

IMPIANTO AGRIVOLTAICO 'RNE13'
Regione Toscana, Provincia di Lucca, Comuni di Altopascio e Porcari

Titolo elaborato
**RILIEVO TOPOGRAFICO E AEROFOTOGRAMMETRICO:
RELAZIONE TECNICO-METODOLOGICA**

Proponente

RNE13 S.R.L.

Viale San Michele del Carso 22 – 20144 Milano (MI)
CF: 12728030961

Valutazioni ambientali



ENVIarea snc stp

Viale XX Settembre 266bis – 54033 Carrara (MS)
P.I. 01425330451
info@enviarea.it / enviarea@pec.it

Scala	Formato	Codice elaborato
-	A4/A3	DI019COMTR1P

Revisione	Data	Descrizione
00	12/2024	Emissione
01	-	-
02	-	-

Tutti i diritti riservati - Vietata la riproduzione e/o la divulgazione, anche parziale, a terzi, senza l'autorizzazione del progettista

Coordinamento generale

ReFeel New Energy S.r.l

Via Caradosso 10 – 20123 Milano (MI)

Viale San Michele del Carso 22 – 20144 Milano (MI)

Valutazioni ambientali

ENVlarea snc stp

Viale XX Settembre 266bis – 54033 Carrara (MS)

Progettazione

GSB CONSULTING S.R.L.

Via Ponte di Legno 7 – 20134 Milano (MI)

Idraulica

HS Srl Società di Ingegneria

Via Don Aldo Mei 64k – 55012 Capannori (LU)

Geologia

Geologica Toscana - Studio Associato

Viale G. Marconi 106 – 53036 Poggibonsi (SI)

Acustica

Vie En.Ro.Se. Ingegneria srl

Viale Belfiore 36 – 50144 Firenze (FI)

Archeologia

Dott. Archeologo Alessandro Costantini

Via del Castruccio 54 – 56018 Sovicille (SI)

Rilievo topografico

Ing. Paolo Corradeghini – 3D Metrica

Via Bertoloni 59 - 19038 Sarzana (SP)

Indice generale

1 PREMESSA.....	2
2 AREA DEL RILIEVO.....	3
3 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA.....	4
3.1 Hardware.....	4
3.1.1 Ricevitore satellitare geodetico GNSS.....	4
3.1.2 UAV (drone).....	4
3.2 Software.....	4
4 DESCRIZIONE DEI LAVORI.....	5
4.1 Il principio fotogrammetrico.....	5
4.2 Operazioni di rilievo.....	6
4.3 Posizione e misura dei <i>Ground Control Point GCP</i>	6
4.4 Voli e presa fotografica.....	8
4.4.1 <i>Regolamentazione in materia di UAS</i>	9
4.5 Modellazione fotogrammetrica.....	10
4.6 Principi di modellazione tridimensionale.....	10
4.7 Elaborazione dei dati fotogrammetrici.....	11
4.7.1 <i>DEM – Modelli Digitali di Elevazione</i>	12
4.7.2 <i>Ortomosaico</i>	15
4.8 Accuratezza e sistemi di riferimento.....	17
4.8.1 <i>Accuratezza</i>	17
4.8.2 <i>Ulteriore verificare della componente altimetrica</i>	17
4.8.3 <i>Sistema di riferimento e quote</i>	17
5 OUTPUT 2D.....	19

* § *

Nota

Dove non espressamente indicato, i dati e le fonti utilizzate nel presente documento fanno riferimento a dati di pubblico dominio (conformemente alla Dir. 2006/116/EC) o, in alternativa, a materiale rilasciato sotto licenza Creative Commons (vedi www.creativecommons.it per informazioni e per la licenza) nelle versioni CC BY, CC BY-SA, CC BY-ND, CC BY-NC, CC BY-NC-SA e CC BY-NC-ND. In questo secondo caso, come previsto dai termini generali della licenza Creative Commons, viene menzionata la paternità dell'opera e, laddove consentito ed eventualmente eseguite, vengono indicate le modifiche effettuate sul dato originario.

* § *

1 PREMESSA

Questa relazione descrive i **rilievi topografici e aerofotogrammetrici** condotti all'interno di area rurale all'interno del Comune di Altopascio, interessata dal progetto per la realizzazione di nuovo impianto Agrivoltaico.

Viste le caratteristiche dell'area, la sua estensione e le necessità in output si è ritenuto vantaggioso ed efficiente condurre un rilievo mediante presa fotografica aerea, da drone in volo sull'area di indagine, misure topografiche terrestri e successiva elaborazione dei dati in software specialistico di approccio fotogrammetrico.

Le attività di campo sono state condotte nel mese di Febbraio 2024.

Figura 1. Ripresa aerea dell'area di rilievo



2 AREA DEL RILIEVO

L'area del rilievo ha una **superficie di circa 40 ettari**.

Si tratta di terreni coltivati, attraversati dalla sede dell'autostrada A11 oltre a viabilità interpoderale, con presenza di insediamenti isolati. Le quote del terreno sono comprese tra 5 e 25 m s.l.m.

Nell'area sono inoltre presenti canali colatori principali oltre alla rete di drenaggio delle acque di superficie.

Al momento del rilievo le colture a terra risultavano assenti e le foglie sulla poca vegetazione arborea non risultavano ancora presenti. Ciò ha reso possibile un'acquisizione aerofotogrammetrica che permettesse la definizione robusta delle quote del terreno.

Figura 2. Area oggetto di indagine (Fonte: Google®)



3 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Per lo svolgimento delle attività di rilievo è stata impiegata la seguente strumentazione hardware e software.

3.1 Hardware

3.1.1 Ricevitore satellitare geodetico GNSS

Trimble R2 - chip avanzato Trimble Maxwell 6 custom GPS - multicostellazione (GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo) - 220 canali - Tracciamento GPS L1/L2; SBAS a 4 canali.

Correlatore multiplo ad alta precisione per misurazioni di pseudorange L1/L2.

3.1.2 UAV (drone)

DJI Mavic 3 Enterprise + RTK

Peso massimo al decollo MTOM 1 kg - GPS+GLONASS+GALILEO+BEIDOU

Fotocamera principale: sensore CMOS 4/3 - risoluzione 20 MP

Precisione del posizionamento RTK: 3-5 cm orizzontale 5-9 cm verticale.

Figura 3. UAV (drone) impiegato nelle operazioni di sorvolo e presa aerofotogrammetrica



3.2 Software

- *Trimble Access* – Controllo ed acquisizione dati GNSS;
- *Capture One Pro* – Editing di fotografie della presa fotogrammetrica;
- *Agisoft Metashape Pro* – Elaborazione fotogrammetrica;
- *Trimble Business Center* – Trattamento ed elaborazione di misure topografiche;
- *Verto3K* – Conversione di misure topografiche tra Sistemi di Riferimento plano-altimetrici;
- *Cloud Compare* – Editing di nuvole di punti (open source);
- *QGIS* – GIS/SIT (open source)
- *Bricsys BricsCADPro* - CAD

4 DESCRIZIONE DEI LAVORI

Nel presente capitolo si descrivono le **operazioni di rilievo condotte nell'ambito del presente incarico**.

Per gli scopi del lavoro, in considerazione dell'estensione delle aree e degli obiettivi da raggiungere, si è definito di condurre un rilievo di tipo "aerofotogrammetrico", mediante utilizzo di un drone in volo sopra le aree per l'acquisizione di fotografie, successivamente elaborate a creare un modello 3D digitale, orientato, scalato e georeferenziato.

4.1 Il principio fotogrammetrico

La fotogrammetria consente l'acquisizione di informazioni metriche di oggetti a partire dall'elaborazione di immagini fotografiche, scattate da punti di vista differenti. L'aerofotogrammetria impiega immagini scattate da mezzo aereo, nel caso specifico da drone. Le fotografie riprese dalle fotocamere impiegate sono immagini digitali, pertanto è più corretto riferirsi a tecniche di fotogrammetria digitale.

Non si tratta tuttavia di tecniche fotogrammetriche pure, analoghe a quelle impiegate per la produzione del repertorio cartografico nazionale tuttora in uso. Si tratta piuttosto di elaborazioni digitali condotte con algoritmi denominati *Structure from Motion* che, grazie alle potenze di calcolo disponibili nelle workstation "comuni" ed a tecnologia di *computer vision*, riescono a creare modelli tridimensionali a partire da immagini riprese da fotocamere non calibrate e prive del certificato di calibrazione metrica, quasi imprescindibile nella fotogrammetria classica. Si fa tuttavia presente che le equazioni risolte nella fase computazionale (descritta in seguito) sono le medesime equazioni della fotogrammetria classica: le equazioni di collinearità, fornendo al metodo robustezza e validità nella qualità e nell'affidabilità degli output prodotti.

Per poter determinare le posizioni dei punti di un oggetto nell'ambiente reale o del territorio utilizzando le posizioni dei punti corrispondenti sulla fotografia, è necessario definire le relazioni geometriche fra le posizioni tridimensionali dei punti dell'oggetto e quelle delle loro immagini sul piano della fotografia.

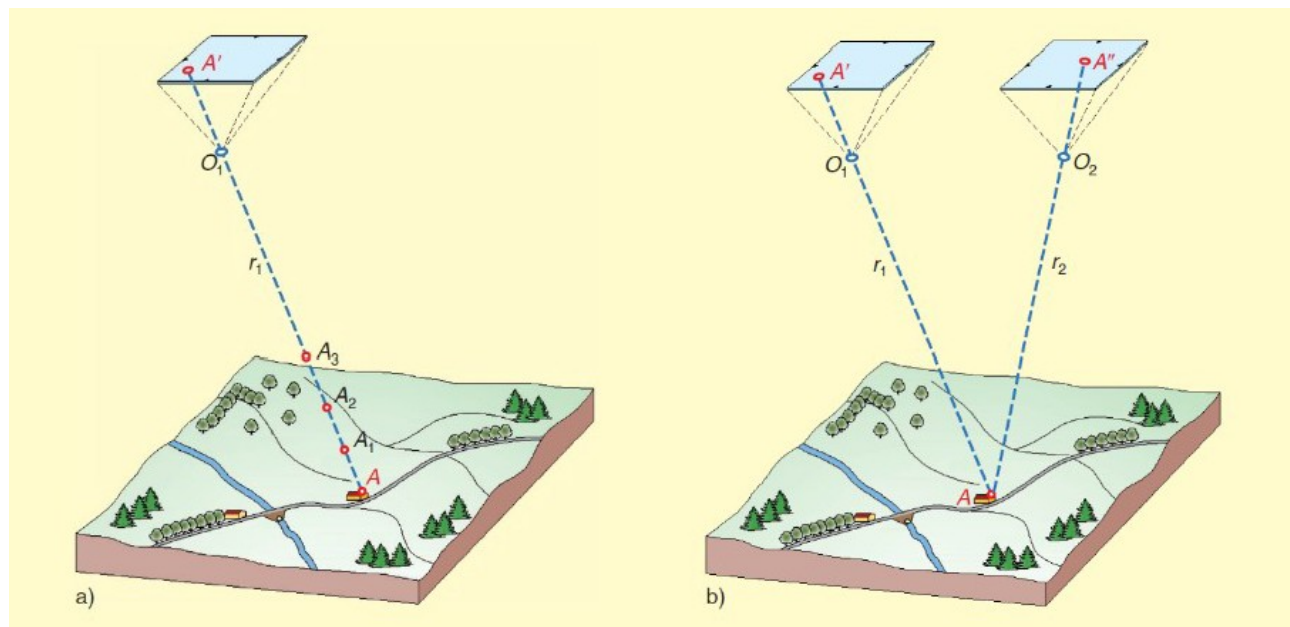
A ogni punto dell'oggetto tridimensionale corrisponde un punto omologo sull'immagine.

Una sola immagine piana non contiene informazioni sufficienti a definire la posizione e le dimensioni di un oggetto tridimensionale (lo sarebbe solo se anche l'oggetto fosse piano). Tuttavia queste informazioni possono essere ottenute disponendo di due fotografie che riprendono lo stesso oggetto osservato da due differenti punti di presa (un'unica camera che riprende l'oggetto in posizioni e in tempi diversi).

Nel rilievo fotogrammetrico tradizionale si riconoscono sempre le seguenti fasi:

1. acquisizione: operazioni riguardanti la presa delle immagini fotografiche;
2. orientamento: operazioni per la determinazione dei parametri che consentono di posizionare i centri di presa e la posizione dei piani dei sensori fotografici con la stessa posizione nello spazio che essi avevano al momento della presa, quindi la ricostruzione della forma e delle dimensioni dell'oggetto ripreso;
3. restituzione: operazioni che consentono di effettuare misure sul modello dell'oggetto ricostruito, utilizzando strumenti detti restitutori, in grado di produrre, come risultato finale un modello tridimensionale, un disegno, un insieme numerico di coordinate o una immagine rettificata e raddrizzata (ortofoto).

Figura 4. Schematizzazione del principio fotogrammetrico



4.2 Operazioni di rilievo

Il rilievo ha previsto tre fasi operative:

1. Posizionamento a terra di target ad alta visibilità (rimossi al termine dei lavori) e misura con antenna GNSS geodetica delle loro coordinate.
2. Sorvolo di mezzo aereo (UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*) e presa fotografica.
3. Elaborazione dei dati acquisiti.

4.3 Posizione e misura dei *Ground Control Point GCP*

La presenza di punti a terra di coordinate note permette di condurre un'elaborazione fotogrammetrica robusta e, altresì, controllare l'output e stimarne l'accuratezza.

Sono stati misurati 21 punti identificati da segni e target ad alta visibilità. Tali punti sono comunemente noti con il nome di *Ground Control Point – GCP*.

Figura 5. Posizionamento dei punti di appoggio dell'elaborazione fotogrammetrica



L'acquisizione delle loro coordinate è stata effettuata con strumentazione satellitare GNSS a doppia frequenza (L1+L2).

Si è impiegato un ricevitore rover in modalità *nRTK* (*network Real Time Kinematic*) con correzione in tempo reale della posizione sulla base delle informazioni provenienti dalla rete di stazioni fisse sul territorio nazionale (Rete *SmartNet Leica Geosystems*).

La connessione e la trasmissione di informazioni al fine del posizionamento è avvenuta in modalità GSM/GPRS. Il ricevitore ha sfruttato le costellazioni di satelliti GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU. Le coordinate dei punti battuti sono state acquisite nel sistema di riferimento ellissoidico ETRF2000 RDN2008 (EPSG 6706) e successivamente convertite nel sistema di riferimento cartografico di destinazione, Roma40 – GaussBoaga Fuso Ovest - EPSG3003 tramite l'impiego di software Verto3K ed opportuni grigliati di trasformazione rilasciati dall'Istituto Geografico Militare (IGM).

La precisione media sulla determinazione delle coordinate dei Ground Control Point è stata di circa 5 cm sulla posizione 3D.

Figura 6. Misura delle coordinate di un punto di appoggio con antenna GNSS



4.4 Voli e presa fotografica

In considerazione dell'orografia dei luoghi si è scelto di condurre più **missioni di volo con modalità di pilotaggio automatico secondo missioni di volo programmate** e finalizzate ad un'acquisizione efficiente di un'area vasta preservando il più possibile la durata delle batterie.

Gli spazi aperti hanno permesso di mantenere il controllo visivo con l'UAS (drone) e di poterlo condurre in sicurezza.

Si fa presente inoltre che il drone impiegato per la presa fotogrammetrica (DJI Mavic 3 Enterprise) integra un modulo GNSS che ne permette il posizionamento di altra precisione di tipo RTK, consentendo un elevato grado di affidabilità sul suo posizionamento e quindi sulla georeferenziazione delle immagini già in fase di presa.

Sono state acquisite e processate più di duemila immagini e la loro precisione media sulla posizione spaziale è stata di circa 5 cm.

Le missioni di volo sono state programmate in modo che:

- Il *Ground Sampling Distance* (Risoluzione spaziale a terra media) non fosse superiore a 2 cm/pixel;
- La sovrapposizione tra foto consecutive non fosse inferiore al 70%;
- La sovrapposizione tra strisciate adiacenti non fosse inferiore al 70%;
- La velocità di crociera non fosse superiore a 5 m/s;
- Le fotografie fossero nadirali (asse ottico uscente dall'obiettivo diretto verticalmente).

La programmazione dei piani di volo è stata condotta dal software *UGCS Pro*.

Figura 7. Esempio di missioni di volo programmate per il rilievo dell'area indagata



4.4.1 Regolamentazione in materia di UAS

Tutte le attività di volo sono state condotte da pilota abilitato, operante per operatore formalmente registrato presso ENAC (Ente Nazionale Aviazione Civile) ed il mezzo (UAS) era dotato di regolare assicurazione per responsabilità civile coprente danni verso terzi.

Non è stata sorvolata la sede autostradale.

Si fa inoltre presente che l'area ricade all'interno di una *NoFly Zone*, secondo le mappe aeronautiche consultabili presso il portale ufficiale *D-Flight*.

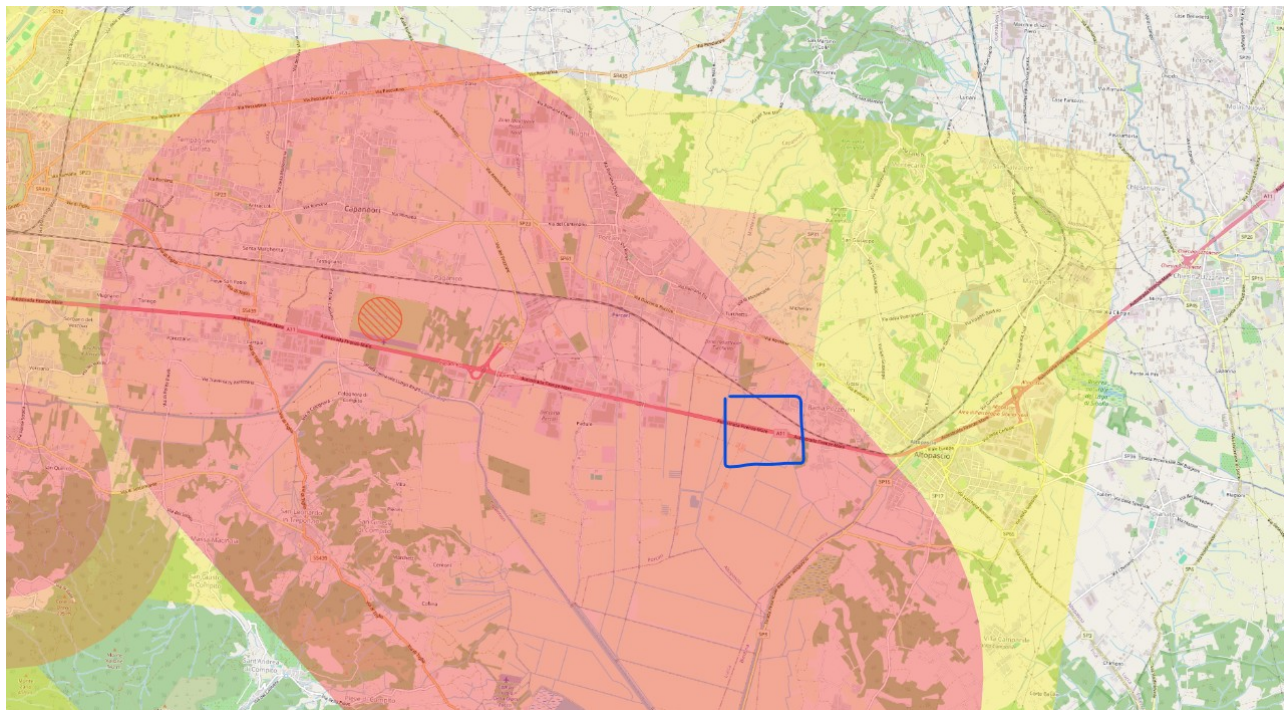
È infatti presente l'area riservata LIR18-Altopascio che tuttavia è attiva nei soli giorni feriali.

Per tale motivo le operazioni di volo si sono condotte durante una festività (domenica) per ottemperare alle restrizioni in essere.

Inoltre i voli si sono condotti ad una quota tale da rispettare le prescrizioni legate alla presenza della pista dell'aeroporto Lucca Tassignano 10/28, posizionato a circa 5 km dall'area dei rilievi.

Tutte le operazioni di volo si sono pertanto svolte nel rispetto della vigente normativa in materia di UAS.

Figura 8. Stralcio di mappa aeronautica (fonte: D-Flight) con indicazione dell'area di indagine



4.5 Modellazione fotogrammetrica

Per l'elaborazione fotogrammetrica si è impiegato il software di fotogrammetria *Agisoft Metashape Professional* (v 2.0) che ha utilizzato le immagini digitali scattate e le misure GNSS dei Ground Control Point per **produrre una nuvola di punti 3D**, colorata, orientata e georeferenziata, oltre che **modelli digitali di elevazione** ed un **ortomosaico** ad alta risoluzione.

4.6 Principi di modellazione tridimensionale

Tramite la modellazione tridimensionale si ricostruisce ciò che si vede realmente ed in particolare la forma, l'illuminazione e la distribuzione del colore in un dato oggetto o scena reale rappresentati in una o più immagini.

Tale tecnica, a partire dalle tecniche fotogrammetriche classiche ed integrandole con le moderne tecnologie di imaging su immagini digitali sempre più definite consente, nello specifico, di estrarre punti da immagini attraverso parametri fotografici: lunghezza focale, dimensioni del sensore, distorsioni e pixel. A differenza delle tecniche fotogrammetriche tradizionali, che richiedono l'utilizzo di una fotocamera calibrata o di una camera fotogrammetrica, per la Structure From Motion si può usare una qualsiasi fotocamera, di cui è necessario conoscere solo alcuni parametri, purché si rilevino direttamente sull'oggetto o nell'ambiente misure che possano servire per il dimensionamento della nuvola di punti.

In fase di elaborazione si riesce a calcolare la posizione nello spazio della fotocamera rispetto all'oggetto e individuare i punti in comune in più immagini. Verranno quindi calcolate le coordinate dei punti nello spazio, che costituiranno una nuvola di punti.

Trattandosi di una elaborazione di immagini e non di un rilievo topografico tramite sensori ottici, la nuvola di punti apparirà colorata, poiché i vertici ereditano il colore dei pixel.

La procedura Structure From Motion si compone di quattro fasi successive:

1. Rilevamento ed estrazione delle features, individuazione dei punti di legame (keypoints) e loro descrizione tramite vettori di numeri (descriptor);
2. Accoppiamento delle feature: una volta individuati ed estratti i punti omologhi, viene eseguito il loro accoppiamento (matching) nelle diverse immagini;
3. Stima dei parametri della camera: calcolo dei parametri di orientamento interno ed esterno attraverso una procedura iterativa;
4. Esecuzione del matching denso: calcolo di una nuvola di punti più completa attraverso algoritmi di dense image matching.

4.7 Elaborazione dei dati fotogrammetrici

Inizialmente tutte le immagini scattate durante le operazioni di sorvolo e rilievo sono caricate all'interno del software.

Le immagini vengono poi successivamente analizzate allo scopo di trovare i punti comuni tra di esse, i *matching points*, sui quali verranno basate le successive elaborazioni. Questi punti formano una nuvola di punti a ridotta densità denominata **nuvola sparsa**.

Il mezzo aereo impiegato per le operazioni di volo e presa fotografica era dotato di antenna GNSS di elevata precisione che ne ha permesso il posizionamento differenziale RTK. Ciò ha implicato che tutte le immagini riprese, ed impiegate nel processo di elaborazione, avessero una loro posizione nello spazio tridimensionale individuata con precisione centimetrica, irrobustendo il dataset da trattare e conferendo maggiore attendibilità ai risultati del processo.

A partire dalla nuvola sparsa e dopo l'orientamento della stessa mediante le coordinate dei Ground Control Point (in un processo che prende il nome di *bundle block adjustment*) il software procede al calcolo che richiede maggiori risorse in termini di tempo e prestazioni del calcolatore: **la generazione della nuvola densa**. Ai punti della nuvola sparsa si aggiungono altri punti a partire dalle informazioni grafiche contenute nelle immagini scattate in volo.

Al termine del processo il risultato è una nuvola di punti formata da milioni di punti nello spazio tridimensionale. A partire da questa informazione si è proceduto all'elaborazione ed alla produzione di ulteriori output: il **DEM** e l'**ortofoto**.

Figura 9. Nuvola di punti densa dell'area rilevata



4.7.1 DEM – Modelli Digitali di Elevazione

A partire dalla nuvola densa si è proceduto all'elaborazione ed alla produzione degli output 2.5D, che sono conosciuti come *Modelli Digitali di Elevazione - DEM (Digital Elevation Model)*.

Un **Modello Digitale di Elevazione (Digital Elevation Model)** – DEM – è una generica superficie statistica in cui ad un numero finito di coppie (X,Y) viene attribuita un'elevazione, una Z, corrispondente.

“Una superficie statistica è una rappresentazione della distribuzione dei valori di un determinato fenomeno definito, per ogni coppia di coordinate (X, Y), da un valore di Z, misurato o calcolato” (Robinson et al., 1995; DeMers, 1997).

Il termine statistico, associato al concetto di superficie, deriva dal fatto che questo tipo di rappresentazione si ottiene attraverso la stima del valore di una variabile dove non è stata fatta nessuna misura.

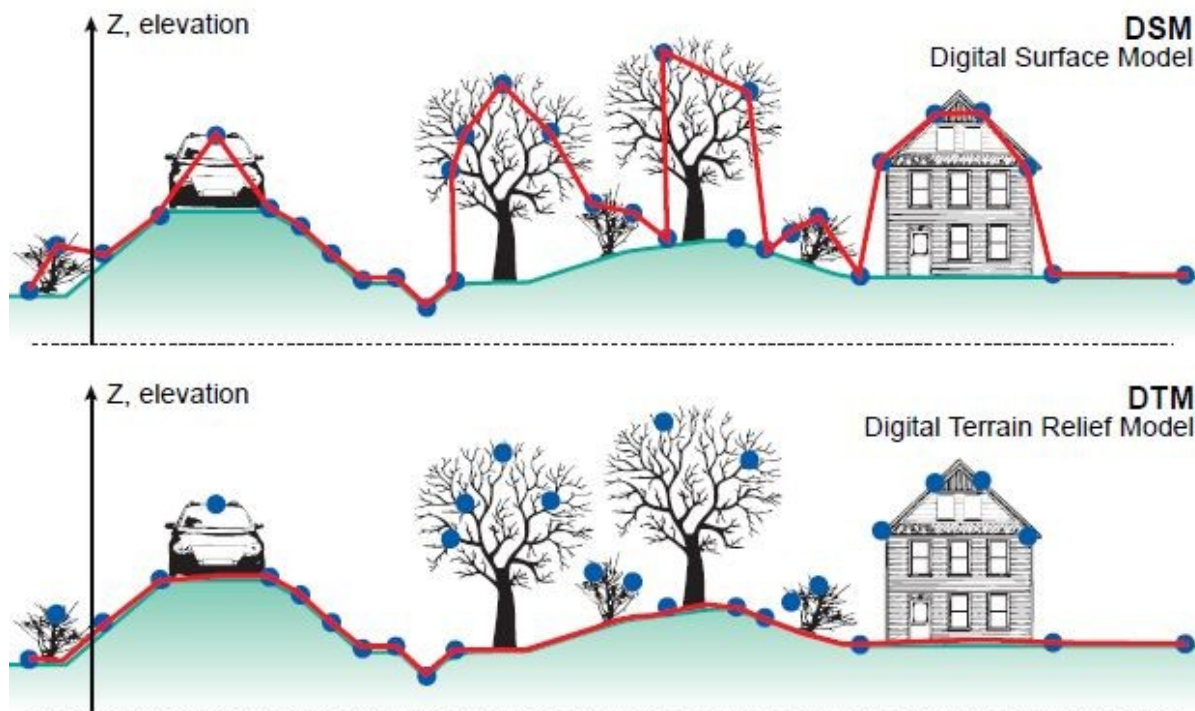
Le tecniche statistiche di stima si usano quando una variabile è calcolata in ogni punto di una superficie a partire da dati misurati solo in alcune posizioni. Per calcolare i punti sconosciuti ci si affida a processi di interpolazione o estrapolazione. L'interpolazione usa algoritmi che calcolano i punti incogniti da misure esistenti attorno ad essi. L'estrapolazione invece stima le informazioni oltre il limite dei dati disponibili.

Nell'uso comune il DEM è riferito alla topografia terrestre ma può riguardare anche altre superfici: la superficie piezometrica di una falda o il piano di scorrimento profondo di una frana, la superficie delle chiome degli alberi di un bosco, ecc.

Nello specifico del caso topografico con *DSM* (*Digital Surface Model*) si intende la superficie terrestre comprensiva degli oggetti che ci sono sopra: edifici, alberi ed altri manufatti.

Il *DTM* (*Digital Terrain Model*), rappresenta invece l'andamento della superficie del suolo senza gli elementi antropici e vegetazionali.

10. Differenze tra DSM e DTM

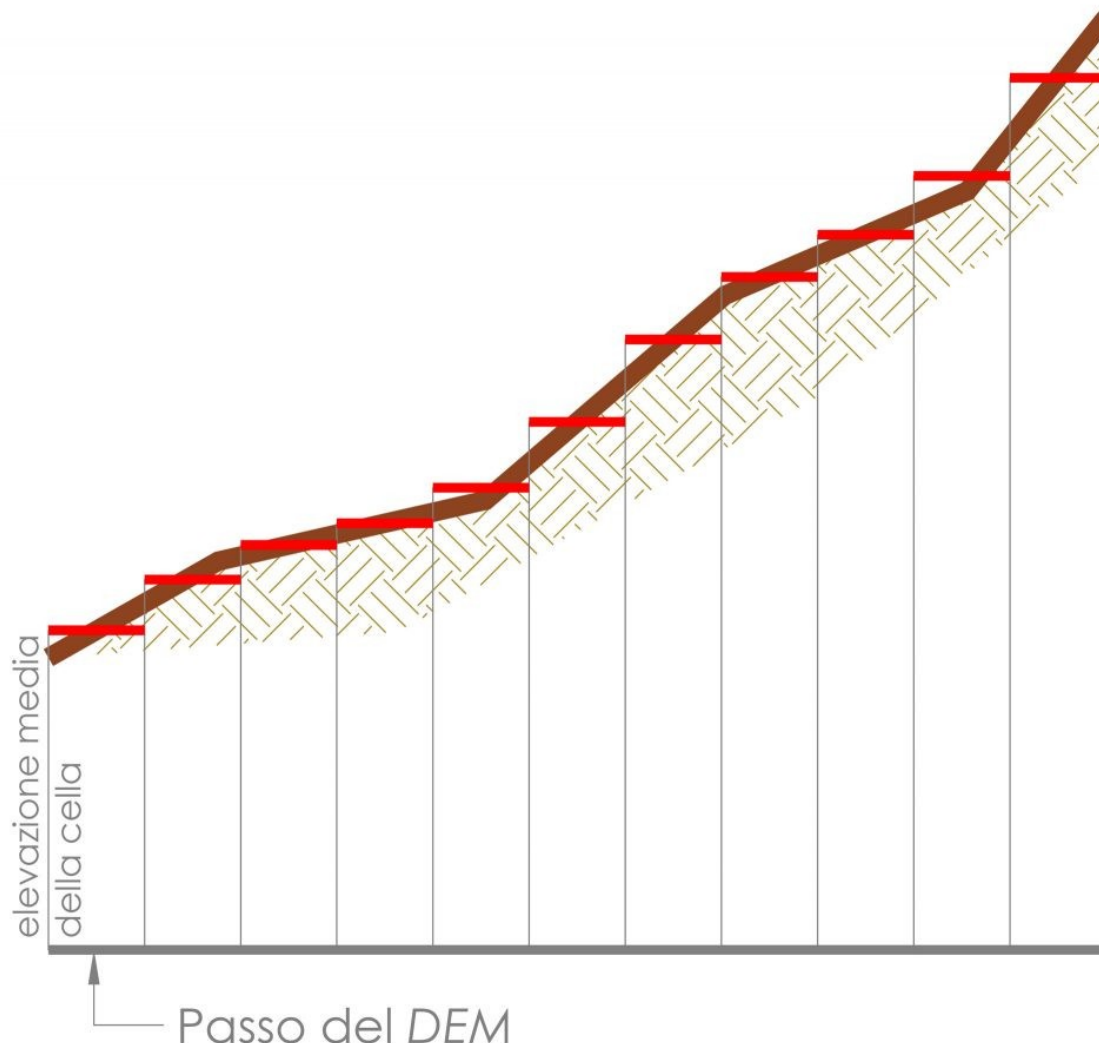


Nella pratica un DEM è un raster, formato da pixel, e si costruisce discretizzando la superficie topografica con una maglia quadrata dove i quadrati, della maglia sono tutti uguali. Il loro lato è il passo, lo step o la risoluzione del modello digitale.

Ciascun quadrato è parte di piano orizzontale delimitato dai suoi quattro vertici (di cui sono note le coordinate X e Y) ed ha un'elevazione (un valore di Z) che è pari all'elevazione media di tutti i punti che ricadono all'interno.

Al fine di garantire una descrizione completa del territorio modellato, sufficientemente e significativa per la caratterizzazione dell'area si è scelto di elaborare i modelli digitali di elevazione affinché la risoluzione fosse pari a 1 m/pixel.

11. Risoluzione di un DEM



Il primo DEM ottenibile dalla nuvola di punti è il modello digitale delle superfici - DSM - dove è descritto e rappresentato tutto quello presente al suolo al momento dell'acquisizione dei dati.

Il processo per l'elaborazione del *DTM - Modello Digitale del Terreno* - richiede un'elaborazione specifica della nuvola di punti, finalizzata a rimuovere tutti gli elementi diversi dal suolo nudo.

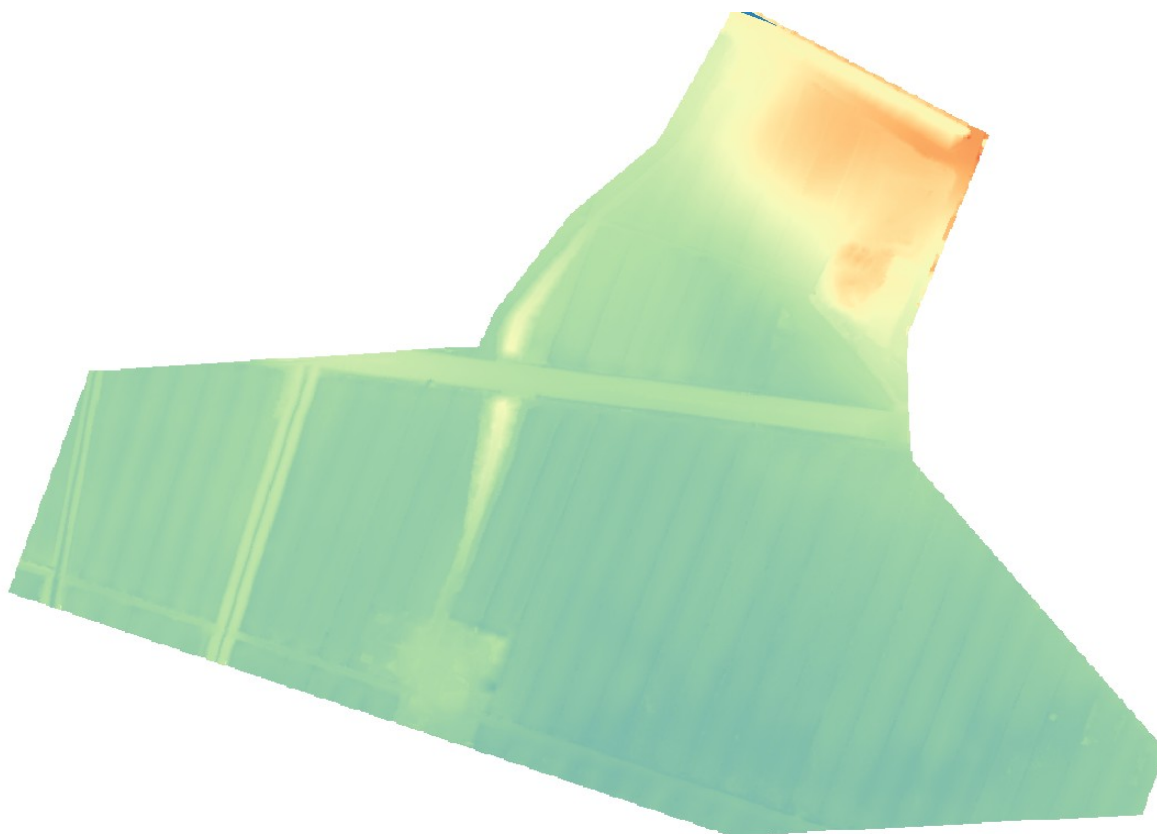
Il processo è stato condotto all'interno del software specialistico *Lidar360 (Greenvalley International)* dove si sono susseguiti i seguenti step operativi:

1. Filtraggio della nuvola di punti aerofotogrammetrica per l'eliminazione del rumore e dei punti isolati non significativi (outliers);
2. Classificazione dei punti mediante l'applicazione di algoritmi di estrazione del terreno basati sulle evidenze e le procedure riportate all'interno degli studi di Zhao et al. (*Improved progressive TIN*

densification filtering algorithm for airborne LiDAR data in forested areas; Zhao X Q, Guo Q H, Su Y J and Xue B L; ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 117:79-91);

3. Interpolazione della nuvola di punti rappresentativi del solo terreno al fine di riempire i buchi causati dalla presenza di aree vegetate ed edificate, escluse dal filtro di classificazione del terreno di cui al punti precedente;
4. Sottocampionamento della nuvola di punti al fine di ottenere in output un output meno denso ma comunque significativo per la generazione del Modello Digitale del Terreno;
5. Generazione del Modello Digitale del Terreno secondo un processo di rasterizzazione del dato 3D a formare un output con passo 1 m/pixel.

12. Modello Digitale del Terreno - DTM



4.7.2 Ortomosaico

Il processo fotogrammetrico si conclude con la generazione dell'**ortomosaico**. L'ortomosaico, anche noto come ortofoto, è una fotografia che ha la proprietà di essere una proiezione ortografica.

Nella vista ortografica tutte le parti verticali non sono visibili in quanto è come se ciascuna di esse fosse vista proprio dalla sua sommità.

La creazione dell'ortomosaico segue due step:

1. Ortorettificazione delle fotografie per eliminare le distorsioni prospettiche;

2. Mosaicatura delle fotografie rettificate a creare un unico elemento.

Per il fatto che un'ortofoto deriva dai prodotti del processo fotogrammetrico, basato su misure topografiche di appoggio, scalato, orientato e georeferenziato, un'ortofoto può essere misurate planimetricamente all'interno di software CAD e GIS e supportare, qualitativamente ma anche planimetricamente analisi specialistiche e scelte progettuali.

L'ortomosaico generato ha una risoluzione di circa 2 cm/pixel.

Figura 13. Ortomosaico dell'area indagata



4.8 Accuratezza e sistemi di riferimento

Al termine dei processi e delle elaborazioni che hanno portato alla generazione della nuvola di punti tridimensionale è stata condotta una stima dell'accuratezza del modello.

4.8.1 Accuratezza

La stima dell'accuratezza fotogrammetrica è stata condotta mediante l'analisi e la verifica di punti rilevati in campo con antenna GNSS

Il principio impiegato è stato quello dell'analisi statistica degli scarti quadratici medi. La valutazione degli scarti tra la posizione rilevata sul campo e la posizione restituita dai modelli elaborati rende possibile stimare l'accuratezza del rilievo.

A valle di questo controllo si stima che l'accuratezza media sulla posizione tridimensionale dei punti del modello restituito, nella totalità dell'area di indagine, sia circa pari a 7 cm.

4.8.2 Ulteriore verificare della componente altimetrica

Al termine dell'elaborazione fotogrammetrica è stata analizzata la robustezza del modello tridimensionale (nuvola di punti) creato anche in relazione alla sola componente altimetrica.

Per fare ciò è stato confrontato l'output dell'elaborazione con la quota di circa 200 punti misurati con antenna GNSS e con le modalità descritte precedentemente, all'interno dell'area del rilievo.

Tale confronto ha confermato la bontà del dato fotogrammetrico prodotto in quanto **la media degli scarti derivanti dal confronto è pari a 6 cm** con un analogo valore della deviazione standard della distribuzione.

In conclusione ed in maniera del tutto cautelativa **si stima che l'accuratezza generale del risultato è pari a 10 cm sulla componente tridimensionale dei punti prodotti in output.**

4.8.3 Sistema di riferimento e quote

Il sistema di riferimento impiegato per le acquisizioni fotogrammetriche e le misure GNSS è identificato dal codice EPSG 6706 (i codici EPSG fanno riferimento alla banca dati *European Petroleum Survey Group - Geodetic Parameter Dataset* - e sono considerati standard a livello globale) ed è legato alla rete di stazioni permanenti utilizzate per l'acquisizione delle coordinate dei punti a terra. Si tratta del sistema di riferimento cartografico *ETRF2000 epoca 2008.0 (RDN2008)*. Tale sistema di riferimento rappresenta lo standard a livello nazionale a seguito dei contenuti del D.P.C.M. 30.11.2011

In relazione alle esigenze tecniche si è restituito l'output nel Sistema di Riferimento Cartografico Roma40 GaussBoaga Fuso Ovest (EPSG 3003).

Le quote sono riferite al livello medio del mare.

La trasformazione delle quote (da ellissoidiche a ortometriche) ed il cambio di datum si sono condotti mediante l'uso di software interpolatore *Verto3K* e grigliato di trasformazione emanato dall'Istituto Geografico Militare (IGM).

Figura 14. Distribuzione planimetrica dei punti di controllo della sola quota



5 OUTPUT 2D

La restituzione degli output del rilievo si conclude con la produzione di una planimetria 2D in ambiente CAD che rappresenta i luoghi indagati secondo le seguenti caratteristiche:

- maglia di punti quotati 5x5 m;
- curve di livello (isoipse) equidistanti 1 m;
- vestizione con i principali elementi presenti a terra (viabilità, fabbricati, rete di drenaggio, ...);
- inserimento all'interno della cartografia regionale (CTR).

Figura 15. Planimetria generale del rilievo condotto

