

Il Rilievo fotogrammetrico con il Drone alla Diga di Ridracoli

di Marco Barberini
e Matteo Rubboli

La tecnologia SAPR ben si integra con altre tecniche di rilievo in attività svolte in ambienti morfologicamente complessi. In questo articolo divulghiamo l'attività di documentazione fotogrammetrica eseguita presso la Diga di Ridracoli in provincia di Forlì Cesena.

Da alcuni anni è in essere una Convenzione di Ricerca tra il DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale) dell'Università di Perugia e la Società Romagna Acque – Società delle Fonti S.p.a concernenti attività di ricerca sulla Diga di Ridracoli. Tra le diverse attività tecnico scientifiche previste dalla Convenzione, il DICA ha svolto la modellazione statica del corpo diga ad elementi finiti (FEM) utilizzando un modello geometrico precedentemente ricostruito: tale modello, terminate le prime simulazioni, è risultato abbastanza affidabile e adeguatamente approssimato per le analisi standard. Non è stato però possibile verificare l'esatta rispondenza del modello geometrico alla realtà, in quando la base geometrica di tale modello di riferimento è riconducibile a documenti non sempre completi del progetto esecutivo della diga e mediante punti singolari dello stato finale del manufatto.

E' sorta dunque l'esigenza e la possibilità di testare la corrispondenza tra la geometria del modello e la reale dimensione del manufatto, che rappresenta un momento centrale di validazione delle simulazioni svolte e delle successive analisi, in grado di ridurre l'indeterminatezza dei risultati attesi. In diversi incontri di coordinamento del Comitato Tecnico Scientifico, è stata valutata la possibilità di effettuare con tecnologie appropriate il rilievo integrale del manufatto con una doppia finalità: rilevare la geometria allo stato attuale, da impiegare come base di riferimento per ogni attività tecnica futura anche collaterale a quella specifica della Convenzione; rappresentare con una documentazione fotografica ad alta risoluzione, in un sistema geo-referenziato, lo stato esterno dei paramenti da impie-

gare come documentazione di riferimento per evidenziare nel tempo l'eventuale evoluzione dello stato di conservazione della diga.

La soluzione al problema: la fotogrammetria con il Drone

Sulla base delle esigenze di conoscenza reale del manufatto è stata predisposta un'attività sperimentale di rilievo e modellazione dell'intero corpo diga e di ampie porzioni dell'orografia di imposta dello sbarramento. La prima fase della sperimentazione, del rilievo e della ricostruzione 3D è stata focalizzata sui seguenti punti: impiegare i droni per effettuare il rilievo fotografico ad alta risoluzione del paramento emerso della diga e di una porzione significativa delle imposte della stessa, a monte e a valle dello sbarra-





mento artificiale; effettuare la ricostruzione 3D dell'intero corpo diga per mezzo di scansione da foto con la metodica denominata "Structure from Motion"; restituire un congruo numero di sezioni orizzontali e verticali del corpo diga nonché un'ortofotopiano ad alta risoluzione dell'intero impianto. Per queste attività la Società Romagna acque S.p.a. ha predisposto un articolato bando di gara selezionando una serie di società attive nell'ambito dell'uso dei droni e con capacità professionali idonee alla predisposizione delle offerte, che è stato redatto in relazione ad un Disciplinare tecnico contenente le specifiche di esecuzione del lavoro, la restituzione dei prodotti informatici e soprattutto le tolleranze cui attenersi nell'ottenimento dei risultati. Italdron Srl è risultata segnataria

dell'incarico di rilievo e ricostruzione 3D. La seconda fase della sperimentazione ha coinvolto direttamente il DICA nell'attività di controllo del metodo di rilievo, verifica e validazione dei dati acquisiti. Per conseguire questi risultati si è operata la validazione del modello 3D Mesh da Dense Point Cloud ottenuto tramite rilevamento con APR, effettuato con strumentazione topografica di precisione (stazione totale) e laser scanner, articolando le attività in 3 step. Il primo step è consistito nella comparazione tra le coordinate X,Y e Z dei Ground Control Points (GCP) ottenute rispettivamente dal rilevamento diretto con stazione totale e dal modello digitale rilevato con APR. Il secondo step ha coinvolto la comparazione tra le coordinate X,Y e Z di punti naturali

ottenuti rispettivamente dal rilevamento diretto con stazione totale e dal modello digitale rilevato con APR. In particolare sono stati impiegati per la validazione particolari riconoscibili inequivocabilmente sulla superficie pavimentata, su manufatti in calcestruzzo in generale e punti sul terreno naturale. Nel primo caso (superfici ben definite) il valore medio delle differenze di coordinate nelle tre componenti X, Y e Z fra le due determinazioni è risultato coerentemente compreso tra ± 0.03 metri, mentre nel caso di terreno naturale il valore medio delle differenze di coordinate nelle tre componenti X, Y e Z fra le due determinazioni è stato fissato tra ± 0.05 m. Come terzo ed ultimo step, per porzioni di superfici pari a varie decine di metri quadrati è stato eseguito un controllo basato sull'impiego di strumentazione laser scanner terrestre. Nello specifico sono state determinate le distanze tra punti acquisiti con laser scanner (precisione sub-centimetrica) ed il relativo modello 3D Mesh, i dati trattati con software scientifici e i confronti effettuati sintetizzati in forma tabellare (numerica e statistica) e grafica.



Pregi e peculiarità dell'utilizzo dei SAPR

L'uso delle tradizionali metodologie di rilievo non è risultato idoneo per l'esecuzione dell'acquisizione dello stato di fatto della diga, principalmente in relazione alla dimensione dello sbarramento, della conformazione orografica delle spalle, e non ultima la particolare doppia curvatura policentrica che descrive sia il paramento di valle sia quello di monte della diga. La diga di Ridracoli è infatti definita tecnicamente come una diga ad arco/gravità, ossia una costruzione che reagisce alla spinta dell'acqua grazie alla propria forma ad arco ed al proprio peso.

Con un'estensione del coronamento di 432 metri (sul quale corre una strada carrabile a doppia corsia) ed un'altezza di 103,5 metri, il rilevamento con laser scanner e la strumentazione topografica tradizionale avrebbero sicuramente comportato un notevole numero di stazioni per coprire tutte le superfici da rilevare, con notevole impegno di personale e lunghi tempi di esecuzione, con tutte le difficoltà ed i rischi connessi allo spostamento e posizionamento della strumentazione in zone non protette verso la caduta nel vuoto. L'uso dei droni ha enormemente semplificato il lavoro topografico di base per poter geo-referenziare il modello 3D, riducendo al minimo le stazioni necessarie, e principalmente consentendo di posizionarle in luoghi di agevole e sicuro accesso.

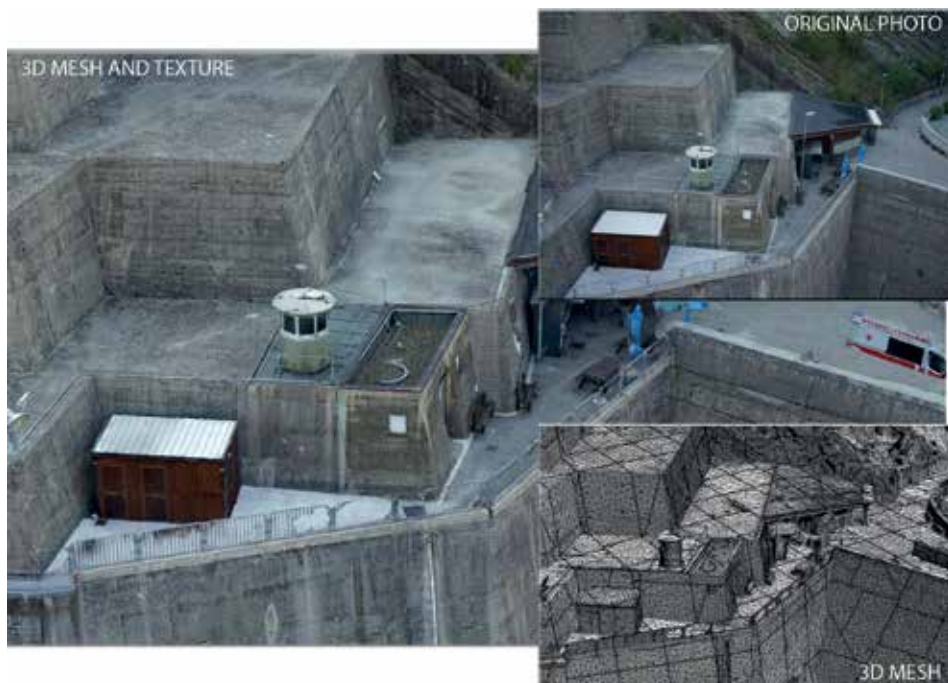
L'altro aspetto che ha consentito di poter fare affidamento sui droni è stato senza dubbio la possibilità di poter montare un sensore fotografico da 36 Megapixel, che fotografando la struttura da distanze anche molto ravvicinate (fino al dettaglio

di 2/3 metri nei punti maggiormente indagati), ha consentito di realizzare un rilievo fotografico di pregio tecnico dell'intera struttura, totalmente assente prima dell'esecuzione del lavoro, e base di paragone per le future operazioni di comparazione con successivi rilievi.

Preparazione del lavoro

La pianificazione delle operazioni di volo ha richiesto numerose riunioni per poter coordinare l'intensa attività da svolgersi sul campo. In primo luogo la vastità dei manufatti da rilevare ha necessitato un attento studio dei tempi di volo, delle distanze di presa fotografica e delle ottiche da utilizzarsi. Parallelamente si è dovuto tener conto dei diversi materiali da rilevare e successivamente modellare (calcestruzzo per i manufatti, roccia sedimentaria, terreno vegetale, vegetazione arbustiva ed arborea, acqua). L'insieme di tutti questi fattori è stato poi correlato all'esposizione ed all'illuminazione che gli elementi avrebbero avuto in ogni fase del rilievo, in quanto gli algoritmi dei software alla base delle elaborazioni per la ricostruzione 3D risentono fortemente delle differenze di cromatismo che rappresentano i medesimi oggetti.

Eseguire un ottimo rilievo fotografico non è di per sé garanzia della possibilità di poter ricostruire un modello 3D, ma occorre un attento ed ordinato studio delle caratteristiche della macchina fotografica impiegata, del soggetto, della posizione relativa tra soggetto e drone e delle condizioni d'illuminazione e trasparenza dell'aria. Gli ultimi parametri sono stati la definizione delle immagini finalizzate alla ricostruzione 3D e quelle relative all'indagine dei dettagli costruttivi. Tenendo conto di tutti i fattori sopracitati è stato infine predisposto un Piano di Volo (condiviso con Romagna acque S.p.A. e con il DICA) relativo al rilevamento sia del manufatto della diga sia delle parti spondali (destra e sinistra, monte e valle) e successivamente in parte modificato sul posto in relazione alla logistica ed all'effettivo inquadramento delle porzioni di territorio da parte delle fotocamere. Tali modifiche non hanno comportato sostanziali ritardi nell'esecuzione dei rilievi in quanto ampiamente nel range dell'operatività di Italdron, sia per quanto attiene a mezzi ed attrezzature sia per quanto attiene a capacità tecniche di gestione di tali situazioni "di cantiere".



Posizionamento dei punti GCP

Il posizionamento dei 218 Target previsti ha comportato un'attività significativa e coordinata tra Italdron, il DICA e Romagna Acque S.p.a., allo scopo di poter posizionare gli stessi nei migliori punti possibili, compatibilmente con le esigenze di sicurezza per l'accesso alle aree manifestate dalla Stazione Appaltante. Unitamente a ciò un altro vincolo è stato posto per il metodo di fissaggio e rimovibilità degli stessi (l'invaso e lo sbarramento sono inseriti entro il perimetro del Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi); parte dei Target sono stati posizionati in posizioni stabili e durature nel tempo al fine di garantire la ripetibilità delle misure anche in momenti successivi senza dover ripetere le attività di misurazione topografica, non precludendo comunque la facile rimovibilità. Un aspetto particolare è stata l'impossibilità di poter apporre Target sul paramento di valle ma solo sul perimetro (coronamento, pulvino, porzioni accessibili delle spalle) stante la doppia curvatura dell'arco della diga.

Svolgimento lavoro pratico

Il lavoro sul campo è stato svolto durante 6 giornate differenti. Le prime due giornate sono

state dedicate al posizionamento dei punti Marker e la terza giornata al rilievo con il drone.

A fronte dell'abbassamento dell'invaso sono stati nuovamente effettuati, in autunno, i rilievi fotogrammetrici delle parti che risultavano sommerse durante il periodo estivo.

A conclusione del lavoro sono state acquisite 6.000 fotografie con un totale di 23 voli complessivi e una durata media del volo del drone di 25 minuti. 218 sono i punti target posizionati unitamente ad un totale di oltre 500 punti naturali rilevati.

Svolgimento della post produzione secondo la metodica "Structure from Motion"

La ricostruzione del modello 3D secondo una Nuvola di Punti condivisibile in formato .las per consentire la fase di verifica e validazione del metodo proposto è avvenuta secondo la sequenza logica seguente:

- 1) Inserimento delle fotografie nel software ContextCapture di Bentley
- 2) Controllo dei target nelle fotografie, loro numerazione coerente col rilievo topografico e attribuzione di Coordinate per la georeferenziazione
- 3) Fase di allineamento Fotografie

- 4) Costruzione Nuvola di Punti a bassa densità
- 5) Pulizia del rumore e affinamento del modello
- 6) Costruzione nuvola di punti ad alta densità
- 7) Pulizia del rumore residuo e affinamento del modello
- 8) Costruzione Mesh 3D
- 9) Inserimento delle Nuvole di Punti e delle Mesh 3D nel software Microstation di Bentley per la georeferenziazione e la manipolazione finale.

Al fine di poter conseguire la validazione dei modelli 3D realizzati, sono state inserite le coordinate di una sola parte dei punti disponibili dal rilievo topografico di precisione, mentre la rimanente è servita come verifica e controllo al DICA.

Validazione del rilievo da parte dell'Università di Perugia

Al fine di validare i dati fotogrammetrici rilevati con il SAPR, è stata condotta una vasta campagna di misura basata sull'impiego di strumentazione topografica Stazione Totale (TS30 di Leica-Geosystems), satellitare Gps (Leica 1230 di Leica-Geosystems) e Laser Scanner (Z+F 5010 di Zoeller Fröelich). Per quanto riguarda il rilevamento topografico è stata definita una rete primaria costituita dai 4 vertici già in uso a Romagna Acque S.p.A., materializzati in maniera stabile e coincidenti con i pilastri impiegati per il monitoraggio periodico della diga. Successivamente è stata definita una rete secondaria di punti, alcuni dei quali sono stati materializzati con chiodi infissi al suolo, e collegata alla rete primaria attraverso misure topografiche.

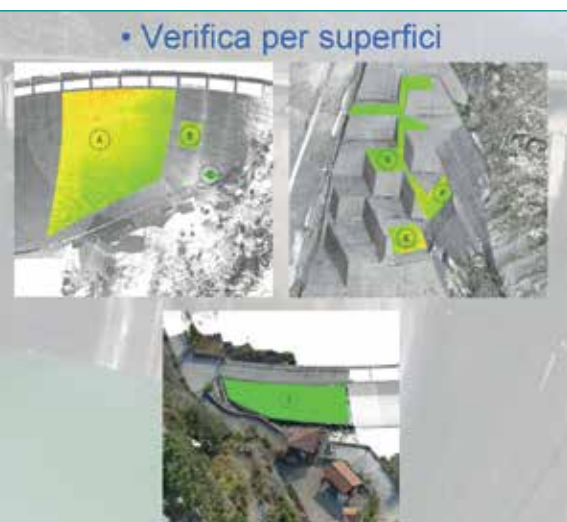


A partire dalla rete primaria e secondaria sono stati rilevati complessivamente 335 punti di dettaglio, comprendenti marker e punti naturali. Le misure sono state effettuate contestualmente alle acquisizioni dei fotogrammi da APR al fine di disporre di dati temporalmente omogenei. I 4 vertici della rete primaria sono stati stazionati con strumentazione satellitare GPS, e le coordinate ottenute sono state trasformate nel sistema cartografico Gauss Boaga e quote s.l.m. al fine di consentire una corretta georeferenziazione a livello nazionale dell'intero rilevamento. Per la trasformazione è stato impiegato un grigliato fornito da IGMI riferito al relativo vertice di Santa Sofia (FC) situato ad alcune centinaia di metri dal coronamento della diga. Successivamente i vertici della rete primaria e di quella secondaria sono stati stazionati con strumentazione topografica di precisione al fine determinare le coordinate est e nord, la quota dei punti di dettaglio e in parte da punti naturali impiegati per la validazione dei risultati. Al fine di migliorare l'accuratezza delle coordinate dei punti misurati è stato adottato uno schema di misura "iperdeterminato", e le osservazioni acquisite sono state trattate in maniera

rigorosa con software scientifico di compensazione ai minimi quadrati di misure topografiche. Dai risultati ottenuti si è evinto che la deviazione standard di ogni singolo punto è risultata inferiore, nelle 3 componenti Est, Nord e Quota, a 1.0 cm e in media a 0.7 cm, valori che hanno confermato l'idoneità dei suddetti punti per essere impiegati per la georeferenziazione dei fotogrammi da APR e per la validazione del modello stesso. Per quanto riguarda il rilievo laser scanner sono state eseguite complessivamente 9 postazioni di acquisizione al fine di poter rilevare la maggiore superficie possibile di paramento sia a monte sia a valle del coronamento. Tutte le acquisizioni sono state effettuate con scanner Z+F 5010, e le scansioni sono state registrate utilizzando i marker impiegati per la georeferenziazione del modello fotogrammetrico da APR al fine di garantire la perfetta corrispondenza dei due dati oggetto di confronto. I valori di deviazione standard e i valori medi dei residui sono risultati inferiori alle accuratezze e deviazioni standard delle coordinate topografiche e pertanto le scansioni sono state ritenute idonee per essere adottate come scansioni di riferimento. In merito alla fase vera e propria di validazione dei dati acquisiti da APR sono stati impiegati, in qualità di riferimento, i marker, i punti naturali di coordinate topografiche note e i punti da laser scanner. Le verifiche effettuate sono state suddivise in 3 fasi: verifica dei punti ossia la comparazione tra punti topografici e punti singoli estratti da Dense Point Cloud (il controllo puntuale consiste nella comparazione tra due set di coordinate relative ai marker e ai punti naturali misurati, con il primo set composto

dalle coordinate di riferimento determinate con strumentazione topografica mentre il secondo costituito dalle coordinate degli stessi punti misurate sul modello Dense Point Cloud generato tramite fotomodellazione); verifica delle linee, il confronto tra sezioni estratte da laser scanner e Dense Point Cloud (la verifica per linee consiste nella comparazione tra sezioni orizzontali, curve di livello, estratte rispettivamente dalla nuvola di punti ottenuta da laser scanner e quella ottenuta da APR; nella comparazione la nuvola di punti laser scanner è stata assunta come Reference mentre la Dense Point Cloud da APR è stata assunta come Compared); verifica superfici ossia la mappatura differenze tra laser scanner e Dense Point Cloud (la verifica superfici si basa sulla verifica di un certo numero di campioni rappresentativi dell'intera superficie rilevata al fine di verificare l'accuratezza del modello globale nel suo complesso; il confronto tra i due insiemi di dati ha fornito le cosiddette "mappe delle differenze" in grado di fornire una rappresentazione visiva intuitiva ed immediata degli scostamenti tra le due superfici grazie anche all'istogramma delle distribuzioni ad esse associate).

Al termine del processo di verifica e validazione, Italdron ha ottenuto un ottimo livello di superamento delle prestazioni attese per quanto attiene la fase propria del rilievo (posizionamento target, piano di volo, metodica del lavoro, etc.), ottenendo al contempo un'elevata qualità geometrica e radiometrica del dato acquisto. Per quanto attiene la modellazione 3D effettuata, le immagini sono state elaborate con software basato sulla tecnica Structure from Motion, e la Dense Point Cloud



generata è stata fornita, come previsto, in formato compatibile con ambiente cad (*.las) con densità media superiore a quella richiesta (richiesta = 1 punto ogni 25 cmq / fornita = 1 punto ogni 9 cmq o superiore). La verifica della Dense Point Cloud effettuata impiegando come riferimento un campione totale di 124 punti suddivisi in punti naturali, marker e scansioni laser appositamente realizzate ha fornito risultati compatibili o di qualità superiore rispetto alle specifiche richieste.

Conclusioni

Il modello tridimensionale finalizzato alla gestione proattiva della Diga di Ridracoli serve a simulare il comportamento in funzione di eventuali singolarità strutturali/morfologiche/climatiche segnalate indirettamente dalla sensoristica installata per il monitoraggio del comportamento strutturale (sono

circa 230 gli strumenti impiegati per il monitoraggio del sistema diga). L'Azienda proprietaria ed utilizzatrice di tale modello è Romagna Acque S.p.A. che, in funzione dei rapporti con l'istituto di controllo e vigilanza (Registro Italiano Dighe) può, grazie al supporto del DICA dell'Università di Perugia, effettuare qualunque tipo di analisi, controllo e verifica relativamente ai valori registrati dagli strumenti o simulare il comportamento del modello in relazione alla modifica di parametri fondamentali (modulo elastico del calcestruzzo, temperatura dell'acqua, livello di invaso, azioni sismiche, etc). La considerazione finale è conferma che l'uso dei droni è una tecnologia di uso attuale e assolutamente affidabile, che risulta particolarmente valida in ambienti morfologicamente così complessi e di difficile rilevabilità mediante la strumentazione tradizionale.

BIBLIOGRAFIA

2° Rapporto intermedio 2015 della Convenzione di Ricerca biennale tra Romagna Acque S.p.A. ed il DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale) dell'Università di Perugia. Prof. Ing. Piergiorgio Manciola.

Relazioni Tecniche Area Test e Rilievo Esteso - Modellazioni 3D. Italdron S.r.l. - Ing. Marco Barberini - Geom. Gianluca Rovituro.

Relazione Tecnica attività di supervisione e verifica delle modalità esecutive del Rilievo e dei risultati ottenuti. Studio Tecnico Associato Grassi - Perugia

PAROLE CHIAVE

RILIEVO; FOTOGRA MEMETRIA; APR

ABSTRACT

SAPR technology integrates well with other technologies for survey activities in morphologically complex areas. In this article is presented a case study carried out for the photogrammetric documentation of Ridracoli Dam (Forlì Cesena) In Italy.

AUTORE

ING. MARCO BARBERINI

MATTEO RUBBOLI

ITALDRON SRL

INFO@ITALDRON.COM

WWW.ITALDRON.COM

GISMaker

IL CAD GIS ALLA PORTATA DI TUTTI

VORRESTI UN CAD E GIS INSIEME CONTEMPORANEAMENTE?

GISMaker É LA SOLUZIONE PER TE!

Un solo programma per gestire dati CAD, Layer GIS e dati raster (ortofoto digitali ed immagini da satellite) in un unico ambiente

È semplice ed economico,
ideale per valorizzare il tuo rilievo



SCARICA ora la versione
gratuita di GISMaker su
www.progesoft.com

www.progesoft.com

info@progesoft-italia.com

Tel. 031 810806