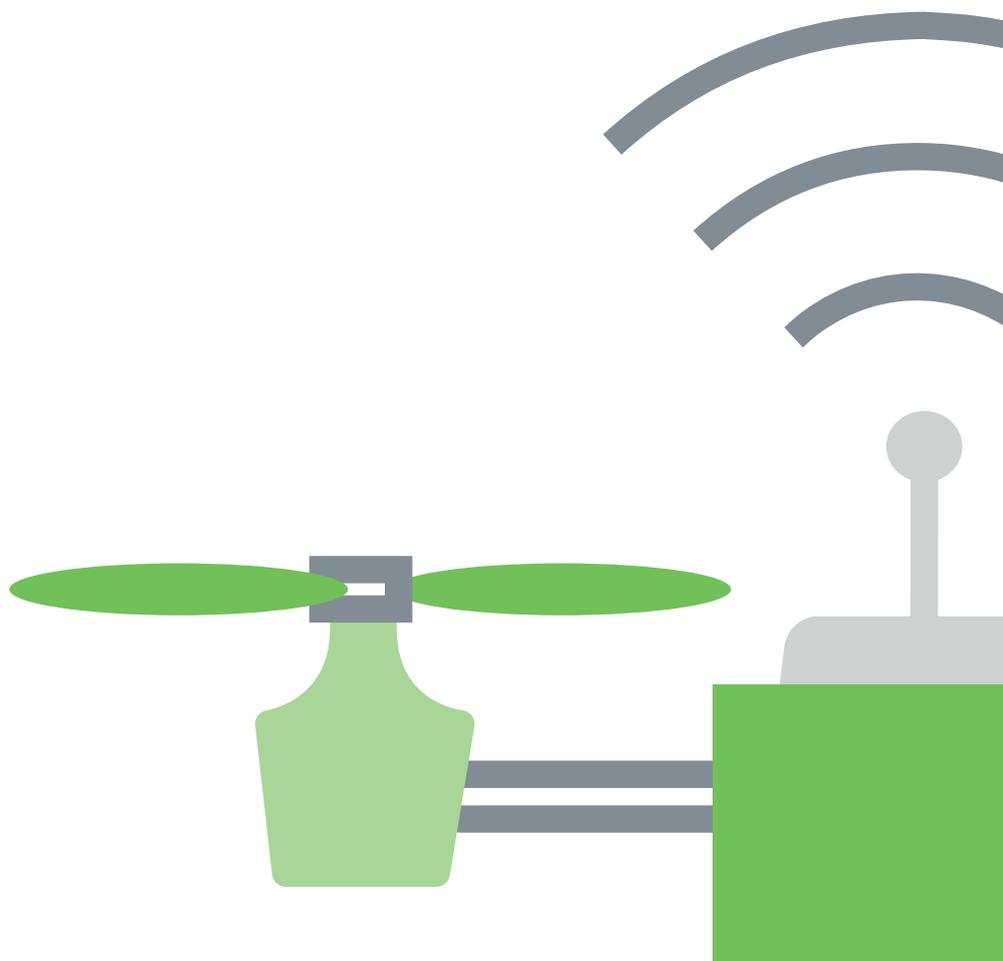


eurac
research

idm
SÜDTIROL
ALTO ADIGE

unibz

LAIMBURG



PROGETTO “MONALISA”
Scienza e tecnologia al servizio
del monitoraggio di parametri
ambientali rilevanti nell’arco alpino

PROGETTO „MONALISA“

Scienza e tecnologia al servizio
del monitoraggio di parametri
ambientali rilevanti nell'arco alpino

Autori

Andrea Vilardi, Marc Zebisch, Georg Niedrist, Enrico Tomelleri, Claudia Notarnicola, Roberto Monsorno, Bartolomeo Ventura, Andrea Vianello, Mariapina Castelli, Felix Greifeneder, Giacomo Bertoldi, Sarah Asam, Abraham Mejia Aguilar, Jeroen Staab

Fabrizio Mazzetto, Giustino Tonon, Massimo Tagliavini, Damiano Zanotelli, Raimondo Gallo, Gianluca Ristorto, Renato Vidoni

Angelo Zanella, Nadja Sadar, Stefan Stürz, Michael Oberhuber, Rob Schouten, Pol Tijsskens, Wouter Saeys, Robbe Van Beers, Nghia Nguyen, Lorenzo Spinelli, Maristella Vanoli, Anna Rizzolo, Alessandro Torricelli, Marina Buccheri, Maurizio Grassi, Pieter Verboven, Mattias van Dael, Dennis Cantre, Zi Wang, Peter Robatscher, Tao Liu

Johannes Brunner

Traduttori

Dall'italiano al tedesco: Bonetti & Peroni, Bolzano

Dal tedesco all'italiano: Daniela Dellantonio e Federica Giacon

INDICE

- 05 Introduzione**
Andrea Vilardi, Marc Zebisch
- 06 Sintesi**
- 10 Campi di Ricerca**
- 10 Acqua e carbonio**
- 10 Attività In-situ
Georg Niedrist, Eurac Research
- 13 Monitoraggio continuo del manto nevoso con dati satellitari MODIS
Claudia Notarnicola, Eurac Research
- 15 Droni, una realtà in crescita. Anche in Alto Adige
- 15 Modellazione dell'evapotraspirazione dai dati UAV
Mariapina Castelli, Eurac Research
- 16 Umidità del terreno: modellazione idrologica e da telerilevamento
Giacomo Bertoldi, Felix Greifeneder, Eurac Research
- 18 Analisi dei flussi di carbonio e acqua nel meieto di Caldaro
Damiano Zanotelli, Massimo Tagliavini, Libera Università di Bolzano
- 20 Dati per gestire le emergenze
- 21 Vegetazione e suolo**
- 21 Attività In-situ
Georg Niedrist, Eurac Research
- 22 Monitoraggio della vegetazione con metodi di telerilevamento
Sarah Asam, Eurac Research
- 26 Droni e proximity sensing per parametri di vegetazione
Enrico Tomelleri, Eurac Research
- 29 Cambiamento climatico e variazioni della produttività forestale in ambito alpino
Giustino Tonon, Libera Università di Bolzano
- 30 Sviluppo di strumenti per l'analisi dei boschi e la stima della biomassa forestale da dati LiDAR
Giustino Tonon, Libera Università di Bolzano
- 31 Un laboratorio mobile per attività di monitoraggio culturale
Fabrizio Mazzetto, Raimondo Gallo, Gianluca Ristorto, Renato Vidoni, Libera Università di Bolzano
- 34 Irrigare meno per irrigare meglio
- 35 L'automazione del monitoraggio operativo e i quaderni di campagna informatizzati**
Fabrizio Mazzetto, Raimondo Gallo, Libera Università di Bolzano
- 42 La mela di cristallo**
Angelo Zanella, Centro di sperimentazione agraria e forestale Laimburg
- 42 Quaderni di campagna
- 43 Prevedere e garantire la qualità della mela
- 44 Testare la croccantezza tramite la luce
- 45 Illuminare la mela dall'interno
- 46 Riconoscere la salute nella mela
- 47 Conclusioni
- 47 Tutti attorno allo stesso tavolo
- 47 Database**
Roberto Monsorno, Eurac Research
- 48 Acquisizione e gestione dati: armonizzazione
- 49 Utilizzo dei dati
- 50 Dai dati ambientali alla qualità della mela
- 51 Il portale MONALISA
- 52 Servizi web per dati raster
- 52 SOS4R plugin per l'accesso al database SOS
- 52 Conclusioni
- 50 Numeri
- 50 Limiti tecnologici
- 53 Collaborazione tra ricercatori e imprenditori**
Johannes Brunner, IDM Alto Adige
- 54 La voce delle imprese**
- 54 Cisma**
- 55 GecoSistema**
- 56 Mountain-eering Srl**
- 56 Territorium On Line**
- 58 Conclusioni: verso il Parco Tecnologico di Bolzano**
Andrea Vilardi
- 59 Pubblicazioni**

Introduzione

Andrea Vilardi, Marc Zebisch

Il progetto MONALISA (*Monitoring key environmental parameters in the alpine environment involving science, technology and application*) ambisce allo sviluppo di metodologie di monitoraggio per parametri ambientali rilevanti nell'arco alpino, di specifico interesse in settori quali l'agricoltura e le foreste (ad esempio lo stato della vegetazione o l'umidità del suolo).

Il monitoraggio è stato effettuato a scale spaziali molto diverse, dal territorio vasto coperto dalle immagini satellitari fino alle indagini non distruttive effettuate in laboratorio sulla singola mela. MONALISA, durante tutto il suo percorso dal 2013 al 2017, ha perseguito un duplice obiettivo.

Da un lato si è ritenuto di concentrare su un tema di forte interesse per l'Alto Adige le migliori competenze scientifiche del territorio. Tutti i principali enti della ricerca in Alto Adige hanno collaborato al progetto: Eurac Research, la Libera Università di Bolzano, il Centro di Sperimentazione Agraria e Forestale Laimburg, IDM, con il contributo dell'Università di Innsbruck. La collaborazione tra i partner di ricerca è stata costruita al fine di far crescere alcune competenze precedentemente esistenti all'interno dei vari enti, ma anche per potersi inserire all'interno di filoni di ricerca rilevanti nel panorama internazionale. In secondo luogo sono state individuate all'interno del

progetto alcune problematiche molto specifiche per le quali si potevano aprire interessanti collaborazioni tra il mondo della ricerca e il mondo delle imprese. Diverse imprese locali hanno esplorato nuovi settori per la commercializzazione di prodotti innovativi, confrontandosi anche coi partner di ricerca del progetto per il loro sviluppo.

Nel presente documento intendiamo riportare una descrizione dei principali risultati del progetto, suddivisi per campi di ricerca: "acqua e carbonio", "vegetazione e suolo", "monitoraggio operativo", "qualità della frutta" e "database". Le testimonianze degli utenti dei risultati e la "voce delle imprese" costituiscono parte integrante del progetto e forniscono il quadro d'insieme che illustra il lavoro svolto e il suo ritorno sul territorio. (**Per ulteriori informazioni:** www.monalisa-project.eu)

Gli autori rivolgono un sentito ringraziamento alla Provincia Autonoma di Bolzano per il sostegno economico al progetto. In aggiunta, si ringraziano i singoli potenziali utenti e i rappresentanti degli Uffici provinciali coinvolti, che hanno contribuito al progetto con la partecipazione agli eventi di disseminazione dei risultati del progetto e la definizione delle loro relative applicazioni.

Il gruppo di lavoro del progetto "MONALISA"

Il progetto "MONALISA" è stato finanziato da:

AUTONOME
PROVINZ
BOZEN
SÜDTIROL



PROVINCIA
AUTONOMA
DI BOLZANO
ALTO ADIGE

SINTESI

Il concetto – L’osservazione ambientale dal satellite alla mela

Le attività economiche dell’uomo in una regione montana come l’Alto Adige dipendono fortemente dalle condizioni ambientali e dalla relativa dinamica. Soprattutto l’agricoltura e l’economia forestale sono notevolmente influenzate dalle condizioni atmosferiche e climatiche nonché dalle proprietà del terreno, che incidono di conseguenza anche sulla qualità dei prodotti provenienti da questi due settori economici. Un monitoraggio globale dell’ambiente, dalla vasta superficie ai singoli prodotti, contribuisce quindi a pianificare e gestire in maniera efficiente le attività agricole e forestali.

Negli ultimi anni la tecnologia dell’osservazione ambientale si è enormemente sviluppata e perfezionata. Obiettivo del progetto MONALISA era sfruttare questo potenziale per l’Alto Adige con un approccio “scale-independent”. Il risultato fornisce quindi dati e metodi completi per il monitoraggio ambientale in questa regione.

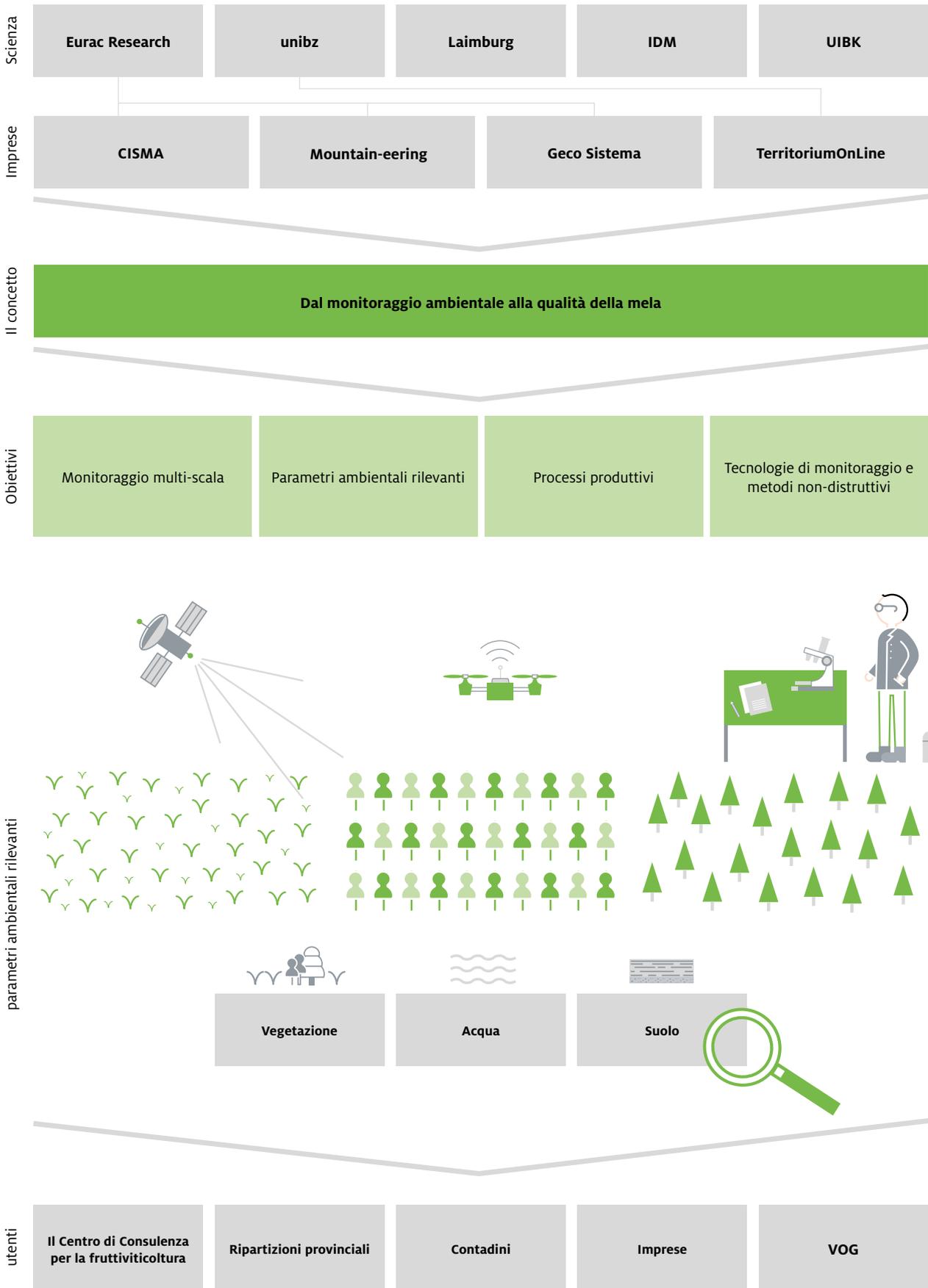
- I dati provenienti dai satelliti di osservazione della terra forniscono un’informazione periodica e capillare sullo stato dell’intera rete rurale, come innevamento, stato della vegetazione, umidità del terreno.
- I droni consentono di effettuare la mappatura di piccole aree agricole e forestali, ad es. fornendo dati sull’altezza degli alberi, sullo stato della vegetazione o sull’evapotraspirazione.
- Un’intera rete di sensori, con 27 stazioni, permette il monitoraggio permanente dell’umidità del terreno e dello stato della vegetazione a livello locale.
- Attraverso i sensori installati nei macchinari agricoli e forestali è possibile inoltre controllare lo svolgimento dei processi operativi.
- Dopo il raccolto si può analizzare la qualità dei prodotti e la loro evoluzione durante lo stoccaggio, utilizzando a tal fine procedure d’avanguardia non distruttive.

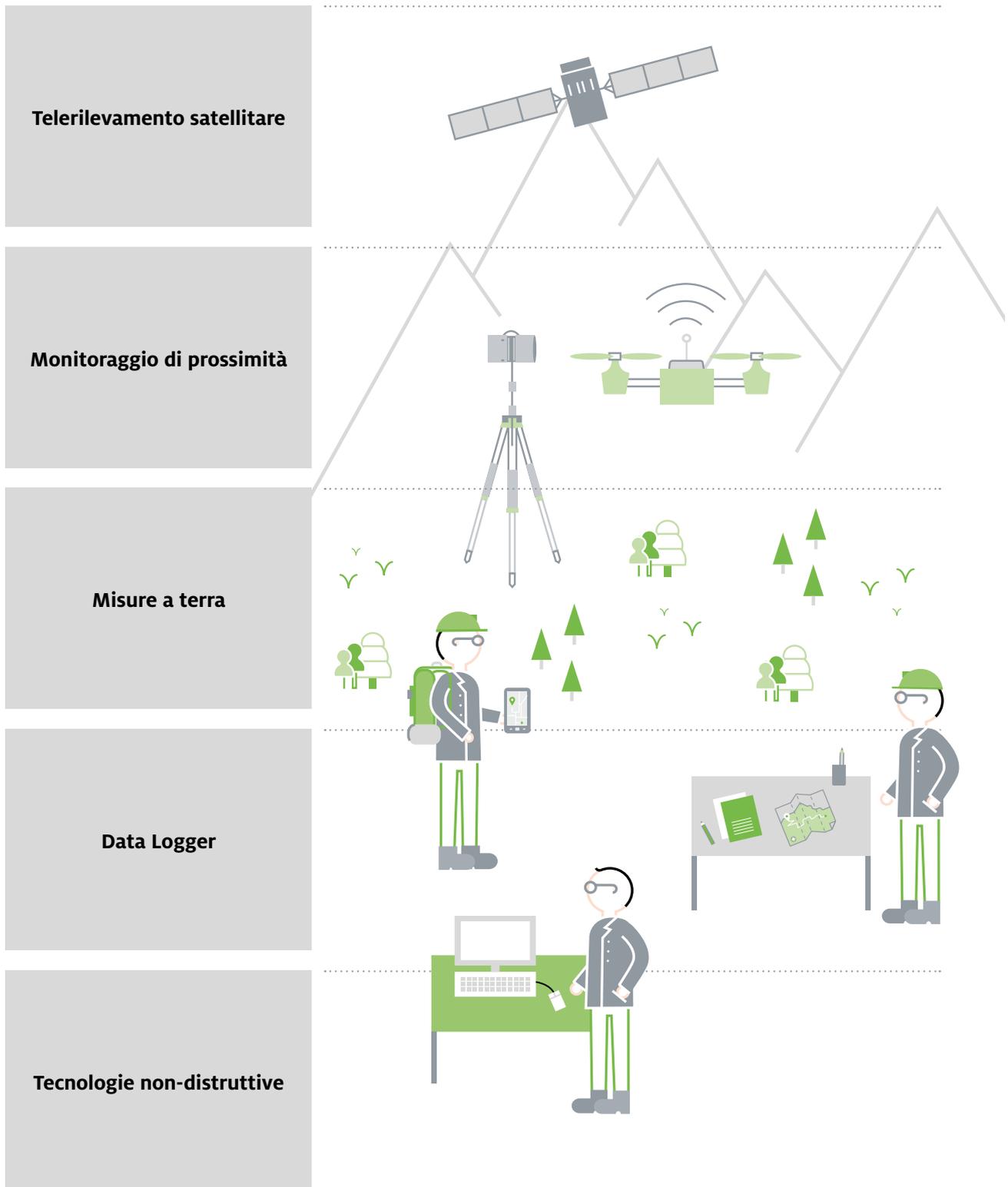
Tutti i dati rilevati all’interno del progetto MONALISA confluiscono in una banca dati ambientale comune e liberamente accessibile, che consente per esempio di analizzare la correlazione tra la qualità delle mele e le condizioni ambientali nelle quali esse sono state prodotte.

I metodi messi a punto nonché i dati rilevati in MONALISA rappresentano un enorme potenziale innovativo. Già durante la fase di svolgimento del progetto si è creata una stretta collaborazione con gli utenti, come il Centro di Consulenza per la Frutticoltura altoatesino (Beratungsring), gli agricoltori e le cooperative. Molte delle tecnologie impiegate sono state messe a punto insieme ad aziende altoatesine. Queste attività proseguono anche oltre le tempistiche del progetto, ad esempio nel parco tecnologico NOI, dove i partner ricercatori di MONALISA lavorano con altre aziende all’ulteriore sviluppo delle me-

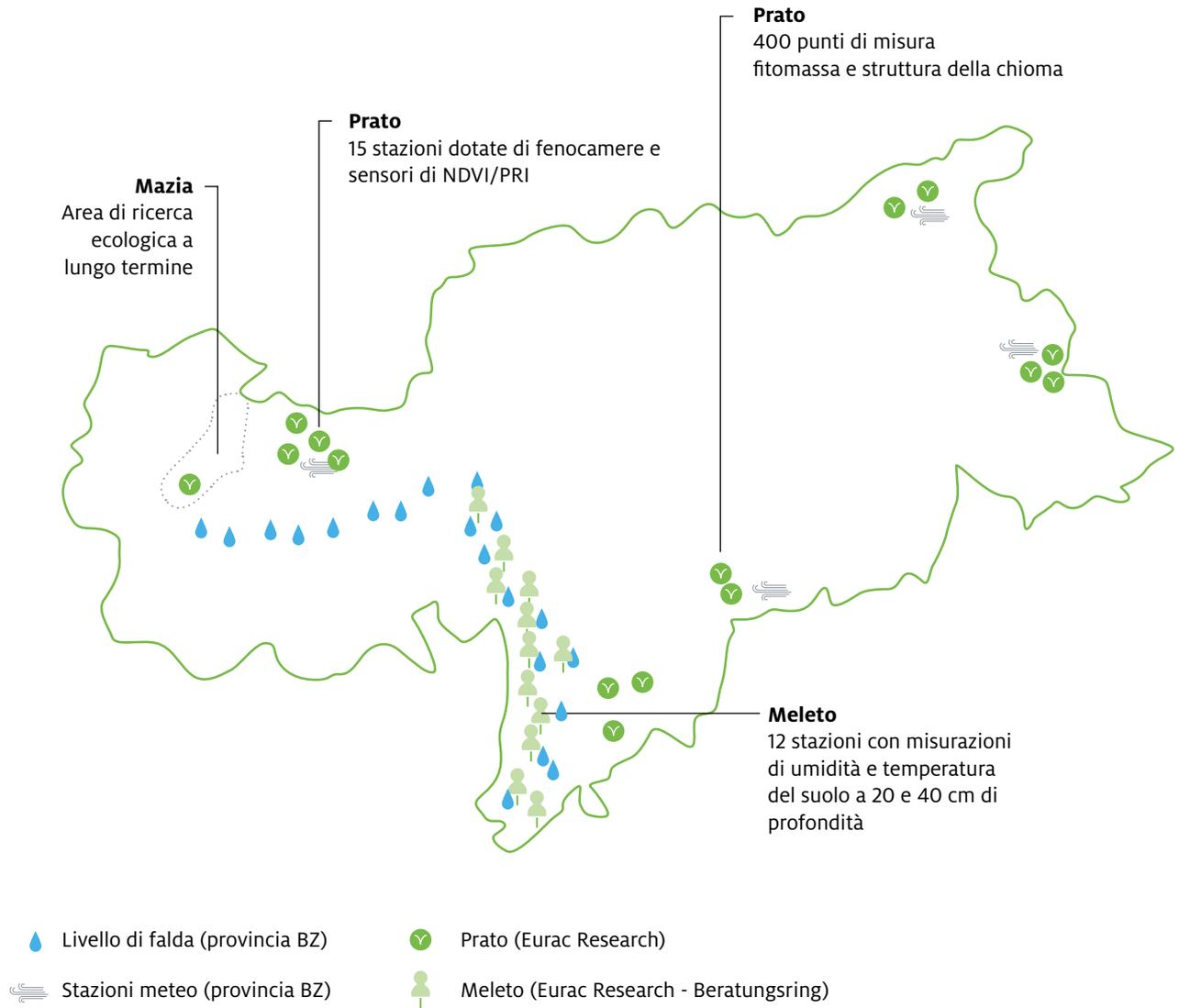
todiche, oppure nelle tesi di dottorato che si basano sui dati rilevati nel progetto MONALISA.

Svariate sono state altresì le pubblicazioni e i diversi contributi scientifici, risultato delle attività del progetto. La loro lista completa e dettagliata è riportata nell’ultimo capitolo del presente report.





Ciclo di vita del dato (acquisizione, verifica della qualità, gestione, disseminazione, etc.)



Campi di Ricerca

ACQUA E CARBONIO

In questo capitolo: L'acqua è vita. Il ciclo idrologico fornisce a noi e all'ambiente in cui viviamo un costante apporto di acqua grazie al susseguirsi di precipitazioni, deflusso ed evaporazione. In questo ciclo le Alpi rivestono un ruolo molto importante. Le precipitazioni si raccolgono sulle Alpi e alimentano i grandi fiumi che portano l'acqua in pianura. Le precipitazioni invernali si accumulano sotto forma di neve che si trasforma in acqua in primavera, quando la vegetazione ne ha maggiormente bisogno. Nel progetto MONALISA abbiamo analizzato alcune di queste componenti. Abbiamo installato una vasta rete di stazioni di misura per le precipitazioni e l'umidità del terreno. La durata della copertura nevosa, l'umidità del terreno e l'evaporazione sono state analizzate con l'aiuto di dati satellitari e messe a confronto con i dati rilevati dalle stazioni di misura e con vari modelli. L'impiego di un drone a pilotaggio remoto (UAV) ha permesso di raccogliere dati a copertura molto estesa in altissima risoluzione. Inoltre abbiamo analizzato anche il ciclo del carbonio, collegato al ciclo dell'acqua, ovvero l'assorbimento di anidride carbonica, la trasformazione in biomassa e il rilascio di carbonio durante la decomposizione delle piante. I risultati includono metodi e dati con cui è possibile descrivere ed analizzare le dinamiche del ciclo dell'acqua e del carbonio su tutto il territorio dell'Alto Adige.

Attività In-situ

Georg Niedrist, Eurac Research

Il primo passo fondamentale è stata la progettazione e realizzazione di una vasta rete di sensori in due delle principali forme di utilizzo agricolo (foraggicoltura e melicoltura). Questa rete persegue due obiettivi principali:

- Controllo tempestivo e su vasta scala (monitoraggio) dei principali parametri agricoli, quali il contenuto d'acqua del suolo, il potenziale idrico del suolo, la temperatura del suolo e il raccolto (foraggicoltura)
- Messa a disposizione di dati controllati, grazie ai quali è possibile verificare la qualità delle nuove tecnologie, come i nuovi prodotti del telerilevamento o i dati ottenuti dai droni.

Per ridurre i costi e i tempi di lavoro si è cercato di utilizzare nel miglior modo possibile l'infrastruttura di misura già presente in Alto Adige. Si tratta essenzialmente della rete di stazioni dell'Ufficio Idrografico della Provincia di

Bolzano (soprattutto per la foraggicoltura) e di una rete di stazioni gestita dalla Federazione Provinciale dei Consorzi di Bonifica, dal Centro di Consulenza per la Frutticoltura altoatesino (Beratungsring) e dal Consorzio Mele Alto Adige (per la frutticoltura). Soprattutto nel secondo caso è stato possibile installare in parte i nuovi sensori direttamente nelle stazioni disponibili. Quattro stazioni autonome sono state installate per coprire zone non precedentemente coperte dalla rete esistente (si veda la mappa a pag. 9). La rete di stazioni dell'Ufficio Idrografico non ha consentito per motivi tecnici un allacciamento diretto, di conseguenza anche qui sono state installate stazioni nuove, ognuna posizionata nei dintorni di una preesistente stazione della Provincia, cosa che ha permesso di ricavare da queste i parametri climatici standard come la temperatura dell'aria, le precipitazioni o il vento, e contemporaneamente ha evitato la necessità di raddoppiare il numero di sensori. I siti delle quindici stazioni della rete della foraggicoltura sono stati scelti anche sulla base dei seguenti criteri:

- Principali forme di coltivazione (prati da sfalcio concimati, pascoli non concimati)
- Esposizioni prevalenti (terreni piani ed esposti a sud) e altitudine (1500m e 2000m)
- Zone dell'Alto Adige rappresentative dal punto di vista climatico: Val Venosta, catena principale delle Alpi Orientali e Dolomiti.

A maggio 2015 erano state completate in totale quindici nuove stazioni nel settore foraggicoltura e 4 nel settore frutticoltura. Inoltre 10 stazioni del settore melicoltura erano state dotate di sensori dell'umidità del terreno. Per effettuare ulteriori analisi inoltre sono state incluse anche la rete di misurazione del livello delle acque freatiche dell'Ufficio Idrografico nonché alcune stazioni dell'area LT(S)ER Mazia (www.lter.eurac.edu). Grazie a finanziamenti supplementari (fondi per l'ambiente delle centrali idroelettriche di Lasa e Laghetti) si è potuta ampliare di ulteriori sei stazioni la rete per la misurazione dell'umidità del terreno in frutticoltura.

Accanto a diversi altri parametri (si veda la tabella 1, pag. 12) la misurazione dell'umidità del terreno si estende come filo conduttore lungo tutta la rete. Tutte le stazioni sono accessibili da remoto, i dati raccolti ogni quindici minuti vengono archiviati nella banca dati di Eurac Research (maggiori dettagli nel capitolo "Database" del presente report). Poiché fino ad oggi non è mai esistita una simile rete a livello provinciale, e in considerazione del fatto che oltre all'agricoltura anche altri settori, come quello per la protezione contro le piene, possono approfittare di questa rete, sarebbe opportuno mettere a disposizione fondi supplementari per mantenere ed utilizzare l'infrastruttura di misura anche oltre la durata del progetto MONALISA.



Sito	Dolomiti	Dolomiti	Dolomiti	Dolomiti	Dolomiti	Val Venosta	Nord-Est	Nord-Est	Nord-Est	Nord-Est	Nord-Est				
Esposizione	piana	sud	piana	sud	sud	piana	sud	piana	sud	sud	piana	sud	piana	sud	sud
Altitudine [m]	1500	1500	2000	2000	2000	1500	1500	2000	2000	2000	1500	1500	2000	2000	2000
Uso del suolo	Prato	Prato	Prato	Prato	Pascolo	Prato	Prato	Prato	Prato	Pascolo	Prato	Prato	Prato	Prato	Pascolo
Tipo di sensore															
Umidità del terreno/ Temperatura 2cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Umidità del terreno/ Temperatura 5cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Umidità del terreno/ Temperatura 20cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Radiazione fotosinteticamente attiva	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Radiazione fotosinteticamente attiva (duratura)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
NDVI incidente/riflessa	X		X			X		X			X		X		
PRI incidente/riflessa	X		X			X		X			X		X		
Phenocam	X		X			X		X			X		X		

Sito	S. Paolo	Caldarò	Appiano Monte	Vadena	Nalles	Lana	Gries	Termeno	Terlano	Laives	Egna	Riva di Sotto 2	Cornaiano	Lagundo
Stazione autonoma	X	X	X	X										
Rete esistente					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tipo di sensore														
Umidità del terreno/ Temperatura 20cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Umidità del terreno/ Temperatura 40cm	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Umidità del terreno/ Temperatura 60cm	X	X	X	X										
Potenziale di matrice del suolo 20cm	X	X	X	X										
Potenziale di matrice del suolo 40cm	X	X	X	X										
Potenziale di matrice del suolo 60cm	X	X	X	X										

Tabella 1: Tavola dei siti e degli allestimenti delle stazioni di misura MONALISA

Monitoraggio continuo del manto nevoso con dati satellitari MODIS

Claudia Notarnicola, Eurac Research

Negli ultimi anni, sulle Alpi, si sono alternate abbondanti nevicate con periodi siccitosi, dando luogo ad eventi valanghivi significativi oppure periodi di magre primaverili ed estive. Alcune di queste considerazioni, anche in riferimento all'evoluzione stagionale ed interannuale del manto nevoso, possono essere seguite con gli strumenti propri del telerilevamento. In questo contesto, grazie alla sua alta frequenza temporale, il sensore NASA MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) è utile per molte applicazioni globali e regionali legate all'evoluzione del manto nevoso.

Tuttavia, per analisi regionali e/o locali, i prodotti MODIS standard "MOD10" non sempre sono soddisfacenti ed in numerose pubblicazioni si evidenzia la necessità di sviluppi che tengano in considerazione gli aspetti locali dell'area di studio. Un esempio delle limitazioni che il prodotto MOD10 presenta a livello locale è la risoluzione spaziale di 500 m. In questo contesto Eurac Research in precedenti progetti ha sviluppato un nuovo algoritmo chiamato "EURACSnow" per la copertura nevosa, che utilizza la risoluzione di 250 m, la più alta attualmente ottenibile con questo tipo di dati satellitari a frequenza giornaliera. Le mappe della neve sono state validate tramite l'uso di immagini LANDSAT e dati a terra derivanti da stazioni nivometriche. Durante il progetto MONALISA sono state generate serie temporali di mappe della neve sull'arco alpino e sono state analizzate le relative variazioni interannuali.

Applicazioni: *A partire da serie temporali di mappe della neve in un periodo che copre l'intervallo di tempo dal 2002 al 2015, sono stati derivati dei prodotti specifici per analizzare la variabilità interannuale del manto nevoso. In particolare sono stati sviluppati i seguenti prodotti:*

- Andamento temporale della copertura nevosa e della quota neve che indicano la variazione della copertura della neve con medie mensili nei diversi anni.
- Mappe di durata della neve: dove sono calcolati il numero di giorni di copertura nevosa per ogni pixel. La presenza delle nuvole viene interpolata considerando i giorni precedenti o successivi. Per ogni anno idrologico considerato a partire dal 1° ottobre di ogni anno fino al 30 settembre dell'anno successivo.

Nella figura 1 sono riportati gli andamenti temporali della copertura della neve mensile (Snow Cover Area, SCA) e della quota neve (Snow Cover Altitude, SLA) a partire da gennaio 2002 fino a settembre 2015. Oltre agli andamenti mensili è stata calcolata anche la media stagionale dei mesi da novembre ad aprile e da maggio ad ottobre per meglio sottolineare le variazioni fra un anno ed il successivo. Con questi grafici è possibile osservare la variabilità

interannuale della copertura nevosa e conseguentemente della quota neve. A titolo di esempio consideriamo gli inverni del 2006-2007 e del 2009-2010: nel primo caso, a causa di un innevamento ridotto, la copertura ha raggiunto in media il 50% e la quota neve media è rimasta intorno ai 1500 m, mentre nell'inverno 2009-2010, caratterizzato da nevicate copiose, la copertura ha raggiunto in media l'80% dell'area alpina e la quota neve media è scesa fino a 500 m e con eventi fino a quote bassissime. Dalle mappe di durata della neve si possono derivare anche informazioni circa le anomalie ed i cambiamenti fra due o più anni. Un esempio è mostrato in figura 2 dove l'anno 2012-13 è confrontato con l'anno 2013-2014. L'anno 2013-2014 è stato caratterizzato da ridotto numero di giorni di innevamento sul fronte nord delle Alpi (Austria e sud della Germania), come viene evidenziato quando si considerano i cambiamenti rispetto all'anno precedente 2012-2013. La diminuzione in giorni di neve arriva fino a circa 40 in queste aree.

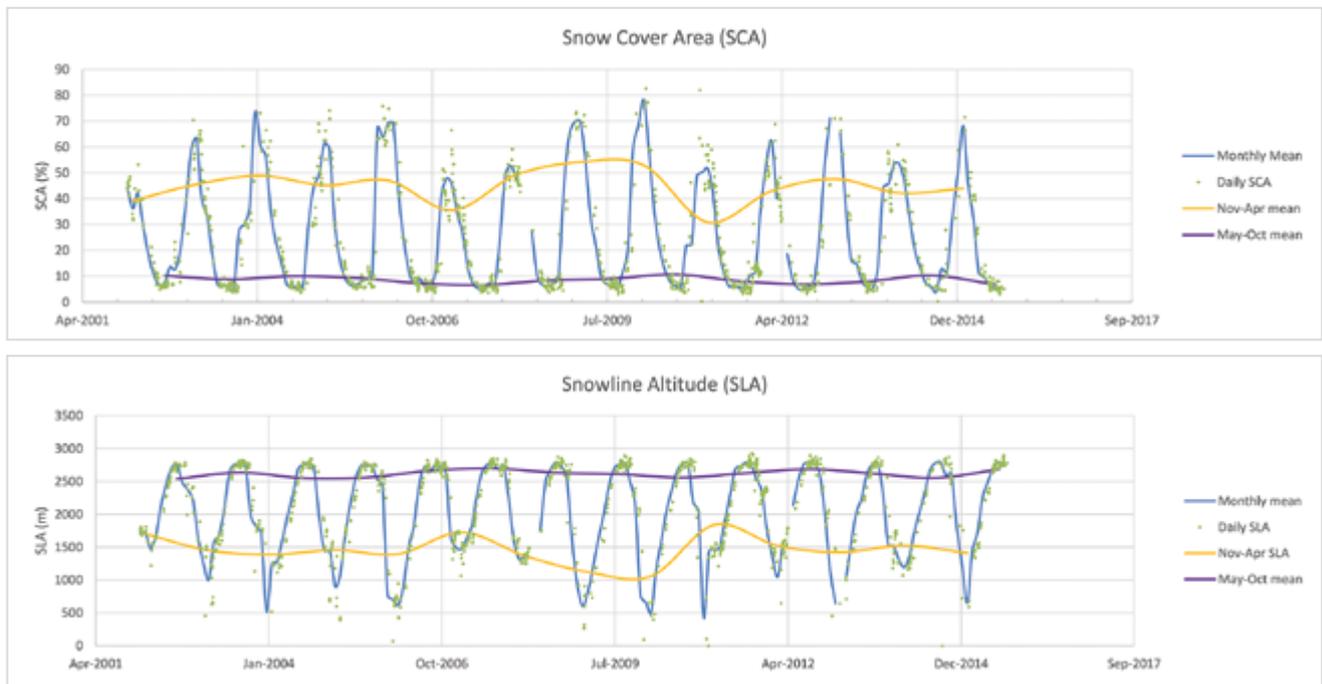


Figura 1: Andamento delle medie mensili della copertura della neve (in alto) e della quota neve (in basso) per il periodo che va da gennaio 2002 fino a settembre 2015. Vengono riportate anche le medie dei mesi da novembre ad aprile (linea gialla) e da maggio ad ottobre (linea viola).

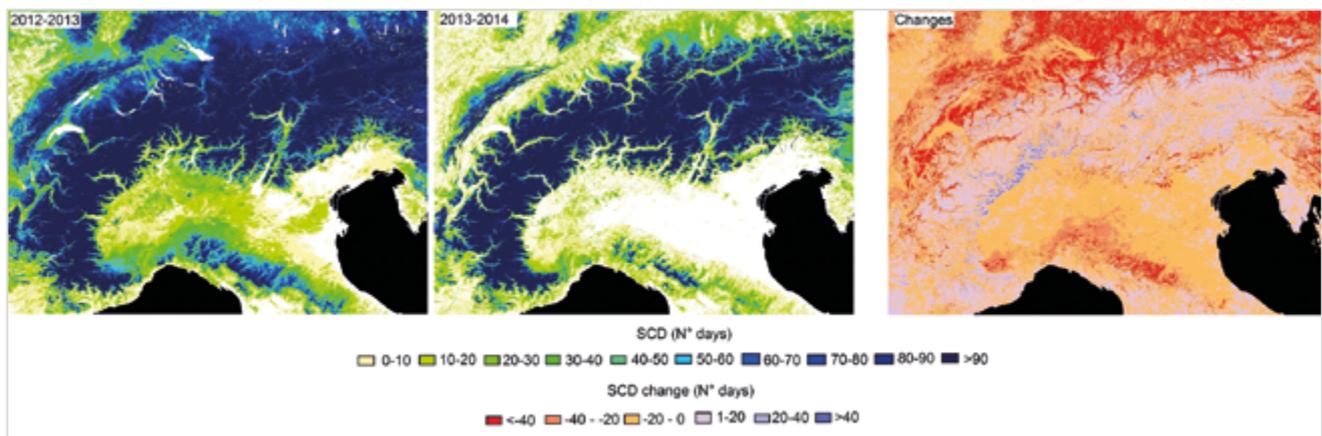


Figura 2: Mappe di durata della neve per gli anni 2012-2013 e 2013-2014 con relativa mappa dei cambiamenti fra questi due anni.

Gli strumenti prodotti possono essere utilizzati congiuntamente con dati a terra per individuare la variabilità del manto nevoso in tempo reale (i prodotti giornalieri) e poi gli andamenti stagionali tramite le informazioni di durata della neve e di inizio e fine della copertura nevosa.

Droni, una realtà in crescita. Anche in Alto Adige.

Vengono chiamati con nomi diversi (Droni, Unmanned Aerial Vehicle, Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto), e molti sono ormai convinti che il loro utilizzo sarà sempre più vasto in futuro; secondo alcune previsioni, grazie a questa nuova tecnologia potranno essere creati anche diversi nuovi posti di lavoro ad alto valore aggiunto di conoscenza, individuando soluzioni innovative per problemi ad oggi ancora irrisolti. Per quanto riguarda il progetto MONALISA, al suo interno abbiamo utilizzato un drone di Eurac Research per i nostri scopi di ricerca, al fine di raggiungere gli obiettivi scientifici descritti nel presente report; in questo modo abbiamo acquisito un'importante esperienza in tale settore. Le operazioni con i droni sono complesse e hanno un loro margine di rischio; è necessario operare stando ben attenti a ridurre il più possibile la probabilità di causare danni a persone o cose, rispettando la regolamentazione del settore.

In anni recenti Eurac Research è stata inserita all'interno dell'elenco ENAC (Ente Nazionale Aviazione Civile) degli operatori riconosciuti per operazioni non-critiche. Questo importante risultato ci ha consentito sia di raccogliere i nostri dati nel rispetto delle leggi vigenti, sia di entrare all'interno della piccola ma significativa comunità degli operatori altoatesini. In tutto in Alto Adige ci sono oggi 42 operatori, attivi in vari settori tra cui l'agricoltura di precisione, la protezione civile, la creazione di video e immagini fotografiche, ecc.

IDM – Alto Adige ha recentemente costituito un nuovo gruppo di lavoro dal nome "nuova aviazione", composto da operatori del settore, prevalentemente imprese, ed enti di ricerca attivi nel settore. Eurac Research e la Libera Università di Bolzano sono membri di questo gruppo di lavoro: anche in questo nuovo settore imprese innovative, collaborando con il mondo della ricerca, potranno sviluppare nuove soluzioni per consolidare il futuro di questa nuova tecnologia e portarla ad entrare sempre più nelle nostre vite.

Modellazione dell'evapotraspirazione dai dati UAV

Mariapina Castelli, Eurac Research

Modello di bilancio energetico a doppia sorgente (TSEB, two-source energy balance modelling)

L'evapotraspirazione (ET), una componente chiave del ciclo dell'acqua, dell'energia e del carbonio, fornisce importanti informazioni sulla disponibilità e sul consumo terrestre di acqua. Negli ultimi decenni i dati satellitari a risoluzione bassa, media e alta sono stati utilizzati per la mappatura di ET (per esempio in Europa i dati Meteosat SEVIRI, MODIS, LANDSAT) con diversi algoritmi. Tuttavia,

la risoluzione dei dati satellitari disponibili non è sufficiente a fornire informazioni sul fabbisogno di acqua dei singoli appezzamenti di terreno. I dati termici e multi-spettrali osservati da piattaforme UAV hanno la risoluzione spaziale necessaria per coprire questa carenza dei dati satellitari per la mappatura di ET.

Tra i vari modelli disponibili, quelli basati sul bilancio energetico della superficie terrestre si prestano alla stima di ET spazialmente esplicita dai dati UAV. In questi modelli, il flusso di calore latente viene ricavato come residuo dell'equazione di bilancio energetico.

In questo progetto è stato testato l'uso di immagini termiche ed iperspettrali per simulare ET con modelli di bilancio energetico a doppia sorgente. Le singole immagini sono state preprocessate e mosaicate. In seguito, il modello TSEB è stato fatto girare sui dati termici raccolti nel 2015 in val Mazia, dove sono situate due stazioni eddy covariance (EC) che misurano i flussi turbolenti, utili per la validazione del modello.

Fig.3 mostra il mosaico delle immagini termiche raccolte durante un volo del drone dell'Istituto per il telerilevamento applicato (oggi Istituto per l'osservazione della terra) di Eurac Research. Questa mappa di temperatura è stata utilizzata per effettuare simulazioni con il modello TSEB, insieme ai dati meteorologici locali e ai dati misurati a terra di LAI, NDVI e altezza della vegetazione. Fig.4 mostra le mappe di LE e H simulate, e l'area di influenza della torre EC (90, 75 e 50% dell'area). Il dominio del volo ha coperto l'80,6 % di quest'area. I flussi di energia sono stati pesati in base al loro contributo all'area di influenza dell'EC, e normalizzati in base all'area totale per poter confrontare i dati misurati con quelli modellati, dopo aver corretto i dati EC forzando la chiusura del bilancio energetico e attribuendo tutto il residuo a LE (metodo residuo). La differenza tra flussi modellati e misurati è risultata pari a 55 Wm⁻² per LE, e 43 Wm⁻² per H.

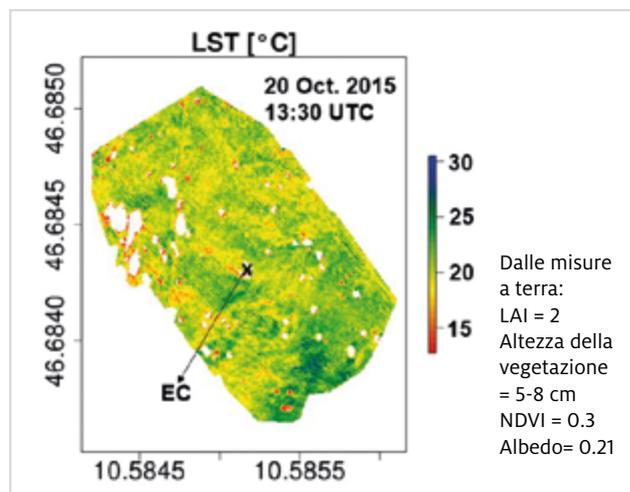


Figura 3: mosaico della temperatura radiometrica ottenuto dalle immagini raccolte da una camera termica montata sul drone nel sito EC nel pascolo in val Mazia. La tabella riassume le caratteristiche misurate della vegetazione, usate nelle simulazioni.

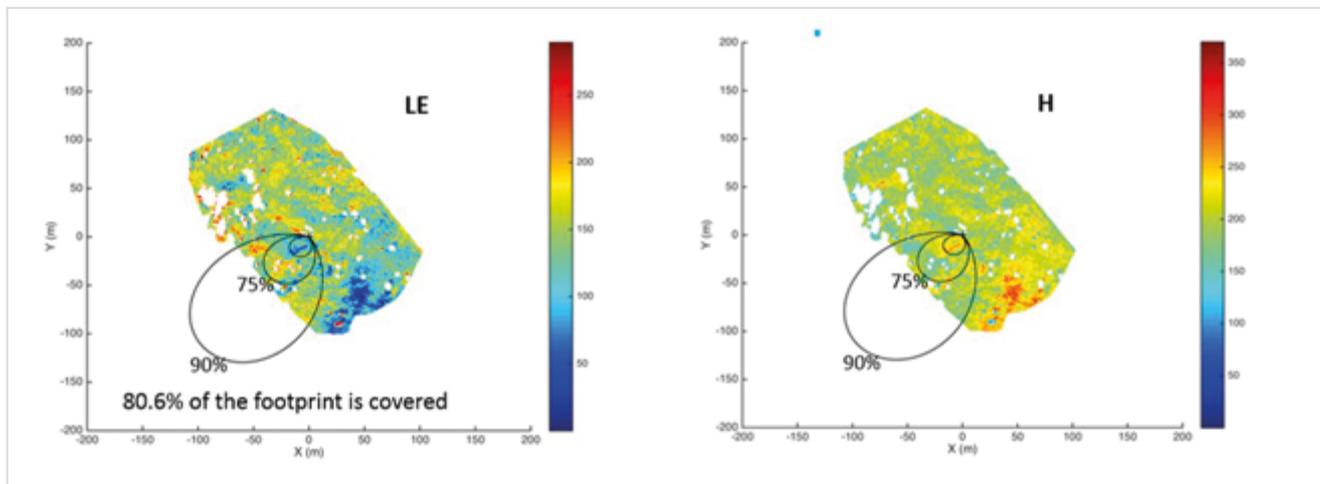


Figura 4: mappe di LE (Wm⁻²) e H (Wm⁻²) ottenute con il modello TSEB nel sito EC nel pascolo.

Umidità del terreno: modellazione idrologica e da telerilevamento

Giacomo Bertoldi, Felix Greifeneder, Eurac Research

Introduzione

Il contenuto d'acqua del suolo è una delle componenti chiave dei cicli globali dell'acqua, dell'energia e del carbonio. Influenza i processi idrologici come la generazione dei deflussi e le situazioni di carenza idrica. Il monitoraggio di questo parametro e la conoscenza della sua distribuzione nello spazio e nel tempo sono essenziali per numerose applicazioni nell'ambito dell'idrologia, dell'agricoltura, per una migliore gestione delle risorse idriche e per tutta una serie di discipline come l'ecologia, la meteorologia, la climatologia.

In questo paragrafo presentiamo una sintesi delle attività del progetto MONALISA che riguardano l'umidità del terreno. Esse includono l'analisi di dati della rete di monitoraggio a terra, modellazione idrologica e l'utilizzo di dati satellitari di ultima generazione. Il confronto dei risultati ottenuti da diversi approcci ha permesso di ottenere risultati più robusti e di identificare i vantaggi e gli svantaggi operativi delle diverse tecniche di misura. Si sono inoltre sviluppati strumenti analitici che possono essere utilizzati per valutare gli effetti di diversi scenari di irrigazione sul bilancio idrico ed in particolare sullo stress idrico della vegetazione.

Modellazione idrologica dell'umidità del terreno

Per la simulazione dell'umidità del terreno è stato applicato il modello GEOTop 2.0. Si tratta di un modello eco-idrologico integrato basato sui principi fisici che regolano il bilancio idrico del suolo, l'evapotraspirazione

e la fisiologia vegetale. È un modello progettato specificamente per regioni montane, in quanto considera gli effetti della topografia sulla radiazione, i flussi idrici e la dinamica del manto nevoso. L'ultima versione del codice open-source si può trovare al sito web: <http://geotopmodel.github.io/geotop/>.

La capacità del modello di riprodurre correttamente le variazioni spaziali e temporali del contenuto d'acqua è stata verificata nell'ambito di un progetto internazionale di confronto con altri modelli idrologici integrati che ha portato a una pubblicazione su rivista scientifica internazionale. In seguito, è stato sviluppato un nuovo strumento di calibrazione automatica basato sul software R, chiamato geotopOptim2 (<https://github.com/EURAC-Ecohydro/geotopOptim2>).

Il modello è stato applicato per stimare l'umidità del terreno, l'evapotraspirazione e l'intero bilancio idrico di dieci stazioni della rete MONALISA, rappresentative dei diversi usi del suolo e fasce altitudinali dell'Alto Adige, e, a livello spazialmente distribuito, a una regione di test in Alta Venosta (Montacini, Malles, BZ). I risultati possono essere trovati nel sito: <https://github.com/EURAC-Ecohydro/MonaLisa>.

Telerilevamento

La stima dell'umidità del terreno da dati di telerilevamento si basa su un approccio di machine-learning basato sui dati, chiamato Support Vector Regression (SVR).

Questa tecnica permette di costruire un modello di stima empirico che combina informazioni di diverso tipo. La relazione tra le misure radar da satellite e l'umidità del terreno può essere insegnata all'algoritmo usando un set di dati di addestramento, che consiste in un set di valori di riferimento misurati a terra e di misure satellitari. Una volta che il modello è addestrato, può essere utilizzato per ottenere mappe di umidità superficiale del terreno (0 – 5 cm di profondità) ad alta risoluzione spaziale (meno di 20 m).

Risultati

Analisi dell'evoluzione dell'umidità del terreno

I risultati (Figura 5) mostrano che il modello, una volta calibrato rispetto ai parametri del suolo e della vegetazione specifici di ogni stazione a terra, riproduce la dinamica osservata dell'umidità del terreno con uno scarto quadratico medio (RMSE) di circa $0,07 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Anche le stime basate sui dati satellitari Sentinel-1 riproducono bene le osservazioni con un RMSE di $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

Una volta calibrato e validato, il modello può essere utilizzato per predire l'impatto sul bilancio idrico del terreno di diversi tipi di uso del suolo (p.e. pascoli, prati irrigati o frutteti), condizioni topografiche, strategie di irrigazione. Un esempio è riportato in Figura 6, dove è mostrato un esempio dell'impatto di una riduzione dell'irrigazione del 50% sul contenuto d'acqua e sul potenziale idrico del suolo a 40 cm di profondità per un meleto in Bassa Val Venosta (Laces, BZ).

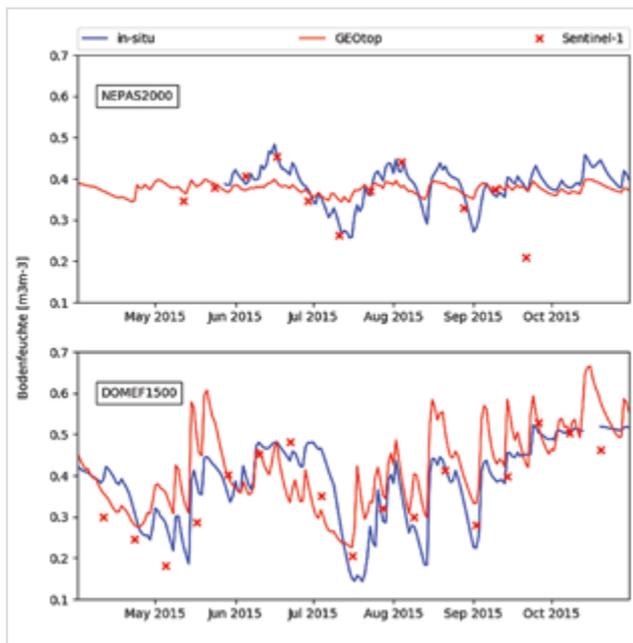


Figura 5: Confronto con le osservazioni sperimentali di umidità del terreno a 5 cm delle stime ottenute con il satellite radar Sentinel-1 e con il modello idrologico GEOTop per le stazioni MONALISA nepas2000 (pascolo, Val Casies, BZ) e domef 1500 (prato irrigato, Nova Ponente, BZ).

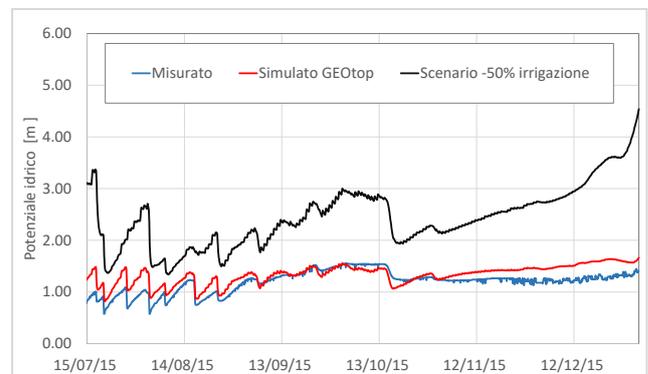
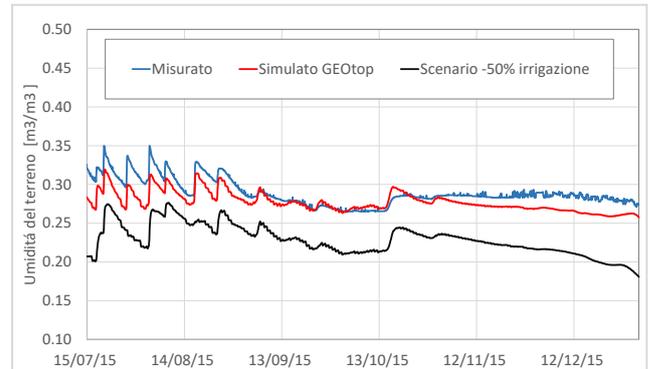


Figura 6: Impatto sull'umidità e il potenziale idrico del terreno a 40 cm di profondità della riduzione del 50% dell'irrigazione per un meleto a Laces (BZ).

Mappatura spaziale dell'umidità del terreno

Grazie ai nuovi sensori satellitari della costellazione Sentinel è possibile ora effettuare un monitoraggio dell'umidità del terreno tramite telerilevamento con una frequenza di pochi giorni e ad alta risoluzione spaziale (sotto i 20 m). La Figura 7 mostra una mappa dell'umidità del terreno media nel giugno del 2016. Emerge chiaramente una forte relazione tra l'umidità, la topografia e l'uso del suolo. I prati irrigati frequentemente risultano più umidi delle aree di pascolo (questo può essere visto più chiaramente nell'inserito in Figura 7). Le zone bianche nella mappa rappresentano aree per le quali non è possibile una stima dell'umidità con questo tipo di immagini. Questo è dovuto principalmente a due ragioni: in primo luogo per via della copertura forestale, in quanto il satellite non è in grado di vedere il terreno attraverso una densa vegetazione; in secondo luogo per via della geometria di vista del satellite. Infatti, questo tipo particolare di sensore usato per la stima dell'umidità (Synthetic Aperture Radar) raccoglie i dati con un angolo di vista inclinato. Questo significa che, per via della topografia, le immagini di alcune aree sono nascoste dalle montagne o fortemente distorte. Tuttavia, la crescente disponibilità di satelliti di nuova generazione permetterà una maggiore copertura spaziale e temporale con la possibilità di stabilire un sistema di monitoraggio in tempo quasi reale.

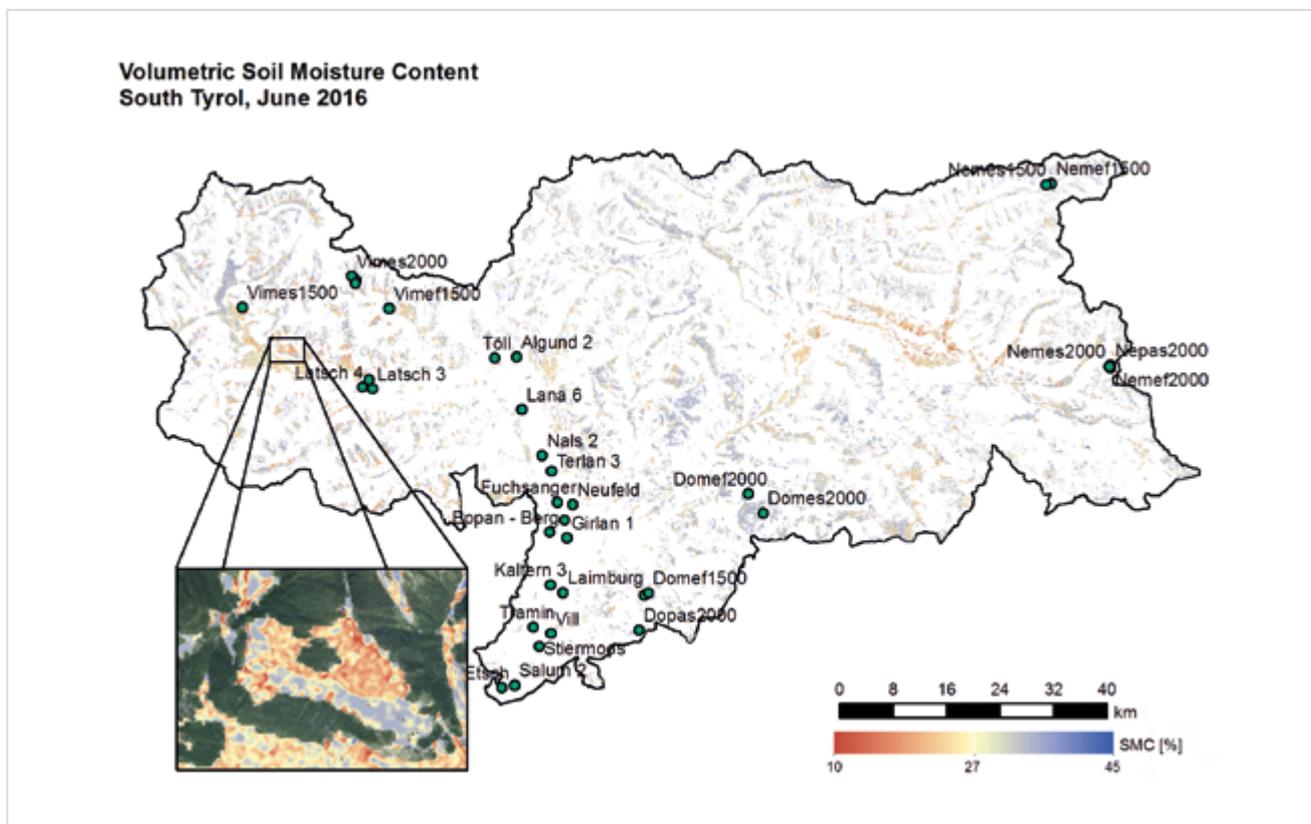


Figura 7: Mappa dell'umidità del terreno superficiale del giugno 2016 derivata da dati Sentinel-1 per le aree a prato-pascolo dell'Alto Adige. Lo zoom mostra il forte contrasto in Val Venosta tra i prati irrigati e i pascoli non irrigati.

Prospettive per il monitoraggio a scala regionale dell'umidità del terreno in Alto Adige

I risultati mostrano come si siano sviluppate e applicate tecniche che permettono una migliore capacità di monitorare l'umidità del terreno nella regione. È stata creata una importante base di dati che può fornire informazioni per nuove, più efficienti, strategie di irrigazione. In questa maniera il modello può diventare uno strumento utile per valutare gli impatti sull'agricoltura di possibili scenari futuri con diversa disponibilità idrica.

Il modello idrologico ha il vantaggio che può funzionare in continuo nel tempo e nello spazio e stimare il contenuto idrico del suolo per l'intero spessore di suolo interessato dalle radici. Tuttavia, la sua applicazione su aree ampie risulta impegnativa per quanto riguarda la mole di dati idro-meteorologici in input e per la necessità di accurate informazioni sulle proprietà fisiche dei suoli, non sempre disponibili.

Il segnale radar è in grado di penetrare fino ad alcuni centimetri nel suolo e permette di avere una accurata stima dell'umidità superficiale del terreno per tutte le aree con prati o suolo nudo visibili dal satellite e non oscurate da rilievi montuosi. Nonostante queste limitazioni, solo le tecniche di telerilevamento permettono una stima della distribuzione spaziale dell'umidità del terreno su aree ampie. La crescente disponibilità di piattaforme satellitari

rende questo approccio molto promettente per mappare l'umidità del terreno ad alta risoluzione anche in ambiente montano.

La prospettiva di ricerca è orientata verso un sistema di monitoraggio dell'umidità del terreno in tempo quasi reale che possa integrare diversi tipi di informazioni (rete di stazioni a terra, telerilevamento, modellazione idrologica). I prodotti integrati possono poi essere usati come livelli informativi di base per la gestione della risorsa idrica in agricoltura o per sistemi di allerta o previsione di situazioni critiche di scarsità idrica o alluvionali.

Analisi dei flussi di carbonio e acqua nel meletto di Caldaro

*Damiano Zanotelli, Massimo Tagliavini,
Libera Università di Bolzano*

I flussi di carbonio e acqua di quello che, assieme al vigneto, può essere considerato il sistema produttivo arboreo più importante della Provincia di Bolzano, sono stati monitorati in continuo per tre annate consecutive. La tecnica utilizzata è quella dell'*eddy covariance*, una metodologia di natura micro-meteorologica basata sulla misura del trasporto di materia (in questo caso appunto acqua e carbonio) associato alla turbolenza dell'aria presente nello strato più basso dell'atmosfera, a contatto con la superficie del suolo. La stazione sperimentale è situata

all'interno di un appezzamento privato con alberi di mele (cv. Fuji) nel comune di Caldaro ed è circondata da altri meleti molto simili per dimensione, forma di coltivazione e sesto d'impianto, così da poter essere ragionevolmente sicuri che i flussi misurati sono generati interamente da un agro-ecosistema meleto. Parallelamente alle misure degli scambi ecosistemici di queste due molecole fondamentali per la produttività agraria (CO_2 ed H_2O), presso la torre eddy sono stati misurati i principali parametri ambientali, come la temperatura, la radiazione, l'umidità del terreno, le precipitazioni, la velocità del vento, il flusso di calore nel suolo, ecc.

Un esempio di come si manifestano questi dati di flusso nell'arco di una giornata estiva media è mostrato in figura 8, dove sono riportati i valori semi-orari di scambio netto ecosistemico di CO_2 (NEE) ed evapotraspirazione (ET). Considerando che il dato di NEE è costituito da una componente respirativa (di segno positivo per convenzione in quanto esce dall'ecosistema) e da una componente assimilativa dovuta alla fotosintesi (di segno negativo in quanto entra nell'ecosistema), in figura 8 si nota come durante il mese di luglio il sistema mele assorba in maniera netta CO_2 dall'atmosfera in corrispondenza delle ore di luce. L'andamento della perdita di acqua per evapotraspirazione nel corso di una giornata segue l'andamento di radiazione e temperatura ed è chiaramente correlato anche ai processi di assimilazione fotosintetica. In particolare, dal confronto tra il 2014, in cui vi è stata un'estate piuttosto fredda e piovosa, e il 2015 con un'estate calda e secca, emerge chiaramente come vi sia un'evidente differenza nei volumi medi di acqua "consumati" dall'ecosistema meleto, a fronte invece di un'attività fotosintetica piuttosto simile. È quindi lecito aspettarsi che l'efficienza d'uso dell'acqua, che si misura come rapporto tra fotosintesi lorda ed evapotraspirazione, sia stata più alta nel 2014 rispetto al 2015, quando il meleto ha usato più acqua per produrre la stessa unità di carbonio organico. Sommando il contributo di ogni mezz'ora si ottengono valori cumulati giornalieri che permettono di conoscere quantitativamente, giorno dopo giorno in maniera sperimentale, sia il carbonio assimilato o rilasciato dall'ecosistema sia il volume d'acqua perso per evapotraspirazione. In figura 9 sono riportati proprio i dati di produzione primaria lorda (GPP, g C m^{-2}), cioè la sola componente assimilativa dello scambio netto (NEE), mentre la figura 10 riporta i volumi di evapotraspirazione giornalieri (in mm), corretti sulla base della chiusura del bilancio energetico. In entrambi i casi, i dati riportati si riferiscono ai tre anni del progetto e la linea, ottenuta con un'interpolazione non parametrica, indica l'andamento annuale. La somma dei valori giornalieri ha permesso di quantificare l'acqua emessa come vapore acqueo dal meleto, pari a 764, 683 e 745 mm, rispettivamente nel 2013, 2014 e 2015 (pari a 7640, 6830 e 7450 m^3/ha), con picchi massimi di quasi 7 mm al giorno registrati nel luglio 2015. Dal confronto con i dati di GPP, la cui quantità cumulata annua è oscillata tra 1493 (nel 2014) e 1726 (2015) g C m^{-2} (14,9 e 17,9 t/ha) è emerso che l'efficienza d'uso

dell'acqua nel meleto è oscillata mediamente tra i 2,5 (2015) e i 3,6 (2013) grammi di carbonio prodotti per ogni kg (o litro) di acqua consumata. Il confronto tra i valori di ET misurati e quelli stimati per una coltura di riferimento ha permesso di affinare i coefficienti colturali disponibili nelle tabelle di riferimento FAO, alle specifiche condizioni di crescita del meleto in Alto Adige, il che pone le basi per poter fornire l'acqua irrigua con elevata precisione. Il lavoro sperimentale svolto a Caldaro ha permesso inoltre di intraprendere una serie di collaborazioni con ricercatori di altre unità coinvolte nel progetto MONALISA. In particolare, grazie al contributo di Enrico Tomelleri (Eurac Research) è in fase di ultimazione un manoscritto sull'analisi dell'effetto temporale delle variabili ambientali rispetto ai flussi di acqua e carbonio. Le misure dei parametri legati al bilancio idrico sono invece oggetto di una collaborazione con Giacomo Bertoldi (Eurac Research) per la calibrazione del modello GeoTop; degna di nota è anche la collaborazione con Mariapina Castelli (Eurac Research) per la modellizzazione dell'evapotraspirazione a partire dai dati termici raccolti da voli effettuati con il drone.

In sintesi, questo monitoraggio ha permesso di quantificare la capacità di fissazione di anidride carbonica da parte del meleto e quindi di capire quando e in quale misura questo ecosistema rappresenta un "sink" o un "source" di carbonio nei confronti dell'atmosfera. Il progetto ha permesso di determinare quantitativamente l'acqua consumata dall'ecosistema tramite evapotraspirazione. Queste informazioni permettono infine un miglioramento della gestione dell'acqua irrigua. Dalla comparazione delle misure di fotosintesi lorda ed evapotraspirazione è stato possibile quantificare l'efficienza d'uso dell'acqua da parte del meleto e metterla in relazione alle condizioni climatiche di crescita. Più in generale, i dati di lungo periodo prodotti da questa parte del progetto, affidabili dal punto di vista qualitativo, si sono dimostrati uno strumento essenziale per la validazione a terra di modelli basati su informazioni raccolte da remoto (satellite, UAV ecc.) sia per quel che riguarda la crescita della biomassa che per il ciclo idrologico.

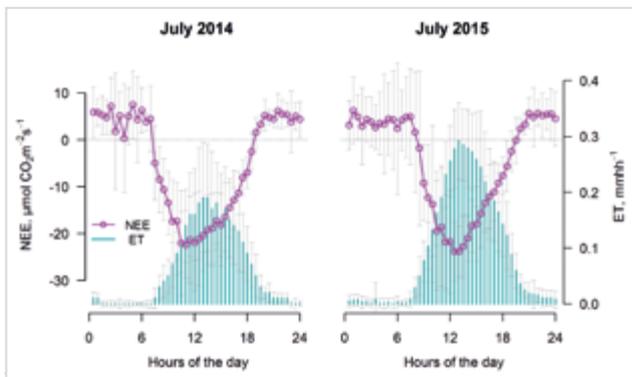


Figura 8. Andamento giornaliero medio dei flussi netti di anidride carbonica (NEE) ed acqua (ET) misurati nel mese di luglio del 2014 e del 2015 dalla stazione eddy covarianza di Caldaro. Le barre grigie su ognuno dei 48 punti di ogni serie indicano l'errore standard della rispettiva mezz'ora

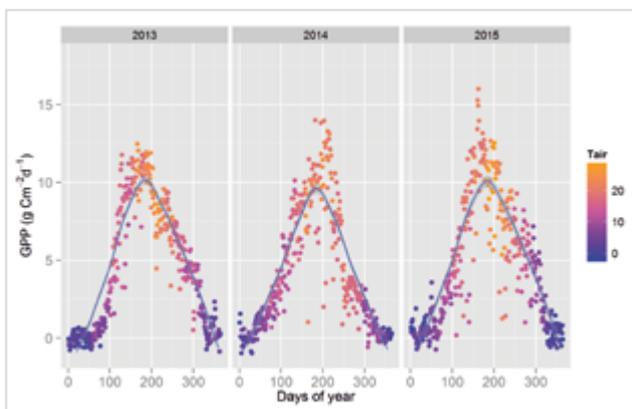


Figura 9. Dati giornalieri della produzione primaria lorda (GPP) ottenuti dalla ripartizione dei flussi misurati di NEE nei tre anni del progetto MONALISA. Il colore dei punti riflette la temperatura media del giorno. La linea rappresenta una regressione non parametrica (loess) con relativo intervallo di confidenza.

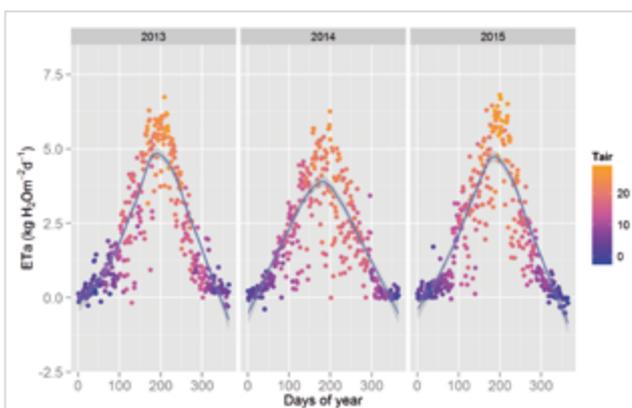


Figura 10. Dati giornalieri di evapotraspirazione (in mm) misurati sperimentalmente con la tecnica dell'eddy covarianza nel meieto sperimentale di Caldaro durante i tre anni del progetto MONALISA. Il colore dei punti riflette la temperatura media del giorno. La linea rappresenta una regressione non parametrica (loess) con relativo intervallo di confidenza.

Dati per gestire le emergenze

Il Centro Funzionale Provinciale, al quale collabora anche l'Ufficio idrografico provinciale, ha il compito di monitorare e prevedere piene fluviali, frane, valanghe e tutti i fenomeni, naturali e non solo, che possono comportare un rischio per la popolazione dell'Alto Adige. Questo al fine di allertare in modo tempestivo i cittadini e attuare misure di mitigazione in caso si prefigurino situazioni di criticità.

Una base dati solida, affidabile e di facile consultazione semplifica in modo determinante l'analisi e la gestione delle emergenze. Nell'ambito del progetto MONALISA, la rete di monitoraggio dei parametri ambientali tradizionali (ad esempio: temperatura, precipitazioni, vento, estensione della copertura nevosa) è stata migliorata ed ampliata rendendo disponibili in modo unitario e organico nuovi prodotti sotto forma di serie temporali di dati, mappe raster e immagini. I dati satellitari e quelli raccolti dalle stazioni a terra sono infatti caricati in un sistema WebGIS interattivo.

“Rispetto al passato abbiamo così a disposizione un maggior numero di informazioni e in un formato di facile consultazione. Questo ci permette di suffragare ancora meglio le nostre decisioni e scelte in materia di protezione civile”, spiega Roberto Dinale, vicedirettore dell'Ufficio idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano. Con MONALISA è stato inoltre possibile estendere il monitoraggio idrometeorologico a parametri, come l'umidità del terreno, che non rientrano tra quelli standard solitamente rilevati. “Questo ci permetterà di ampliare lo spettro dei fenomeni che in futuro sarà possibile e necessario contrastare intervenendo con misure concrete e sostenibili; nello specifico dell'umidità del terreno il riferimento è soprattutto alla carenza idrica”, aggiunge Dinale. L'ubicazione delle nuove stazioni di misurazione a terra è stata peraltro valutata e pianificata dai ricercatori di Eurac Research tenendo conto delle indicazioni degli esperti dell'Ufficio idrografico sulla base di criteri di rappresentatività e copertura omogenea del territorio provinciale.

VEGETAZIONE E SUOLO

In questo capitolo: La crescita vegetativa e i raccolti dell'agri- e selvicoltura sono strettamente legati alle condizioni climatiche e mostrano forti oscillazioni stagionali. Gli eventi meteorologici estremi, come ad esempio un'estate molto calda e asciutta, così come gli effetti dei cambiamenti climatici pregiudicano lo sviluppo delle piante. Nel progetto MONALISA abbiamo sviluppato metodi che ci permettono di osservare al meglio lo stato attuale e la crescita della vegetazione nell'arco di un anno (fenologia). Sono stati impiegati dati satellitari su vasta scala per analizzare la fenologia dell'intero arco alpino. Con l'aiuto di un drone a pilotaggio remoto sono state mappate ad alta risoluzione le condizioni della vegetazione; una rete di macchine fotografiche fisse ha permesso di osservare lo sviluppo vegetativo in tempo reale. Inoltre è stato sviluppato un sistema con cui abbiamo raccolto diversi parametri boschivi attraverso il laserscanning, quali l'altezza degli alberi e la fitomassa. Grazie a questi metodi e procedimenti in futuro si potranno analizzare meglio lo sviluppo della vegetazione e le connessioni tra gli eventi meteorologici estremi e la vegetazione.

Attività In-situ

Georg Niedrist, Eurac Research

Le attività sul campo, svoltesi dal 2014 al 2016, hanno riguardato per la maggior parte l'installazione effettiva della rete di stazioni di misura (si veda il capitolo "Acqua e Carbonio - Attività *in situ*"), la validazione dei dati dei sensori nonché i lavori di manutenzione periodica. L'attenzione principale è stata rivolta all'analisi dell'umidità del terreno nel settore della frutticoltura e della foraggicoltura, nonché dei dati di produzione di quest'ultima, poiché queste informazioni erano i dati fondamentali necessari agli altri pacchetti di lavoro del progetto MONALISA.

Misurazione raccolto da foraggicoltura:

La crescita della biomassa nei pascoli e nei prati da sfalcio è stata rilevata utilizzando due metodi. Da un lato le misurazioni si basano su un approccio che utilizza i sensori, in cui un sensore per la radiazione solare misura la radiazione fotosinteticamente attiva nell'erba e, grazie ad un sensore di riferimento non ombreggiato, rileva l'indice di area fogliare verde (green area index, GAI). L'altro metodo utilizzato ha permesso di effettuare misurazioni dirette, durante le quali sono state raccolte in tre occasioni altrettante superfici quadrate da 50x50 cm. In laboratorio poi uno speciale scanner ha misurato la massa secca e la superficie fogliare della biomassa raccolta. Il primo metodo ha il vantaggio che i dati vengono raccolti costantemente e permettono quindi un controllo continuo della crescita delle piante durante l'intero periodo vegetativo.

Tuttavia questo metodo può essere inficiato dall'imbrattamento del sensore (valori troppo alti) e può fornire dati relativi alla massa secca solo se è noto l'indice di area fogliare specifica (SLA). Il campionamento diretto fornisce invece valori molto affidabili ma richiede molto tempo e per via del metodo distruttivo non può essere riferito a serie temporali continue. Per questi motivi si è scelto di applicare una combinazione delle due procedure (si veda Fig. 11).

I campioni sono stati raccolti nei siti analizzati alcuni giorni prima della falciatura effettiva, cosa che ha permesso di campionare per tre volte i prati a 1500 m (a metà giugno, inizio settembre e metà ottobre) e per due volte i prati a 2000 m (metà luglio e inizio ottobre). I pascoli sono stati campionati una volta solo in agosto. In totale nei due periodi vegetativi del 2015 e del 2016 sono stati raccolti 135 campioni vegetativi.

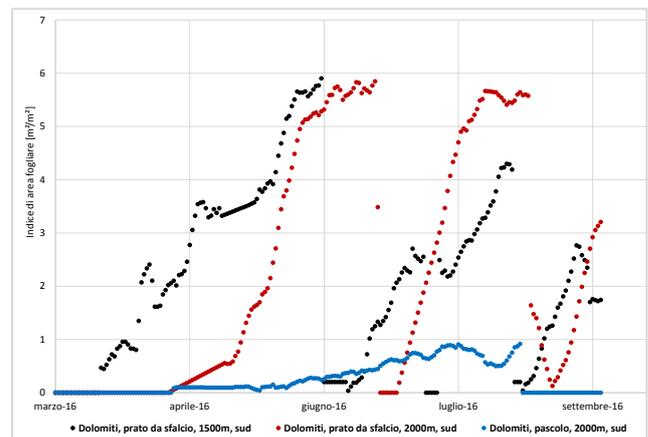


Figura 11: Andamento vegetativo del 2016: Confronto tra due prati da sfalcio esposti a sud (1500 m, 2000 m) ed un pascolo esposto a sud (2000 m). È chiaramente visibile la ripresa vegetativa anticipata a 1500 m rispetto a 2000 m, ma si nota anche che il sito posto più in alto raggiunge praticamente il valore di crescita massimo contemporaneamente a quello più basso, grazie a maggiori tassi di crescita. La crescita nel pascolo avviene a ritmi molto più lenti per via della mancanza di concimazione.

Misurazione del contenuto d'acqua del terreno:

I sensori di umidità del terreno (tecnologia TDR) utilizzati nella rete di stazioni sono attivi già da parecchi anni nella regione LT(S)ER Mazia e per esperienza le loro misurazioni sono poco sensibili rispetto ai vari tipi di suolo. Tuttavia per tutte le stazioni nei prati/pascoli e nelle aree coltivate a frutta sono stati raccolti in aggiunta anche due campioni cilindrici da altrettante diverse profondità di terreno: i cilindri sono stati seccati ed il loro contenuto d'acqua è stato messo a confronto con i valori rilevati dai sensori (calibrazione gravimetrica).

Il contenuto d'acqua del suolo è un indicatore importante per i processi idrologici ed anche un valore di validazione fondamentale per le stime basate sui dati dei satelliti e dei droni, tuttavia dice relativamente poco sull'acqua effettivamente disponibile per la vegetazione. Il potenziale di matrice, o potenziale di ritenzione idrica, molto più

importante per la vegetazione, è stato misurato direttamente solo in singole stazioni (Fig. 12), di conseguenza in tutte le altre stazioni sono state effettuate analisi tessiturali (analisi delle frazioni di particelle) ed il contenuto d'acqua del suolo è stato convertito nel potenziale di matrice utilizzando una curva di ritenzione specifica per ogni classe di tessitura del suolo basata sui parametri di van Genuchten.

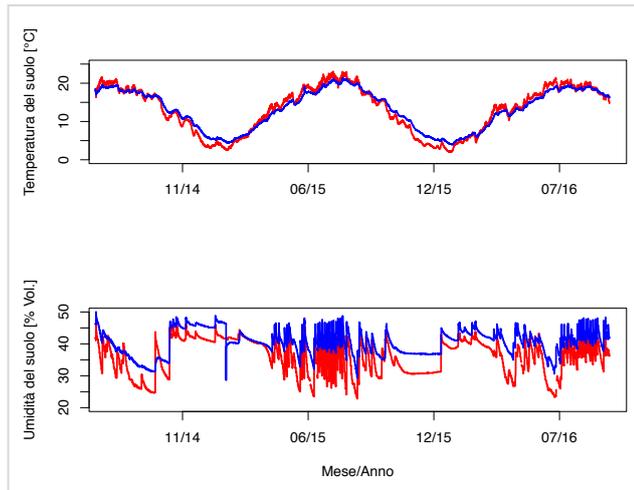


Figura 12: La temperatura e il contenuto d'acqua del suolo di un frutteto a Caldaro a 20cm (rosso), 40cm (blu) e 60cm (verde, solo a partire dall'anno 2015). Mettendo a confronto gli anni 2015 e 2016 si notano i picchi di temperatura più alta e le più frequenti attività di irrigazione avvenuti nella calda e secca estate del 2015.

In particolare in frutticoltura i dati puntuali dell'umidità del terreno sono solo relativamente significativi, poiché le condizioni possono mutare anche su scala di pochi metri per via dell'eterogeneità del terreno. Per supportare una stima dell'umidità del terreno valida su vasta scala sono stati utilizzati ulteriori set di dati sulla granulometria, già disponibili, che sono stati forniti ed elaborati dal laboratorio analisi terreni del Centro di Sperimentazione Laimburg. Lì infatti erano state effettuate ed archiviate una gran parte delle analisi del suolo richieste dal programma AGRIOS. L'aspetto essenziale di queste analisi sono stati i processi chimici del suolo, ed è stata fatta solo un'analisi tessitura tattile. Grazie al gran numero di campioni raccolti (n=18000) si è comunque cercato di calcolare una distribuzione spaziale. Inoltre si è provveduto ad associare geograficamente i campioni in base al loro numero di parcella ed i risultati dell'analisi tessitura tattile sono stati riportati nella granulometria per mezzo del triangolo tessitura. Grazie ad una speciale procedura di interpolazione (compositional kriging) è stato poi possibile riportare i dati calcolati sulle superfici frutticole altoatesine e infine riassumerli in 6 classi principali (si veda Fig. 13).

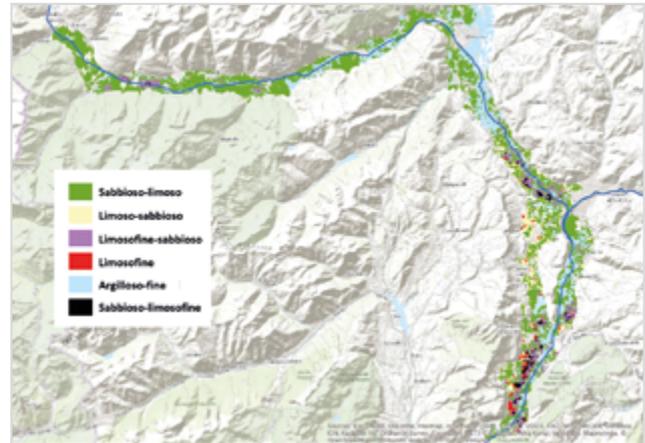


Figura 13: Distribuzione delle analisi del suolo AGRIOS in Val d'Adige e relativa mappa della distribuzione delle classi tessiturali (secondo USDA). Un'informazione più precisa sulla granulometria è comunque necessaria per poter calcolare, a partire dai dati dei sensori di contenuto dell'acqua, la reale disponibilità di acqua per la pianta.

Monitoraggio della vegetazione con metodi di telerilevamento

Sarah Asam, Eurac Research

Lo sviluppo e la valutazione di procedure di monitoraggio dei parametri chiave e dei processi di crescita della vegetazione basate su metodi di telerilevamento sono due punti importanti del progetto MONALISA. Il telerilevamento offre la possibilità di fotografare la superficie terrestre in modo continuo sia dal punto di vista spaziale che temporale. Nell'ambito di MONALISA è stato possibile ricavare da queste immagini delle mappe delle condizioni dei parametri vegetativi biofisici, quali indici di vegetazione, indice di area fogliare e fenologia. Le questioni scientifiche su questi temi riguardano la comprensione dei processi ecosistemici come i cicli vegetativi, oppure il modo in cui i dati prodotti da diversi sensori satellitari possono essere combinati tra loro nel modo migliore. Anche l'analisi di modelli spazio-temporali nel contesto dei cambiamenti globali e climatici è molto importante per le regioni montuose. Inoltre, a causa della eterogeneità delle montagne la valutazione del tipo di dati rappresenta una sfida particolare, che richiede specifiche soluzioni.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) & Leaf Area Index (LAI)

Per monitorare la vegetazione con i dati satellitari, i valori di riflettanza spettrale vengono spesso trasformati in indici di vegetazione (*Vegetation Index*, VI), al fine di evidenziare il segnale della vegetazione verde rispetto alla variabilità spettrale, causata dal terreno, dal mate-

riale vegetativo morto, dalle condizioni atmosferiche e di illuminazione. I VI sono variabili adimensionali che si basano sulla notevole differenza di riflettanza nella regione spettrale rossa e nel vicino infrarosso. Sono strettamente collegati allo spessore, salute e attività relativi della vegetazione e in tal modo sono ideali per rappresentare i modelli spatio-temporali delle dinamiche vegetative. Il "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) è sicuramente l'indice di vegetazione più utilizzato, e trova applicazione anche nel monitoraggio operativo. L'indice di area fogliare (ingl. Leaf Area Index, LAI) è la misura della superficie fogliare per unità di superficie del suolo. Su di essa hanno luogo processi come la captazione, ovvero la raccolta di acqua piovana, l'evaporazione e la fotosintesi. Il LAI serve dunque a quantificare l'interfaccia tra la biosfera e l'atmosfera e in tal modo è essenziale, tra le altre cose, anche per la modellazione dei flussi di energia e di massa. Da un punto di vista ottico il LAI non può essere misurato direttamente, ma è necessario trasformare in variazioni di LAI le variazioni

spettrali provocate da modifiche strutturali della vegetazione. Ciò si verifica in base a modelli empirico-statistici o fisici. Poiché solo questi ultimi si possono applicare su una vasta zona per un lungo periodo di tempo, è stato scelto un modello di trasferimento radiativo (*Radiative Transfer Model*, RTM). Un RTM descrive la trasmissione, l'assorbimento e la riflettanza della luce nell'ambito della copertura vegetale quale funzione delle qualità strutturali e biofisiche della copertura stessa. È possibile ricavare il LAI e altri parametri attraverso l'inversione del RTM, in cui vengono messi a confronto gli spettri simulati e quelli misurati.

Per gli anni 2014 e 2015 gli indici NDVI e LAI sono stati ricavati grazie a dati ottenuti da tre sistemi satellitari con diverse caratteristiche spatio-temporali: si tratta dei due sistemi disponibili gratuitamente MODIS e Sentinel-2 e del sensore commerciale RapidEye. La Figura 14 fornisce un'immagine visiva delle diverse risoluzioni e coperture delle mappe NDVI e LAI rilevate dai tre sensori in data 26 agosto 2015.

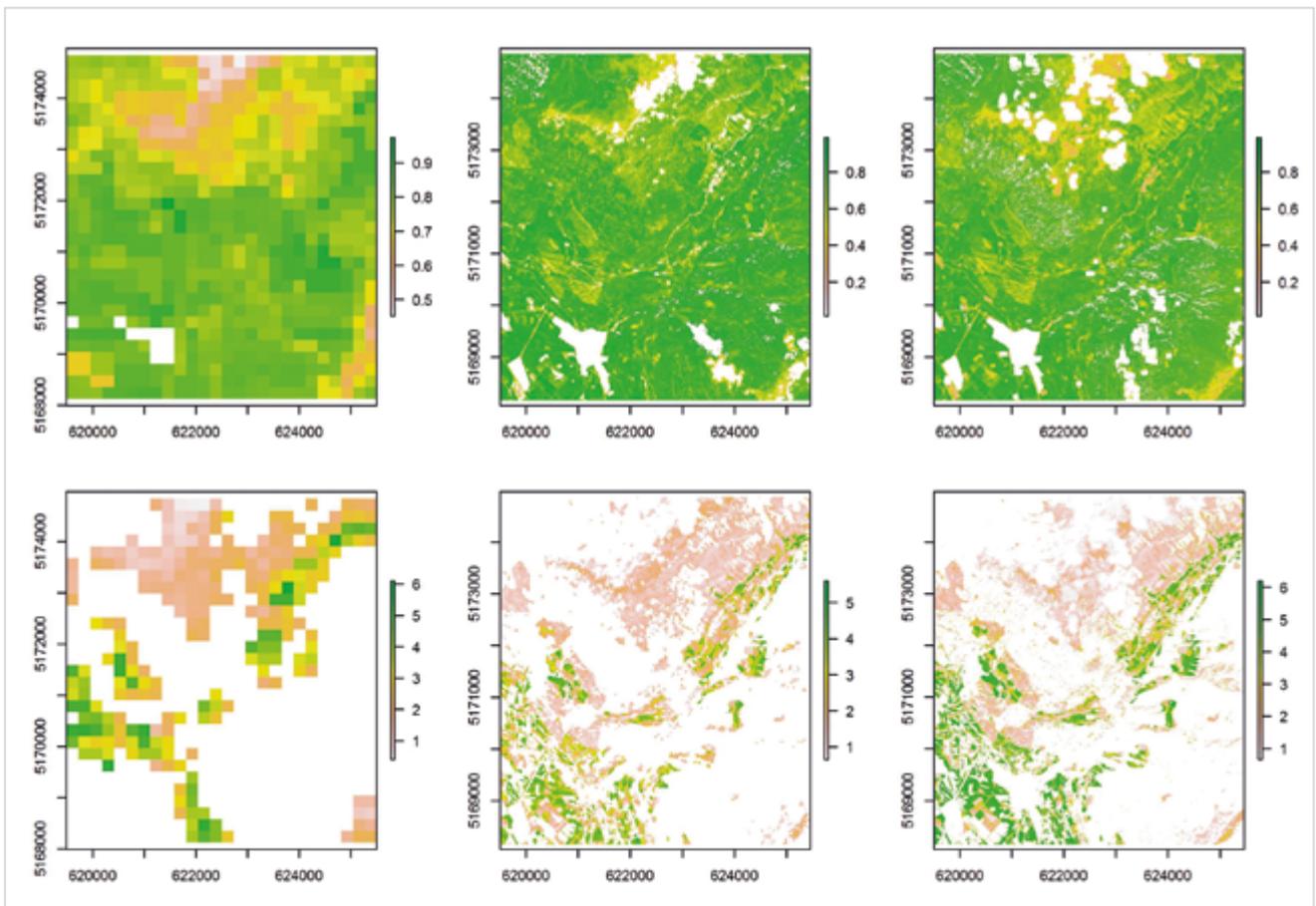


Figura 14: Mappe NDVI e LAI derivate da riprese MODIS (250 m), Sentinel-2 (20 m) e RapidEye (5 m) del 26 agosto 2015 sulla Val Mazia.

Le mappe MODIS NDVI e LAI sono fornite sotto forma di gruppi di 4 giorni con risoluzione spaziale di 250 metri per l'intero Alto Adige nel periodo 2002 - 2016. Per ottenerle viene selezionato il valore migliore per ogni pixel in un intervallo di 4 giorni dalle immagini che vengono riprese quotidianamente dal satellite Terra nello spettro visibile e nel vicino infrarosso, sulla base di vari criteri qualitativi (ad es. nuvolosità, angolo di ripresa e illuminazione). Questo procedimento permette di ridurre le lacune nei dati e di migliorare la qualità delle informazioni. Per il calcolo dell'indice NDVI l'influsso della topografia viene corretto sui valori spettrali, mentre per la derivazione del LAI questa correzione è già integrata direttamente nel modello RTM. Successivamente l'indice NDVI viene calcolato per tutte le superfici coperte di vegetazione. Per la derivazione del LAI si utilizzano i valori spettrali per l'inversione rispetto al modello RTM PROSAIL. Le immagini che stanno alla base del modello PROSAIL consentono di derivare l'indice LAI soltanto per la foraggicoltura, comunque con un'accuratezza di circa il 60%, che corrisponde ad un miglioramento del 21% rispetto al prodotto MODIS standard.

Le mappe NDVI e LAI da Sentinel-2 vengono prodotte per ogni passaggio del satellite (a seconda della sovrapposizione delle rotte ogni 4-10 giorni) per il periodo luglio 2015 - dicembre 2016 e coprono ognuna circa la metà dell'Alto Adige. In una prima fase le immagini Level 1C vengono calibrate e sottoposte a correzione atmosferica grazie al processore "sen2cor". Le superfici coperte di neve così come le nuvole e le superfici ombreggiate vengono mascherate grazie alle mappe degli indici di qualità sen2cor. L'indice LAI viene valutato sulla base dei dati Sentinel-2 grazie ad una inversione del modello RTM PROSAIL. Poiché Sentinel-2 riprende una serie di canali spettrali importanti solo con risoluzione 20 metri, la risoluzione spaziale dell'indice LAI (20 metri) è più bassa di quella dell'indice NDVI (10 metri). L'accuratezza ottenuta con le mappe LAI raggiunge il 70%. Le mappe NDVI vengono derivate per tutte le superfici coperte da vegetazione, mentre le mappe LAI soltanto per le superfici adibite a foraggicoltura.

Durante i periodi vegetativi del 2014 e del 2015 sono state effettuate riprese con il sensore RapidEye della ditta Planet Labs per ottenere mappe delle superfici vegetative altoatesine ad altissima risoluzione (5 metri). In totale sono state riprese 57 scene che offrono una doppia copertura completa dell'Alto Adige (fine giugno e fine agosto 2015), nonché una serie temporale della Val Mazia (8 immagini). In primo luogo gli influssi atmosferici sono stati corretti con il software ATCOR, ma poiché questo procedimento non genera una maschera con indici di qualità paragonabile alle catene di processamento MODIS o Sentinel-2, le superfici coperte di neve, quelle ombreggiate e le nuvole sono state successivamente mascherate tramite l'utilizzo di opportuni valori di soglia. Il modello PROSAIL è stato utilizzato per la derivazione dell'indice LAI anche su scala ad altissima risoluzione. Le mappe NDVI e LAI di RapidEye sono disponibili sia per le superfici coperte

da vegetazione sia per quelle adibite a foraggicoltura. L'indice LAI è stato ricavato con una accuratezza pari circa all'80%.

Applicazioni

Con l'aiuto del procedimento su descritto sarà possibile in futuro osservare in modo continuo lo sviluppo della vegetazione in Alto Adige, cosa che potrà trovare applicazione in diversi settori. Due esempi di applicazione nell'ambito della fenologia e delle interazioni tra clima e vegetazione vengono illustrati di seguito.

Fenologia

La fenologia descrive tutti i fenomeni stagionali che dipendono dai fattori climatici. Il riscaldamento climatico in particolare modifica la fenologia vegetale e può quindi influenzare la produzione agricola e forestale. Il telerilevamento è un metodo che ben si adatta alla valutazione dei modelli e della variabilità fenologica su vasta scala. A tale scopo la serie temporale di un Indice di Vegetazione viene analizzata per individuare metriche fenologiche quali l'inizio (SOS) e la fine della stagione di crescita (EOS). Poiché i segnali vegetativi spesso si presentano con dati mancanti dovuti all'elevata copertura nevosa e nuvolosa, in particolare in montagna, le serie temporali vengono filtrate e approssimate in base a modelli matematici. Nell'ambito del progetto sono state estrapolate le metriche fenologiche più comuni per tutte le superfici coperte di vegetazione in Alto Adige nel periodo 2002 - 2016 sulla base delle serie temporali MODIS-NDVI. A tale scopo sono stati utilizzati il software TIMESAT e i valori soglia adattati in base ai diversi biomi. Le mappe annuali che ne risultano hanno una risoluzione spaziale di 250 metri e mostrano chiaramente la dipendenza del SOS nelle Alpi dalla topografia e dall'altitudine (Fig. 15). Le macchine fotografiche ("PhenoCams") e i sensori spettrali NDVI installati nell'ambito del progetto MONALISA vengono utilizzati allo scopo di validare le metriche fenologiche derivate.

Monitoraggio su vasta scala delle connessioni tra vegetazione e clima

Nel progetto MONALISA sono stati utilizzati diversi dati ambientali allo scopo di identificare gli effetti statisticamente attendibili dei fattori climatici sulla crescita della vegetazione a diverse altitudini e durante tutto l'anno in Alto Adige. Si è proceduto ad aggregare e a correlare tra di loro le serie temporali MODIS sulla copertura nevosa e NDVI basate sui pixel, ottenendo somme o valori medi mensili. Inoltre sono stati analizzati i set di dati ottenuti dal telerilevamento insieme a dati climatici forniti dalla ditta CISMA (si veda pag. 54 del presente report) per gli anni 2004 - 2013. Per testare come la stagionalità dell'NDVI venga influenzata dai driver climatici, e se si

verifichino effetti combinati dei fattori climatici, sono state calcolate analisi di correlazione incrociata basate sui pixel nonché regressioni multivariate (Fig. 16). A tale scopo sono stati calcolati i dati climatici in somme di 16 giorni oppure in valori medi e tutti i set di dati sono stati convertiti in un'unica risoluzione spaziale (2 km) e temporale (16 giorni).

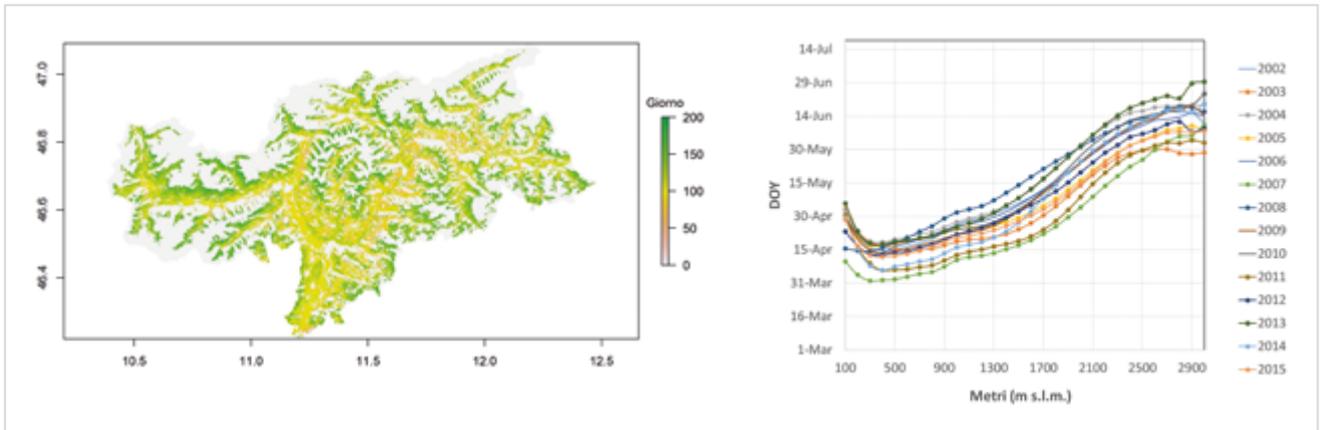


Figura 15: a) Modello spaziale dell'inizio della stagione di crescita (SOS) nel 2004, e b) correlazione della SOS con l'altitudine per i pascoli naturali in Alto Adige.

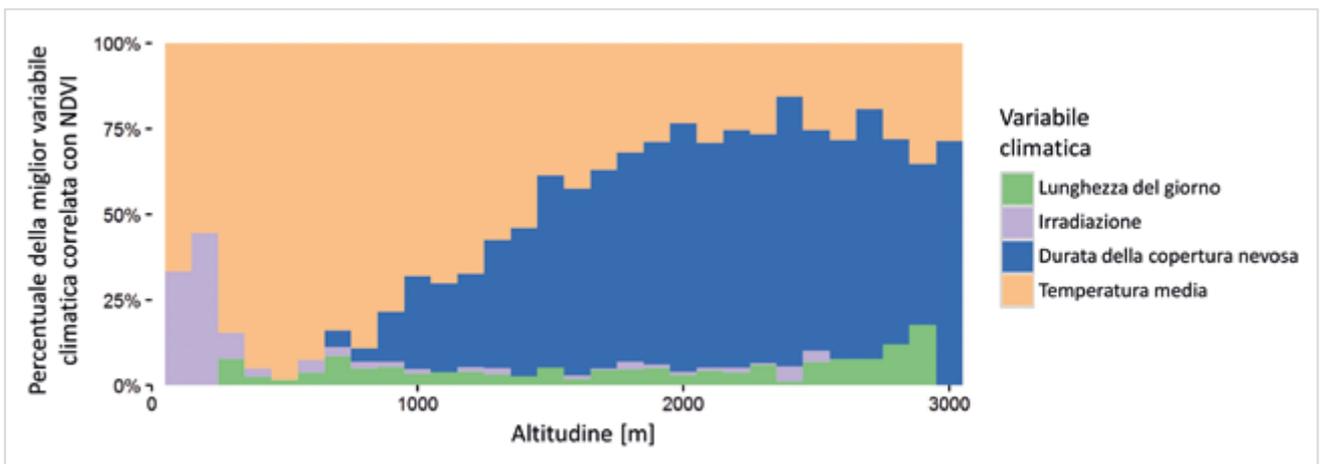


Figura 16: L'influenza dei fattori climatici sulla stagionalità vegetativa varia a seconda dell'altitudine. Mentre alle altitudini più basse (<400 metri) irradiazione e temperatura sono i driver principali, l'influenza della durata della copertura nevosa aumenta in modo continuativo a partire da ca. 700 metri di altitudine.

Droni e proximity sensing per parametri di vegetazione

Enrico Tomelleri, Eurac Research

Sull'uso di osservazioni fenologiche a scala multipla

Le variazioni fenologiche stagionali sono un fattore chiave per diversi processi ecosistemici. Esse sono oltretutto di rilevanza per fattori abiotici quali l'assorbimento di acqua da parte della vegetazione, la copertura del suolo e la sua stabilizzazione, nonché per fattori biotici quali le interazioni insetti-ospite e l'impollinazione o la disponibilità di frutti e foglie come foraggio. Inoltre a scala temporale di medio termine, la fenologia è un fattore chiave per la distribuzione geografica delle specie. Su scala temporale più a lungo termine essa ha un significato evolutivo che influenza l'adattamento delle specie vegetali, dal momento che fattori come l'esposizione al gelo o il successo nella riproduzione dipendono da una tempistica del ciclo di vita ottimizzata alle condizioni ambientali. Pertanto, le specie vegetali in ambienti montani difficili con brevi stagioni di crescita si basano su uno stretto adattamento dei cicli fenologici alle situazioni microclimatiche. Quindi in uno scenario di cambiamento climatico la fenologia è un fenomeno cruciale per il monitoraggio ambientale. Durante questo progetto abbiamo creato una rete di osservazione degli ecosistemi di prateria in

Alto Adige/Südtirol. Le stazioni di misura sono dotate di sensori per il "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) e di camere di osservazione. Le stazioni hanno acquisito dati per una parte del 2014 e per gli anni 2015 e 2016. Per l'analisi dei dati abbiamo adattato e sviluppato il pacchetto di R "Phenopix", uno strumento che contiene una raccolta di funzioni per l'elaborazione delle immagini digitali, per stimare traiettorie degli indici di vegetazione e per identificare cambiamenti nelle fasi fenologiche. Il nostro obiettivo è stato di estrarre traiettorie fenologiche dall'osservazione della vegetazione a scale multiple. Per questo motivo abbiamo analizzato con gli stessi metodi i dati da sensori NDVI, dalle camere di osservazione e dati dal satellite MODIS (Fig. 16). Ognuno dei 3 approcci presenta vantaggi e svantaggi. Il vantaggio di sensori NDVI è l'osservazione limitata ad un'area pura di uno specifico ecosistema. D'altra parte, questo metodo non tiene conto della variabilità spaziale all'interno dello stesso ecosistema. Il vantaggio delle camere di osservazione è la disponibilità di un'osservazione spazialmente esplicita per specifica parte di paesaggio. Questo metodo fornisce l'osservazione con diversi angoli di visuale, con il rischio di introdurre artefatti nella variabilità spaziale del processo osservato. Come ultimo, il telerilevamento offre la possibilità di osservazioni a distanza su vaste aree. La nuvolosità ostacola queste osservazioni che causano lacune nelle serie temporali. Nella figura di seguito si mostra come le traiettorie alle diverse scale sono coerenti. Per questo riteniamo che l'uso di metodi differenti può essere sfruttato in modo indipendente secondo la scala di osservazione più favorevole.

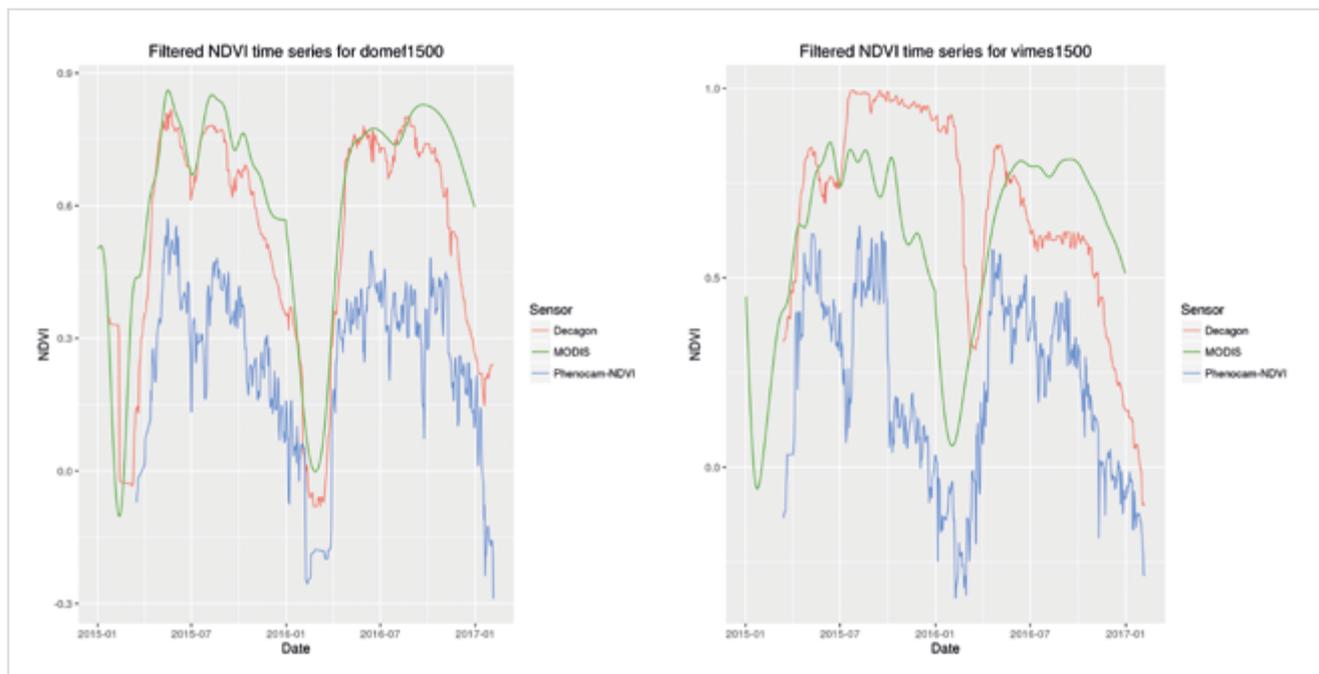


Figura 17: traiettorie di NDVI derivate con i tre approcci per i siti vimef1500 e dome1500 (2015-2016).

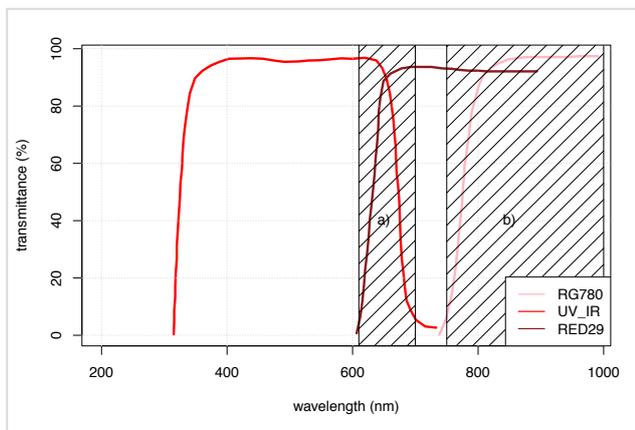


Figura 18: Trasmittanza dei filtri applicati alle camere Ricoh GR. I filtri UV_IR e RED29 sono stati applicati alla camera originale mentre il filtro RG780 è stato applicato alla camera alla quale è stato rimosso il filtro per l'infrarosso interno. I canali del rosso delle due camere misurano quindi rispettivamente nelle aree denominate da a) rosso e b) infrarosso vicino.

Stime di NDVI su prateria alpina: un metodo low-cost

Il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) è uno degli indicatori più utilizzati per il monitoraggio della vegetazione in telerilevamento. L'indice si basa sulla differenza tra la riflettanza vicino infrarosso (NIR) e la luce rossa ed è dunque utile per monitorare variazioni strutturali, fenologiche e altre proprietà della vegetazione che presentano una variabilità stagionale o di lungo termine. Convenzionalmente, l'indice NDVI è dedotto da sensori satellitari, come MODIS. Negli ultimi anni si è resa disponibile una nuova generazione di sensori iperspettrali miniaturizzati con alta risoluzione. Tali strumenti piccoli e leggeri sono particolarmente adeguati per essere utilizzati su sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR, si veda box a pagg. 14-15). Grazie a questa combinazione è possibile raggiungere una risoluzione a terra dell'ordine di pochi centimetri. Tuttavia, tali radiometri miniaturizzati e sensori iperspettrali sono ancora molto costosi. Pertanto con questa ricerca proponiamo un metodo alternativo più economico per calcolare NDVI utilizzando una costellazione di fotocamere. Questa è costituita da strumenti convenzionali di tipo consumer: (i) una camera Ricoh GR modificata che acquisisce lo spettro NIR rimuovendo il filtro ad infrarossi interno. Un filtro ottico aggiuntivo ostacola tutte le lunghezze d'onda inferiori a 700 nm (Fig. 18). (ii) Una Ricoh GR con due filtri ottici che blocchino le lunghezze d'onda inferiori a 600 nm, NIR e la luce ultravioletta (UV). Per valutare il metodo abbiamo effettuato un confronto: le mappe di riflettanza generate dalla costellazione di fotocamere sono state messe a confronto con delle mappe di riflettanza prodotte con un interferometro di Fabry-Perot (FPI, Rikola Ltd.). Tutti le immagini sono state corrette geometricamente e mosaicate con il software Pix4D. Il confronto è stato effettuato per il sito MONALISA in val Mazia, durante il periodo vegetativo del

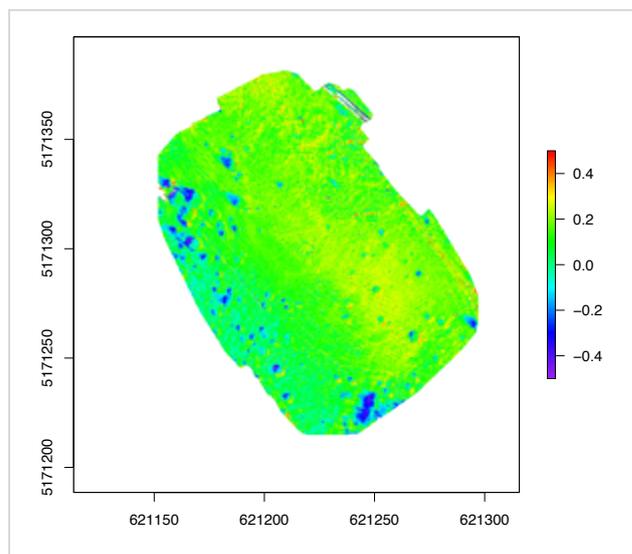


Figura 19: differenze tra NDVI da FPI e Ricoh GR.

2015 (Fig. 19). La tecnica low-cost ha dato risultati promettenti. Questa quindi costituisce un modo alternativo ed economico per la raccolta di informazioni spazialmente esplicite su aree vegetate anche su terreni impervi.

Stime multi-scala di tratti ecosistemici

L'obiettivo di questo studio è stato quello di ricavare dei tratti ecosistemici in modo indiretto da dati multi- ed iperspettrali. Inoltre abbiamo cercato di migliorare la conoscenza sugli effetti di scala utilizzando tecniche di misure multiple.

Una stima accurata e spazialmente esplicita di tratti degli ecosistemi e delle loro dinamiche, come l'indice di area fogliare ed il contenuto di clorofilla, gioca un ruolo chiave per la ricerca ecologica a scala di paesaggio. In questa prospettiva l'uso di dati telerilevati ha dimostrato di essere uno strumento valido per affrontare le questioni ecologiche a scala da paesaggio a globale. Il collegamento tra i sensori di rilevamento satellitari e quelli prossimali tuttavia non è ancora stato completamente compreso. Le tecnologie di osservazione attraverso immagini iperspettrali si stanno evolvendo rapidamente. Gli strumenti stanno diventando molto più leggeri tanto da poter essere trasportati su sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR). Le immagini da SAPR sono spazialmente limitate, ma offrono più flessibilità rispetto ai sensori satellitari. Infatti questa tecnologia permette acquisizioni ad altissima risoluzione in condizioni meteorologiche favorevoli per aree specifiche. In questo studio abbiamo utilizzato un interferometro di Fabry-Perot (FPI). Gli indici di vegetazione hanno dimostrato di essere un metodo valido per il monitoraggio di ecosistemi, ma hanno diverse limitazioni intrinseche dovute alla loro semplicità. L'inversione di modelli di trasferimento radiativo (RTM) è un approccio molto diffuso per stimare i parametri biofisici dai dati di osservazione della Terra e la sua applicazione offre

nuove opportunità per stime di tratti ecosistemici. Nel presente studio abbiamo prima sviluppato una versione basata su metodi machine-learning per l'inversione di un modello di trasferimento radiativo (RTM): il modello ProSail. Nel fare questo abbiamo creato una matrice di parametri del modello basata su delle distribuzioni di probabilità. Attraverso queste abbiamo effettuato stime di riflettanze basate sui parametri del modello. Queste vengono poi utilizzate per "allenare" delle

random-forests che ci hanno permesso di invertire il metodo per collegare i valori dei parametri del modello alle riflettanze misurate. Questo approccio è stato utilizzato anche per derivare parametri da dati satellitari (Sentinel-2) e da SAPR (FPI). I dati utilizzati sono stati raccolti durante una campagna che si è svolta nell'agosto 2015 in concomitanza di un passaggio di Sentinel-2. Abbiamo rilevato differenze importanti tra il metodo applicato alle 2 scale.

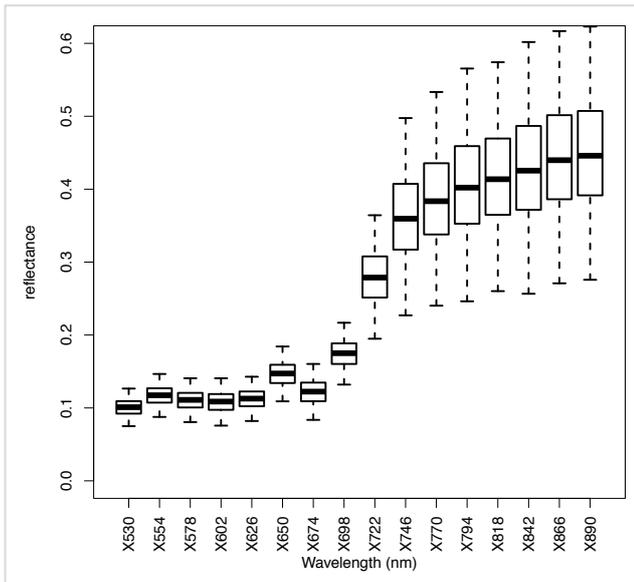


Figura 20: variabilità degli spettri di FPI nell'area di interesse

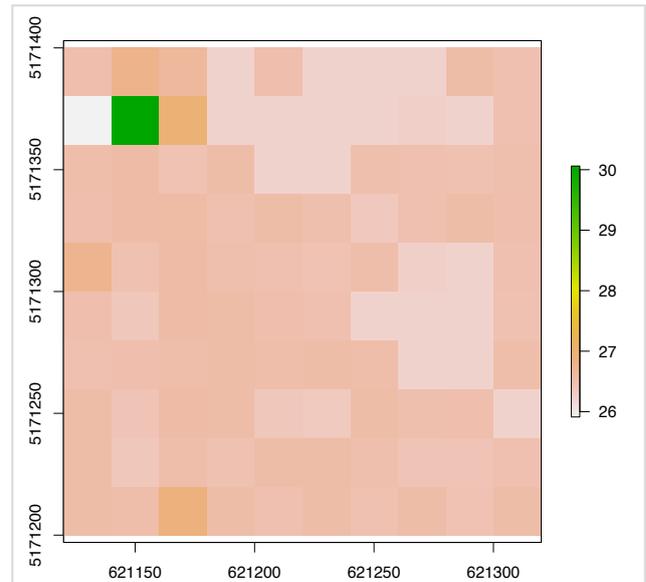


Figura 22: mappa dell'Indice di Area Fogliare da FPI

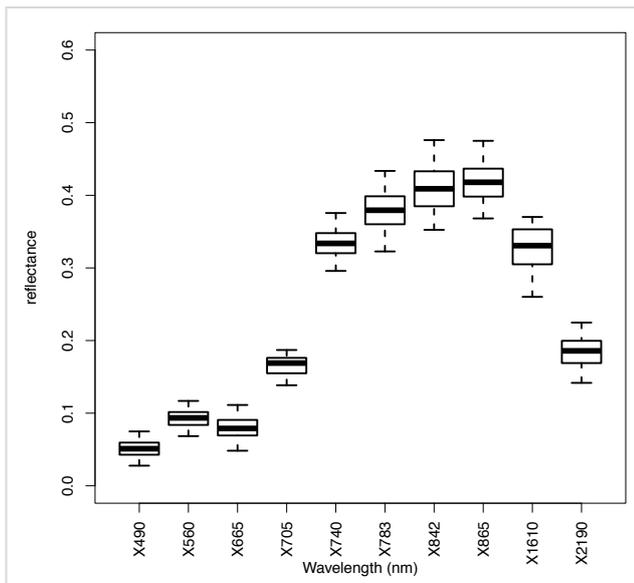


Figura 21: variabilità degli spettri di Sentinel-2 nell'area di interesse

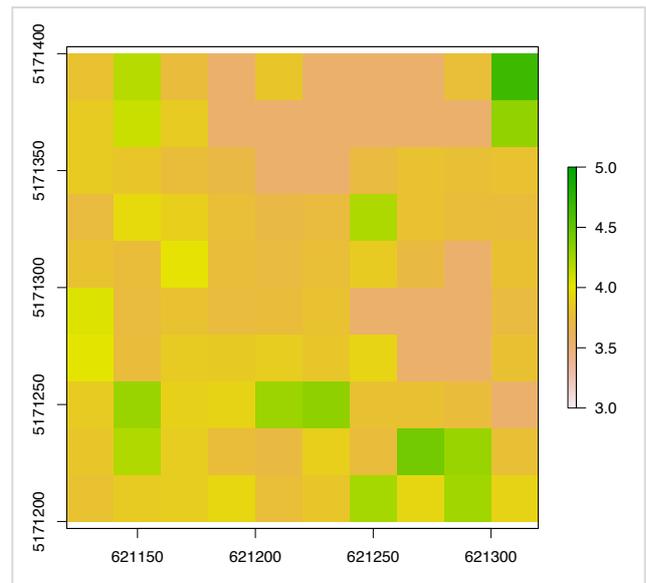


Figura 23: variabilità dell'Indice di Area Fogliare dai dati Sentinel-2

Cambiamento climatico e variazioni della produttività forestale in ambito alpino

Giustino Tonon, Libera Università di Bolzano



Figura 24: Giovane foresta di abete rosso presso Nova Levante

I boschi di abete rosso rappresentano la maggioranza delle foreste nell'arco alpino, quindi anche in Alto Adige, nonché un ecosistema di grande importanza per l'economia, sia in termini strettamente produttivi che legati, ad esempio, alla fruizione turistica. Poter comprendere come la produttività di queste foreste varia ed è variata nel tempo in relazione ai cambiamenti climatici è di fondamentale importanza per valutare la capacità di questi boschi di mitigare e di sostenere i suddetti cambiamenti nel prossimo futuro, e quindi di mantenere intatte le proprie caratteristiche e funzioni. A questo proposito è stato indagato come negli ultimi 150 anni sia cambiata la produttività di due foreste alpine di abete rosso. Lo studio è stato portato avanti rispettivamente nel territorio di Nova Levante (Figura 24), in Alto Adige, e di Traunstein, in Baviera.

La metodologia impiegata ha richiesto per prima cosa la ricostruzione dell'andamento nel tempo dell'altezza, intesa come indicatore della produttività, di alcune piante di abete rosso, selezionando tre classi di età in modo da poter confrontare tali andamenti in boschi di età diverse e perciò cresciuti in epoche diverse. Successivamente sono state fatte delle analisi chimiche sugli anelli di accrescimento annuali di questi alberi, in particolare sono stati analizzati gli isotopi stabili di carbonio e ossigeno. Questi isotopi stabili sono stretta-

mente legati al comportamento della pianta in termini di fotosintesi e di efficienza nell'utilizzo dell'acqua, e permettono di capire come la pianta risponde a stimoli e stress ambientali, ad esempio l'aumento della CO₂ atmosferica, il conseguente aumento della temperatura e dello stress idrico. Poterli analizzare negli anelli di accrescimento annuali ha poi l'enorme vantaggio di ricostruire tale risposta anche per un lungo periodo di tempo, come l'intero arco di vita di un albero.

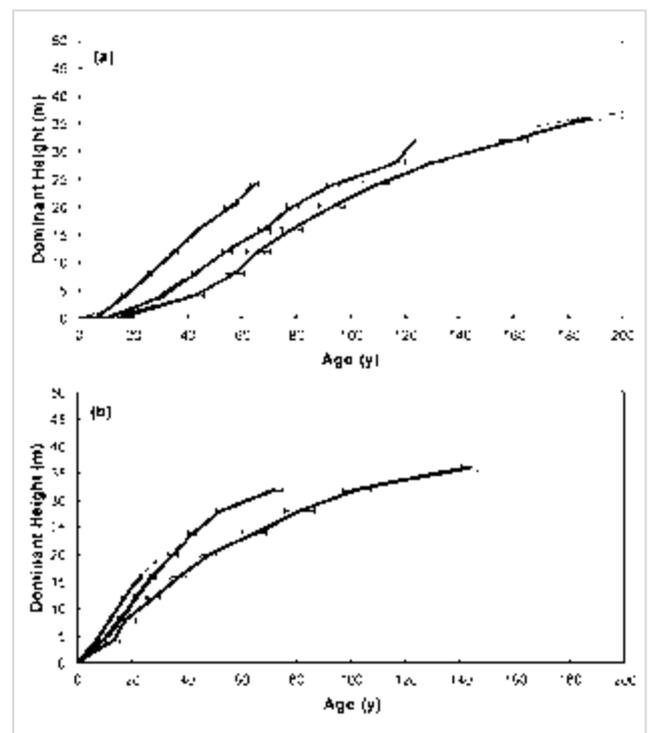


Figura 25: Rapporto altezza/età diviso per classi nei due siti oggetto di studio

I risultati ottenuti nell'ambito dello studio hanno evidenziato come effettivamente le foreste di abete rosso oggi sono più produttive rispetto al passato, dal momento che a parità di età, come si evince dalla Figura 25, in entrambi i siti gli alberi più giovani hanno un'altezza maggiore rispetto a quelli delle classi più vecchie. Inoltre, le analisi degli isotopi stabili mostrano come, parallelamente all'incremento di produttività, ci sia un aumento dell'efficienza d'uso dell'acqua intrinseca (iWUE), un parametro che indica il rapporto tra la capacità di assorbire anidride carbonica attraverso la fotosintesi e l'acqua consumata dalla pianta (Figura 26). L'aumento della iWUE è dovuto principalmente alla maggiore capacità delle piante di sfruttare i processi fotosintetici, grazie soprattutto all'aumento della concentrazione di CO₂ atmosferica. Questo mostra come, almeno fino ad ora, le foreste alpine di abete rosso abbiano positivamente risposto al cambiamento climatico, incrementando la loro produttività e il loro potenziale di mitigazione rispetto all'aumento di anidride carbonica in atmosfera.

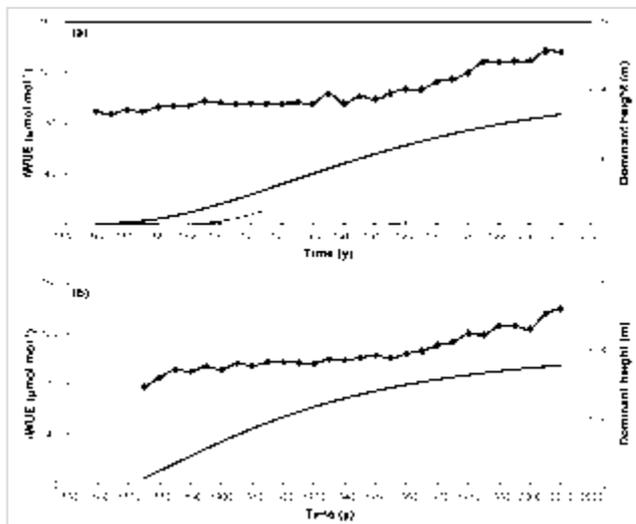


Figura 26: Andamento nel tempo di iWUE e produttività nei due siti

Sviluppo di strumenti per l'analisi dei boschi e la stima della biomassa forestale da dati LiDAR

Giustino Tonon, Libera Università di Bolzano

Dopo la seconda guerra mondiale, con l'abbandono delle zone rurali, nell'area alpina si è assistito ad un progressivo aumento della copertura boschiva. Le foreste si stanno progressivamente espandendo invadendo zone precedentemente destinate a prati e pascoli con forti ripercussioni sulle diverse componenti ambientali, tali da richiederne un monitoraggio continuo dello stato, della composizione e della superficie di espansione.

L'inventario forestale costituisce la base di riferimento per la gestione e la valorizzazione delle foreste come risorsa e rappresenta un'importante fonte di informazioni legate all'evoluzione della vegetazione nel tempo e nello spazio. Normalmente i dati dell'inventario forestale derivano in parte da campagne di rilievo in campo ed in parte da elaborazioni statistiche dei dati disponibili che ne consentono l'estensione a tutta l'area di gestione.

Negli ultimi anni si sta diffondendo anche in campo forestale l'uso di dati rilevati da satellite e da aeromobile sia per i costi competitivi che per la possibilità di ottenere informazioni in tempi relativamente brevi su aree molto estese. La disponibilità di dati a diversa risoluzione su ampie zone con coperture vegetali diverse ha dato avvio anche alla ricerca di nuovi algoritmi, al fine di utilizzarli per la gestione ambientale e quindi anche per l'aggiornamento dei piani forestali.

I dati LiDAR (Light Detection and Ranging) sono quelli raccolti attraverso un sensore laser montato su un aeromobile che misura la distanza tra l'aeromobile e gli oggetti presenti sul terreno in base al tempo di ritorno

del raggio laser riflesso dalla superficie. Il rilievo LiDAR costituisce la base principale di conoscenza della morfologia del territorio e di tutto quanto si trova in superficie. I prodotti principali di un rilievo LiDAR sono il modello digitale del terreno (DTM) ed il modello digitale della superficie (DSM).

Per quanto attiene all'uso dei dati LiDAR ai fini della stima della biomassa forestale, esistono due approcci principali: l'approccio basato sull'area (area based) che prevede l'estrazione di informazioni medie su aree statisticamente omogenee, e l'approccio relativo al singolo albero (single-tree) che mira ad estrarre la posizione e le caratteristiche principali di ogni singolo albero (altezza, diametro, specie e volume).

Nell'ambito del progetto MONALISA si sono implementati 3 diversi algoritmi per l'estrazione dei singoli alberi da dati LiDAR ed in particolare 2 algoritmi basati sull'estrazione di massimi locali (LM) dal modello digitale della superficie e dalla nuvola di punti grezza, ed uno basato su tecniche di riconoscimento di immagini dal DSM.

L'output di questi modelli è una serie di punti che rappresentano gli alberi estratti, in cui viene specificata anche l'altezza. I tre modelli sono stati integrati in un sistema di calibrazione automatico che si occupa di eseguire diverse simulazioni cambiando i parametri dei modelli finché non si trova la soluzione ottimale. Al termine di ogni simulazione il calibratore automatico confronta gli alberi estratti dai dati LiDAR con quelli misurati a terra in un'area di test e riconosce gli alberi estratti correttamente da quelli che non corrispondono a nessun albero nella realtà e da quelli rilevati in campo e che non sono stati estratti dal software. I valori dei parametri dei modelli risultanti dalla calibrazione possono quindi essere utilizzati per l'estrazione degli alberi su zone più estese dove non sia disponibile un rilievo dettagliato a terra.

Gli algoritmi ed il sistema di calibrazione sono stati testati su due aree test: i) in Valle Aurina, dove è stato commissionato un rilievo LiDAR a 10 pti/m² ed un rilievo manuale in campo di 12 plot di area circolare e diametro 15 m, all'interno dei quali sono stati misurati la posizione e le caratteristiche principali di ogni singolo albero; ii) sull'Altipiano di Asiago, dove sono stati utilizzati parte dei dati del progetto NEWFOR su 5 plot di area circolare e diametro 20 m con rilievo manuale in campo di tutte le piante, il rilievo LiDAR disponibile ha una risoluzione di 11 pti/m². Le due aree di studio sono caratterizzate da diverse tipologie e specie forestali, in particolare un bosco di conifere con 3 strutture forestali in Valle Aurina ed uno di latifoglie con 2 strutture forestali sull'Altipiano di Asiago.

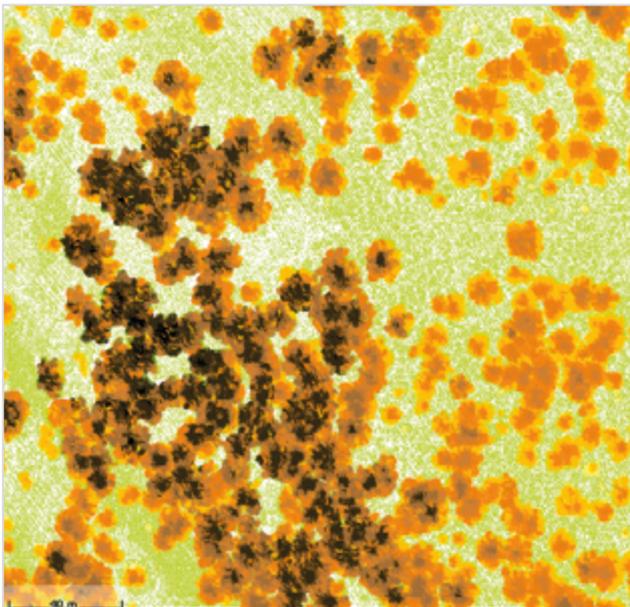
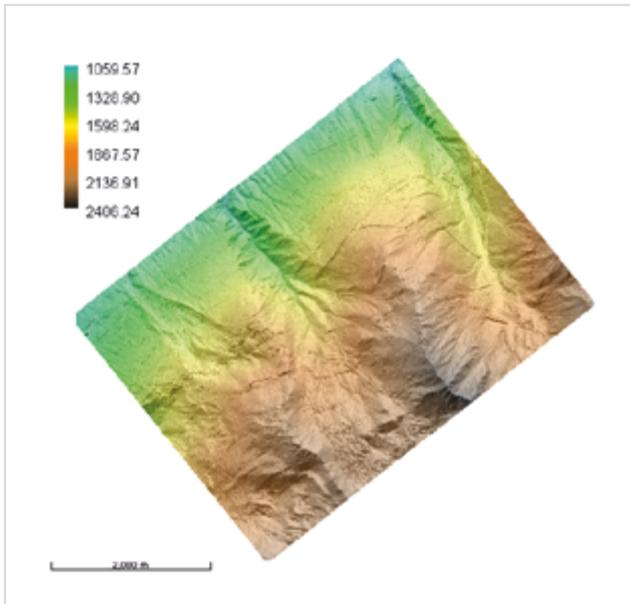


Figura 27: Modello digitale del terreno DTM della zona di studio della Valle Aurina e particolare della nuvola di punti in corrispondenza di un plot rilevato.

L'applicazione dei modelli sviluppati per l'estrazione delle singole piante dai dati LiDAR ha dato risultati estremamente buoni su entrambe le aree di studio e superiori a quelli disponibili in letteratura. In particolare, la percentuale di alberi correttamente estratti varia dal 70% all'80% per le conifere e dal 60% al 70% per le latifoglie. Considerando il volume di biomassa, in entrambe le zone di test il volume totale estratto è molto prossimo a quello misurato in campo, con una leggera sovrastima che risulta maggiore nel caso delle latifoglie, mentre il volume dei soli alberi correttamente estratti varia dal 70% al 90% per i boschi di conifere e dal 65% all'80% per le latifoglie.

Un laboratorio mobile per attività di monitoraggio culturale

Fabrizio Mazzetto, Raimondo Gallo, Gianluca Ristorto, Renato Vidoni, Libera Università di Bolzano

Quando le tecnologie di telerilevamento vengono applicate al monitoraggio della vegetazione a livello di singola parcella coltivata si parla, più propriamente, di attività di *monitoraggio culturale*. Questo, insieme al *monitoraggio operativo*, rappresenta una delle principali funzioni chiave della cosiddetta agricoltura di precisione, specie quando viene eseguita con metodi automatizzati facenti un largo uso di tecnologie informatiche. A scala di parcella, il monitoraggio culturale è talvolta denominato anche "*scouting elettronico*", proprio ad indicare la possibilità di sostituire la ricognizione diretta di un esperto con metodi automatizzati, spesso anche in grado di cogliere elementi dello stato culturale non ravvisabili attraverso un rapido "colpo d'occhio". Questo monitoraggio, pertanto, assume un'importanza fondamentale nel realizzare forme di management avanzate proponibili attraverso nuove forme di *sistemi informativi* appositamente pensati per le aziende agricole. Si passa, così, da forme di monitoraggio con valenza ambientale a forme di monitoraggio a *valenza prettamente gestionale*, dato che i risultati delle indagini eseguite dovranno poi essere immediatamente utilizzati dalla singola impresa in decisioni relative alle modalità di intervento sulle colture in atto.

Nelle imprese viticole e frutticole, l'importanza di tale prassi diventa ancor più evidente per la presenza delle coltivazioni a filari, che implicano anche uno sviluppo verticale della canopy, ovvero porzione aerea della chioma a funzione produttiva. Qui le applicazioni RS prendono anche il nome di *Proximal Sensing* (per le ridotte distanze di osservazione tra sensore e organo bersaglio) o addirittura *Ground Sensing*, quando i sensori sono portati da vettori che si muovono direttamente all'interno dei filari. Tale approccio consente di: 1) eseguire indagini *side-view* con viste più complete degli organi produttivi (aree fruttifere) sulle pareti verticali dei filari, di norma non ottenibili con indagini *top-view* tipiche delle applicazioni RS convenzionali; 2) fornire dettagli anche molto elevati sui singoli organi vegetali, potenzialmente utilizzabili in future applicazioni di automazione dei processi di campo secondo logiche sito-specifiche (trattamenti, potature, cimature e raccolte).

A tale scopo, nell'ambito del progetto MONALISA il Laboratorio di Innovazioni AgroForestali (LIAF) della Libera Università di Bolzano ha inteso sviluppare un laboratorio mobile di nuova concezione in grado di eseguire attività di monitoraggio culturale secondo metodi *Ground Sensing* in frutteto (Fig. 28).

Questa soluzione, denominata **ByeLab** (*Bionic eye Laboratory*), realizza un sistema di visione integrato montato su un supporto cingolato tele-operato per potersi destreggiare con estrema facilità all'interno dei filari anche

in condizioni di terreno difficile (presenza di fango, pendenze, accidentalità). La sua architettura è stata concepita per svolgere ricognizioni *side-view* a diversi livelli di dettaglio (regolabile in base alle frequenze di acquisizione e alle velocità di avanzamento), potenzialmente elevabili fino al riconoscimento dei singoli frutti in vista di future applicazioni per l'automazione delle fasi di raccolta. Utilizza i dati contestualmente acquisiti da sensori ottici di diversa natura (multispettrali e LiDAR) per integrare informazioni indispensabili per identificare sia la presenza di stress vegetativi, sia la forma ed il volume delle piante coltivate. Le informazioni "viste" da questi occhi bionici, sincronizzate con i dati registrati da un sistema di posizionamento satellitare ad alta precisione, permettono così di ricostruire mappe di vigore a diversa risoluzione, fino ad identificare le eventuali piante in stato di sofferenza, allertando così l'agronomo o l'agricoltore per un suo pronto intervento. Le elaborazioni dei dati portano alla creazione di mappe 2D o 3D dell'appezzamento monitorato, ottenendo la raccolta di informazioni storiche sulla salute delle colture.

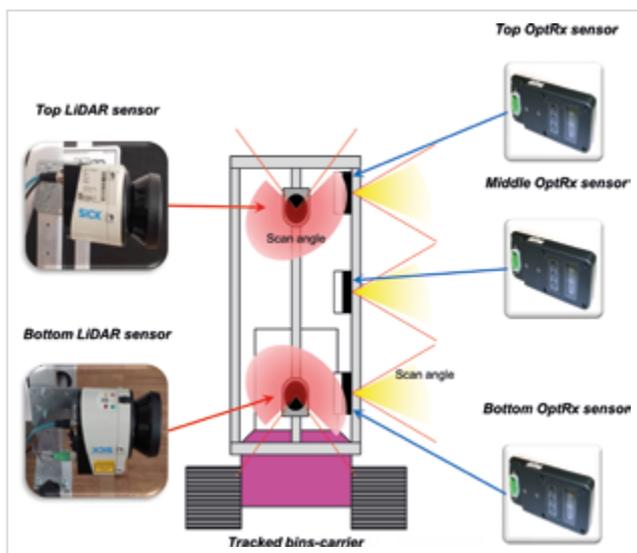


Figura 28: Schema costruttivo del prototipo **ByeLab** realizzato per svolgere attività di monitoraggio colturale in vigneti e frutteti secondo logiche Ground Sensing. Si tratta di un laboratorio mobile costituito da un telaio montato su una motrice cingolata teleoperata a trazione elettrica, in grado di svolgere rilievi *side-view* potendosi muovere direttamente in mezzo ai filari delle coltivazioni con i sensori ottici direttamente puntati verso la parete verticale delle chiome (canopy).

Il telaio è equipaggiato con 3 paia di sensori ottici multispettrali a luce pulsata (ovvero, le misure della riflessione della luce si basano su raggi luminosi generati dai sensori stessi e non richiedono, pertanto, particolari interventi di calibrazione).

Una coppia top-bottom di sensori LiDAR contrapposti misura invece le distanze tra i sensori stessi e gli organi vegetali. La coppia di sensori offre una visione stereoscopica degli organi stessi. Combinando la lettura di queste distanze con quelle svolte in filari adiacenti si ottiene, per differenza rispetto alle distanze interfilari, il volume della canopy.

Il ByeLab è stato sottoposto a prove sia di laboratorio sia di campo. Le prime hanno avuto lo scopo di mettere a punto: a) i componenti hardware del sistema di acquisizione e di elaborazione dei dati; b) gli effetti delle vibrazioni dovute a condizioni di asperità controllate del fondo di transito; c) gli algoritmi di interpretazione degli stessi, con un focus sulle mappe di vigore, sulla diagnosi preliminare di eventuali focolai patogeni, con relativi stati di sofferenza iniziale o avanzata. Le prove hanno dimostrato che vibrazioni di intensità riconducibile alle normali condizioni di un suolo agrario non influenzano significativamente le prestazioni analitiche del sistema. Peraltro, gli stessi sensori ottici utilizzati sono semplicemente in grado di "osservare" gli stati di vigore (fondamentalmente correlati sia all'estensione della superficie fogliare, sia al suo contenuto di clorofilla) senza nulla dire in merito ai dettagli sulle cause di eventuali deviazioni dalla norma. È esattamente come quando si usa il termometro per verificare la propria temperatura corporea: il sensore segnala i livelli di eventuali stati febbrili senza tuttavia dire se si tratta di raffreddore o bronchite. Nel caso del ByeLab, la "misura della febbre" è affidata all'interpretazione integrata dei valori di volume della canopy (ottenuti dalla coppia di sensori LiDAR) e di NDVI (ottenuti dai 6 sensori multispettrali, che misurano la riflettanza dei tessuti vegetali a diverse lunghezze d'onda). Una combinazione di alti livelli di volume della chioma e NDVI indica un sicuro stato di buon vigore, mentre bassi volumi e basso NDVI indicano uno spazio vuoto nella chioma stessa. Gli stati critici di vigore sono tipicamente evidenziati da una combinazione di alti volumi con bassi valori di NDVI. Nei test svolti, tale approccio semplificato si è rivelato estremamente efficace, soddisfacendo pienamente gli obiettivi posti, che devono anche far fronte alla necessità di elaborare enormi quantità di dati in tempi rapidi, specie quando il ByeLab è impiegato in contesti reali di grandi estensioni (Fig. 29).

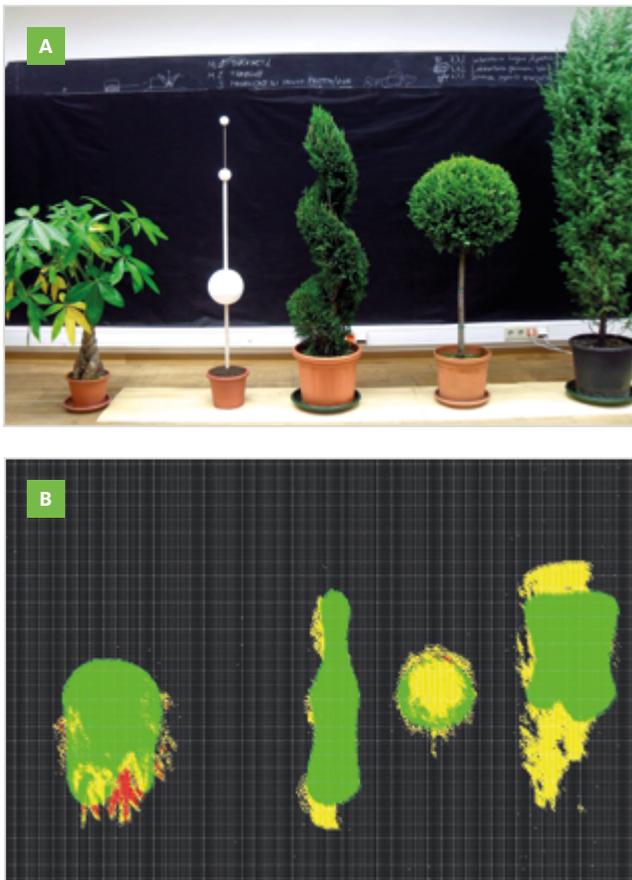


Figura 29: Esempio di risultati di test di laboratorio condotti con il ByeLab. Si sono utilizzate piante di diversa forma (A) per testare la capacità di rilevare variabilità e vigore della canopy da parte del set di sensori ottici utilizzati. I risultati del rilievo sono restituiti graficamente in falsi colori (B). Le tre classi di colore indicano: i) buone condizioni di vigore, con vegetazione piena e in buono stato fisiologico (verde); ii) condizioni di vigore incerto, con possibili stress incipienti o in situazioni di canopy particolarmente rada (giallo); iii) condizioni di stress critiche, probabilmente legate a tessuti necrotici o a stati patologici (rosso). Si noti quest'ultimo caso nella prima pianta da sinistra: il ByeLab evidenzia questa criticità nella parte inferiore della pianta, nonostante le buone condizioni di tutto il resto della chioma. Le strutture non vegetali rimangono del tutto invisibili al sistema (figure geometriche bianche nel secondo vaso da sinistra), così come tutti i fusti legnosi, essendo privi di clorofilla. La terza pianta da sinistra, pur risultando apparentemente in buone condizioni fitosanitarie, è stata sottoposta a stress idrico. L'ultima pianta a sinistra, invece, presenta condizioni miste, con buon vigore ma forte diradamento della chioma nelle porzioni superiori e inferiori della stessa.



Figura 30: Il ByeLab durante le prove in campo

Le prove di campo del ByeLab hanno ulteriormente confermato questi risultati preliminari. Le prove sono state condotte sia in Alto Adige presso i meleti di Castel Fragsburg, Sluderno e Vadena del Centro di Ricerca di Laimburg (Fig.30), sia in vigneti della provincia di Alessandria su richiesta di collaborazione da parte dell'Università del Piemonte Orientale, molto interessata agli sviluppi del progetto MONALISA in merito alle possibilità di individuare patologie tipiche quali il mal dell'esca e la flavescenza dorata. Le applicazioni hanno riguardato sia piccole porzioni di filare sia interi appezzamenti, e hanno consentito di perfezionare il sistema di registrazione dei dati in condizioni reali di funzionamento, anche grazie al potenziamento della scheda di acquisizione sviluppata in collaborazione con l'Università di Udine.

In tal caso, lo scopo è stato anche quello di verificare sia l'identificazione della carica florale primaverile nei meleti, in vista di possibili interventi – contestuali o successivi – di diradamento con logiche sito-specifiche, sia la fattibilità della gestione dei rilievi stessi in vista della notevole mole di dati da trattare. I risultati relativi alla carica florale hanno dimostrato ottime correlazioni con i valori di NDVI: i fiori di melo hanno di norma valori massimi di NDVI inferiori del 20-25% rispetto a quelli riscontrabili su fitte chiome fogliari della stessa varietà. Ciò significa che indagini tardive fatte in compresenza di

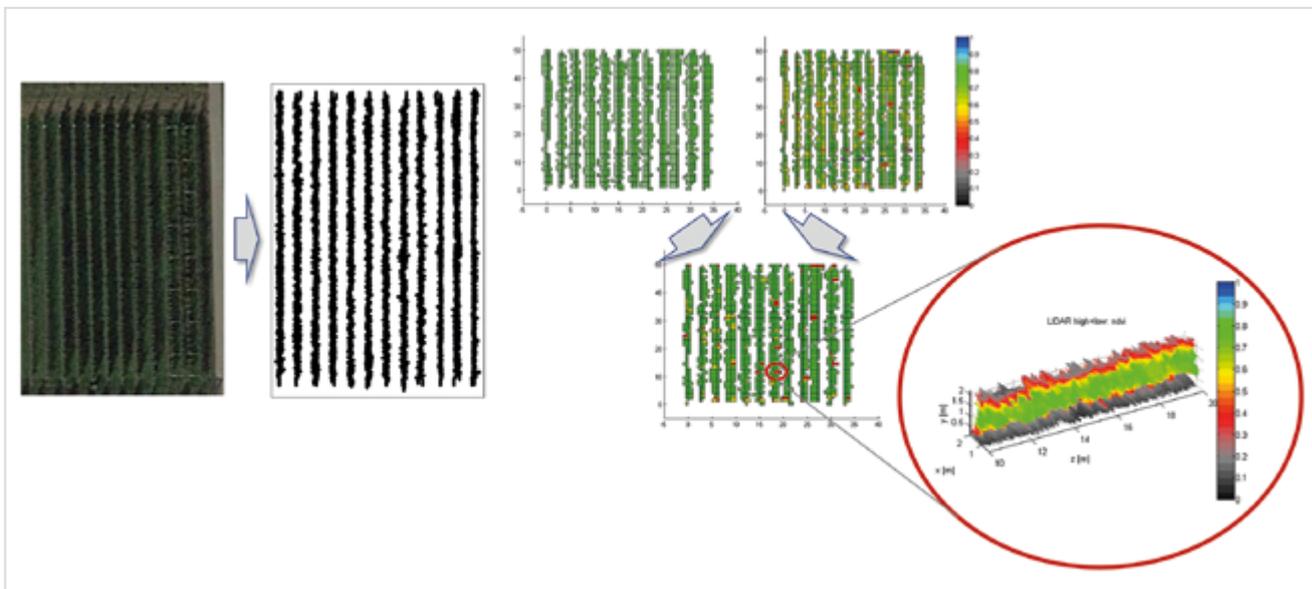


Figura 31: Esempio di monitoraggio colturale a pieno campo. I rilievi sono restituibili attraverso rappresentazioni 2D e 3D. Nel primo caso, si realizzano **mappe tematiche** georeferenziate, in genere riproducibili il vigore o ad altezze predefinite della chioma, o rispetto a fasce di altezze in merito alle quali si computano i valori medi (esempio: fasce fruttifere). Le **rappresentazioni 3D** sono, invece, ricostruibili solo su aree circoscritte di interesse, per le quali si richiedono informazioni più specifiche.

foglie possono ostacolare un'oggettiva stima delle cariche fogliari. Tuttavia, l'esecuzione di monitoraggi tempestivi può fornire mappe tematiche utili per pianificare le intensità di intervento dei trattamenti diradanti.

Il ByeLab, in definitiva, si è rivelato un utile strumento per eseguire attività di scouting elettronico di alta precisione, consentendo di individuare, a vari livelli di dettaglio attraverso mappe tematiche 2D e 3D, aree problematiche su cui concentrare indagini più mirate e specifiche (Fig.31). Per rendere realmente usufruibile tale tecnologia si devono ora percorrere due strade parallele: da un lato, studiare soluzioni per rilievi più rapidi di minor dettaglio da effettuare con strumenti di basso costo, e senza esigenze di manutenzione, direttamente montati sui trattori impiegati nelle operazioni di campo; dall'altro si devono affrontare i tipici problemi dei trattamenti di *big data*, possibilmente prevedendo la gestione e l'erogazione di tecnologie di indagine più complesse e di sofisticate analisi dati attraverso l'organizzazione di opportuni centri servizi.

Irrigare meno per irrigare meglio

In primavera, quando le stazioni climatiche del Centro di consulenza per la frutticoltura – Südtiroler Beratungsring für Obst- und Weinbau registrano temperature vicine allo zero, i contadini ricevono l'avviso di attivare l'irrigazione, in modo da proteggere le gemme appena spuntate e prevenire i danni delle gelate. Questo è uno dei servizi che il

Centro di consulenza per la frutticoltura dell'Alto Adige fornisce ai suoi soci: oltre 6.800 coltivatori di mele, uva, ciliegie e albicocche sparsi su tutto il territorio provinciale. Per offrire ai propri associati informazioni sempre più precise, il Centro di consulenza ha contattato il team di MONALISA con una richiesta specifica: quella di convalidare, attraverso valori reali misurati sul campo, le stime elaborate dai propri tecnici e perfezionare così i consigli che vengono dati ai contadini su quando e quanto irrigare. L'Istituto per l'ambiente alpino di Eurac Research ha risposto a questa esigenza installando una rete di sensori per misurare l'umidità del terreno. Questi sensori sono stati integrati, anche grazie a ulteriori fondi ottenuti attraverso gli investimenti ambientali delle centrali idroelettriche, nella rete di monitoraggio della temperatura utilizzata dal Centro di consulenza. Nella valle dell'Adige, tra Salorno e Silandro, sono state attrezzate 19 stazioni climatiche con più di 40 sensori. I dati raccolti da Eurac Research in queste stazioni sono sincronizzati con quelli elaborati dal Centro di consulenza per la frutticoltura e i due enti stanno lavorando per sviluppare un sistema di allerta che avvisi i contadini quando i valori dell'umidità si avvicinano a una soglia critica. Lo scopo di questo servizio è duplice: da una parte garantire la salute delle piante e quindi la qualità del raccolto, dall'altra sensibilizzare i contadini al risparmio idrico. Spesso infatti i coltivatori attivano gli impianti di irrigazione per tutta la durata del periodo di concessione, seguendo un criterio di disponibilità dell'acqua più che di effettiva necessità. "Tenendo sotto controllo il livello di umidità del terreno, in certi meleti sarebbe possibile ridurre della metà il consumo di acqua senza compromettere la qualità delle mele", spiega Georg Niedrist, ecologo di Eurac Research. Per raggiungere questo obiettivo, i ricercatori hanno intenzione di estendere la rete di monitoraggio ad altre aree della provincia caratterizzate da diversi tipi di suolo e di esposizione al sole.

L'AUTOMAZIONE DEL MONITORAGGIO OPERATIVO E I QUADERNI DI CAMPAGNA INFORMATIZZATI

Fabrizio Mazzetto, Raimondo Gallo, Libera Università di Bolzano

In questo capitolo: Tenere aggiornati i registri delle attività di campo effettivamente svolte in un processo produttivo agroforestale... che noia! Chi lo fa? E soprattutto: si deve proprio fare? La risposta a quest'ultima domanda deve essere senz'altro affermativa. Per due motivi: il primo è che ormai anche la legislazione europea e nazionale impone di annotare in modo formale su dei registri le modalità con cui si sono eseguite alcune operazioni di campo, specialmente quelle che prevedono la distribuzione di prodotti potenzialmente inquinanti o tossici (fertilizzazioni organiche, trattamenti fitosanitari). Il secondo è che una corretta conoscenza di ciò che è stato realmente fatto è ormai condizione indispensabile per una corretta gestione delle pratiche agricole. È l'unico modo per capire eventuali errori gestionali da correggere negli interventi successivi, migliorando l'organizzazione del lavoro e con una piena consapevolezza dei costi di produzione. È il presupposto per garantire forme di tracciabilità di processi e prodotti. In definitiva, è ormai una condizione indispensabile per garantire una gestione di qualità dei processi produttivi. "Qualità" è innanzitutto "informazione". E l'acquisizione automatica dell'informazione agevola la messa in essere di un sistema di qualità anche nel settore agroforestale. Ciò però richiede la presenza di tecnologie e metodi di lavoro propri di sistemi informativi di nuova concezione. E sono proprio questi gli aspetti trattati in questa parte del progetto MONALISA.

Con il termine *monitoraggio operativo* si intendono tutte quelle attività svolte col fine di osservare, rilevare e documentare le principali informazioni indispensabili per avere, a posteriori, un quadro generale esaustivo delle modalità con cui sono stati eseguiti i processi di campo finalizzati ad una specifica produzione agraria, zootecnica o forestale.

Le attività di monitoraggio operativo sono tra le più complesse da compiere. Non tanto per una difficoltà intrinseca del monitoraggio in sé, quanto piuttosto per organizzare sistematicamente delle attività di registrazione per eventi a cadenza non regolare, spesso soggetti a variazioni di *scheduling* e di norma *delocalizzati* in vaste porzioni di territorio, per cui non si ha immediatamente a portata di mano la possibilità di verificare direttamente lo stato di esecuzione dei lavori.

In questo tipo di monitoraggio prevalgono i *processi di identificazione* rispetto a quelli di *misura*. Infatti, per ricostruire in modo completo un evento si devono identificare: 1) *aspetti temporali* (data e durata), 2) i principali attori

che vi hanno preso parte: *motrice*, *operatrice* (ovvero, tipo di operazione svolta), *esecutore* (non obbligatorio, per ragioni di normativa sulla privacy), 3) *luogo di lavoro*, 4) *quantità di lavoro eseguito*, 5) *modalità di esecuzione* (ovvero, articolazione delle fasi di lavoro), 6) *consumi di combustibile* ed eventuali *materiali* coinvolti (raccolti o distribuiti).

È intuitivo come la **ricostruzione automatica di un evento** possa agevolare notevolmente la gestione di un qualunque tipo di sistema informativo aziendale, specie nelle aziende agro-forestali, anche perché la sequenza degli eventi delle attività realmente eseguite può fungere da framework di riferimento a molte altre tipologie di informazioni in uso presso l'impresa, oltre a rappresentare la base della "**memoria storica**" dell'impresa stessa. L'automazione del monitoraggio operativo è oggi possibile attraverso i *quaderni di campagna informatici (QCI)*. Si tratta di dispositivi di registrazione che, con diverso grado di dettaglio, ricostruiscono in modo oggettivo i registri delle operazioni aziendali attraverso il riconoscimento automatico parziale o totale dei vari attori coinvolti. A seconda dei dati registrati in modo persistente nell'archivio delle informazioni aziendali, si va da una mera lista temporale di attività, alla possibilità di visionare per ciascuna di esse un'animazione grafica su mappa digitalizzata delle varie dinamiche di esecuzione dei lavori.

I sistemi di registrazione adottabili per l'automazione del monitoraggio operativo possono avere diversi livelli di complessità tecnologica (Fig.32). Un componente di fatto ormai essenziale - per motivi di completezza, praticità e convenienza - è un sistema di posizionamento satellitare, cui si possono poi aggiungere diversi dispositivi per arricchire il profilo informativo di ciascun evento analizzato. Nella versione più completa, essi utilizzano anche processi di identificazione automatica a distanza (con ricognizione a corto raggio): trattori e macchine operatrici - opportunamente attrezzati - si comportano, rispettivamente, come sistemi ricognitori (e di registrazione dati) e oggetti da riconoscere. Quando si usano i sistemi di identificazione, i QCI sono detti a ricognizione autonoma. In caso contrario, sono a ricognizione assistita (il tipo di operazione deve essere inserito manualmente da un responsabile).

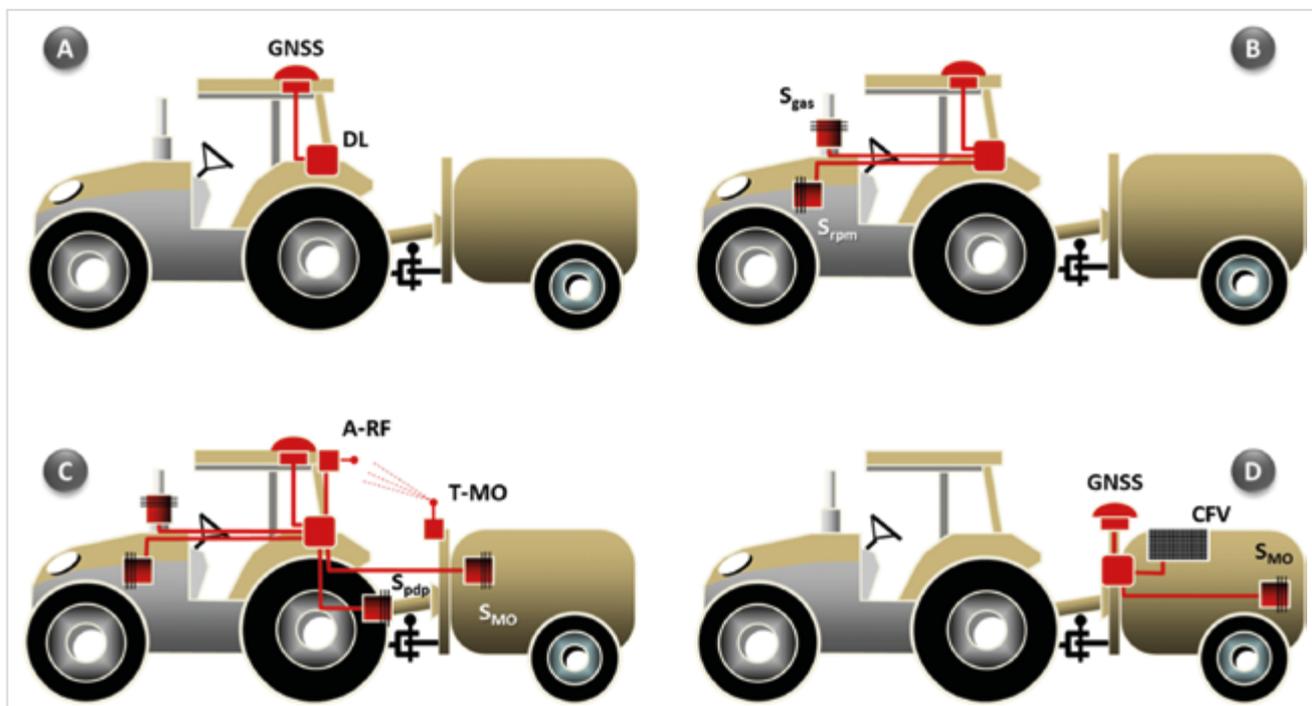


Figura 32: Possibili architetture costruttive di sistemi di acquisizione dati per l'automazione del monitoraggio operativo. Le soluzioni A, B e C sono di tipo tractor-oriented, coi dispositivi di acquisizione installati sul trattore. La soluzione D è di tipo implement-oriented avendo i dispositivi installati direttamente a bordo dell'operatrice. La soluzione C è dotata di un sistema di identificazione per la ricognizione autonoma delle operazioni svolte. Le architetture sviluppate nell'ambito del progetto MONALISA hanno prevalentemente fatto riferimento a soluzioni di tipo B (monitoraggi forestali) e C (monitoraggi in vigneti e frutteti).

DL = data logger; GNSS = ricevitore per sistema di posizionamento satellitare; SX = sensori per aspetti del funzionamento del trattore (giri motore, temperatura gas di scarico, pdp) o dell'operatrice; T-MO = trasmettitore di codice identificativo della macchina operatrice (in RF); A-RF = ricevitore che identifica i codici trasmessi; CFV = celle fotovoltaiche

operative permettono la realizzazione di archivi storici, presupposto indispensabile per l'attuazione di pratiche di **agricoltura e selvicoltura di precisione**.

I risultati del progetto si sono concretizzati in una serie di prodotti sia *hardware* sia *software*, idealmente integrati in un unico sistema schematicamente descritto in Fig. 33.

Nell'ambito del progetto MONALISA sono state sviluppate inedite soluzioni di monitoraggio operativo per aziende agricole (frutticole e viticole) e forestali. Come già accennato, infatti, nel monitoraggio ambientale a scala di campo o parcella emergono fortemente le priorità degli aspetti gestionali, da soddisfare attraverso soluzioni in grado di integrarsi modularmente in un unico sistema informativo aziendale. In tale ambito, pertanto, l'obiettivo principale diventa quello di realizzare sistemi avanzati di *information management* per la direzione aziendale, mettendo l'impresa in grado di creare un registro delle attività con informazioni oggettive e realistiche, quotidianamente aggiornato in maniera automatica, consultabile ogni qualvolta la direzione gestionale o l'imprenditore lo richieda. L'applicazione di questo sistema non rende più necessaria la presenza di un responsabile per l'inserimento dei dati. Così facendo, si evita il rischio di possibili errori compilativi e si rendono le procedure di monitoraggio più snelle, efficaci e veloci. Inoltre, il salvataggio e la gestione di tutte queste informazioni

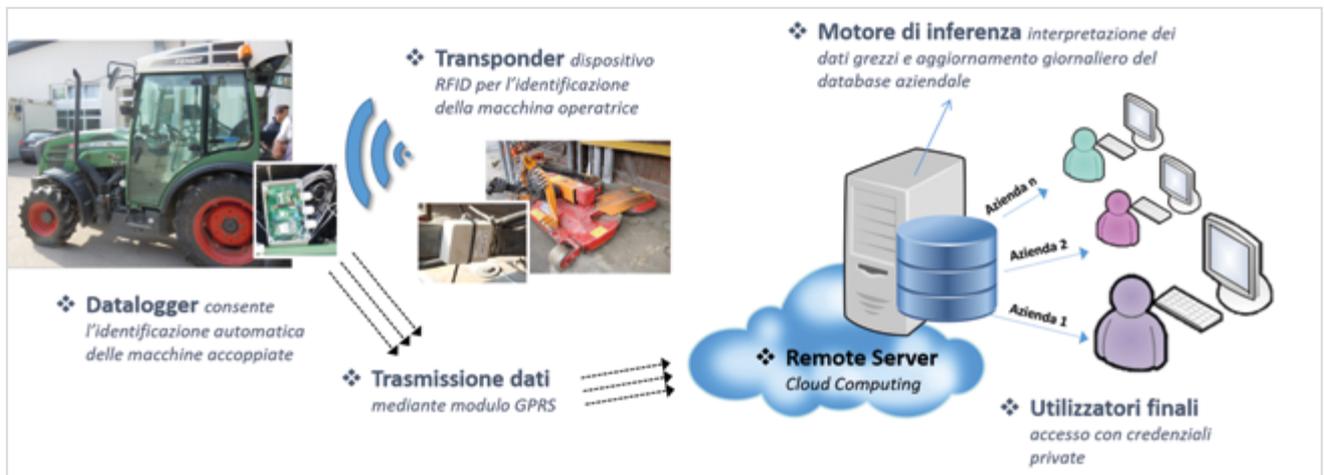


Figura 33: Schema generale del sistema di automazione del monitoraggio operativo realizzato per le aziende agro-forestali. Le macchine impiegate nei processi di campo sono equipaggiate con **data-logger** che consentono sia di riconoscere le macchine operatrici impiegate (attrezzate con propri sistemi di identificazione), sia di registrare i principali parametri operativi di interesse per le attività svolte. I dati sono poi trasmessi via **wireless** (UMTS/GPRS) ad un server remoto che realizza una connettività in stile **Cloud Computing**. L'interpretazione dei dati e la preparazione dei report di sintesi sono svolte centralmente da un motore di inferenza. Le macchine possono far parte di molteplici aziende, ciascuna provvista di un proprio dominio ad accesso riservato per le proprie consultazioni. Queste sono rese possibili da un apposito **web-client** che mette a disposizione i principali dettagli di sintesi delle attività svolte nella propria azienda. In tal modo, ogni impresa vede realizzarsi i propri **quaderni di campagna** senza alcuna attività diretta di immissione dati da parte di personale responsabile.

Nel caso delle operazioni eseguite da trattori e semoventi, la registrazione fisica dei dati di processo avviene attraverso dei data-logger installati sui trattori stessi e aventi caratteristiche simili alla soluzione schematizzata in Fig. 32C. Pertanto, i trattori fungono anche da sistemi riconoscitori nei confronti delle macchine operatrici, essendo queste identificate automaticamente grazie a dei trasmettitori di codice in radio frequenza (RF, o *transponder*) con cui sono equipaggiate. Tutti i dispositivi si *attivano automaticamente* in presenza di vibrazioni, grazie a dei semplici accelerometri interni, in tal modo garantendo sia i requisiti di sicurezza nella completezza dei dati (che i QCI si prefiggono, appunto, di soddisfare), sia notevoli risparmi di batteria nel caso dei trasmettitori di codice delle macchine operatrici non direttamente alimentati dagli accumulatori dei trattori.

I dati acquisiti sono momentaneamente memorizzati in una memoria tampone del data-logger, che consente fino a 100 ore di registrazione. Tuttavia, i dispositivi sono dotati anche di UMTS/GPRS-modem per l'invio dei dati in continuo verso un server remoto, consentendo pertanto la connettività dei sistemi a un'unità di elaborazione unica gestita da un **centro servizi**. Tutte le varie tipologie di dati acquisiti vengono sequenziate in un unico record strutturato secondo un predefinito *protocollo di registrazione*. Viene registrato un record completo ogni 5 secondi

(tale tempo, pertanto, rappresenta la massima risoluzione del sistema). La sincronizzazione della comunicazione tra dispositivi in campo e server è stata ottimizzata (considerando la pessima copertura della rete cellulare nelle zone rurali e montane) in modo da minimizzare la perdita di dati. Il data-logger verifica la copertura di rete e nel caso essa sia adeguata trasmette i dati dalla memoria tampone al server mediante *pacchetti di comunicazione* di 10 record ciascuno. L'integrità di ogni invio di dati viene verificata da apposite procedure di controllo. In caso di insuccesso, la trasmissione è ripetuta ogni minuto per almeno 5 volte fintanto che non si risolvono i problemi di connettività. In caso di problemi persistenti, interviene comunque la memoria tampone del data-logger.

Una volta raggiunto il server, tutti i dati grezzi vengono memorizzati in un database centralizzato, che gestisce attraverso regole comuni ed in modo automatico le successive elaborazioni attraverso un **motore di inferenza**. Si tratta di un insieme di procedure basate su algoritmi matematici, statistici e spaziali mediante i quali i dati grezzi, raccolti durante le operazioni di campo, sono analizzati ed interpretati con l'obiettivo di ottenere informazioni intellegibili riguardanti le operazioni svolte ed utili per intraprendere ulteriori decisioni sul piano gestionale (Fig.34). I risultati sono, pertanto, utilizzati nella compilazione automatica dei report delle attività di campo consultabili per successive decisioni organizzative.



Figura 34: Esempio di applicazione del motore di inferenza per il monitoraggio operativo su attività di trattamenti anticrittogamici in meleto. L'obiettivo è quello di interpretare le **tipologie di attività** svolte in una sessione di lavoro (SL) unitamente alle relative **modalità di esecuzione** (fasi di lavoro, tempi e consumi di combustibile).
A: Ogni singolo fixing rappresenta il minimo stato elementare (SE) dell'attività; la sequenza degli SE su mappa visualizza l'intero percorso svolto.
B: Ogni SE viene innanzitutto classificato come **lavoro effettivo, sosta o transito** in base a parametri che valutano i valori istantanei di velocità e direzione.

C: Un'ulteriore analisi basata sulla contiguità spaziale con altri SE fissa le porzioni di spazio in cui si sono eseguite: **passate, contigue, parallele**. Una successiva clusterizzazione individua poi le relative aree interessate che vengono, quindi, sovrapposte (intersecate) con le aree preregistrate delle unità di coltivazione (**crop unit**).
D: Infine, un'ultima procedura calcola il **grado di copertura** del lavoro nella SL sulla superficie delle singole crop unit individuate al punto precedente.



Figura 35: Esempio di visualizzazione ottenuta con l'ultima versione dell'interfaccia web-client realizzata nell'ambito del progetto MONALISA per la consultazione delle informazioni derivanti da monitoraggio operativo automatizzato. Di fatto, tale interfaccia rappresenta l'accesso ad un sistema informativo aziendale remoto in prospettiva gestibile da un **centro servizi**. Tali interfacce devono necessariamente supportare strumenti per la consultazione di mappe digitali (GIS) che consentono rappresentazioni cartografiche su più **layer** (ovvero su più strati informativi, ciascuno con un proprio **contenuto tematico** georeferenziale). La consultazione avviene, di norma, per singola sessione di lavoro. L'esempio si riferisce a una sessione relativa a un trattamento anticrittogamico in meleto. I layer analizzabili in figura riguardano: 1) lo **sfondo** su mappa tematica (eventualmente sostituibile con mappa satellitare per avere dettagli come quelli osservabili in Fig.34A); 2) le mappe delle unità di coltivazione (poligoni a contorno rosso); 3) i fixing relativi ai dati grezzi dell'attività analizzata nella sessione (punti gialli). Questi ultimi sono consultabili anche attraverso una **procedura di animazione**, in modo da rivedere la dinamica di svolgimento dell'attività selezionata. Il sistema mette a disposizione anche finestre di selezione (liste, calendari ecc.) per una scelta più rapida delle attività da consultare. Si possono, infine, evidenziare i dettagli operativi con informazioni relative a risorse impiegate, materiali e combustibili consumati, articolazione delle fasi di lavoro.

La piattaforma client-server consente di connettere le macchine di più aziende ad uno stesso sistema centralizzato. Ad ogni azienda viene riservato un proprio dominio di accesso per le consultazioni attraverso appositi **strumenti web-client**. Durante il corso del progetto sono state rilasciate diverse versioni di tali strumenti software. Esse, ovviamente, sono in continua evoluzione rappresentando - di fatto - l'interfaccia diretta tra utente finale e sistema informativo aziendale; come tale, destinata ad arricchirsi di ulteriori funzioni in base alle esigenze informative degli imprenditori agro-forestali, da imple-

mentarsi attraverso nuove interrogazioni e relative procedure di calcolo sui dati estraibili dal database aziendale (Fig.35).

Anche le applicazioni svolte in **ambito forestale** hanno seguito approcci analoghi con lo scopo di sviluppare sistemi innovativi per il monitoraggio automatizzato delle operazioni di abbattimento e di esbosco del materiale legnoso. I dispositivi realizzati nelle operazioni di **trasporto ed esbosco** con trattori attrezzati con verricello sono del tutto identici a quelli utilizzati in campo agrario descritti in precedenza. Per il monitoraggio delle attività di raccolta eseguite con **gru a cavo** e **motosega** si sono, invece, realizzati dispositivi specifici.

Nel caso delle **gru a cavo**, l'obiettivo è stato quello di abbinare all'analisi dei cicli di trasporto anche la possibilità di avere stime sulle **masse legnose** movimentate in ogni ciclo (Fig.36). Per tale motivo si è dovuti intervenire su: 1) la realizzazione di un dispositivo di monitoraggio del tipo concettualmente indicato in Fig.32B (ove il trattore è qui sostituito dalla gru a cavo), con sensori per stimare le masse trasportate; 2) la modifica delle regole del motore di inferenza per la stima delle masse di legname trasportato fuori dal bosco e dei tempi complessivi delle principali quattro fasi di lavoro: *i*) viaggio di andata senza carico, *ii*) concentrazione del legname e aggancio dello stesso alla gru, *iii*) esbosco (ovvero, viaggio di ritorno con carico), *iv*) sgancio all'impasto.

Si sono, in merito, utilizzati due tipi di sensori: a) un dinamometro (cella di carico) per misurare la forza peso risultante in fase di trasporto, e b) un inclinometro per misurare l'angolo di inclinazione del cavo di aggancio rispetto alla verticale al suolo durante il trasporto stesso.

Tale approccio deriva dal fatto che nelle condizioni reali di lavoro la misura delle masse trasportate non è mai cosa semplice e di immediata realizzazione: infatti la misura ideale sarebbe possibile solo col legname perfettamente sospeso da terra e a carrello fermo, mentre in realtà il legname - con la sua estremità opposta al punto di aggancio - viene spesso fatto strisciare e i movimenti del carrello, combinati con la flessibilità dei cavi della teleferica, generano vibrazioni che interferiscono con misure precise. In definitiva, si tratta di rilievi affetti da notevole "rumore" e il ruolo dell'utilizzo contestuale dei due sensori è proprio quello di sfruttare tale rumore per arrivare a una stima delle masse in gioco. Le misure di peso e inclinazione sono, quindi, trattate da un modello che tiene conto di tutti questi effetti combi-

nati. I risultati sono stati più che soddisfacenti con correlazioni molto alte ($R^2 > 0,92$) tra masse stimate e realmente osservate. Lo stesso dicasi per i risultati relativi all'analisi dei tempi di lavoro con rilievi molto precisi in ogni fase e scarti minimi rispetto agli stessi tempi rilevati manualmente con cronometro. Pertanto, tale sistema si rivela un dispositivo completo ed affidabile per il monitoraggio delle attività di esbosco con teleferiche, consentendo una tracciabilità completa ed automatica di tempistiche e produttività del lavoro. I problemi che rimangono ancora da risolvere riguardano aspetti connessi all'ingegnerizzazione dei dispositivi elettronici da utilizzare, che richiedono una miniaturizzazione e sistemi di protezione che non devono interferire con la manualità dei boscaioli.

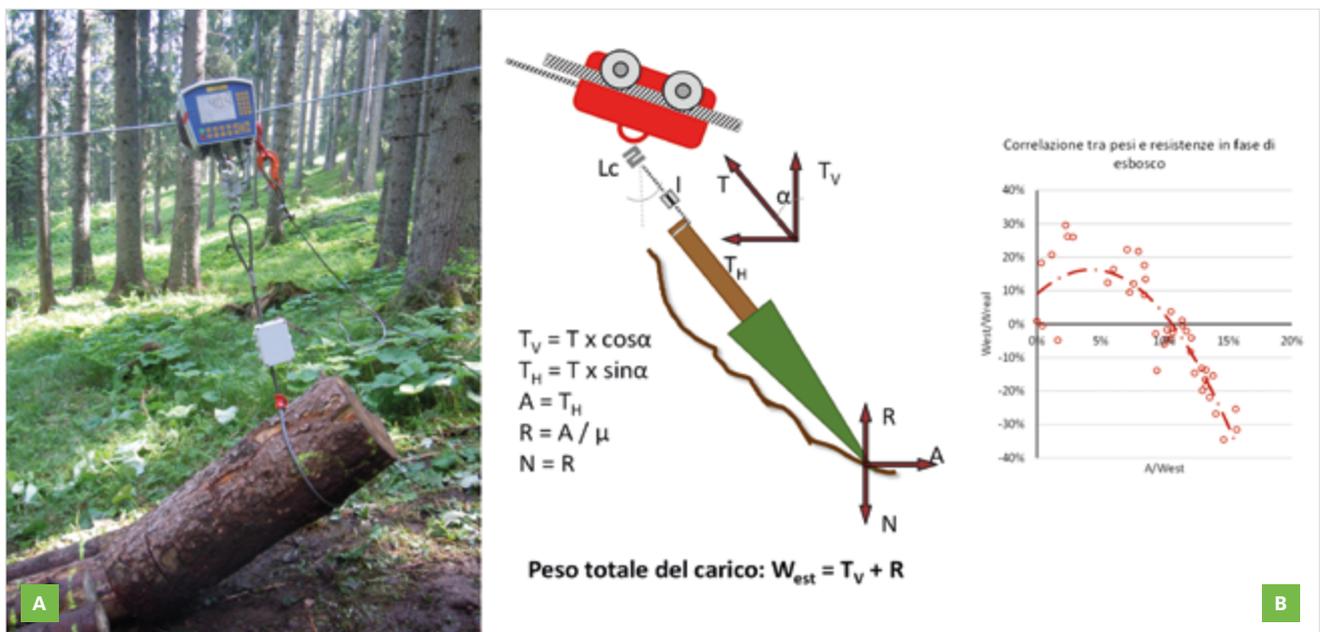


Figura 36: Monitoraggio operativo sulle operazioni di esbosco con gru a cavo. L'obiettivo è quello di stimare i tempi delle diverse fasi di lavoro, nonché le masse trasportate in ogni ciclo di trasporto. **A:** primo prototipo sviluppato, utilizzato per modellare il comportamento dinamico del sistema in fase di trasporto; oltre ad un dispositivo di posizionamento satellitare, si utilizzano due sensori per la misura dei pesi gravanti sul carrello (T_x) e l'angolo di inclinazione del cavo di aggancio rispetto alla perpendicolare al suolo (α). **B:** impostazione modellistica delle dinamiche di trasporto; le principali incognite del problema rimangono le resistenze del suolo conseguenti allo strisciamento dei tronchi trasportati; si sono, pertanto, condotti studi preliminari per stimare tali effetti in diverse condizioni di sottobosco. **C:** confronto tra le masse dei tronchi reali (misurate manualmente) e stimate dal sistema. Nelle diverse condizioni di prova si sono sempre osservate correlazioni molto elevate ($R^2 > 0,92$)

Nel caso delle **motoseghe**, infine, ci si è posti l'obiettivo di utilizzare i dati ottenibili dalle loro condizioni di lavoro per stimare: 1) la *posizione* degli alberi abbattuti; 2) il *volume* degli stessi; 3) i *tempi di lavoro* per l'abbattimento e le successive sramature. Per questi attrezzi si sono così dovuti progettare data-logger ad hoc, avendo a

disposizione spazi estremamente limitati e per non andare ad alterare l'operatività dei boscaioli con dispositivi aggiuntivi troppo pesanti ed ingombranti, con conseguenti affaticamenti e riduzione di visibilità del sistema di taglio. I principali componenti del sistema di acquisizione hanno riguardato: a) un ricevitore miniaturizzato per *posizionamento satellitare*, comunque di buona precisione dovendo sempre lavorare in condizioni di sottobosco; b) una *piattaforma inerziale* in grado di misurare le *inclinazioni* dello strumento e le intensità di *vibrazioni* rispetto a tre assi di riferimento (Fig.37).

Il principio del dispositivo per la stima volumetrica delle piante da abbattere si basa sulla relazione tra il tempo necessario al taglio e il diametro dell'albero. Il sistema opera basandosi sul fatto che il boscaiolo quando taglia mantiene la leva dell'acceleratore sempre completamente aperta, con il motore funzionante al massimo numero

di giri. Analizzando la durata delle vibrazioni, corrispondenti al regime massimo, è possibile misurare il tempo in cui la motosega opera in condizioni di taglio effettivo. *Tale tempo è direttamente proporzionale al diametro del tronco* nel punto di taglio (da cui si risale poi al volume dell'intera pianta). La piattaforma inerziale misura sia l'ampiezza delle vibrazioni, sia l'inclinazione della motosega durante le operazioni di taglio. Le informazioni ottenibili, se incrociate con supporti cartografici, danno la possibilità di redigere mappe tematiche di produttività e redditività delle operazioni di esbosco, utili sia per pianificazioni future, sia per tener conto dell'aggiornamento dei lavori realmente eseguito in merito ai piani di abbattimento in atto. Anche in questo caso, le prove finora svolte hanno evidenziato buone correlazioni tra parametri stimati e dati misurati manualmente ($R^2 > 0,85$), confermando la validità delle ipotesi assunte.

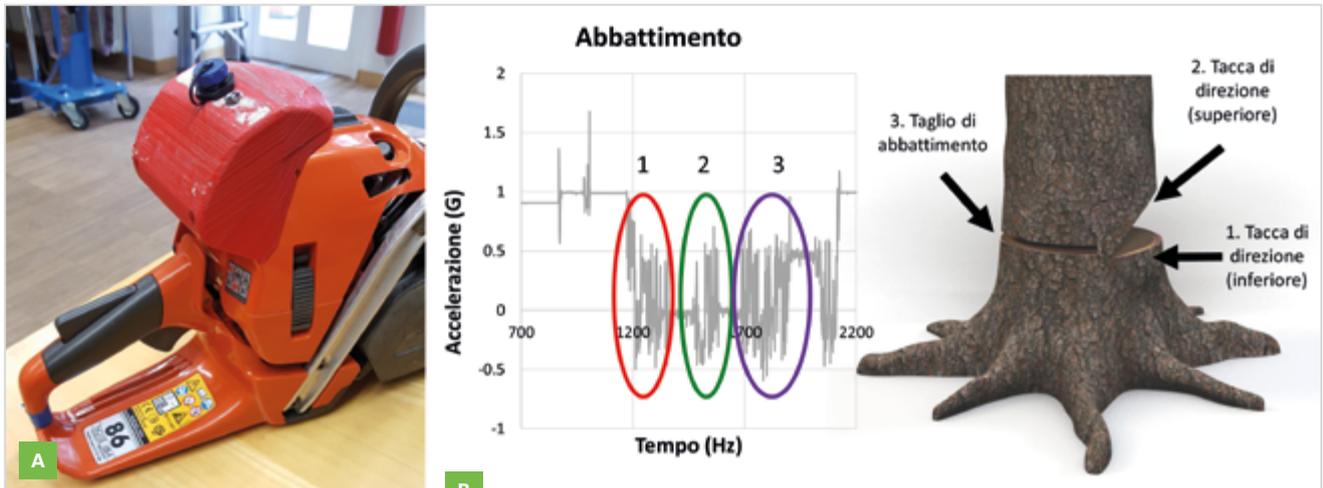


Figura 37: Monitoraggio operativo sulle operazioni di taglio e sramatura effettuate con motosega. **A:** vista del prototipo sviluppato, incollato con guscio protettivo ottenuto da stampante 3D per potersi adattare perfettamente al carter della motosega, onde garantire una perfetta aderenza strutturale, a garanzia di assenza di vibrazioni e minimi ingombri per non interferire con la qualità del lavoro dei boscaioli. I circuiti all'interno del guscio incorporano: i) ricevitore per posizionamento satellitare; ii) accelerometri triassiali per misure di inclinazione e vibrazioni; iii) memorie di registrazione. **B:** esempi di registrazione di vibrazioni e loro corrispondenza coi tagli effettuati. Qui il motore di inferenza provvede a misurare i tempi totali di taglio per correlarli poi al diametro dei tronchi e al volume complessivo delle piante.

In definitiva, gli incoraggianti risultati ottenuti su tutti i fronti del monitoraggio operativo evidenziano la bontà delle soluzioni e tecnologie proposte dalla ricerca. È grazie a questi dispositivi che gli imprenditori agro-forestali, senza alcuno sforzo e perdita di tempo, saranno in grado di monitorare i livelli di produttività ed efficienza delle proprie aziende, ottenendo importanti informazioni per il miglioramento gestionale e logistico dell'impresa.

Quaderni di campagna

Alla fine di una giornata di lavoro, Karl parcheggia il trattore e accende il computer. Sullo schermo controlla per quanto tempo il trattore è stato in funzione, quale percorso ha compiuto, quali piante ha irrorato e quanto prodotto ha consumato. Praticamente consulta un “quaderno di campagna” che si è autocompilato grazie ai dati che i dispositivi installati sul trattore hanno trasferito a una centrale. Alla realizzazione di questo progetto ha lavorato il gruppo di ricerca di Fabrizio Mazzetto, professore di Meccanica e meccanizzazione Agro-Forestale alla Libera Università di Bolzano. I ricercatori hanno lavorato a stretto contatto con imprenditori agricoli, ditte private che sviluppano componenti elettronici, centri di ricerca ed enti potenzialmente interessati a offrire in futuro questo servizio di monitoraggio. I prototipi sono stati testati e oggi sono disponibili in una versione di pre-ingegnerizzazione.

La risposta da parte degli utenti è stata positiva. “Le nuove disposizioni europee fissate nel PAN (Piano Agricolo Nazionale) obbligano gli agricoltori a compilare un registro della distribuzione dei fitosanitari e dei reflui zootecnici, per cui l’idea di poter svolgere questo compito in maniera automatica rappresenta un grande vantaggio. Oltre al risparmio di tempo, questo sistema di monitoraggio permette ai contadini una gestione più efficiente perché permette di pianificare le attività future sulla base di dati precisi”, spiega Mazzetto.

Visto l’interesse anche da parte delle ditte private che hanno partecipato al progetto, ora il gruppo di ricerca sta lavorando per rendere più capillare il monitoraggio delle attività agricole. “Stiamo pensando ad una app che permetta di leggere con lo smartphone il codice a barre dei prodotti utilizzati, in questo modo potremmo sapere anche quale concime o principio attivo è stato distribuito”, racconta Mazzetto.

Oltre che in campo agricolo, il monitoraggio operativo è stato testato anche nel settore forestale, applicando i dispositivi ad altri tipi di macchine: gru a cavo e motoseghe. I dati raccolti hanno permesso di calcolare quanto legname è stato trasportato dalla zona di taglio al posto di esbosco, in che punto è stata tagliata la pianta e che dimensioni aveva. Un gruppo di boscaioli della val Pusteria si è rivolto al gruppo di ricerca per poter monitorare con questi dispositivi il proprio lavoro. Potendo quantificare il lavoro svolto, i taglialegna pusteresi potrebbero giustificare i loro costi e contrastare la concorrenza dei boscaioli austriaci che praticano tariffe inferiori a quelle di mercato.

“MONALISA ci ha permesso di verificare l’interesse per questo tipo di monitoraggio e di creare i presupposti per sviluppare un sistema che risponda alle esigenze degli utenti”, conclude Mazzetto.

LA MELA DI CRISTALLO

Angelo Zanella, Centro di sperimentazione agraria e forestale Laimburg

In questo capitolo: La coltivazione delle mele in Alto Adige vanta una tradizione secolare tanto da averla resa la realtà trainante della melicoltura italiana con una produzione annua di circa un milione di tonnellate di mele che rappresenta circa il 50% della produzione italiana e il 12% di quella europea. L’Alto Adige è infatti la regione europea con la più vasta area ininterrotta dedicata alla coltivazione, perlopiù integrata, di questo frutto. Dal 2005 inoltre ben 11 varietà godono dell’indicazione di origine europea IGP a tutela degli elevati standard qualitativi di questo comparto. La commercializzazione di cotanta produzione si può pertanto considerare una performance da veri campioni, realizzabile esclusivamente rispettando i massimi standard qualitativi lungo l’intera filiera. La garanzia di una qualità elevata e costante nel tempo costituisce un’annosa sfida legata a diversi fattori tra cui un’accurata selezione del materiale di partenza, il rispetto della vocazionalità ambientale, delle condizioni pedoclimatiche e delle buone pratiche agronomiche nonché l’impiego di mirate tecnologie nella fase di post-raccolta. Sulla base di tali circostanze che ruotano intorno alla “mela come sistema vivo”, è di capitale importanza tenere conto delle esigenze di qualità sempre crescenti avanzate dai consumatori. Se questo da un lato è un problema, dall’altro rappresenta invece una grande sfida e opportunità da cogliere lungo l’intera catena del valore, attraverso la costruzione di una fitta rete tra frutticoltori, costruttori di apparecchiature e ricercatori (Fig. 38).



Figura 38: L’interazione tra ricercatori, frutticoltori e costruttori di apparecchi.

L’obiettivo di Angelo Zanella, ricercatore presso il Centro di Sperimentazione di Laimburg, era quello di creare, nel progetto MONALISA, una piattaforma di dialogo tra studiosi, costruttori di macchinari e produttori, al fine di

elaborare insieme soluzioni innovative per l'analisi non distruttiva della qualità della mela. Il Centro ha cercato in primo luogo di risolvere i problemi ancora in sospeso, come quello di determinare in modo non distruttivo la struttura della polpa percepibile dall'essere umano. Inoltre si è cercato di osservare l'oggetto "mela" globalmente, considerando quindi anche le possibilità di rilevare in modo non distruttivo eventuali danni interni al frutto, ovvero la presenza di sostanze bioattive. A ciò si è aggiunto il tentativo di collocare i dati rilevati in diversi modelli matematici, che in ultima istanza dovrebbero confluire in sistemi prognostici finalizzati alla mappatura dell'andamento e dell'evoluzione qualitativa. Negli ultimi tempi infatti si è fatta sempre più forte la richiesta da parte delle OP di sviluppare modelli previsionali sull'andamento della qualità dei prodotti a supporto delle strategie di marketing.

Prevedere e garantire la qualità della mela

Per il consumatore moderno l'atto di mangiare una mela non ha più il solo fine di soddisfare un bisogno primario per sopperire ad un senso di fame, bensì rappresenta una vera e propria esperienza o percorso sensoriale da gustare a tutto tondo con aspettative qualitative del prodotto sempre più specifiche e ben definite. Ma è proprio la gestione della qualità organolettica che diventa difficoltosa, poiché la mela, in quanto prodotto biologico, presenta un'ampia variabilità nell'andamento delle sue caratteristiche qualitative. A ciò si aggiunge il fatto che la mela è un "frutto vivo", che muta costantemente dal momento della raccolta a quello del consumo. Da ciò scaturisce la richiesta di poter prevedere l'evoluzione qualitativa del frutto lungo l'intera catena di approvvigionamento. Una grande opportunità risiederebbe quindi nel saper conoscere previamente lo sviluppo qualitativo, potendo così indirizzare in modo specifico le richieste dei diversi gruppi di consumatori. L'attuazione di questa idea si tradurrebbe in un plusvalore di inimmaginabile portata per il prodotto. Fino ad oggi, infatti, uno dei principali problemi in questo settore è stato dato dal fatto che già una minima parte di prodotto di scarsa qualità può portare a un deprezzamento per la maggior parte dei frutti rimanenti. Per questo si continua a puntare sulla possibilità di prevedere sin dal momento del raccolto come si svilupperà la qualità dei frutti, potendo così offrire alla pratica agricola una solida base decisionale, ovvero ciò che nel linguaggio tecnico è il "Decision Support System" (DSS). Esattamente questo è stato l'approccio perseguito nel progetto MONALISA dal Centro di Sperimentazione di Laimburg, che ha collaborato strettamente anche con Rob Schouten dell'Università di Wageningen (NL), uno dei principali ricercatori in questo settore. Obiettivo principale di tale cooperazione è stato in primo luogo collegare i dati caratteristici elaborati nel progetto rispetto alla qualità della mela, mettendo poi a punto dei modelli matematici da far confluire in una corrispondente previsione. I risultati ottenuti sono promettenti, anche se la

mela si è rivelata un oggetto di ricerca molto complesso e delicato. La maggiore difficoltà risiede nel dover fare principalmente i conti con l'ampio intervallo di oscillazione biologico (Fig. 39) dato dal prodotto "mela". Questo ha fatto sì che si ponesse un'ulteriore sfida che i ricercatori sono comunque riusciti a sormontare, presentando una soluzione per la realizzazione dei modelli previsionali (Fig. 40).

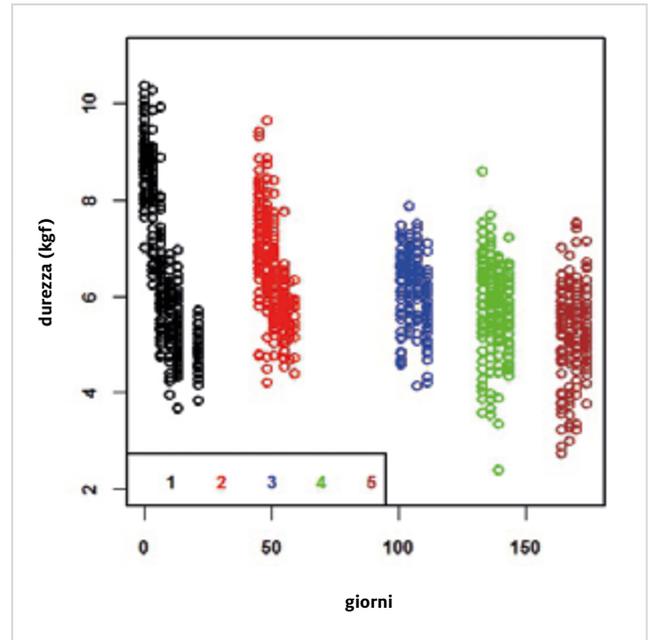


Figura 39: Range di oscillazione biologico della compattezza della polpa in diversi momenti di uscita delle mele dalla cella di conservazione

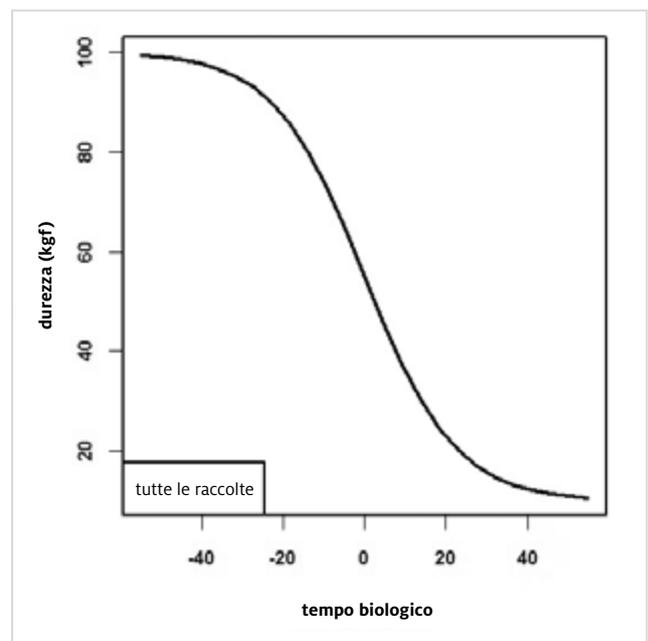


Figura 40: Modello di previsione per l'evoluzione della qualità della frutta dopo il raccolto.

L'unico problema in tale contesto è dato dal dover determinare l'età biologica del frutto, poiché tuttora non esiste un metodo affidabile per il suo rilevamento. Ulteriori ostacoli sono legati alla definizione del termine "qualità". La domanda decisiva è: "Quali sono i requisiti che il consumatore pone in assoluto nei confronti della qualità?" Secondo la tendenza più recente, non basta più soddisfare il cliente solo in relazione al colore e alla dimensione della frutta. Le tendenze del consumatore sono aumentate, ragione per la quale nel settore melicolo è necessario ridefinire e descrivere ex novo il concetto di qualità, riuscendo poi anche a rilevare questo parametro e a garantirlo attraverso lo sviluppo di metodiche di misurazione adeguate. Rispetto a quest'ultimo punto la ricerca non è ancora in grado di tenere perfettamente il passo. Fino ad oggi, infatti, i parametri qualitativi applicati e misurati a livello pratico sono la compattezza della polpa, il contenuto di zuccheri e il tenore di acidità, valori che vengono analizzati applicando metodi distruttivi. La ricerca e lo sviluppo stanno puntando sempre di più a sostituire le metodiche da laboratorio distruttive con procedimenti non distruttivi. I vantaggi offerti dai metodi di analisi non distruttivi sono palesi. Essi mirano non solo a una riduzione del dispendio lavorativo, alla ripetibilità e alla precisione della misurazione, ma anche e soprattutto alla rapidità della misurazione, che consente così di garantire la qualità di ogni singola mela. In un'epoca come questa l'inalterabilità del prodotto durante l'esecuzione di misurazioni non distruttive assume un valore ancora più importante e può essere sfruttato come argomento di vendita. Ulteriori sforzi sono volti a migliorare il rilevamento e la ridefinizione del "concetto di qualità". Obiettivo della ricerca è sviluppare metodi di misurazione idonei per poter illustrare al consumatore la qualità offerta da una certa mela nel momento in cui viene consumata quindi descrivere le caratteristiche sensoriali percepite dall'essere umano. Sarebbe questa la chiave del successo, poiché in realtà rispecchierebbe l'approccio che più si avvicina al concetto di qualità richiesto dall'uomo. In tal senso la ricerca è ancora ai nastri di partenza ed i primi passi sono quelli che si stanno compiendo proprio nel progetto MONALISA, nel tentativo di garantire ai consumatori un livello qualitativo del frutto ancora più elevato.

Testare la croccantezza tramite la luce

Uno dei principali parametri qualitativi della mela, se non addirittura il più importante, è la consistenza della polpa, tra cui rientrano per definizione la croccantezza, la compattezza e la succulenza della sua polpa. Ovviamente questi parametri devono andare di pari passo con la presenza di un buon equilibrio agrodolce, il tutto accompagnato da una gradevole nota aromatica. Il consumatore, quindi, si aspetta in primo luogo delle caratteristiche strutturali specifiche per questo frutto: mele farinose o molli andrebbero evitate in ogni caso.

In laboratorio la misurazione distruttiva della compattezza della polpa è già un parametro qualitativo consolidato,

ma fino ad oggi non si è ancora riusciti a determinarlo attraverso tecnologie non distruttive. Solo queste, in quanto tali, consentirebbero di testare ogni singola mela prima della vendita, verificandone per esempio la farinosità.

Proprio tale ambito del progetto MONALISA è stato definito un tema chiave per stimare a livello internazionale il potenziale futuro delle tecnologie più promettenti. Per realizzare al meglio questo progetto, il Centro di sperimentazione di Laimburg ha coinvolto due prominenti istituti di ricerca, vale a dire il CNR di Milano (Istituto di Fotonica e Nanotecnologie), rappresentato dal team leader Lorenzo Spinelli, e il gruppo di lavoro di Wouter Saeys, che opera presso l'Università di Lovanio (Belgio). L'obiettivo principale era lo stesso per tutti i partner, anche se sono stati scelti due approcci diversi. Con il CNR di Milano è stata testata la Time Resolved Spectroscopy (spettroscopia di riflettanza risolta nel tempo nel vicino infrarosso, TRS) (Fig. 41), mentre con l'Università di Lovanio si è analizzata la Space Resolved Spectroscopy (spettroscopia risolta spazialmente nel vicino infrarosso SRS) (Fig. 42).

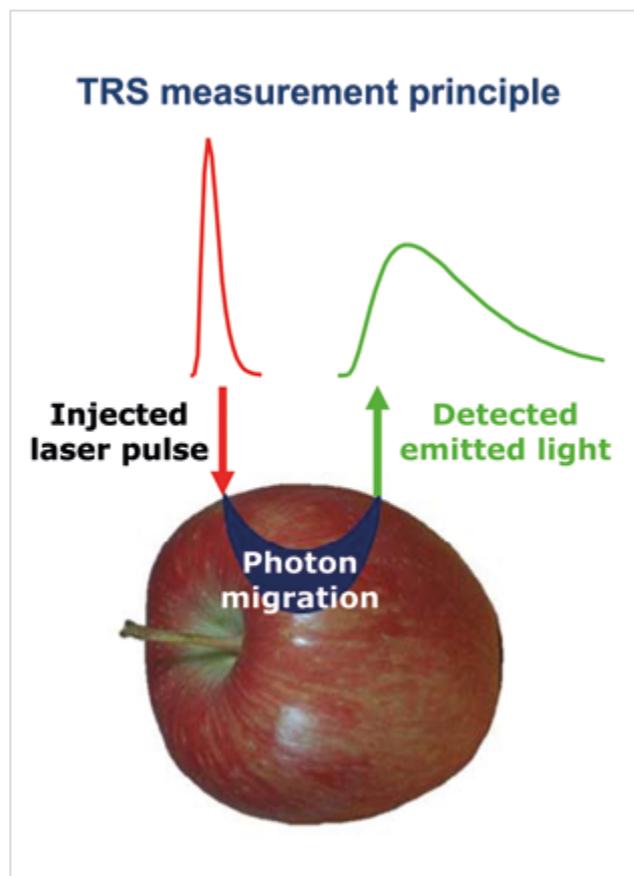


Figura 41: Principio di misurazione della spettroscopia di riflettanza risolta nel tempo nel vicino infrarosso (TRS).

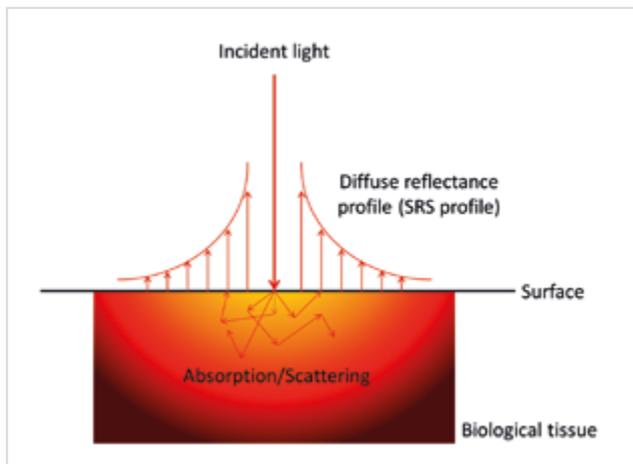


Figura 42: Principio di funzionamento della spettroscopia risolta spazialmente nel vicino infrarosso (SRS).

Il principio comune alla base di entrambe sfrutta la luce di determinate lunghezze d'onda nel campo visibile e in quello del vicino infrarosso. Attraverso innovativi apparecchi di misurazione si misura per quanto tempo la luce irradiata viene trattenuta dalla polpa del frutto prima che fuoriesca nuovamente (TRS), oppure con quale ampiezza essa viene nuovamente diffusa all'esterno attraverso la riflessione delle cellule del frutto (SRS). Questi approcci consentono di trarre delle deduzioni sullo stato della struttura della polpa. In primo luogo ci si è concentrati sulla determinazione della compattezza della polpa, riuscendo però a ottenere dei risultati modesti. L'attività di ricerca non si è tuttavia limitata solo a questo, ma si è tentato di identificare una correlazione tra il metodo TRS e/o SRS ed altre caratteristiche qualitative del frutto. In questo contesto sono affiorate delle prospettive promettenti: i risultati provvisori indicano che sia la spettroscopia TRS che quella SRS potrebbero essere adatte a determinare le caratteristiche strutturali di un frutto in modo non distruttivo, tanto da avvicinarsi, secondo i team di ricercatori, alla qualità sensoriale percepita dal consumatore. Spetta ora alla futura attività di ricerca proseguire sul cammino di tale tesi, dimostrandone la fondatezza. Un primo passo nella giusta direzione è stato comunque compiuto, riuscendo a far emergere il potenziale e i punti deboli dei due metodi di misurazione analizzati. Rimane ora il compito di sviluppare ulteriormente i punti forti delle due tecnologie, attraverso una ricerca mirata e il coinvolgimento di utenti e costruttori di apparecchi, così da offrire alla "pratica" tecnologie lungimiranti e non distruttive per stabilire la qualità del frutto.

Illuminare la mela dall'interno

Nel quadro del progetto MONALISA l'attività di ricerca del Centro di Sperimentazione di Laimburg non si ferma alla determinazione non distruttiva della qualità sensoriale. Lungo l'intera filiera e fino al consumatore vi sono infatti anche altri aspetti molto interessanti, di cui uno

sostanziale è l'identificazione di eventuali danni presenti all'interno del frutto. Qui ricerca e sviluppo hanno ancora molto terreno da recuperare. I danni interni al frutto possono essere causati da agenti patogeni di varia natura, fisiologici oppure anche da metodi di stoccaggio scorretti. Il fatto che danni interni al frutto non siano visibili esternamente a occhio nudo, ma solo al momento del loro consumo, è un aspetto che si ripercuote negativamente sulla commercializzazione dei prodotti. Le tecnologie non distruttive esistenti non sono ancora così evolute da riuscire a identificare solo i frutti difettosi. Fino ad oggi non si è riusciti a mettere a punto un metodo preciso e soprattutto affidabile: a seconda della precisione delle impostazioni selezionate, capita di classificare come difettosi dei frutti sani che non vengono così venduti, oppure al contrario di continuare a vendere una parte dei frutti danneggiati. In questo modo anche una piccola quota di qualità indesiderata può svalutare tutti i restanti frutti ancora buoni. Collaborando con Pieter Verboven dell'Università di Lovanio, ci siamo prefissati di dare una soluzione al suddetto problema nell'ambito del progetto MONALISA. Il metodo scelto per riuscire ad osservare l'interno della mela è stato quello dei raggi X. Diverse immagini CT, bi- o tridimensionali (Fig. 43)

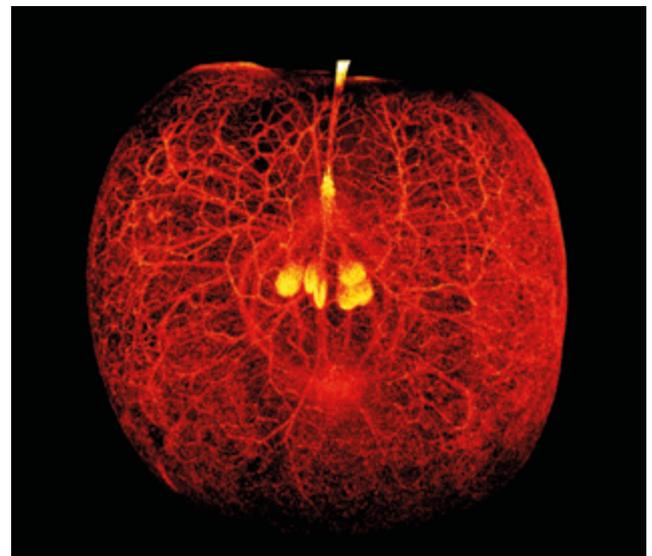


Figura 43: Immagine CT tridimensionale della struttura interna di una mela.

sono state testate in ordine alla loro idoneità, al fine di poter garantire al consumatore, con elevata certezza, un frutto privo di polpa internamente brunastra. Si è quindi riusciti a mostrare il potenziale e i punti deboli dei raggi X per l'identificazione dei danni interni (Fig. 44).

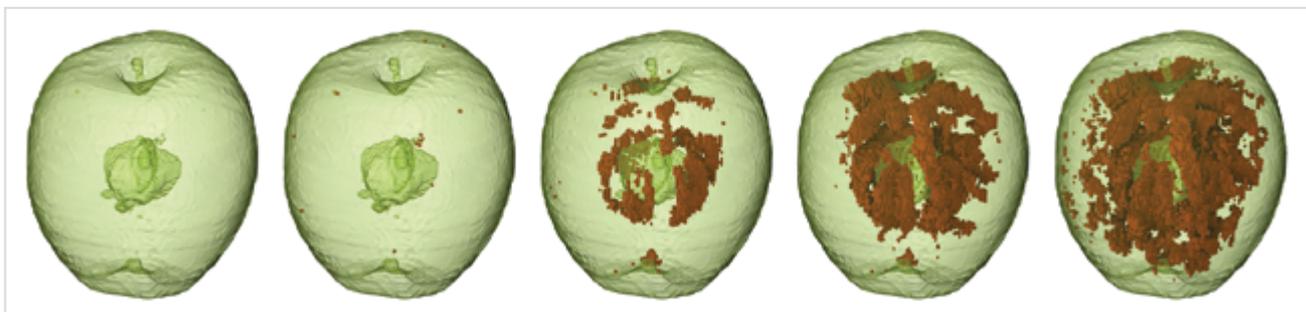


Figura 44: Rappresentazione CT tridimensionale dell'evoluzione di un danno interno durante lo stoccaggio.

I risultati ottenuti sono promettenti e possono essere utilizzati come base per le future ricerche in questo ambito: si è potuto infatti dimostrare che, attraverso la fusione di diversi metodi tecnici di misurazione, apparecchi fino ad oggi costosi potrebbero diventare idonei all'utilizzo pratico. Questo consentirebbe di generare una situazione di reciproco beneficio: il consumatore consumerebbe con la massima certezza un frutto di qualità irreprensibile, mentre lungo l'intera filiera le mele sane non verrebbero svalutate dalla presenza di frutti difettosi. MONALISA ha posto in evidenza il fatto che i raggi X offrirebbero un potenziale di sviluppo che in futuro potrebbe essere ulteriormente sfruttato.

Riconoscere la salute nella mela

Nell'ambito del progetto MONALISA abbiamo perseguito un approccio di tipo globale, cercando cioè di analizzare ai più disparati livelli la qualità dell'oggetto "mela" in tutta la sua complessità. Per questo era logico non limitare le indagini ai parametri qualitativi standard, ma occorreva compiere un ulteriore passo e tentare di estendere l'attività di ricerca ai componenti bioattivi del frutto, come la vitamina C o gli antiossidanti. Oggigiorno i consumatori conferiscono a queste sostanze, definite anche e non solo come "Nutraceuticals", un'importanza sempre maggiore. Lo stile di vita nei paesi più sviluppati tende a concentrarsi sull'alimentazione e la salute. Per questo anche la ricerca condotta da MONALISA ha voluto tenere conto di questa evoluzione.

Lo standard tecnico attuale condiziona la misurazione delle sostanze bioattive ricercate tramite rilevamenti dispendiosi e distruttivi da compiere in laboratorio. I ricercatori del team di Peter Robatscher, nel Centro di Sperimentazione di Laimburg, hanno quindi tentato di sfruttare la "Near Infrared Spectroscopy" (spettroscopia ottica del vicino infrarosso NIRS) (Fig. 45).



Figura 45: La spettroscopia ottica nel vicino infrarosso (NIRS): una tecnica per l'analisi qualitativa non distruttiva.

A questo proposito essi hanno utilizzato l'interazione tra la luce emanata dai raggi del vicino infrarosso e i componenti della mela, al fine di misurare le sostanze bioattive senza distruggere il frutto. Sono state analizzate 27 varietà diverse, focalizzandosi in prima battuta sul contenuto di vitamina C, antiossidanti, polifenoli e antociani. Superate alcune difficoltà iniziali, gli studiosi sono riusciti a determinare il contenuto di sostanze bioattive sulla buccia di una mela, ottenendo una notevole precisione ($R^2 > 0,8$) attraverso l'uso della tecnologia non distruttiva NIRS (Fig. 46).

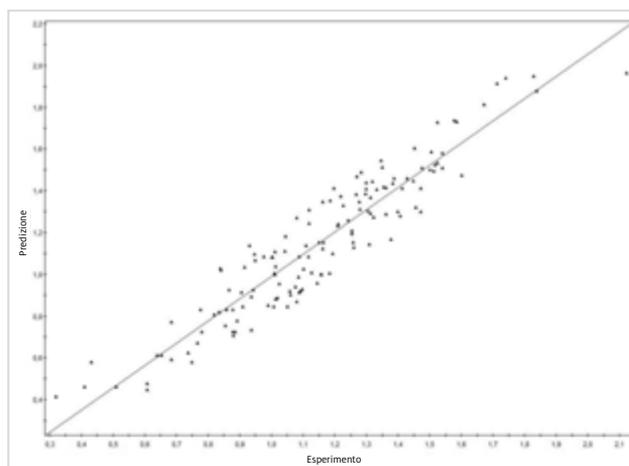


Figura 46: Precisione nella previsione di sostanze bioattive tramite l'uso della tecnologia NIRS non distruttiva.

Questo promettente risultato, che racchiude del potenziale anche per ulteriori sviluppi futuri, potrebbe far ottenere l'idoneità all'uso pratico semplificando lo spettro NIR ai segmenti luminosi sostanziali di cui si è venuti a conoscenza.

I ricercatori hanno infine compiuto un ulteriore passo avanti, tentando di utilizzare la tecnologia NIRS anche per misurare i precursori del riscaldamento, un danno grave causato dallo stoccaggio che si verifica in molte varietà di mele. Si tratta di un'anomalia fisiologica del frutto che avviene durante lo stoccaggio e può provocare grandi perdite post-raccolto. L'identificazione precoce ovvero la previsione della predisposizione al riscaldamento rappresenta un grande potenziale per la commercializzazione delle mele. Le indagini condotte presso il Centro di Sperimentazione di Laimburg hanno evidenziato chiaramente il potenziale della tecnologia NIRS: la sfida ora consiste nel rendere questa tecnologia idonea all'uso pratico.

Conclusioni

Un'importante cognizione acquisita sta nel fatto che al momento non è ancora possibile sostituire completamente le tecnologie convenzionali con metodi non distruttivi. Tuttavia i ricercatori sono riusciti a offrire agli operatori del settore alcuni strumenti potenzialmente sviluppiabili.

Prima di arrivare sui banchi del mercato ogni singola mela viene analizzata attraverso metodologie non distruttive che permettono di scartare i frutti difettosi e di categorizzare in base a peso, forma e colore i frutti adatti alla vendita. In futuro sarà possibile misurare anche il grado di succosità, croccantezza o farinosità di una mela. Addirittura si potrà sapere quanta vitamina C o quanti fenoli contiene. Ma quali sono le caratteristiche che agli agricoltori interesserebbe misurare? Quali parametri sono davvero importanti per il mercato? I supermercati sono disposti a pagare di più per avere informazioni sempre più dettagliate sui prodotti che vendono? "Tecnicamente si possono fare indagini molto approfondite, ma bisogna sapere se servono veramente. Il fatto è che non è semplice definire con precisione su quali dei tanti parametri possibili si basi la qualità", spiega Angelo Zanella, responsabile del gruppo di lavoro Conservazione e Biologia di Postraccolta del Centro di Sperimentazione Agraria e Forestale Laimburg.

Per rispondere a questa domanda i tecnici e i ricercatori del Centro hanno organizzato due workshop in cui hanno presentato le tecnologie che hanno messo a punto nell'ambito del progetto MONALISA. Agli incontri hanno partecipato tutti i rappresentanti dell'industria melicola altoatesina e i maggiori produttori europei di impianti di rilevazione della qualità. I due gruppi hanno ascoltato le proposte formulate dai ricercatori per testare la qualità delle mele, spiegando come potrebbero implementare i risultati della ricerca, quali bisogni non sono stati soddisfatti e cosa resta da fare per il futuro. "I workshop hanno rappresentato un'occasione

preziosa per agricoltori e costruttori di impianti per rendere esplicite le proprie esigenze. I due gruppi non si erano mai confrontati prima e la mancanza di comunicazione non permetteva di lavorare in maniera efficiente", dichiara Zanella. Attualmente, infatti, i costruttori di impianti non ricevono indicazioni chiare dai coltivatori su quali parametri misurare; da parte loro i coltivatori non riescono a formulare delle richieste specifiche perché devono adattarsi alle mutevoli esigenze del mercato. Per colmare questa lacuna comunicativa, agricoltori, produttori di macchinari e ricercatori hanno deciso di incontrarsi regolarmente e portare avanti il lavoro iniziato con MONALISA.

DATABASE

Roberto Monsorno, Eurac Research

In questo Capitolo: Nei precedenti capitoli sono state presentate metodologie di analisi e soluzioni applicabili alle problematiche reali per misurare i parametri ambientali ed i valori che determinano la qualità del prodotto agricolo, frutto dell'interazione delle condizioni climatiche e dell'attività umana nei meleti.

In queste attività e metodologie di monitoraggio il denominatore comune è il *dato* che deve essere rilevato, organizzato, elaborato e condiviso. Il progetto MONALISA ha affrontato tra le altre una sfida concernente l'organizzazione e la gestione delle informazioni raccolte e generate dal progetto stesso.

Esistono sistemi proprietari per poter organizzare i dati osservativi, ma per la ricerca questo tipo di soluzione non è adottabile, replicabile e sostenibile a lungo termine, in particolar modo quando si collabora tra più partner di istituti diversi. Le comunità scientifiche internazionali hanno anche la necessità di poter scambiare informazioni e rendere le varie infrastrutture per la ricerca interoperabili e personalizzabili. In questo senso le soluzioni proprietarie, onerose e soprattutto scarsamente personalizzabili, non permettono interoperabilità e comunque necessitano di licenze i cui costi non sono sostenibili in un lungo periodo. D'altra parte esistono soluzioni open source che implementano standard e direttive internazionali che permettono di creare sistemi complessi, ma aperti, con interfacce per la loro possibile riutilizzabilità, e sostenibili a lungo termine.

Il progetto MONALISA ha pertanto permesso la creazione di una infrastruttura dati e di un database (DB) ambientale completamente basato su tecnologie open source, aderenti a standard e protocolli internazionali, interoperabile e ad accesso libero. Il database ambientale creato riesce ad ingerire ogni tipologia di osservazione, sia proveniente da sensori installati a terra, sia da azioni di misura fatte in laboratorio, permettendo ad esempio di correlare le misure di valori e parametri ambientali ef-

fettuate in un meleto con le misure di qualità delle mele successivamente raccolte.

In questo capitolo saranno descritte le attività di organizzazione e armonizzazione dei dati eterogenei raccolti dal progetto. Verrà descritto il catalogo dei metadati ed il modello adottato, implementazione della iniziativa dell'Open Geospatial Consortium (OGC) SWE (Sensor Web Enablement). Saranno infine descritte le interfacce di presentazione e fruizione dei dati, basate su standard WEB di interoperabilità ed il portale dati MONALISA.

Un paragrafo finale individuerà alcuni aspetti tecnologici che potranno essere ulteriormente affrontati nel contesto del Laboratorio di Sensoristica per il Monitoraggio Ambientale (Environmental Sensing Laboratory - ES LAB), al fine di migliorare l'integrazione tra dati telerilevati e dati rilevati a terra.

Acquisizione e gestione dati: armonizzazione

La ricerca del progetto MONALISA ha utilizzato una grande varietà di dati che necessitano di essere trattati in maniera differente per poter essere visualizzati e processati dai ricercatori.

L'eterogeneità dei dati aumenta per il fatto che i sistemi di acquisizione di dati della stessa tipologia non sono identici (es. strumenti di produttori differenti che misurano lo stesso parametro; immagini che riprendono la stessa area con risoluzione spaziale e/o temporale differente). Risulta quindi necessario un processo di armonizzazione per passare dal dato grezzo (dato in uscita dai diversi sensori) a un dato pre-elaborato omogeneo su cui lavorare.

Il concetto di armonizzazione dei dati si basa sulla possibilità di raccogliere dati differenti sotto un unico standard condiviso dalle diverse comunità scientifiche. Il principale vantaggio di tale armonizzazione risiede nella possibilità di garantire una più semplice ricerca del singolo dato, un'organizzazione del dato in un unico archivio (database, portale web) ed infine una sua migliore condivisione.

Una prima fase di lavoro ha individuato le seguenti tipologie di dato:

1. Immagini con informazioni geografiche provenienti da differenti piattaforme (satellite, UAV) che montano diversi sensori, sia RADAR che OTTICI.
2. Immagini senza informazioni geografiche derivate da fotocamere misuranti la fenologia della vegetazione.
3. Dati osservativi derivanti da:
 - stazioni di misura
 - osservazioni puntuali (rilevamento su campo di un operatore)
 - misure in laboratorio: dati di qualità sulle mele.

Una seconda fase di lavoro per il progetto MONALISA è stata quella di individuare una serie di informazioni comuni per tutti i dataset, come ad esempio le coordinate geografiche, il tipo di ecosistema analizzato (i.e. prati,

boschi, pascoli), la frequenza di acquisizione, il parametro misurato, le caratteristiche del sensore.

Un'ulteriore armonizzazione è avvenuta anche a livello strutturale, per il formato del dato e per il modello dati utilizzato.

Considerata quindi la diversificazione dei dati nel progetto MONALISA, si è reso necessario creare una infrastruttura tale da garantirne la gestione indipendentemente dal loro formato di origine.



Figura 47: Rappresentazione dei differenti dati raccolti nell'ambito del progetto MONALISA

Infatti, quando il dato è acquisito e raggiunge il file server di raccolta (Storage) vengono effettuati dei controlli legati alla qualità del dato stesso:

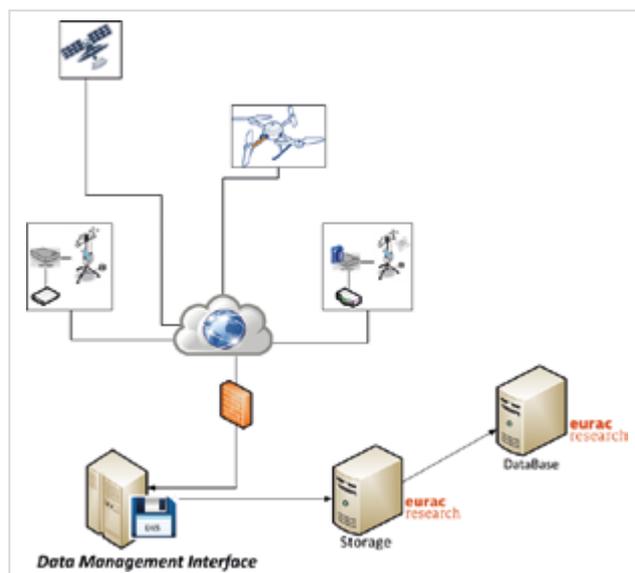


Figura 48: Descrizione della gestione del dato all'interno della infrastruttura:

- Numero di dati raccolti vs numero di dati previsti
- Dimensione dei dati raccolti vs dimensione dei dati previsti
- Integrità del dato

Si nota, dunque, come tali operazioni preliminari possano essere applicate ad un qualsiasi tipo di dato.

Al termine di questa fase, il dato viene analizzato con processi differenti in funzione della sua provenienza e tipologia, per poi essere inserito nel database ambientale. Questo approccio si basa sulla necessità, laddove richiesto, di effettuare una serie di controlli di qualità specifici per ogni dato che permettono di valutare la correttezza scientifica del dato stesso.

A questo scopo sono state definite delle soglie di qualità, in base alle quali il dato viene ripulito da errori di tipo hardware e/o software durante la fase di acquisizione e, quindi, non controllabili direttamente. In questo modo, prima che il dato venga salvato, è ripulito da errori che potrebbero inficiarne l'attendibilità. Una volta completata questa analisi di qualità il dato viene riallocato in una struttura dati di tipo "file-based" e quindi inserito nel database.

Nella struttura "file-based" sono state definite diverse macro aree di provenienza del dato raccolto, all'interno delle quali il dato viene organizzato per una più facile ricerca anche da parte del ricercatore.

Utilizzo dei dati

Dati di osservazione

Al fine di organizzare i dati acquisiti in un'unica infrastruttura è necessario avere un modello dati generico ma efficiente ed adattabile. Il modello utilizzato è quello proposto dall'Open Geospatial Consortium (OGC), chiamato Sensor Web Enablement (SWE). Il SWE rappresenta un insieme di standard che permettono:

- La ricerca di sensori, procedure e osservazioni
- L'attribuzione di azioni su sensori e modelli
- L'accesso alle misure e ai valori osservati
- La predisposizione di sistemi di allerta.

Il software utilizzato per implementare questi standard è quello sviluppato dalla 52° North (<http://52north.org/about/52north/>) e distribuito in forma open source. In particolare è stato utilizzato il software del progetto Sensor Observation Service (SOS) che fornisce accesso alle informazioni sui sensori (Sensor Model Language, SensorML) e sulle osservazioni derivanti da sensori (Observation & Measurement, O&M). In questo contesto il SOS – 52°N consente allo sviluppatore di definire modelli e schemi XML per descrivere qualsiasi processo, compresa la misurazione attraverso un sistema di sensori, nonché l'elaborazione post-misurazione e dati derivanti da modello.

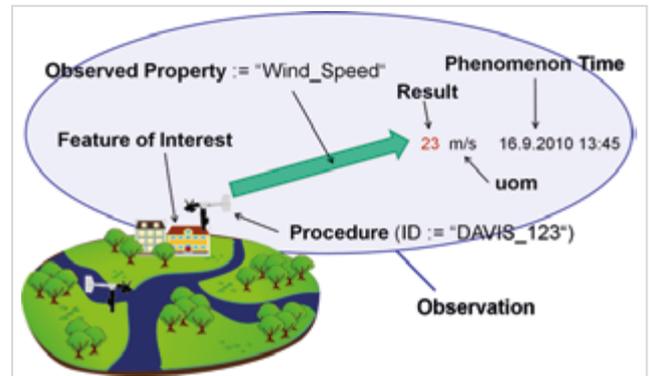


Figura 49: Rappresentazione grafica della connessione tra il SOS e il Sensor Network.

Tale servizio rappresenta uno strumento web-based che raccoglie e condivide in maniera interoperabile le osservazioni raccolte da dispositivi (come, ad esempio, misuratori di inquinamento dell'aria, centraline meteorologiche, ecc.), siano essi composti da sensori in-situ (stazioni fisse) o dinamici e mobili (come sensori montati su UAV o sensori utilizzati da un operatore).

Come nei più tipici servizi web, anche per SOS, si possono effettuare richieste (request) alle quali il server risponderà (response) con dati o informazioni riguardanti il sensore o l'intero servizio utilizzando il linguaggio XML.

Pensando all'enorme mole di osservazioni che ogni giorno vengono raccolte dai differenti sensori risulta evidente che la mancanza di una opportuna armonizzazione genererebbe una maggiore difficoltà nella ricerca di queste informazioni attraverso cataloghi o motori di ricerca, poiché queste risultano disconnesse e mancano di un formato comune. Nel progetto MONALISA si è utilizzato il servizio SOS con lo scopo di cercare di uniformare tutto questo attraverso la creazione di un unico database in grado di raccogliere tutti i dati raccolti. In questo modo è ora possibile condividere facilmente i dati e le loro informazioni specialmente nella comunità scientifica.

Immagini da telerilevamento

I dati raccolti nel progetto MONALISA che derivano da telerilevamento (sia da satellite che da UAV) sono dati di tipo raster (immagini) con informazione geografica: immagini dall'alto con una precisa collocazione spaziale. Questi dati possono essere distinti in immagini singole o serie temporali. Le serie temporali, a differenza delle altre, sono costituite da più immagini della stessa zona effettuate in tempi differenti ad intervalli più o meno regolari (1 al giorno, 1 ogni 10 giorni ecc.). I dati di questa tipologia sono tutti resi disponibili tramite servizi web OGC: WMS (Web Map Service) e WCS (Web Coverage Service), accessibili attraverso interfaccia web (WebGIS) o tramite applicazioni desktop GIS (ad esempio QGIS). Questo permette di tenere una copia unica del dato e di distribuirla via web agli utilizzatori finali che ne hanno il permesso. In particolare i ricercatori utilizzano il dato

grezzo telerilevato per produrre nuovi prodotti finali come ad esempio le mappe di copertura al suolo della neve o le mappe della vegetazione che a loro volta sono distribuite tramite gli stessi servizi web.

IMMAGINI SENZA INFORMAZIONI GEOGRAFICHE

In questo progetto vi sono infine altri dati che non rientrano nelle due categorie precedenti (dati osservativi e dati raster): sono i dati derivanti da fotocamere particolari (phenocam) che producono immagini non georeferite simili a quelle delle webcam ma con sensori di tipo differente. Questa tipologia di dato non è definita da standard internazionali ed è distribuita come immagine semplice archiviata su *file system*.

Metadati

I metadati rappresentano le informazioni relative ai dati e descrivono in modo strutturato le loro proprietà. Nel caso di un generico dato memorizzato in una libreria digitale, ad esempio, un metadato fornisce informazioni riguardanti:

- Chi lo ha creato
- Quando è stato creato e/o modificato
- Cosa descrive
- Chi ne è proprietario
- L'area di interesse

Mediante parole chiave, tutti i dati memorizzati possono essere ricercati e verranno forniti come risultato di tale ricerca. I metadati servono per migliorare le ricerche e facilitano lo scambio di informazioni sia tra colleghi dello stesso istituto sia con l'intera comunità scientifica.

Numeri

I dati raccolti nel MONALISA_DB provengono da sensori molto diversi tra loro, di proprietà di differenti istituti che collaborano alla raccolta dati nel progetto MONALISA.

Il DB al momento attuale presenta le seguenti caratteristiche:

- 1 database unico per i dati di osservazione
- 35 punti di misura sparsi nella provincia di Bolzano in ambienti differenti (vedi info-grafica in introduzione)
- Più di 80 sensori installati
- 80 parametri ambientali
- 30 parametri osservati in laboratorio
- Più di 30 milioni di record (osservazioni registrate)
- Più di 15.000 immagini phenocam
- 3 modalità di accesso al DB:
- Portale web
- REST-API (Interfaccia programmabile utilizzabile da qualsiasi applicazione)
- Accesso diretto al DB PostgreSQL

Il numero di record registrati è destinato ad aumentare nel tempo grazie alle misure raccolte in continuo dalle stazioni con inserimento nel DB automatico o manuale. Lo scopo è quello di costituire una serie temporale di dati a lungo termine indispensabile a monitorare i cambiamenti ambientali ed il relativo stato di salute.

Limiti tecnologici

Le stazioni alpine hanno spesso problemi di raggiungibilità, si trovano in posizioni non semplici da raggiungere, problemi di carattere ambientale, sono sottoposte a condizioni estreme, e non sempre è disponibile una copertura per la trasmissione dei dati. Questi problemi sono stati evidenziati ed in parte risolti. La rete di sensori creata dal progetto prevede l'utilizzo di comunicazione basata su GPRS e in alcuni casi questo è stato un problema, ad es. per avere una comunicazione in tempo reale dalla stazione di monitoraggio al database ambientale. Queste sfide tecnologiche saranno affrontate anche in collaborazione con imprese locali nel contesto del Parco Tecnologico di Bolzano all'interno del Laboratorio di Sensoristica per il Monitoraggio Ambientale (Environmental Sensing Laboratory - ES LAB).

Dai dati ambientali alla qualità della mela

Uno degli esempi più interessanti di utilizzo del DB MONALISA è il confronto di dati misurati in laboratorio sulla qualità delle mele con i dati ambientali misurati sul campo dai sensori installati.

La qualità della mela viene stimata mediante una serie di parametri misurati tra cui: contenuto di zuccheri, compattezza, contenuto di clorofilla, elasticità, peso, dimensioni, ecc.

Questo permette di studiare la qualità delle mele in relazione alle condizioni ambientali che hanno caratterizzato il periodo della loro maturazione. Lo studio di questa relazione permetterà in futuro anche la previsione della qualità della mela durante la fase di maturazione in base alle condizioni climatiche riscontrate.

Il confronto è possibile grazie alle diverse informazioni registrate nel database per ogni misura effettuata. Ognuna di queste presenta infatti, oltre al valore stesso del parametro misurato, una data ed un riferimento geografico. Nel caso dei dati ambientali sarà presente una sola data relativa al momento della misurazione, mentre nel caso dei dati da laboratorio la questione è più complessa in quanto interessano:

1. Data di campionamento (raccolta della mela)
2. Data di misurazione effettuata in laboratorio
3. Tempo di giacenza nei frigoriferi
4. Tempo trascorso tra il termine della giacenza nei frigoriferi e la misurazione del parametro

Il riferimento geografico invece serve a sapere dove è stata effettuata la misura nel caso dei sensori installati nel territorio; nel caso invece delle misure di laborato-

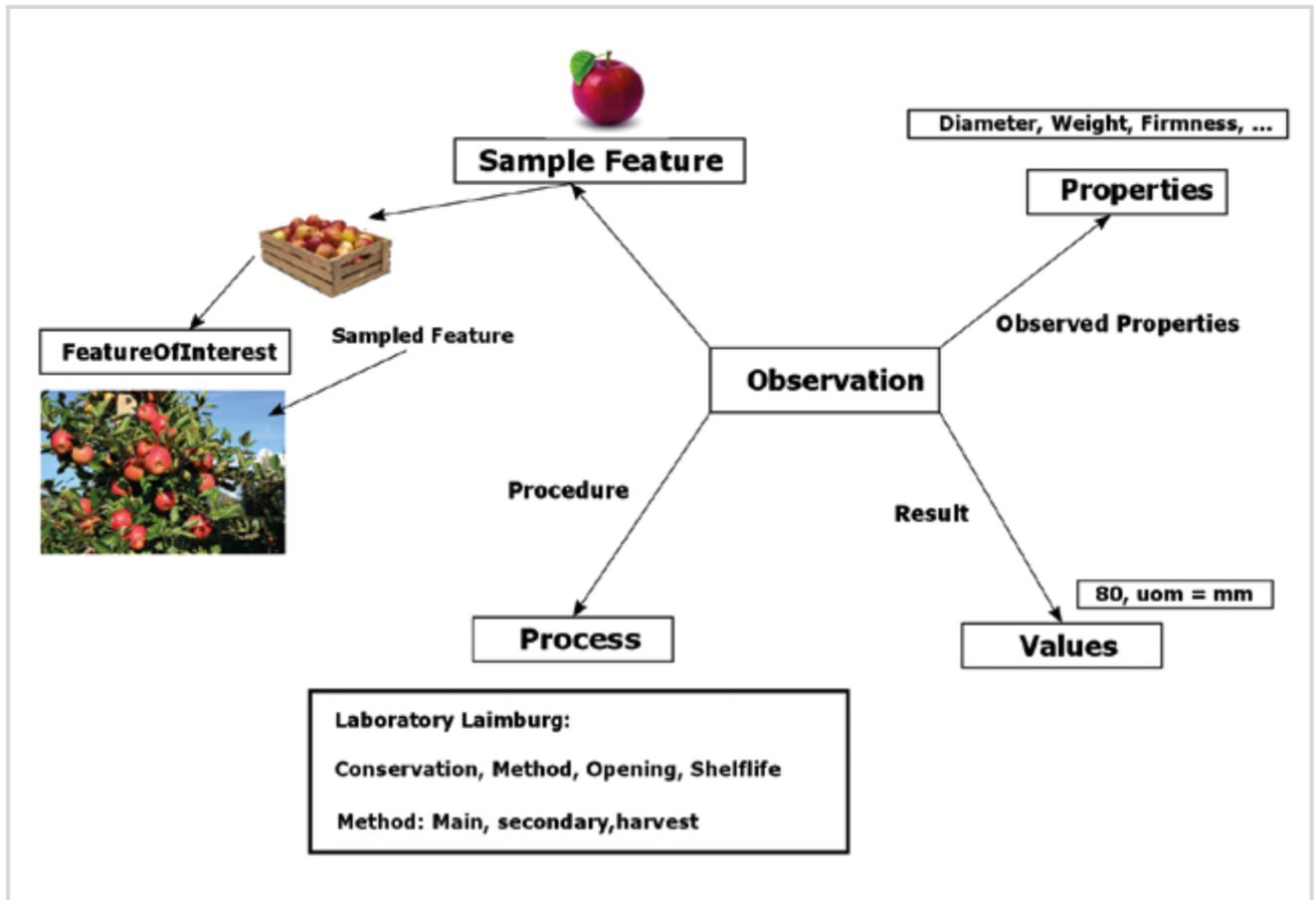


Figura 50: Modello di raccolta dati per le analisi di laboratorio sulle mele

rio permette di sapere dove è stato raccolto il campione analizzato.

Elenchiamo di seguito a scopo esemplificativo alcune interrogazioni possibili del database:

1. Confronto della qualità delle mele prodotte in base al frutteto di provenienza.
2. Confronto della variazione della qualità della mela (raccolte allo stesso tempo nello stesso frutteto) nel tempo dopo x mesi di stoccaggio nei frigoriferi e dopo y giorni dalla loro estrazione (SL). Esempi:
 - Valori al momento della raccolta
 - Valori dopo x mesi di stoccaggio
 - Valori dopo x mesi di stoccaggio e y giorni di SL (giorni dall'estrazione)
3. Confronto del GDU = Growing Degree Units (GD-D(ays)/GDH(ours)) e/o cumulative GDD (1,4 fino a 31,10.) per stagione di crescita/frutteto/altitudine/ regione di crescita;

Il portale MONALISA

Il servizio web MONALISA Data Service (<http://monalisasos.eurac.edu/sos>) è una versione personalizzata dell'interfaccia 52north SOS che, oltre a descrivere brevemente

i dati osservativi contenuti, fornisce all'utente la possibilità di accedere al metadato completo dei dati inclusi nel progetto MONALISA. Inoltre permette di visualizzare e scaricare una selezione di dati acquisiti nell'ambito del progetto.

Le sezioni del portale sono:

- Sensor Data – Map View (http://monalisasos.eurac.edu/MONALISA_data_service/#/map): qui si trova un visualizzatore delle stazioni in-situ in mappa con la possibilità, configurando i parametri misurati e le dimensioni temporali, di mostrare i dati in formato grafico. Questa interfaccia permette di scaricare i dati visualizzati in formato CSV.

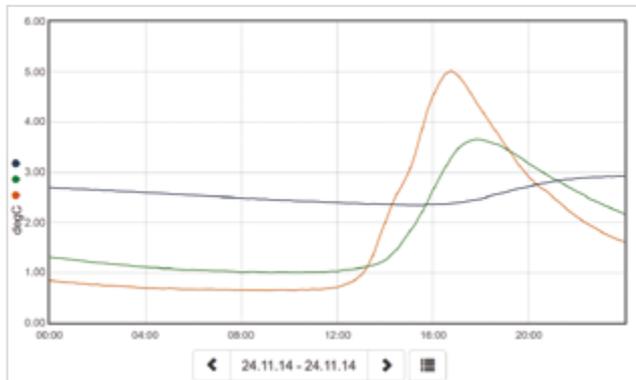


Figura 51: Esempio di visualizzazione degli andamenti temporali dei parametri osservati

- Phenocam (<http://monalisasos.eurac.edu/sos/static/phenocam.html>): Il MONALISA Data Service comprende anche un visualizzatore delle ultime immagini acquisite dalle phenocam installate. Le immagini, in RGB e nell'infrarosso, vengono aggiornate ogni 30 minuti.
- Metadata: tutti i dati del progetto MONALISA hanno un corrispondente metadato che è interrogabile attraverso il catalogo CWS (Catalogue Web Service) all'indirizzo <http://sdi.eurac.edu/geonetwork/srv/eng/main.home>. Nel dettaglio si possono ricercare diverse informazioni, ad esempio quali sensori sono stati utilizzati, quale è l'intervallo temporale di osservazione del parametro e chi è il responsabile scientifico del dato.

Servizi web per dati raster

Oltre ai dati disponibili tramite il portale MONALISA, le risorse dei dati telerilevati sono accessibili tramite i servizi WMS (Web MAP Service) e WCS (Web Coverage Services). La maggior parte dei dati grezzi è archiviata su file server (archivio), mentre i prodotti (mappe) elaborati sono organizzati nel server <http://sdi.eurac.edu/geoserver>.

SOS4R plugin per l'accesso al database sos

Per analizzare i dati e produrre delle elaborazioni i ricercatori spesso utilizzano software statistici come R. Questo software permette di eseguire algoritmi molto complessi sui dati e ottenere nuovi prodotti più avanzati. In particolare il software R dispone del plugin SOS4R utile per accedere direttamente al database SOS del 52°North (come appunto il MONALISA_DB), permettendo quindi al ricercatore di eseguire tutte le funzioni di calcolo e di esportazione offerte dal software. Questo è possibile grazie al servizio REST-API implementato all'interno del SOS del 52°North il quale, in alternativa, può essere utilizzato da software o interfacce web differenti.

In questo modo tutti i ricercatori potranno lavorare sempre su un unico database condiviso aggiornato in continuo.

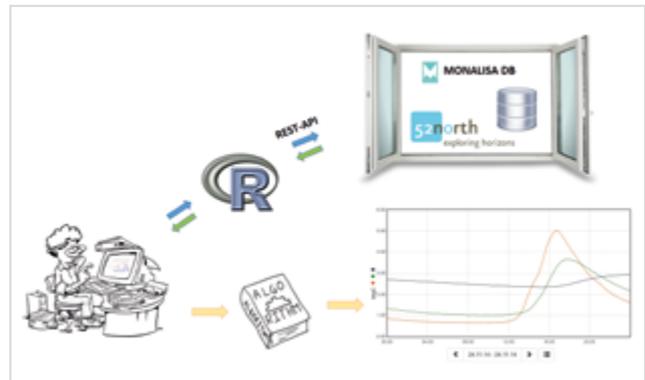


Figura 52: Schematizzazione di accesso al database attraverso il plugin SOS4R.

Conclusioni

Il lavoro di armonizzazione e di organizzazione di dati eterogenei ha permesso la creazione di un unico database capace di aggregare diverse tipologie di dato. Un aspetto ancora aperto è l'organizzazione dei dati armonizzata per serie temporali di tipo raster, ed infine un ulteriore lavoro per il futuro riguarderà la organizzazione di applicazioni che potranno permettere di estrarre simultaneamente informazioni da dati puntuali e dati raster. Infine, il database attualmente contiene informazioni ambientali non elaborate e osservazioni sulla qualità della mela condotte in laboratorio. Il sistema permetterà in futuro di fare le necessarie analisi per correlare i parametri ambientali con i parametri che descrivono la qualità della mela.

Collaborazione tra ricercatori e imprenditori

Johannes Brunner, IDM Alto Adige

La stretta collaborazione tra gli istituti di ricerca altoatesini e le imprese nel settore tecnico della misurazione ambientale rappresenta una peculiarità del progetto di ricerca MONALISA e lo distingue da quelli precedenti, concepiti come puri progetti di innovazione nel campo della ricerca o dell'imprenditoria.



Si è riusciti infatti a coinvolgere le aziende Cisma, Gecosistema, Mountain-eering e Territorium Online grazie ad eventi informativi che hanno consentito di presentare le attività di ricerca pianificate di Eurac Research e della Libera Università di Bolzano, evidenziando per entrambi il potenziale di cooperazione esistente.

Di seguito si fornisce un breve ritratto delle aziende coinvolte.

CISMA è un'azienda che si occupa di tecnica ambientale specializzata in studi idrologici e idraulici, valutazioni e studi d'impatto ambientale, campagne di misura in ambito atmosferico e idraulico e nell'impiego di metodologie complesse legate alle previsioni meteorologiche.

Lo studio d'ingegneria GECOSISTEMA è specializzato nella fornitura di servizi di consulenza e modellistica nel settore idrologico, energetico, ambientale e di gestione dei rischi naturali. L'azienda fornisce supporto alle decisioni prese in ambito pubblico e privato attraverso sistemi informativi geografici avanzati (GIS), telerilevamento,

modellistica ambientale e tecniche di valutazione.

MOUNTAIN-EERING fornisce servizi nei seguenti settori: analisi dei rischi naturali finalizzata alla previsione e alla riduzione del rischio e alla difesa di infrastrutture vulnerabili, analisi idrologica dell'ambiente montano per la quantificazione delle risorse idriche e per l'identificazione di futuri scenari possibili nonché calcoli ambientali. TERRITORIUM ONLINE è specializzata nello sviluppo di soluzioni GIS web e mobili di alta qualità. Le soluzioni software sviluppate comprendono importanti funzioni finalizzate a incrementare la produttività, l'elaborazione dati, le attività di import ed export commerciale, il reporting nonché l'integrazione di dati e applicazioni.

La collaborazione fra i partner si è inizialmente sviluppata, sulla base di tematiche specifiche, tra una singola azienda e un istituto di ricerca attraverso la definizione degli interessi comuni e la determinazione specifica degli impegni reciproci verso le scadenze di consegna e i partner interlocutori. Un punto critico in tal senso è legato al fatto di dover accertare la proprietà intellettuale scaturita nell'ambito del progetto. A tale scopo, per ogni risultato prevedibile, come i dati di misurazione, gli algoritmi informatici o le soluzioni tecniche, sono stati assegnati ai partner coinvolti i diritti per lo sfruttamento, la pubblicazione o l'uso commerciale degli stessi.

Oltre alle numerose cooperazioni bilaterali sono stati organizzati diversi eventi con esperti specialisti e user workshop dedicati agli utenti, per acquisire così ulteriori aziende e partner di ricerca nel progetto, raggiungendo anche una più ampia fetta di opinione pubblica.

I risultati della collaborazione tra ricerca e impresa si traducono in una comprensione e fiducia reciproca, nata dall'intenso scambio che ha avuto luogo durante una pluriennale cooperazione progettuale e sulla quale si potranno costruire le future cooperazioni. Attraverso le aziende e partner di ricerca hanno così potuto scoprire interessanti applicazioni, nuovi utenti e una fonte di finanziamento duratura per il loro know-how e la loro esperienza professionale. Dall'altro lato le aziende hanno potuto beneficiare di un consolidato bagaglio di conoscenze e delle tecnologie nonché metodologie sviluppate grazie alla pluriennale attività di ricerca scientifica.

La voce delle imprese

CISMA

Chi siamo

La ditta CISMA è specializzata nello studio dell'ambiente e nella progettazione di soluzioni per le diverse problematiche ambientali; punta sull'innovazione e sul trasferimento delle tecniche più recenti per le applicazioni ambientali. Le principali attività svolte da CISMA riguardano:

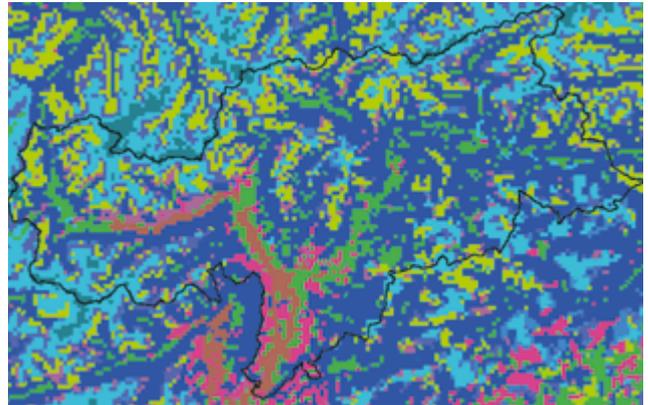
- Studi di impatto ambientale
- Previsioni meteorologiche
- Misure di qualità dell'aria e idrometeorologiche
- Valutazione del potenziale energetico

Progetto MONALISA

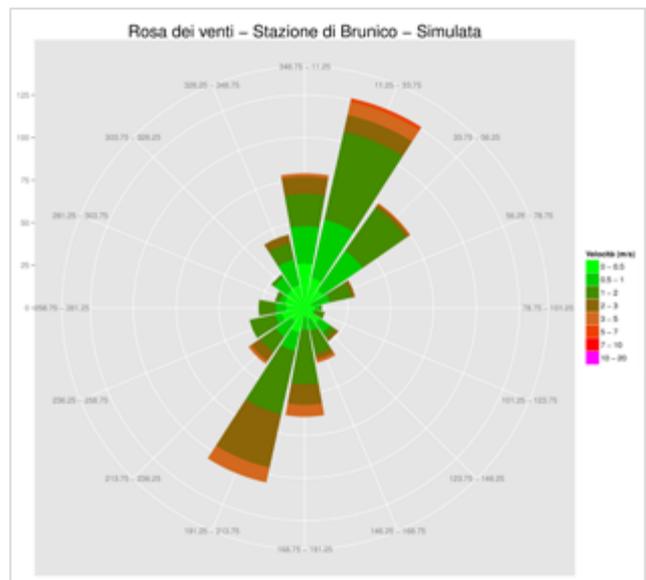
Lo scopo del progetto MeteoAlp è lo sviluppo di metodologie e prodotti di meteorologia applicata nell'ambito del progetto MONALISA. L'obiettivo del progetto è quello di consentire il monitoraggio di variabili ambientali in modo distribuito nello spazio e continuo nel tempo, finalizzato al miglioramento della gestione delle attività ambientali.

Il progetto si è articolato in due parti collegate che hanno portato a un duplice risultato in termini di utilizzo. La prima parte (sviluppata da CISMA Srl) è consistita nella messa a punto di un metodo per la creazione di un atlante climatico sull'intero territorio della Provincia di Bolzano, mediante la ricostruzione dell'andamento delle condizioni meteorologiche passate su un periodo decennale, con elevata risoluzione spazio-temporale. Nella seconda parte (sviluppata in collaborazione con Mountain-eering Srl), sono state predisposte metodologie e strumenti per ottenere prodotti meteo-idrologici previsionali.

I prodotti in modalità diagnostica possono essere utilizzati nel caso in cui si necessiti di una ricostruzione climatica di un'area nel passato; quelli in modalità prognostica, per la valutazione di variabili ambientali nel prossimo futuro. Tra i settori applicativi si può elencare la gestione delle risorse idriche ai fini agricoli, la protezione civile, il turismo, la produzione di energie rinnovabili (solare, idroelettrica, eolica).



Esempio di mappa di uso del suolo con risoluzione 0.5 km



Esempio di rosa dei venti generata dal sistema

GECOSISTEMA

Chi siamo

GECOSistema S.r.l. è una società di ingegneria ambientale nata nel 2001 come spin-off del progetto Spinner (www.spinner.it/), specializzata nella messa a punto di sistemi spaziali di supporto alle decisioni (SDSS) in ambiente Web-GIS, nella modellistica matematica applicata a procedure di VIA-VAS ed autorizzazioni ambientali, nei sistemi informativi geografici (GIS), nella ricerca applicata e nei servizi di gestione delle risorse idriche e dei cambiamenti climatici (Water&Climate-Services), con una sede operativa a Cesena ed una unità ricerca e sviluppo a Bolzano.

www.gecosistema.com

Progetto MONALISA

All'interno del progetto MONALISA GECOSistema ha sviluppato IASMHYN, un servizio innovativo in grado di

fornire in tempo quasi reale (*near real-time*) mappe giornaliere ad alta risoluzione relative alle principali variabili agro-meteorologiche ovvero: temperatura, precipitazioni, contenuto d'acqua del suolo, evapotraspirazione reale e apporto nevoso.

IASMHYN, disponibile come servizio web all'indirizzo <http://gecosistema.com/iasmhyn>, è in grado di supportare diversi stakeholder (agricoltori, water manager, servizi agricoltura provinciali e regionali, servizi idrografici, agenzie di protezione ambientale) nella gestione delle risorse idriche e delle pratiche irrigue, nella mappatura e controllo dei fabbisogni idrici, ma anche nella previsione di rischi ambientali connessi alla variabilità del clima ed agli eventi climatici estremi, quali, ad esempio, il rischio incendi, la siccità, le piene fluviali.

L'esperienza maturata con il servizio IASMHYN ha dimostrato come l'integrazione dei dati satellitari/radar e delle misure a terra con semplici schematizzazioni modellistiche del suolo, consenta di fornire mappe giornaliere ad alta risoluzione delle principali variabili agro-meteorologiche senza ricorrere a complesse catene modellistiche.



MOUNTAIN-EERING SRL

Chi siamo

Mountain-eering S.r.l. (www.mountain-eering.com) è una società di ingegneria attiva dal 2008 nel settore ambientale. È stata il primo spin off dell'Università di Trento, poi incubata nel TIS e successivamente azienda tecnologica di IDM.

Mountain-eering S.r.l. offre consulenza, servizi di ingegneria, monitoraggio ambientale e formazione nel settore dei dissesti naturali e dell'idrologia in ambiente montano, trasferendo nella pratica ingegneristica i risultati della ricerca scientifica allo stato dell'arte nel settore. In particolare, si è specializzata nei seguenti ambiti:

- analisi della pericolosità del territorio per dissesti idrogeologici, quali movimenti franosi, colate di detriti, alluvioni, caduta massi, a supporto della pianificazione urbanistica e della protezione del territorio;
- analisi idrologiche in ambienti montani (fiumi, ghiacciai, neve, permafrost) volti alla pianificazione e alla ottimizzazione dell'uso delle risorse idriche e alla identificazione di possibili scenari futuri;
- monitoraggi ambientali e misure di portata nei torrenti montani;
- rilievi topografici di precisione per la caratterizzazione di alvei fluviali e torrentizi.

Progetto MONALISA

Mountain-eering S.r.l. ha partecipato al progetto MONALISA assieme alla ditta Cisma S.r.l. sviluppando il prodotto MeteoAlp, un innovativo sistema di previsione e monitoraggio di variabili ambientali. In particolare Mountain-eering S.r.l. ha sviluppato un sistema in grado di stimare variabili idrologiche attraverso un algoritmo che risponde a leggi fisiche di conservazione della massa e dell'energia. L'applicazione ha interessato l'evoluzione del manto nevoso sotto forma di mappe dinamiche. Inoltre sono state sviluppate un'infrastruttura WebGIS ed una App per la visualizzazione delle mappe su sistemi di nuova generazione.

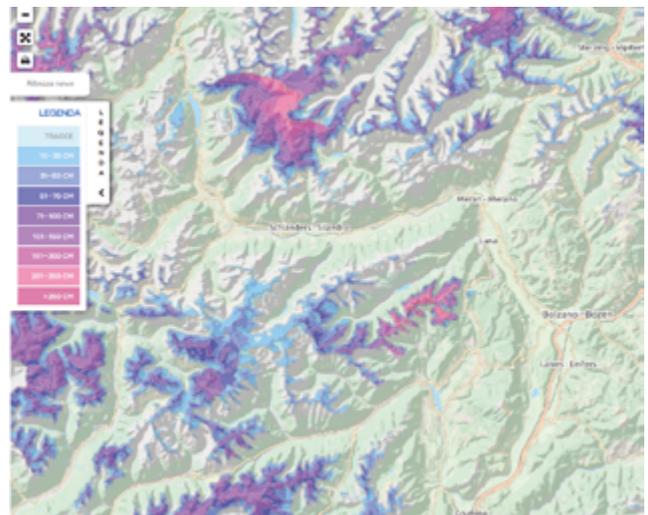
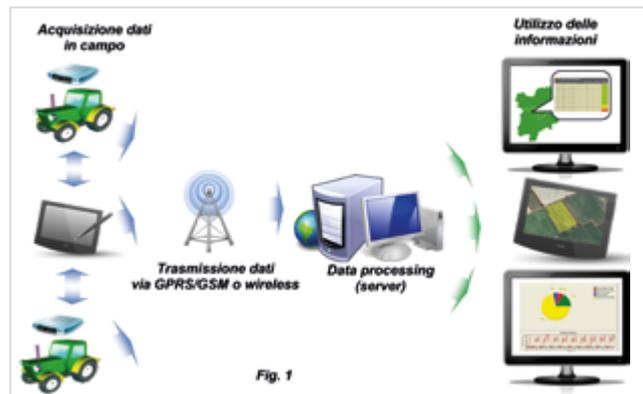
TERRITORIUM ONLINE

Chi siamo

La TOL con le sue sedi a Heidelberg, Monaco di Baviera e Bolzano è una Software house che sviluppa sistemi informatici in ambiti CAFM / CMMS, GIS e CAD.

Progetto MONALISA

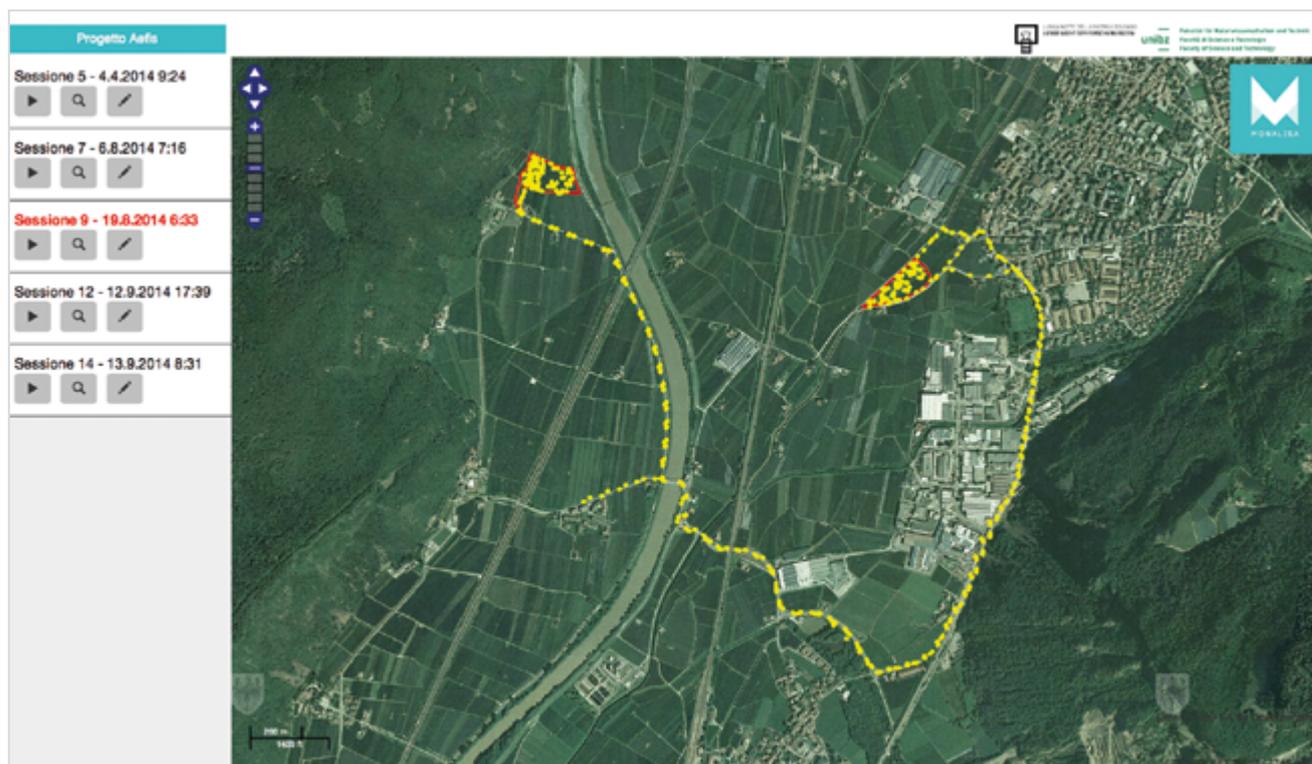
Il Progetto MONALISA aveva l'obiettivo generale di identificare e studiare le migliori soluzioni hardware e software, nonché le loro possibili integrazioni, per realizzare una piattaforma client-server in grado di raccogliere, elaborare e gestire i dati monitorati nelle attività di campo meccanizzate che si svolgono nelle aziende agricole, in particolare in ambiente alpino. Il sistema MONALISA (Fig. 1) è costituito da componenti HW e SW preposti, rispettivamente, alla raccolta dei dati e alla loro gestione. L'hardware installato sui mezzi agricoli è costituito da dataloggers sui trattori e transponder sulle operatrici. I dati sono poi spediti ad un server centrale in cui vengono immagazzinati ed elaborati. Appositi client web permettono all'utente finale di consultare le informazioni relative alle operazioni svolte presso la sua azienda.



Nel corso del progetto sono state testate diverse soluzioni tecnologiche al fine di identificare i requisiti che i singoli componenti del sistema ed il suo insieme devono soddisfare, per poter essere presi in considerazione ai fini di un utilizzo effettivo a supporto delle attività gestionali delle aziende agricole.

In sintesi, grazie al cofinanziamento concesso e alla collaborazione con la Libera Università di Bolzano, sono state maturate competenze e conoscenze importanti

relativamente al monitoraggio operativo nelle aziende agricole. Queste competenze saranno utilizzate per integrare il monitoraggio automatico nel sistema informativo vinicolo (WIS), recentemente sviluppato da TOL. Si intende, quindi, continuare con i test e il perfezionamento dei moduli relativi all'acquisizione dei dati in campo e alla loro trasmissione al server, così come all'acquisizione dei prodotti utilizzati nei trattamenti tramite smartphone.



Ricostruzione delle attività meccanizzate nell'azienda pilota. Interfaccia presa dalla demo LuNa.

Conclusioni: verso il Parco Tecnologico di Bolzano

Andrea Vilardi

A partire dalla fine del 2017, il **NOI –Nature Of Innovation, Techpark Südtirol/Alto Adige** sarà il punto d'incontro tra ricerca e aziende nei settori delle tecnologie alimentari, dell'automazione, delle tecnologie verdi e delle tecnologie alpine (per ulteriori informazioni: <https://noi.bz.it>).

Il progetto MONALISA si è posto fin dalle sue prime fasi di sviluppo quale possibile fornitore di contenuti scientifico/tecnologici per il Parco Tecnologico, anche in considerazione dello sforzo effettuato per la creazione di un nuovo sistema per l'innovazione in Alto Adige tramite la collaborazione tra imprese ed enti di ricerca. Alcuni risultati del progetto, in particolare collegati al database, entreranno a pieno titolo all'interno del parco, tramite l'istituzione di un **Laboratorio Eurac Research di Sensoristica per il Monitoraggio Ambientale**, il cui obiettivo è quello di fornire un'infrastruttura tecnica di supporto per la creazione di servizi ad alto valore aggiunto collegati al monitoraggio ambientale.

In particolare, il progetto permetterà il consolidamento e l'ulteriore sviluppo di un Sistema Informativo Integrato per la gestione, l'analisi e la fruizione di dati raccolti nel territorio altoatesino per il monitoraggio ambientale, e di tecnologie a microcontrollore/microprocessore a basso costo per la gestione e l'acquisizione di dati da sensori. Il Laboratorio faciliterà e promuoverà il trasferimento delle conoscenze generate da Eurac Research nel contesto del monitoraggio ambientale, colmando il divario che attualmente si riscontra tra il mondo della ricerca e quello dell'innovazione con l'obiettivo di fornire soluzioni tecnologiche per il beneficio di vari settori sociali ed economici, quali le tecnologie alpine, l'agricoltura, i rischi naturali e il turismo. Nello specifico, il Laboratorio si occuperà dell'intero ciclo di vita del dato, partendo dalla pianificazione e architettura per la sua acquisizione, considerando i sensori e le tecnologie per la comunicazione delle informazioni fino ai sistemi e basi dati di raccolta, organizzazione ed analisi ed infine ai sistemi di controllo e distribuzione di prodotti e servizi.

Pubblicazioni

Acqua e carbonio

Paper

On the energy balance closure and net radiation in complex terrain. Wohlfahrt, G., Hammerle, A, Niedrist, G., Scholz, K., Tomelleri, E., Zhao, P. (Agricultural and Forest Meteorology, Volumes 226-227, 15 October 2016, Pages 37-49).

Assessment of climate change effect on intrinsic water use efficiency of two European Norway spruce chronosequences by a multi-stable isotope approach ISI Paper submitted to Tree Physiology F. Giammarchi; P. Cherubini; H. Pretzsch; G. Tonon

Two-source energy balance modeling of evapotranspiration in Alpine grasslands. Remote Sensing of Environment, submitted July 2016. M. Castelli, M.C. Anderson, Y. Yang, G. Wohlfahrt, G. Bertoldi, G. Niedrist, A. Hammerle, P. Zhao, M. Zebisch, C. Notarnicola

The integrated hydrologic model intercomparison project, IH-MIP2: A second set of benchmark results to diagnose integrated hydrology and feedbacks. Water Resour. Res. Accepted Author Manuscript. doi:10.1002/2016WR019191 (2016) S. Kollet, M. Sulis, R. Maxwell, C. Paniconi, M. Putti, G. Bertoldi, E.T. Coon, E. Cordano, S. Endrizzi, E. Kikinon, E. Mouche, C. Mügler, Y.-J. Park, J. C. Refsgaard, S. Stisen, and E. Sudicky

Estimation of soil moisture in mountain areas using SVR technique applied to multiscale active radar images at C band, L. Pasolli, C. Notarnicola, G. Bertoldi, L. Bruzzone, R. Remelgado, F. Greifeneder, G. Niedrist, S. Della Chiesa, U. Tappeiner and M. Zebisch, , IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 01/2015; 8(1):262-283 (Paper)

Soil moisture estimation by SAR in Alpine fields using Gaussian Process Regressor trained by model simulations, J. Stamenkovic, L. Guerriero, P. Ferrazzoli, C. Notarnicola, F. Greifeneder, J-P. Thiran, in press 2017 Transaction on Geoscience and Remote Sensing.

Proceedings

On the concept of a multi-scale integrated environmental monitoring system for South Tyrol, Proceedings of the Workshop on UAV-based Remote Sensing Methods for Monitoring Vegetation. 09. -10.09.2013, University of Cologne, Germany, A. Vilardi, C. Notarnicola, E. Tomelleri, R. Monsorino, M. Zebisch

On the additional information content of hyperspectral remote sensing data for estimating ecosystem carbon

dioxide and energy exchange, G. Wohlfahrt, A. Hammerle, and E. Tomelleri. Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-7193, 2015 EGU General Assembly 2015

Multiple years monitoring of Carbon fluxes by eddy covariance in an apple orchard Proceedings of the XXIX International Horticultural Congress (IHC2014); 17-22 August 2014, Brisbane (Australia) D. Zanotelli, L. Montagnani, G. Manca, F. Scandellari, M. Tagliavini

Multiple years monitoring of Carbon fluxes and allocation pattern in an apple orchard **The Earth Living Skin: Soil Life and Climate Changes (EGU – SSS Conference).** Proceeding of ELS2014 conference, Bari 22-25 September 2014 D. Zanotelli, L. Montagnani, G. Manca, F. Scandellari, F. Mazzetto, W.B. Melo, P. Cassol, M. Tagliavini

The Integrated Hydrologic Model Intercomparison Project, IH-MIP2: A second set of benchmark results to diagnose integrated hydrology and feedbacks. Proceedings of the XXI CMWR Conference, 20-24 June 2016, Toronto, Canada. S. Kollet, M. Sulis, R. Maxwell, C. Paniconi, M. Putti, G. Bertoldi, E.T. Coon, E. Cordano, S. Endrizzi, E. Kikinon, E. Mouche, C. Mügler, Y.-J. Park, J. C. Refsgaard, S. Stisen, and E. Sudicky

Talks

HPC needs for Integrated Hydrological Models: examples of application of the GEOTop model to the Vienna Scientific Cluster, G. Bertoldi G., Senoner S., Cordano E., Endrizzi S., Dall'Amico, and S. Cozzini. Austrian HPC Meeting 2017 - AHPC17, Grundlsee, Austria, March 1-3, 2017.

Mapping Evapotranspiration in the Alps through Two-Source Energy-Balance Models and Multi-Satellite Data Fusion: Scale Effects in Heterogeneous Landscapes. Abstract H31J-05; Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 14-18 Dec 2015. M. Castelli, Anderson, Y. Yang, G. Wohlfahrt, G. Bertoldi, E. Tomelleri, C. Notarnicola

Poster

Impacts of climate change on spatial distribution of snow, evapotranspiration and soil moisture in an Alpine Region. ROME2015 - Science Symposium on Climate, November 19-20, 2015, FAO Headquarters, Rome, Italy. (poster) G. Bertoldi, J. Brenner, S. Della Chiesa, G. Niedrist, U. Tappeiner

Vegetazione e suolo

Paper

On the relationship between ecosystem-scale hyperspectral reflectance and CO₂ exchange in European mountain grasslands. Balzarolo, M., Vescovo, L., Hammer-

le, A., Gianelle, D., Papale, D., Tomelleri, E., Wohlfahrt, G. (2015). *Biogeosciences*, 12, 3089, 3108

Phenopix: A R-package for image-based vegetation phenology. Filippa, G., Cremonese, E., Migliavacca, M., Galvagno, G., Forkel, M., Wingate, L., Tomelleri, E., Morra di Cella, U., Richardson, A.D. (2016). *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 220, Pages 141, 150

Time scale effects on the environmental control of carbon and water fluxes of an apple orchard. L. Montagnani, M. Tagliavini, D. Zanotelli, E. Tomelleri. Submitted to *Global Change Biology* (31.3.2017)

Retrieval of leaf area index in mountain grasslands in the Alps from MODIS satellite imagery, Article *Remote Sensing of Environment* 165, p. 159-174 (2015), L. Pasolli, S. Asam, M. Castelli, L. Bruzzone, G. Wohlfahrt, M. Zebisch, C. Notarnicola

Analysis of rockfall protection function temporal patterns in an uneven-aged forest by using LiDAR-derived data as input for Rockyfor3D and Samsara2 models ISI Paper Submitted to *Iforest*, V. Floreancig, J. Monnet, F. Bourrier, G. Lagarrigues, V. Lafond, A. Antonello, S. Franceschi, A. Andriolo, F. Comiti, G. Tonon

Net ecosystem carbon balance of an apple orchard Article *European Journal of Agronomy*, 2015- 63:97-104 D. Zanotelli, L. Montagnani, G. Manca, F. Scandellari, M. Tagliavini (Paper)

Effect of fruit load on the photosynthetic capacity and on the ecological light use efficiency of an apple orchard Article *Acta Hort.* – submitted D. Zanotelli, F. Scandellari, W.B. Melo, P. Cassol, M. Tagliavini

Farmer data sourcing. The case study of the spatial soil information maps in South Tyrol. Submitted to *Geoderma* 2017. S. Della Chiesa, D. La Cecilia, A. Balotti, M. Thalheimer, U. Tappeiner, G. Niedrist.

Evaluation of a Lidar-based 3D-stereoscopic vision system for the automatic monitoring of the canopy vigour status in orchards ISI Paper Submitted to *Biosystems Engineering*, M. Bietresato, R. Vidoni, A. Gasparetto, F. Mazzetto

Proceedings

UAV-based NDVI calculation over grassland: An alternative approach. A. Mejia-Aguilar, E. Tomelleri, S. Asam, and M. Zebisch. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 18, EGU2016-12659, 2016
EGU General Assembly 2016

Hyperspectral data for scaling ecosystem traits from point to landscape, E. Tomelleri, S. Asam, C. Notarnicola. Abstract B41N-06 presented at 2014 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 15-19 Dec.

Calibration of Cosmic Ray Neutron Probes in complex systems: open research issues. L. Piuksi, E. Tomelleri, G. Bertoldi, M. Zebisch, G. Niedrist, G. Tonon. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-19500, 2017 EGU General Assembly 2017

UAV based tree height estimation in apple orchards: potential of multiple approaches. A. Mejia-Aguilar, E. Tomelleri, A. Vilardi, and M. Zebisch. *Geophysical Research Abstracts*

Vol. 17, EGU2015-7082, 2015 EGU General Assembly 2015.

Forest protection function and uneven-aged management: a case study on the evolution of rockfall hazard for different forest opening sizes Contribution to conference V. Floreancig, J. Monnet, F. Bourrier, G. Lagarrigues, A. Antonello, S. Franceschi, A. Andriolo, F. Comiti, G. Tonon.

Modelling Feedbacks between Vegetation and Soil Moisture in Mountain Grasslands. Proceedings of the XXI CMWR Conference, 20-24 June 2016, Toronto, Canada. G. Bertoldi, C. Notarnicola, J. Brenner, F. Greifeneder, M. Castelli, G. Niedrist, U. Tappeiner

Modellazione degli impatti del cambiamento climatico sulla distribuzione spaziale dell'evapotraspirazione, dell'umidità del terreno e del manto nevoso in una valle alpina. Atti del XXXIV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, pp 364-365, Bari, 7-10 Settembre 2014. J. Brenner, G. Bertoldi, S. Della Chiesa, G. Niedrist, U. Tappeiner, A. Bronstert (Proceedings)

Un confronto multi-temporale tra la stima dell'umidità del terreno con immagini SAR e modello idrologico in ambito alpino. Atti del XXXIV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, pp 301-302, Bari, 7-10 Settembre 2014. G. Bertoldi, C. Notarnicola, F. Greifeneder, G. Cuzzo, S. Della Chiesa, G. Niedrist, U. Tappeiner

Soil moisture estimation using synergy of optical, SAR, and topographic data with Gaussian process regression, SPIE Remote Sensing, Amsterdam, Netherlands, September 2014. J. Stamenkovic, C. Notarnicola, N. Spindler, G. Cuzzo, G. Bertoldi, G. Niedrist, S. Della Chiesa, F. Greifeneder, D. Tuia, M. Borgeaud, J. P. Thiran,

The role of soil moisture on the coevolution of soil and vegetation in mountain grasslands. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016, 14925-1, 2016. EGU General Assembly 2016- Vienna, Austria, 18-22 April 2016. G. Bertoldi, C. Notarnicola, J. Brenner, M. Castelli, F. Greifeneder, G. Niedrist, J. Seeber, U. Tappeiner

Farmer data sourcing. The case study of the spatial soil information maps in South Tyrol. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 19, EGU2017-12701, 2017 EGU General Assembly 2017. S. Della Chiesa, G. Niedrist, M. Thalheimer, H. Hafner, D. La Cecilia

UAV-based NDVI calculation over grassland: An alternative approach, Abraham Mejia-Aguilar, Enrico Tomelleri, Sarah Asam, and Marc Zebisch, *Accademia Europea di Bolzano (EURAC)*, Istituto per il Telerilevamento Applicato, Bolzano, Italy, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-12659, 2016, EGU General Assembly 2016

On the design of a Mechatronic Mobile System for Laser Scanner Based Crop Monitoring Contribution to conference 14th Mechatronics Forum International Conference M. Bietresato, P. Boscariol, A. Gasparetto, F. Mazzetto, R. Vidoni

Design and first tests of a vision system to be placed on a tele-operated vehicle for monitoring the canopy vigour status in orchards Contribution to conference 1st Conference on Proximal Sensors Supporting Precision Agriculture, M. Bietresato, R. Vidoni, A. Gasparetto, F. Mazzetto

Integrating Remote And Ground-Based Sensing Techniques for Faster Diseases Detection In Vineyards. Gallo R.,

Ristorito G., Daglio G., Massa N., Berta G., Lazzari M., Mazzetto F., 2017 - In Proceedings of EFITA conference. Montpellier (France)

A tracked mobile robotic lab for monitoring the plants volume and health. Bietresato M., Carabin G., D'Auria D., Gallo R., Ristorito G., Mazzetto F., Vidoni R., Gasparetto A., Scalerà L., 2016, August. In Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), 2016 12th IEEE/ASME International Conference on (pp. 1-6). IEEE.

Tracked robot over a slope path: Dynamic stability control. D'Auria, D., Ristorito, G., Gallo, R., Mazzetto, F., 2016 - Proceedings - 2016 IEEE 17th International Conference on Information Reuse and Integration, IRI 2016

New solutions for the automatic early detection of diseases in vineyards through ground sensing approaches integrating LiDAR and optical sensors. Gallo R., Ristorito G., Daglio G., Massa N., Berta G., Lazzari M., Mazzetto F., 2017 - In Proceedings of CIOSTA conference "Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems". Palermo (Italy).

A Mobile Laboratory for Orchard Health Status Monitoring in Precision Farming. Ristorito G., Gallo R., Gasparetto A., Scalerà L., Vidoni R., Mazzetto F., 2017 - In Proceedings of CIOSTA conference "Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems". Palermo (Italy).

Talks

Leaf Area Index derivation from hyperspectral remote sensing data based on radiative transfer model inversion in heterogeneous grassland 9th EARSEL SIG Imaging Spectroscopy Workshop, 14-16 April, Luxembourg, S. Asam, J. Verrelst, D. Klein, C. Notarnicola

Phenological monitoring based on biophysical remote sensing products adapted to alpine areas, Contribution to Phenology 2015 Conference, 5. - 8. October 2015, Kusadasi, Turkey, S. Asam, J. Staab, M. Callegari, A. Costa, L. De Gregorio, F. Greifeneder, R. Monsorno, C. Notarnicola

Applicazioni agro-forestali di droni in Alto-Adige. Droni e professioni tradizionali viste nell'ottica del domani, Tomelleri, E., Mejia-Aguilar, A., Castelli, M., Thiebes, B., Schlögel, R., Franceschi, S., San Michele all'Adige (I) - May 2016

Validation of LiDAR-based methods for tree tops and crown extraction: a case study from South Tyrol IX Congresso Nazionale SISEF, V. Floreancig, A. Antonello, F. Comiti, A. Andriolo, G. Tonon

A GIS based toolbox for forestry analysis - comparison of methodologies. Tyrol IX Congresso Nazionale SISEF. A. Antonello, V. Floreancig, F. Comiti, G. Tonon

Feedbacks between vegetation and soil moisture in mountain grasslands, Abstract H33M-01; 2015 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 14-18 Dec 2015. M. Castelli, G. Bertoldi, C. Notarnicola, J. Brenner, F. Greifeneder, G. Niedrist, U. Tappeiner

Monitoring soil moisture to improve irrigation efficiency in apple orchards in South Tyrol, Tagungsprogramm

Zoologische und botanische Forschung in Südtirol-Programm del convegno Ricerca zoologica e botanica in Alto Adige_04-05.09.2014 S. Della Chiesa, G. Niedrist, G. Bertoldi, H. Hafner, M. Thalheimer, M. Zebisch, C. Notarnicola, U. Tappeiner

Temporal and spatial soil moisture dynamics in mountain meadows by integrating Radarsat2 images and ground data, IGARSS 2014&35th Canadian Symposium on Remote Sensing, Quebec, Canada, 13-18 July 2014. C. Notarnicola, L. Pasolli, G. Cuzzo, F. Greifeneder, G. Bertoldi, S. Della Chiesa, G. Niedrist, D. Castelletti, U. Tappeiner, L. Bruzzone, M. Zebisch

Irrigazione mirata nella frutticoltura altoatesina. 48ima Giornata Frutticola. Cortina s.s. del Vino (ITA) 07.02.2017 S. Della Chiesa, G. Niedrist, R. Wiedmer, H. Hafner.

Bedarfsorientierte Bewässerung im Südtiroler Obstbau. 61. Obstbautagung, Meran (ITA) 11.01.2017. G. Niedrist, S. Della Chiesa, R. Wiedmer, H. Hafner.

Flächendeckendes Bodenfeuchte-Monitoring im Südtiroler Obstbau. Obstbau-Weinbau, 1/2017, 5-10. G. Niedrist, S. Della Chiesa, R. Wiedmer, H. Hafner, M. Zöschg.

Monitoraggio estensivo dell'umidità del terreno nella frutticoltura altoatesina. Frutta e vite. 1/2017, 15-20. G. Niedrist, S. Della Chiesa, R. Wiedmer, H. Hafner, M. Zöschg.

Poster

Integration of multiple sensors for vegetation monitoring in Alpine areas, Poster: IEEE Sensors 2014, 2-5.11.2014, Valencia, Spain A. Vilaridi, A. Mejia-Aguilar, C. Notarnicola, E. Tomelleri, R. Monsorno, M. Zebisch

Monitoring soil moisture dynamics and irrigation efficiency in apple orchards field in the Venosta and Adige Valleys. Giornate dell'Idrologia 2016 - Trento, 27-29 giugno 2016. S. Della Chiesa, D. la Cecilia, G. Niedrist, H. Hafner, M. Thalheimer, G. Bertoldi, J. Brenner, U. Tappeiner

The green South Tyrol, monitoring and modelling the water budget of the irrigated mountain meadows and pasture. Società Idrologica Italiana, Giornate dell'Idrologia 2016 - Trento, 27-29 giugno 2016. G. Bertoldi, C. Notarnicola, J. Brenner, F. Greifeneder, M. Castelli, E. Cordanò, G. Niedrist, U. Tappeiner

Monitoring soil moisture patterns in alpine meadows using ground sensor networks and remote sensing techniques. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, 2015, European Geosciences Union, General Assembly 2015 - Vienna, Austria, 12-17 April 2015. G. Bertoldi, J. Brenner, C. Notarnicola, F. Greifeneder, I. Nicolini, S. Della Chiesa, G. Niedrist, U. Tappeiner

Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf Evapotranspiration und Bodenfeuchte in einem Alpen Einzugsgebiet (Venosta/Vinschgau, Südtirol, Italien). Tri-nationalen Workshop - Hydrologische Prozesse im Hochgebirge, Oberurgl (AT) 28-30/9/2014. G. Bertoldi School

UAV and biogeochemical cycling (ABEL), Training school

Monitoraggio OPERATIVO

Paper

GNSS-based operational monitoring devices for forest logging operation chains Journal of Agricultural Engineering, 44(2s). R. Gallo, S. Grigolato, R. Cavalli and F. Mazzetto

Developing an Automated Monitoring System for Cable Yarding Systems ISI Paper Submitted to CROJFE Croatian Journal of Forest Engineering, R. Gallo, R. Visser, F. Mazzetto

Proceedings

An ICT application for the assessment of biomass weight during yarding operations Contribution to conference EurAgEng 2015 R. Gallo, F. Mazzetto

A new approach for the assessment of timber weight during cable yarding: some preliminary results Contribution to conference AIIA 2015 R. Gallo, F. Mazzetto

IASMHYN: A web tool for mapping Soil Water Budget and agro-hydrological assessment through the integration of monitoring and remote sensing data. Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016, 12253, 2016. EGU General Assembly 2016- Vienna, Austria, 18-22 April 2016. (talk) S. Bagli, A. Pistocchi, P. Mazzoli, M. Borga, G. Bertoldi, J. Brenner, V. Luzzi

An interdisciplinary open-air laboratory to study Alpine ecohydrological systems under environmental and anthropogenic change. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, 2015, European Geosciences Union, General Assembly 2015 - Vienna, Austria, 12-17 April 2015. U. Tappeiner, G. Bertoldi, S. Della Chiesa, J. Brenner, N. Obojes, G. Niedrist

Automatic filling of field activities register, from challenge into reality. Mazzetto F., Gallo R., Importuni P., Petrerá S., Sacco P., 2017 - In Proceedings of CIOSTA conference "Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems". Palermo (Italy).

Chainsaw vibrations, a useful parameter for the automatic tree volume estimations and production assessment of felling operations. Gallo R., Nalli F., Cortese L., Knollseisen D., Noggler W., Mazzetto F., 2017 - In Proceedings of CIOSTA conference "Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems". Palermo (Italy).

Mission Planning for the Estimation of the Field Coverage of Unmanned Aerial Systems in Monitoring Mission in Precision Farming. Ristorto G., D'Incalci P., Gallo R., Mazzetto F., Guglieri G., 2017 - In Proceedings of CIOSTA conference "Research and Innovation for the Sustainable and Safe Management of Agricultural and Forestry Systems". Palermo (Italy).

A further step to the automatic assessment of the yarding operation productivity: an ICT application for the assessment of biomass weight during yarding operations Gallo R., Noggler W., Mazzetto F., 2017 - In Proceedings of AIIA conference "Biosystems engineering addressing the human challenges of the 21st century". Bari (Italy).

Performing an automatic timber assessment during cable yarding operations: results from an experimental cable yarding system. Gallo R., Mazzetto F., 2016. In Proceeding of AUSTimber2016 "Sustainable Supply Chains for the Timber Economy of the Future". Victoria (Australia).

Talks

Inwieweit kann SAR zum Monitoring der Bodenfeuchte in Gebirgsregionen in Betracht gezogen werden? Tri-nationalen Workshop - Hydrologische Prozesse im Hochgebirge", Obergurgl (AT) 28-30/9/2014. G. Bertoldi

Poster

IASMHYN; A web-mapping tool for improved management of agricultural systems by monitoring and hydrological evaluation. Giornate dell'Idrologia 2016 - Trento, 27-29 giugno 2016 S. Bagli, A. Pistocchi, G. Bertoldi, M. Borga, J. Brenner, P. Mazzoli, V. Luzzi, D. Zanotelli

An open source R-based interface for visualizing and optimizing hydrological models: an application for modeling the water budget of agricultural sites. Giornate dell'Idrologia 2016 - Trento, 27-29 giugno 2016. E. Cordano, G. Bertoldi, J. Brenner

Qualità della frutta

Paper

Relationship between texture sensory profiles and optical properties measured by time-resolved reflectance spectroscopy during post storage shelf life of 'Braeburn' apples Article Journal of Horticultural Research, 2014, vol. 22(1); 113-121 A. Rizzolo, M. Vanoli, G. Bianchi, A. Zanella, M. Grassi, A. Torricelli, L. Spinelli

Proceedings

The Prediction of Ascorbic Acid in Apples Using Near-Infrared (NIR) Spectroscopy together with Partial Least Squares (PLS) Regression, Oral presentation: AHC2016: 2nd Asian Horticultural Congress; 2016, Chengdu, Sichuan, China, Liu T, M. Bassi, N. Sadar, G. Lubes, S. Agnolet, B. Stürz, W. Guerra, P. Robatscher, A. Zanella, M. Oberhuber

Optical, acoustic and textural attributes in cv. Braeburn and cv. Nicoter (Kanzi®) apple resulting from different pre- and post harvest conditions, Article Acta Hort. In press. Sadar N, I. Ebner, O. Rossi, G. Agati, A. Zanella

Image analysis of starch pattern index as an objective parameter of apple fruit maturity stage, Article Acta Hort. In press. Sadar N, A. Zanella

Apples from MONALISA: Biological variation of firmness behaviour in storage and shelf life, Article Acta Hort. In press. Tijkskens L.M.M., R.E. Schouten, A. Zanella, N. Sadar

Techniques to assess biological variation in destructive data, Article Acta Hort. In press. Tijskens L.M.M. , R.E. Schouten, Jongbloed G., P.J. Konopacki

Comparison of methods for online inspection of apple internal quality, 7th Conference on Industrial Computed Tomography, Leuven, Belgium (iCT 2017), M. van Dael, P. Verboven, L. Van Hoorebeke, J. Sijbers, B. Nicolai

Time-resolved reflectance spectroscopy reveals different texture characteristics in 'Braeburn', 'Gala' and 'Kanzi' apples, Article Acta Hort. In press. Vanoli M, M. Grassi, M. Buccheri, F. Lovati, N. Sadar, A. Zanella, A. Torricelli, A. Rizzolo, L. Spinelli

Characterizing Apple Texture during Storage through Mechanical, Sensory and Optical Properties Article Acta Hort. 1079; 383- 390 M. Vanoli, A. Rizzolo, M. Grassi, A. Torricelli, A. Zanella, L. Spinelli

The Potential of Alternative Methods for Determining the Optimum Harvest Date of Apple Fruit Article Acta Hort. 1079; 373- 382 A. Zanella, S. Stürz, A. Panarese, O. Rossi

Uso della spettroscopia di riflettanza risolta nel tempo per distinguere mele con diversa struttura, Atti del 7° Simposio Italiano di Spettroscopia NIR - NIRITALIA 2016, Italy, Rizzolo A, M. Vanoli, F. Lovati, M. Grassi, M. Buccheri, N. Sadar, A. Torricelli, A. Zanella, L. Spinelli

Evolution of Vis/NIR bulk optical properties of apple skin and flesh during fruit maturation, Proceedings of the ICNIRS 2015, Van Beers R, B. Aernouts, R. Watté, A. Schenk, B. Nicolai, W. Saeys

Talks

Relationship between texture sensory profiles and optical properties measured by time resolved reflectance spectroscopy during post storage shelf life of Braeburn apples, Oral presentation: 3rd International Conference on "Effects of Pre- and Post-harvest Factors on Health Promoting Components and Quality of Horticultural Commodities", 2014, P. Skierniewice, A. Rizzolo, M. Vanoli, G. Bianchi, A. Zanella, M. Grassi, A. Torricelli, L. Spinelli

Uso della spettroscopia di riflettanza risolta nel tempo per distinguere mele con diversa struttura, Oral presentation: 7° Simposio Italiano di Spettroscopia NIR - NIRITALIA 2016, Italy, Rizzolo A, M. Vanoli, F. Lovati, M. Grassi, M. Buccheri, N. Sadar, A. Torricelli, A. Zanella, L. Spinelli

Apples from MONALISA: Biological variation of firmness behaviour in storage and shelf life, Oral presentation: VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, 2016, Spain, Tijskens L.M.M., R.E. Schouten, A. Zanella, N. Sadar

Techniques to assess biological variation in destructive data, Oral presentation: VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, Spain, Tijskens L.M.M. , R.E. Schouten, Jongbloed G., P.J. Konopacki

Evolution of Vis/NIR bulk optical properties of apple skin and flesh during fruit maturation, Oral presentation: 17th International Conference on Near Infrared Spectroscopy,

2015, Brazil, Van Beers R, B. Aernouts, R. Watté, A. Schenk, B. Nicolai, W. Saeys

Time-resolved reflectance spectroscopy reveals different texture characteristics in 'Braeburn', 'Gala' and 'Kanzi' apples, Oral presentation: VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, 2016, Spain, Vanoli M, M. Grassi, M. Buccheri, F. Lovati, N. Sadar, A. Zanella, A. Torricelli, A. Rizzolo, L. Spinelli

MONALISA - A collaborative multi-sensor approach for non-destructive prediction of apple fruit quality, XI GIORNATE SCIENTIFICHE SOI 2016, Italy, Zanella A, N. Sadar, G. Agati, P. Robatscher, W. Saeys, R.E. Schouten, L. Tijskens, L. Spinelli, P. Verboven, M. Oberhuber

Nondestructive Technologies in post harvest quality analysis, Oral presentation at: MONALISA - Environmental Sensing for agricultural application (Interpoma 2016 Side Event), A. Zanella, N. Sadar, G. Agati, P. Robatscher, W. Saeys, R.E. Schouten, L. Tijskens, L. Spinelli, P. Verboven, M. Oberhuber

MONALISA on Apple - Monitoring key environmental parameters of the alpine environment: the apple quality in the focus of science and technology, Interpoma 2016, International congress "The apple in the world", Italy, Zanella A, F. Mazzetto, D. Zanotelli

Zukunftsträchtige Ansätze zur Messung und Vorhersage der Apfel-Qualität ab Ernte bis zum Konsumenten, im südtiroler Projekt MONALISA, Laimburger Lagerungstagung 2016, Italy, Zanella A, Sadar N

Poster

Optical, acoustic and textural attributes in cv. Braeburn and cv. Nicoter (Kanzi®) apple resulting from different pre- and post harvest conditions, VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, Spain 2016, Sadar N, I. Ebner, O. Rossi, G. Agati, A. Zanella

Image analysis of starch pattern index as an objective parameter of apple fruit maturity stage, VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, 2016, Spain, Sadar N, A. Zanella

Studio della texture di mele 'Gala': relazioni tra grado di maturazione misurato con spettroscopia di riflettanza risolta nel tempo e proprietà meccaniche, acustiche e sensoriali, XI GIORNATE SCIENTIFICHE SOI 2016, Italy, Vanoli M, A. Rizzolo, M. Grassi, F. Lovati, M. Buccheri, A. Zanella, N. Sadar, A. Dalla Mora, E. Martinenghi, A. Torricelli, L. Spinelli

Characterizing apple texture during storage through mechanical, sensory and optical properties, V International Conference Postharvest Unlimited, 2014, Lemesos, Cyprus M. Vanoli, A. Rizzolo and M. Grassi, A. Zanella, A. Torricelli, L. Spinelli

Micro-CT imaging of apple tissue microstructure during shelf life, VIII International Postharvest Symposium: Enhancing Supply Chain and Consumer Benefits - Ethical and Technological Issues, 2016, Spain, Wang Z, D. Cantre, R. Van Beers, N. Nguyen, W. Saeys, P. Verboven, B. Nicolai

Database

Paper

Organizing earth observation data inside a spatial data infrastructure, article, Earth Sci Inform (2016), M. Innerebner, A. Costa, E. Chuprikova, R. Monsorno, B. Ventura

Talks

From research to operationality: a workflow for standardized UAV-borne hyperspectral data. Tomelleri, E., Aasen, H., Mejia Aguilar, A., Monsorno, M. Expert Workshop on Hyperspectral Imaging from UAVs. Milano (I) - December 2016.

Eurac Research

Istituto per l'osservazione della Terra
Istituto per l'ambiente alpino

Viale Druso 1
39100 Bolzano

www.monalisa-project.eu

T 0471 055 370