

RISCHIO CLIMATICO PER L'AGRICOLTURA IN AMBIENTE MEDITERRANEO

PIERPAOLO DUCE (*), DONATELLA SPANO (**), ANDREA MOTRONI (***), SIMONA CANU (****)

(*) Istituto di Biometeorologia, Sezione Monitoraggio Agroecosistemi, Sassari

(**) Dipartimento Economia e Sistemi Arborei, Università degli Studi di Sassari

(***) Servizio Agrometeorologico Regionale della Sardegna, Sassari

INTRODUZIONE

Gli studi sugli effetti dei cambiamenti climatici nel bacino del Mediterraneo hanno evidenziato come, negli ultimi decenni, si sia verificato un aumento superiore a quello medio globale della temperatura media annua e della frequenza delle onde di calore (Rambal e Hoff, 1998), mentre una recente analisi delle serie storiche termopluviometriche italiane ha mostrato un significativo aumento della temperatura media annua (0.4 °C al Nord, 0.7 °C al Sud) e una significativa diminuzione delle precipitazioni annue, in particolare nell'Italia meridionale (Brunetti et al., 2000). Quest'ultimo dato ha trovato conferma, a una scala spaziale minore, anche nell'analisi di Delitala et al. (2000) e Delitala e Pusceddu (2002) delle serie storiche pluviometriche dell'ultimo secolo in Sardegna.

Nelle regioni aride e semi-aride la variabilità dei fattori ambientali e meteorologici è un elemento chiave nel determinare la produzione agricola. In queste regioni la variabilità interannuale del clima e, in particolare, delle precipitazioni piovose rappresenta, infatti, una componente intrinseca del sistema. La valutazione del rischio climatico è un argomento ampiamente trattato, in particolare negli studi a scala globale e continentale. Parry e Carter (1988) e Rosenzweig (1982) hanno comunque evidenziato le difficoltà che si incontrano nella valutazione del rischio climatico per le colture e le aree agricole quando si lavora a una scala spaziale di tipo locale.

In questo lavoro è presentata una metodologia per la stima del rischio climatico in agricoltura a scala locale basata sui principi della *Land Evaluation*. Tale tecnica fornisce informazioni qualitative su un territorio (il potenziale produttivo, le limitazioni, la vulnerabilità, ecc.) attraverso l'analisi di precise caratteristiche bio-fisiche e socio-economiche. L'applicazione delle tecniche di *Land Evaluation* richiede una particolare attenzione quando si analizzano le qualità di un territorio che derivano dalla misura di variabili dinamiche, come ad esempio le variabili meteorologiche (Rossiter, 1996). In questo caso, infatti, le variabili dinamiche sono di solito convertite in variabili statiche, perdendo così l'informazione legata alla naturale variabilità dei fenomeni. A questo proposito, in letteratura sono reperibili pochi esempi di studi in cui le normali

fluttuazioni interannuali del clima sono incorporate in una metodologia di valutazione del territorio (van Lanen et al., 1992; Hudson e Birnie, 1999).

Il principale obiettivo di questo lavoro è stato quello di sviluppare una metodologia affidabile e facilmente trasferibile per l'individuazione delle aree agricole e delle colture a rischio climatico nella regione mediterranea e di fornire, quindi, uno strumento operativo sia per la pianificazione territoriale nel lungo periodo sia per la gestione del territorio nel breve periodo. Le procedure di analisi messe a punto sono state applicate al caso reale della regione Sardegna facendo ricorso al sistema di classificazione della *Land Capability for Agriculture (LCA*, valutazione della capacità d'uso di un territorio ai fini agricoli).

MATERIALI E METODI

Lo studio si è basato su un insieme integrato di informazioni territoriali e socio-economiche. Si tratta di dati riguardanti il clima della regione, le sue caratteristiche geologiche, morfologiche e pedologiche e gli aspetti socio-economici più rilevanti ai fini di questo studio (con particolare riferimento all'utilizzazione dei terreni nel recente passato). Tali informazioni, disponibili sia sotto forma di valori numerici (dati climatici) sia sotto forma cartografica (dati pedologici e di utilizzazione del suolo) sono stati collegati a un data base informativo. L'approccio scelto per l'analisi dei dati è stato quello dei Sistemi Informativi Territoriali e della *Land Capability for Agriculture* che permette la sovrapposizione di piani informativi diversi facilmente interrogabili e intelleggibili. Di seguito sono brevemente descritti i dati e le informazioni raccolte e le procedure utilizzate.

Carta Ecopedologica

La Carta Ecopedologica della Sardegna, predisposta nell'ambito delle attività per la realizzazione della Carta dei Suoli di Europa alla scala 1:250.000, è articolata su due livelli principali di dettaglio: la *Soil Region* e il *Soil Scape*. Dato il livello di dettaglio informativo di una cartografia al 250.000, è stato introdotto un livello cartografico intermedio tra la *Soil Region* e il *Soil Scape*, denominato *Soil sub-Region*. Sulla base di questi criteri in Sardegna sono stati individuati oltre 800 poligoni con dimensione minima di 1.5 km². Questi poligoni sono stati organizzati in 285 *Soil Scapes* (dimensione minima 6 km²), che costituiscono quindi la base della nuova cartografia pedologica regionale.

Carta di Uso del Suolo

La carta di uso del suolo della Sardegna CASI 3, realizzata dall'INEA (Istituto Nazionale di Economia Agraria), è un prodotto che fornisce una rappresentazione aggiornata del territorio mediante interpretazione di immagini satellitari (in combinazione con le ortofoto digitali AIMA), realizzate in tre diversi periodi vegetativi (primavera, estate e autunno), relative a diverse annate (1997-1998), con una scala di acquisizione dei dati 1:100.000 ed un approfondimento in scala 1:50.000, per quanto riguarda le aree irrigue.

Serie storiche termopluviometriche complete del trentennio 1961-90

Le serie storiche termopluviometriche complete della regione Sardegna sono state fornite dal Servizio Agrometeorologico Regionale della Sardegna (SAR – Sardegna). I dati climatici sono relativi al trentennio 1961-1990, il più completo tra quelli recenti e

pertanto più indicativo dell'attuale variabilità climatica. Sono state selezionate 54 stazioni che garantivano una buona copertura spaziale del territorio, una buona qualità dei dati e presentavano una copertura completa del trentennio in esame.

Serie storiche termopluviometriche incomplete del trentennio 1961-90

Al fine di aumentare la risoluzione spaziale dell'analisi climatologica del territorio regionale e rendere possibile la spazializzazione dei dati, sono state utilizzate altre serie storiche termometriche e pluviometriche (circa 240), fornite anch'esse dal SAR - Sardegna.

L'analisi preliminare dei dati raccolti ha consentito la classificazione del territorio secondo classi pedologiche e climatiche omogenee dal punto di vista agricolo per giungere infine a una classificazione in termini di *LCA* pedo-climatica basata sia sulla natura e sulle caratteristiche dei suoli sia sulle caratteristiche climatiche.

A partire dalla Carta di *LCA* Ecopedologica della Sardegna si è proceduto a una significativa riduzione degli oltre 800 poligoni e dei 285 *Soil Scapes* individuati, raggruppando i differenti tipi di suolo in 8 classi a seconda delle più o meno severe limitazioni che essi impongono dal punto di vista dell'utilizzo agricolo potenziale (Klingebil e Montgomery, 1961).

La classificazione del territorio della Sardegna in termini di *LCA* climatica è stata effettuata analizzando le serie storiche termopluviometriche complete del periodo 1961-1990, e prendendo in considerazione i due principali fattori che rendono possibile lo svolgimento dell'attività agricola in senso lato: la disponibilità idrica e la disponibilità di energia. Il primo fattore è stato determinato attraverso la stima del massimo deficit idrico potenziale del suolo ($PSMD_{max}$) mentre il secondo attraverso il calcolo della sommatoria annuale dei gradi giorno cumulati a partire dal 1 gennaio di ciascun anno (*CDD*). In sostanza, al fine di individuare le aree della Sardegna omogenee da un punto di vista climatico sono stati calcolati, per ciascuno dei 54 punti stazione selezionati, i valori della mediana di $PSMD_{max}$ e il primo quartile di *CDD* del trentennio 1961-1990. Per giungere alla classificazione delle 54 stazioni in termini di *LCA* climatica, si è fatto ricorso alla *cluster analysis* utilizzando il metodo denominato *joining* o *tree clustering*. Ciò ha consentito di individuare sette classi climatiche e diverse sottoclassi e di discriminare le aree a maggiore vocazione agricola (categoria *Prime*, *P*) da quelle con importanti limitazioni per un uso agricolo del territorio (categoria *Non Prime*, *NP*) (Tabella 1 e Figura 1).

| CLASSE <i>LCA</i> climatica | $PSMD_{ma}$ mm anno ⁻¹ | <i>CDD</i> |
|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| 7 ₂ | nessun limite | >2500 |
| 6 ₂ | tra -40 e -160 | >3250 |
| 5 ₂ | tra -160 e -240 | >3750 |
| 4 ₂ | tra -240 e -340 | >4250 |
| 3 ₂ | tra -340 e -380 | >4500 |
| 2₂ | tra -380 e -440 | >4750 |
| 1 | tra -440 e -540 | >5000 |
| 2₁ | tra -540 e -640 | >5250 |
| 3₁ | tra -640 e -700 | >5500 |
| 4 ₁ | tra -700 e -740 | >5750 |
| 5 ₁ | tra -740 e -780 | >6000 |
| 6 ₁ | tra -780 e -840 | >6250 |
| 7 ₁ | >-840 | >6500 |

Tabella 1 - Classi di *LCA* climatica e corrispondenti valori annuali di massimo deficit idrico potenziale del suolo ($PSMD_{max}$) e di sommatoria termica (*CDD*). Le classi in neretto sono quelle a maggiore vocazione agricola (categoria *Prime*), le altre rappresentano classi con importanti limitazioni per un uso agricolo del territorio (categoria *Non Prime*).

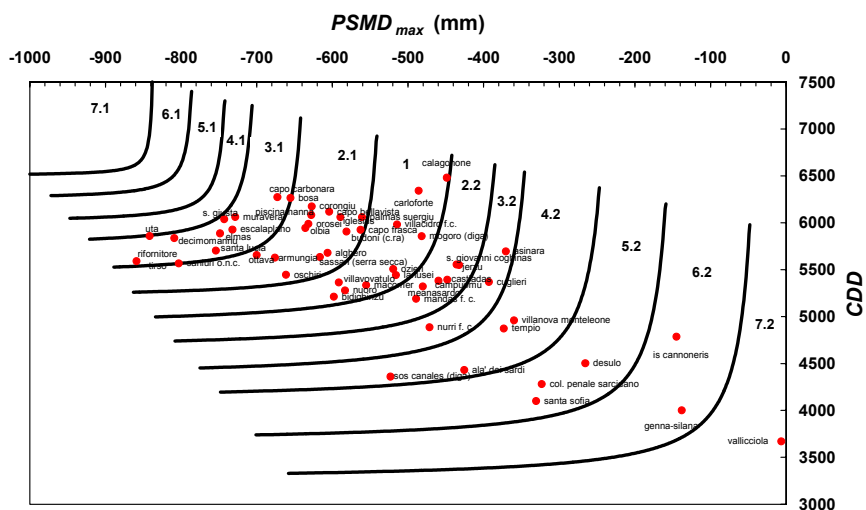


Figura 1 - Classificazione delle 54 serie termopluviometriche complete della Sardegna per il periodo 1961-1990 in termini di *LCA* climatica.

Questa procedura è stata quindi estesa all'intero territorio regionale, utilizzando, come base di dati, il risultato dell'interpolazione, su una griglia di 240 celle con passo 10 km per 10 km, delle serie storiche termometriche e pluviometriche incomplete del trentennio 1961-90 (circa 240 stazioni).

Allo scopo di valutare la variabilità spazio-temporale del rischio climatico, è stata analizzata la variazione di classificazione climatica delle diverse celle di griglia nel periodo 1961-1990. Per ciascuna cella e ciascun anno sono stati quindi calcolati i valori di $PSMD_{max}$ e *CDD* ed è stata determinata la relativa classificazione climatica. Nella Figura 2 viene presentato il grafico relativo alla cella numero 1. I punti con l'etichetta numerica rappresentano le condizioni climatiche registrate dal 1961 al 1990, mentre il punto con l'etichetta "clima" rappresenta la condizione media, cioè la classe di *LCA* climatica di lungo periodo. Da questo grafico, riportato a titolo esemplificativo ma rappresentativo delle variazioni climatiche osservate per tutte le celle, è evidente come la variazione numericamente e agronomicamente più significativa sia rappresentata dai valori assunti nei diversi anni da $PSMD_{max}$.

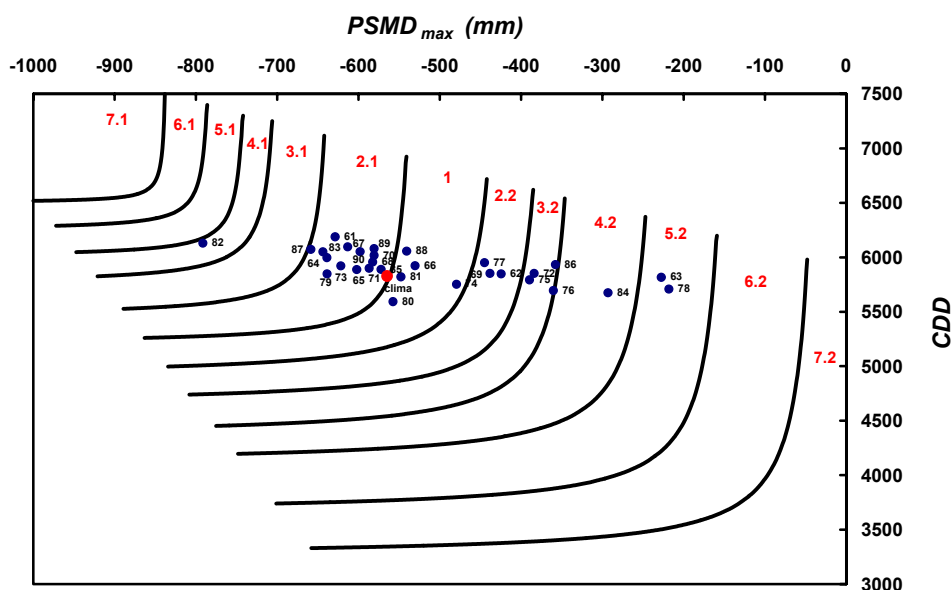


Figura 2 - Esempio di variabilità climatica interannuale e distribuzione negli anni della classe di *LCA* climatica. I dati sono riferiti alla cella n. 1 della griglia e al periodo 1961-1990.

La determinazione dell'indice di rischio climatico, espresso come tempo medio di ritorno a condizioni sfavorevoli per l'attività agricola (condizioni *Non Prime*), è stata effettuata calcolando, per ciascun punto di griglia, (i) le transizioni osservate tra le categorie climatiche *Prime* e *Non Prime* e (ii) le probabilità di transizione tra uno stato e l'altro sulla base dei dati osservati nel trentennio 1961-1990. A questo scopo è stata utilizzata la tecnica della *Markov chain analysis* (Steward, 1994), applicata a ogni singolo punto di griglia. La procedura di valutazione del rischio climatico ha infine consentito di realizzare la carta del rischio climatico per la Sardegna in cui sono rappresentate sinteticamente sia le condizioni "medie" del territorio sia la sua naturale variabilità climatica.

La gestione e l'elaborazione dei dati e l'analisi dei diversi tematismi (suolo, clima e uso del suolo) sono stati effettuati tramite un Sistema Informativo Geografico in ambiente ArcView 3.2.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Lo studio del territorio della Sardegna ha richiesto l'elaborazione di una serie notevole di dati e di informazioni di diversa natura: geologia, morfologia, pedologia, clima e uso del suolo. I diversi piani informativi sono stati organizzati, elaborati e interrogati attraverso un Sistema Informativo Geografico al fine di: (i) ottenere uno strumento flessibile e facilmente interrogabile e (ii) incentrare lo studio sulle aree maggiormente vocate da un punto di vista agricolo seguendo i principi della *Land Capability*.

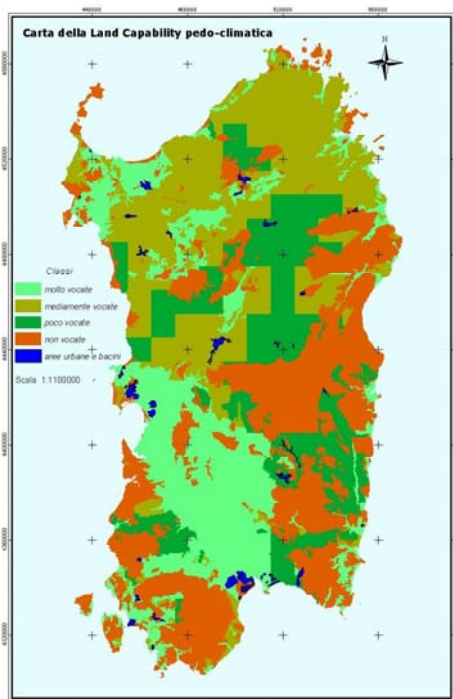
L'analisi delle caratteristiche dei suoli e delle eventuali restrizioni che l'orografia e la pedologia impongono allo sfruttamento del territorio da un punto di vista agricolo è stata riportata nella *Carta della LCA pedologica* della regione Sardegna, mentre l'analisi delle caratteristiche agroclimatiche del territorio, basata essenzialmente sulla determinazione della disponibilità idrica e della disponibilità di energia, ha consentito la realizzazione della *Carta della LCA climatica* della regione Sardegna.

Il dettaglio cartografico (scala 1:250.000) adottato nella Carta della *LCA* pedologica non ha permesso di attribuire le diverse unità di mappa ad una singola classe di attitudine, tranne che in pochi casi (classi II, III, IV e VI). Per ciascuna unità di mappa è stata pertanto indicata la valutazione massima e quella minima. Questo fatto crea naturalmente dei problemi di identificazione delle classi per alcune porzioni di territorio, in particolare nei casi in cui le classi sono molto lontane tra loro (classi II-VII, II-VIII, ecc.). Le classi comprese tra la I e la IV comprendono i terreni arabili e con minori limitazioni per l'agricoltura e identificano le aree più vocate da un punto di vista agricolo su base esclusivamente pedologica. La maggior parte del territorio regionale ricade nelle classi IV-VI, IV-VIII, VI, VI-VII, VI-VIII e VIII, che vanno a costituire circa il 75% dell'intera superficie della regione. Si tratta per lo più di aree con progressive limitazioni per l'agricoltura, non arabili, destinate a forme di agricoltura estensiva (pascoli, produzione di foraggi, ecc.), alla forestazione o all'esclusivo mantenimento delle risorse naturali e all'utilizzo per fini ricreativi e turistici, nelle condizioni più marginali.

La classificazione in termini di *LCA* climatica ha mostrato una netta prevalenza di classi *Prime* rispetto a quelle *Non Prime*. Queste ultime sono dislocate soprattutto nelle aree di montagna (zona del Gennargentu, Marghine-Goceano, Limbara e Sette Fratelli) o in alcune zone piuttosto isolate ma con caratteristiche geomorfologiche e orografiche particolari (alcune zone del Sulcis Iglesiente, aree in prossimità della zona

di Bosa, ecc.). Le classi *Prime* 1, 2₁, 2₂, 3₁ occupano gran parte della regione e sono presenti soprattutto nelle zone della Nurra, del Campidano, della Gallura e lungo la fascia costiera. La zona della pianura del Campidano, dove si concentra gran parte dell'agricoltura intensiva dell'isola, è caratterizzata da valori al limite tra le classi *Prime* e quelle *Non Prime* a causa della frequenza delle condizioni di aridità. Le approssimazioni riscontrabili nella carta della *LCA* climatica dipendono in larga parte dalla risoluzione dei dati interpolati. In ogni caso, la carta rappresenta un piano informativo fondamentale per individuare le aree maggiormente vocate per l'agricoltura dal punto di vista delle caratteristiche climatiche.

La sovrapposizione dei due precedenti tematismi (*LCA* pedologica e *LCA* climatica) ha permesso di estrarre un ulteriore strato informativo che viene presentato nella *Carta della LCA pedo-climatica* della regione Sardegna (Figura 3). Nella Tabella 2 sono riassunti i criteri di classificazione della *LCA* pedo-climatica.



| Classi di <i>LCA</i> pedo-climatica | Classi di <i>LCA</i> pedologica | Classi di <i>LCA</i> climatica | % della superficie sul totale |
|-------------------------------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| Molto vocate | da I a IV e intermedie | 1, 2 ₁ , 2 ₂ , 3 ₁ | 22.8 |
| Mediamente vocate | IV-VI IV-VIII VI | 1, 2 ₁ , 2 ₂ , 3 ₁ | 27.3 |
| Poco vocate | VI-VII e VI-VIII | <i>Prime</i> + 3 ₂ e 4 ₂ | 17.6 |
| Non vocate | VI-VIII e VIII | nessuna | 31.4 |

Tabella 2 - Classi di *LCA* pedo-climatica e loro caratteristiche.

Figura 3 - Carta della *LCA* pedo-climatica della Sardegna.

La carta della *LCA* pedo-climatica mostra le aree della Sardegna in base alla loro attitudine o vocazionalità alla produzione agricola. Le aree *molto vocate* si trovano principalmente in corrispondenza delle pianure maggiori (la piana della Nurra a nord-ovest e la pianura del Campidano nel centro-sud dell'isola), nella zona compresa tra la catena del Limbara e quella del Marghine (Piana di Chilivani) nella porzione centro-settentrionale della regione, nella Valle del Tirso poco più a Sud, in alcune aree del Sulcis Iglesiente nella parte sud-occidentale e in altre aree localizzate in prossimità della costa orientale e settentrionale della Sardegna. La superficie complessiva può essere stimata in 546.000 ettari, pari a circa al 22.8% del totale. Le aree *mediamente vocate* ricadono nelle aree centrali dell'isola e soprattutto in quelle nord-orientali (Gallura) e rappresentano il 27.3% del totale, con una superficie complessiva di circa 655.000 ettari. Le aree *poco vocate*, sparse in diversi distretti della Sardegna, costituiscono il 17.6% della superficie complessiva, per un totale di circa 421.000 ettari. Le aree *non vocate* per l'agricoltura corrispondono alle aree di montagna o di alta collina, a rocciosità affiorante, o alle aree costiere rocciose e alla quasi totalità delle isole minori. Esse rappresentano la maggioranza della superficie complessiva della regione con il 31.4% del totale e circa 754.000 ettari.

Infine l'analisi della variabilità climatica interannuale ha portato alla messa a punto di un indice di rischio climatico, espresso come tempo medio di ritorno in anni a condizioni di scarsa vocazionalità climatica del territorio (condizioni *Non Prime*), e alla realizzazione di una *Carta del Rischio Climatico* delle aree a maggiore vocazione agricola della regione Sardegna (Figura 4). Un tempo medio di ritorno (*MRT*) pari a 3 anni indica, ad esempio, che ogni tre anni, nella cella o nell'insieme di celle così classificate, vi è un'elevata probabilità che si verifichino condizioni *Non Prime*, cioè

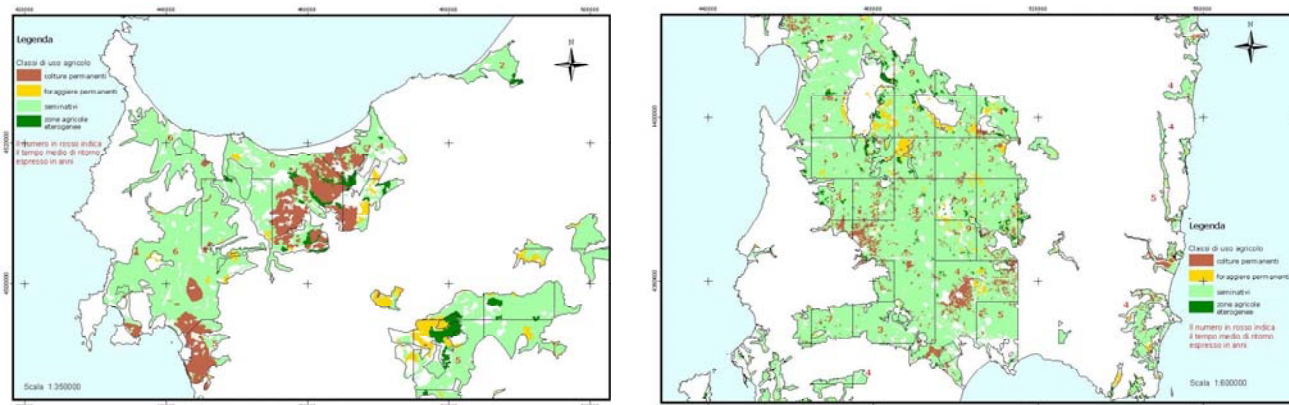


Figura 4 – Uso agricolo del suolo delle aree molto vocate e indice di rischio climatico della Sardegna nord-occidentale (a sinistra) e meridionale (a destra). I numeri riportati per ciascuna cella o gruppo di celle indicano il tempo medio di ritorno in anni allo stato *Non Prime*.

condizioni climatiche poco favorevoli all'attività agricola, mentre le aree che presentano un *MRT* superiore agli 8, 9 e 10 anni (calcolato su una statistica di 30 anni) presentano un minore rischio climatico. E' importante sottolineare che non è risultata una relazione significativa tra le classi di *LCA* climatica e il corrispondente indice di rischio climatico, se non per quelle aree decisamente *Non Prime* e corrispondenti alle zone di alta montagna (*MRT* pari a 1 anno). È possibile affermare che il rischio climatico, così come inteso in questo studio, non presenta una tendenza ben definita nella spazializzazione geografica delle diverse classi. A parte le aree di montagna, infatti, possiamo trovare zone con rischio climatico elevato in tutte le aree della Sardegna, affiancate da aree caratterizzate da un moderato o basso rischio climatico.

CONCLUSIONI

In questo lavoro è stata sviluppata una metodologia affidabile e facilmente trasferibile per l'individuazione delle aree agricole e delle colture a rischio climatico nella regione mediterranea. Le procedure di analisi messe a punto sono state applicate al caso reale della regione Sardegna. Lo studio è stato condotto secondo i principi della *Land Capability* e si è basato su un insieme integrato di informazioni territoriali (geologia, morfologia, pedologia, clima e uso del suolo).

Il metodo sviluppato ha consentito di rappresentare graficamente il rischio climatico per l'agricoltura nelle diverse aree del territorio. Tale rischio è risultato particolarmente elevato, con un tempo medio di ritorno di condizioni climatiche sfavorevoli inferiore a 2 anni, nelle aree di più elevata altitudine. Nelle aree climaticamente e pedologicamente più vocate per le attività agricole, è stato possibile discriminare, per aree di analoga vocazionalità agricola, livelli di rischio climatico

significativamente differenti. La metodologia risulta direttamente applicabile ad altre aree con caratteristiche climatiche simili a quelle della Sardegna e, con i dovuti adattamenti, a regioni climaticamente diverse. In particolare, si deve sottolineare che i valori dell'indice di rischio climatico (tempo medio di ritorno, espresso in anni, a condizioni climatiche sfavorevoli per un uso agricolo) non sono risultati correlati con le classi climatiche attribuite alle diverse porzioni di territorio. Questo risultato indica che le variabili meteorologiche sono state integrate nella procedura di valutazione tenendo effettivamente conto della loro natura dinamica. Pertanto, le mappe di rischio climatico realizzate riescono a includere l'informazione relativa alla variabilità climatica e a dare un'idea immediata e sintetica sia delle condizioni "medie" del territorio sia della sua naturale variabilità interannuale.

BIBLIOGRAFIA

- Brunetti, M., M. Maugeri, and T. Nanni, 2000. *Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1955*. Theor. Appl. Climatol., 65: 165-174.
- Delitala, A.M., and G. Pusceddu, 2002. *Precipitation over Sardinia during the 20th Century and associated large-scale climatic variations - Part II*. International Journal of Climatology (in corso di stampa).
- Delitala, A.M., D. Cesari, and P.A. Chessa, 2000. *Precipitation over Sardinia (Italy) during the 1946-1993 rainy season and associated large-scale climatic variations*. International Journal of Climatology, 20, 519-542.
- Hudson, G., and R. V. Birnie, 1999. *A method of land evaluation including year to year weather variability*. Agric. For. Meteorol., 101, 203-216.
- Klingebiel, A. A., and P. H. Montgomery, 1961. *Land capability classification*. USDA Agricultural Handbook 210, US Government Printing Office, Washington, DC, USA.
- Parry, M. L., and T. R. Carter, 1988. *The assessment of effects of climatic variations on agriculture: aims, methods and summary of results*. In: Parry M. L. et al. eds., *The impact of climatic variations on agriculture*, Vol. 1, Reidel Publ. Co., Dordrecht, pp. 11-95.
- Rambal, S., and C. Hoff, 1998. *Mediterranean ecosystems and fire: the threats of global change*. In: Moreno, J. M. ed., *Large forest fires*, Backhuys Pub., Leiden, The Netherlands, pp. 187-213.
- Rosenzweig, N. J., 1982. *Potential CO₂-Induced climatic effects on the North American wheat producing regions*. Clim. Change, 7, 367-389.
- Rossiter, D. G., 1996. *A theoretical framework for land evaluation*. Geoderma, 72, 165-190.
- Steward, W. J., 1994. *An introduction to the numerical solution of Markov Chains*. Princeton University Press, New York.
- van Lanen, H. A. J., M. J. D. Hackten Broeke, J. Bouma, and W. J. M. de Groot, 1992. *A mixed qualitative-quantitative physical land evaluation methodology*. Geoderma, 55, 37