

Le webcam per il monitoraggio della fenologia della vegetazione: stato dell'arte, applicazioni e sviluppi

E. Cremonese¹ T. Julitta² M. Migliavacca³ M. Galvagno¹
F. Diotri¹ M. Rossini² C. Siniscalco⁴ R. Colombo² U.
Morra di Cella¹

¹A.O. Cambiamenti Climatici - ARPA Valle d'Aosta - e.cremonese@arpa.vda.it

²Laboratorio di Telerilevamento - Università di Milano Bicocca

³European Commission – DG Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Climate Change and Air Quality Unit

⁴Dipartimento Biologia Vegetale - Università di Torino

Bologna SIMinARIA 2012, 02-10-2012

- 1 Fenologia e climate change
- 2 Fenologia e processi ecosistemici
- 3 Webcam per il monitoraggio della fenologia
- 4 Applicazioni e sviluppi



1. Fenologia e climate change



Cos'è la fenologia

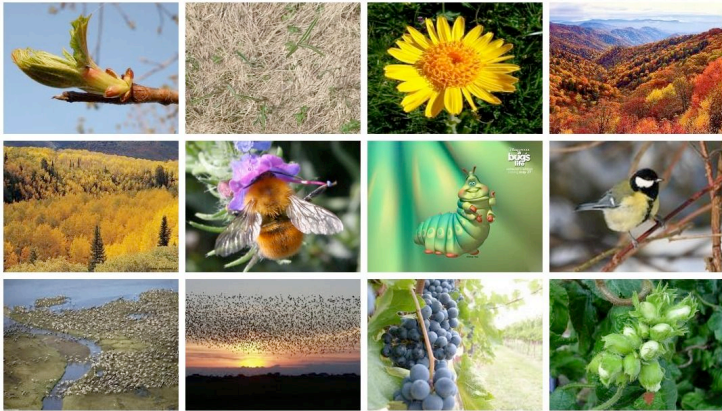


La fenologia è lo studio dei fenomeni biologici periodici (es fioritura, riproduzione, migrazioni, ...) in relazione alle condizioni climatiche

Cos'è la fenologia



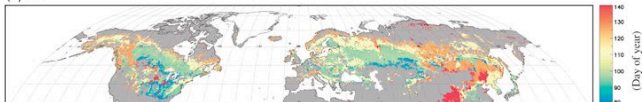
La fenologia è lo studio dei fenomeni biologici periodici (es fioritura, riproduzione, migrazioni, ...) in relazione alle condizioni climatiche



fenomeno ubiquitario e ciclico

Jeong et al 2011, Global Change Biology

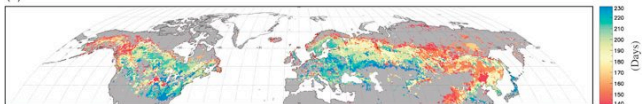
(a) SOS



(b) EOS



(c) LOS

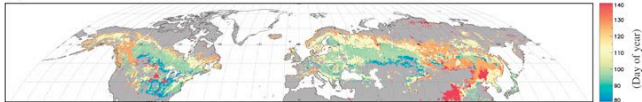


- pulse of our planet (USA NPN)
- the rhythm of the seasons (Morissette et al 2009, Front. Ecol. Environ.)

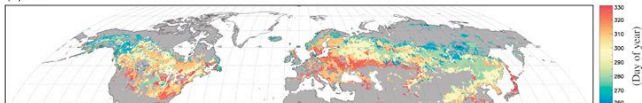
fenomeno ubiquitario e ciclico

Jeong et al 2011, Global Change Biology

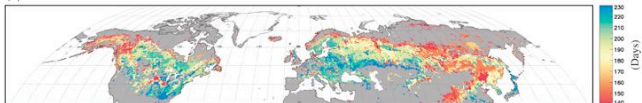
(a) SOS



(b) EOS



(c) LOS



- pulse of our planet (USA NPN)
- the rhythm of the seasons (Morisette et al 2009, Front. Ecol. Environ.)

La fenologia è importante perché: (Richardson 2011)

- ① è un fenomeno fortemente influenzato dal climate change: “Phenology . . . is perhaps the simplest process in which to track changes in the ecology of species in response to climate change” (IPCC AR4: Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability, page 99)
- ② controlla importanti feedbacks verso il sistema climatico: albedo, energy balance, flussi di CO₂, VOC_s
- ③ influisce sulle interazioni ecologiche: produttività, competizione, riproduzione, dispersione dei semi
- ④ è rilevante per il land management (agricoltura, foreste, specie invasive) e per la salute umana (trasporto di allergeni)



La fenologia è importante perché: (Richardson 2011)

- 1 è un fenomeno fortemente influenzato dal climate change: “Phenology . . . is perhaps the simplest process in which to track changes in the ecology of species in response to climate change” (IPCC AR4: Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability, page 99)
- 2 controlla importanti feedbacks verso il sistema climatico: albedo, energy balance, flussi di CO₂, VOC_s
- 3 influisce sulle interazioni ecologiche: produttività, competizione, riproduzione, dispersione dei semi
- 4 è rilevante per il land management (agricoltura, foreste, specie invasive) e per la salute umana (trasporto di allergeni)



La fenologia è importante perché: (Richardson 2011)

- 1 è un fenomeno fortemente influenzato dal climate change: “Phenology . . . is perhaps the simplest process in which to track changes in the ecology of species in response to climate change” (IPCC AR4: Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability, page 99)
- 2 controlla importanti feedbacks verso il sistema climatico: albedo, energy balance, flussi di CO₂, VOC_s
- 3 influisce sulle interazioni ecologiche: produttività, competizione, riproduzione, dispersione dei semi
- 4 è rilevante per il land management (agricoltura, foreste, specie invasive) e per la salute umana (trasporto di allergeni)



La fenologia è importante perché: (Richardson 2011)

- 1 è un fenomeno fortemente influenzato dal climate change: “Phenology . . . is perhaps the simplest process in which to track changes in the ecology of species in response to climate change” (IPCC AR4: Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability, page 99)
- 2 controlla importanti feedbacks verso il sistema climatico: albedo, energy balance, flussi di CO₂, VOC_s
- 3 influisce sulle interazioni ecologiche: produttività, competizione, riproduzione, dispersione dei semi
- 4 è rilevante per il land management (agricoltura, foreste, specie invasive) e per la salute umana (trasporto di allergeni)



La fenologia è importante perché: (Richardson 2011)

- 1 è un fenomeno fortemente influenzato dal climate change: “Phenology . . . is perhaps the simplest process in which to track changes in the ecology of species in response to climate change” (IPCC AR4: Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability, page 99)
- 2 controlla importanti feedbacks verso il sistema climatico: albedo, energy balance, flussi di CO₂, VOC_s
- 3 influisce sulle interazioni ecologiche: produttività, competizione, riproduzione, dispersione dei semi
- 4 è rilevante per il land management (agricoltura, foreste, specie invasive) e per la salute umana (trasporto di allergeni)



Fenologia e climate change

Fenologia e processi ecosistemici
Webcam per il monitoraggio della fenologia
Applicazioni e sviluppi

Cos'è la fenologia

Fenologia e clima

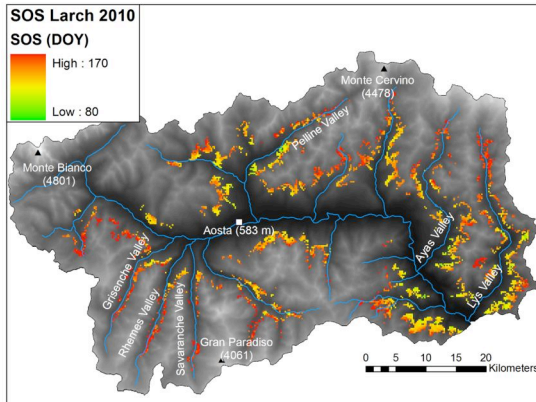
Relazione con il climate change

Fenologia e clima



La fenologia è influenzata dal clima

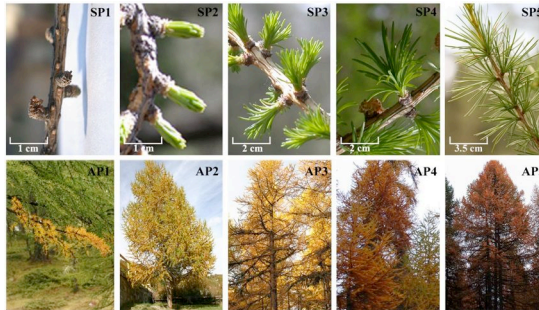
Lo sviluppo primaverile del larice in Valle d'Aosta può variare di 90 giorni in base alla quota



gradienti altitudinali, latitudinali e longitudinali, continentale vs marittimo

La fenologia è influenzata dalle condizioni meteo

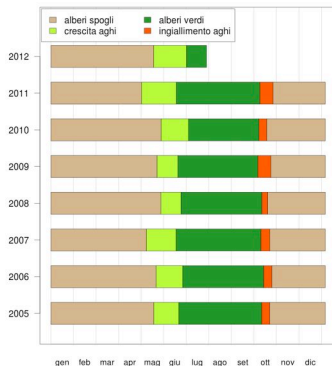
Variabilità interannuale a scala di plot (2005-2012)



protocollo di rilievo a terra del larice

La fenologia è influenzata dalle condizioni meteo

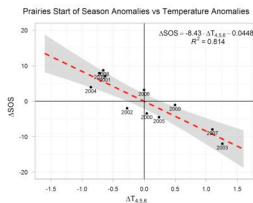
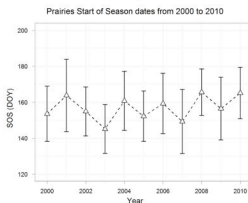
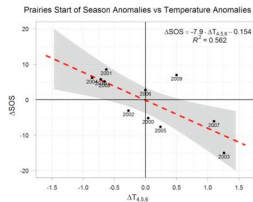
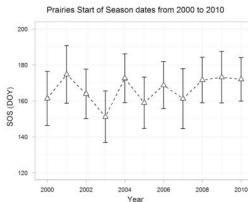
Variabilità interannuale a scala di plot (2005-2012)



Δ fasi primaverili (0-30d) e Δ fasi autunnali (0-10d)

La fenologia è influenzata dalle condizioni meteo

Variabilità interannuale a scala regionale: praterie alpine VdA e Alpi francesi

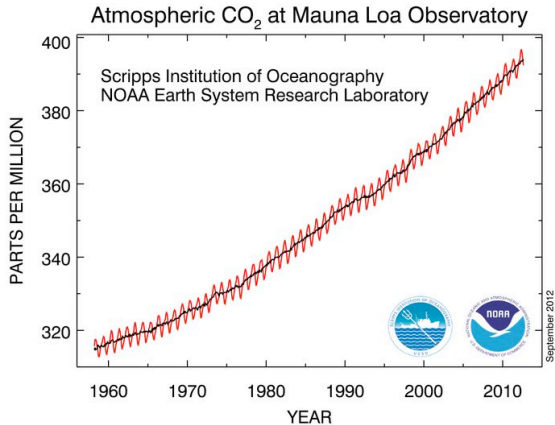


sviluppo primaverile \sim temperatura: $7.9\text{-}8.4\text{days}^{\circ}\text{C}^{-1}$

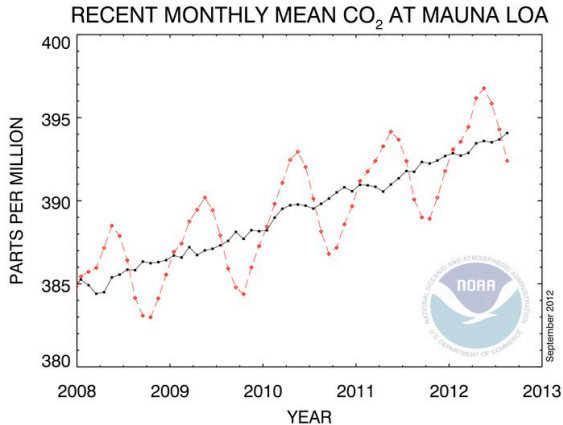
Relazione con il climate change



Fenologia e climate change: feedback clima-fenologia a scala globale

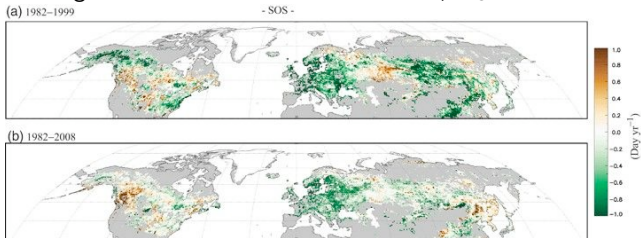


Fenologia e climate change: feedback clima-fenologia a scala globale



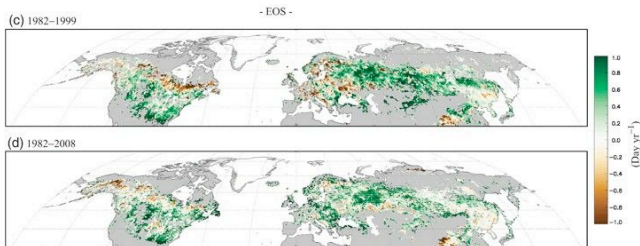
Fenologia e climate change: la primavera arriva prima!

shift fenologico SOS emisfero nord 1982-2008 (Jeong et al 2011, Glob. Ch. Biol.)



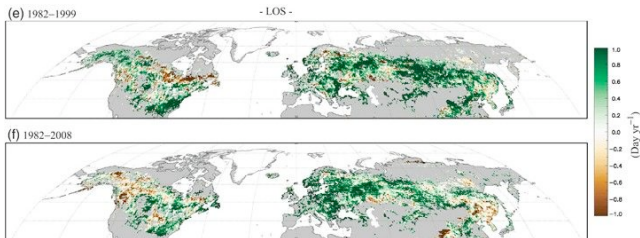
Fenologia e climate change: l'autunno arriva dopo!

shift fenologico EOS emisfero nord 1982-2008 (Jeong et al 2011, Glob. Ch. Biol.)



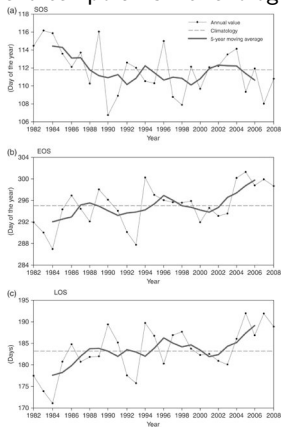
Fenologia e climate change: la stagione è più lunga!

shift fenologico LOS emisfero nord 1982-2008 (Jeong et al 2011, Glob. Ch. Biol.)

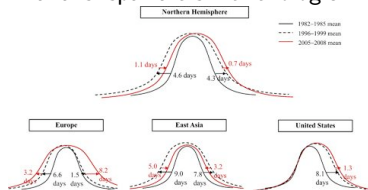


Fenologia e climate change (Jeong et al 2011, Glob. Ch. Biol.)

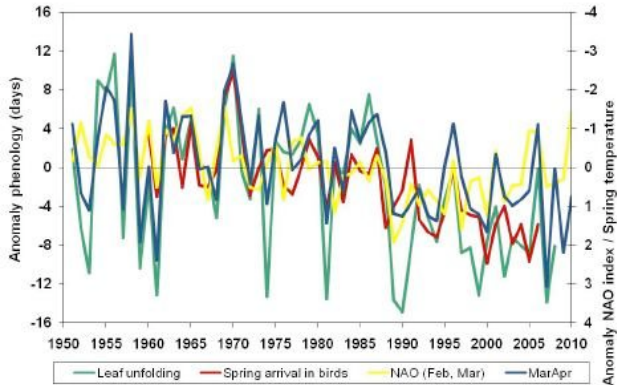
trend temporali shift fenologici



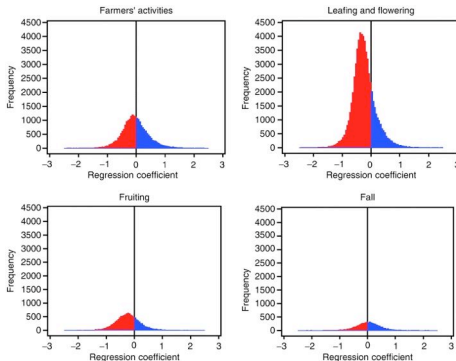
analisi spaziale shift fenologici



Fenologia e climate change: trend a livello europeo (Walther, Menzel et al 2002, Nature, updated)

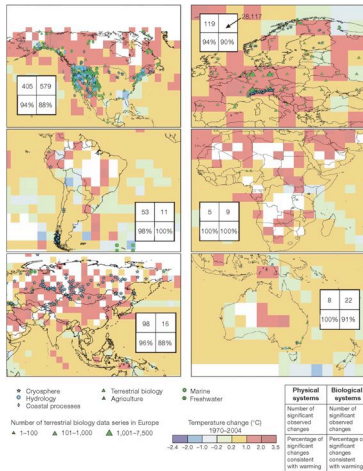


Fenologia e climate change: trend a livello europeo COST725 (Menzel et al 2006, GCB)



budburst e fioritura: -2.5 d/10yr, raccolta frutti: -2.4 d/10yr, pratiche agricole: -0.4 d/10yr, autunno: $+0.2$ d/10yr (n: 120.000, 1971-2000)

Location of significant changes in observations (Rosenzweig et al 2008, Nature, IPCC2007, WGII, SPM)



Fenologia come fingerprint di climate change (Menzel et al 2011, IPCC2007, WGII, SPM)

- 1 Dei 29.000 dataset di osservazioni che mostrano una variazione significativa, più del 89% sono consistenti con la direzione di variazione attesa come risposta al riscaldamento. Più di 28.000 di questi dati derivano dalla COST725 e sono **osservazioni fenologiche**;
- 2 la sovrapposizione spaziale delle aree in cui è stato osservato un riscaldamento e della localizzazione di sistemi per i quali sono stati osservate delle variazioni significative in risposta al riscaldamento, è *very unlikely* dovuta solamente alla variabilità naturale delle temperature o alla variabilità naturale dei sistemi.



Fenologia come fingerprint di climate change (Menzel et al 2011, IPCC2007, WGII, SPM)

- 1 Dei 29.000 dataset di osservazioni che mostrano una variazione significativa, più del 89% sono consistenti con la direzione di variazione attesa come risposta al riscaldamento. Più di 28.000 di questi dati derivano dalla COST725 e sono **osservazioni fenologiche**;
- 2 la sovrapposizione spaziale delle aree in cui è stato osservato un riscaldamento e della localizzazione di sistemi per i quali sono stati osservate delle variazioni significative in risposta al riscaldamento, è **very unlikely** dovuta solamente alla variabilità naturale delle temperature o alla variabilità naturale dei sistemi.

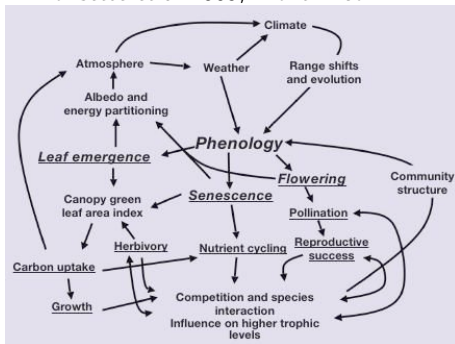


2. Fenologia e processi ecosistemici



Fenologia e processi ecosistemici

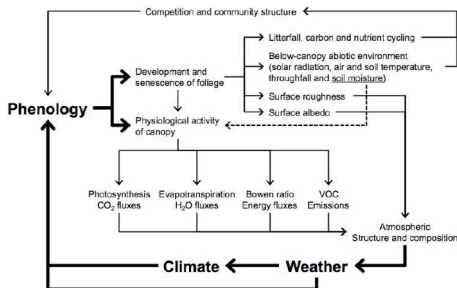
Morissette et al 2009, Front. Ecol. Env.



fenologia influenzata da meteo (short term) e clima (long term) + feedbacks verso l'atmosfera e il sistema climatico + effetti su interazioni ecologiche a varie scale (individuo, comunità, ecosistema) e sui diversi livelli trofici

Fenologia e processi ecosistemici

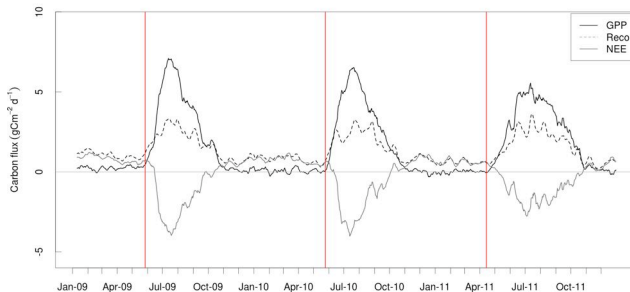
Richardson et al 2011



Regolazione fenologica dei processi ecosistemici e dei feedback al sistema climatico

Fenologia e processi ecosistemici

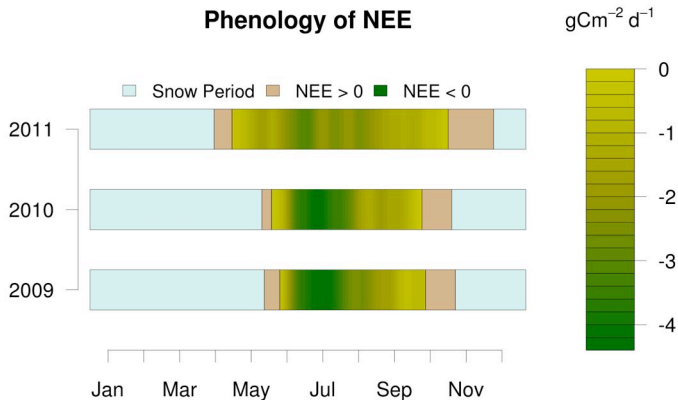
Qual'è l'impatto degli shift fenologici sulle funzioni ecosistemiche?



andamento stagionale dello scambio di CO₂ in un pascolo alpino (Torgnon - VdA - 2160m slm) (Galvagno et al 2012, in prep)

Fenologia e processi ecosistemici

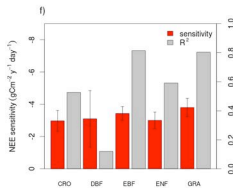
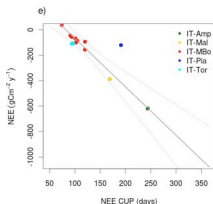
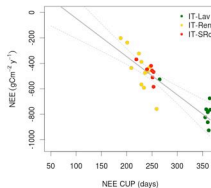
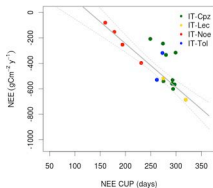
Qual'è l'impatto degli shift fenologici sulle funzioni ecosistemiche?



(Galvagno et al 2012, in prep)

Fenologia e processi ecosistemici

Qual'è l'impatto degli shift fenologici sulle funzioni ecosistemiche?



3. Webcam per il monitoraggio della fenologia



monitoraggio della fenologia a livello di ecosistema utilizzando tecniche di telerilevamento di prossimità (near surface remote sensing)

- analisi quantitativa dello sviluppo della canopy e della senescenza con misure ottiche:
 - ① immagini digitali (webcam): variazioni nel segnale RGB
 - ② sensori radiometrici: NDVI, broadband NDVI, fAPAR
- forniscono misure continue a scala di comunità/ecosistema/paesaggio;
- superano alcuni limiti delle osservazioni a terra e dei dati satellitari.



monitoraggio della fenologia a livello di ecosistema utilizzando tecniche di telerilevamento di prossimità (near surface remote sensing)

- analisi quantitativa dello sviluppo della canopy e della senescenza con misure ottiche:
 - ① immagini digitali (webcam): variazioni nel segnale RGB
 - ② sensori radiometrici: NDVI, broadband NDVI, fAPAR
- forniscono misure continue a scala di comunità/ecosistema/paesaggio;
- superano alcuni limiti delle osservazioni a terra e dei dati satellitari.



monitoraggio della fenologia a livello di ecosistema utilizzando tecniche di telerilevamento di prossimità (near surface remote sensing)

- analisi quantitativa dello sviluppo della canopy e della senescenza con misure ottiche:
 - 1 immagini digitali (webcam): variazioni nel segnale RGB
 - 2 sensori radiometrici: NDVI, broadband NDVI, fAPAR
- forniscono misure continue a scala di comunità/ecosistema/paesaggio;
- superano alcuni limiti delle osservazioni a terra e dei dati satellitari.



monitoraggio della fenologia a livello di ecosistema utilizzando tecniche di telerilevamento di prossimità (near surface remote sensing)

- analisi quantitativa dello sviluppo della canopy e della senescenza con misure ottiche:
 - 1 immagini digitali (webcam): variazioni nel segnale RGB
 - 2 sensori radiometrici: NDVI, broadband NDVI, fAPAR
- forniscono misure continue a scala di comunità/ecosistema/paesaggio;
- superano alcuni limiti delle osservazioni a terra e dei dati satellitari.



monitoraggio della fenologia a livello di ecosistema utilizzando tecniche di telerilevamento di prossimità (near surface remote sensing)

- analisi quantitativa dello sviluppo della canopy e della senescenza con misure ottiche:
 - 1 immagini digitali (webcam): variazioni nel segnale RGB
 - 2 sensori radiometrici: NDVI, broadband NDVI, fAPAR
- forniscono misure continue a scala di comunità/ecosistema/paesaggio;
- superano alcuni limiti delle osservazioni a terra e dei dati satellitari.



monitoraggio della fenologia a livello di ecosistema utilizzando tecniche di telerilevamento di prossimità (near surface remote sensing)

- analisi quantitativa dello sviluppo della canopy e della senescenza con misure ottiche:
 - 1 immagini digitali (webcam): variazioni nel segnale RGB
 - 2 sensori radiometrici: NDVI, broadband NDVI, fAPAR
- forniscono misure continue a scala di comunità/ecosistema/paesaggio;
- superano alcuni limiti delle osservazioni a terra e dei dati satellitari.



monitoraggio della fenologia a livello di ecosistema utilizzando tecniche di telerilevamento di prossimità (near surface remote sensing)

Osservazioni a terra

- vantaggi:
 - 1 informazioni di specifiche fenofasi
 - 2 osservazioni di singoli individui
 - 3 osservazioni di specie d'interesse
- svantaggi:
 - 1 risoluzione spaziale e temporale
 - 2 richiedono tempo (costose)
 - 3 effetto osservatore

monitoraggio della fenologia a livello di ecosistema utilizzando tecniche di telerilevamento di prossimità (near surface remote sensing)

Dati satellitari

- vantaggi:
 - 1 copertura globale
 - 2 integrazione spaziale
- svantaggi:
 - 1 risoluzione temporale/spaziale
 - 2 effetto nuvole
 - 3 correzioni atmosferiche



monitoraggio della fenologia a livello di ecosistema utilizzando tecniche di telerilevamento di prossimità (near surface remote sensing)

Webcam / near surface RS

- vantaggi:
 - 1 integrazione spaziale e risoluzione temporale
 - 2 poco costoso
 - 3 fornisce un record visivo permanente e consente link diretto a ciò che accade a livello della canopy
- svantaggi:
 - 1 necessarie infrastrutture (hw & sw)
 - 2 soggetto a malifunzionamenti

Siti di misura ARPA VdA - Torgnon - bosco di larice e pascolo alpino

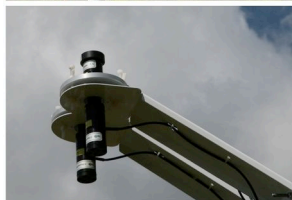
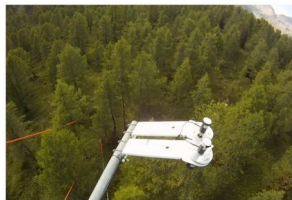


Sensori radiometrici



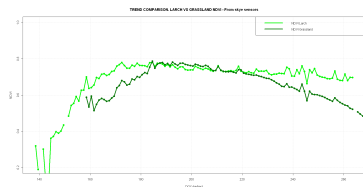
Sensori radiometrici

- sensori a una o due bande: NIR, R, G, B, ... (Skye)
- sensore upward e downward sensibili collegati a datalogger
- possibilità di calcolare indici radiometrici predefiniti (es $NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R}$), PRI, ...)



Sensori radiometrici

- sensori a una o due bande: NIR, R, G, B, ... (Skye)
- sensore upward e downward sensibili collegati a datalogger
- possibilità di calcolare indici radiometrici predefiniti (es $NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R}$), PRI, ...)



confronto NDVI pascolo e larice - Torgnon
VdA 2012

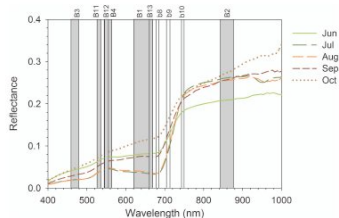
Sensori radiometrici

- sistema multispettrale HSI (Meroni et al 2011, RSI)
- braccio rotante per misura radianza incidente e riflessa
- possibilità di calcolare numerosi indici spettrali (NDVI, EVI, MTCI, PRI, fluorescenza Chl)



Sensori radiometrici

- sistema multispettrale HSI (Meroni et al 2011, RSI)
- braccio rotante per misura radianza incidente e riflessa
- possibilità di calcolare numerosi indici spettrali (NDVI, EVI, MTCI, PRI, fluorescenza Chl)



riflettanza mensile 2009 e confronto con bande MODIS (Rossini et al 2012, B)

Sensori radiometrici

- **fAPAR**: frazione della PAR incidente assorbita dalla vegetazione. Calcolata a partire da misure di PAR sopra e sotto la canopy
- **broadband NDVI**: indice normalizzato simile al NDVI. Calcolato a partire da albedo nella PAR e nella radiazione globale

In generale i sensori radiometrici consentono un link diretto ai dati satellitari e possono essere utilizzati in modelli di produttività (LUE models)

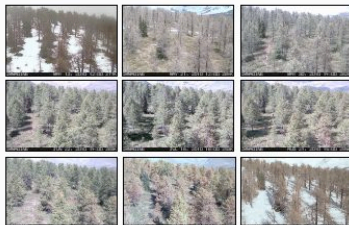


Webcam e camere digitali



Webcam e camere digitali







Dicembre





Marzo



Maggio





Luglio





Settembre



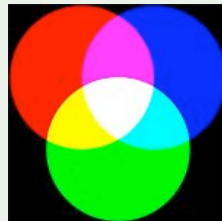


Ottobre



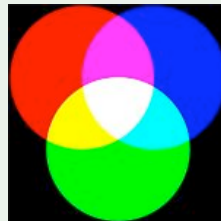
elaborazione immagini basata sulla sintesi additiva RGB

- i colori di un'immagine sono rappresentati con la sintesi additiva RGB
- dai dati RGB è possibile calcolare indici di verde
 - 1 Relative Green $GI = \frac{G}{R+G+B}$
 - 2 Excess Green $GEI = 2G - (R + B)$
- GI può essere calcolato come media di una ROI o a livello di ogni pixel
- integrazione spaziale (tutta la canopy) o a livello di singoli individui o specie



elaborazione immagini basata sulla sintesi additiva RGB

- i colori di un'immagine sono rappresentati con la sintesi additiva RGB
- dai dati RGB è possibile calcolare indici di verde
 - 1 Relative Green $GI = \frac{G}{R+G+B}$
 - 2 Excess Green $GEI = 2G - (R + B)$
- GI può essere calcolato come media di una ROI o a livello di ogni pixel
- integrazione spaziale (tutta la canopy) o a livello di singoli individui o specie



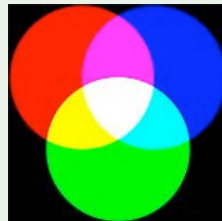
elaborazione immagini basata sulla sintesi additiva RGB

- i colori di un'immagine sono rappresentati con la sintesi additiva RGB
- dai dati RGB è possibile calcolare indici di verde

① Relative Green $GI = \frac{G}{R+G+B}$

② Excess Green $GEI = 2G - (R + B)$

- GI può essere calcolato come media di una ROI o a livello di ogni pixel
- integrazione spaziale (tutta la canopy) o a livello di singoli individui o specie

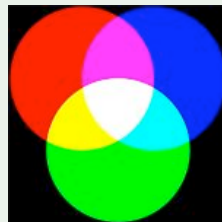


elaborazione immagini basata sulla sintesi additiva RGB

- i colori di un'immagine sono rappresentati con la sintesi additiva RGB
- dai dati RGB è possibile calcolare indici di verde

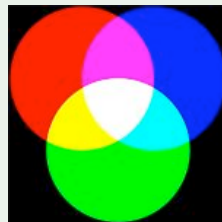
- 1 Relative Green $GI = \frac{G}{R+G+B}$
- 2 Excess Green $GEI = 2G - (R + B)$

- GI può essere calcolato come media di una ROI o a livello di ogni pixel
- integrazione spaziale (tutta la canopy) o a livello di singoli individui o specie



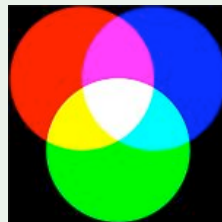
elaborazione immagini basata sulla sintesi additiva RGB

- i colori di un'immagine sono rappresentati con la sintesi additiva RGB
- dai dati RGB è possibile calcolare indici di verde
 - 1 Relative Green $GI = \frac{G}{R+G+B}$
 - 2 Excess Green $GEI = 2G - (R + B)$
- GI può essere calcolato come media di una ROI o a livello di ogni pixel
- integrazione spaziale (tutta la canopy) o a livello di singoli individui o specie



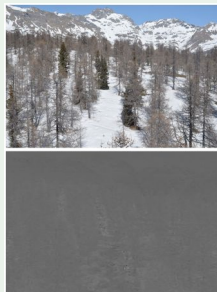
elaborazione immagini basata sulla sintesi additiva RGB

- i colori di un'immagine sono rappresentati con la sintesi additiva RGB
- dai dati RGB è possibile calcolare indici di verde
 - 1 Relative Green $GI = \frac{G}{R+G+B}$
 - 2 Excess Green $GEI = 2G - (R + B)$
- GI può essere calcolato come media di una ROI o a livello di ogni pixel
- integrazione spaziale (tutta la canopy) o a livello di singoli individui o specie



elaborazione immagini basata sulla sintesi additiva RGB

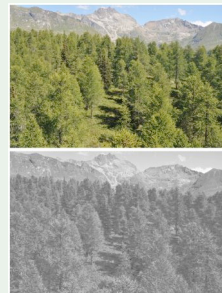
- i colori di un'immagine sono rappresentati con la sintesi additiva RGB
- dai dati RGB è possibile calcolare indici di verde
 - 1 Relative Green $GI = \frac{G}{R+G+B}$
 - 2 Excess Green $GEI = 2G - (R + B)$
- GI può essere calcolato come media di una ROI o a livello di ogni pixel
- integrazione spaziale (tutta la canopy) o a livello di singoli individui o specie
- fornisce un record visivo permanente e consente link tra ciò che accade a terra e ciò che viene visto dalla camera



RGB e GI febbraio

elaborazione immagini basata sulla sintesi additiva RGB

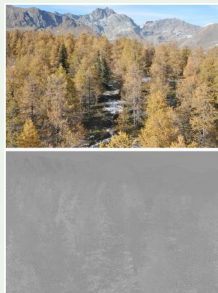
- i colori di un'immagine sono rappresentati con la sintesi additiva RGB
- dai dati RGB è possibile calcolare indici di verde
 - 1 Relative Green $GI = \frac{G}{R+G+B}$
 - 2 Excess Green $GEI = 2G - (R + B)$
- GI può essere calcolato come media di una ROI o a livello di ogni pixel
- integrazione spaziale (tutta la canopy) o a livello di singoli individui o specie
- fornisce un record visivo permanente e consente link tra ciò che accade a terra e ciò che viene visto dalla camera



RGB e GI luglio

elaborazione immagini basata sulla sintesi additiva RGB

- i colori di un'immagine sono rappresentati con la sintesi additiva RGB
- dai dati RGB è possibile calcolare indici di verde
 - 1 Relative Green $GI = \frac{G}{R+G+B}$
 - 2 Excess Green $GEI = 2G - (R + B)$
- GI può essere calcolato come media di una ROI o a livello di ogni pixel
- integrazione spaziale (tutta la canopy) o a livello di singoli individui o specie
- fornisce un record visivo permanente e consente link tra ciò che accade a terra e ciò che viene visto dalla camera



RGB e GI ottobre

acquisizione dati - setup sperimentale

- utilizzo di camere commerciali (40-3000 euro)
- puntate a nord e leggermente inclinate (15°)
ma si stanno provando anche altri setup
- esposizione e bilanciamento del bianco automatico
- acquisizione oraria nelle ore di luce
- datalogger o registrazione controllata da sistemi linux su usb o CF
- immagini stoccate compresse (jpeg) o raw con timestamp inserito nel nome del file



acquisizione dati - setup sperimentale

- utilizzo di camere commerciali (40-3000 euro)
- puntate a nord e leggermente inclinate (15°)
ma si stanno provando anche altri setup
- esposizione e bilanciamento del bianco automatico
- acquisizione oraria nelle ore di luce
- datalogger o registrazione controllata da sistemi linux su usb o CF
- immagini stoccate compresse (jpeg) o raw con timestamp inserito nel nome del file



acquisizione dati - setup sperimentale

- utilizzo di camere commerciali (40-3000 euro)
- puntate a nord e leggermente inclinate (15°)
ma si stanno provando anche altri setup
- esposizione e bilanciamento del bianco automatico
- acquisizione oraria nelle ore di luce
- datalogger o registrazione controllata da sistemi linux su usb o CF
- immagini stoccate compresse (jpeg) o raw con timestamp inserito nel nome del file



acquisizione dati - setup sperimentale

- utilizzo di camere commerciali (40-3000 euro)
- puntate a nord e leggermente inclinate (15°)
ma si stanno provando anche altri setup
- esposizione e bilanciamento del bianco automatico
- acquisizione oraria nelle ore di luce
- datalogger o registrazione controllata da sistemi linux su usb o CF
- immagini stoccate compresse (jpeg) o raw con timestamp inserito nel nome del file



acquisizione dati - setup sperimentale

- utilizzo di camere commerciali (40-3000 euro)
- puntate a nord e leggermente inclinate (15°)
ma si stanno provando anche altri setup
- esposizione e bilanciamento del bianco automatico
- acquisizione oraria nelle ore di luce
- datalogger o registrazione controllata da sistemi linux su usb o CF
- immagini stoccate compresse (jpeg) o raw con timestamp inserito nel nome del file



acquisizione dati - setup sperimentale

- utilizzo di camere commerciali (40-3000 euro)
- puntate a nord e leggermente inclinate (15°)
ma si stanno provando anche altri setup
- esposizione e bilanciamento del bianco automatico
- acquisizione oraria nelle ore di luce
- datalogger o registrazione controllata da sistemi linux su usb o CF
- immagini stoccate compresse (jpeg) o raw con timestamp inserito nel nome del file



Analisi del ciclo fenologico stagionale

- Analisi qualitativa di eventi visibili (comparsa foglie, inizio ingiallimento, fusione e comparsa neve);
- Analisi quantitativa data di occorrenza eventi specifici, analisi tassi di sviluppo e possibilità di utilizzo del canale del rosso per eventi autunnali.

vedi gif animata



Analisi del ciclo fenologico stagionale

- Analisi qualitativa di eventi visibili (comparsa foglie, inizio ingiallimento, fusione e comparsa neve);
- Analisi quantitativa data di occorrenza eventi specifici, analisi tassi di sviluppo e possibilità di utilizzo del canale del rosso per eventi autunnali.

vedi gif animata



Filtraggio delle timeseries

- segnale RGB può essere influenzato da variazioni nelle condizioni di illuminazione (zenith-azimuth, nuvole, aerosol, errori di esposizione, ...)
- necessario sviluppare e applicare metodi di filtraggio che rimuovano le immagini di bassa qualità e preservino il segnale fenologico. I fitri sono basati su:
 - ① dati meteo per individuare giornate nuvolose (serve radiometro)
 - ② informazioni derivabili dalle altre bande (es BI sensibile alle nuvole)
 - ③ filtri statistici (Wingate et al 2012 submitted, Migliavacca et al 2011 Agric. For. Met., Sonntag et al 2011 Agric. For. Met.)



Filtraggio delle timeseries

- segnale RGB può essere influenzato da variazioni nelle condizioni di illuminazione (zenith-azimuth, nuvole, aerosol, errori di esposizione, ...)
- necessario sviluppare e applicare metodi di filtraggio che rimuovano le immagini di bassa qualità e preservino il segnale fenologico. I fitri sono basati su:
 - ① dati meteo per individuare giornate nuvolose (serve radiometro)
 - ② informazioni derivabili dalle altre bande (es BI sensibile alle nuvole)
 - ③ filtri statistici (Wingate et al 2012 submitted, Migliavacca et al 2011 Agric. For. Met., Sonntag et al 2011 Agric. For. Met.)



Filtraggio delle timeseries

- segnale RGB può essere influenzato da variazioni nelle condizioni di illuminazione (zenith-azimuth, nuvole, aerosol, errori di esposizione, ...)
- necessario sviluppare e applicare metodi di filtraggio che rimuovano le immagini di bassa qualità e preservino il segnale fenologico. I fitri sono basati su:
 - ① dati meteo per individuare giornate nuvolose (serve radiometro)
 - ② informazioni derivabili dalle altre bande (es BI sensibile alle nuvole)
 - ③ filtri statistici (Wingate et al 2012 submitted, Migliavacca et al 2011 Agric. For. Met., Sonntag et al 2011 Agric. For. Met.)



Filtraggio delle timeseries

- segnale RGB può essere influenzato da variazioni nelle condizioni di illuminazione (zenith-azimuth, nuvole, aerosol, errori di esposizione, ...)
- necessario sviluppare e applicare metodi di filtraggio che rimuovano le immagini di bassa qualità e preservino il segnale fenologico. I fitri sono basati su:
 - ① dati meteo per individuare giornate nuvolose (serve radiometro)
 - ② informazioni derivabili dalle altre bande (es BI sensibile alle nuvole)
 - ③ filtri statistici (Wingate et al 2012 submitted, Migliavacca et al 2011 Agric. For. Met., Sonntag et al 2011 Agric. For. Met.)

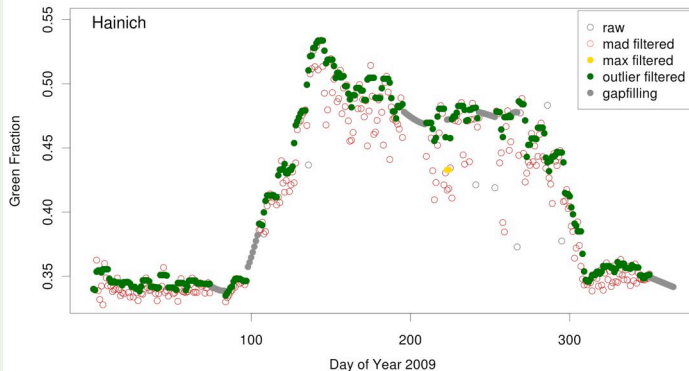


Filtraggio delle timeseries

- segnale RGB può essere influenzato da variazioni nelle condizioni di illuminazione (zenith-azimuth, nuvole, aerosol, errori di esposizione, ...)
- necessario sviluppare e applicare metodi di filtraggio che rimuovano le immagini di bassa qualità e preservino il segnale fenologico. I fitri sono basati su:
 - ① dati meteo per individuare giornate nuvolose (serve radiometro)
 - ② informazioni derivabili dalle altre bande (es BI sensibile alle nuvole)
 - ③ filtri statistici (Wingate et al 2012 submitted, Migliavacca et al 2011 Agric. For. Met., Sonntag et al 2011 Agric. For. Met.)

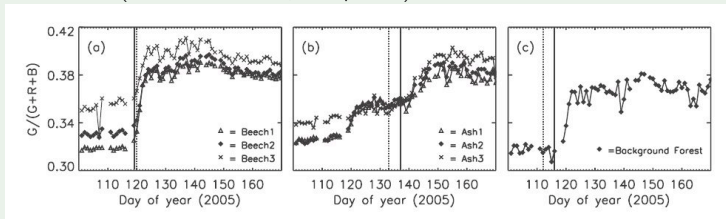


Filtraggio delle timeseries (Wingate et al 2012 submitted)



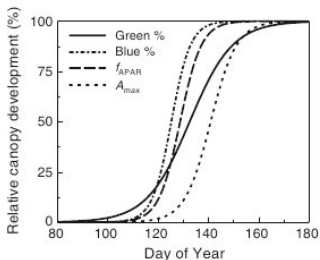
Estrazione di eventi fenologici: inizio stagione, fine crescita, fine stagione, ...

- Valutazione visiva (es. Ahrends et al 2008, J. Geoph. Res.)



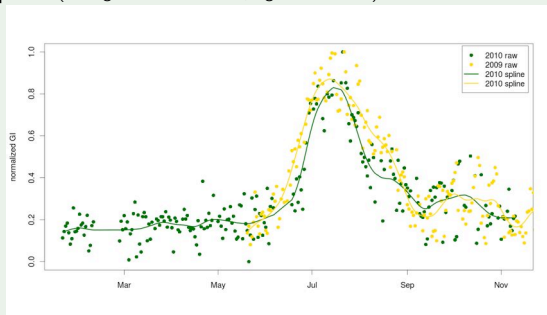
Estrazione di eventi fenologici: inizio stagione, fine crescita, fine stagione, ...

- Fitting di funzioni di crescita - logistic, gomperts, ... (es Richardson et al 2007, Oecol.)



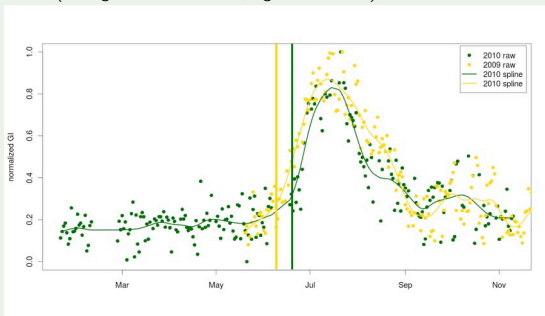
Estrazione di eventi fenologici: inizio stagione, fine crescita, fine stagione, ...

- Soglie fisse su spline (es Migliavacca et al 2011, Agric. For. Met.)



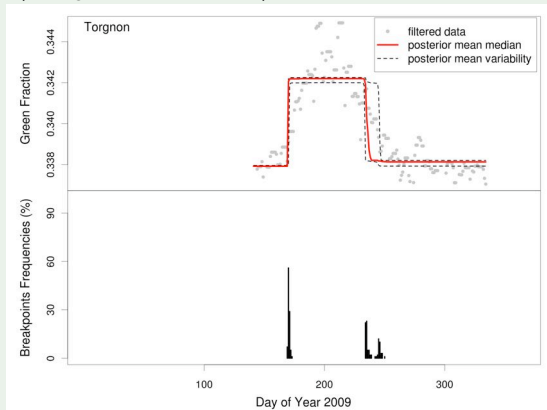
Estrazione di eventi fenologici: inizio stagione, fine crescita, fine stagione, ...

- Soglie fisse su spline (es Migliavacca et al 2011, Agric. For. Met.)



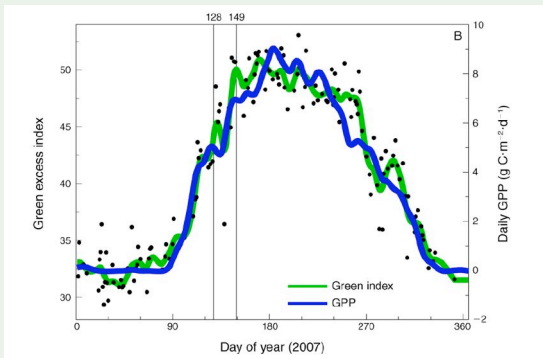
Estrazione di eventi fenologici: inizio stagione, fine crescita, fine stagione, ...

- Metodi bayesiani (es Wingate et al 2012, submitted)



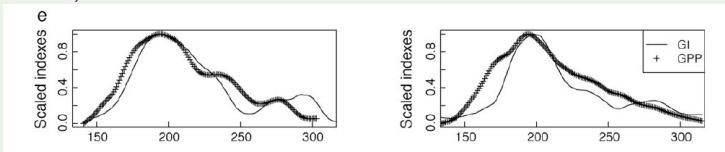
Link rinverdimento con fisiologia della canopy: fenologia dei processi

Il rinverdimento della canopy segue la variazione stagionale di GPP (fotosintesi lorda) stimata a partire da misure eddy covariance - foresta decidua (Richardson et al 2009, Ecol Appl)



Link rinverdimento con fisiologia della canopy: fenologia dei processi

Il rinverdimento della canopy segue la variazione stagionale di GPP (fotosintesi lorda) stimata a partire da misure eddy covariance - pascolo alpino (Migliavacca et al 2011, Agric. For. Met.)



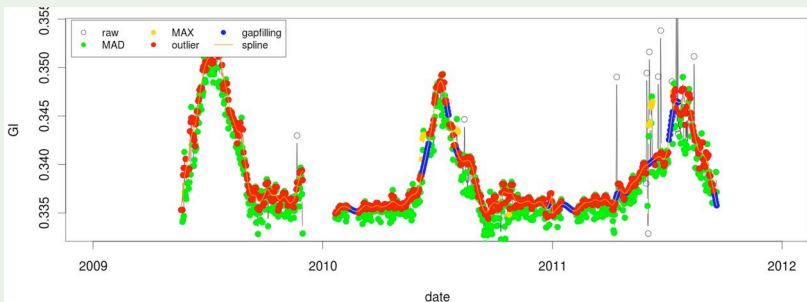
4. Applicazioni e sviluppi in corso



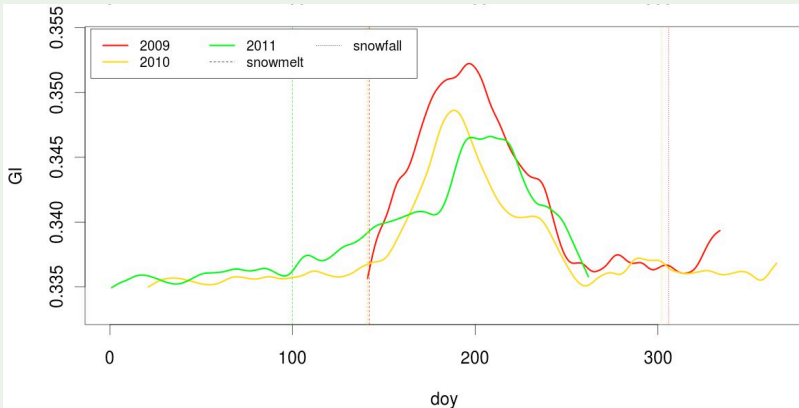
Analisi interannuali e intersito



monitoraggio interannuale - Torgnon pascolo

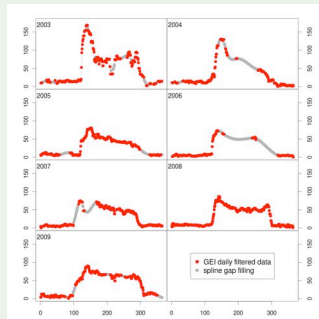


monitoraggio interannuale - Torgnon pascolo



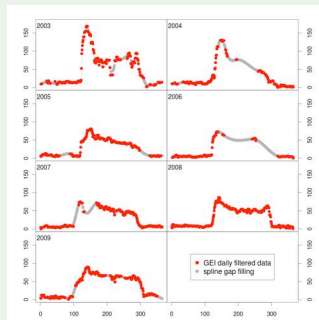
monitoraggio interannuale - Hainich foresta decidua

- potenzialità per il monitoraggio fenologico interannuale
- analisi qualitative sulle immagini
- analisi quantitative su timeseries: cfr tra eventi e tra rate di sviluppo
- da valutare possibile deterioramento delle camere (ottiche, CCD) nel tempo



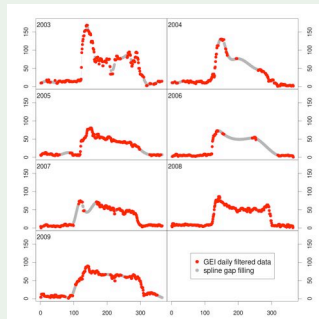
monitoraggio interannuale - Hainich foresta decidua

- potenzialità per il monitoraggio fenologico interannuale
- analisi qualitative sulle immagini
- analisi quantitative su timeseries: cfr tra eventi e tra rate di sviluppo
- da valutare possibile deterioramento delle camere (ottiche, CCD) nel tempo



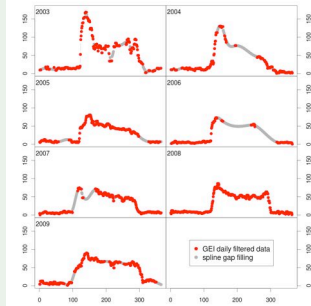
monitoraggio interannuale - Hainich foresta decidua

- potenzialità per il monitoraggio fenologico interannuale
- analisi qualitative sulle immagini
- analisi quantitative su timeseries: cfr tra eventi e tra rate di sviluppo
- da valutare possibile deterioramento delle camere (ottiche, CCD) nel tempo



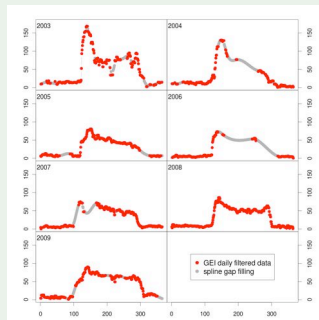
monitoraggio interannuale - Hainich foresta decidua

- potenzialità per il monitoraggio fenologico interannuale
- analisi qualitative sulle immagini
- analisi quantitative su timeseries: cfr tra eventi e tra rate di sviluppo
- da valutare possibile deterioramento delle camere (ottiche, CCD) nel tempo

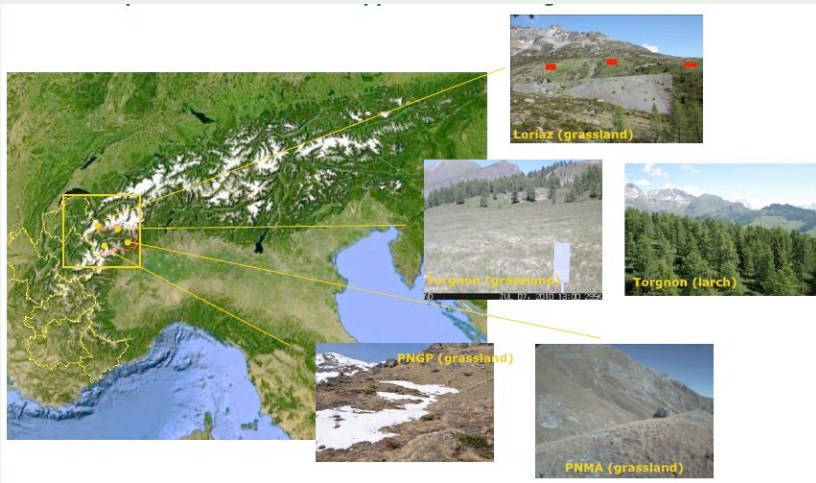


monitoraggio interannuale - Hainich foresta decidua

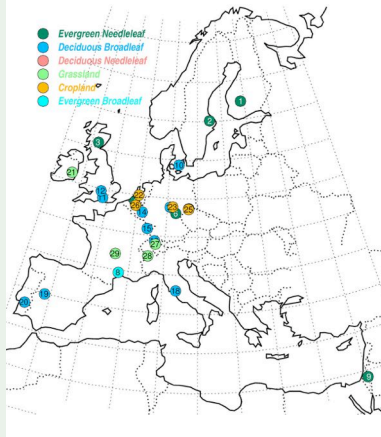
- potenzialità per il monitoraggio fenologico interannuale
- analisi qualitative sulle immagini
- analisi quantitative su timeseries: cfr tra eventi e tra rate di sviluppo
- da valutare possibile deterioramento delle camere (ottiche, CCD) nel tempo



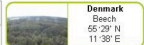
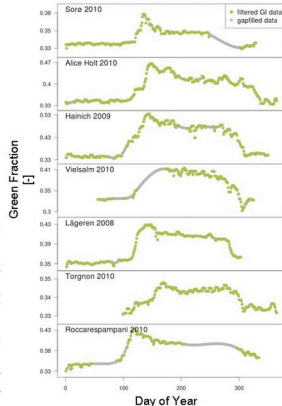
confronti tra siti: network Alpi NW



confronti tra siti: network europeo di siti eddy (Wingate et al 2012, submitted)



Deciduous Forest Flux Sites



Denmark
 Beech
 55°29' N
 11°38' E



England
 English Oak
 51°07' N
 00°51' W



Germany
 Beech & Ash
 51°04' N
 10°28' E



Belgium
 Beech
 50°18' N
 06°59' E



Switzerland
 Beech & Ash
 47°26' N
 08°21' E



Italy
 Larch
 45°50' N
 07°34' E



Italy
 Oak
 42°39' N
 08°21' E

confronti tra siti: PhenoCam - network US + alcuni siti EU (phenocam.sr.unh.edu)

PhenoCam - Site Map

Home Gallery Map Data Links About Welcome, Guest (login)

Site types: Core Affiliated (show inactive sites)

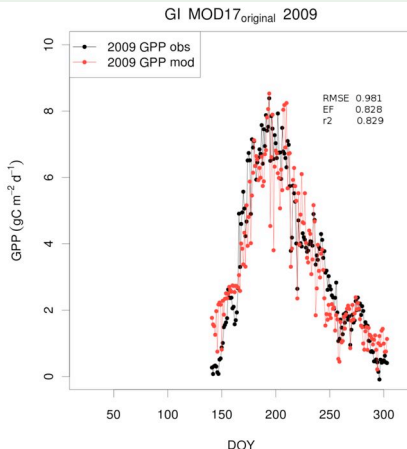
© 2012, The University of New Hampshire • Durham, NH 03824
This material is based upon work supported by the National Science Foundation under Grant No. EF-1065029 | Contact webmaster
Any opinions, findings, conclusions or recommendations expressed in this material are those of the author(s) and do not necessarily
reflect the views of the National Science Foundation.

Modelizzazione della GPP



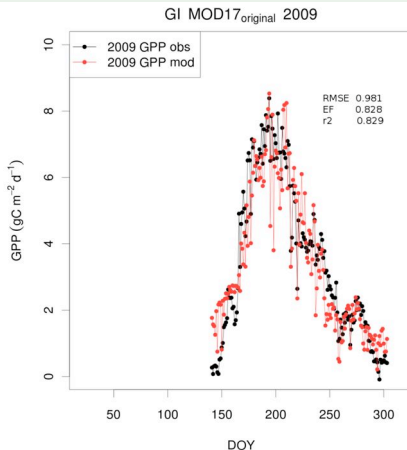
modellizzazione GPP a partire da GI (MOD17) (Migliavacca et al 2011, AFM)

- modellizzazione GPP a partire da dati meteo e webcam (modelli LUE)
- $GPP = \varepsilon \cdot fAPAR \cdot PAR$
- $GPP = \varepsilon_{max} \cdot f(T_a) \cdot f(VPD) \cdot (a_0 + a_1 \cdot GI) \cdot PAR$



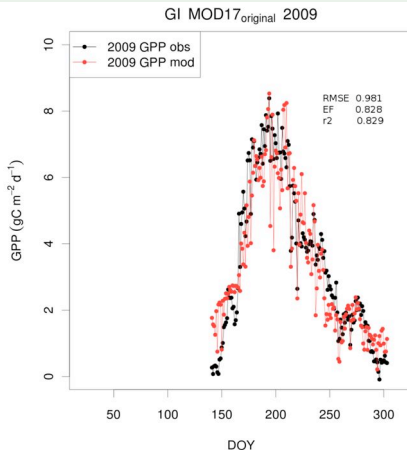
modellizzazione GPP a partire da GI (MOD17) (Migliavacca et al 2011, AFM)

- modellizzazione GPP a partire da dati meteo e webcam (modelli LUE)
- $GPP = \varepsilon \cdot fAPAR \cdot PAR$
- $GPP = \varepsilon_{max} \cdot f(T_a) \cdot f(VPD) \cdot (a_0 + a_1 \cdot GI) \cdot PAR$



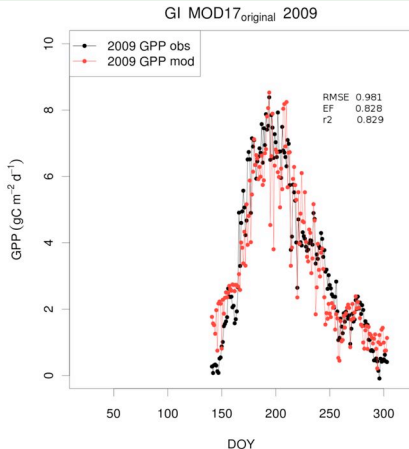
modellizzazione GPP a partire da GI (MOD17) (Migliavacca et al 2011, AFM)

- modellizzazione GPP a partire da dati meteo e webcam (modelli LUE)
- $GPP = \varepsilon \cdot fAPAR \cdot PAR$
- $GPP = \varepsilon_{max} \cdot f(Ta) \cdot f(VPD) \cdot (a_0 + a_1 \cdot GI) \cdot PAR$



modellizzazione GPP a partire da GI (MOD17) (Migliavacca et al 2011, AFM)

- modellizzazione GPP a partire da dati meteo e webcam (modelli LUE)
- $GPP = \varepsilon \cdot fAPAR \cdot PAR$
- $GPP = \varepsilon_{max} \cdot f(T_a) \cdot f(VPD) \cdot (a_0 + a_1 \cdot GI) \cdot PAR$

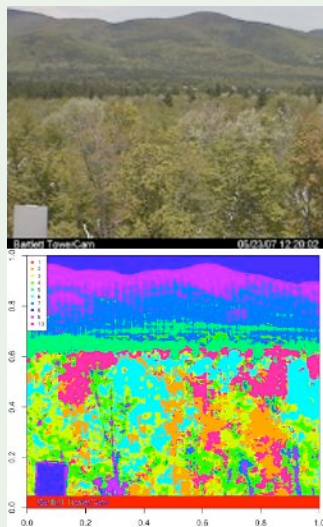


Analisi patterns spaziali



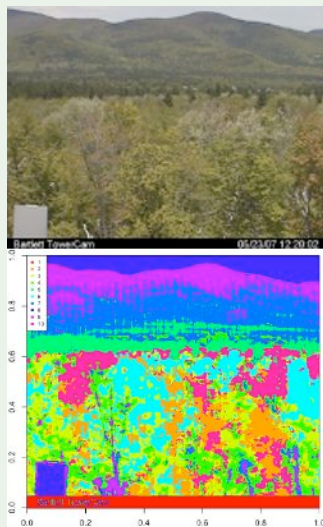
analisi patterns spaziali: tecniche di clustering in canopy forestali (Richardson et al 2011)

- kmeans clustering in stack di immagini al fine di evidenziare pixel con fenologia simile (i.e. patterns temporali di GI simili)
- corone di specie con fenologia simile formano cluster distinguibili



analisi patterns spaziali: tecniche di clustering in canopy forestali (Richardson et al 2011)

- kmeans clustering in stack di immagini al fine di evidenziare pixel con fenologia simile (i.e. patterns temporali di GI simili)
- corone di specie con fenologia simile formano cluster distinguibili

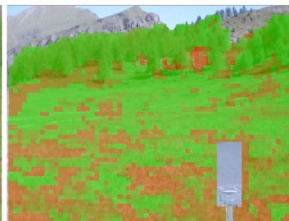
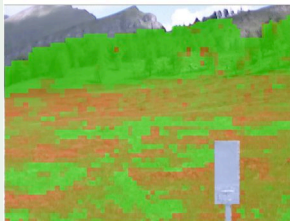


analisi patterns spaziali: analisi pixel based in pascolo (Julitta et al 2012, in prep)

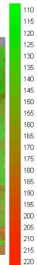
YEAR 2009

YEAR 2010

YEAR 2011



DOY



consistenza interannuale dei patterns spaziali

Sviluppi in corso



1. Analisi effetto della qualità della camera



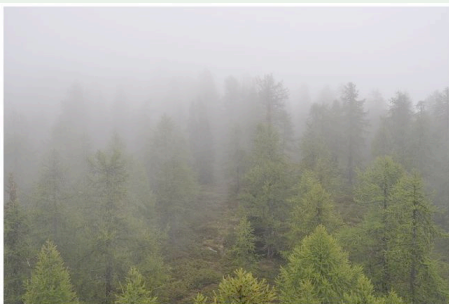
confronto campbell CC640 con Nikon D5000 (buone condizioni di illuminazione)

1. Analisi effetto della qualità della camera



confronto campbell CC640 con Nikon D5000 (forti effetti direzionali)

1. Analisi effetto della qualità della camera



confronto campbell CC640 con Nikon D5000 (nuvoloso)



1. Analisi effetto della qualità della camera

- 1 **CAMCom experiment Harvard Forest** (Sonnentag et al, 2011, Agric. For. Meteor.)
- 2 verificare effetto qualità immagine su necessità di filtraggi
- 3 confrontare traiettorie temporali e fasi fenologiche estratte daiv due dati
- 4 verificare effetto compressione jpeg e settaggi (white balance e esposizione automatici)



1. Analisi effetto della qualità della camera

- 1 CAmCom experiment Harvard Forest (Sonntag et al, 2011, Agric. For. Meteor.)
- 2 verificare effetto qualità immagine su necessità di filtri
- 3 confrontare traiettorie temporali e fasi fenologiche estratte da due dati
- 4 verificare effetto compressione jpeg e settaggi (white balance e esposizione automatici)



1. Analisi effetto della qualità della camera

- 1 CAmCom experiment Harvard Forest (Sonnentag et al, 2011, Agric. For. Meteor.)
- 2 verificare effetto qualità immagine su necessità di filtraggi
- 3 confrontare traiettorie temporali e fasi fenologiche estratte daiv due dati
- 4 verificare effetto compressione jpeg e settaggi (white balance e esposizione automatici)



1. Analisi effetto della qualità della camera

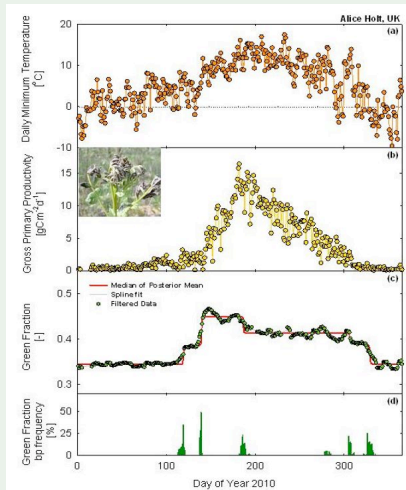
- 1 CAmCom experiment Harvard Forest (Sonnentag et al, 2011, Agric. For. Meteor.)
- 2 verificare effetto qualità immagine su necessità di filtraggi
- 3 confrontare traiettorie temporali e fasi fenologiche estratte daiv due dati
- 4 verificare effetto compressione jpeg e settaggi (white balance e esposizione automatici)



2. Analisi eventi particolari/estremi (Wingate et al 2012, submitted)

- EU webcam network at flux sites
- analisi delle relazioni tra greenness, fisiologia della canopy e condizioni meteo o variazioni uso del suolo: (eventi estremi, gelate tardive, siccità, ...)

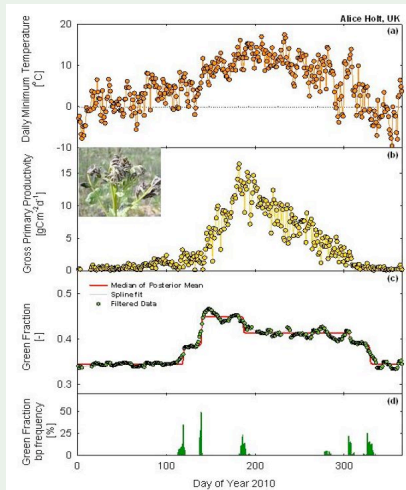
- 1 gelate tardive
- 2 eventi estremi es. summer drought 2003
- 3 uso del suolo in cropland



2. Analisi eventi particolari/estremi (Wingate et al 2012, submitted)

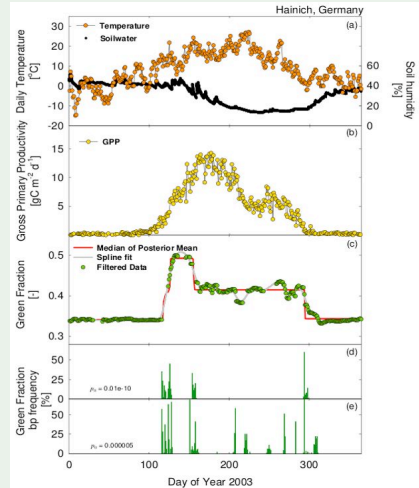
- EU webcam network at flux sites
- analisi delle relazioni tra greenness, fisiologia della canopy e condizioni meteo o variazioni uso del suolo: (eventi estremi, gelate tardive, siccità, ...)

- 1 gelate tardive
- 2 eventi estremi es. summer drought 2003
- 3 uso del suolo in cropland



2. Analisi eventi particolari/estremi (Wingate et al 2012, submitted)

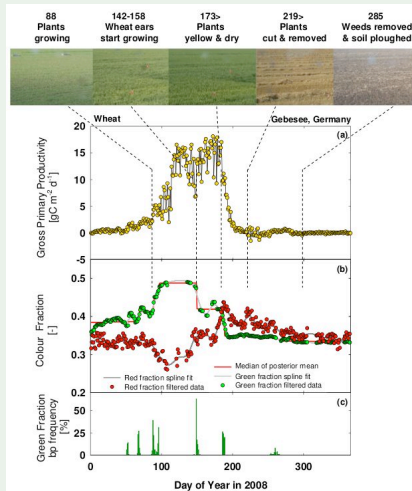
- EU webcam network at flux sites
- analisi delle relazioni tra greenness, fisiologia della canopy e condizioni meteo o variazioni uso del suolo: (eventi estremi, gelate tardive, siccità, ...)
 - 1 gelate tardive
 - 2 eventi estremi es. summer drought 2003
 - 3 uso del suolo in cropland



2. Analisi eventi particolari/estremi (Wingate et al 2012, submitted)

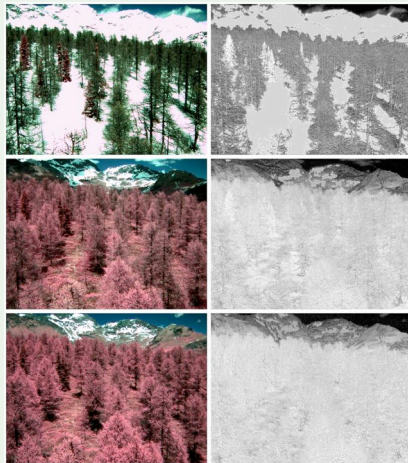
- EU webcam network at flux sites
- analisi delle relazioni tra greenness, fisiologia della canopy e condizioni meteo o variazioni uso del suolo: (eventi estremi, gelate tardive, siccità, ...)

- 1 gelate tardive
- 2 eventi estremi es. summer drought 2003
- 3 uso del suolo in cropland



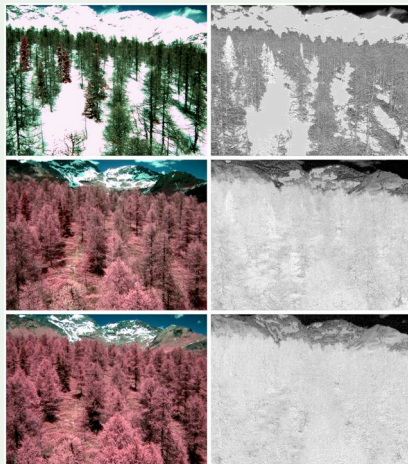
3. Utilizzo di camere IR

- utilizzo di camere NIR (R-G-NIR)
- immagini IR falso colore (sx) e immagini NDVI (dx)
- analisi dato NIR vs dato RGB classico: filtraggi, timeseries, dato a terra rispetto a dato MODIS, ...



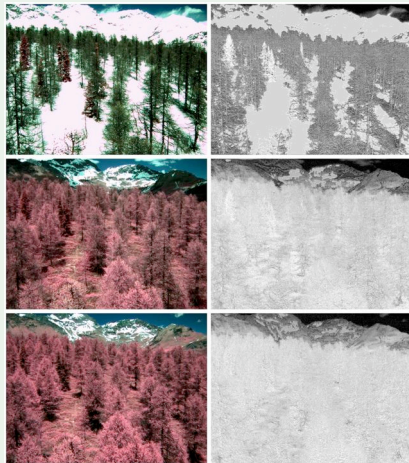
3. Utilizzo di camere IR

- utilizzo di camere NIR (R-G-NIR)
- immagini IR falso colore (sx) e immagini NDVI (dx)
- analisi dato NIR vs dato RGB classico: filtraggi, timeseries, dato a terra rispetto a dato MODIS, ...



3. Utilizzo di camere IR

- utilizzo di camere NIR (R-G-NIR)
- immagini IR falso colore (sx) e immagini NDVI (dx)
- analisi dato NIR vs dato RGB classico: filtraggi, timeseries, dato a terra rispetto a dato MODIS, ...



4. Utilizzo webcam turistiche/public cameras



Rete webcam regionali turistiche

4. Utilizzo webcam turistiche/public cameras

- creazione del dataset di immagini:
 - ① selezione siti interessanti
 - ② scarico automatico dal web
 - ③ lettura data dal timestamp sull'immagine
 - ④ dataset in locale
- definizione ROI e calcolo GI
- analisi e monitoraggio a livello regionale
- validazione dati satellitari MODIS (Hufkens et al 2011 Rem. Sens. Env.)



4. Utilizzo webcam turistiche/public cameras

- creazione del dataset di immagini:
 - 1 selezione siti interessanti
 - 2 scarico automatico dal web
 - 3 lettura data dal timestamp sull'immagine
 - 4 dataset in locale
- definizione ROI e calcolo GI
- analisi e monitoraggio a livello regionale
- validazione dati satellitari MODIS (Hufkens et al 2011 Rem. Sens. Env.)



4. Utilizzo webcam turistiche/public cameras

- creazione del dataset di immagini:
 - 1 selezione siti interessanti
 - 2 scarico automatico dal web
 - 3 lettura data dal timestamp sull'immagine
 - 4 dataset in locale
- definizione ROI e calcolo GI
- analisi e monitoraggio a livello regionale
- validazione dati satellitari MODIS (Hufkens et al 2011 Rem. Sens. Env.)



4. Utilizzo webcam turistiche/public cameras

- creazione del dataset di immagini:
 - 1 selezione siti interessanti
 - 2 scarico automatico dal web
 - 3 lettura data dal timestamp sull'immagine
 - 4 dataset in locale
- definizione ROI e calcolo GI
- analisi e monitoraggio a livello regionale
- validazione dati satellitari MODIS (Hufkens et al 2011 Rem. Sens. Env.)



4. Utilizzo webcam turistiche/public cameras

- creazione del dataset di immagini:
 - 1 selezione siti interessanti
 - 2 scarico automatico dal web
 - 3 lettura data dal timestamp sull'immagine
 - 4 dataset in locale
- definizione ROI e calcolo GI
- analisi e monitoraggio a livello regionale
- validazione dati satellitari MODIS (Hufkens et al 2011 Rem. Sens. Env.)



4. Utilizzo webcam turistiche/public cameras

- creazione del dataset di immagini:
 - 1 selezione siti interessanti
 - 2 scarico automatico dal web
 - 3 lettura data dal timestamp sull'immagine
 - 4 dataset in locale
- definizione ROI e calcolo GI
- analisi e monitoraggio a livello regionale
- validazione dati satellitari MODIS (Hufkens et al 2011 Rem. Sens. Env.)



4. Utilizzo webcam turistiche/public cameras

- creazione del dataset di immagini:
 - ① selezione siti interessanti
 - ② scarico automatico dal web
 - ③ lettura data dal timestamp sull'immagine
 - ④ dataset in locale
- definizione ROI e calcolo GI
- analisi e monitoraggio a livello regionale
- validazione dati satellitari MODIS (Hufkens et al 2011 Rem. Sens. Env.)

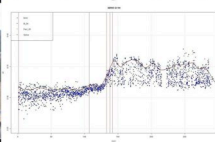
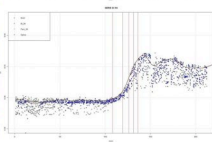
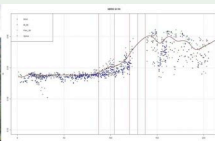
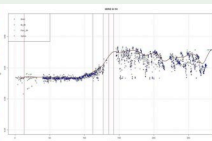


4. Utilizzo webcam turistiche/public cameras

- creazione del dataset di immagini:
 - ① selezione siti interessanti
 - ② scarico automatico dal web
 - ③ lettura data dal timestamp sull'immagine
 - ④ dataset in locale
- definizione ROI e calcolo GI
- analisi e monitoraggio a livello regionale
- validazione dati satellitari MODIS (Hufkens et al 2011 Rem. Sens. Env.)



4. Utilizzo webcam turistiche/public cameras



5. altri esempi ...

- analisi dinamiche di fioritura (fenologia riproduttiva) e collegamento con dispersione pollini
- utilizzo di altre coordinate cromatiche (es HSI)
- sviluppo di servizi web per il processing dei dati
- utilizzo dati webcam per ottimizzazione modelli fenologici e comprensione del ruolo dei differenti driver (temperatura, fotoperiodo, precipitazione, ...) per prevedere impatti su servizi ecosistemici legati agli scambi di CO₂ e H₂O



5. altri esempi ...

- analisi dinamiche di fioritura (fenologia riproduttiva) e collegamento con dispersione pollini
- utilizzo di altre coordinate cromatiche (es HSI)
- sviluppo di servizi web per il processing dei dati
- utilizzo dati webcam per ottimizzazione modelli fenologici e comprensione del ruolo dei differenti driver (temperatura, fotoperiodo, precipitazione, ...) per prevedere impatti su servizi ecosistemici legati agli scambi di CO₂ e H₂O



5. altri esempi ...

- analisi dinamiche di fioritura (fenologia riproduttiva) e collegamento con dispersione pollini
- utilizzo di altre coordinate cromatiche (es HSI)
- sviluppo di servizi web per il processing dei dati
- utilizzo dati webcam per ottimizzazione modelli fenologici e comprensione del ruolo dei differenti driver (temperatura, fotoperiodo, precipitazione, ...) per prevedere impatti su servizi ecosistemici legati agli scambi di CO₂ e H₂O



5. altri esempi ...

- analisi dinamiche di fioritura (fenologia riproduttiva) e collegamento con dispersione pollini
- utilizzo di altre coordinate cromatiche (es HSI)
- sviluppo di servizi web per il processing dei dati
- utilizzo dati webcam per ottimizzazione modelli fenologici e comprensione del ruolo dei differenti driver (temperatura, fotoperiodo, precipitazione, ...) per prevedere impatti su servizi ecosistemici legati agli scambi di CO₂ e H₂O



5. Conclusioni



Conclusioni

- La fenologia è un ideale fingerprint del climate change: dati a lungo termine, facile da comunicare e include differenti fonti di dati (osservazioni a terra, dati satellitari e near surface remote sensing) (Menzel 2011);
- La fenologia ha importanti interazioni con i processi ecologici e feedbacks con il sistema climatico;
- I metodi di monitoraggio basati sul near surface remote sensing (webcam, dati radiometrici) consentono il monitoraggio del ciclo fenologico in modo continuo, a diverse scale spaziali e permettono un importante link con i processi ecologici.



Conclusioni

- La fenologia è un ideale fingerprint del climate change: dati a lungo termine, facile da comunicare e include differenti fonti di dati (osservazioni a terra, dati satellitari e near surface remote sensing) (Menzel 2011);
- La fenologia ha importanti interazioni con i processi ecologici e feedbacks con il sistema climatico;
- I metodi di monitoraggio basati sul near surface remote sensing (webcam, dati radiometrici) consentono il monitoraggio del ciclo fenologico in modo continuo, a diverse scale spaziali e permettono un importante link con i processi ecologici.



Conclusioni

- La fenologia è un ideale fingerprint del climate change: dati a lungo termine, facile da comunicare e include differenti fonti di dati (osservazioni a terra, dati satellitari e near surface remote sensing) (Menzel 2011);
- La fenologia ha importanti interazioni con i processi ecologici e feedbacks con il sistema climatico;
- I metodi di monitoraggio basati sul near surface remote sensing (webcam, dati radiometrici) consentono il monitoraggio del ciclo fenologico in modo continuo, a diverse scale spaziali e permettono un importante link con i processi ecologici.



Conclusioni

- La fenologia è un ideale fingerprint del climate change: dati a lungo termine, facile da comunicare e include differenti fonti di dati (osservazioni a terra, dati satellitari e near surface remote sensing) (Menzel 2011);
- La fenologia ha importanti interazioni con i processi ecologici e feedbacks con il sistema climatico;
- I metodi di monitoraggio basati sul near surface remote sensing (webcam, dati radiometrici) consentono il monitoraggio del ciclo fenologico in modo continuo, a diverse scale spaziali e permettono un importante link con i processi ecologici.



... grazie per l'attenzione

