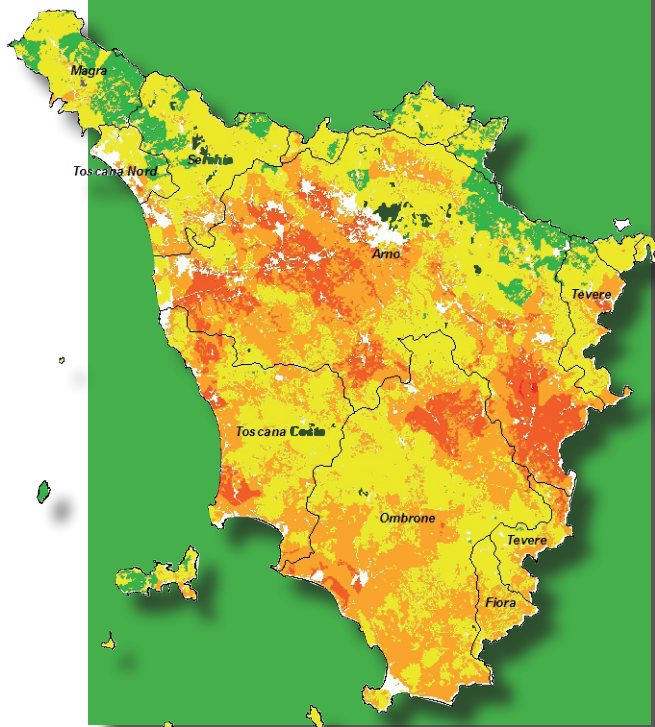


CLIMA CHE CAMBIA

gli impatti sul
territorio toscano



CONSORZIO
LaMMA

Progettazione e realizzazione:

Federica Zabini
Ramona Magno
Valentina Grasso

Autori:

**Consorzio LaMMA, con un
ringraziamento particolare a:**

Luca Angeli
Marta Chiesi
Raffaella Ferrari
Ramona Magno



Regione Toscana



www.lamma.rete.toscana.it

Clima e impatti sul territorio

Le condizioni meteo-climatiche sono un fattore determinante della struttura degli ecosistemi, influenzando il suolo, lo sviluppo della vegetazione, la disponibilità d'acqua, la biodiversità.

La variabilità e le tendenze climatiche in atto in Toscana hanno avuto ed hanno un forte impatto su tutti i sistemi territoriali e sulle attività umane ad essi collegate, anche perchè vanno a sommarsi agli altri fattori di degrado e sfruttamento del territorio (urbanizzazione, inquinamento dei suoli, sovrasfruttamento agricolo, pastorale e delle attività produttive, ecc.).

Uno dei principali effetti delle **variazioni climatiche** sul territorio è legato alle **risorse idriche**, sia in termini di quantità complessiva di acqua disponibile per le attività umane e per il mantenimento dell'equilibrio ambientale, che in termini di distribuzione temporale. La variabilità del regime pluviometrico e della sua distribuzione ha tra le sue conseguenze un impatto sulla disponibilità idrica nel corso della stagione. La sensibilità del ciclo idrologico alla variazione della temperatura e delle precipitazioni comporta modificazioni nell'umidità del suolo, nello scorrimento superficiale dell'acqua, nella portata dei fiumi e dei laghi.

La **temperatura** influenza in vario modo ed è un fattore essenziale della **vita del suolo**. Le alternanze di periodi siccitosi a periodi più ricorrenti di eventi meteorici estremi, agendo sullo sviluppo della vegetazione e quindi sul grado di copertura vegetale del suolo, indebolisce la protezione operata dalla vegetazione rendendo devastanti gli effetti del ruscellamento superficiale e influenzando la possibilità di ricarica delle falde.

Il circolo vizioso che si instaura tra cambiamento climatico, fenomeni di desertificazione e biodiversità fa sì che il territorio non sia più in grado di sostenere i sistemi produttivi e che in tali condizioni si verifichino fenomeni di "uso competitivo" delle risorse tra i diversi settori socio-economici.



Aridità, siccità e rischio desertificazione

Al termine desertificazione è associato, nell'immaginario collettivo, il processo di espansione dei deserti sabbiosi. In realtà, la desertificazione è quel fenomeno che porta alla progressiva riduzione della fertilità dello strato superficiale del suolo e della capacità produttiva delle terre aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a stress di natura climatica e alla pressione delle attività umane.

Per quanto riguarda i fattori climatici, la desertificazione è strettamente connessa a fenomeni quali l'aridità, la siccità e l'erosione prodotta dalle precipitazioni.

Se sono le regioni del sud ad essere più vulnerabili, anche quelle del centro nord, in particolare Toscana ed Emilia Romagna, manifestano un peggioramento della situazione idrometeorologica e sono sempre più sensibili all'irregolarità delle precipitazioni.

La Toscana presenta delle aree soggette a fenomeni di impoverimento e degrado dei terreni, a causa di una varietà di fattori tra cui l'aridità estiva, gli episodi di siccità invernale, l'uso improprio delle terre, il sovrasfruttamento della risorsa idrica e la pressione demografica e turistica.

Indice di aridità

Cosa s'intende per aridità

L'aridità è una caratteristica permanente del clima, tipica di aree con scarse precipitazioni ed elevata evapotraspirazione, ovvero la quantità d'acqua che dal terreno passa nell'aria allo stato di vapore per effetto congiunto della traspirazione (attraverso le piante) e dell'evaporazione (direttamente dal terreno). L'aridità è quindi legata al concetto di bilancio idrico negativo permanente.

Come si misura

Per determinare se una regione è affetta da aridità e/o siccità sono stati messi a punto diversi indici che forniscono informazioni sia sulla presenza/assenza del fenomeno che sulla sua evoluzione spaziale e temporale.

L'indice di aridità utilizzato per la Toscana è dato dal rapporto fra precipitazione ed evapotraspirazione, calcolata secondo la formula di Thornthwaite e modificata con un fattore di correzione che utilizza l'equazione di Penman-Monteith (FAO-Quaderno56). L'indice è stato calcolato su tutta la regione, sia a livello annuale che stagionale su due periodi diversi (1961-1990 e 1991-2008).

Toscana

A livello annuale il territorio toscano non sembra avere problemi di aridità, in quanto le **precipitazioni e le temperature del periodo autunno-invernale "mascherano" i problemi che emergono nelle due stagioni più calde, primavera ed estate**, quando ci sono aree sub-umide secche e semi-aride.

Nelle mappe è visualizzato l'indice di aridità della Toscana per due periodi diversi: 1961-1990 e 1991-2008. Si sono considerati solo il periodo primaverile-estivo.

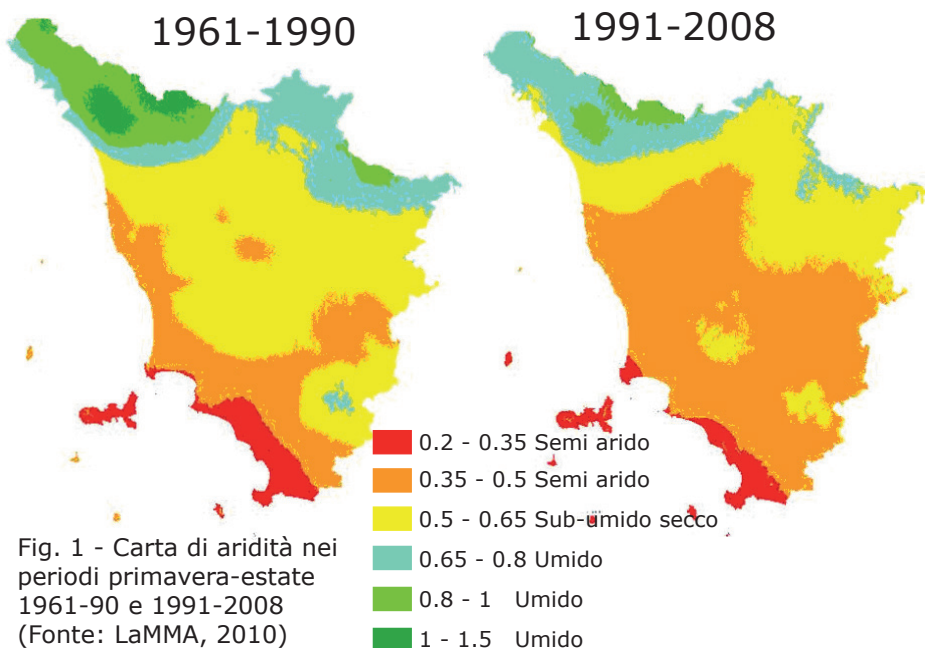


Fig. 1 - Carta di aridità nei periodi primavera-estate 1961-90 e 1991-2008 (Fonte: LaMMA, 2010)

Dal confronto delle due immagini è evidente come negli ultimi 18 anni ci sia stata un'**espansione verso l'interno delle aree a carattere semiarido** (in arancione) dovuta all'effetto sinergico dell'innalzamento delle temperature e della contrazione delle precipitazioni.

La carta relativa al periodo 1961-1990 evidenzia quali zone critiche la Val di Chiana, l'Isola d'Elba centro-orientale e quasi tutta la costa toscana, in particolare il grossetano e la zona sud di Piombino, che registrano i valori più alti.

Viceversa nel periodo 1991-2008, mentre sembrano ridursi le aree costiere con caratteristiche di tipo semi arido intenso, il resto della regione risulta essere dominato da un'estensione dell'aridità compresa tra 0.35 e 0.5 e sembrano ridursi i territori con regime umido.

Siccità

Cosa s'intende per siccità

La siccità è una caratteristica del ciclo idrologico e può verificarsi sia in aree secche che umide. E' quindi un periodo particolarmente secco che persiste sufficientemente a lungo da produrre seri squilibri al bilancio idrologico (danni alle colture, ricarica delle falde...). Altri fattori quali la temperatura, i venti e l'umidità dei terreni sono spesso associati alla siccità e possono contribuire ad aggravarne la severità.






Come si misura



Per caratterizzare le siccità meteorologiche ed analizzarne la loro evoluzione temporale l'Organizzazione Mondiale per la Meteorologia (OMM) ha consigliato l'utilizzo del SPI-Standardized Precipitation Index (McKee et al., 1993).

L'indice si basa su dati di pioggia mensili e in pratica indica il numero di deviazioni delle precipitazioni dalle condizioni di normalità ovvero dalla media calcolata sugli ultimi 30 anni di dati. Il trimestre è un periodo significativo per le attività agricole, in quanto siccità più o meno intense protratte per 90 giorni possono creare notevoli stress alle colture (con variazioni nelle rese) e richiedere un forte utilizzo dell'irrigazione con conseguente sovrasfruttamento della risorsa idrica.

Oltre che definire le occorrenze degli episodi siccitosi esso è in grado anche di indicarne l'intensità:

-  $-1.5 < \text{SPI} \leq -1$ indica siccità moderata;
-  $-2 < \text{SPI} \leq -1.5$ indica siccità severa;
-  $\text{SPI} \leq -2$ indica siccità estrema.

Per il territorio toscano sono state scelte alcune stazioni omogeneamente distribuite e rappresentative della complessità morfologica della regione: Castelfiorentino, Foiano della Chiana, Pomonte, Suvereto, Viareggio.

Per ogni stazione è stato calcolato l'indice di siccità (SPI) per i trimestri "Gennaio-Febbraio-Marzo" e "Luglio-Agosto-Settembre", in modo da avere una descrizione stagionale del fenomeno su una serie storica dal 1960 al 2008.

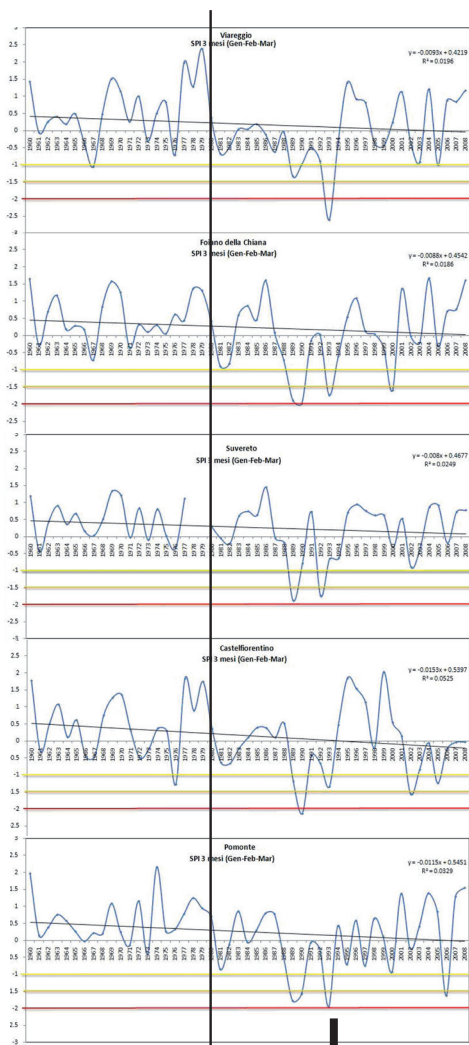
Siccità invernale vs siccità estiva

Quando si sente parlare di lunghi periodi di siccità è istintivo pensare alle estati torride e asciutte, ma, se è vero che gli effetti negativi sono più evidenti in estate, lo studio delle precipitazioni svela che la tendenza alla diminuzione delle piogge e all'aumento dei periodi consecutivi senza precipitazioni si presenta maggiormente nelle stagioni fredde.

Gli episodi di siccità invernali sono infatti tanto più problematici in quanto l'inverno è il momento in cui le precipitazioni, anche a carattere nevoso, dovrebbero andare a ricaricare le falde, i corsi d'acqua e gli invasi.

Rispetto a quella estiva, la siccità invernale ha ripercussioni più gravi anche sulla vegetazione in quanto la ripresa vegetativa in primavera è strettamente legata alle precipitazioni del periodo freddo.

In Toscana negli ultimi 20 anni è aumentata la siccità invernale che ha provocato una riduzione della copertura vegetale in primavera ed estate.



**Dagli anni '80:
Aumento di episodi
siccitosi invernali**

Toscana

Guardando l'indice di siccità sia invernale che estiva per il periodo dal 1960 al 2008 si nota che in tutte le stazioni prese in considerazione sono identificabili due periodi nettamente distinti: prima e dopo la metà degli anni '80.

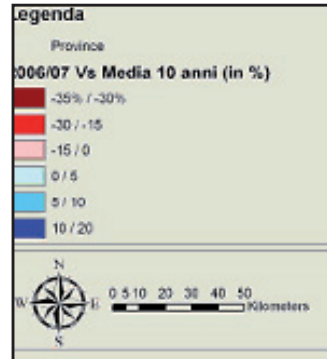
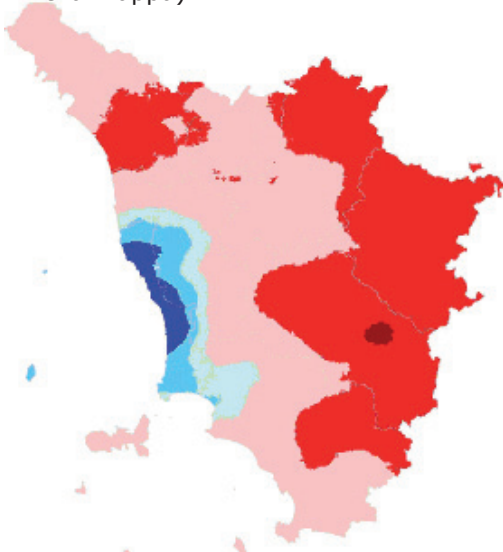
A partire da questo momento in poi si è verificato pressochè ovunque un aumento di episodi siccitosi invernali, mentre i fenomeni di siccità estiva non sembrano statisticamente significativi.

Fig. 2 – SPI a 3 mesi di alcune stazioni rappresentative del territorio toscano, relative al trimestre invernale Gennaio-Febbraio-Marzo. (LaMMA, 2010)

Siccità 2006-2007

Il periodo da settembre 2006 a giugno 2007 è stato caratterizzato da scarse precipitazioni e temperature alte.

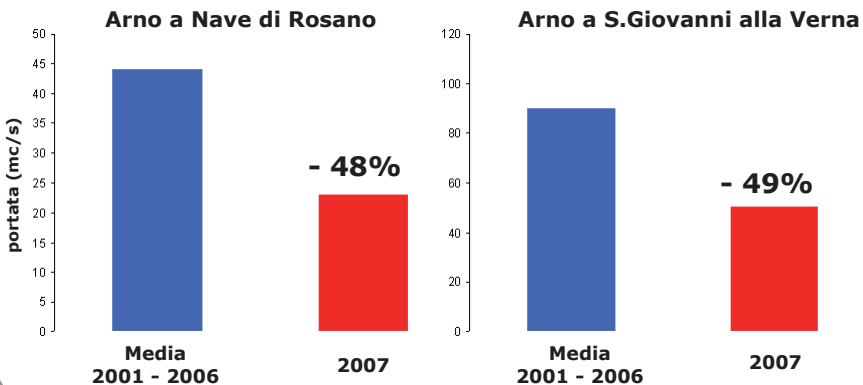
Confrontandolo sia con l'analogo periodo 2002-2003 che con la media del periodo per il decennio 1997-2006, emerge un netto deficit di pioggia su quasi tutta la regione, con anomalie di pioggia comprese fra i -15% e -30%, e un picco nel senese, superiore al -30% (in rosso scuro nella mappa).



Differenza di pioggia (in %) tra il periodo settembre 2006 - giugno 2007 e la media del decennio 1997-2006 (periodo settembre-giugno).

Portata dell'Arno

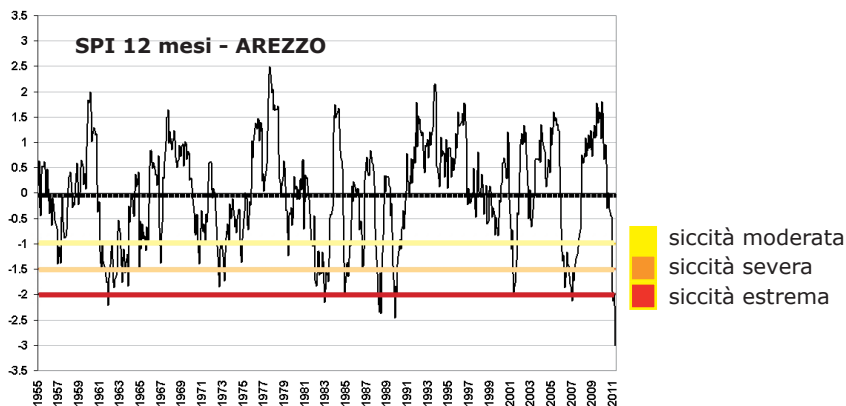
In questi dieci mesi il deflusso superficiale dell'asta principale dell'Arno è stato inferiore del 50% circa rispetto alla media degli anni precedenti 2001-2006.



Siccità 2011

A fine 2011 in Toscana e nella vicina Emilia Romagna le parole "siccità" e "crisi idrica" hanno riempito testate giornalistiche e documenti ufficiali di amministrazioni pubbliche e autorità preposte a gestire la risorsa idrica. Analizzando i dati di pioggia dei capoluoghi toscani, è emerso che solo in Febbraio, Marzo, Giugno e Luglio gli apporti sono stati superiori o di poco inferiori alle medie storiche. In tutti gli altri mesi, soprattutto ad Aprile, Maggio, Agosto, Ottobre e Novembre, si sono registrati **deficit quasi sempre superiori al 60%**.

Il dato più inquietante proviene dall'Indice di siccità SPI a 12 mesi: tutti i capoluoghi toscani presentano, a fine Marzo 2012, valori di **siccità estrema**, con Arezzo, Livorno, Lucca, Pisa e Pistoia che hanno fatto registrare i record assoluti di intensità del fenomeno dal 1955.



Le ripercussioni si avranno molto probabilmente anche nel 2012, con problemi di disponibilità idrica, in primis per le colture che si apprestano a cominciare il loro ciclo vegetativo, ma anche per l'approvvigionamento dei bacini di raccolta superficiali e sotterranei che forniscono acqua anche ai settori civile ed industriale, che dovranno fare i conti con un probabile razionamento, soprattutto nel periodo estivo, quando ad aumentare la pressione ci sarà l'aumento dell'afflusso turistico.

Già a fine novembre 2011, infatti, la Commissione Tutela delle Acque dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno aveva fatto il punto sulla particolare situazione situazione climatica, per prepararsi a far fronte in maniera tempestiva ad eventuali situazioni critiche. Criticità che non si sono attenuate con l'anno nuovo, anzi hanno portato la Regione Toscana, in Aprile, ad emanare un Decreto ufficiale (D.R. 4 Aprile 2012, n.87) che dichiarava lo stato di emergenza.

Al momento del rilascio del Decreto l'invaso del Bilancino conteneva solo 26 milioni di metri cubi dei 72 che può contenere, mentre quello di Montedoglio 24 milioni utilizzabili su 72 milioni di massimo invasore e l'Arno era ai minimi storici, molto vicino alla soglia di deflusso minimo vitale (deflusso minimo di acqua presente in un fiume a valle delle fonti di captazione in grado di garantire l'integrità di funzionalità e qualità degli ecosistemi acquatici). Levane e La Penna.

I dati dell'**invaso di Bilancino** indicavano che, da 64 milioni di metri cubi presenti prima dell'estate, si è passati al **minimo storico di 37 milioni a Gennaio 2012** (circa il 40% in meno della media annuale).

Agricoltura



Un'annata così siccitosa non può non avere ripercussioni anche sulle produzioni agricole. Uno dei settori più problematici è stato quello della produzione di olio di oliva, che in Toscana ha visto un calo del 35% rispetto al 2010 (la media nazionale è del -5%), passando dalle 20.136 tonnellate del 2010 alle 13.100 tonnellate del 2011).

In diminuzione rispetto all'anno precedente anche la produzione di vino, passata dai 2.854 milioni di ettolitri del 2010 ai 2.710 del 2011, il 5% in meno. In entrambi i casi, fra le cause va certamente annoverato lo stress idrico dei mesi di agosto e settembre.

Gli impatti degli eventi climatici vanno ad aggravare la situazione già critica per l'agricoltura regionale, che ha perso in 10 anni il 38% delle aziende agricole e 100mila ettari di superficie coltivata, pari al 12% del totale (6 volte più della media nazionale (2%)¹, di cui una buona parte in aree marginali e montane, la cui fragilità è incrementata da un intrinseco rischio idrogeologico..



¹ Fonti: ISMEA e ISTAT

- Trimestrale ISMEA di analisi e previsioni per i settori agroalimentari - Olio d'oliva - III trimestre 2011 numero 3/11 del 7 novembre 2011.

- Trimestrale ISMEA di analisi e previsioni per i settori agroalimentari - Vino - III trimestre 2011 numero 3/11 del 26 ottobre 2011.

- ISTAT, Dati provvisori del 6° Censimento generale dell'agricoltura 2010.

Clima e gestione delle risorse idriche: il Bacino dell'Ombrone

Nell'area del bacino naturale del fiume Ombrone è stato implementato uno strumento di gestione del territorio basato su un sistema integrato di analisi dei dati ambientali (clima, suolo, vegetazione) per determinare il deficit idrico e monitorare l'ecosistema e le sue evoluzioni future, attraverso scenari legati principalmente ai cambiamenti climatici in atto².



Metodologia

Il modello usato è SWAT (Soil and Water Assessment Tool) un sistema che consente di definire gli effetti di clima, uso e copertura del suolo sulle portate liquide e solide delle aste fluviali.

L'analisi è stata condotta su due differenti finestre temporali:

- la prima relativa al trentennio di riferimento 1961-1990 usato per realizzare una caratterizzazione idrologica di riferimento sul bacino in esame,
- l'altra relativa allo scenario climatico³ sul trentennio 2037-2066 scelto per verificare gli effetti dei cambiamenti climatici sui principali parametri idrologici e sulla disponibilità della risorsa idrica.

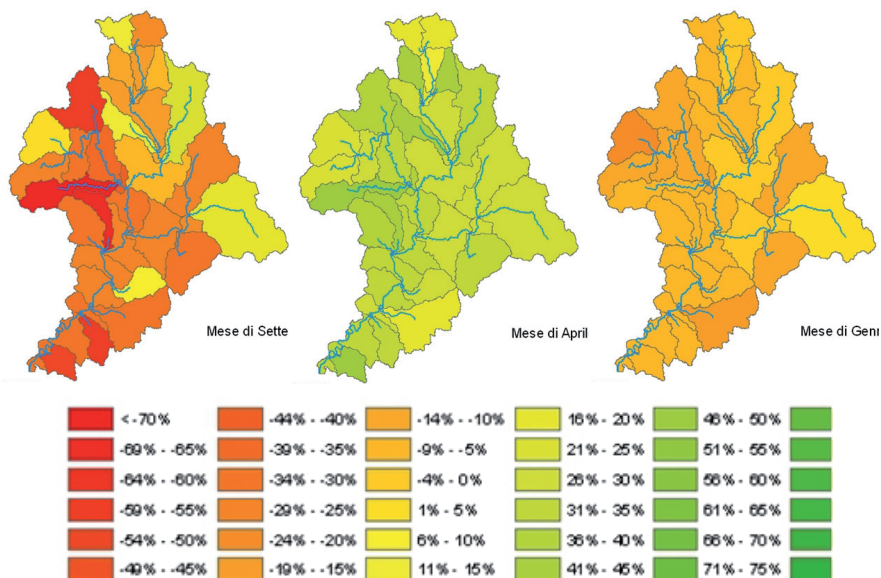
Risultati

Fra i risultati più rilevanti relativi alle portate e, di conseguenza, alla disponibilità della risorsa idrica, si evidenzia un aumento nei mesi di Marzo e Aprile, una diminuzione nei mesi estivi ed invernali (Dicembre e Gennaio) ed una sostanziale stabilità nei restanti mesi.

In particolare, si nota un significativo aumento di acqua disponibile in corrispondenza del mese di Aprile, dovuto all'incremento delle precipitazioni previste dallo scenario climatico; un tale cambiamento potrebbe comportare un aumento degli eventi di piena in un momento dell'anno in cui i deflussi sono già relativamente alti e la copertura del suolo è ancora scarsa.

² Attività svolta dal Consorzio LaMMA per il Settore Risorse Idriche nell'ambito del progetto CLARINO.

³ Lo scenario climatico considerato è quello A2 calcolato con il modello HadCM3, tra quelli considerati dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).



Conclusioni

La vulnerabilità delle risorse idriche e del suolo al cambiamento climatico implica un intervento nelle politiche di pianificazione che può essere perseguito attraverso alcune importanti azioni quali, ad esempio, la riduzione della suscettibilità del sistema ambientale con l'adozione di corrette sistemazioni idraulico-agrarie e di interventi di riforestazione, l'utilizzo di colture meno idro-esigenti e a cicli più brevi, una migliore gestione delle pratiche agricole e l'individuazione di bacini di raccolta che possano anche contenere i fenomeni di piena.

Indice di Qualità del Clima

Dall'insieme dei due indici di aridità e siccità e dalla loro evoluzione nel tempo è possibile ricavare una mappa riepilogativa di qualità del clima che individua le aree più vulnerabili sotto l'aspetto climatico. La mappa si riferisce al 2008.

I valori dell'indice vanno da 1 a 2, dove il primo indica situazioni di assenza di criticità, mentre il secondo situazioni di estrema criticità. In Toscana non si raggiungono valori estremi, ma zone con una **vulnerabilità medio-alta** si possono individuare lungo la **costa meridionale, la Val di Chiana, la porzione fra il medio e il basso bacino dell'Arno e le aree della Garfagnana e della Lucchesia**. In ognuna di queste zone gli impatti che un ulteriore inasprimento del clima può provocare sono diversi, perché diverse sono le attività prevalenti.

Dal punto di vista della criticità climatica tutte le zone con una colorazione dal gialloarancio al rosso presentano un rischio più alto; in particolare si distinguono nettamente la costa pisana, l'area di Piombino, l'Elba, la costa settentrionale della provincia di Grosseto, l'estremo sud-est senese e soprattutto la parte del Valdarno superiore dove i valori dell'indice sono più alti.

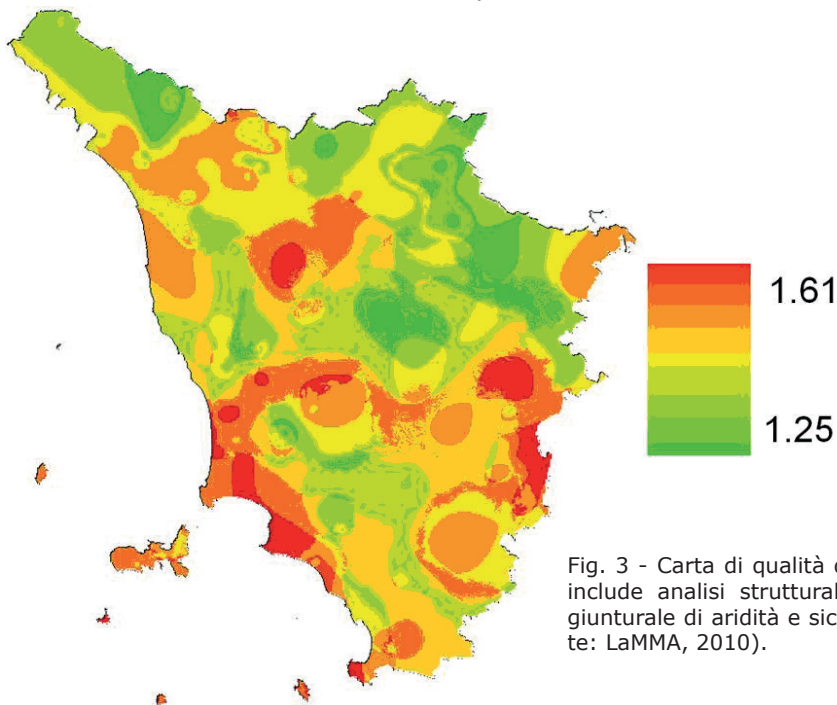


Fig. 3 - Carta di qualità del clima: include analisi strutturale e congiunturale di aridità e siccità (Fonte: LaMMA, 2010).

Aree sensibili alla desertificazione

Cosa s'intende per desertificazione

Per desertificazione si intende "il degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause tra cui i cambiamenti climatici e le attività umane" (Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Desertificazione UNCCD).

La problematica della perdita irreversibile di fertilità del suolo è strettamente collegata agli altri grandi temi ambientali ed è un flagello reale che si manifesta sul 70% delle terre aride. Ad oggi circa il 30% del territorio italiano è affetto da problemi di desertificazione.

La carta di sensibilità

L'analisi di sensibilità alla desertificazione mostra la probabilità che ha un determinato territorio di essere esposto a fenomeni negativi che interessano il degrado della risorsa suolo, la carenza idrica e la perdita di biodiversità.

Molti e diversi sono i fattori che possono incidere su questa sensibilità: il clima, il suolo, lo sviluppo della vegetazione, la disponibilità d'acqua, i fattori antropici. Nella prospettiva di una pianificazione sostenibile, risulta di fondamentale importanza individuare le aree più critiche e sensibili ai fenomeni di desertificazione, ma anche poter individuare con precisione quali tra i diversi fattori ha maggiore rilevanza.

Toscana

Per quanto riguarda la determinazione delle ESAs (Aree Sensibili alla Desertificazione) del territorio toscano, sono stati presi in considerazione i principali fenomeni appartenenti a fattori climatici, legati alle caratteristiche del suolo e della vegetazione ed agli aspetti socio-economici e di antropizzazione. La degradazione più o meno spinta del territorio può essere dovuta all'azione singola o più spesso sinergica di tali fenomeni.

L'analisi, che è stata impostata prendendo in considerazione gli indicatori più appropriati rispetto al territorio regionale, si caratterizza per l'enfasi che è stata data a quelle componenti che, in termini di pressione sul territorio, presentano maggiore dinamicità nel tempo, quali le variazioni della pressione antropica e l'evoluzione dei parametri climatici. Il quadro di riferimento della sensibilità alla desertificazione che risulta da questo studio, rappresenta, dunque, non solo una fotografia dello stato di fatto, ma comprende anche una valutazione della tendenza dei fenomeni in atto.

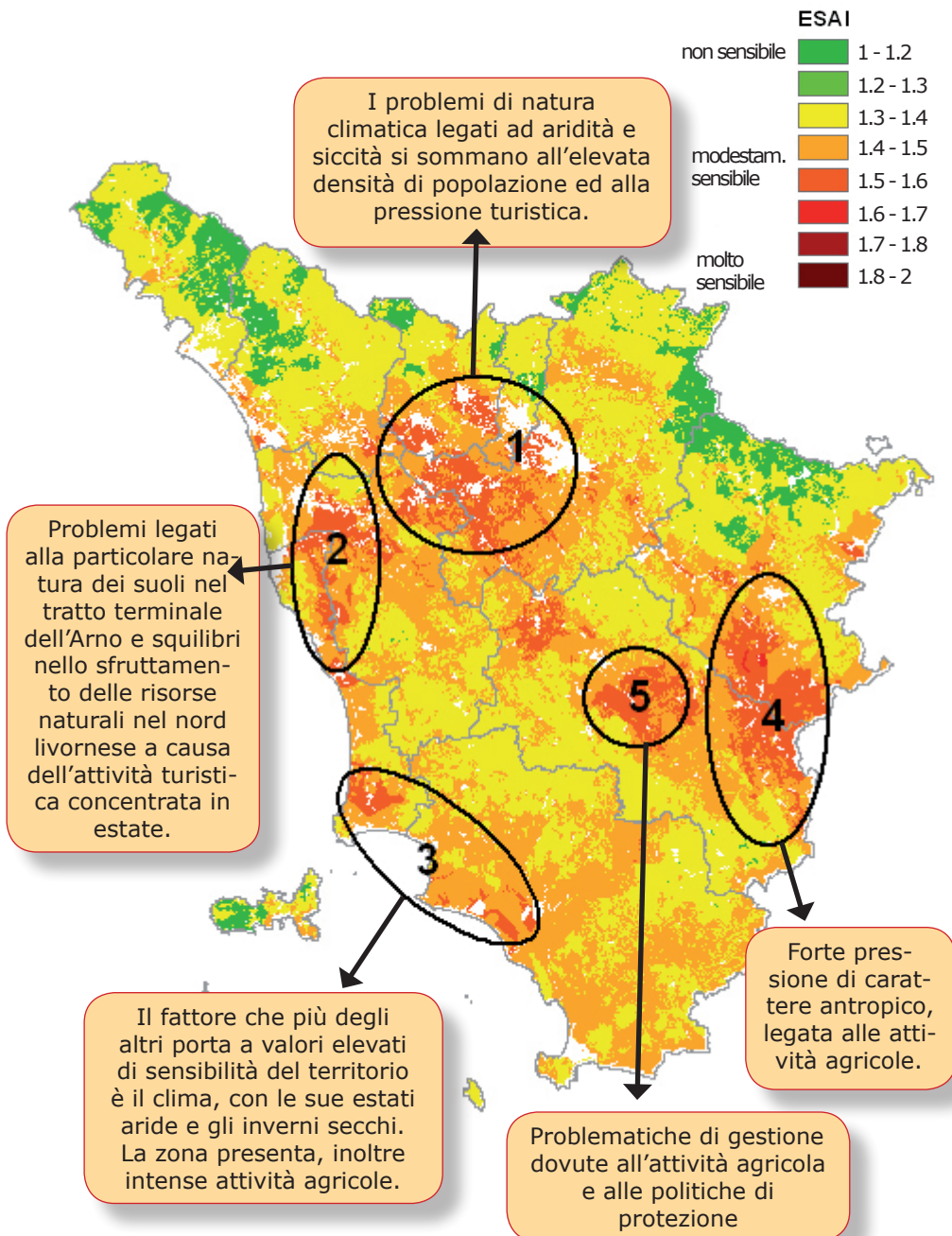


Fig. 4 - Carta di sensibilità alla desertificazione ESAI-Environmental Sensitive Area Index (Fonte: LaMMA, 2010).

Dalla lettura della carta di sensibilità alla desertificazione per la regione Toscana emergono cinque macro-aree che presentano sensibilità medio-alta, caratterizzate da elementi di pressione diversi, ma omogenei all'interno di ogni macro-area.

- Nella zona 1, che comprende la porzione più a nord della provincia di Siena, l'asse Firenze-Prato-Pistoia e la piana lungo il corso dell'Arno, i problemi di natura climatica legati ad aridità e siccità, peraltro confermati dalla diminuzione di portata del fiume Arno, si sommano all'elevata densità di popolazione ed alla pressione turistica;
- La zona 2, invece, presenta dei problemi legati alla particolare natura dei suoli nel tratto terminale dell'Arno e squilibri nello sfruttamento delle risorse naturali nel nord livornese a causa dell'attività turistica concentrata nei periodi estivi;
- Nella zona 3, che comprende la Val di Cornia e il grossetano centro-settentrionale, il fattore che più degli altri porta a valori elevati di sensibilità del territorio è il clima, con le sue estati aride e gli inverni secchi. La zona presenta, inoltre intense attività agricole;
- La zona 4, concentrata nella Val di Chiana, subisce una forte pressione di carattere antropico, legata alle attività agricole;
- La zona 5, ricadente nella zona centrale della provincia di Siena, presenta problematiche di gestione dovute soprattutto all'attività agricola.

Bacini idrografici

Per quanto riguarda i bacini idrografici, in generale si osserva che presentano valori medi dell'indice inferiori a 1.5 e, quindi, non particolarmente sensibili alla desertificazione.

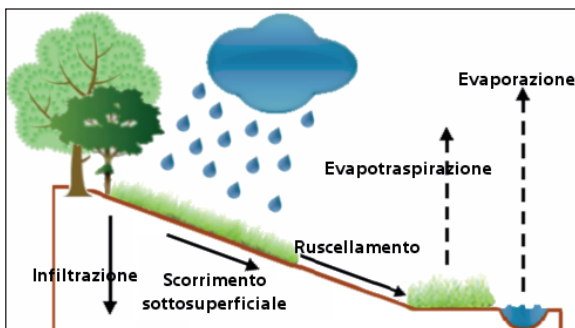
In generale è evidente l'influenza del regime climatico, in particolare le piogge. Per altri bacini, come l'Arno, il valore superiore a 1.3 è dovuto principalmente alle aree che presentano una forte antropizzazione e sfruttamento delle risorse naturali.

La Val di Chiana e il medio-basso bacino dell'Arno, ad esempio, presentano entrambi alti valori di sensibilità, ma per la prima sono da imputare soprattutto ad una vulnerabilità climatica più alta ed una gestione territoriale spinta, mentre per la seconda un fattore importante è dato dalla pressione antropica.

Erosione del suolo

L'erosione idrica è un fenomeno naturale che consiste nella perdita dello strato più superficiale del terreno a causa dell'azione dell'acqua; il fenomeno è più o meno intenso a seconda del livello di interazione fra clima, natura, usi del suolo e situazione morfologica. Quando la velocità della degradazione è "sostenibile" si parla di erosione normale o geologica, per cui il tasso di formazione del suolo compensa le perdite subite; viceversa, abbiamo erosione accelerata quando l'asporto di detriti è più rapido della formazione del suolo, fino all'affioramento in superficie della roccia nuda.

La pioggia rappresenta la causa principale dell'erosione in quasi tutti gli ambienti e svolge la sua azione mediante l'impatto delle gocce ed il ruscellamento a rivoli o a solchi a seconda che i rivoli siano effimeri o permanenti.



Il fenomeno è in continua evoluzione e si manifesta in molte aree coltivate con evidenti processi di degradazione del suolo.

Le **cause dell'intensificazione del fenomeno erosivo** sono varie e complesse:

- cattiva gestione dei suoli
- abbandono sistemazioni idraulico-agrarie ed idraulico-forestali
- crescente meccanizzazione
- aratura dei terreni in pendenza
- sovrappascolamento
- aggravarsi del fenomeno degli incendi boschivi.

L'erosione è, inoltre, una componente fondamentale del dissesto idrogeologico: eventi eccezionali a carattere catastrofico possono innescare danni ingenti ai sistemi agro-ambientali.

Mondo

A scala mondiale si stima che la perdita di suolo arabile sia di circa 1/3 e che il degrado delle terre avanzi alla velocità di 5-10 milioni di ettari all'anno. Nell'area Mediterranea la situazione è grave: le perdite raggiungono 20 - 40 t/ha in un singolo evento piovoso, con punte di 100 t/ha in eventi severi (Morgan, 1992).



Come si misura

Per valutare l'erosione del suolo a causa dell'effetto battente della pioggia vi sono vari modelli che, grazie alle conoscenze sempre più approfondite dei meccanismi che stanno alla base del processo erosivo hanno consentito una progressiva evoluzione e la messa a punto di sistemi previsionali sempre più affidabili ed applicabili nelle più svariate situazioni.

Uno dei modelli più utilizzati per la stima del rischio di erosione idrica attuale è l'Equazione Universale della Perdita di Suolo di Wischmeier e Smith (USLE). La sua formulazione è la seguente:

$$A = R * K * LS * C * P$$

dove:

A è la perdita di suolo per unità di superficie, espressa in t/(ha*anno);

R: indice di aggressività della pioggia;

K: fattore pedologico che esprime l'erodibilità del suolo;

L: fattore topografico relativo alla lunghezza del pendio;

S: fattore topografico relativo alla pendenza del pendio;

C: fattore culturale che esprime il grado di copertura vegetale del suolo;

P: fattore pratiche conservative ed antierosive.

Italia

Buona parte del territorio italiano è potenzialmente soggetta al rischio di erosione, soprattutto a causa della morfologia territoriale. L'azione battente della pioggia innesca, lungo i declivi, il fenomeno dell'erosione, che può evolvere in modo più o meno consistente (da scorrimento superficiale ad erosione incanalata fino a veri e propri rigagnoli e/o burroni) in funzione dell'energia dell'evento meteorico, della natura del suolo e della pendenza del versante.

Per quanto riguarda l'Italia le perdite variano da 15 a 250 t/ha per anno e interessano una superficie di rischio di erosione attuale pari a circa il 10% e rischio potenziale pari al 27%.

Toscana

La Toscana è contraddistinta per circa 525.000 ettari da affioramenti di depositi sabbiosi ed argillosi di origine fluviolacustre o marina e di questi circa 210.000 ettari sono utilizzati dall'agricoltura. Gli ambienti morfologici predominanti sono rappresentati da versanti complessi con frane e movimenti di massa e da versanti con canali di erosione di notevoli dimensioni.

La naturale propensione al dissesto di queste aree può essere esaltata, sui circa 65.00 ettari di superfici coltivate con pendenza superiore al 15%, dalle lavorazioni a *rittochino* (perpendicolari alle curve di livello del pendio) e dalla formazione di consistenti *suole di lavorazione* spesso destinate a rappresentare, ad esempio nei depositi lacustri del Valdarno, la superficie di scivolamento di frane superficiali e colamenti.

Una stima dell'erosione potenziale del suolo causata dalle acque meteoriche, recentemente completata applicando il modello USLE, indica che circa il 25% del territorio regionale presenta perdite di suolo superiori alla soglia di tollerabilità, fissata a 20t ha⁻¹ anno⁻¹, sulla base dei dati presenti in letteratura ed in funzione delle banche dati utilizzate.

Le zone a maggior criticità potenziale si riscontrano nell'area delle Alpi Apuane per effetto degli elevati fattori pluviometrico e topografico, mentre nel territorio del fiume Albegna, nel versante pedemontano dell'Amiata Senese, nella zona centrale della provincia di Pisa, nelle colline fiorentine e nella Val di Sieve i fattori dominanti sono l'uso del suolo, con tipologie agrarie a seminativi, oliveti e vigneti, e le caratteristiche dei suoli.

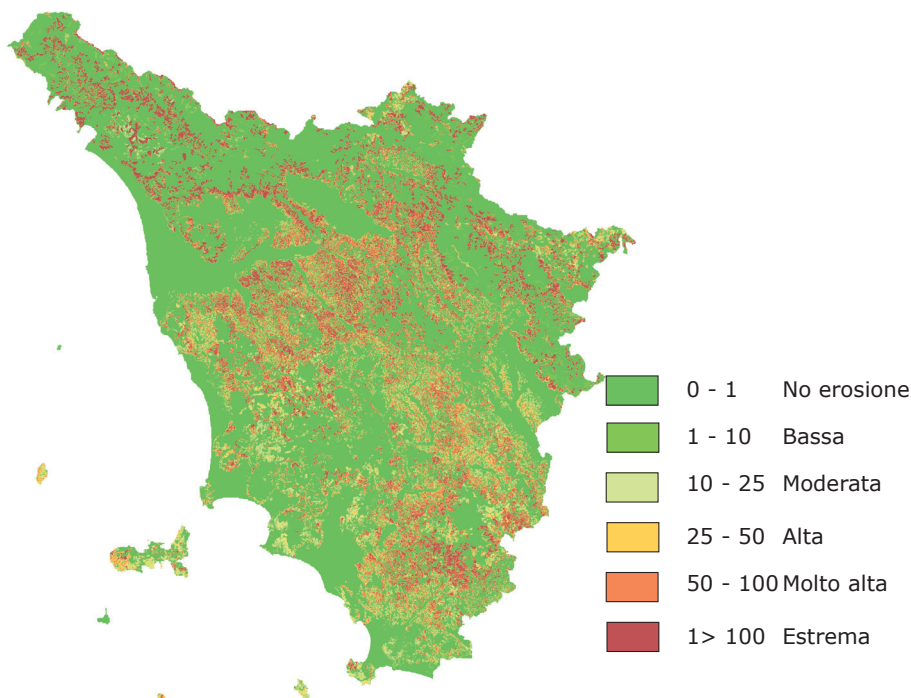


Fig. 5 – Carta del rischio di erosione idrica (Fonte: LaMMA, 2010).

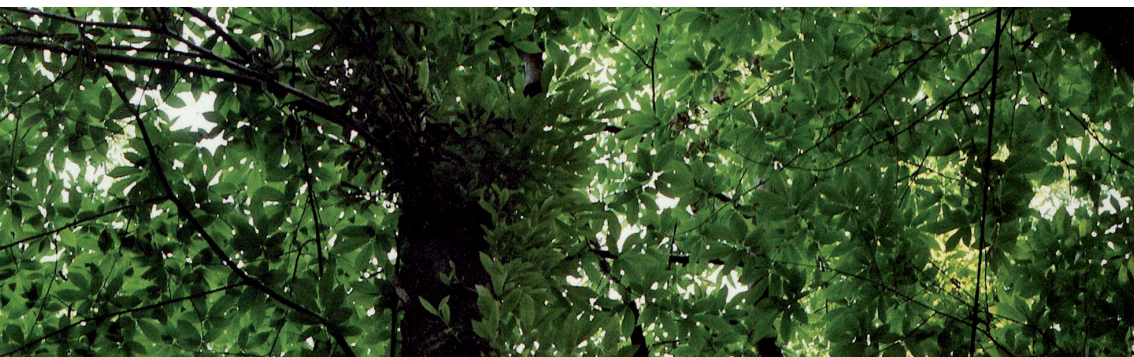
Effetto dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi forestali

Gli ecosistemi forestali, avendo una distribuzione sul territorio relativamente stabile, sono degli indicatori ottimali degli effetti che i cambiamenti climatici possono avere sulla vegetazione, il cui ciclo di crescita, produttività, capacità di immagazzinare CO₂ dall'atmosfera dipendono dall'andamento meteorologico interannuale ed intra-annuale.

Le variazioni delle temperature e la distribuzione delle piogge, così come la maggiore occorrenza di eventi estremi incidono sullo sviluppo e lo stato di salute delle foreste e sulla capacità delle diverse specie di adattarsi ai cambiamenti delle condizioni meteorologiche. In conseguenza di tali cambiamenti del clima, vengono a modificarsi non solo le condizioni ambientali, ma anche gli obiettivi della gestione forestale, che, al contrario di quanto accadeva in passato, non si trova di fronte ad un quadro di condizioni ambientali "costanti", ma deve confrontarsi con eventi imprevedibili in uno scenario di incertezza e di rapido mutamento, non solo climatico, ma anche di habitat, di uso del suolo, di inquinamento, ecc.

Anche per questo motivo sarà probabilmente necessario un maggior intervento umano nella scelta delle specie e nelle tecniche di gestione, che permetta di mantenere la vitalità della copertura forestale e la continuità di tutte le funzioni.

La Toscana con oltre 980.000 ha di superficie forestale, pari circa 11% del territorio nazionale, è la seconda regione italiana per superficie boscata.



La vegetazione vista dal satellite

Uno degli indici più utilizzati nell'ambito del telerilevamento per valutare lo stato di salute della vegetazione è l'**NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**, indice derivante da immagini satellitari. Tale indice è strettamente correlato alla quantità di radiazione assorbita dalle piante nel processo fotosintetico, ed è quindi un ottimo indicatore dell'attività produttiva delle piante. Più l'indice NDVI è alto, migliore è l'attività fotosintetica della vegetazione e migliore quindi lo stato di salute.

In Toscana i dati sullo sviluppo della vegetazione negli ultimi anni non sono particolarmente confortanti.

La dinamica della vegetazione su un periodo di 18 anni (1986–2003) ha mostrato infatti un significativo decremento dei valori di NDVI durante l'estate, specialmente nelle zone costiere e nelle colline meridionali.

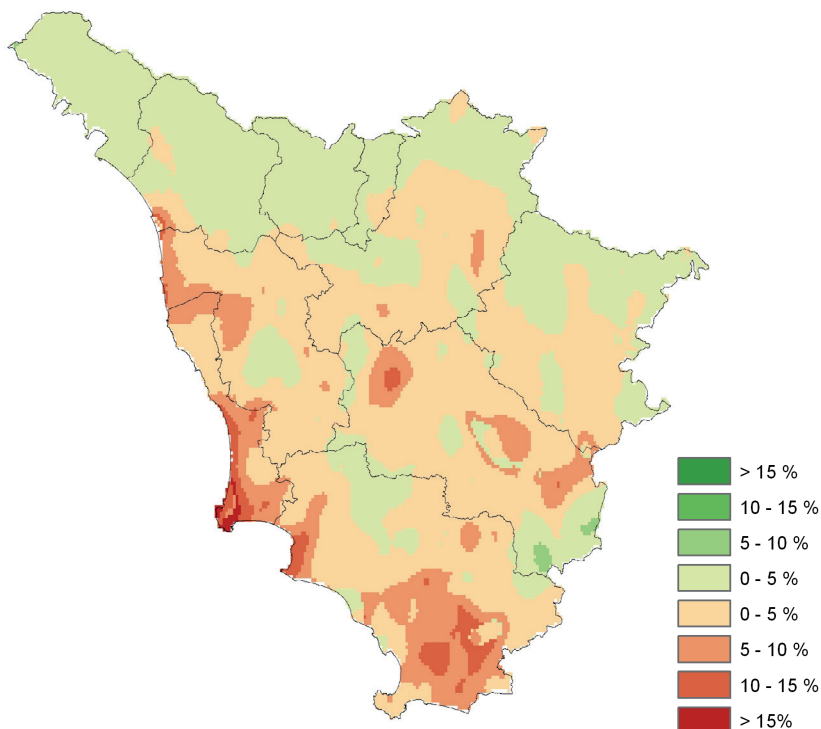


Fig. 6 - Andamento dei valori di NDVI della stagione estiva nel periodo 1986 – 2003. (Fonte: IBIMET-LaMMA)

Confrontando l'andamento dello stato della vegetazione con i dati di temperatura e precipitazione nell'arco di 18 anni (1986 – 2003) si vede che l'NDVI è strettamente legata alle condizioni meteorologiche.

La diminuzione dell'NDVI nelle aree litoranee (costa livornese, Val di Cornia, Golfo di Follonica) e nelle zone costiere e collinari della parte meridionale della provincia di Grosseto (Valle dell'Albegna) è infatti dovuta alle diminuzioni delle piogge invernali e primaverili in quelle zone.

Viceversa, l'aumento del trend di NDVI nelle zone appenniniche è legato all'incremento delle temperature nel periodo tardo primaverile, che ha portato ad un incremento dell'attività fotosintetica.

In particolare è stato evidenziato un effetto negativo del calo di piogge sulle foreste delle aree Mediterranee costiere ed un effetto positivo dell'aumento di temperatura sulle foreste del piano montano.

Assorbimento di CO₂

Le foreste svolgono innumerevoli funzioni, da quelle economico-sociali a quelle paesaggistico-ricreative a quelle ambientali.

Fra le funzioni ambientali quella climatica di mitigazione dell'effetto serra è senz'altro fra le più importanti.

Le piante e gli alberi, infatti, sono costituiti per circa la metà di carbonio che viene sottratto all'atmosfera attraverso il processo di fotosintesi; grazie ad esso l'anidride carbonica viene "immagazzinata" nella biomassa vegetale (rami, foglie, tronchi, radici) ed in seguito stoccata nel suolo per sua decomposizione microbica e conseguente formazione di humus.

Per dare un'idea tangibile di quanto la capacità di sequestro delle foreste sia elevata si pensi, ad esempio, che un cubo di 10 cm³ di legno ha sequestrato dentro di sé una quantità di CO₂ pari al volume di un cubo di plastica della capacità di 87 cm³!

Le foreste e gli altri sink di carbonio (suolo e oceani) presenti sul pianeta rappresentano, quindi, una risorsa fondamentale dal punto di vista della regolazione del clima globale: assorbendo anidride carbonica, aiutano il sistema a neutralizzare una parte delle emissioni di CO₂ dovute alle attività umane.

L'assorbimento di carbonio da parte delle foreste, però, non è regolare nel tempo, c'è una grande variabilità inter ed intra-annuale legata a svariati fattori, tra cui, in primis, quelli meteo, che influiscono sulla produttività in maniera diversa a seconda delle diverse tipologie forestali.

Toscana

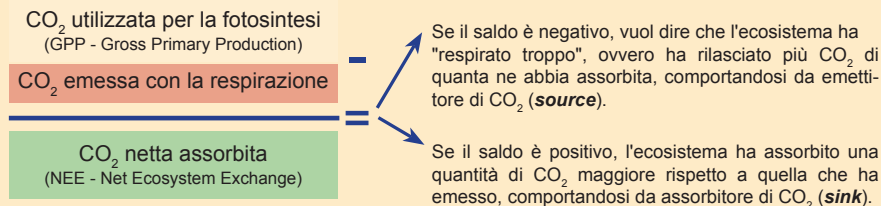
La possibilità di monitorare quasi in tempo reale l'andamento degli scambi gassosi tra vegetazione ed atmosfera di un'intera regione con un dettaglio elevato ha un'importanza rilevante in quanto permette di avere un quadro generale dello stato delle foreste e di individuare quali tipologie possono essere più vulnerabili alle variazioni climatiche e quali, invece, sono più resilienti. In questo modo anche eventuali interventi di miglioramento o di gestione forestale possono essere semplificati ed effettuati in maniera più mirata.





Come si misura

La vegetazione assorbe CO₂ dall'atmosfera e ne restituisce una parte attraverso la respirazione. L'assorbimento netto di anidride carbonica da parte di un ecosistema (NEE, Net Ecosystem Exchange) si calcola sottraendo alla quantità di CO₂ utilizzata per la fotosintesi (GPP, Gross Primary Production) la quantità di CO₂ restituita all'atmosfera attraverso la respirazione (Reco, Respiration of ecosystem).



Per il calcolo dei *sink* a livello regionale si utilizzano diversi strumenti scientifici e tecnici che la ricerca ha realizzato e messo a punto negli ultimi anni. Il metodo utilizzato dal Focal Point Kyoto permette di passare da una scala geografica di dimensione ridotta ad una più grande, utilizzando ad ogni passaggio diverse metodologie di indagine e di calcolo.

Misura diretta dei flussi di carbonio

Una delle tecniche usate è quella dell'*eddy covariance* (correlazione turbolenta) e serve a misurare i flussi di massa (CO₂ e H₂O) e di energia che una superficie vegetale scambia con l'atmosfera. Il principio alla base è calcolare il sequestro netto di CO₂ di un ecosistema come differenza tra la CO₂ che è entrata e quella che è uscita. Questa tecnica permette di:

- misurare in modo diretto i flussi di un ecosistema
- avere una stima precisa del *sink* di un ecosistema
- misurare i flussi sia sul breve che sul lungo periodo.

Gli strumenti che l'Osservatorio utilizza per misurare i flussi sono le stazioni di misura locali (le "torri") e la piattaforma aerea SkyArrow ERA.

Modelli di simulazione degli ecosistemi

I modelli forestali sono capaci di stimare i flussi di carbonio, azoto ed acqua all'interno di ogni ecosistema terrestre e si basano sull'uso di dati da satellite e altri dati relativi alla vegetazione, al clima e al suolo.

La metodologia applicata permette di ottenere stime accurate di flussi di carbonio degli ecosistemi forestali toscani e si avvale di due modelli:

- **C-Fix** è un modello parametrico guidato da dati satellitari ed è capace di stimare in maniera diretta la fotosintesi di un ecosistema (Maselli et al., 2009b);
- **BIOME-BGC** è basato sulla conoscenza dei processi eco fisiologici che caratterizzano gli ecosistemi e produce stime anche delle respirazioni (Running and Hunt, 1993; Maselli et al., 2009a; Chiesi et al., 2007).

Questi modelli vengono guidati e calibrati con dati di vario tipo: dati meteorologici (temperatura minima e massima, precipitazione e radiazione solare), carte del suolo (tessitura e profondità), carte della vegetazione, dati di volume, ecc..

ASSORBIMENTI FORESTALI

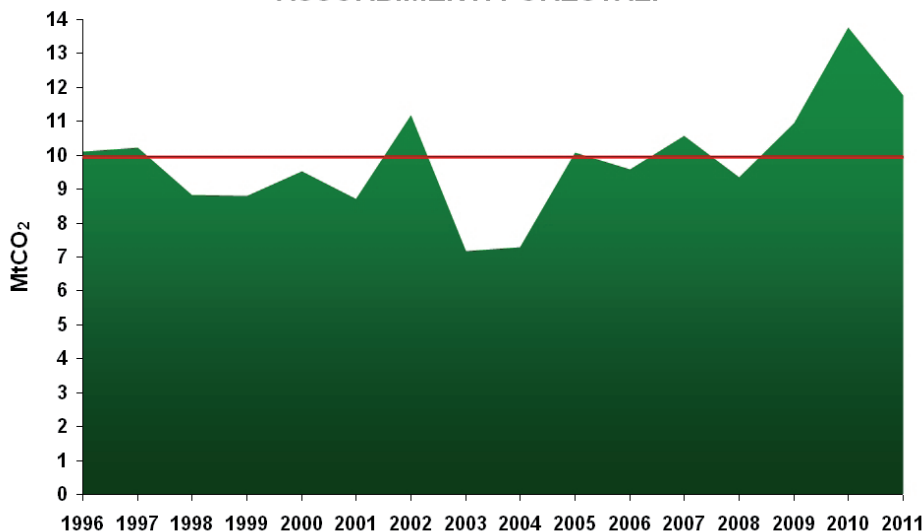


Fig. 7 - NEE (scambio netto di CO₂ dell'ecosistema) delle foreste toscane stimato con il modello Biome-BGC. (Fonte: IBIMET-LaMMA)

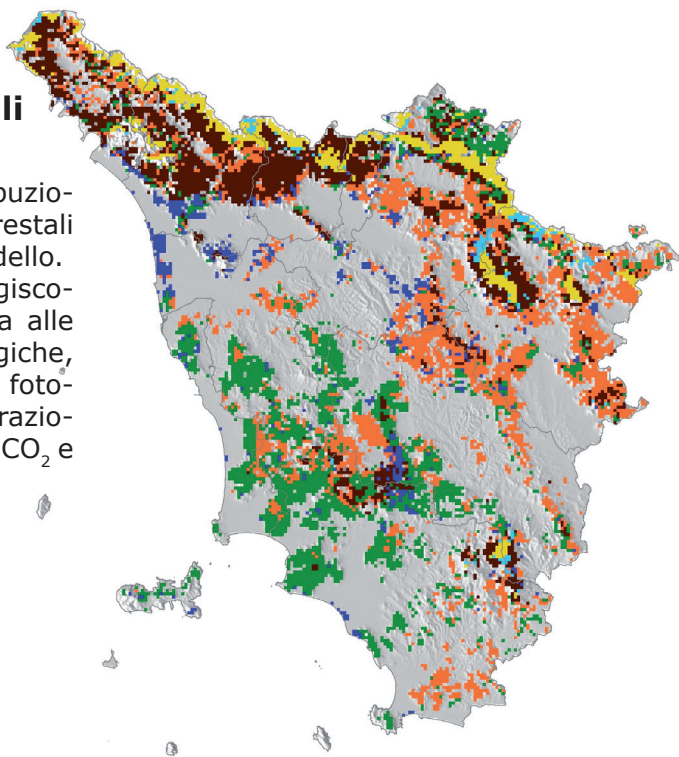
La Regione Toscana si è dotata di un modello biogeochimico che, sfruttando dati meteorologici di dettaglio ed immagini satellitari, è in grado di fornire l'andamento degli assorbimenti di anidride carbonica stagionali ed annuali, a partire dal 1996, delle principali tipologie forestali, con una risoluzione spaziale di 1 km² (Chiesi et al., 2011).

Da una prima analisi generale (elaborazioni IBIMET-LaMMA) emerge che **i boschi toscani assorbono in media 9,9 Mt CO₂ l'anno**, ma la variabilità fra un anno e l'altro è elevata. È possibile, infatti, individuare annate in cui la vegetazione ha ridotto notevolmente la sua capacità di sequestro e anni in cui, invece, i valori sono stati considerevolmente alti (Fig. 7).

Questi comportamenti opposti, marcati negli anni 2003-2004 e 2010, sono il riflesso delle diverse condizioni meteorologiche sviluppatesi in tali periodi, condizioni che incidono pesantemente sull'attività vegetativa delle piante. Il **2003** è stato caratterizzato da scarse precipitazioni e temperature massime elevate che hanno avuto ripercussioni anche sull'anno successivo, mentre nel **2010** le abbondanti piogge e le temperature più basse hanno favorito un maggior assorbimento di carbonio.

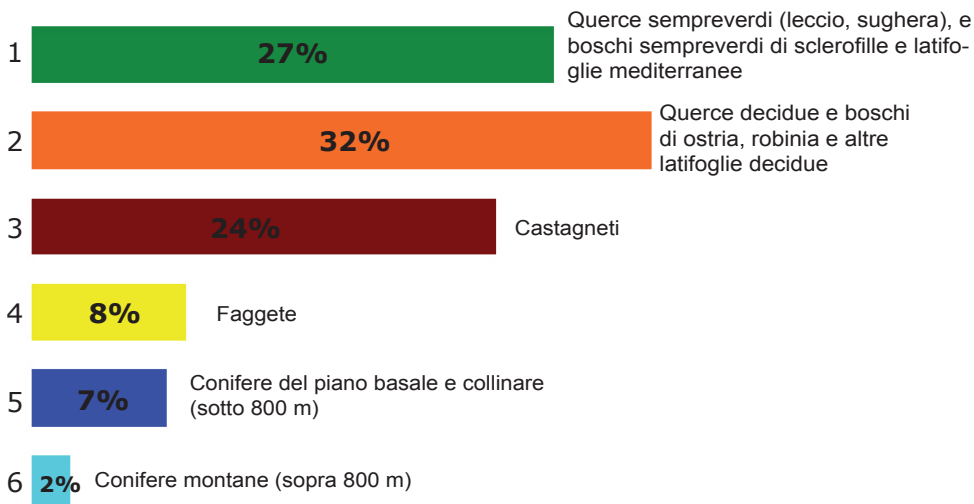
Le classi forestali

Nella mappa la distribuzione delle 6 classi forestali considerate per il modello. Le varie specie reagiscono in maniera diversa alle condizioni meteorologiche, sia relativamente alla fotosintesi che alla respirazione e allo scambio di CO₂ e acqua.



Legenda classi forestali e loro presenza in % sul territorio toscano

Carta forestale Arrigoni, 1998



Vegetazione più sensibile e più resiliente

Analizzando i dati di assorbimento per le diverse tipologie forestali si vede che la vegetazione reagisce in modo diverso agli stress climatici (Fig. 8).

Nel complesso **le specie tipicamente mediterranee** (le classi forestali 1 e 5, tra cui leccio, pino, sughera le più diffuse, in verde e blu nel grafico) **presentano una variabilità più bassa, in quanto adattate per loro natura a vivere in climi che possono diventare ostili.**

Le **altre classi, più di quota o caratteristiche di aree con temperature più miti, hanno oscillazioni interannuali molto più marcate**, risentendo maggiormente di eventi estremi a cui non sono abituate.

Andamento annuale per specie

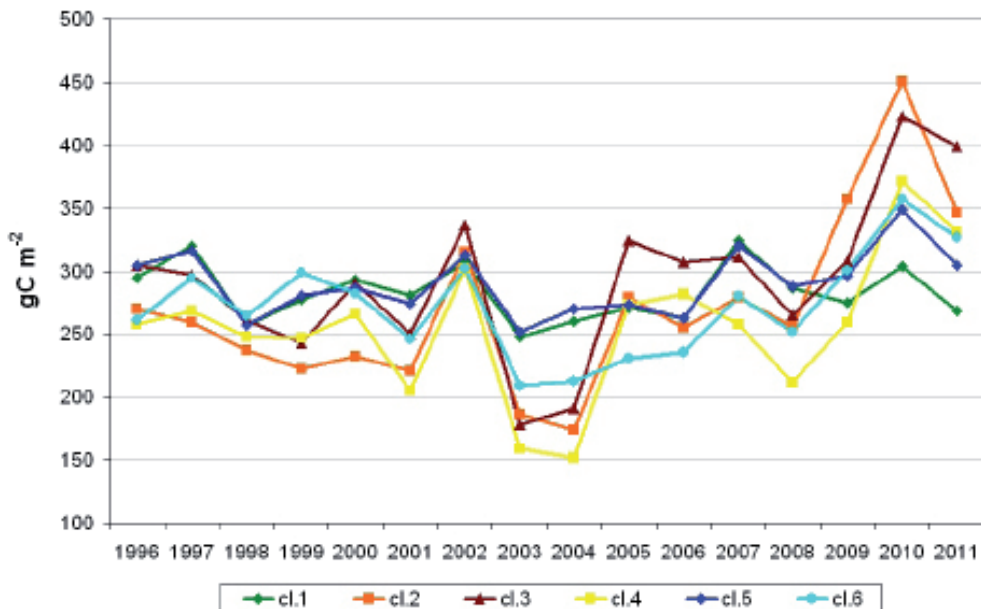


Fig. 8 - NEE (scambio netto di CO₂ dell'ecosistema) annuale delle foreste toscane per classe forestale - periodo 1996-2011 (Fonte: IBIMET-LaMMA).

Analisi stagionale

In **inverno** le classi di **caducifoglie** (2, 3 e 4) **presentano un andamento piuttosto regolare negli anni, dovuto alla ridotta se non assente attività fotosintetica** ed alla presenza della sola attività respiratoria del suolo.

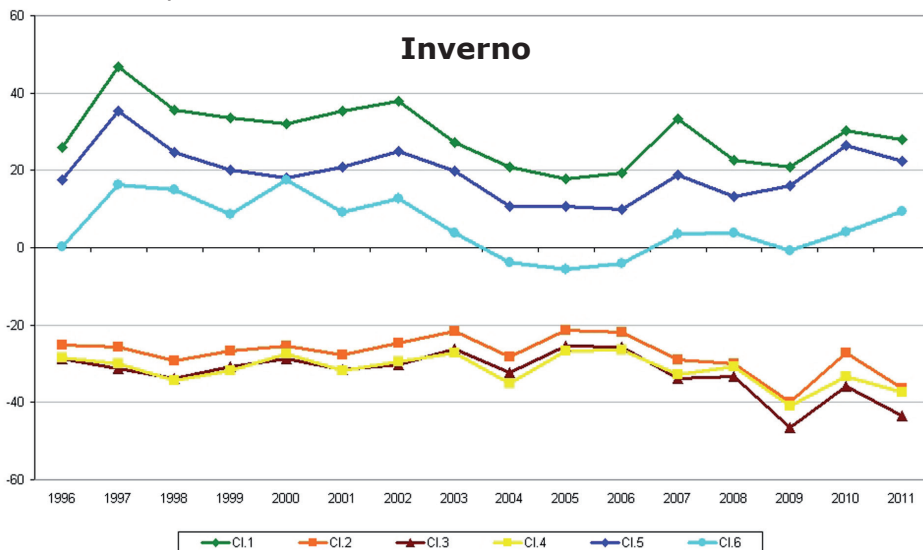


Fig. 9 - NEE (scambio netto di CO₂ dell'ecosistema) delle foreste toscane per classe forestale durante l'inverno (1996-2011). (Fonte: IBIMET-LaMMA).

Nonostante in generale la **tendenza delle sclerofille sempreverdi e delle pinete mediterranee** appartenenti alle classi 1 e 5 sia **in diminuzione**, si sono avuti 2 picchi positivi invernali negli anni 1997 e 2007.

Il primo (**1997**) è legato alle temperature massime e minime elevate ed alle precipitazioni registrate non solo nella stagione invernale, ma soprattutto nell'autunno, in quanto la risposta degli ecosistemi alla risorsa idrica è in parte ritardata nel tempo (per tale motivo periodi siccitosi di breve durata hanno un maggior impatto sulla vegetazione erbacea che su quella arborea, che invece risente maggiormente di eventi prolungati nel tempo).

Il secondo picco (**2007**) è, invece, legato prettamente alle temperature più elevate che hanno caratterizzato il semestre a cavallo del periodo 2006-2007; tali temperature, insieme a scarse precipitazioni, indicano evidentemente una minore copertura nuvolosa che implica una maggiore disponibilità di luce per le piante e quindi per la fotosintesi.

Negli inverni **2005-2006** il picco negativo di temperatura sembra avere avuto un effetto divergente a seconda della tipologia forestale: mentre le foreste caducifoglie si avvantaggiano della riduzione generale della respirazione (unico fenomeno presente), per le sempreverdi a tale fenomeno positivo si affianca però la riduzione della fotosintesi (comunque presente), che fa diminuire i valori del bilancio rispetto agli anni precedenti.

L'autunno è la **stagione che presenta assorbimenti molto variabili** e non c'è un episodio climatico particolare tale da creare reazioni positive o negative univoche nella vegetazione.

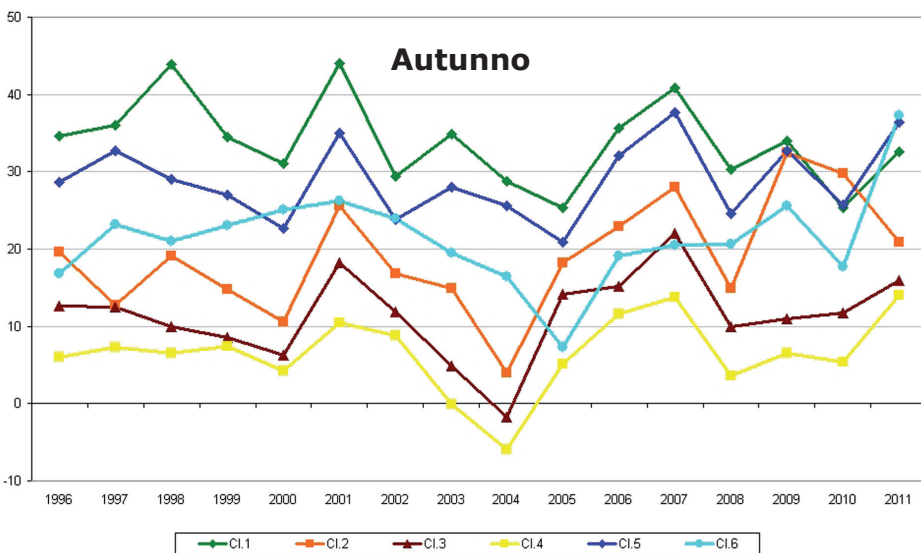


Fig. 10 - NEE (scambio netto di CO₂ dell'ecosistema) delle foreste toscane per classe forestale durante l'autunno - periodo 1996-2011 (Fonte: IBIMET-LaMMA).

Si evidenziano infatti **annate in cui una o più tipologie forestali presentano valori di assorbimento più bassi mentre altre no e viceversa**. In particolare l'autunno del 2004 si è rivelata una stagione particolarmente negativa per le classi 2, 3 e 4, ma non così negativa per le altre classi, mentre il 2005 sembra aver interessato più le sclerofille mediterranee e le abetine che le altre foreste, probabilmente per via del calo termico registrato soprattutto per le temperature massime.

L'ancora infausto 2011 ha investito, questa volta in maniera positiva a causa delle temperature molto sopra la media che si sono protratte fino a fine Novembre, quasi tutte le classi forestali, eccetto le caducifoglie del piano collinare e le specie igrofile per cui, invece, la carenza idrica è stata il fattore preponderante.

In **primavera** l'andamento dell'NEE per le diverse classi forestali è **omogeneo fino al 2003**.

Nel **2004** le specie caducifoglie (classi 2, 3 e 4), ed in parte le abetine (classe 6), hanno riportato una forte riduzione dell'NEE, anche in questo caso dovuta all'azione sinergica delle abbondanti precipitazioni estese per l'intero primo semestre dell'anno e a temperature più basse causate dalla maggiore copertura nuvolosa. Negli **ultimi 3 anni**, invece, per tutte le classi (eccetto la 1) si riporta un **picco positivo di assorbimento**, presumibilmente dovuto al fatto che negli inverni e primavere dal 2008 al 2011 le piogge sono state abbondanti ed hanno ricaricato sufficientemente le falde. La controtendenza delle leccete e delle altre sclerofille mediterranee della classe 1 fino al 2010, invece, è dovuta probabilmente al fatto che questi boschi, abituati a condizioni di crescita più sfavorevoli, considerano una disponibilità idrica elevata come fattore neutro se non limitante.

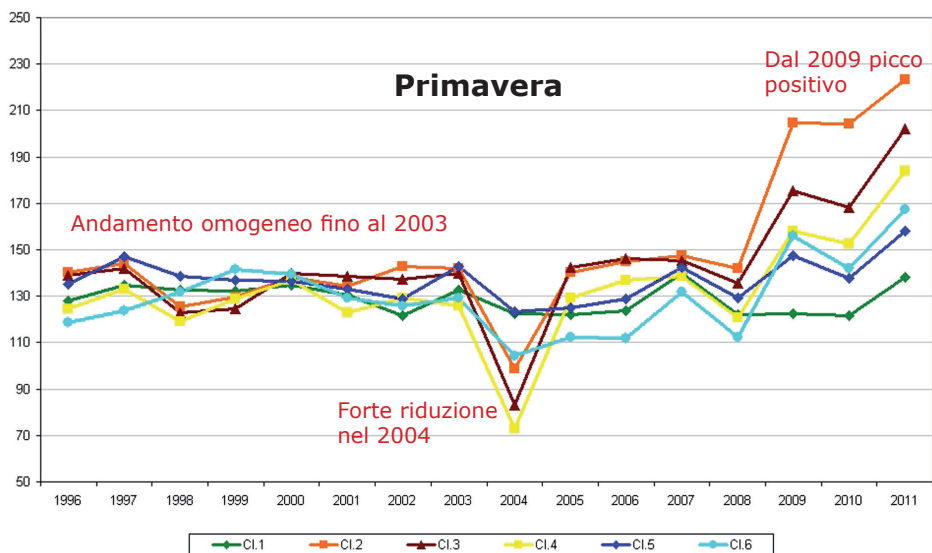


Fig. 10 - NEE (scambio netto di CO₂ dell'ecosistema) delle foreste toscane per classe forestale durante la primavera - periodo 1998-2011 (Fonte: IBIMET-LaMMA).

In **estate**, a parità di condizioni termiche non estreme, il **fattore che guida la capacità fotosintetica delle piante è senza dubbio la disponibilità idrica**. Ciò è dimostrato dal fatto che le due stagioni più piovose del periodo 96-10, ovvero il 2002 ed il 2010, hanno fatto registrare dei picchi positivi di sequestro della CO₂, con i valori record nell'ultimo anno.

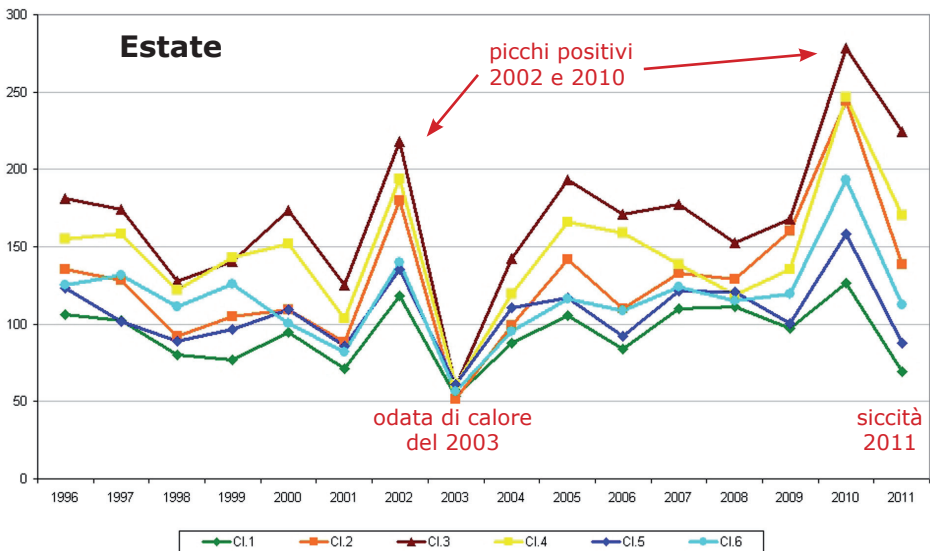


Fig. 10 - NEE (scambio netto di CO₂ dell'ecosistema) delle foreste toscane per classe forestale durante l'estate - periodo 1998-2011 (Fonte: IBIMET-LaMMA).

Nel caso in cui, però, alle scarse precipitazioni che caratterizzano normalmente l'estate si sommi un'ondata di calore particolarmente intensa e prolungata come quella registrata nel 2003, tutte le specie hanno una comune reazione: questa consiste nel ridurre la capacità di sequestro tanto maggiormente quanto più le foreste non sono adattate a condizioni climatiche estreme. Ancora una volta, infatti, le classi che hanno risentito maggiormente di questo evento estremo sono state quelle caducifoglie del piano collinare-montano. Nel 2011, invece, la brusca riduzione in tutte le classi rispecchia non solo le temperature più alte della media, ma soprattutto la siccità che avanzava inesorabilmente a partire da Aprile.

Se il bosco diventa fonte di CO₂: l'estate 2006

Durante l'ondata di calore del Luglio 2006 il bosco di Lecceto, presso Siena, è stato un emettitore (*source*) di 18 g C m⁻², mentre, dal confronto con i mesi precedenti e successivi, sarebbe dovuto essere un assorbitore (*sink*) di circa 47 g C m⁻². Al netto quindi, il solo mese di luglio è costato, in termini di carbonio non assorbito/emesso, circa 65 g C m⁻².

Considerando che boschi a prevalenza di leccio e/o sughera coprono in toscana 121,782 ha. (Inventario Forestale Toscano IFT) ne consegue che l'emissione netta di questa tipologia forestale nel mese di luglio 2006 è stata di 294,107 t di CO₂, ovvero circa 5 volte l'emissione dovuta all'aumento dei consumi elettrici per gli impianti di condizionamento nello stesso periodo in tutta la Toscana (Genesio et al., 2007).



Bosco di Lecceto

Bibliografia

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper n. 56. Ed. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.

Chiesi M., Fibbi L., Genesio L., Gioli B., Magno R., Maselli F., Moriondo M., Vaccari F.P. (2011). Integration of Ground and Satellite Data to Model Mediterranean Forest Processes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13, 504-515.

Chiesi, M., Maselli, F., Moriondo, M., Fibbi, L., Bindi, M., Running, S.W., 2007. Application of BIOME-BGC to simulate Mediterranean forest processes. *Ecol. Model.* 206, 179-190.

Genesio L., Vaccari F.P., Miglietta F., Magno R., Toscano P. (2007). Ondata di calore 2006 in Toscana: il circolo vizioso dell'effetto serra. In: *Clima e Cambiamenti Climatici - le attività di ricerca del CNR.* pp. 789-792. ISBN 978-88-8080-075-0.

Libro verde UE - La protezione e l'informazione sulle foreste nell'UE: preparare le foreste ai cambiamenti climatici, 2010.

Maselli, F., Chiesi, M., Moriondo, M., Fibbi, L., Bindi, M., Running, S.W., 2009a. Modelling the forest carbon budget of a Mediterranean region through the integration of ground and satellite data. *Ecol. Model.* 220, 330-342.

Maselli, F., Papale, D., Puletti, N., Chirici, G., Corona, P., 2009b. Combining remote sensing and ancillary data to monitor the gross productivity of water-limited forest ecosystems. *Remote Sens. Environ.* 113, 657-667.

McKee T.B., Doesken N. J., Kliest J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA. 179-184.

Morgan, R.P.C. (1992). Soil Erosion in the Northern Countries of the European Community. *EIW Workshop. Elaboration of a Framework of a Code of Good Agricultural Practices*, Brussels, 21-22 May, 1992.

Pignatti, G., *La vegetazione forestale di fronte ad alcuni scenari di cambiamento climatico in Italia*, *Articoli Scientifici* (online: 17 Febbraio 2011) *Forest@*

Running, S.W., Hunt, E.R., 1993. Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BGC, and an application for global-scale models. In: Ehleringer, J.R., Field, C.B. (Eds.), *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*. Academic Press, San Diego, pp. 141-158.

Wischmeier W.H. and Smith D.D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook No. 537. U.S. Department of Agriculture. Washington, DC.



Consorzio LaMMA
c/o CNR-IBIMET Area della Ricerca di Firenze

Via Madonna del Piano n.10
50019 Sesto Fiorentino (Fi)
Tel. +39 055 44 830.1
Fax +39 055 44 40 83

info@lamma.rete.toscana.it
comunicazione@lamma.rete.toscana.it

www.lamma.rete.toscana.it