

Introduzione. La documentazione di cantiere e la pratica del restauro

DOC01 Documentazione fotografica dei lavori

DOC02 Rilievi e misurazioni in corso d'opera

DOC03 Resoconti, annotazioni, diario dei lavori

DOC04 Prelievi, analisi e monitoraggi nel corso dei lavori

DOC05 Collaudi, prove e controlli in corso d'opera

DOC06 Simulazione degli interventi di restauro

LA DOCUMENTAZIONE DI CANTIERE E LA PRATICA DEL RESTAURO

Il cantiere è il luogo delle operazioni tecnico-esecutive del progetto, ma la sua gestione è legata a numerosi atti contabili e amministrativi che incidono anche materialmente sull'andamento dei lavori e sui loro risultati. Anche i rapporti tra l'impresa e la direzione dei lavori e tra questi e il committente, pubblico o privato, sono regolati da documenti che fissano forme di controllo qualitativo e quantitativo, e puntano ad assicurare anche la loro corrispondenza economica al programma tracciato dal progetto.

Il documento principe è il **capitolato speciale** che, oltre a regolare i rapporti con i soggetti coinvolti nell'appalto, contiene prescrizioni che fissano la qualità e la provenienza dei materiali, la successione e l'ordine dei lavori, le procedure esecutive delle opere, gli accorgimenti particolari che devono essere rispettati in casi speciali per raggiungere i livelli di qualità previsti dal progetto o contemplati dalle buone "regole dell'arte". Ma già **nel corso dei lavori** possono presentarsi situazioni non previste oppure ragioni di opportunità che spingono ad apportare variazioni nella quantità e nel genere delle opere progettate, magari per raggiungere risultati migliori o per far fronte a situazioni non contemplate. C'è da considerare, poi, che la normale conduzione dei lavori deve obbedire fedelmente alle prescrizioni del progetto e questa fedeltà va accuratamente registrata in documenti che fanno parte integrante del corredo degli atti di cantiere. Questi atti, come è noto, sono numerosi e comprendono, tra quelli che possiamo definire "ordinari", il Giornale dei lavori, il Libretto di misura dei lavori, il Registro di contabilità, i Collaudi in corso d'opera e finali e così via. A questi se ne possono aggiungere altri resi necessari da eventi che inducono variazioni impreviste, come la Revisione dei prezzi, le Perizie di varianti in corso d'opera, le cosiddette Perizie suppletive, oltre ai documenti concernenti le proroghe, le sospensioni e le riprese dei lavori, la formazione e la pattuizione di prezzi non compresi nel contratto e altro ancora.

Questo apparato dovrebbe costituire un **sistema di controllo capillare e continuo**, sia sotto il profilo della trasparenza e della regolarità contabile e amministrativa, sia sotto quello della qualità tecnica dei lavori.

Nel cantiere di restauro le cose si complicano, perché l'intervento si prefigge principalmente l'obiettivo di conservare la permanenza fisica e figurale di un manufatto – l'opera architettonica – che già esiste in quanto oggetto fisicamente determinato e trasmessoci con tutte le sue stratificazioni costruttive, materiali e figurali. Ogni intervento, tuttavia, per quanto accorto e poco invasivo, comporta **sottrazioni, aggiunte o modificazioni** che si traducono in alterazioni più o meno profonde dei segni che connettono tutta l'apparecchiatura indiziaria. Inoltre, la stessa efficacia tecnica degli interventi, la loro durata nel tempo e gli effetti collaterali eventualmente provocati si collocano in un campo d'incertezza che va tenuto sotto controllo con la massima cura e in modo permanente. Questa sezione comprende, perciò, un gruppo di tecniche che non sono ascrivibili alle forme di intervento e di trattamento diretto dei manufatti da restaurare ma sono da considerare come mezzi indiretti, ma altrettanto efficaci, di tutela. Si può affermare, anzi, che queste tecniche, diversamente dalle altre la cui scelta dipende dalle situazioni specifiche dei diversi interventi di restauro, sono **da adottare in ogni cantiere e in ogni circostanza**.

PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

Il cantiere di restauro è caratterizzato da una costante mutevolezza dei materiali e delle parti costruttive sottoposte all'intervento, perché ogni trattamento di pulitura, di consolidamento, di disinfestazione, di protezione o di altra natura determina variazioni di forme, di colore e di materia, sempre irreversibili. Per quanto si abbia memoria dello stato dell'edificio prima dell'inizio dei lavori, e nonostante i rilievi e le analisi che ne documentano più o meno dettagliatamente la situazione pregressa, è pressoché impossibile una valutazione comparativa tra il "prima" e il "dopo" del restauro, senza l'aiuto di buone immagini fotografiche.

Ma è ancora più importante poter disporre di una "memoria" che registri le immagini durante i diversi stati di avanzamento del cantiere, documentando le operazioni, le fasi di lavorazione, i modi tecnici di svolgimento dei singoli interventi, le variazioni che gradualmente la fabbrica subisce.

La documentazione fotografica costituisce, in sostanza, uno dei mezzi efficaci di "monitoraggio" dell'andamento del cantiere, anche nei suoi aspetti operativi più minuti. La sua funzione non è semplicemente di rammentarne gli episodi più o meno rilevanti, ma di costituire uno strumento di analisi continua, per conservare, sia pure nei limiti dell'informazione offerta dalle immagini, una serie di dati utilizzabili, durante e dopo i lavori. Si potranno confrontare risultati ottenuti con metodiche dissimili su uno stesso oggetto o con procedimenti eguali su manufatti diversi, e osservare il comportamento delle superfici e dei materiali trattati. In ciò risiede, tra l'altro, la possibilità di riesaminare criticamente i risultati di un restauro alla luce della "prova del tempo", e di affinare gli strumenti metodologici e tecnici.

DOC 01 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DEI LAVORI

Una funzione rilevante è svolta, inoltre, dalla documentazione fotografica raccolta durante le opere di scavo, di demolizione, di rimozione o di smontaggio, quando queste non possono essere evitate. È in tali circostanze, infatti, che le strutture edilizie mostrano, per così dire, i loro strati più profondi e nascosti, che sono resi visibili dai lavori di liberazione, spesso portando alla luce contenuti costruttivi, materiali e lavorazioni che disvelano aspetti nascosti ed enigmatici della fabbrica.

In conclusione, la documentazione fotografica, integrata da altre forme di annotazione (v. DOC02 - Rilievi in corso d'opera; DOC03 - Resoconti, annotazioni, diario dei lavori; DOC04 - Prelievi, controlli, monitoraggi dei lavori; DOC05 - Collaudi, prove e controlli in corso d'opera), costituisce in sé uno strumento indiretto della pratica conservativa.

APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

Per gli scopi che si prefigge, per la varietà d'informazioni da raccogliere e per la durata dei cantieri, una corretta documentazione fotografica deve essere, in primo luogo, accuratamente programmata in ogni parte. Le improvvisazioni sono da evitare, salvo i casi di situazioni impreviste.

Il programma deve comprendere:

1. un particolareggiato elenco degli eventi da registrare, generali e di dettaglio, per ciascuna delle categorie indicate alle precedenti lettere a, b, c, d, e.
2. l'approntamento dell'apparecchiatura necessaria (camere analogiche e/o digitali, parco obiettivi, accessori diversi, come treppiedi, flash, scala Kodak dei colori, corpi illuminanti di supporto, batterie, carica batterie ecc.);
3. eventuale predisposizione di telecamera analogica o digitale per prese continue di scene in movimento;

4. una serie di schede ed elaborati grafici di riferimento prestampati dove trascrivere le annotazioni relative a ciascuna presa fotografica o televisiva (fig. 1); è opportuno avvalersi di una planimetria generale di riferimento dove riportare accuratamente il posizionamento dei punti di ripresa indicando inoltre la posizione dell'asse ottico di ciascun fotogramma e possibilmente anche la distanza e l'altezza (se superiore a quella dell'operatore) tra il punto di ripresa e il soggetto fotografato e, per un riscontro effettivo, si può procedere alla numerazione dei fotogrammi, riportandola accuratamente sulla planimetria di riferimento. Occorre curare una stretta rispondenza tra i dati rilevati in fase di compilazione della scheda e la sequenza delle riprese definite dal progetto di rilevamento fotografico.

5. un sistema di catalogazione e classificazione dei documenti fotografici da gestire mediante un efficace archivio cartaceo o informatico destinato all'ordinamento e alla ricerca incrociata, rapida dei dati.



Figura 2 • Presa eseguita in luce radente (solare) del particolare di una muratura. Si osservino gli effetti di esaltazione delle rugosità di superficie e la gamma dei colori.

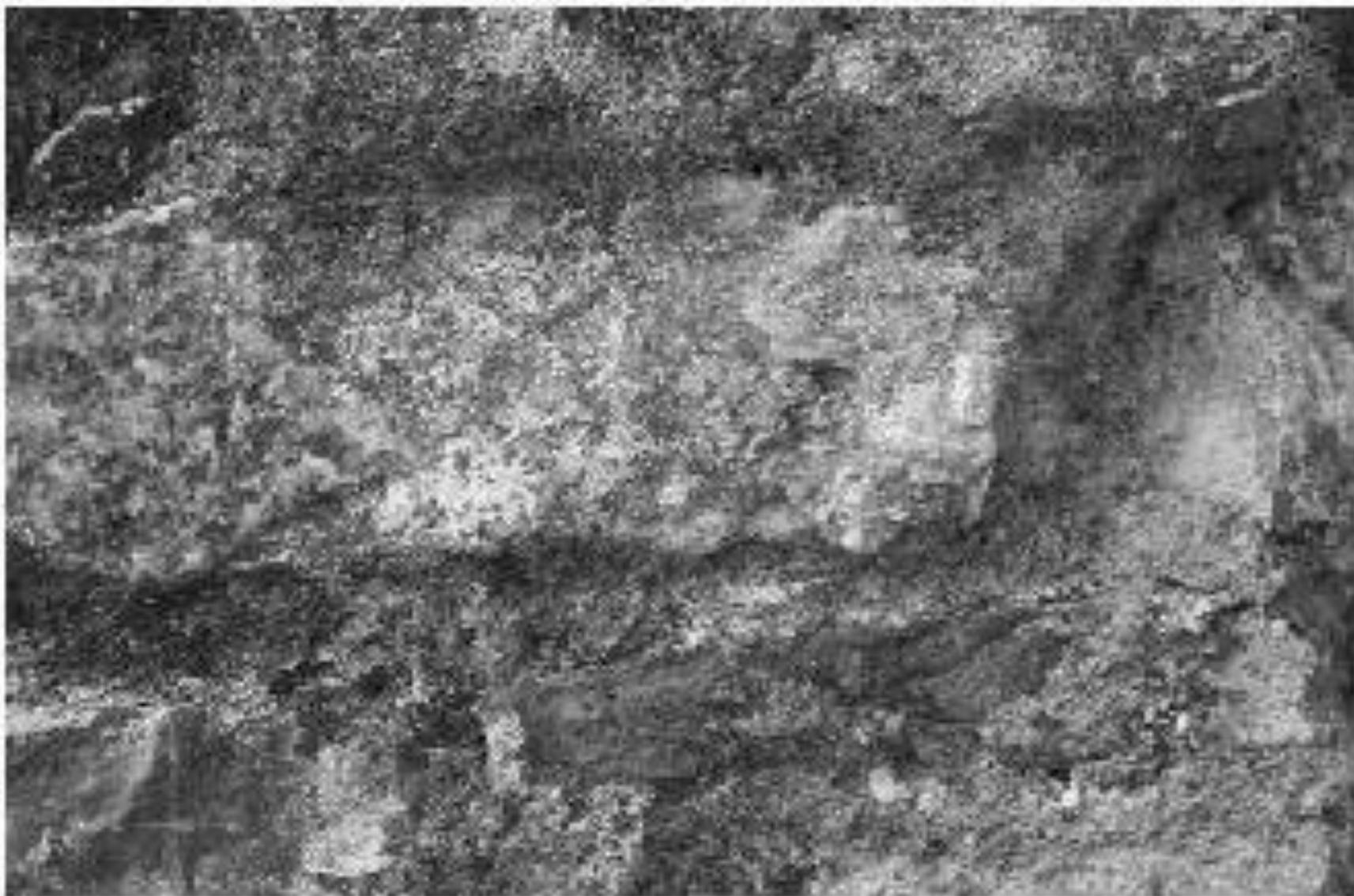


Figura 3 • La stessa muratura fotografata in un tratto in ombra, vicino a quella della fig. 2 e a distanza di qualche minuto. Oltre a un'attenuazione delle ombre, si può osservare una resa cromatica molto diversa, anche se le due immagini sono state eseguite con una camera digitale.

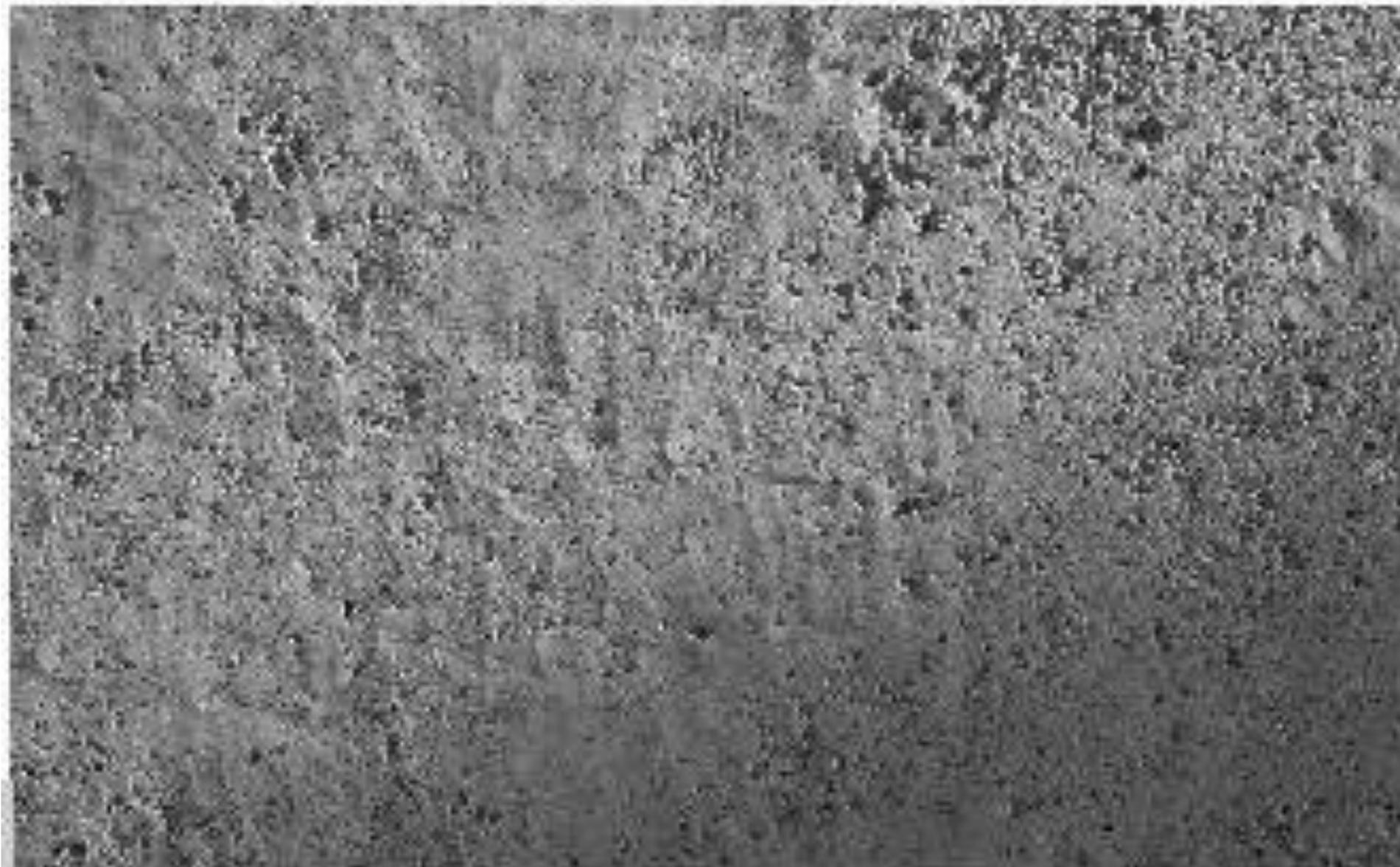


Figura 4 • Presa analoga a quella della fig. 2, ma su una superficie intonacata. Le ombre create dalla luce radente (solare) evidenziano le leggere ondulazioni della superficie apparentemente liscia.

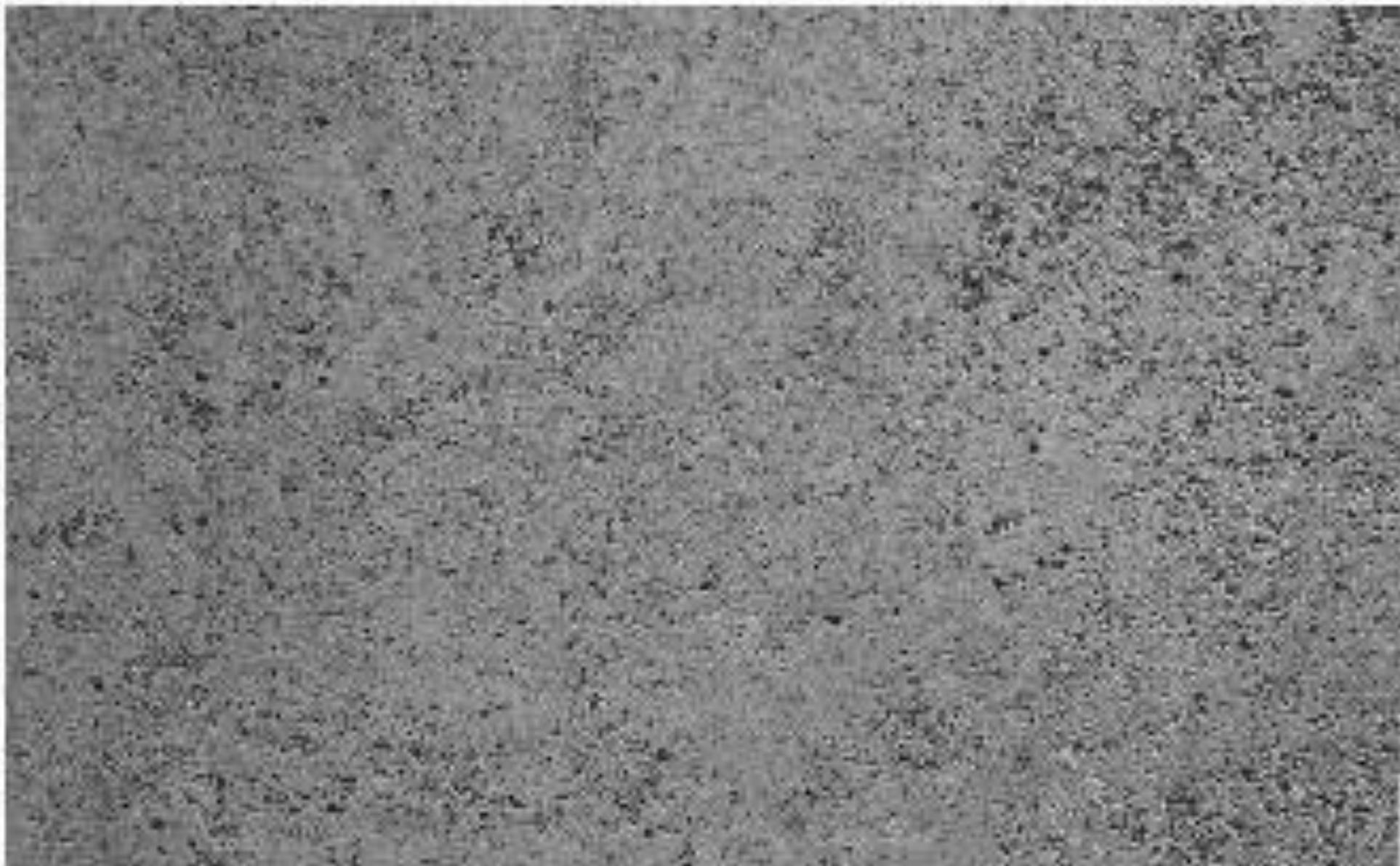


Figura 5 • Il medesimo tratto di superficie ripreso, sempre con camera digitale, quando è in ombra. Come nel caso della fig. 3, si determina un cambiamento della gamma cromatica.



Figura 6 • Il dettaglio di una superficie affrescata, fotografata in luce radente artificiale.

PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

Il rilievo architettonico serve, in generale, a determinare lo svolgimento geometrico delle costruzioni nello spazio e costituisce una parte fondamentale dell'insieme delle metodiche analitiche dell'architettura. Esso permette di analizzare le forme e le dimensioni del costruito, sia pure per quantità discrete e ci fornisce, degli oggetti, informazioni lineari, angolari, di superficie e di volume. Ma alcune tecniche recenti ampliano il quadro informativo proprio dei rilievi tradizionali, perché consentono di aggiungere dati di tipo cromatico di rilevante utilità investigativa, oppure di descrivere le superfici degli oggetti con nuvole di punti molto dense, che offrono inedite possibilità di elaborazione e di studio.

C'è da aggiungere che queste particolari e ricercate metodiche di definizione geometrica sono spesso più rapide e più precise dei vecchi sistemi di misurazione e permettono di catturare superfici e forme di grande complessità e di difficile accessibilità.

Se per un verso i rilievi appartengono alla fase iniziale del progetto di restauro, per un altro il cantiere offre occasioni di accesso e possibilità di esplorazione che non sono concesse agli operatori durante le campagne di studio preliminare, quando si determinano, spesso, condizioni di inaccessibilità o di rischio. Inoltre, le operazioni di cantiere comprendono, non di rado, lavori di liberazione, di smontaggio, di scavo o altro ancora, che mettono in luce situazioni imprevedibili e offrono un'integrazione delle informazioni disponibili, oppure un'occasione per registrare e archiviare dati destinati a scomparire a causa delle modificazioni prodotte dagli interventi. Infine, rientrano nell'ambito del rilievo quelle misure particolari che puntano a controllare puntualmente determinate situazioni geometriche in evoluzione, come le deviazioni orizzontali e verticali di muri e solai, le rototraslazioni di travi e conci, le flessioni, le deformazioni murarie, i quadri fessurativi ecc.

APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

Non è praticabile, in questa sede, una descrizione delle sequenze operative delle diverse tecniche del rilievo, che peraltro dovrebbero essere note, ma è utile richiamarne i principi, le finalità e i risultati cui possono portare, in modo che ciascuna procedura sia adottata correttamente e serva agli scopi documentari che il cantiere pone in essere. Alcune di queste tecniche sono più diffuse e, almeno in apparenza, più semplici; altre presentano gradi di complessità più o meno rilevante, ma sono ugualmente accessibili da parte di operatori esperti nel settore. Inoltre, come già si è accennato, i procedimenti tecnologicamente più avanzati hanno il vantaggio di essere spesso molto più rapidi nell'esecuzione e quasi sempre più economici di quelli elementari e offrono, inoltre, informazioni notevolmente più ricche e precise, prestandosi anche a elaborazioni successive di decisivo interesse per il restauro creando un database consultabile e modificabile a seconda delle diverse esigenze. Di seguito, perciò, si propongono alcune metodiche ritenute più interessanti proprio ai fini del controllo dei lavori di cantiere e della gestione della relativa documentazione.

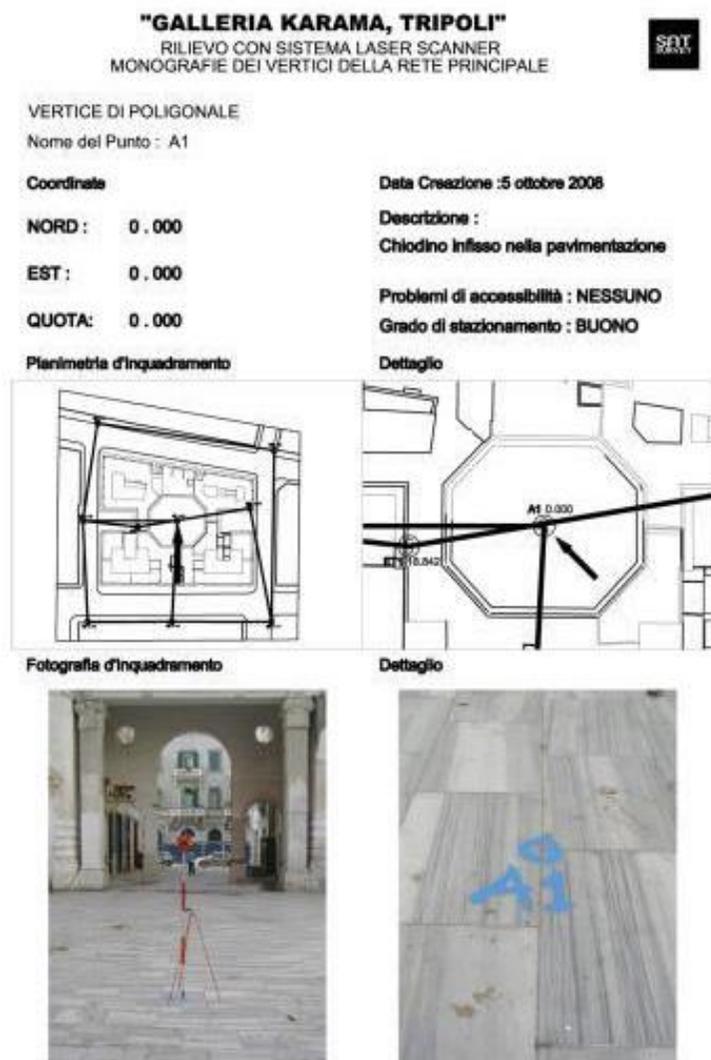


Figura 1 • Scheda con la monografia dei vertici di una rete topografica (SAT)

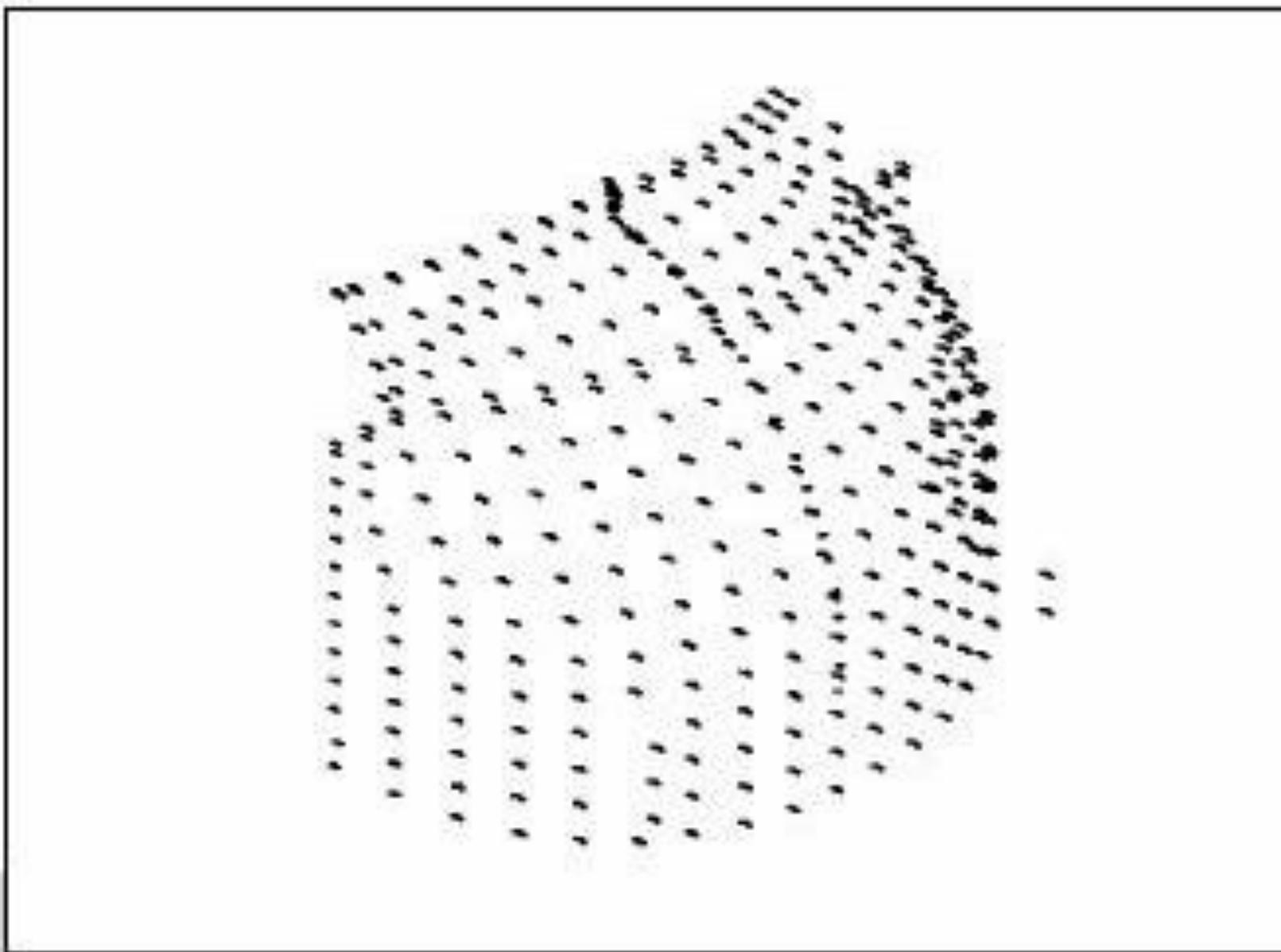


Figura 2 • Volta absidale della pieve di S. Vito a Morsasco (Alessandria). Griglia di punti determinati con stazione integrale motorizzata Leica TPS 1102.

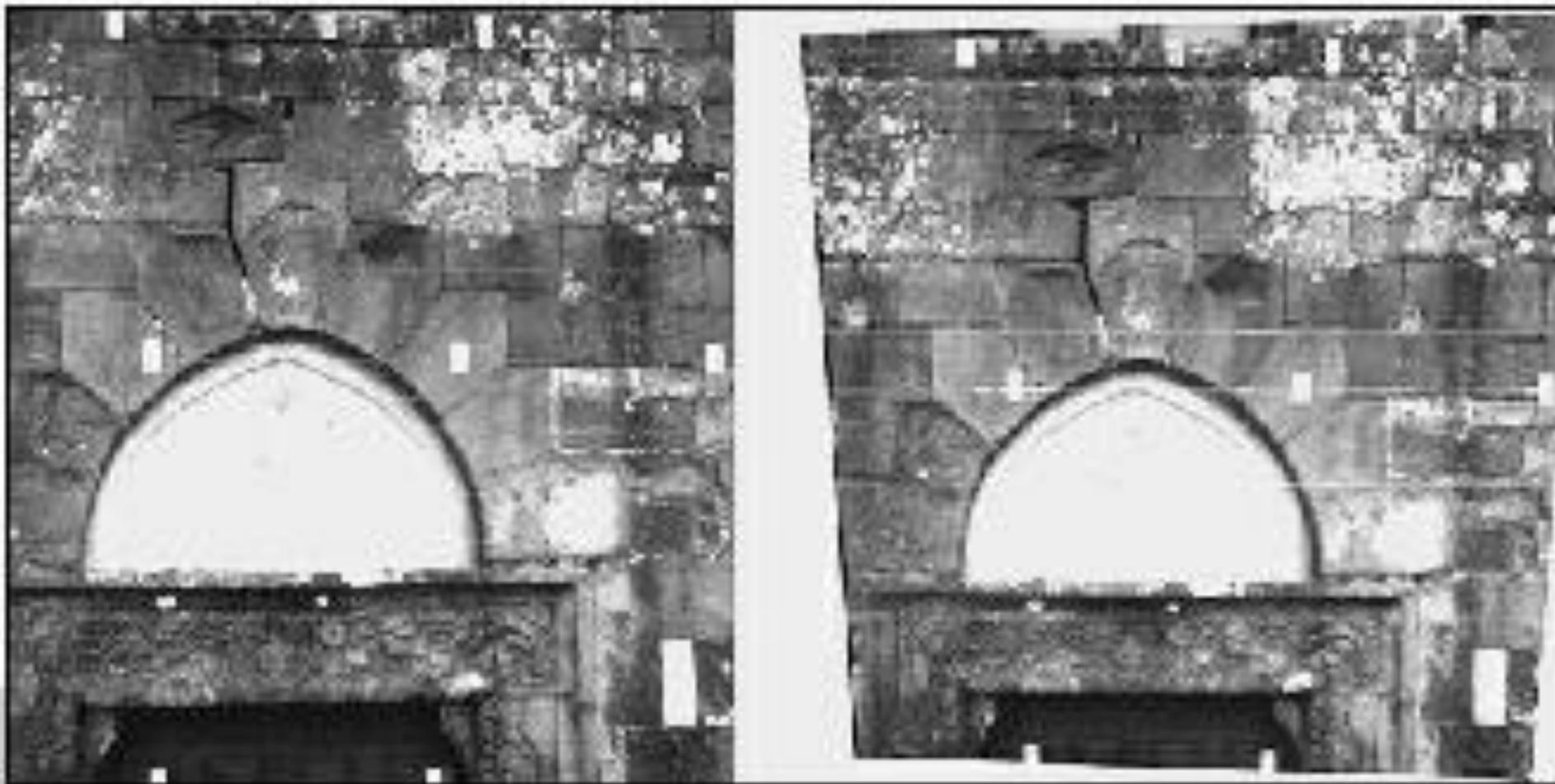


Figura 3 • Pieve di S. Lorenzo, Minucciano (Lucca). A sinistra, fotogramma di presa, contenente le deformazioni prospettiche; a destra, lo stesso fotogramma dopo il raddrizzamento.

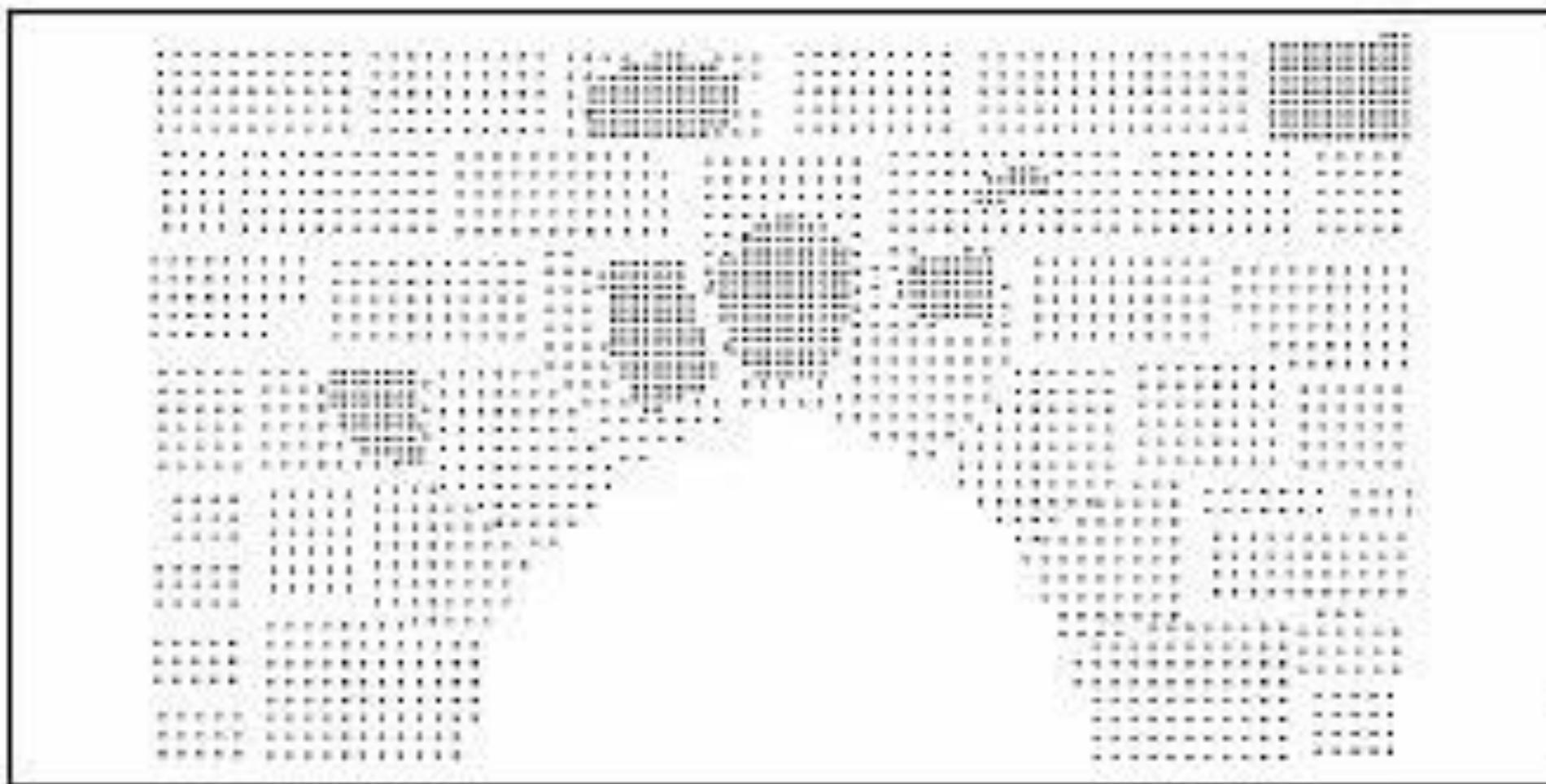


Figura 4 • Pieve di S. Lorenzo, Minucciano (Lucca). Restituzione fotogrammetrica, dell'arco del portale secondo una griglia di punti a maglia rettangolare (mm 50 ×50 e mm 30 ×30).

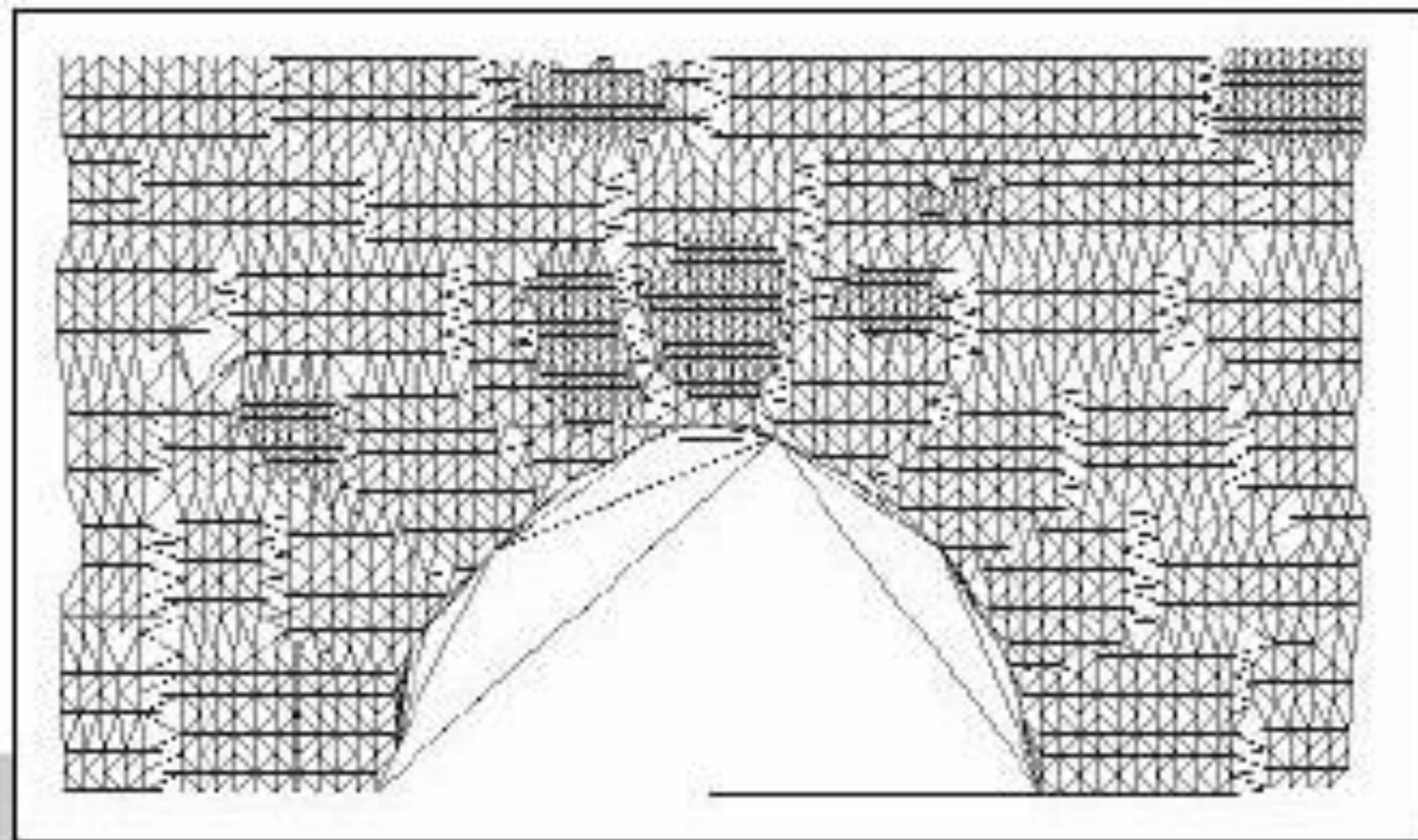


Figura 5 • Pieve di S. Lorenzo, Minucciano (Lucca). Costruzione del DTM, mediante collegamenti triangolari fra i punti.

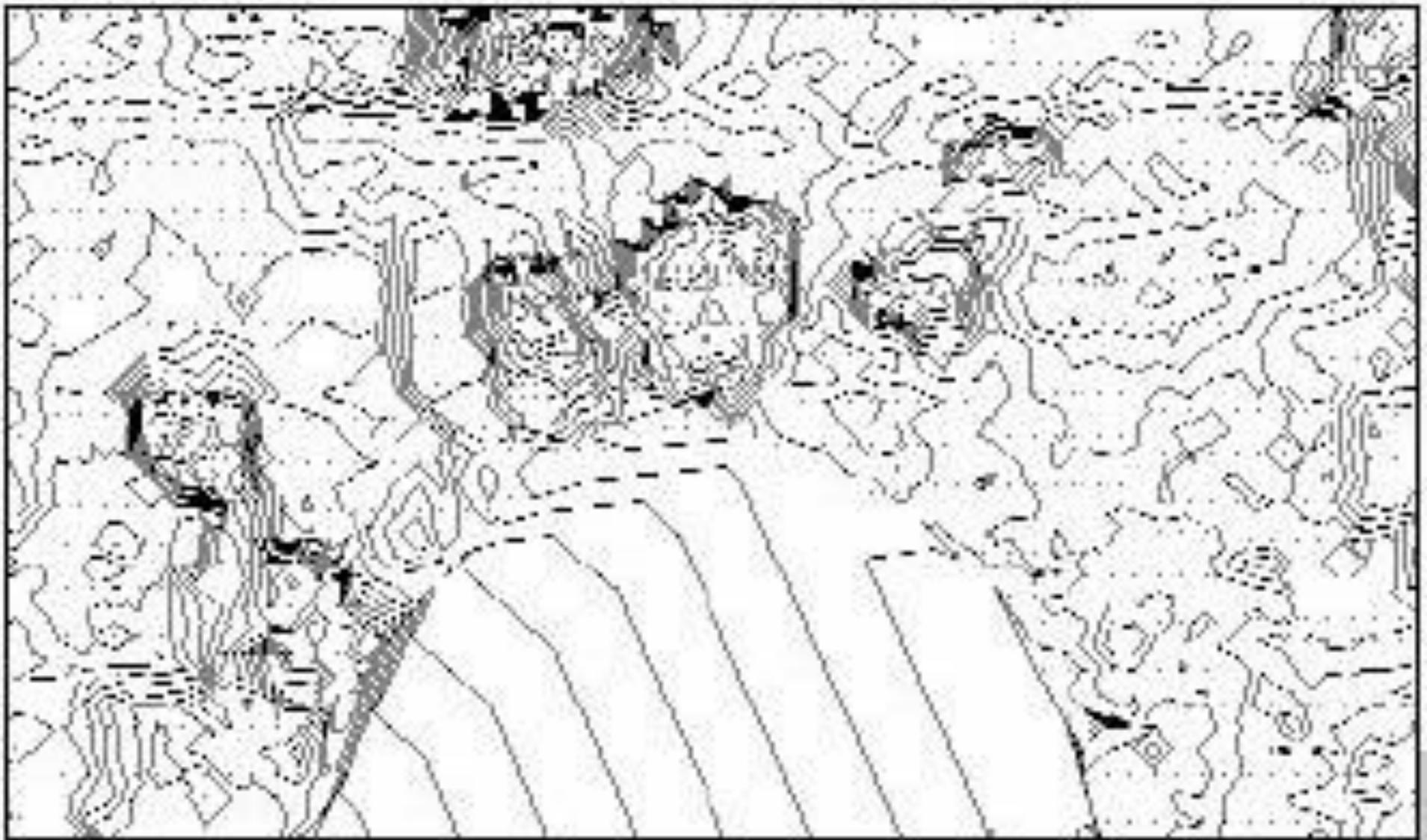


Figura 6 • Pieve di S. Lorenzo, Minucciano (Lucca). Estrazione automatica di curve di livello.

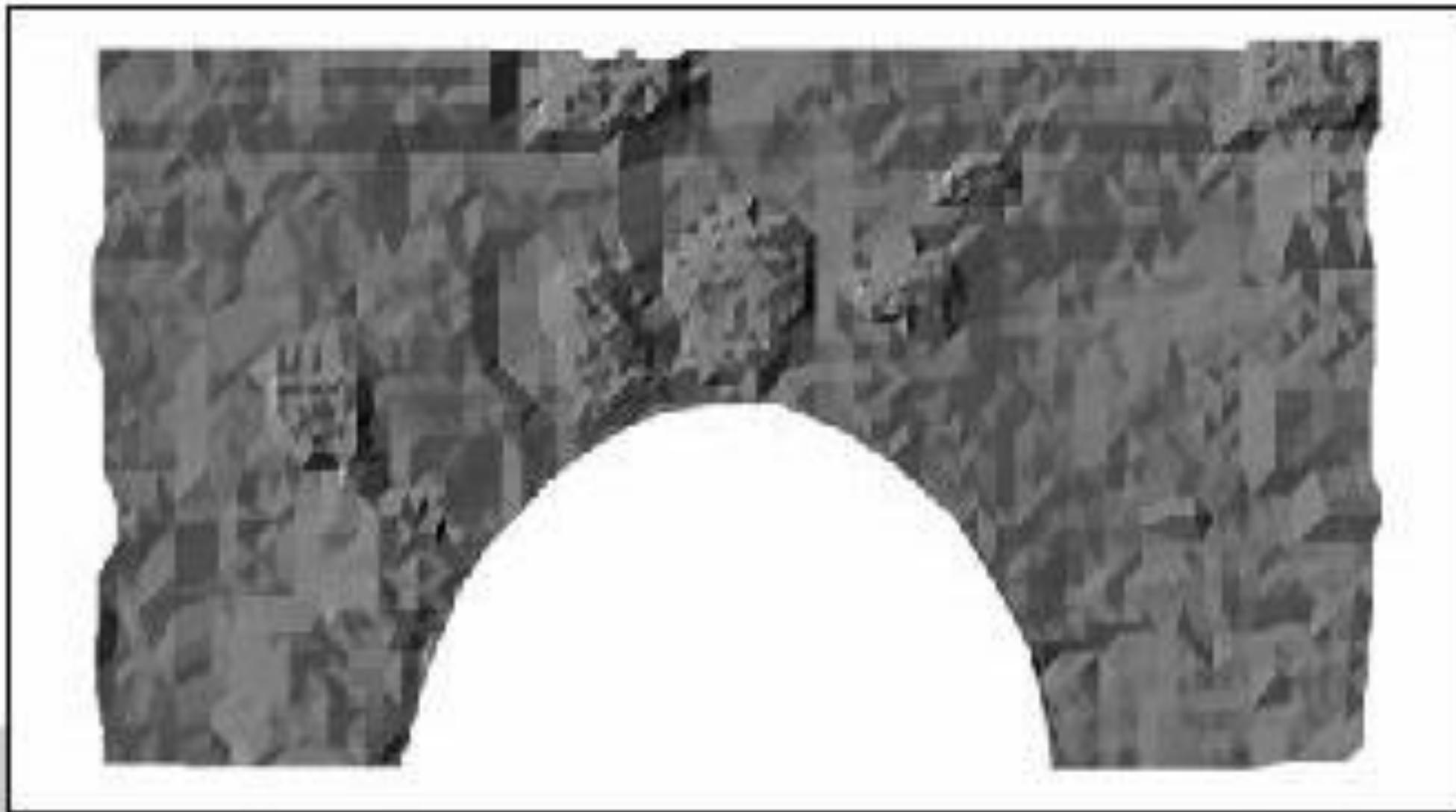


Figura 7 • Pieve di S. Lorenzo, Minucciano (Lucca). Applicazione di texture neutra al DTM.



Figura 8 • Pieve di S. Lorenzo, Minucciano (Lucca). Applicazione di texture fotografica al DTM. Il risultato è un'immagine fotografica metrica e tridimensionale.



Figura 9 • Basilica Superiore di Assisi. Nuvola di punti dal laser scanner con dati RGB: elaborazioni sperimentali per il Ministero per i Beni e le attività culturali in occasione della ricostruzione virtuale della volta della Basilica, 2004.

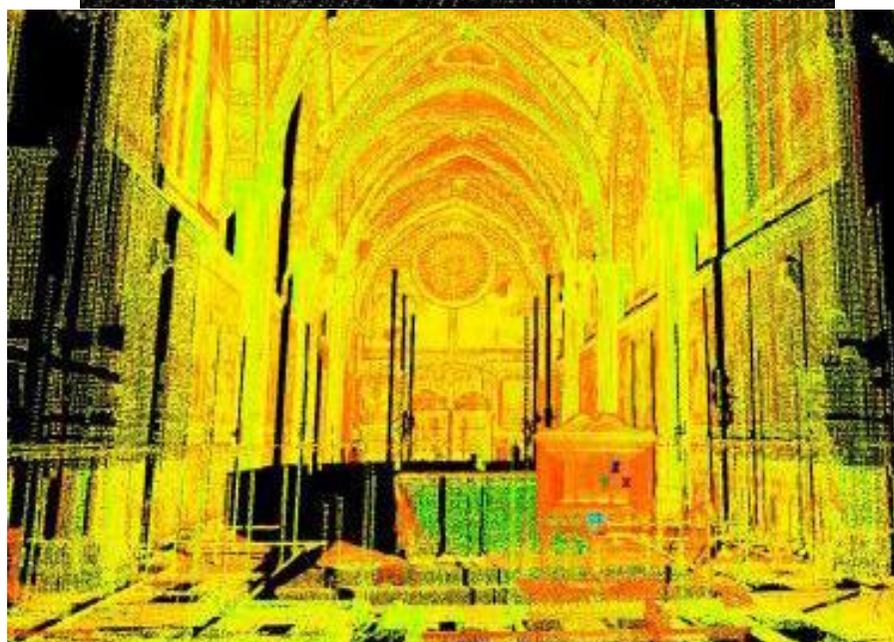
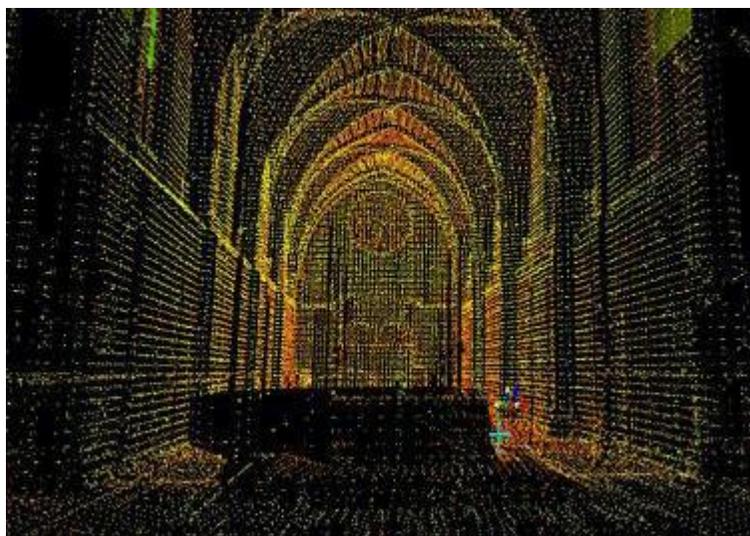


Figura 10 e 11 • Basilica Superiore di Assisi. Nuvola di punti dal laser scanner più o meno densa: elaborazioni sperimentali per il Ministero per i Beni e le attività culturali in occasione della ricostruzione virtuale della volta della Basilica, 2004.

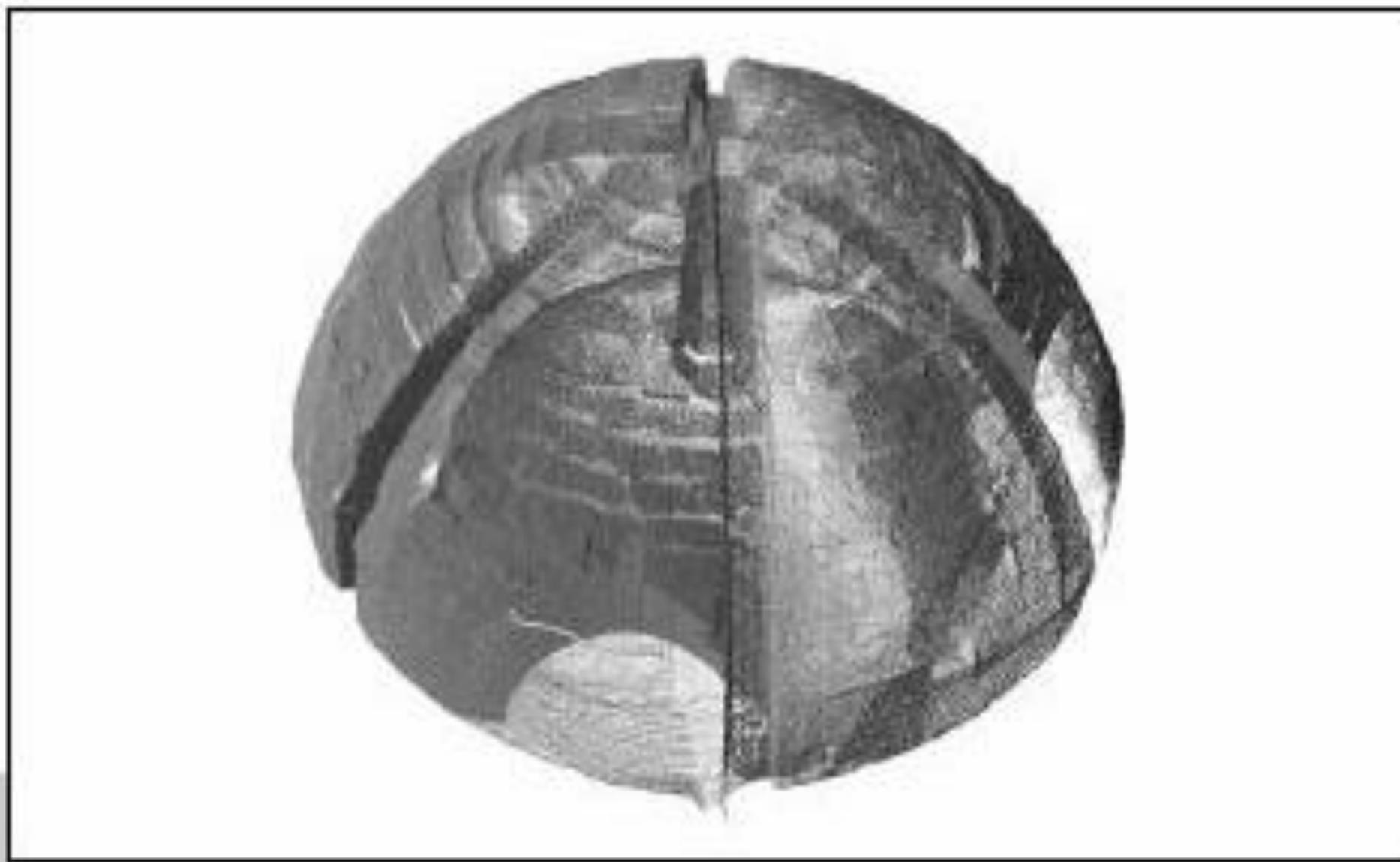


Figura 12 • Cappella Emiliani, chiesa di S. Michele in Isola, Venezia. Intradosso di cupola a costoloni rilevata con Laser Measuring System "Callidus" con una nuvola di circa 3.000.000 di punti. Si leggono i corsi dei conci di costruzione.

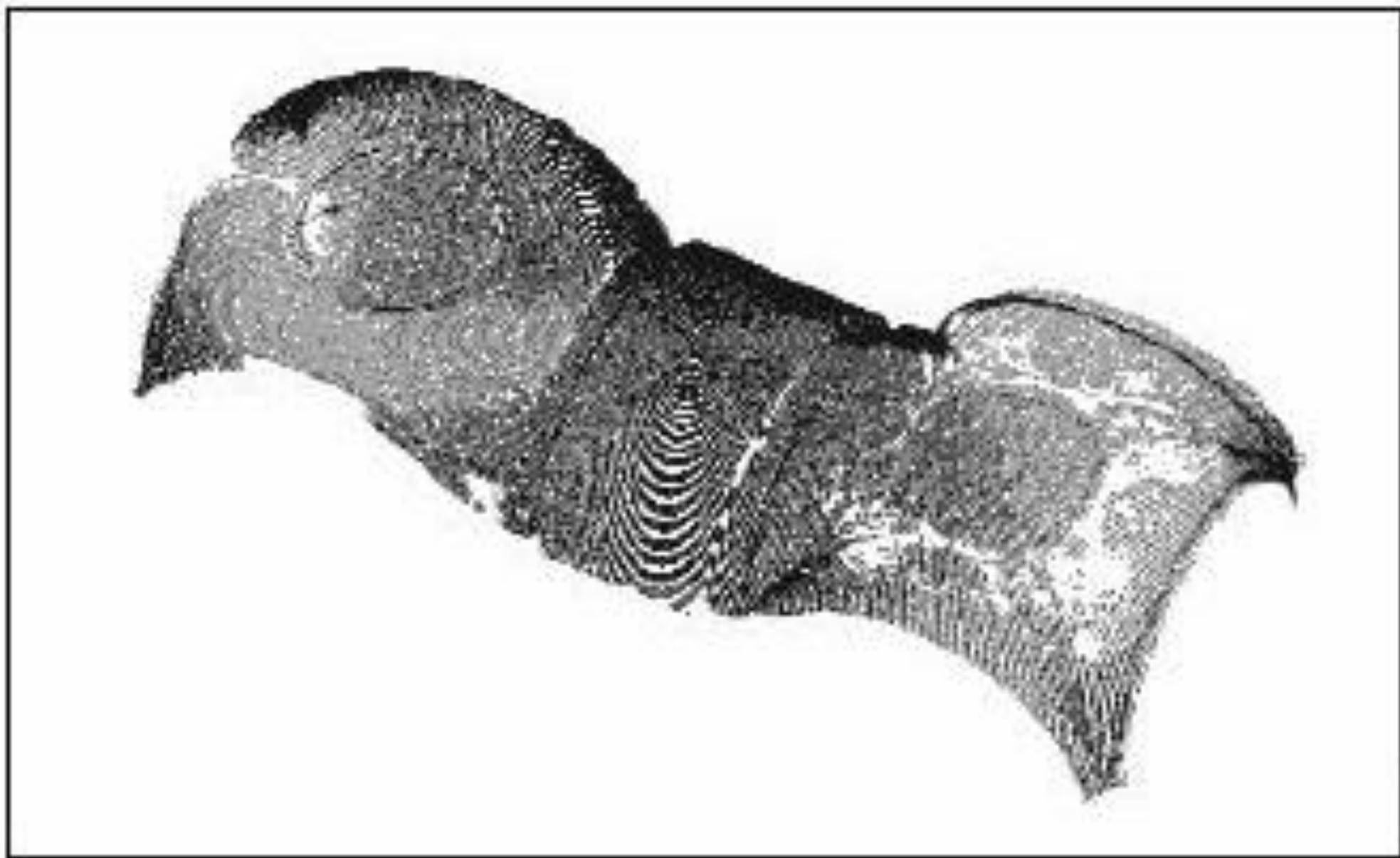


Figura 13 • Serie di tre volte nella chiesa dell'Angelo Raffaele a Venezia.

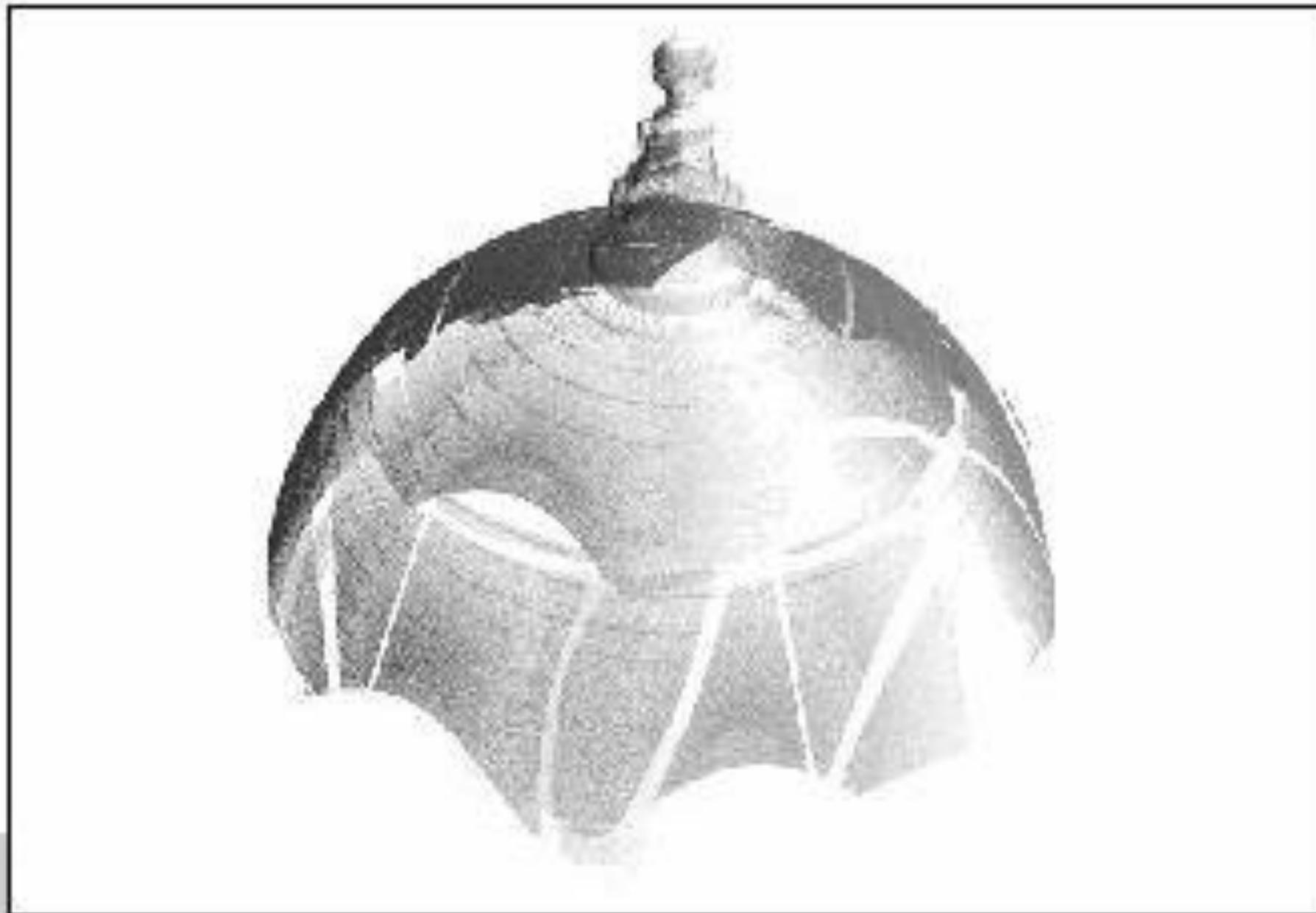


Figura 14 • Cappella Emiliani, chiesa di S. Michele in Isola, Venezia. Estradosso della cupola.

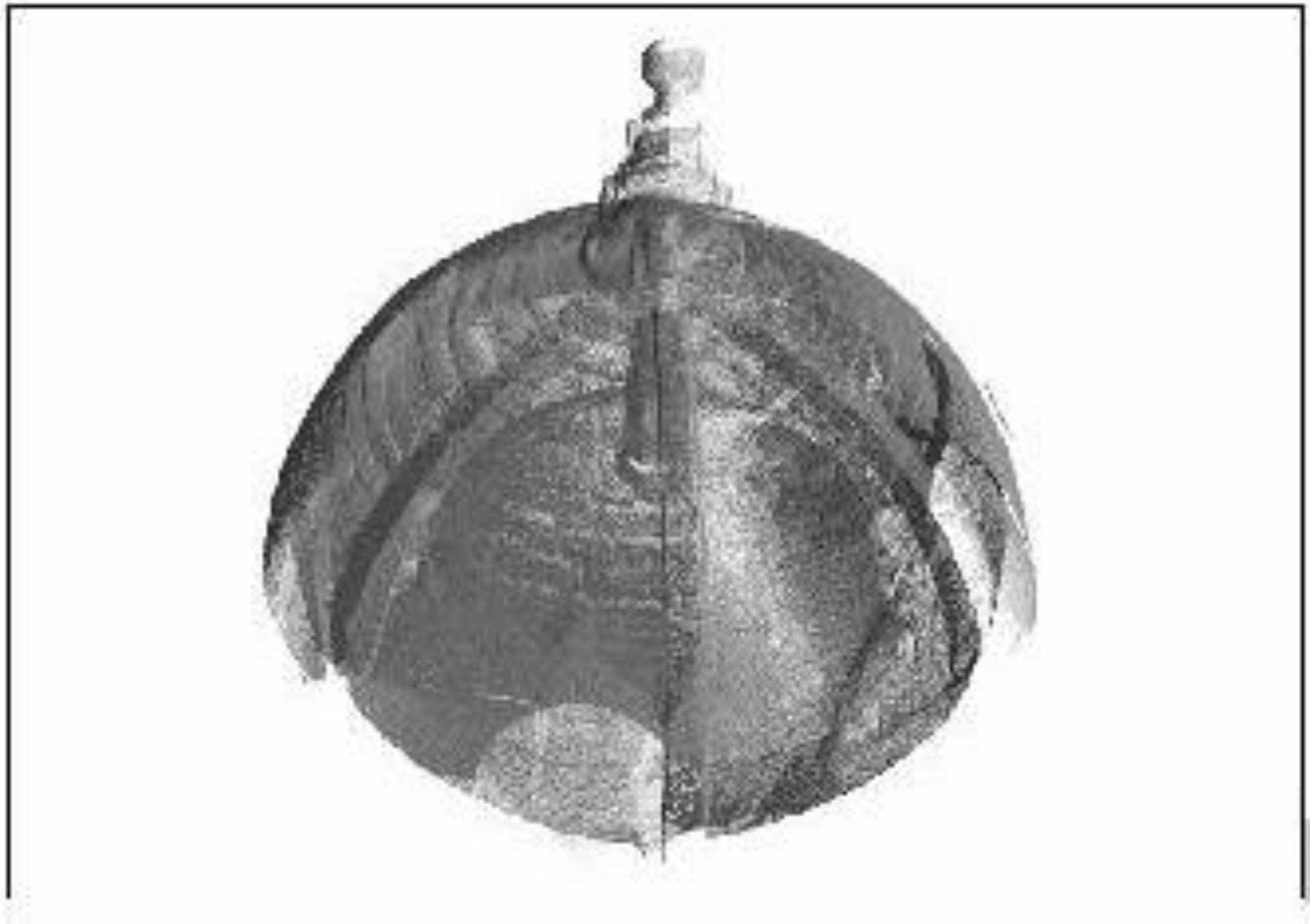


Figura 15 • Cappella Emiliani, chiesa di S. Michele in Isola, Venezia. Intradosso ed estradosso della cupola, montati a formare un modello unico.

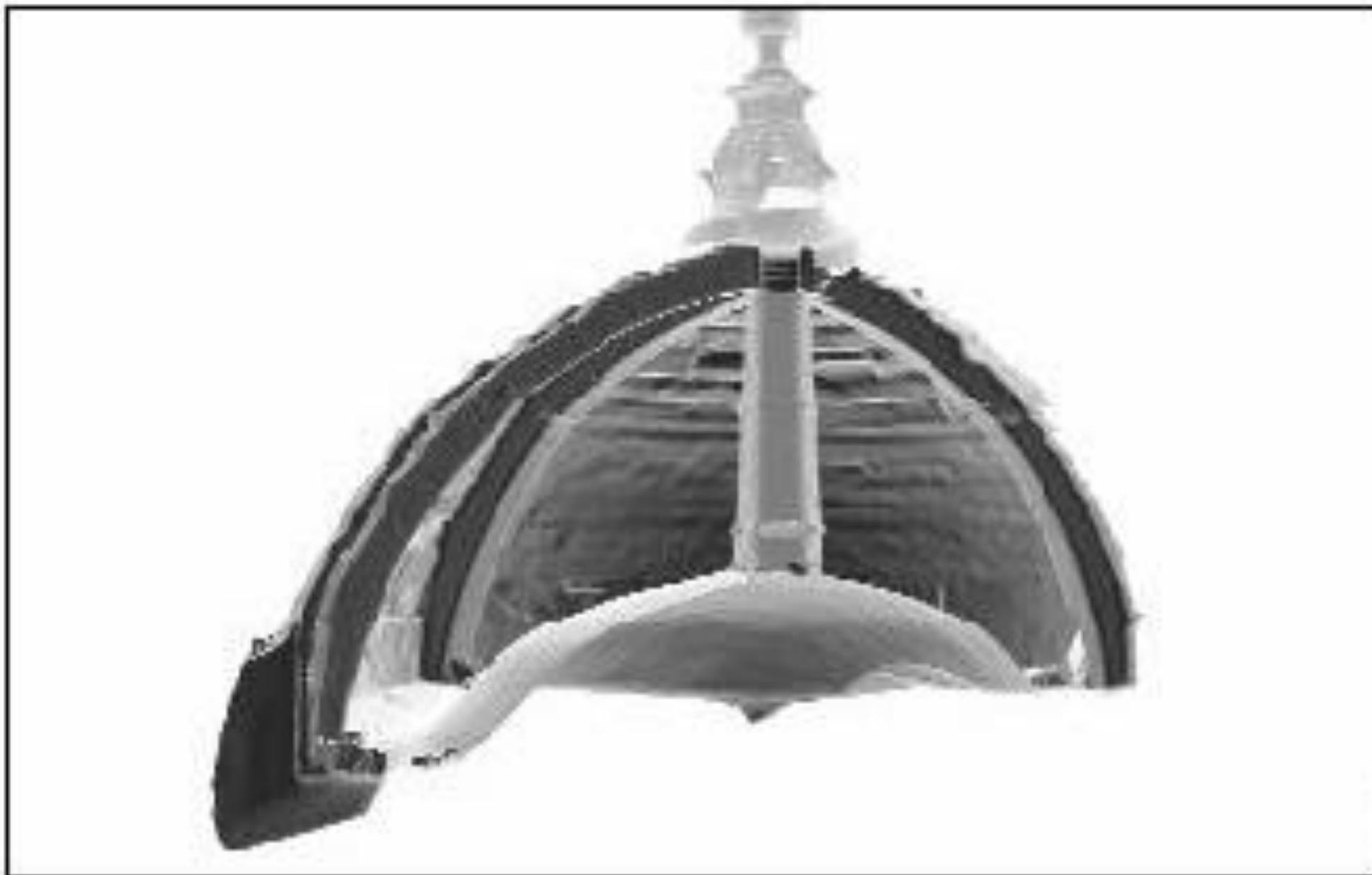


Figura 16 • Cappella Emiliani, chiesa di S. Michele in Isola, Venezia. Modello completo, in fase di montaggio.

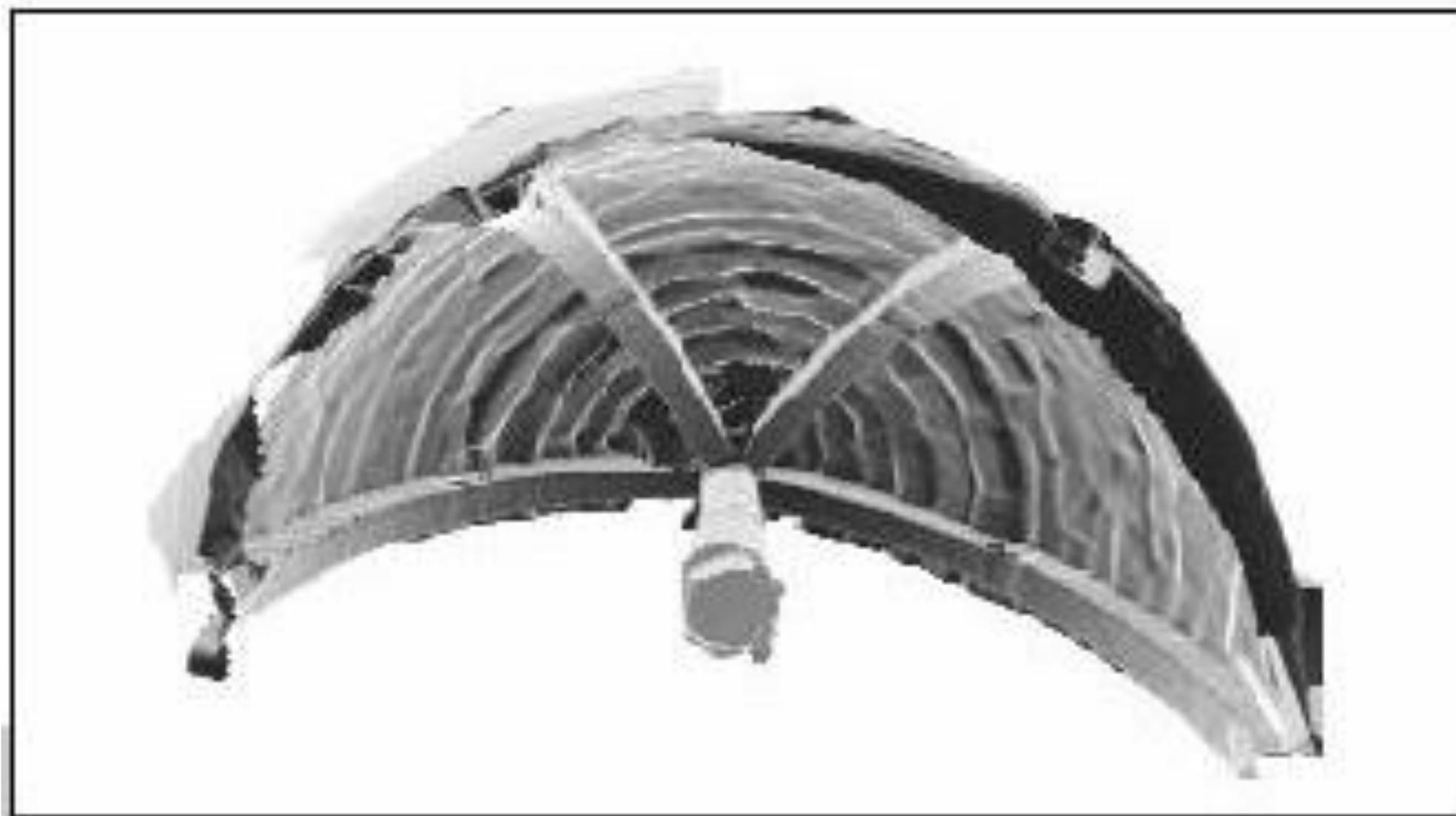


Figura 17 • Cappella Emiliani, chiesa di S. Michele in Isola, Venezia. Vista parziale del modello, liberato dalla controvolta.

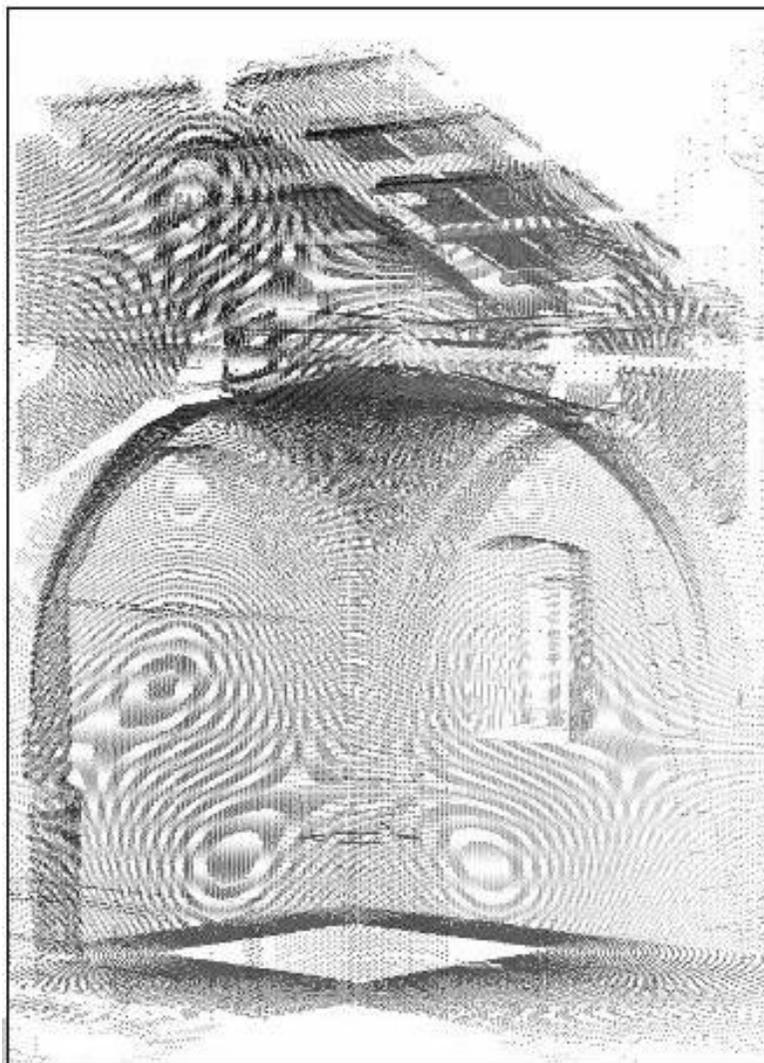


Figura 18 • S. Pietro di Feletto. Rilievo di una stanza voltata con scanner laser. Il modello mostra l'insieme dei punti rilevati dallo scanner dalle diverse stazioni. Ogni stazione dà luogo a una parte del modello; tutte le parti sono concatenate sulla base dei riferimenti offerti dalle reti topografiche. Nell'immagine si possono ancora vedere le parti che saranno successivamente pulite, come la struttura del tetto, la scala a pioli appoggiata al muro e la sagoma di alcuni arredi mobili in primo piano.

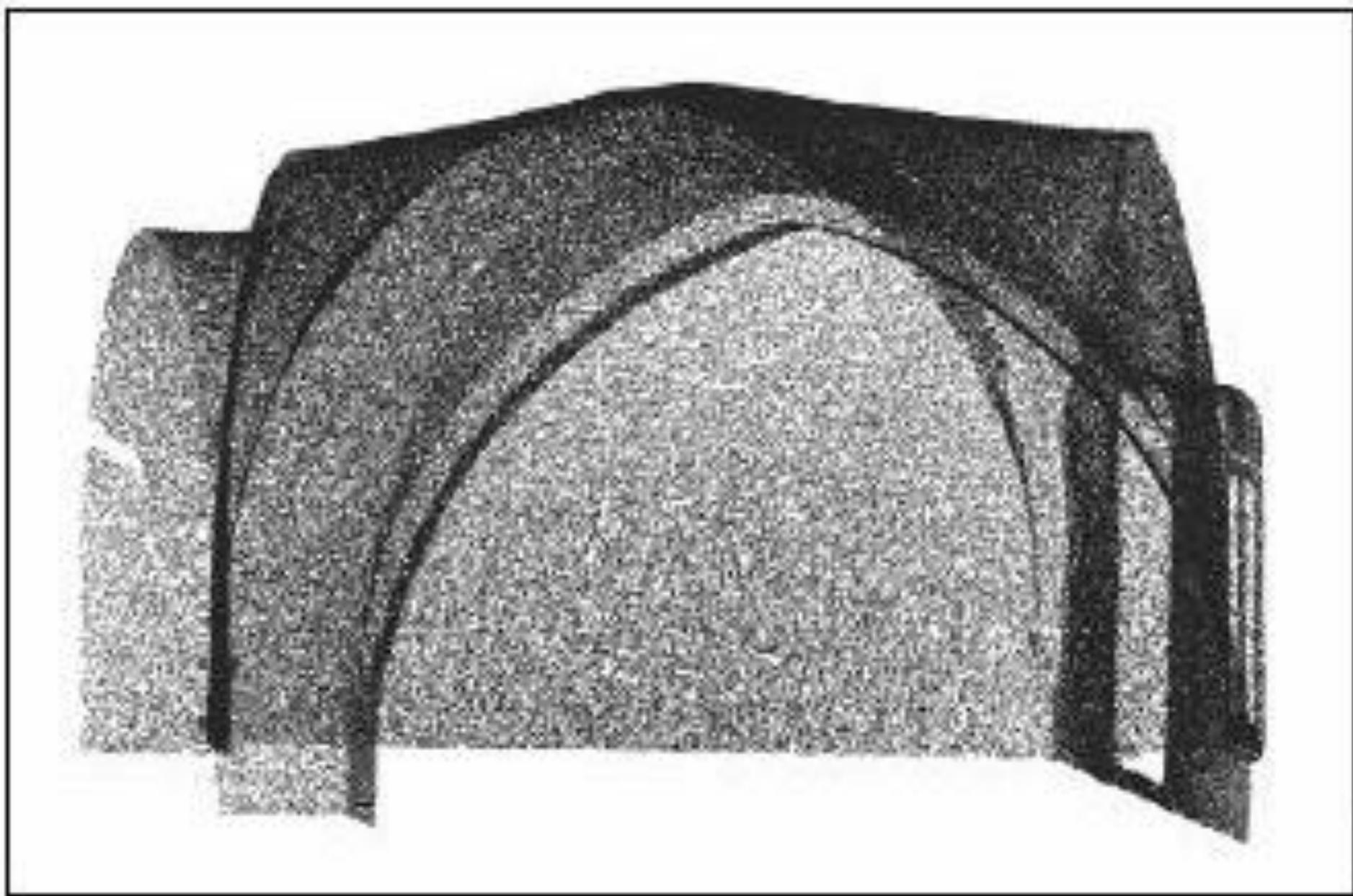


Figura 19 • S. Pietro di Feletto. DTM della zona voltata.

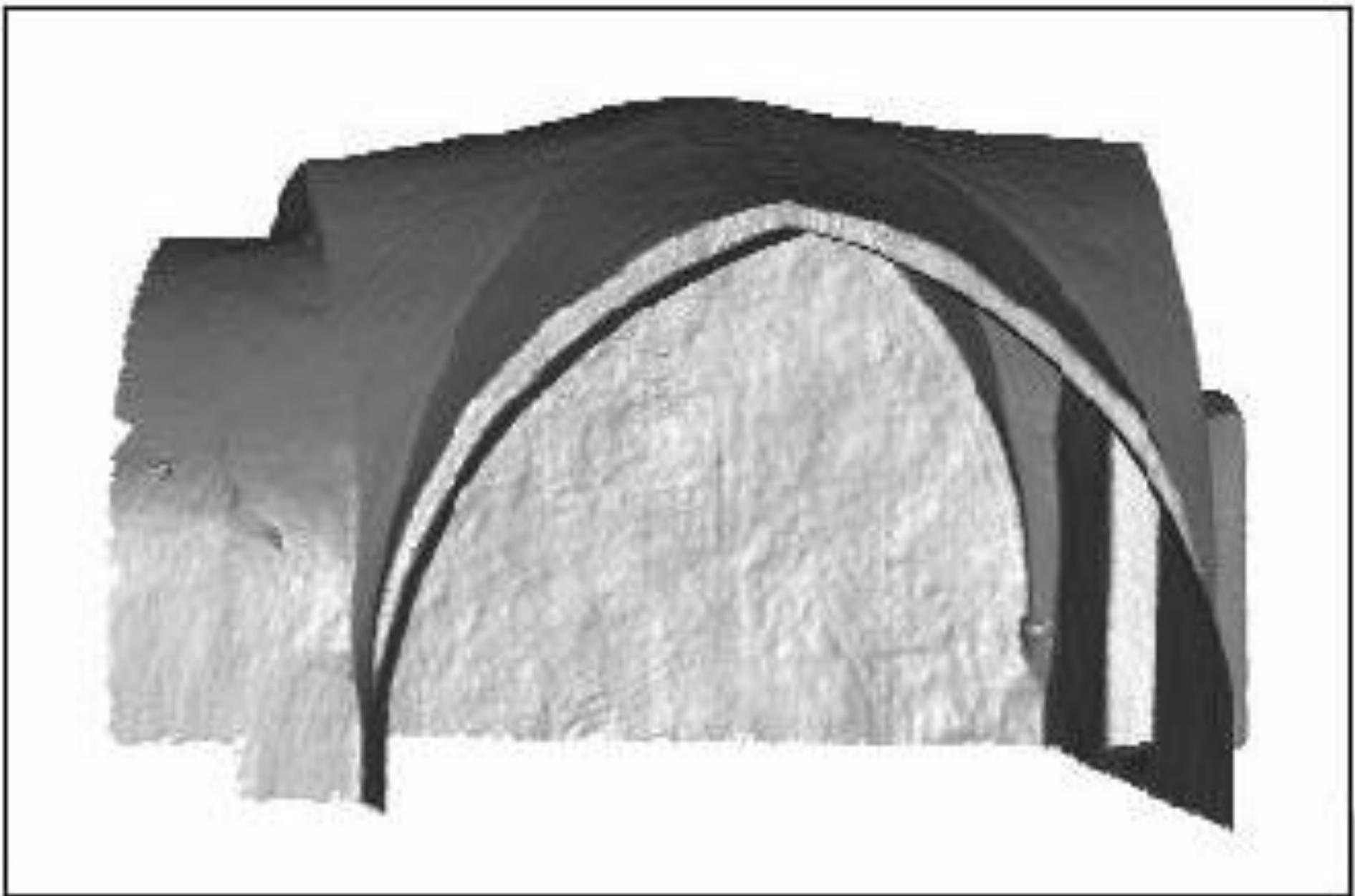


Figura 20 • Texture per evidenziare ondulazioni e irregolarità delle superfici.



Figura 21 • S. Pietro di Feletto. Modello completo del vano voltato, trattato con una texture neutra e opaca.

Oltre alla volta, nelle sue aree estradossali e intradossali, sono presenti i muri perimetrali d'ambito e la pavimentazione, oltre alle componenti accessorie costituite dal vano finestra, da una nicchia e da un tirante metallico. Il modello contiene tutte le informazioni che descrivono le superfici visibili del vano, consentendo di leggerne le misure e gli attributi di configurazione geometrica, comprese le irregolarità create da ondulazioni, deformazioni o alterazioni di forma e dimensione. Non sono ancora visibili, tuttavia, gli attributi cromatici delle parti, anche se la volta e i muri sono interamente decorati ad affresco.



Figura 22 • S. Pietro di Feletto. Il modello arricchito con texture fotografica che riproduce le decorazioni murali seguendone l'andamento tridimensionale.

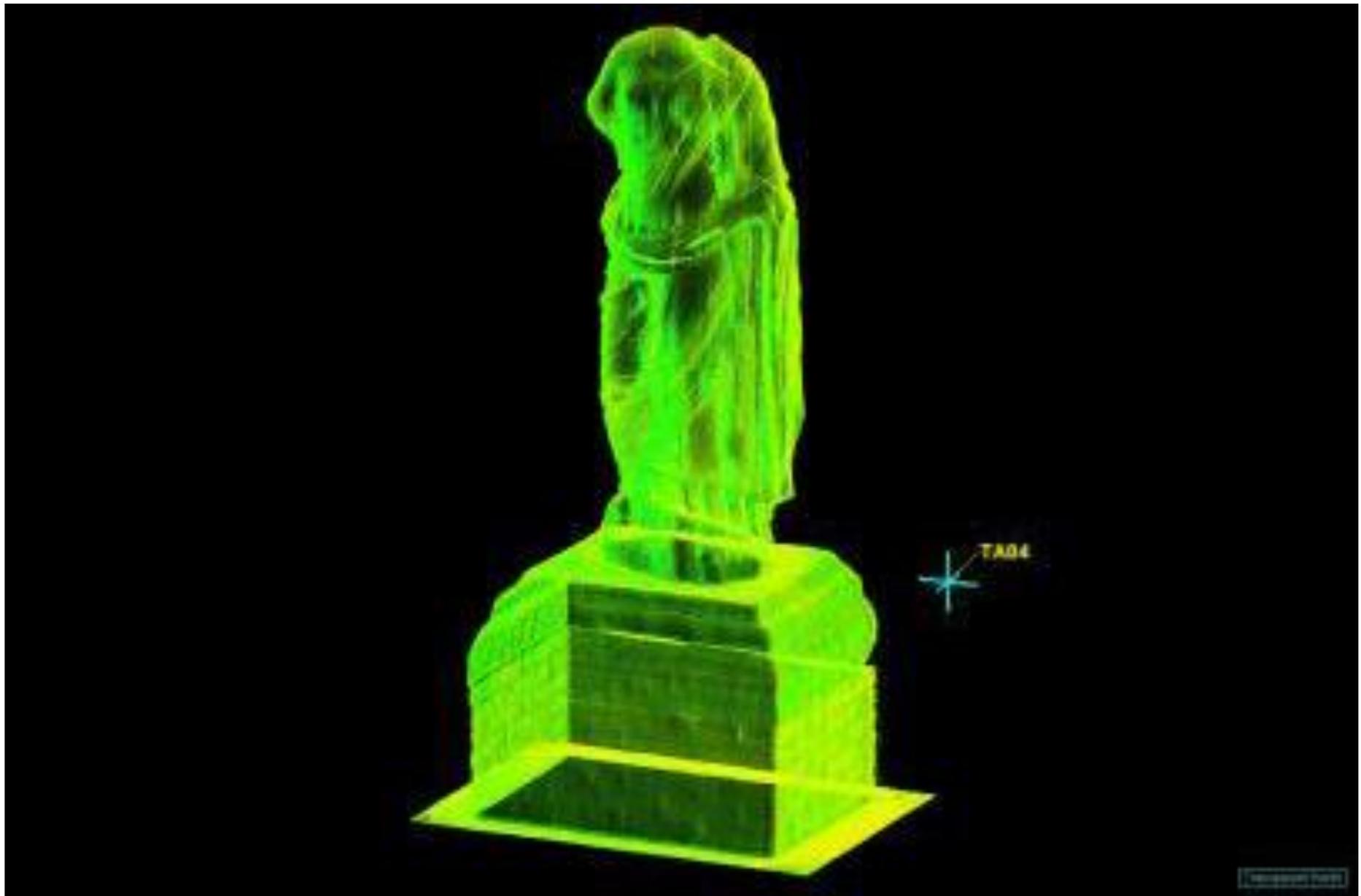


Figura 23 • Statua romana a Concordia Sagittaria, Venezia. Rilievo per Arturo Liguoro - Soluzioni Innovative Sas 2006. Elaborazioni dei dati dello scanner laser. Nuvola di punti.

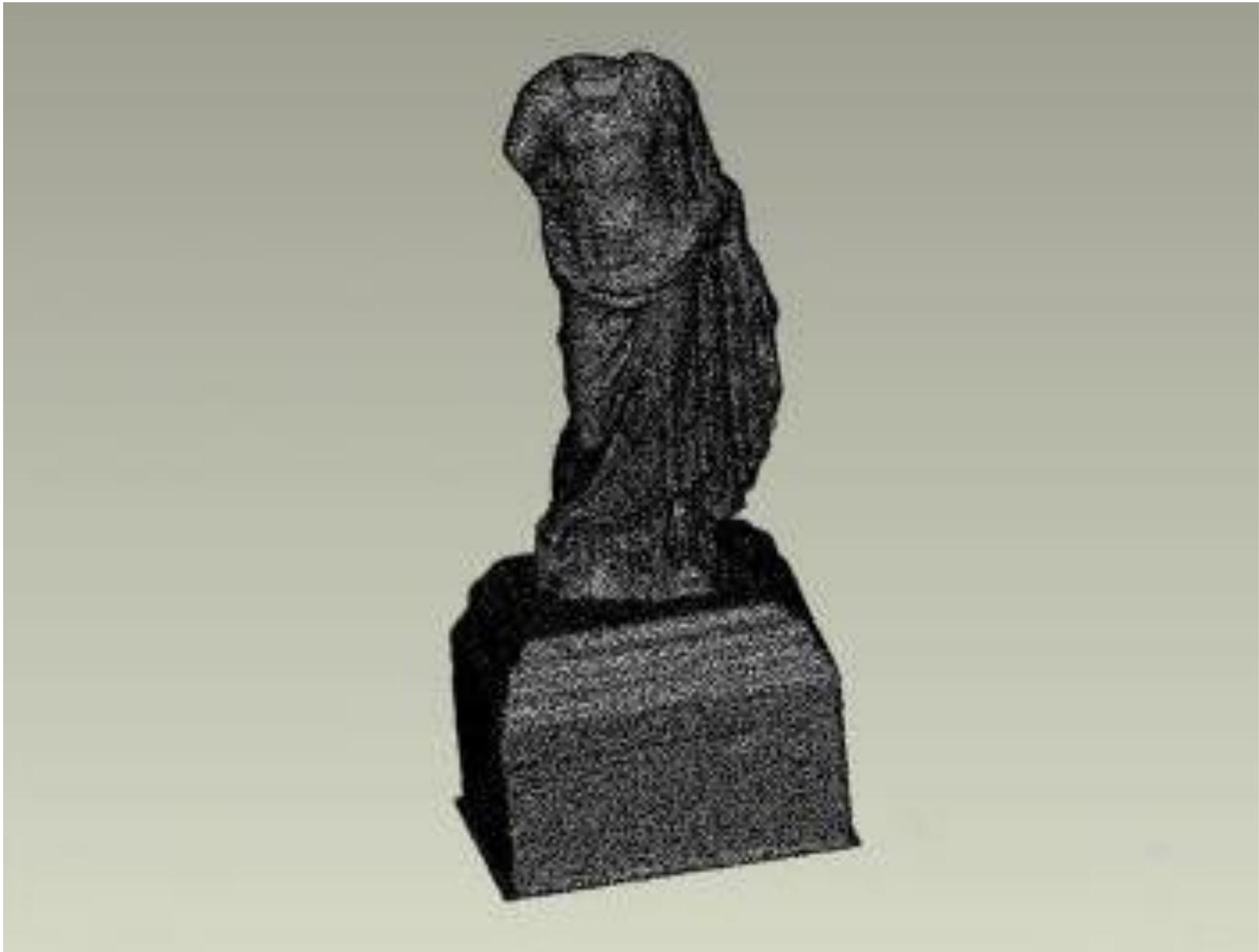


Figura 24 • Statua romana a Concordia Sagittaria, Venezia. Rilievo per Arturo Liguoro - Soluzioni Innovative Sas 2006. Elaborazioni dei dati dello scanner laser. Nuvola di punti con mesh.

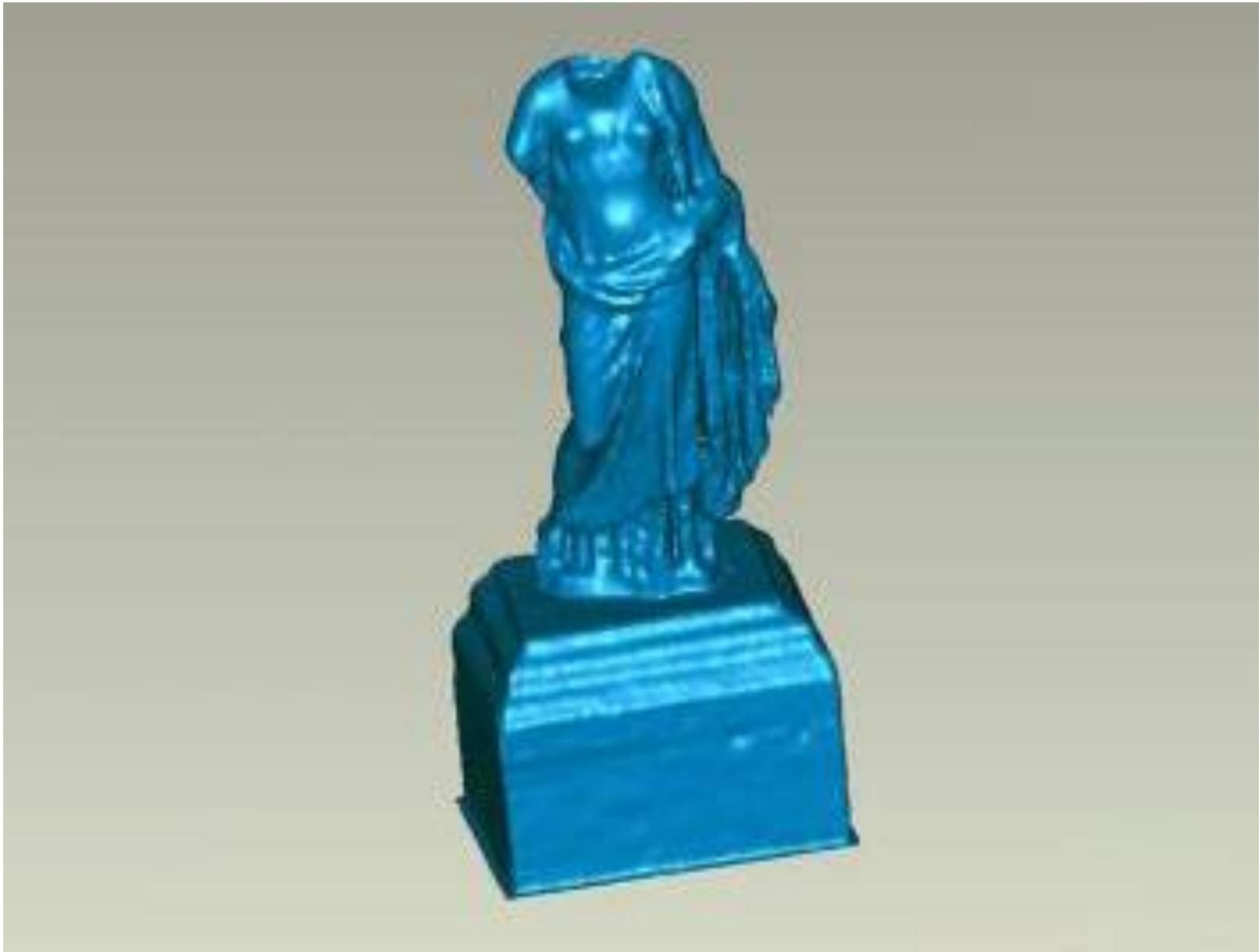


Figura 25 • Statua romana a Concordia Sagittaria, Venezia. Rilievo per Arturo Liguoro - Soluzioni Innovative Sas 2006. Elaborazioni dei dati dello scanner laser. Mesh.



Figura 26 • Statua romana a Concordia Sagittaria, Venezia. Rilievo per Arturo Liguoro - Soluzioni Innovative Sas 2006. Elaborazioni dei dati dello scanner laser. Modello.



Figura 27 • Basilica Superiore di Assisi. Nuvola di punti, mesh e texture fotografica; elaborazioni sperimentali per il Ministero per i Beni e le attività culturali in occasione della ricostruzione virtuale della volta della Basilica, 2004.

PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

L'esecuzione dei restauri, per quanto estesi e dettagliati negli elaborati di progetto, non sono in grado di prevedere tutte le vicende tecniche ed esecutive che si concretizzano nel cantiere, per l'ovvia ragione che la fabbrica, nella sua complessa costituzione materiale e nelle sue numerose vicende conservative, sfugge a qualsiasi tentativo di essere analizzata e compresa nella totalità dei suoi aspetti. L'esecuzione dei lavori comporta, infatti, un rapporto ravvicinato e puntuale con la concretezza dei fenomeni in atto, durante il quale emergono circostanze non sempre prevedibili, anche perché il cantiere mette allo scoperto situazioni mascherate o semplicemente inaccessibili alle analisi preliminari. Le stesse procedure tecniche d'intervento, definite in via preventiva sulla scorta dell'esperienza e della competenza del progettista o sulla base di prove sperimentali, possono rivelare, all'atto esecutivo, aspetti inattesi oppure effetti collaterali insospettati che suggeriscono variazioni più o meno rilevanti del programma di lavoro. In questi casi, l'andamento del cantiere obbliga gli operatori ad aggiornare il progetto, modificandolo o arricchendolo con decisioni suggerite dagli accertamenti e dai problemi che emergono quasi quotidianamente. Ciò comporta che, a lavori conclusi, una certa parte delle azioni previste in sede progettuale ha subito variazioni più o meno sostanziali, vale a dire che il risultato finale non rispecchia interamente le prescrizioni iniziali e si smarrisce la corrispondenza tra il programma e la sua concreta attuazione.

Questa perdita corrispondenza tra previsione e realizzazione rischia di provocare esiti di una certa gravità, quanto meno perché il comportamento nel tempo delle opere restaurate, sia nei suoi effetti positivi sia in quelli negativi, non è apprezzabile sulla base delle previsioni e delle prescrizioni tecniche del progetto e non consentono, di conseguenza, una valutazione critica che contribuisca al progressivo perfezionamento delle tecniche di restauro.

Un possibile rimedio a tale inconveniente sarebbe di aggiornare continuamente gli elaborati di progetto, registrando tutte le varianti imposte dalle vicende del cantiere, ma sappiamo quanto questa via sia difficile da praticare, sia perché richiederebbe un lavoro di rielaborazione lungo e costoso, sia perché a volte il direttore dei lavori è figura diversa dal progettista e tale circostanza complica ulteriormente le cose.

La soluzione più praticabile è, allora, quella di documentare adeguatamente la vita e le vicende del cantiere, utilizzando metodiche alternative (v. DOC01 - Documentazione fotografica dei lavori; DOC 2 - Rilievi e misurazioni in corso d'opera; DOC04 - Prelievi, analisi e monitoraggi nel corso dei lavori; DOC05 - Collaudi, prove e controlli in corso d'opera), ma soprattutto adottando procedure largamente impiegate dagli archeologi nei lavori di scavo.

Tale metodo consiste in una registrazione quotidiana dell'andamento dei lavori, tramite annotazioni verbali e schizzi e con gli opportuni collegamenti alle altre forme di documentazione.

In tal modo, se le annotazioni saranno complete e continue, si avrà un vero e proprio diario dei lavori che riproduce pedissequamente la storia del cantiere e fornisce indicazioni sempre disponibili per un riesame critico delle soluzioni adottate e dei risultati conseguiti.

È il caso di ribadire che una corretta ed esauriente documentazione costituisce uno dei mezzi di tutela dell'opera, un modo indiretto ma efficace per assicurarne la conservazione.

APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

È opportuno che il diario dei lavori sia un documento autonomo rispetto agli altri che fanno parte della gestione amministrativa e contabile del cantiere. Tale diario sarà composto da un fascicolo rilegato di schede predisposte per le annotazioni e gli schizzi, e dovrà essere compilato quotidianamente dal direttore dei lavori o da una persona di sua fiducia che abbia le competenze necessarie e una presenza continua in cantiere. Se un plico di schede non è sufficiente, se ne aggiungono altri numerati progressivamente.

Secondo il tipo e l'entità delle informazioni da registrare, può essere impiegata una scheda costituita da un solo foglio che riassume le annotazioni grafiche e verbali, oppure da più fogli contenenti notizie e descrizioni specifiche per ogni lavoro.

Il contenuto comune a tutte le schede è costituito dalla data di compilazione, dal nome del compilatore, dagli estremi di localizzazione dell'edificio e della parte cui si riferiscono i lavori, dai rimandi ad altri archivi di documentazione (elaborati di progetto, fotografie, prove di laboratorio ecc.).

Ciascuna scheda avrà, poi, contenuti specifici, determinati dalle diverse categorie dei lavori descritti e delle particolari circostanze che si intendono documentare. Il contenuto descrittivo del diario non può essere determinato una volta per tutte, perché cambia di cantiere in cantiere, ma a titolo orientativo si indicano, di seguito, alcuni possibili argomenti da trattare.

- I lavori di scavo nel loro progredire, con descrizione accurata, alle diverse profondità, del procedimento, dei materiali rimossi, degli strati geologici, degli eventuali reperti archeologici e dei ritrovamenti in genere (tubazioni, canali e simili).
- Le rimozioni e le demolizioni di parti murarie, di infissi, di componenti impiantistiche, di strati pavimentali o di rivestimento, di solai e strutture di copertura, di tiranti e staffe metalliche ecc. Oltre alle informazioni raccolte con altre tecniche di documentazione, è necessario verbalizzare accuratamente le procedure seguite e i risultati ottenuti.
- Le prove eseguite sulle aree scelte come campioni, in materia di pulitura, consolidamento, protezione, integrazione, disinfestazione e quant'altro servono a testare le diverse lavorazioni. Tali prove comprenderanno sia i test condotti in situ sia quelli svolti fuori opera o presso laboratori specializzati.
- Le varianti tecniche adottate in corso d'opera, con le ragioni che le hanno suggerite, le procedure adottate, le zone di applicazione, i risultati immediati raggiunti.
- I materiali impiegati negli interventi, compresi i prodotti speciali per il restauro con le rispettive schede tecniche, le quantità unitarie e complessive utilizzate, la tecnica di applicazione.
- Le macchine e gli strumenti adoperati per le diverse esecuzioni, dalle apparecchiature complesse (impianti di nebulizzazione, strumenti per laser ecc.) alle più semplici (pennelli, tamponi, bisturi, spazzole ecc.).

- Le condizioni climatiche rilevate al momento degli interventi (temperatura, umidità, illuminazione) e le loro eventuali variazioni indicative ai fini dell'efficacia dei risultati.
- Gli imprevisti operativi, quali smottamenti, cedimenti, crolli, incendi o altri avvenimenti che portano turbamento al normale svolgimento dei lavori.
- Le visite in cantiere di specialisti, consulenti o esperti consultati e i pareri o le indicazioni da questi forniti sugli specifici argomenti.
- Le valutazioni espresse, anche in contraddittorio, dal direttore dei lavori, l'impresa e gli operatori del cantiere, oltre che da soggetti esterni consultati.

PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

Le analisi preliminari, che generalmente precedono il progetto e la programmazione degli interventi, non sono mai complete ed esaustive. Ciò non dipende soltanto dall'impossibilità e dall'inutilità di svolgere tutte le indagini, ma anche da alcuni impedimenti che spesso ostacolano le operazioni analitiche, anche quelle indispensabili, oppure rendono inutilizzabili quelle già compiute.

Tale circostanza si realizza, principalmente ,per le seguenti ragioni:

- numerosi esami sono inattuabili nella fase progettuale del restauro perché riguardano fenomeni e situazioni non accessibili ai rilevatori, perché troppo rischiose o in posizioni irraggiungibili senza impalcature o altri mezzi di avvicinamento;
- i tempi spesso stretti della progettazione non consentono sempre gli affinamenti analitici necessari, e impongono di rinviare taluni accertamenti approfonditi a una fase successiva;
- tra lo svolgimento delle analisi preliminari e l'inizio effettivo dei lavori, spesso intercorre un tempo abbastanza lungo da determinare un cambiamento, talvolta rilevante, del quadro diagnostico sul quale il progetto è impostato, e molte di quelle analisi vanno rifatte e aggiornate durante i lavori;
- le operazioni di cantiere che concretano esecutivamente il progetto comprendono, non di rado, lavori di liberazione, di smontaggio, di scavo ecc., che mettono in luce situazioni imprevedibili e richiedono un riesame parziale del programma.

Tutto ciò comporta l'estensione e il proseguimento del lavoro analitico dopo l'apertura del cantiere e, tra i compiti esecutivi, è compreso quello di un ordinato programma di procedimenti investigativi e diagnostici sui materiali e sui fenomeni di degradazione e di dissesto, che deve fornire un aggiornamento continuo dello stato di fatto.

A ciò si aggiunge, spesso, l'esigenza di eseguire dei veri e propri monitoraggi in corso d'opera, riguardanti, ad esempio, il comportamento di lesioni e deformazioni non stabilizzate, i fenomeni di diffusione dell'umidità e delle specie vegetali infestanti e altro ancora.

Oltretutto, la più recente legislazione italiana in materia di lavori pubblici (D.Lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 "Codice dei Beni culturali e del Paesaggio" e successive modifiche) impone di comprendere, nell'intero processo che conduce dalla programmazione dei restauri alla loro progettazione ed esecuzione, le operazioni di questa natura, anche per la loro incidenza tecnica ed economica sugli esiti degli interventi.

APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

Il numero e la qualità delle analisi variano secondo le caratteristiche dell'intervento e del manufatto oggetto di restauro. In linea generale, il procedimento da adottare è il seguente:

— dopo aver montato le impalcature e i ponti di servizio e prima di iniziare i lavori, è necessario eseguire un sopralluogo sistematico e accurato di tutte le superfici e le parti costruttive osservabili da distanza ravvicinata, procedendo con una prima diagnosi empirica volta a controllare ed eventualmente a estendere le analisi svolte durante la fase progettuale;

— quando le analisi empiriche non sono sufficienti e i fenomeni osservati richiedono accertamenti più sicuri, si eseguiranno prove in situ e/o esami di laboratorio opportunamente programmati;

— le prove in situ e gli esami di laboratorio devono essere eseguiti rispettando le procedure più corrette e, in particolare, le indicazioni fornite dalle Raccomandazioni Normal in parte confluite nelle norme UNI, comprese quelle per il prelievo dei campioni (Normal 3/80);

— analoghi accertamenti ed esami vanno svolti durante i lavori, in occasione di smontaggi, demolizioni, rimozioni e, in genere, in tutte le fasi del cantiere che determinano la messa in luce di situazioni costruttive, materiali e di degrado che prima erano mascherate o inaccessibili alle analisi. Lo stesso vale per le aree sottoposte a scavo, soprattutto perché l'eventuale presenza di strati archeologici impone rilievi e accertamenti analitici che non erano possibili durante l'elaborazione del progetto;

DOC 04 PRELIEVI, ANALISI E MONITORAGGI NEL CORSO DEI LAVORI

- in presenza di fenomeni evolutivi riguardanti, ad esempio, i quadri fessurativi, i livelli d'imbibizione dei muri umidi, le variazioni vegetative di piante e microflora, i cicli vitali di insetti e parassiti ecc., occorrerà predisporre un programma di osservazioni atto a monitorare i cambiamenti in senso qualitativo e quantitativo, per tutta la durata del cantiere;
- i risultati dei sopralluoghi, delle prove e delle analisi di laboratorio vanno raccolti ordinatamente in un archivio (da conservare) e annotati sul diario di cantiere (v. DOC03 - Resoconti, annotazioni, diario dei lavori). Inoltre, devono servire per integrare e/o correggere il programma dei lavori previsto dal progetto e le procedure tecniche degli interventi, in modo che le esecuzioni corrispondano sempre agli elaborati progettuali e viceversa;
- le varianti tecniche suggerite o imposte dall'aggiornamento delle analisi vanno sottoposte al progettista del restauro, se diverso dal direttore dei lavori, in modo che esse siano armonizzate con gli orientamenti generali che informano il progetto.

PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

Nei progetti di restauro le **norme di capitolato** prevedono, in genere, una descrizione accurata delle tecniche di cui si prevede l'impiego e dei modi d'esecuzione dei diversi lavori. Tali prescrizioni sono compilate sulla scorta delle competenze e dell'esperienza del progettista, il quale, dopo aver svolto le analisi e gli accertamenti preliminari sull'opera, procede per analogia con altre esperienze e con le "regole dell'arte" a lui note. Tuttavia, il criterio dell'analogia e quello delle esperienze maturate non sono sempre sufficienti a garantire i risultati cercati. Ciò dipende dalla **grande varietà delle situazioni** nelle quali si attuano gli interventi, vale a dire dai diversi comportamenti dei materiali costruttivi, dalle particolari forme evolutive dei processi d'alterazione, dallo sviluppo della produzione tecnologica che offre materiali e procedure sempre migliori, e da altre cause più o meno accidentali che **fanno di ogni cantiere un caso singolare**. Inoltre, durante le indagini preliminari non sempre (anzi, per la verità, raramente) è possibile un accertamento completo ed esauriente dello stato della fabbrica, se non altro perché sfuggono alle analisi tutte le parti inaccessibili o nascoste.

Per ovviare alle possibili conseguenze negative di un procedere tecnico troppo rigido, è sempre opportuno **testare i prodotti e le metodiche di esecuzione**, prima di una loro applicazione estensiva.

Va considerato, poi, che mentre alcuni lavori di restauro sono prevedibili nei risultati tecnici e nell'impatto visivo che determinano, altri vanno **calibrati dopo opportune prove**. Ad esempio, una coloritura decisa in sede di progetto non può essere eseguita senza idonei test; oppure, una pulitura con acqua nebulizzata o con idrosabbatura non può essere immediatamente estesa a tutte le superfici da trattare, senza alcune prove orientate a studiarne gli effetti in funzione della durata dell'applicazione, del tipo di inerti impiegati e degli altri parametri che concorrono al conseguimento del risultato; e ancora, la stesura di una sostanza impregnante, data a pennello o a spruzzo o con altra tecnica, va attentamente collaudata su aree campione e su queste andranno eseguite prove di laboratorio per accertare la profondità di penetrazione del prodotto, l'omogeneità di diffusione e l'effetto consolidante o protettivo cercato.

È sempre opportuno, di conseguenza, includere nel **programma dei lavori** un certo numero di prove, talvolta anche in forma di monitoraggio, con lo scopo di studiare preventivamente gli effetti di determinati interventi o trattamenti e di poter ricorrere agli aggiustamenti o alle varianti del caso.

APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

La varietà delle situazioni che si possono creare in un cantiere di restauro non permette di formulare un elenco esaustivo delle prove e dei controlli da eseguire durante i lavori. Ci si limita, in questa sede, a fornire alcune indicazioni che vanno intese essenzialmente come **criteri di orientamento**. Lo schema che segue ha il fine di delineare, a titolo esemplificativo, alcune delle possibili occasioni in cui è opportuno procedere con prove, collaudi parziali e controlli.

1) Alcuni **fenomeni di degrado** hanno carattere evolutivo e si presentano con aspetti che possono variare anche nel breve tempo di svolgimento del cantiere. È il caso, ad esempio, della flora infestante macro e microvegetale il cui ciclo vitale si svolge nell'arco delle quattro stagioni, oppure degli insetti parassiti che attaccano i legni e che hanno cicli riproduttivi e di sviluppo in tempi noti. I trattamenti disinfestanti devono essere, allora, sottoposti a una serie di osservazioni periodiche per valutarne l'efficacia e prendere le misure conseguenti ai risultati man mano acquisiti. Naturalmente, la serie dei test eseguibili è ben più lunga, ma i casi richiamati servono, appunto, a delineare l'orizzonte delle circostanze che possono richiedere un attento controllo degli interventi, prima, durante e dopo la loro attuazione.

2) Il **controllo delle metodiche che aggiungono materia a quella esistente** riguarda le impregnazioni, le applicazioni a tasche o con iniezioni, le velature protettive e simili. In questi casi occorre procedere in due modi: con esami di laboratorio che accertino l'adesione o la penetrazione delle sostanze aggiunte o con prove in situ, anche se queste ultime sono spesso di difficile esecuzione e danno risultati incerti. Ciò avviene, soprattutto nei trattamenti a iniezione o a tasche.

3) Un altro gruppo di interventi riguarda le **operazioni di sottrazione di materiale** e comprende le puliture, le disincrostazioni, le disinfestazioni da piante o microvegetali ecc. Qui, le prove riguardano in parte minore gli effetti visivi dell'intervento, coinvolgendo invece la sua efficacia. Ad ogni modo, il controllo delle diverse tecniche operative va eseguito su campioni rappresentativi delle diverse aree degradate.

4) Infine c'è una categoria di lavori, il cui risultato è legato all'**impatto visivo dell'intervento**, oltre che all'efficacia tecnica. Vi rientrano talune opere di finitura, come le tinteggiature, le scialbature, le velature, l'eliminazione di macchie deturpanti e simili. In alcuni casi, come quello delle coloriture, la prova eseguita su un campione ridotto non è sempre probante, perché la percezione di una piccola superficie di colore è ben diversa da quella di una grande estensione del medesimo colore. In questi casi può essere più utile ricorrere a **tecniche di simulazione** (v. DOC06 - Simulazione degli interventi di restauro).

PRINCÌPI FUNZIONALI DI BASE

S'intende per simulazione degli interventi di restauro la costruzione virtuale dei risultati esecutivi degli interventi mediante l'**elaborazione d'immagini digitali**. Questa metodica consente una visualizzazione realistica delle superfici del manufatto prima e dopo il restauro, grazie alla quale è possibile sottoporre ad esame e a confronto visivo soluzioni diverse, riducendo il rischio di scelte che potrebbero rivelarsi del tutto o parzialmente inadeguate una volta realizzate sul corpo del manufatto.

Il **prefigurare gli effetti finali dell'intervento**, prima di agire direttamente sull'opera, costituisce uno dei caratteri peculiari di questo procedimento. La simulazione va intesa, pertanto, non come un semplice metodo di rappresentazione, ma come il risultato visivo di un procedimento di analisi teso a ridurre lo scarto tra le previsioni e i risultati finali dell'intervento.

Schematicamente, si può affermare che le simulazioni assolvono un **ruolo predittivo e prescrittivo**, in quanto possono avere sia la funzione di prevedere e indirizzare gli esiti dell'intervento, sia quella di prescrivere procedimenti esecutivi, indicando, attraverso l'immagine virtuale, il risultato che s'intende raggiungere.

La pratica delle simulazioni si rivela, in sostanza, come un mezzo che può essere **utilizzato lungo tutto l'iter dell'intervento** di conservazione.

- a) **In fase di orientamento** e definizione delle varie proposte di intervento, sino a optare per la più idonea, verificandone i possibili effetti in una dimensione assolutamente “indolore” per il manufatto.
- b) **Come mezzo di comunicazione** (ad esempio verso la committenza), in quanto l'immediatezza dell'immagine fotografica ne consente la lettura anche a soggetti non particolarmente preparati alla comprensione dei canonici elaborati grafici.
- c) **Per trasmettere con chiarezza i contenuti tecnici**, giacché riduce la possibilità di interpretazioni arbitrarie o riduttive. La simulazione, infatti, integra e chiarisce visivamente prescrizioni tecniche che si presentano talvolta ambigue e generiche, e a tal fine può essere utilizzata anche nei capitolati.

APPLICAZIONE DELLA TECNICA E FASI OPERATIVE

La simulazione su base fotografica di un restauro si basa, come si è detto, sull'elaborazione d'immagini digitali di un manufatto. Pertanto, bisogna disporre innanzitutto di una o più immagini dello stato di fatto del manufatto, e poi, in base agli interventi che s'intendono analizzare virtualmente, delle riprese fotografiche dei materiali necessari per la simulazione.

Tali materiali sono costituiti essenzialmente da una serie di **campioni** realizzati ad hoc (malte, intonaci, velature, ecc.) necessari per elaborare le integrazioni di materia, e dai **provini** dei trattamenti che si intendono valutare, in primo luogo le puliture.

L'intervento digitale, pur essendo "immateriale", deve infatti entrare nel merito della esecuzione reale, costringendo ad un controllo preliminare delle tecniche e dei materiali che si intendono adottare.

Gli interventi possono essere simulati a **diversa scala di approfondimento**, secondo le finalità di ogni elaborazione specifica, ed essere circoscritti a determinati dettagli o interessare l'intero manufatto. È comunque opportuno che il procedimento sia impostato secondo una successione di fasi che vanno dal particolare al generale, in modo da analizzare prima gli effetti puntuali degli interventi per poi studiarne le conseguenze sull'insieme del manufatto.



Figura 1a • Lacuna in un dipinto murale. Accanto alla lacuna è visibile il campione di intonaco con il quale si intende elaborare la simulazione.



Figura 1b • Simulazione della integrazione della lacuna effettuata utilizzando il campione di intonaco fotografato contestualmente.



Figura 1c • Integrazione reale della lacuna effettuata con il medesimo intonaco del campione utilizzato nella simulazione. Come si può verificare confrontando le due immagini, la simulazione della integrazione è sufficientemente “realistica”.

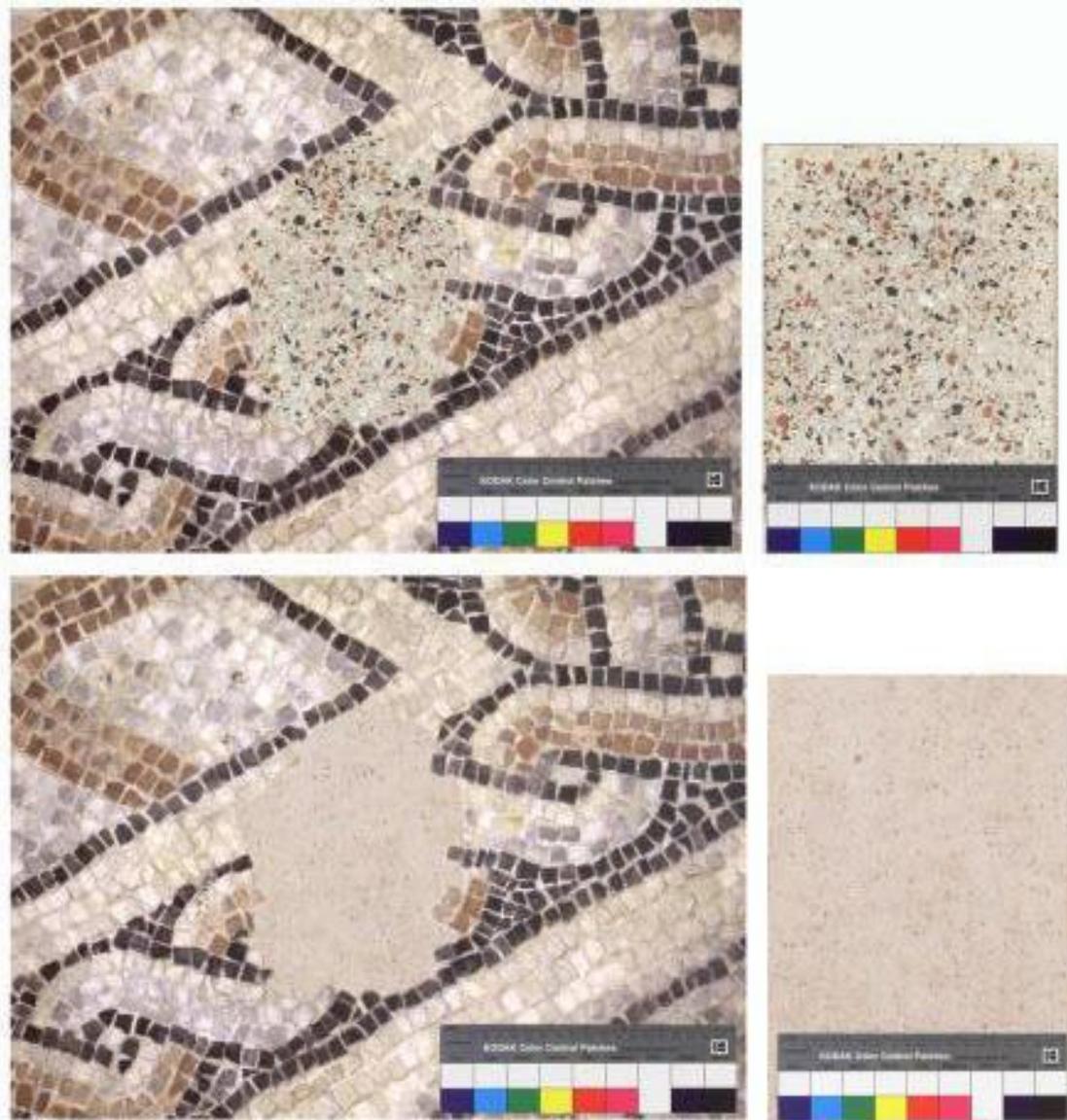


Figure 2a -2b • Simulazione dell'integrazione di una lacuna in un mosaico con due tipi di malta. Le immagini dei campioni di malta, una volta importate nel file generale, sono state scalate in modo da far coincidere i due riferimenti metrici, per cui le immagini sono nella stessa identica scala.

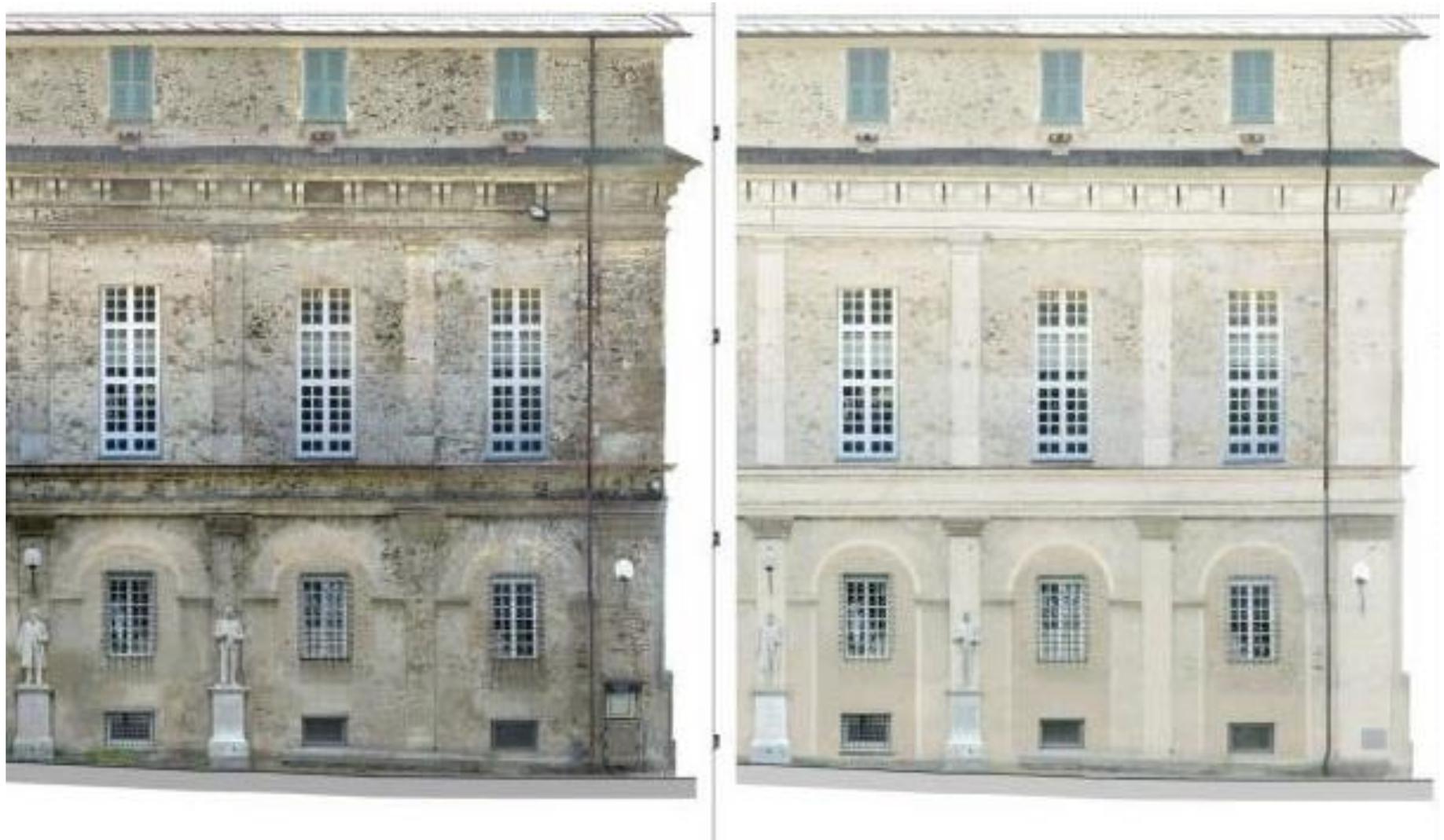


Figura 3 • Simulazione realizzata elaborando il fotopiano ad alta risoluzione di una facciata. A sinistra: porzione della facciata prima della elaborazione; a destra la stessa porzione dopo la simulazione. In particolare sono stati elaborati gli interventi di: rimozione di elementi vari, pulitura delle superfici, risarcitura dei giunti, stesura di una velatura a calce, stesa più accentuata sulle modanature. I vari interventi sono stati prima simulati a livello locale per poi essere estesi a tutta la facciata.

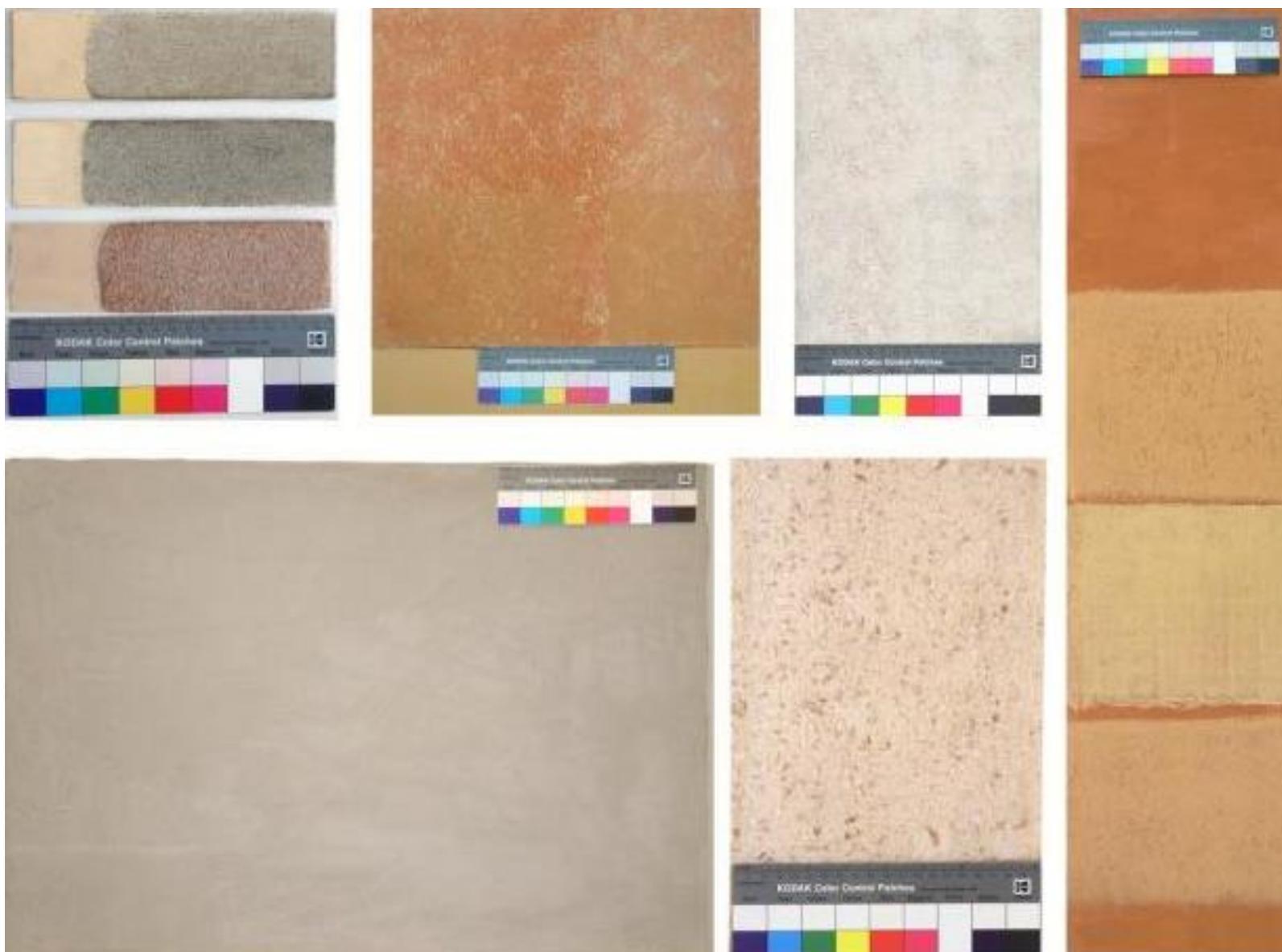


Figura 5 • “Materiali virtuali”: campioni di malta, di intonaco e di velature di diversa composizione e finitura superficiale utilizzabili per la simulazione delle integrazioni delle lacune, delle risarciture della malta di allettamento, della stuccatura di lesioni, rotture, mancanze, ecc.



Figura 6 • Fase di esecuzione della pulitura di un basamento in pietra artificiale.



Figura 7 • Saggio di pulitura reale della superficie in pietra artificiale.



Figura 8 • Simulazione della pulitura dell'intero basamento elaborata schiarendo i valori cromatici in base al risultato ottenuto con la pulitura reale.



Figura 9 • Particolare di mosaico parietale prima della simulazione della pulitura (desalinizzazione).
La superficie delle tessere si presenta opaca e biancastra per la presenza di sali.



Figura 10 • Simulazione della pulitura elaborata utilizzando come riferimento le superfici realmente trattate con impacchi di fogli di carta giapponese e acqua deionizzata. In questo caso, a differenza di quanto accade con la maggior parte dei trattamenti di pulitura che determinano uno schiarimento più o meno accentuato delle superfici, la desalinizzazione, rimuovendo la patina biancastra, rende le tessere complessivamente più scure e brillanti, effetto che la simulazione cerca di riprodurre.

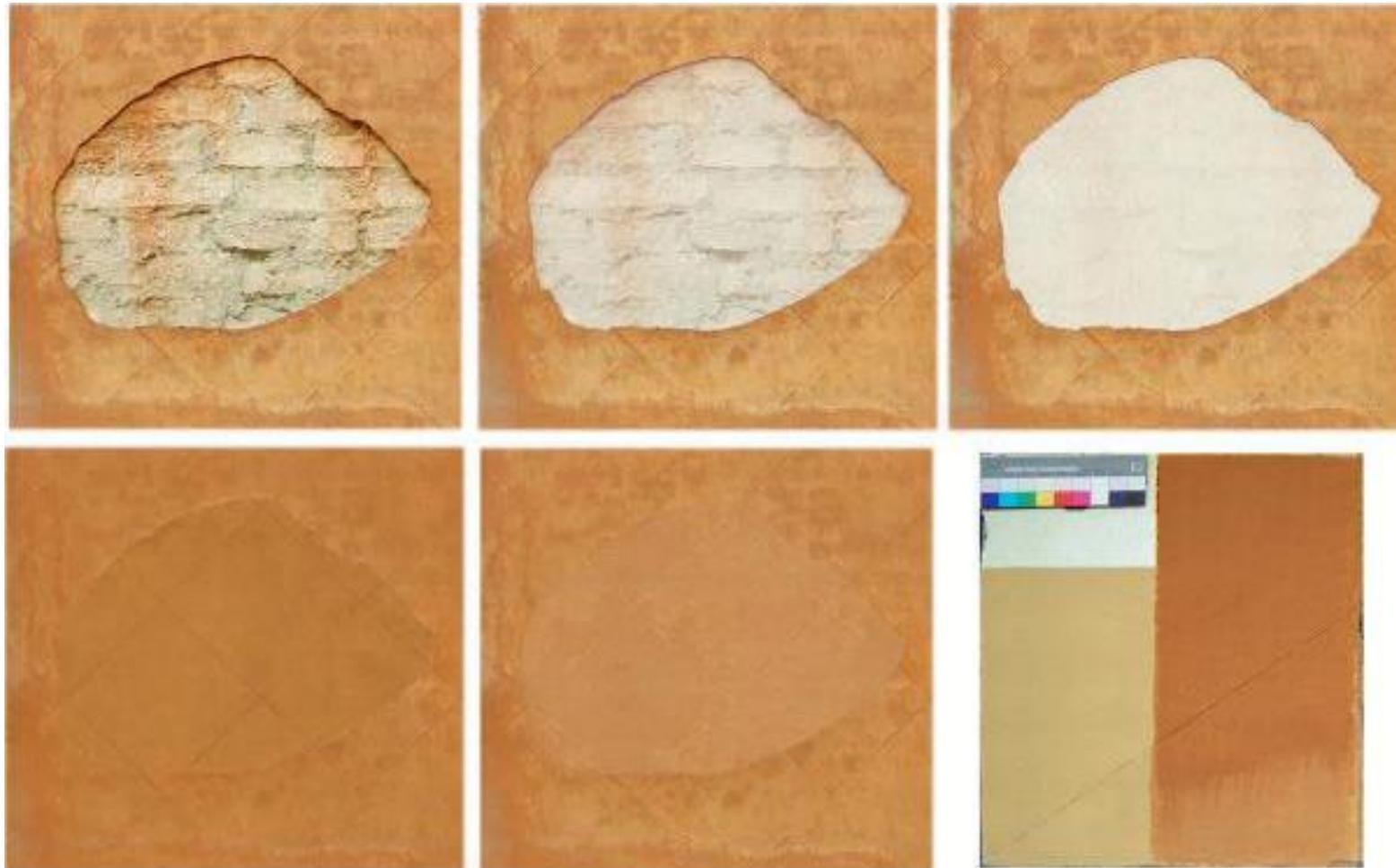


Figura 11 • Simulazione della integrazione della lacuna con le finiture importate dal pannello in basso a destra e realizzate in base allo studio cromatico della facciata. Da sinistra in alto: riquadro con la lacuna di intonaco; stesura di uno “strato non strato”; integrazione con intonaco steso leggermente sottolivello; velatura realizzata con due stesure a pennello di ocre rossa sullo sfondo di ocre gialla (parte alta della fascia rossa del pannello); velatura realizzata con una stesura a pennello di ocre rossa sullo sfondo di ocre gialla (parte in basso più chiara della fascia rossa). Negli ultimi due casi è stata simulata l’incisione del motivo a rombi e una leggera velatura rossa dell’intonaco originale.



Figura 15 • Mancanze in un basamento in pietra artificiale.



Figura 16 • Simulazione della integrazione delle mancanze elaborata con un impasto Distinguibile dall'originale, con una tonalità leggermente più rosata.



Figura 17 • Simulazione della integrazione delle mancanze elaborata con un impasto simile all'originale, ma applicata con un leggerissimo sottolivello.



Figura 18 • Simulazione della stesura di una malta di protezione di tonalità simile all'impasto originale, senza la ricostruzione dei volumi.



Figura 19 • Castel del Monte, sala VIII, primo piano, parete in conci lapidei con tracce del rivestimento parietale originale in lastre marmoree (alloggiamenti per le grappe di fissaggio delle lastre, grappe intere o spezzate, piombo ecc.).

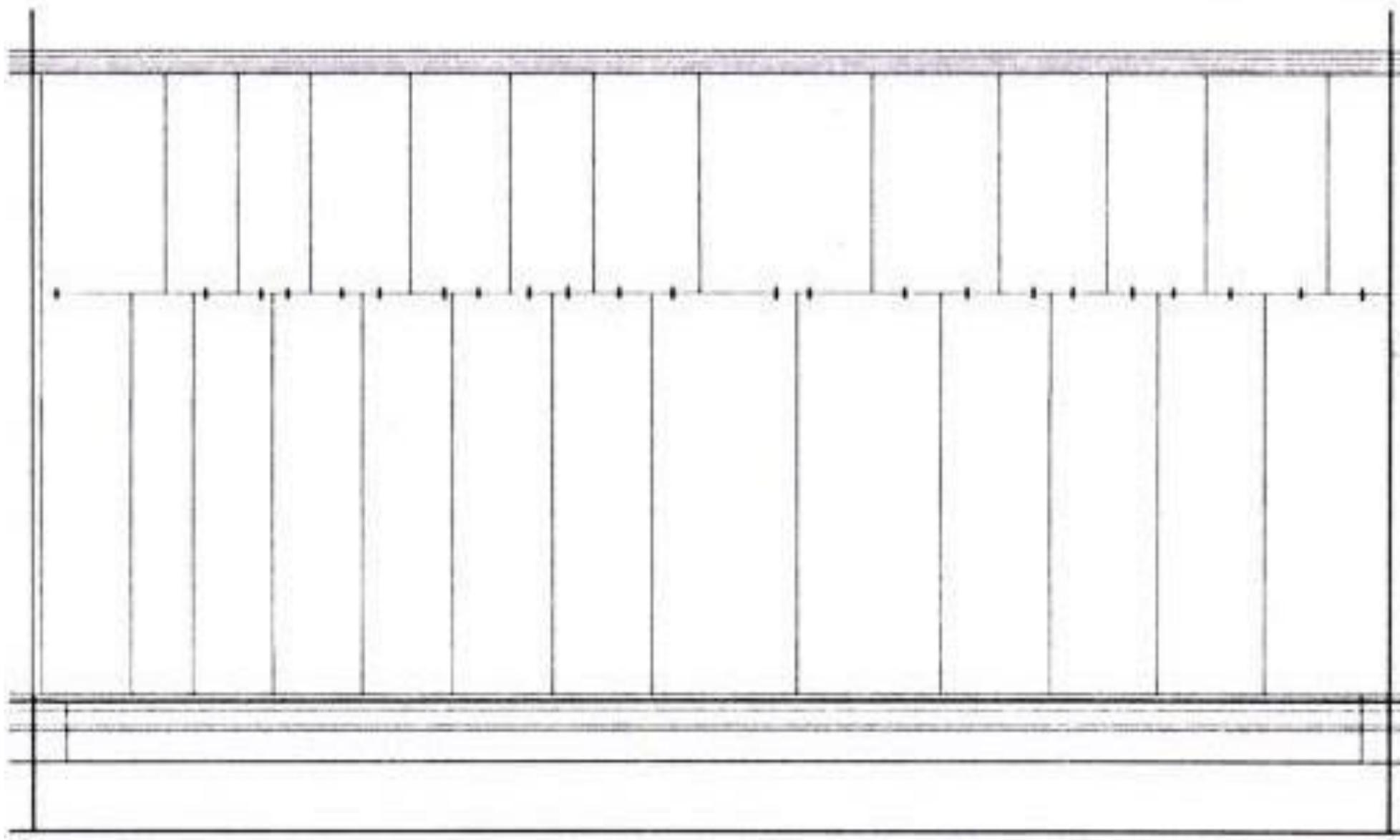


Figura 20 • Rappresentazione grafica di tipo vettoriale dell'ipotesi ricostruttiva del rivestimento parietale in lastre marmoree effettuata in base alle tracce presenti sulla parete.



Figura 21 • Simulazione fotografica della medesima ipotesi ricostruttiva del rivestimento in lastre marmoree raffigurata nell'immagine precedente. L'elaborazione digitale, oltre a essere di più immediata comprensione, fornisce una serie di informazioni sui materiali (venature, caratteristiche cromatiche, effetti chiaroscurali ecc.) che non è possibile trasmettere con un elaborato grafico, necessariamente più schematico.