



*Integrazione di tecnologie
abilitanti per l'efficientamento
degli scavi archeologici*



REGIONE TOSCANA
BANDI RSI - POR FESR 2014-2020
BANDO n. 2, decreto dir. n. 3389, 30/07/2014

SINTESI DEI RISULTATI DEL PROGETTO ARCHEO 3.0

<http://www.archeo3.it/>

1 INTRODUZIONE

L'ambito di maggiore rilevanza economica della ricerca archeologica è quello degli scavi condotti contestualmente alla realizzazione di opere urbane o di grandi infrastrutture. In tali circostanze operative, il tempo per la raccolta e interpretazione dei dati e la loro accuratezza sono elementi cruciali che determinano l'impatto economico dell'indagine archeologica sul budget di dette opere e l'efficacia ai fini della valorizzazione culturale degli eventuali ritrovamenti.

In anni recenti, la pratica archeologica, basata per lungo tempo su metodologie empiriche, ha visto un crescente utilizzo di strumenti per il rilievo 3D, la prospezione e la documentazione georeferenziata che ha dato origine alla definizione di "Archeologia 2.0". La prospettiva aperta è notevole, ma di fatto ciò non ha prodotto significativi frutti in termini di tempistica e accuratezza dello scavo preventivo, per la mancanza di strumenti dedicati e la scarsa integrazione di quelli esistenti nella pratica di cantiere.

Il progetto ARCHEO 3.0, "Integrazione di tecnologie abilitanti per l'efficientamento degli scavi archeologici preventivi" (POR-CReO/FESR 2014-2020, Regione Toscana) di Cooperativa Archeologia (Firenze), AFGGroup Srl (Calenzano) e Studio Flu Srl (Pisa), CNR-ICVBC e CNR-IFAC (Sesto Fiorentino), ha inteso stimolare un reale avanzamento tecnologico e di processo nella pratica archeologica, sviluppando e integrando strumenti fotonici, elettromagnetici e acustici, in combinazione con altri strumenti avanzati di rilievo e caratterizzazione materica.

Il Progetto è maturato dalla necessità di oggettivare e raffinare i comuni criteri di riconoscimento delle unità stratigrafiche affioranti, basati sulla valutazione empirica del "colore", della "composizione" e della "consistenza" del suolo,

mediante un insieme di strumenti portatili e applicativi software innovativi. Una tale identificazione assistita sfrutta la fotogrammetria 3D, l'imaging multispettrale, l'elaborazione di immagine e l'analisi acustica. Al tempo stesso, il ARCHEO 3.0 ha sviluppato soluzioni hardware e software per la raccolta di dati georeferenziati attraverso tablet, la costruzione del database di cantiere e quindi di mappe GIS (*Geographic Information System*). Una tale piattaforma tecnologica è stata integrata in una Stazione Archeometrica Mobile per la raccolta e gestione del complesso dei dati di scavo.

ARCHEO 3.0 si è articolato in fasi di sviluppo, sperimentazione e validazione in cantieri pilota con diverse problematiche di scavo. Il suo obiettivo principale è stato l'aumento della qualità della documentazione e la diminuzione dei tempi di esecuzione della ricerca archeologica, al fine di contenere il suo impatto sulla durata e il costo delle opere nell'ambito delle quali essa è richiesta.

2 RILIEVO 3D SPEDITIVO

La documentazione *in situ* è in gran parte condizionata dall'esigenza di concludere l'indagine nel più breve tempo possibile, in relazione al carattere di emergenza del cantiere stesso, rinviando così molte operazioni ad una fase di *post-processing*. In questa ottica si è optato per una documentazione grafica e topografica rapidamente acquisibile e il più possibile efficace, avvalendosi della stazione totale e della restituzione fotogrammetrica digitale 3D, che consente la realizzazione di fotopiani attraverso il posizionamento di punti di controllo. Infatti, in anni recenti, nel rilievo 3D di aree di scavo e di edifici, l'interesse si è sempre più concentrato su tecniche di ricostruzione basate sull'elaborazione di sequenze di immagini che inquadrano l'area di interesse da diverse angolazioni. Il successo di un tale approccio, cosiddetto di Structure from Motion (SfM), è dovuto ai suoi costi relativamente ridotti (richiede una fotocamera/videocamera e software facilmente accessibile) rispetto alla ben nota

scansione laser in tempo di volo, e dal fatto che esso traduce intrinsecamente le informazioni cromatiche sul modello 3D. La Fig. 1 mostra uno schema concettuale del rilievo fotogrammetrico 3D SfM utilizzato nel Progetto.

al programma Agisoft PhotoScan per l'elaborazione e il rendering 3D. L'operatore procede al perfezionamento del modello e, al termine del processo, produce il rendering di viste di insieme l'estrazione di fotopiani e di particolari, in funzione delle esigenze specifiche.

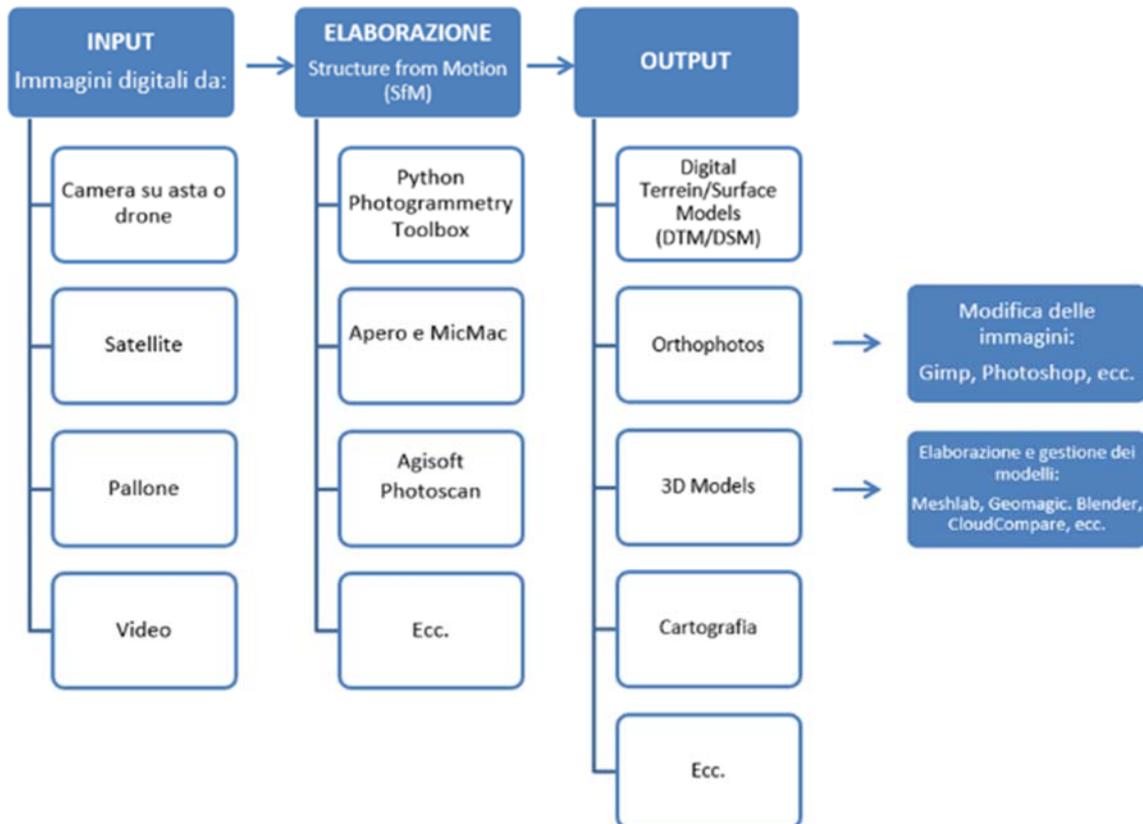


Fig. 1 Rappresentazione schematica del procedimento di rilievo fotogrammetrico 3D SfM.

In ARCHEO 3.0, si è scelto di ricostruire il modello 3D a partire da video, un approccio reso oggi possibile grazie alla disponibilità delle moderne videocamere digitali HD e di strumenti software avanzati.

In particolare, i video sono stati acquisiti montando la videocamera su asta e girando perimetralmente attorno all'area di interesse, avendo cura di riprendere tutte le zone della superficie da digitalizzare. La procedura messa a punto prevede l'acquisizione e il salvataggio di un video, l'esecuzione di uno script in Python che estrae in modo automatico i frame necessari e li invia in input

Per poter ottenere un fotomosaico omogeneo, è opportuno esportare le singole coppie di immagini in un software di grafica digitale come GIMP per correggere i livelli cromatici, in modo da non creare discrepanze tra da un'immagine e l'altra. Una volta georiferita tutta la strisciata, si realizza il fotomosaico georiferito finale.

Il risultato è dato da un'unica immagine metricamente corretta e georeferenziata. Nel corso di indagini stratigrafiche questa tecnica permette una documentazione dettagliata e speditiva. Il fotopiano così ottenuto

corrisponde a un rilievo fotogrammetrico ad alta risoluzione dell'area indagata, con ottima precisione metrica.

A titolo di esempio, la Fig. 2 mostra il rilievo 3D di un'area dello scavo di Piazza della Repubblica a Firenze. La ripresa video è stata eseguita con GoPro Hero5 Black (risoluzione video 1080p, 60 frame per secondo) con una inclinazione di circa 45° su asta estensibile. Detta area è stata quindi filmata girando intorno alla medesima a piccoli passi ed in

La sperimentazione condotta in diverse condizioni, su aree di scavo e campioni, ha confermato l'utilità dell'imaging termico nella messa in luce di elementi metallici poco al di sotto della superficie ripresa, come anche di strutture murarie e altro, differenziabili grazie a differenze significative di conducibilità termica, grado di isolamento etc. In certa misura utile anche la fotografia IR e l'estrazione delle corrispondenti immagini IR falso colore. Per cui è stato realizzato un allestimento dedicato con fotocamera privata del filtro interno per bloccare UV e IR (UV-IR cut) e un appropriato set di filtri.



Fig. 2 Modello 3D di un'area dello scavo di Piazza della Repubblica a Firenze.

maniere fluida. Dal video così acquisito sono stati estratti in modo automatico 100 fotogrammi (tempo di estrazione meno di 1 minuto), dai quali sono stati eliminati in PhotoScan 40 fotogrammi di bassa qualità (sulla base di un parametro di nitidezza), che in generale possono compromettere l'allineamento. La verifica di nitidezza viene eseguita automaticamente nella zona maggiormente a fuoco dell'immagine.

3 IMAGING MULTISPETTRALE

Il Progetto ha realizzato allestimenti per valutare le potenzialità per il presente settore dell'imaging multispettrale in regione UV-IR.

Infine, la sperimentazione ha messo in luce le notevoli potenzialità dell'imaging di fluorescenza eccitato nell'UV per la rapida individuazione di elementi antropici, anche quando questi si presentano in minuti frammenti diffusi non immediatamente riconoscibili a occhio nudo. In questo caso è stato allestito un set di illuminazione con potenti array di diodi con emissione piccata a 365 nm, camera e relativo filtro long pass.

4 ESTRAZIONE ASSISTITA DI CONTORNI DI US

Da un determinato fotopiano realizzato nel corso dello scavo vengono solitamente ricavati i lucidi che riportano la mappa del sito contenente i contorni di tutte le US affioranti. Questa operazione viene svolta tradizionalmente a mano o, più recentemente, usando uno strumento di disegno

tecnico. Dette US vengono riconosciute tipicamente sulla base dei citati criteri empirici di colore, composizione e consistenza, ponderati sulla base dell'esperienza dell'archeologo. Una tale traduzione grafica, può quindi richiedere parecchio tempo se si intende restituire un buon grado di interpretazione che includa tutti i dettagli di rilevanza archeologica. Inoltre, il margine di errore dovuto alla soggettività può risultare notevole. Da qui l'idea di assistere l'operatore con un'estrazione di contorni automatizzata basata su una tecniche di elaborazione di immagini digitali (*computer vision*) e in particolare clustering cromatico e macrotessiturale.

Si tratta di un algoritmo che riceve in input un'immagine a colori delle aree di interesse (fotopiano o una qualunque foto). L'output è rappresentato da un'immagine dove sono raggruppati i pixel che rientrano entro un certo intervallo cromatico o macrotessiturale e a tali pixel "omogenei" viene associato in maniera univoca un determinato livello di grigio. L'immagine in scala di grigi così ottenuta viene quindi elaborata attraverso tecniche di "*edge detection*" per estrarre i suoi contorni. In generale, questi ultimi contengono parte dei contorni delle diverse US affioranti, che possono essere sfruttati per documentare un determinato stato di avanzamento dello scavo.

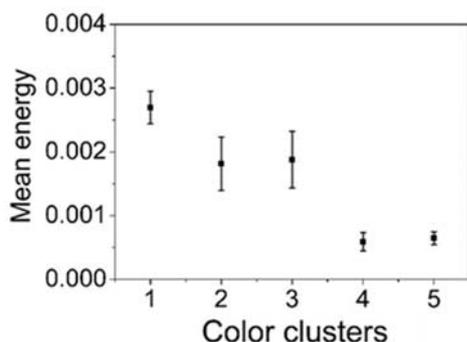
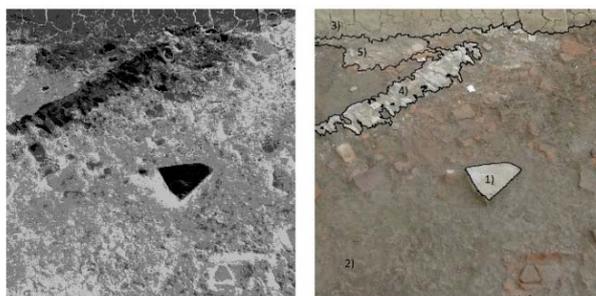


Fig. 3 Esempio di estrazione automatica di contorni in un'immagine di scavo (sopra) ed energie medie calcolate all'interno delle aree individuate.

Come anticipato, è stata anche sviluppata una modalità di clustering alternativa basata su un parametro statistico detto "energia media normalizzata". Quest'ultimo è determinato dalle variazioni locali dei livelli di grigio e fornisce una valutazione numerica del grado di uniformità e quindi un dato di sintesi della specifica distribuzione associata alla macrotessitura dell'area considerata. Detto parametro di energia media tende a 1 nei casi di distribuzione pressoché omogenea (condizione che corrisponde a un'immagine con pochi livelli di grigio), a zero nel caso di marcata disomogeneità. La Fig. 3 mostra un esempio di applicazione dell'estrazione assistita di contorni, unitamente alle energie medie calcolate nelle singole aree individuate. Nel caso mostrato, la variazione di queste ultime fornisce ulteriore supporto alla differenziazione fornita dal clustering cromatico.

In un dato fotopiano, il software permette di estrarre i contorni sull'intera superficie documentata in una singola operazione, ma questo richiede una notevole potenza di calcolo del PC e può spesso portare ad errori di identificazione dovuti a variazioni di illuminazione e altro. Risulta quindi più efficace processare in sequenza aree ridotte del fotopiano di maggiore interesse, come mostrato nelle Figg. 3 e 4, dove sono evidenziate solo parte delle unità stratigrafiche murarie presenti nell'immagine elaborata.

Particolare cura è stata rivolta allo sviluppo di un software facile da usare per le figure professionali presenti nel cantiere e soprattutto integrabile nella piattaforma digitale di scambio dati di ARCHEO 3.0. Al termine della fase di prototipazione, detto software è stato tradotto in un applicativo in Python con interfaccia grafica.

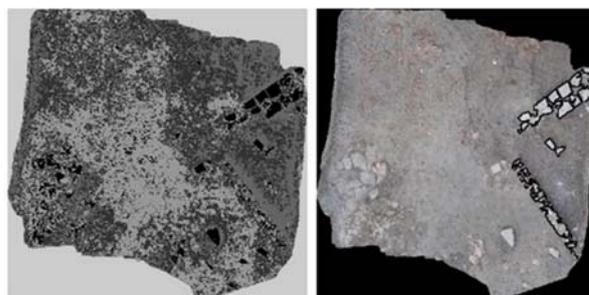


Fig. 4 Esempio di estrazione automatica di contorni di unità stratigrafica muraria da un fotopiano.

5 SPETTROSCOPIA ACUSTICA

Come accennato sopra, accanto a colore e composizione, un'altra caratteristica sfruttata per discriminare diverse US è la "consistenza", che viene solitamente valutata empiricamente. In ARCHEO 3.0 si è pensato quindi di realizzare un dispositivo (Fig. 5) in grado di restituire informazioni sulle proprietà meccaniche superficiali del suolo o della parete in esame. Più precisamente, esso fornisce una caratterizzazione acustica dei primi strati superficiali.

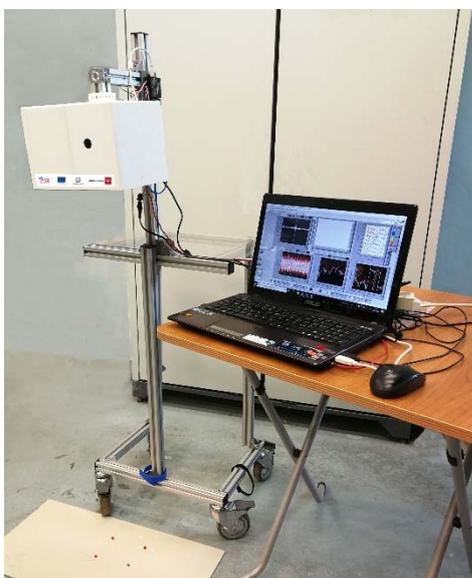


Fig. 5 Dispositivo di caratterizzazione acustica.

Lo strumento è basato sull'analisi spettrale della risposta acustica della superficie esaminata, quando sulla medesima incide un segnale acustico opportunamente generato. Esso può però anche essere sfruttato per l'analisi spettrale della risposta acustica ad una sollecitazione meccanica (noccatura manuale, martellatura etc)

Il dispositivo comprende:

- una speciale sorgente sonora ad alta direzionalità;
- un microfono direzionale in grado di attenuare il rumore di fondo;
- stabilizzazione termica;
- una videocamera per documentare la superficie esaminata;
- PC portatile
- relativo software di acquisizione ed elaborazione ad hoc.

Detta sorgente sonora è costituita da un altoparlante parametrico di recente introduzione, che emette un fascio acustico con alto grado di collimazione. Tale emettitore e il microfono direzionale usato per registrare la riflessione del suolo garantiscono un buon livello di isolamento del dispositivo rispetto al rumore ambientale.

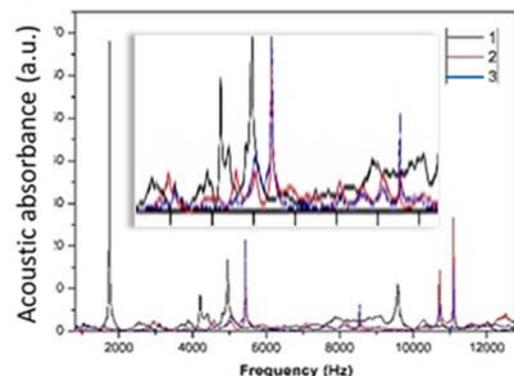


Fig. 6 Test di riflettometria acustica all'interno eseguiti su una sezione del cantiere di Palazzo Vecchio.

La distanza di lavoro solita è di ca. 1 m dalla superficie in esame. Il software sviluppato permette il completo controllo della misura: generazione del segnale di eccitazione; acquisizione della risposta del suolo o della parete attraverso il microfono; analisi spettrale di detta risposta e presentazione dei risultati. È inoltre possibile iterare l'acquisizione nella stessa posizione allo scopo di migliorare la qualità della misura. È stato inoltre realizzato un modulo di rendering dello spettro di riflettanza acustica secondo una scala di colori.

Come accennato, l'analisi spettrale eseguita è basata su un'opportuna scelta del suono emesso dalla sorgente e l'adattamento della teoria di elaborazione dei segnali. In particolare, si è scelto di utilizzare uno "pseudo-rumore" ottenuto

mediante un segnale in tensione della durata di circa 1 s avente uno spettro piatto nel range 50 – 10000 Hz.

I test di validazione sono stati condotti in contesti diversi: cantieri urbani al chiuso e all'aperto e una trincea in area extraurbana.



Fig. 7 *Sperimentazione della spettroscopia acustica sulla parete di una trincea esplorativa (Sesto Fiorentino).*

Di particolare interesse in caso dello scavo di resti romani nel sottosuolo di Palazzo Vecchio a Firenze. La Fig. 6 mostra un fronte di scavo trasversale di questo cantiere in cui sono evidenti nella stratificazione, costituita da terra, sabbia e pietre, almeno due tonalità cromatiche. Nelle aree 2 e 3 sono stati registrati spettri di assorbanza simili, ma di diversa ampiezza, contenenti picchi molto marcati. L'area 1 ha restituito uno spettro con due picchi molto pronunciati a diverse lunghezze d'onda rispetto ai picchi delle aree 2 e 3.

Similmente, i test condotti sulla parete di una trincea esplorativa realizzata presso il Polo Scientifico di Sesto Fiorentino (Fig. 7) hanno restituito variazioni spettrali significative.

Questi risultati mettono in evidenza come l'approccio acustico possa fornire elementi di differenziazione a supporto dell'identificazione e documentazione di US, fino a diventare essenziale quando le valutazioni cromatiche e composizionali non permettono una chiara discriminazione.

6 RADAR DI PROSSIMITÀ

In ARCHEO 3.0 si è pensato di sviluppare un radar di prospezione a corto raggio in grado di fornire informazioni in tempo reale sul contenuto

materico entro alcune decine di centimetri al di sotto della superficie. Questo al fine di orientare le operazioni di scavo per il recupero di risultanze archeologiche appena affioranti o subito sotto la superficie del suolo, o anche discriminare rapidamente zone con presenza di residui antropici (metallo, ceramica etc) rispetto a zone di minore interesse. In definitiva, lo strumento può costituire un ausilio nell'avanzamento delle operazioni di scavo manuale.



Fig. 8 *Radar a corto raggio e Interfaccia del software.*

Lo strumento sviluppato è un radar del tipo FMCW (Frequency Modulated Continuum Wave), basato su un modulo Sivers IMA FMCW, che opera nella banda di frequenze da 24 GHz a 25.5 GHz, e un'antenna ad horn. Brevemente si tratta di un particolare radar a modulazione di frequenza ad emissione continua in cui il tempo di volo del segnale riflesso e la profondità dell'oggetto che l'ha determinato si possono ricavare, indirettamente, attraverso la combinazione del segnale trasmesso con il segnale ricevuto dall'antenna. Tale combinazione genera un battimento la cui frequenza è funzione di detto tempo di volo.

Lo strumento è alimentato da una batteria al piombo da 12 V 1,2 Ah mediante la quale il sistema ha un'autonomia di circa 3-4 ore (stimate in base al suo assorbimento di corrente max nominale 1 mA a 10 V). Il dispositivo è stato assemblato in unico involucro di PVC (batteria, modulo Sivers IMA FMCW, antenna ad horn, Fig. 8). La batteria e l'antenna ad horn sono facilmente accessibili e sostituibili. È comandato via porta micro-USB attraverso un software sviluppato in MATLAB Runtime (set autonomo di librerie condivise che consente l'esecuzione di applicazioni MATLAB compilate e dei suoi componenti). L'utilizzo

combinato di MATLAB, MATLAB Compiler e MATLAB Runtime ha permesso lo sviluppo dell'applicazione di gestione ed elaborazione.

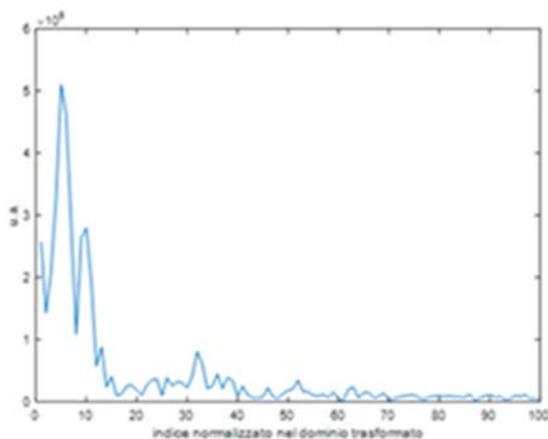


Fig. 9 Esempio di risposta del radar in presenza di un frammento metallico interrato a 5 cm dalla superficie.

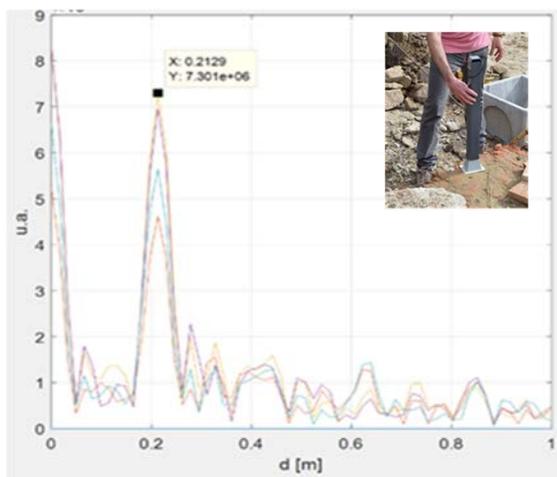


Fig. 10 Segnale radar acquisito su una pavimentazione.

Il radar può anche essere utilizzato per stimare la profondità di un dato strato superficiali. Così ad esempio, nella Scavo di Piazza della Repubblica a Firenze (Fig. 10) ha permesso di misurare lo spessore complessivo di una pavimentazione, risultato variabile tra 20 e 30 cm, con contrasto variabile dipendente dai diversi materiali su cui poggia detta pavimentazione.

7 INTEGRAZIONE DIGITALE

7.1 Raccolta dati

L'App iArcheo 3.0 è lo strumento software sviluppato nel Progetto per l'interfacciamento dei dispositivi di raccolta dati con il database di cantiere in cui si trasferiscono dati numerici, foto descrizioni etc relative a Saggi Stratigrafici, US e unità stratigrafiche murarie (USM).

iArcheo 3.0 è stata progettata per essere utilizzata su tablet con sistema operativo Android di ultima generazione. I dati inseriti sono gestiti dalle API iArcheo 3.0 e sincronizzati su sistema pyArchInit. Un tale strumento è inteso quale alternativa al classico taccuino cartaceo, permettendo la rapida catalogazione e memorizzazione delle informazioni di interesse.



Fig. 11 Schermate della App di raccolta dati iArcheo 3.0.

L'App funziona in due modalità: 1) Wi-Fi locale, attraverso connessione al server locale (di cantiere) che espone le API per la scrittura e lettura del database; 2) online, attraverso connessione internet al server pubblico che espone dette API. La modalità operativa viene selezionata dall'utente al momento dell'accesso. Per fornire una maggiore flessibilità d'uso, vi è anche la possibilità di inserire un indirizzo manuale verso cui chiamare le API di comunicazione.

iArcheo 3.0 permette di documentare agevolmente SAS con dati georeferenziati di US e USM. Per le US i campi sono stati raggruppati in: Dati Principali, Localizzazione, Composizione, Relazioni Fisiche, Sequenza Stratigrafica, Dati Interpretativi, Reperti, Dati Conclusivi. Per le USM si prevedono: Dati Principali, Localizzazione, Composizione (Scheletro e Leganti), Relazioni Fisiche, Sequenza Stratigrafica, Dati Interpretativi, Reperti, Dati Conclusivi.

7.2 Stazione Archeometrica Mobile

Cooperativa Archeologia ha acquistato un furgone Iveco Daily su cui, con il contributo del partenariato, è stato installato il server e la rete locale Wi-Fi. Il furgone ospita inoltre un'ampia postazione di lavoro (Fig. 12) e uno spazio per il trasporto del gruppo elettrogeno e degli strumenti descritti sopra.



Fig. 12 Stazione Archeometrica Mobile.

Sulla *Stazione Archeometrica Mobile* è installato un rack (armadio), con all'interno:

- server linux
- access point
- router wifi LTE
- switch di rete TP
- gruppo di continuità.

La Stazione e relativa infrastruttura digitale, i dispositivi analitici e relativi software e la App iArcheo 3.0 con i suoi protocolli di interazione con l'unità centrale costituiscono la piattaforma tecnologica del Progetto, la cui infrastruttura hardware digitale è schematizzata in Fig. 13.

I dispositivi analitici comprendono, in generale:

- il set per il rilievo grafico 3D (videocamera, fotocamera, supporti etc);
- apparati di imaging multispettrale: fluorescenza, NIR e IR termico.
- lo strumento di spettroscopia acustica;
- il radar a corto raggio;
- strumenti portatili per l'analisi materia speditiva (LIPS e Raman)

La raccolta dati è eseguita con tablet, mentre a bordo del furgone vengono svolte attività di backoffice utilizzando QGIS, pyArchInIt e image

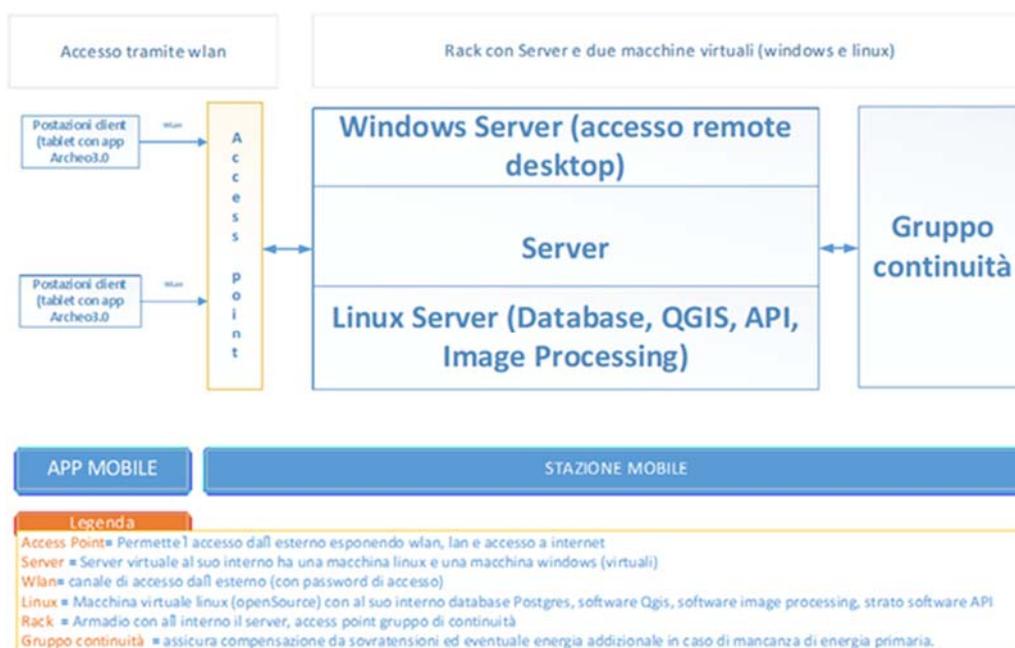


Fig. 13 Architettura hardware della Stazione Archeometrica Mobile.



processing, sfruttando i software installati sul server:

- Web Server: Apache 2.4.18
- Application Server Apache Tomcat.
- PHP 7.0.15
- Strato API che permette l'accesso dal cantiere ai database dell'unità centrale iArcheo 3.0 e di adattare il formato dei dati in pyArchInIt (modulo di QGIS).
- PostgreSQL + PostGIS 9.5: database Postgres open source (dati geolocalizzati).
- Software openSource QGIS 2.18
- Plugin pyArchInIt su QGIS
- Python 2.7.12
- QGIS Server web client
- WebGIS (MapServer)
- Software per il riconoscimento assistito dei contorni di US (image processing).

Lo strato di API, come anticipato, permette all'App iArcheo 3.0 di interagire e di popolare l'archivio centrale: Accesso ai dati, Memorizzazione dei dati, Aggiornamento dei dati. L'accesso è regolamentato attraverso l'utilizzo di credenziali di. All'interno del controllo degli accessi, l'amministratore di sistema può decidere se concedere i diritti di lettura e/o scrittura.

Il software QGIS offre notevoli potenzialità di documentazione archeologica dello scavo stratigrafico, attraverso l'interazione con la banca dati (Database postgres) sfruttando il plugin pyArchInIt integrato con la medesima (dati resi compatibili dallo strato di API sviluppato). Da evidenziare anche il fatto che, la collaborazione con gli sviluppatori di pyArchInIt, ha permesso la realizzazione di importanti implementazioni di questa nota App. Con questo strumento software è possibile quindi generare mappe georeferenziate ad un qualunque livello di avanzamento dello scavo e ricostruire il relativo matrix finale.

8 CONCLUSIONI

ARCHEO 3.0 ha realizzato sviluppi tecnologici e metodi che costituiscono un concreto ausilio nell'efficientamento dei servizi di ricerca archeologica offerti da Cooperativa Archeologia e, più in generale, ha dimostrato approcci tecnologici

e metodi innovativi che rappresentano un importante stimolo per l'intero settore.

Affinché il Progetto abbia un impatto applicativo significativo, è necessario proseguire nelle attività di ricerca e con il fondamentale coinvolgimento di soprintendenze e altri enti di tutela nella validazione estesa dei nuovi approcci proposti.

Bibliografia

- [1] S Rescic, S Siano, RM Del Fà, I Cacciari, G Grosso, G Andreini, G Pocobelli, A Mencaglia, P Tiano, F Fratini
Efficiency and quality raising in preventive archaeology: work in progress of the project ARCHEO 3.0
IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 364
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/364/1/012036>
- [2] I Cacciari, GF Pocobelli, S Cicola, S Siano
Discrimination of soil texture and contour recognitions during archaeological excavation using Machine Learning
IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 364
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/364/1/012042>
- [3] I Cacciari, GF Pocobelli, S Siano
Machine Learning: a Toolkit for Speeding Up Archaeological Stratigraphic Identification, Proc. Metroarchaeo 2017, p.109-115 ISBN: 978-1-5108-5818-3
- [4] Andrea Azelio Mencaglia, Ilaria Cacciari, Giorgio Franco Pocobelli, Salvatore Siano
Acoustic Characterization of Outcropping Stratigraphic Units
Proc. Metroarchaeo 2018, pag.12-16, ISBN: 978-1-5386-5275-6
- [5] Francesco Ferraro: Sviluppo di elaborazioni di immagini archeologiche
Università degli studi di Pisa