

Stima dei tempi di correlazione caratteristici dell'attività fotosintetica terrestre su scale climatiche

M. Lanfredi¹, T. Simoniello¹, V. Cuomo¹, M. Macchiato²

¹*Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, CNR, Tito Scalo (Pz), Italia*

²*Dipartimento di Scienze Fisiche, Università "Federico II", Napoli, Italia*

lanfredi@imaa.cnr.it

SOMMARIO: In questo contributo viene presentata una metodologia empirica per la caratterizzazione dinamica della vegetazione nell'ambito dello studio delle interazioni tra biosfera, attività antropiche e clima. Gli ecosistemi in equilibrio stabile rispondono alle perturbazioni ritornando asintoticamente alle condizioni non perturbate. Nell'ambito della teoria dei sistemi stocastici, tale resilienza si concretizza generalmente nell'esistenza di scale temporali caratteristiche. Al contrario, l'assenza di scale tipiche e la non-stazionarietà indicano la tendenza a memorizzare e ad accumulare perturbazioni. La procedura sviluppata consiste nello stimare la probabilità di persistenza dei trend dell'attività fotosintetica ottenuti da serie di mappe satellitari di indici di vegetazione. I risultati conseguiti sull'area test del Sud Italia per il periodo 1985-1999 rivelano condizioni medie stazionarie con situazioni locali anomale in aree a rischio di *land degradation*. Tale procedura si presenta particolarmente promettente per studiare fenomeni di desertificazione e, più in generale, per assimilare informazioni quantitative sulla dinamica della biosfera nei modelli climatici.

1 IL PROBLEMA SCIENTIFICO

Le interazioni non lineari tra copertura vegetale ed atmosfera svolgono un ruolo chiave nelle dinamiche climatiche e nel *Climate Change* (Feddema *et al.*, 2005). Le caratteristiche e le proprietà di correlazione dei processi che coinvolgono la copertura vegetale terrestre variano in accordo con il Clima. A loro volta, modificazioni intensive della copertura vegetale agiscono come forzante sul Clima determinando cambiamenti nei flussi energetici di superficie, nel bilancio idrico e nel ciclo del carbonio. È stato stimato che gli effetti di tale forzante sul bilancio radiativo sono almeno confrontabili con quelli dovuti a tutti i gas serra complessivamente (Pielke *et al.*, 2002).

Gli studi fenomenologici sui processi di *land cover* stanno rapidamente progredendo grazie soprattutto ai dati da satellite. Questi vengono attualmente assimilati nei modelli climatici ma le dinamiche della vegetazione sono ancora sostanzialmente inesplorate. Esistono dei modelli pionieristici qualitativi che metto-

no in evidenza meccanismi molto interessanti le cui scale dinamiche non sono esplicitate. La stima di tali scale spazio-temporali è, però, essenziale sia per la previsione del Clima, sia per la valutazione del rischio di *land degradation* e desertificazione in ambienti fragili. Molti degli ecosistemi a rischio sembrano obbedire a dinamiche multi-equilibrio in cui perturbazioni relativamente piccole della vegetazione o del clima possono generare differenti scenari stabili con cambiamenti sostanzialmente irreversibili (Higgins *et al.*, 2002). Una delle proprietà fondamentali della vegetazione in buono stato ed in regime climatico stazionario è, invece, un'elevata resilienza, ossia una buona capacità di recuperare dalle perturbazioni ritornando alla pre-esistente condizione imperturbata. Dal punto di vista dinamico, la resilienza implica l'esistenza di scale temporali caratteristiche il cui valore dipende da molti fattori (tipo di vegetazione, clima locale, disponibilità di nutrienti etc.) e la cui stima è particolarmente importante in tutte le problematiche climatiche in cui il ruolo del-

la biosfera è considerato significativo. A tale scopo, le serie temporali di osservazioni satellitari costituiscono lo strumento principale per ricostruire le proprietà di correlazione dell'attività fotosintetica a livello planetario.

Questo contributo riguarda la messa a punto di una procedura empirica per la caratterizzazione dinamica dell'attività fotosintetica basata su metodologie stocastiche ed applicata a serie temporali di dati da satellite NOAA-AVHRR relativi all'area test del Sud Italia. L'indice satellitare utilizzato è l'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), un indice vegetazionale largamente impiegato in letteratura come variabile proxy per l'attività fotosintetica. Punto critico fondamentale per l'affidabilità della metodologia è la bontà delle procedure di processamento dei dati satellitari al fine di minimizzare effetti di trend spuri (Simoniello *et al.*, 2004).

2 ATTIVITÀ DI RICERCA

L'attività di ricerca svolta dal nostro gruppo nell'ambito della caratterizzazione delle dinamiche di *land cover* attraverso l'analisi di dati satellitari riguarda sia il processamento dei dati grezzi che la messa a punto di metodiche ad *hoc* derivate dalle teorie stocastiche e dei sistemi dinamici.

2.1 Processamento di dati satellitari NOAA-AVHRR

I dati NOAA-AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer, a bordo dei satelliti National Oceanic and Atmospheric Administration), acquisiti direttamente presso l'IMAA-CNR, sono stati processati ed elaborati per ottenere mappe corrette dell'indice di vegetazione NDVI per il Sud Italia alla risoluzione del sensore (~1 Km²).

Negli anni scorsi abbiamo messo a punto e validato una procedura per la minimizzazione degli errori sistematici presenti nei dati (Cuomo *et al.*, 2001) e verificato le loro potenzialità per il monitoraggio di coperture vegetali eterogenee come quelle degli ecosistemi Mediterranei (Bonfiglio *et al.*, 2002).

L'affidabilità dei dati riveste un ruolo cruciale in questo tipo di studi poiché l'eventualità di trend spuri può portare a caratterizzazioni dinamiche completamente distorte.

2.2 Stima delle probabilità di persistenza

L'idea di base su cui si fonda quest'attività di ricerca è che lo studio dell'evoluzione temporale delle mappe di NDVI possa essere proficuamente inquadrato in una problematica meccanico-statistico analogica. L'algoritmo da noi sviluppato è ispirato alle recenti teorie relative alla dinamica delle superfici (Sire *et al.*, 2000) ed è stato opportunamente adattato alle peculiarità del problema specifico (Lanfredi *et al.*, 2004). Esso prevede il calcolo dei trend lineari di NDVI stimati a partire da condizioni di riferimento fissate e per periodi progressivamente crescenti. La distribuzione statistica empirica sul territorio dei tempi necessari perché tali trend cambino segno (tempi di primo passaggio), permette di stimare la probabilità di persistenza, che riflette le proprietà di stazionarietà della variabilità dell'NDVI. Nel caso di processi con scale caratteristiche, i tempi di primo passaggio t si distribuiscono esponenzialmente:

$$q(t) = N(t) / N_0 \exp(t / \tau)$$

dove $N(t)$ è il numero di pixel per cui il trend sopravvive t anni, N_0 è il numero di pixel investigati e la costante di decadimento caratteristica τ fornisce una stima del tempo di vita medio dei trend sulla regione investigata.

3 RISULTATI RILEVANTI

Il risultato generale più interessante, per quanto riguarda la metodologia, è il buon accordo tra le curve sperimentali stimate e le funzioni di correlazione teoriche attese nel caso di processi stazionari (Fig. 1).

Le scale caratteristiche ben si accordano con le diverse tipologie di *land cover*. Ad esempio, per la macchia Mediterranea, nota per la sua capacità di recupero e di espansione, abbiamo stimato un tempo caratteristico di circa 3 anni

per i trend negativi (il minimo fra le coperture) e di circa 23 anni per quelli positivi (il massimo fra le coperture). Situazioni locali di degrado si osservano in aree a rischio di *land degradation*, specialmente in Puglia (Fig. 2). Questa analisi può essere ripetuta anno per anno ottenendo informazioni dinamiche aggiornate sulle diverse coperture vegetali per individuare precocemente cambiamenti diffusi sul territorio.

4 PROSPETTIVE FUTURE

Attualmente si sta procedendo all'applicazione della metodologia sviluppata in due diversi contesti. Il primo riguarda l'analisi delle persi-

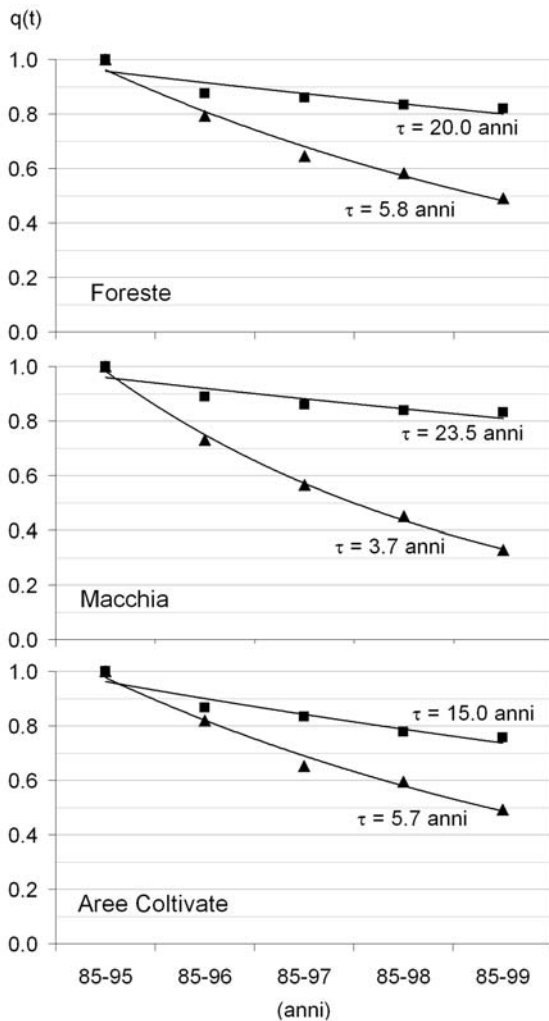


Figura 1: Esempi di *Best fit* esponenziali della probabilità di persistenza dei trend positivi (quadrati) e negativi (triangoli) per alcuni tipi di *land cover*. I tempi caratteristici τ indicano che i trend negativi decadono mediamente in tempi più brevi di quelli positivi, come atteso per vegetazione in buono stato (Lanfredi *et al.*, 2004).

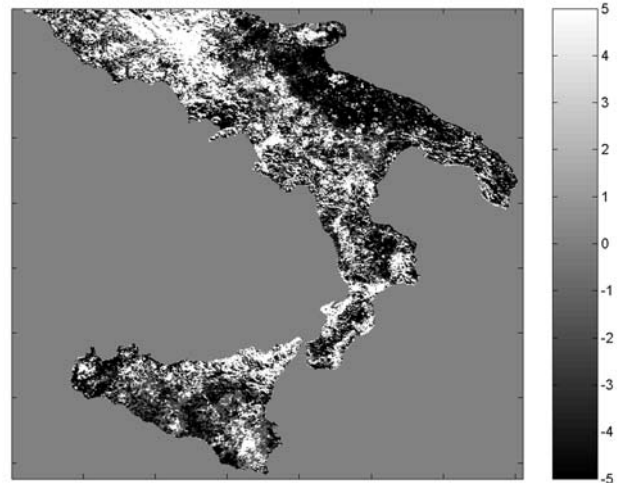


Figura 2: Mappa dei tempi di persistenza, espressi in anni, per il periodo 1995-1999. Il segno indica la direzione dei trend. Risulta particolarmente evidente la presenza di grandi aree soggette a decrescita persistente dell'NDVI in Puglia e in alcune zone della Sicilia e della Calabria (Lanfredi *et al.*, 2004).

stenze sul bacino del Mediterraneo, dove esistono molte aree a rischio di *land degradation* e desertificazione. Il secondo è relativo allo studio delle potenzialità degli indici di persistenza per il miglioramento delle performance degli indicatori di vulnerabilità alla desertificazione attraverso l'integrazione di informazioni dinamiche. Inoltre, si prevede di studiare l'esportabilità della metodologia ad altri parametri (es. LAI, FPAR) e a dati da sensori di nuova generazione (MODIS, VGT). Più in generale, le persistenze stimate con la nostra procedura mettono in luce proprietà di base della dinamica della vegetazione e forniscono stime quantitative che possono essere di interesse per i modelli climatici, soprattutto per esplicitare le correlazioni della biosfera con forzanti climatiche e/o antropiche.

5 BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Bonfiglio A., Cuomo V., Lanfredi M., Macchiato M., 2002. Interfacing NOAA/ AVHRR NDVI and soil truth maps for monitoring vegetation phenology at a local scale in a heterogeneous landscape of Southern Italy. *Int. J. Rem Sens.*, 23(20): 4181-4195.

Cuomo V., Lanfredi M., Lasaponara R., Macchiato M., Simoniello T., 2001. Detection of interannual variation of vegetation in

- middle and southern Italy during 1985-1999 with 1 km NOAA AVHRR. *J. Geophys. Res.*, 106(D16): 17863-876.
- Feddema J.J., Oleson K.W., Bonan G.B., Mearns L.O., Buja L.E., Meehl G.A., Washington W.M., 2005. The Importance of Land-Cover Change in Simulating Future Climates. *Science*, 310: 1674. DOI: 10.1126/science.1118160.
- Higgins P.A.T., Mastrandrea M.D., Schneider S.H., 2002. Dynamics of climate and ecosystem coupling: abrupt changes and multiple equilibria. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 357: 647-655. DOI 10.1098/rstb.2001.1043
- Lanfredi M., Simoniello T., Macchiato M., 2004. Temporal persistence in vegetation cover changes observed from satellite: development of an estimation procedure in the test site of the Mediterranean Italy. *Rem. Sens. Env.*, 93(4): 565-576.
- Lanfredi M., Liberti M., Simoniello T., Macchiato M., 2005. Long-time vegetation dynamics inferred from satellite: evaluation of characteristic time scales of photosynthetic activity trends. *Geophys. Res. Abstracts*, 7: 09679.
- Pielke R.A. Sr., Marland G., Betts R.A., Chase T.N., Eastman J.L., Niles J.O., Niyogi D.S., Running S.W., 2002. The influence of land-use change and landscape dynamics on the Climate System: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 360: 1705.
- Simoniello T., Cuomo V., Lanfredi M., Lasaponara R., Macchiato M., 2004. On the relevance of accurate correction and validation procedures in the analysis of AVHRRNDVI time series for long term monitoring. *J. Geophys. Res.*, 109: D20107, DOI: 10.1029/2004JD004819.
- Sire C., Majumdar S.N., Rüdiger A., 2000. Analytical results for random walk persistence. *Phys. Rev. E*, 61(2): 1258-1269.