

TELERILEVAMENTO

«UAS E SENSORI PER L'ALTISSIMA RISOLUZIONE»



Andrea Berton
UAS Specialist, CNR

Di cosa parleremo oggi

1. Telerilevamento

2. Il Drone

3. Applicazioni tecnico scientifiche



Accelerando...



FI & FE

GRUPPO DI RICERCA
«REFLY»



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



2007

2014

2015

2017

2018

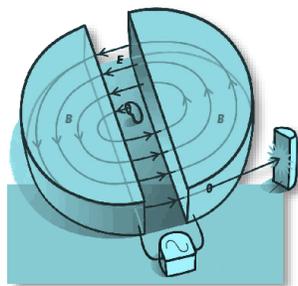
2021

«CICLOTRONE»
RADIOFARMACIA

SERVIZIO
«FLY&SENSE»



GRUPPO DI LAVORO
«UAS CNR»



Fly&Sense e ReFly



SERVIZIO DELL'AREA
DELLA RICERCA CNR
DI PISA

Consiglio Nazionale delle Ricerche
FLY & SENSE

GRUPPO DI RICERCA
DELL'ISTITUTO DI
FISIOLOGIA CLINICA DEL
CNR

Re
FLY



I partner



SCIENTIFICI



Consiglio Nazionale
delle Ricerche



DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA
UNIVERSITÀ DI PISA



DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

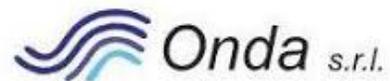


Museo di Storia Naturale
del Mediterraneo



ENTE PARCO
REGIONALE
MIGLIARINO SAN
ROSSORE
MASSACIUCCOLI

INDUSTRIALI





1. TELERILEVAMENTO

Introduzione



Il termine "telerilevamento" è composto dall'unione di due parole:

TELE

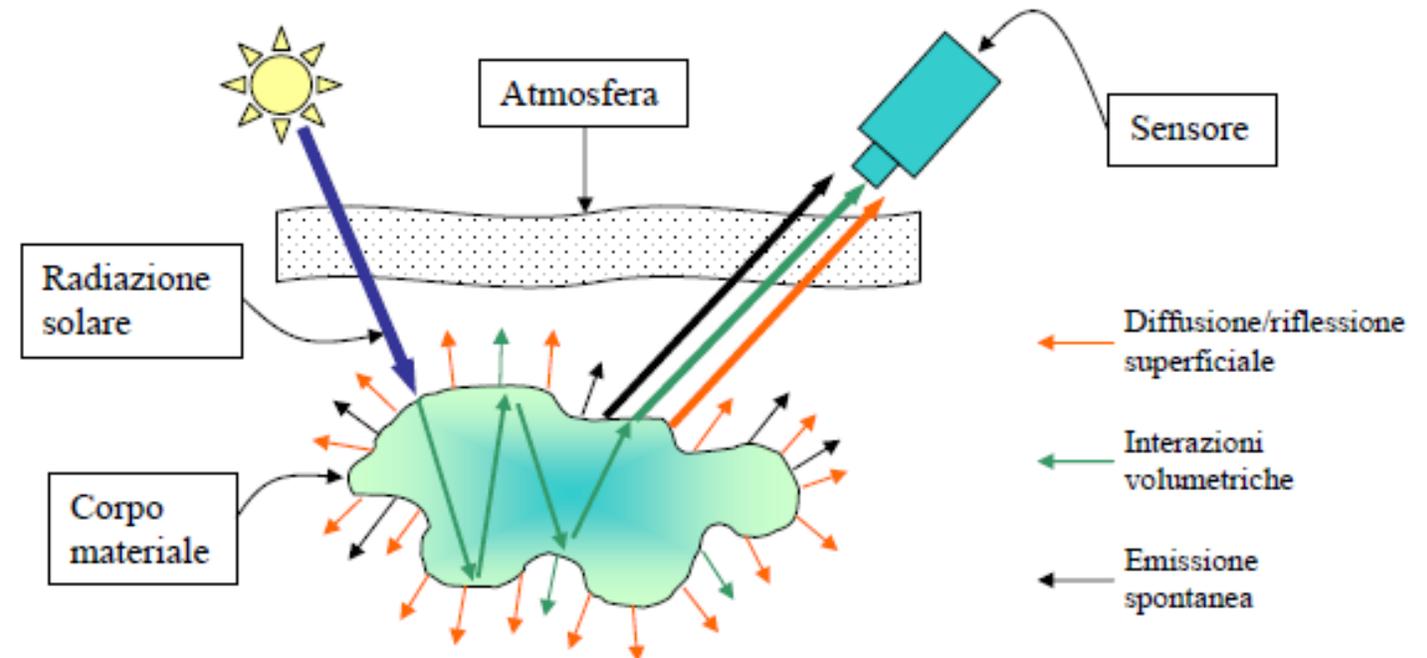
+

RILEVAMENTO

Dal greco «da lontano»

Sinonimo di osservazione quantitativa o qualitativa

Comprende tutto quell'insieme di **tecniche, strumenti e metodi interpretativi** per il rilievo a distanza delle caratteristiche chimiche e fisiche.



Breve storia del telerilevamento



- 1840** – La prima piattaforma è la **mongolfiera aerea** con a bordo una macchina fotografica
- 1909** – Il **piccione**, a cui venivano allacciate macchine fotografiche leggere (70 grammi)
- 1943** – I **missili tedeschi V2**
- 1957** – La **navicella spaziale Sputnik**
- 1960** – I primi **satelliti meteorologici** per effettuare misure dei parametri atmosferici
- 1972** – Il primo satellite per **telerilevamento della terra**, il Landsat
- 1980** – La nascita di diversi **sensori specializzati**: Coastal Zone Color Scanner (CZCS), Heat Capacity Mapping Mission (HCMM), e Advanced Very High Resolution Radiometers (AVHRR)
- 1999** – Il lancio di Ikonos, il primo **satellite commerciale ad alta risoluzione**

...

- 2014** – Il satellite ESA **Sentinel1 A**
- 2015** – Il satellite ESA **Sentinel2**



Alcuni concetti di base

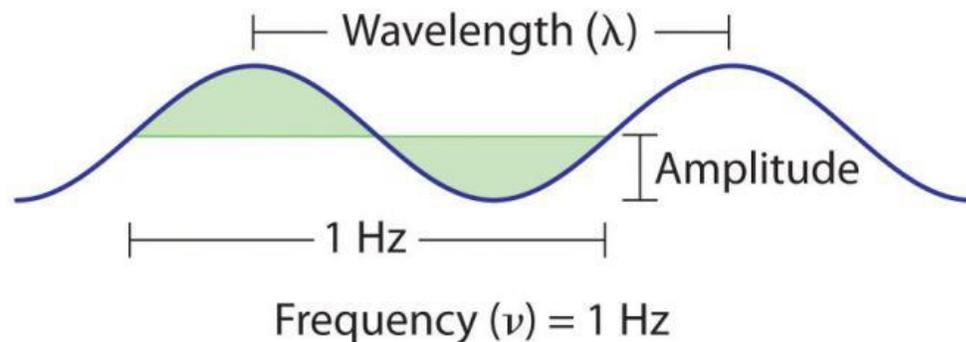
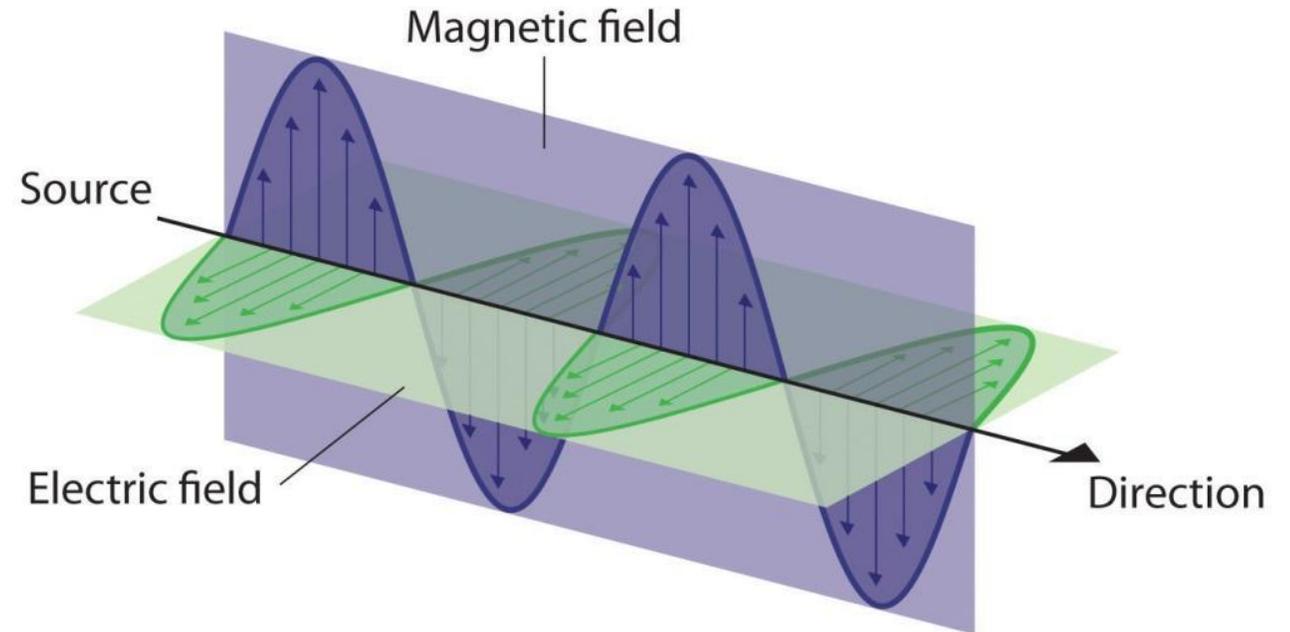


ENERGIA ELETTROMAGNETICA:

onda che si propaga nello spazio, composta da due campi di forza ortogonali tra loro:

il **campo elettrico E**

il **campo magnetico M**



Proprietà dell'onda:

Lunghezza d'onda [nm]

Frequenza [Hz]

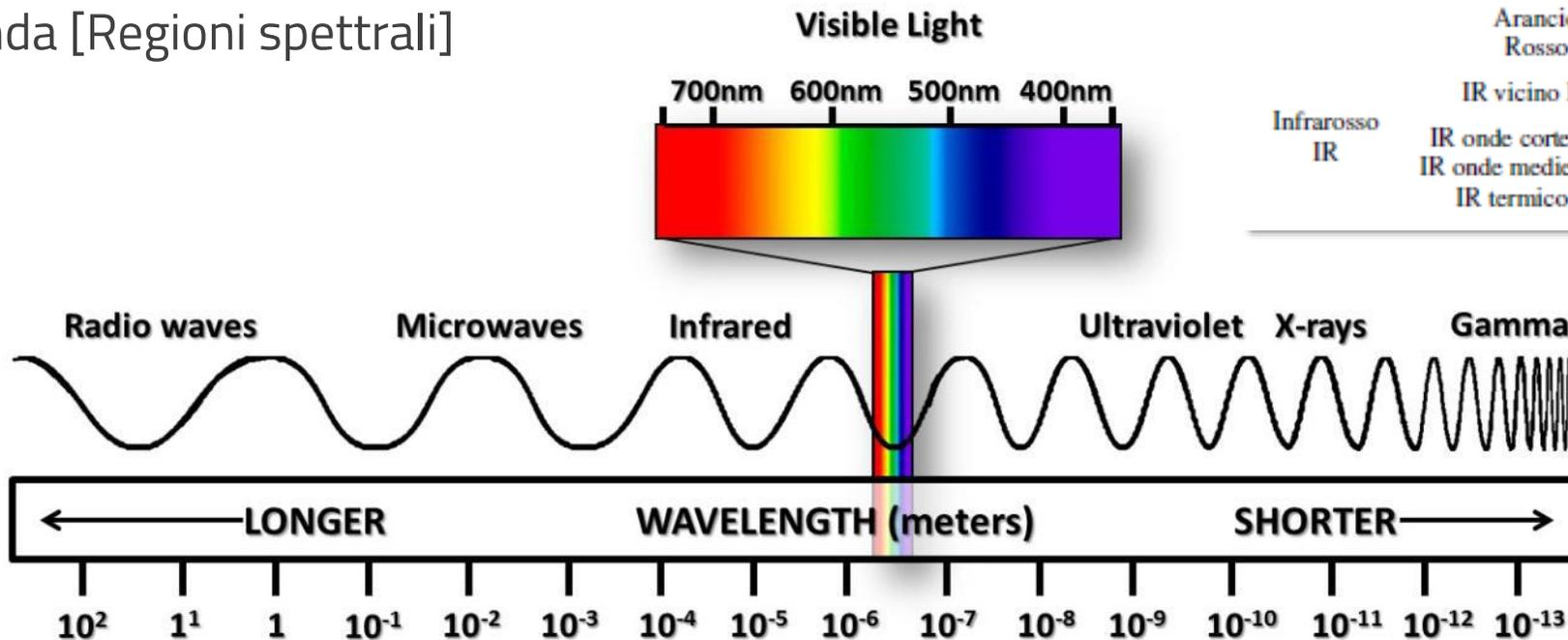
Ampiezza [W m^{-2}]

Alcuni concetti di base



SPETTRO ELETTRROMAGNETICO:

Distribuzione continua dell'energia elettromagnetica in funzione delle lunghezze d'onda [Regioni spettrali]

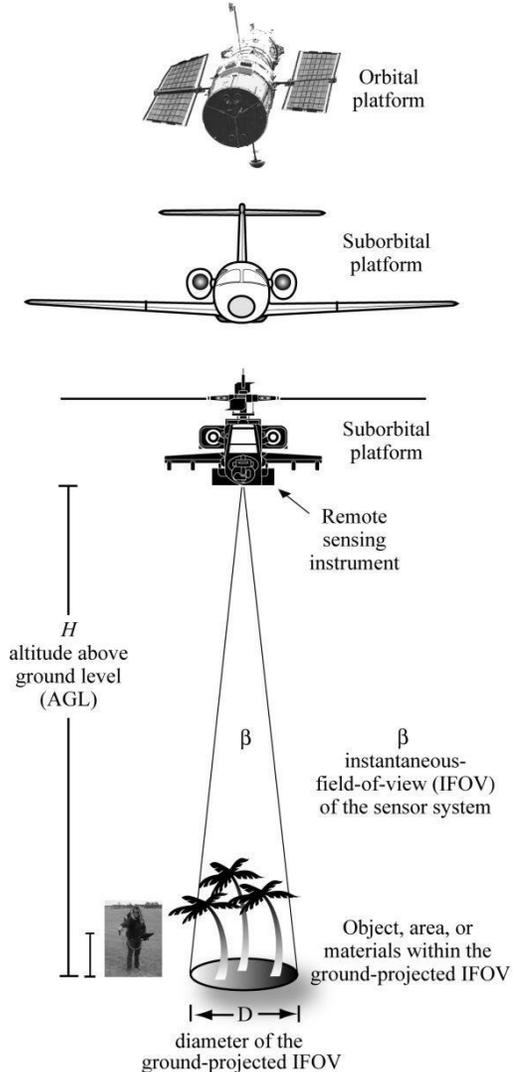


BANDA	BANDA	INTERVALLO λ
Raggi UV	Ultravioletto	10 – 380 nm
Visibile VIS	Violetto	380 – 430 nm
	Blu	430 – 475 nm
	Blu-Verde	475 – 490 nm
	Verde	490 – 550 nm
	Giallo	550 – 580 nm
	Arancio Rosso	580 – 750 nm
Infrarosso IR	IR vicino NIR	0.75 – 0.9 μm
	IR onde corte SWIR	0.9 – 1.3 μm
	IR onde medie MWIR	1.5 – 2.5 μm
	IR termico TIR	3.5 – 5.2 μm 7.0 – 20 μm

Sensori



Remote Sensing Measurement



SENSORE

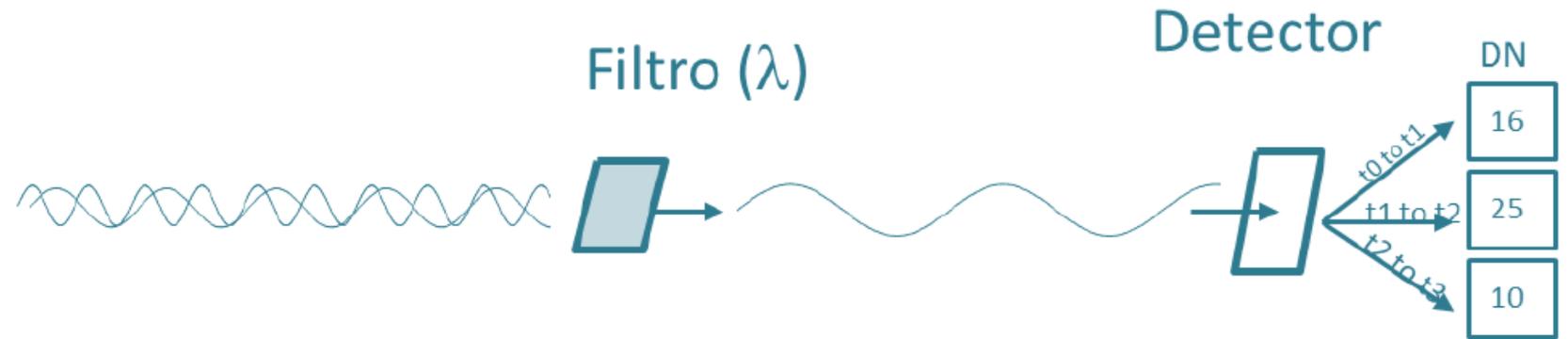
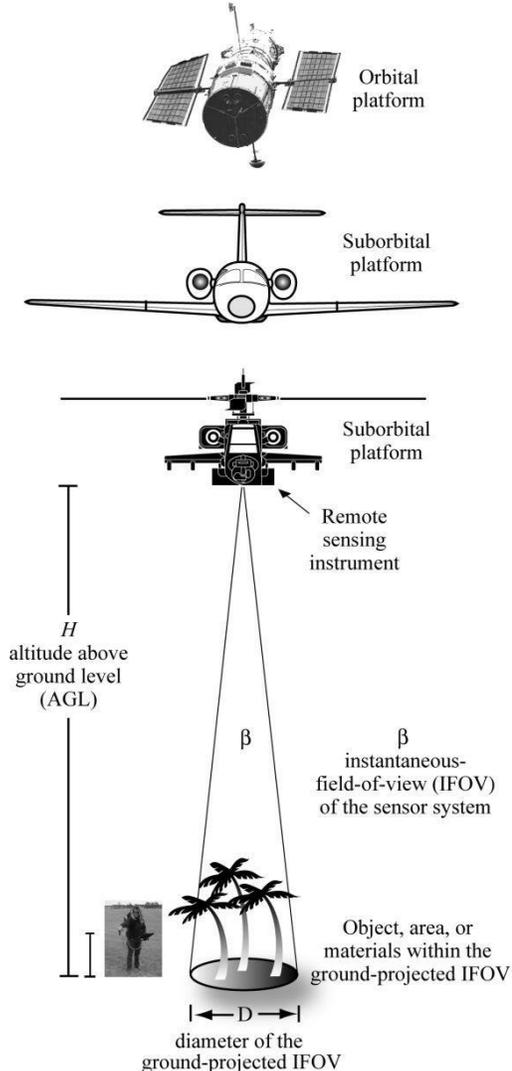
strumento per misurare la radiazione elettromagnetica riflessa, emessa o trasmessa dalla superficie osservata



Funzionamento dei sensori

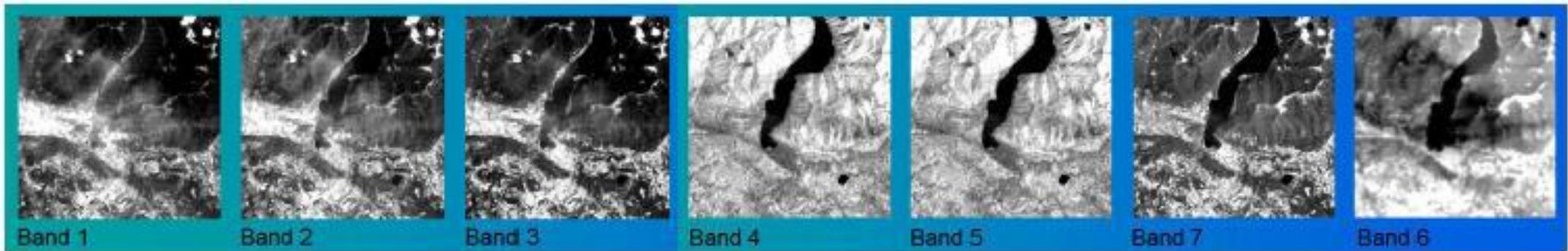
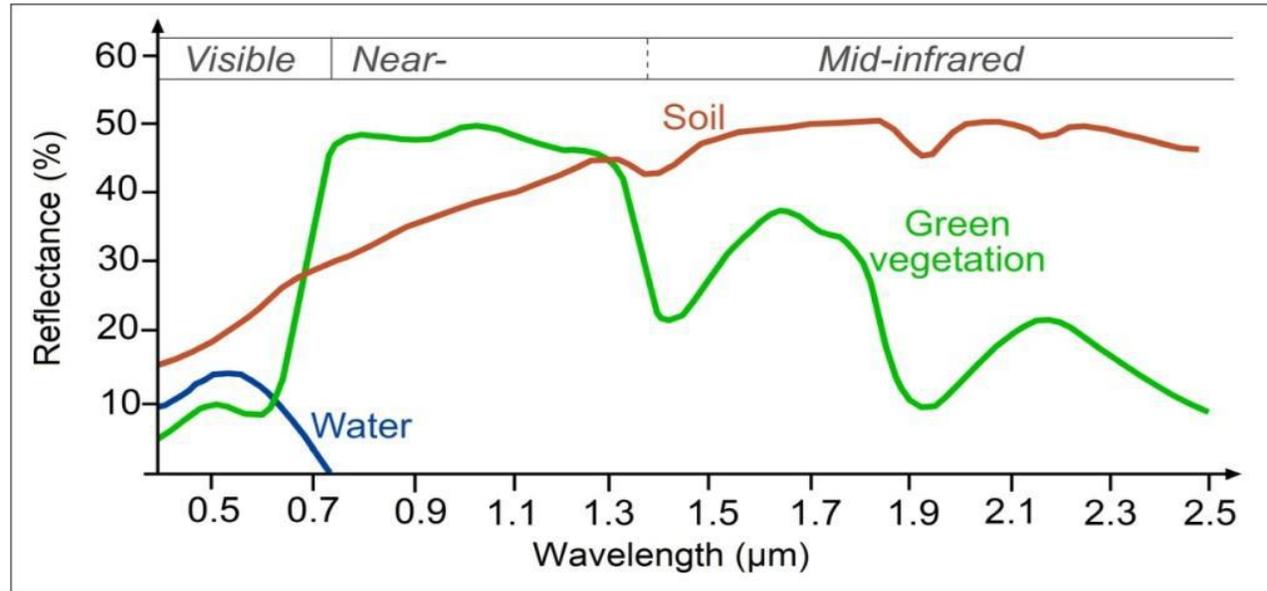


Remote Sensing Measurement



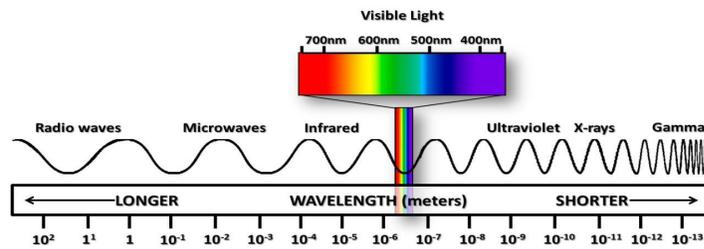
1. L' energia elettromagnetica raggiunge il sensore.
2. Un subset del fascio di lunghezze d'onda passa il filtro e raggiunge il detector.
3. La radiazione che arriva al detector genera un segnale elettrico.
4. Questo segnale viene campionato per un certo intervallo di tempo (dt) e poi quantizzato e registrato come numero digitale (DN).

Banda di risposta dei sensori



+ - Visible [0.45-0.69] - + - - NIR - - + - - - - SWIR - - - - + THERM +

Caratteristiche DATASET



Risoluzione Spaziale, ovvero a quale dimensione corrisponde un pixel nell'immagine telerilevata. Solitamente un **pixel** rappresenta un'area quadrata.

Risoluzione Spettrale, ovvero la larghezza delle bande spettrali in cui l'immagine è registrata. Un esempio è il sensore Hyperion montato a bordo dell'Earth Observing-1, con 220 bande spettrali con una risoluzione spettrale compresa tra i 0,10 e 0,11 μm per banda;

Risoluzione Radiometrica, ovvero il numero di diverse **intensità** della radiazione che il sensore è in grado di distinguere. Solitamente questo valore spazia tra gli 8 e i 14 bit, che corrispondono a 256 e 16384 livelli di grigio per ogni banda.

Risoluzione Temporale, ovvero il tempo che il sensore impiega per sorvolare nuovamente un determinato punto.

Monitoraggio di un territorio

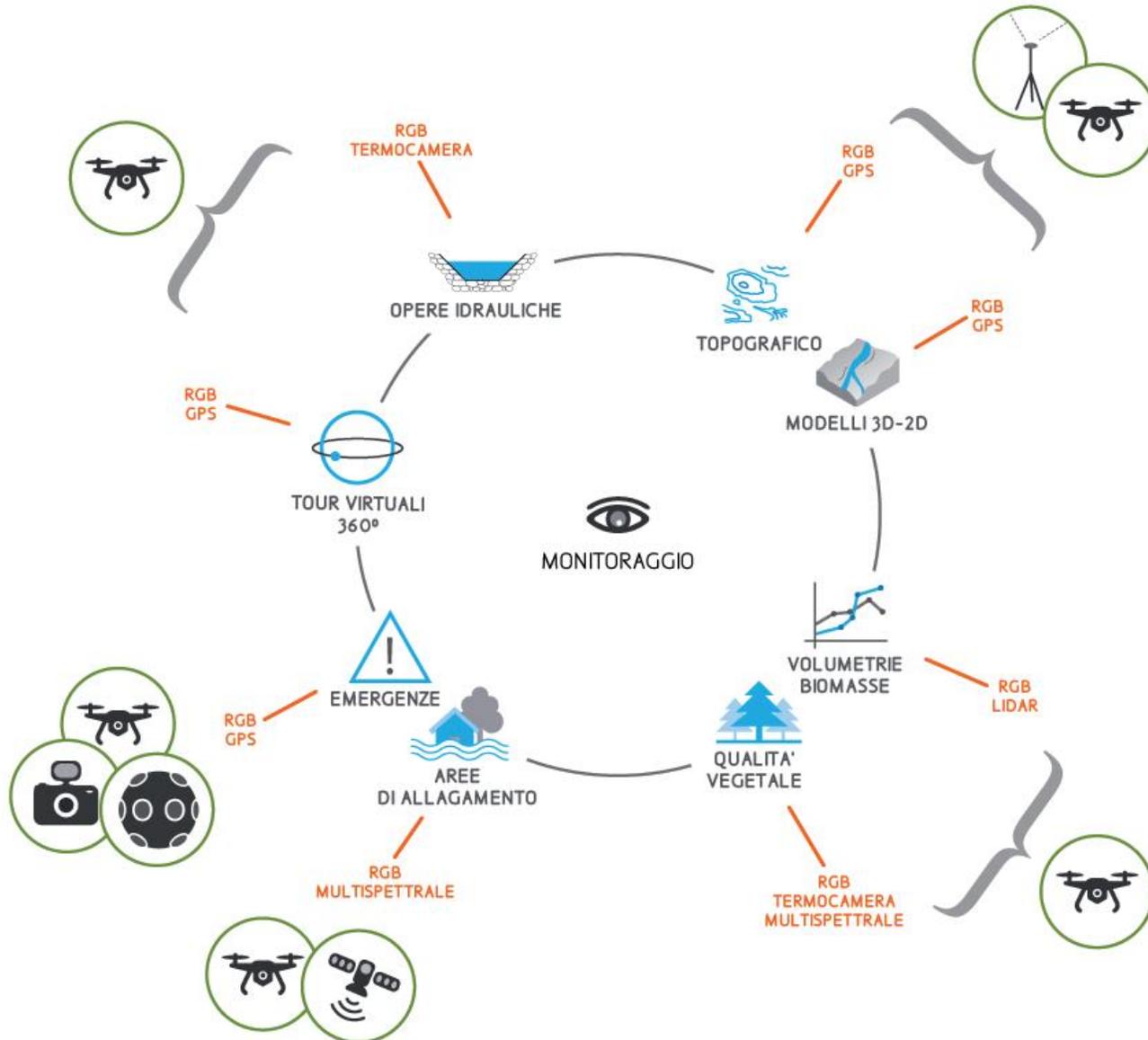


Rilevazione periodica e sistematica di parametri chimici, fisici e biologici, mediante appositi strumenti, allo scopo di controllare la situazione o l'andamento di sistemi anche complessi.



- ✓ Risoluzione spaziale e temporale
- ✓ Costi
- ✓ Appropriatelyzza

Strumenti e know-how



Insieme delle attività di monitoraggio con i relativi sensori utilizzati e gli strumenti nelle fasi di:

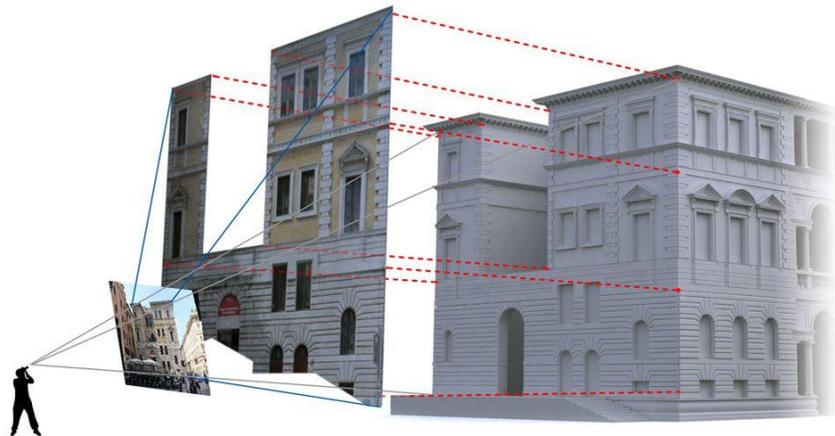
- ACQUISIZIONE
- ELABORAZIONE
- ANALISI
- UTILIZZO DATO

Necessità, se!



Tecnica che consente di definire la **posizione, la forma e le dimensioni degli oggetti sul terreno**, utilizzando le informazioni contenute in opportune **immagini fotografiche** degli stessi oggetti, riprese **da punti diversi**.

Può essere realizzata a livello del suolo



Può essere realizzata con mezzi aerei.



2. IL DRONE



IL DRONE

AEREOMOBILE SENZA PILOTA A BORDO



IL NOME

Coniato quasi 100 anni fa, il termine drone trae le sue origini dal ronzio dei primi modelli somigliante al rumore che fa il maschio dell'ape, il fuco, in inglese «*drone*».

I NOMI NEL MONDO

Nel mondo ha molti nomi:

Remotely Piloted Aircraft Systems (**RPAS**)

Unmanned Aircraft Systems (**UAS**)

Unmanned Aerial Vehicle (**UAV**)

Remotely Piloted Vehicle (**RPV**)

Remotely Operated Aircraft (**ROA**)

Micro Aerial Vehicles (**MAV**)

La Storia recente e chissà....



Drone Piaggio P1.HH



Drone RQ-1 Predator



Il futuro delle consegne Amazon



Primo drone con passeggero



UAS: il Quadro Normativo



Regolamento di esecuzione UE 947/2019

- Regole e procedure per operazioni in 'open' e 'specific' 'category'

Regolamento delegato UE 945/2019

- Requisiti tecnici inclusa la marcatura CE
- Requisiti «third- country operators»

Regolamento Enac UAS-IT Edizione 1 del 04/01/2021

Eu Basic Regulation
(Reg. 2018/1139)

- **EASA competent for all UAS**

Implementing Act
(Reg. (EU) 2019/947)

- **Operational Requirements**
- **Registration** (MTOM>250g – 80 J / privacy / security / certified)
- **Standard Scenarios**

Delegated Act
(Reg. (EU) 2019/945)

- **Tech. Req.s** (Design, Production, Maintenance)
- **Geo-Awareness / e-ID**
- **CE Marking Coformity Assessment**

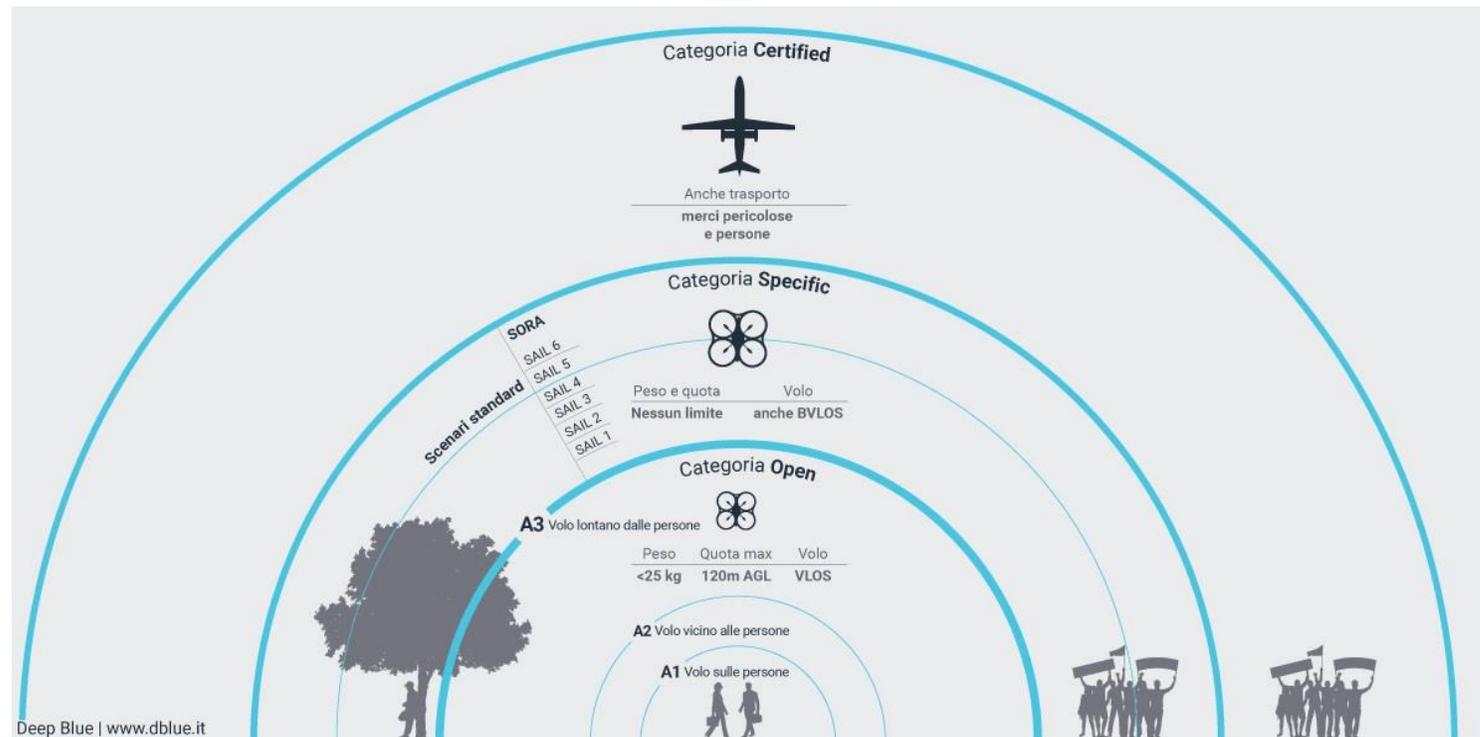
EASA AMC & GM

- **Specific Operation Risk Assessment SORA**

Le novità del nuovo Regolamento EU



- **Principio della proporzionalità relativo al livello del rischio operativo;** all'aumentare del rischio aumentano i requisiti richiesti;
- **Legislazione dei prodotti combinata con la legislazione aeronautica;** marchio CE standard con identificazione della classe del drone, norme di tutela controllo del mercato.



Le tre tipologie di operazione



OPEN:
Low risk
No
authorisation
required

SPECIFIC
Increased risk
Risk
assessment +
authorisation
by **NAA** or
declaration by
operator

CERTIFIED
Higher risk
Certified UAS
operator
Certified UAS
Licensed pilot



UAS



UAV (Unmanned Aircraft Vehicle):

aeromobile utilizzato per il volo, che non ha un pilota a bordo, bensì comandato a distanza con un apposito dispositivo di controllo.



GCS (GROUND CONTROL STATION)

sistema con cui il pilota comanda il volo dell'APR a distanza



Unmanned Aircraft Systems (UAS)

insieme di un UAV con la sua GCS



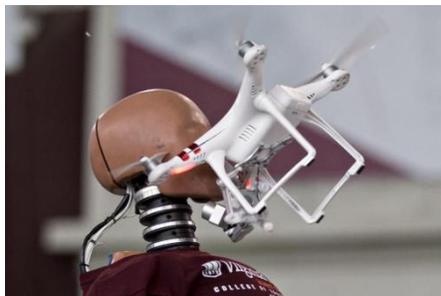


P R O I B I T O V O L A R E



- ✓ Sopra eventi e manifestazioni
- ✓ Sopra le persone
- ✓ Nelle zone aeroportuali
- ✓ Nelle zone proibite
- ✓ Ad altezze superiori a quelle previste nella specifica aerea
- ✓ Sopra zone sensibili

A volte può essere ... rischioso



Pianificare, Operare, Registrare



SICUREZZA SUL LAVORO



DLGS 81/08

REGOLE AERONAUTICHE



REGOLAMENTI EASA/ENAC

TRATTAMENTO DATI – PRIVACY



GDPR



Gruppo di Lavoro Nazionale



PIANIFICARE



OPERARE

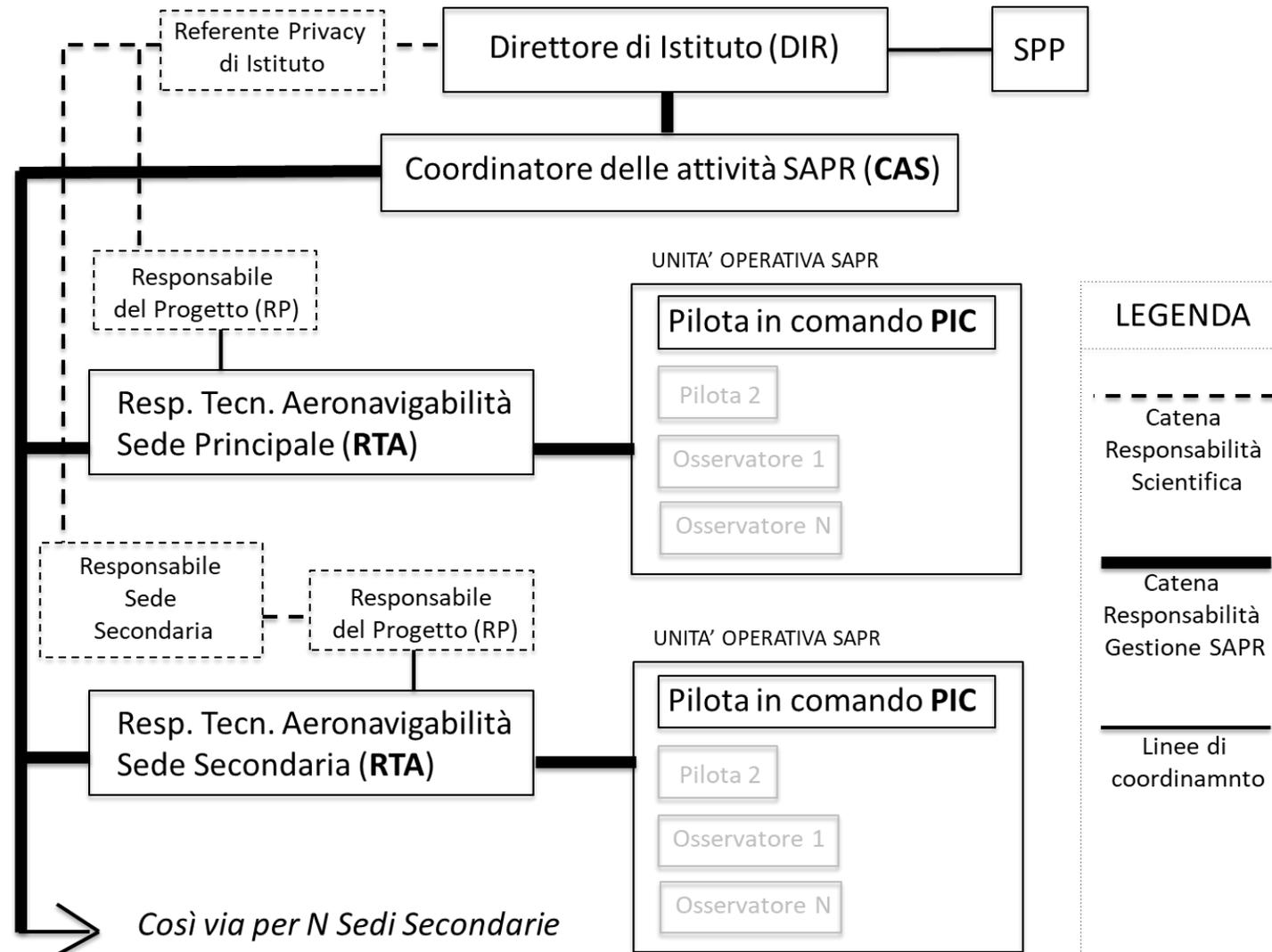


REGISTRARE

Mitigazione del Rischio



Manuale dell'organizzazione Operatore CNR



Privacy: Il drone vede e ricorda



L'occhio del drone acquisisce e trasmette immagini/filmati:



SU SUPPORTO DI MEMORIA

Memorizzazione delle immagini acquisite e dei filmati



AL PILOTA

Visualizzazione (in real time) delle immagini acquisite



Il monitoraggio in sintesi



FASE DI PREPARAZIONE

Selezione dell'area da analizzare



FASE OPERATIVA

ACQUISIZIONE IMMAGINI



ELABORAZIONE IMMAGINI

ELABORAZIONE DATI

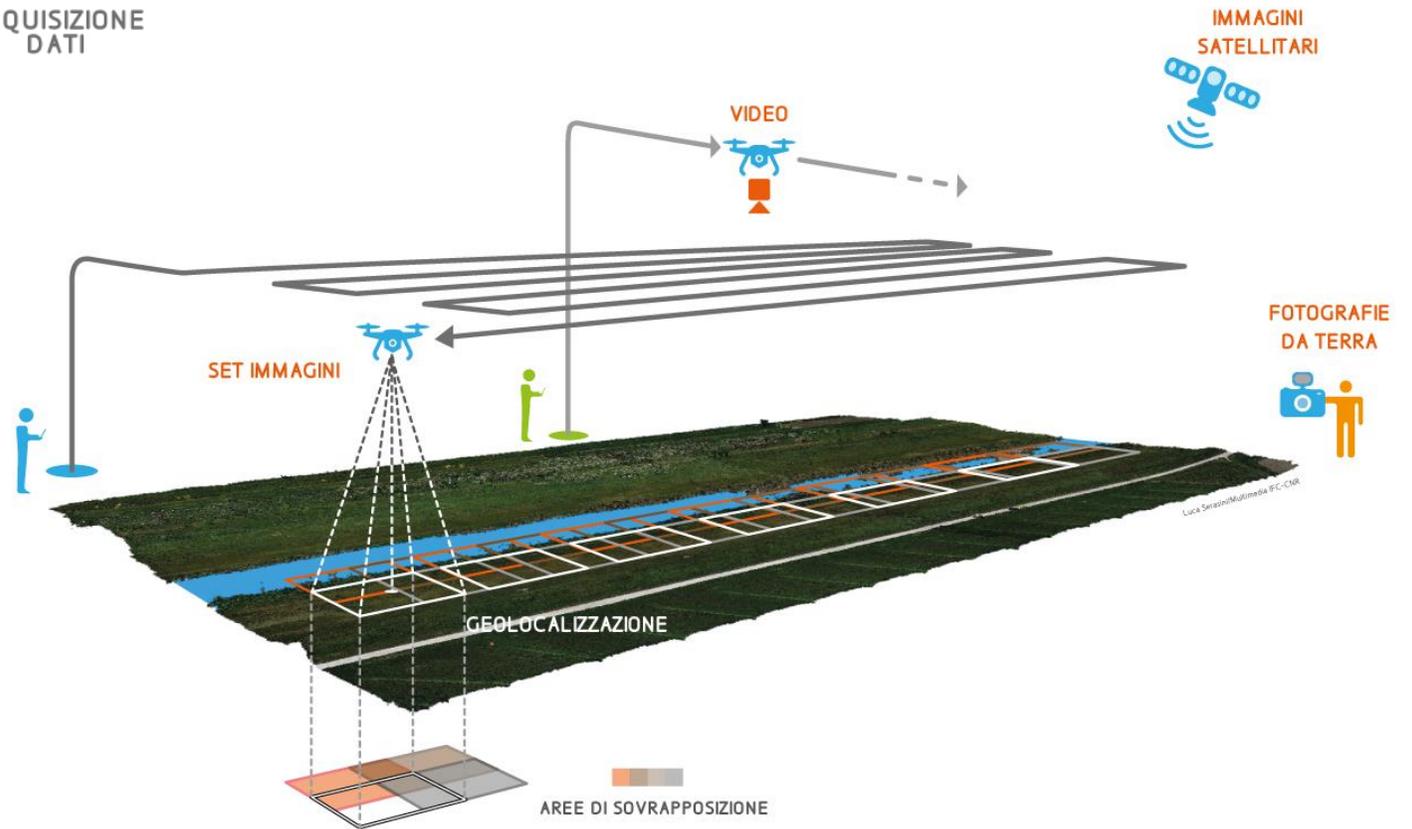
Strumenti e know-how



FASE DI PREPARAZIONE



Individuazione di uno standard procedurale per la realizzazione di rilievi topografici attraverso ortofoto e video raccolti da drone, da satellite e fotografie da terra per implementare un sistema di monitoraggio dei principali corsi d'acqua ed opere idrauliche.



Scelta del sensore



FASE DI PREPARAZIONE



RGB



TERMICO



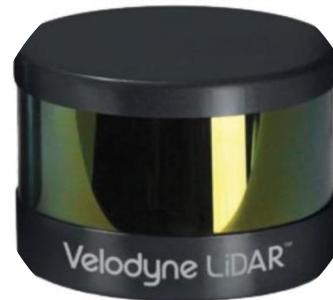
MULTISPETTRALE



IPERSPETTRALE



**RADION DETECTOR & GEIGER
COUNTER**



LIDAR



GEORADAR

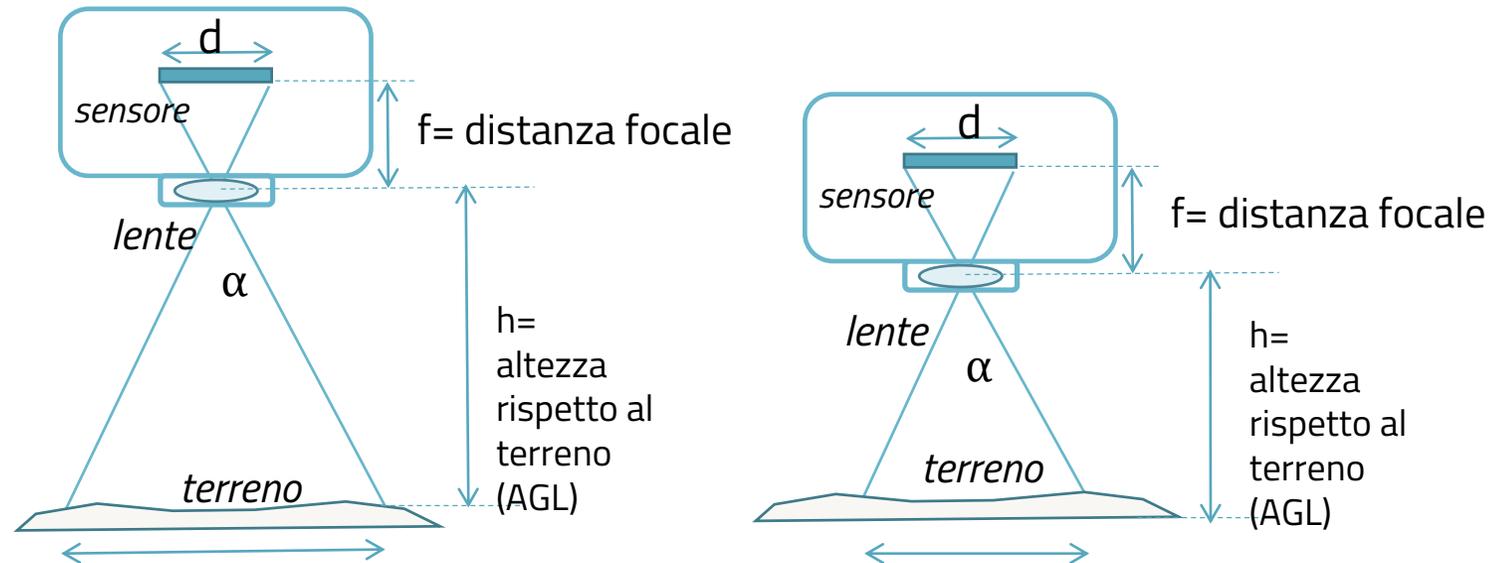


RILEVTORI GAS

Area di ripresa



FASE DI PREPARAZIONE



Caratteristiche sensore:

Larghezza immagine:	5472px
Altezza immagine:	3078px
Larghezza sensore:	13.2mm
Altezza sensore:	8mm
Lunghezza focale:	8.8mm

Altezza (m)	GSD (cm/pixel)	Larghezza immagine (m)	Altezza immagine (m)	Superficie (m ²)
6	0,18	9,8	5,5	54,6
10	0,3	16,4	9,2	151,6
20	0,59	32,3	18,2	586,3
50	1,48	81,0	45,6	3689,3
100	2,95	161,4	90,8	14657,5

Modalità di volo



FASE DI PREPARAZIONE

MANUALE

Il pilota **comanda direttamente il volo del drone** attraverso la Ground Control Station (telecomando)



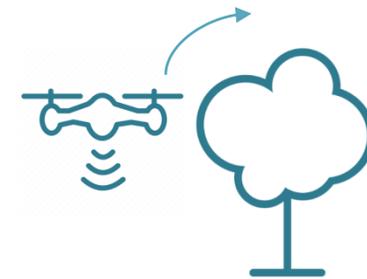
AUTOMATICO

- Il drone esegue in maniera **automatica un piano di volo preventivamente realizzato dal pilota** (può comprendere decollo e atterraggio);
- Eseguire una rotta fatta da un insieme di punti e di operazioni da eseguire in determinate posizioni
- **Il pilota può prenderne il comando in qualunque momento.**



AUTONOMO

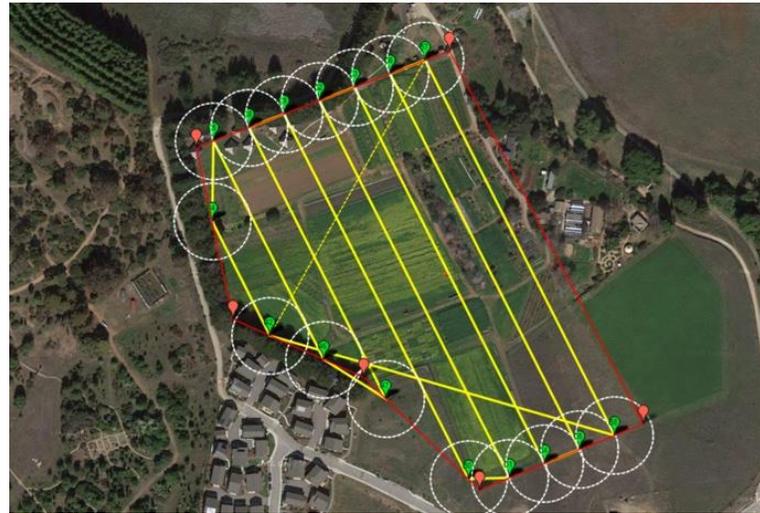
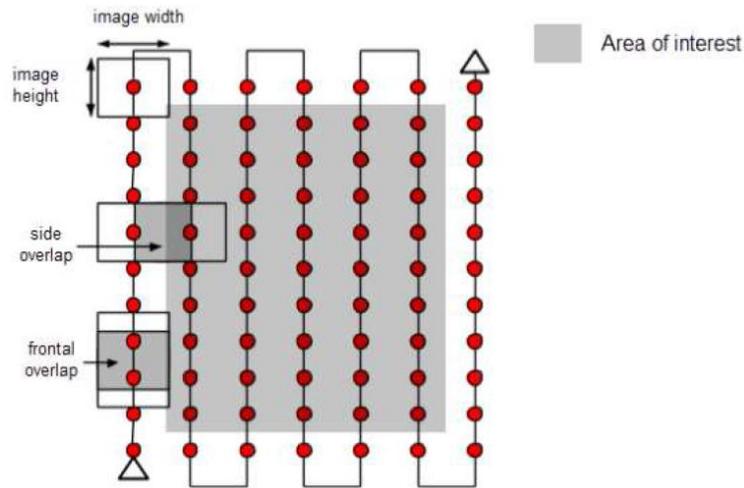
Il drone esegue una rotta prendendo autonomamente **decisioni riguardanti il superamento di ostacoli, il raggiungimento della destinazione** ed eventuali operazioni da realizzare.



Programmazione del volo Automatico



FASE DI PREPARAZIONE



Creazione di in piano mirato a eseguire un volo (meglio se automatico) che garantisce:

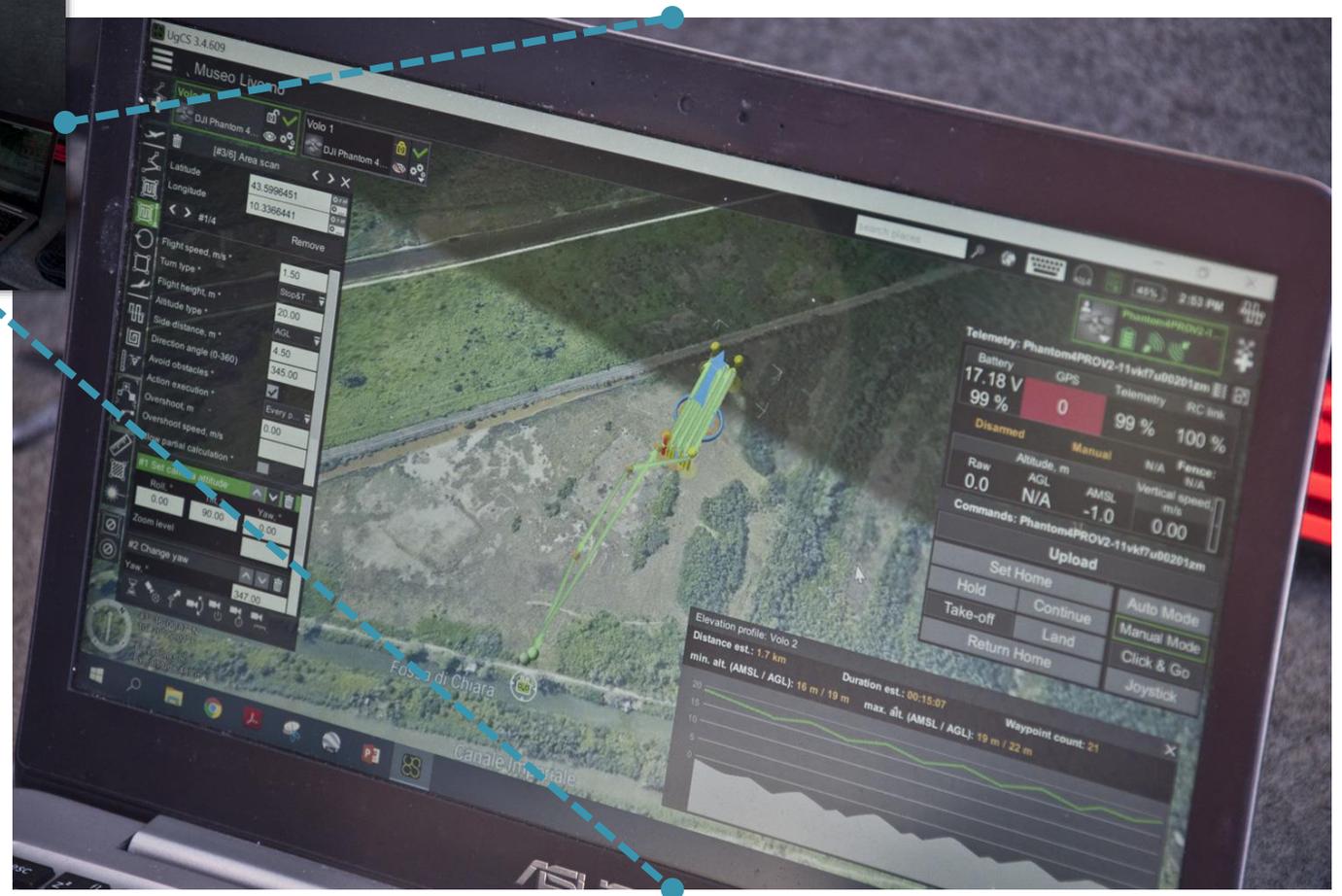
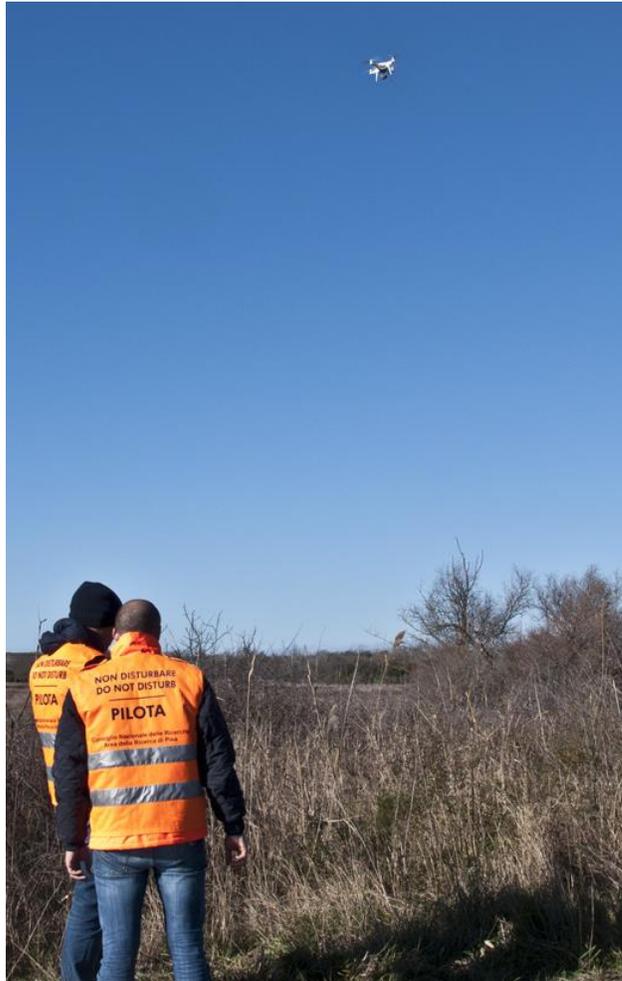
- Copertura dell'area da analizzare
- Foto sovrapposte
- Qualità sufficiente



Esecuzione del volo Automatico



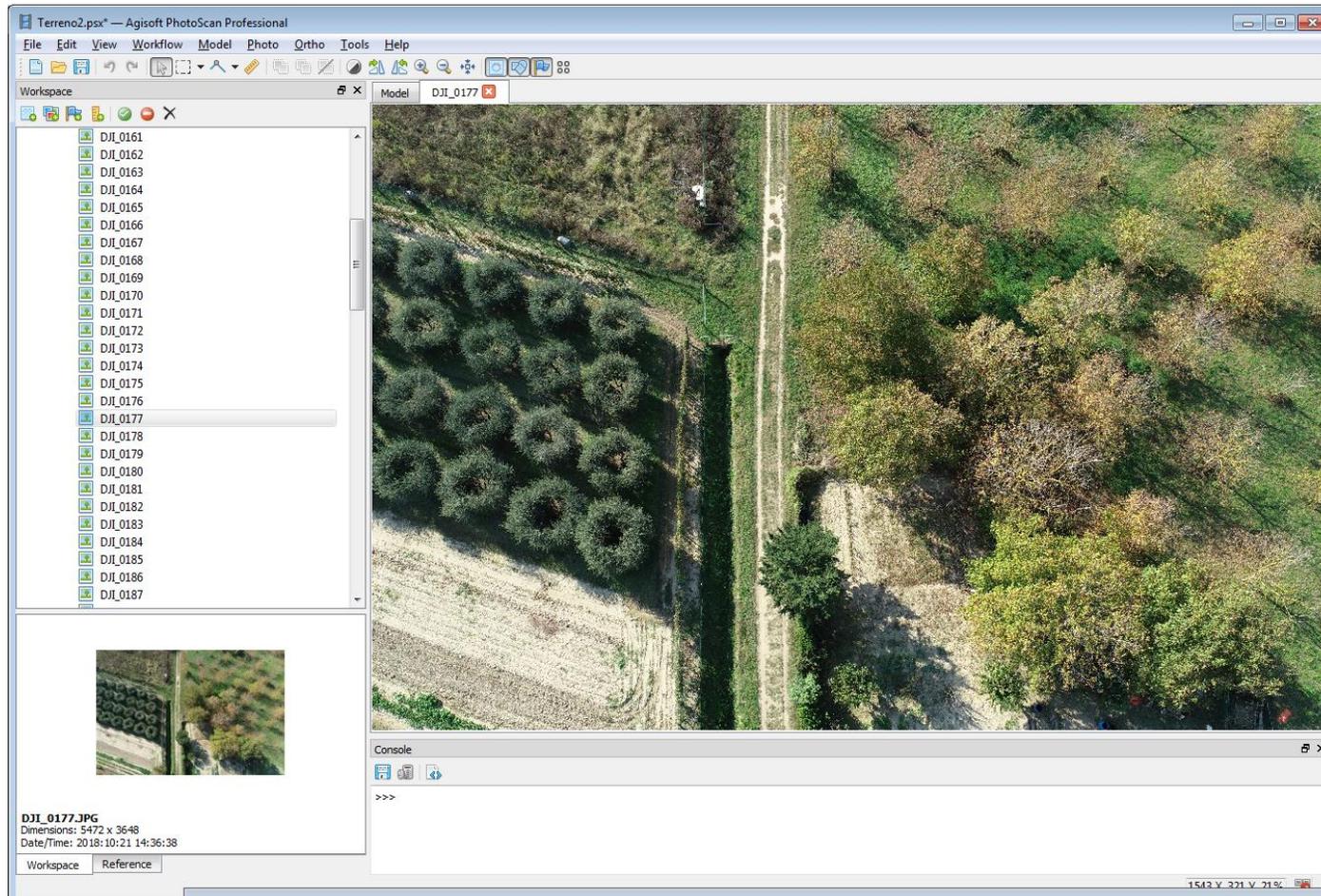
FASE OPERATIVA



Le immagini acquisite



FASE OPERATIVA



L'allineamento delle fotografie



FASE OPERATIVA

The screenshot shows the Agisoft PhotoScan Professional interface. The main window displays a 3D point cloud of a terrain with numerous blue camera frustums overlaid, each labeled with a DJI ID (e.g., DJI_0435, DJI_0389, DJI_0300). The interface includes a menu bar (File, Edit, View, Workflow, Model, Photo, Ortho, Tools, Help), a toolbar, and a workspace panel on the left. The workspace panel shows a tree view with the following items:

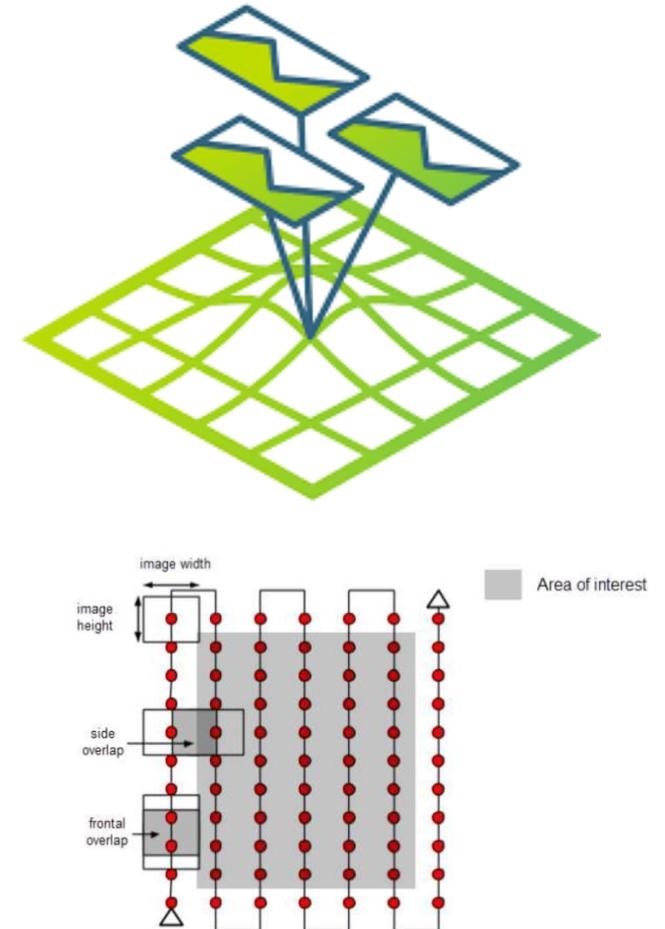
- Workspace (1 chunks, 258 cameras)
- Chunk 1 (258 cameras, 127,737 points) [R]
 - Cameras (258/258 aligned)
 - Tie Points (127,737 points)
 - Dense Cloud (67,923,882 points, Medium quality)
 - Tiled Model (10 levels)
 - DEM (12227x23522, 6.74 mm/pix)
 - Orthomosaic (32888x68916, 1.68 mm/pix)

The bottom-left panel shows the 'Property' window with the following data:

Property	Value
Tie Points	
Points	127,737 of 135,809
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	2.71627
Alignment parameters	
Accuracy	Low
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	4 minutes 51 seconds

The bottom-right panel shows the console with the following log entries:

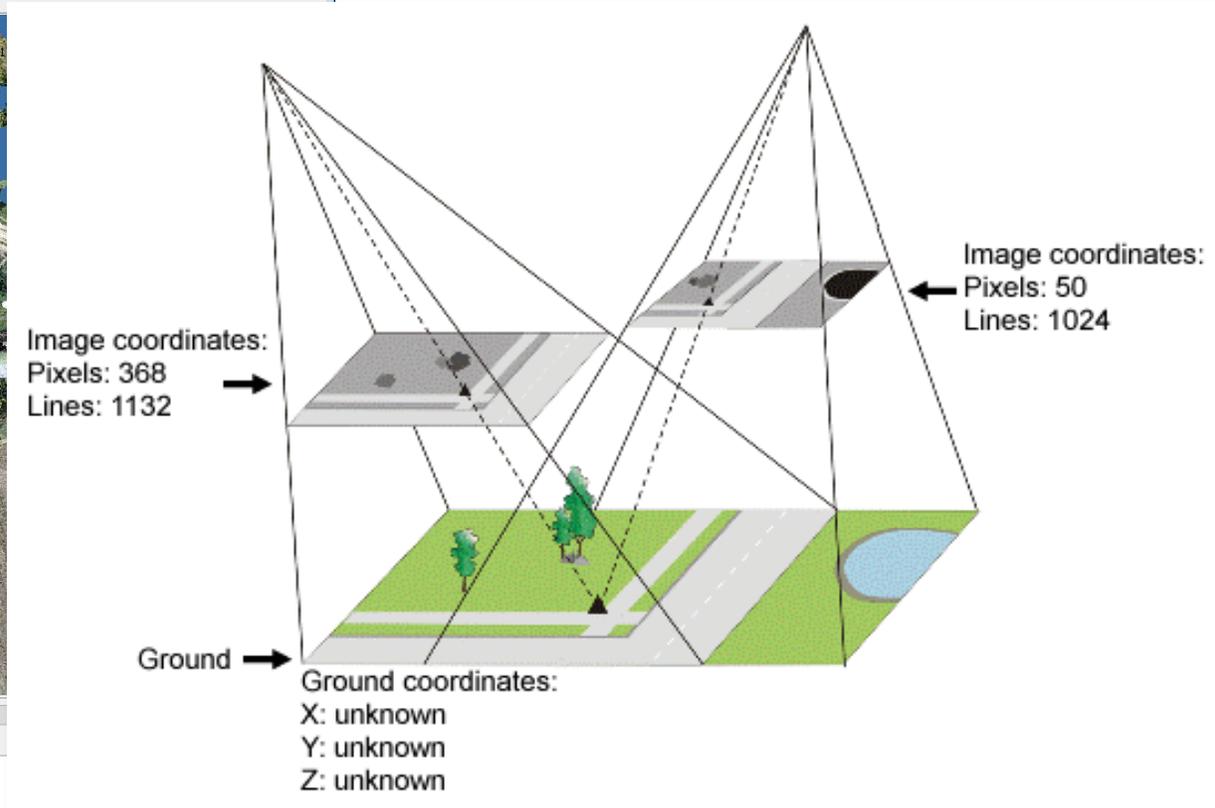
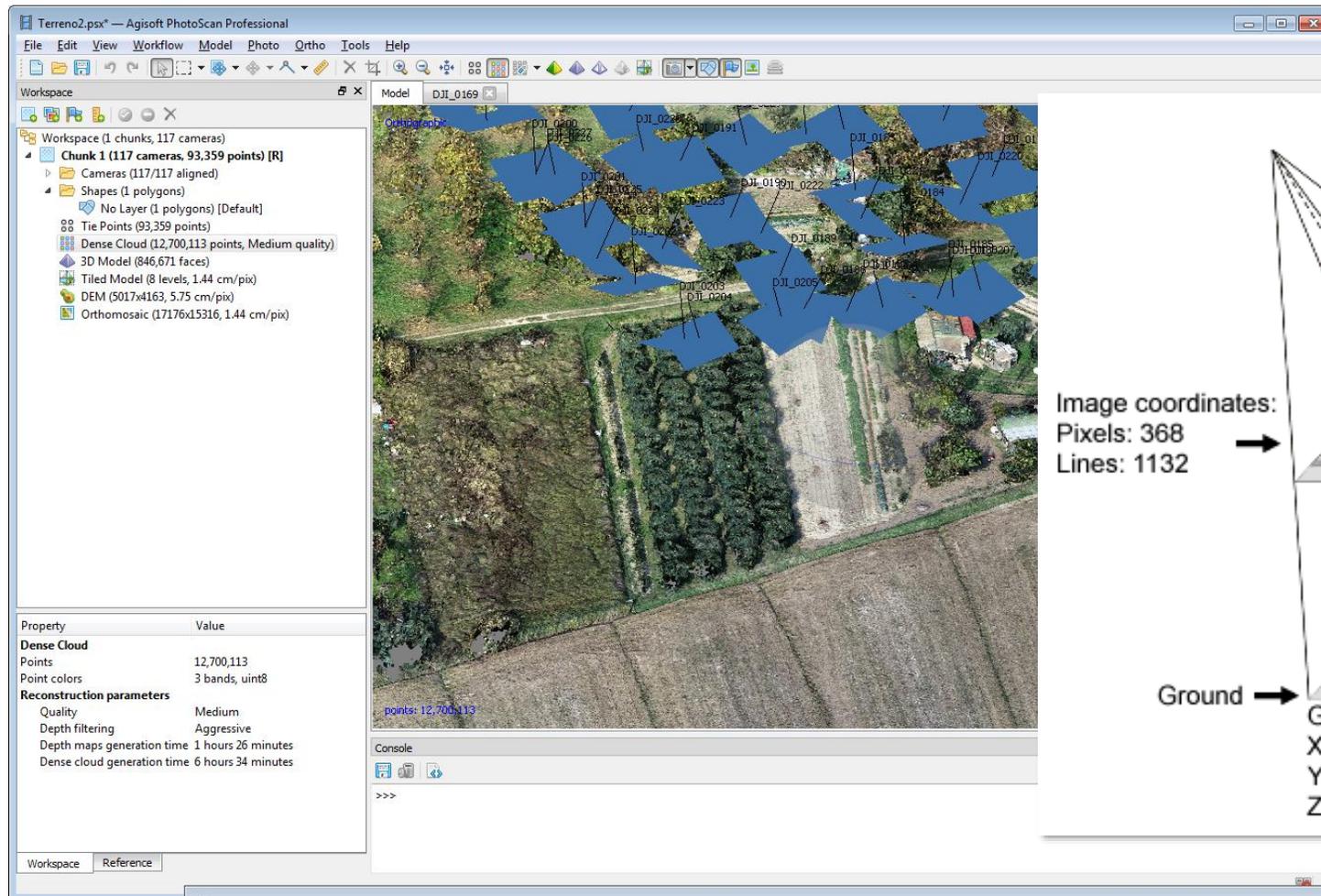
```
2019-10-30 22:57:36 LoadProject: path = G:/Droni/San Rossore/Foto/6 - Scansione 6 (25-06-19)/Area Monitorata/25-06-19.psx
2019-10-30 22:57:36 Loading project...
2019-10-30 22:57:37 loaded project in 0.389 sec
2019-10-30 22:57:37 Finished processing in 0.39 sec (exit code 1)
>>>
```



La nuvola di punti



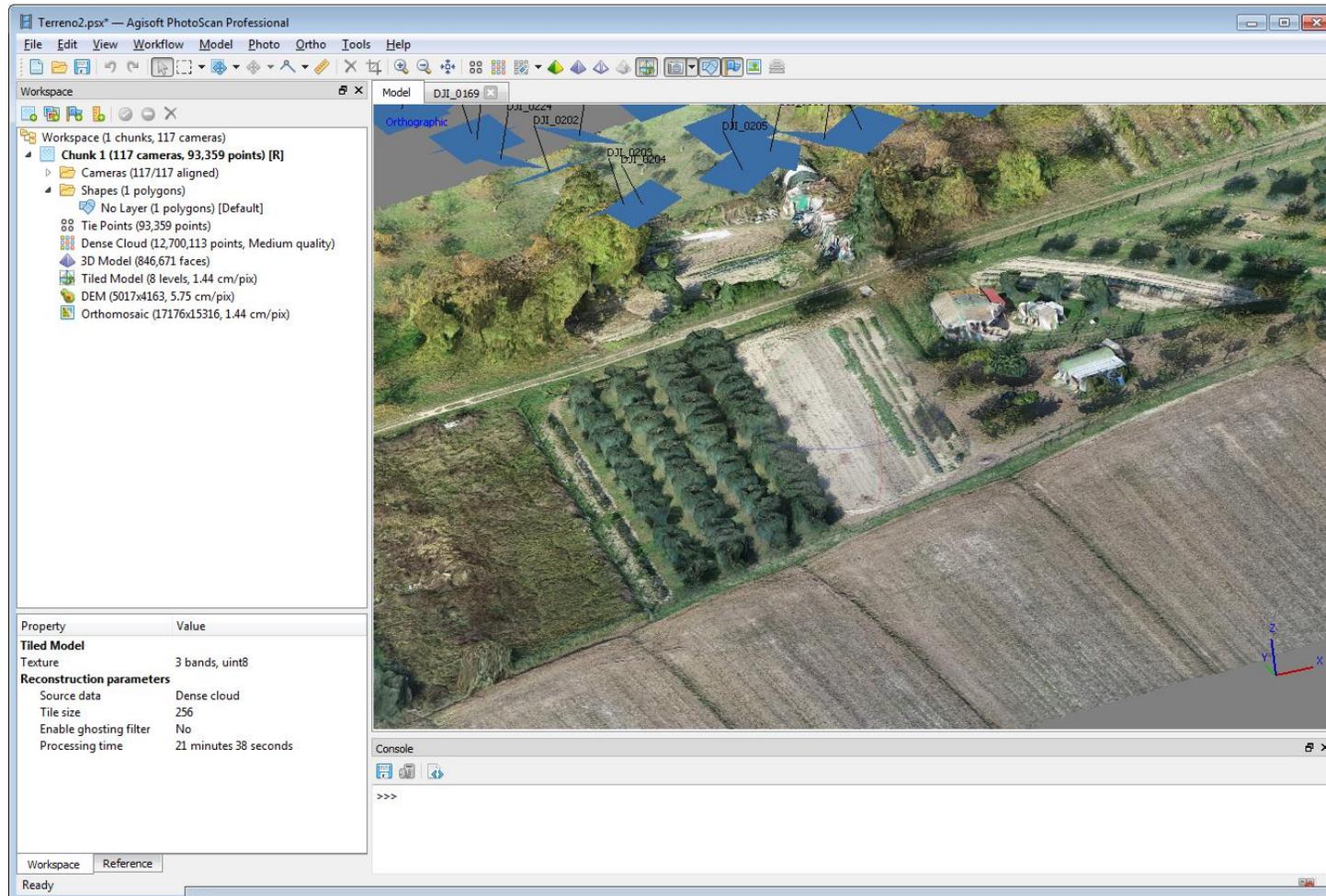
FASE OPERATIVA



Il modello 3d



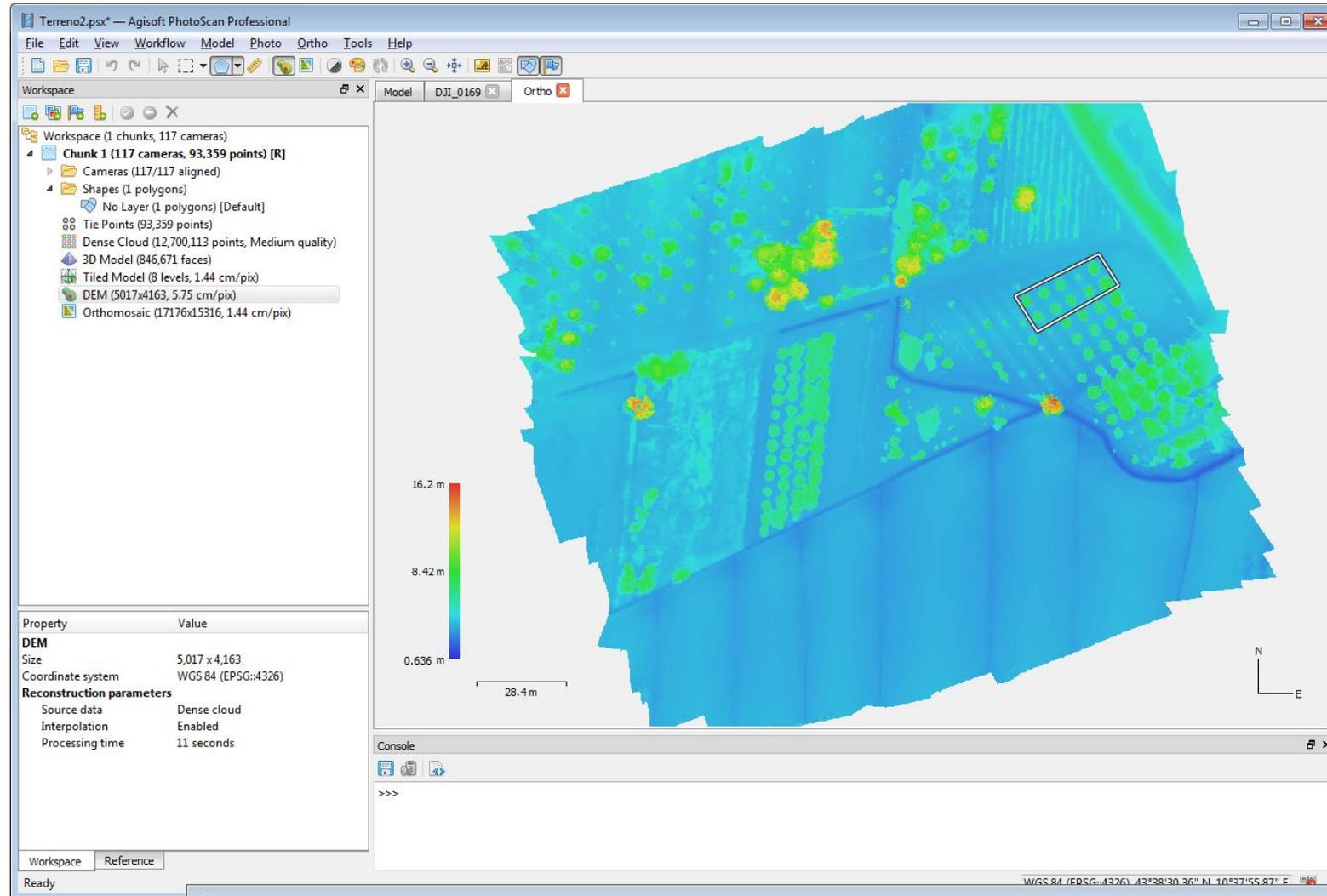
FASE OPERATIVA



L'immagine DEM (Digital Elevation Model)



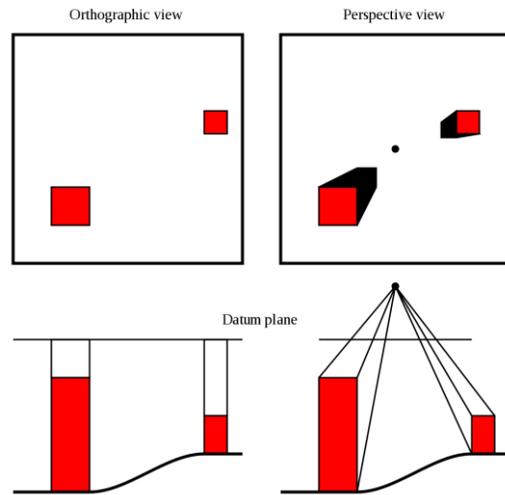
FASE OPERATIVA



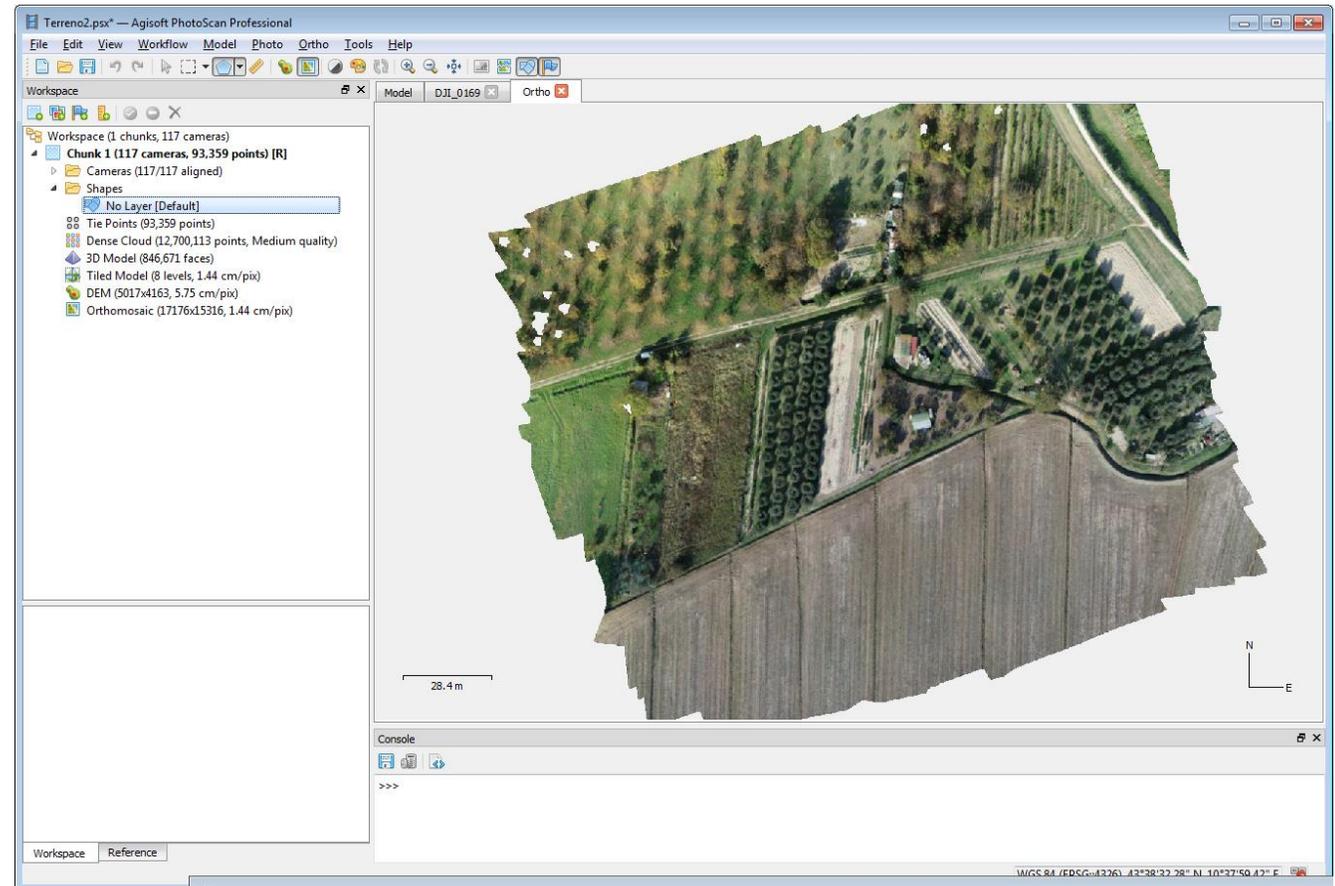
L'Ortofoto



FASE OPERATIVA



Una **ortofoto** o **ortofotografia** è una fotografia aerea che è stata geometricamente corretta (cioè che ha subito procedimento di ortorettifica) e georeferenziata in modo tale che la scala di rappresentazione della fotografia sia uniforme, cioè la foto può essere considerata equivalente ad una carta geografica.



La procedura di validazione



FASE OPERATIVA

ACQUISIZIONE

immagini aeree da piano di volo automatico mediante utilizzo di droni e software commerciali;

RILIEVO

tramite GPS differenziale in modalità Rtk, di marker topografici a terra e sezioni di controllo;

ELABORAZIONE

immagini aeree e dei marker rilevati, tramite software commerciale, per creazione di nuvola di punti, DTM, ortofoto;

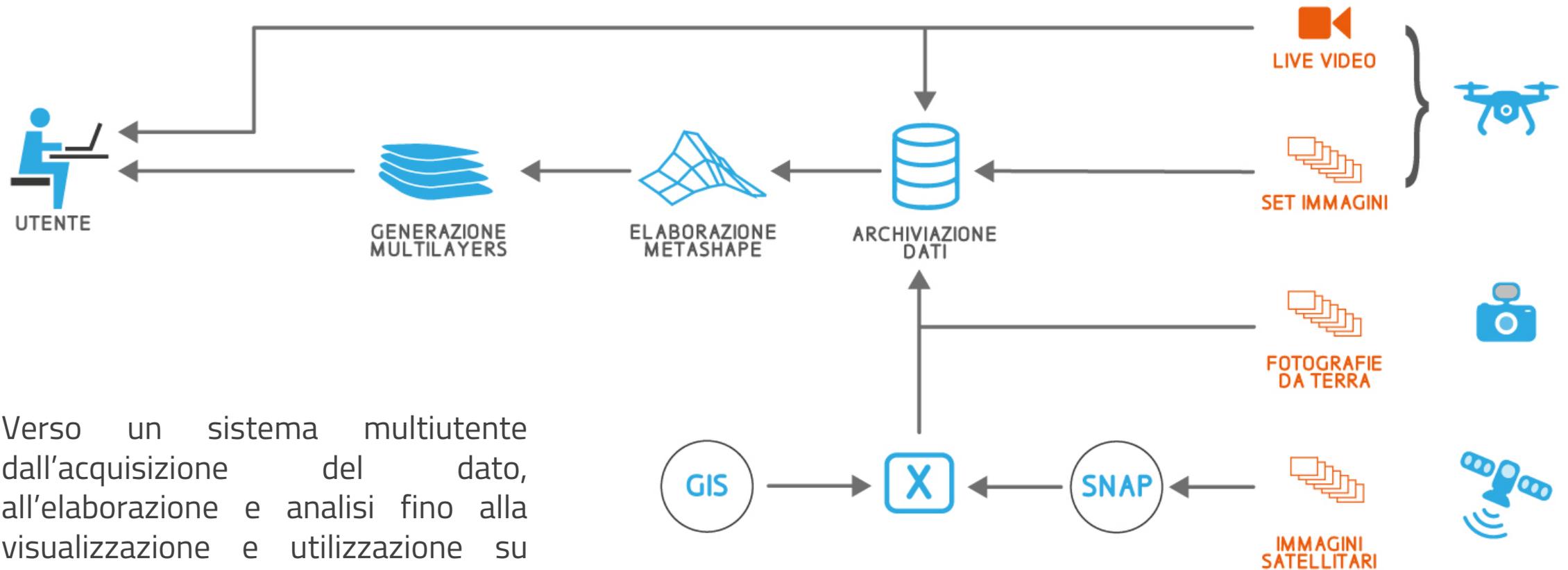
VALIDAZIONE

Necessaria per un confronto diretto dei dati elaborati delle immagini aeree.

I risultati ottenuti hanno una precisione paragonabile a quella dei GPS differenziali in modalità Rtk.

Tale precisione è influenzata anche da altri fattori: intrinseci degli strumenti utilizzati (qualità fotocamera presente sul drone, ecc.); altri funzione del tempo e delle risorse impiegate (corretta distribuzione marker a terra, altezza di volo, % sovrapposizione immagini aeree, ecc.).

Utilizzo e Gestione dei dati



Verso un sistema multiutente dall'acquisizione del dato, all'elaborazione e analisi fino alla visualizzazione e utilizzazione su piattaforme on-line.

3.

APPLICAZIONI PRATICHE

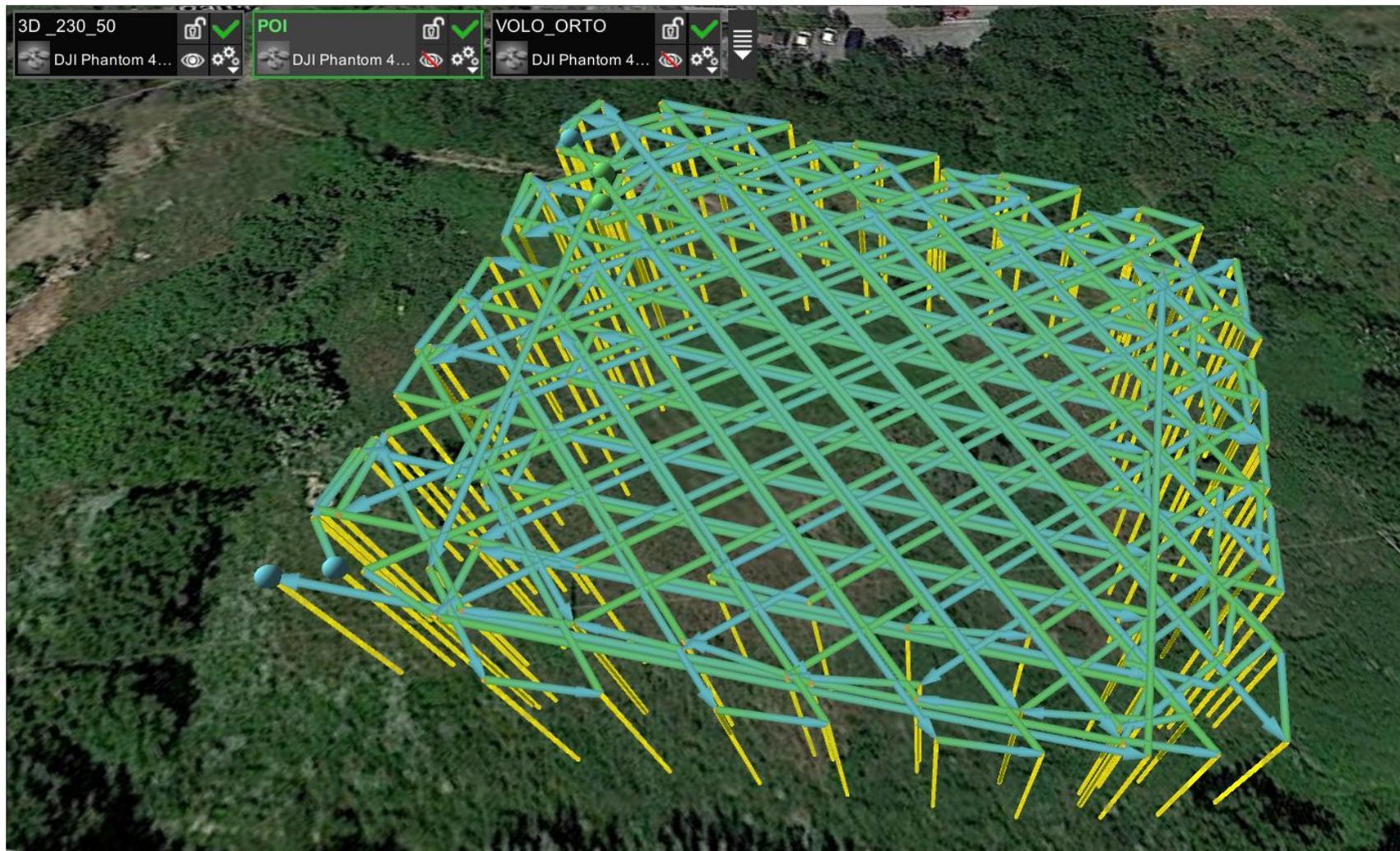


Anfiteatro che non c'era di Volterra



AMBITO ARCHEOLOGICO

I quattro voli automatici da drone sono stati eseguiti a bassa quota, circa 15-20 metri AGL ed hanno permesso, scattando 1351 foto geo referenziate, di generare un modello digitale ad altissima risoluzione pari a 6,4mm/pixel di una superficie pari a 1 ha.



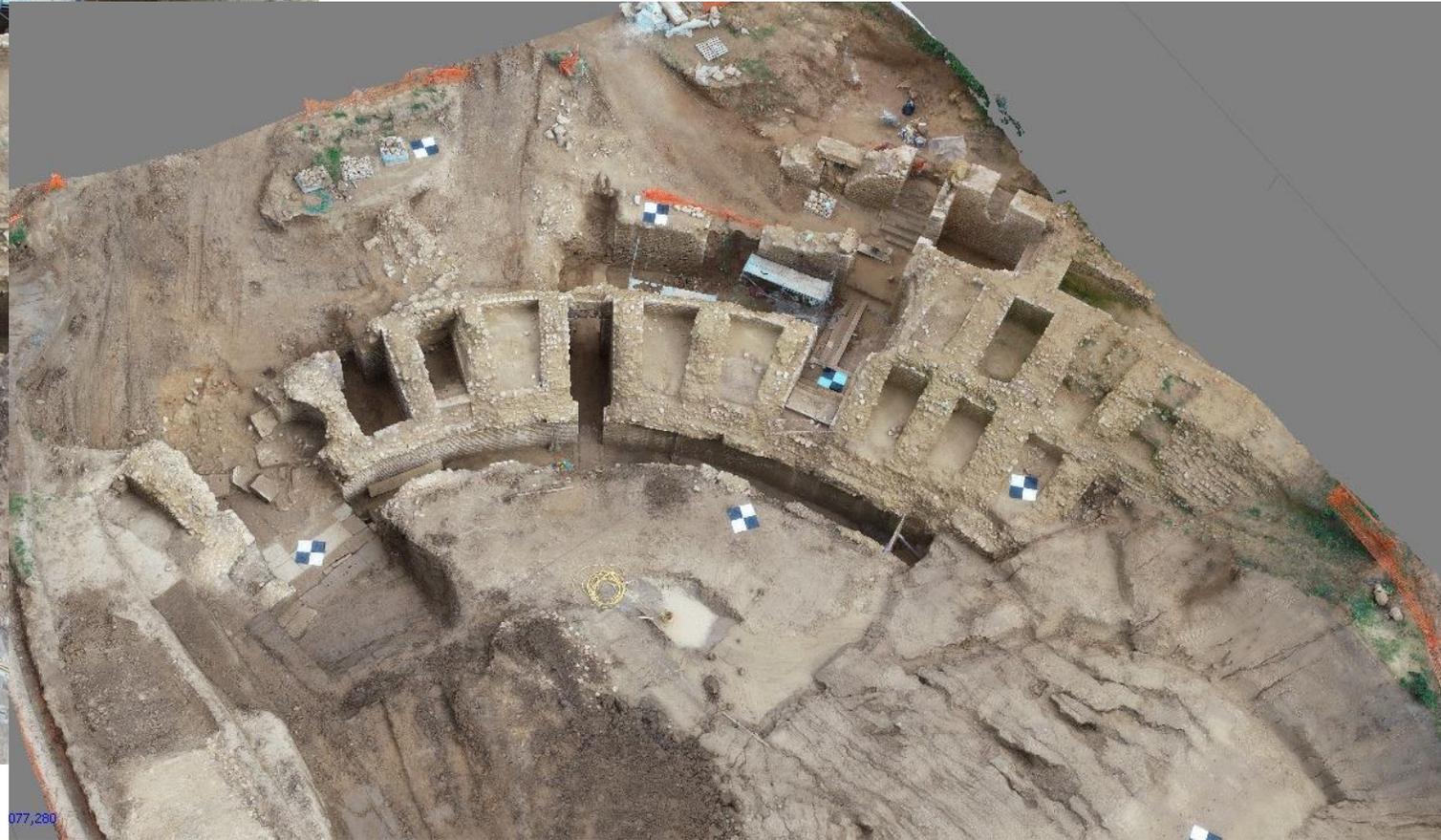
Anfiteatro che non c'era di Volterra



AMBITO ARCHEOLOGICO



Immagine RGB da drone



Screenshot del modello 3D

Anfiteatro che non c'era di Volterra



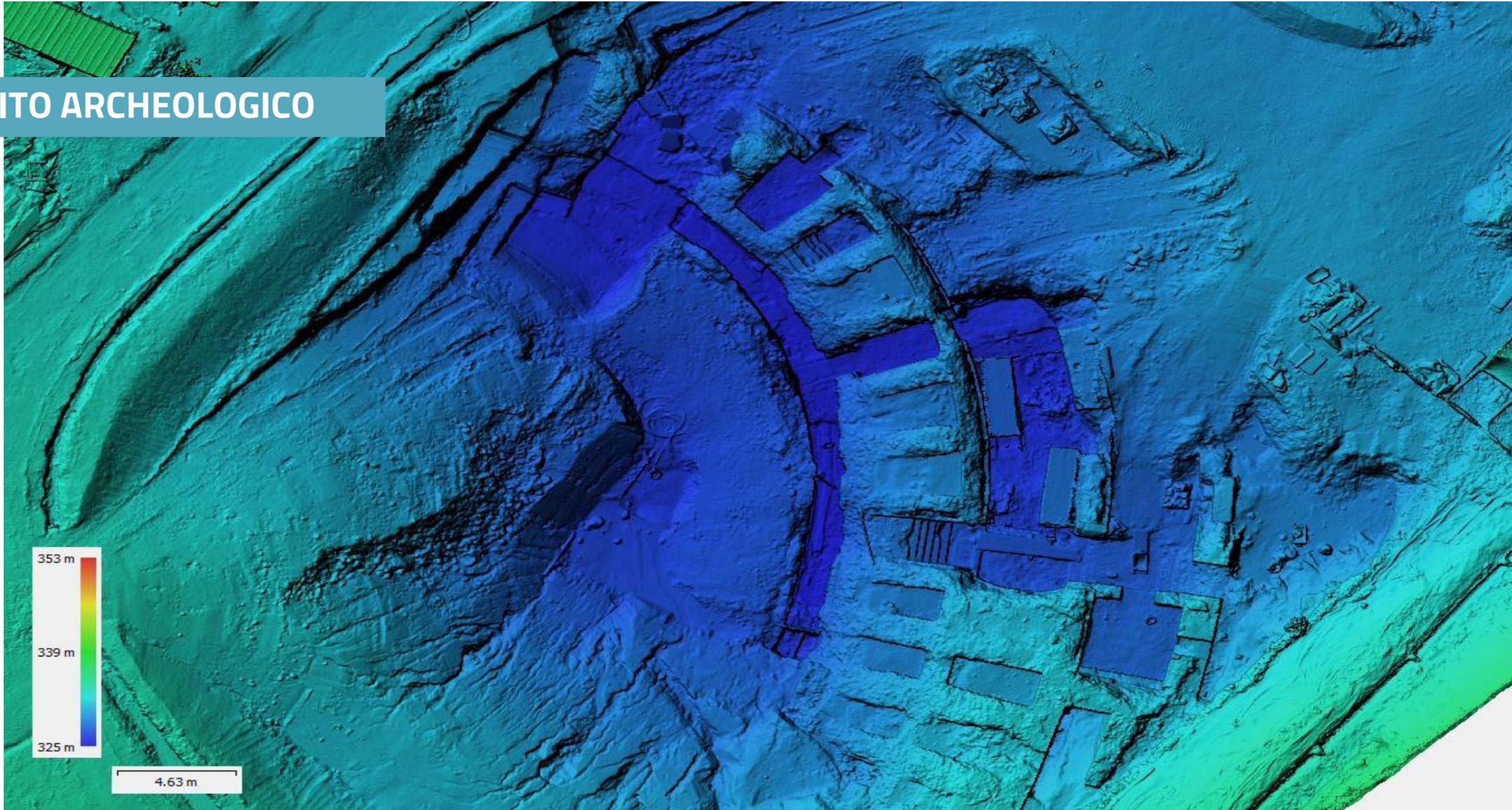
AMBITO ARCHEOLOGICO



Anfiteatro che non c'era di Volterra: DEM



AMBITO ARCHEOLOGICO



Anfiteatro che non c'era di Volterra: Stampa 3D



AMBITO ARCHEOLOGICO



Monitorare la variabilità spaziale



SETTORE AGROALIMENTARE

Camera multispettrale
Tetracam SNAP



Misura della **RIFLETTANZA** della cortina fogliare nel ROSSO e VICINO INFRAROSSO per il calcolo dell'indice di vigore NDVI correlato alla biomassa fotosinteticamente attiva



Camera visibile
Sony QX100 – 20MP



Camera termica FLIR
TAU II

Mapa volumetrica di
biomassa

Misura dell'**EMISSIVITÀ** della cortina fogliare nell'infrarosso termico per il calcolo dell'indice di stress CWSI correlato alla temperatura fogliare e allo stress idrico

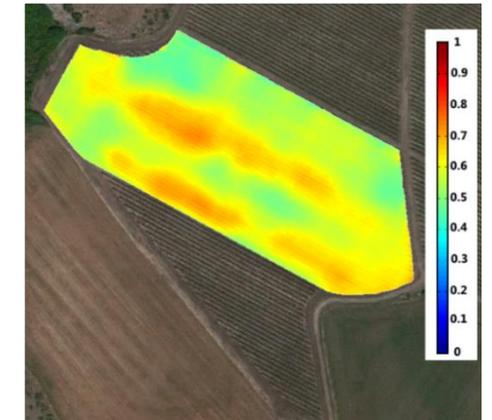
Immagine
multispettrale

Mapa di
vigore NDVI



Immagine
termica

Mapa di
stress CWSI



Monitorare la variabilità spaziale



SETTORE AGROALIMENTARE

Fotogrammetria ad altissima risoluzione con camera visibile



Software di fotogrammetria che integrano tecniche *computer vision* basate su algoritmi Structure from Motion (SfM)

Monitorare la variabilità spaziale



SETTORE AGROALIMENTARE



Caratterizzazione della variabilità spaziale in termini di biomassa in supporto alla gestione della chioma



Fitofarmaci

Cimatura e sfogliatura

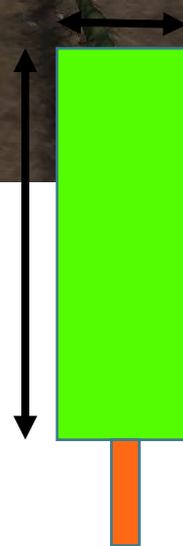
Concimazioni

Resa

Qualità

Risorsa idrica

Equilibrio vegeto-produttivo



Informazione volumetrica accurata ($< 1\text{cm}/\text{pixel}$)



Bacino Remiero del Roffia



SETTORE IDROLOGICO



Quota (m)	Capienza (m ³)
18	3310883,50
22	5837209,73
25	8151592,51



Bacino Roffia - Traiettoria dei 5 voli automatici a 100m



Risoluzione foto aerea Regione Toscana VS
Risoluzione foto Drone

Monitorare eventi eccezionali



Situazione dopo l'apertura, a seguito della piena del Bacino di Roffia del Fiume Arno 18/11/2019

SETTORE IDROLOGICO



INGRESSO (lato bacino)



Argine



GESTIONE EMERGENZE

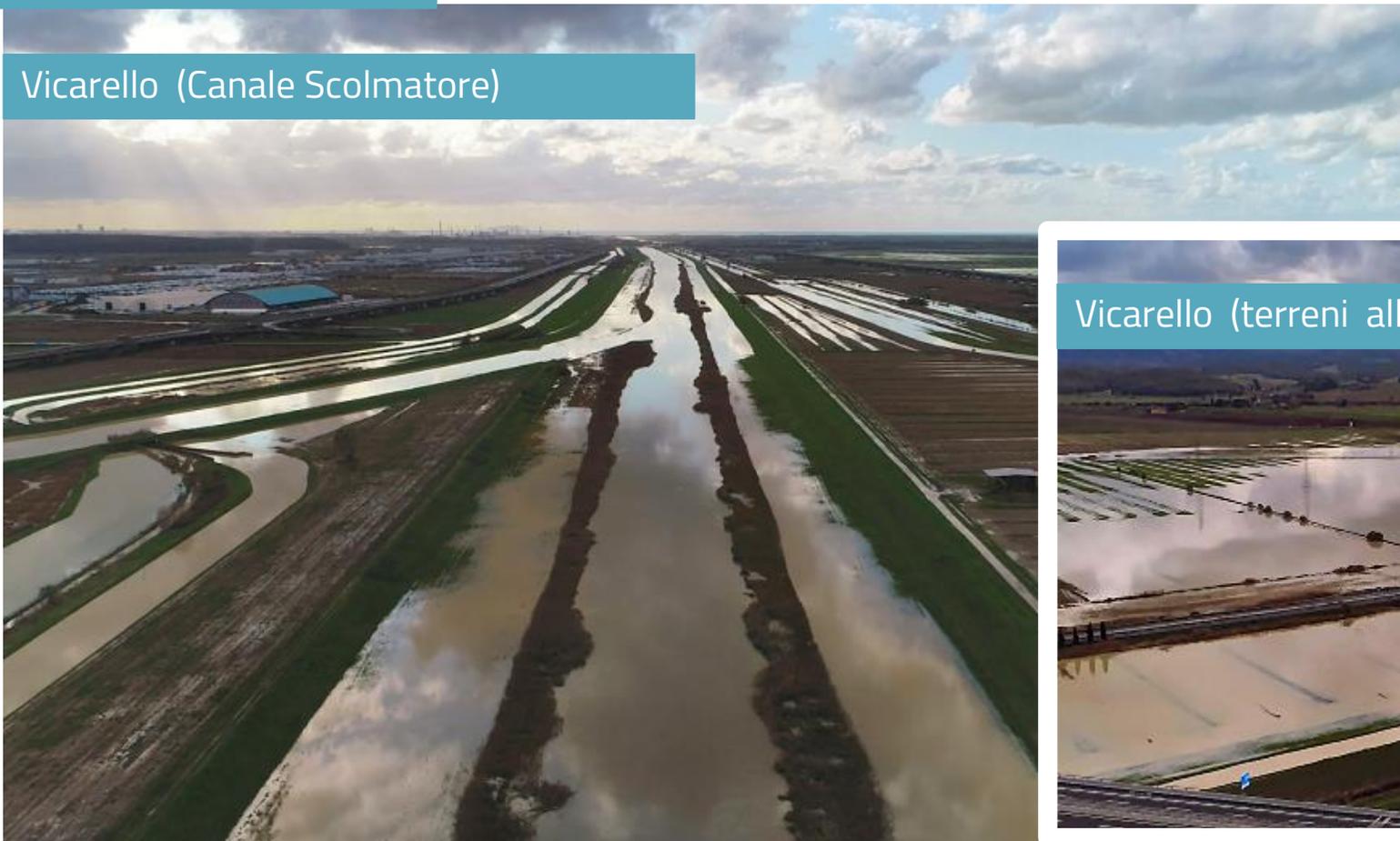


Monitorare eventi eccezionali



GESTIONE EMERGENZE

Vicarello (Canale Scolmatore)



Situazione antecedente all'apertura del canale scolmatore a seguito della piena dell'Arno 17/11/2019

Vicarello (terreni allagati)



Monitoraggio dei bacini fluviali e di bonifica

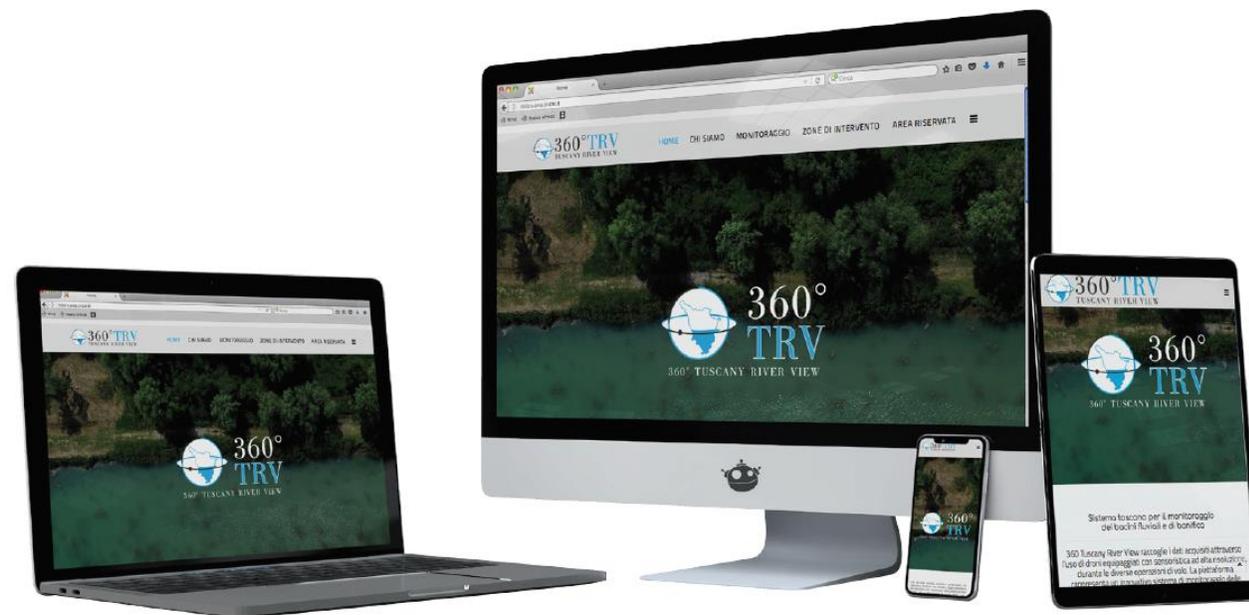


INNOVAZIONE

360TRV raccoglie i dati acquisiti in fase di monitoraggio delle opere idrauliche e delle morfologie fluviali del territorio, attraverso l'uso di satelliti e di droni equipaggiati con sensoristica ad alta risoluzione.

VISUALIZZAZIONE

360TRV intende promuovere la conoscenza delle attività, e rendere consultabili i dati raccolti, permettendone la visualizzazione e l'interazione attraverso apposita piattaforma web.



La piattaforma



MANIPOLAZIONE DEL DATO ELABORATO

Rendere il dato consultabile ed utilizzabile da diversi portatori di interesse, con possibilità di accesso riservato ai soggetti coinvolti nel progetto

NAVIGAZIONE e CONTENUTI SMART

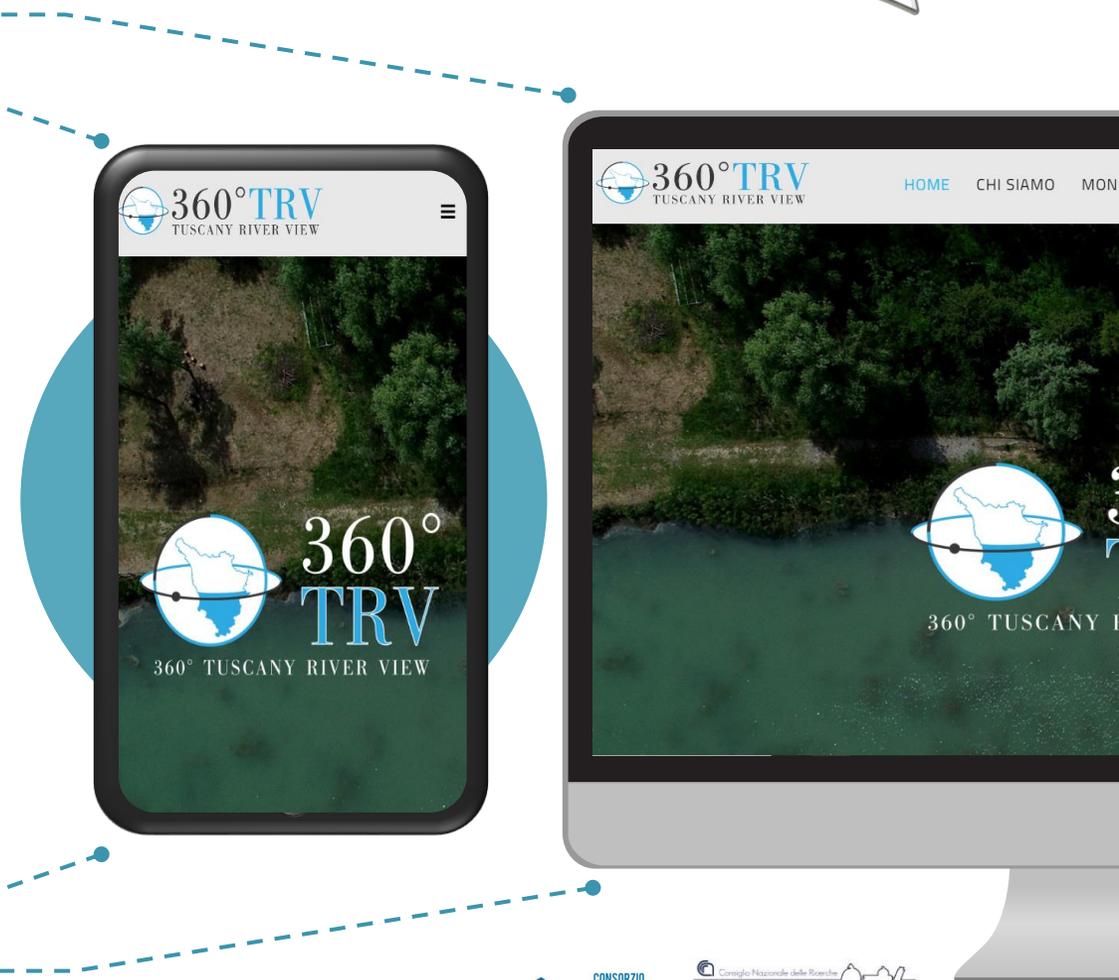
Scelta e selezione di contenuti *user friendly* e di navigazione facilitata per favorire comprensione di metodologie e attività di monitoraggio innovative, anche complesse, attraverso l'utilizzo di infografica ed esempi statici o interattivi di *output*.

RESPONSIVENESS SU VARI DISPOSITIVI

Rendere possibile l'utilizzo della piattaforma e delle informazioni in fase di acquisizione dati in campo, anche attraverso dispositivi portatili che non siano desktop

CREAZIONE DI UNA PIATTAFORMA DEMO

Sensibilizzare gli *stakeholders* riguardo l'esigenza e l'importanza di implementare e completare il sistema di monitoraggio «360 Tuscany River View»





GRAZIE

andrea.berton@cnr.it

Photo credit: Venezia2021 project:

