

Rilievo dell'Architettura e dell'Ambiente Urbano

prof. Saverio D'AURIA

appunti di Riccardo Maria Polidoro
riccardo.polidoro.org

Il rilievo è una materia molto pratica che ha per oggetto l'acquisizione di dati di partenza per un progetto: più essi sono precisi, più il progetto è ben definito e privo di complicazioni.

Bisogna effettuare un'importante distinzione:

- **Rilevamento:** insieme di operazioni che un tecnico fa per acquisire misure (lineari, angolari...) di un oggetto.
- **Rilievo:** attività critica che contempla l'acquisizione di informazioni - storiche, urbanistiche, di rilevamento e non solo - che porta ad una conoscenza approfondita e globale dell'oggetto; le informazioni acquisite vengono messe in relazione, tipicamente vi si associa una rappresentazione dell'oggetto.

Di centrale importanza nel rilievo è capire come approcciare all'oggetto a seconda della tipologia edilizia e dello scopo dell'operazione: maggiore è la precisione e l'approfondimento, maggiori sono i tempi richiesti e maggiori sono i costi del proprio lavoro; il rilievo di un'abitazione al fine di una ristrutturazione sarà necessariamente meno approfondito del rilievo di un sito archeologico.

- ⚠ Il rilevamento è solitamente l'ultima operazione di un rilievo, attuata dopo un'attenta preparazione e uno studio dell'oggetto per evitare di dover tornare più volte sul sito (con conseguente lievitazione dei costi).
- ⚠ Altro particolare accorgimento è riflettere sul destinatario degli elaborati e come verranno interpretati i dati da chi lavora sul cantiere. Un buon rilievo dunque riduce gli errori progettuali.
- ⚠ Fondamentale è l'acquisizione dell'operazione automatica del cervello di discretizzazione della realtà come abilità critica, per schematizzare e modellizzare un oggetto in funzione degli obiettivi: un rilevamento non va mai effettuato se non si conosce l'oggetto e l'obiettivo dell'operazione.

I significati del termine rilevare sono molteplici; tra i principali per le nostre applicazioni figuremo notare e far notare; occorre mostrare aspetti strutturali o di particolare importanza a seconda dei propri scopi: si evidenzia ciò di cui si vuole avere più informazioni.

Il termine può anche avere l'accezione di comprendere; occorre effettuare una lettura globale dell'opera, traendo la sua realtà complessa: il rilievo non è solo metrico, ma anche tecnologico.

Altra definizione utile è *levare*: l'oggetto del rilievo viene estratto dal luogo in cui si trova e dalla realtà, traducendolo in un modello ridotto e semplificato ove possibile (a seconda dell'obiettivo).

Il rilievo è alla base di molte attività negli ambiti dell'Ingegneria e dell'Architettura, poiché viene impiegato ai fini del restauro, urbanistica, analisi di architetture e strutture esistenti, Storia dell'Architettura, archeologia, vertenze di carattere giudiziario (in qualità di Consulente Tecnico d'Ufficio per un giudice), censimento dei beni (catasto)...

Ricerca vera forma e rapporti dimensionali di un'opera significa:

1. Avere cognizione delle opere da rilevare e scegliere le tecnologie per il rilevamento
2. Effettuare un rilevamento fotografico o metrico
3. Rappresentare l'opera
4. Effettuare una lettura critica dell'opera.

A seconda delle tecniche utilizzate, un rilievo può essere:

- **Diretto:** utilizzato nel caso di oggetti facilmente accessibili, permette un contatto diretto con l'oggetto e un confronto diretto tra unità di misura e oggetto: le dimensioni degli oggetti sono acquisite direttamente, e non ottenute dal calcolo.
- **Indiretto:** contempla misure calcolate indirettamente da processori e sistemi informatici: il contatto tra tecnico, oggetto e misura non è diretto.

Un rilievo si divide in:

1. Fase di campagna:

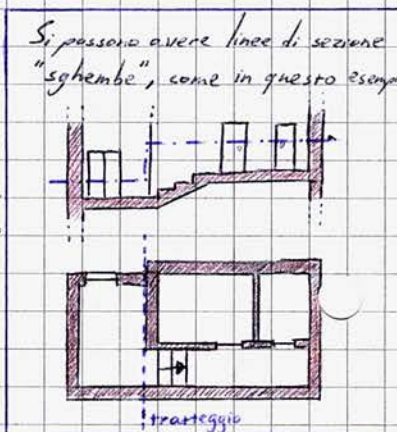
- Progetto di rilievo: conoscenza di fabbricato, oggetto, contesto
- Eidotipi: schizzi a mano libera per comprendere l'oggetto, discretizzarlo e appuntare misure. Δ Deve rispettare le proporzioni!
- Tracciare la fondamentale orizzontale (retta che definisce la linea di sezione della pianta)
- Rilevamento di piante ed alzati
- Eventuale integrazione con altre tecniche (fotogrammetria, laserscanner...)

2. Restituzione grafica

Prima di parlare dei metodi operativi di acquisizione delle misure, occorre definire la **poligonale**, spezzata chiusa che costituisce un riferimento interno e all'interno di un fabbricato. Particolarmente utili nel caso di edifici da inserire in un contesto o isolati, in cui è molto importante che il fabbricato sia bloccato in un sistema di riferimento.

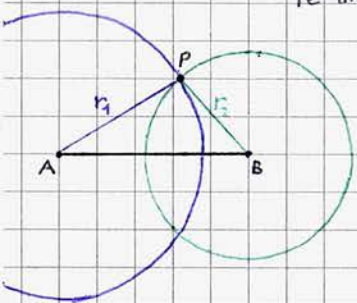
La poligonale è composta da **caposaldi**, punti fissi determinati con criterio che rappresentano punti di riferimento NOTI, con distanze definite.

Δ Tra due caposaldi adiacenti deve esservi **intervisibilità**, ovvero non devono esservi ostacoli visivi. Se un fabbricato è particolarmente voluminoso, i caposaldi permettono la sovrapposizione di più fogli in modo tale da determinare una rappresentazione precisa e coerente.



I metodi operativi di rilevamento sono:

Trilaterazione: da abbinare sempre alla poligonale, è un metodo di rilievo diretto che sfrutta il principio di indeformabilità del triangolo: dati 3 lati, esiste un unico triangolo con detti lati. Da questo principio, definita una lunghezza AB, il punto P è univocamente determinato dall'intersezione delle circonferenze aventi per raggio le distanze misurate e centrate negli estremi del segmento dato.



Il metodo è particolarmente utile per eidotipi con poligonali date da caposaldi posti in posizioni significative delle mura del fabbricato (non necessariamente gli spigoli) da cui bisogna poi ricavare misure parziali e totali, considerando le distanze di alcuni punti significativi dalla base di riferimento in funzione delle misurazioni utili. Dopo aver terminato le misurazioni con la prima base, è possibile considerarne di nuove, discretizzando le distanze e limitando la somma degli errori.

La trilaterazione può anche "bloccare" i vani contigui: applicando il metodo tra due vani differenti è possibile fissare le misure (attenzione all'intervisibilità dei caposaldi!).

Coordinate Ortogonali:

il metodo si basa sull'utilizzo di un sistema di riferimento ad assi orientati ed ortogonali tra loro; viene impiegato prevalentemente nel rilievo di alzati e dettagli architettonici.

Per definire il riferimento occorre definire una retta orizzontale - che determinerà l'asse delle ascisse - ed una ortogonale su cui definire le ordinate.

Successivamente occorre discretizzare la realtà in punti, considerando una scansione regolare sull'asse x e le distanze dalla fondamentale su y ; la coppia di questi dati costituisce l'insieme delle coordinate del punto nel riferimento definito (possono essere negative!).

La definizione di orizzontalità e verticalità viene di norma attuata con livelle ad acqua (che sfruttano il fatto che il pelo libero dell'acqua in vasi comunicanti si attesta alla stessa quota) e fili a piombo.

Le livelle "standard" si classificano in:

• Toriche: determinate da un tronco di toro

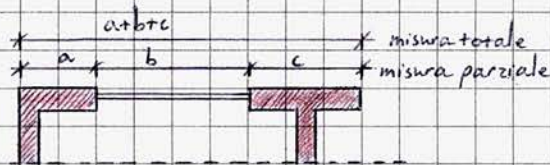


• Sferiche: definiscono solo l'asse verticale

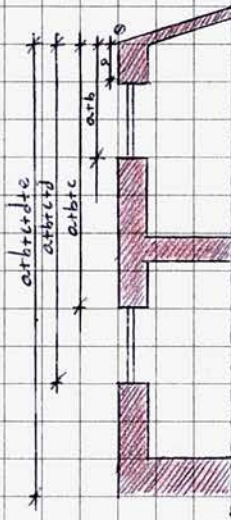


Misure

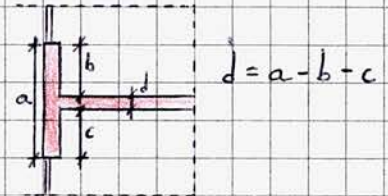
- **Misura parziale:** è la misura lineare di un elemento.



- **Misura progressiva:** tutte le quote partono da uno 0 di riferimento; vengono utilizzate per verificare l'accuratezza delle misure o per misure molto lunghe.



⚠ Alcune misure sono necessariamente indirette, come la misura dello spessore di un solido; vengono adoperate le misure parziali da punti fissi noti.



Rilievo 3D: tecnica di rilievo che prevede l'elaborazione di un modello digitale tridimensionale dell'oggetto rilevato, partendo da tecniche di rilievo indiretto.

Il modello 3D può essere interrogato e misurato, come se si avesse l'oggetto fisico a propria disposizione; è possibile anche editare l'oggetto, ad esempio effettuando una sezione tramite un clipping box, e trasferire vari dati ad altri software, che permettano eventuali restituzioni grafiche di varia natura.

La risoluzione del modello va ragionata in funzione dello scopo del rilievo e della scala in cui rappresentare.

Rilievo Indiretto

Strumenti:

- Macchina fotografica
- Laserscanner

→ producono nuvole di punti; sono tecniche di rilievo di superficie; ogni punto rilevato presenta caratteristiche matriciali, corrispondenti ad una terna cartesiana di coordinate ortogonali, che possono essere relative (sistema di riferimento relativo a un oggetto controllato dal tecnico, ad esempio la stazione da cui si effettua il rilievo) o assolute (georiferite, in un sistema di riferimento comune a più tecnici come ad esempio il sistema WGS).

Il laserscanning e - in particolare - la fotogrammetria richiedono quasi sempre misure assolute, ottenute spesso tramite altre tecniche di rilievo (sia diretta che indiretta, anche il rilievo topografico con una stazione totale) poiché spesso il modello ottenuto è adimensionale; in questo modo il software rielabora l'unità di misura e ricalibra il modello. I punti rispetto ai quali viene praticata quest'operazione si dicono punti di controllo, poiché "controllano" misura e forma (aiutano ad evitare errori di elaborazione delle nuvole di punti nella fase di post processing; ad esempio, pareti monocromatiche - in particolare se bianche o nere - o superfici riflettenti/trasparenti potrebbero determinare forme distorte e curve); vengono solitamente individuati con dei target, elementi bidimensionali e tridimensionali con forte contrasto (spesso bianchi e neri).



Target

Esistono due famiglie di rilievo indiretto:

- Per singoli punti: acquisizione di coordinate di punti specifici individuati dai tecnici con profonda discretizzazione della realtà; occorre un'attenta conoscenza preliminare del manufatto. Si effettua con stazioni totali o ricevitori GNSS (global navigation satellite system, simile al GPS).
- Per superfici di punti: tipico del laserscanning; non occorre alcuna discretizzazione iniziale ma bisogna ragionare attentamente su dove fare stazione (laserscanner) o dove impostare il piano di volo (aerofotogrammetria con drone).

- **Stazione Totale:** Strumento di misura ottico-meccanico dotato di maniglia di trasporto (eventualmente smontabile per l'inserimento di ricevitori GPS per ottenere un riferimento assoluto), un corpo centrale ottico basculante (simile ad un cannocchiale), un corpo macchina che ruota attorno ad un asse verticale, con computer di bordo in grado di definire cartelle di lavoro, operatore del rilievo, origine del sistema di riferimento (di cui due rette sono gli assi di rotazione dello strumento, e la loro intersezione definisce l'origine), nomi dei punti battuti, definizione di più layer con colori (poi riportati in CAD) utile per rilievi più complessi..., viti per rotazione millesimale del corpo macchina. Il terzo asse del riferimento è definito dal tecnico; "sparando" il laser la macchina ottiene una terna costituita da una distanza e due angoli, che attraverso interpolazioni viene trasformata in una terna di coordinate cartesiane.

- **Alidada:** Triangolo di viti per inclinazione di precisione dello strumento (regolano altezze di decimi di mm); la procedura di messa in bolla è ulteriormente coadiuvata da una bolla digitale.

- **Prisma:** specchio catartirangente su un'asta con bolla sferica (eventualmente telescopica e graduata) che funge da target con vari scopi; è fondamentale per il cambio di stazione dello strumento, poiché fissa un caposaldo rispetto al quale è possibile misurare la distanza dei due punti di stazione (per poi spostare la stazione totale dove era il prisma); essendo nota la quota del prisma lo strumento calcola automaticamente il punto a terra (è particolarmente utile in campagna, dove la vegetazione non permette la valutazione del punto a terra). L'oggetto è detto prisma perché dotato di uno specchio prismatico che fa convergere il raggio laser verso il centro, risolvendo problematiche legate al movimento dei due strumenti.



Prisma

- **Treppiedi:** dotato di puntazze metalliche per l'infissione nel terreno (problematiche nel caso di una pavimentazione liscia; in questi casi si utilizza uno strumento costituito da 3 aste di alluminio con asole sui terminali detto stella); presenta un piano di appoggio triangolare livellabile attraverso l'utilizzo di livelle toriche nella direzione di due vertici (in modo tale da misurare la pendenza dovuta al singolo piede).

Per proiettare il centro dello strumento a terra si impiega un filo a piombo o - nel caso della stazione totale - con laser verticale e periscopio laterale (più precisi) per in modo tale da definire il **primo caposaldo** e i successivi mediante prisma. Particolarmente complesso è il posizionamento esatto di uno strumento su un caposaldo.

Se l'oggetto da rilevare è più complesso, occorre la definizione di una poligonale precedente alla battuta di punti.

- **Laser scanner:** batte più di 100 000 punti al minuto, è morfologicamente simile ad una stazione totale; ruota in automatico attorno al proprio asse verticale e presenta uno specchio prismatico interno che ruota intorno ad un asse orizzontale (sorgente laser fissa); lo strumento rileva una calotta sferica ordinata di punti (vengono eliminate le informazioni di un cono a terra), calcolando le coordinate dei punti battuti per interpolazioni come nella stazione totale. Il computer di bordo permette di programmare la scansione riducendo la nuvola di punti ad un'area d'interesse, impiegando minor memoria e tempo; oggi però è preferibile avere informazioni ridondanti tra scansioni per allineare le nuvole di punti.

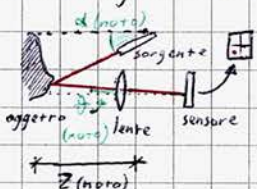
Un laser scanning è inizialmente in scala di grigi; in una fase successiva effettua scansioni colorimetriche con macchina fotografica o sensori integrati (che per motivi commerciali non sono particolarmente performanti, non restituendo elevata qualità del colore) in modo tale da consentire al software di far corrispondere la foto sferica alla nuvola di punti, assegnando ad ogni punto una terna RGB (ora i punti sono definiti da 6 valori!)

La nuvola di punti rilevata è oggettivamente valida dal punto di vista metrico e formale, in quanto vengono strutturati fenomeni fisici e metodi geometrici noti che implicano un'assenza di distorsioni pressoché totale.

I target possono essere utili per semplificare e velocizzare l'allineamento di più scansioni (ciascuna composta da circa 500 000 punti); solitamente in ogni scansione si rendono visibili 3 target per rendere noto un piano rispetto al quale rototraslare le scansioni (sono spesso target sferici).

Esistono tre famiglie di laser scanner:

- **Per triangolazione:** nasce in ambito industriale per rilevare oggetti di piccola dimensione a brevi distanze (max 2m) con precisione sub-millesimica, usata per comparare il prodotto industriale al progetto originale o per il rilievo di oggetti ed utensili di valore archeologico



- A differenza/modulazione di fase: usato per applicazioni architettoniche/infrastrutturali, misura oggetti di dimensioni maggiori a distanze medie (massimo 60-70m: se aumentano l'impronta del laser aumenta e aumenta il rumore dovuto al flusso del pulviscolo atmosferico; determinando imprecisioni anche se il laser ufficialmente ha un intervallo di misurazione da 1 a 300m) con precisione millimetrica (maglia di 2-3mm, utile per rappresentazioni fino all'1:50), usato nel rilievo dell'edificio e che sfrutta la differenza di fase dell'onda laser al ritorno dal punto battuto; essendo nota la distanza e gli angoli dall'origine la misura del punto è nota. Simili scansioni richiedono 20-30 minuti.

- A tempo di volo: rilevano grandi superfici da grandi distanze, utili per grandi infrastrutture o il rilievo di frane; sono molto lenti poiché impiegano il calcolo dello spazio dalla relazione $v=s/t$ considerando la velocità della luce e l'inclinazione dello strumento; rilevano distanze di 2,5-3km ma richiedono almeno un'ora per una scansione; in questi casi la discretizzazione è particolarmente importante!

Progetto di rilievo laser scanning

- ① definizione degli obiettivi del rilievo (con studio dell'oggetto, delle condizioni climatiche, dell'ordine di rilevamento delle aree...) Influenza:

- Scala architettonica in cui rappresentare (1:10-1:20 per dettagli etc.)
- Strumentazione da utilizzare
- Orari delle attività di rilevamento
- Definizione delle stazioni

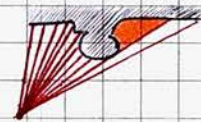
② Fase di Acquisizione

③ Fase di Elaborazione: traduzione della mole di dati in modelli 2D e 3D con rappresentazioni grafiche annesse

L'interfaccia di un laser scanner permette di intervenire sulla risoluzione, variando il numero di punti battuti e - di conseguenza - il tempo richiesto per effettuare il rilievo; il laser scanner oltre a stimare queste due grandezze fornisce la distanza tra due punti consecutivi battuti a 10m dall'oggetto (varia da ~5cm a ~1,5mm), di cui un passo di 1mm è utile per scale di ingrandimento.

Osservazione: la risoluzione varia al variare del numero di punti e della distanza dall'oggetto da rappresentare!

⚠ Coni d'ombra: un laser non rileva punti dietro un oggetto; occorrono più stazioni: tra più stazioni occorre una ridondanza del 50-60% per garantire l'allineamento delle nuvole di punti.



Strategie di rilevamento

Oggetto	Stazioni	Schema
Plastico	Intorno	
Planare	Scansioni costanti	
Piccolo e poco complesso	Centrale	
Complesso con più oggetti	Più stazioni per risolvere i coni d'ombra	

In alcuni casi occorre effettuare un compromesso tra la precisione idealmente necessaria ed eventuali problemi al contorno: nel rilevamento di un viadotto con struttura reticolare in acciaio per l'analisi delle deformazioni ad esempio occorrerebbe una risoluzione sub millimetrica, ma poiché le vibrazioni del ponte dovute al traffico veicolare interrompono il processo di laser scanning bisogna limitare la risoluzione per ridurre i tempi di acquisizione.



Fotogrammetria: Tecnica di rilievo indiretto che fornisce informazioni metriche e colorimetriche tramite l'elaborazione di prese fotografiche opportunamente definite, manipolate in modo tale da realizzare modelli infografici. La fotogrammetria nasce nel periodo del secondo conflitto mondiale: grazie al principio della stereoscopia era possibile definire le misure degli obiettivi strategici tramite un'operazione di analogia che prevede la sovrapposizione di fotogrammi: la prima tecnica utilizzata è l'aerofotogrammetria.

Classificazioni: La fotogrammetria può essere classificata per:

Tipologia di presa

- Terrestre (da Terra)
- Aerea (il dispositivo è trasportato da un aeromobile, con o senza operatore)

Tipo di elaborazione

- Fotografia Analogica: dimensione degli oggetti data dall'analogia con oggetti fisici che riproducono all'inverso il fenomeno di presa (indiretta $\Rightarrow$ calcoli)
- Fotografia Analitica: I calcoli delle dimensioni sono effettuati tramite calcolatori elettronici.

Tipo di fotografia

- Classica (pellicola/lastra di vetro)
- Digitale (forma numerica su matrice di pixel)

La nostra fotogrammetria è digitale e analitica, perché finalizzata alla realizzazione di modelli informativi.

Fotografia: può essere schematizzata come una rappresentazione prospettica con centro di presa O coincidente col centro dell'obiettivo, punto in cui convergono tutti i raggi luminosi, e raggi proiettanti che dall'ambiente esterno si proiettano sul quadro passando per O .

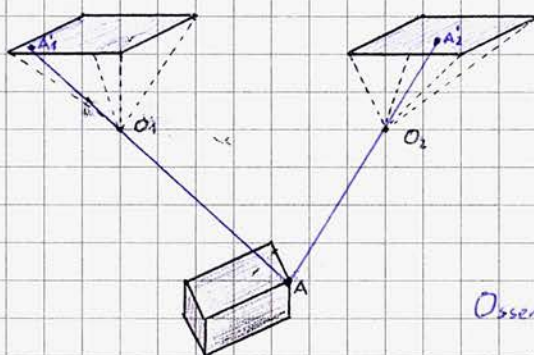
Il metodo della fotogrammetria deve rispettare la biunivocità e permettere di risalire dall'oggetto reale alla sua rappresentazione e viceversa.

Nel caso di un'unica fotografia i raggi proiettanti condotti dall'oggetto reale al quadro della rappresentazione determinano immagini univoche; l'inverso non è garantito: a un punto immagine possono corrispondere diversi punti sul raggio proiettante!

Occorrono dunque almeno due immagini da punti di vista differenti, ovvero è necessaria una presa stereoscopica con base nota (concorre sapere la distanza tra i centri di presa).



Fotografia



Presa Stereoscopica

In generale, tutto ciò che è sullo spazio carta è noto, poiché il riferimento è impostato dal tecnico. Ciò che non è noto è il vero; con la presa stereoscopica si forma un sistema di equazioni matriciali detto di collinearità, ora risolto automaticamente tramite processori, che permette la costruzione di una nuvola di punti definita da pixel omologhi (portati in tre dimensioni) presi da più fotografie.

Osservazione: la visione umana è stereoscopica; al cervello sono noti base e dati di inclinazione, da ciò elabora immagini tridimensionali e permette di valutare le distanze.

Fasi del rilievo fotogrammetrico

- Acquisizione: presa fotogrammetrica
- Orientamento: oggi demandata prevalentemente al software, prevede il posizionamento delle prese fotografiche nello spazio; oggi permette di ottenere parametri geometrici per ogni scatto, definendo la nuvola di punti.
- Restituzione: redazione degli elaborati grafici corredati da misure dell'oggetto.

Acquisizione terrestre: presenta diversi metodi a seconda dell'oggetto da rilevare:

- Presa ad assi paralleli (preferibilmente normali al piano medio dell'oggetto): utile nel rilevamento di oggetti pressoché piani, come le facciate di edifici, prevede la definizione di una distanza media dalla facciata su cui posizionare le stazioni fotogrammetriche; ogni presa deve avere una sovrapposizione di almeno il 60% con la successiva e un sovrapposimento del 10-20% con la prossima.



- Presa ad assi convergenti: utile nel caso di un oggetto plastico, prevede la convergenza degli assi di presa in modo tale da rilevare efficacemente la spiccata tridimensionalità dell'oggetto.

• Presa ad assi divergenti: possono essere divise in:

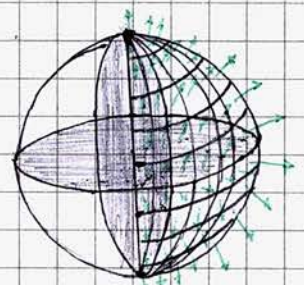
• Cilindriche: come le foto panoramiche

• Sferiche

Sono utilizzate prevalentemente in ambienti chiusi.



Presa cilindrica



Presa sferica

Acquisizione Aerea

Le metodologie sono le stesse, cambia la terminologia. Spesso è necessario definire il percorso di volo dell'aeromobile, spesso para-sinusoidale. Occorre un overlap del 70%, una superficie di sovrapposizione (concatenamento) del 20% e un overside (sovrapposizione tra due strisce adiacenti) del 30%.

Le principali strategie di presa sono:

• Ad assi paralleli



progetto di volo

• Ad assi convergenti (tipico di un drone)



⚠ Caso limite: applicabilità dell'ortomosaicatura: L'ortomosaicatura è la tecnica di raddrizzamento ed assemblaggio di più immagini; presenta problemi di distorsione prospettica - che impediscono di usare l'elemento a scopo di rilievo - significativi in presenza di una spiccata tridimensionalità (ad esempio nel caso di oggetti) in virtù del meccanismo di raddrizzamento che prevede l'allineamento di un unico piano orizzontale. La tecnica è però utilizzabile se l'oggetto da rilevare (facciata e suolo) sia subplaneggiante e dunque riconducibile ad un unico piano, in scala rispetto ad una misura nota e dunque proporzionato e misurabile. In qualunque altro caso la tecnica è inutilizzabile, in particolare in ambiti di dettaglio come il restauro architettonico.

Ortofoto: immagine ottenuta dalla proiezione ortogonale di un modello 3D. A differenza dell'ortomosaicatura, non vi è prospettiva; si elabora una mesh a facce triangolari partendo dalla nuvola di punti (utilizzabile per elaborazioni grezze senza passare alla mesh) in modo tale da poter importare su software CAD e simili l'elaborato e utilizzarlo per le restituzioni grafiche necessarie. Detto passaggio al modello mesh dall'elaborazione fotografica (parte della fase di orientamento) è detta fotomodellazione o modellazione image-based.

Progetto di rilievo fotogrammetrico

Fase di Progetto	• Definizione degli obiettivi.
	• Scelta della scala di rappresentazione.
Fase di Campagna	• Sopralluogo in funzione delle condizioni ambientali per analizzare dimensioni e forme, individuando le migliori tecniche di rilievo.
	• Scelta della strumentazione (treppiedi, macchina fotografica, drone...)
Fase di Elaborazione	• Determinazione del tipo di presa prevalente (ne esistono diverse: per rilevare una facciata alta si usano assi paralleli e divergenti).
	• Calcolo della Ground Sample Distance (GSD)
Fase di Consegna	• Settaggio delle macchine fotografiche
	• Definizione dei Ground Control Points (GCP), target/punti di controllo da rilevare con altre tecnologie
Fase di Consegna	• Acquisizione
	• Elaborazione (fotomodellazione)

Le condizioni ambientali più favorevoli per un rilievo fotografico sono quelle di luce diffusa, che determina l'assenza di ombre nette che potrebbero determinare fenomeni di clipping e vuoti di informazioni; dette condizioni sono procurate dalla schermatura del sole garantita dalle nuvole $\Rightarrow$ cielo leggermente ed uniformemente coperto.

GSD: Pari alla dimensione reale acquisita da un pixel. Si misura in mm/px .

Poiché ogni pixel di un'immagine rappresenta un punto battuto, occorre valutare la superficie reale acquisita tramite detto pixel: minore è la superficie - e dunque il GSD - maggiore è la risoluzione.

La definizione più rigorosa prevede la misura della distanza tra i centri di due pixel adiacenti: la definizione areale va riportata in unità di misura lineari.

Dal punto di vista matematico, il GSD si calcola mediante la seguente proporzione:



Esempio

Una telecamera GoPro presenta $f = 2,77 \text{ mm}$ fissa, ed è posta ad $h = 3 \text{ m}$ dall'oggetto da rilevare. Considerando un sensore da $6,39 \times 4,79 \text{ mm}$ con $4000 \times 3000 \text{ px}$, calcolare il GSD.

Determiniamo la dimensione del singolo pixel: schematizzandola come elemento quadrato, risulta che $\frac{6,39}{4000} = 0,0015975 \text{ mm} = 1,5975 \mu\text{m}$

Dunque, $\text{GSD} = \frac{0,0015975 (\text{mm/px}) \cdot 3000 (\text{mm})}{2,73 (\text{mm})} \approx 0,17 \frac{\text{cm}}{\text{px}}$

⚠ Domanda di esame!

Il MIBAC afferma che, a seconda della scala di rappresentazione dell'elaborato di progetto, il GSD deve rispettare determinati standard:

Scala	GSD
1:50	2 mm/px
1:20	1 mm/px
1:10	0,5 mm/px

Da ciò segue che, nota la scala degli elaborati grafici da produrre, è possibile definire a priori il GSD per poi determinare f ed h .

GCP: Punti di controllo utili per scalare il modello e controllare la forma dell'oggetto (ad esempio, in un lotto agrario sono distribuiti sui bordi e in aree interne), oltre ad eventualmente georiferire il modello se la strumentazione comprende un rilevatore gps.

Fotomodellazione:

- Allineamento delle prese fotografiche
- Elaborazione del modello a nuvola di punti, inizialmente sparsa (grezza e poco densa, utile per controllare la forma) e resa densa con l'importazione di tutti i punti dopo le dovute operazioni di controllo
- Realizzazione del modello mesh
- Texturizzazione: fase facoltativa utile per conferire fotorealismo al modello.



Regole per la presa fotografica:

- Impostare la più alta risoluzione fisica (non interpolata) possibile
- Utilizzare lo zoom solo se ottico, impostare valori costanti
- Non intervenire sul bilanciamento del bianco
- Limitare al minimo la profondità di campo (diaframma molto chiuso su DSLR)
- Tendere a valori neutri di esposizione
- Evitare di fotografare soggetti controlluce

Per porre l'oggetto in scala è utile includere un riferimento metrico nelle prese fotografiche; è inoltre necessario utilizzare target e GCP intorno e sull'oggetto (minimo 2 visibili per foto), e può essere utile fissare un riferimento triortogonale relativo con target ed oggetti che individuano la giacitura degli assi.

Zephyr: fondamenti d'uso del programma

Fondamentali sono le conoscenze su primi passi, bounding box, pulizia della nuvola di punti, parametri avanzati, punti e distanze di controllo, target; in più è possibile approfondire su maschere, animazioni, ortofoto. Detti argomenti sono ben dettagliati sul sito 3DFlow con video e tutorial scritti.

In particolare, la maschera su immagini aiuta il software nella realizzazione della nuvola di punti soprattutto nel caso di oggetti complessi, isolando l'oggetto dall'ambiente.

Le calibrazioni fotografiche evitano distorsioni nel modello dovute alla normale distorsione fotografica; in assenza di calibrazioni nel database del programma è possibile impostare un plugin che mostra una scacchiera sullo schermo e tramite acquisizioni determina le distorsioni.

Nell'importazione delle immagini è preferibile utilizzare i parametri avanzati, in cui è particolarmente rilevante la fase di matching, soprattutto per l'ordine delle foto: definendo un ordine di acquisizione è possibile rendere il processo di stitching e realizzazione del modello più rapido e preciso (griglia approssimata = progetto di volo per droni; circolare per prese ad assi convergenti; sparse se con un ordine non immediatamente riconosciuto dal software).

Il parametro "numero di punti" definisce il numero di punti importato da foto successive; più le foto sono precise più è possibile impostare valori meno elevati e velocizzare la ricostruzione.

La preimpostazione della bounding box è pericolosa, poiché potrebbe non importare punti utili; nel caso di modelli complessi il mantenimento di ogni punto però allunga considerevolmente i tempi.

Nell'impostazione della nuvola di punti dense le impostazioni avanzate permettono di ridurre la risoluzione dell'immagine nel campionamento, definire il numero di foto tale da definire un punto omologo, strutturare la profondità cromatica per delineare una mappa di profondità, impostare un filtro al rumore (Δ) e un aggiornamento dei colori in funzione di altri punti battuti.

Dal menù modifica è possibile clonare ed editare la nuvola di punti in base a diversi parametri.

Nel menù misurazioni, impostati i GCP, è possibile definire una misura di riferimento rispetto alla quale scalare il modello.

Infine, per l'elaborazione della mesh occorre impostare dei precisi algoritmi in funzione delle proprietà superficiali dell'oggetto da rilevare.

Elaborazione di tavole grafiche

A seconda della risoluzione delle immagini, della posizione e dimensione delle zone d'ombra ed altri dati relativi alla densità della nuvola di punti il workflow nell'elaborazione di modelli grafici che schematizzano l'oggetto rappresentato può variare.

In generale, gli elaborati mongiani prevedono sulla standa la realizzazione di una ortofoto, che permette di rilevare efficacemente gli elementi rappresentati con un grado di risoluzione sensato agli scopi del rilievo; detta ortofoto può essere realizzata tramite mesh o nuvola di punti e, con Zephyr, richiede la delimitazione di 3 punti di controllo rispetto ai quali definire un piano rispetto al quale generare l'elaborato.

Un altro metodo prevede l'esportazione della nuvola di punti (preferibilmente in formato E57, ma anche i formati di testo come txt o xyz sono efficaci, pur essendo lenti) con conseguente importazione in Autodesk Recap che garantisce un'efficace importazione in AutoCAD (comando ATTACCANUVVPUNT), da cui è possibile definire un piano di sezione arbitrario che può troncare la nuvola di punti.

23.11.21 *Teoria*

Fine

Rilievo dell'Architettura e dell'Ambiente Urbano

prof. Saverio d'Auria

23.06.2022-28

