

NUOVE TECNOLOGIE PER IL RILIEVO SPEDITIVO TRIDIMENSIONALE IN ARCHEOLOGIA: IL CASO DI SAN GENESIO

di Debora Caldarelli, Federico Cantini, Francesca Ceccaroni, Beatrice Fatighenti

L'attività di rilievo sperimentale svoltasi sul sito di San Genesio (San Miniato, Pisa) mediante utilizzo della soluzione Zscan EVO di Menci Software, ha consentito di analizzare e valutare l'impiego in campo archeologico di questo nuovo sistema per la generazione di modelli tridimensionali a partire da blocchi di immagini digitali.

Nel corso degli anni si sono moltiplicate le esperienze attestanti la diffusione delle tecniche fotogrammetriche in campo archeologico e più in generale nel settore dei beni culturali, tanto che ne sembra oramai indiscussa l'utilità concreta in tali ambiti.

I rilievi realizzati tramite l'uso di tecniche di fotogrammetria digitale hanno natura metrica e sono corretti dal punto di vista geometrico e morfologico; la loro affidabilità permette di procedere ad analisi interpretative di vario tipo. Rappresentano cioè un rigoroso strumento di lettura, supporto non solo per l'analisi storica ma anche per attività di progettazione quali interventi di restauro, manutenzione, tutela, monitoraggio e valorizzazione del patrimonio culturale (l'importanza dell'utilizzo di tecniche fotogrammetriche per la conservazione del patrimonio culturale viene rimarcata in SALONIA 2000, BITELLI 2002, BONORA 2003, DE FELICE *et al.* 2007). Allo stesso tempo si prestano ad una più ampia consultazione e fruizione.

Certamente, lo sviluppo e la conseguente diffusione di tali metodi, trovano ragion d'essere nella continua evoluzione tecnologica tipica del campo informatico: non più sistemi complicati e difficili da utilizzare se non da mani esperte, ma strumenti sempre più a basso costo e procedure automatizzate che ampliano il panorama degli utenti, consentendo un approccio tecnico e scientifico anche ai non specialisti. In questo quadro si inseriscono le soluzioni ideate dalla Menci Software, azienda leader nel settore della fotogrammetria e della computer vision, che da anni ormai si occupa della produzione di software scientifici e sistemi di misura da immagini (tutte le informazioni sull'azienda sono reperibili all'indirizzo web: www.menci.com).

LA SOLUZIONE ZSCAN EVO

Tra le soluzioni più recenti per la modellazione tridimensionale, figura Zscan EVO, sistema innovativo che attraverso processi automatici, consente di creare nuvole di punti a densità parametrizzabile, con informazioni RGB, a partire da blocchi di immagini digitali.

EVO si avvale delle più attuali innovazioni di Menci Software nel campo della fotogrammetria 3d, consentendo all'utente di eseguire riprese a mano libera su qualsiasi tipo



Figura 1 - Strumento di ripresa EVO.

di soggetto; la procedura di acquisizione delle immagini è basata su principio fotogrammetrico, pertanto è necessario mantenere la regola della sovrapposizione tra le immagini (occorre una percentuale pari ad almeno il 60% tra gli scatti, sia in senso orizzontale che verticale). Si tratta di un sistema caratterizzato dall'alta accuratezza, versatilità, maneggevolezza e rapidità sia in termini di intervento che di elaborazione.

Il kit comprende una fotocamera digitale calibrata, (di cui cioè viene fornito il certificato di calibrazione, ossia la de-

scrizione di tutte le caratteristiche intrinseche della camera stessa, dai parametri di distorsione, alla lunghezza focale, punto principale, etc.), collegata mediante cavo usb con un tablet che consente lo scatto remoto ed è montata su di un'asta topografica mediante testa tilt regolabile (fig. 1). L'applicativo software prevede invece l'utilizzo di più moduli che mirano a supportare l'utente dalla fase di acquisizione fino all'archiviazione dei dati.

Evo Capture è il primo programma da utilizzare sul campo, associato al tablet. Consente di visualizzare il *live view* della camera e di memorizzare una serie di scatti in blocco, verificando in tempo reale i requisiti minimi di sovrapposizione tra gli scatti, necessaria per l'utilizzo delle immagini acquisite per scopi di ricostruzione tridimensionale.

Evo Check si installa su un comune PC portatile e fornisce una verifica preliminare della nuvola di punti ottenuta. Garantisce in tempi rapidi l'esame del corretto legame delle immagini catturate prima di lasciare la zona di rilievo. Una volta acquisite, infatti, le immagini vengono importate in questo software e processate; più nello specifico le operazioni, eseguite in maniera completamente automatica, sono: *Finding Features*, *Matching Images* e *Bundle Adjustment*. Terminato il processo è possibile visualizzare la nuvola di punti con tutti i centri di presa; le *Bunded Images*, correttamente processate e che quindi hanno contribuito alla costruzione della nuvola e le *Free Images* che invece non sono state legate.

Umap è il software per il processamento vero e proprio, che porta alla generazione delle nuvole di punti tridimensionali. Il Workflow di UMap è semplice ed intuitivo e riprende in parte quello già visto per il Check, sebbene con criteri più stringenti che portano a risultati qualitativamente ottimizzati. Una volta specificate le caratteristiche della camera utilizzata (selezione del *Camera Passport*), il software in automatico procede alla contro-distorsione per l'eliminazione delle aberrazioni ottiche (orientamento interno); le immagini vengono analizzate mediante un operatore di interesse per la ricerca di *features* e per legare il blocco con il calcolo del *Bundle Adjustment* (orientamento esterno), infine la ricostruzione della superficie avviene per correlazione e filtraggio automatico. La ricostruzione può essere applicata a tutte le immagini o ad una selezione di esse, nel caso vi sia molta sovrapposizione, per evitare ridondanze e allungamento dei tempi di esecuzione. I valori di ricostruzione sono parametrizzabili: è l'utente a scegliere la densità e quindi il passo della nuvola di punti a seconda delle esigenze. Per rendere metrico il modello si ha la possibilità di scararlo attraverso una sola distanza o di georeferenziarlo importando e collimando *GCP (ground control points)* per incrementare l'accuratezza geometrica dello stesso.

Una volta creati, i modelli *.vtp possono essere ulteriormente elaborati nella stazione fotogrammetrica *ZMap* di Menci Software, per comporre ortofoto e orto mosaici, utilizzando algoritmi per il calcolo automatico delle linee di taglio e del bilanciamento cromatico, oppure per generare dem, profili, curve di livello etc.

Site Manager infine, è un ambiente grafico di visualizzazione, rapido ed intuitivo, di cui ci si può servire sia per la presentazioni dei dati 3d ma anche per la loro archiviazione e gestione. La possibilità di fondere insieme le informazioni contenute in modelli 3d, link a risorse web, immagini, ortofoto, vettoriali cad e media di vario tipo rende il dato completo e chiaro per il fruitore finale.

IL CASO DI SAN GENESIO: UN PO' DI STORIA

Una sperimentazione sul campo del sistema EVO ha interessato alcune aree del sito archeologico di San Genesio nel comune di San Miniato a Pisa (fig. 2).



Figura 2 - Vista dall'alto del sito archeologico di San Genesio (San Miniato - Pisa).

Le indagini archeologiche qui condotte hanno permesso di portare in luce i resti di un complesso sito pluristratificato con frequentazioni che dall'epoca etrusca arrivano fino alla metà del XIII secolo. Le stratigrafie più consistenti sono relative a diverse fasi cimiteriali, che vanno dall'età tardo antica al basso Medioevo e a un *vicus* altomedievale, attestato dalle fonti scritte come *vicus Wallari* nel 715 e *burgum Sancti Genesii* dall'XI secolo. L'importanza che il sito riveste in epoca medievale è determinata dalla sua posizione, posta in prossimità dell'Arno e dell'Elsa, e all'incrocio della strada che collegava Pisa a Firenze e della via Francigena. Proprio questa centralità fece sì che il *vicus* divenisse sede di una grande pieve, a tre navate e lunga 45 metri, dedicata a San Genesio. La presenza del complesso ecclesiastico, dotato anche di canonica e chiostro almeno dall'XI secolo, e la centralità rispetto a vie di comunicazione di primaria importanza, promosse lo sviluppo di un grande abitato, costituito da case realizzate con muri in materiale deperibile e tetto in coppi.

Il borgo, in competizione con il vicino castello di San Miniato, subì diverse distruzioni nel corso del XII secolo e venne definitivamente raso al suolo nel 1248 [CANTINI-SALVESTRINI 2010].

Le aree indagate nel 2011, in cui è stata realizzata la sperimentazione oggetto di questo contributo, sono localizzate a nord e a est della pieve. Le indagini stratigrafiche nella prima (area 35000 - fig. 3) hanno permesso di portare alla luce un sistema di canalizzazione costituito da un fossato che si estendeva in direzione est-ovest, già indagato in altre porzioni durante le precedenti campagne di scavo, dove si andava a gettare una canaletta costruita con lastre di pietra in parte spoliate, che si sviluppava con un andamento declinante da sud a nord.



Figura 3 - Particolare area 35000.

Lo scavo ha consentito di individuare almeno due fasi di ristrutturazioni probabilmente successive al deterioramento degli argini dei due canali.

All'interno dell'area posta a est dell'edificio ecclesiastico (area 39000 - *fig. 4*) è stato possibile individuare un paleo-alveo relativo a un corso d'acqua che scendeva dalla valle e scorreva con una direzione sud-nord. Immediatamente a ovest dell'argine è stato portato in luce un complesso sistema di canalizzazione costituito inizialmente da una struttura in muratura che dalla cripta della pieve convogliava l'acqua in eccesso proprio all'interno del fiume. Un'altra canaletta, che si sviluppava in direzione sud-nord e costruita con pezzami di mattoni e copertura in lastre di scisto, è stata rinvenuta poco più a ovest dell'argine del fiume tagliata da un altro canale che scorreva in direzione est-ovest e terminava nelle vicinanze dell'abside laterale sinistra della pieve. Nella porzione terminale del suddetto canale, che convergeva nel fiume, fu realizzata un'altra canaletta in muratura costruita con pietre squadrate di grandi dimensioni.



Figura 4 - Particolare area 39000.

Una struttura, di forma rettangolare e costituita da ciottoli e pezzami di laterizi romani e medievali, è stata individuata sull'argine del corso d'acqua insieme a una buca di palo. Il pilastro è stato al momento interpretato come base di un pontile in legno che poteva servire per l'attracco di chiatte e per il carico/scarico di materiali pesanti.

PROCEDURA OPERATIVA

La prima e fondamentale fase dell'attività di rilievo con EVO è stata quella di preparazione: fattori di natura diversa infatti, influenzano la scelta della strategia da applicare per le riprese e i parametri da impostare.

Dopo aver avuto cura di apprestare tutta la strumentazione all'utilizzo, per ciascuna delle due aree sono state scattate delle immagini documentarie, per contestualizzare il rilievo e avere una visione d'insieme dell'ambiente indagato.

Tenendo conto quindi dei dovuti accorgimenti riguardanti la distanza di presa (da cui dipende la risoluzione della ricostruzione), l'esposizione e la corretta inclinazione di asta e camera in modo da avere inquadrature il più possibile zenitali, si è proceduto all'acquisizione per strisciate.

Sono stati posizionati dei target lungo il perimetro delle zone da rilevare, poi battuti con stazione totale, per l'inquadratura topografica delle due aree e per eventuali misure di controllo.

L'utilizzo del tablet ha facilitato enormemente la fase di ripresa: la funzione di *Link Image* infatti, costituisce un supporto fondamentale per chi è alle prime armi, in quanto viene mantenuta e garantita la sovrapposizione tra gli scatti, sia in senso orizzontale che verticale.

Ad una distanza di 3,50 m circa, utilizzando un'ottica grandangolare (20mm) sono stati scattati 110 fotogrammi per l'area 39000, la cui estensione è di circa 7x8m e 114 per l'area 35000, che misura 5x9m circa.

Nel caso dell'area 39000, valutando le condizioni di luce, si è preferito aspettare una situazione in cui le ombre fossero maggiormente verticali, procedendo al rilievo nelle ore centrali della giornata e impostando l'esposizione della camera sulla priorità di diaframma. L'acquisizione è iniziata in senso Est-Ovest, con una prima strisciata all'esterno dell'area per poi procedere gradualmente verso l'interno.

Al momento dell'acquisizione dell'area 35000 invece, essendoci condizioni di luce favorevoli, è stato possibile procedere più speditamente.

Già in fase di pre-processamento il risultato è stato soddisfacente in quanto traspariva la bontà dell'acquisizione ed il corretto legame tra le immagini.

Al momento della generazione dei modelli 3d, si è preferito operare una cernita delle immagini, comunque sufficienti a ricoprire l'area di interesse, in modo da velocizzare i tempi di elaborazione.

In entrambi i casi, lo step di ricostruzione è stato di 10 pixel: è stato ricostruito cioè un punto ogni 10 pixel, con un *GSD* (*ground sample distance*) ossia una risoluzione in termini di distanza media tra un punto 3d e l'altro, pari a 0,04 m. Ciò significa che a livello di risoluzione fotografica il dettaglio è stato di 0,004 m.

Ne è risultata una nuvola di punti di 2.423.167 punti nel caso della prima area, utilizzando 24 immagini (*fig. 5*) e 3.297.546 per la seconda sulla base di 66 immagini (*figg. 6-7*). La collimazione dei punti battuti con la stazione totale ha consentito la georeferenziazione delle stesse (*fig. 8*).



Figura 5 - Vista frontale della nuvola di punti generata per l'area 39000.

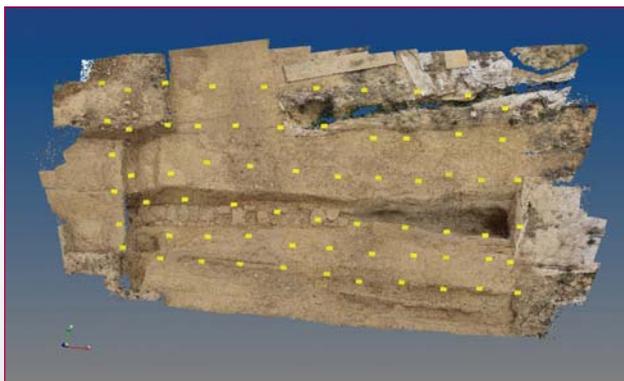


Figura 6-7 - Vista dall'alto del modello tridimensionale dell'area 35000. In giallo i centri di presa della camera.



Figura 8 - Vista dall'alto del modello tridimensionale dell'area 39000 con evidenziati i punti topografici per la georeferenziazione.

Il software ZMap ha consentito la pulizia dei modelli, il ritaglio delle parti esterne al perimetro di interesse. Da qui siamo passati alla generazione ed editing del DEM, delle ortofoto e dei mosaici (fig. 9), nonché alla generazione delle curve di livello (fig. 10) e dei profili delle quattro sezioni e degli elementi più importanti di ciascuna area (canalette e fosse - fig. 11).

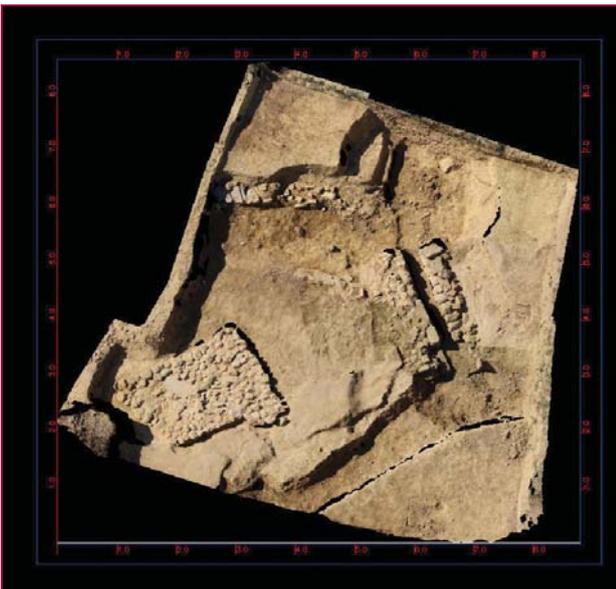


Figura 9 - Ortofotomosaico dell'area 39000.

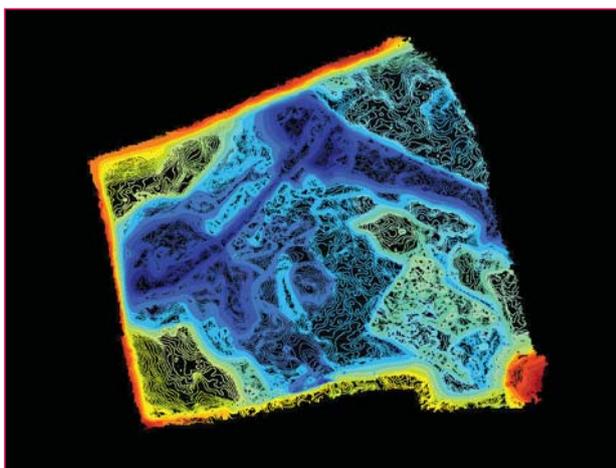


Figura 10 - Curve di livello cromoaltimetriche dell'area 39000.

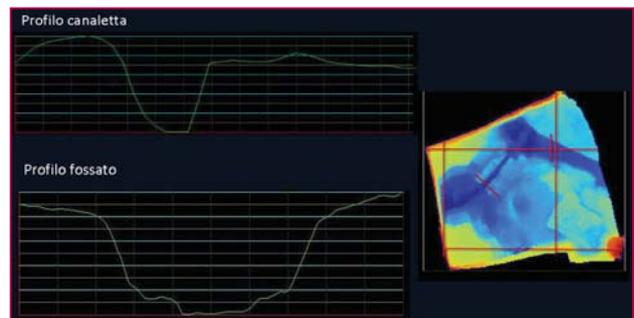


Figura 11 - Profili e polilinee di riferimento sul DEM dell'area 39000.

CONCLUSIONI

Per quel che concerne l'operatività della soluzione Evo, emerge chiaramente come, una volta tenuto conto di tutti gli accorgimenti preliminari alla fase di acquisizione, la procedura sia molto semplice dal punto di vista dell'utilizzo della strumentazione sia hardware che software.

Una seconda considerazione riguarda la tipicità di ciascun rilievo: sono le esigenze dell'utente e le peculiarità dell'oggetto da riprendere a determinare le caratteristiche della ripresa e la conseguente qualità dei risultati. Ciascun rilievo richiede una metodologia specifica e a seconda dei parametri di ripresa adottati, varierà l'esito del processo.

La sperimentazione qui presentata ha offerto una preziosa occasione per mettere alla prova il sistema, valutarne le funzionalità e verificarne l'applicabilità in campo archeologico. Allo stesso tempo ha fornito interessanti spunti di riflessione sull'utilizzo delle tecniche di fotogrammetria digitale in archeologia.

In questo settore infatti, la documentazione grafica costituisce un momento essenziale dell'indagine, così come le immagini rappresentano una forma di archivio completa e dettagliata dei cambiamenti in cui lo scavo si viene a trovare [BONORA 2003]. Utilizzare metodi di rilievo tridimensionale porta non solo all'ottenimento di un prodotto metricamente corretto, che può divenire la base per elaborazioni e analisi di varia natura, ma anche alla possibilità di archiviare dati da poter trasmettere e comunicare con facilità. Il suo utilizzo quindi è pienamente auspicabile in tutti i contesti archeologici in cui ci sia disponibilità ad accogliere e sfruttare al meglio il potenziale degli strumenti che il progresso tecnologico offre. Lo strumento Evo infatti arricchisce con contenuti tridimensionali la documentazione metrica di scavo ed è un grande supporto che bene si abbina alle altre tecniche già in uso: piattaforma GIS dello scavo e del territorio circostante; rilievo stratigrafico mediante stazione totale e successivo ancoraggio al CAD di scavo; raddrizzamento.

Evo rappresenta un ulteriore passo nell'innovazione: l'idea vincente è infatti la realizzazione di una nuvola di punti continua, misurabile, che si presta a molteplici operazioni, a partire da immagini digitali, il tutto con poco dispendio in termini economici e di energie. È proprio nel risultato che si ottiene che sta la differenza con le altre tecniche: probabilmente alcune possono essere ancora più speditive, ma il prodotto finale è nettamente diverso in termini metrici e geometrici.

EVO consente un'acquisizione morfologica 3D, geometrica e fotografica: sarebbe riduttivo confinarlo alla sola fase di restituzione grafica e di visualizzazione tridimensionale; va visto piuttosto come uno strumento di conoscenza, da utilizzare quotidianamente e non in maniera sporadica, inserito nella metodologia di rilievo magari integrato con altre tecniche.

BIBLIOGRAFIA

- CANTINI F., SALVESTRINI F. 2010, *Vico Wallari -San Genesio ricerca storica e indagini archeologiche su una comunità del medio Valdarno inferiore fra alto e pieno medioevo*, Firenze.
- SALONIA P. 2000, *Tecnologie informatiche per la gestione delle conoscenze nella conservazione del costruito storico*, in "Archeologia e Calcolatori" 11, pp. 219-240.
- BONORA V. 2003, *Studio per una metodologia di rilievo in campo archeologico con utilizzo di pallone frenato e fotogrammetria digitale*, in Atti delle Quarte Giornate Elime, Erice, 2000, Pisa pp. 71-80.
- DE FELICE ET AL 2007, *Esperienze di laser scanning su rivestimenti pavimentali e parietali: il caso della cenatio della villa di Faragola (Ascoli Satriano, FG)* in Angelelli C., Rinaldi F. (a cura di), Atti del XIII Colloquio dell'Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico (AISCOM), Canosa di Puglia, 21-24 febbraio 2007, Tivoli, pp. 535-542.
- BITELLI G. 2002, *Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei Beni Culturali*, in "Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA, Perugia (5-8 novembre), vol. 1, pp. 9-24.

ABSTRACT

New technologies for the 3d quick survey in archaeology: the case of San Genesio in San Miniato, Pisa - It is described a case history of ZSCAN EVO application in archaeological site of San Genesio (San Miniato, Pi). EVO is a new solution developed by Menci Software for automatic generation of 3d models from blocks of digital images. EVO, allows a three-dimensional morphological, geometric and photographic acquisition of area of interests. It should be considered an instrument of knowledge as well as for graphic and metric documentation and representation.

PAROLE CHIAVE

Fotogrammetria speditiva, rilievo tridimensionale, documentazione archeologica.

AUTORI

DEBORA CALDARELLI
DEBORA.CALDARELLI@MENCI.COM
MENCI SOFTWARE SRL

FEDERICO CANTINI
F.CANTINI@ARCH.UNIPI.IT
RICERCATORE ARCHEOLOGIA CRISTIANA E MEDIEVALE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

FRANCESCA CECCARONI
FRANCESCA.CECCARONI@MENCI.COM
MENCI SOFTWARE SRL

BEATRICE FATIGHENTI
S.BEATRICE.FATIGHENTI@HOTMAIL.IT
CUOLA DI DOTTORATO IN DISCIPLINE UMANISTICHE, SEZIONE ARCHEOLOGIA,
DIPARTIMENTO DI SCIENZE ARCHEOLOGICHE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

Vibrometria laser-Doppler a scansione

Verifica della tenuta di rivestimenti incollati o ad aggancio meccanico

Riprese termografiche

Controlli su rivestimenti per il rilievo di distacchi, fessurazioni, presenza di umidità

Rilievi per l'efficienza energetica

Analisi di affreschi, mosaici, intonaci e pavimentazioni

Georadar

Localizzazione di strutture murarie sepolte

Determinazione della geometria e stratigrafia di componenti edilizi

Ricerca di sottoservizi, sezioni stradali, verifica presenza di cavità

Prove su strutture in calcestruzzo per il rilievo delle armature

Misure di trasmittanza termica

Monitoraggio ambientale con reti wireless (WSN)

Indagini soniche e ultrasoniche

Prove sclerometriche

Prove pacometriche per il rilievo delle armature

Prove di carbonatazione

Partecipazione in Progetti Europei

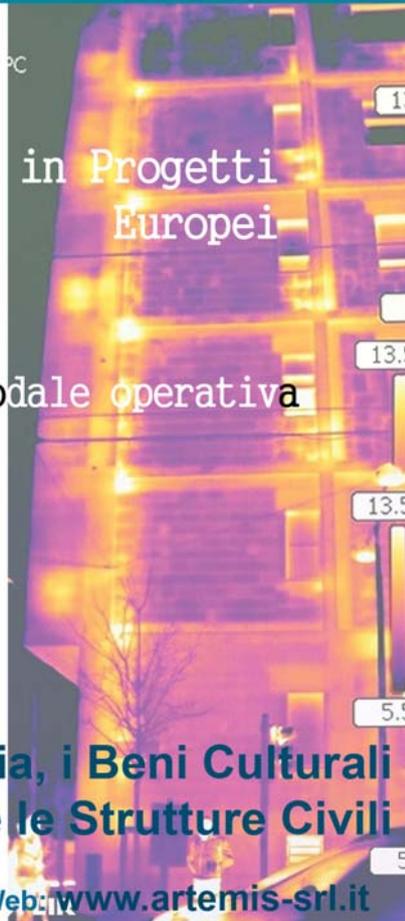
Analisi modale operativa

Servizi diagnostici per l'Edilizia, i Beni Culturali e le Strutture Civili

Artemis srl

c/o Università Politecnica delle Marche - via Breccie Bianche 60131 Ancona (IT)

Tel.: 071-2204442 Fax: 071 2204801 Cell.: 342-3352713 E-mail: info@artemis-srl.it Web: www.artemis-srl.it





WIFI-CARD



WIFI-CARD RENTALS/NOLEGGIO



APP SMARTPHONE

La guida multimediale sul tuo smartphone

Wifiguide è la nuova guida multimediale con contenuti audio e video ideale per musei, aree archeologiche, gallerie d'arte e centri storici. Accessibile attraverso la rete wi-fi, apparecchiature a noleggio e Apps per smartphone.

wifiguide[®]
fast. easy.

www.wifiguide.it



Sistema per il monitoraggio degli **ACCESSI** e dei **FEEDBACK**



Eflow è un'applicazione per il monitoraggio dei flussi turistici, degli accessi e per la raccolta di feedback sulla soddisfazione dei clienti o visitatori. Attraverso un semplice e completo sistema di report e grafici è possibile ottenere in tempo reale informazioni statistiche e strategiche.

eflow[↑]FEEDBACK

eflow[↑]ACCESS

www.eflow.it

