

UltraGEO

Marco Righi^{*1}, Giuseppe Riccardo Leone¹, Massimo Magrini¹, Massimo Martinelli¹,
Davide Moroni¹, Fernando Della Pina² e Roberto Guidi²

¹Istituto di Scienza e Tecnologie “A. Faedo” (ISTI), Consiglio CNR, via G. Moruzzi 1,
56124 Pisa, Italia (<http://www.isti.cnr.it/>)

²Comune di Massa, Via Porta Fabbrica, 1 54100 Massa, Italia
(<http://www.comune.massa.ms.it/>)

Sommario

Questo documento descrive il lavoro scientifico di ricerca e il suo sviluppo denominato “UltraGEO”. UltraGEO è il cuore di un’idea nata dal Laboratorio Segnali e Immagini (SILab) dell’Istituto di Scienza e Tecnologie dell’Informazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche con sede a Pisa e dal Comune di Massa. UltraGEO si propone come un nuovo sistema per il controllo degli smottamenti del terreno e delle frane. Per la misura degli smottamenti questo progetto di R&D prevede la realizzazione di un prototipo costituito da una rete di nodi attivi e passivi. I nodi sono adattivi in base alle caratteristiche dell’ambiente dove sono inseriti: basati su marker grafici (nodi passivi) oppure basati su marker con basse emissioni di segnali elettromagnetici e/o acustici (nodi attivi). UltraGEO è progettato per essere modulare e utilizzabile in zone difficilmente accessibili, anche dove non vi è nessuna sorgente di energia elettrica e non è possibile dotare il nodo di batterie e pannelli solari. UltraGEO ha caratteristiche che vertono alla semplificazione dell’installazione dei sensori rispetto alle attuali tecnologie, riducendone i costi e semplificandone l’utilizzo nel breve e lungo periodo.

1 Stato dell’arte

Gli smottamenti del terreno rappresentano un rischio concreto per la vita umana. Gli smottamenti, ovvero lo scivolamento verso il basso di terreni imbevuti d’acqua, e altri tipi di frana, devono essere monitorati per garantire condizioni di sicurezza per la vita stessa. Il monitoraggio delle situazioni a rischio di smottamenti può essere effettuato tramite sistemi informatici che elaborano in tempo reale informazioni provenienti da sensori di vario genere, quali, ad esempio, estensimetri di superficie a barra, estensimetri di superficie a filo, estensimetri profondi o multibase, distometri a nastro, fessurimetri e misuratori di giunto, inclinometri e piezometri [4–7].

Le attuali tecnologie disponibili per la gestione di questo problema possono essere sintetizzate come segue:

- tubi piezometrici in grado di rilevare costantemente la profondità delle falde acquifere
- clinometri ed inclinometri (es. tubi inclinometrici) che permettono di misurare deformazioni e spostamenti del terreno
- piezometri
- estensimetri e deformometri
- capisaldi topografici

*marco.righi@isti.cnr.it

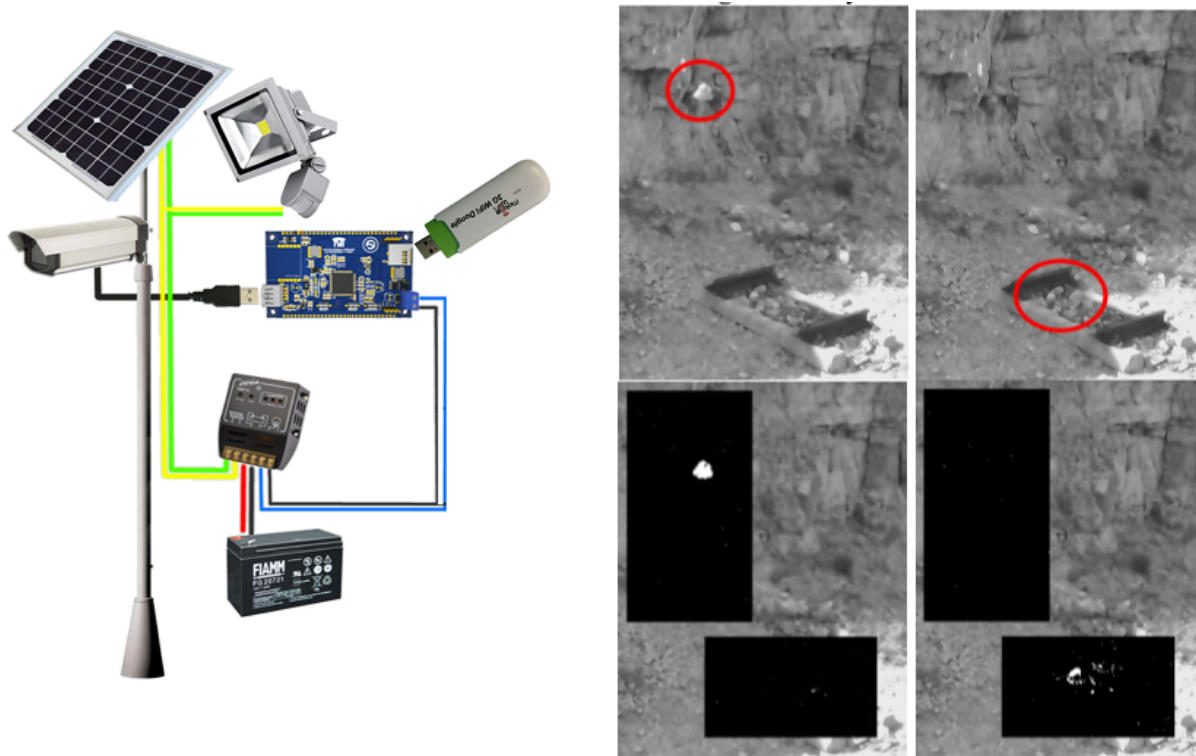


Figura 1: Sulla sinistra il sensore ottico intelligente (smart-camera) progettato e realizzato dal SILab utilizzato per il rilevamento e la segnalazione di precipitazione di detriti su aree di interesse. Sulla destra l'immagine in cui il masso viene rilevato mediante algoritmi di visione artificiale.

- monitoraggio topografico ottico
- interferometria satellitare
- laser scanner terrestre

Generalmente, per raggiungere una elevata precisione con questi strumenti, è necessario l'impiego di personale specializzato nell'utilizzo della strumentazione.

In questo contesto, il SILab ha acquisito esperienza sul campo in collaborazione con il Centro di Ricerca Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici (CERI) dell'Università La Sapienza di Roma, partecipando ad una lunga campagna di monitoraggio di un sito di test delle Ferrovie Italiane per la segnalazione in tempo reale di frane sui binari ferroviari [1,2].

La figura 1 illustra il sistema mobile che è stato progettato e realizzato dal SILab. Esso è dotato di capacità di elaborazione delle immagini acquisite per mezzo del sensore ottico con lo scopo di rilevare e segnalare eventuali detriti caduti nell'area di interesse (generalmente eventi precursori di frane e smottamenti). Tale sistema è dotato di apparato di comunicazione mediante rete cellulare 3G per la segnalazione di allarmi in real-time. Il trasferimento delle immagini può avvenire in modo programmato o su richiesta del centro di controllo. È presente inoltre una unità di alimentazione autonoma costituita da batteria e pannello fotovoltaico adeguatamente dimensionato per fornire energia (i) al sistema di calcolo e (ii) all'illuminatore led che si attiva quando la luminosità solare non è sufficiente. La sperimentazione è stata effettuata in una cava abbandonata nei pressi di Acuto, una cittadina del centro Italia. È stata supervisionata un'area di 20x15 metri dove l'oggetto di interesse era un binario ferroviario. Il sistema prototipale è rimasto attivo e funzionante per un periodo superiore ai 6 mesi (continuativo da agosto

2016 fino a gennaio 2017) affrontando con successo le condizioni metereologiche che si sono presentate. Gli allarmi generati e le verifiche giornaliere del corretto funzionamento di tutte le componenti ne hanno dimostrato l'affidabilità sistemistica e l'efficacia funzionale. Tale prototipo verrà installato a breve da Ferrovie Italiane per il monitoraggio di 20 località a rischio frana lungo la rete ferroviaria statale.

2 Soluzione proposta: UltraGEO

In questo nuovo studio il SILab in accordo con il Comune di Massa, propone la sperimentazione di una nuova tecnologia chiamata UltraGEO, un prototipo per la misura delle superfici di scivolamento, che sarà utilizzabile sia in aree di facile accesso dove è possibile reperire una sorgente di energia elettrica, sia in zone difficilmente accessibili dove non arriva l'energia elettrica e non è possibile utilizzare dispositivi elettrici oppure se è possibile utilizzare dispositivi elettrici, la necessaria energia sarà autoprodotta. Le caratteristiche di UltraGEO sono:

1. il limitato intervento degli operatori umani,
2. la semplificazione dell'installazione dei sensori e la bassa necessità di manutenzione ordinaria.

Rispetto alle attuali tecnologie, queste caratteristiche fanno di UltraGEO uno strumento a basso costo e di semplice uso sia in fase di installazione che a regime.

UltraGEO basa il suo funzionamento su una rete di nodi, utilizzata per effettuare le misure relative ai movimenti del terreno. Il sistema dei nodi è autocalibrante e durante la loro posa anche errori di svariate decine di centimetri possono essere compensati da UltraGEO.

I nodi possono essere attivi o passivi:

- quelli attivi devono essere alimentati elettricamente dalla rete oppure da pannelli fotovoltaici e batterie;
- quelli passivi non necessitano di alimentazione elettrica.

UltraGEO è sviluppato per calcolare la variazione relativa tra i nodi e la distanza assoluta con un errore variabile da alcuni centimetri a pochi millimetri.

La precisione dipende dalla tecnologia utilizzata dai nodi: ottica con l'ausilio di un drone, in radiofrequenza oppure sfruttando gli ultrasuoni.

I sistemi ottici descritti in [8–11], secondo l'attuale stato dell'arte, permettono una risoluzione fino a pochi centimetri. I sistemi di acquisizione ottica possono sia essere installati su un drone [50–52] sia essere utilizzati da stazioni mobili terrestri.

I sistemi in radiofrequenza (RSSI) permettono una precisione di localizzazione strettamente dipendente dal tipo di hardware e software utilizzato la cui precisione può variare da alcuni centimetri fino a pochi centimetri [53, 54].

I sistemi a ultrasuoni sono soggetti a parametri ambientali come temperatura e umidità che agiscono sulla costante di propagazione del suono modificandola ma, una volta tarati, possono avere una precisione di pochi millimetri [49].

2.1 Nodi passivi

I nodi di tipo passivo sfruttano una tecnologia basata su simboli grafici [8–11]. Questa tecnologia (la figura 2 mostra una situazione sperimentale) è in grado di identificare un insieme di marker (simili ai comuni codici QR) e di calcolare le relative distanze. UltraGEO si propone di utilizzare una tecnologia simile disponendo opportunamente i marcatori passivi nelle zone di difficile accesso che richiedono di essere monitorate.

Una possibile sperimentazione è rappresentata nel modello di figura 3. L'idea è quella di realizzare delle strutture simili a quelle del modello raffigurato oppure di posizionare su infrastrutture già esistenti dei pannelli codificati e sfruttare un sistema di acquisizione dall'alto per scattare fotografie monoscopiche

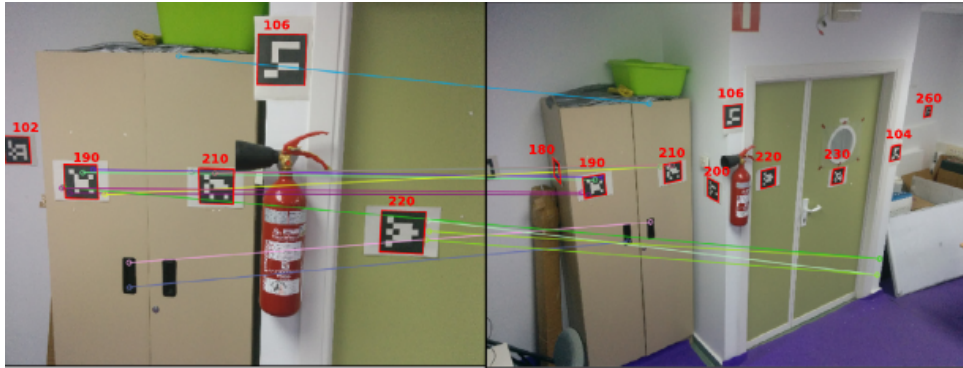


Figura 2: esempio di misura sfruttando i codici QR.

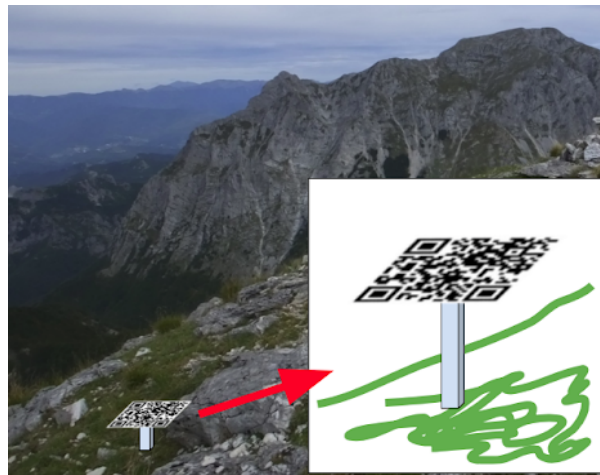


Figura 3: schema esemplificativo di palo di misurazione con codice QR.

tramite le quali calcolare la distanza relativa e assoluta tra i nodi. Le fotografie dall'alto possono essere scattate da un drone oppure da un sistema di ripresa ottico posizionato opportunamente per riprendere l'area di interesse dalla giusta angolazione. I nodi passivi utilizzati in questa tecnologia hanno un costo estremamente basso: il palo (non sempre necessario) e il marker da stampare su una superficie rigida e resistente alle intemperie.

I marker degli esempi illustrati sono dei codici QR ma possono essere utilizzati anche marker specifici [48], come illustrato in figura 4.

La dimensione dei marker è funzione delle caratteristiche dell'area in cui viene utilizzato il nodo.

2.2 Nodi attivi

Nel caso in cui sia disponibile una sorgente di alimentazione esterna oppure sia possibile installare pali con batterie e pannelli solari UltraGEO può usare nodi attivi. I nodi attivi utilizzano tecnologie basate sulla misura di un segnale propriamente generato. In letteratura, tra le tecnologie utili a questo progetto, troviamo quelle basate su onde elettromagnetiche oppure su ultrasuoni.

La misurazione RSSI (Received Signal Strength Indication) ovvero la misura della potenza dell'onda elettromagnetica ricevuta utilizzando sorgenti controllate può essere impiegata in questo caso. In figura 5 un esempio con alcuni adattatori in grado di misurare distanze fino a 25 metri.



Figura 4: *esempi di marker.*

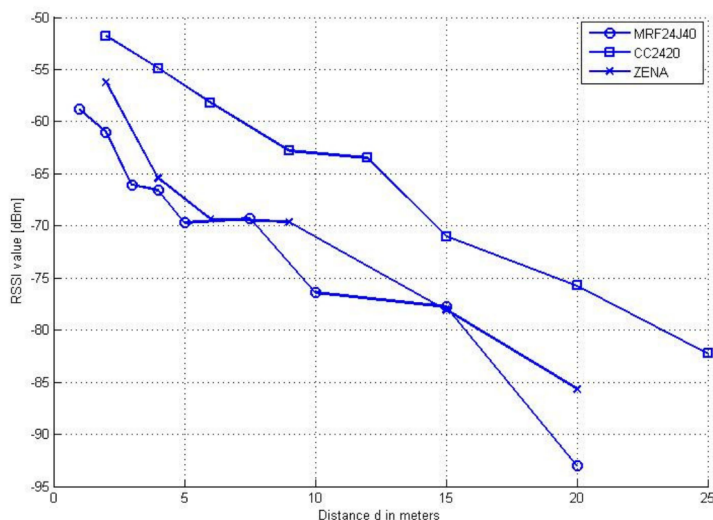


Figura 5: *esempio di decadimento del segnale in funzione della distanza.*

Con gli ultimi sviluppi di questa tecnologia tramite UltraGEO è possibile sperimentare il calcolo della distanza con pali posti fino a un massimo di 100 metri [12–28].

La misurazione che utilizza gli ultrasuoni basa il suo funzionamento sulla conoscenza da parte dei nodi riceventi dell'istante in cui il nodo trasmettente invia il segnale. In questo caso, la distanza viene valutata in funzione del tempo di volo del segnale. Con gli ultimi sviluppi di questa tecnologia è possibile sperimentare nodi posti a molti metri [29–47] (in particolare in [36] si descrive un test con segnali rilevabili fino a 50 metri).

2.3 Comunicazione della rete di sensori

Le comunicazioni nella rete di sensori avverranno secondo il seguente schema:

1. ogni nodo passivo dialoga per mezzo di un supervisore che raccoglie le informazioni (drone o persona su altura). Il supervisore deve scattare alcune fotografie, la precisione della misura dipende dalla qualità delle fotografie;
2. ogni nodo attivo dialoga autonomamente e può inviare i dati direttamente a un centro di raccolta remoto oppure a un supervisore (un essere umano o un drone) che si trova in prossimità (la distanza potrebbe essere di alcune centinaia di metri);
3. i nodi attivi con tecnologia RSSI sfruttano il ponte radio per dialogare tra di loro;

4. i nodi attivi con tecnologia a ultrasuoni utilizzano una sorta di “token ring” gestita con onde radio: l’impulso radio di velocità trascurabile rispetto al suono consegna il token al trasmettitore e gli altri nodi si mettono in ricezione per calcolare il tempo di volo del segnale sonoro. Ogni insieme di nodi può implementare una o più tecnologie a seconda delle necessità.

3 Tecnologia e sperimentazione proposta nel programma di R&D

Il SILab propone la sperimentazione del sistema UltraGEO per il monitoraggio degli smottamenti del terreno. Le caratteristiche peculiari della proposta sono le seguenti:

- i nodi di rilevamento possono funzionare in assenza di energia elettrica o con un basso consumo energetico;
- i nodi in alcune configurazioni possono lavorare in modo tale da rendere possibile la raccolta dei dati che hanno registrato senza che sia necessario un intervento sul luogo degli operatori;
- i nodi installati non necessitano di alcuna manutenzione ordinaria, ciò li rende semplici da gestire, da usare e ne permette un corretto funzionamento per lunghi periodi di tempo;
- durante il progetto potranno essere sperimentate modalità di installazione automatica o semi-automatica dei nodi in aree di particolare difficoltà di accesso.

3.1 Sperimentazione proposta

Durante questa sperimentazione si propone di effettuare il test di monitoraggio della zona della “Valle del Frigido” (MS) relativa all’area di Casette. La zona, come documentato da [55–58] è stata più volte oggetto di problemi di smottamento. La figura 6 mette in evidenza uno smottamento avvenuto nel 2014. Il problema degli smottamenti è attualmente per il Sindaco di Massa al centro delle politiche di tutela e salvaguardia del territorio¹ [60]. Per effettuare i test l’ISTI propone di installare 6 oppure 12 torrette sperimentando le tecnologie tra quelle descritte nel presente documento.

Le sperimentazioni proposte coprono un’area oppure entrambe. Le 2 aree individuate sono quella immediatamente adiacenti al cimitero di Casette e quella adiacente alle abitazioni di casette (in una zona già colpita da smottamenti). Per ogni area coperta è prevista l’installazione di 6 torrette. Ogni gruppo di (sei) torrette può funzionare in autonomia e indipendentemente dagli altri gruppi.

La posizione scelta per i nodi, descritta in dettaglio nelle sezioni 3.2 e 3.3, permette di testare sia la sensibilità sia il raggio di azione di ogni nodo. La disposizione dei nodi è tale da permettere la misura tra coppie di nodi adiacenti (la misura tra coppie di nodi non adiacenti è da verificare).

3.2 Sperimentazione 1

La sezione 3.2 fa riferimento alla sperimentazione relativa all’area vicina alle civili abitazioni. La figura 7 mette in evidenza la situazione dello smottamento sulla strada a dicembre 2011². Le figure 8, 9, 10, 11, 12 e 13 mostrano la situazione del 3 ottobre 2018.

In questa sperimentazione si propone l’uso dei nodi denominati 7, 8, 9, 10, 11 e 12. Una ipotesi del loro posizionamento è messa in evidenza nella figura 14. L’immagine cartografica, rappresentata in figura 14, sulla quale sono stati sovrapposti i nodi e il calcolo della distanza tra i nodi sono ottenuti dal software della Regione Toscana Geoscopio [59]. Le distanze tra i nodi sono riportate in tabella 1. La distanza radiale tra i nodi è riportata in tabella 2. Per ogni misura (da nodo 1, da nodo 2 ecc) l’asse di riferimento è quello che riporta 0 gradi tra i nodi.

¹[...] “Forte, oggi delimitata da blocchi di cemento pensando ad un recupero del versante franato oltre ai continui smottamenti presenti nel versante di via del Bergello. Impegni concreti far rinascere la zona della Rocca”

²Immagine generata da uno screenshot di Google Earth, si ringrazia Google per l’uso di questa immagine.



Figura 6: smottamento in zona Casette (MS) del 2014. Si ringrazia il quotidiano “Il Tirreno” per l’uso di questa immagine.



Figura 7: strada dissestata dopo gli smottamenti del terreno. La fotografia rappresenta lo stato dei luoghi nel 2011. Si ringrazia Google per l’uso di questa immagine.



Figura 8: strada adiacente alle case, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.



Figura 9: strada adiacente alle case, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.



Figura 10: strada adiacente alle case, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.



Figura 11: strada adiacente alle case, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.



Figura 12: strada adiacente alle case, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.



Figura 13: strada adiacente alle case, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.

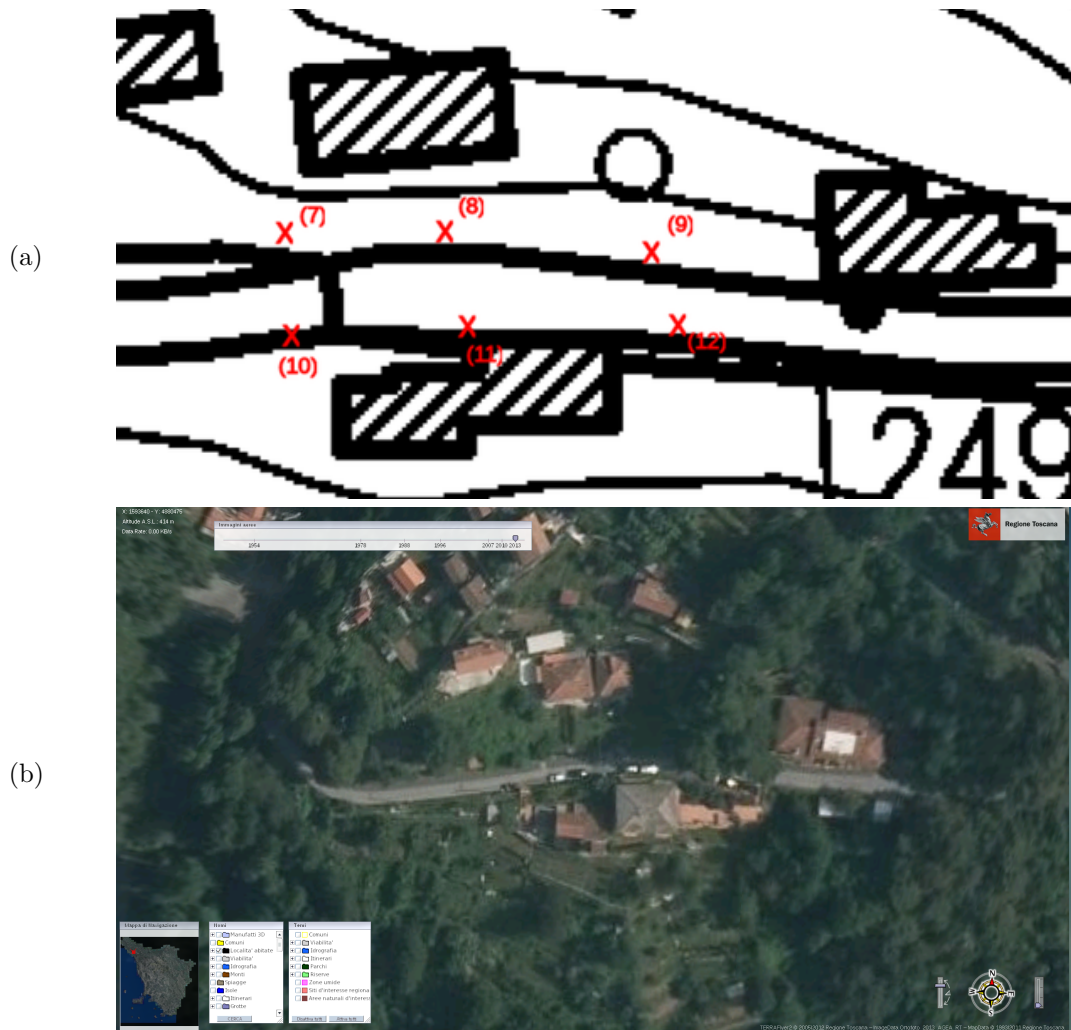


Figura 14: *posizione dei nodi nella Sperimentazione 1. Le immagini sono ottenute grazie al software della Regione Toscana descritto in [59], in (a) la posizione dei nodi sullo strumento di calcolo e in (b) una fotografia aerea che comprende l'area indicata in (a).*

| Da nodo | A nodo | Distanza (m) |
|---------|--------|--------------|
| 7 | 8 | ~19 |
| 7 | 9 | ~43 |
| 7 | 10 | ~12 |
| 7 | 11 | ~24 |
| 7 | 12 | ~48 |
| 8 | 9 | ~24 |
| 8 | 10 | ~22 |
| 8 | 11 | ~12 |
| 8 | 12 | ~30 |

| Da nodo | A nodo | Distanza (m) |
|---------|--------|--------------|
| 9 | 10 | ~45 |
| 9 | 11 | ~23 |
| 9 | 12 | ~9 |
| 10 | 11 | ~21 |
| 10 | 12 | ~46 |
| 11 | 12 | ~25 |

Tabella 1: *distanza lineare internodo riferita alla sezione Sperimentazione 1 (3.2).*

| Da nodo | A nodo | gradi |
|-----------|----------|-------|
| 7 | 8 | ~85° |
| 7 | 9 | ~83° |
| 10 | 4 | ~0° |
| 7 | 11 | ~60° |
| 7 | 12 | ~72° |
| 8 | 7 | ~0° |
| 8 | 9 | ~175° |
| 8 | 10 | ~34° |
| 8 | 11 | ~103° |
| 8 | 12 | ~160° |
| 9 | 7 | ~3° |
| 9 | 8 | ~0° |
| 9 | 10 | ~20° |
| 9 | 11 | ~30° |
| 9 | 12 | ~120° |

| Da nodo | A nodo | gradi |
|---------------|-----------|-------|
| hlinewd2pt 10 | 7 | ~94° |
| 10 | 8 | ~33° |
| 10 | 9 | ~12° |
| 10 | 11 | ~1° |
| 10 | 12 | ~0° |
| 11 | 7 | ~153° |
| 11 | 8 | ~103° |
| 11 | 9 | ~22° |
| 11 | 10 | ~177° |
| 11 | 12 | ~0° |
| 12 | 7 | ~15° |
| 12 | 8 | ~24° |
| 12 | 9 | ~72° |
| 12 | 10 | ~0° |
| 12 | 11 | ~2° |

Tabella 2: *distanza radiale internodo riferita alla sezione Sperimentazione 1 (3.2).*

3.3 Sperimentazione 2

La sezione 3.3 fa riferimento all'area vicina al cimitero. Questa sperimentazione è simile a quella descritta nella sezione Sperimentazione 1, in particolare si differenzia per la diversa area geografica presa in esame poiché è posta a monte dello smottamento descritto nella sezione 3.2. Si differenzia inoltre per la diversa urbanizzazione adiacente all'area in esame e alla diversa flora: le strutture sono a monte e non a valle della strada (e dell'area di smottamento) e la diversa flora (rappresentata da un maggiore numero di piante a alto fusto nelle prossimità dei nodi) presenta diverse e maggiori difficoltà a causa della visuale del cielo occlusa. Le figure 15 e 16 mettono in evidenza la situazione a dicembre 2011³.

Le figure 17, 18, 19, 20 e 21 mostrano la situazione del 3 ottobre 2018.

In questa sperimentazione si propone l'uso dei nodi denominati 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Una ipotesi del loro posizionamento è messa in evidenza nella figura 14. L'immagine cartografica sulla quale sono stati sovrainpressi i nodi 22 e il calcolo della distanza tra i nodi sono ottenuti dal software della Regione Toscana Geoscopio [59]. I nodi sono posti alle distanze illustrate in tabella 3. La distanza radiale tra i nodi è riportata in tabella 4. Per ogni misura (da nodo 1, da nodo 2 ecc) l'asse di riferimento è quello che riporta 0 gradi tra i nodi.

³Immagine generata da uno screenshot di Google Earth, si ringrazia Google per l'uso di questa immagine.



Figura 15: strada dissestata dopo gli smottamenti del terreno. La fotografia rappresenta lo stato dei luoghi nel 2011. Si ringrazia Google per l'uso di questa immagine.



Figura 16: strada dissestata dopo gli smottamenti del terreno. La fotografia rappresenta lo stato dei luoghi nel 2011. Si ringrazia Google per l'uso di questa immagine.



Figura 17: strada adiacente al cimitero, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.

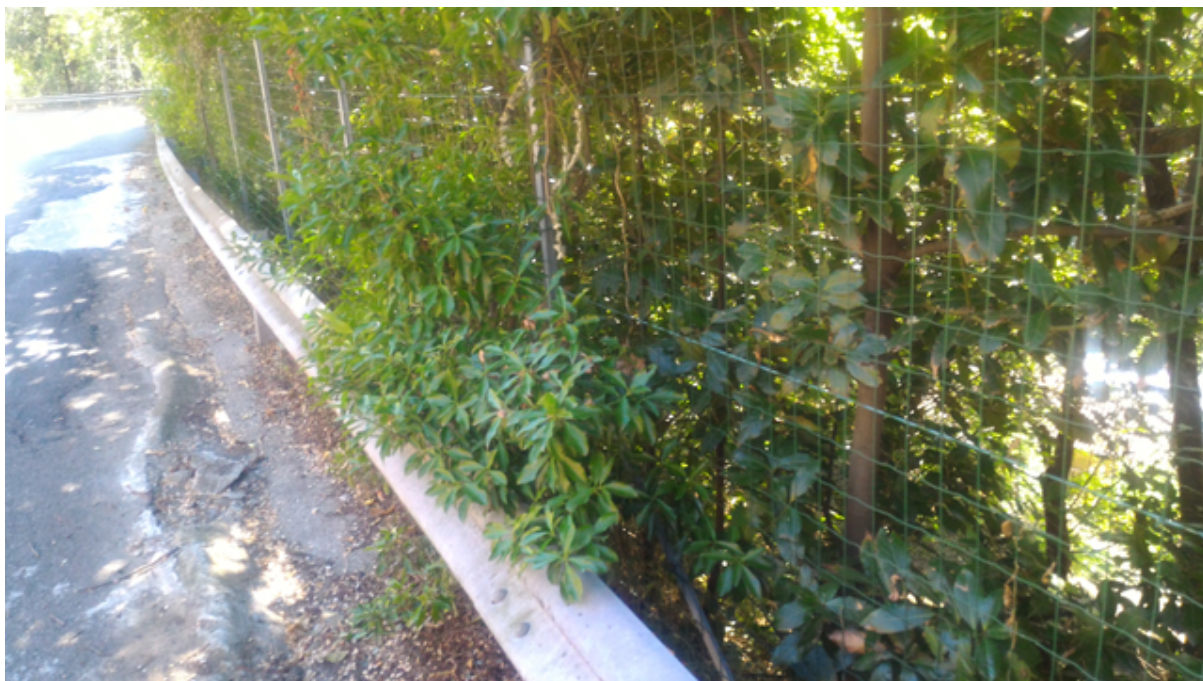


Figura 18: strada adiacente al cimitero, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.



Figura 19: strada adiacente al cimitero, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.



Figura 20: strada adiacente al cimitero, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.



Figura 21: strada adiacente al cimitero, la fotografia rappresenta lo stato dei luoghi in data 3 ottobre 2018.

Ringraziamenti

Per la realizzazione ringraziamo la Regione Toscana⁴, Google⁵ e Il Tirreno⁶ per materiale frutto del loro lavoro.

⁴<http://www.regione.toscana.it>

⁵<http://www.google.it>

⁶<http://iltirreno.gelocal.it>

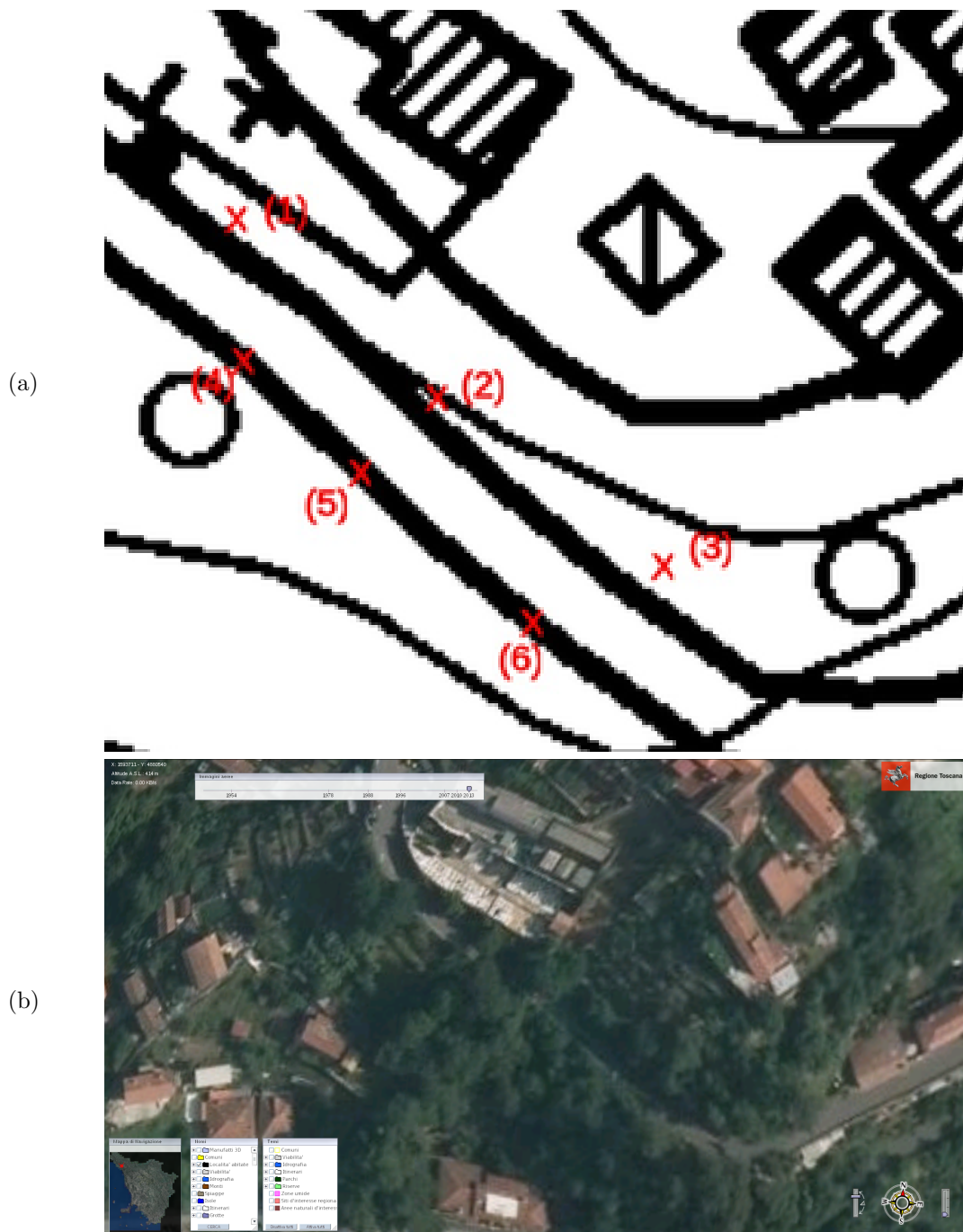


Figura 22: *posizione dei nodi nella Sperimentazione 2. Le immagini sono ottenute grazie al software della Regione Toscana descritto in [59], in (a) la posizione dei nodi sullo strumento di calcolo e in (b) una fotografia aerea che comprende l'area indicata in (a).*

| Da nodo | A nodo | Distanza (m) |
|---------|--------|--------------|
| 1 | 2 | ~24 |
| 1 | 3 | ~51 |
| 1 | 4 | ~13 |
| 1 | 5 | ~25 |
| 1 | 6 | ~46 |
| 2 | 3 | ~26 |
| 2 | 4 | ~18 |
| 2 | 5 | ~10 |
| 2 | 6 | ~23 |

| Da nodo | A nodo | Distanza (m) |
|---------|--------|--------------|
| 3 | 4 | ~43 |
| 3 | 5 | ~29 |
| 3 | 6 | ~13 |
| 4 | 5 | ~15 |
| 4 | 6 | ~37 |
| 5 | 6 | ~22 |

Tabella 3: *distanza lineare internodo riferita alla Sperimentazione 2 (3.2).*

| Da nodo | A nodo | gradi |
|----------|----------|-------|
| 1 | 2 | ~45° |
| 1 | 3 | ~48° |
| 1 | 4 | ~0° |
| 1 | 5 | ~23° |
| 1 | 6 | ~32° |
| 2 | 1 | ~0° |
| 2 | 3 | ~175° |
| 2 | 4 | ~31° |
| 2 | 5 | ~87° |
| 2 | 6 | ~155° |
| 3 | 1 | ~0° |
| 3 | 2 | ~2° |
| 3 | 4 | ~13° |
| 3 | 5 | ~22° |
| 3 | 6 | ~62° |

| Da nodo | A nodo | gradi |
|----------|----------|-------|
| 4 | 1 | ~137° |
| 4 | 2 | ~34° |
| 4 | 3 | ~18° |
| 4 | 5 | ~0° |
| 4 | 6 | ~1° |
| 5 | 1 | ~158° |
| 5 | 2 | ~88° |
| 5 | 3 | ~25° |
| 5 | 4 | ~178° |
| 5 | 6 | ~0° |
| 6 | 1 | ~101° |
| 6 | 2 | ~88° |
| 6 | 3 | ~0° |
| 6 | 4 | ~113° |
| 6 | 5 | ~114° |

Tabella 4: *distanza radiale internodo riferita alla sezione Sperimentazione 2 (3.2).*

Riferimenti bibliografici

- [1] A. Fantini, M. Magrini, S. Martino, D. Moroni, G. Pieri, A. Prestininzi, O. Salvetti, Experimenting an embedded-sensor network of early warning of natural risk due to fast failure along railways. Proc. of IMTA 2015 - 5th International Workshop on Image Mining, Theory and Application, pp. 85-91, 2015, Berlin, Germany
- [2] G.R. Leone, M. Magrini, D. Moroni, G. Pieri, O. Salvetti, M. Tampucci (2016), A smart device for monitoring railways tracks in remote areas. Proc. of IWCIM 2016 - IEEE International Workshop on Computer Intelligence for Multimedia Understanding, 2016, Reggio Calabria, Italy.
- [3] K. Takahashi, M. Matsumoto, M. Sato (2013), "Continuous observation of natural disaster affected areas using ground based SAR interferometry", IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing , 6, 3, 1286 – 1294.
- [4] E. Zini (2018), "I droni per lo studio dei fenomeni franosi e delle alluvioni", Eventi di piena e frana in italia settentrionale nel periodo 2005-2016, Palazzo Lombardia, Auditorium Testori, Milano, 15 febbraio 2018.

- [5] D. Giordan, Y. S. Hayakawa, F. Nex, P. and Tarolli (2017), The use of remotely piloted aircraft systems (RPAS) in monitoring applications and management of natural hazards, Natural Hazards and Earth System Sciences, Copernicus Publication.
- [6] L. Mucchi (2015), Reti di sensori wireless per il monitoraggio frane: l'esperienza del progetto SEED, Telecontrollo Made in Italy: a step forward for a better life, Milano 29-30 settembre 2015.
- [7] D. Parisi (2016), Studio del fenomeno franoso che insiste sul versante a monte dell'abitato di Siror: verifiche di stabilità ed elaborazione dei dati di monitoraggio, Corso di laurea magistrale in Scienze Forestali e Ambientali, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università di Padova.
- [8] QR Code, https://en.wikipedia.org/wiki/QR_code (visualizzato in data 30/08/2018)
- [9] S. Garrido-Jurado, R. Muñoz-Salinas, F.J. Madrid-Cuevas, M.J. Marín-Jiménez (2014), Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion, Pattern Recognition, vol. 47, pp. 2280-2292, Elsevier.
- [10] S. Garrido-Jurado, R. Muñoz-Salinas, F.J. Madrid-Cuevas, R. Medina-Carnicer (2016), Generation of fiducial marker dictionaries using Mixed Integer Linear Programming, Pattern Recognition, vol 51, pp. 481-491, Elsevier.
- [11] R. Muñoz-Salinas, M.J. Marín-Jimenez, E. Yeguas-Bolivar, R. Medina-Carnicer (2018), Mapping and localization from planar markers, Pattern Recognition, vol. 73, pp. 158-171, Elsevier.
- [12] X. Wu, D. Tang, X. Qian (2011), A Centralized Location Algorithm based on RSSI in Large-Scale Wireless Sensor Network, Procedia Engineering, vol. 15, Elsevier.
- [13] M. Botta and M. Simek (2013). Adaptive distance estimation based on RSSI in 802.15. 4 network. Radioengineering, 22(4), 1162-1168.
- [14] Sallouha, H., Chiumento, A., and Pollin, S. (2017, May). Localization in long-range ultra narrow band IoT networks using RSSI. In Communications (ICC), 2017 IEEE International Conference on (pp. 1-6). IEEE.
- [15] Mohammed, S. L. (2016). Distance Estimation Based on RSSI and Log-Normal Shadowing Models for ZigBee Wireless Sensor Network. Engineering and Technology Journal, 34(15 Part (A) Engineering), 2950-2959.
- [16] Oguejiofor, O., Okorogu, V., Adewale, A., and Osuesu, B. (2013). Outdoor localization system using RSSI measurement of wireless sensor network. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2(2), 1-6.
- [17] Benkic, K., Malajner, M., Planinsic, P., and Cucej, Z. (2008, June). Using RSSI value for distance estimation in wireless sensor networks based on ZigBee. In Systems, signals and image processing, 2008. IWSSIP 2008. 15th international conference on (pp. 303-306). IEEE.
- [18] Adewumi, O. G., Djouani, K., and Kurien, A. M. (2013, February). RSSI based indoor and outdoor distance estimation for localization in WSN. In Industrial Technology (ICIT), 2013 IEEE International Conference on (pp. 1534-1539). IEEE.
- [19] Oliveira, T., Raju, M., and Agrawal, D. P. (2012). Accurate distance estimation using fuzzy based combined RSSI/LQI values in an indoor scenario: Experimental verification. Network Protocols and Algorithms, 4(4), 174-199.
- [20] P. Sedlacek, M. Slanina, D. Kovac (2016), An Overview of Indoor and Outdoor Positioning Technologies with Focus on their Precision, Elektrovizija, ISSN 1213-1539.
- [21] Karlsson, T., and Persson, M. (2017). Outdoor localization in long range WSN using trilateration.

- [22] Larsson, J. (2015). Distance Estimation and Positioning Based on Bluetooth Low Energy Technology.
- [23] Blecky (2015) How Does It Work?, HACKDAY.IO, <http://bit.ly/2u7eYKu> (ultimo accesso 30/08/2018)
- [24] How to Calculate Distance from the RSSI value of the BLE Beacon, IOT AND ELECTRONICS, <http://bit.ly/2N3JzzH> (ultimo accesso 30/08/2018)
- [25] N. Sakib (2014), Regarding nRF51822 RSSI to Distance Calculation, DevZone, <http://bit.ly/2m8ZzoE> (ultimo accesso 30/08/2018)
- [26] Benkic, K., Malajner, M., Planinsic, P., and Cucej, Z. (2008, June). Using RSSI value for distance estimation in wireless sensor networks based on ZigBee. In Systems, signals and image processing, 2008. IWSSIP 2008. 15th international conference on (pp. 303-306). IEEE.
- [27] Sung, Y. (2016). RSSI-based distance estimation framework using a Kalman filter for sustainable indoor computing environments. *Sustainability*, 8(11), 1136.
- [28] Xu, J., Liu, W., Lang, F., Zhang, Y., and Wang, C. (2010). Distance measurement model based on RSSI in WSN. *Wireless Sensor Network*, 2(08), 606.
- [29] Licznarski, T. J., Jaroński, J., and Kosz, D. (2011). Ultrasonic system for accurate distance measurement in the air. *Ultrasonics*, 51(8), 960-965.
- [30] Kumar, S., and Furuhashi, H. (2017). Long-range measurement system using ultrasonic range sensor with high-power transmitter array in air. *Ultrasonics*, 74, 186-195.
- [31] Vladišauskas, A., and Jakevičius, L. (2004). Absorption of ultrasonic waves in air. *Ultragarsas*, 50(1), 46-49.
- [32] Bond, L. J., Chiang, C. H., and Fortunko, C. M. (1992). Absorption of ultrasonic waves in air at high frequencies (10–20 MHz). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 92(4), 2006-2015.
- [33] Herzfeld, K. F., and Litovitz, T. A. (2013). Absorption and dispersion of ultrasonic waves (Vol. 7). Academic Press.
- [34] 50M Distance Transducer Estimation with A Long-range Ultrasonic Sensor System directly with low price and high quality, Piezo Hannas, <http://bit.ly/2zrQn8f> (ultimo accesso 30/08/2018)
- [35] Sonbul, O., and Kalashnikov, A. (2014). Determining the operating distance of air ultrasound range finders: calculations and experiments. *International Journal of Computing*, 13(2), 125-131.
- [36] Furuno, Y., Tanaka, Y., and Nakatoh, Y. (2016, January). Detecting system of approaching vehicles using an ultrasonic wave. In Consumer Electronics (ICCE), 2016 IEEE International Conference on (pp. 393-394). IEEE.
- [37] Wu, J., Zhu, J., Yang, L., Shen, M., Xue, B., and Liu, Z. (2014). A highly accurate ultrasonic ranging method based on onset extraction and phase shift detection. *Measurement*, 47, 433-441.
- [38] Mirshahi, S., and Mas, O. (2015). A novel distance measurement approach using shape matching in narrow-band ultrasonic system. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 400-405.
- [39] Kumar, S., and Furuhashi, H. (2018). Characteristics of an ultrasonic phased array transmitter in medium range. *Ultrasonics*, 82, 331-335.
- [40] D. P. Massa (1999). Choosing an Ultrasonic Sensor for Proximity or Distance, Sensors online, <http://bit.ly/2N4JSdt> (ultimo accesso 10/07/2018)

- [41] Koval, L., Vaňuš, J., and Bilík, P. (2016). Distance Measuring by Ultrasonic Sensor. IFAC-PapersOnLine, 49(25), 153-158.
- [42] Panda, K. G., Agrawal, D., Nshimiyimana, A., and Hossain, A. (2016). Effects of environment on accuracy of ultrasonic sensor operates in millimetre range. Perspectives in Science, 8, 574-576.
- [43] LONGSUN CORPORATION LTD, Products ĳ In-Air Ultrasonic Sensors ĳ Long-range Sensor, <http://bit.ly/2Ja3GK1> (ultimo accesso 30/08/2018)
- [44] Huang, K. N., and Huang, Y. P. (2009). Multiple-frequency ultrasonic distance measurement using direct digital frequency synthesizers. Sensors and Actuators A: Physical, 149(1), 42-50.
- [45] Zhan, X., Yang, Y., Liang, J., Shi, T., and Li, X. (2016). Temperature effects and compensation in ultrasonic concentration measurement of multicomponent mixture. Sensors and Actuators A: Physical, 252, 146-153.
- [46] Majchrzak, J., Michalski, M., and Wiczynski, G. (2009). Distance estimation with a long-range ultrasonic sensor system. IEEE Sensors Journal, 9(7), 767-773.
- [47] V. Mazzari (2017). Ultrasound sensor? high quality ultrasound sensors available now. Robotics tutorials, <http://bit.ly/2zqA8IL> (ultimo accesso 30/08/2018).
- [48] Shortis, M. R. and Seager, J. W. (2014). A practical target recognition system for close range photogrammetry. The Photogrammetric Record, 29(147), 337-355.
- [49] M. Righi e A. Benassi (2016). “Localization system for medium/small spaces”, Puma ID cnr.isti/2016-TR-027, 2016, <http://tiny.cc/1i7pvy>.
- [50] Berrahal, S., Kim, J. H., Rekhis, S., Boudriga, N., Wilkins, D., and Acevedo, J. (2016). Border surveillance monitoring using quadcopter UAV-aided wireless sensor networks.
- [51] Zaheer, Z., Usmani, A., Khan, E., and Qadeer, M. A. (2016, July). Aerial surveillance system using UAV. In Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), 2016 Thirteenth International Conference on (pp. 1-7). IEEE.
- [52] Sun, J., Li, B., Jiang, Y., and Wen, C. Y. (2016). A camera-based target detection and positioning UAV system for search and rescue (SAR) purposes. Sensors, 16(11), 1778.
- [53] Shojaiifar, A. (2015). Evaluation and Improvement of the RSSI-based Localization Algorithm: Received Signal Strength Indication (RSSI).
- [54] Passafiume, M., Maddio, S., and Cidronali, A. (2017). An improved approach for RSSI-based only calibration-free real-time indoor localization on IEEE 802.11 and 802.15. 4 wireless networks. Sensors, 17(4), 717.
- [55] Frana di Casette e della Rocca, nuovo sopralluogo, 04/03/2016, *Qui News Massa Carrara*, <http://www.quinewsmassacarrara.it/frana-di-casette-e-della-rocca-nuovo-sopralluogo.htm>
- [56] Isolate 15 persone per una frana a Casette. Alcuni disagi in Fi-Pi-Li a Pisa Nord-Est e in Versilia, 18/01/2014, *Go News*, <http://www.gonews.it/2014/01/18/isolate-15-persone-per-una-frana-a-casette-alcuni-disagi-in-fi-pi-li-a-pisa-nord-est-e-in-versilia/>
- [57] Massa, altra frana a Casette. Allerta meteo prorogata no alla mezzanotte di domenica, 18/01/2014, *La Nazione*, <https://www.lanazione.it/massa-carrara/cronaca/2014/01/18/1012125-frana-casette-allerta-meteo-maltempo.shtml>
- [58] L’annuncio di Volpi: “Sono arrivati 5 milioni di euro per il recupero di Casette”, 13/05/2018, *Il Tirreno*, http://iltirreno.gelocal.it/massa/cronaca/2018/05/13/news/sono-arrivati-5-milioni-di-euro-per-il-recupero-di-casette-1.16832107?refresh_ce

- [59] Cartografia tecnica regionale e scarico dati geografici, <http://www.regione.toscana.it/-/cartografia-tecnica-regionale-e-scarico-dati-geografici>
- [60] Persiani e «la Rocca ko» E oggi Mercato in via Dante, 01/06/2018, *Il Tirreno*, <http://iltirreno.gelocal.it/massa/cronaca/2018/06/01/news/persiani-e-la-rocca-ko-e-oggi-marcato-in-via-dante-1.16910192>