

LE TECNICHE GEOMATICHE A SUPPORTO DEI BENI CULTURALI

DIGITALIZZAZIONE E STAMPA 3D DI UN MOSAICO A TECNICA BIZANTINA A SCOPO DOCUMENTATIVO E CONSERVATIVO

di Riccardo Rivola, Cristina Castagnetti, Eleonora Bertacchini e Francesca Casagrande



Fig. 1 - Mosaico parietale del Buon Pastore presso il Mausoleo di Galla Placidia a Ravenna.

La conservazione del patrimonio culturale, grazie anche a tecniche di archiviazione digitale, è divenuto nel recente passato un obiettivo globale e al tempo stesso una sfida: l'UNESCO, fra le maggiori autorità del settore, pone sempre maggiore attenzione sulle tematiche della documentazione digitale al fine di garantirne la trasmissione alle generazioni future (National Library of Australia 2003). Le nuove tecnologie afferenti alla geomatica e all'informatica offrono oggi notevoli potenzialità applicative per la documentazione dei Beni Culturali, sia per quanto riguarda le fasi di acquisizione dei dati, sia per tutte le fasi di rappresentazione, diffusione e comunicazione multimediale (Böhler W., Hein G., Marbs A. 2001). La documentazione, intesa come sistematica attività di registrazione e gestione delle informazioni, vuol dire conoscere per

conservare e valorizzare, rendendo i Beni Culturali maggiormente fruibili per la popolazione e creando un sistema di scienze che ne impedisca irrimediabili ed inestimabili perdite. Oggigiorno qualsiasi attività di gestione del patrimonio culturale dovrebbe essere strutturata su una solida base di conoscenze, al fine di assicurare una migliore progettazione degli interventi di gestione e di recupero, monitorando costantemente i cambiamenti nel corso del tempo, anticipando talvolta avvenimenti catastrofici e inaspettati.

IL CASO STUDIO

Operando secondo questa filosofia GEIS - Geomatics Engineering Innovative Solutions SRL (www.geomaticsengineering.it), società attiva nel settore del rilevamento tridimensionale di Beni Culturali, in collaborazione con la dott.ssa Francesca Casagrande, conservatrice diplomata alla Scuola per il Restauro del Mosaico di Ravenna e ideatrice del progetto di ricerca Opus Digitale (www.opusdigitale.com), ha eseguito un test di digitalizzazione di un pannello musivo di dimensioni 35x36 cm circa con lo scopo di riprodurlo. Opus Digitale è un progetto di ricerca che nasce dal legame indissolubile con la città di Ravenna. La città vanta ben otto monumenti¹ sotto protezione UNESCO ed ha concorso come Capitale Europea della Cultura nel 2019, ma attualmente non possiede una documentazione tridimensionale del proprio patrimonio musivo. (Kniffitz L. 2006). La speranza della conservazione e trasmissione nel futuro del nostro patrimonio culturale è riposta anche nelle nuove tecnologie, con cui si potrà perpetuare il più a lungo possibile la materia e l'essenza delle opere d'arte.

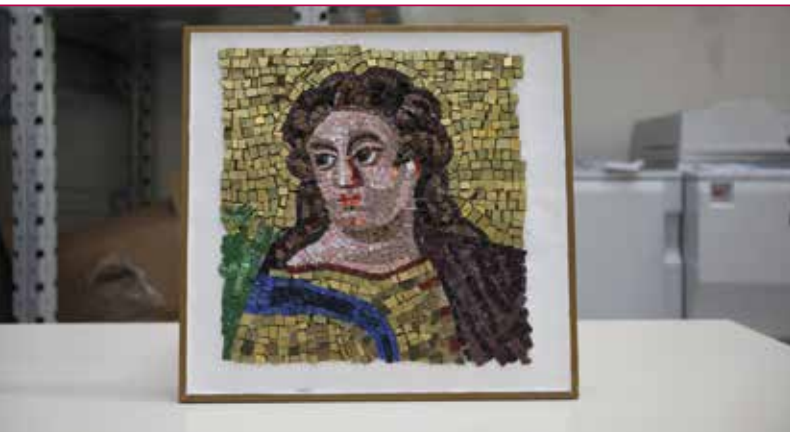


Fig. 2 - Pannello musivo della sperimentazione: copia della porzione del volto del mosaico del Buon Pastore realizzata con tecnica bizantina gentilmente messa a disposizione della Dott. Ssa Francesca Casagrande (www.francescacasagrande-restauro.com).

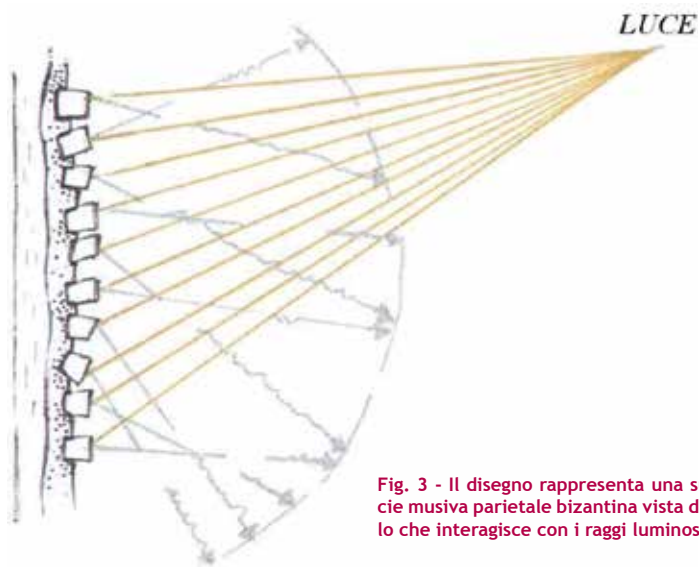


Fig. 3 - Il disegno rappresenta una superficie musiva parietale bizantina vista di profilo che interagisce con i raggi luminosi.

La sperimentazione si pone l'obiettivo di valutare la potenzialità delle nuove tecnologie di riprodurre opere in modalità non invasiva e senza richiedere contatto, diversamente da quanto accadeva in passato. Durante le normali operazioni di restauro e manutenzione dei monumenti ravennati, negli anni '50 e '60, i restauratori che erano anche abili mosaicisti, ottenevano calchi diretti delle superfici musive antiche mediante l'applicazione di carta Bibula o carta assorbente. Lo strato cartaceo, appositamente inumidito con acqua e blando collante, veniva fatto aderire alla superficie musiva, e una volta asciutto manteneva perfettamente il rilievo. Il calco in carta dava origine alla matrice nella quale veniva colato il gesso che permetteva di ottenere calchi indiretti. Quest'ultimi venivano poi colorati seguendo scrupolosamente le cromie originali. Alcuni di questi calchi di gesso sono oggi conservati presso l'Istituto d'Arte per il Mosaico Gino Severini di Ravenna².

Analizziamo in dettaglio il processo che ha permesso la realizzazione del calco musivo non a contatto. Il campione oggetto del rilievo laser scanning 3D: è una copia di una porzione del mosaico del Buon Pastore presente all'interno del Mausoleo di Galla Placidia (bene UNESCO dal 1996) di Ravenna (Fig. 1).

La copia, risalente alla metà del secolo scorso è stata realizzata seguendo fedelmente la tecnica di bizantina (Fig. 2).

La scelta del campione da sottoporre alla sperimentazione è in relazione alla necessità di impiegare un mosaico che abbia le medesime caratteristiche dei mosaici parietali antichi, costituito da smalti³ e tessere con foglia metallica, collocate secondo la tecnica bizantina. Questa tecnica di realizzazione contribuisce a creare una superficie musiva tridimensionale, poiché contraddistinta dalla messa in opera nella malta d'allettamento di tessere di con diverse inclinazioni e profondità, sebbene la geometria rimanga a prevalente sviluppo complanare. Il mosaico, oggetto del rilievo, è collocato su pannello di cemento. Un mosaico, di qualunque tipologia, è realizzato nello strato superficiale con tessere e malta legante. Le tessere costituiscono punti di colore che definiscono il disegno e determinano il cromatismo della composizione, a cui partecipa con la medesima importanza anche l'interstizio⁴. Quest'ultimo è costituito dalla malta d'allettamento la sua ampiezza e profondità rafforza o diluisce la percezione cromatica del mosaico stesso. Le tessere e l'interstizio avvolti dalla luce atmosferica danno origine alla percezione della visione musiva. La figura 3 evidenzia la mutevolezza luministica dell'opera, consistente negli effetti di riflessione e rifrazione, dovuti all'interazione della luce con il vetro delle tessere. Il disegno (Fig.3) rappresenta una superficie musiva parietale vista di profilo, eseguita secondo la tecnica bizantina di messa in opera del materiale a diversa inclinazione e profondità. La superficie ottenuta, non complanare, fa sì che ogni singola tessera colpita da raggi luminosi creerà una risposta ottica diversa col risultato di rifrazioni e riflessioni propagate in diverse direzioni. Quest'ultimo è l'effetto vibrante che osser-



Fig. 4 - Pizze a foglia d'oro e parti componenti la tessera a foglia metallica d'oro.



viamo nelle decorazioni musive delle basiliche ravennati, nelle quali una sorgente luminosa produce una svariata composizione di raggi riflessi con intensità e colore diversi, variabili a seconda del punto di osservazione e dell'intensità d'illuminazione. Il mosaico è un'arte tradizionale, trasmessa nel corso del tempo in maniera quasi immutata, senza sostanziali trasformazioni sia dal punto di vista tecnico-pratico sia riguardo ai materiali utilizzati, che sono rimasti in gran parte i medesimi dall'epoca classica in poi. Una particolare annotazione meritano le tessere oro (Fig.4) e argento, denominate anche *tessere metalliche*, esse sono costituite da tre strati sovrapposti:

- 1° strato - vitreo di supporto (con spessore da 0,5 a 1 cm);
- 2° strato - una foglia metallica d'oro o d'argento;
- 3° strato - vitreo trasparente molto sottile (0,8 mm), della medesima composizione chimica del supporto vetroso denominata cartellina.

Le tessere con foglia metallica qualora perdano per distacco e caduta la cartellina, espongono la foglia metallica a degrado, per cui della tessera originaria resta solo il supporto vetroso. Quest'ultimo spesso trasparente crea numerosi problemi al momento dell'acquisizione mediante scansione laser.

La peculiarità della tecnica di realizzazione del pannello musivo ha suggerito la digitalizzazione del campione tramite tecnologia a scansione laser, in alternativa alle più canoniche tecniche fotografiche o fotogrammetriche (Kadobayashi, Kochi, Otani, Furukawa 2004). Dovendo ottenere un prodotto di ottima qualità e precisione, è stato scelto di operare con un laser scanner a triangolazione poiché, grazie al principio di misurazione, avrebbe assicurato risoluzioni e accuratezze di acquisizione elevatissime (Blais 2004). In particolare, il modello utilizzato è il *Range7* di *Konica Minolta* con ottica *Wide* (Fig. 5), in grado di acquisire per ogni singola scansione una superficie di circa 20x25 cm con una risoluzione di 20 centesimi di millimetro e un'accuratezza nominale di 40 micron.

METODOLOGIE INTEGRATE: LASER SCANNING E FOTOGRAMMETRIA

La complessità geometrica e materica del pannello musivo ha reso particolarmente complesse e laboriose sia le operazioni di acquisizione sia quelle di elaborazione. In fase di acquisizione, la differente giacitura e spaziatura delle tessere costituenti il mosaico ha richiesto numerose scansioni per ottenere un modello tridimensionale quanto più completo possibile (Fig. 6).



Fig. 5 - Scansione 3D: acquisizione mediante laser scanner ad alta risoluzione della superficie del mosaico (a cura di GEIS Srl).

Inoltre, è risultata di particolare difficoltà l'acquisizione delle tessere dorate prive dell'originaria lamina metallica in quanto, esponendo il supporto vetroso, permettono alla luce LASER di penetrare all'interno del materiale subendo poi rifrazioni multiple non interpretabili correttamente dallo strumento. Per tutte queste peculiarità, sebbene l'intero pannello musivo fosse di limitate dimensioni, sono state necessarie più di 20 scansioni per rilevarlo in modo completo senza l'applicazione di nessuno spray opacizzante. Il fine di questa sperimentazione, era definire una prassi operativa idonea per poter scansionare mosaici parietali antichi, per i quali non è permesso l'applicazione di nessuna sostanza opacizzante a contatto con il substrato dell'opera d'arte.

Le difficoltà della fase di acquisizione hanno determinato problematiche non trascurabili anche nella successiva fase di elaborazione: particolare attenzione è stata necessaria nella fase di allineamento. L'elevato numero di scansioni che si è reso necessario per l'acquisizione completa del pannello musivo, ha determinato un'elevata sovrapposizione di dati su un'area di dimensioni ridotte. È bene ricordare che ad ogni misurazione corrisponde necessariamente un errore e, sebbene possa essere di ridotta entità, lavorando ad altissime precisioni (decimi di millimetro) non è possibile trascurarlo. Per ottenere quindi il miglior risultato in termini di allineamento, ogni scansione è stata scrupolosamente controllata e sistemata per eliminare le difettologie, ed in particolare gli effetti del rumore dovuti alla trasparenza di alcune tessere vetrose.

RIPRODUZIONE CON STAMPA 3D

La possibilità di ottenere un calco dell'opera, assolutamente fedele geometricamente mediante tecnologie non invasive perché non a contatto, ha richiesto una successiva fase di elaborazione per l'ottenimento di un file 3D idoneo alla riproduzione materica. Sebbene sia stato scelto di riprodurre solo la porzione centrale del pannello musivo (circa 20x20 cm), la procedura di elaborazione si è rivelata essere tutt'altro che automatica. Le singole scansioni sono state unificate per ottenere un'unica superficie (*mesh*) che è stata sottoposta a ripetuti controlli semi-automatici per l'eliminazione di tutte le difettologie e le lacune presenti. Infatti, sebbene in molti casi questa procedura possa essere gestita in modo quasi completamente automatico dai software di elaborazione, in questo caso è stata eseguita "manualmente" e molto scrupolosamente per ogni singola tessera al fine di garantire la massima fedeltà di rappresentazione rispetto all'opera originale.



Fig. 7 - Modello 3D con *texture* fotografica: ortomagine del modello 3D del mosaico risultante dall'integrazione tra le acquisizioni laser scanning e fotogrammetriche (a cura di GEIS Srl).

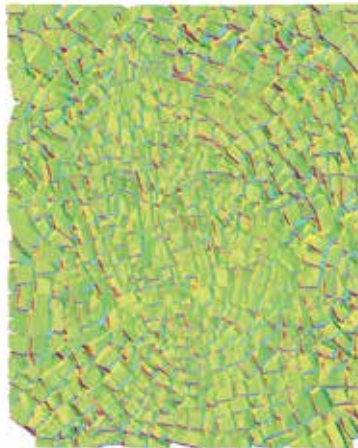


Fig. 6 - Modello 3D: ortomagine del modello 3D del mosaico, in falsi colori per evidenziare la differente giacitura delle tessere costituenti il mosaico (a cura di GEIS Srl).

Infine, al modello tridimensionale opportunamente trattato è stata applicata un'immagine fotografica (*texture*) acquisita con fotocamera reflex Canon EOS 5D Mark II e ottica fissa

e calibrata da 35 mm, per conferirgli l'aspetto foto realistico (Fig. 7) e permetterne una più fedele riproduzione mediante stampa 3D. Noti i parametri di orientamento interno della camera, la procedura di foto-texturizzazione consiste nell'individuare un numero significativo di punti omologhi tra il modello 3D e l'immagine fotografica per determinarne i parametri di orientamento esterno.

Il processo di prototipazione scelto è quello a polvere di gesso policroma (Fig. 8). In questo processo la macchina deposita uno strato di polvere sottile, dopo di che un ugello spostato da una piattaforma mobile, rilascia un collante e i vari inchiostri policromi che permettono la solidificazione della polvere in punti precisi definiti dal programma. Conseguentemente il prototipo si realizza per sovrapposizione di strati successivi di gesso. La riproduzione a gesso del mosaico (Fig. 9) ha comportato un tempo di lavorazione di un paio d'ore ed è stata eseguita dall'azienda Elio fossolo (www.stampa3dbologna.it) di Villanova di Castenaso Bologna, grazie alla collaborazione di Enrico de Guglielmo.

CONCLUSIONI

Sebbene la procedura di digitalizzazione abbia comportato notevoli difficoltà, la strumentazione utilizzata abbinata alla professionalità e alla competenza tecnica delle persone coinvolte ha permesso di raggiungere risultati di assoluta qualità, giungendo fino ad una copia materica pienamente fedele geometricamente e, per quanto possibile, cromaticamente. Naturalmente è necessario eseguire un accurato bilanciamento del colore qualora si acquisisce l'immagine fotografica (*texture*) e modificare manualmente a pennello sulla stampa policroma ottenuta, quelle sfumature che troppo si discostano dalle cromie originali e prevedere una doratura manuale per le tessere dorate. Sarà inoltre necessario cercare di ottenere file di scansioni facilmente gestibili, che rappresentino un buon compromesso fra caratteristiche di accuratezza e di leggerezza; questi ultimi dovranno avere una dimensione tale che permetta una facile visualizzazione. Innumerevoli saranno le difficoltà che s'incon-



Fig.8 -Visualizzazione mediante immagini del processo di produzione del calco non a contatto di un mosaico a smalti.

treranno nell'acquisizione di ampie superfici musive antiche, in particolare se collocate in absidi e sottarchi delle basiliche. Le problematiche tecniche e metodologiche riscontrate durante questa esperienza rappresenta la base di nuovi e approfonditi studi inerenti la scalabilità di applicazione della tecnologia a scansione per la documentazione e la conservazione digitale di interi mosaici parietali antichi. Questo sforzo è pienamente giustificato dalla reale possibilità di ottenere un calco di un'opera d'arte, mediante l'applicazione di una o più tecnologie non invasive, che non necessitano di contatto con l'opera d'arte, come laser scanning e fotogrammetria digitale. Queste tecnologie di *reverse engineering*, infatti, permettono di ottenere un modello tridimensionale dell'opera d'arte che può sia essere riprodotto mediante stampa 3D, senza impattare in alcun modo l'opera originale, sia permettere la creazione di prodotti multimediali per incentivare la fruizione e la condivisione del bene anche in modalità *smart* e/o virtuale. L'acquisizione di un modello tridimensionale dell'opera d'arte unito alla possibilità di eseguire la relativa stampa 3D, consente di attuare la documentazione, conservazione e valorizzazione più completa che si possa effettuare, permettendo la corretta tutela al nostro patrimonio culturale. Al momento l'odierna tecnologia ci permette di realizzare una moderna gipsoteca del nostro patrimonio artistico, permettendo contemporaneamente la sua più completa ed esauriente documentazione.

L'utilizzo della modellazione tridimensionale rivolta alla conservazione dei beni culturali ricopre oggi un ruolo sempre più importante.

Inoltre, l'estrema utilità per figure professionali quali storici dell'arte, archeologi, conservatori e restauratori delle informazioni derivanti da un modello tridimensionale dell'opera musiva, poiché completamente ispezionabile ed interrogabile, deve rappresentare il motore per lo studio dell'applicazione sistematica delle tecnologie digitali ed innovative nel settore della conservazione e della tutela dei Beni Culturali. Infatti, lo storico d'arte e l'archeologo potranno usufruire di accurate mappature della superficie dell'opera d'arte e, in particolare, il conservatore/restauratore le utilizzerà per documentare in dettaglio i dati relativi alle operazioni di restauro. Sarà possibile creare gallerie virtuali (Maino 2006) e in caso di reale danneggiamento dell'opera stessa, mediante la prototipazione rapida con stampante 3D, riprodurre un'integrazione materica a immagine e somiglianza dell'originale. La speranza della conservazione e trasmissione nel futuro del nostro patrimonio culturale è riposta nelle nuove tecnologie (Monti 2012); mediante esse si potrà perpetuare il più a lungo possibile la materia e l'essenza delle opere d'arte.

BIBLIOGRAFIA

- National Library of Australia (2013) *Guidelines for the preservation of digital heritage*, Information Society Division, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Blais F. (2004) A review of 20 years of range sensor development. *Journal of Electronic Imaging* 13(1): 231- 240.
- Böhler W., Hein G., Marbs A. (2001) The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording. *Proceedings of XVIII CIPA Symposium*, Postdam, Germany.
- Kadobayashi R., Kochi N., Otani H., Furukawa R. (2004) Comparison and evaluation of laserscanning and photogrammetry and their combined use for digital recording of cultural heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 35(5): 401-406.
- Kniffitz L., Grimaldi E., Ferriani S. & Maino G. (2006) *Per una base di dati multimediali in rete dedicata al mosaico*, in Aiscom, Atti dell'XI Colloquio dell'Associazione Italiana per lo Studio e la Conservazione del Mosaico, Ancona, 16-19 febbraio 2005, Tivoli, Edizioni ScriptaManent, 23-30.
- Maino G. (2006) Per un museo virtuale delle decorazioni musive, *Museo in forma*, 26 luglio, 7.
- Maino G., Orlandi M. & Malkowski G. (2005) Documentare i mosaici tramite GIS, in La tecnologia al servizio dei beni culturali. Nuovi sistemi di catalogazione, visualizzazione e salvaguardia, *Rapporto tecnico ENEA*, aprile, 17-19.
- Monti M., Maino G. (2012), L'informatica per il mosaico, tre casi prototipali, *Archeomatica* 1, gennaio, 20-25.



Fig. 9. Stampa 3D: a sinistra l'originale e a destra la riproduzione della parte centrale del pannello musivo mediante stampa 3D a polvere di gesso effettuata dall'azienda Elio fossolo di Villanova di Castenaso - BO (a cura di Enrico De Guglielmo).

La creazione di modelli virtuali accurati e foto realistici, facilmente gestibili nella visualizzazione, sono quindi nuovi mezzi utili per la conservazione e valorizzazione del nostro patrimonio artistico che rappresenta "l'unico petrolio che abbiamo in Italia" - cit. A. Guerra.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare per la disponibilità e la collaborazione tutti i tecnici della società Stampa3D di Bologna che ha realizzato la copia in gesso policroma mediante la tecnologia di stampa 3D additiva.

NOTE

¹ Gli otto monumenti ravennati sotto la protezione UNESCO sono: Battistero Neoniano, Cappella Arcivescovile di Sant'Andrea, Mausoleo di Galla Placidia, Battistero degli Ariani, Mausoleo di Teodorico, Basilica di Sant'Apollinare Nuovo, Basilica di San Vitale, Basilica di Sant'Apollinare in Classe.

² Nel 1959-60 l'Istituto d'Arte iniziò il suo Magistero, il mosaico ebbe il suo primo riconoscimento legale nella Scuola di Stato italiano.

³ In campo musivo il termine smalto è comunemente impiegato per designare la pasta vitrea colorata opaca dalla quale si ottengono le tessere usate nei mosaici parietali. Il vetro temprato costituente lo smalto è venduto in lastre ovoidali dette *pizze* che sono tagliate in tessere. Gli smalti costituiscono il materiale musivo per eccellenza, per la facilità al taglio, la brillantezza dei colori e la natura della loro superficie scabra sensibile alla luce.

⁴ Lo spazio più o meno ampio fra tessera e tessera.

ABSTRACT

The new technologies related to geomatics and informatics now offer significant applicative potentiality for the documentation of cultural heritage, both in terms of data acquisition and for all representation, dissemination and communication stages. The paper shows an application of high resolution laser scanning survey, with photogrammetry data integration, in order to create a digital 3D model of a portion of a Byzantine mosaic that is later reproduced by rapid prototyping technology.

PAROLE CHIAVE

DIGITALIZZAZIONE 3D; LASER SCANNER; FOTOGRAMMETRIA; MOSAICO; BENI CULTURALI; STAMPA 3D; RESTAURO

AUTORE

FRANCESCA CASAGRANDE, TANIT.X@LIBERO.IT
IDEATRICE DEL PROGETTO DI RICERCA OPUS DIGITALE
VIA LAGO DI COMO, 2, 48122 RAVENNA
WWW.OPUSDIGITALE.COM

RICCARDO RIVOLA, RICCARDO@GEOMATICSENGINEERING.IT
CRISTINA CASTAGNETTI, CRISTINA@GEOMATICSENGINEERING.IT

ELEONORA BERTACCHINI ELEONORA@GEOMATICSENGINEERING.IT

GEIS SRL - GEOMATICSENGINEERING INNOVATIVE SOLUTIONS
VIA VIVARELLI, 2 - 41125 MODENA
"SOCIETÀ DI INGEGNERIA PER IL RELIEVO E LA RAPPRESENTAZIONE TRIDIMENSIONALE"
WWW.GEOMATICSENGINEERING.IT