

REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO DEL TERRITORIO E
DELL'AMBIENTE
DIPARTIMENTO URBANISTICA
AREA INTERDIP. "B" – NODO SITR



REALIZZAZIONE RIPRESA AEREA DIGITALE PIXEL 0.25 mt,
APPOGGIO, TRIANGOLAZIONE AEREA, ESTRAZIONE MODELLI
DIGITALI ELEVAZIONE, ORTOFOTO PIXEL 0.25 mt E ATTUALIZZAZIONE
SPEDITIVA LAEER BASE CRT 1:10000 INERENTE IL TERRITORIO
DELLA REGIONE SICILIANA ISOLE MINORI COMPRESSE

Palermo 6 aprile 2009
Palazzo dei Normanni
Sala Gialla



Assemblea Regionale
Siciliana

Prog. e Direzione Lavori : Ing. Salvatore Cirone

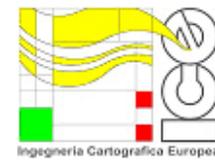
Collaudo: Ing. Pietro Alfredo Scaffidi Abbate

Realizzazione : ICE G.e.i.e (Stereocarto Madrid – RPA Perugia)



Obiettivo

1. Una ripresa aerea, **proprietaria**, su tutto il territorio regionale che consentisse:
 - La realizzazione di una ortofoto in alta risoluzione (25 cm)
 - La derivazione di un modello digitale del terreno da restituzione stereoscopica
 - Un aggiornamento speditivo della CTR a scala 1:10.000 ad una stessa data
2. Effettuare la ripresa e le elaborazioni nel minor tempo possibile in quanto soggetti a certificazione sui fondi europei



Progettazione

Per ottenere il fine prefissato si sono imposte in fase di realizzazione, per la prima volta in Sicilia e forse in Italia (per estensione), l'utilizzo di una camera aerofotogrammetrica digitale e caratteristiche di volo il più possibile simili a quelli analogici del 1997. e ciò per consentire:

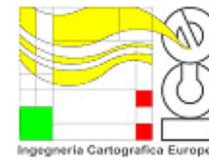
- di saltare la fase di sviluppo, stampa e successiva scannerizzazione dei fotogrammi;
- ottenere stampe comparabili con voli precedenti
- utilizzare per appoggio sul terreno i punti fotografici e di rete utilizzati, negli anni, per la realizzazione dei vari lotti della CTR



Aggiudicazione del servizio

Sulla base di un apposito capitolato speciale d'appalto i lavori relativi alla ripresa aerea e relative elaborazione sono stati aggiudicati, con il criterio dell'offerta economicamente più vantaggiosa, alla **ICE Geie di Perugia (RPA_Perugia,Stereocarto-Madrid)**; che in sede di offerta hanno proposto la realizzazione di un volo combinato, camera digitale e LIDAR, per l'ottenimento simultaneo di modelli digitali del terreno.

Superficie = 2.578.800 Ha €. 1.809.461,44
tempo di realizzazione di 1 anno



Fasi ed elaborazioni

Quindi a seguito delle migliori proposte sono state individuate le seguenti fasi di lavoro

1. Volo combinato: Immagini Digitali (pixel 0,25)+ Lidar
2. Georeferenziazione: GPS-INS + Appoggio + AT
3. Modeli Digitali di Elevazione mediante LiDAR
4. Ortofoto (0,25 mt) RGB +CIR
5. Aggiornamento speditivo Cartografia





1.1 Camara Digitale DMC





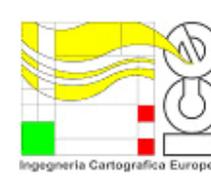
1.1 DMC. Caratteristiche

- **FOV** **69.3° x 42°**
- **Pancromatico** **13.824 x 7.680 pixel**
4 lenti $f = 1:4.0 / 120\text{mm}$
- **Multi spettrale** **2.048 x 3.072 pixel**
4 canali RGB & NIR
4 lenti $f = 1:4.0 / 25\text{mm}$
- **Otturatore, apertura** **variabile**
- **Num. immagini in volo** **840 GB = > 2.200 immagini**
- **Immagine per secondo** **2.1 sec / immagine**
- **Risoluzione radiometrica** **12 bit**
- **Peso (solo la camera)** **88 kg**

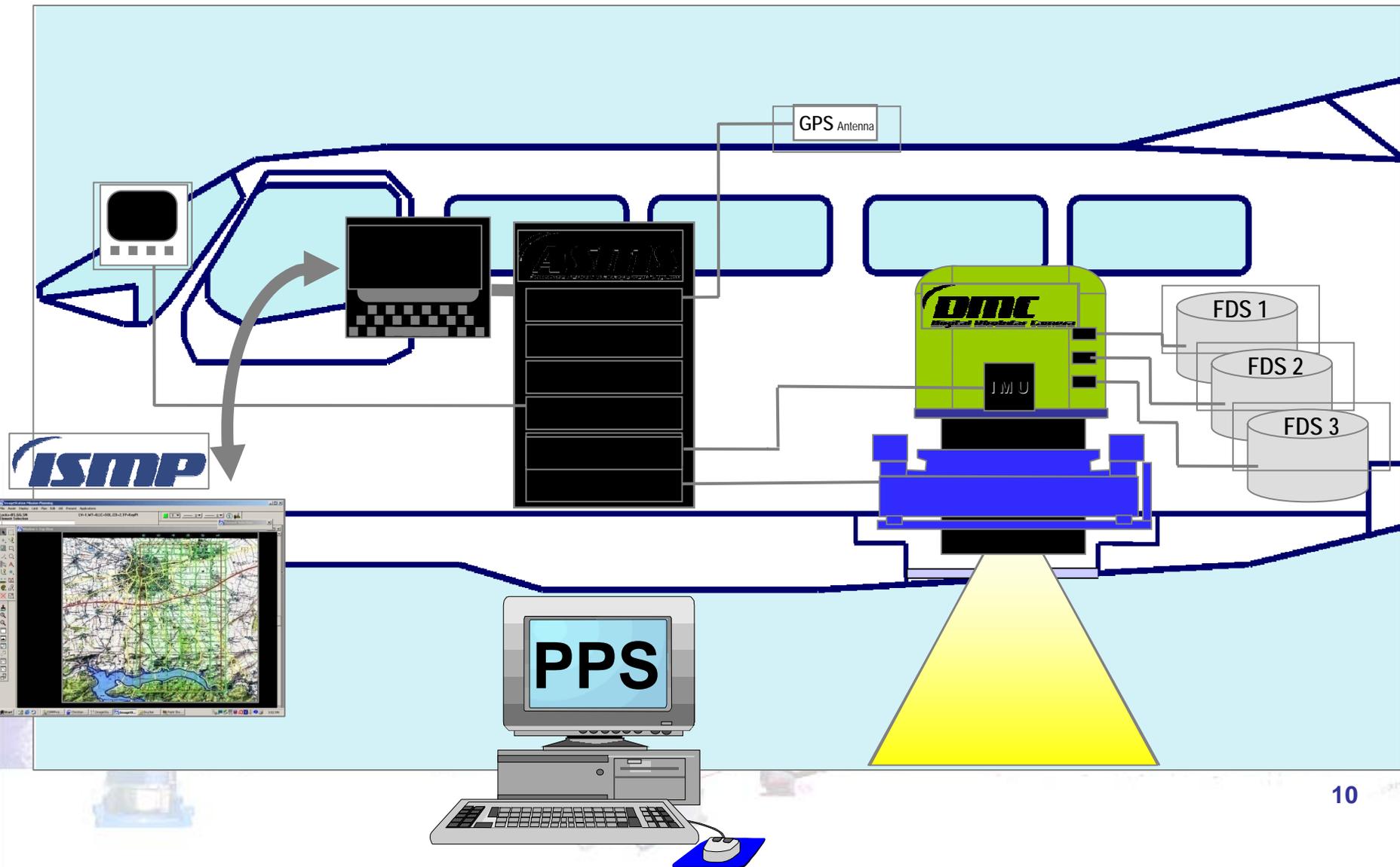


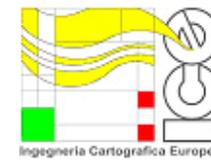
1.1 DMC. Descrizione tecnica

- CCD di grande formato
- Camera metrica fotogrammetrica
- Alta risoluzione spaziale
- Risoluzione radiometrica di 12-bit
- Immagini con 4 bande multispettrali e pancromatiche.
- Compensazione FMC (TDI)
- Data storage in volo
- Sistema di controllo aereo
- Stazione a terra per il postprocesso
- Gestione di immagini e distribuzione



1.1 DMC. Componenti del sistema





1.2 Lidar: componenti del sistema

- Componenti:
 - Scanner
 - Unità di controllo
 - Computer di controllo
 - Software di postprocesso
- Sistemi associati:
 - Sistema GPS
 - Sistema inerziale

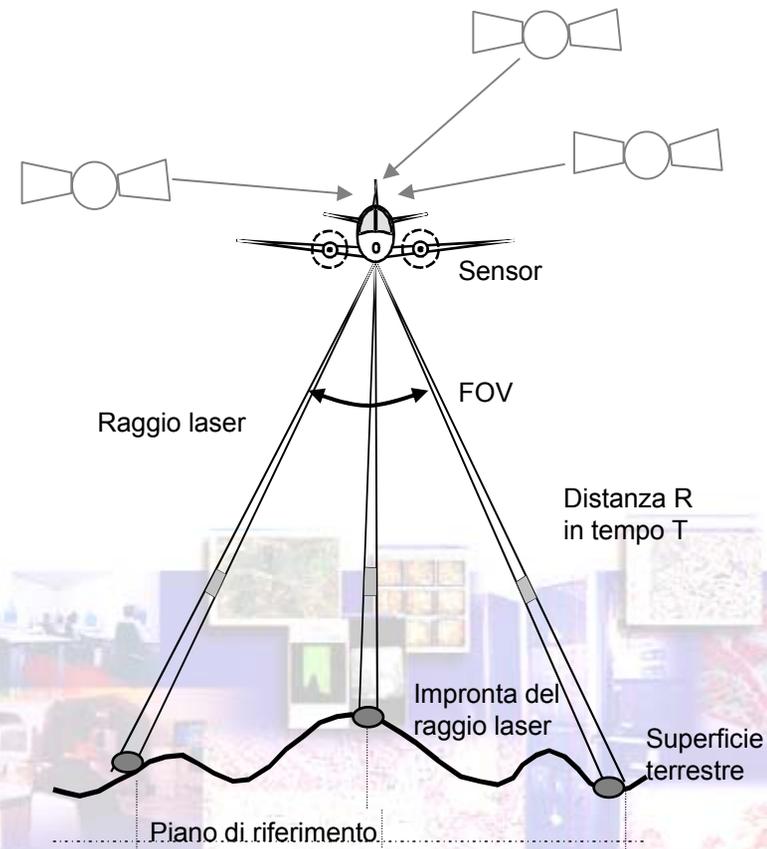


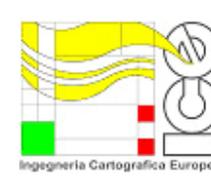


1.2 Sensore LIDAR

- **Lo scopo:** ottenimento di un DEM in modo diretto
- **Come?:** utilizzando un sensore LIDAR (Light Detection and Ranging) aero-imbarcato
- **C'è bisogno:**
 - Distanze ed angoli al terreno:
Tempo di ritorno del raggio.
 - Posizione del Sensore: DGPS.
 - Orientazione del Sensore: IMU.

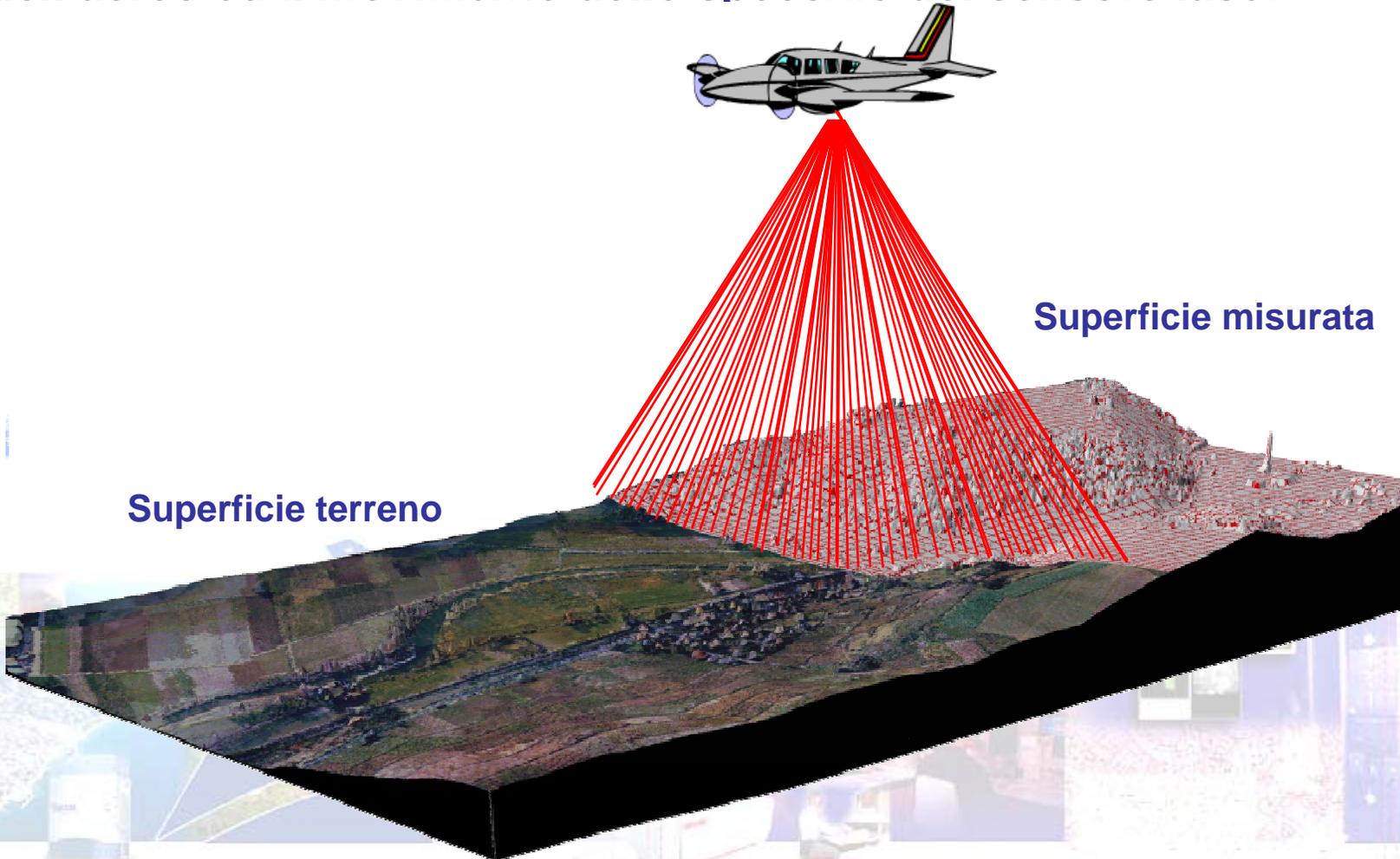
Viene emesso un raggio laser misurando il tempo che impiega per tornare al sensore- con alta precisione (10-10s per < 5 cm). Conosciuta la velocità della luce C ($3 \cdot 10^8$ m/s) nella quale si sposta il raggio, possiamo ricavare la distanza percorsa. ($R = \frac{1}{2} C T$)





1.2 Come funziona?

Scansione laser della superficie terrestre dove si combina il volo dell'aereo ed il movimento dello specchio del sensore laser



1.2 Come funziona?

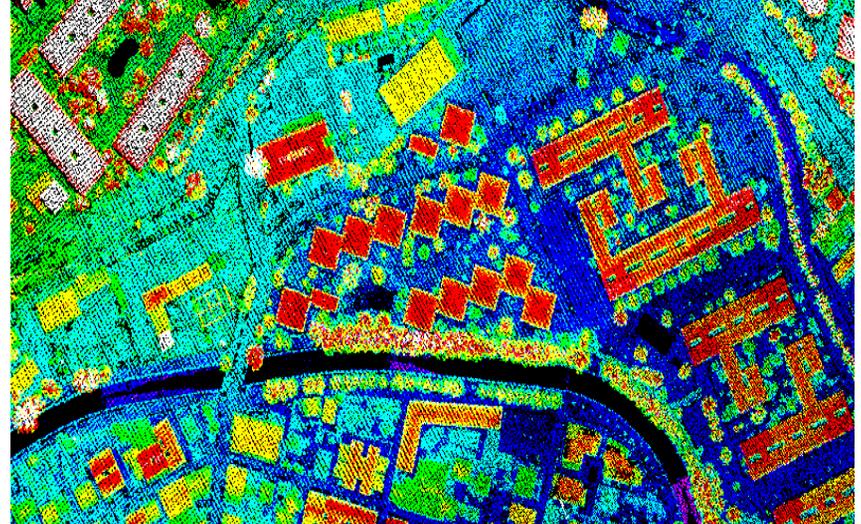


1.2 Caratteristiche principali: Ritorni e impronte

- Il registro del primo impulso permette descrivere la superficie (parte più alta) degli oggetti, intanto che il registro dell'ultimo impulso è utilizzato per conoscere la superficie del terreno
- La capacità multi-ritorno viene utilizzata per individuare la vegetazione e la sua altezza



1.2 Dati LiDAR: intensità+dati grezzi



Intensità

Dati grezzi

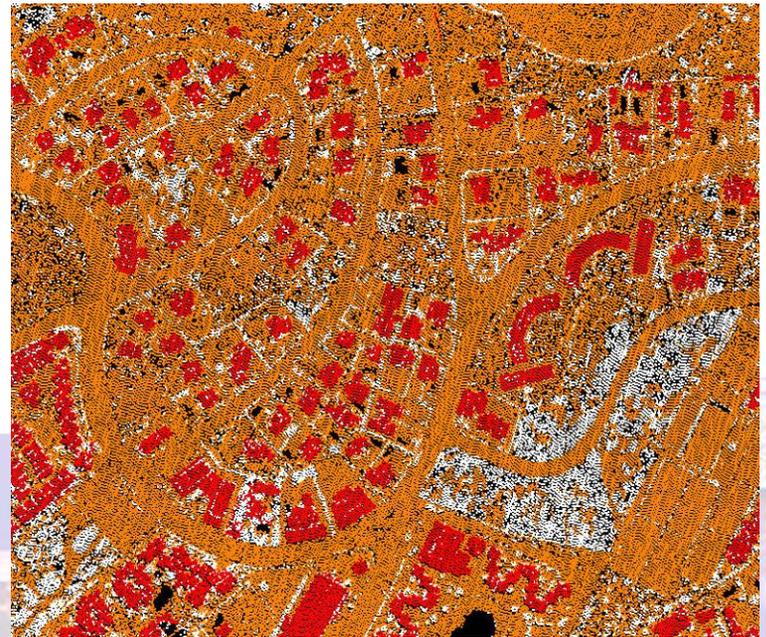


1.2 Caratteristiche principali: Intensità

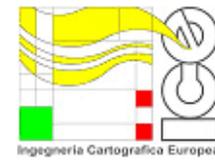
- L'intensità del ritorno viene in funzione del tipo di materiale riflesso
- Aiuta alla classificazione



Intensità



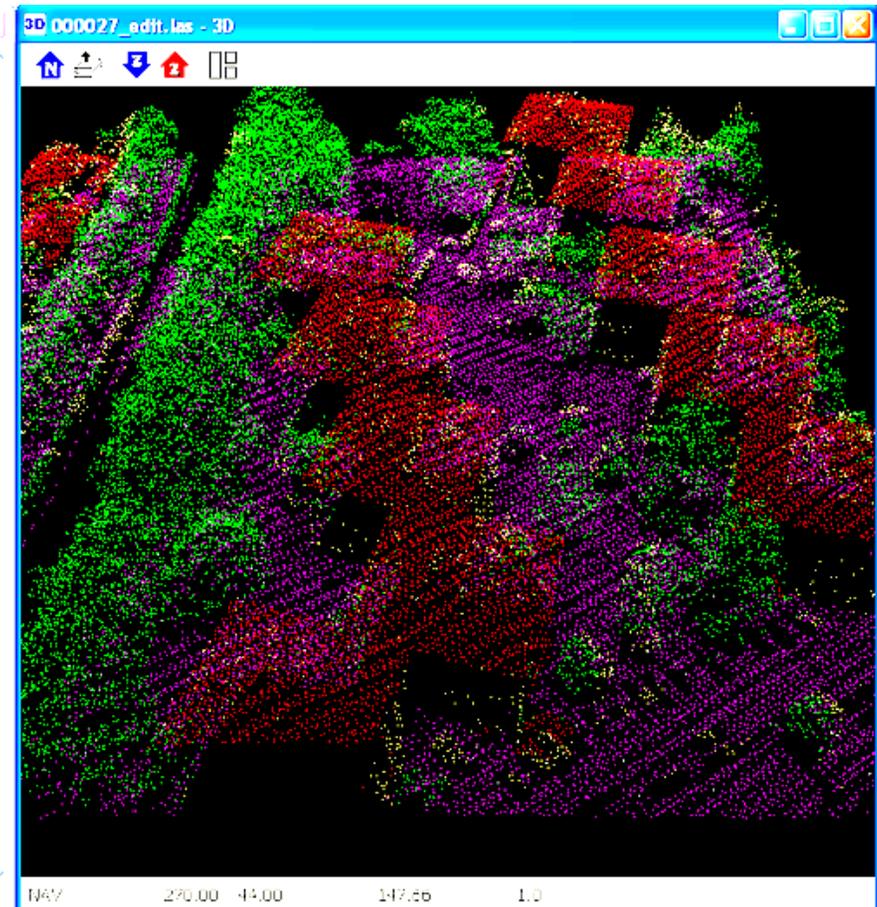
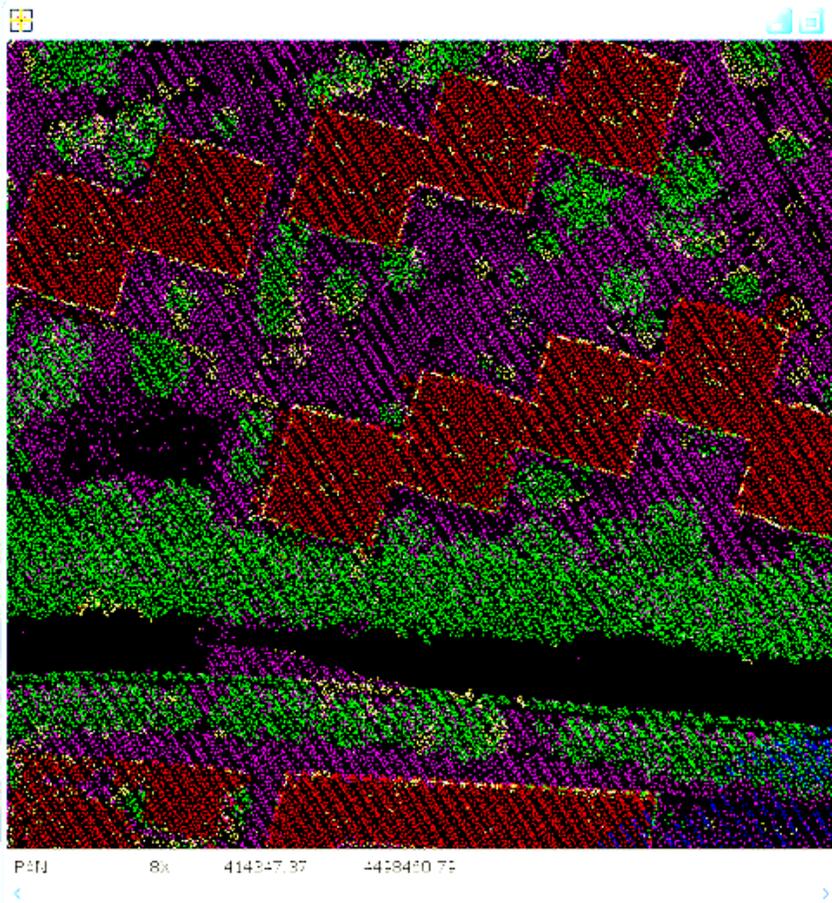
Classificazione



1.2 Dati LIDAR

Prodotto principale: **Nuvola di punti**

- Latitudine/Longitudine/Elevazione WGS84.: X,Y,Z
- Per ciascun punto: Multipli ritorni con un'intensità associata.

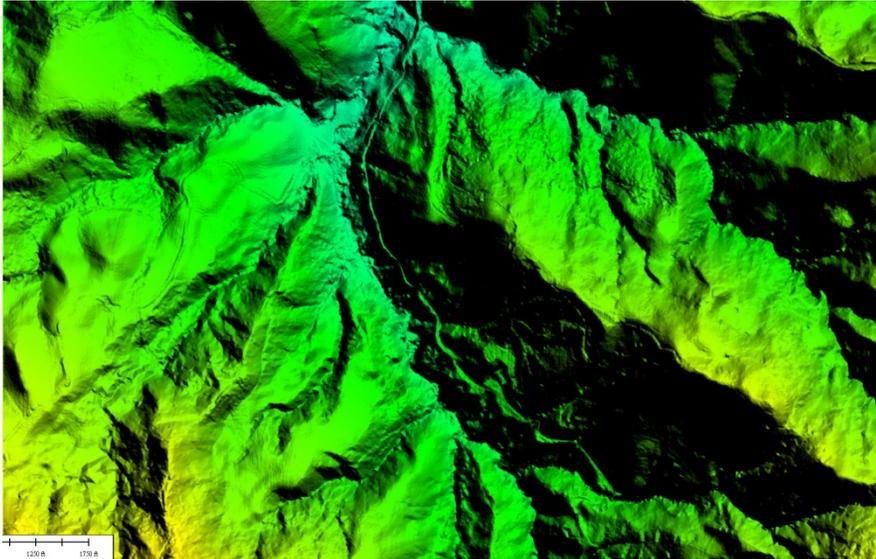




1.2 Alcuni vantaggi del LIDAR

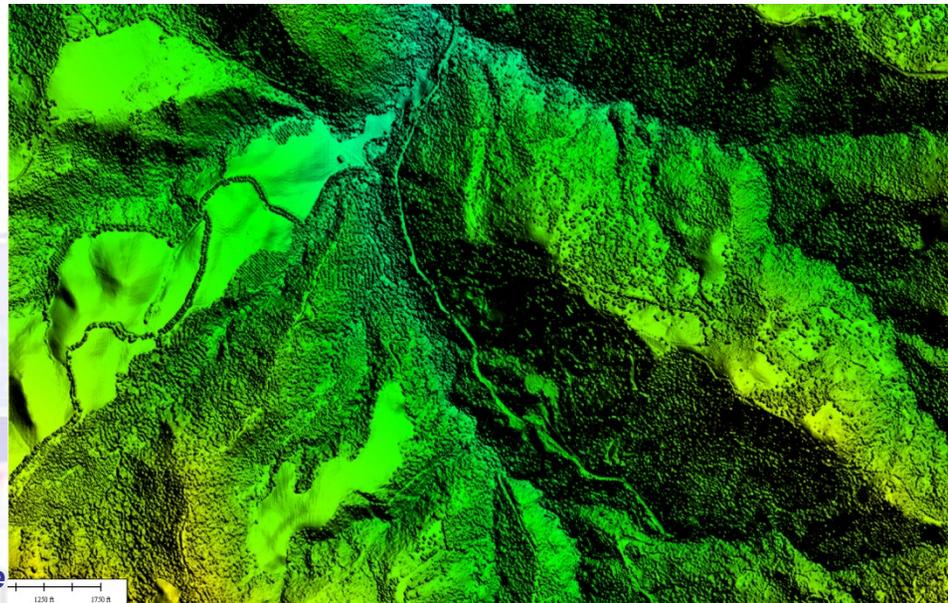
- Una grande quantità di punti (alcuni milioni)
- Precisione altimetrica: 0,1-0,2 m
- Densità di punti: 0,5 - 12 punti/m²
- Omogeneità in tutte le aree di un progetto
- Produzione di DTM e DSM
- Continuità del DTM:
 - Sotto la vegetazione
 - Sotto gli edifici
 - Eliminazione delle strutture
- Costo: rapporto precisione /prezzo competitivo
- Celerità nella consegna per grandi superfici
- Poco sensibile alle condizioni di illuminazione (giorno-notte) ed ambientali (nebbia, vapore, fumo, ecc.)
- Combinazione con camera digitale fotogrammetrica per misurare le immagini metriche (ortofoto) e DTM in modo simultaneo

1.2 Esempio del modello ottenuto con ALS50-II



Sopra: Modello del Terreno
Sotto: Modello di Superficie

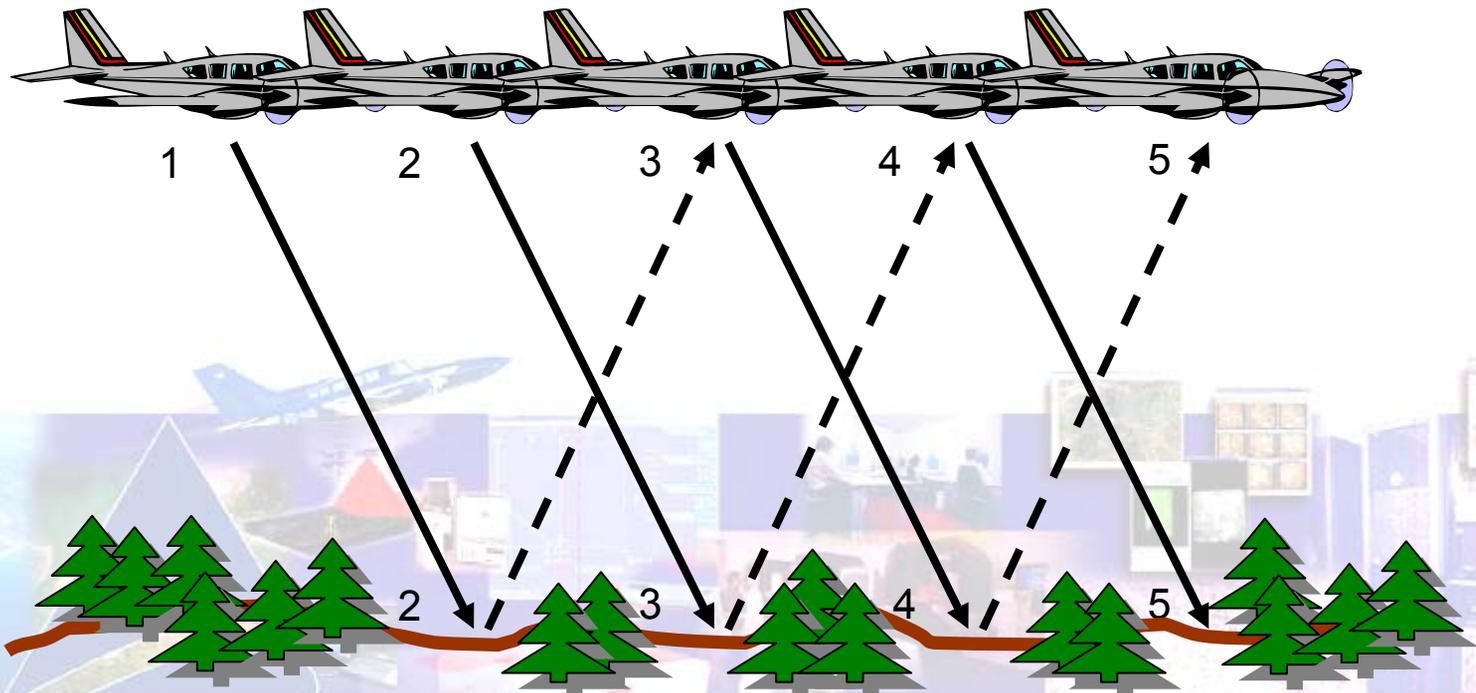
Ogni punto è individuato
nelle tre coordinate X Y
e Z



1.2 Modelli di Elevazione con LiDAR

MPiA (Multimpulso):

- Tecnologia che permette raddoppiare la frequenza di emissione dei impulsi (Massimo 300.000 Hz) → raddoppia la densità di punti
- Permette l'emissione di un nuovo raggio prima di ricevere quello precedente



1.2 Combinazione LIDAR con Camera Digitale

- L'utilizzo simultaneo ha permesso nel nostro caso di:
 - ❖ Ridurre drasticamente i tempi di realizzazione stereoscopica del modello digitale del terreno e quindi dell'intero progetto.
 - ❖ Ricavare delle ortofoto digitali a colori con proiezioni reali delle stesse, avendo generato in modo simultaneo i dati delle immagini e le elevazioni del terreno.
 - ❖ Ottenimento di un modello digitale del terreno e di superficie di precisione superiore a quanto richiesto (livello 4 standard CNIPA)



2. Volo combinato

- Modo di lavorare: Sensore principale: lidar o camera?

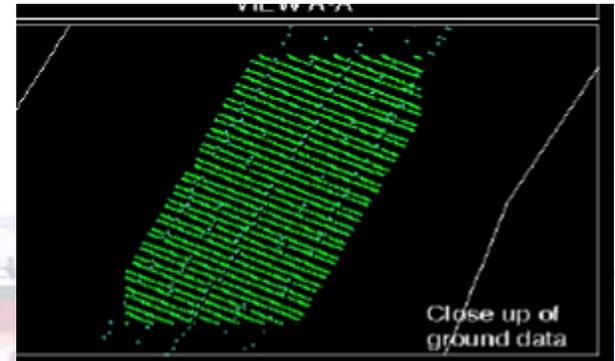
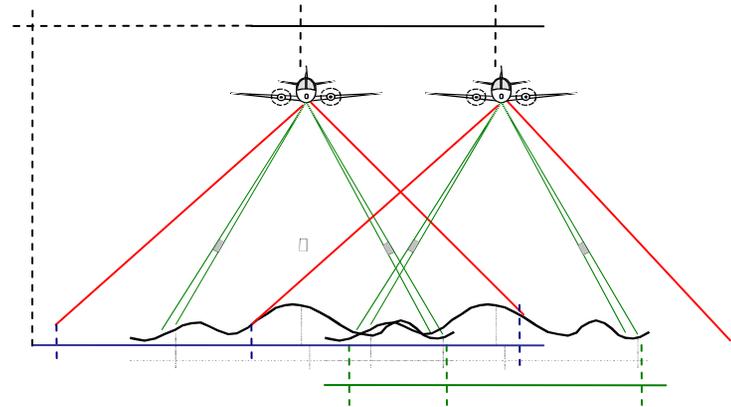
Distribuzione della frequenza del lidar : 300.000 hz

- Parametrizzazione del Sistema LIDAR:

- FOV (° di apertura)
- Altezza di volo -> dimensioni dell'impronta
- Velocità dell'aereo
- Frequenza di scansione (linea/linee)
- Distanza fra strisciate -> ricoprimento

- Parametrizzazione della camera digitale

- GDS
- Ricoprimenti

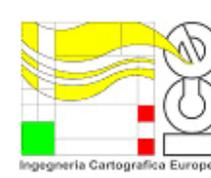




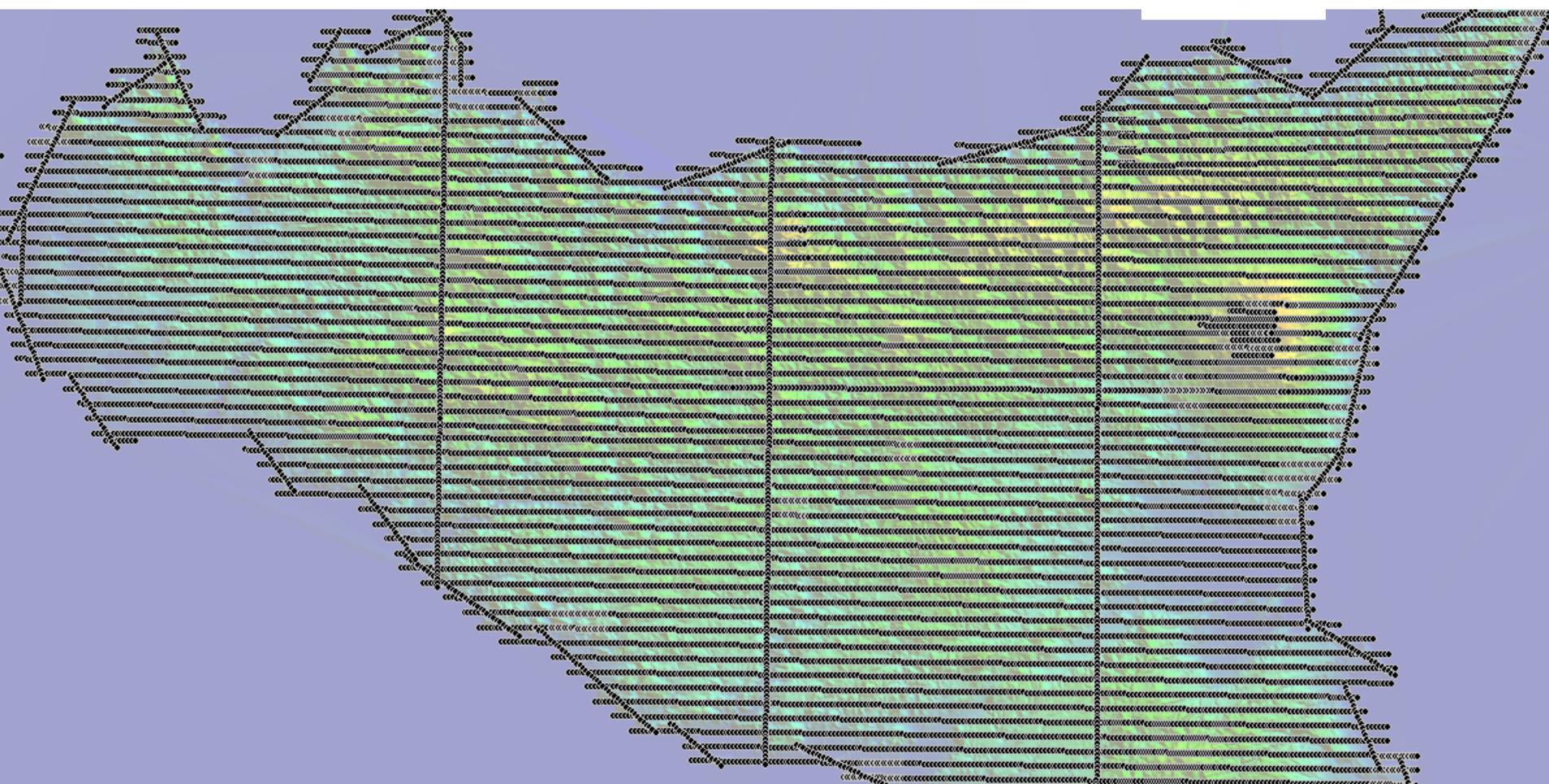
2. Volo combinato

Geometria del volo fotogrammetrico:

- Risoluzione: 0.25m (scala 1:20.800)
- Sovrapposizione longitudinale: 60%
- Sovrapposizione longitudinale in zone urbane (oltre 50.000 abitanti): 80%
- Sovrapposizione trasversale: 15% a 30%
- Strisciate trasversali nei limiti del blocco
- Strisciate in zone di coste
- Zona dell'Etna: strisciate intercalate

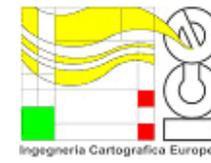


2. Volo combinato

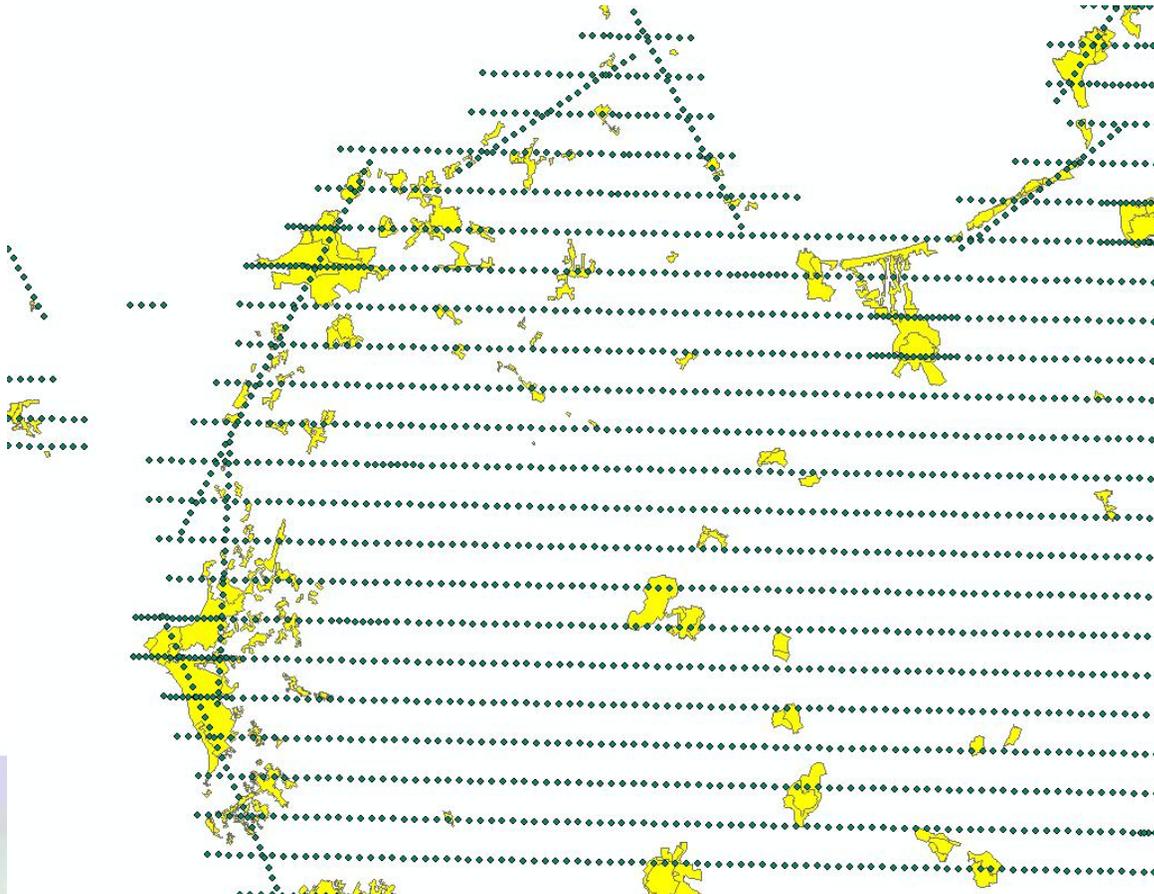


Quota di volo 2500 mt pixel 25 cm

Prog. e Direzione Lavori : Ing. Salvatore Cirone

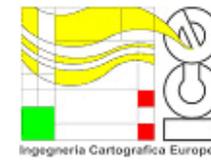


2. Volo combinato



Strisciate est-ovest + strisciate di costa – sovr.80% centri urbani > 50.000 ab per ridurre abbattimento edifici in ortofoto

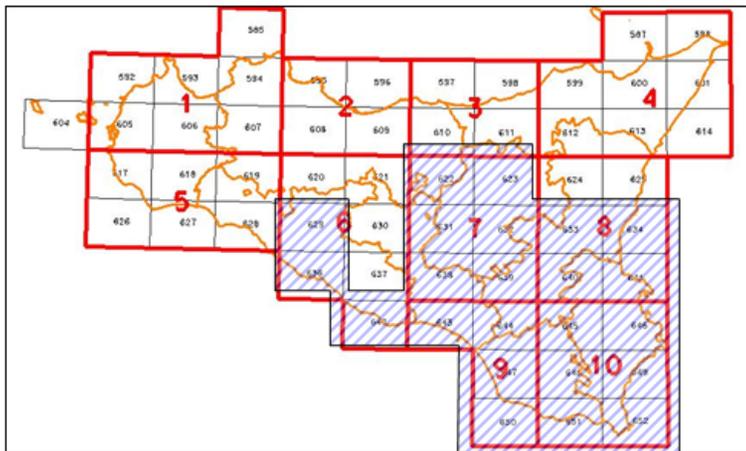
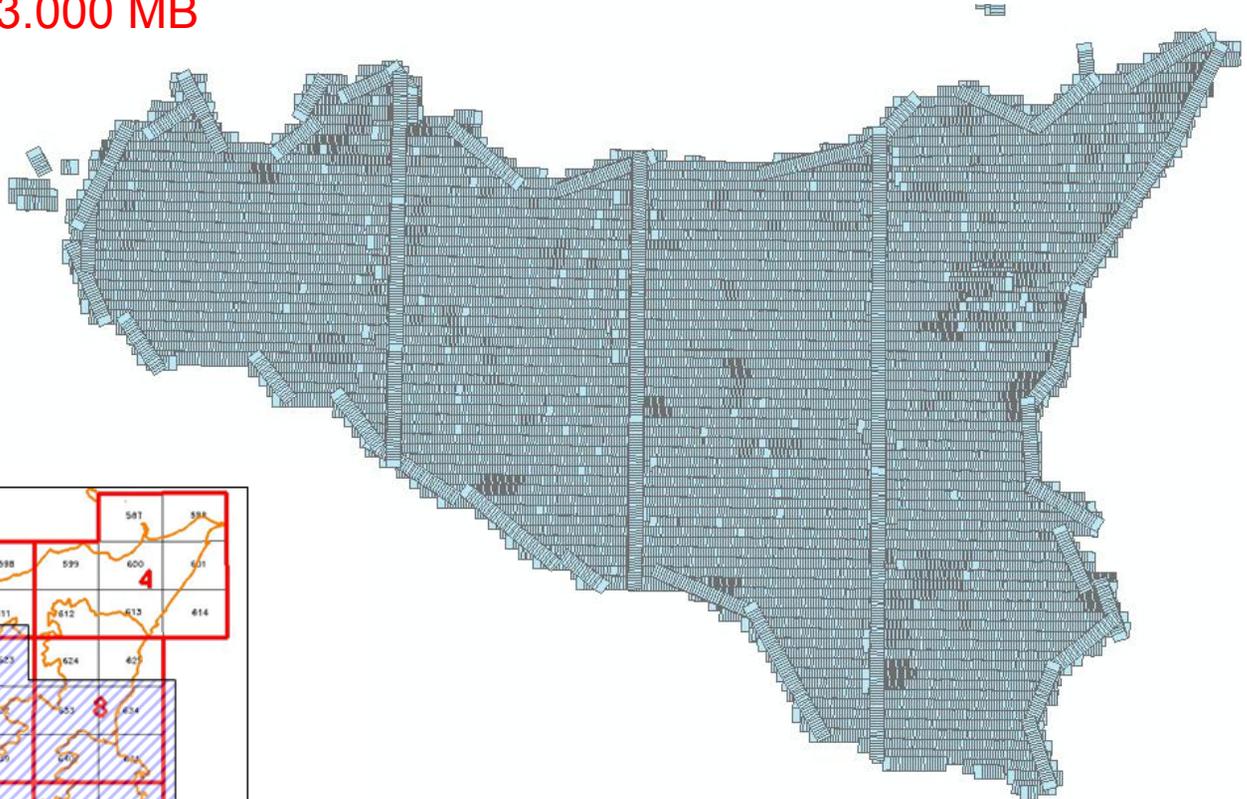
Prog. e Direzione Lavori : Ing. Salvatore Cirone

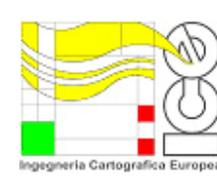


2. Volo combinato

n. Fotogrammi **21.000**
 303 MB x21.000 **6.363.000 MB**

5 bande RGB-I-PAN





2. Volo combinato



Pan

RGB

CIR



2. Volo combinato

Geometria del volo Lidar:

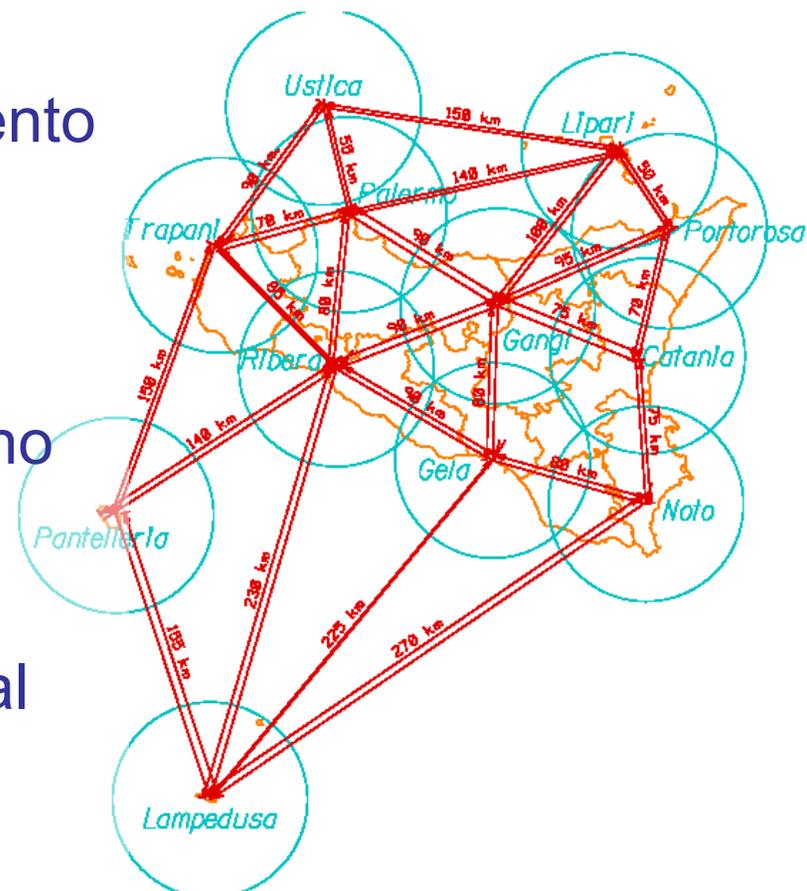
- Altezza di volo: 2.500m
- FOV: 75°
- LPR: 81.000 Hz
- Scan Rate: 24 Hz
- Distanza media fra punti: 1.90 m
- MPiA attivo



2. Volo combinato

Stazioni di riferimento:

- E' stata progettata una rete specifica di stazioni di riferimento GPS → Tutto il volo ha una stazione di riferimento a una distanza minore di 50km
- I vertici della rete appartengono esclusivamente alla Rete Nazionale Italiana
- Il loro nome viene conferito dal nucleo urbano più importante intorno a quella stazione



2. Volo combinato

Risultati:

- Durata: 31 giorni di volo → produttività ≈ 677 immagini/giorno di volo
- Copertura fotografica: RGB + IR + PAN
 - Numero de fotogrammi ≈ 21000
- Nuvola di punti LiDAR: densità adeguata per il DEM con griglia $\leq 2\text{m}$
- Parametri di orientazione GPS-INS

Dipartimento Urbanistica



Area Interdipartimentale "B"
 Nodo regionale S.I.T.R.

Realizzazione Ripresa Aerea Digitale Pixel 0,25 m

Volo ATA 2007-2008

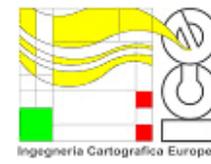
Direzione Lavori: Ing. Salvatore Cirone

Collaudo: Ing. Pietro Alfredo Scaffidi Abbate

Strisciata N°:	306	Fotogramma N°:	415
Risoluzione:	0,25m	Altezza volo	2500 m
Scala fotogramma:	1: 20.000	Focale:	120 mm
Data:	04/10/2007	Ora:	12:06:457
Coordinate centro fotogramma (Gauss-Boaga)			
X: 2491657,617 m		Y: 4101060,839 m	

Scala di stampa: 1: 14.000





3. Georeferenziazione-Volo

Dati di partenza:

- Parametri dei centri di proiezione GPS-INS di volo
- Rete di punti di appoggio esistente, fornita DRU
- Tutte le strisciate, trasversali e di costa compresse

Metodo:

- Aerotriangolazione per il metodo “block adjustment” con parametri GPS-INS e punti di appoggio

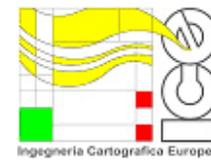




3. Georeferenziazione- Volo-TA

Risultati:

- Rendimenti ottenuti: da 15 a 20 immagini/ora
- Blocchi di calcolo > 3.000 fotogrammi → 6 fogli 1:50.000
- Statistiche del calcolo
 - $\text{Sigma} < 1/3 \text{ pixel}$
 - $\text{RMSE appoggio} < \text{GSD} (0.25\text{m})$
 - $\text{RMSE check} < \text{GSD} (0.25\text{m})$
 - $\text{Errore massimo check} < 2 * \text{GSD} (0.50\text{m})$



3. Georeferenziazione-Volo-T.A.

Risultati:

- Collaudo → confronto come prescritto da capitolato con una rete di punti di appoggio non a disposizione della Ditta (PAF lotti cart2000):
 - $RMSE < GSD$ (0.25m)
 - Errore massimo $< 2 * GSD$ (0.50m)



4. Modelli di Elevazione per LiDAR

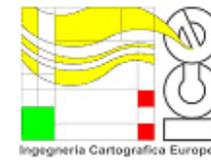
Dati di partenza:

- Volo LiDAR con MPiA
- Nuvola di punti LiDAR con densità maggiore di 2m



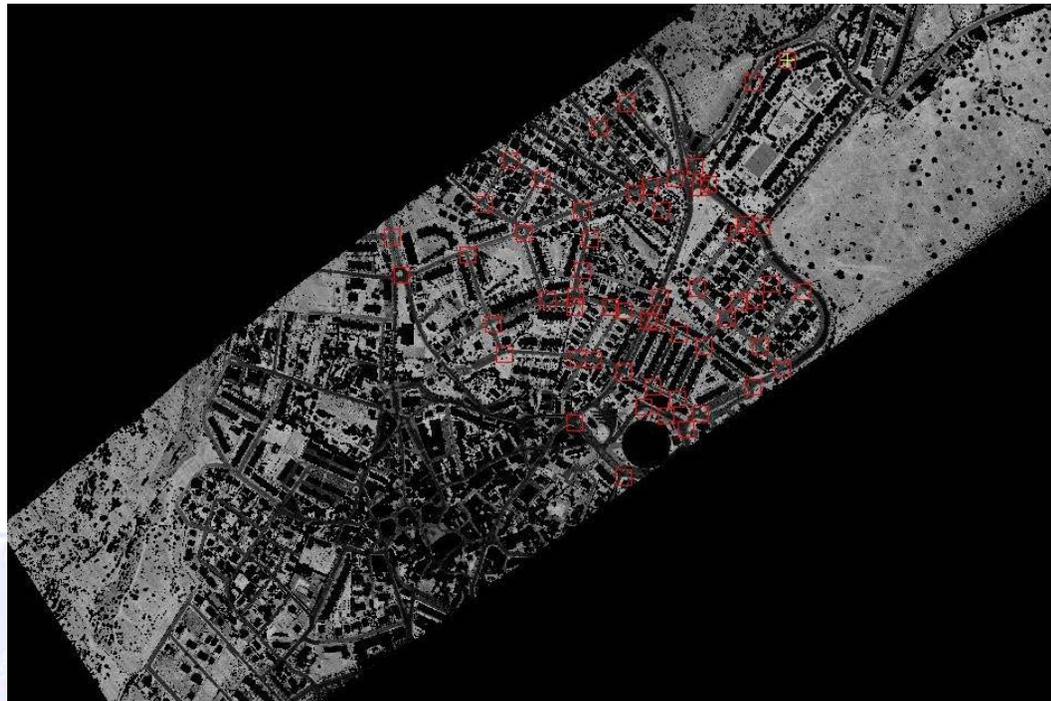
Metodologia:

- Classificazione ed edizione di dati LiDAR
- Uso di “Breaklines” (stereoscopiche o monoscopiche) per una maggiore definizione del DTM
- Comprovazione di coerenza con il volo fotogrammetrico → Aerotriangolazione



4. Calibrazione

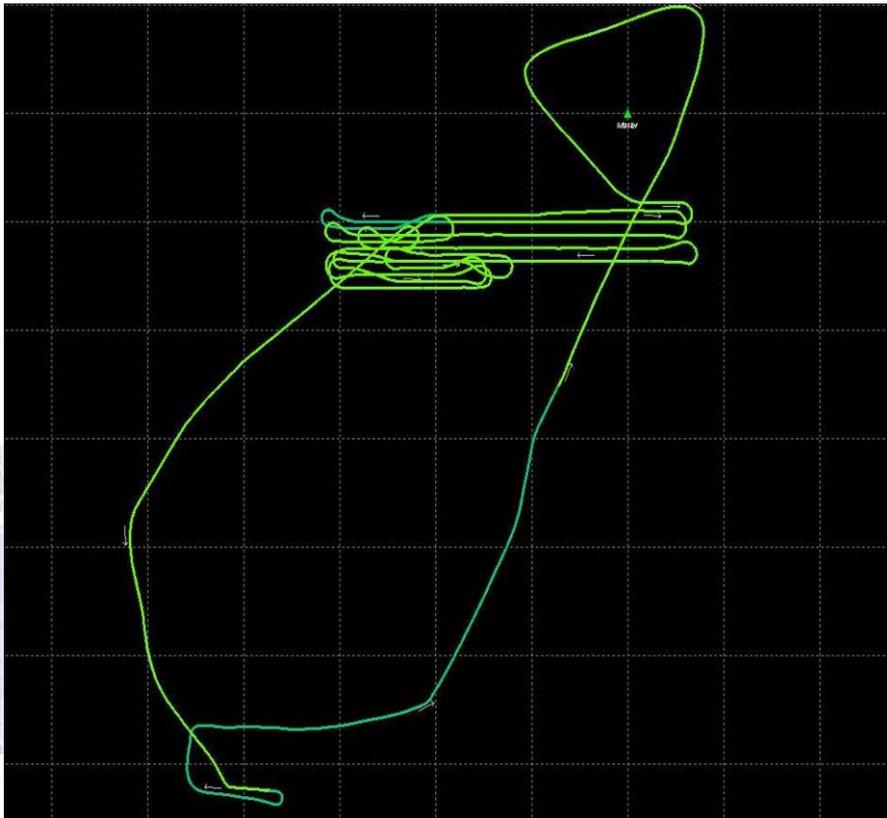
- La calibrazione del sensore laser è stata effettuata con certa frequenza ed ogni volta che si imbarca nell'aereo
- Si determina il disallineamento del sistema inerziale ed il sistema di riferimento del sensore.
- Altri parametri interni:
 - Correzione della distanza
 - Correzione di intensità
 - Torsione
 - Origine angolare
 - Ecc...





4. Post-processo

- “Download” dei dati grezzi
- Calcolo delle traiettorie
- Ottenimento della nuvola di punti ed i loro attributi



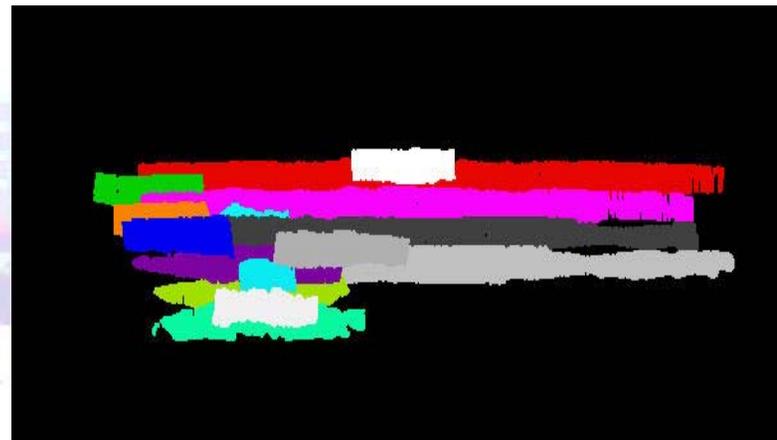
Calcolo delle traiettorie

+

RawLaser

=

Nuvola di punti



4. Post-processo

Classificazione

1. Determinazione del terreno
2. Determinazione degli edifici
3. Determinazione della vegetazione (bassa, media ed alta)

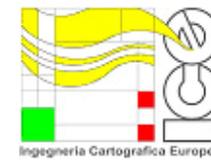




4. Post-processo

- Edizione:
 - Revisione della classificazione
 - Controllo monoscopico sulla ortofotografia.
 - Controllo stereoscopico sulle coppie di immagini (se esistono)

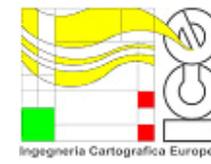




4. Post-processo

- **Controllo di qualità:**
 - Relativo: Confronto di dati della stessa zona prelevati in diverse strisciate.
 - Assoluto: Confrontando con dati altimetrici indipendenti con una maggiore precisione

Use	Number	Easting	Northing	Known Z	Laser Z	Dz
<input checked="" type="checkbox"/>	11	550766.14	4795188.56	83.361	83.600	+0.239
<input checked="" type="checkbox"/>	12	551099.71	4795679.71	79.921	80.150	+0.229
<input checked="" type="checkbox"/>	2	550279.50	4794288.17	95.688	95.830	+0.142
<input checked="" type="checkbox"/>	1	550930.53	4795403.75	82.795	82.920	+0.125
<input checked="" type="checkbox"/>	8	550143.56	4794800.63	95.955	96.030	+0.075
<input checked="" type="checkbox"/>	5	551045.70	4795318.00	83.418	83.450	+0.032
<input checked="" type="checkbox"/>	13	551193.94	4795578.18	80.941	80.940	-0.001
<input checked="" type="checkbox"/>	3	550392.76	4794221.65	95.569	95.550	-0.019
<input checked="" type="checkbox"/>	4	550739.04	4794798.06	88.506	88.360	-0.146



4. Post-processo

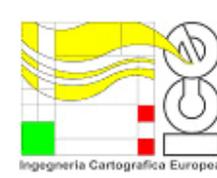
- Produzione di prodotti principali:

1.- Post-processo di dati grezzi

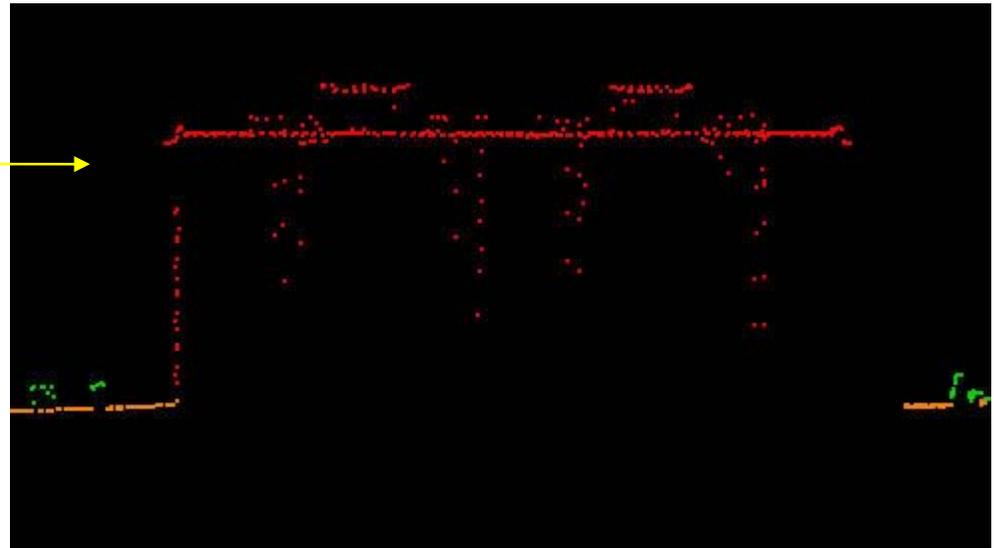
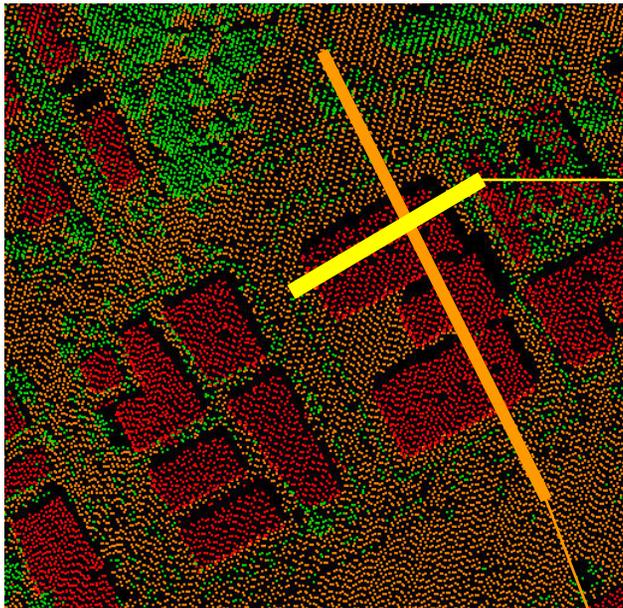
2.- Classificazione:

- Modello digitale del Terreno.
- Modello digitale di superficie:
 - Edifici
 - Vegetazione
 - ...
- Modello delle differenze
- Modello digitale del terreno + Modello di edifici
- Modello digitale del terreno + edifici + vegetazione

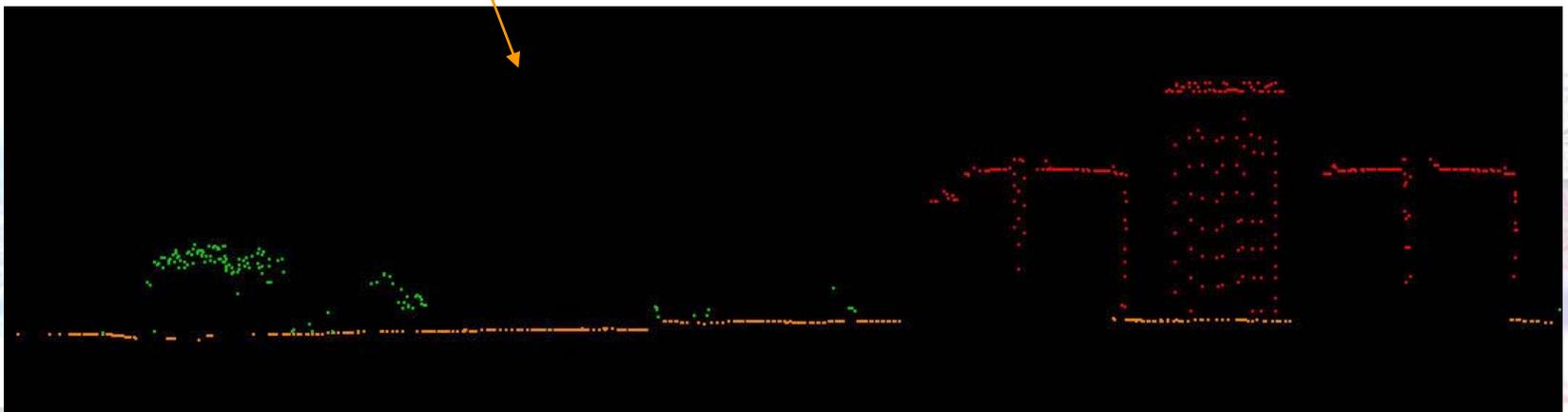
3.- Ortofoto



4. Dati LiDAR (Classificazione)

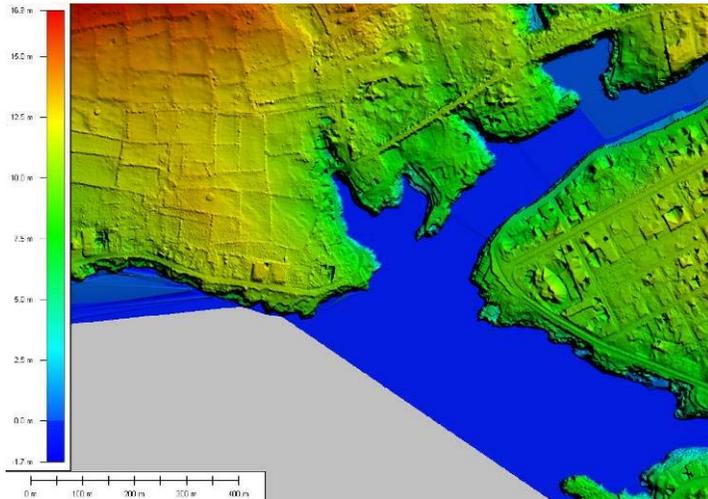


Profili realizzati sui dati LiDAR

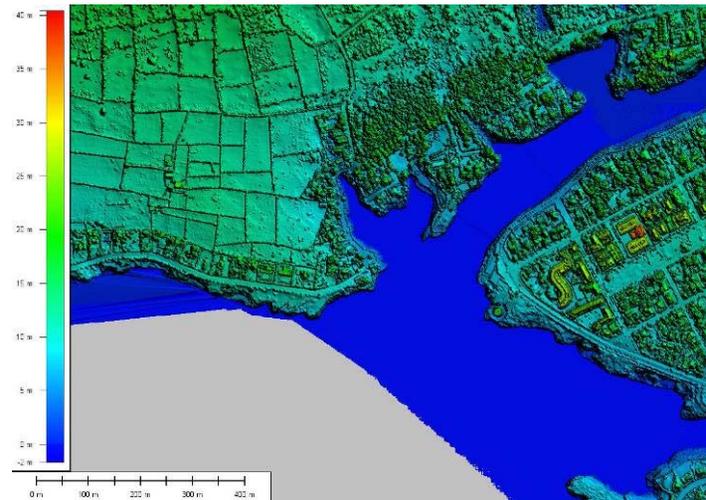




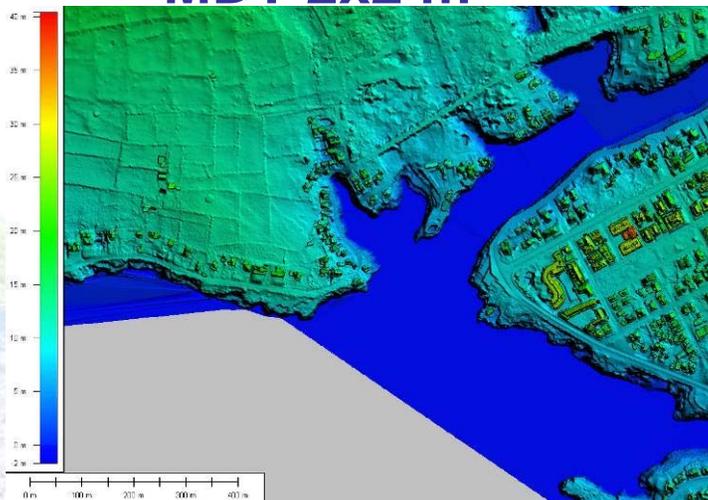
4. Prodotti LiDAR (MDT-MDS)



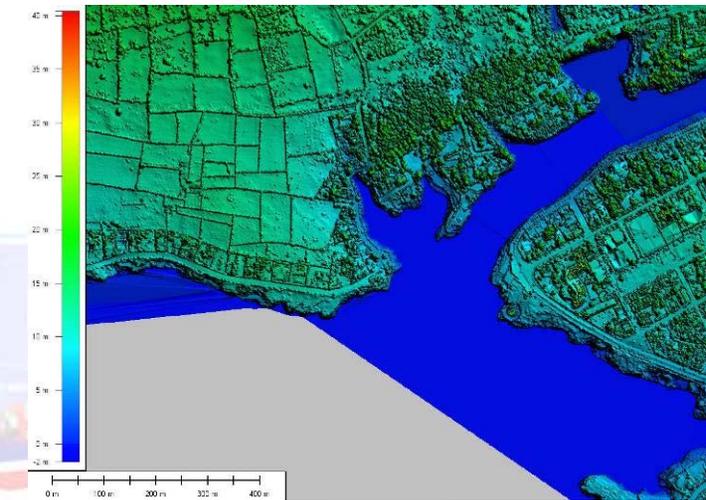
MDT 2x2 m



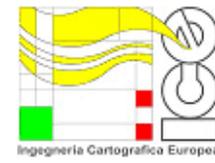
MDS 2x2 m



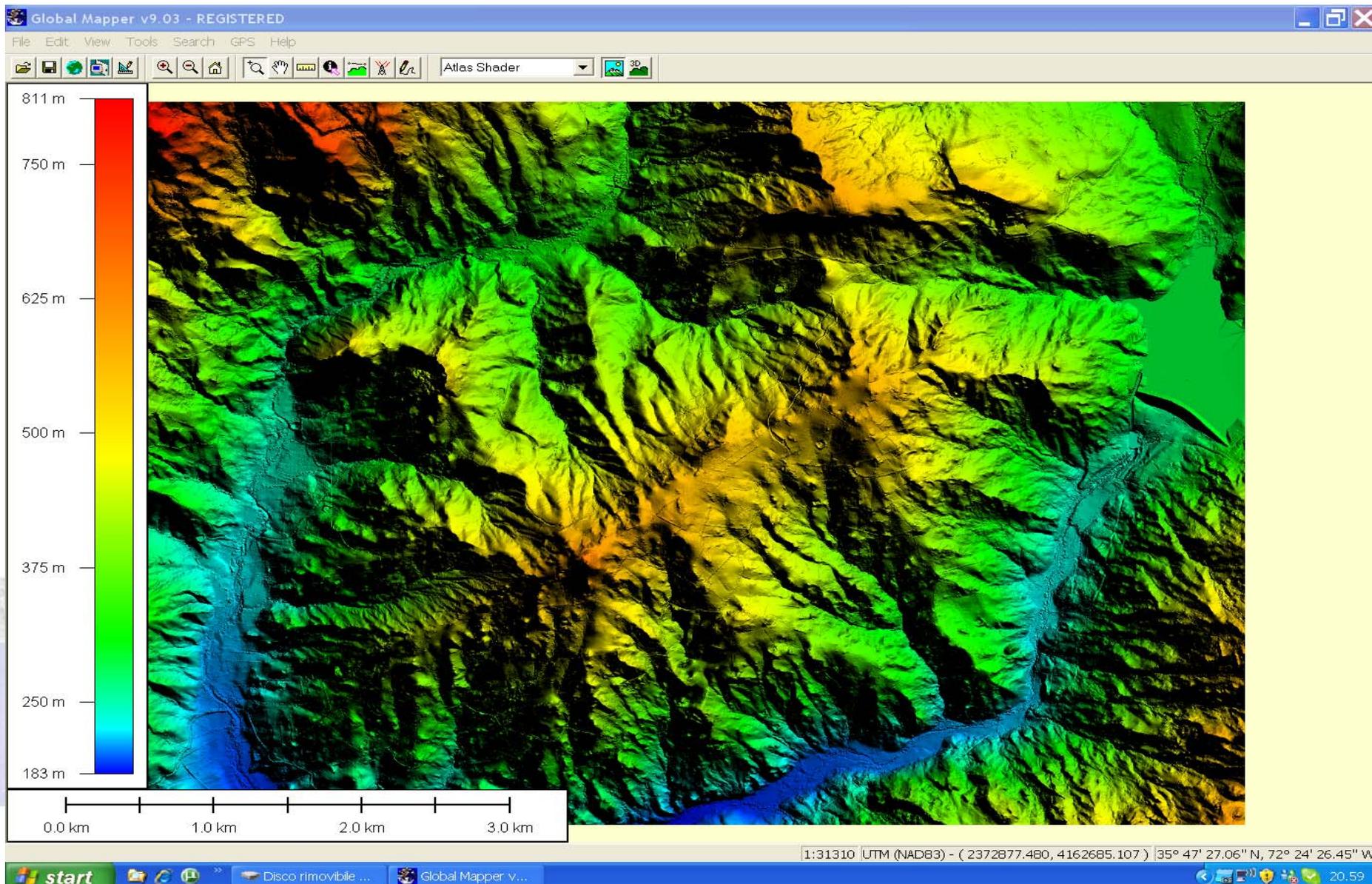
MDT + Edifici

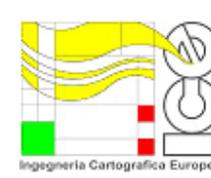


MDT + Vegetazione



4. Prodotti LiDAR (MDS)





4. Dati LiDAR (Filtraggio degli oggetti)

Con appositi programmi possono essere classificati punti inerenti classi diverse



Edifici



Vegetazione

4. Modelli di Elevazione dal LiDAR

Risultati:

- Rendimenti ottenuti:
 - Edizione → 1000 ha/ora
 - Integrazione BKs + prodotto consegna → 2000 ha/ora
- DTM + DSM + Modello delle Intensità → passo della griglia = 2 metri
- Collaudo → confronto con la rete di punti di appoggio indipendente (PAF CART2000) + Punti di Aerotriangolazione:
 - Errore sistematico (media) < 0.10 m
 - Errore casuale (desvest) < 0.30 m





5. Ortofoto

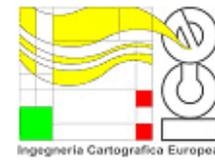
Dati di partenza:

- Volo Digitale georeferenziato
- DTM 2m. In zone piate, ricampionamento a 4m

Metodologia:

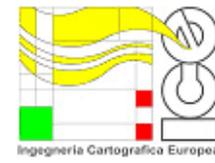
- Ortorettificazione, sistemazione del colore e mosaicato simultaneo di RGB + IR (8-bit per canale). Una volta finito il processo, si esportano i formati richiesti:
 - Orto colore vero RGB
 - Orto falso colore CIR (IR-R-G)





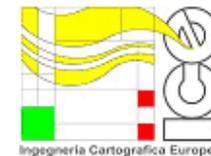
5. Ortofoto RGB + CIR



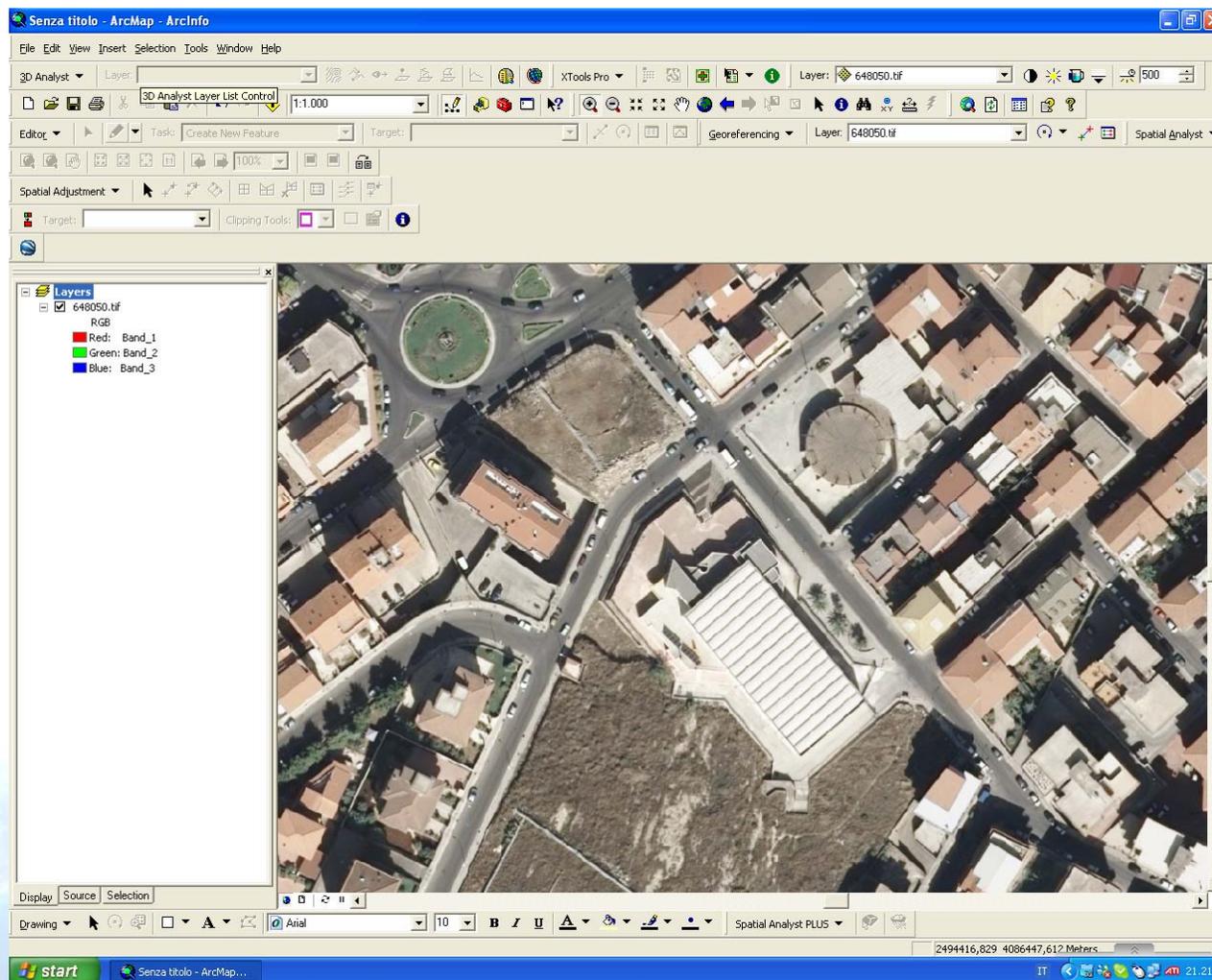


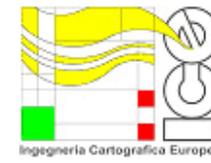
5. Ortofoto RGB + CIR



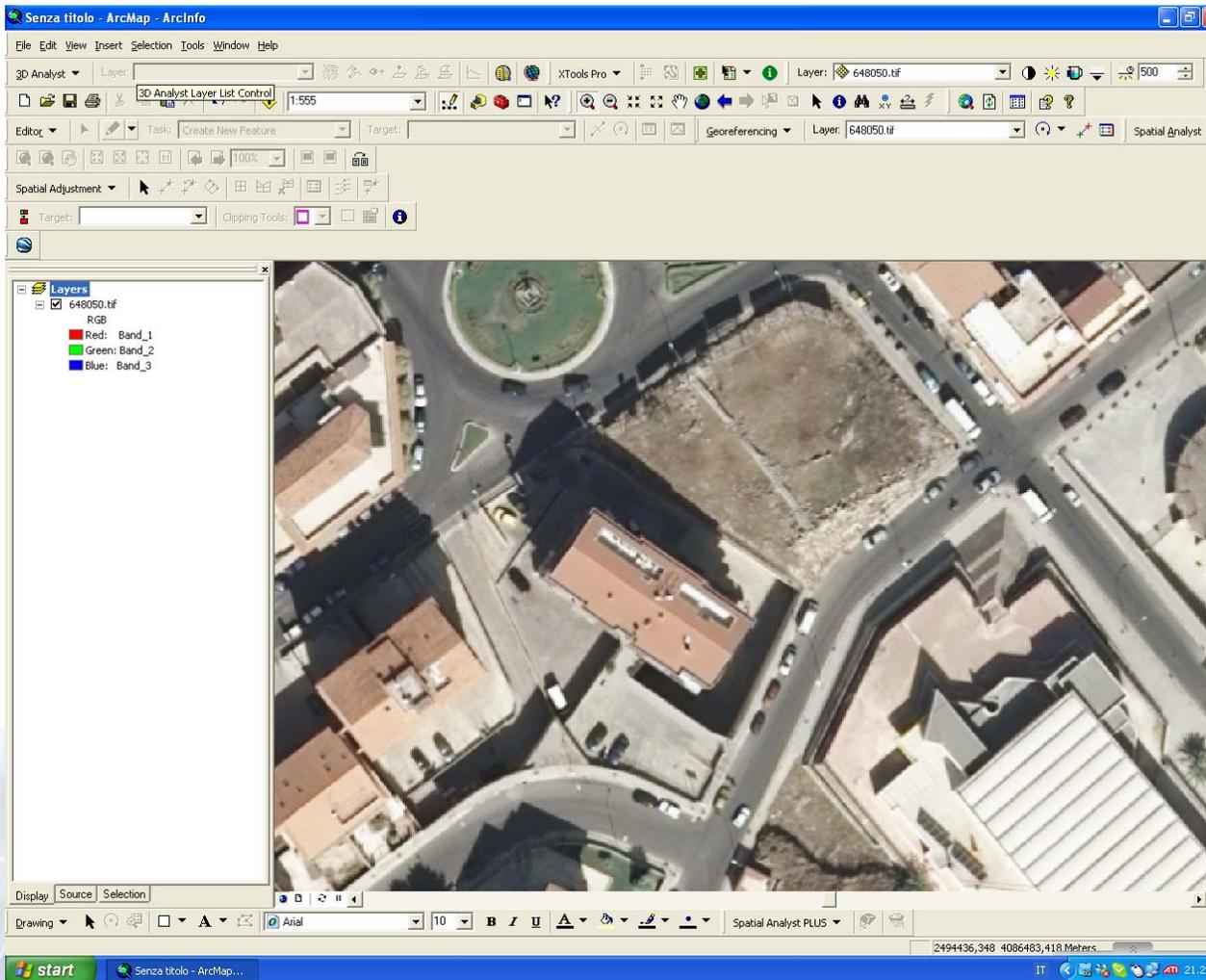


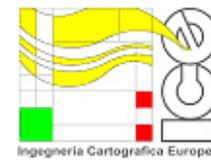
5. Esempio Ragusa 1:1000





5. Esempio Ragusa 1:500

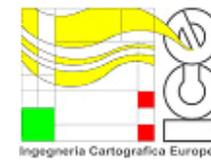




5. Ortofoto

Risultati:

- Rendimenti ottenuti: da 1 a 2 immagini/ora
- Ortofoto RGB + CIR con risoluzione 0.25 metri
- Controllo Collaudo → confronto con la rete di punti di appoggio indipendente:
 - Errore sistematico (media) ≈ 0 m
 - Errore casuale (stdev) < 0.40 m
- Controllo Collaudo → confronto con la cartografia esistente:
 - Errore sistematico (media) ≈ 0 m
 - Errore casuale (stdev) < 0.60 m



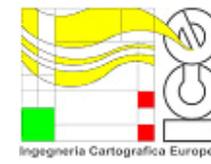
6. Aggiornamento della Cartografia

Dati di partenza:

- Volo Digitale georeferenziato
- Cartografia scala 1:10.000 esistente

Metodologia:

- Restituzione di elementi planimetrici nuovi o modificati, e registro di elementi eliminati
- Codificazione speciale con scopi di controllo storico:
 - Esempio: B001 → Edificio
 - B001M → Edificio modificato
 - B001N → Edificio nuovo
 - B001C → Edificio eliminato



Layer 10.000 vector

Untitled - ArcMap - ArcInfo

File Edit View Insert Selection Tools Window Help

Georeferencing Layer Spatial Analyst 3D Analyst Layer

1:5.140 Layer: sitr_CTR_10000 500

Spatial Adjustment Editor Task: Create New Feature Target:

- sitr_CTR_10000
 - Lotti CTR
 - Quadro Sezioni
 - Toponimi
 - Punti di Inquadramento
 - Orografia - H003, Quota aerof
 - Orografia - H001, Curva di live
 - Orografia - H002, Curva di live
 - Orografia - Altre curve di livello
 - Edificato - Simboli
 - Edificato - Altre strutture
 - Edificato
 - Elementi divisori e di sostegno
 - Sistema comunicazioni - Simbol
 - Sistema comunicazioni - Strade
 - Sistema comunicazioni - Ferrov
 - Sistema comunicazioni - Altre st
 - Sistema comunicazioni - Area S
 - Sistema comunicazioni - Arco v
 - Sistema comunicazioni - Arco fe
 - Prod.-Trasp. energia - Simboli
 - Prod.-Trasp. energia - Reti dist
 - Prod.-Trasp. energia - Aree im
 - Vegetazione - Simboli
 - Vegetazione - Limiti, Filare
 - Vegetazione - Aree vegetazion
 - Morfologia - F003, Caverna, gr
 - Morfologia - Scarpate, Impluvi
 - Morfologia - Aree
 - Acque - Simboli
 - Acque - Corsi d'acqua
 - Acque - Acquedotti
 - Acque - Altri elementi
 - Acque - Arco Idrico
 - Acque - Aree acqua
 - Acque - Area idrica

Display Source Selection

Drawing Arial 10 B I U

2376385,288 4219836,656 Meters

start files Windows Live M... Microsoft Power... Untitled - ArcMa... 0.59

Identify

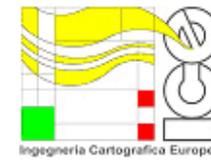
Identify from: <All layers>

- Lotti CTR
- Quadro Sezioni
- Edificato
 - 135049

Location: 2,376.681,394 4,219.882,846

Field	Value
OBJECTID	135049
SHAPE	Polygon
CODICE	B003
TIPO_ENT	A
NUM_PUNTI	11
ID	2700
COD_EDIL	
DENOM	
SUPERF	0
LOTTO	C
SEZIONE	595050
SHAPE_Length	176,506807
SHAPE_Area	1399,55005
DESCRIZIONE	Chiesa , campanile

Identified 3 features



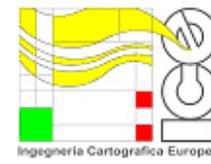
6. Aggiornamento della Cartografia

Risultati:

- Priorità qualitativa → registro dei cambi nelle infrastrutture ed entità principali:
 - edificato
 - viabilità
 - acque

Aggiornamento speditivo di tutti i layer da restituzione stereoscopica

- Verifica aggiornamento a campione attraverso sovrapposizione con la orto generata.
- Tolleranze planimetriche < 3 mt



9. Conclusioni

- Copertura omogenea di tutto il territorio regionale e di proprietà
- Prodotti di alta risoluzione: DEM e Orto a scala $\approx 1:2.000$
- Metodologia robusta e con capacità di riprodurla \rightarrow possibilità di progetto ciclico





COSTI

1.4 FASI DEL LAVORO

Fase	CAPITOLATO			CON RIBASSO		
	Prezzo /ud	Prezzo	% Ppto	Prezzo /ud	Prezzo	% Ppto
RIPRESA AEREA	0.20 €	515.760,00 €	27.0%	0.19 €	489.043,63 €	27.0%
APPOGIO + AT	0.07 €	180.516,00 €	9.5%	0.07 €	171.165,27 €	9.5%
DTM	0.18 €	464.184,00 €	24.3%	0.17 €	440.139,27 €	24.3%
ORTOFOTO	0.19 €	489.972,00 €	25.7%	0.18 €	464.591,45 €	25.7%
AGGIORNAMENTO	0.10 €	257.880,00 €	13.5%	0.09 €	244.521,82 €	13.5%
TOTALE	0.74 €	1.908.312,00 €	100.00%	0.70 €	1.809.461,44 €	100.00%

1.2 SUPERFICIE e PREVENTIVO

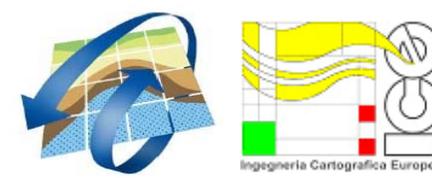
Superficie = 2.578.800 has

Preventivo da Capitolato = 1.908.312,00 €

Preventivo con ribasso = 1.809.461,44 €



Prog. e Direzione Lavori : Ing. Salvatore Cirone



FINE DELLA PRESENTAZIONE

Grazie

Palermo 6 aprile 2009
Palazzo dei Normanni
Sala Gialla



DIPARTIMENTO URBANISTICA
AREA INTERDIP. "B" – NODO SITR

Ing. Salvatore Cirone

Si ringraziano per l'apporto fornito:

La ICE G.e.i.e (Stereocarto-RPA)

Prof. Ing. Alfonso Gomez

Ing. Antonio Godino Cobo

Geom. Danilo Bellavita

Il Collaudatore

Ing. Pietro Alfredo Scaffidi Abbate