

Il downstream nazionale tra presente e futuro:

un percorso condiviso con la comunità degli utenti



AFORISMA

Apprendimento automatico per l'analisi di coperture forestali con dati iperspettrali PRISMA

Obiettivi, organizzazione e stato di avanzamento
del progetto

Speaker: Patrizia Gasparini (CREA – Centro di ricerca Foreste e Legno)

Autori: P. Gasparini, L. Bruzzone, G. Papitto

Informazioni generali sul progetto

Titolo: Apprendimento automatico per l'analisi di coperture forestali con dati iperspettrali della missione PRISMA a supporto dell'inventario forestale nazionale (AFORISMA)

Finanziamento: Bando PRISMA SCIENZA 2020, area di interesse "Vegetation & Forestry";

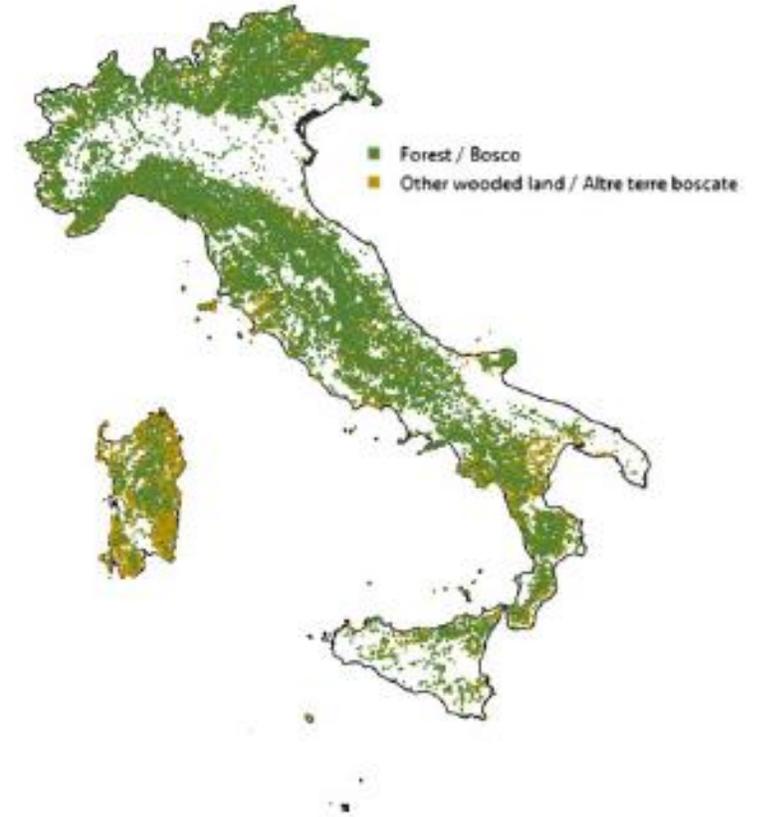
Periodo di attività: 07/07/2022 – 07/03/2025 (24 + 8 mesi)

Team di progetto:

- ✓ CREA-FL - Centro di ricerca Foreste e Legno - Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, sede di Trento (Beneficiario - PRIME)
- ✓ UNITN - Università degli Studi di Trento - Dipartimento di Ingegneria e Scienza dell'informazione (Partner – SUBCO1)
- ✓ CUFAA - Arma dei Carabinieri – Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari (Partner – SUBCO2)
- ✓ UNIEXTR - Hyperspectral Computing Laboratory – University of Extremadura (ES) (Foreign Participant – SUBCO3)

Motivazioni, obiettivi

- ✓ Le foreste forniscono molteplici servizi ecosistemici : produzione di materie prime, biodiversità, formazione e protezione del suolo, regolazione del clima, tutela della risorse idriche, produzione di valore paesaggistico e ricreativo,
- ✓ In Italia occupano oltre 1/3 del territorio nazionale (9,085,186 ha i Boschi, 1,969,272 la Altre Terre Boscate – fonte INFC2015)
- ✓ Le principali fonti di informazioni sulla consistenza e sullo stato delle foreste italiane a livello nazionale sono ad oggi l'Inventario Forestale Nazionale - INFC (www.inventarioforestale.org) e la Rete Nazionale per il Controllo degli Ecosistemi Forestali (CONECOFOR)
- ✓ Si tratta di indagini di tipo campionario, basate principalmente su rilievi al suolo condotti in corrispondenza di punti/aree selezionati secondo un piano di campionamento e realizzati a intervalli pluriennali (INFC) o annuali (CONECOFOR)



(Da: Gasparini P., Di Cosmo L., Floris A., 2022 – Area and Characteristics of Italian Forests. In: Gasparini P., Di Cosmo L., Floris A., De Laurentis D. (Eds), 2022 - Italian National Forest Inventory—Methods and Results of the Third Survey. Springer Tracts in Civil Engineering. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-98678-0>)

Motivazioni, obiettivi

- ✓ Grazie all'elevata risoluzione spettrale e all'ampia copertura spaziale, le immagini iperspettrali di fonte satellitare possono integrare efficacemente le indagini campionarie, sia quali fonti di informazione, in alcune fasi di indagine, sia per aumentare il dettaglio spaziale delle stime campionarie, attraverso la produzione di mappe e di statistiche per unità territoriali sub-regionali
- ✓ La proposta progettuale AFORISMA nasce dalla sinergia tra i due principali soggetti impegnati nella realizzazione di INFC e CONECOFOR, il Centro di ricerca Foreste e Legno del CREA e il Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari dei Carabinieri (CUFAA), e il Remote Sensing Laboratory (RSLab) del Dipartimento di Ingegneria e Scienza dell'Informazione dell'Università di Trento, che vanta un'esperienza significativa nell'analisi di immagini iperspettrali per la classificazione di uso/copertura del suolo e delle specie forestali, in collaborazione con l'Hyperspectral Computing Laboratory dell'Università di Extremadura

Obiettivi del progetto

Dalla proposta progettuale: «obiettivo generale del progetto AFORISMA è esplorare le possibilità offerte dai dati PRISMA per lo sviluppo di prodotti utili per l’inventario forestale nazionale e in genere per il monitoraggio delle risorse forestali ... la proposta intende sviluppare metodi automatici di elaborazione ed analisi di dati satellitari PRISMA finalizzati al riconoscimento delle diverse categorie forestali e delle specie arboree che le caratterizzano, all’individuazione degli stress indotti da eventi meteorici estremi e alla quantificazione della ricolonizzazione da parte della vegetazione arborea ed arbustiva seguito di questi ultimi»

Nello specifico il progetto mira allo sviluppo di metodi automatici innovativi per l’analisi dei dati iperspettrali PRISMA al fine di:

i) classificare la copertura forestale secondo le categorie forestali dell’Inventario Forestale Nazionale Italiano, caratterizzate da specie arboree e gruppi di specie, sia a livello di pixel (*crisp*) and sia a livello di sub-pixel attraverso tecniche di *spectral unmixing*

➔ CLASSIFICAZIONE

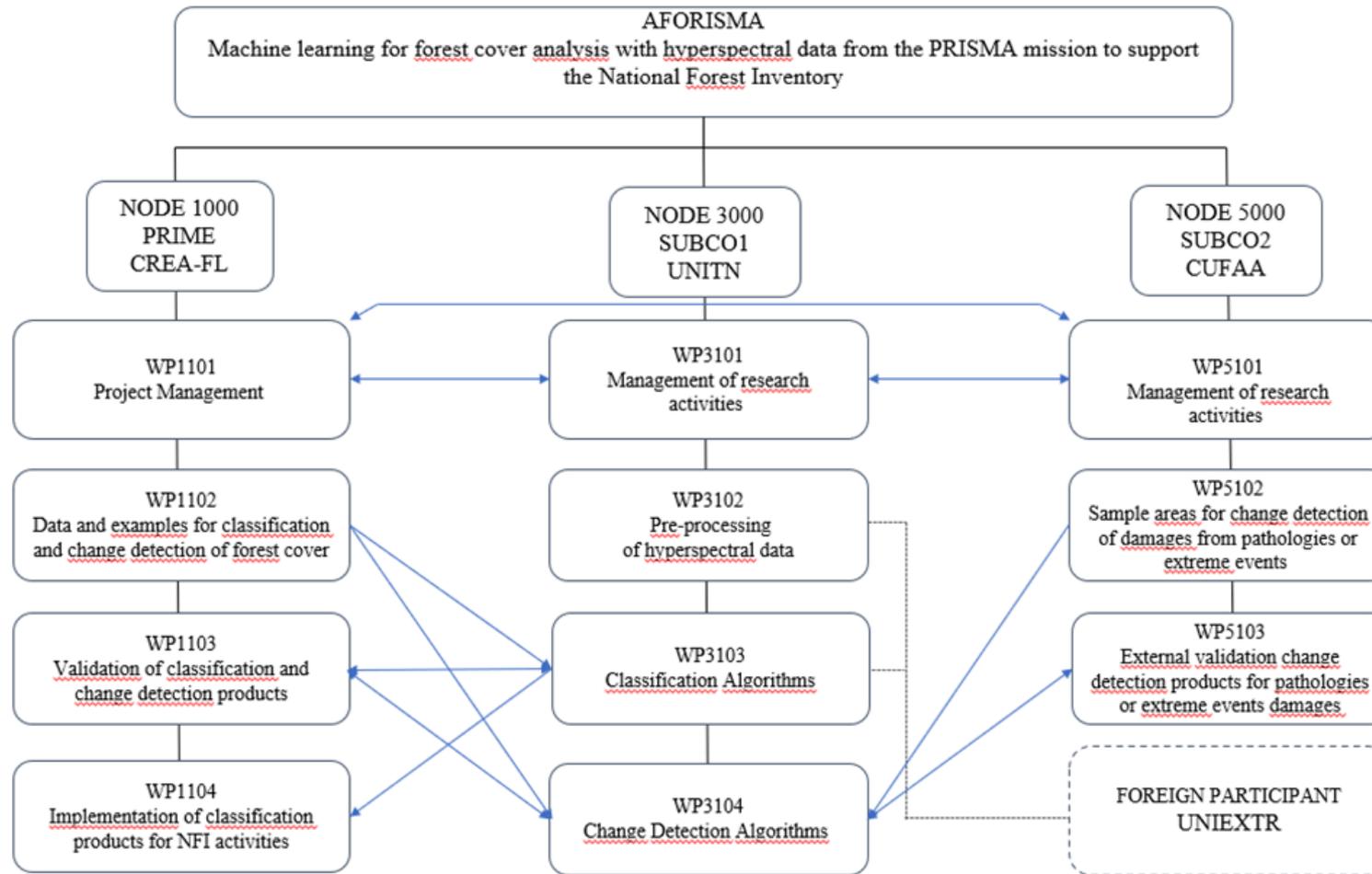
e attraverso l’analisi di serie multitemporali

ii) monitorare i cambiamenti della copertura arborea (in termini di copertura residua e di insediamento di nuovi soggetti da rinnovazione) nelle aree danneggiate da tempeste di vento

➔ CHANGE DETECTION

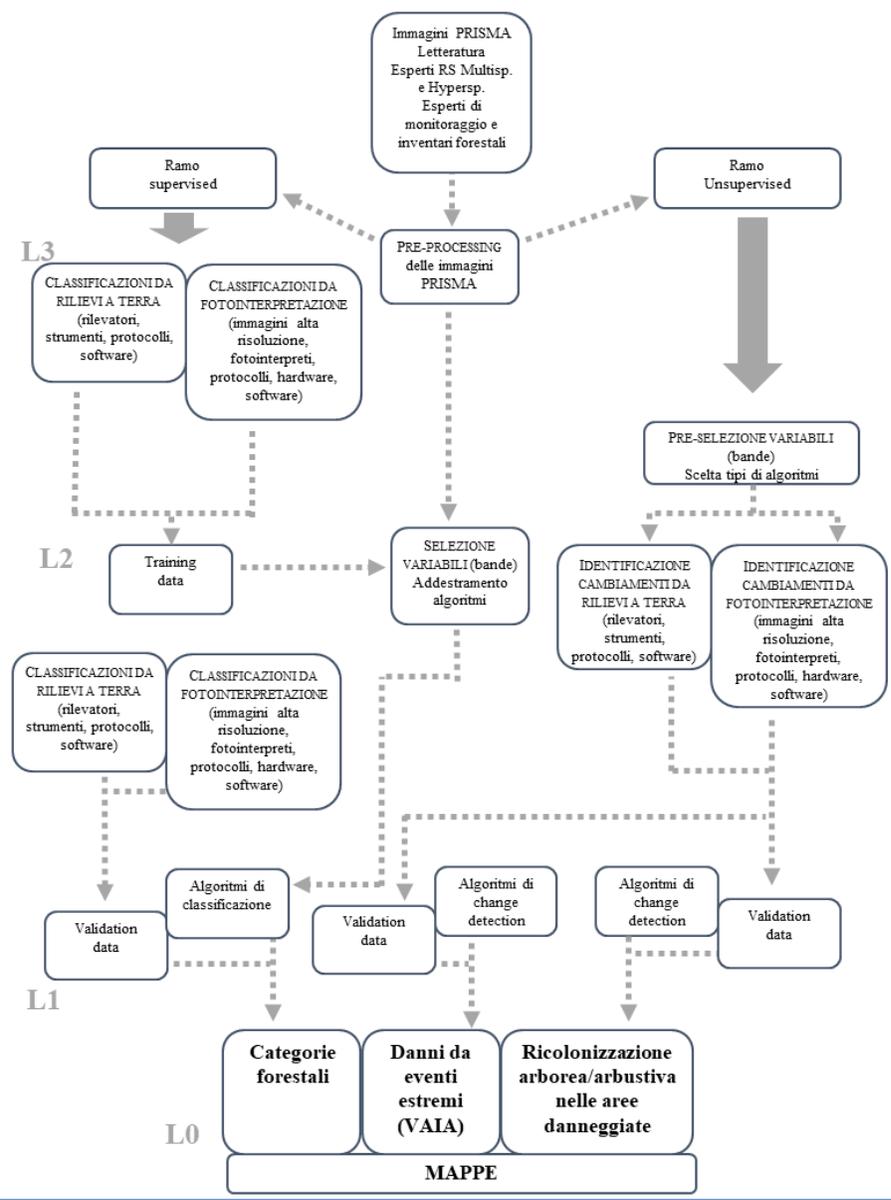
iii) monitorare i successivi danni dovuti ad attacchi parassitari

Struttura, organigramma e pianificazione delle attività

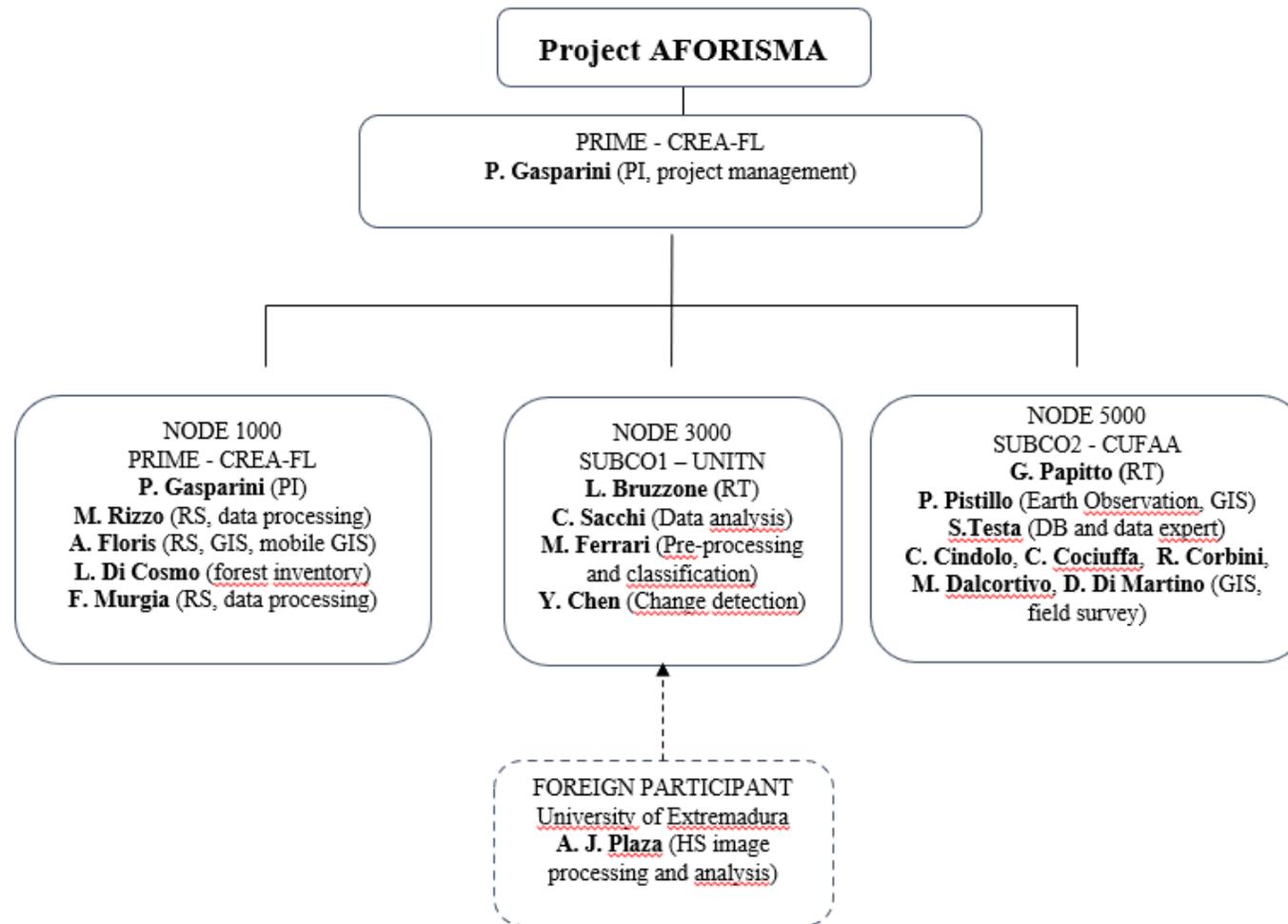


Struttura, organigramma e pianificazione delle attività

Albero del prodotto



Struttura, organigramma e pianificazione delle attività



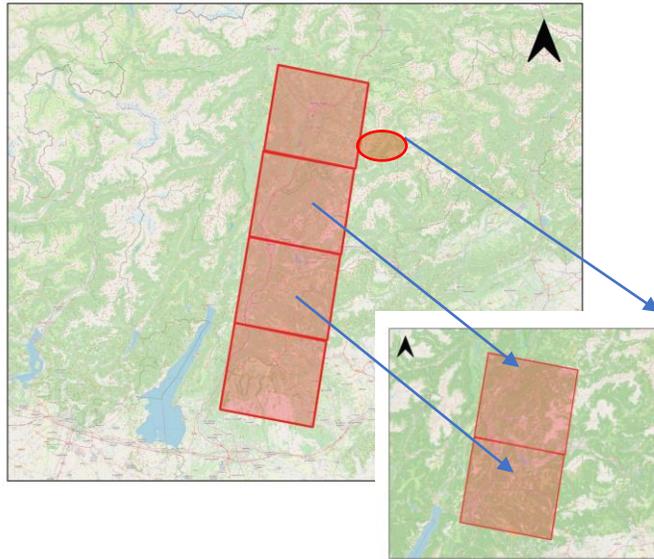
Struttura, organigramma e pianificazione delle attività

			2022					2023										2024										2025								
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31	M32		
Month of the year			7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2		
Milestones			KO					RA1					RA2					Technical meeting										RF								
Node	WP	#																																		Months
1000	1101	1																																		32
	1102	2																																		24
	1103	3																																	24	
	1104	4																																		16
3000	3101	5																																		32
	3102	6																																		24
	3103	7																																		24
	3104	8																																	24	
5000	5101	9																																		32
	5102	10																																		24
	5103	11																																	24	

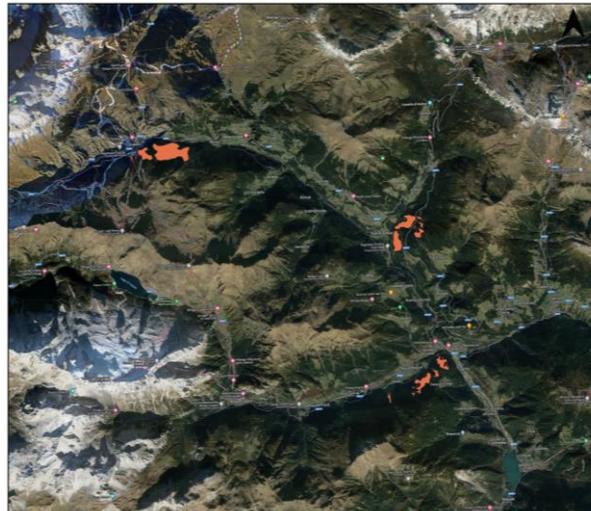
Aree di studio

Classificazione delle categorie e specie forestali

Study area 1 : Central-Eastern Alps

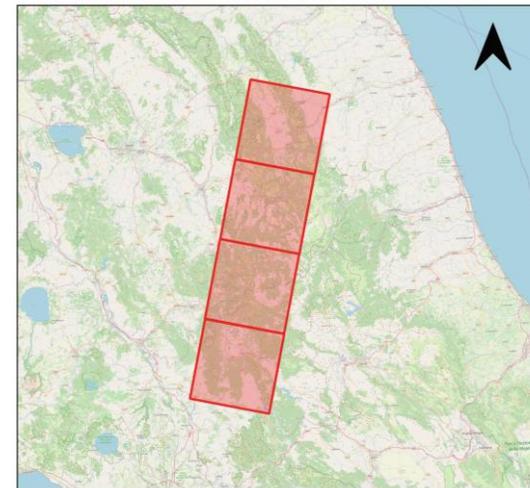


Monitoraggio dei danni da bostrico

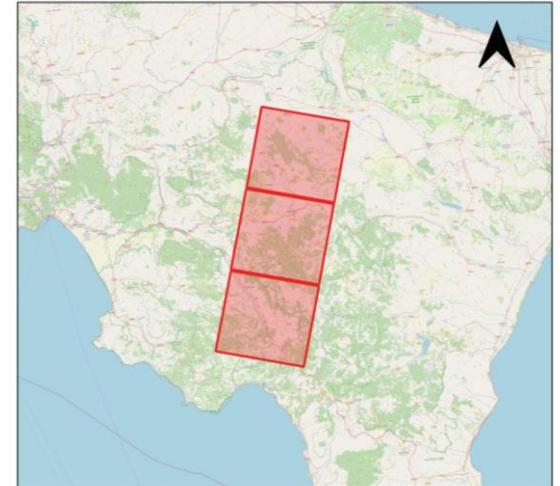


Monitoraggio dei cambiamenti della copertura arborea

Study area 2 : Central Appenines

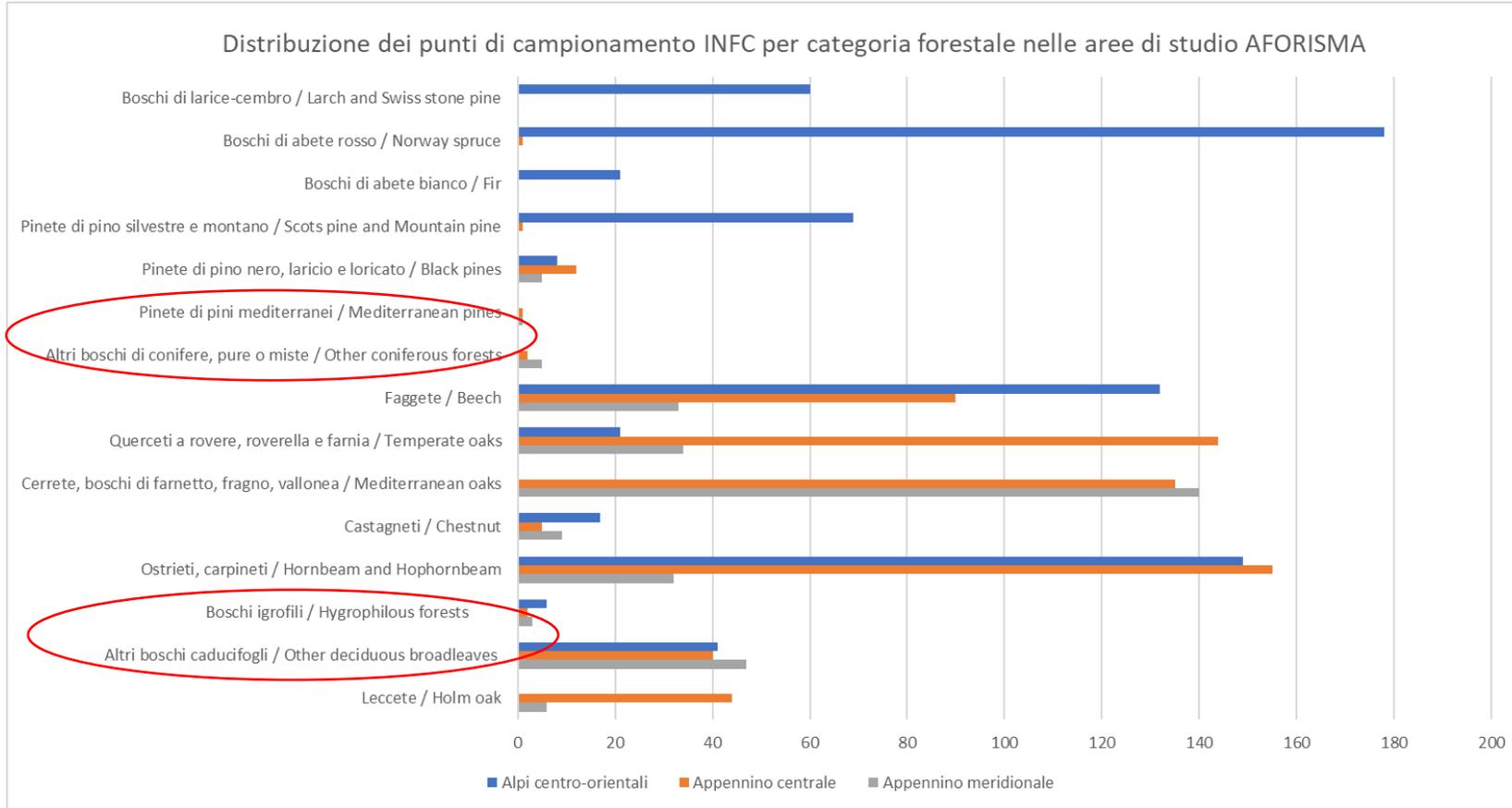


Study area 3 : Southern Appenines



Aree di studio

Classificazione delle categorie forestali



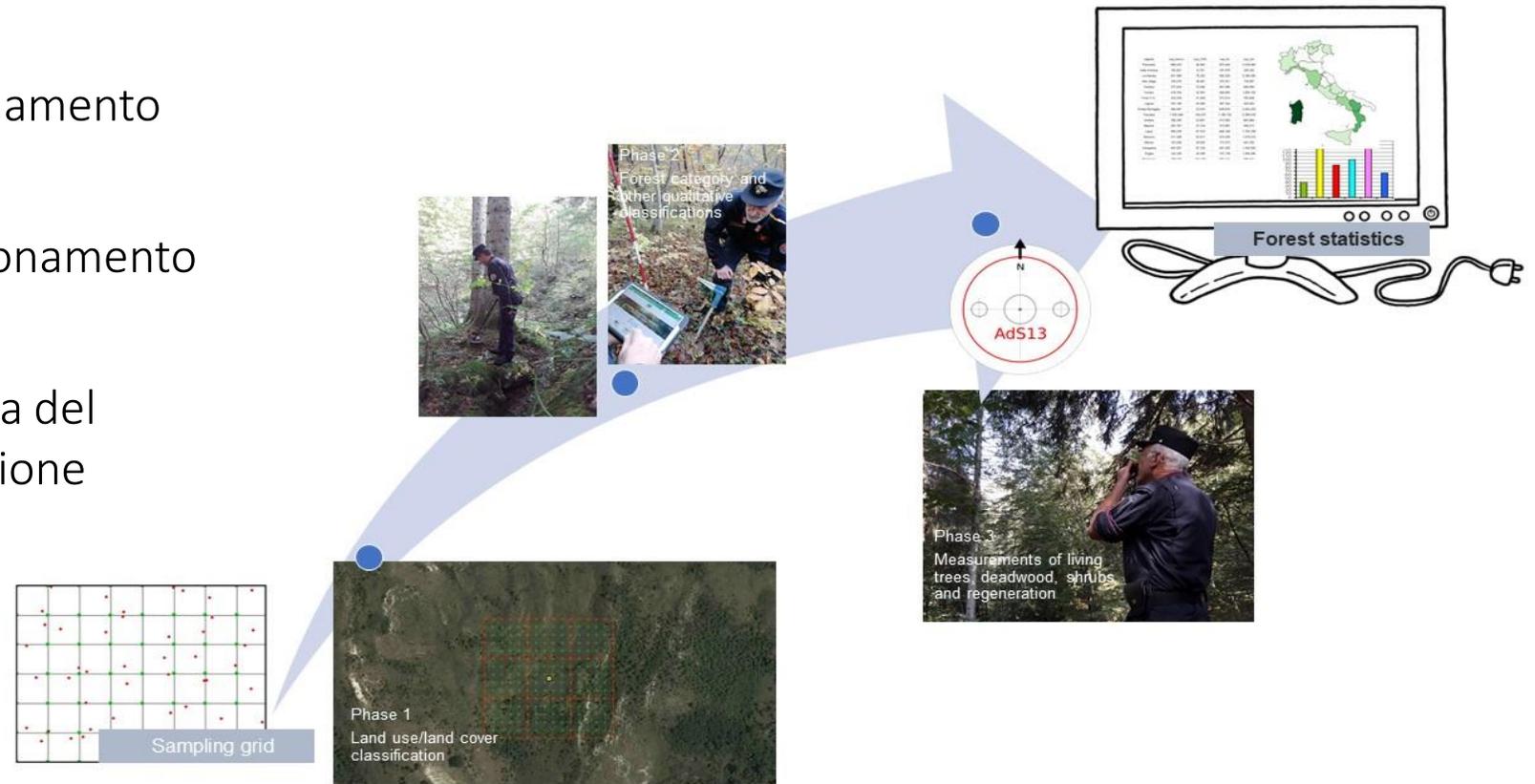
CATEGORIA FORESTALE:

unità di vegetazione di carattere fisionomico individuata in base alla specie o al gruppo di specie prevalente

La combinazione di categoria forestale e regione definisce lo STRATO DI CAMPIONAMENTO della seconda fase dell'INFC, che ha interessato oltre 30,000 punti inventariali

INVENTARIO FORESTALE NAZIONALE (INFC2005&2015):

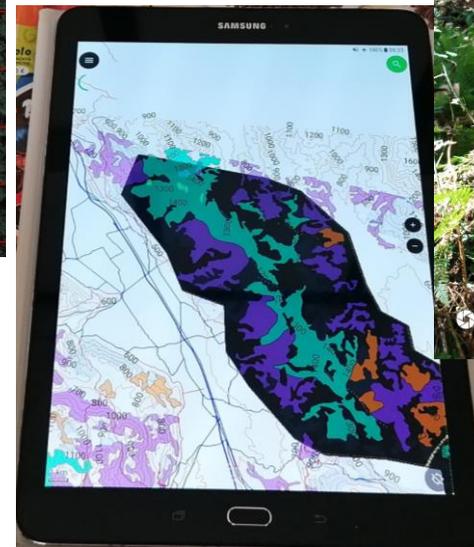
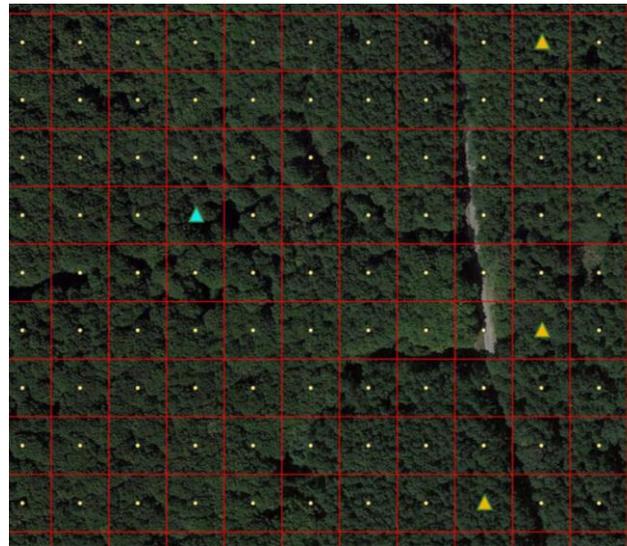
- ✓ Reticolo nazionale di campionamento con maglie 1 km x 1 km
- ✓ Tessellated sampling + campionamento stratificato
- ✓ Strati definiti da uso/copertura del suolo, categoria forestale, regione



Classificazione – Raccolta di verità a terra

Raccolta di verità a terra mediante rilievi in campo per l'addestramento e la validazione degli algoritmi di classificazione

- ✓ Reperimento dati su composizione della vegetazione nelle tre aree di studio (cartografie da piani di assestamento, carte della vegetazione, ...)
- ✓ Creazione del reticolo dei pixel e dei relativi centroidi (waypoints per la navigazione)
- ✓ Caricamento dati su tablet e palmare GPS
- ✓ Esecuzione di rilievi in campo secondo il protocollo di rilievo definito nella prima parte del progetto, implementato in scheda rilievo in ambiente QField



Classificazione – Raccolta di verità a terra

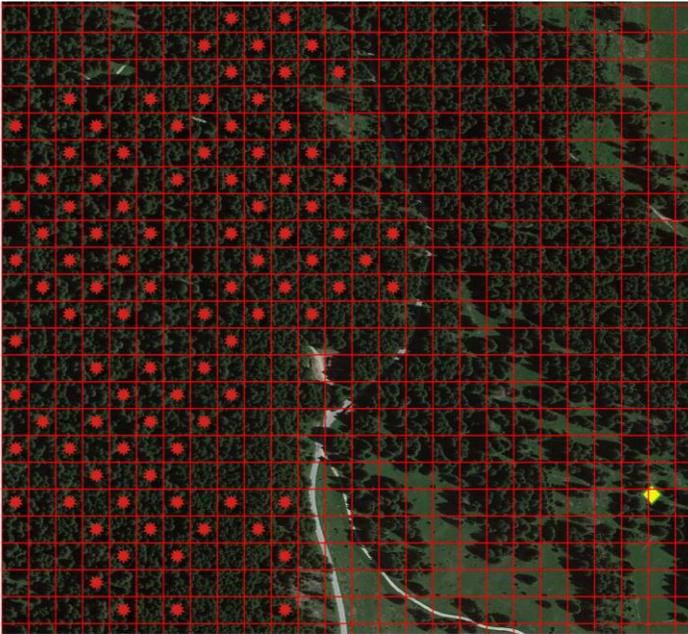
Attività di rilievo in campo

Variabile	Rilievo al suolo	Da fotoint.
Categoria forestale	🔍	🔍
Copertura delle chiome (arborea & arbustiva)	🔍	🔍
Mescolanza conifere-latifoglie	🔍	🔍
Copertura delle 5 specie principali	🔍	
Tipo colturale, stadio di sviluppo, struttura	🔍	
Giacitura, quota, esposizione	🔍	



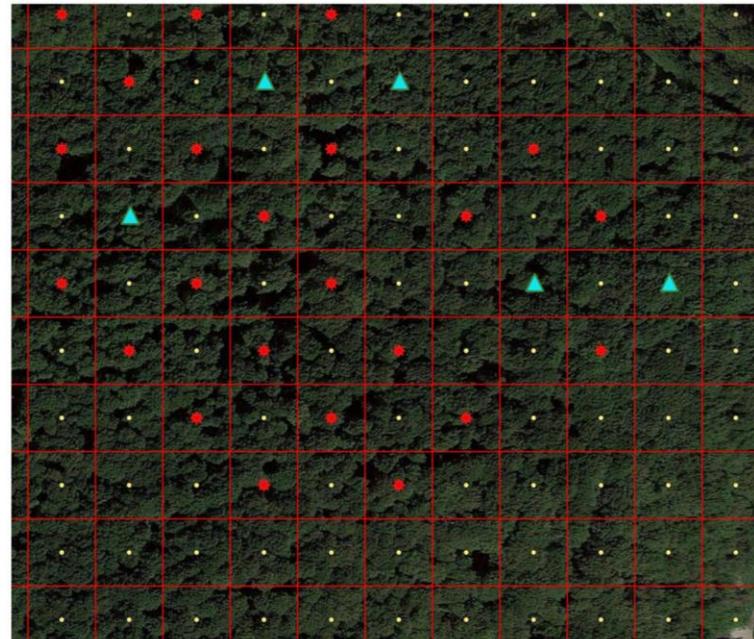
- ✓ 600-900 verità a terra previste dalla proposta progettuale
- ✓ 801 punti finora rilevati in campo

Classificazione mediante fotointerpretazione



- ◆ T_INFC_nord
 - centroidi_frameNord3_NE
 - Punto da rilevare
 - ★ Punto fotointerpretato
 - ★ Altro uso
- Google Satellite

0 15 30 m



- dati_rilevati_sud_potenza2
 - ▲ Faggeta
 - ▲ Cerreta
 - centroidi_frameSud2_NO
 - Punto da rilevare
 - ★ Punto fotointerpretato
 - ★ Altro uso
- Google Satellite
- OpenStreetMap

0 15 30 m

- ✓ Costruzione chiavi di fotointerpretazione grazie a rilievi in campo e archivio punti INFC
- ✓ Classificazione di categoria forestale e grado di copertura per insiemi di centroidi localizzati nelle vicinanze di punti INFC e/o punti rilevati in campo, su OF RGB e IR
- ✓ Classificazione di ca. 1000 punti per ciascuna categoria forestale

Classificazione – Acquisizione immagini

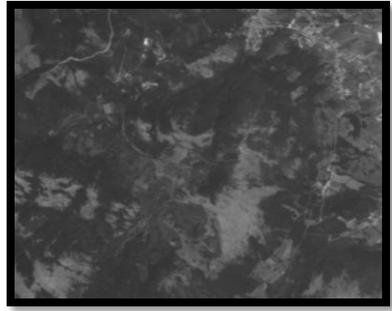
Numero di stripmap image di nuova acquisizione disponibili per le tre aree di studio AFORISMA

Periodo	Alpi centro-orientali	Appennino centrale	Appennino meridionale
Primavera 2023	-	-	-
Estate 2023	1	1	3
Autunno 2023	1	1	?

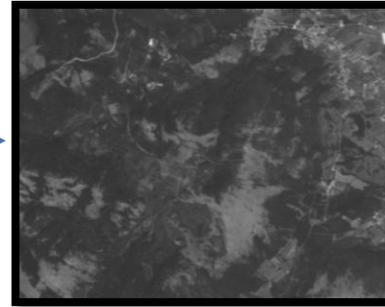
- ✓ Per ciascuna area di studio la proposta progettuale prevede:
 - ✓ tre periodi di acquisizione (primavera – estate – autunno)
 - ✓ 1 stripmap image composta da 3-4 frame

Pre-processing – Co-registrazione delle immagini

Immagine Originale



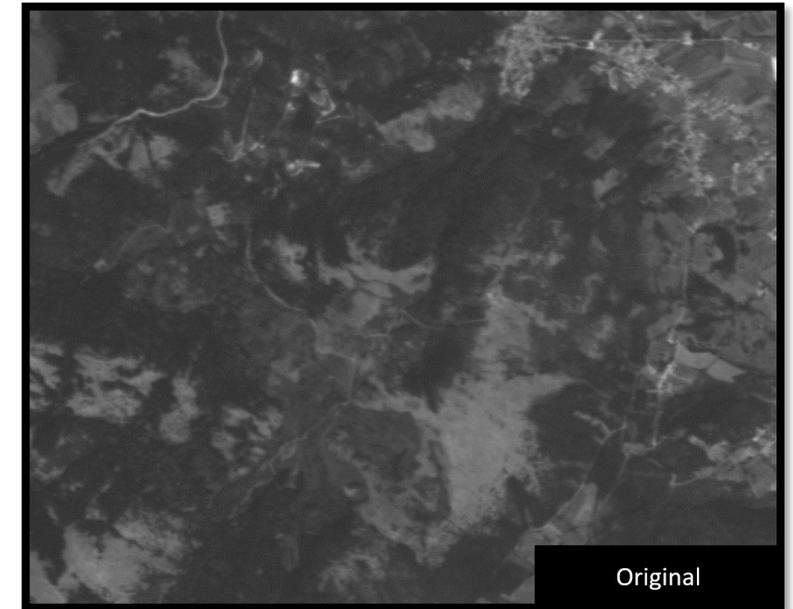
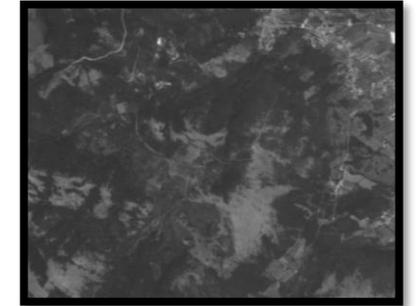
AROSICS
Co-Reg
Algorithm



GeFolky
Co-Reg
Algorithm

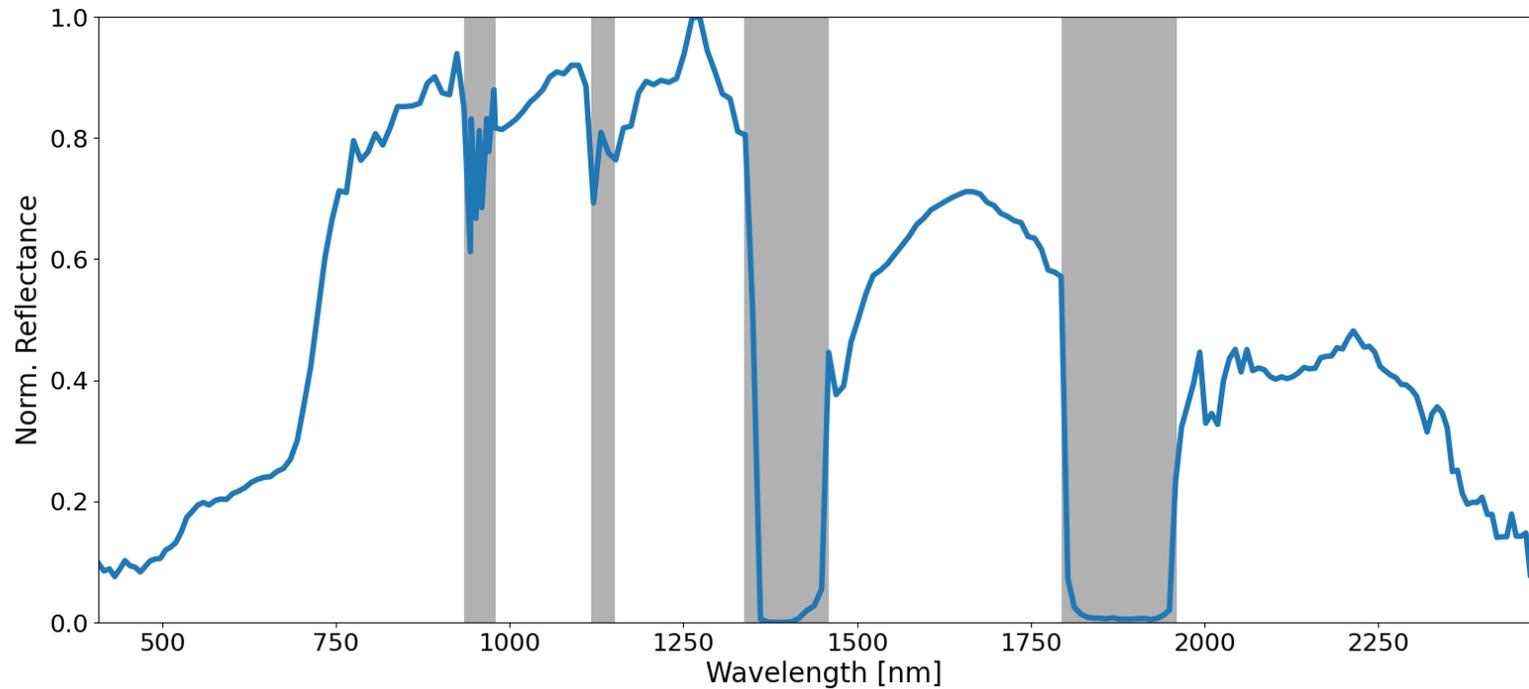


Immagine Co-Registrata



La co-registrazione viene effettuata tramite l'utilizzo sequenziale di due algoritmi basati su tecniche diverse per permettere di ottenere un risultato adeguato che non sarebbe stato possibile ottenere utilizzando un singolo algoritmo

Pre-processing – Selezione delle bande spettrali

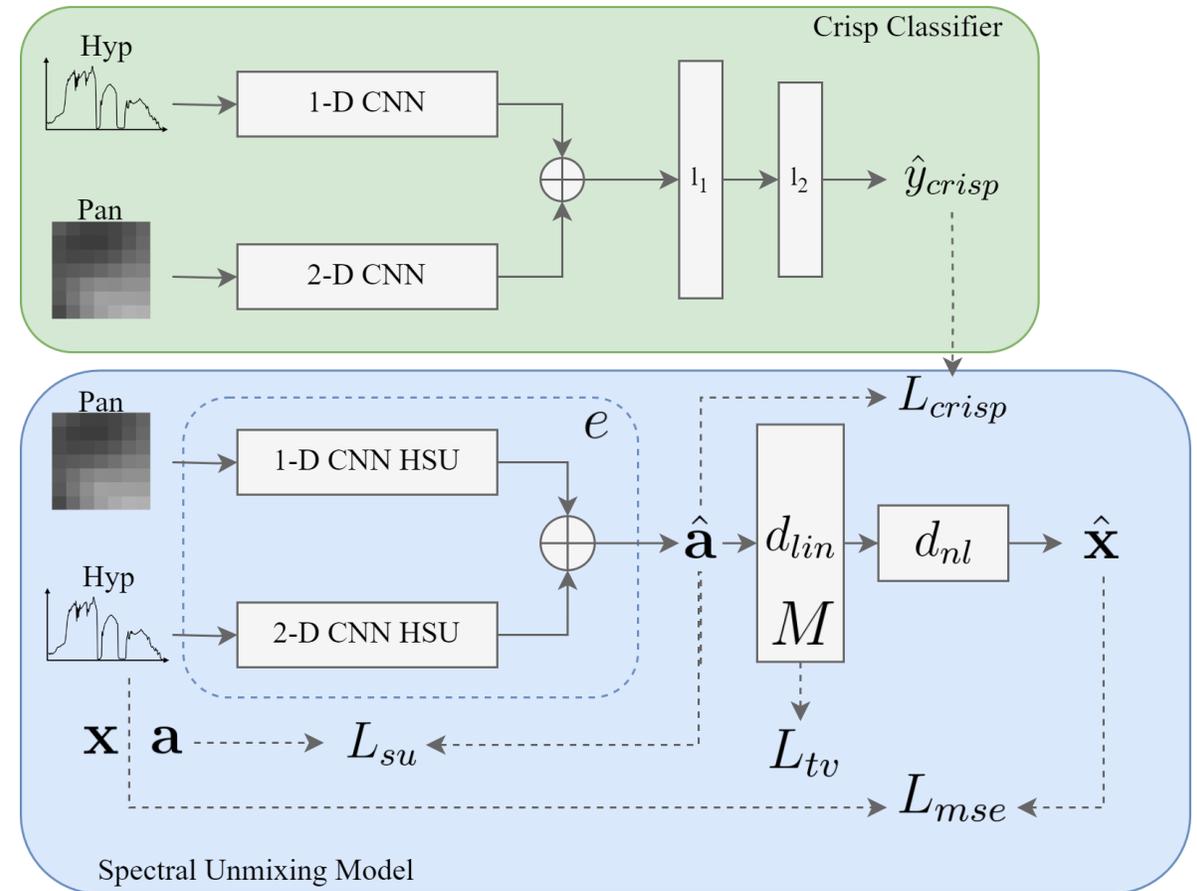


La selezione delle bande spettrali con il maggior contenuto informativo è stata effettuata rimuovendo le bande su cui si può osservare un'attenuazione della riflettanza causata dall'assorbimento dell'atmosfera e dalla sua bassa trasmittanza.

Classificazione – Schema generale

L'architettura di unmixing spettrale è formata da due componenti principali:

- ✓ *Classificatore Crisp* basato su 2 rami capaci di estrarre informazione sia spettrale che spaziale; tale informazione viene concatenata e classificata da un layer lineare
- ✓ *Modello di Unmixing Spettrale Non-lineare Semi-supervisionato*. L'inizializzazione e la selezione degli *endmember* vengono effettuate in modalità supervisionata sfruttando i dati di verità a terra, mentre la fase di allenamento avviene tramite la ricostruzione dei campioni di training

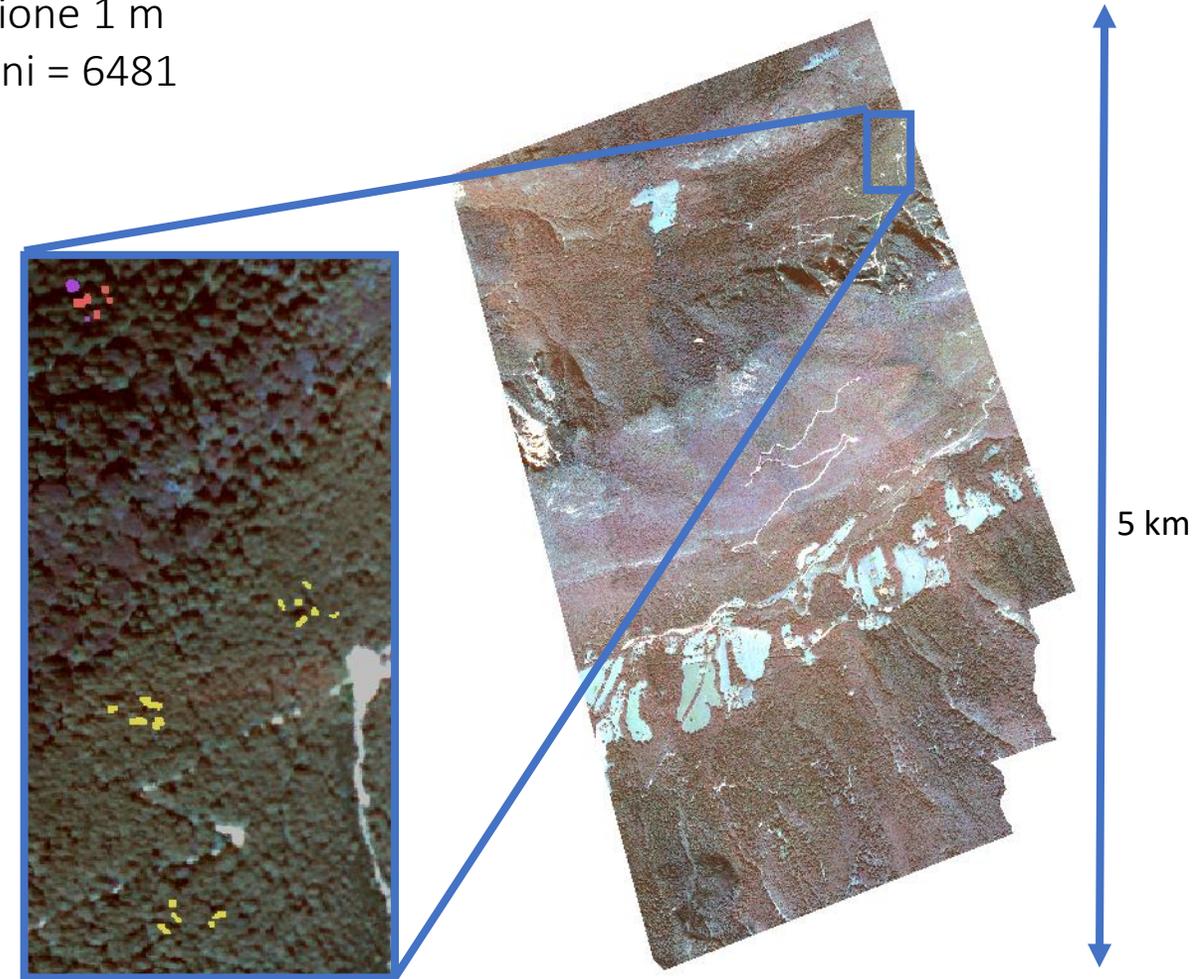


Classificazione – Primi risultati

Test su dataset benchmark FORLIDAR:

- ✓ Immagine iperspettrale a 126 bande da volo aereo, risoluzione 1 m
- ✓ Verità a terra acquisite mediante rilievi al suolo, n° campioni = 6481
- ✓ 11 classi forestali + non bosco

Classe	Two branches CNN (F1-Score %)	1-D Resnet (F1-Score %)	CNN 1-D + Data Augmentation (F1-Score %)	Campioni Training Set (n)	Campioni Test Set (n)
Fagus Sylvatica	81.28	76.88	75.80	385	392
Quercus peatrea	73.89	60.61	70.59	86	58
Abies alba	81.10	82.44	80.43	382	429
Picea abies	71.74	77.93	77.13	338	370
Pinus sylvestris	88.94	86.05	89.77	300	228
Larix decidua	74.54	72.00	75.07	235	203
Ulmus glabra	23.91	25.71	37.14	39	21
Ostrya carpinofila	42.22	72.38	76.92	62	54
Acer pseudoplatanus	33.96	31.71	37.84	72	23
Fraxinus excelsior	66.66	37.65	28.13	58	7
Pinus mugo	93.70	96.70	97.44	199	117
Non bosco	99.23	99.28	98.79	1289	1134
Mean F1-Score	69.26	68.28	70.42		
Overall F1-Score	85.77	86.11	86.29	3445	3036

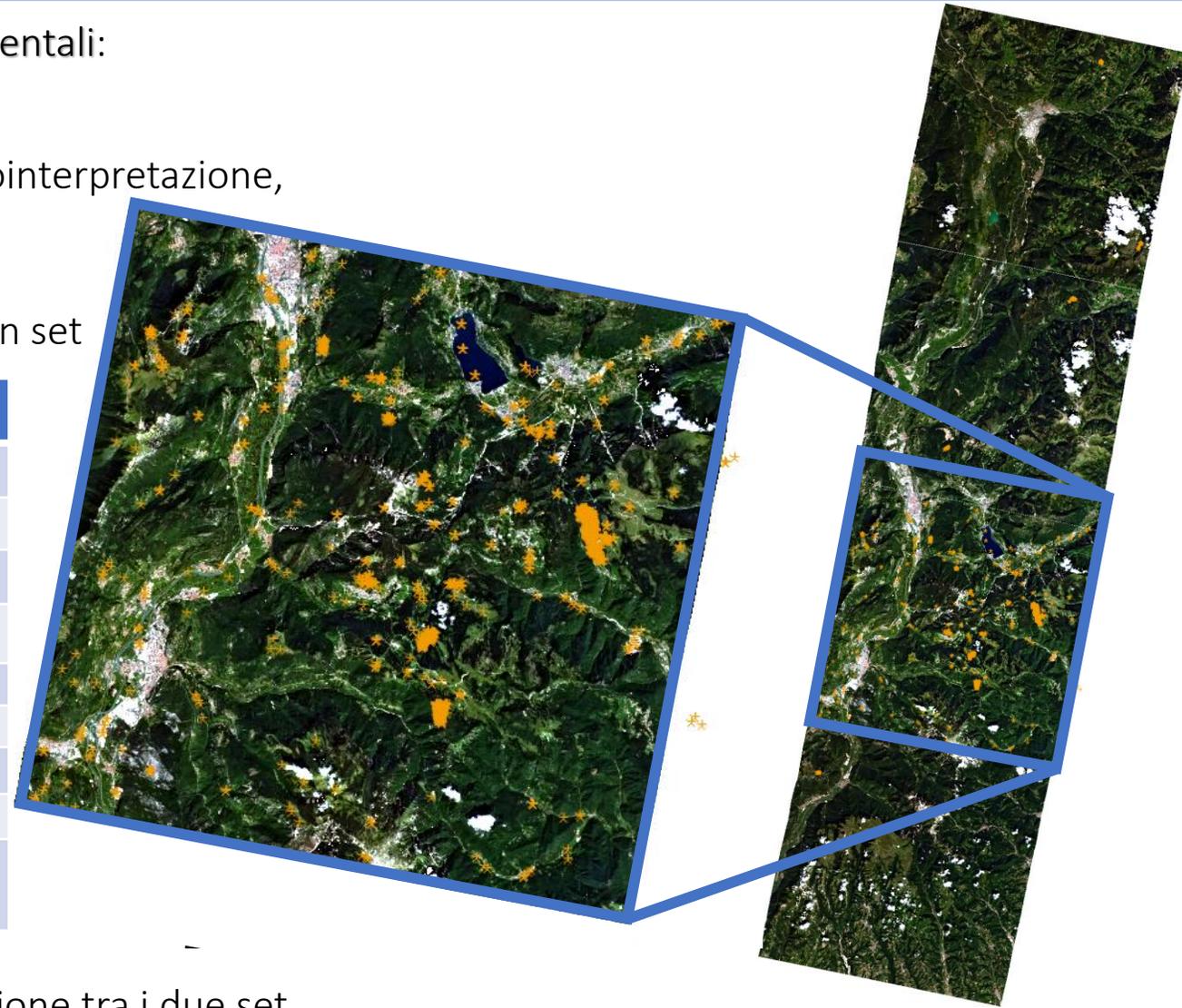


Classificazione – Primi risultati

Test preliminare su primo dataset AFORISMA - Alpi centro-orientali:

- ✓ 4 immagini estive 2023
- ✓ Verità a terra acquisite mediante rilievi al suolo e fotointerpretazione, n° campioni = 1264
- ✓ 7 classi forestali + Altro uso
- ✓ Suddivisione random: 50% training set, 50% validation set

Classe	F1-Score %	Campioni Training Set	Campioni Validation Set
Boschi di larice-cembro	98.41	34	32
Boschi di abete rosso	95.00	137	133
Boschi di abete bianco	98.40	227	207
Pinete di pino silvestre e montano	95.77	37	32
Pinete di pino nero	100	6	5
Faggete	91.30	24	34
Ostreti	100	7	19
Altro uso	99.70	159	170
Mean	97.32	632	632
Overall	97.58		



- ✓ Accuratezza probabilmente influenzata dalla correlazione tra i due set

Change detection

Tempesta Vaia 2018 – effetti e conseguenze



1



2



3

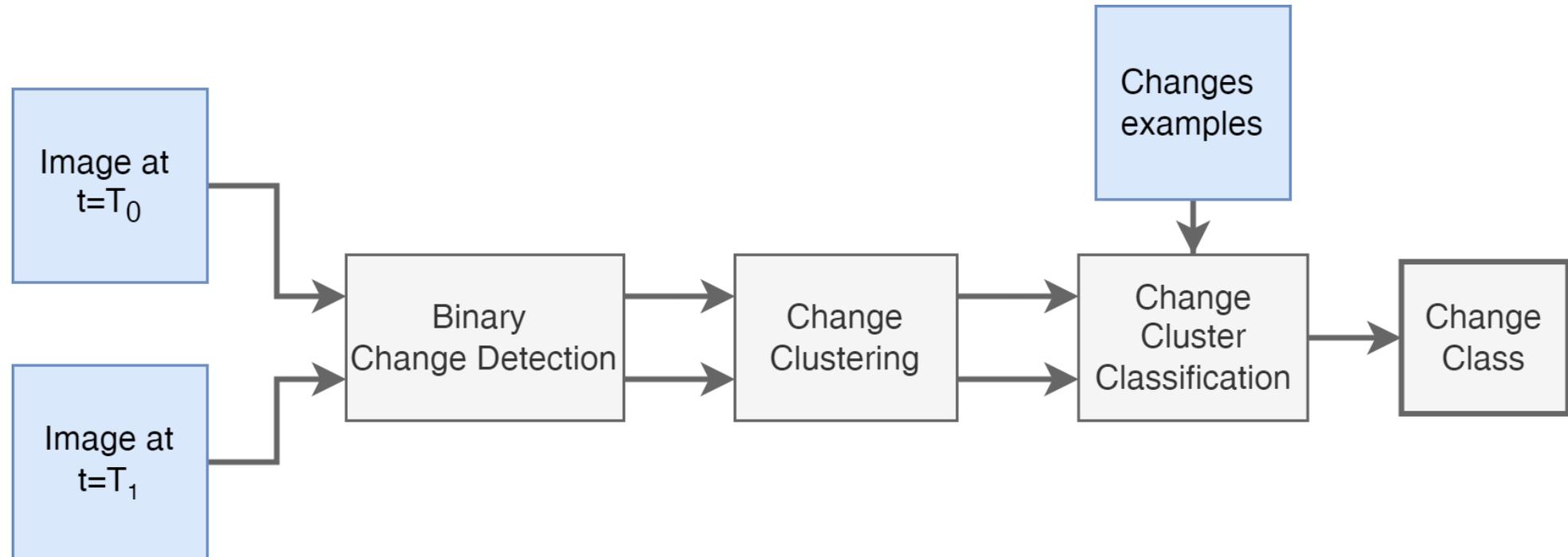
- ✓ Venti molto forti hanno abbattuto decine di migliaia di ettari di boschi , in prevalenza di conifere (abete rosso), sulle Alpi centro-orientali, in particolare in Trentino-Alto Adige e Veneto
- ✓ In seguito a questo evento sono stati asportati milioni di metri cubi di legname danneggiato nei territori interessati
- ✓ L'abbondanza di legname a terra e piante danneggiate ha favorito la pullulazione del bostrico (*Ips Typographus*) un piccolo coleottero del gruppo degli Scolitidi che scava gallerie sotto la corteccia che interrompono il flusso della linfa e porta a morte la pianta in breve tempo

Fonti immagini:

- 1) CREA – Foreste e Legno
- 2) <https://forestefauna.provincia.tn.it/Foreste/Foreste-in-Trentino/Bostrico>
- 3) <https://news.provincia.bz.it/it/news-archive/657236>

Change detection

Schema generale



Change detection

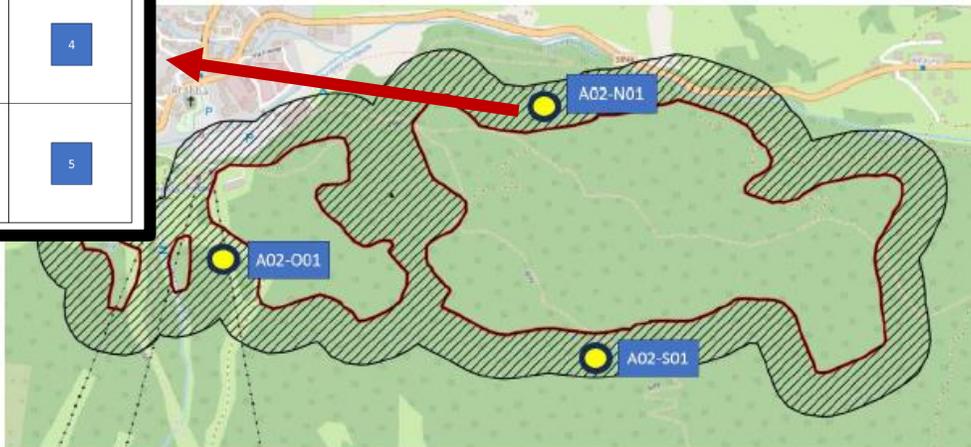
- ✓ Cambiamenti della copertura forestale dovuti a interventi successivi a Vaia e alla ricolonizzazione spontanea della vegetazione nelle aree scoperte
- ✓ Periodo di osservazione: 2021 (1° immagine PRISMA idonea da archivio) – 2023/24 (immagini PRISMA estive di nuova acquisizione)
- ✓ Raccolta di esempi per lo sviluppo degli algoritmi attraverso fotointerpretazione, analisi di coppie stereoscopiche di immagini satellitari a colori ad elevata risoluzione e rilievi in campo



Change detection

- ✓ Cambiamenti della copertura forestale dovuti alla diffusione del bostrico in aree colpite da Vaia nelle Dolomiti bellunesi
- ✓ Periodo di osservazione: 2023-2024 (immagini PRISMA di nuova acquisizione)
- ✓ Raccolta di esempi per lo sviluppo degli algoritmi attraverso rilievi in campo secondo un protocollo di rilievo *ad hoc* e l'acquisizione di immagini multispettrali da drone

1	2	3
8	0	4
7	6	5



Conclusioni e prospettive

- ✓ Le attività finora condotte sono in linea con quanto pianificato e i risultati preliminari dello sviluppo degli algoritmi di classificazione sono promettenti
- ✓ Alcune difficoltà incontrate riguardano l'acquisizione di immagini idonee per copertura nuvolosa, nei periodi attesi, per aree di studio che sono molto estese; ciò determina la necessità di lavorare su porzioni di immagini, con conseguente maggiore complessità del pre-processing
- ✓ Il periodo osservabile per lo sviluppo di algoritmi di cambiamento della copertura è relativamente breve (3-4 anni), ma dovrebbe essere sufficiente per identificare i cambiamenti più significativi
- ✓ La prima parte del progetto è stata dedicata prevalentemente alla raccolta di verità a terra e di esempi di cambiamento, all'acquisizione delle immagini e al pre-processing delle stesse; i prossimi mesi saranno dedicati ad ampliare le fasi di sviluppo e test degli algoritmi
- ✓ Nel corso dei primi mesi del 2024 dovrà inoltre essere completata l'acquisizione di immagini PRISMA, in particolare per l'area di studio relativa ai danni da bostrico, per la quale sono necessarie più immagini acquisite a breve distanza di tempo, per monitorare le diverse fasi della colonizzazione e l'evoluzione dei danni

Grazie per l'attenzione