificato evento sismico.

⁴ Tra le esperienze di micro zonazione più importanti c'è quella della California. In Italia gli studi maggiori sono stati condotti dal CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche).

Per rendere questi studi utilizzabili da pianificatori e progettisti si realizzano delle carte sintetiche atte ad individuare le caratteristiche della scossa, i suoi effetti e le aree in cui siano prevedibili effetti indotti.

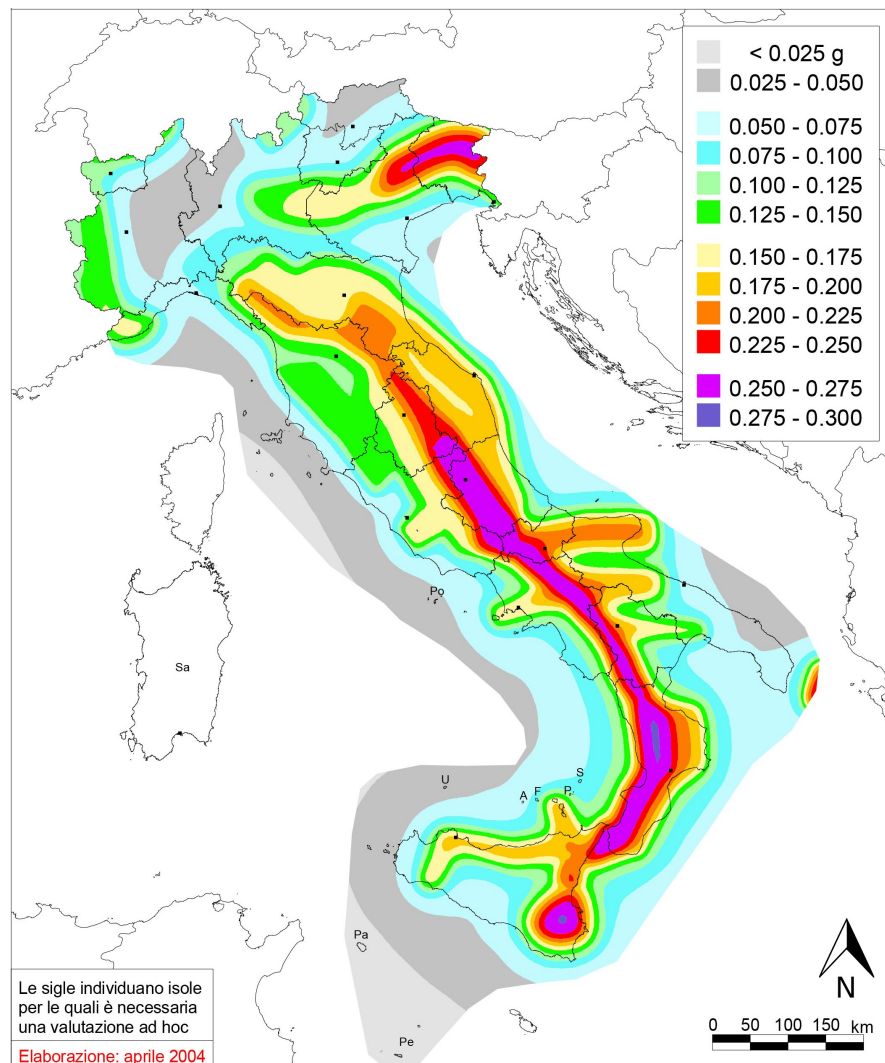


Figura 1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del 30 D.M. 14.09.2005). Fonte: <http://www.ingv.it>

Esposizione

Con il termine esposizione si intende l'estensione, la qualità e la quantità dei diversi elementi antropici che compongono un territorio e che potrebbero essere danneggiati, alterati o distrutti a causa di un evento sismico. Quindi la variabile esposizione si riferisce alla popolazione, agli edifici o ai sistemi infrastrutturali e si definisce, secondo quanto espresso dall'UNESCO, come: *"la popolazione, i beni e le attività economiche a rischio in una determinata area"*. È una misura dell'importanza

dell'oggetto esposto al rischio in relazione alle principali caratteristiche dell'ambiente costruito. Consiste nell'individuazione, sia come numero che come valore, degli elementi componenti il territorio o la città, il cui stato, comportamento e sviluppo può venire alterato dall'evento sismico (il sistema insediativo, la popolazione, le attività economiche, i monumenti, i servizi sociali). Con questa variabile si vuole quindi quantificare l'estensione degli elementi a rischio e la loro distribuzione sul territorio; in poche parole si può affermare che l'esposizione è una stima del danno atteso.

Per la valutazione dell'esposizione si utilizza un approccio sistemico. Definiamo un *sistema* come un *insieme* in grado perseguire obiettivi e svolgere funzioni mediante interrelazioni fra i suoi elementi. Il territorio sarà quindi assimilabile ad un sistema complesso – *sistema* – con vari sottosistemi raggruppabili in due categorie: sistemi spaziali e sistemi a rete – *insiemi*. I sistemi spaziali sono quelli in cui si svolgono diverse attività come residenza, produzione ecc.; i sistemi a rete sono quelli che garantiscono collegamenti tra i vari sottosistemi, come materie prime, energie, informazione, strade, reti infrastrutturali o altro. Entrambi sono uniti da altri elementi d'insieme che sono gli elementi a rischio, ovvero quelli da tutelare nel momento in cui si valuta l'esposizione. Gli elementi a rischio sono la popolazione, i beni e i manufatti; questi sono distribuiti sul territorio in maniera non uniforme e perciò quanto più alta sarà la loro concentrazione tanto maggiore sarà la loro esposizione al rischio.

Vulnerabilità

La vulnerabilità indica la propensione di un oggetto o organismo a subire danni o alterazioni in conseguenza delle sue caratteristiche intrinseche sia fisiche che funzionali. La vulnerabilità di un territorio non è semplice da definire perché dipende da molteplici e svariati fattori. Per l'UNESCO la vulnerabilità rappresenta *il grado di perdita prodotto su un dato elemento o gruppi di elementi esposti a rischio risultante dal verificarsi di un fenomeno naturale di una certa intensità*.

Si può inoltre definire la vulnerabilità come l'opposto della sua resilienza, ossia come l'opposto della sua capacità di assorbire le perturbazioni. Se si definisce infatti resilienza la capacità di un sistema naturale di assorbire le perturbazioni conservando le proprie funzioni e la propria struttura rappresentando così una dimensione attiva che riguarda la capacità di risposta di un territorio. Si può affermare che un sistema diventa vulnerabile quando perde la sua resilienza e,

inoltre, che la vulnerabilità di un territorio è funzione della sua capacità di far fronte, anticipare e riprendersi dall'impatto di un evento calamitoso.

La sua definizione varia in base al contesto territoriale di riferimento. Infatti, il concetto di vulnerabilità inizia ad acquistare significati differenti nel momento in cui si tralascia l'approccio a scala edilizia e se ne intraprende uno sistemico. Il concetto di vulnerabilità come predisposizione di beni, persone e manufatti di essere attaccati e danneggiati è stato introdotto negli anni 80 in alcuni studi geografici. Con la vulnerabilità sistemica si dovranno quindi affrontare i concetti di vulnerabilità indotta, istantanea, differita e dinamica.

In base al contesto territoriale di riferimento si valuta la vulnerabilità in maniera differente. La pericolosità sismica e il danno che un terremoto può provocare dipendono molto dalla vulnerabilità di un territorio quindi, dal momento che non si può intervenire sull'intensità e sulla magnitudo per diminuire il rischio si deve intervenire sulla vulnerabilità.

La vulnerabilità sistemica è definita principalmente dalla vulnerabilità funzionale e fisica. Quella fisica non riguarda l'elemento specifico ma le conseguenze che potrebbero derivare da un suo disservizio alle diverse funzioni territoriali. Essa, pertanto, riguarda i sistemi spaziali e la vulnerabilità delle costruzioni, la densità territoriale, la forma urbana e la morfologia dei tessuti, i sistemi della rete stradale la cui vulnerabilità dipende dalla configurazione generale del sistema (nel caso delle reti stradali, i ponti rappresentano gli elementi di maggiore vulnerabilità).

La vulnerabilità funzionale rappresenta la capacità di un elemento di effettuare le funzioni per cui è stato sviluppato. Un esempio può essere una struttura ospedaliera che in condizioni normali di non emergenza si trovi ad essere carente di posti letto eccedenti e che, quindi, in caso di emergenza non sarà in grado di prestare soccorso ai pazienti. Questo è da considerarsi come un caso di estrema vulnerabilità. Se si estende il caso della struttura ospedaliera ad un contesto più ampio si nota che la vulnerabilità non è solo funzionale, ma anche fisica (e quindi sistemica) dal momento che il disservizio ospedaliero andrà ad incidere su tutto il sistema sanitario e, per vie differite, sul sistema della mobilità e delle comunicazioni, oltre che sull'efficacia delle azioni della protezione civile.

“La vulnerabilità sistemica si riferisce, cioè, all'insieme delle caratteristiche funzionali e fisiche che condizionano la risposta complessiva del sistema” (Fabiatti 1999).

1.1.2 Valutazione del rischio sismico

Per quantificare il rischio sismico si possono utilizzare due criteri di valutazione:

- rischio assoluto: esprime il rischio in quantità assolute, ovvero in numero totale di edifici distrutti o danneggiati, di morti e feriti prevedibili. Il risultato finale presenta margini di errore e variabilità molto ampi dal momento che si basa su stime ottenibili su basi probabilistiche.
- rischio relativo: esprime il rischio in termini relativi, cioè per confronto tra i diversi livelli di rischio esistenti all'interno delle diverse aree. Risulta essere più efficace rispetto alla valutazione del rischio assoluto perché consente di individuare le aree a vulnerabilità maggiore e quindi decidere di conseguenza dove concentrare le risorse.

Individuato il criterio di valutazione, occorre considerare gli effetti che possono essere diretti o indotti.

Gli **effetti diretti** sono quelli derivanti immediatamente dal fenomeno sismico. Da essi dipende la maggior parte del rischio complessivo e, quindi, sono considerati fondamentali nel processo di valutazione del rischio. La valutazione degli effetti diretti mette in relazione tre variabili:

- pericolosità locale: viene definito un *earthquake scenery* cioè si seleziona uno degli infiniti terremoti verificabili in un'area e si effettua una simulazione;
- vulnerabilità dei sistemi costruttivi: si esegue una classificazione di tutti gli elementi costruttivi (edifici, infrastrutture viarie ecc) in base alle loro caratteristiche tecniche;
- esposizione e tipologia del danno atteso.

Gli **effetti indotti** sono quelli conseguenti al fenomeno sismico e non causati direttamente da esso. Essi fanno pertanto riferimento a frane, smottamenti, crolli indotti, tsunami ed altri fenomeni scaturiti come conseguenza del sisma. Essendo il sistema urbano-territoriale un sistema complesso formato a sua volta da innumerevoli sub sistemi, appare evidente come il danno o la perdita di funzioni all'interno di un sistema possa recare danno ai sub sistemi che sono ad esso relazionati. Si possono distinguere tre livelli di effetti indotti:

- danni indotti: sono quei danni che avvengono a causa dell'interrelazione tra diversi sottosistemi tra loro adiacenti. Un esempio può essere il crollo di un edificio su quello adiacente che aveva mostrato buona resistenza al sisma;

- danni funzionali: consistono nella perdita della capacità funzionale di un sistema indotta da un danno ad un altro elemento, come ad esempio la porzione di una rete stradale che in seguito all'evento sismico risulta inaccessibile e quindi causa problemi all'intera rete.
- effetti profondi: sono detti anche effetti di lungo periodo del terremoto o più in particolare *danni differiti*. Questi oltre agli sazi investono anche l'economia e la società.

Il danno differito merita un approfondimento.

Danno differito

L'importanza del danno differito risiede nella sua risonanza nel lungo periodo. Il danno differito non riguarda l'oggetto colpito nel momento del sisma bensì le conseguenze che il suddetto effetto porterà nel tempo (che non sarà più quello dell'emergenza) e nello spazio perché coinvolgerà tutto il sistema territoriale a livello economico, sociale e politico. A tal proposito consideriamo il *danno differito* nell'accezione di *danno che un sistema territoriale subisce in una situazione lontana dall'emergenza* (Giuseppe B. Las Casas). Risulta di fondamentale importanza analizzare il danno differito dal momento che oggi, in Italia, le politiche di prevenzione sismica sono risultate poco efficaci in quanto il rischio sismico viene affrontato principalmente nel breve periodo, ossia nel momento in cui si verifica l'evento e si interviene quasi sempre con la ricostruzione.

Non è detto che la ricostruzione *dov'era com'era* di cui si è tanto discusso in seguito agli eventi sismici che hanno colpito il centro Italia dall'Agosto 2016 sia l'unica e la giusta via da seguire. Se una zona è considerata sismica e su di essa si sono abbattuti innumerevoli terremoti disastrosi, il dislocamento del centro abitato andrebbe considerato come una alternativa da vagliare. Questa drastica opzione sicuramente comporterebbe la perdita dell'identità della popolazione, incidendo sul senso di appartenenza al luogo (tutti fattori che sono maturati nel tempo e appartengono solo a quel territorio). Al tempo stesso, essa andrebbe ad incidere positivamente sulle vite umane, sull'economia e sulle politiche territoriali e, quindi, sul danno differito, diminuendolo. Occorre spostare i processi di mitigazione del rischio dal breve al lungo periodo, affrontando il tutto con un approccio sistemico e non singolo per ogni territorio. Intervenire sul danno differito vuol dire, in definitiva, intervenire sul periodo di ripresa dell'utilità di un territorio, ovvero diminuire il periodo

di disutilità. Ciò può avvenire solamente se alla base è presente una pianificazione adeguata che incida profondamente sull'utilità di un sistema. Las Casas e Scardaccione (2004) propongono una attenta analisi dell'andamento della disutilità di un sistema nel tempo **Grafico 1**.

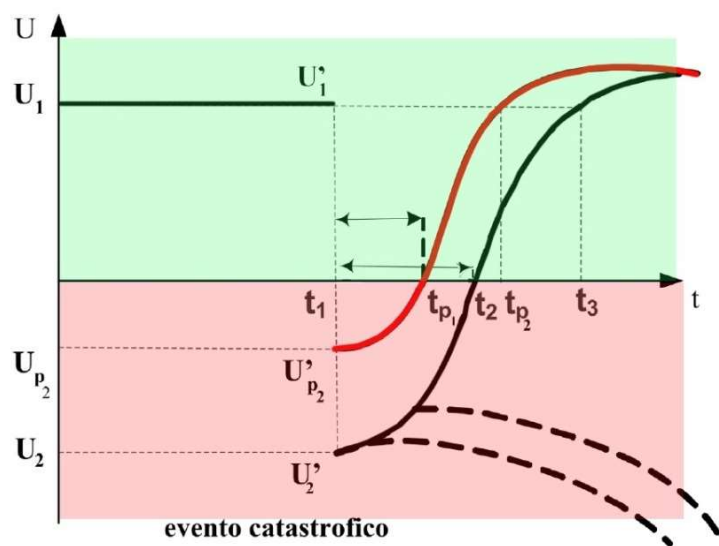


Grafico 1: grafico utilità-tempo rappresentante l'utilità di un sistema in fase di emergenza con o senza prevenzione (Las Casas e Scardaccione, 2004).

Il grafico riporta sulle ascisse il tempo e sulle ordinate l'utilità del sistema; quest'ultima nella parte rossa del grafico si trasforma in disutilità. In una condizione stazionaria l'utilità di un sistema procede in maniera costante (tratto $|U_1 - U_1'|$) senza sostanziali cambiamenti (restando nella parte positiva del grafico, quella verde). Se ad un generico istante t_1 si verifica un evento catastrofico si avrà un decadimento dell'utilità U_1' che si sposterà nel punto U_2' (punto negativo del grafico che rappresenta la disutilità). Da questo momento in poi si potrà avere un collasso del sistema (curve tratteggiate) oppure una ripresa che si può assumere abbia andamento della curva continua nera. Il tempo $|t_1 - t_2|$ rappresenta il tempo di cui necessita il sistema per annullare la disutilità e, il permanere in questa fase accresce le ripercussioni a lungo termine sull'intero sistema territoriale colpito. Dal punto t_2 il sistema tendenzialmente inizia ad evolvere verso una situazione di ripresa di utilità fino a giungere al tempo t_3 corrispondente all'utilità ristabilita. Si intuisce, quindi, che maggior tempo trascorre un sistema nel periodo $|t_1 - t_2|$ maggiore sarà l'entità del danno differito e, quindi, bisogna minimizzare questo intervallo con interventi eccezionali nel periodo immediatamente successivo all'evento catastrofico e, innanzi tutto, pianificare interventi preventivi volti a contenere il salto $|U_1' - U_2'|$. Adottare

adeguati piani di prevenzione vuol dire che nel momento in cui si verifica una catastrofe la differenza di utilità sarà: $|U_1' - U_{p2}'| < |U_1' - U_2'|$; dove U_{p2}' rappresenta l'utilità, in seguito all'accadimento di un evento sismico, in presenza di un piano di prevenzione. La ripresa, a questo punto, seguirà l'andamento della curva continua rossa (figura 2) e, avverrà in un minor tempo dal momento che l'intervallo $|t_1 - t_{p1}| < |t_1 - t_2|$ ed inoltre, si raggiungerà la situazione di stabilità (quella precedente all'evento) in un tempo $t_{p2} < t_3$.

1.2 Politiche di riduzione del rischio sismico

Le ricerche e gli interventi per la riduzione del rischio sismico seguono tre strade principali: previsione del sisma, controllo dell'evento, prevenzione dei danni da esso causato. Questi fattori aiutano a convivere con il rischio, a riconoscerlo e a definire politiche ed azioni da realizzare per il progressivo disinnescamento del rischio.

Le politiche di previsione possono riguardare il breve o il lungo periodo. Le prime sono quelle immediate che consentono di prevedere il sisma e lanciare l'allarme in modo da salvaguardare le vite umane. Quelle a lungo termine si basano, invece, su studi storici e statistici della pericolosità del luogo e consentono di realizzare carte tematiche utili per le successive classificazioni sismiche.

Le politiche di controllo mirano a modificare il naturale processo della terra. Dal 1960 si stanno studiando metodi per innescare terremoti artificialmente in modo da scaricare l'energia accumulata nel sottosuolo. Questa politica di controllo acquista maggiore valore se affiancata da una politica di monitoraggio che oggi può usufruire di sofisticatissime tecnologie grazie ai continui sviluppi nel campo. Oggi, i sistemi satellitari possono monitorare le evoluzioni e gli impatti dei fenomeni atmosferici, dei pericoli naturali e di eventi estremi come le alluvioni, la desertificazione, i cicli della vegetazione, il buco dell'ozono ecc. Con le avanzate tecniche di telerilevamento si possono analizzare le radiazioni elettromagnetiche e i campi di forze finalizzate ad acquisire ed interpretare i dati geo-spaziali presenti sulla superficie terrestre. Ciò non significa che oggi si è in grado di prevedere orario e luogo di un terremoto ma che il monitoraggio consente di studiare i movimenti tettonici anche minimi e quindi individuare le zone a maggior rischio sulle quali indirizzare le maggiori risorse. Una importante azione di monitoraggio è svolta dall'INGV che ha installato e gestisce circa 350 stazioni sismiche su tutto il territorio nazionale e sul suo sito è possibile

consultare la lista dei terremoti sempre aggiornata e le attività di emergenza organizzate.

Le politiche di prevenzione rappresentano gli strumenti di difesa dei territori più efficaci. Consistono nell'attivazione di una serie di misure preventive che riguardano l'assetto del territorio, la costruzione di edifici antisismici, l'adeguamento di quelli esistenti. Stabilito che le politiche di prevenzione rappresentano gli strumenti di difesa dei suoli più efficaci in campo sismico, si possono analizzare i suoi tre filoni principali: pianificazione territoriale per la riduzione del rischio, norme costruttive antisismiche, interventi di emergenza post-disastro.

1.2.1 Pianificazione territoriale per la riduzione del rischio

Una pianificazione territoriale per la riduzione del rischio deve essere tale da rispondere adeguatamente ad alcuni problemi fondamentali:

- adeguato disegno urbano;
- adeguata localizzazione per i nuovi insediamenti;
- riduzione del rischio complessivo all'interno dei centri urbani esistenti;
- Individuazione delle aree a rischio maggiore in modo da concentrare in esse le risorse per il miglioramento del patrimonio edilizio.

Dal momento che la riduzione totale del rischio è impossibile sia per una questione economica che per l'imprevedibilità degli eventi si deve stabilire quale livello si vuole o si può raggiungere cioè, quello che consenta di avere minori danni. Si deve quindi stabilire un *rischio accettabile* che non andrà ad annullare la variabile rischio ma aiuterà a stabilire qual è il livello di rischio che si intende correre. Ciò è realizzabile solamente con una pianificazione che sia integrata nel processo di pianificazione territoriale ordinario e non abbia quindi carattere di emergenza.

Che cos'è la pianificazione?

Davidoff e Reiner nel 1963 definiscono la pianificazione come un processo per determinare futuri corsi di azione appropriati attraverso una sequenza di scelte. La pianificazione è un processo che mira ad organizzare un territorio a livello funzionale e fisico e, verificare la corretta applicazione delle norme. La pianificazione territoriale si riferisce all'intero territorio e per questo necessita studi approfonditi sulle caratteristiche dei suoli, sul clima, sul tipo di vegetazione, sulle caratteristiche storiche e tanto altro. L'obiettivo finale non è quello di modificare il territorio per

adattarlo alle esigenze dell'uomo ma, cercare di trovare un giusto connubio tra natura e territorio antropizzato. Il giusto approccio nella redazione di un piano mira ad analizzare il territorio con tutte le sue relazioni e in seguito studiarle nel dettaglio. Seguire quindi la via della meccanica quantistica secondo la quale il tutto determina il comportamento delle parti. Mitchell struttura il processo di pianificazione in tre modi rispetto alla variabile temporale:

- è un processo continuo che si conclude in un piano finale;
- cerca di influenzare e utilizzare il processo di mutamento invece di delineare una futura condizione statica;
- si esprime parzialmente in programmi di azione a medio e lungo termine da intraprendere e di capitale ed altre risorse da utilizzare.

Negli ultimi anni, nei processi pianificatori ha acquistato sempre più importanza la partecipazione in diverse forme. I processi partecipativi mirano ad accrescere negli individui il livello di informazione, la capacità di esprimere il proprio parere e collaborare nelle scelte di piano sul proprio territorio. La partecipazione contribuisce a rafforzare o costruire (laddove non c'è o è sfumata con il trascorrere del tempo) l'identità di un luogo, quel senso di appartenenza che è l'unico fattore che può trasformare un individuo in cittadino.

Riduzione del rischio attraverso il piano

Nelle politiche di riduzione del rischio la pianificazione territoriale interviene inserendo all'interno dei piani una serie di misure prescrittive riguardanti diversi aspetti (uso del suolo, regolamenti edilizi ecc.), oppure, nel caso di insediamenti esistenti attraverso piani di ristrutturazione, adeguamento sismico, norme costruttive antisismiche ecc. Sia che si tratti di nuovi insediamenti che di insediamenti esistenti, un buon piano mira a mitigare il rischio attraverso il disegno urbano utilizzando, quindi, giuste proporzioni tra le altezze degli edifici e la larghezza delle strade e altre regole fondamentali.

Un buon punto di partenza per elaborare un piano antisismico può riguardare l'elaborazione delle carte di micro zonazione sismica e di uso del suolo. Con l'uso del suolo si possono, infatti, individuare le caratteristiche dei terreni che permettono di destinarli ad uso agricolo o residenziale in base alla pericolosità che li caratterizza. Queste analisi sono anche definite *analisi di potenzialità e suscettività ambientale*.

Un esempio di metodologia elaborata per valutare il livello di idoneità di un terreno ad essere trasformato da un uso agricolo ad un uso diverso a seconda delle sue caratteristiche fisico-geologiche e sismiche è la *land capability analysis (Lca)*. Quest'analisi parte dalla considerazione che la trasformazione di un suolo da agricolo ad urbano comporta dei costi legati alle caratteristiche geomorfologiche dello stesso, generalmente raggruppati in tre categorie:

- *Damage cost* – costi di danno: sono i costi derivabili dai danni alle strutture dovuti alle caratteristiche del suolo.
- *Mitigation cost* – costi d'attenuazione: costi richiesti per ridurre preventivamente i livelli di danno possibile. Riguardano ad esempio, i costi per gli adeguamenti sismici delle strutture.
- *Opportunity cost* – costi d'opportunità: sono i costi dovuti alla perdita di eventuali risorse che vengono a mancare in seguito alla variazione di uso di un suolo.

Le caratteristiche geologiche considerate nell' Lca comprendono oltre che la geologia vera e propria, la clivometria, la tendenza al dissesto, la possibilità di inondazioni e le caratteristiche sismologiche. Nel campo delle politiche di riduzione del rischio sismico la Lca è stata utilizzata come strumento di sintesi delle analisi sui differenti livelli di pericolo e della valutazione del rischio, omologando tutte le diverse variabili considerate alla sola variabile costo economico.

Altro approccio per la mitigazione del rischio riguarda i piani di adeguamento antisismico nei centri urbani esistenti, aspetto delicato e a volte di difficile attuazione. Esistono difficoltà pratiche legate al patrimonio edilizio esistente riguardanti soprattutto i centri storici. Ad esempio interventi antisismici che prevedono demolizioni e allargamenti di sedi stradale entrano in diretto contrasto con le necessità di salvaguardare le caratteristiche storiche ed architettoniche del patrimonio edilizio storico di cui l'Italia è ricca. Bisogna trovare un giusto compromesso.

Una delle esperienze più avanzate esistenti in Italia di pianificazione urbanistica alla scala locale, finalizzata alla riduzione del rischio sismico è il *Progetto Rimini* (1984). Con esso nasce l'indagine sismica preliminare che viene utilizzata a livello di pianificazione regionale in Emilia Romagna.

1.2.2 Norme costruttive antisismiche

Le norme costruttive antisismiche dettano misure di sicurezza per qualsiasi tipo di edificio. Si possono considerare come una forma di prevenzione attiva perché sono finalizzate al contenimento della fonte di pericolosità. Queste normative, grazie alla continua ricerca nel campo sismico, sono sempre più sicure, il problema risiede nel controllo della qualità dei lavori eseguiti e nella disponibilità economica atta a finanziare tali interventi. Una normativa antisismica mira, dunque, a prevenire danni a persone o cose dettando regole per la costruzione di una struttura.

Storia della legislazione costruttiva antisismica

La prima legge che affronta l'argomento del sisma risale al 1909 e viene redatta sulle basi del *Regio Decreto*⁵ del 1909 in seguito al devastante terremoto che colpì Messina nel 1908. Non considera le caratteristiche tettoniche e sismiche del luogo né la frequenza e l'intensità con le quali si è verificato il sisma in passato. Sulla base di queste disposizioni venne redatto da *Borzi* il piano di Messina, interessante perché questo non applicò la legge tal quale ma la relazionò al contesto. Da questo momento e fino al 1974 la mappa sismica italiana non è stata altro che una mappa riportante i territori colpiti da forti terremoti dopo il 1909. Una valutazione quindi, fatta a posteriori dove venivano considerate sismiche solamente quelle zone colpite da un terremoto tralasciando quelle che avevano alte probabilità di accadimento. Ciò comportava che non vi era nessuna restrizione costruttiva nelle zone non sismiche. I primi cambiamenti in termini di sicurezza e zonazione sismica si iniziano ad avere nel 1971 con la Legge n.1086 (Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica) ma è solo nel 1974 che si inizia a parlare di macrozonazione sismica con la Legge 64/1974 (Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche), che stabiliva: "*classificazione sismica debba essere realizzata sulla base di comprovate motivazioni tecnico-scientifiche, attraverso decreti del Ministro per i Lavori Pubblici*". Questa legge permise di approvare una nuova normativa sismica nazionale che ha stabilito il quadro di riferimento per le modalità di classificazione sismica del territorio nazionale, oltre che di redazione delle norme tecniche. Si

⁵ Regio Decreto 18 aprile 1909 n.193, portante norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D.15 aprile 1909 e ne designa i comuni. Pubblicato nella gazzetta ufficiale n.95 del 22 aprile 1909

distingueva dalle precedenti perché dava la possibilità di aggiornare le norme sismiche ogni qualvolta fosse giustificato dall'evolversi delle conoscenze dei fenomeni sismici.

Il tragico terremoto che colpì il Friuli Venezia Giulia nel 1976 scosse notevolmente gli animi. L'opinione pubblica venne fortemente colpita perché all'emergenza sisma si reagì con la "pratica della ruspa" ed una totale improvvisazione di fronte ai danni ingenti causati dal sisma. In nome della pubblica incolumità furono rasi al suolo interi insediamenti storici spontanei e numerose opere di rilevanza artistica con tutto il loro patrimonio. Si innesca quindi, un processo di evoluzione dell'approccio che parte da tre questioni fondamentali:

- studio del fenomeno sismico in sé e quindi definizione della pericolosità sismica del territorio nazionale;
- risposta dei manufatti edilizi alle sollecitazioni sismiche e miglioramento delle tecniche costruttive;
- traduzione normativa dei risultati della ricerca scientifica.

Questo processo, inizialmente lento, fu accelerato dal terremoto che colpì l'Irpinia nel 1980. Le attività di ricerca furono svolte nell'ambito del progetto "Geodinamica" del CNR. Portarono un notevole aumento delle conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale e consentirono la formulazione di una proposta di classificazione sismica presentata dal CNR al Governo, tradotta in una serie di decreti del Ministero dei lavori pubblici approvati tra il 1980 ed il 1984 e che hanno costituito, pertanto, la classificazione sismica italiana fino all'emanazione dell'ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003. Si passa in questo modo da un approccio che mirava alla ricostruzione ad uno che mira alla mitigazione del rischio. Ciò si deve anche alla crescente attenzione sul tema da parte di altre discipline quali la sociologia, l'economia, la geologia, la geotecnica, l'ingegneria strutturale ecc.

La classificazione proposta dal CNR prevedeva tre categorie sismiche. Fu classificato e soggetto ad obbligo di rispettare le specifiche norme per le costruzioni solamente il 45% del territorio nazionale e la restante parte restò non classificata.

Relativamente, invece, alle norme tecniche, già con il DM del 3 marzo 1975, furono emanate le prime disposizioni in seguito integrate da una serie di successivi decreti. In seguito agli eventi sismici che colpirono Puglia e Molise nel 2002, venne emanata l'Ordinanza PCM 3274/2003, che riclassificava il territorio nazionale, considerandolo interamente sismico, in quattro zone a pericolosità sismica decrescente:

zona 1: la zona più pericolosa in cui possono verificarsi fortissimi terremoti;

zona 2: zona in cui possono verificarsi forti terremoti;

zona 3: possono verificarsi forti terremoti ma sono rari;

zona 4: la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari.

Tali zone sono individuate da 4 classi di accelerazione massima del suolo con probabilità di accadimento del 10% in 50 anni. Le prime tre zone della nuova classificazione corrispondono, alle zone di sismicità alta, media e bassa, mentre per la zona 4, di nuova introduzione, viene data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica. In ogni zona è, infatti, prevista l'applicazione della progettazione sismica con livelli differenziati di severità. Le norme tecniche per le costruzioni antisismiche sono, quindi, strettamente correlate con la classificazione sismica del territorio.

Nel 2008 sono state pubblicate le Norme Tecniche per le Costruzioni NTC08⁶: per ogni luogo del territorio nazionale l'azione sismica da considerare nella progettazione si basa su questa stima di pericolosità opportunamente corretta per tenere conto delle effettive caratteristiche del suolo a livello locale. Queste tolgono la libertà regionale di disporre in merito all'obbligo di progettazione antisismica nella zona 4, rendendo necessaria, dal 1 luglio 2009, la redazione di progetti che tengano conto dell'effetto sismico su tutti gli edifici nazionali.

1.2.3 Interventi di emergenza post-disastro

Gli interventi di emergenza post-disastro sono quelli che mirano ad informare la popolazione sui comportamenti da tenere in caso di emergenza stabilendo quindi i punti di raccolta, le minime norme di comportamento da adottare prima di abbandonare il proprio appartamento o il luogo in cui ci si trova nel momento dell'evento che sia una scuola, il luogo di lavoro o altro. Questa tipologia di interventi si attribuisce agli organi della protezione civile e viene considerata, insieme agli strumenti di pianificazione, una forma di prevenzione passiva.

⁶ Le attuali NTC sono quelle approvate con D.M. 14 gennaio 2008 e le nuove sono state approvate dal Consiglio superiore dei lavori pubblici nel mese di novembre 2014 e soltanto il 22 dicembre 2016 dalla Conferenza unificata dopo un ulteriore passaggio al Consiglio superiore che aveva aggiornato l'articolo 2 dedicato al periodo transitorio. A Gennaio 2017 il testo deve ancora essere approvato dalla Conferenza Unificata.

La protezione civile

Il servizio Nazionale della protezione civile viene istituito nel 1992 con la Legge n.225 dopo 22 anni dall'emanazione della Legge n. 996 del 1970 (Norme sul soccorso e l'assistenza alle popolazioni colpite da calamità – Protezione Civile). Il suo compito è quello di *“tutelare l'integrità della vita, i beni, gli insediamenti e l'ambiente dai danni o dal pericolo di danni derivanti da calamità naturali, da catastrofi e altri eventi calamitosi”*. Tutto il sistema della protezione civile si basa sul principio di sussidiarietà secondo il quale se un ente inferiore (in questo caso la protezione civile) è in grado di svolgere bene un compito allora l'ente superiore, che sia il comune, la provincia, la regione o lo stato, non è chiamato ad intervenire ma a sostenerne l'azione. Esso coinvolge tutta l'organizzazione dello stato e la società civile attraverso organizzazioni di volontariato.

Mentre con la Legge del '92, era il presidente del consiglio dei ministri che affiancava il dipartimento di protezione civile ed emanava le ordinanze necessarie alla realizzazione degli interventi per contrastare e superare l'emergenza, con la legge n.10 del 2010 questo compito si è trasferito al Capo dipartimento della protezione civile. Gli eventi calamitosi vengono classificati, per estensione e gravità, in tre diversi tipi. Per ogni evento si individuano i competenti livelli di protezione civile che devono attivarsi per primi:

- evento di tipo a - livello comunale, il sindaco in caso di emergenza assume la direzione e il coordinamento dei soccorsi e assiste la popolazione, organizzando le risorse comunali secondo piani di emergenza prestabiliti per fronteggiare i rischi specifici del territorio. I piani comunali di emergenza sono obbligatori e devono essere periodicamente aggiornati.
- Evento di tipo b – livello provinciale e regionale.
- Evento di tipo c – livello statale, questi eventi devono essere fronteggiati con mezzi e poteri straordinari, quindi la competenza del coordinamento dei soccorsi viene affidata al capo dipartimento della protezione civile.

Presso il Dipartimento della protezione civile sono istituiti: la *commissione nazionale per la previsione e prevenzione dei grandi rischi*: una struttura consultiva a carattere tecnico-scientifico che collega la protezione civile con la comunità scientifica; il *comitato operativo di protezione civile* con il compito di assicurare la direzione unitaria e il coordinamento delle attività di emergenza stabilendo gli interventi di tutte le amministrazioni e gli enti coinvolti nelle operazioni di soccorso; il *comitato*

paritetico Stato-Regioni-Enti locali: organo del Servizio Nazionale della Protezione Civile in cui vengono discusse e condivise le regole del sistema.

Il servizio nazionale di protezione civile è affiancato, inoltre, dalle attività di volontariato che coordina. Deve essere assicurata la più ampia partecipazione dei cittadini e delle organizzazioni di volontariato di protezione civile nelle attività di previsione, prevenzione e soccorso, in vista o in occasione di calamità naturali o catastrofi.

Ulteriori modifiche vengono introdotte con la Legge n. 119 del 2013 in cui si interviene sulla durata dello stato di emergenza sugli ambiti di intervento delle ordinanze di protezione civile e sulla definizione delle risorse necessarie a far fronte alle emergenze. La Legge stabilisce che la durata dello stato di emergenza non può essere maggiore di 180 giorni e che può essere prorogata fino ad ulteriori 180 giorni.

Le attività della protezione civile riguardano:

- Previsione e prevenzione dei rischi
- Soccorso delle popolazioni
- Superamento dell'emergenza
- Contrasto dell'emergenza
- Mitigazione del rischio.

In particolare le attività di prevenzione riguardano: allertamento, pianificazione d'emergenza, formazione, diffusione della conoscenza di protezione civile, informazione alla popolazione, applicazione della normativa tecnica, esercitazioni.

Il piano di protezione civile

Il piano di protezione civile può rappresentare un elemento di pianificazione strategica. Quest'ultima si può considerare un processo tecnico e sociale. Uno dei risultati maggiori della pianificazione strategica è la crescita delle risorse intangibili dell'area in termini di un capitale di tipo sociale (maggiori relazionalità e fiducia tra i soggetti), di tipo intellettuale (maggior conoscenza condivisa) (Albrechts, 2004) e di tipo politico (definizione di alleanze) (Ave e Ceccarelli, 2006).

La legge n.225/1992, istitutiva del Servizio Nazionale di Protezione Civile, individua due strumenti attraverso i quali svolgere queste attività:

- I Programmi di Previsione e Prevenzione di Protezione Civile a scala nazionale, regionale e provinciale;

- I Piani di Emergenza (o di Protezione Civile) a scala nazionale, provinciale e comunale.

I programmi di previsione e prevenzione a livello provinciale sono di competenza della provincia alla quale è affidato il compito di raccogliere, elaborare ed aggiornare i dati interessanti la Protezione Civile e di elaborare i programmi. Questi programmi sono composti da un inquadramento territoriale atto a descrivere il contesto territoriale a cui si applica il piano in termini di grandezze amministrative, fisiche, demografiche, sociali, economiche, infrastrutturali e culturali presenti; dagli scenari di rischio: pericolosità (zone sismogenetiche, terremoti storici, isosiste e piani quotati, attenuazione del moto del terreno), esposizione (caratteristiche e distribuzione della popolazione residente in ciascuna sezione censuaria), vulnerabilità (patrimonio edilizio, scuole, ospedali, rete stradale e ferroviaria). Sulla base degli scenari di rischio e in seguito all'individuazione delle criticità si redigono i piani di emergenza. La definizione delle criticità avviene attraverso l'elaborazione di strumenti conoscitivi "ad hoc", quali cartografie e database associati. L'individuazione dei tematismi è definita nell'ambito di gruppi di lavoro, costituiti tra la Regione e le Province, che predispongono dettagliate linee guida. Gli elaborati prodotti, oltre a definire criticità relative ai singoli rischi, sono in parte utilizzabili nella fase di gestione delle emergenze.

I piani di emergenza sono strumenti di coordinamento delle azioni che le componenti istituzionali e le strutture operative di protezione civile devono porre in essere per fronteggiare situazioni di crisi. Il piano è costruito a partire da una lettura del territorio attraverso gli scenari di rischio, l'individuazione dei precursori e la definizione degli scenari di evento. Sono generalmente composti da direttive organizzative riguardanti le fasi di attenzione, pre-allarme, allarme ed emergenza, i sistemi di comando e controllo e le risorse da stanziare. Forniscono indicazioni sulle procedure che si vogliono utilizzare per fronteggiare l'evento e ripristinare le normali condizioni di vita.

L'importanza del quadro conoscitivo

Risulta di fondamentale importanza, nelle prime ore che seguono un evento sismico, avere a disposizione, nel minor tempo possibile, informazioni riguardanti le dimensioni dell'evento ed il suo impatto sul territorio e sulla popolazione in modo da poter dimensionare i soccorsi e stanziare le giuste risorse. Ciò è possibile solamente se alla base è presente un quadro conoscitivo completo del territorio che solitamente

si realizza o richiede alle amministrazioni in periodi di non emergenza. Il dipartimento di protezione civile è dotato di un SIT, Sistema Informativo Territoriale, in grado di generare in tempo semi-reale degli scenari di simulazione delle conseguenze dell'evento sismico. In caso di terremoto di magnitudo significativa, l'INGV trasmette al dipartimento i parametri focali (magnitudo e coordinate) dell'evento. Viene immediatamente attivata una procedura automatica per la generazione di un rapporto che viene messo a disposizione della Protezione Civile entro 10 minuti dall'evento. Questo rapporto contiene dati, mappe e informazioni relativi a tutti i comuni compresi in un raggio di 100 km intorno all'epicentro.

Per questi ed altri motivi è sempre importante che ogni amministrazione che sia regionale, provinciale o comunale, abbia a disposizione un SIT continuamente aggiornato, ancor meglio se *open-data*, in modo da facilitare tutte queste operazioni. I propositi sono sempre ottimali ma purtroppo la realtà dei fatti è differente; ci si trova spesso, in situazioni in cui le cartografie base non sono aggiornate o non sono state fornite dalle amministrazioni alle organizzazioni competenti e quindi, le operazioni di soccorso non sono in grado di individuare immediatamente un luogo o il percorso più breve per raggiungere la situazione di pericolo ecc.

È in questo contesto che iniziano a svilupparsi attività di *crisis-mapping*. Nei casi di emergenza sempre più individui desiderano contribuire con il loro aiuto, questo avviene con piccoli contributi in denaro donati tramite SMS o aiuti volontari sul posto di qualsiasi tipo. Anche una parte della comunità tecnologica si sta muovendo sulla strada del volontariato e lo fa con programmi *opensource* lanciando delle *crisismap* ossia delle vere e proprie mappe di crisi. Nei recenti eventi sismici che hanno colpito il centro Italia dall'Agosto del 2016 la comunità tecnologica di *OpenStreetMap* si è adoperata per aggiornare le mappe dei paesi colpiti che risultavano carenti di informazioni cartografiche.

1.3 Nuove forme di monitoraggio del territorio e politiche partecipative aperte

1.3.1 Mitigazione del rischio e sostenibilità ambientale

La problematica del rischio sismico è fondamentale in un paese come l'Italia che è stato interamente classificato come sismico, è ricco di urbanizzazione ed inoltre possiede un elevato patrimonio di valore storico-culturale da preservare. Bisogna

considerare che gli eventi naturali non costituiscono in sé rischi ma, è l'attività umana che, ignorando le naturali dinamiche del territorio trasforma in rischi gli eventi naturali e quindi si può assumere il rischio come prodotto tra un evento naturale e un ambiente o popolazione umana vulnerabile. Le forme di prevenzione riguardanti i fenomeni sismici sono strettamente correlate con il concetto di sostenibilità ambientale dal momento che rendere un territorio meno vulnerabile vuol dire tramandare ai posteri un patrimonio edilizio (che sia di carattere artistico o meno) integro, di cui poter usufruire.

Nella *dichiarazione di Johannesburg*⁷ si è affrontato l'argomento della prevenzione dei rischi naturali come tema centrale per il perseguimento di condizioni di sostenibilità ambientale e sviluppo sostenibile.

Lo sviluppo di una città può definirsi sostenibile solo se garantisce la salvaguardia delle risorse esistenti e se orienta prioritariamente gli investimenti verso il miglioramento della risposta che la città e il territorio sono chiamati ad offrire ai bisogni che la popolazione odierna esprime e che quella futura esprimerà. Sulla base di queste considerazioni, i piani di prevenzione e mitigazione dei rischi devono essere tali da:

- contenere il consumo e l'alterazione, talvolta irreversibile, delle risorse da consegnare alle generazioni future;
- ridurre gli investimenti necessari a ripristinare, se e quando possibile, le condizioni precedenti al verificarsi dell'evento sismico.

Procedendo in questa direzione è quindi chiaro che un piano di prevenzione sismica non può essere un piano d'emergenza ma deve essere integrato nell'attività di pianificazione in modo da prevenire il rischio e limitare i danni (dal momento che non si possono impedire). Sono necessarie delle previsioni a lungo termine che valutino l'efficacia e la fattibilità, solo in questo modo può essere rispettato il principio di equità intergenerazionale e quindi di sostenibilità.

⁷ Vertice mondiale sullo Sviluppo Sostenibile (2002) organizzato dalle Nazioni Unite e prevede la partecipazione di numerosi capi di Stato e di governo, rappresentanti delle Organizzazioni Non Governative (ONG), del settore privato e di altri gruppi di interesse. Obiettivo: puntare l'attenzione sulle nuove sfide da affrontare per realizzare uno sviluppo sostenibile, cioè un modello di sviluppo che coniughi gli aspetti economici con quelli sociali e ambientali, in grado di assicurare una società più equa e prospera, nel rispetto delle generazioni future.

1.3.2 Nuove forme di monitoraggio del territorio

Monitorare un territorio vuol dire perseguire un livello di conoscenza sempre maggiore (incrementare sempre più il quadro conoscitivo), passare da una pianificazione programmata ad una interattiva (politiche partecipative aperte e *open-data*), ridurre le incertezze e riuscire ad attivare sistemi di allarme tempestivi.

Dal 2004 il dipartimento della protezione civile utilizza dati radar satellitari elaborati con tecniche di interferometria SAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar, *InSAR*) nelle attività di valutazione dei rischi naturali. Le tecniche *InSAR* utilizzano immagini radar acquisite da satellite e relative alla stessa area, dalle quali vengono identificati sul territorio alcuni bersagli radar per la misura degli spostamenti.

Oggi grazie ai satelliti *Sentinel* sviluppati nell'ambito del progetto europeo *Copernicus*⁸, è possibile monitorare la salute del nostro pianeta in maniera ancor più dettagliata. Questi satelliti rendono disponibile gratuitamente, un'istantanea della terra con decorrenza di cinque giorni, la risoluzione delle sue immagini arriva fino a 10 cm. Queste immagini, nel caso di un evento sismico, possono essere utilizzate in svariati modi come il confronto pre/post – evento. L'elaborazione di queste immagini avviene con tecniche di telerilevamento che permettono di ricavare informazioni qualitative e quantitative sull'oggetto esaminato mediante radiazione elettromagnetica (emessa, riflessa o trasmessa) da parte di sensori che interagiscono con le superfici fisiche di interesse. Esistono diversi software per il telerilevamento, tra quelli open-source *GrassGis* e tra quelli closed-source *ERDAS imagine*. Come si è già ribadito precedentemente questi dati presuppongono, la presenza di un quadro conoscitivo completo del territorio che si sta analizzando altrimenti anche i dati più sofisticati restano finì a loro stessi e si rischia di avere dati super aggiornati ma non sapere come utilizzarli.

Si stanno sviluppando ulteriori tecniche che prevedono il monitoraggio del territorio con i droni, velivoli automatici dotati di sistemi GPS di navigazione satellitare e di strumenti di ripresa ad alta risoluzione a diversa lunghezza d'onda. Queste si effettuano con sistemi a laser scanner noti generalmente con l'acronimo di LiDAR: *Light Detection and Ranging*. I dati vengono rilevati in 3D ed elaborati con tecniche di realtà virtuali in modo da poter studiare con estrema precisione (precedentemente

⁸ Progetto Copernicus: progetto europeo di osservazione della terra. Consiste in un insieme complesso di sistemi che raccoglie informazioni da molteplici fonti: satelliti di osservazione della terra, sensori di terra, di mare ed aviotrasportatori.

irraggiungibile), le strutture geologiche in grado di produrre futuri terremoti. Praticamente, tramite appositi software, le immagini rilevate vengono unite in un foto mosaico e restituite creando un modello tridimensionale del terreno entro il quale i ricercatori possono muoversi in modo virtuale (come se fossero in un videogioco).

1.3.3 Crisis mapping

In recenti contesti di crisi, l'utilizzo di dati e analisi geo-spaziali hanno rappresentato una preziosa risorsa, utile al coordinamento delle operazioni di soccorso. Una risposta a questa crescente richiesta di informazioni è rappresentata dal crisis mapping che consiste nello spontaneo processo di raccolta e geolocalizzazione di dati provenienti da fonti differenti – closed/open-data, crowdsourcing – verificate, catalogate e, infine rese visibili all'interno di piattaforme open source di mapping.

Con il sopravvento della tecnologia, la diffusione degli smartphone e delle connessioni mobili e fisse, è fortemente cambiata la modalità di gestione degli aiuti umanitari in caso di emergenza. Oggi anche nei paesi meno sviluppati la maggior parte della popolazione possiede un cellulare con il quale può inviare anche un semplice SMS. Con il termine *Crisis Mapping* si identificano le attività di mappatura durante le crisi umanitarie (ma non solo). L'attività di Crisis Mapping mira a raccogliere, visualizzare, aggiornare e analizzare dati in tempo reale in situazioni di emergenza derivanti da calamità naturali (terremoti, alluvioni, tsunami, uragani, ecc.) o di carattere antropico (frane, attentati terroristici, gravi incidenti industriali, ecc.). Nel momento in cui si verifica un evento disastroso i Crisis Mappers, sia del luogo che remoti (tramite il web), si mobilitano per aggiornare le mappe, segnalare emergenze e diffondere le notizie. Questa partecipazione aiuta anche ad accrescere la consapevolezza dell'evento. I Crisis Mappers sono in genere volontari (non stipendiati) con o senza competenze specifiche; infatti in un gruppo si possono identificare figure come semplici residenti del luogo che vogliono contribuire alle attività di soccorso o figure come esperti informatici o di programmazione web che vogliono fornire il loro contributo scientifico alle operazioni di coordinamento. Per queste attività di raccolta dati e informazioni si sono creati svariati gruppi online, uno dei più importanti è il team umanitario di OpenStreetMap (HOT) che ha supportato l'attività dei mapper di OpenStreetMap (OSM) nel primo caso di utilizzo dell'applicazione a scopo umanitario: il terremoto di Haiti del 2010. Altro esempio di Crisis Mapping è Ushahaidi, una piattaforma web che utilizza le mappe di OSM e

viene aggiornata mediante la geo localizzazione di segnalazioni provenienti da SMS, tweet ed e-mail che contengono determinate parole chiave (*alert*).

Tutto ciò è stato reso possibile dalla disponibilità gratuita di dati satellitari e dalla sperimentazione di tecniche di telerilevamento sempre nuove. Le attività di crisis mapping si possono considerare come politiche partecipative aperte dal momento che chiunque ne abbia volontà può unirsi a queste comunità, aggiornare la mappa del proprio paese o quella di un paese lontano che non conosce, segnalare un disagio, lanciando una crisis map o delle positività con una mappa riportante tutti i parchi di una zona, le aree prive di barriere architettoniche o altro.

Nelle pagine successive si sono analizzati diversi casi di studio riguardanti quelle attività di volontariato tecnologico che nei casi di emergenza hanno contribuito nelle operazioni di soccorso e nella costruzione di un quadro conoscitivo in alcuni casi precedentemente inesistente.

Le piattaforme web analizzate sono OpenStreetMap e Ushahidi e i casi di studio: il terremoto di Haiti del 2010, il caso di Kibera – violenza post-elettorale 2007/2008 – l'esperienza di Kathmandu, il terremoto in Nepal 2012/2015 e il terremoto del centro Italia 2016.

Questi quattro casi mostrano delle sostanziali differenze:

Haiti: con il disastroso terremoto che colpisce Haiti nel 2010 inizia la diffusione di OSM in un clima di emergenza naturale. Qui la comunità di OSM ha dovuto sostenere un duro lavoro per conquistare credibilità fino ad essere riconosciuta come associazione; si tratta del primo caso eclatante in cui è la popolazione mediante SMS, Tweet, App a “dirigere” i soccorsi. I soccorritori in collegamento con piattaforme come OSM e Ushahidi ricevono immediatamente gli aggiornamenti senza nessuna intermediazione di terzi.

Kibera: in un contesto di violenza nasce la piattaforma Ushahidi. A Kibera in seguito alle elezioni presidenziali del 2007 ci si trova in un clima di violenza civile e una parte della popolazione sente il bisogno di far conoscere al mondo intero la situazione in cui si trova il proprio paese; nasce così Ushahidi. In questo caso si evidenzia come la tecnologia può mostrare anche il rovescio della medaglia perché essa viene utilizzata non solo come testimonianza delle violenze subite ma anche per diffondere messaggi di odio e violenza.

Kathmandu: in Nepal, paese ad elevato rischio sismico e tsunami, dal 2012 inizia a prendere piede la comunità OSM che contribuisce all'aggiornamento delle cartografie

del paese e a creare informazione ed interesse, soprattutto nelle scuole, sul tema del rischio (terremoto, tsunami o altro). Nel 2015 al verificarsi del terremoto il paese non viene colto impreparato dal momento che la comunità OSM era già consolidata da tempo e quindi ha potuto agire con maggiore semplicità.

Centro Italia: in seguito allo sciame sismico che ha colpito il territorio del centro Italia dal 24 Agosto 2016 la comunità tecnologica di OSM si è subito adoperata per aggiornare le mappe dei luoghi e metterle a disposizione di tutti. Questa rapidità di geo-informazioni ha suscitato l'interesse del progetto Copernicus che ha acquisito i dati di OSM e li ha ridistribuiti ai soccorritori cioè, alla protezione civile. Non c'è stato quindi un passaggio diretto tra OSM e i soccorritori ma è stata necessaria la mediazione di Copernicus.

Bisognerebbe verificare la continuità nel tempo di questi progetti che talvolta producono i massimi risultati nel momento in cui nascono e si trovano ad affrontare un'emergenza e, muoiono, alla stessa velocità quando l'emergenza termina.

In Italia, il dipartimento della protezione civile, potrebbe avvicinarsi a questi progetti che possono considerarsi come attività di volontariato tecnologico e quindi rientrano a pieno titolo nelle loro competenze. L'esperienza italiana con queste piattaforme web non è delle migliori; manca un rapporto diretto tra OSM e protezione civile come si recepisce dagli eventi sismici del centro Italia (2016). Questo passaggio di dati indiretto incide negativamente sui soccorsi rallentandoli.

Di seguito si riporta una tabella di confronto (**Tabella 1**) tra i vari casi di studio e un grafico riassuntivo (**Grafico 2**). Il grafico è stato costruito assegnando un punteggio da 1 a 10 ai vari casi di studio valutando l'utilizzo delle piattaforme di crowd-mapping con riferimento particolare ad OSM. I vari casi sono stati valutati prima singolarmente, ognuno dall'anno di nascita della piattaforma OSM (2004) fino ad oggi e, poi, messi a confronto valutando il periodo precedente all'evento, il periodo dell'evento e quello successivo:

PRE-EMERGENZA, EMERGENZA, POST-EMERGENZA.

Haiti: PRE-EMERGENZA = 0

Non esiste nessuna comunità tecnologica attiva sul luogo negli anni precedenti all'evento sismico.

EMERGENZA = 10

Nel periodo dell'emergenza (evento sismico) si forma la comunità di OSM e i dati da essa creati vengono recepiti direttamente dai soccorritori.

POST-EMERGENZA = da 9 a 5

Gli anni successivi all'evento risultano ricchi di iniziative e di operazioni di coordinamento con le organizzazioni umanitarie; oggi continua a persistere la comunità OSM sul territorio di Haiti ed è molto attiva.

Kibera: PRE-EMERGENZA = 0

Non esiste nessuna comunità tecnologica attiva sul luogo negli anni precedenti all'evento sismico.

EMERGENZA = da 5 a 7

Nel momento dell'emergenza si formano gruppi interessati al crowd mapping, nasce Ushahidi e si diffondono notizie tramite crisis map.

POST-EMERGENZA = da 9 a 6

Subito dopo l'emergenza si aggiornano tutte le mappe del luogo che permettono alle organizzazioni umanitarie di essere in contatto diretto con gli eventi del luogo.

Kathmandu: PRE-EMERGENZA = da 0 a 8

Si crea una comunità OSM che si occupa di aggiornare le mappe e diffondere conoscenza sul rischio sismico soprattutto nelle scuole.

EMERGENZA = 10

Si ha la massima efficienza nel momento dell'emergenza grazie ad una comunità già consolidata e quindi pronta ad affrontare l'evento.

POST-EMERGENZA = 5

Continua a persistere la comunità OSM.

Centro Italia: PRE-EMERGENZA = da 0 a 4

Si forma una comunità OSM negli anni precedenti al sisma. Nel 2009 il punteggio sale al valore di 5 perché in seguito al terremoto che colpisce l'Abruzzo la comunità di OSM si adopera per aggiornare le mappe dell'Aquila ma solamente dopo il sisma (per la ricostruzione).

EMERGENZA = 7

Nel momento dell'emergenza (sisma) la comunità OSM si mostra efficiente nell'aggiornare le mappe ma l'utilizzo di queste da parte dei soccorritori è stato possibile solamente dall'intermediazione di altri enti.

POST-EMERGENZA = 6 - 5

Il punteggio è solo una stima di quello che potrebbe accadere considerando che la zona del centro Italia si trova ancora nello stato di emergenza (Gennaio 2017)

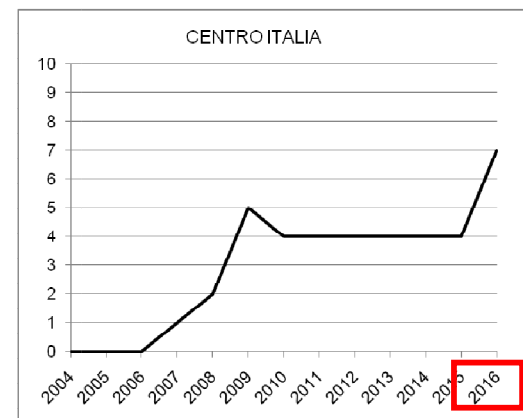
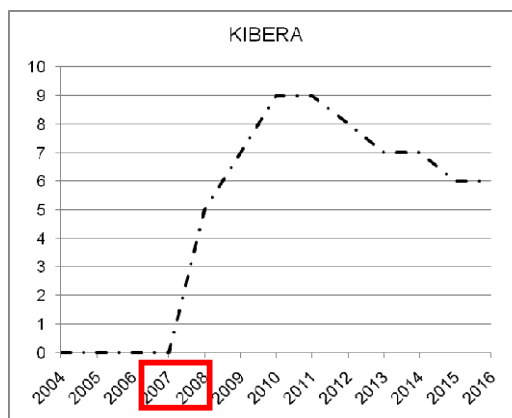
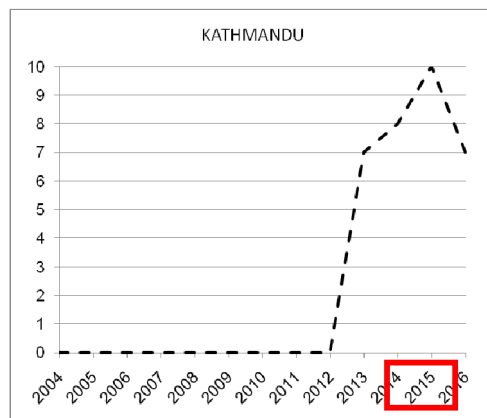
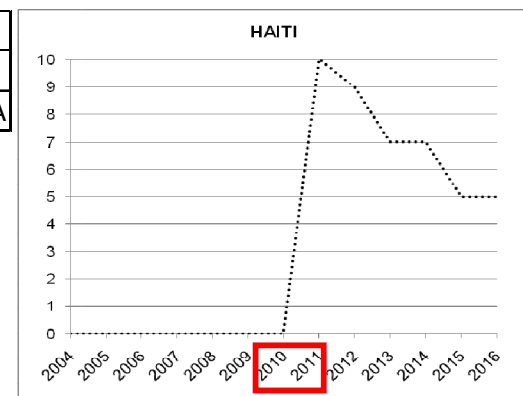
	Haiti	Kathmandu	Kibera	Centro Italia
Carattere evento	Naturale	Naturale	Antropico	Naturale
Tipologia di evento	Sisma	Sisma, Tsunami	Violenza post-elettorale	Sciame sismico
Principali piattaforme opensource utilizzate	OSM, HOT, Ushahidi, Sahana, Crisis Commons	OSM, Ushahidi, HOT	Ushahidi, OSM	OSM, HOT
Principali piattaforme commerciali utilizzate	Google Mapmaker, DigitalGlobe GeoEye	Google Maps	Google Maps	Copernicus, DigitalGlobe
Siti web e social	Facebook, Twitter	Facebook, Twitter, Skype	Facebook, Twitter	Facebook, Twitter, Flickr
Progetti sviluppati e organizzazioni no-profit	HOT	Open Cities Kathmandu, Kathmandu Living Labs (KLL), MapGive	Map Kibera, Voice of Kibera	terremotocentroitalia.info
Rapporto diretto tra i soccorritori e la comunità tecnologica	SI	SI	SI	NO

Tabella 1: tabella di confronto tra i vari casi di studio, si evidenziano le piattaforme utilizzate e i rapporti tra i dati prodotti e i soccorritori.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
HAITI	0	0	0	0	0	0	10	9	8	7	7	5	5
KIBERA	0	0	0	0	5	7	9	9	8	7	7	6	6
KATHMANDU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8	10	7
CENTRO ITALIA	0	0	0	1	2	5	4	4	4	4	4	4	7

Utilizzo piattaforme di crowd mapping dalla nascita di OSM nel 2004:	
0	Utilizzo nullo, non c'è nessuna comunità tecnologica del luogo interessata al crowd mapping
da 1 a 5	Si creano comunità tecnologiche interessate all'argomento che iniziano ad arricchire le mappe e a diffondere l'utilizzo delle piattaforme di crowd mapping
da 6 a 10	Le piattaforme di crowd mapping vengono utilizzate per fini umanitari e come supporto alle amministrazioni interessate

	:PRE-EMERGENZA
	:EMERGENZA
	: POST EMERGENZA



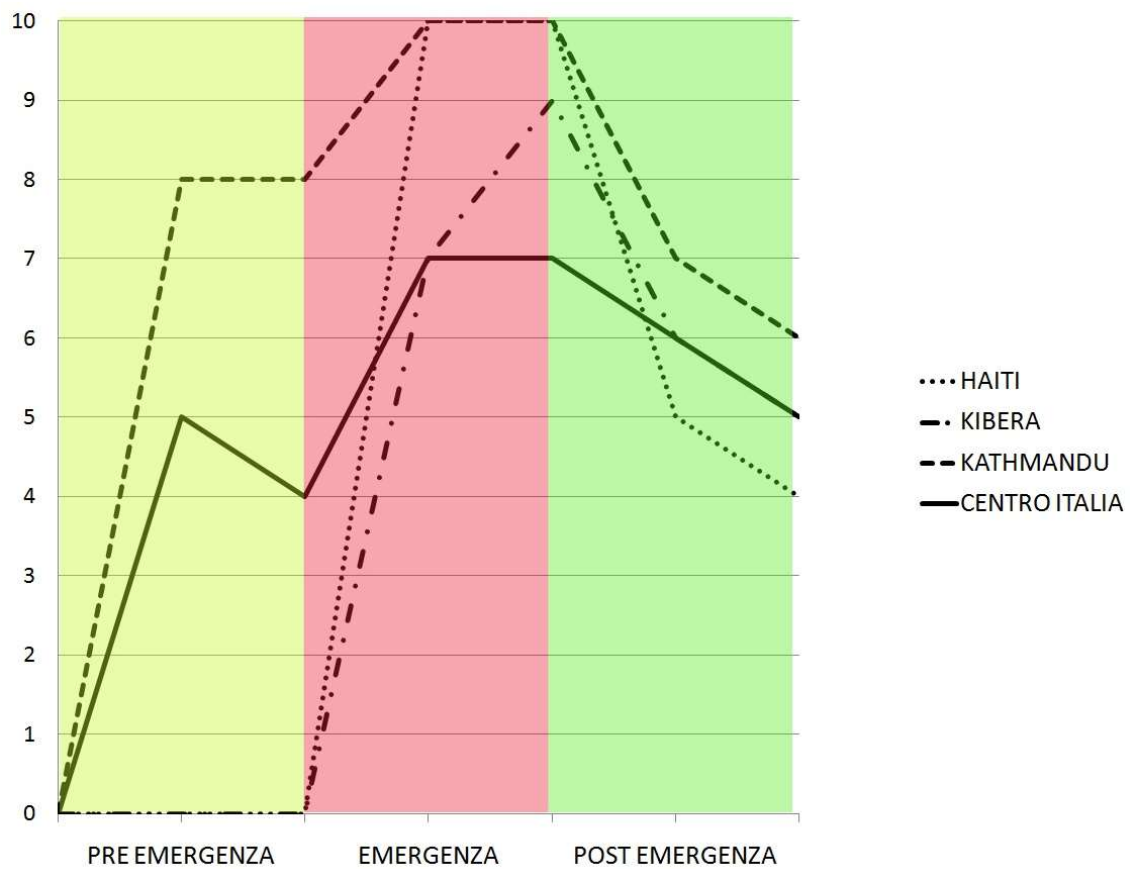


Grafico 2: grafico di confronto tra i quattro casi studio analizzati.

Il grafico rappresenta i 4 casi di studio messi a confronto, la zona gialla rappresenta il periodo precedente l'evento, la zona rossa l'evento stesso e la zona verde il periodo successivo.

1.4 Analisi dello stato dell'arte nel campo delle VGI e del *crisis mapping*

1.4.1 OpenStreetMap

“OpenStreetMap è un progetto collaborativo finalizzato a creare mappe a contenuto libero del mondo. Il progetto punta ad una raccolta mondiale di dati geografici, con scopo principale la creazione di mappe e cartografie.”

[Wikipedia]

<i>Quando nasce</i>	2004
<i>Dove nasce</i>	Londra
<i>Fondatore</i>	Steve Coast
<i>Cos'è</i>	Piattaforma digitale per “mappare il mondo”
<i>Software</i>	Opensource
<i>Base dati</i>	Bing – Yahooo

OSM nasce dalla consapevolezza che una mappa è una fonte preziosa di informazioni e che, quindi, una carta geografica è il modo più intuitivo per rappresentare dati in tempo reale. Viene fondata nel 2004 a Londra da Steve Coast un laureato in informatica che, Insieme ad altri studenti, ha sviluppato una semplice applicazione data-web e, tramite il supporto di semplici strumenti GPS ha iniziato a mappare Londra. Per comprendere meglio l'importanza di questo progetto si possono guardare le due mappe di Londra messe a confronto di seguito: la prima (**Figura 3**) è la mappa di google (*googlemap* è il sito cartografico maggiormente utilizzato per calcolare i percorsi e per la georeferenziazione) che presenta una totale assenza di sagome di edifici e la seconda (**Figura 2**) è quella di OSM ricca di informazioni dettagliate.

Oggi OSM è un progetto globale che conta oltre due milioni di utenti che lavorano per creare mappe libere, aperte e con dati continuamente aggiornati di tutto il mondo. È, allo stesso tempo, una comunità, un database di dati geografici e un sito web. Gli utenti della comunità interagiscono attraverso il web con le *mailinglist* di wiki, canali IRC e le pagine wiki e, *face to face* attraverso meeting e *mapping parties*⁹.

⁹ Mapping parties: il *mapping party* è una prassi consolidata nella comunità di OSM. L'evento dura circa quattro ore e si concentra sulle basi della raccolta dati e modifica della mappa; è una sorta di

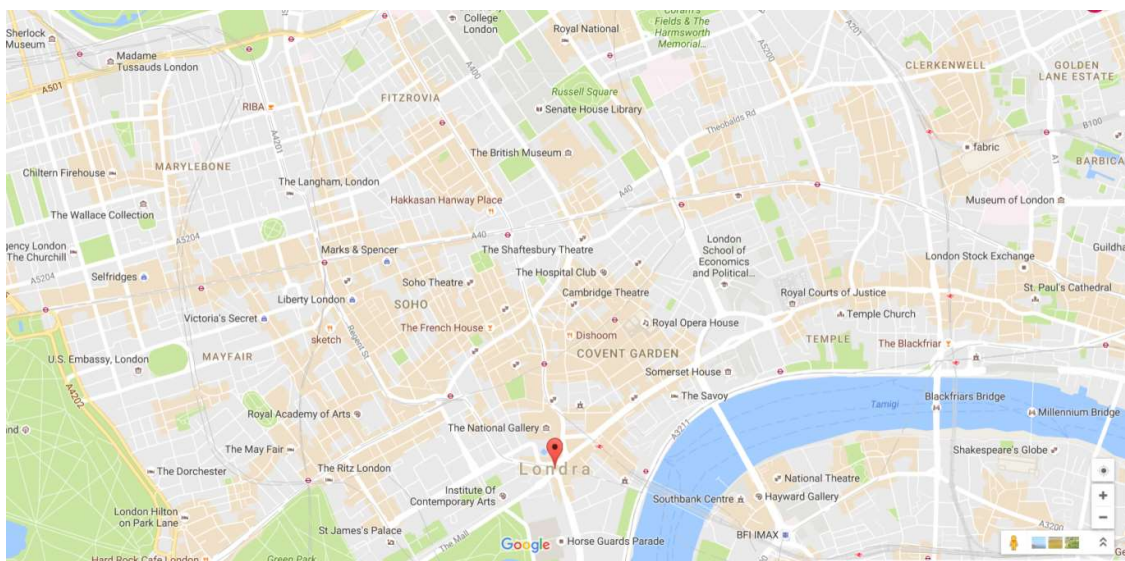


Figura 3: Londra, dati cartografici google, fonte: www.google.it

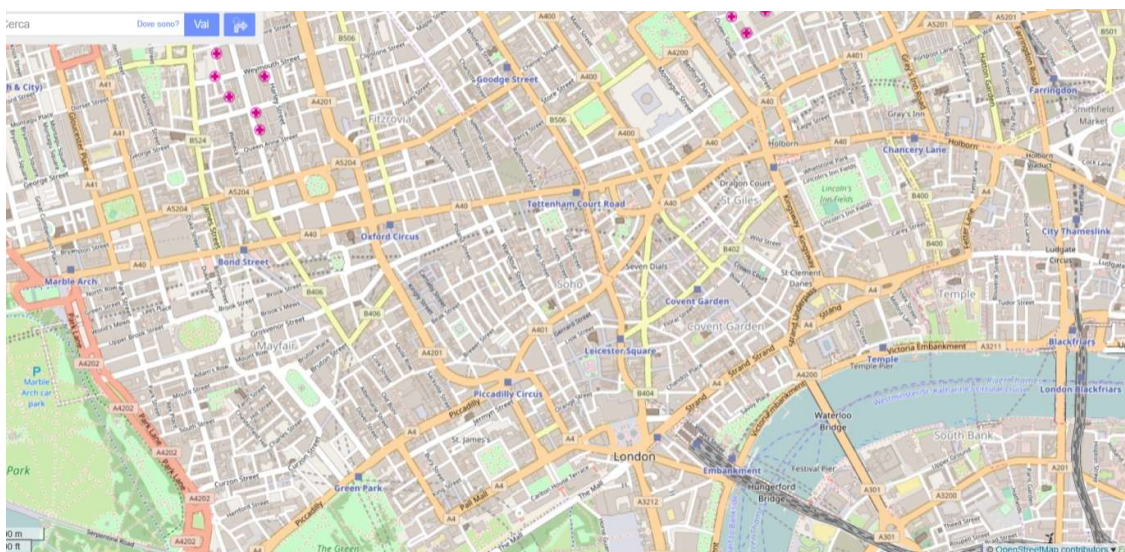


Figura 2: Londra, dati cartografici OpenStreetMap, fonte: www.openstreetmap.org

Gli individui partecipano ad OSM per svariati motivi, tra i principali ci sono le ideologie e le opportunità create dai dati geo-spaziali opensource. La tipologia di utenti varia da tecnici specializzati provenienti dal settore privato che desiderano mettere a disposizione del mondo le proprie conoscenze ad utenti che sono semplicemente appassionati dell'argomento e desiderano mappare il proprio quartiere, la propria città. OSM utilizza come base le immagini satellitari di Bing. Nelle emergenze, come è avvenuto per il terremoto di Haiti nel 2010 e, per non andare troppo lontani nel tempo e nello spazio, per il terremoto che ha colpito il

workshop nel quale i partecipanti creano un account utente OSM ed imparano a partecipare alla comunità di mappatura attraverso mailing list, social media e sito web.

centro Italia nell'Agosto del 2016, sono state messe a disposizione gratuitamente dalle agenzie preposte, immagini satellitari ad alta risoluzione del pre e post evento. Questa è stata una svolta decisiva che ha permesso alla comunità di OSM di aggiornare sulle mappe la situazione pre-evento e successivamente poter eseguire una valutazione dei danni confrontando la situazione mappata con le immagini satellitari del post evento. Tutto avviene, ovviamente in tempi ristretti, ad Haiti ci sono voluti solo due giorni per disegnare la mappa della città Port-Au-Prince; lavoro che in situazioni di non emergenza e senza il supporto dei volontari avrebbe richiesto circa un anno. Il tutto è sempre accompagnato da rilievi sul posto come verifiche dei lavori eseguiti on line.

OSM è una sorta di wikipedia delle mappe, disponibili con licenza Creative Commons, che permette a chiunque di utilizzarle, modificarle, migliorarle. Il progetto si focalizza su dati geografici divisi in diverse tematiche: le infrastrutture viarie – strade, sentieri, percorsi pedonali e ciclabili – i corsi d'acqua, gli elettrodotti, le diverse tipologie di alberi e così via. Una tematica riguarda anche i progetti umanitari che grazie all'aiuto degli utenti creano mappe in quei paesi poveri o con pochi mezzi che si rilevano utili sia per la popolazione nella quotidianità che in caso di emergenza. Esempio è il caso di Kibera una baraccopoli in Kenya che è stata completamente mappata su OSM, grazie al supporto di *ushahidi*, ed è uscita finalmente allo scoperto dal momento che, sulle mappe cartacee e di google, risultava come un grande parco nazionale privo di qualunque insediamento umano.

Ogni comunità mondiale di OSM si fa promotrice di un particolare progetto; la comunità italiana, ad esempio, ha l'obiettivo di costruire la cartografia per i piccoli comuni che non possono permetterselo (estratti.openstreetmap.it). OSM rappresenta quindi una svolta nel quale il consumatore ordinario può comprendere, accedere e modificare quei geo-dati che fino a qualche tempo fa erano patrimonio esclusivo di chi li creava. Si definisce un *crowdsourcing mapping*, una mappatura collaborativa da parte della "folla". Il vantaggio comparativo che OSM rivendica su altre mappe online è che gli utenti possono aggiungere qualunque dettaglio che sia di loro interesse da una pista ciclabile ad un percorso in un parco, un pozzo e tutti quei luoghi che google non riesce a raggiungere. Per modificare una mappa è necessario registrarsi gratuitamente al sito come membro ed iniziare le operazioni di editing online; si possono modificare le mappe anche offline e caricare successivamente i dati tramite programmi come *JOSM* o ancora tramite app android come *mapzen* che consente di

inserire luoghi di interesse che l'utente individua quando è in movimento. Tutto ciò che serve per entrare a far parte di questo mondo è: una connessione internet e un rilevatore GPS o smartphone dotato di GPS.

Il primo caso esemplare di applicazione di OSM si è verificato ad Haiti dove in seguito al terremoto del 2010 si sono movimentate squadre di volontari tecnologici da OSM ad Ushahidi e molte altre.

E in Italia? La comunità OSM è attiva in Italia soprattutto nelle grandi città. In Piemonte, ad esempio, la società dei trasporti utilizza i dati di OSM come base cartografica ed ha sviluppato *BUNET* (Bike Urban Network in Torino) un servizio di calcolo di percorsi per gli itinerari in bicicletta nella città di Torino. A Bergamo su OSM sono state mappate le attività commerciali e a Bari si sono utilizzate le mappe di OSM per il monitoraggio dei mezzi pubblici. Ciò che manca in Italia è il rapporto diretto tra OSM e le organizzazioni che si occupano delle emergenze come la protezione civile. In alternativa sta prendendo piede il progetto *Copernicus* (programma europeo di osservazione della terra) che monitora il nostro territorio e produce dati, da trasmettere alle organizzazioni umanitarie, ogni qualvolta che si verifica una variazione della crosta terrestre. Nel caso recente del terremoto che ha colpito Amatrice nell'Agosto del 2016, la comunità di OSM è riuscita ad aggiornare le mappe del luogo in un giorno solamente e, proprio questa rapidità ha suscitato l'interesse del progetto Copernicus che ha acquisito i dati di OSM e li ha ridistribuiti ai soccorritori. Non c'è stato quindi un passaggio diretto tra OSM e i soccorritori ma è stata necessaria la mediazione di Copernicus. Questo ultimo evento evidenzia ancor più l'assenza di un rapporto diretto tra le organizzazioni umanitarie come la protezione civile e la comunità di OSM che quindi produce un rallentamento nei soccorsi ed errori di valutazione.

Aspetti tecnici della piattaforma web OSM

Utilizzo della piattaforma OSM: per entrare a far parte della comunità OSM e collaborare al *mapping* di un'area è sufficiente registrarsi gratuitamente sul sito. A registrazione avvenuta ogni utente può fornire dati per un nuovo progetto in svariati modi: registrandoli con un ricevitore GPS e in seguito modificandoli con i vari editor a disposizione sia offline che online, digitalizzandoli da immagini satellitari oppure raccogliendo e rilasciando fonti pubbliche di dati geografici attuali. È necessario

conoscere la provenienza di tutti i dati utilizzati ed inoltre si deve fare attenzione alle licenze permissive che li accompagnano. OSM è una piattaforma open source ma potrebbe entrare in contrasto con alcuni dati a causa di restrizioni permissive di utilizzo.

Tre tipi di oggetti di OSM: i dati forniti dagli utenti si possono classificare secondo tre tipi di oggetti:

- *Node* (nodo o punto): fornisce informazioni sulla posizione di un punto riguardanti le coordinate di latitudine e longitudine;
- *Way* (insieme di nodi): è un insieme ordinato di nodi che possono chiudersi a formare un'area, un poligono o restare aperti. Solitamente hanno almeno un *tag* (edificio, strada o altre aree) e sono inclusi all'interno di una relazione.
- *Relations type* (relazioni tipo): definisce le relazioni grafiche e geografiche tra gli oggetti.

Ogni oggetto è ricco di informazioni aggiuntive utili alla sua identificazione e quindi, il numero di versione, la data della creazione e il nome dell'utente, la cronologia delle modifiche ecc. La creazione o modifica di un oggetto è definita editing e si può effettuare attraverso editor on line, direttamente sulla mappa oppure programmi o app che consentono di modificare la mappa e caricare successivamente i dati (Josm).

Profili di utenti di OSM: durante una crisi chi si avvicina al progetto di collaborative mapping, lo fa per svariati motivi. Ci sono quegli utenti che vogliono contribuire donando le proprie conoscenze ed esperienze nel campo del GIS e quindi si occupano di formazione, propaganda e verifica dei dati caricati sul sito dai mapper meno esperti. Altri che desiderano impegnarsi nel volontariato tecnologico e quindi si cimentano nelle operazioni di editing su OSM o, semplicemente individui curiosi che creano il proprio account ma non appongono nessuna modifica alla mappa. Nel periodo pre-emergenza, invece, gli utenti di OSM sono perlopiù singoli individui o gruppi di ricercatori universitari che mirano a creare una mappa libera e collaborativa del proprio paese in modo che questa possa essere utile in caso di emergenza, come è avvenuto a Kathmandu dove la comunità OSM era già cresciuta e si era diffusa nel momento in cui si è verificata l'emergenza del terremoto che quindi ha trovato un campo fertile sul quale agire.

Gli utenti si possono dividere in sei categorie:

- *New registered*: membri registratisi di recente, la categoria include anche quegli utenti che non hanno effettuato alcuna operazione di editing;
- *Nonrecurring Mappers*: membri che hanno effettuato meno di 10 operazioni di editing;
- *Mapper junior*: più di 10 e meno di 100 operazioni di editing;
- *Mapper Senior*: più di 100 e meno di 500 operazioni di editing;
- *Mapper Senior+* : più di 500 e meno di 2000 operazioni di editing;
- *Mapper Gold*: membri che hanno effettuato più di 2000 operazioni di editing.

Questi sono anche rappresentati su di una mappa (www.resultmaps.neis-one.org) in modo che chiunque voglia avvicinarsi al mondo di OSM può visualizzare quali utenti siano già attivi nella propria zona, le zone totalmente scoperte sulle quali poter operare e molto altro.

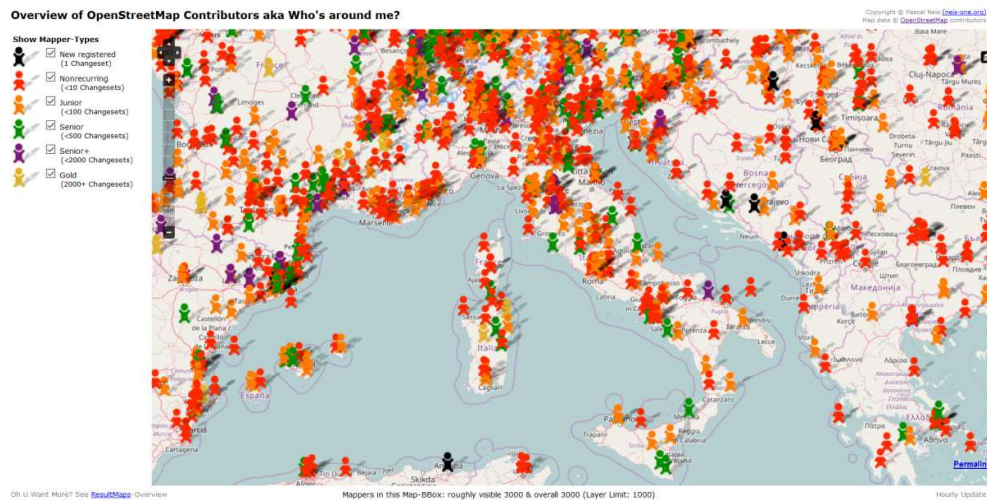


Figura 4: mappa che permette l'individuazione degli utenti di OSM in tutto il mondo.
Fonte: www.resultmaps.neis-one.org

1.4.2 Ushahidi

“La piattaforma Ushahidi è rivoluzionaria per le campagne sui diritti umani nel modo in cui Wikipedia è rivoluzionaria per le enciclopedie; si tratta di strumenti che consentono una cooperazione su vasta scala. Yochai Benkler descrive questo fenomeno come “peer production commons-based” (produzione paritaria basata sui beni comuni), e sostiene che essa ha un posto centrale nel ripensare la cooperazione economica e sociale nell’era digitale.”

Quando nasce	2008
Dove nasce	Kenya
Fondatore	Erik Hersman, Ory Okolloh, Juliana Rotich, David Kobia
Cos’è	Società no-profit a scopo umanitario
Software	Opensource
Licenza	LGPL (Licenza Pubblica Generica Attenuata)
Base dati	OSM, google

Ushahidi è un’azienda no-profit che sviluppa software open-source per la raccolta, visualizzazione e geolocalizzazione di informazioni. Il progetto Ushahidi è nato in Kenya e si è poi diffuso a livello internazionale per segnalare stati di emergenza e di crisi condividendo un flusso di immagini geolocalizzate e cioè collocate su una mappa interattiva. Ushahidi che in *swahilli* significa “testimone” nasce in una situazione di emergenza causata dagli episodi di violenze verificatisi in Kenya a seguito delle elezioni presidenziali di Dicembre 2007. La piattaforma kenyota è stata sviluppata e diretta da diversi blogger e sviluppatori software residenti in Kenya o in qualche modo legati al paese. È stata sviluppata sul framework *Kohana*¹⁰ ed è un mashup, una miscela, di due applicazioni internet per trasmettere informazioni in un modo visivamente convincente, intuitivo e semplice. Combina, quindi, Google Maps che permette agli utenti di visualizzare le immagini satellitari e, strumenti, quali smartphone e browser internet, che permettono di segnalare episodi di violenza, emergenza e quant’altro si voglia sulla mappa, con la possibilità di aggiungere foto, video e testi scritti che documentino l’accaduto. Fornisce inoltre l’opzione per

¹⁰ Kohana: è un open source, orientato agli oggetti framework web MVC costruito utilizzando PHP5 da un gruppo di volontari, che si propone di essere rapido, sicuro e di piccole dimensioni. Kohana è rilasciato sotto licenza BSD, in modo da poter essere legalmente utilizzato per qualsiasi tipo di open source.

utilizzare i dati di OSM ma richiede comunque le API¹¹ di Google Maps per la geocodifica.

Si basa sul paradigma del crowdsourcing rivolto all'attivismo sociale e alla responsabilità pubblica e apre la strada al modello dell'*activist mapping* ossia la combinazione di attivismo sociale, citizen journalism, ossia un giornalismo partecipativo e libero e, informazione geospaziale.

In seguito al suo sviluppo iniziale in Kenya, Ushahidi è stata (e lo è tutt'ora) utilizzata in diverse occasioni: in sud Africa per tenere traccia degli episodi di xenofobia, in Congo per mappare episodi di violenza, in Kenya, Uganda e Zambia per mappare l'inventario dei farmaci a disposizione in modo da prevenirne il loro esaurimento, per assistere i soccorritori dopo il terremoto di Haiti del 2010, per documentare le violenze a Gaza ecc.

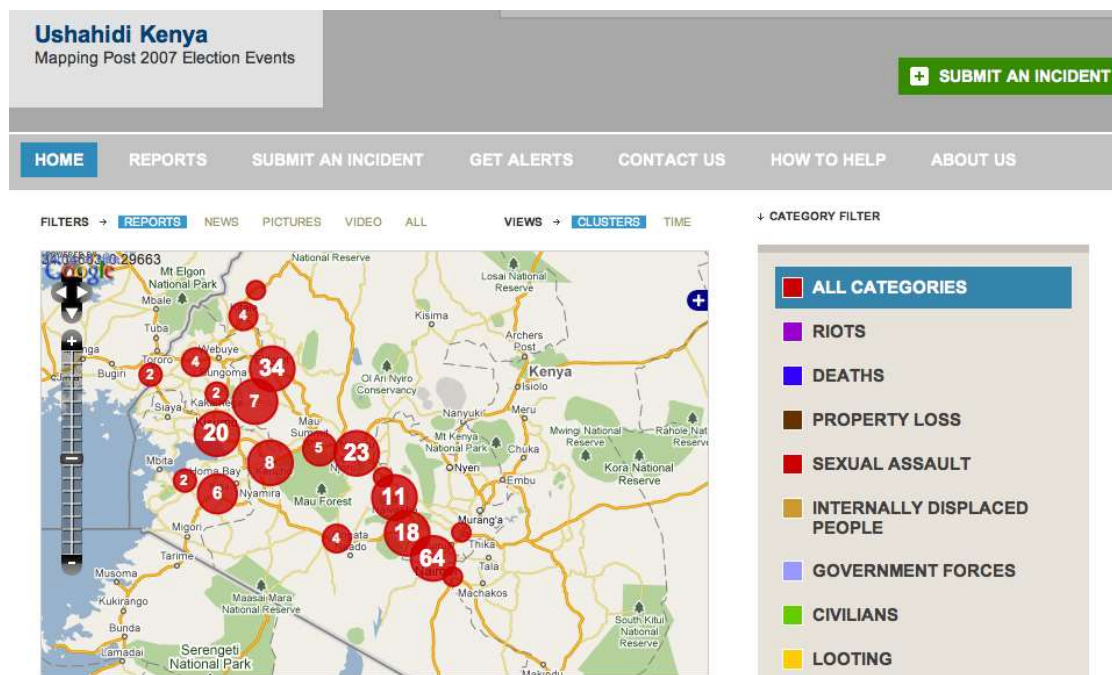


Figura 5: crisis map Kibera Ushahidi – Post-election 2007. Le sfere rosse con i relativi numeri indicano la geolocalizzazione e la quantità degli *alert*.

Altre piattaforme che completano e supportano Ushahidi sono:

- *CrowdMap*¹² pubblicata nel 2010 per raccogliere informazioni relative ad eventi di crisi, un suo utilizzo importante ha riguardato la protesta anti tagli di

¹¹ API: Interfaccia di Programmazione di un'Applicazione in informatica.

¹² Crowdmap: è stato progettato e costruito dalle stesse persone che curano Ushahidi, una piattaforma che è stata originariamente costruita per il crowdsourcing. Allo stesso modo in cui la piattaforma si è evoluta, si sono evoluti i suoi usi. Crowdmap consente di impostare la mappa di Ushahidi, senza dover installare la piattaforma sul proprio server web.

Londra del 2011. Questo sito web (crowdmap.com) facilita la pubblicazione di una mappa di Ushahidi perché non richiede l'installazione di altri software ma sfrutta le sue stesse programmazioni di base.

- *SwiftRiver* è una suite di prodotti di raccolta e analisi di dati in tempo reale che aiuta gli utenti ad estrarre una grande quantità di dati in tempi ristretti. Nasce dall'esigenza di sopperire alla difficoltà di gestire la grande quantità di dati che affluiscono nelle piattaforme web nel momento in cui si verifica una situazione di emergenza.

Oggi Ushahidi è una società no-profit che sviluppa software liberi per la raccolta, la visualizzazione e la rappresentazione di informazioni su cartografie interattive. Collegandosi al sito www.ushahidi.com è possibile creare la propria *crisis map* e metterla online in modo che, chiunque, tramite il sito stesso, l'app per android o I-phone, sms, e-mail, tweet, possa accedervi e fare le proprie segnalazioni o semplicemente visualizzare quelle già fatte da altri utenti. È quindi un programma estremamente versatile che mira a monitorare e, rendere disponibili, in tempo reale informazioni geo-localizzate. È prevista, inoltre, un'interfaccia di *backoffice* per inserire le segnalazioni ricevute telefonicamente, oltre che per validare le diverse segnalazioni fatte tramite email o web, e c'è la possibilità di ricevere via email o Sms un messaggio che avverta del verificarsi di un evento ad una determinata distanza da una posizione prefissata, permettendo di mantenere allertati, ad esempio, giornalisti o unità di soccorso come la protezione civile.

Ushahidi desidera mostrare al pubblico, con le sue mappe interattive, il vero significato umano esistente dietro i numeri tant'è vero che si può considerare questa piattaforma rivoluzionaria nell'ambito delle campagne per i diritti umani nel mondo nello stesso modo in cui Wikipedia è rivoluzionaria per le enciclopedie.

E in Italia? La prima esperienza riguardante Ushahidi in Italia è stato il lancio della prima crowdmap *Open Foreste Italiane* nel 2010 che ha permesso la diffusione del crowdmapping in Italia diffondendone la conoscenza e il potenziale di Ushahidi. Questa aveva lo scopo di prevenire gli incendi boschivi elencando e geolocalizzando informazioni utili a tale scopo. Sebbene l'esperienza non abbia avuto successo in merito allo scopo preposti merita di essere citata perché è il primo caso in cui la piattaforma viene utilizzata come prevenzione di un rischio e quindi in una condizione pre-evento. Questo ci aiuta a comprendere l'importanza della tecnologia web 2.0 e

delle possibilità che può offrirci nel campo della prevenzione dei rischi naturali. Ushahidi è stata successivamente utilizzata in diverse applicazioni sia pubbliche che private ed in particolare dagli enti della protezione civile. Di rilievo è anche l'esperienza di Mirafiori sud una borgata storica di Torino dove un gruppo di ricercatori del politecnico ha coinvolto i cittadini in un crowdmapping utilizzando la piattaforma Ushahidi. In un contesto pacifico i cittadini sono stati invitati a segnalare le barriere architettoniche che incontravano ogni giorno sui propri percorsi. Lo scopo finale di queste segnalazioni era quello di pianificare degli interventi di miglioramento ponendo cittadini e pubblica amministrazione sullo stesso livello di responsabilità. Tra le altre iniziative che hanno utilizzato la crisis map di Ushahidi in Italia c'è "rifiutiamoci", progetto del 2010 per costruire una mappa dei rifiuti a Napoli.

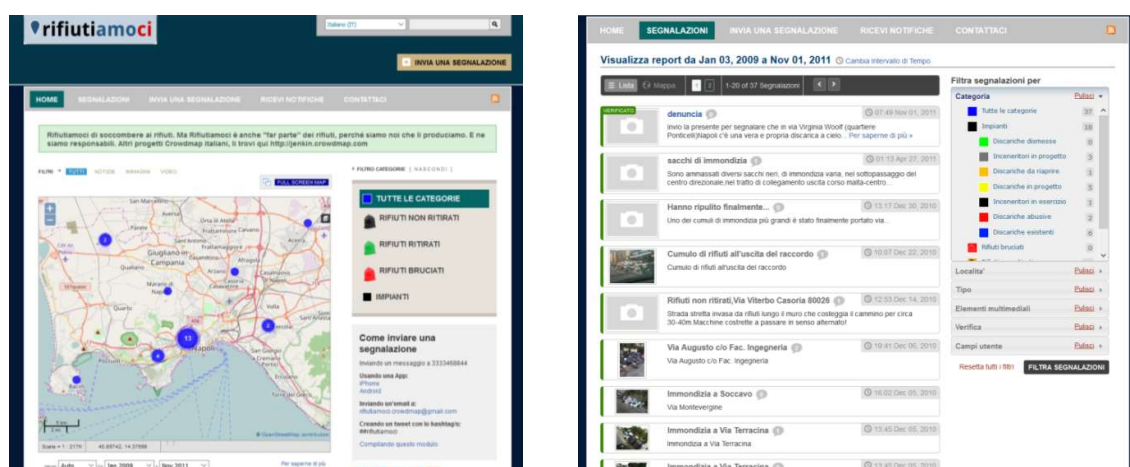


Figura 6: progetto di crowdmapping sulla localizzazione dei cumuli di immondizia a Napoli. A sinistra si può vedere la mappa di Napoli con la geolocalizzazione delle segnalazioni effettuate mentre a destra le segnalazioni in formato di testo (ricevute via SMS o e-mail) correlate, in alcuni casi, di documentazione fotografica. Fonte: www.rifiutiamoci.crowdmap.com

Le esperienze italiane hanno riguardato, quindi, non situazioni di emergenza umanitaria come può essere un terremoto o la violenza post elettorale del Kenya ma situazioni riguardanti la vita quotidiana di un cittadino e quindi il monitoraggio dei rifiuti a Napoli, la segnalazione delle barriere architettoniche e se ne potrebbero creare tante altre ancora. Questo, a dimostrazione che i cittadini hanno voglia di fare qualcosa per migliorare le proprie città, per renderle più sicure e più pulite ma, lo fanno, solamente se sono invitati a farlo. Le mappe generate con Ushahidi sono semplici ed intuitive, comprensibili da tutti ed inoltre, chiunque può inviare segnalazioni. È uno strumento gratuito che può essere sfruttato a favore delle città e dei suoi abitanti.

Aspetti tecnici della piattaforma web Ushahidi

Il supporto di crowdfmap

La piattaforma Ushahidi consente di creare mappe mediante l'intermediazione di *crowdfmap* collegandosi al sito www.crowdfmap.com. Questo ci consente di avere una mappa interattiva sulla quale poter visualizzare tutte le segnalazioni fatte, poterle "esplorare" usando criteri temporali, attraverso una *timeline* dinamica, impostando le date di inizio e di fine del periodo che ci interessa ed infine, visualizzare in tempo reale il succedersi degli eventi. Le segnalazioni possono anche essere esportate in formato csv, per poterle utilizzare in altri ambiti o analizzare i dati e produrre report.

Creazione della mappa: questa operazione è molto semplice e rapida dal momento che non necessita dell'installazione di alcun programma. Il sito crowdfmap.com permette di sfruttare il proprio settaggio preimpostato per "lanciare" la mappa della piattaforma Ushahidi ed iniziare a raccogliere segnalazioni. È necessario registrarsi gratuitamente inserendo i propri dati, il proprio indirizzo e-mail e il nome della *crowdfmap* che si vuole creare specificandone il tema. A questo punto bisogna informare quanto più possibile dell'esistenza di questa mappa in modo da ottenere la massima partecipazione. L'informazione può passare attraverso diversi canali tra cui Facebook (creando una pagina), Twitter (creando un *@account* o *#hashtag*), stampa e blog.

Segnalazioni: le segnalazioni possono essere effettuate da chiunque si trovi in possesso di un cellulare dotato di connessione internet e segnale GPS (in alcuni casi non sono neanche necessari) o di un computer. Queste segnalazioni, attraverso un lavoro di *back-office* e in base al canale di provenienza saranno poi verificate e, confermate se veritiere o, annullate se considerate dei *Fake*. Generalmente la veridicità viene confermata con delle foto che testimoniano ciò che si scrive o mediante la presenza di più segnalazioni riportanti lo stessa situazione. Quindi i canali per le segnalazioni sono:

- **E-mail:** inviando una mail all'apposito indirizzo, correlata di foto e informazioni aggiuntive.
 - **Back-office medio:** i curatori del sito si occuperanno di creare la segnalazione con la relativa localizzazione.
- **SMS:** inviando un SMS al numero utilizzato per la crowd map.

- **Back-office elevato:** i curatori del sito si occuperanno di creare la segnalazione con la relativa localizzazione. È più complicato stabilire la veridicità di un SMS che non contiene documentazione fotografica ed inoltre, ha un testo ridotto.
- **Web:** compilando il form online sul quale è possibile inserire direttamente tutte le informazioni utili a descrivere la situazione: foto, video e link di articoli di giornale e inserire l'indirizzo e quindi geotaggarli.
 - **Back-office ridotto:** i curatori del sito dovranno solo verificare ed approvare la segnalazione.
- **Mobile Apps:** versioni per android, iOS e Java. Si accede all'applicazione e si caricano direttamente foto e testo riguardanti la segnalazione che verrà automaticamente geolocalizzata.
 - **Back-office ridotto:** i curatori del sito dovranno solo verificare ed approvare la segnalazione.
- **Twitter:** scrivendo un tweet con l'hashtag stabilito; crowdmap è in grado di generare un messaggio per ogni tweet che avrà già la sua localizzazione.
 - **Back-office ridotto:** i curatori dovranno solo verificare ed approvare la segnalazione.

1.4.3 Haiti

“Quello del 12 gennaio 2010 ad Haiti è stato il terzo terremoto più catastrofico della storia, provocando in una piccola parte dell'isola quasi lo stesso enorme numero di vittime che lo tsunami del dicembre 2004 aveva causato in un'area vastissima (dall'Indonesia alla Somalia).”

[Unicef]

<i>Località</i>	Stato caraibico di Haiti
<i>Tipologia di evento</i>	Calamità naturale - Terremoto
<i>Data</i>	12 Gennaio 2010
<i>Piattaforme open source</i>	OSM, HOT, Ushahidi, Sahana, CrisisCommons ecc
<i>Piattaforme commerciali</i>	Google Mapmaker, DigitalGlobe GeoEye ecc.
<i>Social</i>	Facebook, Twitter

Il 12 Gennaio del 2010 un devastante terremoto di magnitudo 7.0 ha colpito lo stato caraibico di Haiti. È considerato tra i più disastrosi terremoti del XX e XXI secolo che in meno di un minuto ha abbattuto circa il 20% del patrimonio edilizio di maggior rilievo di Port-au-Prince (città capitale), provocato la morte di circa 200 mila persone e lasciato oltre un milione di persone senza tetto.

Questo evento si può considerare il punto di partenza per un'inversione di marcia nel mondo del digitale passando da dati cartografici privati e difficilmente accessibili a dati tele rilevati aperti e disponibili per tutti; un'occasione per mettere in pratica e verificare tutti quegli studi (portati avanti dal 2004 nei *mapping-parties*, conferenze ecc.) che fino a questo momento erano sostanzialmente rimasti degli ideali.

Situazione pre-evento

Il periodo precedente al terremoto di Haiti (2008-2009) è stato un periodo di grande innovazione e immaginazione nel campo della tecnologia legata al lavoro umanitario. I social media e il mobile computing si stavano diffondendo sempre più, diventando strumenti comuni accessibili da chiunque ne avesse interesse tanto che potenziali attivisti iniziavano a immaginare quali nuove possibilità potevano prospettarsi per il volontariato digitale basato sugli open data e sulle VGI. Alcuni gruppi iniziarono a riunirsi in svariate sedi per lavorare sulle loro idee con riunioni di *brainstorming*. Nel 2009 si tennero i primi eventi di *crisis camp* che ospitarono numerosi volontari

interessati al “civic hacking”¹³ e, nello stesso anno con la prima conferenza internazionale di *crisis mapper* inizia a svilupparsi una comunità sempre più attiva. Le idee e le connessioni create durante questi eventi hanno destato l’interesse delle comunità GIS ed in particolare della comunità OSM che iniziò ad indagare sul possibile supporto degli open data geospaziali creati attraverso il crowdsourcing e altri metodi partecipativi come risposta ad un’emergenza. OSM nata nel 2004 non era stata ancora applicata in modo organizzato come supporto agli aiuti umanitari e il terremoto di Haiti del 2010 getta le prime basi per la crescita di questi tecnici umanitari.

OSM principale piattaforma web utilizzata

La comunità OSM: solo poche ore dopo il terremoto la comunità OSM inizia il suo lavoro. Questa poté subito constatare che la gran parte dei dati spaziali disponibili per l’area colpita erano perlopiù formati inaccessibili da parte degli utenti GIS o, non erano sufficientemente dettagliati per poter supportare il coordinamento dell'emergenza. La mappa OSM, tra l’altro, presentava sulla zona colpita dal sisma solo una parte della rete stradale e altre importanti mappe disponibili online erano ancor meno dettagliate. C’era la chiara esigenza di una mappa base che riportasse la situazione pre-evento in modo da poter eseguire successivamente le analisi dei danni.

Collaborazione: in poche ore DigitalGlobe, GeoEye e altri, hanno messo a disposizione con licenze permissive, immagini satellitari ad alta risoluzione riguardanti il pre e post-evento.

Coordinazione: le attività di OSM ad Haiti sono state coordinate tramite mailinglists esistenti, IRC¹⁴ e la pagina *wiki* su Haiti. Tramite queste pagine si potevano dare indicazioni per modificare le mappe, esporre problemi, segnalare emergenze ecc.

L’attività online: grazie alle immagini satellitari messe a disposizione volontari tecnologici della comunità provenienti da tutto il mondo hanno iniziato a mappare

¹³ Civic hacking: insieme di pratiche e tecniche per utilizzare dati e strumenti già disponibili in maniera da renderli più utili e semplici da utilizzare. I civic hacker modificano i dati contenuti in formati chiusi nei siti internet istituzionali (pdf o post frammentati provenienti da social network), li rielaborano e li diffondono in rete in formato aperto in modo che siano funzionali alle esigenze della comunità.

¹⁴ IRC: International Rescue Committee - comitato di salvataggio internazionale.

l'area. Sono state utilizzate anche mappe storiche della CIA¹⁵. Si sono digitalizzate principalmente strade ed edifici ma si è anche tentato di identificare i danni alle infrastrutture e la localizzazione degli accampamenti d'emergenza improvvisati allestiti dagli Haitiani. Le informazioni digitalizzate in questo modo sono state subito convertite in formati compatibili con le varie applicazioni GIS e, si sono sviluppati una serie di servizi web e di prodotti destinati a facilitare la digitalizzazione delle immagini o l'utilizzo dei dati OSM.

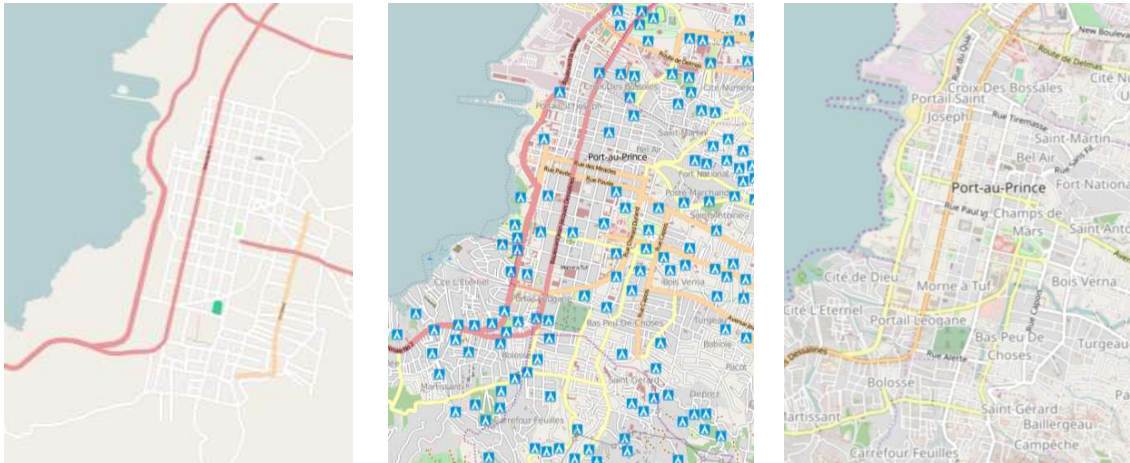


Figura 7: in sequenza le mappe di OSM su Port-Au-Prince: la prima riguarda la situazione pre terremoto, la seconda la situazione al 29 Gennaio 2010 e l'ultima la situazione attuale a Dicembre 2016. Fonte: <http://www.openstreetmap.org>; www.hotosm.org

Criticità tecniche della digitalizzazione online: le mappe di OSM digitalizzate in questo modo presentavano più dettagli di entrambi i dataset di mappe comunemente utilizzate in quel periodo dall'UN e Google Maps. In soli due giorni, infatti, erano state registrate ben 400 sessioni di *editing* su OSM che avevano condotto a mappe molto dettagliate. Nonostante ciò, presentavano delle criticità. Erano state create mediante digitalizzazione delle immagini satellitari quindi, erano composte da una serie di geometrie (sicuramente ben fatte) che rappresentavano strade ed edifici ma senza nessun riferimento toponomastico (nomi delle strade, degli edifici più importanti e così via). Questo era dovuto al lavoro a distanza fatto dai volontari che non conoscendo il luogo potevano solo limitarsi a segnalare ciò che era visibile dalle immagini satellitari. Erano necessarie delle missioni "a terra" per arricchire e perfezionare il lavoro della comunità OSM.

¹⁵ CIA: Central Intelligence Agency

Lavoro “a terra”: la mappa di OSM era diventata la mappa più dettagliata delle zone colpite dal sisma. Molti utenti GIS tra cui OCHA¹⁶ e UNICEF, organizzazioni fortemente coinvolte nell'emergenza di Haiti, hanno utilizzato i dati di OSM. Questi dati sono stati anche utilizzati nella *LogBase*, la base logistica della Nazioni Unite per il coordinamento delle operazioni di emergenza, allestita nei pressi dell'aeroporto internazionale. Per sopperire alle carenze toponomastiche delle mappe OSM, la IOM¹⁷ ha finanziato un progetto che fin da Febbraio 2010 ha permesso a geometri e topografi di aggiungere i nomi delle strade. Inoltre, sono stati memorizzati in *Garmin*¹⁸ i dati di OSM per fornire supporto alla navigazione e, progetti come *Ushahidi* utilizzano OSM come *basemap* e come assistenza nel geotagging di indicazioni sugli incidenti provenienti via SMS o Twitter. Gran parte del lavoro “a terra” per OSM è stato portato avanti da HOT.

HOT: Humanitarian OSM Team, è il team a scopo umanitario di OSM. Al momento del sisma era ancora un'organizzazione informale che, solo a fine Marzo 2010, grazie ai finanziamenti derivanti dalla World Bank e dalle MapAction, riesce a lanciare la sua prima missione di campo ad Haiti. Il suo compito è stato sostanzialmente quello di aiutare le organizzazioni, gli enti di governo di Haiti e i gruppi della società civile ad utilizzare OSM.

Inserimento nella LogBase: la squadra HOT ha dovuto effettuare un duro lavoro per costruire fiducia all'interno della base logistica. Qui, quasi nessuno conosceva OSM ed inoltre sembrava che ogni organizzazione lavorasse per conto proprio senza nessun tipo di coordinamento ed eseguendo, in alcuni casi, studi sugli stessi argomenti ma senza nessuna collaborazione. Si rischiava in questo modo di sprecare tempo eseguendo analisi già fatte ma di cui non si riuscivano ad avere informazioni. HOT, una volta ottenuto il suo spazio di lavoro marginale, nella stessa sede IOM, inizia a lavorare per guadagnare la fiducia degli altri utenti GIS presenti nel campo. Organizza numerosi incontri, i tipici *MappingParties*, per divulgare e attirare a se un numero sempre maggiore di volontari i quali venivano forniti di un *kit hardware*: valigette contenenti un computer portatile, dispositivi GPS, stampanti

¹⁶ OCHA: Office for the Coordination of Humanitarian Affairs – Ufficio per il coordinamento degli affari umanitari.

¹⁷ IOM: Organizzazione Internazionale per le Migrazioni.

¹⁸ Garmin: è il leader mondiale nella tecnologia GPS per l'automotive, la nautica, l'aviazione, lo sport, il fitness e l'outdoor. Utilizza le mappe di OSM.

portatili e chiavette USB nelle quali erano stati precedentemente caricati software e dati OSM in modo che le sessioni potevano essere eseguite anche senza accesso ad internet. Ciò ha alimentato la consapevolezza di OSM tra la comunità GIS attiva ad Haiti e ha permesso di identificare dei *leader* all'interno del lavoro di risposta all'emergenza. Questo lavoro ha inoltre permesso di intraprendere discussioni tecniche circa le priorità di raccolta dati della comunità GIS, questione molto importante per lo sviluppo del database di HOT: HDM Humanitarian Data Model; un modo standardizzato di raccolta e condivisione dei dati da utilizzare per facilitare gli approcci collaborativi del *mapping* di Haiti.

Coinvolgimento dei civili: alla fine di Marzo del 2010 si è tenuto il primo *MappingParties* che ha avuto i civili come protagonisti. L'obiettivo primario di HOT era proprio quello di lavorare con i civili haitiani in modo da accrescere la partecipazione locale ad OSM e conservarla nel tempo. Sulla base di ciò che era accaduto qualche anno prima con il progetto *MapKibera* a Nairobi il team ha lavorato per costruire connessioni a Cité Soleil, comune francese estremamente povero e densamente popolato situato nell'area metropolitana di Port-Au-Prince in Haiti. Sono stati formati civili all'utilizzo di OSM e alcuni di questi hanno poi supportato HOT per la formazione di Haitian Kreyol¹⁹ andando ad ampliare ancor più la comunità.

Rapporti importanti e finanziamenti: fin dall'arrivo nella *LogBase* di Haiti HOT aveva stretto dei rapporti importanti con IOM. Nel momento in cui diverse unità IOM iniziano a manifestare interesse per la piattaforma OSM ritenendo che questa potesse sostenere i loro lavori, si instaura un rapporto contrattuale tra i due. Ad Agosto 2010 quindi, grazie ad i finanziamenti di IOM, HOT intraprende una missione a Port-Au-Prince. La missione prevedeva la partecipazione dei civili ai quali si richiedeva di mappare le infrastrutture critiche presenti nel campo; questo lavoro sarebbe stato poi, di supporto a IOM, nella gestione dei campi degli sfollati. IOM inoltre assunse a tempo pieno 21 mapper haitiani provenienti dalla comunità HOT di Cité Soleil. Fino a questo momento, i finanziamenti per HOT erano stati erogati da gruppi di terze parti che volevano fornire supporto amministrativo alla squadra. Nell'Agosto del 2010 HOT viene riconosciuta come organizzazione umanitaria non-profit con sede negli USA e in seguito incorpora anche COSMHA²⁰.

¹⁹ Haitian Kreyol: lingua kreola a base di francese utilizzata dalla maggior parte degli haitiani.

²⁰ COSMHA: comunità umanitaria OSM di Haiti

Il modello HOT: nell'Ottobre del 2010 si presenta la possibilità di dimostrare praticamente il modello che HOT in collaborazione con IOM e COSMHA prevedeva. In Haiti si sviluppa l'epidemia del colera e da subito si teme per la sua diffusione. HOT, grazie ai suoi rapporti con IOM, era al corrente della gravità della situazione dal momento che poteva indirettamente partecipare a molte conversazioni interne. Inizia, quindi, a ri-focalizzare e sostenere la squadra di mapping sul problema. Questa voglia di HOT di contribuire all'emergenza si può considerare una mossa strategica per posizionare OSM al centro di quella che sembrava essere una sfida importante nel campo delle risposte all'emergenza.

Svolta importante: il team nei mesi precedenti alla diffusione dell'epidemia aveva registrato risultati importanti in termini di mappatura ma, quello che si richiedeva in quel momento era l'individuazione delle strutture di cura per il colera. Si doveva cambiare rotta e modo di agire. Invece di lavorare con i residenti dei campi per mappare aree prevalentemente urbane, i mapper iniziano a spostarsi con motociclette e minibus nelle zone rurali. Il team IOM Mapping venne incaricato di fornire una lista settimanale aggiornata delle infrastrutture di cura per il colera. Questi lavori, a fronte della nuova crisi, hanno mostrato la validità del modello di HOT e cioè che gli attori locali con un'adeguata assistenza tecnica e con risorse sufficienti potrebbero assumere un ruolo guida nelle attività di *Crisis Mapping* in Haiti (e non solo).

Espansione di OSM: grazie a questa esperienza HOT e i suoi collaboratori hanno assunto maggiore visibilità e credibilità. Ciò ha portato all'assunzione di altri mapper che hanno raddoppiato la dimensione del team e consentito la realizzazione di uffici satellite in altre tre città di Haiti. Si sono aggiunti nuovi volontari che hanno partecipato a sessioni di formazione OSM le quali, nel giro di pochi mesi (tra Gennaio e Marzo 2010) hanno portato alla realizzazione del rilevamento base per ben 31 comuni. Il tutto ha portato anche ad un dislocamento geografico che si è mostrato difficile da gestire per IOM e COSMHA ed inoltre il calo dei finanziamenti umanitari e il cambio di gestione di IOM hanno portato ad incrinature nel rapporto tra i tre conclusosi nel Giugno del 2011. Da quel momento, tuttavia, OSM si è fortemente affermata in Haiti grazie al sostegno di altre organizzazioni di volontariato.

Risultati ottenuti: la comunità esistente di OSM che da remoto ha contribuito (maggiormente nella parte iniziale) all'arricchimento dei dati delle mappe ha potuto

constatare l'utilità del lavoro svolto come supporto alle organizzazioni umanitarie e di soccorso accrescendo il valore dell'ideologia degli *opendata*.

I soccorritori a lavoro negli accampamenti hanno utilizzato OSM perché era *opensource* e offriva alternative particolari alle altre mappe.

Il lavoro di HOT ha portato le organizzazioni e le persone ad interessarsi alle mappe e all'idea di *crowdsourcing mapping*.

HOT ha continuato a sviluppare un nuovo software in risposta all'esperienza fatta in Haiti:

The HOT Tasking Manager: “è uno strumento di mappatura progettato e sviluppato per la mappatura collaborativa dell'Humanitarian OSM Team. Lo scopo dello strumento è suddividere un lavoro di mappatura in compiti più piccoli che possono essere completati rapidamente. Mostra quali aree hanno bisogno di essere mappate e quali necessitano di convalida della mappatura.” Consente ad ogni utente di riservare particolari sezioni della mappa e lo strumento di esportazione di HOT facilita e velocizza le operazioni di esportazione di determinate parti del database generale di OSM. Questi software hanno avuto grande utilizzo nei progetti successivi di HOT in molte parti del mondo.

Altre piattaforme web utilizzate

Ushahidi: ha collaborato all'emergenza di Haiti creando *haiti.ushahidi.com* sito che presenta delle tracce importanti per le operazioni di ricerca e salvataggio delle popolazioni di Haiti e mantenuto attivo da alcuni volontari di Boston. Poche ore dopo il sisma è stata lanciata la crisis map ed è stato istituito un numero per inviare gratuitamente SMS che riportassero situazioni di emergenza o segnalazioni importanti. Questi messaggi venivano monitorati dai volontari e quelli più importanti e fondati venivano posizionati sulla mappa in modo da averne una immediata diffusione. Le mappe create per *haiti.ushahidi* hanno come base i dati di OSM ed è quindi di facile intuizione l'importanza del coordinamento tra i due. OSM su Port-Au-Prince è stato aggiornato in soli due giorni ed ogni singola modifica era disponibile online e, quindi, di chiunque volesse farne uso, nel momento stesso in cui veniva eseguita. Nel momento in cui un volontario di OSM chiudeva una sessione di editing questa modifica veniva visualizzata sulla *crisismap* di ushahidi che veniva ulteriormente integrata con le segnalazioni provenienti da SMS, *tweet* ecc. La

crisismap di *haiti.ushahidi* è diventata una mappa dinamica con circa 2000 segnalazioni aggiunte durante l'intero progetto.

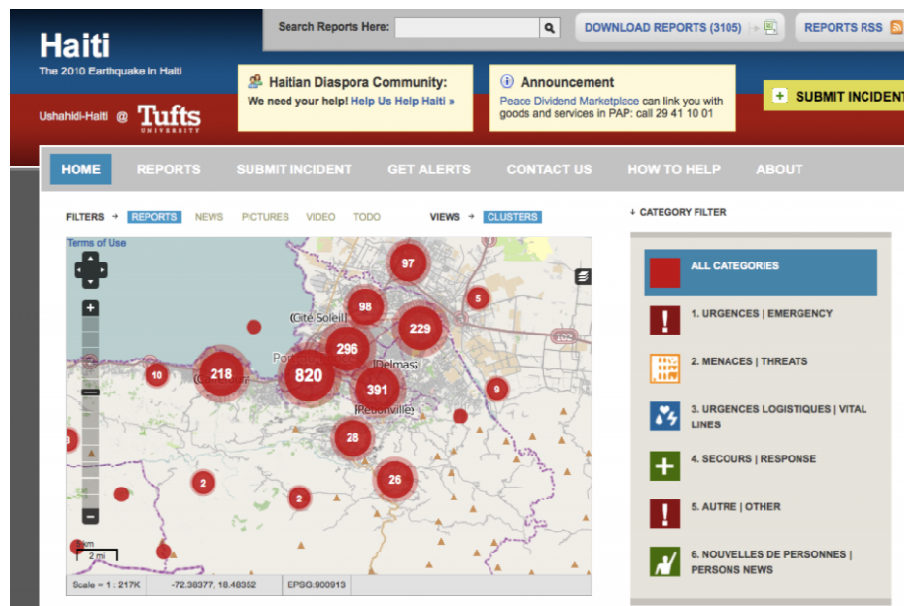


Figura 8: Ushahidi crisis map di Haiti

Google MapMaker: ha attuato diversi progetti su Haiti riguardanti la mappatura e ha rilasciato gratuitamente i dati cartografici della nazione. *MapMaker* è uno strumento online che consente a chiunque di aggiornare le mappe di un territorio. Nasce con lo stesso obiettivo di OSM ossia utilizzare volontari online per creare mappe indispensabili ad Haiti. E' *open-source* ma i suoi dati non sono cumulabili con quelli di OSM a causa di vincoli di licenza. L'uso commerciale dei dati è vietato in *MapMaker* che inoltre non fornisce nessun accesso programmatico ai dati. Google *MapMaker* sarà ritirato dal commercio a Marzo 2017.

1.4.4 Kibera

“Rendere visibile l’invisibile”

[Conneally]

<i>Località</i>	Kibera, Nairobi (Kenya)
<i>Tipologia di evento</i>	Emergenza a carattere antropico: violenza post-elettorale
<i>Data</i>	2007/2008
<i>Piattaforme open source</i>	Ushahidi, OSM
<i>Piattaforme commerciali</i>	Google Maps
<i>Progetti</i>	Map Kibera, Voice of Kibera
<i>Social</i>	Facebook, Twitter

Kibera è una grande baraccopoli situata nella capitale del Kenya, Nairobi. E' uno dei più grandi quartieri poveri africani che prima dell'esperienza del 2008 era praticamente invisibile su qualsiasi mappa e, al suo posto era rappresentato un rigoglioso parco nazionale. Nel caso di Kibera tecnologie di rete digitali sono state un catalizzatore per due comportamenti contrastanti: la violenza di massa su base etnica e le campagne per i diritti umani. Questa esperienza ci mostra quindi che l'utilizzo della tecnologia può portare anche ad aumentare la facilità di diffusione di discorsi di odio e incrementare le divisioni etniche. Infatti, a Kibera la tecnologia è stata utilizzata sia per diffondere le notizie nel mondo che per diffondere odio e violenza tramite SMS inviati ai cittadini subito dopo l'elezione del nuovo presidente.

Contesto

In Africa nonostante siano stati fatti enormi progressi verso la democrazia, la lotta alla dittatura è tutt'altro che risolta. Infatti, in diversi paesi, ci sono perlopiù democrazie travestite da dittature come, ad esempio, in Uganda dove il presidente ha modificato la costituzione vigente per estendere il suo mandato per la terza volta. In questo contesto iniziano a svilupparsi nuove forme di indipendentismo, come il citizen Journalism o emittenti radio come ad esempio *Independent Voice dello Zimbabwe*, che nascono dalla voglia di diversi individui, che siano giornalisti o semplici cittadini, di documentare al mondo intero quello che accade nel proprio paese da un punto di vista diverso da quello dei media pilotati dal governo.

Fattore scatenante: le elezioni presidenziali del Dicembre del 2007 in Kenya scatenarono non poche polemiche. Kibaki vince le elezioni, con un piccolo margine

di maggioranza e, contrariamente a ciò che si pronosticava e ai voti pervenuti che inizialmente segnalavano un netto vantaggio (di circa un milione di voti) del candidato dell'opposizione Odinga. Questa vittoria ha iniziato a destare sospetti tra la popolazione e, infatti, dopo l'annuncio della vittoria di Kibabi è stata ordinata l'interruzione di tutte le dirette televisive e radiofoniche e il paese è esploso nella violenza. Fu un escalation di violenza con scontri maggiori tra polizia e manifestanti nella baraccopoli di Kibera.

Nuove tecnologie per rispondere all'emergenza

Per rispondere a questa emergenza di carattere antropico i kenyoti hanno utilizzato le nuove tecnologie a loro disposizione attivando campagne di SMS per promuovere la violenza, blog online per impugnare la tradizionale narrazione dei media che, in quel momento erano estremamente pilotati e, campagne online per promuovere la consapevolezza delle violazioni dei diritti umani. Kibera è ricca di NGO ed è una comunità molto attiva e conosciuta nel mondo ma fino a questo momento era rimasta invisibile sulle mappe cartografiche.

Ushahidi: agli inizi di Gennaio del 2008 come risposta a questi eventi, un gruppo di Kenyoti di Nairobi e dei dintorni lanciò Ushahidi, la più importante campagna civica online per attirare l'attenzione locale e globale sulle violenze in corso nel loro paese. I giovani residenti a Kibera quindi, con semplici dispositivi portatili dotati di GPS e con smartphone per l'invio di SMS si sono letteralmente posizionati sulla mappa segnalando qualsiasi situazione per loro importante. Informazioni in tempo reale venivano continuamente caricate via twitter e SMS sulla piattaforma di Ushahidi tanto che in due settimane dall'avvio del progetto si riuscirono a documentare in dettaglio centinaia di episodi di violenza in atto nel paese che altrimenti non sarebbero stati dichiarati. Il progetto ha avuto risonanza a livello mondiale tant'è vero che la piattaforma Ushahidi ha registrato nel primo mese di attività centinaia di migliaia di visite da tutto il mondo. Le segnalazioni dei cittadini sono state riunite su una mappa dinamica a formare una *crisismap* e sono state di grande utilità per il lavoro dei soccorritori e delle organizzazioni pacifiste. La piattaforma fu utilizzata da 45.000 cittadini in Kenya. Ushahidi ha abbassato in modo significativo i costi di partecipazione a una campagna civica da qualsiasi punto del globo con la sola necessità di un segnale di telefonia mobile.

MapKibera: è un progetto avviato a Kibera per sopperire all'assenza di dati geografici e informazioni cartografiche accessibili e open source su una delle baraccopoli più conosciute del mondo. Il progetto nasce nel 2009 con l'obiettivo di modificare la dinamica delle informazioni locali esistenti aiutando i residenti ad amplificare le proprie opinioni e rendendo sempre più accessibili le nuove tecnologie. La prima mappa digitale di Kibera è stata realizzata grazie al supporto della comunità OSM i cui dati costituiscono la base del sito web *Voice of Kibera*.

Voice of Kibera: sito web, creato dal progetto MapKibera in collaborazione con altre organizzazioni locali, che utilizza la piattaforma Ushahidi per aggregare e mappare i report. È un progetto di *reporting* cittadino con sede a Kibera con lo scopo di dare voce ai residenti della città raggruppando i rapporti locali di cittadini, i media comunitari e altre informazioni rilevanti. Su questo sito gli utenti possono inviare racconti e informazioni sotto forma di testi, foto o video, che vengono poi geo-localizzati sulla mappa e diffusi ulteriormente su altri canali quali *youtube* e *facebook*. Il coinvolgimento della comunità è fondamentale e infatti vengono organizzati incontri per mappare la città su carta, sessioni di GIS partecipativo e discussioni con le organizzazioni locali su questioni importanti per la comunità.

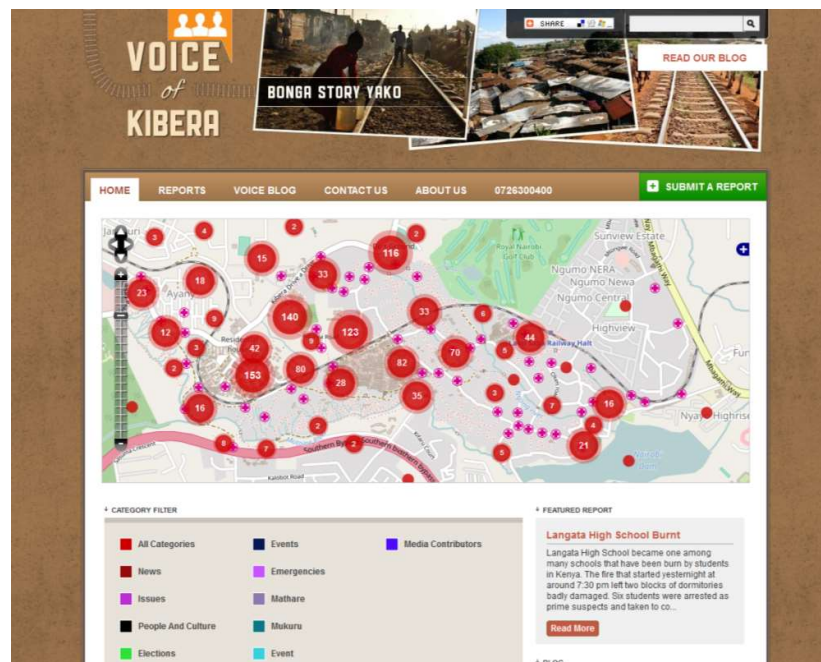


Figura 9: mappa Kibera del sito web *Voice of Kibera* creata con Ushahidi

1.4.5 Kathmandu - Nepal

“...gli obblighi di ricerca e sviluppo dei sistemi informativi devono estendersi anche ai lunghi periodi precedenti ai disastri...”

<i>Località:</i>	Valle di Kathmandu, Nepal
<i>Tipologia di progetto:</i>	Ricerca/azione nell'ambito della prevenzione sismica
<i>Data:</i>	2012
<i>Piattaforme open source:</i>	OpenStreetMap
<i>Organizzazioni no-profit:</i>	Kathmandu Living Labs (KLL)
<i>Progetti:</i>	Open Cities Kathmandu

Contesto

Kathmandu è la capitale del Nepal, la città è situata nella valle di Kathmandu costituita prevalentemente dai distretti di: Kathmandu, Lalitpur e Bhaktapur. La valle, con i suoi due milioni e mezzo di persone ospitate in poco più di 900 kmq, è considerata uno dei luoghi a più elevato rischio sismico del mondo se si valuta la quantità della popolazione e del patrimonio edilizio esposto al rischio. Da varie analisi di stime è emerso che in caso di terremoto più del 60% del patrimonio edilizio potrebbe essere colpito e si potrebbero avere circa 40000 morti; inoltre il 95% delle infrastrutture idriche potrebbero essere danneggiate a causa della loro estrema vulnerabilità. Tutto ciò comporterebbe, ovviamente, disagi alla popolazione e ad i soccorritori che si troverebbero nella situazione di non poter raggiungere i luoghi colpiti. I soggetti che si sono occupati del progetto di Kathmandu hanno voluto, quindi, intervenire prima che accadesse un grande disastro e, lo hanno fatto utilizzando la piattaforma di OSM.

Il progetto che ha preso vita a Kathmandu nasce dal presupposto che i membri di popolazioni colpite sono i primi soccorritori nel momento dell'emergenza, ma questi stessi membri locali sono coinvolti anche nelle decisioni di tutti i giorni e nelle politiche a lungo termine che sono centrali per la resilienza della comunità e per la mitigazione dei disastri, in primo luogo. Le informazioni geografiche, in particolare, sono essenziali per la gestione delle catastrofi esse possono essere utilizzate sia per ridurre gli effetti nocivi di un disastro che per prevederne la sua imminenza. Quindi,

queste, devono essere affidabili, accurate e continuamente aggiornate, obiettivo raggiungibile anche con operazioni di *collaborative mapping*.

I primi passi

Modello di resilienza sismica: nel 2012 la *World Bank* e il *GFDRR* (Global Facility for Disaster Reduction and Recovery – fondo globale per la riduzione delle catastrofi e della ripresa), supportati dal governo del Nepal, danno vita ad un progetto per educare alla resilienza sismica²¹ riguardante la salute delle infrastrutture della valle di Kathmandu. Quindi, si è creato, un modello di rischio per determinare la vulnerabilità degli edifici sede di queste organizzazioni in modo, poi, da utilizzare lo stesso modello per dare priorità ai piani di retrofit²² per le successive costruzioni di scuole e strutture sanitarie e per migliorare l'integrità strutturale a fronte del terremoto.

OpenCities Kathmandu: per il progetto precedente si necessitava di una banca dati aggiornata di cui la valle di Kathmandu era carente. Non esisteva alcuna banca dati completa di strutture, quali scuole, ospedali o edifici pubblici di qualsiasi genere, che contenesse le coordinate geografiche, le caratteristiche strutturali o qualsiasi informazione utile a realizzare il modello di rischio. A Novembre 2012, quindi, la *World Bank* lancia il progetto *OpenCities Kathmandu* con lo scopo primario di raccogliere informazioni riguardanti principalmente le strutture scolastiche ed ospedaliere, in modo da utilizzarle nel modello di valutazione del rischio sismico precedentemente creato. Questo lavoro è stato fondato sulla base di OSM.

Un approccio differente

In una valutazione dei rischi condotta in modo tradizionale e, cioè, nel momento stesso in cui si verifica l'evento e, quindi, in situazione di emergenza e di tempestività, il risultato è sempre la produzione di documenti estremamente tecnici e comprensibili a pochi fortunati. Il progetto *OpenCities*, invece, nasce con un approccio differente ossia l'inclusione di un'ampia sezione dedicata alle attività di soggetti pubblici (dove per soggetti pubblici si intendono semplici cittadini singoli o uniti in gruppi). L'intento primario è quello di far accrescere nei cittadini la comprensione e la conoscenza del rischio locale a cui sono esposti e, in questo

²¹ Resilienza sismica: con il termine resilienza sismica si vuole rappresentare quella forza di reagire ad una situazione avversa fino a capovolgerla.

²² Il retrofit consiste nell'aggiungere nuove tecnologie o funzionalità ad un sistema vecchio, prolungandone così la vita utile.

modo, assicurare l'autenticità e l'accessibilità dei risultati ottenuti da parte dell'intera società.

OSM Kathmandu

Nel Novembre 2012, quindi, il personale della *World Bank* e altri soggetti iniziano il progetto di assemblaggio di un team di mapper e mobilitatori di comunità.

Formazione del gruppo: il gruppo era formato da un team-core di quattro persone, ampliato poi a sei, tutti neo laureati provenienti dall'Università di Kathmandu e reclutati in base alla loro prima partecipazione all'allora nascente comunità OSM. Questi soggetti erano i principali responsabili ed erano stipendiati. Il progetto ha inoltre reclutato sei stagisti a tempo parziale dell'università di Kathmandu e 11 volontari provenienti dall'Università di Trhribuvan. Questi hanno supportato il team-core nei sondaggi nelle scuole e nelle strutture sanitarie. Per quanto riguarda le competenze, il team-core aveva la maggiore conoscenza di OSM, i tirocinanti ne avevano una buona padronanza e i volontari avevano generalmente quella conoscenza tecnica per mappare anche per poche ore una parte della città; naturalmente il tutto avveniva con il supporto del team-core.

Organizzazione del lavoro: il team ha lavorato 6 giorni a settimana e si sono organizzati *mapping party* e presentazioni introduttive durante otto fine settimana; inoltre, il team ha lavorato molto sull'interazione on-line cercando di coinvolgere quanto più possibile i membri di OSM anche fuori dall'orario d'ufficio.

Sede del lavoro: il team si è posizionato strategicamente all'interno di uno spazio di co-working che ha permesso alla squadra di accedere a sale riunioni, connessioni internet affidabili, e, interagire con altri tecnici ed imprenditori che sono poi diventati membri attivi in OSM.

Obiettivo del lavoro: l'obiettivo da raggiungere era quello di realizzare un'indagine dettagliata di scuole e strutture sanitarie nella valle di Kathmandu che includesse informazioni riguardanti l'età della costruzione, le caratteristiche strutturali, il tipo di utilizzo e l'occupazione. La valle all'avvio del progetto non presentava nessun elenco di scuole e strutture sanitarie. Per raggiungere questo obiettivo, quindi, la squadra ha dovuto farsi strada tra esperti tecnici, ricercatori universitari e il governo stesso in modo da avere il loro sostegno e realizzare un giusto approccio per il *mapping*.

Divisione del lavoro: la valle di Kathmandu è stata suddivisa in diverse zone ciascuna composta da quartieri adiacenti. Ad ogni zona è stato assegnato un leader del team-core, un gruppo di tecnici esperti part-time e del personale volontario. Ogni squadra divide poi l'area assegnatagli in sezioni più piccole alle quali associa gli individui in base alla loro provenienza. Questa strategia mira alla realizzazione di un lavoro migliore dal momento che si presuppone che chi conosce la zona, riesca ad effettuare una migliore configurazione del territorio dal momento che si trova già in possesso di una fitta rete sociale che potrebbe essere utile per raccogliere dati di scuole e strutture sanitarie.

Materiale di base: ad ogni squadra è stata consegnata una mappa geo-referenziata dei dati OSM per l'area interessata e l'elenco delle strutture scolastiche e sanitarie note. Precedentemente al lavoro sul campo i volontari si sono occupati di digitalizzare le sagome degli edifici per le loro aree utilizzando le immagini satellitari di Bing e Imagery to the crowd²³.

Individuazione di strutture scolastiche e sanitarie: come punto di partenza per l'indagine è stato utilizzato un foglio di calcolo incompleto contenente i dati di circa 1700 scuole nella Valle di Kathmandu che non forniva l'esatta posizione delle scuole ma solo i comparti nei quali erano posizionate. Per trovare la posizione delle scuole si sono utilizzate altre fonti di dati di localizzazione, conoscenze personali e social network. Il team si è anche occupato di distribuire nelle scuole opuscoli informativi sul rischio sismico. Per quanto riguarda le strutture sanitarie si sono utilizzati dati, sempre incompleti, provenienti da fonti (ricevute in maniera non ufficiale) del Ministero della salute e dal sito web dello stesso Ministero. Questi dati hanno fornito un elenco di circa 400 strutture sanitarie che sono state in seguito geo-localizzate.

Lavoro sul campo e online: sia per le scuole che per le strutture sanitarie i volontari hanno lavorato sul campo con i documenti stampati di OSM per verificare il corretto inserimento delle sagome degli edifici. Laddove si necessitavano adeguamenti, venivano tracciati a matita e poi, in un secondo momento, riportati su OSM in ufficio. Naturalmente di tutti questi dati è stata poi verificata la veridicità e la qualità da parte di NSET (*National Society for Earthquake Technologies*).

²³ Imagery to the Crowd: (IttC) è un'iniziativa dello State Department's Humanitarian Information Unit (HIU). IttC pubblica immagini satellitari ad alta risoluzione con licenza commerciale da parte del governo degli Stati Uniti in un formato tale da essere facilmente utilizzabile dai volontari di OSM.

Costruzione della comunità OSM

Durante questa fase di raccolta dati, *OpenCities Kathmandu* ha lavorato per costruire una comunità OSM in Nepal la quale aiutasse a garantire che i dati raccolti continuassero ad essere aggiornati e ben gestiti in futuro, tanto da poter diventare la principale base dati del Nepal. Sono state quindi coinvolte, Università e comunità tecnologiche locali che trovandosi in un contesto di ricerca e studio erano nella posizione migliore per poter fare un utilizzo immediato dei dati OSM e mantenerne attiva la comunità. Inoltre per contribuire al mantenimento di questa comunità, un gruppo di volontari ha fondato un'organizzazione no-profit: *Kathmandu Living Labs* (KLL) che intende consolidare le attività di *Opencities* Kathmandu ed espandere la loro applicazione in modo da includere il coinvolgimento del pubblico nella tecnologia per una più ampia gamma di sfide legate all'urbanistica ed ai disastri naturali o artificiali.

Strategie comunicative: si sono utilizzate diverse strategie per avvicinare nuovi utenti alla comunità OSM e quindi:

- brevi presentazioni introduttive: della durata di massimo un'ora, per presentare la filosofia di base della piattaforma OSM.
- *Mapping parties*: della durata di circa quattro ore. In questi incontri si accompagna l'utente dalla fase iniziale della creazione dell'account al disegno della prima linea su OSM ed inoltre sono utili occasioni per reclutare nuovi soggetti interessati.
- Social network: il team ha condotto una sensibilizzazione anche attraverso Facebook e Twitter creando account di OSM del Nepal che sono cresciuti sempre più fino a raggiungere circa 400 utenti che, per una realtà come il Nepal non è affatto poco.

Risultati ottenuti: *Opencities* Kathmandu oltre a creare una base dati aggiornata e approfondita delle strutture scolastiche ed ospedaliere, ha lavorato per creare una *basemap* completa della valle attraverso la digitalizzazione delle sagome degli edifici, il *mapping* della rete stradale, e la raccolta di altri punti di notevole interesse.

Inoltre, dopo il successo di questi risultati, il Dipartimento della pubblica amministrazione ha demandato alla *Opencities* Kathmandu il compito di valutare il rischio sismico associato agli edifici scolastici ottenendo, anche, il sostegno del governo per il progetto.

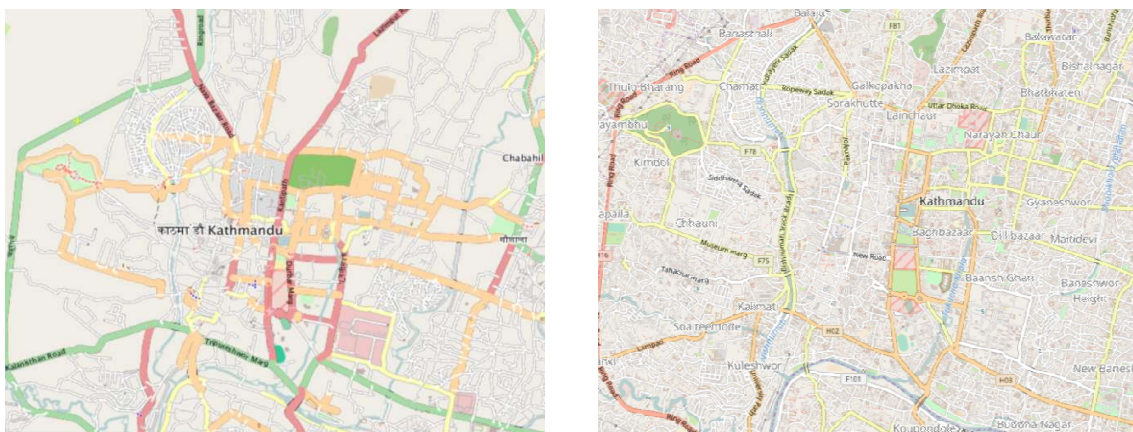


Figura 10: mappe OSM Kathmandu prima e dopo le operazioni di *mapping*.

Non solo una comunità locale: il progetto *Opencities* non ha lavorato solamente per costruire una comunità locale ma ha curato anche i rapporti internazionali. In occasione degli *OpenDataDay* e grazie al supporto di HOT si sono svolte delle *maphatons*²⁴ in diverse città del nord America focalizzate sulla digitalizzazione delle immagini satellitari per Kathmandu. Questi eventi hanno contribuito a creare una rete sociale tra mapper provenienti da diverse zone del mondo e quindi dei collegamenti tra la comunità OSM locale e quella internazionale.

²⁴ Maphaton: è un evento di mappatura coordinato. Spesso è tenuto all'interno (mappatura-poltrona), ma si può anche tenere all'esterno o come attività combinata.

Nepal

<i>Località</i>	Nepal
<i>Tipologia di evento</i>	Calamità naturale - Terremoto
<i>Data</i>	25 Aprile 2015
<i>Piattaforme open source</i>	OSM, Ushahidi, HOT
<i>Organizzazioni no-profit</i>	Kathmandu Living Labs (KLL), MapGive
<i>Social</i>	Facebook, Twitter, Skype

Il 25 aprile 2015 alle ore 11:56, un terremoto di magnitudo 7,8 ha colpito il distretto di Gorkha (a nord ovest di Kathmandu). In seguito si sono verificate più di 300 scosse di assestamento di magnitudo registrata superiore a 4, di cui uno con una magnitudo di 7,3 il 12 maggio, causando più di 8.600 morti e distruggendo circa 500.000 edifici.

Il terremoto ha trovato un terreno fertile in Nepal per quanto riguarda le attività di Collaborative mapping. A Kathmandu era già attiva, al momento dell'evento la comunità di KLL che, nella fase immediatamente successiva al terremoto si è occupata di coordinare le attività di OSM che già aveva attirato a sé negli anni precedenti, diversi volontari.

Collaborative mapping

Con l'attività di *collaborative mapping* soggetti pubblici forniscono dati geo-referenziati di edifici e strade sotto forma di mappe; un esempio è sicuramente OSM.

Contributo di OSM: subito dopo il terremoto, grazie alla collaborazione di HOT, KLL ha iniziato a coordinare le operazioni di mappatura con la comunità OSM con lo scopo di fornire mappe dettagliate e precise che permettessero alle organizzazioni umanitarie di individuare le persone a rischio e fornire beni e servizi di prima necessità.

Canali di comunicazione: come era precedentemente avvenuto nell'esperienza di Haiti, per trasmettere informazioni nel più breve tempo possibile si sono utilizzati i social tra cui Facebook e Twitter, la mailing list di HOT, SMS ed e-mail. Skype inoltre, ha messo a disposizione telefonate gratuite verso fissi e mobili in modo da favorire le comunicazioni.

Organizzazioni contribuenti

KLL: la comunità di *Kathmandu Living Labs* si presenta così

“Siamo un gruppo di giovani che lavora per sfruttare il potenziale umano e la creatività attraverso gli open data e il civic hacking. Siamo guidati dalla convinzione che, insieme, possiamo risolvere anche i problemi più difficili che il nostro Paese si trova ad affrontare”.

Nasce originariamente come progetto di *Opencities* Kathmandu nel 2013. Utilizza l'infrastruttura aperta e libera di OSM per mappare i principali punti di interesse e infrastrutture critiche come scuole, strutture ospedaliere ed edifici pubblici nella valle di Kathmandu in Nepal. In meno di due anni la comunità di KLL è riuscita a creare una delle mappe più dettagliate del Nepal ed è in continua crescita con la formazione di nuovi volontari da educare a utilizzare le mappe per risolvere anche piccoli problemi quotidiani. Collabora anche con il governo locale e altre organizzazioni non governative perché ritiene che il cambiamento non può provenire da un singolo ma dall'unione di più organizzazioni. KLL è il rappresentante della comunità OSM in Nepal ed è stato coinvolto in diverse attività.

In occasione del terremoto, KLL in collaborazione con il governo locale e HOT, ha definito i compiti sul *Task manager* che chiunque da qualsiasi parte del mondo poteva svolgere.

Compiti del Taskmanager di OSM: creazione del grafo stradale, tracciamento delle sagome degli edifici dalle immagini satellitari, individuazione dei luoghi di soccorso, delle aree distrutte, delle zone di atterraggio degli elicotteri, i campi di accoglienza improvvisati per i senza tetto, le tendopoli ecc.

Formati dei dati ottenuti: i dati così ottenuti venivano messi a disposizione della comunità sotto forma di mappe cartacee utili per muoversi e raccogliere informazioni, dati resi disponibili in formati adatti all'utilizzo in software di navigazione offline come Garmin, OSMand oppure per software di elaborazione cartografica.

1.4.6 Centro Italia

“L'Italia è un territorio sismico ma quando costruiamo case non ne teniamo conto. A ogni tragedia il governo promette soluzioni e sicurezza, poi se ne scorda.”

[Libero, quotidiano]

<i>Località</i>	Centro Italia
<i>Tipologia di evento</i>	Calamità naturale – Sciame sismico
<i>Data</i>	24 Agosto 2016
<i>Piattaforme open source</i>	OSM, HOT
<i>Programmi contribuenti</i>	Copernicus, DigitalGlobe
<i>Siti web</i>	terremotocentroitalia.info
<i>Social</i>	Facebook, Twitter, Flickr

Il 24 Agosto del 2016 il centro Italia viene colpito da un violento terremoto frutto di uno sciame sismico che persisteva da giorni e continua tuttora (Gennaio 2017) con scosse di varie entità. Il sisma con epicentro nell'area appenninica compresa tra i monti della Laga e i Monti Sibillini e, magnitudo 6.2, ha distrutto gravemente i comuni di Amatrice, Accumoli, Arquata del Tronto e Pescara del Tronto causando numerose vittime. In questa occasione la comunità italiana di OSM si è subito adoperata per fornire supporto.

La comunità italiana di OSM

La comunità OSM italiana è presente in maniera differente sul territorio; la sua prima occasione d'incontro fisico risale al 2009 quando la FBK²⁵ di Trento ha organizzato il Primo Meeting Nazionale del Progetto OSM Italia. Prima del terremoto che ha colpito il centro Italia nell'Agosto del 2016, la comunità OSM aveva già contribuito a mappare la città dell'Aquila in seguito al terremoto del 2009. Il progetto *M'appare l'Aquila* nasceva dall'iniziativa Ricostruiamo L'Aquila in 3D dell'architetto inglese Barnaby Gunning, residente nella città abruzzese e che aveva coinvolto Google per realizzare sulla piattaforma Google Earth il modello virtuale degli edifici distrutti. Un gruppo di volontari iniziò a creare i modelli 3D degli edifici, giungendo dopo un paio di anni a coprire gran parte della città. Nel frattempo le facciate furono coperte dai ponteggi che non permettevano di scattare le foto necessarie al rendering fotografico e il modello rimase incompleto. Si passò, quindi, ad una fase più dinamica e

²⁵ FBK: Fondazione Bruno Kessler

informativa, che documentasse, in maniera progressiva l'evoluzione della ricostruzione grazie all'utilizzo di OpenStreetMap. Si comprende, da queste piccole esperienze, che la piattaforma OSM è stata utilizzata più come documentazione del post-sisma che come documentazione a supporto dei soccorritori nel momento dell'emergenza.

La comunità tecnologica a lavoro

Poche ore dopo il sisma, gruppi come *DigitalGlobe* e *Copernicus Emergency Management System* si sono adoperati per mettere a disposizione le immagini e le elaborazione dei dati satellitari da loro acquisiti. Questi dati sono stati utilizzati per la valutazione dei danni.

La comunità di OSM si è subito accorta che le mappe delle zone colpite dal sisma erano carenti di informazioni, mancavano strade ed edifici. Grazie alle foto aree di Microsoft Bing (per il cui utilizzo è stato rilasciato il permesso) i “mappers”, nel giro di poche ore hanno aggiornato le mappe riportando, però, solamente la situazione pre-evento che permette comunque di capire quali costruzioni sono state colpite. In breve tempo, inoltre, *Wikimedia Italia* si è adoperata per creare un'istanza dell' *OSM Tasking Manager*, il software di HOT per coordinare i processi di mappatura e dividere i compiti tra i vari utenti.

Nel *Tasking Manager* sono stati creati tre progetti collaborativi:

#13 Terremoto Centro Italia 24-08-2016: per la mappatura della situazione pre-evento. Questo compito ad oggi (Gennaio 2017) risulta completo al 91%.

#14 Amatrice: Post-earthquake imagery: per la valutazione dei danni del terremoto nell'abitato di Amatrice. Questo compito risulta completo.

#15 Copernicus assessment: per aggiornare OSM con le informazioni prodotte da Copernicus sulla valutazione dei danni in tutta l'area del terremoto. Questo compito risulta completo.

Gli utenti di OSM hanno mappato i danni a seconda della gravità colorando i poligoni degli edifici in base all'entità del danno e distinguendoli, quindi in “danneggiati”, “gravemente danneggiati”, “collassati” e così via.

Insieme alla comunità di OSM hanno contribuito diversi attivisti del gruppo no profit *TerremotoCentrotalia*. Aggiornamenti in tempo reale sono stati dati anche tramite *Twitter* e *Facebook* ed inoltre l'applicazione *Flickr* ha permesso a chiunque di

condividere foto e video (geo-localizzati) utili per la documentazione grazie al profilo *Emergenze Hack* creato dall'organizzazione TerremotoCentrolItalia.

Supporto di altre tecnologie

La disponibilità di dati geo-spaziali in questo evento sismico non è stata del tutto scontata soprattutto nelle ore immediatamente successive al terremoto. Bisogna evidenziare che le mappe e le applicazioni da sole non contribuiscono alla conoscenza ma, devono essere interconnesse con immagini di dettaglio che ne garantiscano la realtà e l'oggettività. Un supporto utile, a questo proposito, è rappresentato dai rilievi da drone. Con questi strumenti è possibile ottenere mappature veloci degli edifici crollati lì dove c'è carenza di informazione o quelli presenti sono obsolete. Con la tecnologia LiDAR si riescono ad acquisire modelli di elevazione del terreno che consentono di effettuare confronti e analisi approfondite.

La comunicazione

Parlare di emergenze su scala territoriale vuol dire innanzitutto sapere dove e come intervenire, e soprattutto sapere cosa fare. Questo significa poter reperire informazioni veloci e precise senza il rischio di perdersi nella confusione e nel mancato coordinamento che a volte la rete produce. Lo scopo di queste piattaforme tecnologiche è quello di aggregare contenuti utili provenienti da diverse fonti. Il mondo del web si è mostrato sempre attivo e collaborativo da questo punto di vista (dai tempi del terremoto di Haiti del 2010), condividendo la conoscenza geografica e mettendola a disposizione delle comunità dei volontari, dei cittadini e delle istituzioni. Nonostante questa disponibilità, però, nel caso del terremoto del centro Italia non si è verificato un passaggio diretto dei dati prodotti tra OSM e le organizzazioni di soccorso (protezione civile). Le mappe prodotte da OSM sono liberamente scaricabili e i suoi dati possono essere utilizzati sul posto sia in formato cartaceo che all'interno di navigatori GPS. Nonostante questa disponibilità "free" e numerosi annunci da parte della comunità OSM nei quali si confermava la presenza di questi dati e se ne autorizzava il libero utilizzo, c'è voluta l'intermediazione del programma europeo Copernicus per trasmettere i dati alla Protezione Civile. Ciò ha inciso, ovviamente, sui tempi di acquisizione di questi dati.

Bisognerebbe abilitare strumenti utili alla protezione civile creando un rapporto diretto tra OSM e soccorritori. I volontari della protezione civile devono avvicinarsi al mondo

delle VGI (informazioni geografiche volontarie) e approfondire le tecniche legate all'utilizzo della piattaforma OSM come è avvenuto ad esempio a Treviglio (provincia di Bergamo, Lombardia) dove la stessa amministrazione comunale ha compreso l'importanza di avere un open geo-database aggiornato consultabile da tutti ed ha collaborato al progetto autorizzando l'importazione nell'archivio OSM dell'edificato comunale dal proprio database. La disponibilità di queste informazioni permetterà ai volontari della Protezione Civile e alla comunità, di avere a portata di mano dati "freschi" e sempre più ricchi e precisi sulle infrastrutture e sui servizi del territorio. Informazioni che acquisiscono un valore estremamente importante soprattutto nel caso delle emergenze, situazioni nelle quali è strategico aggiornare in tempi brevissimi la situazione del territorio (ad esempio accessibilità al reticolo viario e dislocazione delle strutture e dei campi di emergenza) per permettere un intervento più efficiente ed efficace dei mezzi e degli organi di soccorso.

È importante, che nel momento in cui si verifica un'emergenza ci sia una comunità tecnologica, che sia OSM o qualsiasi altra, ben consolidata e in grado di interagire direttamente con i soccorritori altrimenti quello di OSM si può considerare un buon lavoro ma fine a se stesso.

2. Tecnologie LiDAR e RADAR a confronto per la valutazione del danno sismico

2.1 Il telerilevamento

La parola telerilevamento deriva dall'unione della parola greca *tele*: da lontano e *rilevamento*: che indica genericamente un processo di acquisizione di informazioni. Il telerilevamento è la scienza per mezzo della quale le caratteristiche di un oggetto possono essere identificate, misurate e analizzate senza entrare in contatto diretto con esso. Tutte quelle tecniche che permettono, dunque, di estendere la capacità percettiva dell'occhio umano si definiscono di telerilevamento. Queste permettono di ricavare informazioni qualitative e quantitative su oggetti posti a distanza senza la necessità di interagire fisicamente con essi. Si possono distinguere tre fasi di studio dei dati di una superficie mediante le tecniche di telerilevamento:

- acquisizione: i dati possono essere acquisiti mediante ripresa da terra, aereo, UAV²⁶ o da satellite con gli opportuni strumenti (sensori);
- elaborazione: i dati vengono elaborati direttamente sulla piattaforma (satellite o aereo) o a terra dopo l'invio, con la creazione di immagini digitali;
- interpretazione: in base all'analisi che si vuole eseguire ci sono svariate modalità per l'elaborazione di questi dati.

2.1.1 Sensori per l'acquisizione dei dati

Si definisce sensore un trasduttore che è in grado di ricevere e rispondere ad un segnale o ad una stimolazione con un impulso elettrico. La maggior parte dei sensori lavora con le radiazioni elettromagnetiche. Le informazioni riguardanti l'oggetto che si sta osservando si ricavano, quindi, mediante la misura della radiazione elettromagnetica proveniente da una fonte di energia, naturale o prodotta dallo stesso sensore, successivamente riflessa o emessa dall'oggetto stesso. Volendo schematizzare, un sensore opera in questo modo:

- cattura la radiazione elettromagnetica riflessa o emessa da un oggetto posto sulla superficie terrestre;

²⁶ UAV: unmaned aerial vehicles, aeromobile a pilotaggio remoto.

- converte la radiazione elettromagnetica in un segnale elettrico.

Questi dati vengono successivamente elaborati in modo da produrre le immagini digitali in maniera proporzionale alla quantità di energia elettromagnetica che giunge al sensore. I sensori, in base allo stimolo rilevato, si distinguono in attivi e passivi.

Sensori passivi

I sensori passivi si possono identificare nei sensori ottici. Questi non emettono energia per illuminare la scena ma sfruttano la radiazione naturale di altre sorgenti: il sole o la terra. Sono dotati di una sola antenna ricevente, un esempio sono i radiometri. Misurano la firma spettrale della radiazione elettromagnetica emessa - secondo le leggi del corpo nero di S.Boltzmann - o riflessa, a partire da sorgenti elettromagnetiche naturali come il sole. La firma spettrale è quella caratteristica di un oggetto che ne consente un'univoca identificazione. Ogni materiale ha una sua specifica firma spettrale dipendente dalla combinazione di riflessi e assorbimenti delle radiazioni elettromagnetiche a diverse lunghezze d'onda.

I sensori ottici per il telerilevamento passivo possono operare nel campo del visibile o dell'infrarosso. Registrano solo l'energia che è disponibile naturalmente e, quindi, per l'energia riflessa la registrazione può avvenire solamente nelle ore diurne mentre, per quella naturalmente emessa (l'infrarosso termico) la registrazione può avvenire sia di giorno che di notte purché la quantità di energia sia tale da essere registrata.

Sensori attivi

I sensori attivi possono essere dotati di due antenne, una trasmittente e una ricevente, o una sola antenna in grado di produrre l'energia necessaria per illuminare la scena e registrare l'energia elettromagnetica di risposta. Mediante l'antenna trasmittente illuminano la scena e tramite l'antenna ricevente ne registrano l'eco di ritorno. Rispetto a quelli passivi, hanno il vantaggio di poter operare in qualsiasi ora del giorno e condizione meteorologica a scapito, però, della generazione di un'enorme quantità di energia per illuminare adeguatamente l'oggetto. In base alla parte di spettro elettromagnetico utilizzato ovvero, dei canali spettrali, i sensori attivi possono operare nel campo delle microonde – radar - o nello spettro del visibile e dell'infrarosso – laser. Tra i sensori attivi che operano nel campo delle microonde i più importanti sono i SAR. In questi la profondità di penetrazione del segnale radar è direttamente proporzionale alla lunghezza d'onda. Tra i sensori attivi che operano nel

campo dell'infrarosso, invece, ci sono i sistemi LiDAR. Sono sistemi a scansione (laser scanner) che restituiscono misure puntuali.

2.1.2 Proprietà dei sensori

I sensori forniscono dati differenti in base alle loro proprietà di risoluzione. Sono contraddistinti da quattro proprietà.

La **risoluzione spaziale** fornisce informazioni riguardanti la dimensione di un pixel nell'immagine tele-rilevata, ossia le dimensioni dell'area elementare al suolo di cui si rileva l'energia elettromagnetica. Da essa dipende il livello di dettaglio dell'immagine.

La **risoluzione radiometrica** rappresenta il numero di livelli in cui può essere scomposto il segnale originale. Questa proprietà riguarda la sensibilità del sensore nel rilevare e codificare le differenze di flusso radiante, emesso o riflesso dalle superfici analizzate.

La **risoluzione spettrale** dipende dal numero di bande di acquisizione e dalla loro ampiezza. Rappresenta il minimo intervallo che un sensore riesce a separare tra le lunghezze d'onda medie di due bande spettrali.

La **risoluzione temporale** riguarda il periodo di tempo intercorrente tra due riprese successive di una stessa area.

Queste proprietà dipendono dall'ingegneria dello strumento, dalle caratteristiche della piattaforma, dall'altezza di volo e dal tipo di orbita.

2.2 Change detection 3d

Uno dei principali argomenti di telerilevamento è l'analisi di change detection (CD). Singh (1989) definisce quest'analisi come: "il processo di identificazione delle differenze di stato di un oggetto o fenomeno che si sta osservando in tempi diversi". I dati per realizzare quest'analisi possono essere nuvole di punti e modelli di elevazione digitale che forniscono informazioni 3d esplicite o immagini *stereo view* / *multi view* che forniscono informazioni 3d implicite. I principali ostacoli per le applicazioni di tecniche di CD3d riguardano l'acquisizione dei dati.

L'acquisizione di dati, come nuvole di punti, che forniscono un'alta risoluzione non è semplice dal momento che un volo *airborne LiDAR* ha un costo relativamente alto. Il problema negli ultimi anni è stato in parte superato grazie al diffondersi di droni automatizzati. Spesso questi rilievi vengono eseguiti da società private per effettuare studi mirati come è avvenuto nell'emergenza post-terremoto del 24 Agosto del 2016

che ha colpito l'Italia centrale o per il monitoraggio del territorio come il rilievo LiDAR delle aste fluviali condotto in Italia dal ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare nel 2008. Questi dati sono messi a disposizione solamente ai fini di ricerca e in seguito a specifiche richieste. I dati 3d da LiDAR hanno precisioni coerenti con la realtà. A seconda delle piattaforme e dei sensori, la risoluzione della densità dei punti varia da pochi punti per m² a migliaia di punti per m².

Per quanto riguarda le immagini stereo il problema è meno rilevante. Grazie al progetto europeo di osservazione satellitare della terra Copernicus e l'ESA (Agenzia Spaziale Europea), dal 2013 sono stati lanciati nello spazio diversi satelliti (sentinel) per il monitoraggio del territorio. I satelliti Sentinel 1A e 1B catturano istantanee della terra ogni 12 giorni. Queste immagini possono essere scaricate gratuitamente collegandosi al sito scihub.copernicus.eu. l'ESA, fornisce anche un software per l'elaborazione di queste immagini, tutto completamente open source.

Un' analisi di CD3d può identificarsi con tre fasi di lavorazione:

- acquisizione dei dati e selezione
- co-registrazione dei dati, corrispondenza pixel per pixel
- change analysis.

Le prime due fasi si possono considerare di pre-elaborazione, utili a generare e allineare i dati 3d multi temporali per il rilevamento e l'analisi del cambiamento. L'ultima fase è di elaborazione e interpretazione dei dati ottenuti.

2.2.1 Change representation

L'interpretazione dei dati ottenuti, ossia l'analisi dei cambiamenti può essere rappresentata in tre modi differenti:

- *binary change*: variazione binaria. Fornisce un indicatore binario sulla zona della variazione;
- *triple change mask*: maschera di trasformazione tripla. Identifica lo stato della variazione nella geometria che può essere positivo rappresentante un aumento/diminuzione di altezza o negativo, il contrario o invariato, nessun cambiamento;
- *type change*: tipologia di modifica. È la rappresentazione più generale e completa per una CD, richiede una completa matrice del cambiamento che specifichi la direzione della variazione sul suolo in una base bi-temporale.

Come già detto precedentemente, i dati 3d possono presentarsi in vari formati. Un DSM è un formato semplice di dato 3d ricavabile direttamente da nuvole di punti o da immagini satellitari (mediante interferometria). Questo tipo di dato si presta per una CD3d speditiva ed efficace. Ogni pixel di queste immagini contiene dati riguardanti le coordinate e le informazioni spettrali.

2.2.2 Confronto geometrico

Il confronto geometrico è differente a seconda dello scenario di visualizzazione (*oblique-view* / *top-view*) e del formato dei dati utilizzati (DSM, immagini stereo ecc). Si può fare riferimento ad un confronto 2,5d come differenza di altezza/profondità (**Figura 12**) o ad un confronto completamente 3d attraverso la misura della distanza euclidea (**Figura 11**).

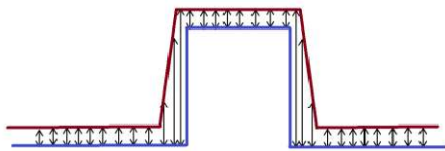


Figura 12

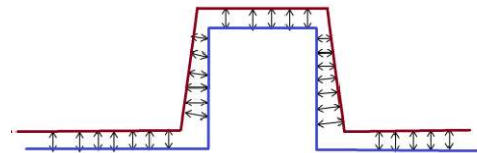


Figura 11

Nel confronto 2,5d, metodo noto come *height difference* le distanze sono calcolate lungo la direzione verticale mentre, nel metodo delle distanze euclidee vengono calcolate nella direzione della normale alla superficie in ogni punto.

Height difference

Il DSM fornisce informazioni di altezza sotto forma di una griglia, un raster, che tratta essenzialmente le informazioni 3d come 2,5d proiettando le informazioni 3d ad un piano in orizzontale (altezza) o in verticale (profondità). *Height difference* applica una semplice sottrazione di DSM multi temporali con conseguenti mappe residuali di altezza atte ad indicare eventuali variazioni. Da queste mappe residuali si possono eseguire numerose analisi e interpretazione dei dati in maniera speditiva come ad esempio una classificazione sismica del danno. Height difference è il metodo più semplice per calcolare le differenze geometriche di due DSM.

Euclidean distances

Questo metodo è teoricamente più rigoroso del precedente che presenta comunque vantaggi sulla elaborazione dei DSM. *Euclidean distances* presenta capacità insostituibili sul rilievo dei dati obliqui.

2.3 Tecnologie RADAR: DEM e interferometria differenziale per monitorare gli spostamenti del terreno

Un sistema RADAR (*Radio Detection And Ranging*) è costituito da un trasmettitore, un ricevitore, un antenna e un registratore. Il trasmettitore genera una serie di impulsi di durata t aventi una certa frequenza e larghezza di banda. Il ricevitore filtra ed amplifica il segnale retro diffuso, l'antenna serve per irradiare e ricevere l'energia e il registratore per memorizzare il segnale ricevuto. I sensori RADAR in base alle loro caratteristiche operano su diverse bande, ognuna della quale fornisce informazioni sulle diverse caratteristiche di un oggetto. Il satellite Sentinel 1 ad esempio opera in banda C che ha una media profondità di penetrazione rispetto alla L che penetra in profondità e la X che resta più superficiale. La piattaforma su cui è montato il sensore segue un percorso orbitale. L'ampiezza della scansione, *swath* (letteralmente "falciata"), corrisponde all'area della superficie terrestre illuminata dal fascio di microonde con una certa inclinazione rispetto al nadir²⁷. L'*azimuth* corrisponde alla direzione lungo la traccia, il *range* alla direzione perpendicolare, *slant range* è la distanza tra l'antenna e l'oggetto. La distanza a terra ovvero, la distanza orizzontale lungo il terreno corrispondente ad ogni punto misurato, è detta *ground range*. La parte dell'immagine più vicina alla traccia del nadir è detta *near range* mentre quella più lontana *far range*. L'angolo tra la propagazione dell'onda incidente e la verticale è detto angolo di incidenza del sistema, *off-nadir* (θ).

L'interpretazione dei dati radar dipende dalla geometria di acquisizione che può essere *side looking*: osservazione laterale della scena o *nadir looking*: osservazione nadirale. La tecnologia radar permette la costruzione di DEM tramite la tecnica dell'interferometria differenziale. Essa permette di misurare, tramite le immagini satellitari SAR, le deformazioni permanenti subite dal suolo in un determinato periodo di tempo. Bisogna specificare che la tecnologia SAR rappresenta un' eccezione nel campo del telerilevamento perché in realtà, si pone come scopo uno specifico tipo di

²⁷ Nadir: punto diametralmente opposto allo zenit. È l'intersezione della perpendicolare all'orizzonte passante per l'osservatore con l'emisfero celeste invisibile.

analisi geometrica che, è propria della fotogrammetria o quanto meno delle discipline topografiche-geodetiche.

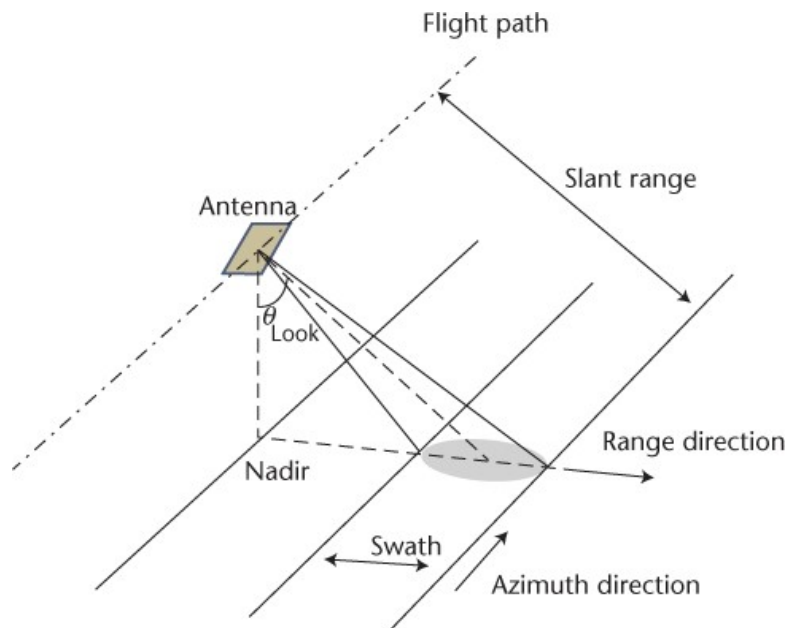


Figura 13: schema acquisizione RADAR.

2.3.1 Acquisizione dati

I dati utilizzati nella seguente elaborazione sono stati scaricati dal sito web copernicus che rende disponibili gratuitamente, previa registrazione sul sito, istantanee della terra con decorrenza temporale di circa cinque giorni. Per realizzare i due modelli di elevazione digitale si necessita, rispettivamente, per ogni periodo preso come riferimento, di dati riguardanti la stessa area con la minima differenza temporale di acquisizione. Si è scelto di utilizzare le immagini TOP-SAR acquisite dai satelliti *sentinel 1 A* e *B* la cui missione è iniziata nel 2014. Questi satelliti forniscono immagini radar acquisite in qualsiasi condizione atmosferica, sia di giorno che di notte, utili per studi terrestri, climatici, marittimi, in caso di emergenza e molte altre applicazioni. Le immagini radar sono matrici di numeri complessi definiti dalle grandezze ampiezza e fase. L'ampiezza è quella del campo elettromagnetico retro diffusa verso il satellite mentre la fase fornisce informazioni associate alla distanza sensore-bersaglio, utili ai fini interferometrici. Esse derivano dall'applicazione di un algoritmo di focalizzazione che consente di associare a ciascuna cella di risoluzione (pixel) il relativo contributo di energia retro diffusa. Dal momento che la differenza di

fase può essere semplicemente dovuta alla variazione di quota della superficie sottostante il satellite, l'approccio interferometrico porta anche alla produzione di modelli di elevazione del terreno – DEM.

Per questa prima fase si è utilizzato il software open source SNAP 5.0 (Sentinel application Platform) distribuito da ESA – United Space in Europe.

Caratteristiche dei dati

Per ogni periodo preso come riferimento sono state scelte le seguenti caratteristiche:

- piattaforma satellitare: *sentinel 1 A e B*
- tipo di prodotto: SLC, *Single Look Complex*. Questi prodotti sono caratterizzati da focalizzazione SAR, geo-referenziati utilizzando i dati del percorso orbitale e dotati di *slant-range geometry*. Slant-range è l'osservazione della reale distanza del segnale radar dal satellite definita come linea di vista tra il radar e ciascun oggetto riflettente.
- polarizzazione: VV. Nel caso in esame si deve creare un interferogramma e quindi è consigliabile utilizzare polarizzazioni omogenee ossia VV o HH. Nelle polarizzazioni omogenee il sensore misura solamente la quantità di segnale che ritorna con la stessa polarizzazione delle onde emesse, in questo caso quelle verticali. Trasmissione verticale e ricezione verticale.
- modalità di acquisizione del sensore: IW, *Interferometric Wide swath*. È la principale modalità di acquisizione via terra. Acquisisce dati con uno *swath* (ampiezza della scansione) di 250 Km e risoluzione spaziale da 5 a 20 m.
- numero orbita: 22
- direzione di passaggio: *descending*.

Per la realizzazione dei modelli d'elevazione digitale sono state scelte due coppie di dati. Per il primo modello i dati acquisiti da sentinel 1A il 9 Agosto 2016 e il 22 Agosto 2016. Per il secondo modello sentinel 1B del 27 Agosto 2016 e sentinel 1A del 2 Settembre 2016. I dati in esame riguardano la zona del centro Italia.

2.3.2 Co - registrazione

Durante l'acquisizione delle immagini SAR radar la traiettoria nominale di due satelliti che percorrono la stessa orbita si discosta leggermente. Ne consegue che la geometria di acquisizione per la stessa zona non sarà mai la stessa e genererà matrici di pixel non corrispondenti alla stessa cella di risoluzione a terra. Per questi

motivi è necessaria la co-registrazione che permette di registrare i pixel omologhi delle varie immagini sulla stessa cella di risoluzione.

Una volta caricati i dati in SNAP la prima operazione da eseguire consiste, quindi nella loro co-registrazione. Questa operazione è fondamentale e consiste nell'elaborazione di una terza immagine in cui si effettua una corrispondenza pixel per pixel delle due immagini acquisite in tempi diversi. Una immagine è selezionata come *master* e sarà quella di riferimento e l'altra come *slave* (letteralmente schiavo). I pixel dell'immagine *slave* verranno spostati in modo da allinearli con l'immagine master di riferimento con una precisione sub-pixel.

S1-TOPS Coregistration

La co-registrazione è stata effettuata con immagine su immagine utilizzando un'interpolazione bilineare.

L'operatore S1-TOPS Coregistration permette di co-registrare due prodotti (master e slave) SLC di sentinel 1 su uno stesso sub swath utilizzando i percorsi delle orbite dei due prodotti e un DEM. Per entrambe le coppie di dati si è scelto il subswath IW2, quello comprendente la zona in esame e, come polarizzazione VV. Per quanto riguarda il DEM si è scelto il download automatico dell'SRTM 3sec con interpolazione bilineare.

Terminato il processo di co-registrazione si hanno come output le bande co-registrate di master e slave in formato i/Q e intensity.

2.3.3 Interferogramma

La fase di un'immagine SAR fornisce informazioni sugli spostamenti di un bersaglio o del terreno quando questo viene osservato da due angolazioni differenti. Combinando due immagini SAR è quindi possibile stabilire l'entità e la direzione dello spostamento del bersaglio o del terreno. La differenza tra le fasi di due o più immagini SAR acquisite sulla stessa area ma in tempi diversi costituisce un interferogramma. Questo si può definire come una matrice di dati contenente informazioni relative ai vari contributi che generano il valore di fase. La fase, a sua volta, contiene informazioni sulla distanza sensore-bersaglio e può essere influenzata dalla deformazione topografica e da disturbi atmosferici.

La fase di un'immagine SAR si può rappresentare come un'onda elettromagnetica composta da semplici onde sinusoidali ognuna caratterizzata da lunghezza d'onda λ con componente elettrica (E) e magnetica (M).

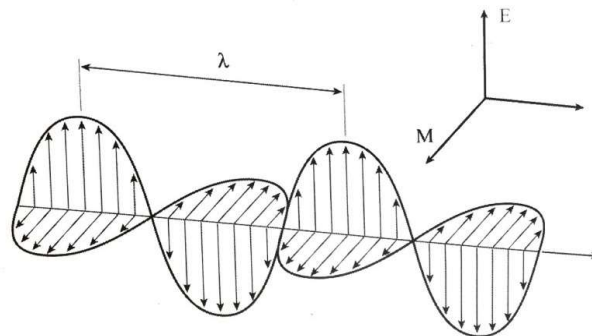


Figura 14: Rappresentazione della fase di un'immagine SAR mediante l'onda elettromagnetica. Fonte: Telerilevamento–informazione territoriale mediante immagini da satellite–A. Dermanis, L. Biagi.

Interferogram Formation

La fase di un'immagine SAR è determinata principalmente dalla distanza tra le antenne satellitari e i bersagli a terra. Combinando la fase delle due immagini precedentemente co-registrate, si può generare un interferogramma la cui fase è altamente correlata alla topografia del terreno. L'interferogramma è formato mediante moltiplicazione tra immagine master e il suo complesso coniugato slave.

L'ampiezza di entrambe le immagini viene moltiplicata mentre la nuova fase interferometrica rappresenterà la differenza di fase tra le due immagini. La fase interferometrica $\Delta\phi$ di ciascun pixel dell'immagine SAR dipende dalla differenza di traiettoria orbitale (Δr) delle due acquisizioni. Essa è quindi proporzionale al rapporto tra un ciclo intero di fase in radianti e la lunghezza d'onda trasmessa λ .

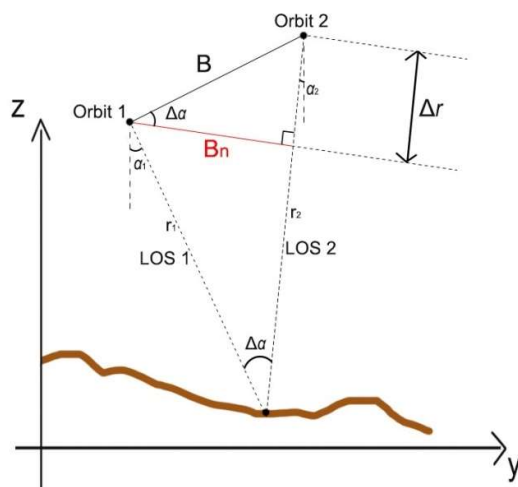


Figura 15: Geometria di acquisizione SAR di tipo dual pass (le immagini sono acquisite in due istanti di tempo diversi).

Essendo:

B: *baseline* ossia la distanza fisica tra le due antenne al momento del rilievo.

B_n : *baseline normale* o perpendicolare rappresentante la distanza tra la posizione del satellite durante la prima acquisizione e la LOS2.

LOS: *Line Of Sight*, linea di vista. Percorso ottico in linea di vista tra il dispositivo trasmettente e ricevente.

α : angolo di vista.

$\Delta\alpha$: variazione della angolo di vista tra i due passaggi successivi.

r : frangia interferometria, distanza tra il satellite e l'obiettivo.

Considerando che un ciclo intero di fase in radianti corrisponde a 2π e che $\Delta r=2r$ perché bisogna tener conto del percorso di andata e ritorno dell'onda, possiamo scrivere:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta r}{\lambda}$$

e quindi, essendo $\Delta r=2r$

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi r}{\lambda}$$

Equazione 1

La fase interferometria $\Delta\varphi$ tra due immagini SAR dipende da cinque contributi:

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{flat} + \Delta\varphi_{elevation} + \Delta\varphi_{displacement} + \Delta\varphi_{atmospher} + \Delta\varphi_{noise}$$

- $\Delta\varphi_{flat} = -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_n S}{R \tan\theta}$ è la fase di terra piatta. Riguarda il contributo di fase dovuto alla curvatura della superficie terrestre.
- $\Delta\varphi_{elevation} = -\frac{\Delta q}{\sin\theta} \frac{B_n}{R_0} \frac{4\pi}{\lambda}$ contributo topografico che relaziona fase e quota. È legato alla diversa posizione del sensore agli istanti di acquisizione e al profilo altimetrico dell'area oggetto di studio.
- $\Delta\varphi_{displacement} = \frac{4\pi}{\lambda} d$ contributo di deformazione superficiale, è dovuto all'eventuale movimento intercorso tra le due acquisizioni.
- $\Delta\varphi_{atmosphere}$ contributo atmosferico. Fattore introdotto per correggere i cambiamenti atmosferici riguardanti umidità, temperatura e pressione tra le due acquisizioni.
- $\Delta\varphi_{noise}$ contributo riguardante il rumore di fase dovuto dal cambiamento temporale dei diffusori, la diversa angolazione e la dispersione di volume.

Attraverso la creazione dell'interferogramma, si eliminano le fonti di errore e si conserva il contributo inerente l'elaborazione riguardante, generalmente, l'elevazione e lo spostamento. Nel procedimento di formazione dell'interferogramma, si rimuove la fase *flat-Earth* (terra piatta), fase presente nel segnale interferometrico dovuta alla

curvatura della superficie di riferimento. Utilizzando le informazioni orbitali e i metadati si stima questa fase e la si sottrae dal complesso interferometrico. Una volta creato, l'interferogramma apparirà come in **Figura 16**.

Data la natura periodica del segnale sinusoidale, valori di Δr che differiscono tra loro di un multiplo intero della lunghezza d'onda λ , introducono sempre la stessa

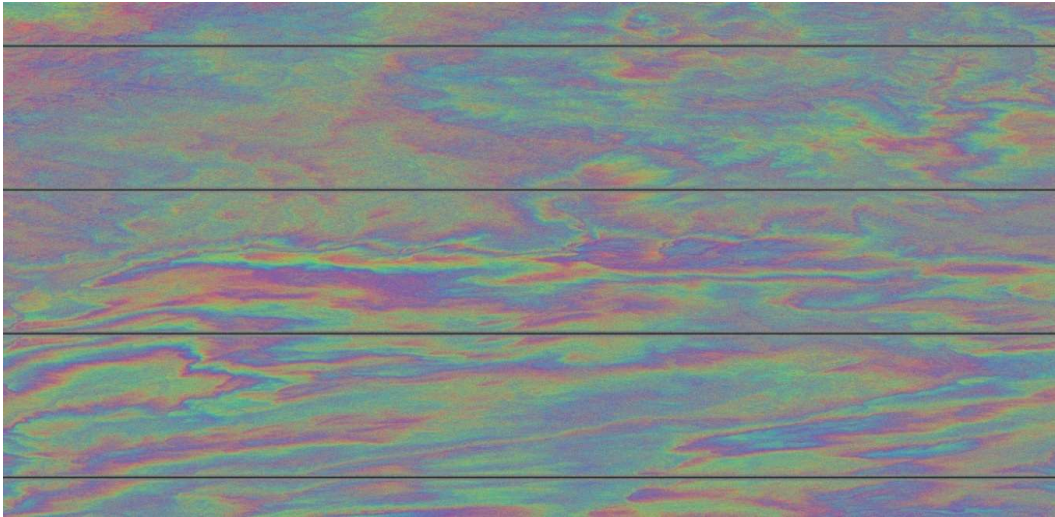


Figura 16: Interferogramma ottenuto dalla co-registrazione della coppia di immagini stereo del 27 Agosto e 2 Settembre 2016. Immagine elaborata con il software SNAP.

differenza di fase corrispondente ad un ciclo intero 2π . Ciò comporta che le fasi non siano tra loro distinguibili. In altri termini si può affermare che la fase del segnale SAR corrisponde alla misura della frazione di Δr la quale è più piccola della lunghezza d'onda del segnale trasmesso.

Le frange interferometriche rappresentano, quindi un ciclo completo 2π . Queste appaiono sull'interferogramma come cicli di colori arbitrari e, un ciclo completo (la ripetizione di tutti i colori dell'immagine) corrisponde a mezza lunghezza d'onda del sensore. In termini matematici:

se: $\Delta\varphi = 2\pi$, dalla formula precedente (Equazione 1) possiamo scrivere:

$$r = \frac{\lambda}{2}$$

Quanto più grande sarà la tensione sul terreno tanto maggiore sarà la vicinanza delle frange. la tensione presente sul terreno raffigura uno spostamento.

I terreni dovrebbero produrre, generalmente, una serie di frange parallele distanziate regolarmente. Qualsiasi deviazione di un modello di frangia in parallelo può essere interpretato come una variazione topografica.

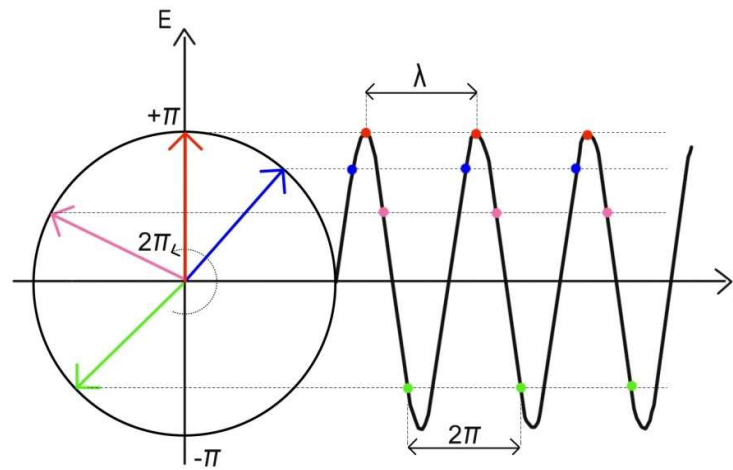


Figura 17: Natura sinusoidale della lunghezza d'onda.

In conclusione si può definire un'interferogramma: *“una mappa di spostamento espressa in termini di differenze di fase, tra due immagini radar, del segnale elettromagnetico emesso dal satellite, riflesso dalla superficie terrestre e catturato dal sensore (rappresentato con diversi cicli di colore)”* (INGV).

Con lo stesso operatore, si può generare la stima di coerenza nella stessa fase di elaborazione dell'interferogramma. La stima di coerenza tra immagini master e slave è in grado di individuare la presenza di forti somiglianze tra le due aiutandoci, quindi, a stabilire se queste sono buone candidate per la generazione di un DEM.

La perdita di coerenza può produrre scarsi risultati interferometrici essa può essere causata da cambiamenti atmosferici, temporali, errori di orbita, eccessivi intervalli temporali tra le acquisizioni, vegetazione o effettive trasformazioni volumetriche, tutti noti come fenomeni di decorrelazione. La perdita di coerenza γ sarà quindi influenzata dai seguenti fattori:

$$\gamma = \gamma_T * \gamma_G * \gamma_V * \gamma_P$$

dove:

- γ_T fenomeno di decorrelazione temporale, non può essere evitato dal momento che dipende dalla variazione delle proprietà elettromagnetiche dei bersagli radar nel tempo.

- γ_G fenomeno di decorrelazione geometrica, può essere parzialmente eliminata. Essa è causata dalla distanza tra i due percorsi orbitali effettuati dal satellite durante l'acquisizione delle immagini.
- γ_V fenomeno di decorrelazione volumetrica, non può essere evitato.
- γ_P fenomeno di decorrelazione riguardante la lavorazione delle immagini.

L'output di questo operatore (Interferogram Formation) consiste in cinque bande in formato I, Q, Intensity, Phase e Coherence. La banda Coherence mostra le similitudini dei pixel tra le immagini master e slave in una scala da 0 a 1, **Figura 18**.

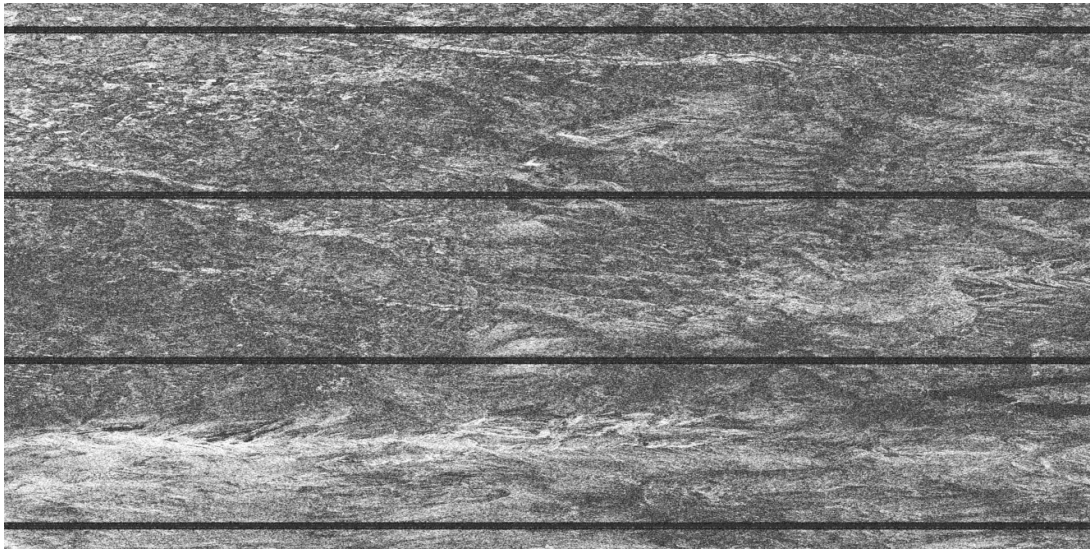


Figura 18: Banda Coherence ottenuta dalla co-registrazione della coppia di immagini stereo del 27 Agosto e 2 Settembre 2016. Immagine elaborata con il software SNAP.

Le aree ad alta coerenza avranno valori da 0.5 a 1 e appariranno luminose (tendenti al bianco), le aree con scarsa coerenza avranno valori compresi tra 0 e 0.5 e saranno scure (tendenti al nero). Generalmente in un'immagine la vegetazione è caratterizzata da bassa coerenza mentre gli edifici hanno elevata coerenza. Possiamo dedurre che immagini caratterizzate da alta coerenza porteranno alla realizzazione di DEM migliori rispetto a quelli caratterizzati da bassa coerenza.

2.3.4 Correzioni

Le immagini TOPSAR necessitano di una serie di correzioni al fine di migliorarne la qualità. In questo studio sono stati applicati gli operatori S1-TOPSAR Deburst, il filtro Goldstein Phase Filtering e il Multi Looking.

S1-TOPSAR Deburst

I dati TOPSAR SLC IW sono costituiti da immagini separate in funzione dello swath per la polarizzazione. I prodotti IW hanno tre subswath. Ogni subswath è costituito da una serie di esplosioni – bursts – in cui ogni burst è elaborato come singola immagine SLC. Il complesso di immagini burst è incluso in una singola immagine subswath, in ordine azimuth-tempo, divisa da linee di demarcazione nere.

L'input di questo operatore è l'interferogramma creato precedentemente, la polarizzazione scelta è la VV. L'output consisterà in bande in formato I/Q, Intensity, Phase e Coherence. Il risultato si può vedere in **Figura 19 (a) e (b)**.

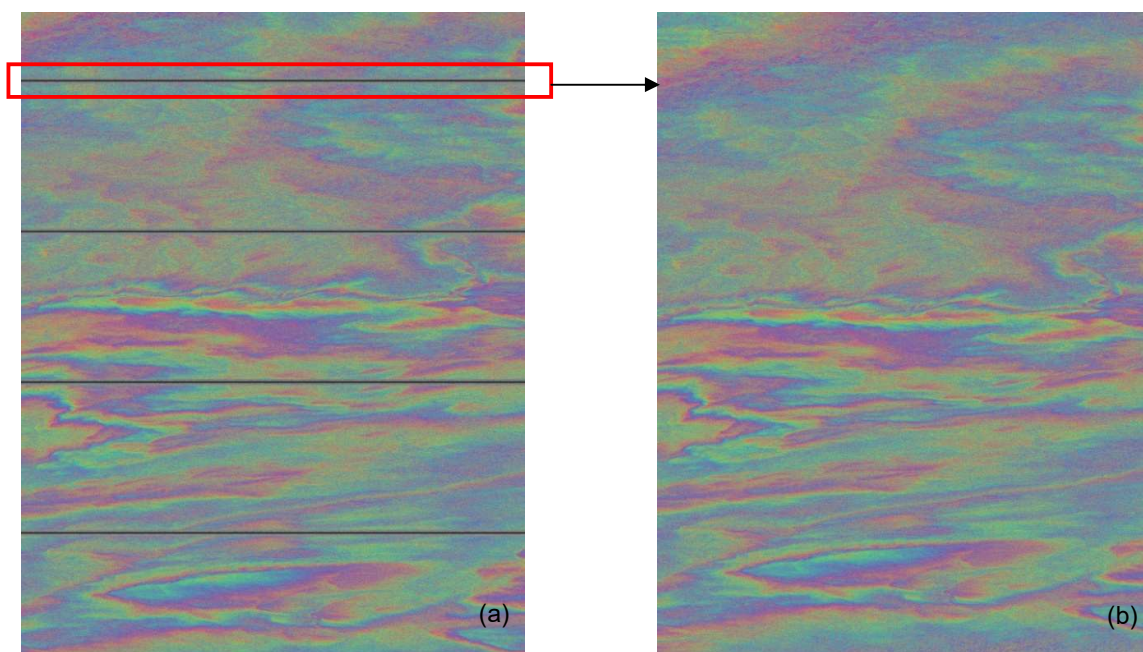


Figura 19 (a) e (b) Interferogramma prodotto dalla coppia di immagini SAR del 27 Agosto e 2 Settembre 2016. Nella figura (a) con il riquadro rosso in alto è evidenziata la linea di demarcazione nera rappresentante il burst. La figura (b) rappresenta invece lo stesso interferogramma in seguito all'applicazione dell'operatore S1-TOPSAR Deburst che elimina le linee di demarcazione nere.

Goldstein Phase Filtering

Il filtro Goldstein interviene migliorando la visibilità delle frange e riduce il rumore introdotto dalla de-correlazione spaziale e temporale. Questo operatore migliora i risultati della successiva fase di *unwrapping*. Utilizza l'algoritmo adattivo lineare proposto da Goldstein e Werner nel 1998.

MultiLooking

In generale, un immagine originale SAR appare punteggiata di rumore speckle intrinseco. Per ridurre questo aspetto intrinseco, diverse immagini vengono

combinare in modo incoerente come se corrispondessero a un aspetto diverso della stessa scena. Questa elaborazione è generalmente nota come trasformazione multilook. Il risultato dell'applicazione di questo filtro è una migliore interpretabilità dell'immagine. L'obiettivo del multi-looking consiste, infatti, nel riportare l'immagine ad una geometria confrontabile con la realtà a terra, cioè creare una risoluzione in ground-range con un pixel quadrato. Per fare questo vengono ri-campionati i dati riguardanti tanti pixel in direzione di azimuth quanti ne sono necessari per pareggiare la dimensione di groundrange. Questo operatore permette dunque di regolarizzare le dimensioni dei pixel.

2.3.5 Phase unwrapping

I valori di fase così come si presentano nell'interferogramma non si prestano per una lettura comprensibile. Come detto precedentemente la fase interferometrica è ambigua ed è conosciuta solo all'interno di un ciclo, espresso in radianti, di 2π . La correlazione tra la fase interferometrica e quella topografica si risolve con il *Phase Unwrapping* letteralmente “srotolamento di fase”. Si definisce altitudine di ambiguità h_a la differenza di quota che genera un cambiamento di fase interferometrica di 2π dopo lo “srotolamento” dell'interferogramma.

$$h_a = \frac{\Delta_r \sin \theta}{2B_n}$$

Il *phase unwrapping* risolve quindi questa ambiguità attraverso l'integrazione della differenza di fase tra pixel adiacenti. Dopo aver eliminato qualsiasi numero intero di quote ambigue (pari ad un ciclo intero di fase 2π), la variazione di fase tra due punti sull'interferogramma appiattito corrisponderà ad una variazione di altitudine reale.

La qualità e l'affidabilità del risultato dipende molto dalla coerenza del dato in ingresso. Risultati migliori si hanno nelle zone con alta coerenza. I risultati da sviluppare devono essere interpretati come una variazione di altezza/spostamento relativa, tra due pixel.

Snapu export – Snapu import

Una delle principali sfide nelle applicazioni radar interferometriche consiste proprio nel risolvere il phase unwrapping. Con il software SNAP è possibile risolvere il phase

unwrapping tramite esportazione dell'interferogramma in SNAPHU²⁸ e successiva importazione dopo l'elaborazione.

Mediante l'operatore Snaphu export (Radar >Interferometric >unwrapping> Snaphu export) si deve inserire nella scheda *Read* l'interferogramma a cui sono state applicate tutte le correzioni geometriche e, nella scheda *SnaphuExport*, TOPO in *statistical cost mode*. TOPO è l'impostazione per creare il DEM ed indica la dimensione di stima della finestra di coerenza nella direzione azimutale. Se, invece, si vuole creare un elaborato nel quale leggere gli spostamenti del terreno in seguito ad un evento sismico si deve inserire DEFO in *statistical cost mode*. Nella scheda *inital method* è stato selezionato MFC, come algoritmo da utilizzare per l'inizializzazione dei valori di phase unwrapping e altri parametri come i numeri di righe e colonne dell'immagine da elaborare. L'output di questo operatore è un prodotto che funge da contenitore per l'interfaccia di SNAPHU e contiene il *phase wrapped* con i corrispondenti metadati. In seguito all'elaborazione in SNAPHU si importa il file ottenuto in formato *hdr*. Dal momento che la la phase unwrapped così ottenuta non contiene informazioni di geocodificazione e metadati, si deve far aderire alla *phase wrapped* mediante snaphu import.

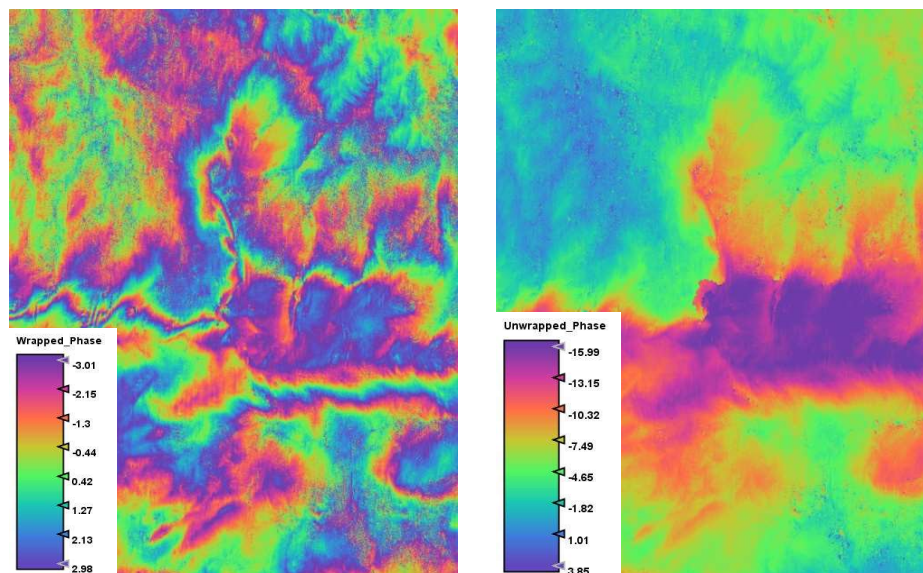


Figura 20: l'immagine di sinistra rappresenta l'interferogramma phase wrapped e quella di destra lo stesso interferogramma srotolato, phase unwrapped. L'elaborazione fa riferimento alla coppia stereo del 27 Agosto e 2 Settembre 2016 elaborata con SNAP.

²⁸ SNAPHU: Statistical-Cost, Network-Flow Algorithm for Phase Unwrapping. Algoritmo sviluppato presso la *Stanford University* (California).

2.3.6 Dalla mappa interferometrica al modello di elevazione digitale

Phase to elevation

Questo operatore permette di creare un modello di elevazione digitale – DEM – da un interferogramma sviluppato secondo il procedimento fin'ora descritto. I parametri utilizzati per effettuare il modello sono: DEM SRTM 3Sec con metodo di ricampionamento bilineare per calcolare le quote di riferimento. L'output dell'operatore è la banda elevation.

Terrain Correction

A causa delle variazioni topografiche della scena e dell'inclinazione del sensore satellitare, le misure delle distanze possono presentare distorsioni nelle immagini SAR. I punti che sono leggermente spostati rispetto alla posizione del *Nadir* del sensore presenteranno qualche distorsione. L'operatore *Terrain Correction* è utile per compensare queste distorsioni in modo che la rappresentazione geometrica dell'immagine sia il più vicino possibile alla situazione reale. La geometria delle distorsioni topografiche delle immagini SAR è mostrata sotto.

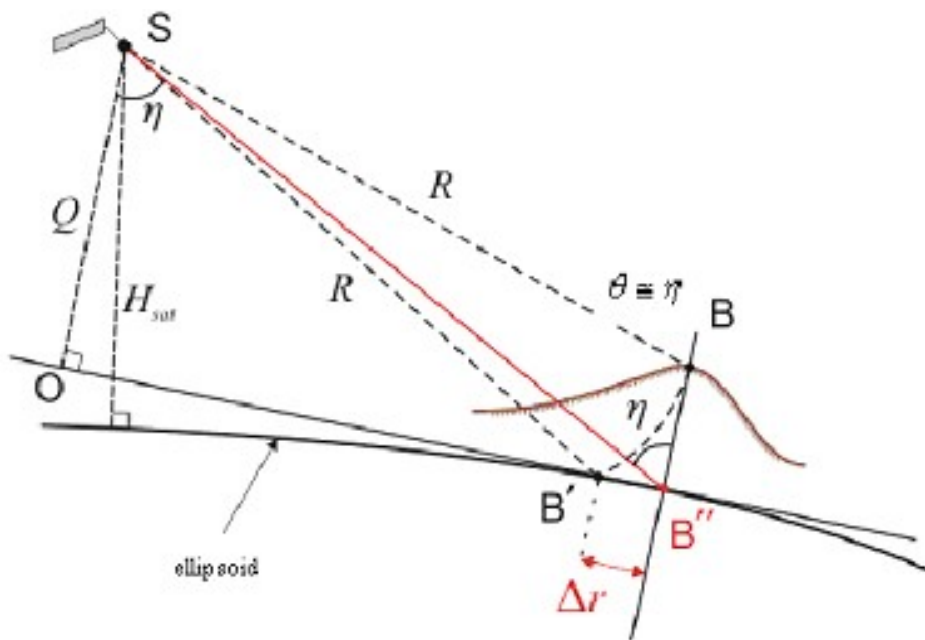


Figura 21: Geometria delle distorsioni topografiche. Fonte: SNAP

Come si può osservare, il punto B con elevazione h sopra l'ellissoide è ripreso nella posizione B' dell'immagine SAR anche se la sua posizione reale è B''. L'offset Δr tra B' e B'' mostra l'effetto delle distorsioni topografiche.

Terrain Corection permette sovrapposizioni geometriche di dati provenienti da diversi sensori e/o geometrie. L'operatore utilizzato è stato il *Range Doppler Terrain Correction*, un algoritmo di orto rettifica. Utilizza le informazioni del percorso orbitale, disponibili nei metadati, l'inclinazione della LOS e il DEM SRTM per ricavare le precise informazioni di geolocalizzazione. Nel caso in esame si è utilizzato un SRTM a 3sec. Il DEM generato è visibile nella **Figura 22**. Con questo procedimento si sono ottenuti due DEM, uno riferito al periodo precedente il terremoto del 24 Agosto 2016 e uno successivo.

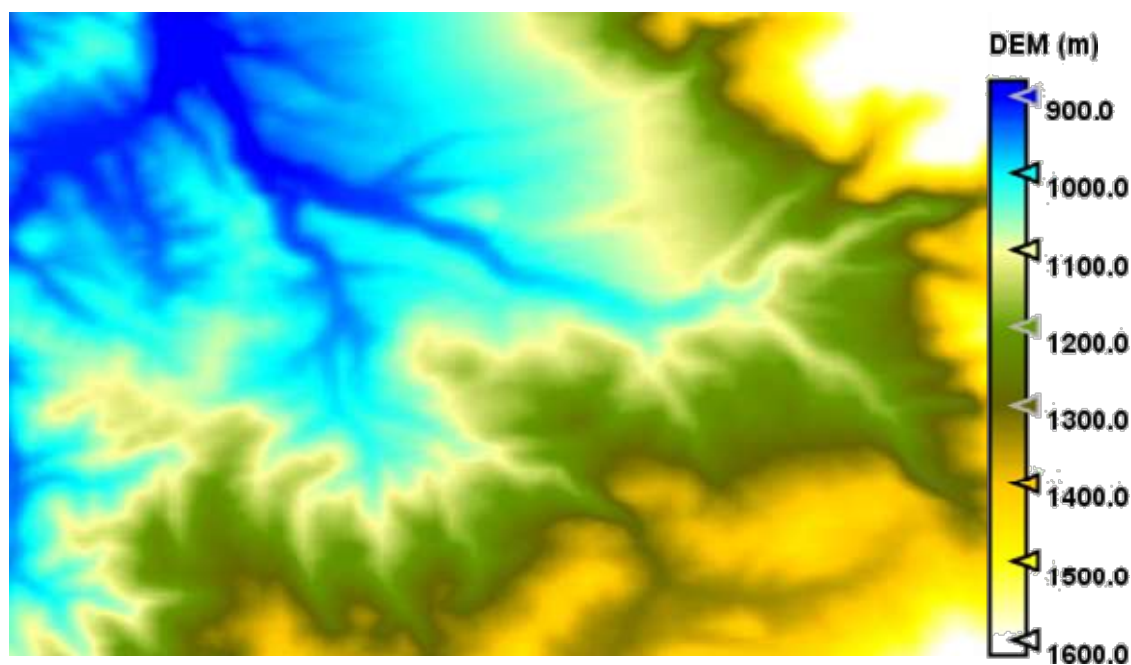


Figura 22: estratto del DEM ottenuto dalla coppia di immagini stereo del 27 Agosto e 2 Settembre 2016 riguardante il territorio di Amatrice.

2.3.7 Dalla mappa interferometrica alla valutazione degli spostamenti del terreno

Tramite la tecnica dell'interferometria differenziale è possibile valutare gli spostamenti del terreno lungo la LOS di due immagini satellitari acquisite in tempi differenti ma con il minimo intervallo temporale. Questa tecnica è utile per monitorare il movimento del terreno soggetto a terremoti, frane o altri movimenti di faglie e permette di individuare spostamenti dell'ordine del centimetro. Non essendo la LOS perpendicolare alla superficie terrestre (vedi **Figura 15**, pag. 82), l'interferometria differenziale restituisce la componente obliqua dello spostamento del terreno lungo la LOS. Attraverso opportuni algoritmi, si può calcolare la componente verticale dello spostamento in modo da ottenere la subsidenza. Se lo scopo dell'analisi è la

valutazione dello spostamento del terreno in seguito ad un determinato evento le immagini della coppia stereo per la creazione dell' interferogramma devono avere il minimo intervallo temporale possibile. Nel caso in esame l'evento è il terremoto che ha colpito l'Italia centrale il 24 Agosto 2016 e quindi la coppia stereo utilizzata riguarda immagini del 22 e 27 Agosto 2016. Il processo di elaborazione dei dati è simile a quello illustrato precedentemente per l'ottenimento del modello di elevazione digitale. Il procedimento prevede la co-registrazione della coppia stereo, la creazione dell' interferogramma e la rimozione del burst (cfr. paragrafo 2.3.2 e 2.3.3), la rimozione della fase dipendente dalla topografia del suolo: *Topographic Phase removal*, l'applicazione delle correzioni *goldstein* e *multilooking* (cfr. paragrafo 2.3.4) e lo sviluppo della fase (cfr. paragrafo 2.3.5). Alla fase sviluppata si è poi applicato l'algoritmo *Phase to Displacement* e tramite un apposita formula si è trasformata la componente obliqua della LOS in componente verticale (*vertical displacement*).

Phase to Displacement

Questo operatore permette di individuare gli spostamenti del terreno nell'intervallo di tempo intercorrente tra le due osservazioni SAR convertendo l'interferogramma in una mappa degli spostamenti. Come già detto lo spostamento che si ricava è lungo la LOS quindi sapendo che il contributo di variazione di fase interferometrica riguardante il displacement è:

$$\Delta\varphi_d = \frac{4\pi}{\lambda} d$$

dove λ è la lunghezza d'onda trasmessa e d il *LOS displacement* possiamo ricavare d :

$$d = -\frac{\lambda}{4\pi} \Delta\varphi_d$$

la componente verticale si potrà calcolare come:

$$d_v = -\frac{\Delta\varphi_d \lambda}{4\pi \cos\theta}$$

dove:

d_v : displacement verticale;

$\Delta\varphi_d$: variazione di fase interferometrica riguardante il contributo del displacement, nel caso in esame corrisponde alla banda unwrapped dell' interferogramma sviluppato;

λ : lunghezza d'onda;

θ : angolo di incidenza che permette di calcolare la componente verticale.

Mediante il calcolatore di SNAP si può aggiungere la banda riguardante il vertical displacement all'interferogramma.

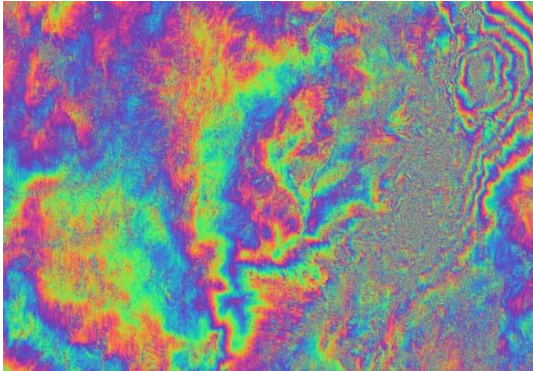


Figura 23: Phase wrapped

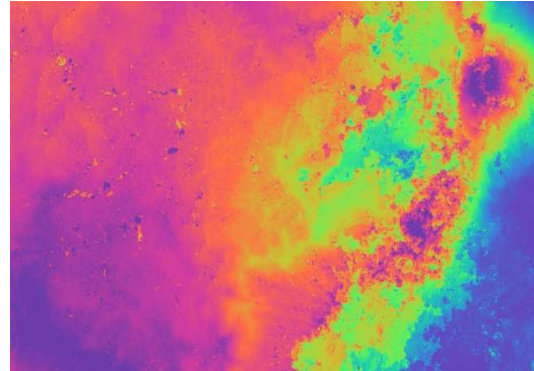


Figura 24: Phase unwrapped

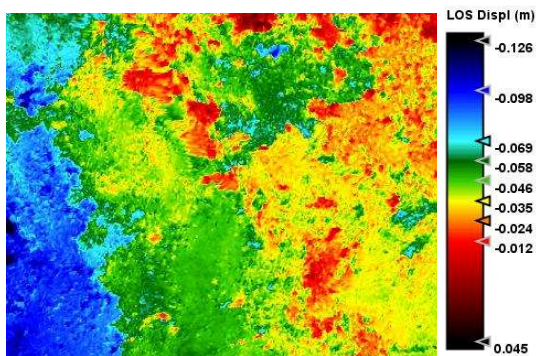


Figura 25: LOS displacement

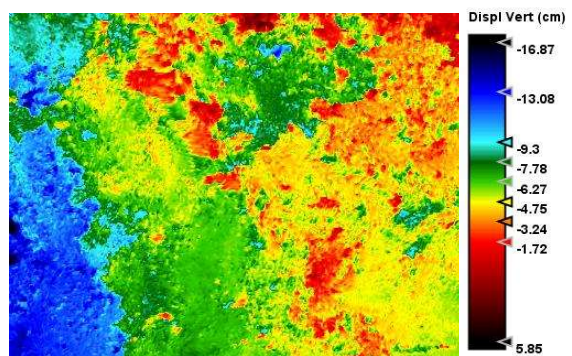


Figura 26: Displacement verticale

2.4 Tecnologie LiDAR per la realizzazione di DEM

La tecnologia di telerilevamento LASER oggetto di studio è quella LiDAR che si sta ampiamente sviluppando negli ultimi anni. LiDAR acronimo di *Light Detection And Ranging* è una tecnica di telerilevamento in grado di misurare le distanze mediante un impulso laser. Questi impulsi di luce combinati con altri dati registrati dal sistema nell'aria, generano precise informazioni tridimensionali riguardanti la forma della terra e le sue caratteristiche superficiali. Questa tecnica è nota anche come 3D laser scanner. L'output di un rilievo LiDAR è una nuvola di punti densa ad alta precisione utile a generare un modello 3d della superficie rilevata. La precisione di questo sistema è elevatissima e, i modelli digitali tridimensionali ottenuti da questi rilievi, rappresentano fedelmente forma, elementi cromatici e caratteristiche morfologiche dell'elemento rilevato.

La strumentazione per il rilievo LiDAR è tipicamente costituita da un telemetro laser, uno scanner e un ricevitore GPS. Il telemetro laser determina la distanza tra il punto di emissione, materializzato dal telemetro stesso e, il punto di riflessione rappresentante il generico punto appartenente al terreno o all'elemento osservato (fabbricato, vegetazione ecc). il telemetro misura questa distanza attraverso il tempo impiegato dall'impulso per percorrere la distanza di andata e ritorno tra i due punti. Lo scanner fornisce le coordinate dei punti e il GPS permette la georeferenziazione della nuvola di punti, in sede di rilievo, nel sistema di coordinate WGS84. Per i LiDAR avio trasportati il GPS è affiancato da un sistema inerziale di navigazione (INS) che permette di rilevare l'orientamento e la posizione dell'aereo ad ogni istante. Questi sono collegati, poi, a stazioni GPS a terra che consentono di eseguire correzioni sulla posizione dell'aereo. Gli strumenti per il rilievo LiDAR sono generalmente montati su aerei o elicotteri, per acquisizioni di dati su grandi aree, droni per aree minori o sono sistemi terrestri.

Nell'elaborazione dei dati ottenuti con questi rilievi si possono classificare i punti rispetto al terreno, ai manufatti, alla vegetazione o altro e, ciò permette di ottenere modelli digitali del terreno estremamente precisi e accurati. Questo è possibile grazie anche alla capacità del raggio laser di generare da un singolo impulso successivi echi in grado di rilevare sulla stessa verticale sia la vegetazione che la superficie del terreno. Dalla nuvola di punti si ottiene direttamente il DSM, modello digitale della superficie, filtrando i punti si ottiene il DTM, modello digitale del terreno.

2.4.1 Acquisizione dati

I dati utilizzati nella seguente elaborazione sono stati forniti solamente a scopi di ricerca. I dati LASER in esame riguardano due periodi temporali differenti: uno precedente al terremoto del 24 Agosto 2016 e uno immediatamente successivo, entrambi rilievi LiDAR. La zona di interesse è il centro abitato del comune di Amatrice. Generalmente, da un rilievo LiDAR aereo o meglio, dalla nuvola di punti, si può ottenere un DSM: modello digitale di superficie che comprende tutti gli elementi presenti sulla superficie esaminata e, quindi, suolo, superfici arboree o arbustive, edifici, ponti e tutti gli elementi antropici presenti. Nella fase di post-elaborazione, in seguito a classificazioni dei punti e filtraggi del DSM si può ottenere un DTM: modello digitale del terreno cioè un DSM ripulito di tutti gli elementi antropici e vegetativi. Un DEM, modello di elevazione digitale, indica generalmente un modello che può essere sia un DTM che un DSM. È un modello 3d la cui caratteristica principale è quella di contenere informazioni sull'altezza di ogni singolo punto della superficie rilevata. Ogni punto di un DEM conterrà informazioni riguardanti le coordinate X, Y e Z.

Caratteristiche dei dati PRE – terremoto

Per quanto riguarda i dati precedenti al terremoto del 24 Agosto 2016 si è utilizzato il rilievo LiDAR eseguito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A) e della sua Estensione (PST-A Estensione 2008). I dati sono consultabili sul geo-portale nazionale tramite i servizi WMS e scaricabili tramite apposita richiesta. Caratteristiche dati²⁹:

- data rilievo: 2008
- motivo del rilievo: monitoraggio aste fluviali
- tipologia di dati forniti: DSM first, DSM last, DTM, intensity, punti in formato xyz
- risoluzione punto a terra: 1x1 m.

Caratteristiche dati POST – terremoto

Il rilievo LiDAR del periodo immediatamente successivo al terremoto è stato eseguito dalla Protezione Civile del Friuli Venezia Giulia.

²⁹ Il dato fornito è di proprietà del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) e distribuito con licenza Creative Commons.

I dati sono stati forniti in seguito a specifica richiesta e sono utilizzabili ai soli fini di studio e ricerca.

Caratteristiche dei dati³⁰:

- data rilievo: 29 Agosto 2016
- motivo del rilievo: mappatura delle aree colpite dal sisma del 24 Agosto 2016
- tipologia di dati forniti: nuvole di punti in formato *.las* e *.laz*
- risoluzione punto a terra: 1x1 m.

2.4.2 Classificazione dei punti e realizzazione di DEM

Come già detto, l'output di un rilievo LiDAR è una nuvola di punti ossia, un insieme di punti caratterizzati dalla loro posizione in un sistema di coordinate e da eventuali valori di intensità ad essi associati. Attraverso gli impulsi di ritorno dei raggi laser si possono definire le classi di appartenenza dei punti. Questa operazione è detta classificazione e permette di individuare i punti appartenenti al terreno, alla vegetazione o al costruito. I più comuni tipi di classificazione di copertura del suolo dividono i punti in: terreno spoglio, foresta, arbusti, urbanizzato e erba folta, sterpi, sottobosco o colture.

Queste classificazioni permettono di individuare i punti di interesse ed eliminare quelli superflui che potrebbero ostruire i risultati delle analisi. Questione significativa dal momento che, se si deve effettuare un'analisi sul costruito si possono eliminare i punti riguardanti la vegetazione o, se l'analisi riguarda la copertura vegetativa si possono anche distinguere i punti appartenenti alla bassa e media vegetazione. L'ASPRS - *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* - propone una modalità più analitica di classificazione che associa un numero ad ogni categoria ed è stata implementata in diversi algoritmi di elaborazione di nuvole di punti.

Classificazione punti ASPRS

- (0) codice creato da non utilizzare per le classificazioni
- (1) *unclassified*: tutti quei punti non classificabili, che non rientrano nelle altre categorie
- (2) *ground*: punti appartenenti al terreno
- (3) *low vegetation*: punti appartenenti alla vegetazione di bassa quota
- (4) *medium vegetation*: punti appartenenti alla vegetazione a media quota

³⁰ Il dato fornito è di proprietà della Protezione Civile Friuli Venezia Giulia e distribuito ai soli fini di ricerca.

- (5) *high vegetation*: punti appartenenti alla vegetazione ad alta quota
- (6) *building*: punti appartenenti agli edifici
- (7) *low point, noise*: sono punti bassi, sterpaglie, a volte associabili a rumore
- (8) *model key-point*: punti di massa o modello
- (9) *water*: punti appartenenti a fiumi, laghi corsi d'acqua ecc.
- (10) - (11) e da (13) a (31) *reserved*: punti riservati per definizioni ASPRS
- (12) *overlap*: punti di sovrapposizione, corrispondenti a quei punti immediatamente abbattuti durante la fusione delle linee di volo, generalmente vengono inseriti nella categoria (1).

Classification Value (bits 0:4)	Meaning
0	Created, never classified
1	Unclassified ¹
2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Low Point (noise)
8	Model Key-point (mass point)
9	Water
10	<i>Reserved for ASPRS Definition</i>
11	<i>Reserved for ASPRS Definition</i>
12	Overlap Points ²
13-31	<i>Reserved for ASPRS Definition</i>

Figura 27: classificazione punti standard dell'ASPRS, Ottobre 2010. Fonte: www.asprs.org

2.4.3 Tipologie di DEM

Un dato così ottenuto si presenta, quindi, come un seminato sparso di punti che bisogna trasformare in una superficie. Bisogna, cioè, collegare i punti in maniera coerente e secondo una logica specifica. Ai fini di questo studio lo scopo dell'elaborazione della nuvola di punti è la realizzazione di un DEM.

Un DEM ottenuto da una nuvola di punti può essere organizzato in tre diverse strutture di dati:

- *GRID*: matrice delle altezze, il modello può essere realizzato per celle o per punti. La nuvola di punti è rappresentata mediante immagini raster (matrice a celle regolari quadrate) nelle quali ogni pixel rappresenta la quota corrispondente al punto osservato. Il terreno è descritto mediante una griglia costituita da celle a quota costante e quindi si può dedurre che l'accuratezza

del modello dipenderà dalla dimensione della cella. Maggiore sarà la risoluzione a terra del punto, maggiore sarà la precisione del dato.

- *TIN*: Triangulated Irregular Network. Il modello è realizzato per aree e consiste in una rete irregolare di triangoli con vertici in punti di quota noti. Ogni triangolo presenta un'inclinazione costante del piano e la sua dimensione sarà inversamente proporzionale alla variabilità del terreno. Questa struttura di dati, in aree con forti variabilità di pendenze è più efficiente del GRID.
- *Contour Lines*: modello per linee o tubi di flusso. La nuvola di punti è rappresentata con curve di livello in forma numerica. Le linee collegano punti con la stessa quota, isoipse, o punti con quota diversa, profili del terreno. L'accuratezza di questo tipo di modello dipende dagli incrementi di quota di linee successive per i punti della stessa quota o dalla distanza tra le linee adiacenti per i punti di diversa quota.

Nel caso in esame si è scelto di organizzare la nuvola di punti secondo un *GRID* dal momento che si necessitava di una matrice raster in cui ogni punto fosse memorizzato con la relativa quota. Una matrice delle altezze.

Lastools

Lastools è un plugin di Qgis che consente di eseguire diverse operazioni con i file *.las*. L'algoritmo *las2dem* consente di classificare i punti e trasformare il file *.las* in formato raster. Prima di realizzare il DEM si sono trasformati i punti in una maglia regolare mediante l'algoritmo *lasthin*. Questo permette un perfezionamento della nuvola di punti andando a correggere gli errori dovuti alle linee di volo e a fattori di sovrapposizione nei processi di post elaborazione dei dati. Nel caso in esame, per i dati POST terremoto la linea di volo si presentava come una linea nera diagonale a intervalli regolari sui vari *las*, con pixel assenti (*nodata*), veri e propri buchi nelle nuvole di punti. L'algoritmo *lasthin* ha permesso di correggere questo fattore assottigliando la nuvola di punti e trasformandola in una maglia regolare. L'output di questo algoritmo è sempre un file in formato *.las* o *.laz*. A questo punto con l'algoritmo *las2dem* si è creato un dataset raster da un dataset di nuvola di punti in formato *.las* o *.laz*. L'individuazione dei punti di questo algoritmo utilizza la classificazione dell' ASPRS, i dati fornitici contenevano solo le classificazioni (2) e (8) quindi non è stato possibile eliminare la vegetazione. Fattore che avrebbe reso le elaborazioni più pulite ma non rilevante ai fini del caso esaminato. Nel caso specifico

si è supposto che i punti appartenenti alla vegetazione non sono stati classificati come tali dal momento che potevano essere confusi con i punti appartenenti alle macerie nelle strade. Per quanto riguarda i dati del POST terremoto, invece, non è stata fatta nessuna classificazione dal momento che si avevano a disposizione i punti in formato xyz e i DSM e i DTM.

L'algoritmo las2dem ha permesso di realizzare un DSM modello digitale di superficie nel quale sono rappresentati tutti i punti presenti sulla superficie terrestre. Il DSM è utile, ad esempio per leggere la quota degli edifici e fare le opportune analisi. Con lo stesso algoritmo, si è ricavato anche il DTM modello digitale della superficie rappresentante la superficie terrestre ripulita di tutto ciò che la sovrasta. La terra nuda. Il DTM si è ottenuto impostando la visualizzazione dei soli punti appartenenti al terreno, classificazione (2) dell'ASPRS.

I pixel dei raster così ottenuti hanno risoluzione di 1m x 1m.

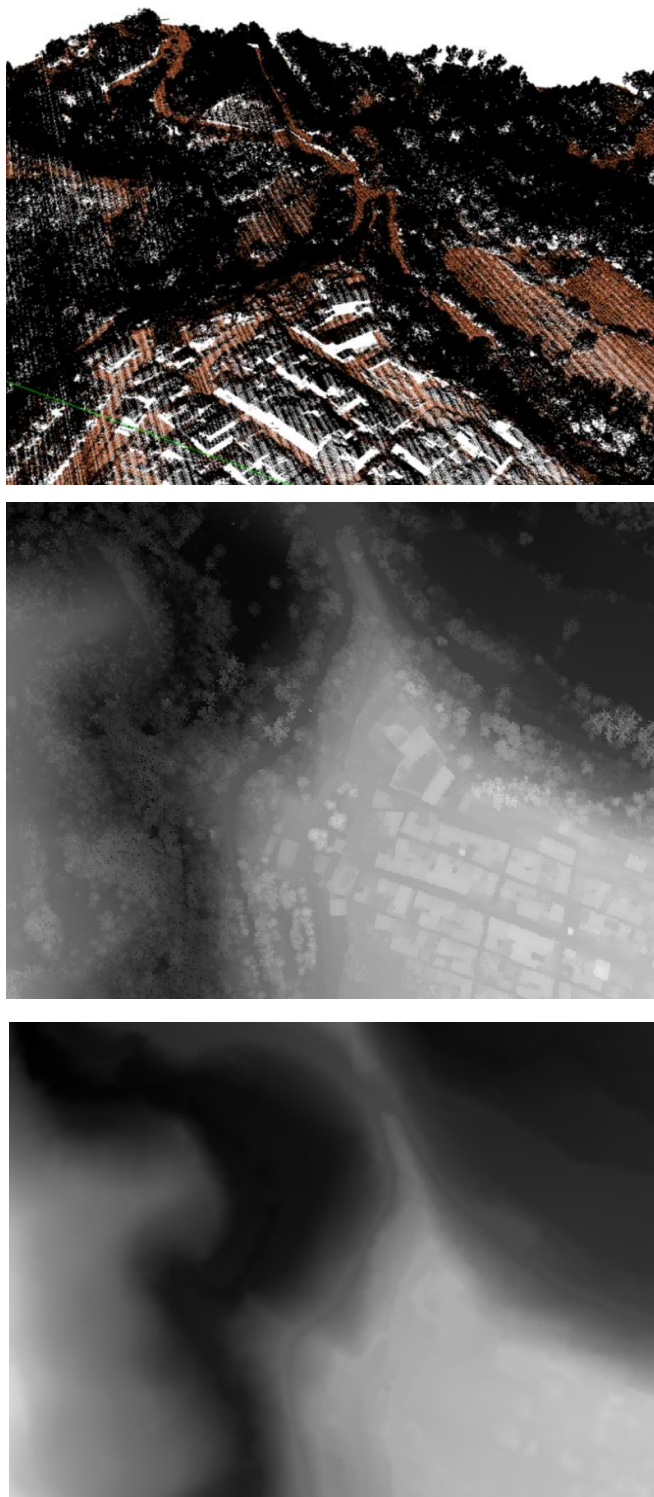


Figura 28: sequenza di trasformazione della nuvola di punti, dall'alto verso il basso: nuvola di punti visualizzata con *lasview*; DSM ottenuto con *las2dem*; DTM ottenuto con *las2dem* filtrando solo i punti della classificazione (2). La seguente elaborazione riguarda uno stralcio dei dati del POST terremoto nell'area di Amatrice.

2.5 Livellazione GPS

Sia con le tecniche RADAR che LiDAR le coordinate di un punto sono ottenute mediante rilievo GPS basato sull'elissoide WGS84. La posizione di un punto determinata con rilievi GPS può essere espressa sia tramite coordinate cartesiane (X, Y, Z) che, tramite coordinate elissoidiche (φ, λ, h) dove: φ latitudine, λ longitudine e h quota elissoidica. Il vantaggio di utilizzare questo sistema di coordinate risiede nella possibilità di esprimere gli elementi geodetici e le coordinate cartografiche di qualunque zona della terra in un unico riferimento. Per quanto riguarda la questione altimetrica, il GPS fornisce quote elissoidiche (riferite all'elissoide WGS84) mentre nel sistema geodetico si adottano quote ortometriche (riferite al geoide). La quota ortometrica H di un punto P è la lunghezza dell'arco di linea di forza della gravità compreso tra il punto P e il geoide. Le quote ortometriche si riferiscono generalmente al livello medio dei mari.

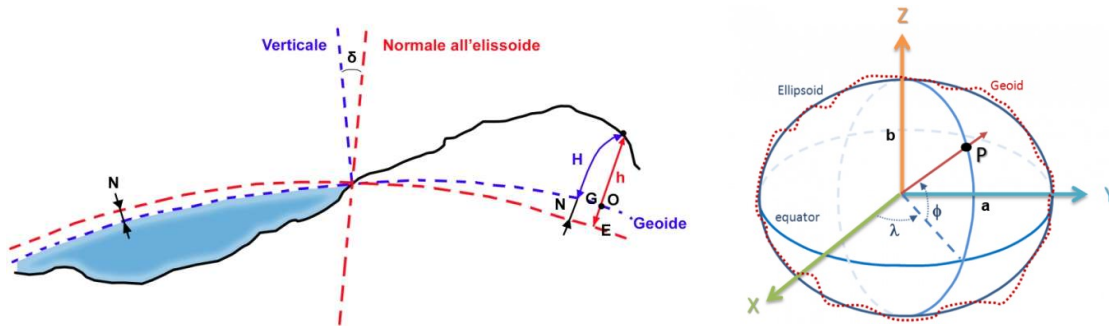


Figura 29 La figura di sinistra mostra la differenza tra la quota ortometrica H e quota elissoidica h . La figura di destra mostra i sistemi di coordinate cartesiane e elissoidiche utilizzate dai sistemi GPS.
Fonte: www.topoprogram.it

Come mostrato in **Figura 29** la linea di forza della gravità passante per il punto P interseca il geoide in un punto G e, la lunghezza dell'arco congiungente G e P rappresenta la quota ortometrica (H) di P . Tracciando dal punto P una linea perpendicolare alla superficie elissoidica (linea rossa tratteggiata) si ottiene la quota elissoidica h . N rappresenta la differenza di quota tra ellissoide e geoide ossia: l'ondulazione del geoide che può essere sia positiva che negativa. Questa viene calcolata con diversi metodi su scala globale e viene poi raffinata a livello locale. Generalmente i modelli per il calcolo dell'ondulazione geoidica si basano su l'approssimazione della quota ortometrica al segmento PO . Possiamo, quindi affermare che in un generico punto l'ondulazione del geoide sarà:

$$N = h - H$$

dove:

$h = PE$; $H = PO$.

Non è semplice calcolare l'ondulazione del geoide dal momento che questa dipende da svariati fattori correlati all'elissoide considerato. Per avere un ordine di grandezza, generalmente in Italia lo scostamento geoide - elissoide WGS84 corrisponde a circa 50 metri.

2.5.1 Conversione di coordinate da elissoidiche a ortometriche

Quando si effettua un rilievo GPS è quindi necessario collegare i dati ottenuti ad un sistema di riferimento geodetico. La conversione da coordinate elissoidiche: coordinate geografiche espresse in gradi rispetto al centro di massa e rappresentanti la posizione di un punto sull'elissoide, a coordinate geodetiche, coordinate cartografiche espresse in metri e rappresentanti la posizione di un punto sul geoide, si esegue mediante le reti geodetiche. La rete geodetica è un apparato costituito da punti materializzati sul territorio le cui coordinate sono espresse nel sistema di riferimento geodetico. La definizione di un sistema di riferimento geodetico è legata alla scelta di un elissoide, all'orientamento dello stesso e alla definizione di una rete geodetica di appoggio. La definizione di una rete di appoggio permette, quindi di disporre di punti di coordinate note sul territorio ai quali collegare il rilievo GPS. In Italia esistono due sistemi geodetici fondamentali:

- datum nazionale ROMA40: rete per tutte le attività geodetiche, topografiche e cartografiche ottenuta con misurazioni classiche;
- datum WGS85 – ETRF89: rete di impianto IGM ottenuta con misurazioni GPS.

La differenza tra la quota elissoidica e quella ortometrica non è costante e non varia secondo una legge geometrica definita (data la natura estremamente variabile della superficie terrestre), può essere solamente misurata in ogni punto. Non è possibile ottenere le quote ortometriche di un punto senza la disponibilità di stazioni GPS fisse a terra. A tal proposito l'Istituto Geografico Militare (IGM) ha predisposto un software commerciale per la trasformazione delle coordinate: *Verto*. Questo, dalle coordinate WGS84 geografiche, restituisce coordinate geografiche e cartografiche nei sistemi di riferimento maggiormente utilizzati per la cartografia italiana.

Nei casi di studio analizzati non è stato possibile effettuare questa conversione, fattore non rilevante ai fini dello studio dal momento che tutti gli elaborati sono stati

ottenuti con coordinate geografiche elissoidiche. D'altro canto in studi riguardanti variazioni di volumi non è necessario realizzare questa conversione, sempre che i dati analizzati siano nello stesso sistema di coordinate. Ciò perché la differenza di quota che sia calcolata in riferimento all'elissoide o al geoide è sempre la stessa, con un piccolo scarto di errore che ai fini dell'elaborazione in esame non è stato rilevante.

3. Change detection e classificazione del danno sismico in seguito agli eventi sismici che hanno colpito il centro Italia il 24 Agosto 2016

3.1 Caso studio: centro abitato Amatrice

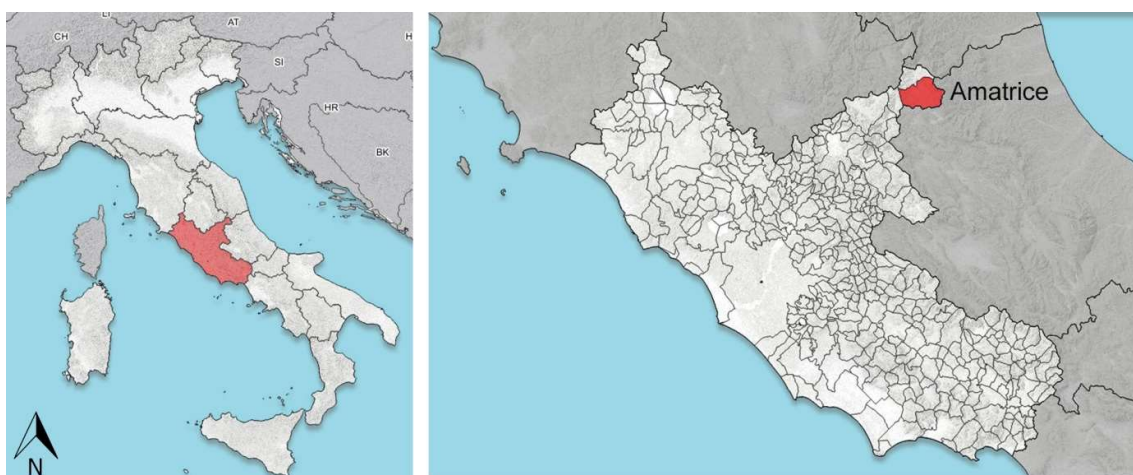


Figura 30: Sulla sinistra rappresentazione grafica dell'Italia con i confini delle regioni e individuazione della regione Lazio in rosso. Sulla destra ingrandimento sulla regione Lazio con i perimetri comunali e l'individuazione del comune di Amatrice in rosso.

Amatrice è un comune italiano della provincia di Rieti situato nella regione Lazio. Il paese sorge al centro di una conca, nell'alto bacino idrografico del fiume Tronto. Territorio montuoso con altitudine compresa tra 900 e 2500 metri.

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale³¹ il comune di Amatrice ricade in zona 1. Questa è la zona più pericolosa nella quale la probabilità che si verifichino forti terremoti è altissima. Il territorio di Amatrice è stato interessato nel corso della storia da numerosi eventi sismici. Il massimo terremoto locale di cui si è a conoscenza risale al 1639 (9-10 MCS, Mw 6.2), questo devastò il centro urbano di

³¹ Classificazione sismica del territorio italiano adottata in seguito al Decreto Legislativo n. 112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 2001 – “Testo Unico delle Norme per l'Edilizia”.

Amatrice e le località circostanti con caratteristiche simili al terremoto verificatosi il 24 Agosto 2016. Altri forti terremoti hanno colpito la zona come quello del 1703 e altri di cui però si hanno scarse conoscenze tecniche.

Il terremoto verificatosi il 24 Agosto 2016 è stato frutto di uno sciame sismico persistente da diversi giorni con scosse di varie entità. Il sisma con epicentro nell'area appenninica compresa tra i monti della Laga e i Monti Sibillini ha registrato una magnitudo di 6.2 e ha distrutto completamente il centro storico di Amatrice.

3.1.1 Evoluzione dell'edificato

Il centro storico di Amatrice è caratterizzato da un tessuto edilizio ad altissima densità avente forma di un esagono irregolare. Tutto l'edificato si sviluppa lungo la principale strada di crinale di collina (*strada regionale 260*) sulla quale fu realizzato l'intero nucleo per garantire una buona difesa militare.

Dataset utilizzato³² per l'analisi dell'evoluzione storica dell'edificato:

- 1988 – 1989: ortofoto in bianco e nero dell'intero territorio italiano con risoluzione 1:10.000. Questa ortofoto ha permesso di individuare tutti gli edifici realizzati prima del 1988.
- 1998: ortofoto digitali in bianco e nero del territorio nazionale acquisite nel periodo compreso tra il 1994 e il 1998. Risoluzione 1:10.000.
- 2006: ortofoto digitali a colori del territorio italiano con risoluzione 1:10.000.
- 2016: immagine digital globe di Maggio 2016, visualizzata da google earth.



Figura 32: ortofoto bianco e nero del 1988 visualizzata mediante il servizio WMS del PCN.
Fonte: www.pcn.minambiente.it



Figura 31: ortofoto bianco e nero del 1998 visualizzata mediante il servizio WMS del PCN.
Fonte: www.pcn.minambiente.it

³² Le ortofoto a colori e bianco e nero, sono state visualizzate mediante il servizio WMS del sito del Ministero per l'ambiente: www.pcn.minambiente.it.



Figura 34: ortofoto a colori del 2006 visualizzata mediante il servizio WMS del PCN.
Fonte: www.pcn.minambiente.it

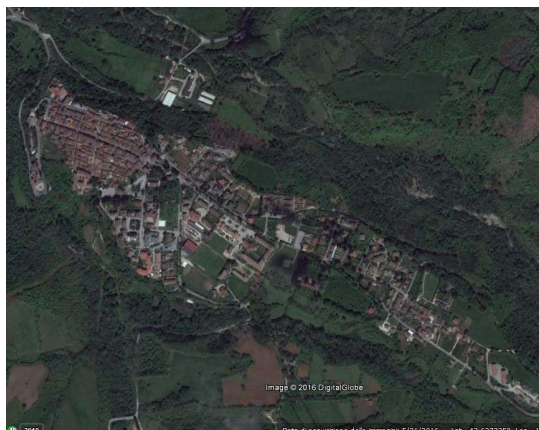


Figura 33: ortofoto maggio 2016.
Fonte: *GoogleEarth*

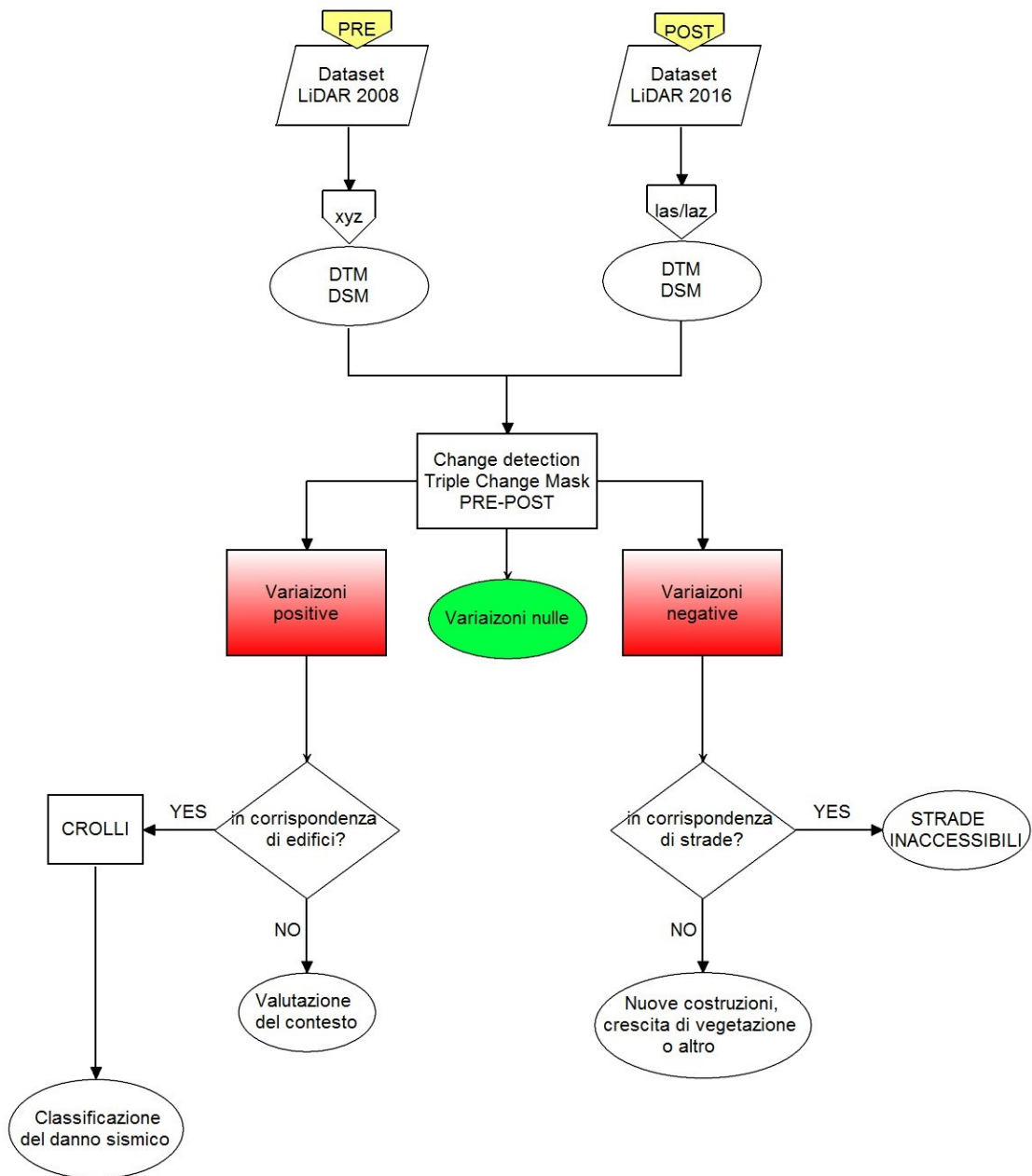
Questo dataset ha permesso di individuare quattro classi di sviluppo per l'insediamento urbano: precedenti al 1988, dal 1988 al 1998, dal 1998 al 2006 e dal 2006 al 2016.

3.1.1 Tipologie costruttive

Il tessuto storico di Amatrice è caratterizzato da edifici realizzati con materiali tipici del luogo, prevalentemente in muratura. Per le strutture in elevazione sono state utilizzate perlopiù murature in pietrame, ciottolame, laterizi e malte e, per gli orizzontamenti, solai intermedi e coperture: legname, ferro o sistemi voltati. Sono presenti, inoltre edifici in cemento armato, sia nel centro storico che al di fuori. Bisogna specificare che molti edifici in muratura del centro storico, sono stati interessati da interventi di adeguamento sismico o miglioramento strutturale che hanno previsto il rifacimento della copertura in cemento armato.

3.2 Analisi dei risultati

3.2.1 WorkFlow chart



3.2.2 Change detection da dataset RASTER

Con i DEM ottenuti dai dati satellitari RADAR, seguendo la metodologia specificata nel paragrafo 2.3 si è eseguita una change detection triple change mask che non ha prodotto risultati significativi. Non è stato possibile individuare in maniera univoca le aree soggette a variazioni positive, negative o nulle. I DEM in questione sono stati ottenuti con le coppie di immagini stereo SAR del 9 e 22 Agosto che hanno restituito un DEM del periodo precedente al terremoto del 24 Agosto e, 27 Agosto e 2 Settembre che hanno restituito un DEM del periodo immediatamente successivo al sisma.

L'analisi ha evidenziato diverse negatività dell'utilizzo di questa tipologia di DEM per analisi di change detection. I modelli digitali del terreno suddetti sono raster i cui pixel hanno dimensione di 14x14 m, risoluzione che non permette di distinguere gli elementi, naturali e antropici, presenti sulla superficie terrestre. Motivo per cui questo modello è definito DEM e non DTM o DSM; esso si riferisce genericamente alla superficie terrestre e tutto ciò che la ricopre. Un DEM così ottenuto non permette di associare univocamente l'attributo di altezza di un pixel ad un elemento presente sul territorio. Infatti l'attributo di un pixel di tale dimensione, potrebbe appartenere indistintamente ad un edificio, al livello del terreno o ad un elemento vegetativo. Si intuisce, quindi, che non è possibile, dalla differenza dei due DEM, ricavare informazioni sulle aree del territorio maggiormente colpite dal sisma.

Questi DEM si prestano bene per analisi morfologiche su vasta scala, riproducono fedelmente l'andamento altimetrico di un terreno, specialmente in zone poco urbanizzate. Si prestano meno per zone fortemente urbanizzate dove la presenza di edifici molto alti disturba il risultato finale. Inserendo i DEM in un GIS si possono produrre nuovi dati come carte altimetriche, di acclività, di esposizione, la creazione di superfici TIN e molto altro. Il DEM è anche utilizzabile come base per realizzare il modello 3d di un territorio urbanizzato o meno.

3.2.3 Vertical Displacement

Dall'elaborazione dell'interferogramma ottenuto con i dati satellitari e con il metodo specificato precedentemente (cfr. paragrafo 2.3.7) si è analizzato lo spostamento verticale del terreno in seguito al sisma del 24 Agosto 2016. Nel centro abitato di Amatrice nel periodo compreso tra il 22 Agosto e il 27 Agosto si sono registrati spostamenti del terreno dell'ordine del cm compresi tra 0,25 e 10 cm.

Lo spostamento registrato è negativo e quindi corrisponde ad un fenomeno di sprofondamento del terreno lungo la direzione verticale. La lettura degli spostamenti del terreno Δ_v è utile per avere un riscontro immediato sulle zone che potrebbero aver subito danni maggiori. I dati così ottenuti non permettono di fare un'analisi puntuale ma solamente per grandi aree. Questa, infatti, permette di individuare le aree maggiormente colpite nelle quali c'è la maggiore probabilità che si siano verificati crolli o danni alle strutture.

Il centro storico di Amatrice è stato interessato da fenomeni di $\Delta_v \geq 6$ cm fattore che ha influito negativamente sulla stabilità strutturale degli edifici.

Le conseguenze degli spostamenti verticali del terreno dipendono dalla natura del terreno, dalle caratteristiche costruttive degli edifici, dai materiali utilizzati per le costruzioni, dall'età delle stesse, dai lavori di ristrutturazione, ampliamento o adeguamenti sismici e strutturali su di esse effettuati.

3.2.4 Change detection, triple change mask – dataset LiDAR

Dalla differenza tra il DSM del PRE terremoto ottenuto con i dati LiDAR del 2008 e il DSM del POST terremoto ottenuto con i dati LiDAR del 2016 si è ottenuta la triple change mask (dataset ottenuto seguendo la metodologia specificata nel paragrafo 2.4). La triple change mask è rappresentata con un raster i cui pixel hanno dimensione di 1x1 m.

Essa ha permesso di individuare e distinguere, nel centro abitato di Amatrice, specificando che si è considerato un margine di errore compreso tra -0,4 e 0,4 m, tutti i punti appartenenti a:

- variazioni positive: tutti i pixel il cui attributo di altitudine ha valore positivo ossia compreso tra 0,4 e 20 m. Nel caso specifico le variazioni positive individuano, sulla mappa, abbassamenti di quota e quindi si possono identificare crolli nel caso si stiano esaminando gli edifici.
- variazioni nulle: tutti i pixel il cui attributo di altitudine ha valore nullo o prossimo allo zero ossia compreso tra -0,4 e 0,4 m. Nel caso specifico le variazioni nulle individuano, sulla mappa, tutte le zone che non sono state soggette a variazioni di quota in seguito all'evento sismico.
- variazioni negative: tutti i pixel il cui attributo di altitudine ha valore negativo ossia compreso tra -0,4 e -20m. Nel caso specifico le variazioni negative

individuano, sulla mappa, aumenti di quota che permettono di identificare, nel caso si stiano esaminando le strade, la presenza di macerie in seguito a crolli. Questa analisi permette di individuare immediatamente gli edifici del centro abitato che hanno subito crolli e le strade che risultano inaccessibili a causa di presenza di macerie o altro.

Il margine di errore è stato considerato in base all'intervallo temporale di otto anni tra i due rilievi, alle diverse condizioni metereologiche in cui sono stati effettuati gli stessi e a piccoli margini di errori propri di tali metodologie di rilievo.

3.2.5 Change detection in corrispondenza dell'edificato

Dalla triple change mask si sono evidenziate le variazioni positive e negative, Δ_h , solamente in corrispondenza dell'edificato.

Per quanto riguarda le variazioni positive, edifici con $\Delta_h > 0,4$ m sono stati classificati come: edifici interessati da crolli. Per le variazioni negative, edifici con $\Delta_h < -3,00$ m sono stati classificati come: edifici di nuova costruzione realizzati dopo il 2008. Dalle variazioni negative si sono identificati tre edifici di nuova realizzazione al di fuori del centro storico, e uno nel centro storico.

3.2.6 Classificazione EMS98

La EMS98, scala macrosismica europea è stata introdotta nel 1998 in Europa dove viene utilizzata per la valutazione dell'intensità sismica. Questa scala permette di eseguire una valutazione degli effetti di un terremoto su un centro abitato eseguendo una classificazione del danno. Come noto, il modo in cui un edificio si deforma in seguito ad un terremoto, dipende dalla tipologia costruttiva dello stesso.

La classificazione EMS98 prevede 5 classi di danno sia per gli edifici in muratura che in cemento armato: da grado 1 rappresentante un danno trascurabile (non strutturale) a grado 5 distruzione. Nel caso in esame si prenderanno in considerazione gli edifici in muratura e quelli in cemento armato, uniche tipologie presenti. La classificazione ha riguardato la classe 4 danni molto pesanti e 5 distruzione.

Dall'elaborato riguardante la change detection sul solo edificato si sono fatte delle considerazioni sull'entità delle variazioni di quota Δ_h positive che hanno permesso di fare una classificazione analitica del danno.

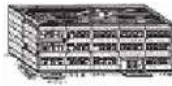
Masonry buildings	Reinforced buildings	Classification of damages
		Grade 1: Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage)
		Grade 2: Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage)
		Grade 3: Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural damage)
		Grade 4: Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage)
		Grade 5: Destruction (very heavy structural damage)

Figura 35 Classificazione del danno per edifici in muratura e cemento armato, EMS98.

Classificazione del danno

La classificazione eseguita è di tipo speditivo³³ e ha permesso di individuare le ultime due classi di danno della classificazione EMS98. Queste sono state assegnate in relazione alle differenze di quota degli edifici conseguenti al terremoto. La differenza di quota è stata calcolata eseguendo una differenza tra il DSM del periodo precedente al terremoto e il DSM del periodo immediatamente successivo. Questi DSM sono stati ottenuti con le procedure esposte nel paragrafo 2.4. Si sono valutate le variazioni positive della triple change mask solamente in corrispondenza degli edifici. Supponendo che in un edificio residenziale mediamente l'interpiano è di circa 3,00 m si sono assunti come riferimento tre parametri di differenza di altezza Δ_h :

- $\Delta_h \geq 1,50$ m: questa differenza di quota fa presumere il crollo di almeno mezzo piano di un edificio, con conseguenti danni strutturali gravi e collasso. In seguito a questa considerazione si è assunto che edifici con differenze di quota maggiori di 1,50 m, che siano in muratura o in cemento armato, vengano classificati con grado di danno 5 della scala EMS98.
- $0,40 < \Delta_h < 1,50$ m: edifici con differenze di quote comprese tra questi due parametri vengono classificati con grado di danno 4 della scala EMS98.

³³ L'analisi speditiva in questo caso non è un'analisi sul campo ma è intesa solamente come metodologia di rapida risposta e facilità d'impiego.

Differenze di quota corrispondenti a questi parametri possono indicare cedimenti in copertura o, comunque danni strutturali gravi all'edificio.

- $\Delta_h \leq 0,40$ m: gli edifici ricadenti in questo parametro sono stati classificati con grado di danno inferiore al 4. Queste differenze possono essere attribuite a piccoli cedimenti in copertura, danni non strutturali. Si deve considerare anche un piccolo scarto di errore dovuto alla differenza tra i due DSM ottenuti in tempi diversi.

3.2.7 Considerazioni sulla classificazione del danno sismico effettuata mediante rilievi LiDAR

La classificazione del danno sismico eseguita con la metodologia appena descritta potrebbe indurre in errori di valutazione se non accompagnata da un rilievo in loco. I rilievi LiDAR utilizzati, infatti, permettono di valutare solamente un Δ_h in corrispondenza dell'ultimo piano di copertura. Non restituiscono informazioni riguardanti le pareti laterali degli edifici, informazioni ricavabili, ad esempio, da un rilievo con drone che può raggiungere quote di volo più basse e realizzare riprese oblique che permettono di ricavare un vero e proprio rilievo 3d.

Può accadere, quindi, che un edificio classificato come inferiore alla classe 4 (nell'elaborazione descritta precedente), nella realtà sia collassato o presenti gravi danni strutturali nonostante un $\Delta_h \leq 0,40$ m. Esempi di edifici collassati che non fanno registrare variazioni di altezza si possono vedere nelle **Figura 36 (a) e (b)**. Errore.



Figura 36 (a) e (b): esempi di edifici che non presentano variazioni di quota ma sono interessati da gravi danni strutturali dal momento che le pareti perimetrali non esistono più nella **figura a** e nella **b** sono crollati anche i solai. Amatrice, rilievo effettuato in seguito al terremoto del 24 Agosto 2016.

L'origine riferimento non è stata trovata.

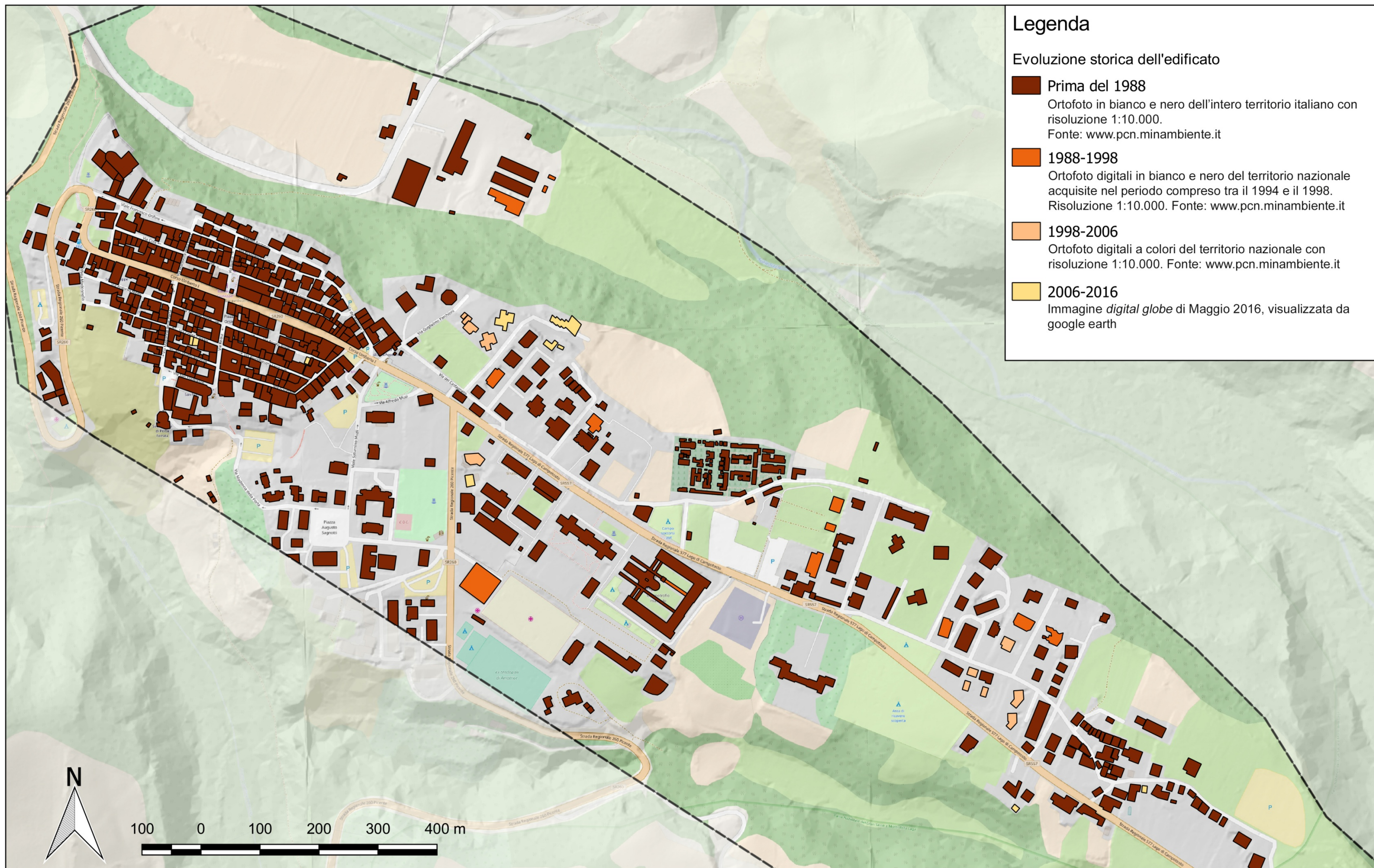
Altra questione è quella riguardante edifici classificati con classe inferiore alla 4 ma che sono adiacenti ad edifici parzialmente o totalmente crollati. Questi potrebbero aver subito dei danni strutturali causati dal distacco dell'edificio adiacente che non sono, però rilevabili da una differenza di quota e quindi, con la classificazione del metodo precedente si incorrerà in un errore di valutazione. Un esempio è fornito dal palazzo ormai noto come “palazzo rosso”, classificato con classe di danno inferiore alla 4 dal momento che non si sono registrate variazioni di quota in seguito al sisma. Dalle foto, emerge, innanzi tutto il collasso degli edifici ad esso adiacenti e la presenza di profonde lesioni. Il palazzo rosso è infatti collassato successivamente con il terremoto del 30 Ottobre 2016.



Figura 37 (a) e (b): Amatrice, “palazzo rosso” in seguito al terremoto del 24 Agosto 2016.

3.3 Elaborati grafici

- 01 Evoluzione storica dell'edificio del centro abitato di Amatrice
- 02 Tipologie costruttive del centro abitato di Amatrice
- 03 Vertical Displacement
- 04 Change detection: triple change mask
- 05 Change detection in corrispondenza dell'edificio
- 06 Classificazione del danno sismico EMS 98, classi 4 e 5.



Legenda

Evoluzione storica dell'edificato

Prima del 1988

Ortofoto in bianco e nero dell'intero territorio italiano con risoluzione 1:10.000.

Fonte: www.pcn.minambiente.it

1988-1998

Ortofoto digitali in bianco e nero del territorio nazionale acquisite nel periodo compreso tra il 1994 e il 1998.

Risoluzione 1:10.000. Fonte: www.pcn.minambiente.it

1998-2006

Ortofoto digitali a colori del territorio nazionale con risoluzione 1:10.000. Fonte: www.pcn.minambiente.it

2006-2016

Immagine *digital globe* di Maggio 2016, visualizzata da google earth



Università degli studi di Basilicata Facoltà di Ingegneria corso di laurea specialistica a ciclo unico (4/S) in **Ingegneria edile architettura**

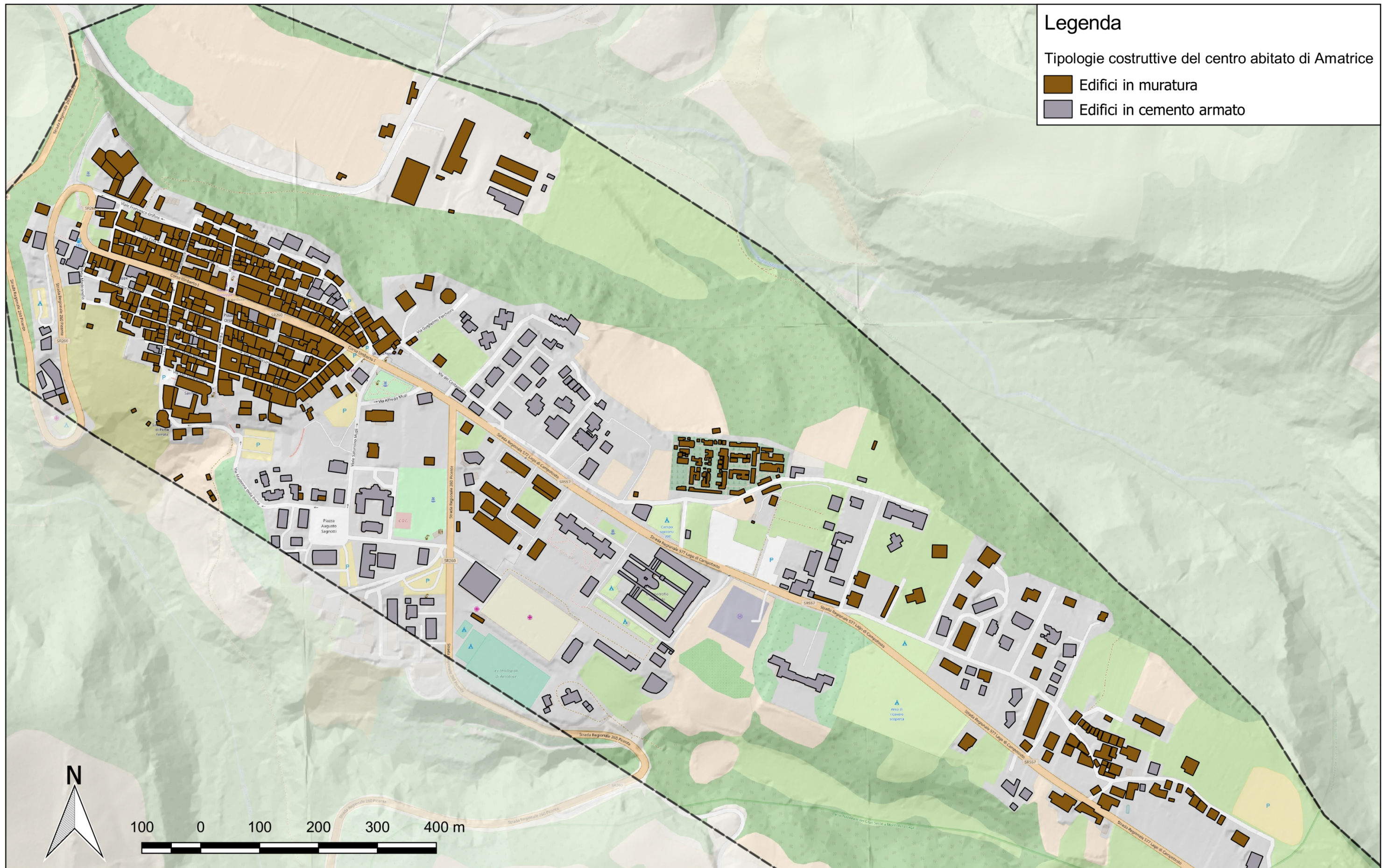
Tesi di laurea in PIANIFICAZIONE TERRITORIALE: **Change detection e classificazione del danno sismico con rilievi LiDAR e RADAR**

a supporto della pianificazione di emergenza. IL CASO DI AMATRICE

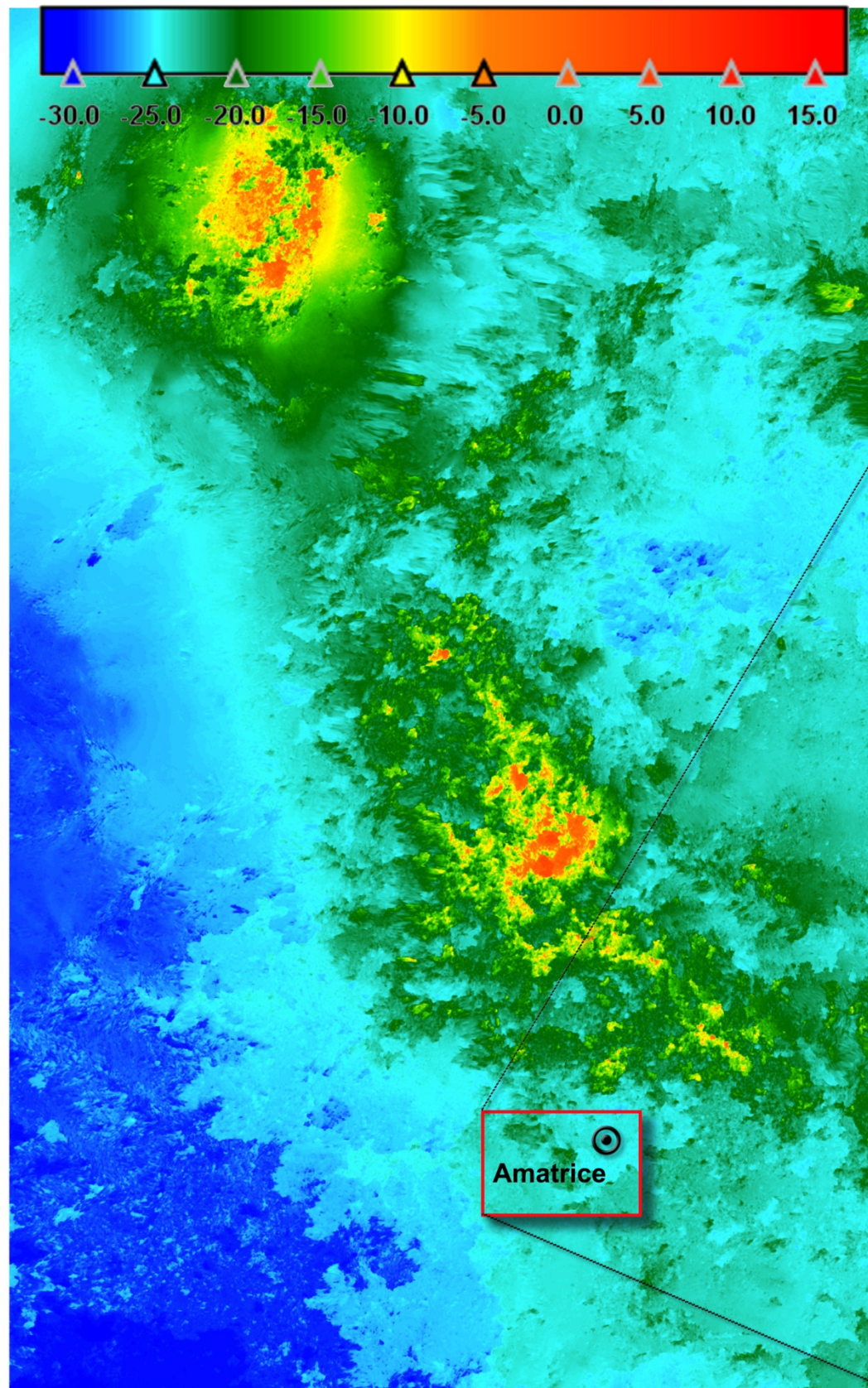
A.A. 2015/2016

Laureanda: **Lucia Saganeiti** matr. 31606

ELABORATO GRAFICO N.1
EVOLUZIONE STORICA DELL'EDIFICATO
DEL CENTRO ABITATO DI AMATRICE



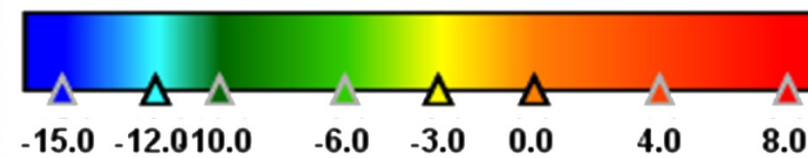
Vertical Displacement (cm)



Vertical Displacement (cm)

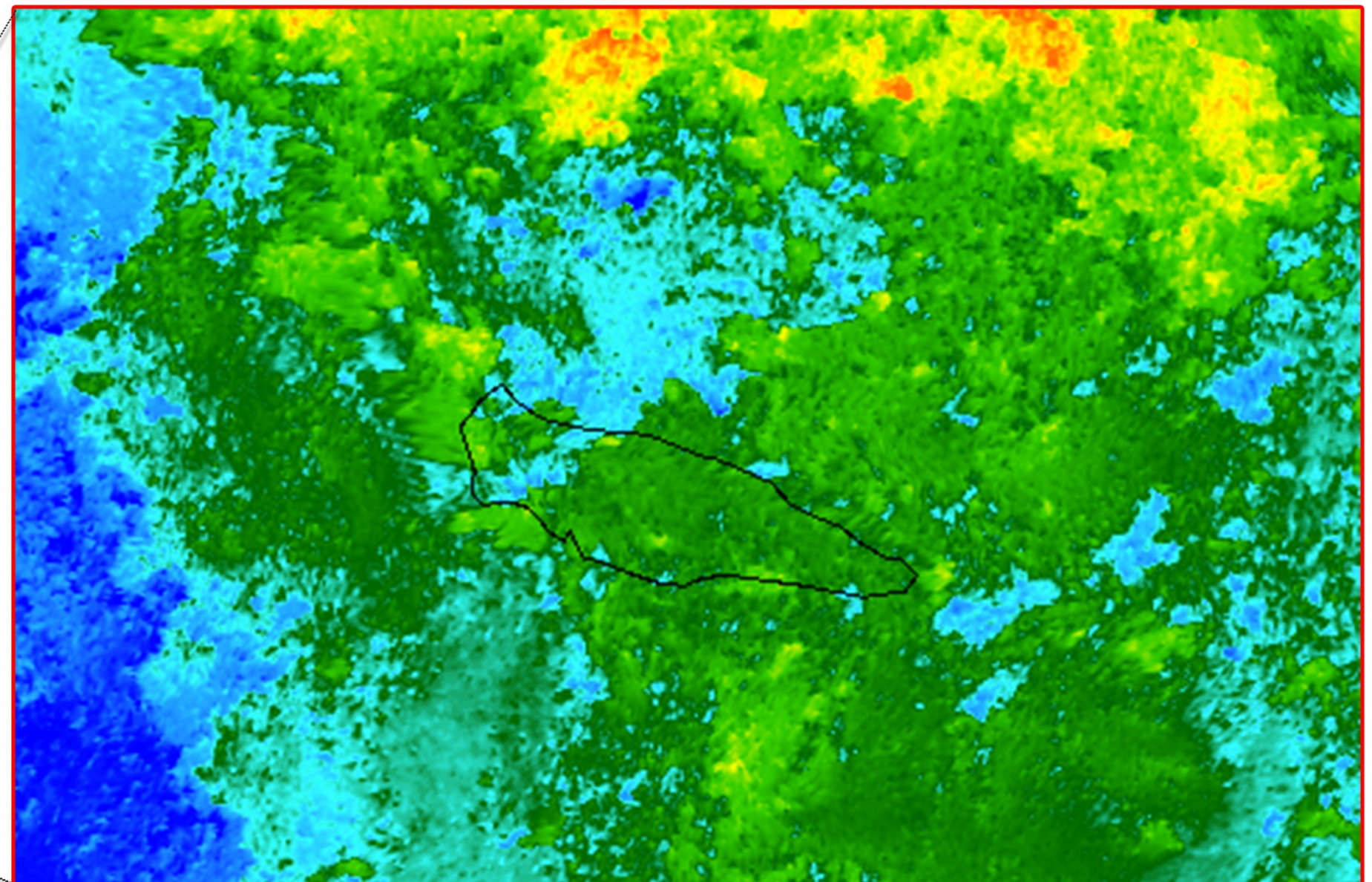
Dettaglio comune di AMATRICE

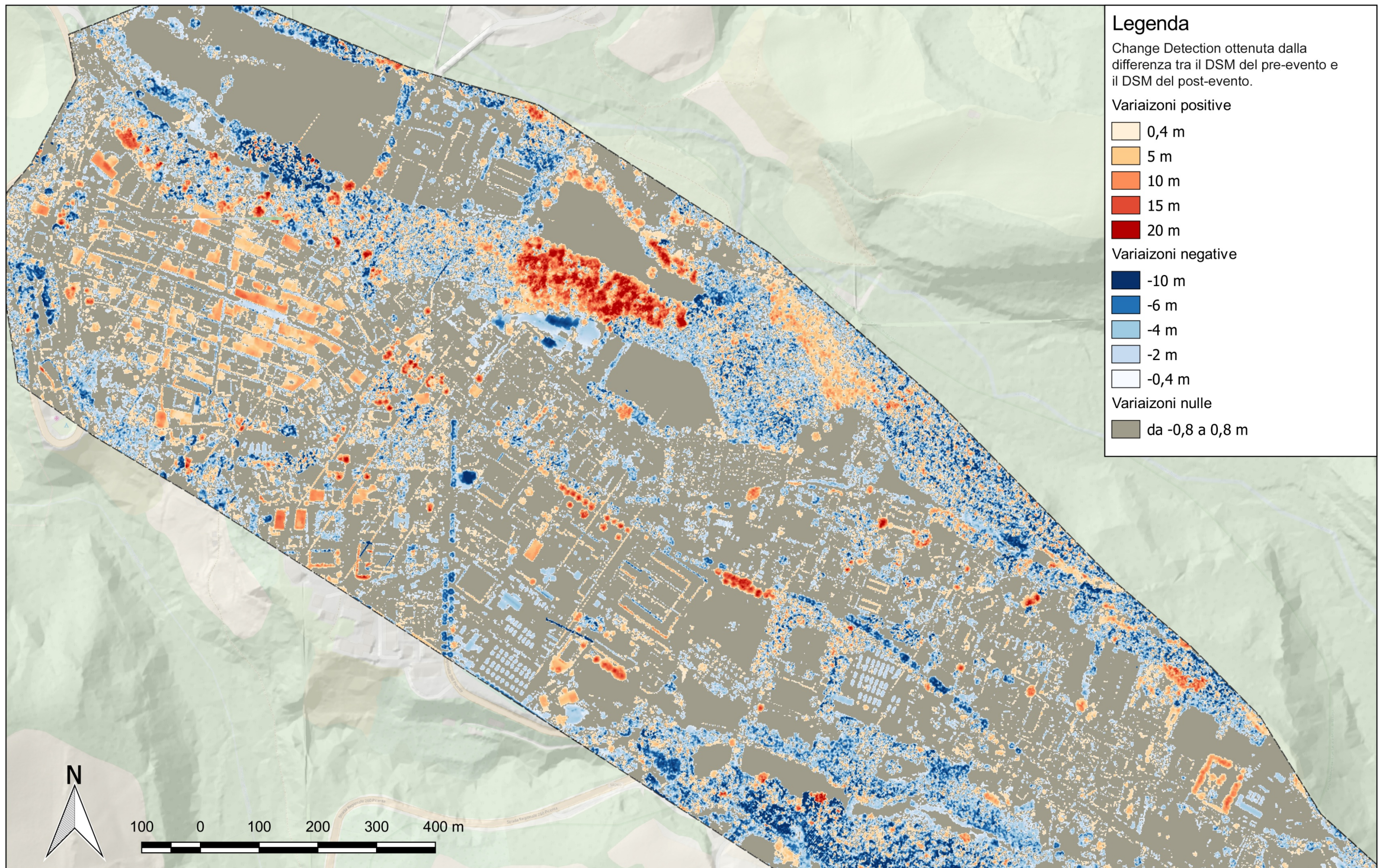
Perimetro del centro abitato di Amatrice



$\Delta v < 0$ spostamenti verticali del terreno verso il basso; sprofondamenti.

$\Delta v > 0$ spostamenti verticali del terreno verso l'alto; innalzamenti.



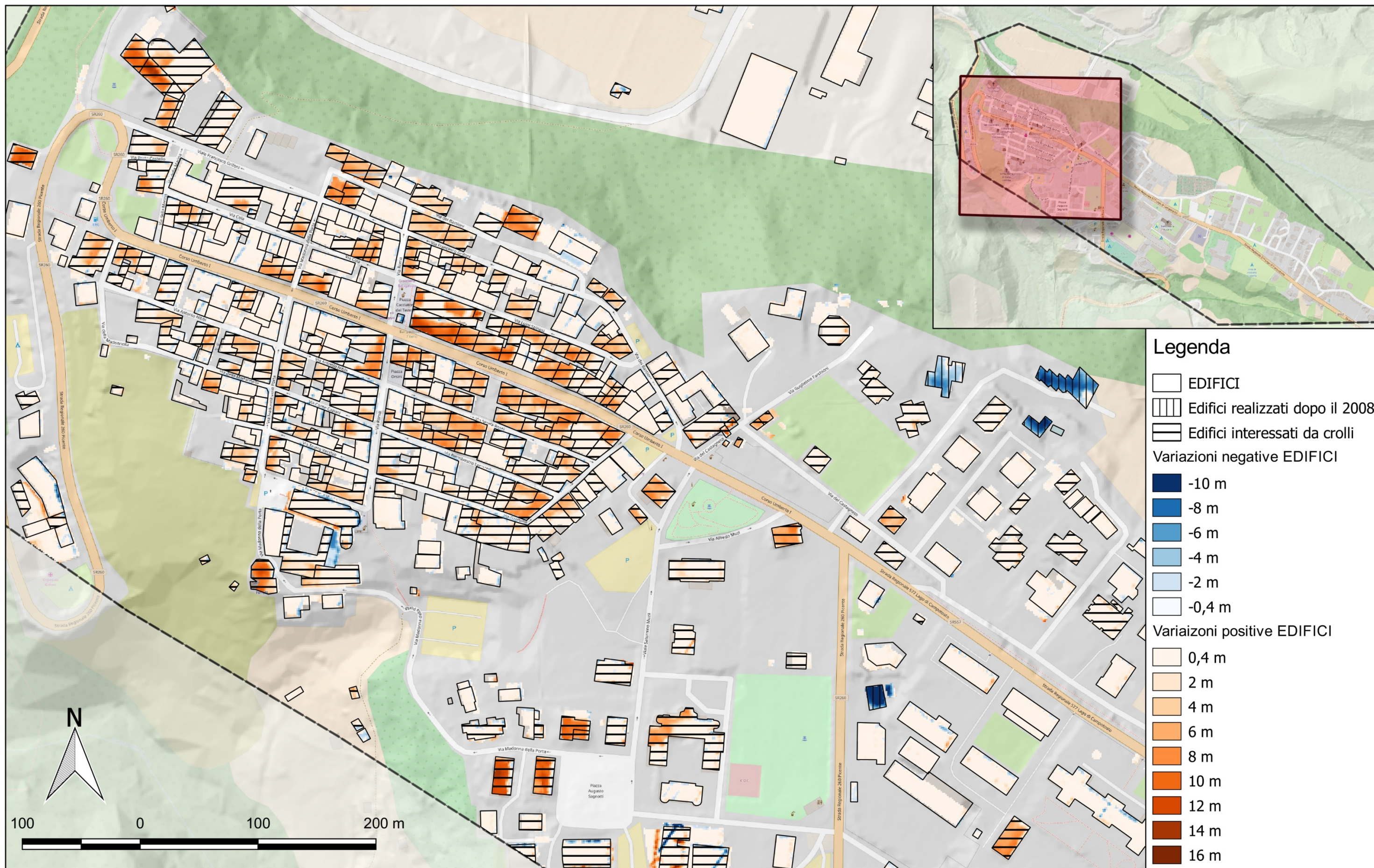


Università degli studi di Basilicata Facoltà di Ingegneria corso di laurea specialistica a ciclo unico (4/S) in **Ingegneria edile architettura**
Tesi di laurea in PIANIFICAZIONE TERRITORIALE: **Change detection e classificazione del danno sismico con rilievi LiDAR e RADAR**
a supporto della pianificazione di emergenza. **IL CASO DI AMATRICE**

A.A. 2015/2016

Laureanda: **Lucia Saganeiti** matr. 31606

ELABORATO GRAFICO N.4
CHANGE DETECTION
TRIPLE CHANGE MASK



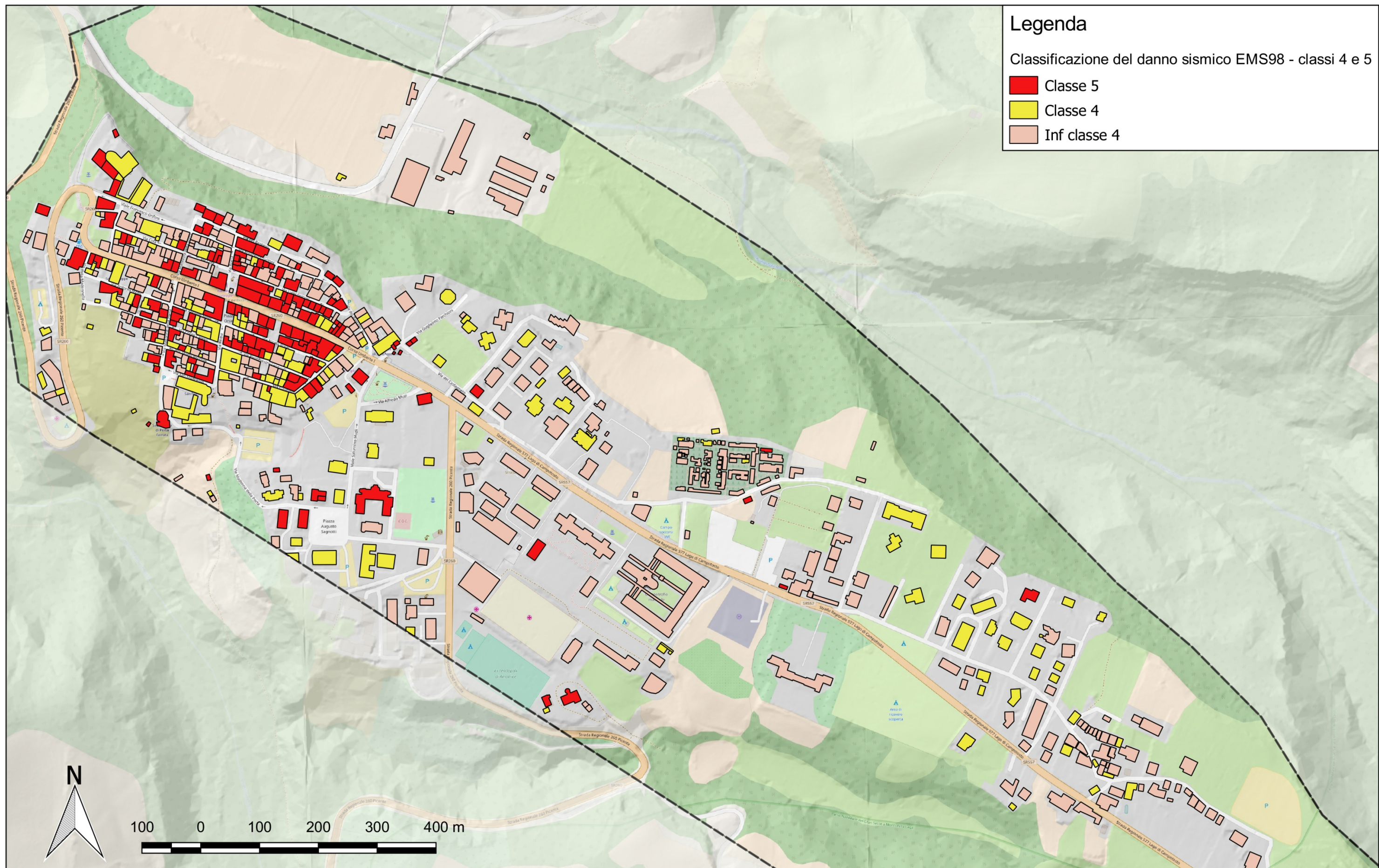
Università degli studi di Basilicata Facoltà di Ingegneria corso di laurea specialistica a ciclo unico (4/S) in **Ingegneria edile architettura**

Tesi di laurea in PIANIFICAZIONE TERRITORIALE: **Change detection e classificazione del danno sismico con rilievi LiDAR e RADAR a supporto della pianificazione di emergenza. IL CASO DI AMATRICE**

A.A. 2015/2016

Laureanda: **Lucia Saganeiti** matr. 31606

ELABORATO GRAFICO N.5
CHANGE DETECTION
in corrispondenza dell'edificato



Università degli studi di Basilicata Facoltà di Ingegneria corso di laurea specialistica a ciclo unico (4/S) in **Ingegneria edile architettura**

Tesi di laurea in PIANIFICAZIONE TERRITORIALE: **Change detection e classificazione del danno sismico con rilievi LiDAR e RADAR a supporto della pianificazione di emergenza. IL CASO DI AMATRICE**

A.A. 2015/2016

Laureanda: **Lucia Saganeiti** matr. 31606

ELABORATO GRAFICO N.6

CLASSIFICAZIONE DEL DANNO SISMICO

EMS98, classi 4 e 5

4. Discussione e conclusioni

4.1 Riassumendo

Nella parte iniziale di questo lavoro di tesi si è discusso del rischio sismico, delle sue variabili e di come esso viene affrontato a livello di pianificazione territoriale. Si è affrontata la pianificazione territoriale per la riduzione del rischio che insieme alle attività della Protezione Civile rappresenta una forma di prevenzione passiva.

Le forme di prevenzione attiva riguardano invece gli adeguamenti sismici strutturali. La loro applicazione ha spesso causato danni maggiori alle strutture come è avvenuto nel caso di Amatrice. Qui, infatti, la maggior parte degli interventi di adeguamento sismico strutturale ha riguardato l'irrigidimento del piano di copertura mediante elementi in cemento armato su edifici in muratura. Questi interventi hanno appesantito eccessivamente le strutture le quali sono collassate in seguito all'evento sismico che le ha colpite.

In questa prima parte si è parlato, inoltre, di nuove forme di monitoraggio del territorio e del *crisis mapping*. Piattaforme come *OSM* o *Ushaidi* possono mostrarsi di grande supporto in attività di emergenza purché i loro database siano costantemente aggiornati. Per comprendere l'efficacia di queste piattaforme si sono analizzati vari casi di studio tra cui Haiti, Kibera, Kathmandu e il centro Italia. Dal loro confronto è emerso che i casi in cui nei periodi precedenti all'evento (sismico o di altra natura) era presente una comunità di *crisis mapper* già stabile e attiva l'utilizzo delle piattaforme e del dataset messo a disposizione è stato immediato. È evidente inoltre, a meno di qualche caso, che queste piattaforme vengono maggiormente utilizzate nel periodo d'emergenza raggiungendo picchi elevati, e, vengono tralasciate nei periodi del pre e del post emergenza. Ciò influisce in maniera negativa sulla loro efficacia. Facendo un semplice esempio, se al verificarsi di un evento si ha già a disposizione una mappa aggiornata dell'area allora l'intervento dei soccorritori, della protezione Civile o di qualsiasi ente preposto può essere coordinato in maniera ordinata nell'immediatezza. Al contrario, come è avvenuto nel caso del terremoto del centro Italia, i primi giorni dell'evento sono stati dedicati all'aggiornamento delle mappe di OSM che in seguito sono state trasmesse ai soccorritori e alla Protezione Civile che avevano già svolto gran parte del lavoro. Da questi esempi ne consegue

che la disponibilità di un database sempre aggiornato è utile per fornire supporto alle attività di soccorso rendendole più rapide e efficienti.

Nella seconda parte si sono confrontate le tecnologie RADAR e LiDAR per la valutazione del danno sismico. Si è parlato del telerilevamento e delle tecniche per ottenere modelli digitali del terreno con dati satellitari e dati provenienti da rilievi LiDAR. Si è inoltre affrontata la questione dell'interferometria differenziale per valutare gli spostamenti verticali del terreno in seguito ad un evento sismico, l'argomento della change detection e i vari modi per rappresentarla.

La terza parte ha riguardato l'analisi dei risultati del caso di studio esaminato: Amatrice. Del centro abitato di Amatrice si è esaminata l'evoluzione storica dell'edificato e si sono individuate le varie tipologie costruttive (muratura o cemento armato). Dall'interferometria realizzata con i dati satellitari si sono ottenuti gli spostamenti verticali del terreno nel centro abitato di Amatrice in seguito all'evento sismico del 24 Agosto 2016. Quest'analisi, oltre ad individuare le aree maggiormente colpite nel momento in cui si verifica un evento sismico, se svolta periodicamente restituisce i movimenti del terreno e quindi permette di monitorare un territorio soggetto a movimenti sismici frequenti. Si presta bene come forma di monitoraggio sismico del territorio. Con i dati riguardanti i rilievi LiDAR si sono ottenuti due DSM riguardanti il pre e il post terremoto con i quali è stata realizzata una change detection con la *triple change mask* evidenziando le variazioni positive, negative e nulle. Dall'analisi delle variazioni positive riguardanti i soli fabbricati si è realizzata una classificazione sismica del danno delle classi 4 e 5 della EMS98 per gli edifici in muratura e in cemento armato.

4.2 Confronto tra dataset LiDAR e RADAR

I dati RADAR utilizzati nel presente lavoro di tesi sono dati satellitari messi a disposizione gratuitamente dall'ESA in collaborazione con il progetto europeo Copernicus. Questi sono stati utilizzati per un'analisi preliminare a vasta scala. L'ESA distribuisce gratuitamente (previa registrazione al sito) immagini acquisite dai satelliti *Sentinel* con intervalli temporali di pochi giorni (anche 6). Le apparecchiature per i rilievi RADAR possono lavorare in qualsiasi condizione atmosferica dal momento che l'ultrasuono può oltrepassare anche le nubi. I dati LiDAR, concessi dai relativi enti ai soli fini di ricerca, sono, invece dati proprietari. Con essi si è potuta

realizzare un'analisi più approfondita che ha permesso di rilevare il danno subito da ogni edificio. Ciò evidenzia la difficoltà di effettuare analisi approfondite in un momento di piena emergenza. Negli ultimi anni si stanno sviluppando sempre più, tecniche di rilievo LiDAR da drone. Queste ovviamente richiedono dei costi legati all'acquisto di tutta la strumentazione e conoscenze tecniche specifiche. Inoltre, la normativa riguardante il loro utilizzo non è ancora ben definita e spesso ci si ritrova nella situazione di non poter effettuare il rilievo con drone sulla zona interessata. I droni sono considerati come veri e propri velivoli e infatti il loro utilizzo è disciplinato dall'ENAC³⁴. Nel caso di terremoti, generalmente le zone dei centri abitati vengono perimetrate come zone rosse e *no-flyzone*. In queste aree nonostante ci siano mezzi in possesso dei relativi permessi di volo rilasciati dall'ENAC, viene concesso il volo dei soli mezzi di emergenza cioè vigili del fuoco e Protezione Civile. Il rilievo LiDAR utilizzato in questa tesi è stato effettuato, infatti dalla Protezione Civile del Friuli Venezia Giulia con elicottero.

4.3 Metodologia proposta

Riconoscendo che:

- la migliore via per prevenire un terremoto resta indiscutibilmente la costruzione di edifici strutturalmente adeguati ad assorbire gli scuotimenti del terreno;
- se una zona è dichiarata sismica allora si devono predisporre specifiche norme costruttive da far rispettare per nuove e vecchie costruzioni;
- le vecchie costruzioni devono subire interventi strutturali atti a migliorare la loro risposta al sisma;
- l'Italia è caratterizzata perlopiù da edificato a carattere storico, molto spesso vincolato.

In queste circostanze sembra utile avere a disposizione una metodologia per il monitoraggio del territorio e il rilievo del danno da applicare in caso di evento sismico. La metodologia proposta non vuole essere esaustiva ma solo un punto di partenza, uno spunto, dal quale effettuare ulteriori considerazioni.

³⁴ ENAC: Ente Nazionale per l'Aviazione Civile

4.3.1 Situazione di non emergenza: PRE evento

Disponibilità di un database aggiornato

Questione fondamentale per poter affrontare nel migliore dei modi il coordinamento di una situazione di emergenza è la disponibilità di un database cartografico aggiornato e facilmente reperibile. Nella fase di non emergenza un'amministrazione si deve porre come priorità la costruzione di un *open* database cartografico. Nei momenti immediatamente successivi ad un evento ci si ritrova spesso nella situazione di dover reperire il materiale cartografico necessario per inquadrare l'area colpita e stabilire le priorità d'intervento. Questo materiale cartografico spesso non c'è, o meglio, non è accessibile o è obsoleto. Si necessita generalmente di cartografie a grande scala di elevata precisione vettoriale, aggiornate con valenza legale, in formato e sistema di riferimento standard in modo da essere integrate con altri archivi digitali. Da circa un decennio hanno preso piede le VGI - *Volunteered Geographic Information* – tramite piattaforme completamente libere come OSM di cui si è ampiamente discusso nella prima parte di questo lavoro di tesi. Queste attività di mappatura volontaria hanno sempre mostrato il loro successo in periodi di piena emergenza apportando una vastità di informazioni in formato di dati geo-riferiti sulle mappe. Perché non sfruttare questa “mappatura d'emergenza” anche in periodi di non emergenza? Con la disponibilità di altri database come le mappe catastali³⁵, i dati satellitari e la conoscenza personale del territorio da parte di un individuo, chiunque può contribuire a rendere la mappa del proprio paese, della propria città o di una lontana, aggiornata e accessibile a tutti in maniera semplice e rapida.

Si necessita, inoltre, di modelli di elevazione digitale DSM e DTM a scala ravvicinata che in caso di evento sismico possano servire da supporto per valutare la situazione PRE evento. Questi possono essere ottenuti con rilievi LiDAR, interpolazione di curve di livello o altre metodologie.

Il monitoraggio del territorio con i dati satellitari

La prima forma di prevenzione del rischio sismico riguarda il monitoraggio del territorio. La disponibilità di dati satellitari permette di monitorare un territorio soggetto a frequenti movimenti sismici come la gran parte del territorio italiano. Dalle

³⁵ Le mappe catastali sono dati proprietari. In occasione del terremoto del Centro Italia del 24 Agosto 2016, il Catasto ha fornito al Dipartimento di Protezione Civile e dei vigili del fuoco le informazioni cartografiche catastali in formati vettoriali standard e nei sistemi di riferimento nazionali e globali.

immagini SAR si possono individuare gli spostamenti subiti dal terreno lungo la linea verticale con precisione anche del millimetro, con la metodologia esposta nel paragrafo 2.3. Ogni amministrazione il cui comune risiede in zona sismica dovrebbe realizzare un'interferometria differenziale ad intervalli di tempo regolare in modo da controllare costantemente gli spostamenti ed essere pronta ad intervenire tempestivamente. L'interferometria differenziale per la valutazione degli spostamenti del terreno può essere inoltre utilizzata in fase di evento sismico per identificare le aree maggiormente colpite sulle quali si necessita di un rilievo approfondito.

4.3.2 Situazione di emergenza e POST evento

Nelle ore immediatamente successive ad un evento sismico si necessita di cartografie aggiornate e mezzi per poter rilevare il prima possibile lo stato di danno degli edifici. Il rilievo LiDAR da drone o elicottero si presta bene per questo tipo di evento. Questo, attraverso la nuvola di punti permette di elaborare in tempi abbastanza contenuti modelli digitali d'elevazione che dal confronto con i DEM del PRE evento restituiscono informazioni abbastanza dettagliate sullo stato di fatto. Eseguendo una change detection si possono subito individuare le variazioni positive e negative che permettono di individuare immediatamente le priorità di intervento e identificare gli edifici crollati e le strade inaccessibili. La classificazione del danno sismico eseguita nell'elaborato n.6 è stata effettuata sulla base di dati numerici attribuiti ad ogni edificio. I risultati di queste analisi possono essere condivise sulle più comuni piattaforme di VGI come OSM. Nel caso in esame, non è stato possibile aggiornare OSM dal momento che i dati utilizzati per la ricerca sono dati proprietari non ridistribuibili. In Italia, il dipartimento della protezione civile, potrebbe avvicinarsi a questi progetti che possono considerarsi come attività di volontariato tecnologico e quindi rientrano a pieno titolo nelle loro competenze.

Bibliografia e sitografia

- ✓ Contributi per una geografia del rischio sismico: analisi della vulnerabilità e danno differito - *Giuseppe B. Las Casas, e Grazia Scardaccione*
- ✓ Pianificazione territoriale e prevenzione dei disastri – *Guglielmo Trupiano*, ed. Fratelli Fiorentino
- ✓ La città antisismica – *Giuseppe Fera*, ed Gangemi
- ✓ Il terremoto in Italia, cause, salvaguardia, interventi – *Gasparini, Giorgetti, Parotto*, ed. la nuova Italia scientifica
- ✓ Città e terremoti, metodi e tecniche per la mitigazione del rischio sismico – *Adriana Galderisi*, ed. Gangemi
- ✓ TELERILEVAMENTO informazione territoriale mediante immagini da satellite – *Athanasios Dermanis, Ludovico Biagi*, ed.Ambrosiana
- ✓ TOPOGRAFIA – *Manzini*, ed.Calderini, RCS

- www.topoprogram.it
- www.ingv.it
- www.rilevamento.it
- www.protezionecivile.gov.it
- www.pcn.minambiente.it
- www.geomediaonline.it
- www.copernicus.eu
- www.scihub.copernicus.eu
- www.openstreetmap.org

Indice delle figure

Figura 1: Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del 30 D.M. 14.09.2005). Fonte: http://www.ingv.it	11
Figura 2: Londra, dati cartografici OpenStreetMap, fonte: www.openstreetmap.org	38
Figura 3: Londra, dati cartografici google, fonte: www.google.it	38
Figura 4: mappa che permette l'individuazione degli utenti di OSM in tutto il mondo.	42
Figura 5: crisis map Kibera Ushahidi – Post-election 2007. Le sfere rosse con i relativi numeri indicano la geolocalizzazione e la quantità degli <i>alert</i>	44
Figura 6: progetto di crowdmapping sulla localizzazione dei cumuli di immondizia a Napoli. A sinistra si può vedere la mappa di Napoli con la geolocalizzazione delle segnalazioni effettuate mentre a destra le segnalazioni in formato di testo (ricevute via SMS o e-mail) correlate, in alcuni casi, di documentazione fotografica. Fonte: www.rifiutiamoci.crowdmap.com	46
Figura 7: in sequenza le mappe di OSM su Port-Au-Prince: la prima riguarda la situazione pre terremoto, la secondo la situazione al 29 Gennaio 2010 e l'ultima la situazione attuale a Dicembre 2016. Fonte: http://www.openstreetmap.org ; www.hotosm.org	51
Figura 8: Ushahidi crisis map di Haiti.....	56
Figura 9: mappa Kibera del sito web <i>Voice of Kibera</i> creata con Ushahidi.....	59
Figura 10: mappe OSM Kathmandu prima e dopo le operazioni di <i>mapping</i>	65
Figura 11	77
Figura 12	77
Figura 13: schema acquisizione RADAR.....	79
Figura 14: Rappresentazione della fase di un immagine SAR mediante l'onda elettromagnetica. Fonte: Telerilevamento–informazione territoriale mediante immagini da satellite–A. Dermanis, L. Biagi.....	82
Figura 15: Geometria di acquisizione SAR di tipo dual pass (le immagini sono acquisite in due istanti di tempo diversi).	82

Figura 16: Interferogramma ottenuto dalla co-registrazione della coppia di immagini stereo del 27 Agosto e 2 Settembre 2016. Immagine elaborata con il software SNAP.	84
Figura 17: Natura sinusoidale della lunghezza d'onda.	85
Figura 18: Banda Coherence ottenuta dalla co-registrazione della coppia di immagini stereo del 27 Agosto e 2 Settembre 2016. Immagine elaborata con il software SNAP.	86
Figura 19 (a) e (b) Interferogramma prodotto dalla coppia di immagini SAR del 27 Agosto e 2 Settembre 2016. Nella figura (a) con il riquadro rosso in alto è evidenziata la linea di demarcazione nera rappresentante il burst. La figura (b) rappresenta invece lo stesso interferogramma in seguito all'applicazione dell'operatore S1-TOPSAR Deburst che elimina le linee di demarcazione nere.	87
Figura 20: l'immagine di sinistra rappresenta l'interferogramma phase wrapped e quella di destra lo stesso interferogramma srotolato, phase unwrapped. L'elaborazione fa riferimento alla coppia stereo del 27 Agosto e 2 Settembre 2016 elaborata con SNAP.	89
Figura 21: Geometria delle distorsioni topografiche. Fonte: SNAP	90
Figura 22: estratto del DEM ottenuto dalla coppia di immagini stereo del 27 Agosto e 2 Settembre 2016 riguardante il territorio di Amatrice.	91
Figura 23: Phase wrapped	93
Figura 24: Phase unwrapped	93
Figura 25: LOS displacement	93
Figura 26: Displacement verticale	93
Figura 27: classificazione punti standard dell'ASPRS, Ottobre 2010. Fonte: www.asprs.org	97
Figura 28: sequenza di trasformazione della nuvola di punti, dall'alto verso il basso: nuvola di punti visualizzata con <i>lasview</i> ; DSM ottenuto con <i>las2dem</i> ; DTM ottenuto con <i>las2dem</i> filtrando solo i punti della classificazione (2). La seguente elaborazione riguarda uno stralcio dei dati del POST terremoto nell'area di Amatrice.	100
Figura 29 La figura di sinistra mostra la differenza tra la quota ortometrica H e quota ellissoidica h. La figura di destra mostra i sistemi di coordinate cartesiane e ellissoidiche utilizzate dai sistemi GPS.	101
Figura 30: Sulla sinistra rappresentazione grafica dell'Italia con i confini delle regioni e individuazione della regione Lazio in rosso. Sulla destra ingrandimento sulla	

regione Lazio con i perimetri comunali e l'individuazione del comune di Amatrice in rosso.....	105
Figura 31: ortofoto bianco e nero del 1998 visualizzata mediante il servizio WMS del PCN.....	106
Figura 32: ortofoto bianco e nero del 1988 visualizzata mediante il servizio WMS del PCN.....	106
Figura 33: ortofoto maggio 2016.....	107
Figura 34: ortofoto a colori del 2006 visualizzata mediante il servizio WMS del PCN.	107
Figura 35 Classificazione del danno per edifici in muratura e cemento armato, EMS98.....	112
Figura 36 (a) e (b): esempi di edifici che non presentano variazioni di quota ma sono interessati da gravi danni strutturali dal momento che le pareti perimetrali non esistono più nella figura a e nella b sono crollati anche i solai. Amatrice, rilievo effettuato in seguito al terremoto del 24 Agosto 2016.	113
Figura 37 (a) e (b): Amatrice, “palazzo rosso” in seguito al terremoto del 24 Agosto 2016.	114

A conclusione di questo lavoro di tesi che segna la fine di un percorso ben più lungo vorrei ringraziare

***i miei genitori** che mi hanno permesso di affrontare tutto il percorso universitario ed hanno sempre creduto in me insieme alle mie sorelle **Lella e Simona**. Una famiglia che non mi ha mai abbandonata dandomi l'opportunità di crescere sostenendomi economicamente e moralmente tra sorrisi e tanto amore.*

***Vincenzo**, che mi ha supportato e sopportato per tutti questi anni senza mai smettere di starmi accanto.*

***Mariangela, Paola, Raffa, Sara, Francesca e Rosaria**, prima colleghe universitarie poi inseparabili amiche con le quali ho condiviso ore ed ore di studio, progetti, lacrime, risate, lunghe chiacchierate ma, soprattutto tanto, tanto amore.*

***Sara**, che anche a chilometri di distanza mi è sempre stata vicina con il cuore.*

Vorrei inoltre ringraziare chi mi ha guidato in questo progetto di tesi:

*il **professor Murgante**, relatore e, tutti i correlatori, **l'ing. Amato** e **l'ing. Nolè** sempre pronti a chiarire le mie perplessità e **l'ing. Tucci** che mi ha introdotto nel fantastico mondo dei dati satellitari, **l'ing. Scorza** e il **professor Vona**.*

*Un particolare ringraziamento va inoltre ad **Ylenia** che ha alleviato la tensione delle intere giornate trascorse in laboratorio tra risate e attimi di panico.*