

Monitoraggio della biomassa erbacea in aree pascolive montane tramite sensori Landsat TM/ETM.

Flavio Forfecchia (*), Luigi De Cecco (*), Sandro Martini (*),
Gabriele Schino ^o, Claudia Trotta^o

* ENEA - ACS (Environment, Climate, Sustainability) Dep. , OSTES - Remote Sensing & GIS Group

^o ENEA - Biotechnology Dep. - Desertification Group

ENEA – Italian Government Agency for Energy , Advanced technologies and Environment,
c.r. Casaccia – via Anguillarese, 301 Rome-Italy

Riassunto

In questo lavoro è stata implementata una metodologia di monitoraggio estensivo della distribuzione della biomassa delle principali associazioni erbacee nel parco nazionale Italiano dei Monti Sibillini per mezzo dei dati di osservazione della terra (E.O.) In questa importante area protetta, collocata nel centro Italia a cavallo della catena Appenninica e caratterizzata da praterie primarie e secondarie su differenti suoli in zona notevolmente montuosa, tra gli obiettivi principali della gestione figura quello di assicurare la disponibilità del foraggio per l'allevamento locale tipicamente ovino e per la fauna selvatica cercando di evitare il sovra-pascolamento ed il conseguente possibile degrado dei suoli. L'approccio proposto, tenendo conto della copertura notevolmente variabile, considera differenti Indici Spettrali di Vegetazione (ISV) inclusi quelli "soil adjusted" con una valutazione comparata della loro efficacia. Tale intercomparazione include anche la correzione preventiva dei dati grezzi di E.O. per i possibili effetti di rumore introdotti sia dalla torbidità atmosferica sia dall'anisotropia della riflettanza della vegetazione caratterizzata dalla BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) ed amplificata dall'accentuata topografia locale. Vari modelli regressivi sono stati implementati per verificare l'efficacia delle differenti formulazioni nella stima della distribuzione della biomassa erbacea in questo particolare ecosistema sub-alpino, la loro stabilità riguardo ai periodi di crescita principali e alle differenze strutturali delle varie associazioni al fine di un loro utilizzo operativo nella gestione del parco. Un apposito schema di campionamento a terra è stato sviluppato al fine di ottimizzare su base statistica le dispendiose misure di calibrazione a terra considerando la risoluzione geometrica dei sensori utilizzati e facendo uso di specifiche relazioni allometriche definite per le varie associazioni considerate.

Abstract

This work focused on a methodology implementation for extensively estimating herbaceous biomass distribution of principal pasture associations in the Sibillini Mountains Italian National Park, by means of earth observation (E.O.) data . In this important Italian protected area, located in the middle of Italy and characterised by primary and secondary grasslands on different soils in a highly mountainous region, the main goal of sustainable management is to ensure long term forage availability for livestock and wild animals, avoiding at same time overgrazing and subsequent possible land degradation.

The proposed approach not only dealt with the assessment of diverse E.O. derived Spectral Vegetation Indices (ISV), with "soil adjusted" versions, but included also the evaluation of their improvements by introducing the preventive corrections of remotely sensed data for the primaries sources of possible noise effects, such as atmosphere turbidity and vegetation reflectance anisotropy, characterised by its Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) and

amplified by rugged topography. Various regression linear models were implemented in order to verify the power of diverse SVI formulations to estimate herbaceous biomass distribution in different situations of these particular sub-alpine ecosystems, their stability against the main growth seasons and the various herbaceous associations and their aptitude to be used routinely by park management. A specific ground sampling schema to optimise the number of expensive herbaceous biomass calibration measurements was implemented considering the ground resolution of TM/ETM sensors and using specific grass height-weight allometric equations to maintain its statistical power.

Introduzione

La gestione ecosostenibile delle praterie montane prevalentemente utilizzate come pascolo estensivo richiede stime affidabili della loro biomassa erbacea su estese aree con notevole variabilità. In quest'ottica, tenendo conto che le usuali misure puntuali sono dispendiose in termini di tempo e risorse maggiormente in dipendenza del loro numero, la messa a punto di metodologie integrate facenti uso di riprese satellitari (E.O.) può rappresentare una opportunità importante per la riduzione dei costi, il miglioramento dei risultati e dell'operatività del metodo. Attualmente molte metodologie operative implementate per la valutazione di parametri biofisici della vegetazione sono basate su Indici spettrali di Vegetazione (ISV) che fanno uso dei dati di E.O. per la stima dei principali parametri biofisici sulla base di modelli statistici e/o su base fisica. In particolare molte di queste applicazioni consolidate utilizzano questo approccio per valutazione della biomassa erbacea sulla base di specifici indici ISV implementati principalmente tramite opportune combinazioni delle riflettanze nel rosso e NIR (Near Infrared) derivate dai dati E.O. (Moreau et al., 2003). In quest'ottica per l'implementazione ed il test della metodologia in questo lavoro sono stati acquisiti dati telerilevati dai sensori Landsat TM/ETM e calibrati tramite apposite misure di calibrazione in sito effettuate durante 4 periodi vegetativi principali delle associazioni erbacee d'interesse negli anni 1999 e 2000. A causa dei prerequisiti in termini di risoluzione geometrica (compatibilità con il sistema informativo territoriale del parco) e della necessaria sincronizzazione con le campagne di misura a terra sono state selezionate due scene Landsat TM ed due riprese dal più recente sensore ETM della stessa famiglia, entrambi con risoluzione geometrica nominale a terra di 30 m. in sei bande spettrali di acquisizione dal visibile al medio infrarosso (SWIR). Partendo dai risultati precedentemente ottenuti con gli stessi dati senza correzioni atmosferiche e topografiche l'obiettivo di questo lavoro è stato quello di migliorare la metodologia utilizzando riflettanze preventivamente corrette con vari modelli di BRDF e diversi ISV inclusi quelli "soil adjusted" per tener meglio conto delle caratteristiche specifiche dell'area e dei dati di E.O. utilizzati. Infatti, sebbene gli usuali ISV basati sul rapporto di riflettanze nel rosso e NIR siano efficaci per ridurre gli effetti moltiplicativi dovuti alla topografia variabile ed all'atmosfera, nelle loro formulazioni di base (NDVI,...) essi risultano meno effettivi per tener conto l'influenza della riflettanza del suolo dovuta alla riduzione della densità della vegetazione erbacea sovrastante ed alla copertura frammentata a livello del singolo pixel come succede frequentemente nelle praterie montane.

In questo contesto pertanto l'approccio proposto non solo comprende la valutazione dell'efficacia di diversi ISV (NDVI, MSAVI, EVI) nella stima della distribuzione della densità delle differenti associazioni erbacee ma anche la valutazione del loro incremento di efficienza a seguito dell'introduzione di correzioni preventive dei possibili effetti di rumore dovuti all'atmosfera ed all'anisotropia della riflettanza della vegetazione caratterizzata dalla funzione di riflettanza bidirezionale (BDRF) ed esaltata dall'accentuata topografia locale.

Metodologia

Lo schema per la distribuzione delle misure a terra nei singoli plots è stato implementato sulla base di lavori di botanica disponibili in letteratura e tenendo conto sia della collocazione delle varie associazioni erbacee d'interesse all'interno del parco sia della possibilità di raggiungere i siti per mezzo della rete di sentieri agevolmente percorribili. Nello specifico, come riportato nella tabella

1, sono state considerate 8 associazioni erbacee con plot di 1 ha (3x3 pixel Landsat TM) distribuiti in 7 siti con differenti suoli collocati nelle varie zone del parco (figura 1). Nei singoli plot durante le 4 campagne sono stati individuati randomicamente sino a 5 subaree di 1 m² sulle quali sono state effettuate misure di altezza della “canopy” e del relativo peso della biomassa erbacea tagliata. Da quest’ultime sono state derivate tramite best-fit opportune equazioni allometriche che hanno consentito di caratterizzare l’intero plot sulla base di misure speditive di altezza non distruttive.

Site name	site code	Herbaceous Associations	Ass. Cod	Ass. n.	Meadow Pasture Typology	Soils Types	N° of plots
Macereto	MM				Sub mountain:		
		Crepido/Phleion	CrP	3	(< 1200 m)	5,4,10,3	13
Monte Meta	MT				Mountain		
		Mesobromion	Mes	6	(1200 – 1800 m)	3	10
Monte Prata	MP				Alpine/subalpine		
		Brachypodium	Bra	1	(> 1800 m)	5	2
					Alpine/subalpine		
		Festucion, Seslerion	Fes, Ses	5-7	(> 1800 m)	5	13
Monte Ragnolo	MR				Sub mountain:		
		Crepido/Phleion	CrP	3	(< 1200 m)	3	17
Monte Vettore	MV				Alpine/subalpine		
		Brachypodium	Bra	1	(> 1800 m)	2	4
					Alpine/subalpine		
		Festucion, Seslerion	Fes, Ses	5-7	(> 1800 m)	2,5	11
Passo Galluccio	GL				Mountain		
		Cynosurion	Cyn	4	(1200 – 1800 m)	4,7	5
Pian Grande	PG				Mountain		
		Caricion	Car	2	(1200 – 1800 m)	13, 16	3
					Mountain		
		Cynosurion	Cyn	4	(1200 – 1800 m)	4,14,16,5	8
					Mountain		
		Tunico/Kolerietum	Tuk	8	(1200 – 1800 m)	14,15	4
Total							90

Tabella 1- Schema di campionamento utilizzato, con l’indicazione del numero di plot per associazione, delle località e delle tipologie di suolo (da mappa disponibile presso il parco).

Per la stima della torbidità atmosferica è stato adottato il metodo “image based” DDV (Dense Dark Vegetation) che consente la stima del contenuto aerosolico in termini di visibilità (spessore ottico) espressa in chilometri (Km.), a partire dalla valutazione della riflettanza nel visibile su questi target di vegetazione individuati sulle immagini stesse tramite le loro risposte nello SWIR.

Per le correzioni topografiche sono stati utilizzati 3 differenti modelli per la stima della BRDF noti in letteratura con le denominazioni: Minnahert, Walthall e WAK. Prima di tutto quindi alle immagini di riflettanza multi-spettrale al sensore (TOA) ortocorrette geometricamente e calibrate è stata applicata una correzione per gli effetti atmosferici utilizzando valori di spessore ottico corrispondenti ai passaggi satellitari ottenuti preventivamente tramite il metododo DDV ed ottenendo le riflettanze a terra (TOC).

Quest’ultime sono state quindi poste in input a tre differenti procedure di normalizzazione BRDF corrispondenti ai 3 modelli suddetti per i cui coefficienti di calibrazione sono state sfruttate le misure multi-angolari derivate dalle aree di sovrapposizione delle Landsat frames utilizzate.

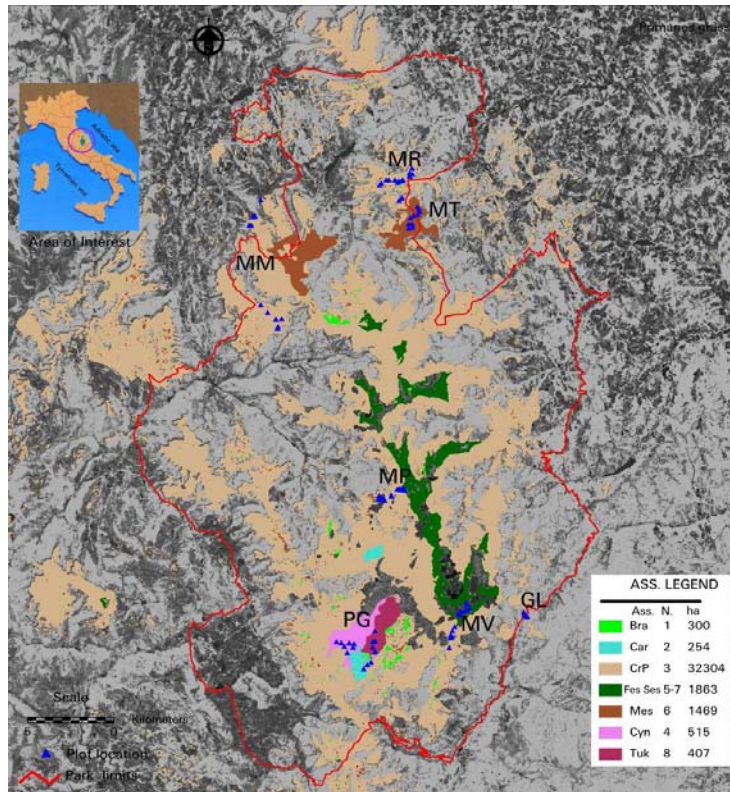


Figura 1- Confini del parco nazionale dei Monti Sibillini, distribuzione delle praterie primarie e secondarie e distribuzione dei plot in sovrapposizione ad una mappa di NDVI dell'area relativa al giugno 2000.

subaree di 1 m² (subplot) con l'obiettivo di minimizzare il numero totale di misure distruttive mantenendo al contempo la sua significatività statistica.

Risultati e conclusioni

In considerazione che a causa di una stagione particolare nell'autunno 1999 non state acquisite misure a terra sui plot corrispondenti alle praterie primarie di alta quota per le quali era stata registrata una ricrescita nulla o che nell'immagine estiva dello stesso anno, a causa della copertura nuvolosa, alcuni valori radiometrici erano inaffidabili, alcune misure corrispondenti a specifici plot sono state scartate unitamente a quelle che presentavano sulle immagini rilevate evidenti operazioni di sfalcatura successive alle campagne a terra. In aggiunta sono state scartate ulteriori misure il cui coefficiente di variazione calcolato "a posteriori" non era in accordo con le ipotesi statistiche utilizzate per lo schema di campionamento. I risultati delle medie per plot delle misure di biomassa per le varie associazioni acquisite nelle 4 campagne sono riportati nella figura 2.

Dopo il preprocessing le misure a terra risultanti (238) di densità della biomassa erbacea relative ai plot sono state associate alle relative grandezze radiometriche corrispondenti ai ISV selezionati a vari livelli di correzione. Una prima analisi basata su modelli regressivi è stata effettuata raggruppando i dati delle 4 campagne relativi alle varie associazioni considerate.

Nella Tabella 2 sono stati riportati i risultati indicando per ogni associazione (indicata con il relativo codice desumibile dalla Tabella 1) l'ISV il cui modello presentava la maggiore correlazione, i

In definitiva per ciascun tipo di ISV sono stati calcolati 5 differenti valori corrispondenti alle riflettanze derivate dai dati di E.O. a differenti livelli di correzione: TOA, TOC e con normalizzazione BRDF secondo i tre modelli. L'efficacia delle differenti versioni di ISV è stata testata tramite opportuni modelli regressivi calibrati e validati per mezzo di misure a terra effettuate durante i due periodi di crescita annuali su aree di 1 ha (plot) selezionate tenendo conto della distribuzione delle associazioni erbacee principali del parco. Per la caratterizzazione adeguata della distribuzione della biomassa erbacea dei plots nello schema di campionamento a terra sono state utilizzate opportune equazioni allometriche altezza-peso definite all'interno di

relativi coefficienti e parametri statistici. In aggiunta in seconda colonna il segno della correlazione ($D < 0$) e la tipologia di suolo. Il pedice in corrispondenza dell'ISV sta ad indicare la tipologia di correzione radiometrica globale preventiva, così Min indica che la correlazione più alta è stata

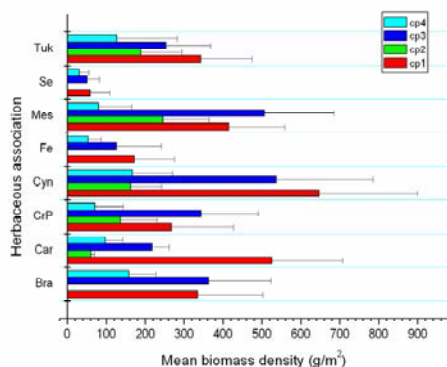


Figura 2- Media per plot della densità della biomassa misurata a terra per le varie associazioni erbacee nelle quattro campagne di misura a terra

ottenuta utilizzando nel modello lineare ISV ottenuto da riflettanze corrette atmosfericamente e con un modello BRDF di Minnahert per la normalizzazione topografica. A seconda dei differenti modelli per la BRDF sono stati inseriti gli altri pedici (Wal, Wak), con TOC laddove il modello migliore risultava quello ottenuto da ISV corretti solo atmosfericamente e nulla allorché la versione più efficiente era quella derivante dalle riflettanze al sensore (TOA). Come si vede gran parte dei modelli presenta un'elevata correlazione con un'efficacia rilevante soprattutto da parte degli indici "soil adjusted" ottenuti da riflettanze precorrette per gli effetti atmosferici e

di riflettanza bidirezionale. Per alcune importanti associazioni delle praterie primarie (Bra, Fes, Ses), probabilmente a causa dell'alta variabilità e frammentazione unite anche a produttività notevolmente basse con conseguente aumento degli effetti dovuti alla riflettanza dei suoli è stato necessario una discriminazione in base alla tipologia di quest'ultimi per ottenere modelli di qualità simile a quella degli altri. In considerazione del fatto che sebbene la distribuzione delle varie associazioni non abbia subito variazioni significative durante le 4 campagne effettuate nell'ambito di questo lavoro può essere soggetta a variazioni anche notevoli in dipendenza degli eventi stagionali naturali è stato effettuato un ulteriore upgrade della metodologia con l'implementazione di modelli regressivi comprendenti tutte le associazioni considerate ma a livello della singola campagna di rilievo. In modo è stato implementato e validato un metodo suscettibile di un utilizzo più agevole per la gestione operativa del parco. Mentre i dati relativi ad una singola campagna sono stati utilizzati per la calibrazione dei modelli, con i restanti relativi alle altre campagne si è proceduto alla loro validazione al fine di valutare la loro capacità predittiva. Con questa opzione si è verificato che in questo contesto modelli affidabili ($R^2 > 0.4$) sono implementabili solo per i periodi estivi a più alta produttività e che è possibile utilizzare a fini previsionali gli stessi modelli con sufficiente precisione in anni diversi da quello di calibrazione ma limitatamente agli stessi periodi stagionali. È stata effettuata infine una spazializzazione dei modelli implementati al fine di un calcolo dell'inventario superficiale totale della biomassa prodotta sulla base dei valori medi per associazione che sono stati confrontati con le medie delle misure a terra puntuali per i vari plot (Figura 3). A titolo d'esempio nella figura 4 è riportata la mappa tematica relativa alla distribuzione di biomassa sull'intera area d'interesse ottenuta dal modello calibrato con le misure in sito del 5-7-'99 ed i relativi dati di E.O. debitamente preprocessati come descritto, mentre in figura 5 è visualizzata una mappa analoga ottenuta a partire dall'immagine multi spettrale dell'anno successivo utilizzando lo stesso modello calibrato in precedenza.

Model Bio= $ax+b$								
Ass.	Sign	Soil	ISV	a	b	R ²	Rc ²	p-value
Bra	D	5	NDVI _{Min}	-205,381	470,328	0,721	0,582	0,15066
Bra	D	2	EVI1 _{Wal}	-437,497	348,913	0,415	0,318	0,08450
Car	X		NDVI _{TOC}	1132,291	-563,378	0,486	0,429	0,01706
CrP	X		MSAVI _{TOC}	916,410	-311,226	0,718	0,715	0,00000
Cyn	X		MSAVI	725,257	-202,306	0,515	0,502	0,00000
Fes	X	2	EVI1 _{TOC}	1073,846	-163,625	0,825	0,803	0,00028
Fes	X	5	MSAVI _{Wak}	379,798	-28,152	0,450	0,408	0,00620
Mes	X		EVI1 _{Min}	1122,129	-295,780	0,904	0,900	0,00000
Ses	C	2						
Ses	X	5	EVI2 _{Min}	228,715	-17,972	0,445	0,395	0,01268
Tuk	X		MSAVI _{Wal}	733,340	-35,988	0,539	0,508	0,00079

Tabella 2- Analisi regressiva dell'efficienza dei vari ISV utilizzati e delle relative procedure di preprocessing radiometrico

Nella figura 3 sono infine riportate le medie superficiali (con relative deviazioni standard come segmenti lineari ai bordi superiori delle barre) ottenute dalla mappa di calibrazione relativa alla campagna n.1 con quelli derivati dalla validazione del modello calibrato tramite i dati della campagna n. 4 unitamente a quelli a livello dei plot per confronto. Si evidenzia la compatibilità di risultati derivanti dai modelli con quelli delle misure in sito nell'ambito di una deviazione standard.

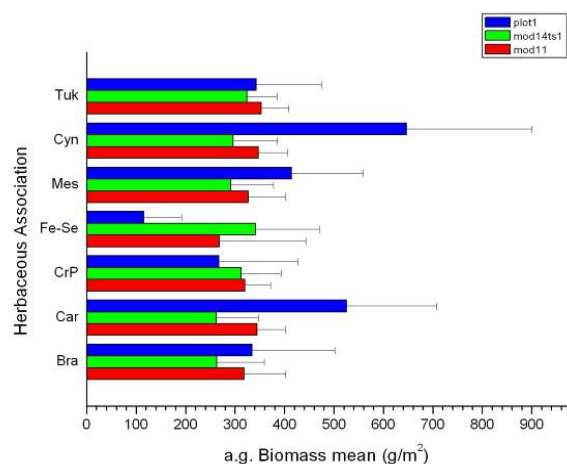


Figura 3- Valori medi superficiali e per plot derivati da calibrazione e test con dati della campagna n. 1

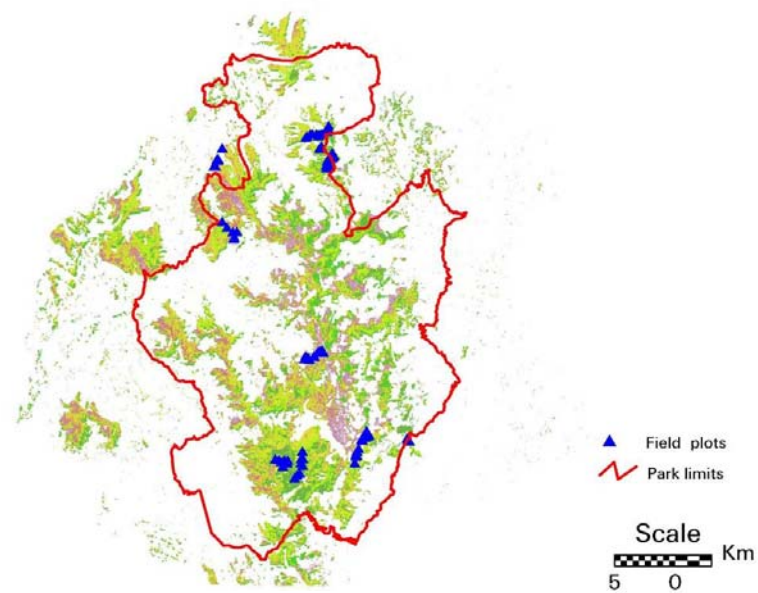


Figura 4- Distribuzione della biomassa derivata da modello calibrato tramite dati puntuali acquisiti in data 05-07-'99

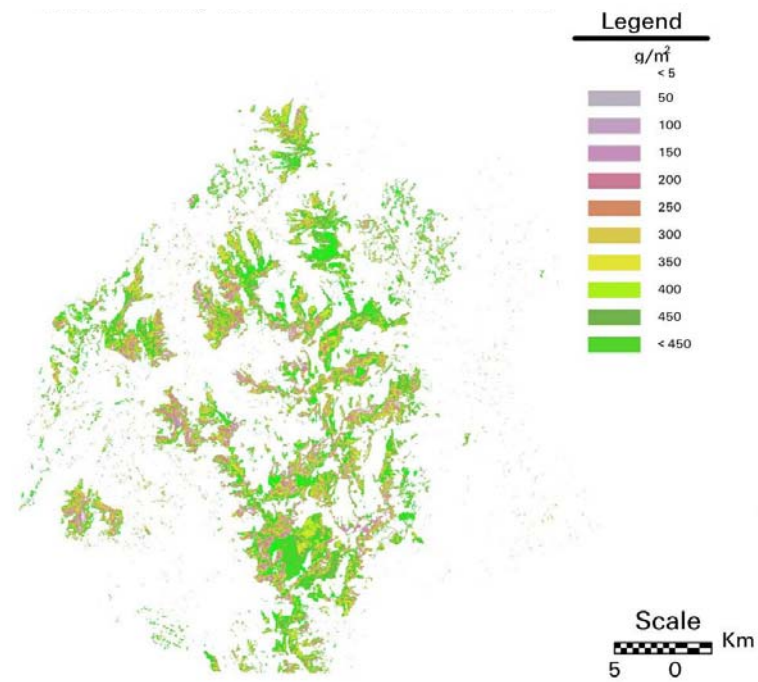


Figura 5- Distribuzione della biomassa in data 22-6-'00 derivata da modello calibrato tramite dati puntuali acquisiti in data 05-07-'99

