



**Politecnico
di Torino**

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture



Interreg

ALCOTRA

Fonds européen de développement régional
Fondo europeo di sviluppo regionale



ALPIMED

INNOV

Alessandro Casasso, Andrea Lingua
Politecnico di Torino – DIATI

L'IMPRONTA DI CARBONIO NELLE STAZIONI SCIISTICHE E COME RIDURLA: IDEE E SOLUZIONI DAL PROGETTO PITER ALPIMED - INNOV

Camera di Commercio di Cuneo, 28 aprile 2022

AMBIENTE

La salvezza delle nostre montagne non passa dallo sci alpino

L'industria dello sci vuole costruire nuovi impianti a quote sempre più elevate. Ma sono investimenti miopi ed antieconomici. Meglio puntare su offerte outdoor alternative

Buone pratiche

E se il problema fosse proprio sciare a tutti i costi?

Infuria la polemica sulle piste da sci chiuse causa Covid. Ma si parla poco del fatto che sciare è ormai un'attività insostenibile. Turismo di massa, neve artificiale, cambiamento climatico. Una riflessione per capire meglio

HOME / POLITICA

18 GENNAIO 2022 07:40

E se lo sci fosse davvero un danno per l'ambiente?

Soprattutto se parliamo della discesa. Esperti e ambientalisti si schierano sempre di più contro una disciplina che si sta dimostrando sempre meno sostenibile. In tutti i sensi

Olimpiadi
invernali

Sciare a tutti i costi, l'impatto ambientale della neve artificiale



28 dicembre 2015, di [Lorenzo Brenna](#)

La pratica dell' innevamento artificiale, sempre più diffusa nelle località sciistiche, implica il consumo di grandi quantità di acqua ed energia.

- Obiettivo: stimare le emissioni di gas serra dovute all'attività delle piste sciistiche e ricavare un valore della «CO₂ media giornaliera per sciatore»
- Utilità:
 - Paragonare l'attività sciistica ad altre attività umane
 - Capire dove si può intervenire per ridurre i consumi energetici e (quindi) le emissioni
- Fasi:
 - Individuare le macro-voci di consumo energetico
 - Capire quali fattori le influenzano
 - Stimare le emissioni di gas serra
 - Ipotizzare misure migliorative

Impianti di risalita



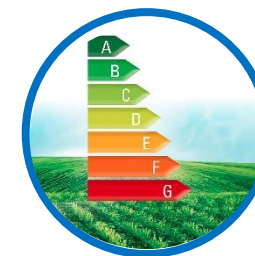
Innevamento programmato



Battitura delle piste



Efficientamento energetico



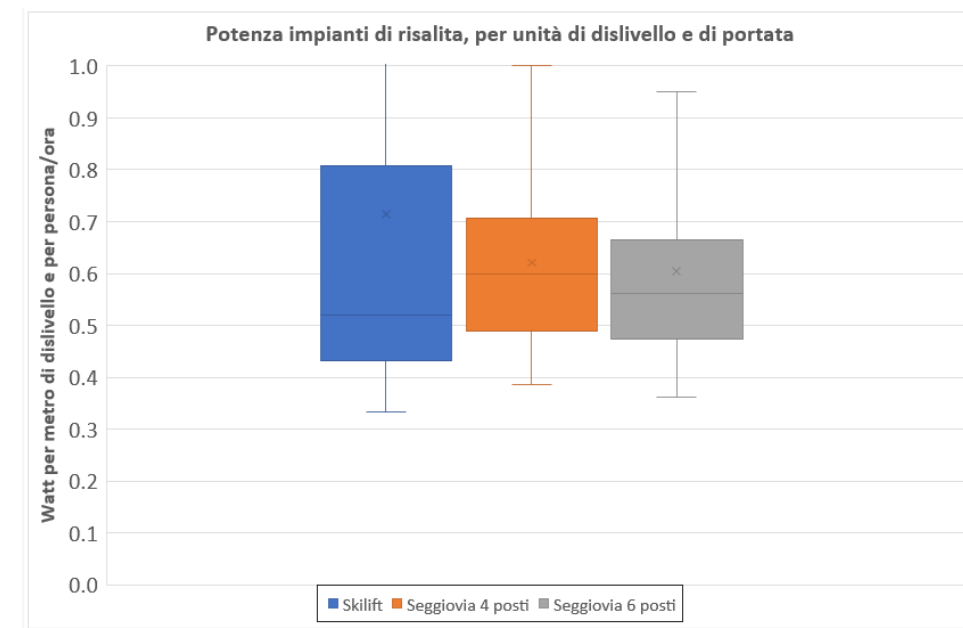
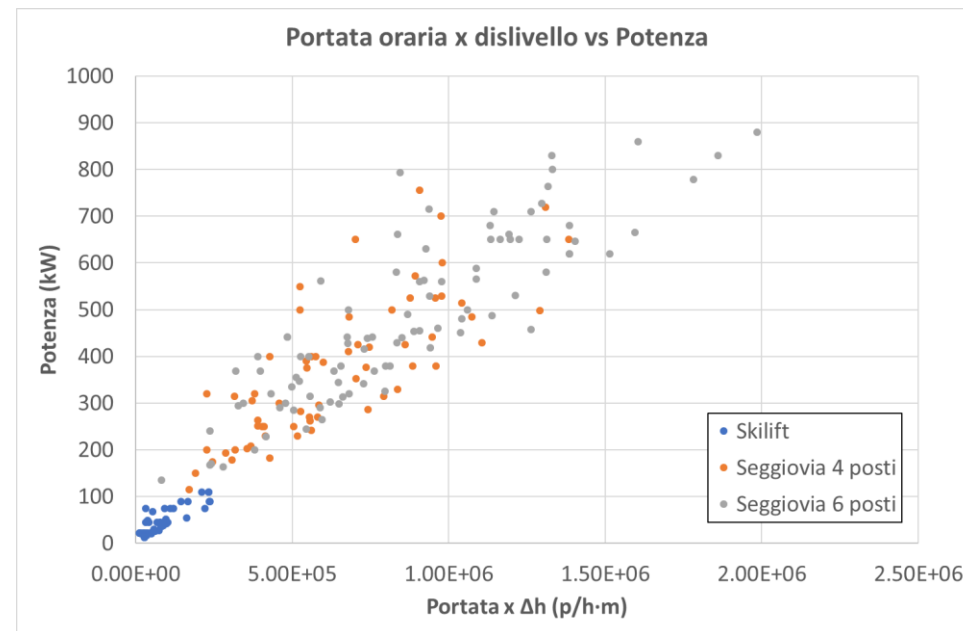
Energie rinnovabili





Impianti di risalita (1/2)

- Tipologie:
 - Skilift
 - Seggiovie
 - Cabinovie
- Fattori principali che influenzano il consumo:
 - Dislivello
 - Portata (persone/ora)
- Potenza impianti: ~ 0.5 Watt per metro dislivello per persona/ora
- Esempio: 200 m dislivello, 2400 p/h \rightarrow potenza impianto 240 kW





Impianti di risalita (2/2)

- Per ridurre i consumi:
 - Regolazione della velocità/portata degli impianti
 - Razionalizzazione del numero di impianti di risalita
- Per ridurre le emissioni:
 - Impianti fotovoltaici sui fabbricati
 - Impianti mini-idroelettrici sulle condotte dell'innevamento programmato

Efficientamento degli impianti di risalita a Verbier (SUI): riduzione del consumo energetico per passaggio sugli impianti (Fonte: <https://bit.ly/3Kl6fIQ>)

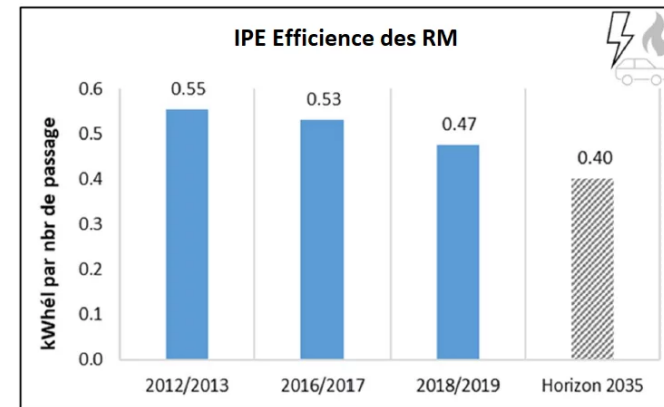


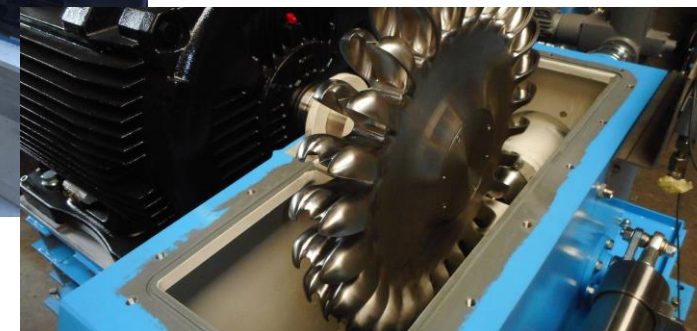
Figure 8 : IPE efficacité des RM



Impianto mini-hydro su un impianto d'innevamento a Davos (SUI)

Fonte: TechnoAlpin

<https://bit.ly/3EZTT88>



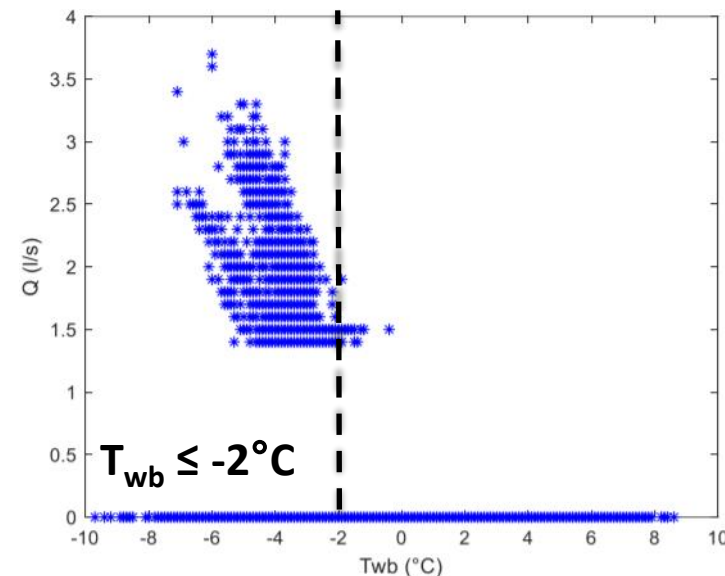


Innevamento programmato

Elaborazione su cannone Techno Alpin

(Prato Nevoso)

- Produzione neve tecnica:
 - Pompaggio
 - Raffreddamento acqua
 - Compressore o ventole (20-25 kW)
- Esempio:
 - 5x25 = 125 kW per le ventole
 - 50 m³/h, prevalenza 500 m, $\eta=0.6$ -> 113 kW per le pompe
 - Produzione neve ~110 m³/h
- Efficienza dell'innnevamento:
 - Temperatura di bulbo umido dell'aria
 - Capacità produzione neve:
 - Intercettare le ore sufficientemente fredde (potential snowmaking hours)
 - Lavorare il più possibile in condizioni ideali e non «marginali»
 - Bacini in alta quota per ridurre i consumi di pompaggio



	Relative humidity (%)																		
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
4	-2,4	-2,0	-1,6	-1,3	-0,9	-0,6	-0,2	0,2	0,5	0,9	1,2	1,6	2,0	2,3	2,6	3,0	3,3	3,7	4,0
3	-3,1	-2,7	-2,3	-2,0	-1,7	-1,3	-1,0	-0,6	-0,3	0,0	0,4	0,7	1,0	1,4	1,7	2,0	2,4	2,7	3,0
2	-3,7	-3,4	-3,1	-2,7	-2,4	-2,1	-1,7	-1,4	-1,1	-0,8	-0,5	-0,2	0,1	0,4	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0
1	-4,4	-4,1	-3,8	-3,5	-3,1	-2,8	-2,5	-2,2	-1,9	-1,6	-1,3	-1,0	-0,7	-0,5	-0,2	0,1	0,4	0,7	1,0
0	-5,1	-4,8	-4,5	-4,2	-3,9	-3,6	-3,3	-3,0	-2,7	-2,5	-2,2	-1,9	-1,6	-1,3	-1,1	-0,8	-0,5	-0,3	0,0
-1	-5,8	-5,5	-5,3	-5,0	-4,7	-4,4	-4,1	-3,9	-3,6	-3,3	-3,1	-2,8	-2,5	-2,3	-2,0	-1,8	-1,5	-1,3	-1,0
-2	-6,5	-6,3	-6,0	-5,7	-5,5	-5,2	-5,0	-4,7	-4,5	-4,2	-4,0	-3,7	-3,5	-3,2	-3,0	-2,7	-2,5	-2,2	-2,0
-3	-7,3	-7,0	-6,8	-6,5	-6,3	-6,0	-5,8	-5,6	-5,3	-5,1	-4,8	-4,6	-4,4	-4,1	-3,9	-3,7	-3,5	-3,2	-3,0
-4	-8,0	-7,8	-7,6	-7,3	-7,1	-6,9	-6,6	-6,4	-6,2	-6,0	-5,7	-5,5	-5,3	-5,1	-4,9	-4,6	-4,4	-4,2	-4,0
-5	-8,8	-8,6	-8,3	-8,1	-7,9	-7,7	-7,5	-7,3	-7,1	-6,8	-6,6	-6,4	-6,2	-6,0	-5,8	-5,6	-5,4	-5,2	-5,0
-6	-9,5	-9,3	-9,1	-8,9	-8,7	-8,5	-8,3	-8,1	-7,9	-7,7	-7,5	-7,3	-7,1	-7,0	-6,8	-6,6	-6,4	-6,2	-6,0
-7	-10,3	-10,1	-9,9	-9,7	-9,6	-9,4	-9,2	-9,0	-8,8	-8,6	-8,4	-8,3	-8,1	-7,9	-7,7	-7,5	-7,4	-7,2	-7,0
-8	-11,1	-10,9	-10,7	-10,6	-10,4	-10,2	-10,0	-9,9	-9,7	-9,5	-9,3	-9,2	-9,0	-8,8	-8,7	-8,5	-8,3	-8,2	-8,0
-9	-11,9	-11,7	-11,6	-11,4	-11,2	-11,1	-10,9	-10,7	-10,6	-10,4	-10,3	-10,1	-9,9	-9,8	-9,6	-9,5	-9,3	-9,2	-9,0

Figure 5: Snowmaking chart, based on chart from (Eikevik 2017).



Battitura delle piste

- Mezzo battipista: potenza 500 CV, consumo 20-30 L/ora
- Consumo energetico battitura:
 - Pendenza della pista
 - Neve fresca?
 - Esperienza operatore
- Efficientamento battitura delle piste:
 - Mezzi battipista ibridi → full electric
 - Sistemi satellitari e da drone per la caratterizzazione del manto nevoso

Kassbohrer Pistenbully 600E+ <https://www.pistenbully.com/it/home/battipista/pistenbully-600-e-plus.html>



Leica iCON <https://leica-geosystems.com/it-it/products/machine-control-systems/leica-icon-alpine>

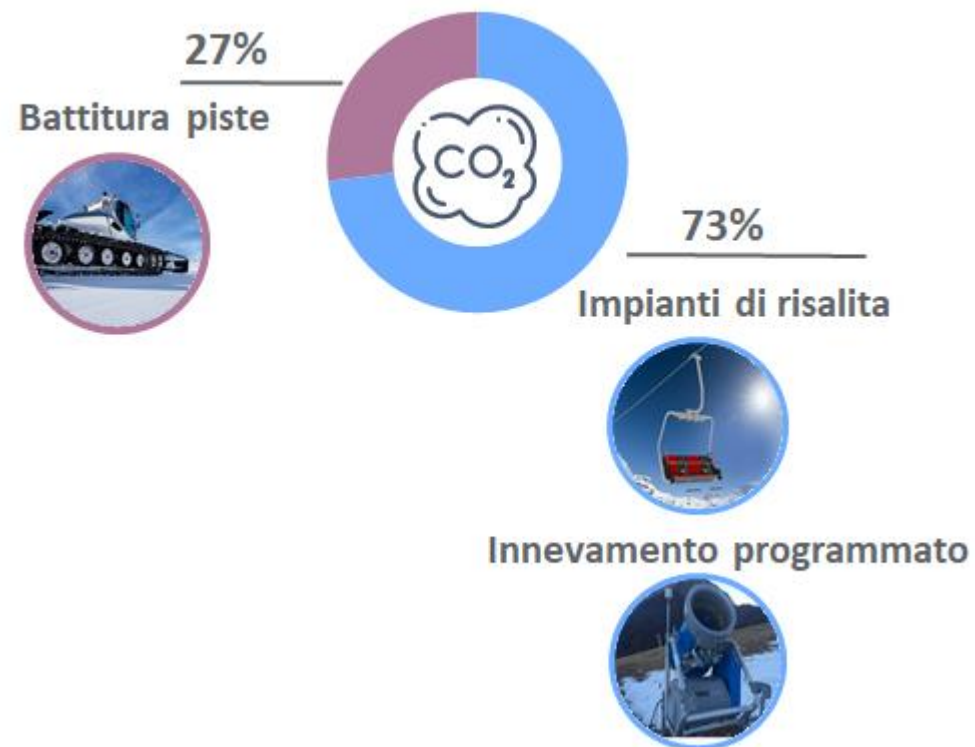
Ma quindi...quanto emettono le stazioni sciistiche?

- Calcolo:

- Consumi elettrici x fattore emissione nella stagione invernale (493 kgCO_{2,eq}/MWh)
- Consumi gasolio x fattore emissione (2.62 kgCO_{2,eq}/L)
- Numero di giornalieri venduti

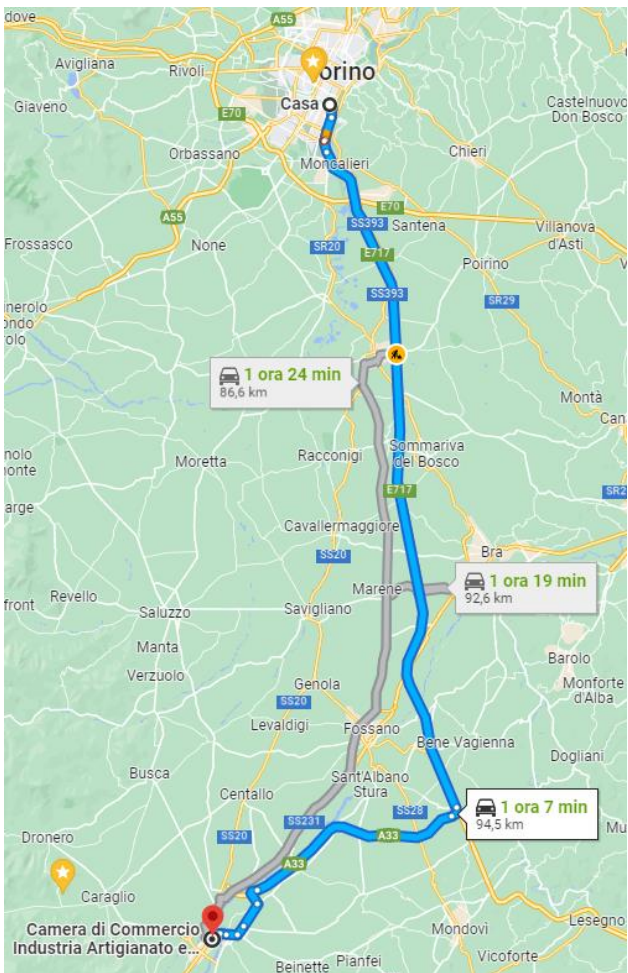
- Risultati:

- Circa 3-12 kgCO_{2,eq}/sciatore
- Circa 2000-5000 L/km di pista
- Circa 370-1300 kWh consumati per metro di dislivello degli impianti
- Effetto economie di scala





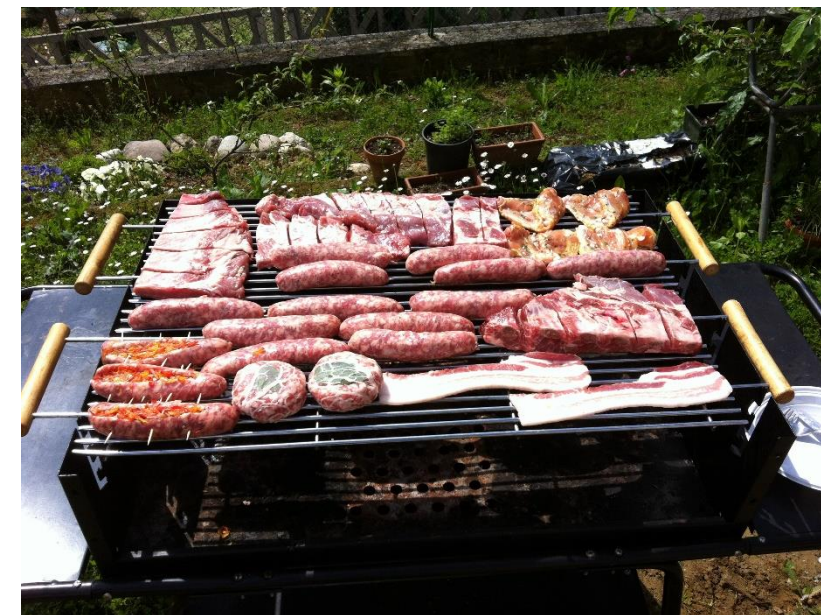
Ma a cosa equivalgono 12 kg di CO₂ equivalente?



Torino – Cuneo A/R in auto invece che in treno



Mangiare 1 kg di asparagi fuori stagione, dal Messico, invece di aspettare quelli di Santena



Una grigliata per due persone



Tenere il riscaldamento a 22 gradi invece di 20, per una settimana, in un appartamento (consumo 1000 mc/anno di gas)

Test misuratori di portata a ultrasuoni clamp-on



Sviluppo datalogger di potenza per cannoni da neve





Credits:

Nives Grasso, Paolo Maschio, Irene Aicardi, Costanza Gamberini, Jacopo De Santis, Stefano Papi, Daniele Cerato, Marco Galfrè, Gabriele Arduino, lo staff dei compressori di Limone Piemonte e Prato Nevoso

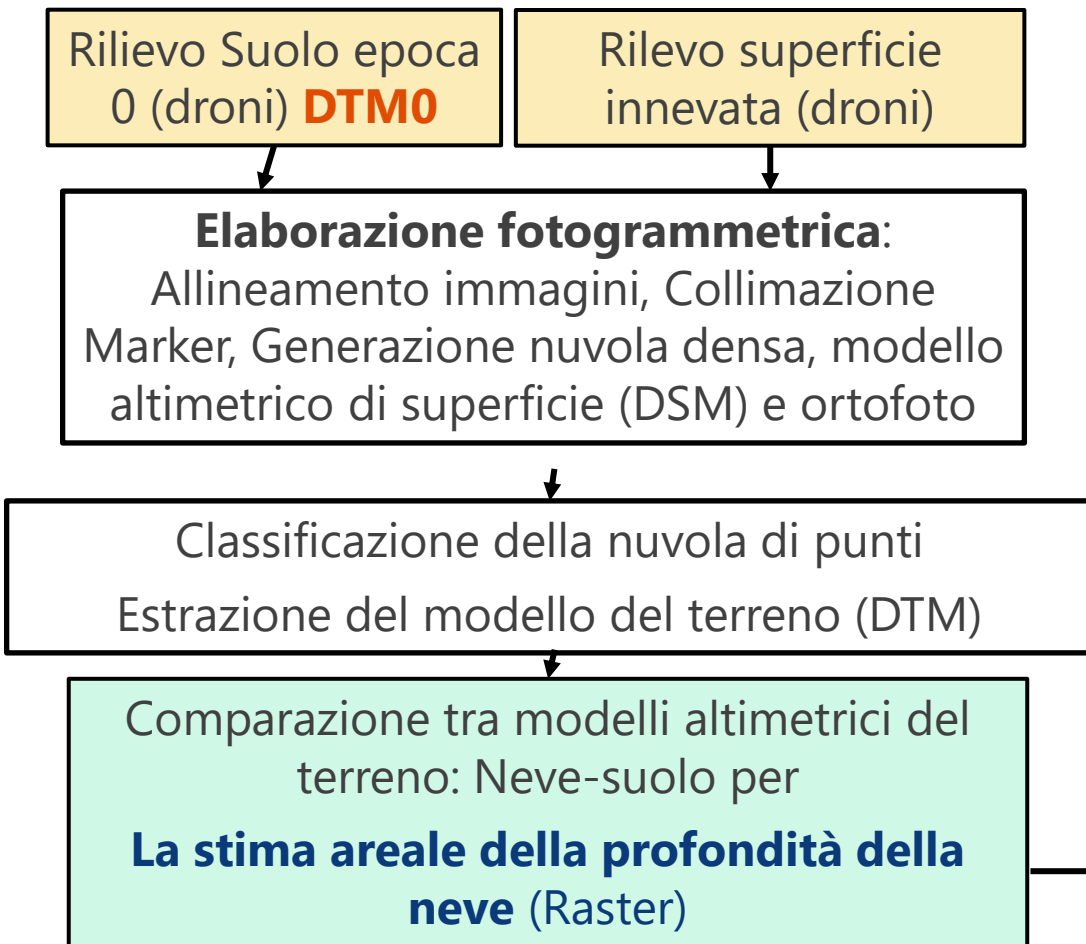
Contatti:

alessandro.casasso@polito.it

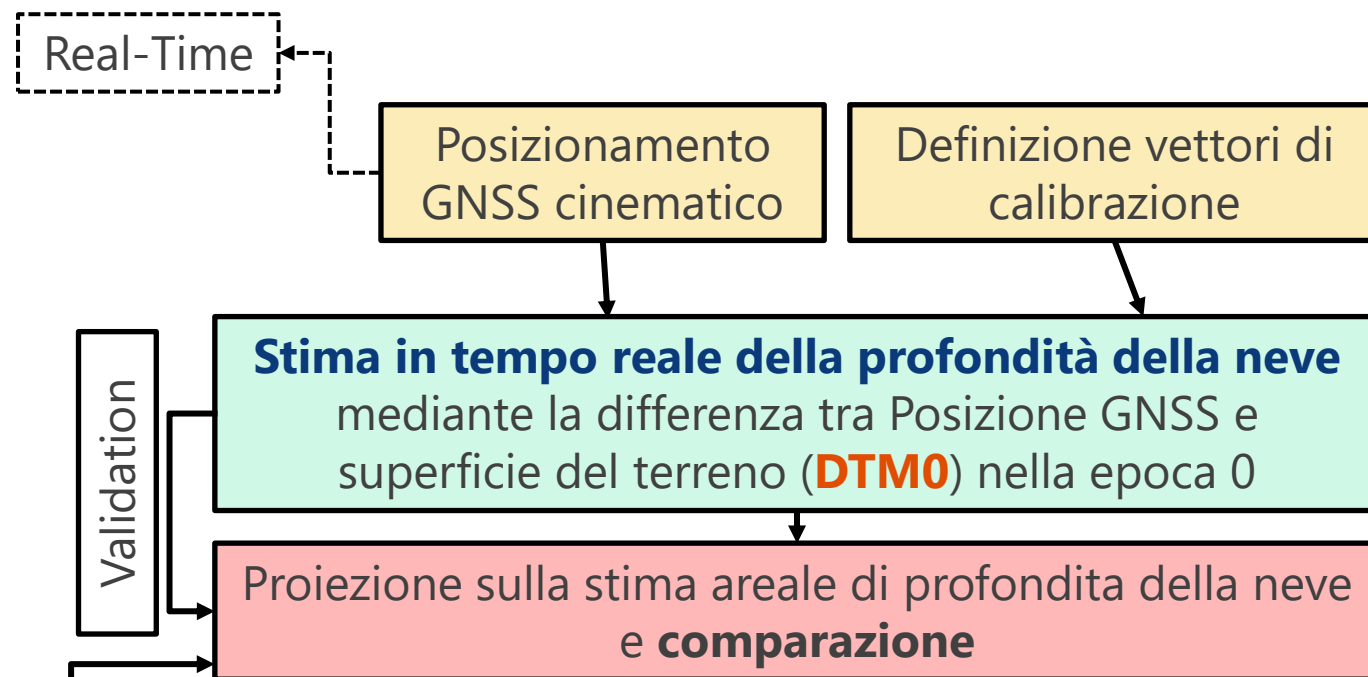
Cell. 3204213886



A. Stima dell'altezza di neve mediante droni

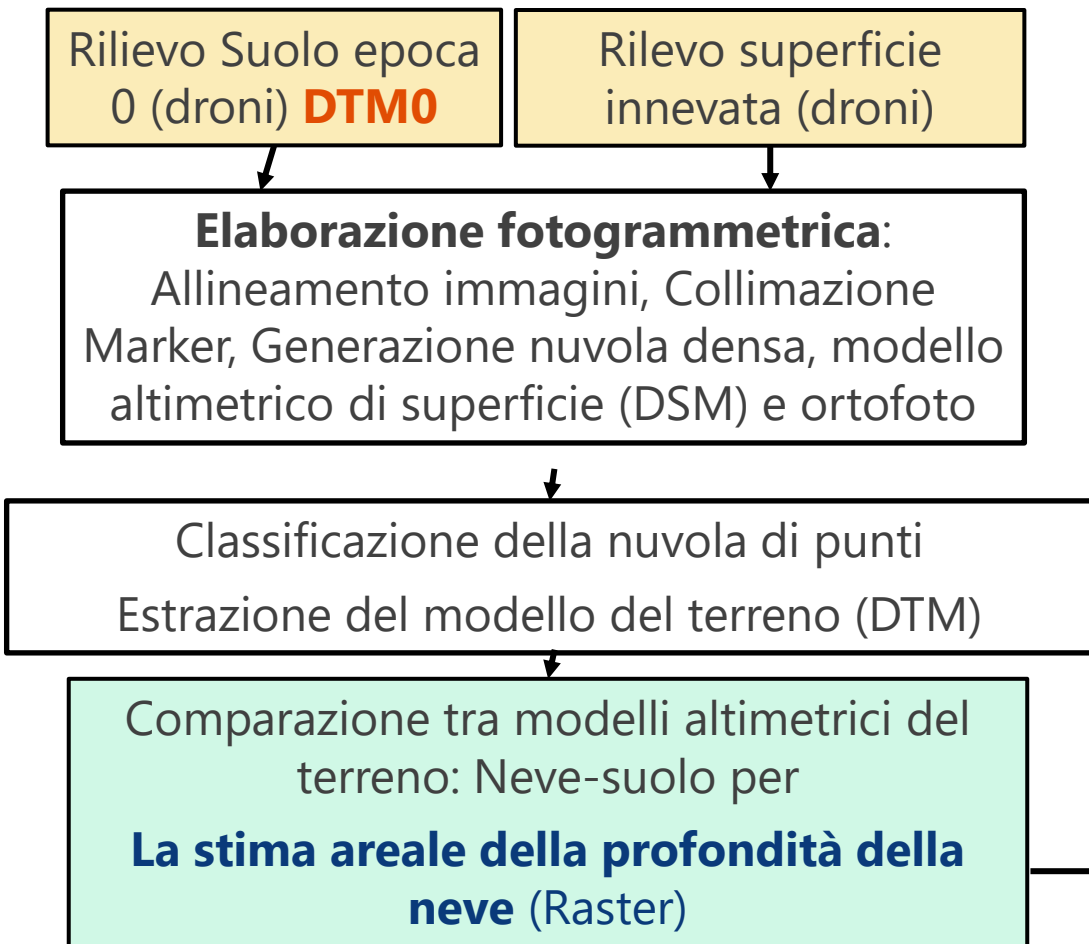


B. Tracciamento gatto delle nevi e misura della profondità della neve mediante dati GNSS tracking





A. Stima dell'altezza di neve mediante droni



B. Tracciamento gatto delle nevi e misura della profondità della neve mediante dati GNSS tracking





Due casi studio

Pista ARMAND, Limone Piemonte (CN)



Quota partenza	1582 m
Quota arrivo	1396 m
Dislivello	186 m
Lunghezza	0,745 km
Pendenza media	33%
Pendenza max	46%



Due casi studio

PISTA PRÉL, Valle Maudagna, Prato Nevoso (CN),

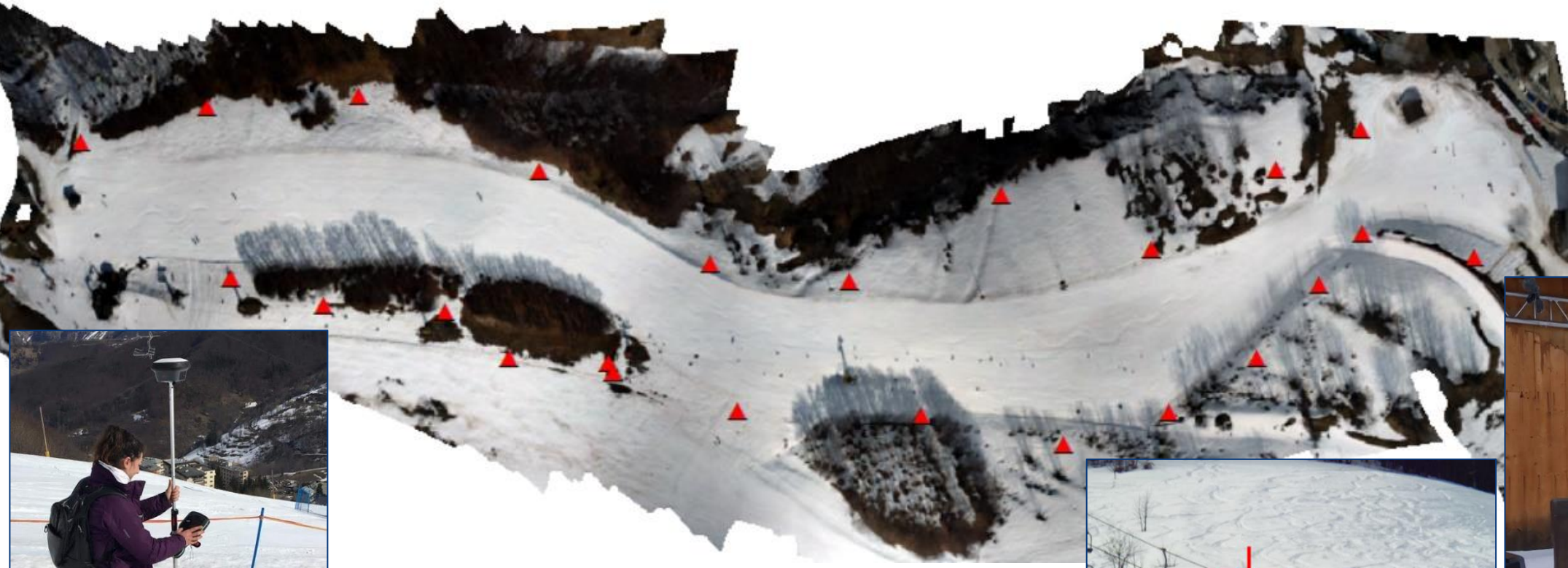


Quota partenza	1688 m
Quota arrivo	1461 m
Dislivello	227 m
Lunghezza	1,321 km
Pendenza media	17%
Pendenza max	25%



Stima areale della profondità della neve

Punti di appoggio



Un esempio di presegnalizzazione mediante marker flessibili sulla pista Armand



Stima areale della profondità della neve

Acquisizione con drone



DJI Phantom 4 Pro

DJI Mavic 2 Pro



A livello sperimentale sono stati usati 4 tipi di droni:

- DJI Phantom 4;
- DJI Mavic 2 Pro;
- DJI Mavic Mini.

DJI Mavic Mini



Caratteristiche droni

	DJI Phantom 4 Pro	DJI Mavic 2 Pro	DJI Mavic Mini
Peso al decollo	1388 g	907 g	249 g
Autonomia di volo	30 min	31 min	30 min
Massima distanza di volo	14 Km	18 Km	16 Km
Sensore	1" CMOS 20 MP	1" CMOS 20 MP	1/2.3" CMOS 12 MP
Lunghezza focale	24 mm f/2.8-11	28 mm f/2.8-11	24 mm f/2.8

Strisciate nadirali e oblique
 Ground Sample Distance medio (GSD) ~ **2 cm**



Stima areale della profondità della neve

Le acquisizioni multitemporali

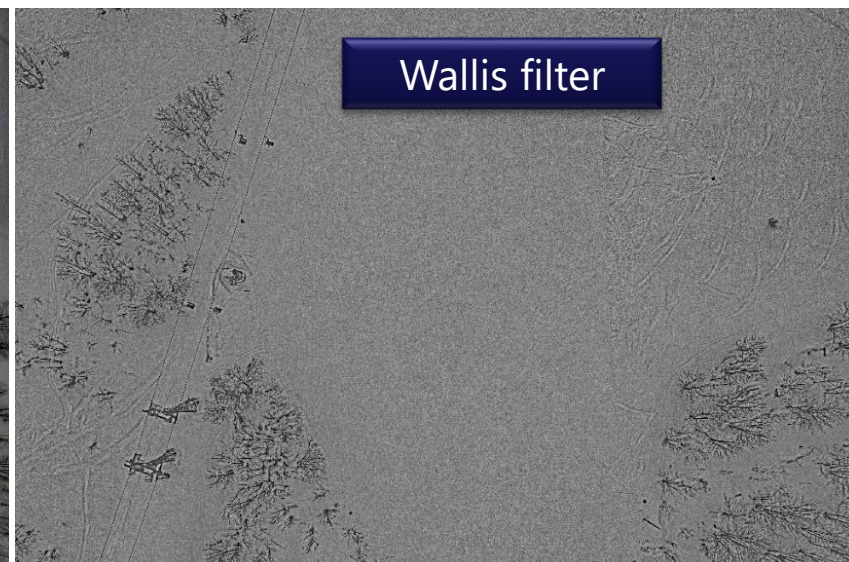
N.	Dataset	Image Res. [px]	N. GCPs	N. CPs	N. Images
1	ALP No snow	5472 x 3648	41	14	About 1200
2	ALP snow- I test	5472 x 3648	10	5	About 400
3	ALP snow- II test	4000 x 2250	13	10	About 450
4	PPN No snow	5472 x 3648	36	12	About 1100
5	PPN snow - I test	4000 x 2250	28	10	About 450
6	PPN snow - II test	4000 x 2250	34	10	About 400

GV Stima areale della profondità della neve

Primo test sulla pista Armand con copertura nevosa

Luce uniforme, poche ombre Uniform light (no shadows) e neve ben battuta con pochi dettagli visibili

La superficie nevosa è con tessitura uniforme, occorre applicare filtraggi specifici per evidenziare le variazioni di toni radiometrici. Si appesantisce la fase di elaborazione e i risultati non sono ottimali, meno precisi e meno densi.



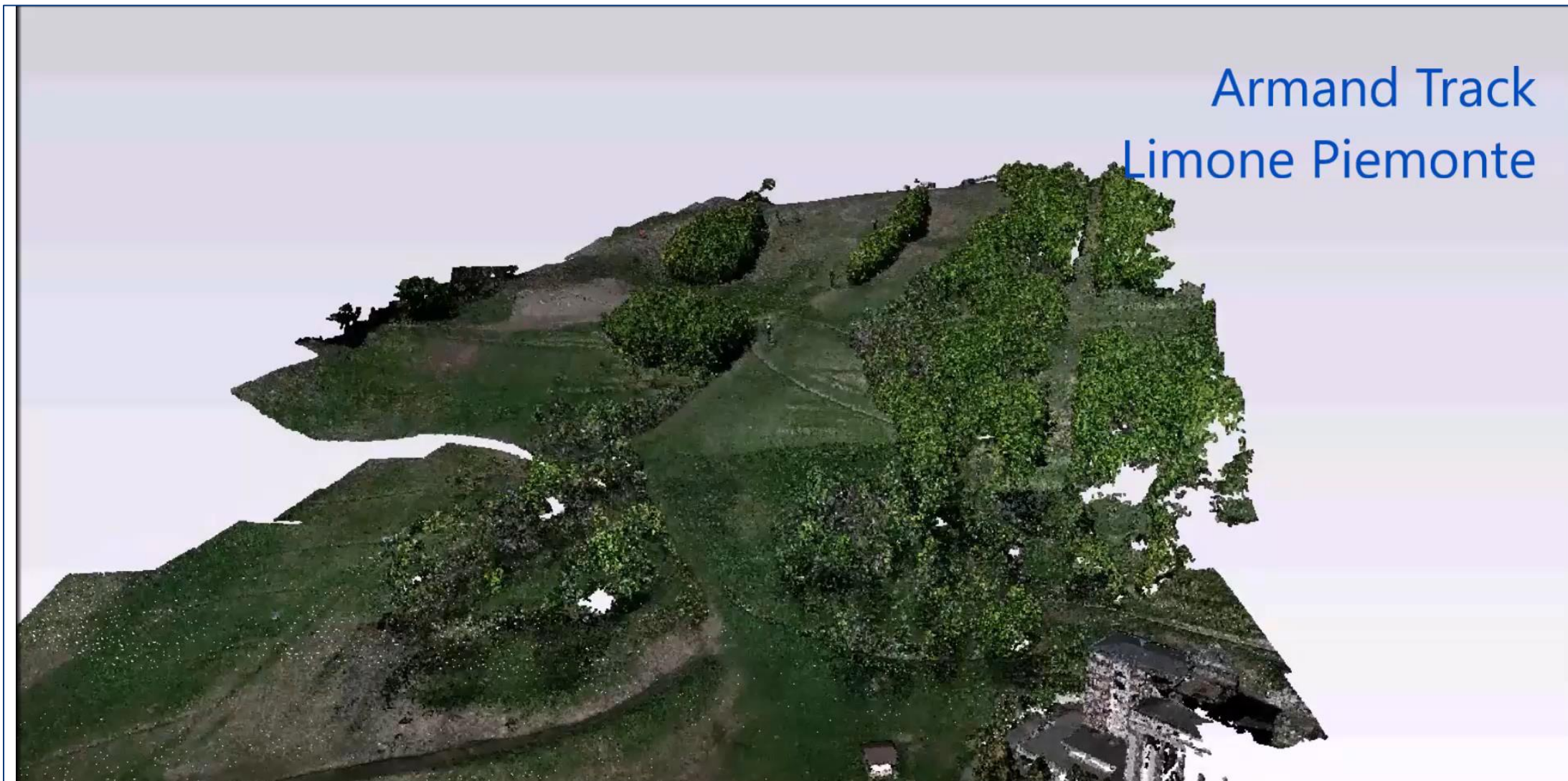
Il risultato dipende dalle condizioni meteorologiche e, con condizioni di luce non ottimali, comporta un decadimento nella precision e nella densità del dato mediamente (2-3 volte)



Stima areale della profondità della neve

Generazione modelli tridimensionali multitemporali mediante Structure From Motion

Armand Track
Limone Piemonte





Stima areale della profondità della neve

Generazione modelli tridimensionali multitemporali mediante Structure From Motion



Stima areale della profondità della neve

Armand Track, multitemporale

Multitemporale
e altezza della
neve

In ogni punto
possiamo
leggere
l'altezza della
neve e quindi
aiutare
l'operatore
del gatto
delle nevi
nella scelta
delle
operazioni da
fare



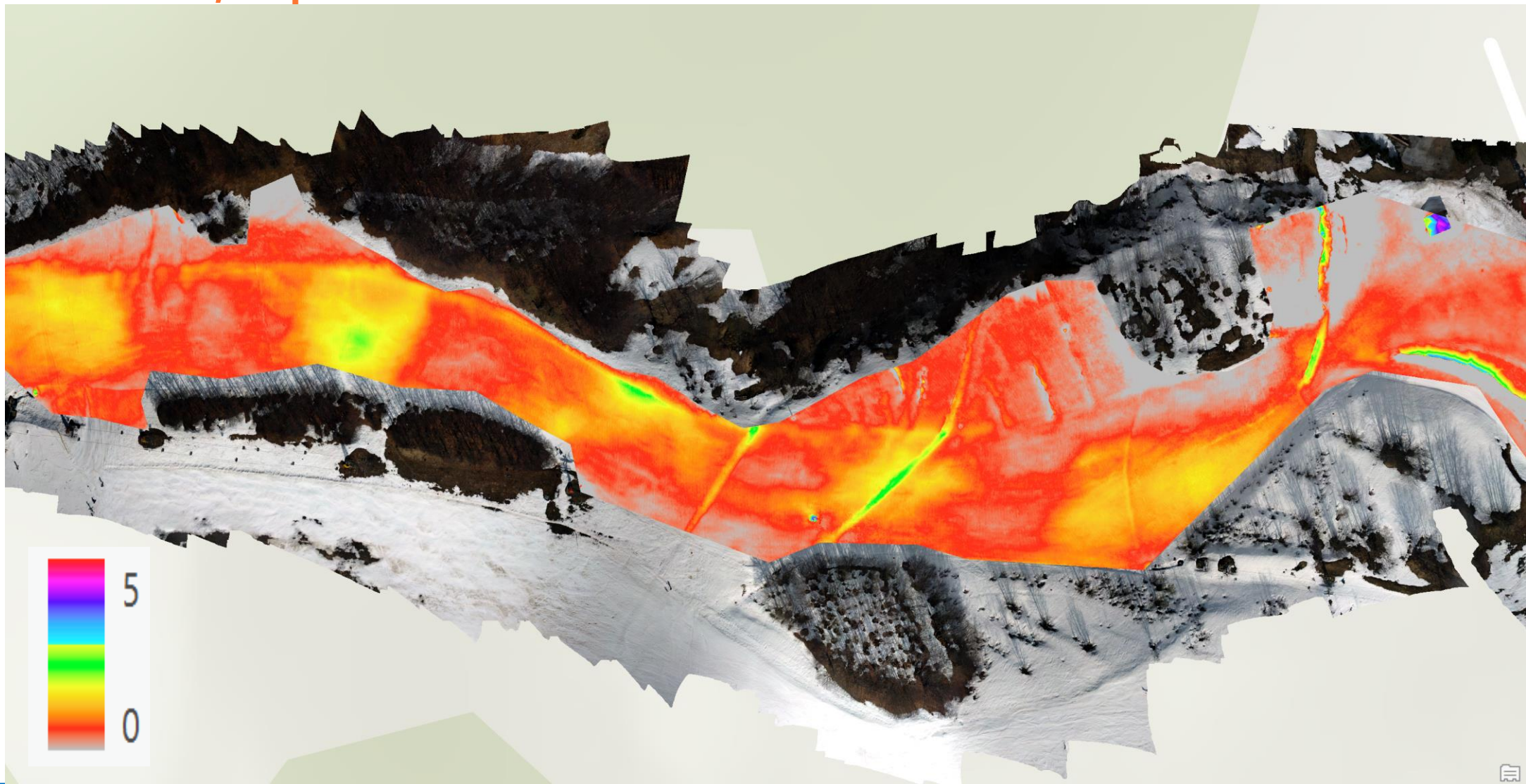


Stima areale della profondità della neve

Armand Track, II epoca

Differenze
in quota tra
il DTM con e
senza neve

In ogni punto
possiamo
leggere
l'altezza della
neve e quindi
aiutare
l'operatore
del gatto
delle nevi
nella scelta
delle
operazioni da
fare





Stima areale della profondità della neve

PISTA PRÉL, Valle Maudagna, Prato Nevoso (CN),

Multitemporale
e altezza della
neve

In ogni punto
possiamo
leggere
l'altezza della
neve e quindi
aiutare
l'operatore
del gatto
delle nevi
nella scelta
delle
operazioni da
fare

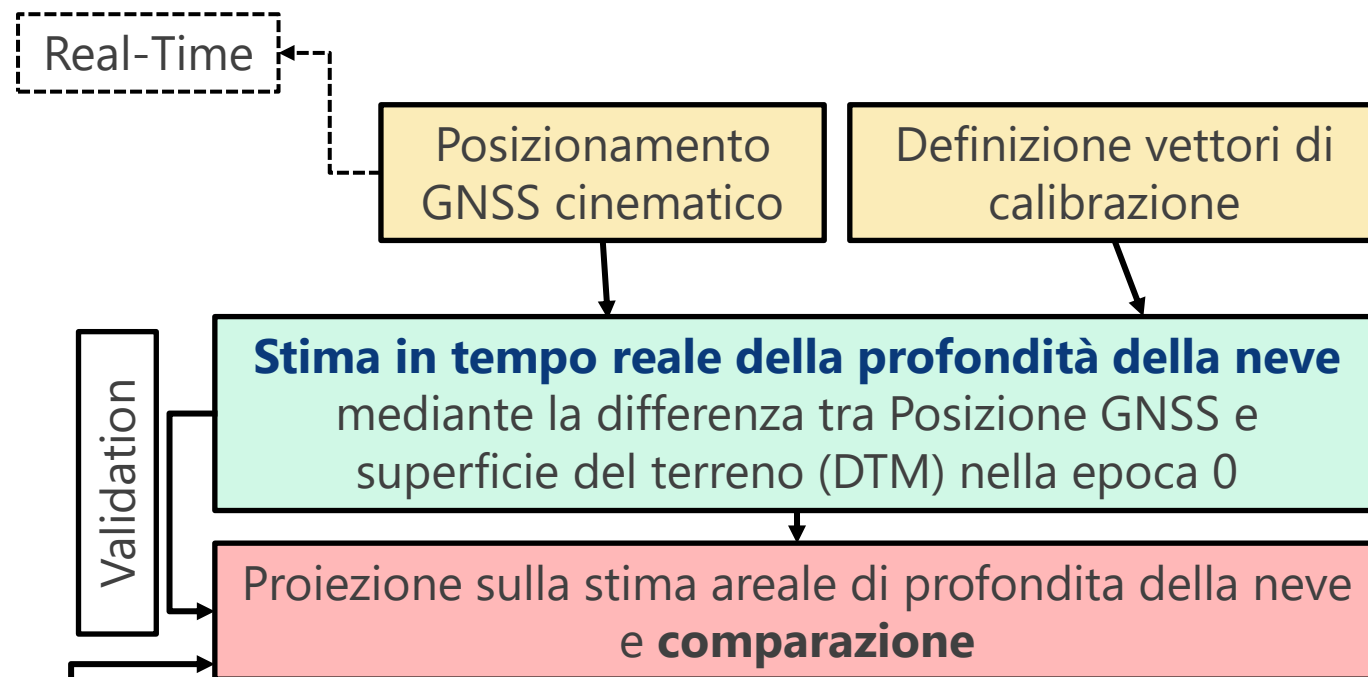




A. Stima dell'altezza di neve mediante droni



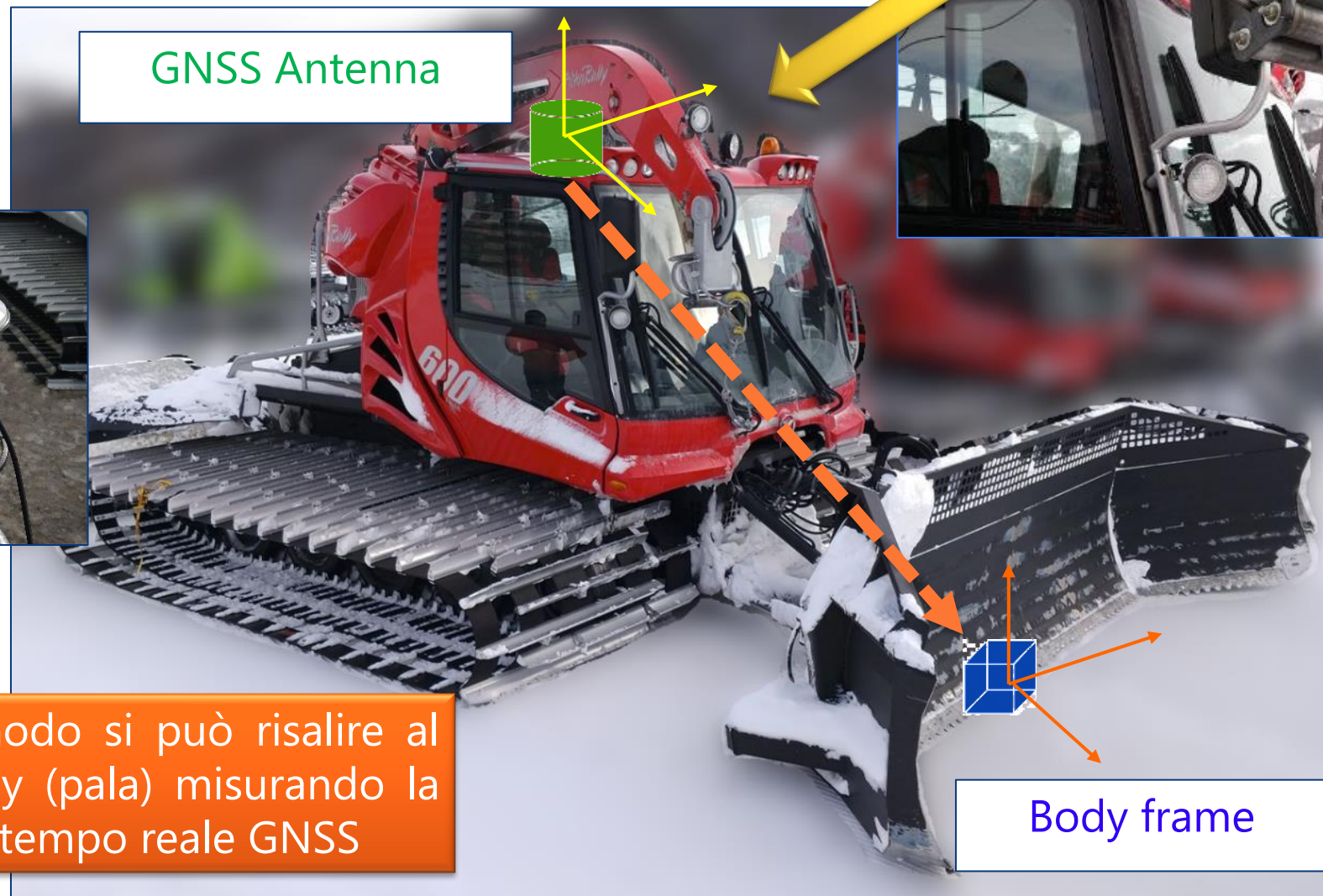
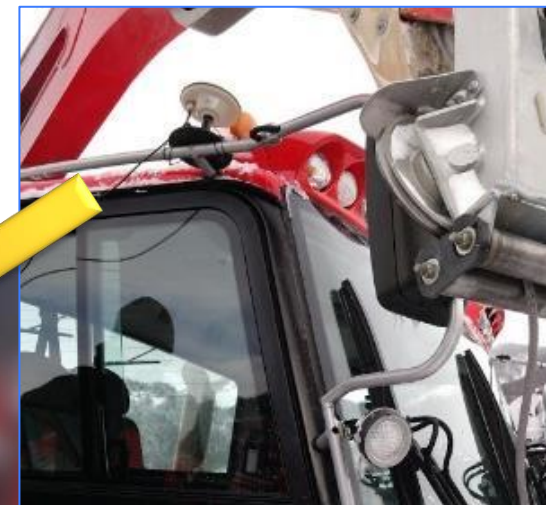
B. Tracciamento gatto delle nevi e misura della profondità della neve mediante dati GNSS tracking



Stima in tempo reale della profondità della neve

Installazione e calibrazione del sistema

Posizionamento del ricevitore GNSSP
 Misura dei vettori di calibrazione del Sistema mediante the total station



GNSS Antenna

Body frame



In questo modo si può risalire al Sistema body (pala) misurando la posizione in tempo reale GNSS





Stima in tempo reale della profondità della neve

L'acquisizione dei dati

GNSS Receiver Tersus Precis BX-306

Image



Weight 23g
Constellations GPS L1/L2, GLONASS G1/G2, BeiDou B1/B2

Position update rate 1Hz-20Hz

GNSS Antenna Tersus AX3702

Image



Weight 374 g

Constellations GPS L1/L2, GLONASS G1/G2, BeiDou B1/B2



E' stata installata una antenna di riferimento in posizione fissa e nota che generasse le correzioni differenziali in modalità Real Time Kinematic (RTK) e le trasmettesse via radio al sensore installato sul gatto delle nevi

Potenzialmente il posizionamento in tempo reale ha accuratezza di pochi cm



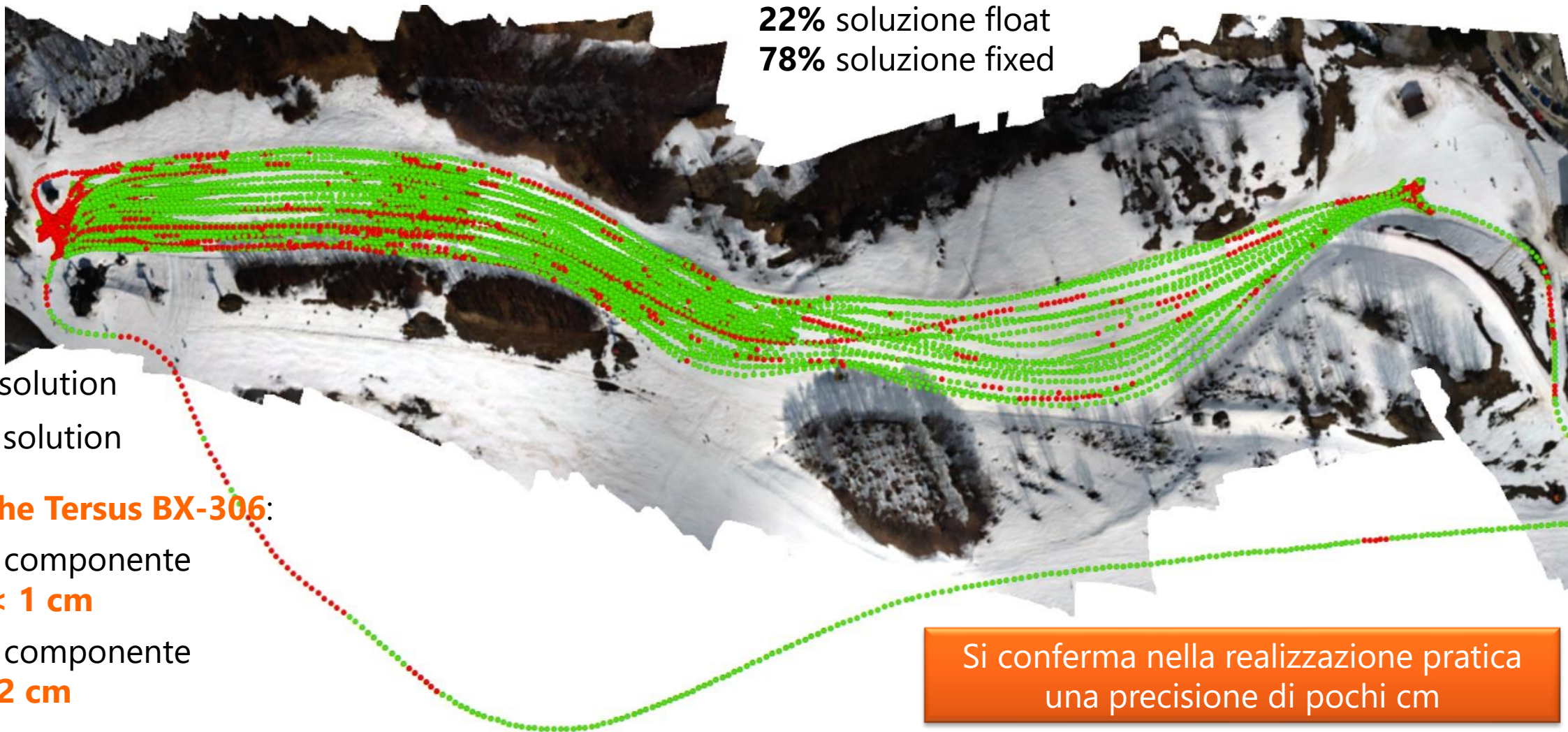
Stima in tempo reale della profondità della neve

Elaborazione e analisi dei dati

Ratio Test:

22% soluzione float

78% soluzione fixed



● -> Float solution

● -> Fixed solution

Soluzioni the Tersus BX-306:

sqm medio componente
orizzontale < **1 cm**

sqm medio componente
verticale < **2 cm**

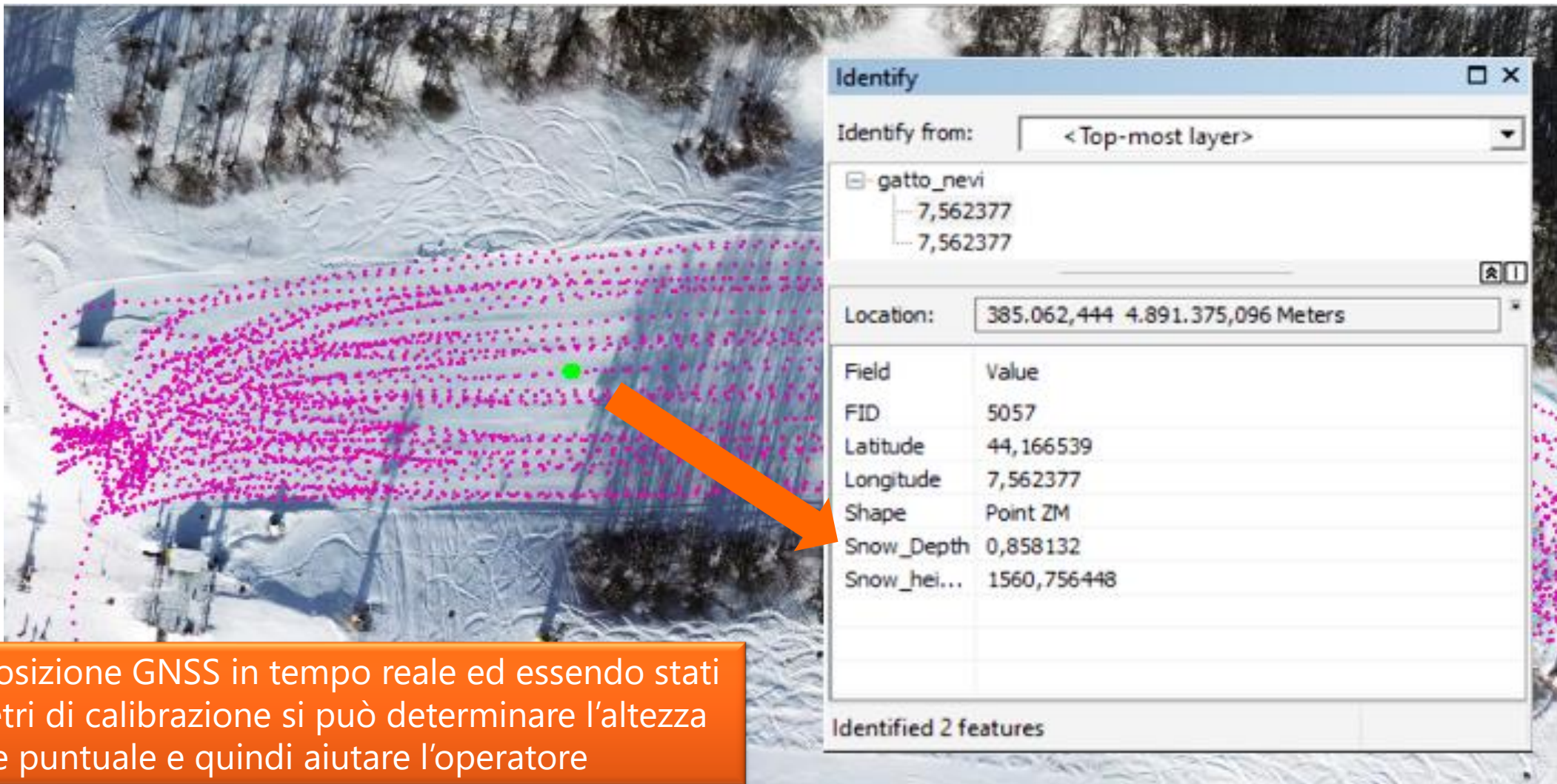
Si conferma nella realizzazione pratica
una precisione di pochi cm



Stima in tempo reale della profondità della neve

Le acquisizioni multitemporali

L'altezza della neve è la differenza tra la quota della parte bassa della lama della pala e la quota si riferimento del terreno (DTM0) all'epoca 0.



Essendo nota la posizione GNSS in tempo reale ed essendo stati misurati i parametri di calibrazione si può determinare l'altezza della neve puntuale e quindi aiutare l'operatore



A parziale conclusione

- La ricerca ha dimostrato **la potenzialità operative di un sistema completo a basso costo** per la stima dell'altezza della neve anche in tempo reale
 - Le precisioni ottenute sono **elevate e ampiamente soddisfacenti** per le necessità operative
- I risultati **dipendono dalle condizioni meteorologiche** (assenza di nebbia) **e di luce** (sole e ombre) al fine di evitare uniformità cromatica sulla copertura nevosa:
 - sarà possibile in future: si propone di valutare in futuro l'uso di sensori con sensibilità oltre il visibile (multispettrali o iperspettrali) op di sensori LiDAR per drone (DJI L1 o simili)
- **Un sistema di 2 sensori GNSS a doppia frequenza sensors** possono essere considerati una valida alternativa (poche K€) ai costosi sistemi per il tracciamento dei gatti delle nevi:
 - Una opportuna fase di calibrazione è necessaria per arrivare ad elevate precision in tempo reale

La disponibilità potenziale di questo dato direttamente in cabina potrebbe ottimizzare le operazioni svolte con il gatto delle nevi migliorandone l'impatto ambientale