

Applicazione integrata di tecniche di monitoraggio delle aree pascolive alpine per una gestione appropriata delle risorse

INTRODUZIONE

Gli ambienti e i territori alpini sono fortemente caratterizzati da un elevato grado di diversità, espressa soprattutto nelle componenti floristiche e vegetazionali. Questa diversità è il frutto dei processi pedoclimatici e degli interventi che l'uomo ha realizzato nel tempo; il paesaggio che ne deriva appare particolarmente ricco di elementi, a maglia a volte molto fine, diversificato per gradienti altimetrici, variegato a seconda dei versanti e della orografia e in risposta delle necessità e delle soluzioni individuate, nel corso dei secoli, dalle popolazioni residenti.

A una stratificazione verticale naturale corrisponde, nei paesaggi alpini, anche una stratificazione agronomica secondo la quale si riconoscono nella fascia di fondovalle le colture e i prati grassi, mentre nelle fasce altimetriche superiori le colture più estensive, come prati, prati-pascoli e pascoli. I primi – i prati di fondovalle – e i secondi – i pascoli di versante e di quota – da sempre hanno rappresentato la base foraggera dell'intero sistema, sulla quale era dimensionato il capitale zootecnico, che a sua volta determinava, in un certo comprensorio, le produzioni animali che era possibile ottenere. L'equilibrio fra la risorsa foraggera e il carico zootecnico ha permesso per secoli forme di ciclizzazione della fertilità, modularità di produzione, flessibilità dell'economia, sostenibilità dell'intero sistema produttivo e insediativo.

Le risorse foraggiere prato pascolive hanno subito nell'ultimo ventennio, una drastica riduzione in termini quantitativi e qualitativi.

Dal 1980 al 2008 le superfici pascolive utilizzate, in alcuni comprensori lombardi, si dimezzano e i prati seguono quasi lo stesso trend. Con un au-

* *Dipartimento di Produzione Vegetale, Università degli Studi di Milano*

mento di produzioni (latte), ottenute con un minore numero di capi, si è intensificato l'intero sistema e si sono poste condizioni di rischio di degrado delle cotiche per diverse cause: calpestamento da parte di animali pesanti; utilizzazione di alimenti concentrati e conseguente produzione di refluo; gestione non sempre accorta delle deiezioni su superfici limitate. Tali fenomeni di intensificazione si accompagnano alla ricollocazione delle popolazioni, che abitavano i versanti, verso nuove residenze e attività nei vicini fondovalle o nei più lontani centri di pianura.

Si è creata così una forte contraddizione tra le dinamiche di perdita della maggioranza delle praterie da sfalcio e da pascolo da un lato e la necessità di salvaguardare le risorse naturali e i processi produttivi alpicolturali connessi, dall'altro. Per secoli, la gestione della mandria è stata basata su conoscenze tradizionali, continui e diffusi controlli, mentre oggi le conoscenze dei sistemi produttivi sono insufficienti e le risorse foraggere e zootecniche non sembrano più utilizzate all'interno di un organico piano di gestione e, nella maggioranza dei casi, l'utilizzo del pascolo avviene in assenza di un vero e proprio *piano di pascolamento*. Le attività di monitoraggio delle risorse risultano ovunque molto deboli.

Prima di descrivere alcune linee di ricerca agronomica, con i relativi risultati, che affrontano tali problematiche, è opportuno chiarire che:

- 1) gli strumenti tecnico-scientifici che la ricerca può mettere a disposizione non pretendono di essere di per sé la soluzione, da cercare in nuove politiche e nuovi modelli di produzione e consumo, ma consentono di effettuare analisi più consapevoli e di progettare interventi di monitoraggio e gestione più maturi a scala territoriale;
- 2) di fronte a problemi complessi, che richiedono nuove tecniche di monitoraggio, analisi, raccolta ed elaborazione di informazione, non si può utilizzare una sola tecnica, ma è necessario ricorrere a un uso integrato di strumenti capaci di fornire informazioni aggiornate in un quadro multi-temporale e multiscala dei sistemi ambientali e territoriali in studio, in un ambito che possiamo definire di geomatica agronomica;
- 3) tale sistema integrato di tecniche deve essere, almeno nei prodotti finali che fornisce, di facile comprensione anche da parte di utenti non esperti e quindi deve possedere quelle qualità, oggi ritenute dalle scienze e tecnologie di Informazione e Comunicazione (Information Communication Technology o ICT), basilari per una reale diffusione e piena fruizione.

Questo quadro teorico e pratico-applicativo, viene di seguito affrontato, in termini complessivi, partendo dagli aspetti di base (definizione del problema

della gestione del pascolo), degli strumenti tecnologici che si possono applicare, dei risultati ottenuti in alcune recenti ricerche di geomatica agronomica.

LA PROBLEMATICHE GENERALE

Uno dei nodi da affrontare è come poter definire, in presenza dei vincoli descritti, un razionale piano di pascolamento, poter attuare una politica di monitoraggio dei pascoli, poter diffondere efficacemente e condividere le conoscenze attraverso strumenti cartografici rigorosi, aggiornati e di immediata comprensione, alla scala locale e a quella territoriale.

Il piano di pascolamento è quella struttura organizzativa della mandria – struttura dinamica nel tempo e nello spazio – che ha lo scopo di ottimizzare i rapporti della mandria stessa con le risorse ambientali (vegetazione, acqua, suolo), territoriali (edifici, strutture di servizio, infrastrutture, ecc.) e mezzi tecnici (macchine e attrezzature) in modo da rendere redditizi e compatibili l'allevamento e l'attività produttiva zootecnica (latte e derivati, carne, lana, pelli ecc.) (Bocchi, 2009).

Per redigere un piano di pascolamento è basilare la conoscenza della risorsa primaria, vale a dire della quantità e della qualità di foraggio che, nel tempo, si rende disponibile nell'ambito dell'area sottoposta a utilizzazione diretta. È necessaria la conoscenza delle esigenze dell'animale al pascolo, dei fabbisogni nutrizionali, di quelli ambientali, delle potenzialità di mantenimento naturale della fertilità del pascolo stesso, attraverso la distribuzione delle deiezioni. Devono essere quindi conosciuti i caratteri dinamici delle associazioni vegetali, quelli degli animali utilizzatori (specie e categorie) per stabilire il cosiddetto *carico mantenibile* e per assicurare le necessarie restituzioni e cure alla vegetazione.

Il piano di pascolamento risponde quindi ai tre quesiti del quanto, quando, come: quanto foraggio è disponibile su una determinata superficie, quando è il momento opportuno per l'utilizzazione; per quanto tempo la mandria può stazionare, e come può essere organizzata (libera, guidata, confinata ecc.).

L'obiettivo, quindi, è individuare, per aree omogenee delle quali è possibile misurare/stimare la produzione di fitomassa nei suoi caratteri quantitativi e qualitativi, il momento di inizio e l'intervallo di tempo durante il quale un certo numero di animali allevabili (definizione di carico ottimale) può stazionare.

La vegetazione dei pascoli, sotto l'azione di fattori pedoclimatici e gestionali, è in continua evoluzione ed è per questo che deve essere ciclicamente

monitorata. Tuttavia, una volta definite le tipologie vegetazionali e le loro estensioni, vale a dire redatta una cartografia tematica (carta dei pascoli), si può pensare che il quadro territoriale rimanga sufficientemente stabile nell'ambito di periodi di tempo di 4-5 anni.

La mappa dei pascoli di una determinata area geografica può essere considerata un prodotto che, indicando superfici omogenee per copertura vegetale, mantiene quindi una certa validità per un periodo sufficientemente lungo. Con essa si hanno indicazioni sui confini e sulle estensioni di categorie di vegetazione la cui produzione di biomassa, variabile in funzione degli andamenti climatici (le dinamiche produttive dei pascoli alpini risultano maggiormente legate agli andamenti termici, mentre quelli mediterranei alla disponibilità idrica) può essere misurata o stimata a diverse scale.

Le mappe dei pascoli possono riportare informazioni di diversa natura. Ad esempio possono rappresentare la distribuzione delle *facies pastorali*, vale a dire le unità di superficie (che diventano anche unità cartografiche) che possiamo considerare omogenee sotto i profili vegetazionale (composizione e struttura della vegetazione), ecologico (principali fattori ambientali), gestionale (tecniche di gestione agronomica e zootecnica uniformemente applicate); la singola unità di superficie è caratterizzata da 3-5 specie dominanti che apportano, nel loro totale, almeno il 30 % del Contributo Specifico (CS).

Nella formulazione più corretta è possibile calcolare il CS nel modo seguente:

$$CSi = \frac{FSi}{\sum_{i=1}^n FSi}$$

Dove:

CSi = contributo specifico della i-esima specie;

FS i = frequenza specifica della i-esima specie;

n = numero delle specie presenti nel rilievo (si suppone un rilievo lineare come indicato da Daget e Poissonet dove lungo un transetto di 25 m su 50 punti si annotano le specie che toccano una lama inserita nel terreno con intervalli regolari di 50 cm).

In questo caso tali specie dominanti (le due più importanti) diventano anche indicatrici e danno il nome alla facies.

Per semplificare i rilievi è possibile accorpare diverse facies pastorali simili (caratterizzate da 1- 2 specie dominanti simili) in un unico tipo pastorale che quindi si definisce come un insieme di facies ed è caratterizzato da

1-2 specie dominanti, e indicatrici del tipo, a elevata frequenza ($> 95\%$ dei rilievi).

Per raggiungere una cartografia di base, che abbia spiccati caratteri applicativi, è possibile semplificare le categorie sopra indicate (come proposto nell'ambito del progetto "La gestione sostenibile dei sistemi pascolivi italiani", progetto MASO-GIS, documentazione AA.VV. 2009, ove la vegetazione alpina è stata classificata secondo le categorie di prato, pascolo grasso, magro, dei riposi, cespugliato, arborato, bosco) per descrivere la vegetazione e raggiungere in modo più diretto il risultato cartografico di cui si riporta un esempio in figura 1.

I metodi di misura diretta della fitomassa sono piuttosto onerosi. La raccolta della fitomassa può essere eseguita mediante falciatrici a batteria, tosa-erba o falcetti, in rapporto alle condizioni logistiche e all'altezza della vegetazione. I metodi di Caputa e di Corral-Fenlon prevedono tradizionali parcelle

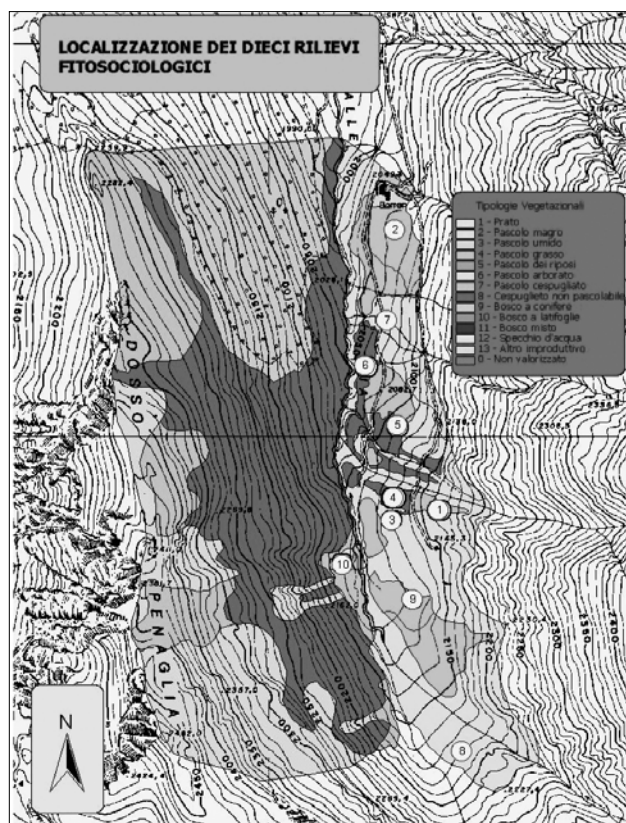


Fig. 1 *Esempio di cartografia semplificata dei pascoli*

sfalciate con falciatrice o falcetti. Altre ancora, piccoli quadrati di lato 1 m o altra dimensione o altra forma, tagliati con falcetto o tosaerba.

Per quanto riguarda le frequenze di taglio, se l'obiettivo si riduce alla stima della biomassa in un preciso momento (particolare stadio delle specie presenti), è ovviamente sufficiente un solo intervento, mentre se si deve seguire la crescita e tracciarne la curva (*growth analysis*), occorre ripetere i tagli a cadenze prefissate, di norma settimanali.

I metodi di stima più utilizzati sono quattro: la stima a vista, la stima sulla base dell'altezza dell'erba (erbometri), la stima della biomassa della canopy (capacimetri) e la stima attraverso la riflettanza fornita da spettrometri terrestri o satellitari (si basa sulla relazione che lega la risposta spettrale delle piante con la struttura della *canopy*).

I metodi basati sui rilievi floristici richiedono la determinazione delle componenti principali della vegetazione (sono utilizzati due metodi: quello della scuola pastorale francese di Grenoble CEMAGREF-INERM e quello dell'ISAF di Villazzano, basati rispettivamente sul valore pastorale e sugli indici ecologici di Landolt).

L'utilizzo di dati telerilevati può essere un utile strumento per la realizzazione di mappe tematiche di caratterizzazione dei pascoli aggiornabili periodicamente, in quanto fornisce un'alternativa-integrazione ai metodi tradizionali di rilevamento, a costi contenuti. Applicazioni quantitative e modelli dettagliati basati su tecniche di telerilevamento richiedono una buona conoscenza del territorio e studi di campo specifici e, conseguentemente, risultano difficilmente applicabili in aree marginali ove si dispone di insufficienti informazioni.

Le recenti ricerche condotte in ambito alpino e appenninico hanno permesso di metter a punto metodologie integrate in grado di caratterizzare i pascoli tramite dati telerilevati satellitari basate su informazioni minime (uso del suolo), applicabile in tutte le aree marginali in cui la disponibilità di informazioni ancillari necessarie all'applicazione di modelli complessi è limitata. Le tecniche di caratterizzazione agronomica/modellista sono integrate con le tecniche del telerilevamento e a quelle più specifiche del GIS.

LA METODOLOGIA

Ogni tipo di vegetazione è caratterizzata dalla cosiddetta firma spettrale, vale a dire la curva che rappresenta la riflettanza della *canopy* nei confronti della luce per alcune bande dello spettro elettromagnetico (fig. 2). Ogni foglia,

pianta, coltura infatti, una volta raggiunta da una fascio di luce (energia incidente) ne può utilizzare una parte (energia assorbita), ne può riflettere e trasmettere un'altra quota, in funzione non solo della propria struttura, ma anche del proprio stato di salute e di idratazione. Nella firma spettrale della vegetazione si possono riconoscere: a) le due concavità di assorbimento, della banda del visibile, dovute alla presenza e attività delle clorofille; b) il classico *plateau* ascrivibile al tipo di struttura della vegetazione; c) l'andamento tri-concavo attribuibile alla presenza dell'acqua. All'interno della firma, che in prima approssimazione è come una impronta digitale attraverso la quale riconoscere il tipo di pianta (fig. 3) o di vegetazione, possono variare, nel corso del ciclo vitale e produttivo, i rapporti tra le riflettanze delle singole bande. Gli indici di vegetazione (Vegetation Index o VI), che sono combinazioni algebriche dei valori di riflettanza nelle diverse frazioni di banda dello spettro elettromagnetico, permettono di effettuare indagini approfondite del comportamento delle colture.

Fra le numerose combinazioni algebriche, che spesso utilizzano le bande del rosso e dell'infrarosso, l'indice di vegetazione più utilizzato è NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) che esprime il rapporto tra la differenza ($IR - R$) rispetto alla somma ($IR + R$) delle diverse colture.

Nel progetto Interreg "La gestione sostenibile dei sistemi pascolivi italiani", MASO-GIS recentemente concluso, è stata studiata una duplice strategia per

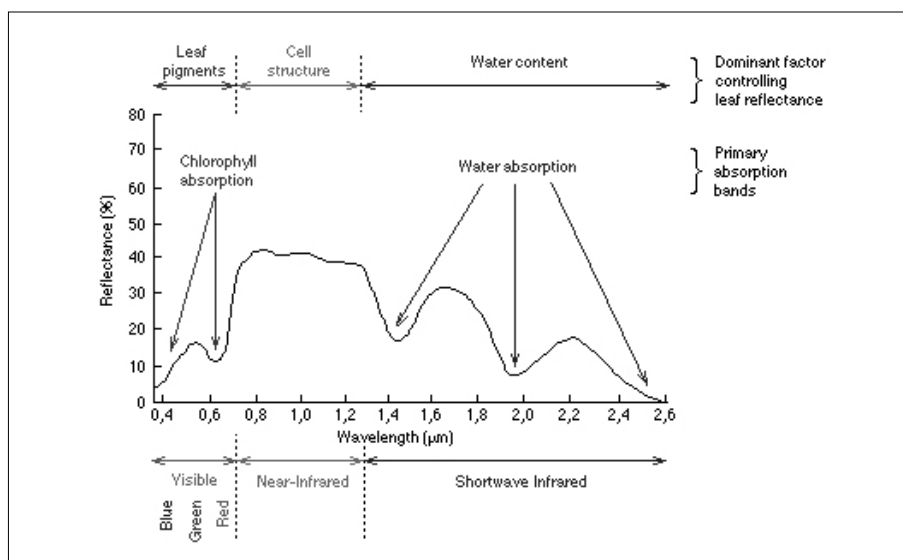


Fig. 2 Esempio di firma spettrale della vegetazione

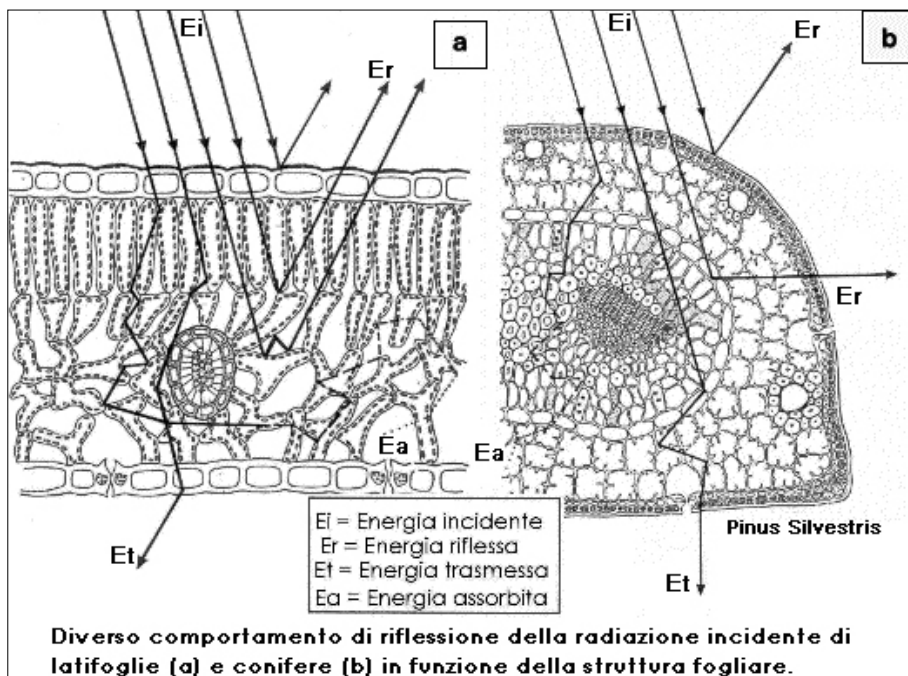


Fig. 3 I diversi rapporti tra energia riflessa, trasmessa, assorbita in due tipi di foglia (sinistra latifoglie, destra conifera)

la caratterizzazione della crescita del pascolo: la prima su basi modellistiche e la seconda, semplificata, basata sull'analisi dei profili multitemporali di NDVI acquisiti con il sensore MODIS. I risultati delle stime sono stati integrati all'interno di un GIS nel quale erano stati inseriti numerosi piani tematici.

METODO SU BASI MODELLISTICHE

Una recente indagine bibliografica effettuata sui modelli esplicativi della produttività dei pascoli mette in rilievo come a fronte di una elevato numero di software disponibili, nessuno risulta attualmente di facile applicazione in quanto o vengono richiesti molti dati di input oppure sono necessarie lunghe fasi di parametrizzazione. Per questa ragione si è cercata nella via della semplificazione modellistica e integrazione con tecniche di telerilevamento, la soluzione di questi aspetti.

Il modello *Radiation Use Efficiency* (RUE), proposto da Wilson (1967) e ripreso da Monteith nel 1977, si basa sull'assunzione che, in condizioni otti-

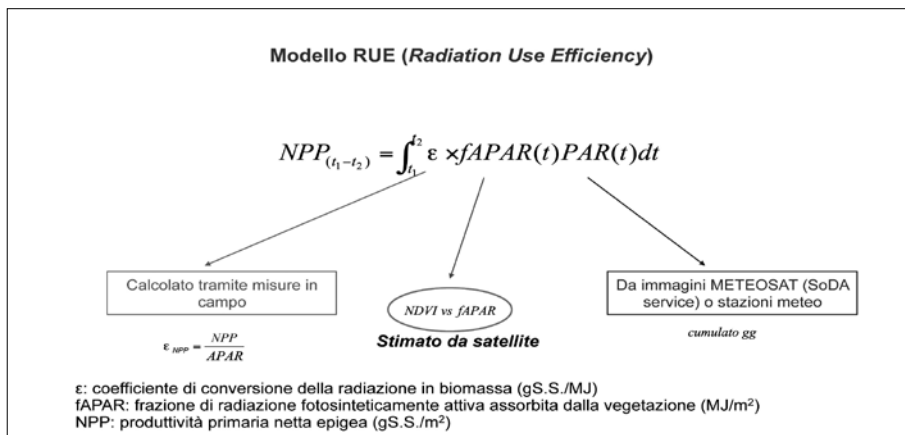


Fig. 4 Schema del modello applicato

mali di sviluppo, la crescita di una pianta sia direttamente proporzionale alla radiazione solare assorbita dalla stessa.

Matematicamente,

$$DM = \epsilon \times APAR$$

in cui DM (g m⁻²) è la sostanza secca prodotta in uno specifico intervallo di tempo, APAR (MJ m⁻² gg⁻¹) è la radiazione fotosinteticamente attiva (PAR, compresa tra i 300 nm e i 700 nm) assorbita dalla pianta e ϵ (g MJ⁻¹) è il coefficiente di conversione della radiazione in sostanza secca.

La formulazione più estesa è quella riportata in figura 4.

Da questa formulazione iniziale che si riferisce a colture cresciute in assenza di fattori limitanti, si è giunti a una versione che tiene conto della riduzione dell'efficienza di conversione della radiazione in sostanza secca, dovuta ad alcuni principali fattori limitanti, come temperatura e disponibilità idrica (Deficit di Pressione di Vapore).

I dati telerilevati portano alla determinazione del termine di APAR, prodotto tra la frazione di PAR assorbita dalla pianta (fAPAR) e la PAR incidente: la fAPAR è correlata a indici di vegetazione (NDVI) derivati da misure telerilevate.

Il modello utilizzato per la stima della produttività primaria netta epigea (PPN, g m⁻²) si basa su un approccio di tipo RUE (Monteith, 1977) ed è stato ottenuto modificando il modello MOD-17, utilizzato per la stima della produttività primaria netta a scala globale da dati MODIS (Heinch et al., 2003, Running et al., 1999).

Il termine di PAR è stato ottenuto da dati di radiazione globale incidente acquisiti dalle stazioni meteorologiche o da reti di monitoraggio a scala con-

tinente basate su differenti sorgenti di informazioni (e.g. SoDA Service, <http://www.soda-is.com/eng/index.html>). In figura 4 è rappresentato uno schema semplificato dell'approccio modellistico utilizzato. L'output del modello è la produttività giornaliera del pascolo, la quale può essere integrata su tutta la stagione per ottenere la produzione totale.

Il coefficiente di conversione della luce in biomassa (ϵ_{\max}) è stato calcolato per la specifica area di studio come coefficiente angolare della retta di regressione tra la IPAR cumulata nel corso della stagione di crescita e il peso della biomassa secca (Sinclair and Muchow, 1999). La IPAR è stata calcolata come prodotto tra la fIPAR misurata in campo e la PAR giornaliera acquisita in stazioni meteorologiche situate in prossimità dei campi sperimentali in entrambe le Macroaree. Per il calcolo sono state utilizzate solo le campagne in cui sono state osservate condizioni ottimali di crescita, al fine di ottenere una stima corretta della massima efficienza. Il calcolo di IPARcum è invece stato effettuato assumendo un incremento lineare della fIPAR tra le date di campionamento. Al di fuori dei recinti di esclusione non è possibile assumere la linearità nell'evoluzione del peso secco e della fIPAR a causa dell'effetto imprevedibile del pascolamento e pertanto il parametro ϵ_{\max} è stato calcolato utilizzando solo i dati acquisiti nelle aree escluse dal pascolamento.

(Alcuni enti internazionali, come lo CSIRO – Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Australiano, sono oggi in grado di offrire agli agricoltori indicazioni e stime di produttività ottenute attraverso l'uso integrato di dati telerilevati e del modello RUE delle risorse pascolive (<http://www.pasturesfromspace.csiro.au/>).

Gli obiettivi dell'applicazione mirata e integrata di tecniche di modellistica e di telerilevamento in questo ambito, possono quindi essere molteplici, dalla caratterizzazione dei pascoli e del calcolo del parametro di efficienza di conversione della luce in biomassa allo sviluppo di modelli semi-empirici per la stima non distruttiva della quantità e qualità del foraggio tramite misure radiometriche in campo, allo sviluppo di una metodologia di stima della produttività a scala regionale.

In due aree del territorio italiano di pascolo Mediterraneo e di pascolo Alpino sono state applicate queste tecniche per verificare la validità della metodica. In Sardegna su due diversi pascoli della Foresta Burgos, 850 m s.l.m. e di Sassari e in Valle D'Aosta, località Rhemes-Notre-Dame, specializzata nella produzione di Fontina, su pascoli a 2100 e 2400 m s.l.m. sono state effettuate le seguenti determinazioni: frazione della radiazione fotosinteticamente attiva intercettata dalla vegetazione (fIPAR) con ceptometro Sunscan Delta T, 400-700nm: 5 misure ripetute equidistanziate lungo il transetto; riflettanze

spettrali con spettroradiometro ASD Fieldspec HH, 400-1100nm: 5 misure ripetute equidistanziate lungo il transetto; misure di gap fraction con camera digitale Nikon obiettivo Fisheye 8mm: 5 misure ripetute equidistanziate lungo il transetto; peso fresco della biomassa: 5 prelievi (2m x 10cm) lungo il transetto (1 m² totale); altezza del cotico: ogni metro; peso secco (PS) della biomassa: complessivo del transetto (1 m²); peso di graminacee, composite, leguminose, altre, biomassa senescente: complessivo del transetto (1 m²); LAI distruttivo (1 m²): complessivo del transetto; misura di parametri biochimici del foraggio: azoto (N), proteina grezza (CP), fibra acido detersa (ADF), fibra neutro detersa (NDF), digestione in vitro (IVDMD): complessivo del transetto (1m²).

I pascoli studiati sono stati caratterizzati sotto il profilo floristico e pedologico. Gli input forniti al modello sono stati: la *Carta di uso del suolo* (ricavata dalla “Carta delle tipologie paesaggistiche” realizzata nell’ambito del progetto. Le classi considerate sono i pascoli a prevalente copertura erbacea e i pascoli con alberi isolati); i *Parametri eco fisiologici*: i dati relativi alle soglie di temperatura e VPD sono stati ricavati da fonti bibliografiche (Heinsch et

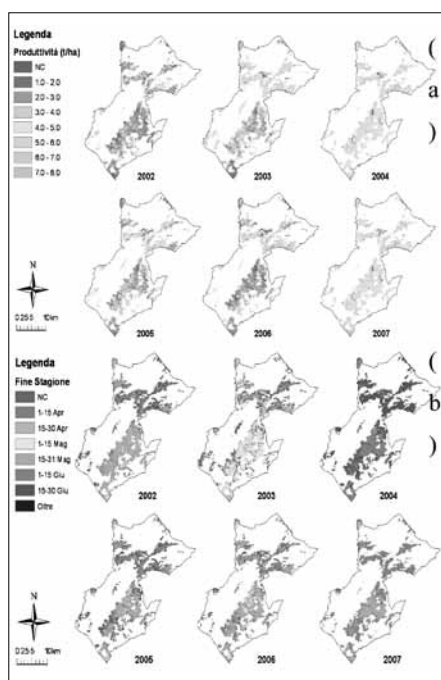


Fig. 5 *Pascolo mediterraneo*

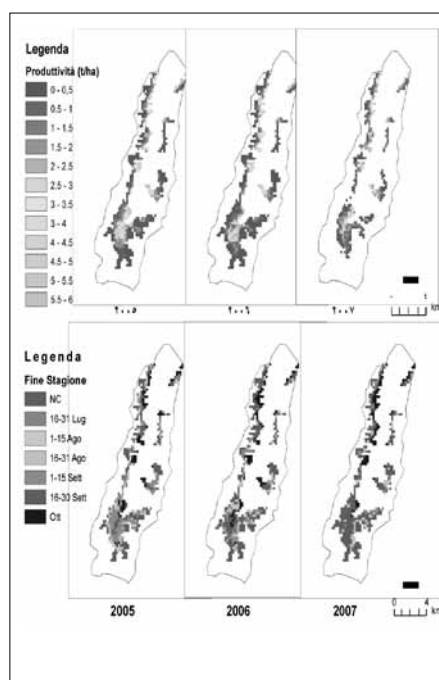


Fig. 6 *Pascolo alpino (Valle di Rheme)*

al., 2003). Il parametro ε_{\max} è stato calcolato per le due specifiche tipologie di pascolo nell'ambito del progetto.

Dati meteorologici giornalieri ricavati: dalle stazioni meteorologiche del Servizio Agrometeorologico della Sardegna in località Benetutti (SS) e Illorai (SS) per la Macroarea Marghine Goceano; ricavati dalla stazione meteorologica di Rhemes Notre Dames (AO) per la Macroarea Val di Rhemes.

La produttività dei pascoli è stata calcolata come somma della produzione di sostanza secca giornaliera dall'inizio della stagione vegetativa fino al termine della stagione vegetativa.

Nelle figure 5 e 6 si possono confrontare le produzioni negli anni 2002-2007 delle diverse tipologie di pascolo (mediterraneo a sinistra fig. 5, alpino a destra fig. 6).

METODO SU BASI RADIOMETRICHE

Questa metodologia, che rispetto a quella precedente risulta di più semplice e immediata applicazione, prevede l'utilizzo dell'indice NDVI direttamente per la stima del livello produttivo dei pascoli, senza l'applicazione di modelli ecologici e senza necessità di dati meteorologici ancillari (Paruelo and Lauenroth, 1998). Rispetto all'approccio modellistico descritto sopra, la metodologia su basi radiometriche utilizzata non consente di ottenere stime giornaliere di produttività, ma

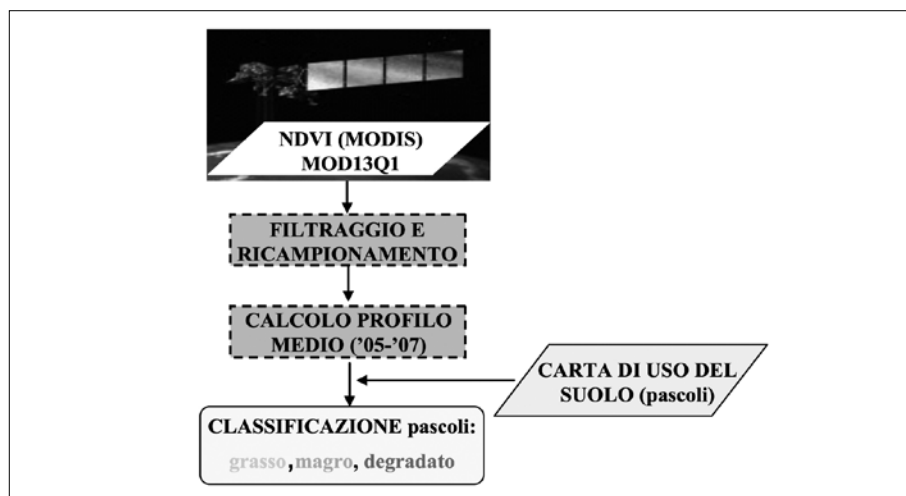


Fig. 7 Schema semplificato della metodologia utilizzata per classificare i pascoli sulla base della tipologia

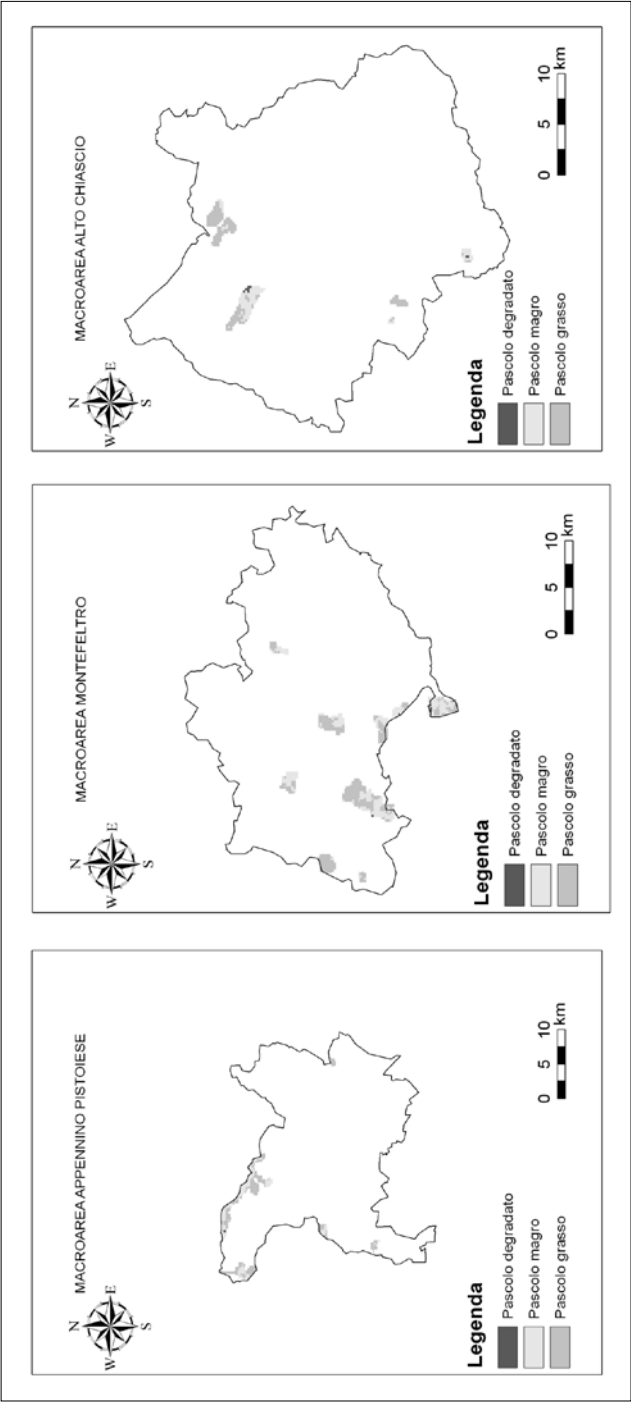


Fig. 8 Mappe della tipologia dei pascoli ottenute nelle tre macroaree del progetto: Appennino Pistoiese (Toscana), Montefeltro (Marche) e Alto Chiascio (Umbria)

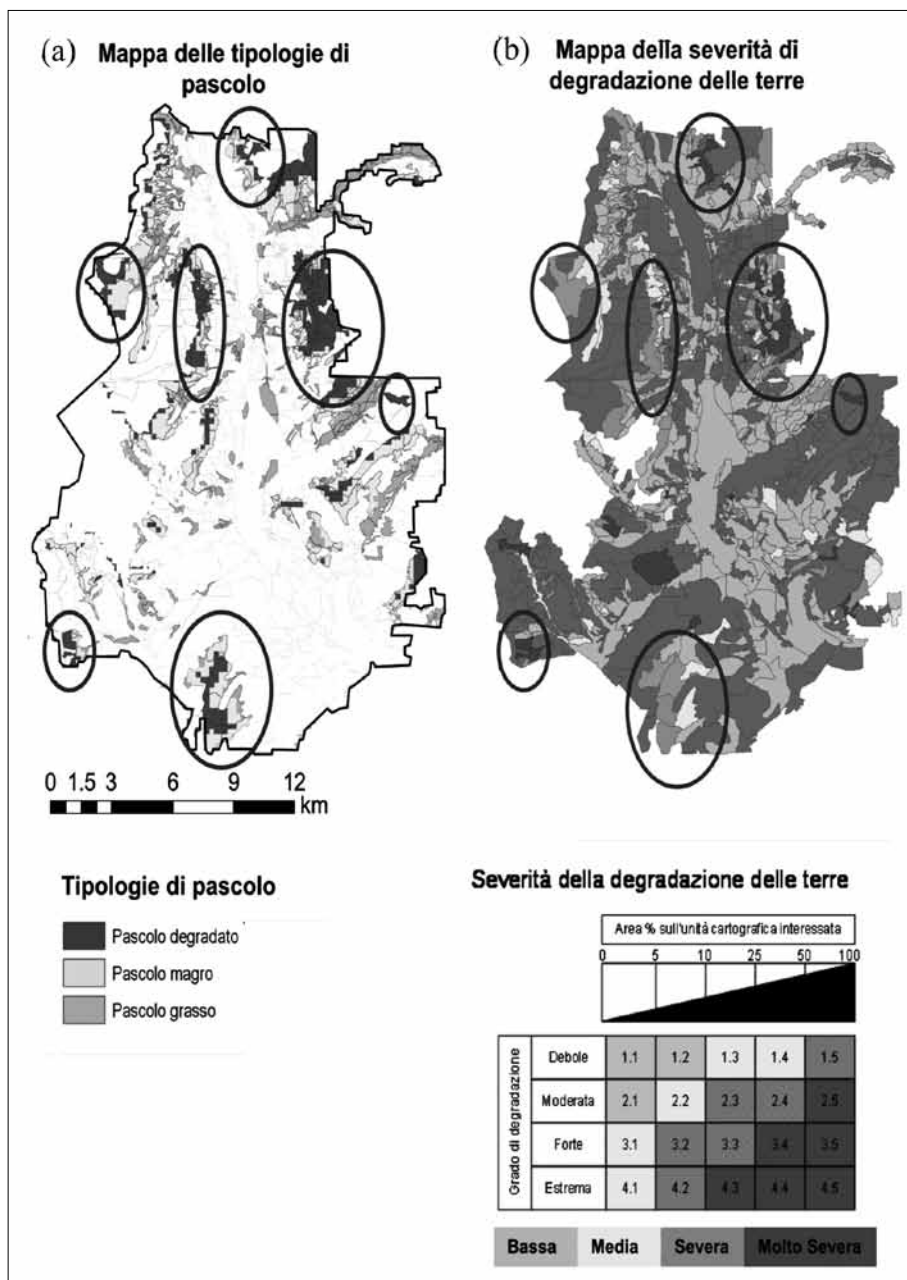


Fig. 9 *Mappa delle tipologie dei pascoli (a) e mappa della severità di degradazione delle terre (b) ottenute in Val Venosta (Alto Adige). In blu sono evidenziate alcune aree in cui si osserva una buona corrispondenza tra le due mappe*

di suddividere i pascoli in classi di produttività differenti, di stimarne le quantità di biomassa, non espresse in una scala assoluta, ma relativa. Sono ancora in corso studi che hanno l'obiettivo di riconoscere e classificare, a livello di associazione, i pascoli e i prati presenti in un determinata area (Boschetti et al. 2007).

Attraverso un algoritmo appositamente creato (fig. 7), che richiede come informazione ancillare solo la carta d'uso del suolo, sono state prodotte le mappe delle tipologie pascolive suddivise in tre classi: pascolo grasso, pascolo magro, pascolo degradato.

In figura 8 sono riportate, a titolo esemplificativo le classificazioni ottenute in tre macroaree del progetto MASO-GIS: l'Appennino Pistoiese in Toscana, il Montefeltro nelle Marche e l'Alto Chiascio in Umbria. Nelle tre macroaree appenniniche si osserva una prevalenza di pascoli grassi, con buone potenzialità produttive, mentre i pascoli magri coprono una minore superficie complessiva. Con tecniche GIS sono state integrate informazioni relative ad altri caratteri del pascolo, come ad esempio il livello di degradazione della terra (Giordano, 2009) e nella mappa di figura 8 è possibile visualizzare in modo diretto e sinottico questa informazione.

La mappa della macroarea "Alto Adige – Val Venosta" mette in luce situazioni di degradazione delle terre severa o molto severa, più spesso coincidenti con le tipologie di pascolo magro e degradato. Questo risultato fa capire non solo il grado di accuratezza che si può raggiungere nella caratterizzazione delle tipologie di pascolo, ma anche le enormi potenzialità di applicazione di queste tecniche integrate negli studi sia zootecnico-agronomico sia di monitoraggio ambientale, difesa o valorizzazione del territorio.

Le metodologie tradizionali per la redazione di mappe delle tipologie pascolive richiedono un'intensa attività di campo che spesso risulta difficilmente applicabile a scala territoriale e a costi contenuti. Le tecniche di modellistica e telerilevamento, integrate con tecniche GIS nell'ambito della cosiddetta geomatica agronomica, permettono di monitorare e rappresentare cartograficamente a basso costo le dinamiche di crescita del pascolo e quindi forniscono una potenziale alternativa-integrazione ai metodi tradizionali (Boschetti et al., 2007), particolarmente nelle aree marginali in cui è difficile reperire informazioni più dettagliate sulla vegetazione.

CONCLUSIONI

Le rapide trasformazioni socioeconomiche avvenute dal dopoguerra a oggi hanno avuto profonde ripercussioni su vasti ambiti territoriali: i

sistemi alpini e appenninici, che per millenni hanno mantenuto una relativa stabilità, si presentano oggi ai nostri occhi completamente trasformati.

Per salvaguardare l'ambiente, le tradizioni, i saperi locali e i prodotti tipici, è oggi richiesto uno sforzo collegiale e il settore della ricerca è chiamato a mettere a punto e proporre tecniche nuove da utilizzare per il monitoraggio, la caratterizzazione, la pianificazione e la gestione delle risorse nei diversificati ambiti e all'interno di nuovissimi e dinamicissimi scenari. Nel presente lavoro si sono proposte tecniche integrate di rilevamento a distanza, tecnologie GIS, modellistica agronomica, fornendo e discutendo i risultati ottenuti, al fine di riflettere su quanto oggi la ricerca è già in grado di fornire a una vasta platea di operatori, con l'auspicio che tutto ciò possa trovare presto una diffusa applicazione.

RIASSUNTO

Nell'ambito della moderna agronomia del territorio, è necessario individuare tecnologie innovative di rapida, affidabile, non costosa acquisizione di dati e informazioni, tecnologie tali da rendere possibile la costruzione di sistemi integrati di monitoraggio di singole aziende come di ampi territori.

Le tecnologie definite di *remote sensing* possono fornire un grosso contributo su queste tematiche, mettendo a disposizione metodiche di analisi e valutazione di numerose variabili ecosistemiche alle diverse scale spazio-temporali. In aggiunta, integrando tecniche di *remote sensing* con modelli agro-ecologici e dati climatici è possibile simulare futuri scenari relativi agli ambienti prato-pascolivi, superando così la semplice interpretazione delle passate o delle attuali dinamiche.

Nel presente lavoro vengono discusse queste problematiche, approfondendo sia gli aspetti teorici sia quelli più pratico-applicativi, fornendo alcuni risultati esemplificativi di progetti di ricerca condotti recentemente sulle montagne Italiane.

ABSTRACT

Integrated rangeland monitoring systems call for innovative technologies for acquiring rapid, cheap, reliable and verifiable information about rangelands structures, function, and dynamics. Remote sensing data and technologies can give a strong contribution to these needs, providing methodologies for assessing several key ecosystem variables at multiple spatial and temporal scales. Furthermore, the integration of remote sensing with ecological models and climate data opens interesting perspectives to forecast future rangelands conditions instead of simply interpreting current status and past dynamics.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2009): *La gestione sostenibile dei sistemi pascolivi italiani. Rete Interregionale per la ricerca agraria, forestale, acquacoltura e pesca*, Progetto MASO-GIS, supplemento al n. 61 dei «Quaderni della Regione Piemonte – Agricoltura».
- ASNER G.P., TOWNSEND A.R., BUSTAMANTE M.M.C., NARDOTO G.B., OLANDER L.P. (2004): *Pasture degradation in the central Amazon: linking changes in carbon and nutrient cycling with remote sensing*, «Glob. Change Biol.», 10, pp. 844-862.
- BALL D., COLLINS M., LACEFIELD G., MARTIN N., MERTENS D., OLSON K., PUTNAM D., UNDERSANDER D., WOLF M. (2001): *Understanding forage quality*, «American Farm Bureau Federation Publication», 1-01. Park Ridge, IL: American Farm Bureau Federation.
- BALZAROLO M., BOCCHI S., BOSCHETTI M., BRIVIO P.A. (2003): *Utilizzo di immagini Landsat ETM+ per lo studio della produttività del pascolo alpino. Caso di studio: la malga di Trela, Parco Nazionale dello Stelvio*, «Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia» (AIC), 117-119, pp. 455-464.
- BOCCHI S. (2009): *Applicazione integrata di tecniche GIS, remote sensing e indagine agro-ecologica per la caratterizzazione delle risorse foraggere e la produzione di cartografia tematica*, in *La gestione sostenibile dei sistemi pascolivi italiani*, Rete Interreg. Ricerca Agraria, forestale, vol. 1, pp. 55-67.
- BOSCHETTI M., BOCCHI S., BRIVIO P.A. (2007): *Assessment of pasture production in the Italian Alps using spectrometric and remote sensing information*, «Agric. Ecosyst. Environ.», 118, pp. 267-272.
- D'ANGELO M., ENNE G., MADRAU S., PERCICH L., PREVITALI F., PULINA G., ZUCCA C. (2000): *Mitigating land degradation in Mediterranean agro-silvo-pastoral systems: a GIS-based approach*, «Catena», 40, pp. 37-49.
- COLOMBO R., ZUCCA C., BOCCHI S. (2009): *Caratterizzazione dei pascoli mediante tecniche di telerilevamento*, in *La gestione sostenibile dei sistemi pascolivi italiani*, Rete Interreg. Ricerca Agraria, forestale, vol. 1, pp. 25-54.
- FAVA F., BOCCHI S., COLOMBO R., MUSINU S., SITZIA M., FOIS N. (2007): *Monitoraggio dei pascoli mediterranei con tecniche agronomiche e radiometriche*, su XXXVII Convegno SIA «Il contributo della Ricerca Agronomica all'Innovazione dei Sistemi Colturali Mediterranei», Catania, Italy, 13-14 settembre 2007, pp. 109-111.
- LAMB D.W., STEYN-ROSS M., SCHAARE P., HANNA M.M., SILVESTER W., STEYN-ROSS A. (2002): *Estimating leaf nitrogen concentration in ryegrass (Lolium spp.) pasture using the chlorophyll red-edge: theoretical modelling and experimental observations*, «Int. J. Remote Sens.», 23, pp. 3619-3648.
- LEE K.S., COHEN W.B., KENNEDY R.E., MAIERSPERGER T.K., GOWER S.T. (2004): *Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index in four different biomes*, «Remote Sensing Environ.», 91, pp. 508-520.
- MONTETH J.L. (1977): *Climate and the efficiency of crop production in Britain*, «Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences», 281, pp. 277-294.
- NUMATA I., ROBERTS D.A., CHADWICK O.A., SCHIMEL J., GALVAO J., SOARES J.V. (2008): *Evaluation of hyperspectral data for pasture estimate in the Brazilian Amazon using field and imaging spectrometers*, «Remote Sensing Environ.», 112, pp. 1569-1583.
- NUMATA I., ROBERTS D.A., CHADWICK O.A., SCHIMEL J., SAMPAIO F.R., LEONIDAS F.C., SOARES J.V. (2007): *Characterization of pasture biophysical properties and the impact of*

- grazing intensity using remotely sensed data*, «Remote Sensing Environ.», 109, pp. 314-327.
- PARI I., BOSCHETTI M., BOCCHI S., BRIVIO A. (2003): *Contributi del telerilevamento per la cartografia tematica dei pascoli alpini: il caso della Val Trompia*, XXXV conv. Soc. It. Agron., Napoli, 16-18 sett. 2003, Atti, pp. 243-244.
- PARUELO J.M., LAUENROTH W.K. (1998): *Interannual variability of NDVI and its relationship to climate for North American shrublands and grasslands*, «Journal of Biogeography», 25, pp. 721-733.
- STARKS P.J., ZHAO D.L., PHILLIPS W.A., COLEMAN S.W. (2006a): *Development of canopy reflectance algorithms for real-time prediction of bermudagrass pasture biomass and nutritive values*, «Crop Sci.», 46, pp. 927-934.
- TODD S.W., HOFFER R.M., MILCHUNAS D.G. (1998): *Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices*, «Int. J. Remote Sens.», 19, pp. 427-438.
- VESCOVO L., GIANELLE D. (2006): *Mapping the green herbage ratio of grasslands using both aerial and satellite-derived spectral reflectance*, «Agric. Ecosyst. Environ.», 115, pp. 141-149.