

# **Programma di Azione Locale sulla Lotta alla Siccità e alla Desertificazione**

# **Consorzio LAMMA**

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

---

**Progetto:**                    **Programma di Azione Locale sulla Lotta alla Siccità e alla Desertificazione**

**Modulo:**

**Descrizione:**

**Prodotto:**                    **Rapporto delle metodologie e delle azioni di normalizzazione adottate ai fini della realizzazione Programma di Azione Locale sulla Lotta alla Siccità e alla Desertificazione.**

**Responsabile**

**di progetto:**                **Luca Angeli**

**Autori**

**documento:**                **Luca Angeli – Raffaella Ferrari – Roberto Costantini**

**Data:**                        **febbraio 2010**

**Versione:**                  **1.0**

# Consorzio LAMMA

“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”

---

1	Descrizione .....	4
2	Introduzione.....	4
3	Contesto .....	6
4	Obiettivi .....	7
5	Analisi dello stato attuale.....	8
6	Cartografia di sensibilità alla desertificazione.....	10
6.1	IL CLIMA.....	17
6.1.1	L'indice di aridità.....	18
6.1.2	Siccità: lo <i>standardized precipitation index</i> (SPI).....	21
6.1.3	L'INDICE DI QUALITÀ DEL CLIMA - CQI .....	28
6.2	IL SUOLO .....	29
6.2.1	Profondità.....	30
6.2.2	Tessitura.....	31
6.2.3	12. Drenaggio .....	33
6.2.4	Pietrosità .....	34
6.2.5	Scheletro .....	35
6.2.6	L'INDICE DI QUALITÀ DEI SUOLI - SQI.....	36
6.3	LA VEGETAZIONE .....	37
6.3.1	L'indicatore di protezione dall'erosione .....	38
6.3.2	L'indicatore di resistenza alla siccità .....	40
6.3.3	Gli incendi .....	41
6.3.4	L'INDICE DI QUALITÀ DELLA VEGETAZIONE - VQI.....	45
6.4	LA GESTIONE DEL TERRITORIO .....	46
6.4.1	Le politiche di protezione del territorio.....	47
6.4.2	La gestione agro-pastorale .....	50
6.4.3	L'INDICE DI QUALITÀ DELLA GESTIONE - MQI.....	59
6.5	LA PRESSIONE ANTROPICA.....	61
6.5.1	La densità di popolazione .....	62
6.5.2	La variazione % della densità di popolazione .....	63
6.5.3	La pressione turistica .....	65
6.5.4	La variazione % della pressione turistica .....	66
6.5.5	L'INDICE DI PRESSIONE ANTROPICA - HPI.....	68
6.6	CONCLUSIONI.....	69
7	Azione pilota nel bacino del fiume Albegna .....	72
7.1	CARATTERISTICHE DELL'AREA PILOTA .....	73
7.2	VULNERABILITÀ ALLA DESERTIFICAZIONE .....	77
7.3	CONSUMI IDRICI .....	80
7.4	ANALISI DELLO STATO DELLA VEGETAZIONE.....	81
7.5	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO .....	84
7.5.1	Caratteristiche del modello idrologico.....	84
7.5.2	La simulazione del modello nell'area di studio .....	87
7.5.3	Calibrazione e validazione del modello.....	93
7.5.4	Caratteristiche dei parametri idrologici .....	94
7.5.5	Utilizzo degli output del modello per la stima della disponibilità idrica .....	96
8	SVILUPPI FUTURI .....	100

## 1 DESCRIZIONE

Il Consorzio LAMMA sulla base dell'Accordo con l'Area di Coordinamento "Tutela delle acque e del territorio" della Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali svolge tutte le azioni tecniche previste dalla "Proposta di Programma di Azione Locale di lotta alla siccità e alla desertificazione" (PAL) trasmessa al Ministero dell'Ambiente in data 18 Marzo 2008 e approvata dallo stesso il 25 Maggio 2008.

Il presente progetto pilota è basato sulle indicazioni del Programma Nazionale per la lotta alla Siccità e alla desertificazione (Deliberazione CIPE n. 229 del 21 dicembre 1999), e individua come settore prioritario del programma regionale la "gestione sostenibile delle risorse idriche" per l'analisi, il monitoraggio e la previsione dei fenomeni di carenza di risorse idriche del territorio toscano.

## 2 INTRODUZIONE

Una corretta pianificazione territoriale è uno strumento necessario per armonizzare le esigenze del territorio e coordinarne lo sviluppo in percorsi ordinati. La pianificazione influenza in maniera determinante non solo lo sviluppo di una specifica area ma anche la situazione dell'ambiente in essa compreso. Pianificazione territoriale e protezione dell'ambiente rappresentano due facce della stessa medaglia: interventi sul territorio vanno valutati in relazione agli impatti sulle risorse naturali quali suolo, acqua, aria, foreste, paesaggio e clima.

Oggi la sfida della gestione e della pianificazione del territorio passa soprattutto attraverso il corretto flusso ed utilizzo dell'informazione ambientale e in particolare di quella cartografica. La costruzione e condivisione di un patrimonio di conoscenze georiferite sulla vulnerabilità e criticità del territorio è condizione *sine qua non* per pianificare uno sviluppo territoriale realmente rispettoso delle peculiarità ambientali e morfologiche delle aree interessate.

Alla luce dei rapidi cambiamenti dell'assetto dei sistemi territoriali e considerato il crescente impatto dei cambiamenti climatici, è importante che l'informazione territoriale fornisca, non solo una fotografia aggiornata della vulnerabilità, ma sia capace anche di costruire ipotesi sugli scenari futuri, al fine di delineare al meglio le scelte più opportune. Una visione troppo settoriale del territorio rischia di risultare inappropriata quale strumento per la presa di decisione, poiché trascurando le interrelazioni dei diversi fenomeni e non ne ricostruisce la loro dinamicità nel tempo e nello spazio.

In quest'ottica si inserisce il Programma di Azione Locale sulla Lotta alla Siccità e alla Desertificazione della Toscana che rappresenta un'analisi della sensibilità del territorio all'insorgere di fenomeni di degrado al fine di poter programmare adeguate politiche di

gestione con azioni di mitigazione ed adattamento. 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 non solo 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, se quelli climatici, i fattori di pressione antropica o quelli legati alla vegetazione. Uno strumento operativo quale la cartografia di sensibilità alla desertificazione rappresenta quindi una base su cui sviluppare la discussione ed il confronto tra i vari attori del territorio e giungere a scelte condivise e partecipate.

La Desertificazione è determinata dai cambiamenti ambientali in atto che si riferiscono in particolare al clima; bisogna poi considerare la vulnerabilità intrinseca degli ecosistemi rispetto al fenomeno in atto; la situazione diviene più complessa se si considera una "vulnerabilità indotta" dall'impatto dei cambiamenti climatici. Nelle attuali condizioni climatiche e con gli odierni utilizzi del territorio, circa il 30% del territorio italiano è affetto da problemi di desertificazione. Le criticità sono legate soprattutto alla disponibilità di acqua, al degrado dei suoli e degli ecosistemi vegetali.

In tali condizioni si verificano fenomeni di "uso competitivo" delle risorse con relativo degrado quali-quantitativo: l'aumento della domanda di acqua, i fenomeni di urbanizzazione, ad esempio. Dal punto di vista agricolo può accadere anche un fenomeno inverso, cioè di "estensivizzazione" quali l'abbandono dei terreni marginali che causa l'aumento del rischio di incendi e di dissesto idrogeologico se non "guidato" dall'applicazione di buone pratiche come la rinaturalizzazione, riforestazione e afforestazione.

Se consideriamo gli scenari climatici futuri siamo indotti, quindi, a concludere che la situazione peggiorerà.

Sono necessarie, pertanto, strategie di prevenzione, mitigazione e di adattamento attraverso:

- l'ampliamento delle attività di monitoraggio per predisporre "strategie di allerta" e definire le soglie critiche di resilienza (principio di precauzione);
- riduzione della vulnerabilità con interventi di recupero e mitigazione dei processi di degrado delle risorse naturali (sistemazioni idraulico-agrarie anti-erosione, riforestazione);
- sistemi di "adattamento flessibile" in funzione della capacità di reazione dei diversi ecosistemi naturali e delle specifiche relazioni con l'attività antropica sul territorio

(aumento della biodiversità, riduzione del degrado dell’agroecosistema): di contro il sistema ambientale sarà più vulnerabile ai cambiamenti climatici.

### **3 CONTESTO**

La Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Desertificazione (UNCCD) rappresenta il contesto istituzionale di risposta al problema del degrado delle terre che tocca oggi il 65% delle superfici agricole nelle zone Aride, semi aride e subumide-secche.

La UNCCD riconosce l’urgenza di sviluppare strategie ed identificare strumenti per minimizzare il degrado dei suoli, essendo questo intimamente legato ai problemi di povertà e sviluppo sostenibile del territorio.

Le aree a rischio desertificazione nei Paesi dell’Annesso IV (Paesi europei) sono concentrate nel settore nord del bacino del Mediterraneo con particolare gravità in Grecia, Italia, Portogallo e Spagna.

La possibilità di disporre di strumenti adeguati per identificare le aree a rischio e quindi programmare le priorità di intervento delle misure di mitigazione e recupero rappresenta un punto fondamentale identificato sia a livello internazionale, come enfatizzato dal Comitato Scienza e Tecnologia (CST) della UNCCD, sia a livello Nazionale, come priorità dei Programmi di Azione Nazionale (PAN) di lotta alla desertificazione e come previsto dall’articolo 20 del D.Lvo n. 152/1999 sulla tutela delle acque.

Il PAN italiano riconosce l’importanza del ruolo delle Regioni e delle Autorità di bacino nel quadro più generale del monitoraggio del territorio Nazionale e raccomanda che siano questi enti a predisporre azioni di monitoraggio e studio finalizzate all’identificazione dello stato e delle dinamiche di degrado delle zone a rischio.

Alla luce degli attuali trend di temperatura e pioggia e degli scenari previsti dai vari modelli di calcolo risulta molto probabile una crescita della pressione antropica sulle risorse idriche. Da un punto di vista meteorologico, inoltre, è prevedibile un aumento del rischio di alluvioni e inondazioni accompagnato da un degrado dei suoli provocato da erosione e perdita di nutrienti: il fenomeno è strettamente legato alla diminuzione delle precipitazioni e all’aumento della loro intensità connesso con i prolungati periodi di siccità.

Le probabili conseguenze del cambiamento climatico a scala regionale saranno:

- una minor regolarità delle portate e aggravamento degli eventi di piena e magra dei corsi d’acqua;
- il deterioramento dei suoli (per erosione e perdita di nutrienti) con conseguente perdita di produttività e accrescimento del rischio di desertificazione;

- l'ingressione di acqua salata nelle falde costiere;
- la perdita di zone umide alla foce dei fiumi per le minori portate e la risalita del cuneo salino durante gli eventi di magra.

Diviene fondamentale, quindi, progettare e applicare un uso sostenibile del territorio con particolare attenzione alla gestione delle risorse idriche e del suolo e, in particolare, adottare misure preventive e di mitigazione dei fenomeni siccitosi.

Anche la Commissione Europea si è occupata delle problematiche legate alla carenza idrica e alla siccità: infatti, la Comunicazione adottata il 18 luglio 2007 “Affrontare il problema della carenza idrica e della siccità nell'Unione europea” tratta i problemi di carenza idrica e siccità sia come questioni ambientali di importanza fondamentale, sia come prerequisiti di una crescita sostenibile in Europa.

Negli ultimi mesi del 2007, anche se si è usciti dalla fase più critica dell'emergenza, il Comitato istituzionale per l'emergenza siccità ha suggerito di aumentare il prelievo dalle acque superficiali, per contenere l'utilizzo dei pozzi, tutelando così le falde acquifere.

A livello regionale con la Legge 21 maggio 2007, n. 29, che detta le norme per l'emergenza idrica e per la prevenzione della crisi idropotabile, la Regione Toscana si è dotata di strumenti per intervenire nel ambito della crisi idrica attualmente in corso al fine di garantire la realizzazione degli interventi necessari alla prevenzione della crisi idropotabile a danno dell'utenza. La dichiarazione di stato di emergenza idrica, effettuata per il 2007, è stata poi estesa a tutto il 2008.

#### **4 OBIETTIVI**

In relazione agli effetti dei cambiamenti climatici in atto il progetto pilota del PAL della Regione Toscana vuole introdurre un nuovo approccio al fenomeno delle crisi idriche attraverso l'integrazione dei sistemi di conoscenza, quali il monitoraggio della risorsa idrica, con i modelli previsionali a breve e medio termine: passare dalla gestione della crisi idrica alla gestione del rischio.

Tale sistema, in accordo con lo stato del sapere e delle esperienze acquisite in questi anni dai settori regionali competenti, si prefigge l'obiettivo di affrontare in maniera organica le dimensioni ambientali, sociali ed economiche del fenomeno in modo da fornire risposte nelle fasi di pianificazione e programmazione con lo scopo di limitare il più possibile i momenti di emergenza.

Indirizzo prioritario della Regione Toscana è fornire ulteriori strumenti previsionali per l'attuazione di politiche e strategie di governo della domanda d'acqua sulla base delle

condizioni meteorologiche e le dinamiche dei consumi anche attraverso l'introduzione di scenari climatici.

In tal senso il Programma prevede l'identificazione delle aree sensibili alla siccità e alla desertificazione dell'intero territorio regionale attraverso l'implementazione della Metodologia ESAs – *Environmentally Sensitive Areas to desertification*.

Nella definizione dello stato dell'arte sulla gestione delle risorse idriche sono analizzati i piani ed i programmi regionali di pianificazione e tutela, con particolare riferimento all'area pilota del bacino del fiume Albegna.

Qui è svolta un'azione dimostrativa volta a mettere in essere un "Osservatorio" di monitoraggio e gestione della risorsa idrica attraverso l'implementazione di un modello idrologico per la definizione del bilancio.

Il Piano prevede l'ottimizzazione dell'impegno degli Enti e delle strutture regionali, Servizio Idrologico, Servizio Geologico, Servizio Risorse Idriche e Difesa del Suolo, Autorità di Bacino attraverso la condivisione di esperienze e dati che verranno "messi a sistema" nel bacino scelto come area pilota.

Il PAL, in ultima analisi, può essere inteso come lo strumento pianificatorio per:

- identificare le aree sensibili alla degradazione ambientale, sovente aggravate dalla siccità e dalla desertificazione;
- mitigare i fenomeni inerenti.

## **5 ANALISI DELLO STATO ATTUALE**

All'interno dei piani e dei programmi di gestione del territorio e delle risorse ambientali della Regione Toscana esistono già alcuni riferimenti alla problematica della siccità e della gestione sostenibile delle risorse idriche.

A conferma di quanto detto sopra, gli strumenti di pianificazione adottati da tutte le Regioni, anche se non esplicitamente mirati a contrastare fenomeni di siccità e desertificazione, affrontano le più importanti situazioni di degrado territoriale e mettono in campo attività di monitoraggio per la precisa identificazione delle aree critiche e la conseguente individuazione di efficaci interventi di mitigazione.

<b>Strumento di pianificazione</b>	<b>Riferimento normativo</b>	<b>Temi delibera CIPE 229/1999</b>
P.T.A. (Piano Tutela Acque)	D. Lgs 152/1999	Gestione Sostenibile Risorse idriche
P.A.I. (Piano Assetto Idrogeologico)	L. 183/1989	Protezione del suolo

## **Consorzio LAMMA**

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

---

P.S.R. (Piano Sviluppo Rurale)	Reg. CE n. 1257/1999	Protezione del suolo e Riequilibrio Territorio
P.A.I.B. (Piano anti incendi boschivi)	L. 353/2000	Protezione del suolo
P.I.T. (Piano di Indirizzo Territoriale)	L. 42/2004	Riequilibrio del Territorio

➤ Piano regionale di azione ambientale (PRAA) 2007-2010:

Scheda Obiettivo e Intervento D3: “Tutelare la qualità delle acque interne e costiere e promuovere un uso sostenibile della risorsa idrica”.

Ciò rientra nel più ampio obiettivo del Piano Regionale di Sviluppo (PRS) 2006-2010 del “Governo unitario e integrato delle risorse idriche e per il diritto dell’acqua”, che persegue appunto fra i risultati della sua azione anche “la riduzione dei prelievi di acqua pregiata per usi diversi da quello idropotabile ed in particolare di acqua di falda sostituite con acque reflue recuperate”.

I principali obiettivi specifici sono:

- Miglioramento e adeguamento degli strumenti per la gestione ed il controllo dello stato di qualità ambientale e dell’uso sostenibile della risorsa in linea con gli obiettivi della Direttiva 2000/60;
- Implementazione dei quadri conoscitivi in riferimento allo stato quali-quantitativo della risorsa;
- Razionalizzazione e riduzione dei prelievi finalizzata al mantenimento della risorsa necessaria alla conservazione degli ecosistemi acquatici e al rispetto del tasso di rinnovabilità della risorsa presente in natura.

➤ Programma di Sviluppo Rurale della Regione Toscana (PSR) 2007-2013

All’interno dell’asse 2 “Miglioramento dell’ambiente e dello spazio rurale” la Regione Toscana ritiene che i principali aspetti critici d’interesse nell’ambito del PSR siano tra gli altri la riduzione dell’impatto dei cambiamenti climatici.

➤ Il Piano di tutela delle Acque della Toscana (approvato il 25 gennaio 2005)

Sulla base dei contenuti della Direttiva Quadro 2000/60/CE il piano persegue l’obiettivo del mantenimento e il miglioramento dell’ambiente acquatico e del territorio attraverso misure integrate sugli aspetti qualitativi e quantitativi.

Alla base di questo obiettivo generale gioca un ruolo importante l’uso sostenibile della risorsa idrica attraverso il miglioramento della qualità ambientale del corpo idrico superficiale e sotterraneo, la programmazione e la gestione degli usi.

➤ I Piani Stralcio di Bilancio Idrico e DMV

La Regione Toscana ha approvato i Piani di Stralcio di Bilancio Idrico e Deflusso Minimo Vitale, del fiume Serchio e del fiume Arno.

Sono in corso di redazione i Piani delle altre dieci Autorità di bacino ricadenti nel territorio regionale.

## **6 CARTOGRAFIA DI SENSIBILITÀ ALLA DESERTIFICAZIONE**

La prima fase del Programma di Azione Locale riguarda la realizzazione di una cartografia di sensibilità alla desertificazione per la Regione Toscana. Questo obiettivo è stato sviluppato in modo specifico per i vari indicatori previsti dalla metodologia ESAs, opportunamente integrata ed adattata al contesto economico e geografico della regione, attraverso i tre assi del progetto sopra descritti.

Lo scopo principale di questa fase ha riguardato l'**aggiornamento ed integrazione** al 2008 delle banche dati necessarie alla realizzazione della cartografia di sensibilità alla desertificazione per la Regione Toscana. Questo obiettivo è stato raggiunto in modo specifico per i vari indicatori previsti dalla metodologia ESAs.

La metodologia ESAs (*Environmental Sensitive Areas to Desertification*), sviluppata da Kosmas nel 1999 e successivamente ripresa dal Progetto DISMED a scala di bacino del Mediterraneo, è la più idonea per la sua versatilità e per la capacità di mettere in relazione fattori di varia natura ed origine (rilievi a terra e da satellite, censimenti, ecc.) e per la sua applicabilità a vari livelli di scala ed in vari contesti socio-geografici. Secondo tale modello i processi di desertificazione vengono ricondotti a quattro tematismi. Secondo tale modello i processi di desertificazione vengono ricondotti a quattro tematismi:

- Clima
- Suolo
- Vegetazione
- Socio-economia

Ciascuno di essi comprende un set di indicatori ben selezionato, in grado di fornire un sintetico, ma tuttavia generalmente corretto quadro del sistema ambientale, di definire le sue tendenze e di servire come sistema di preallarme, attraverso l'individuazione dei cambiamenti critici nei loro stadi iniziali (Rubio e Bochet,1997).

## Consorzio LAMMA

“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”

---

Inoltre, perché siano validi e rappresentativi, gli indicatori devono essere misurabili, sensibili agli stress ed ai cambiamenti, facilmente interpretabili, basati su dati prontamente disponibili, ma anche su serie storiche sufficientemente lunghe.

Il modello ESAs prevede l'attribuzione di punteggi alle caratteristiche biofisiche e socioeconomiche per arrivare alla definizione di quattro indici:

- Indice di Qualità del Clima (**CQI** – *Climate Quality Index*)
- Indice di Qualità del Suolo (**SQI** – *Soil Quality Index*)
- Indice di Qualità della Vegetazione (**VQI** – *Vegetation Quality Index*)
- Indice di Qualità della Gestione (**MQI** – *Management Quality Index*)

Una delle modifiche fatte al modello rispetto alla iniziale metodologia iniziale proposta da Kosmas ha riguardato l'inserimento di un quarto indice relativo alla presenza ed alle attività antropiche, che in Toscana è certamente un forte fattore di pressione importante:

- Indice di Pressione antropica (**HPI** – *Human Pressure Index*)

Ognuno dei cinque indici sopra esposti è stato alimentato da una serie di indicatori ritenuti più idonei per la descrizione dei fenomeni presenti sul territorio regionale e che potessero essere comunque considerati validi ed applicabili anche in altre regioni.

L'Indice di Qualità del Clima (CQI) è stato valutato sulla base dei dati di pioggia e temperatura dai quali sono stati calcolati due parametri omogenei e replicabili:

- a. l'Indice di Aridità **AI** =  $P/ETP_{Penman}$ ;
- b. le sequenze siccitose, calcolate con l'**SPI** - *Standardized Precipitation Index*.

Per ciascuno dei due indici è stata fatta uno studio di tipo strutturale che potesse identificare i fenomeni, ma anche un'analisi "dinamica", fondamentale per evidenziarne le possibili evoluzioni ed anomalie (in positivo o negativo).

$$CQI = (AI_{61-90} * sequenze\ siccitose_{61-90} * Variazione\%AI_{91-08} * Variazione\%sequenze\ siccitose_{08-91})^{1/4}$$

Per l'Indice di Qualità del Suolo (SQI), sono stati utilizzati 5 indicatori riferibili agli aspetti legati al ciclo dell'acqua ed alla resistenza all'erosione idrica:

$$SQI = (Drenaggio * Pietrosità * Tessitura * Profondità * Scheletro\ in\ superficie)^{1/5}$$

L'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI) contiene indicatori di tipo quali-quantitativo legati alla funzione protettiva che la copertura vegetale svolge sul territorio contro i processi di

erosione e degrado, in maniera maggiore o minore a seconda delle caratteristiche strutturali e fisiologiche.

Inoltre, è stata considerata la potenzialità della vegetazione ad essere più o meno sensibile al fuoco e il rischio d'incendio sulla base della valutazione delle componenti antropiche sui fenomeni di innesco degli incendi.

$$\mathbf{VQI = (Protezione\ dall'erosione * Resistenza\ alla\ siccità * Vulnerabilità\ agli\ incendi * Rischio\ d'incendio)^{1/4}}$$

La Toscana è una regione che presenta un'elevata complessità sia morfologica che climatica: di conseguenza le attività antropiche che vi si sono sviluppate evidenziano un'importante varietà di forme ed impatti nell'attività agricola (sistemi agronomici, pastorizia), in quella industriale e mineraria e nelle politiche ambientali.

Per quanto riguarda l'Indice di Qualità della Gestione (MQI), quindi, la complessità spaziale e temporale dei numerosi parametri che devono essere considerati ha comportato la suddivisione in due settori principali: le politiche di protezione e l'utilizzo del suolo.

$$\mathbf{MQI = (Politiche\ di\ protezione * Gestione\ del\ territorio)^{1/2}}$$

dove:

- Politiche di protezione = ((parchi regionali e nazionali/Superficie comunale)\*(Direttiva Habitat 92/43/CEE-Bioitaly))<sup>1/2</sup>
- Gestione del territorio = ((Variazione%SAU/Superficie comunale<sub>01-70</sub>)\*(fabbisogno idrico/pioggia media annuale)\*(Superficie bio/SAU)\*(Pratipascoli/SAU)\*(UBA/Pratipascoli))<sup>1/5</sup>

Per quanto riguarda la componente antropica è stato usato un indice (Indice di Pressione antropica HPI) apposito che si riferisce principalmente alla densità di popolazione ed all'ulteriore sovraccarico dovuto alle presenze turistiche:

$$\mathbf{HPI = (Densità\ di\ popolazione_{2008} * Variazione\ %\ densità\ di\ popolazione_{08-61} * Densità\ turistica_{2008} * Variazione\ %\ densità\ turistica_{08-93})^{1/4}}$$

Dall'incrocio di tutti gli indici si ottiene l'indice globale ESAI (*Environmental Sensitive Area Index*):

$$\mathbf{ESAI = (CQI * SQI * VQI * MQI * HPI)^{1/5}}$$

## **Consorzio LAMMA**

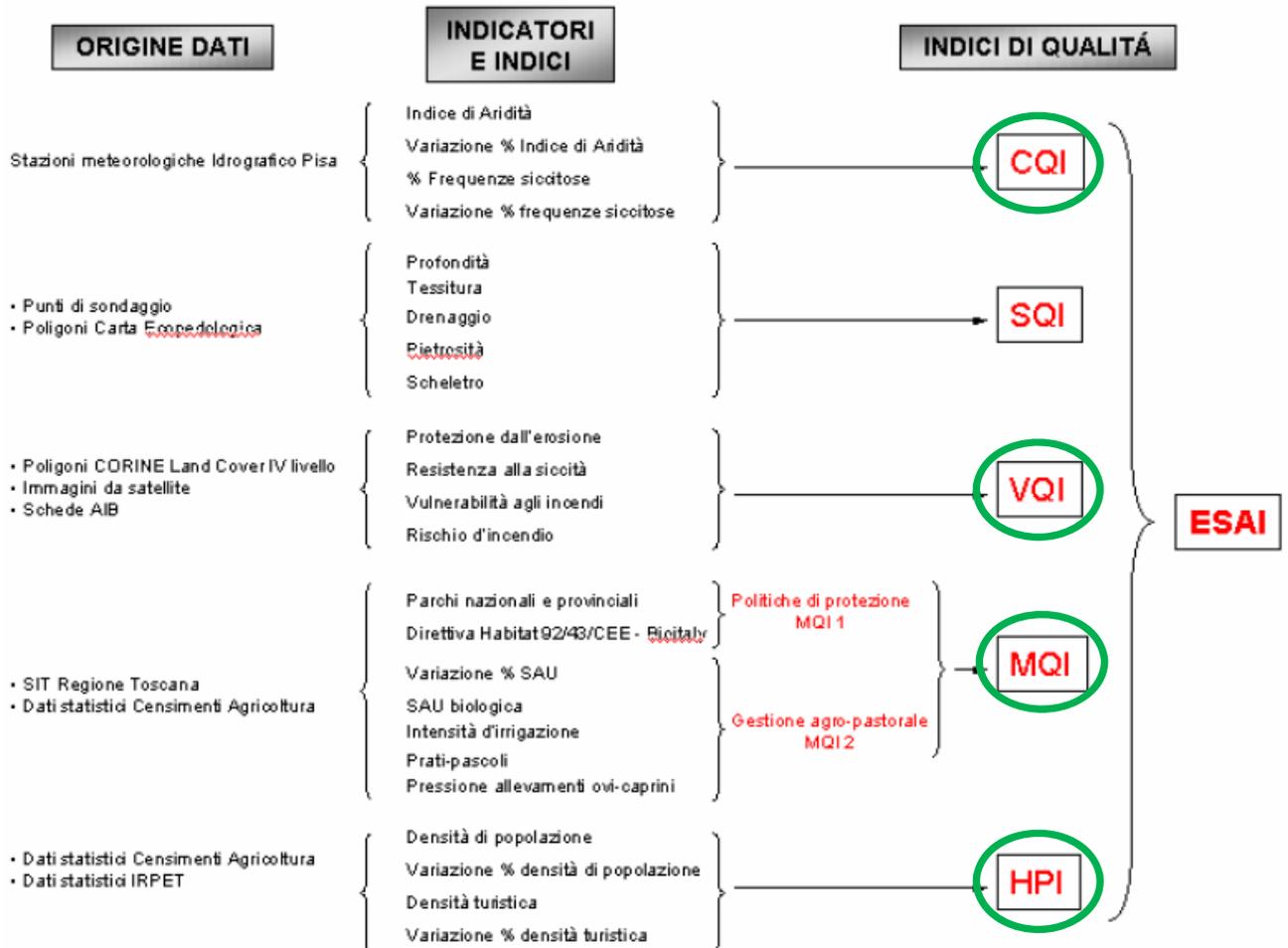
*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

---

La valutazione finale che si ottiene dall'indice ESAI definisce, secondo la classificazione MEDALUS, 4 diverse tipologie dello stato di degradazione del suolo:

- Critica (area in stato di degrado avanzato, con elevata erosione, alto deflusso e perdita di sedimenti);
- Fragile (area in cui qualunque cambiamento nell'equilibrio delle attività naturali ed umane può far aumentare il rischio desertificazione);
- Potenziale (area potenzialmente a rischio, in cui è necessaria una politica di pianificazione precisa e concreta);
- Non affetta.

La metodologia ESAs fornisce una valutazione sintetica dei gradi di vulnerabilità del territorio volta ad evidenziare i rischi ambientali legati al fenomeno della desertificazione. Un'area può essere considerata sensibile se i fattori ambientali e socio-economici non sono in equilibrio reciproco o se la gestione di quel particolare territorio non è sostenibile. 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.



Aggiornamento ed integrazione delle banche dati:

- Dati climatici: la banca dati climatica è stata estesa fino al 2008 1960-2008;
- Dati satellitari: integrazione della banca dati MODIS-NDVI;
- Dati di gestione delle terre agricole: integrazione dei dati derivanti dal Progetto “I consumi idrici della Regione Toscana” (CIBIC -UNIFI; Centro Funzionale, ARSIA, IRPET);
- Dati pedologici: integrazione dei dati derivanti dalla Carta dell’Erosione del Suolo (Progetto APAT-SIAS): Corine Erosion Risk, USLE-RUSLE;
- Dati socio-economici: aggiornamento al 2008 dei dati di popolazione, turismo.

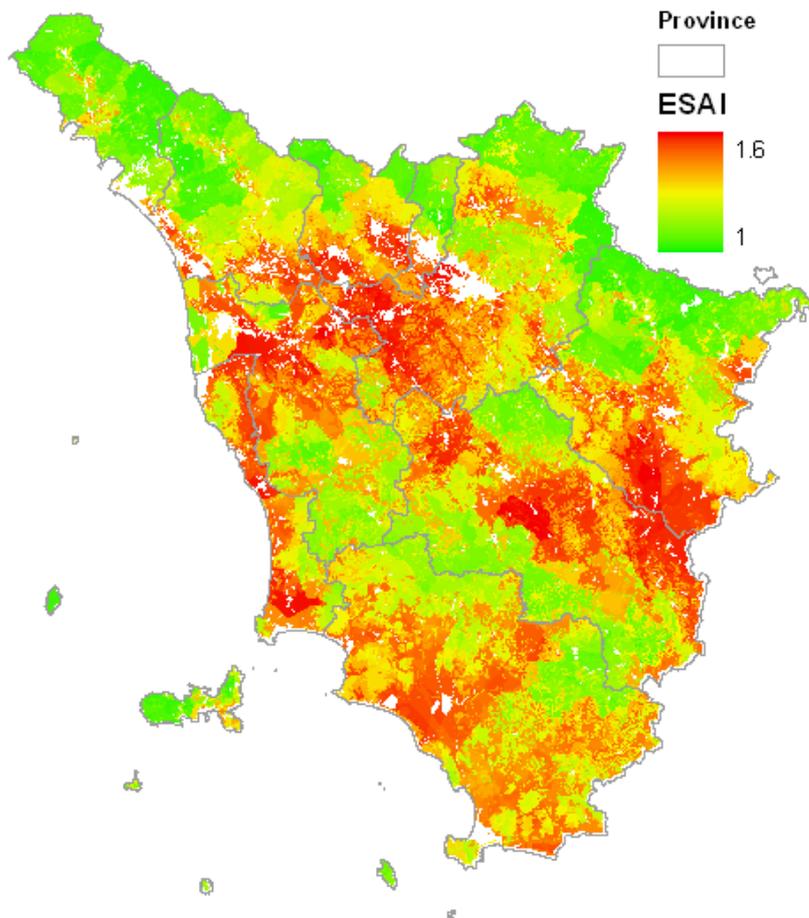
La “Carta di sintesi delle aree sensibili alla desertificazione per la Toscana”, ottenuta attraverso l’implementazione della metodologia MEDALUS, è la rappresentazione grafica dello stato di stress e degrado del territorio regionale.

Le aree risultate particolarmente sensibili sono identificabili nelle seguenti zone:

- Valdarno superiore e zone collinari interne;
- costa livornese e zona di Piombino;
- costa grossetana e bacino dell'Albegna;
- Val di Chiana;
- Crete Senesi.

Tali zone, pur essendo critiche per l'azione combinata di più fattori, si identificano anche per la prevalenza di uno di essi sugli altri (ad esempio, il forte grado di urbanizzazione, agricoltura intensiva).

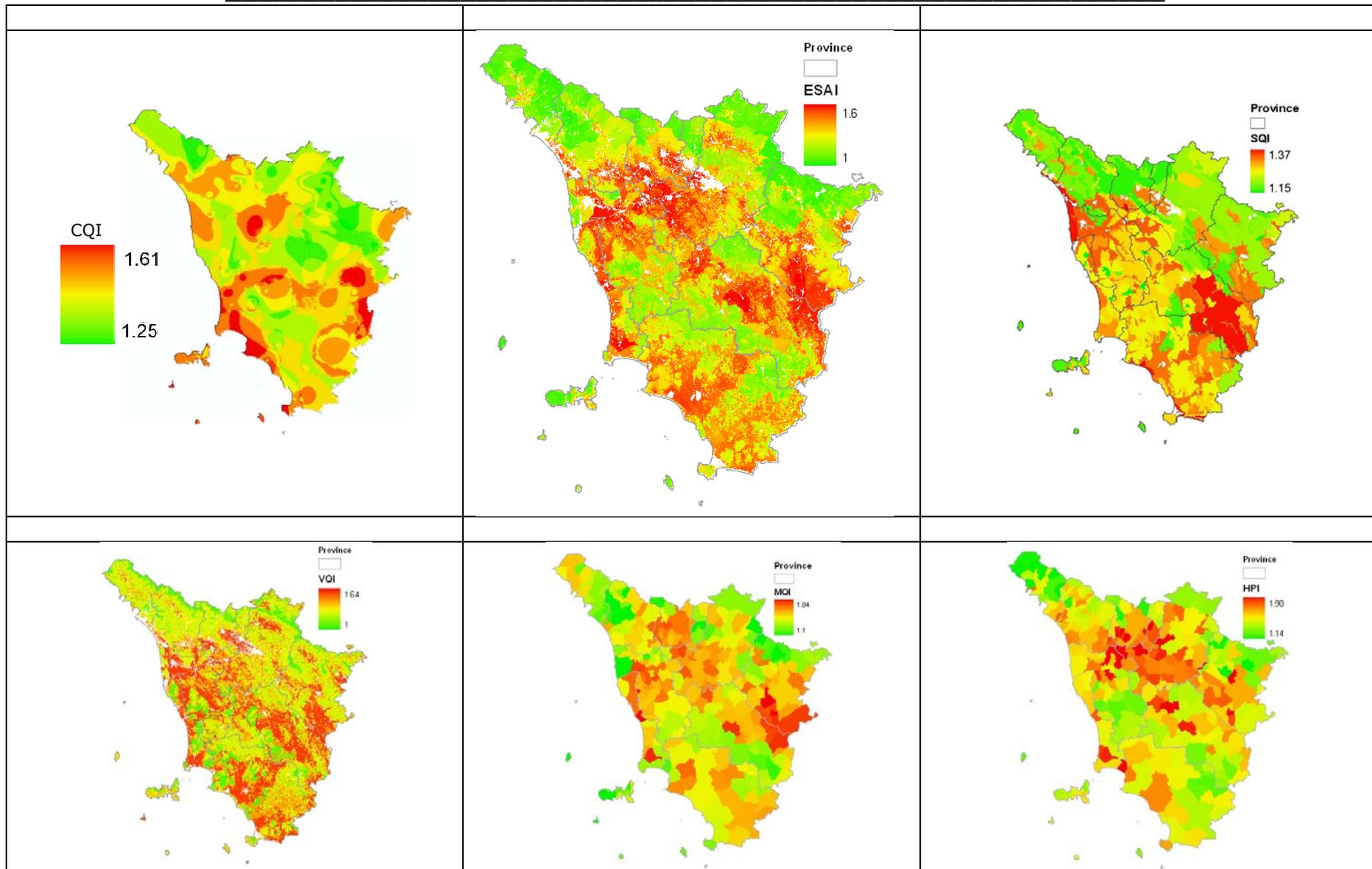
È fondamentale, quindi, a partire dalla carta di sintesi, poter risalire ai singoli indici per orientare le azioni di mitigazione e gli interventi più adatti al riequilibrio del territorio.



*Carta delle aree sensibili alla desertificazione (ESAI - Environmental Sensitive Area Index)*

# Consorzio LAMMA

“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”



## **6.1 IL CLIMA**

Un'approfondita analisi climatica è la base necessaria per un corretto studio sui processi di degrado del suolo e desertificazione.

La possibile riduzione delle piogge dovuta alle variazioni climatiche e una ricarica delle riserve idriche superficiali e sotterranee inferiore rispetto ai prelievi possono causare delle serie conseguenze sulle attività umane (resa delle colture agrarie, riduzione della portata delle sorgenti, ecc) e sull'ambiente in generale quali l'ingressione del cuneo salino, aumento delle concentrazioni di inquinanti nei corpi idrici superficiali e sotterranei, aumento del rischio di incendi per un accumulo di biomassa secca, ecc.

I principali rischi naturali che agiscono sul territorio ed influiscono negativamente sulle attività antropiche sono l'aridità e la siccità che possono essere facilmente calcolati a partire dalle due grandezze meteorologiche, pioggia e temperatura, delle quali esistono misure ed archivi ormai superiori a 50 anni.

I due termini possono sembrare simili e spesso sono usati indifferentemente, ma si riferiscono a due concetti distinti.

L'aridità, infatti, è una caratteristica continua del clima, tipica di aree con limitate precipitazioni ed elevata evapotraspirazione ed è connessa ad un bilancio idrico negativo permanente.

La siccità, invece, "è una caratteristica normale e ricorrente del clima che può verificarsi in aree con differenti regimi climatici ed i cui impatti possono variare da regione a regione" (*The National Center of Drought of Australia*): è intesa anche come il decremento di acqua disponibile in un particolare periodo e per una particolare zona definendosi nel più generale concetto di deficit idrico temporaneo, che cambia nel tempo.

Grazie ai moderni sistemi di trattamento e gestione dei dati geografici, attualmente è possibile conoscere in tempi relativamente brevi l'estensione spaziale, l'intensità e le variazioni temporali dell'aridità e della siccità. Ciò è reso possibile anche grazie all'utilizzo di indicatori ed indici che permettono di valutare in maniera oggettiva ed omogenea episodi avvenuti in regioni diverse e/o in differenti periodi, e alle moderne tecniche di interpolazione spaziale di dati puntuali che consentono di ottenere una copertura continua del fenomeno studiato. Non ultimo, ed in continua evoluzione scientifica, è l'utilizzo delle immagini satellitari che grazie alla loro intrinseca periodicità di aggiornamento e ai costi contenuti permettono di ricavare indici indiretti per la valutazione qualitativa dei fenomeni siccitosi.

### **6.1.1 L'indice di aridità**

Abbiamo visto che l'aridità è una caratteristica del territorio che tende a definire il clima di una determinata regione in funzione della durata e frequenza di periodi siccitosi.

La valutazione più semplice del fenomeno aridità è data dal rapporto tra precipitazioni ed evapotraspirazione; altri e più complessi indici tendono a definire in maniera diversa il secondo parametro evapotraspirazione, visto che la sua determinazione è legata ad un insieme di fattori non sempre facilmente calcolabili o uniformemente acquisiti sul territorio. Tra le equazioni che meglio stimano l'ETP (Evapotraspirazione Potenziale) le più note ed utilizzate sono l'equazione empirica di *Thornthwaite* e quella basata su parametri fisici di *Penman-Monteith* (FAO-Quaderno56).

Quest'ultima è la più rispondente alla realtà soprattutto per i climi umidi e temperati, mentre la prima sottostima l'ETP nelle zone più aride. La formula di *Penman-Monteith* richiede, però, la disponibilità di dati relativi a fattori che sono registrati in un numero di stazioni meteorologiche molto limitato e non sufficiente per ottenere una rappresentazione dell'evapotraspirazione su tutto il territorio regionale:

$$ET = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{t + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

dove

**ETP** = evapotraspirazione (mm/giorno);

**R<sub>n</sub>** = radiazione netta (MJm<sup>-2</sup>giorno<sup>-1</sup>);

**G** = flusso di calore del sole (MJm<sup>-2</sup>giorno<sup>-1</sup>);

**t** = temperatura media giornaliera (°C);

**u** = velocità del vento a 2 m dal suolo (m/sec);

**e<sub>s</sub>** = pressione di vapore saturo dell'acqua (kPa);

**e<sub>a</sub>** = pressione attuale di vapore dell'acqua (kPa);

**Δ** = pendenza della curva della pressione di vapore (kPa°C<sup>-1</sup>);

**γ** = costante psicometrica (kPa°C<sup>-1</sup>).

Al contrario il metodo di *Thornthwaite*, basato essenzialmente sulla temperatura, può disporre di molti più dati distribuiti in maniera omogenea:

$$ETP = 16 \cdot c^*(T^*10/I)a$$

$$a = 0.49239 + 1.792 \text{ E-}2 * I + 7.711 \text{ E-}5 * I^2 + 6.75 \text{ E-}7 * I^3$$

$$c = h_{\text{luce}} / 12$$

$$I = \sum_{i=1,12} (T_i / 5)^{1.514}$$

dove:

**ETP** = Evapotraspirazione potenziale media mensile (mm di acqua persi per evaporazione dal suolo e traspirazione della vegetazione);

**T** = temperatura media dell'iesimo mese (°C);

**I** = indice di calore annuo;

**a** = fattore di correzione di *Thornthwaite*;

**c** = fattore di correzione per le ore di illuminazione mensile;

**h** = media delle ore di illuminazione mensile.

La scelta per la determinazione dell'Indice di Aridità della Toscana, quindi, è ricaduta sull'utilizzo della metodologia di *Thornthwaite*, utilizzando, però, l'equazione di *Penman-Monteith* per il calcolo di un "fattore di correzione", sperimentato nell'ambito del Progetto internazionale DISMED, in cui si proponeva lo stesso tipo di problema di reperimento di dati.

Il "fattore di correzione" consiste nel rapporto tra le due ETP (*Penman/Thornthwaite*) a livello di stazione meteorologica:

$$\text{Fattore di correzione} = (ETP\text{-}Penman)/(ETP\text{-}Thornthwaite)$$

La scala temporale di calcolo è quella mensile.

Tale fattore è stato poi moltiplicato per l'ETP di *Thornthwaite* a livello di intera regione.

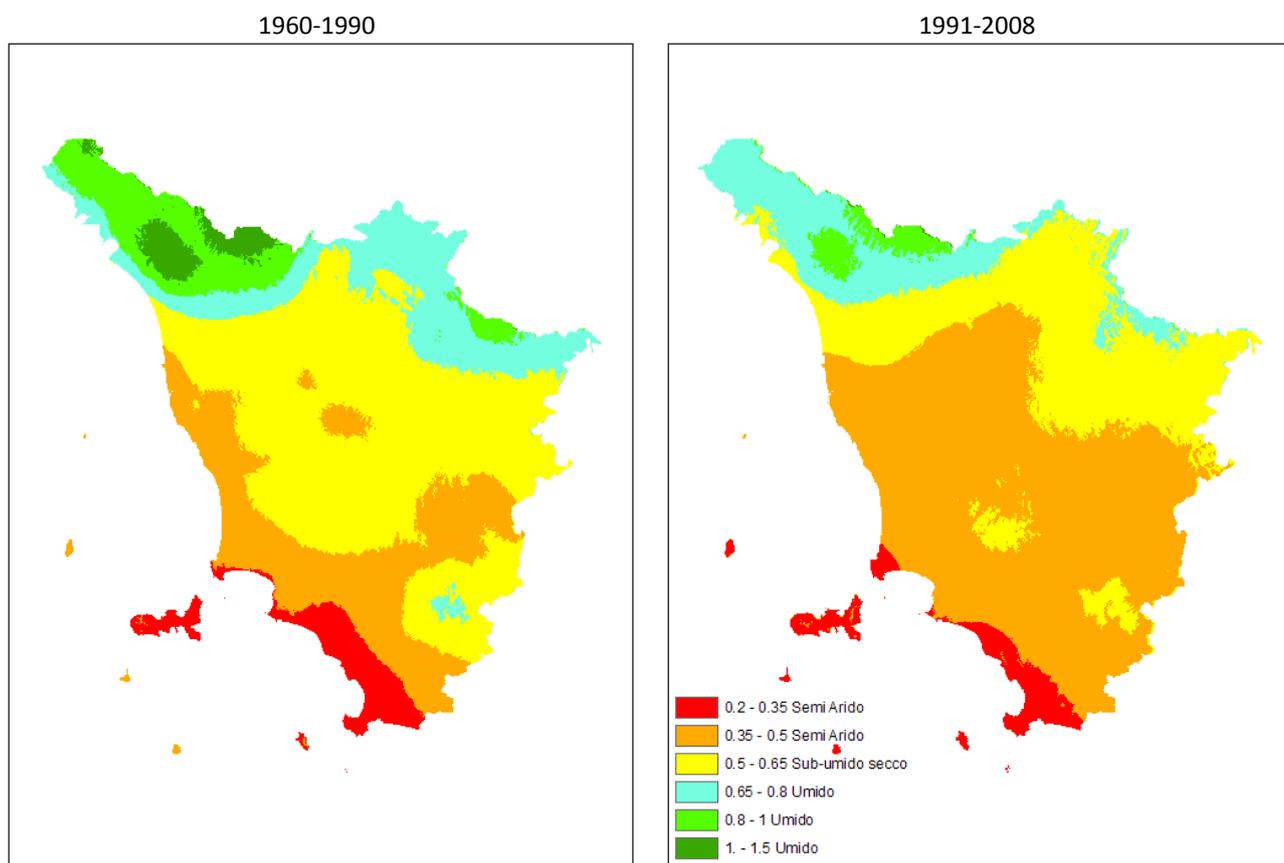
Avendo a disposizione tutti i piani informativi mensili di pioggia ed ETP, è quindi possibile l'elaborazione di una serie di carte dell'Indice di Aridità strutturale per il trentennio di riferimento 1961-1990 e per il diciottennio di confronto 1991-2008.

$$AI = \frac{\sum_1^n P_i}{\sum_1^n ETP_i}$$

Il calcolo dell'Indice di Aridità è stato effettuato sia a livello annuale che stagionale.

Secondo la classificazione di aridità dell'UNEP (*United Nations Environmental Program*) la Toscana presenta aree sub-umide secche e semi-aride solo in primavera ed estate, mentre annualmente l'intero territorio non sembra avere problemi di aridità; il fenomeno è spiegabile con il fatto che le precipitazioni e le temperature del periodo autunno-invernale vanno a “mascherare” i problemi che invece si hanno nelle due stagioni più calde.

Per la definizione delle aree sensibili alla desertificazione dal punto di vista climatico si è ritenuto opportuno prendere in considerazione, quindi, solo il periodo primaverile-estivo, sia per le ragioni sopra esposte sia perché questi mesi sono importanti per la vegetazione naturale, nonché per il settore agricolo; le fasi fenologiche più critiche di molte colture, infatti, si sviluppano nei periodi in cui maggiore è la possibilità di contrazione delle risorse idriche per riduzione delle piogge e l'eccessiva evapotraspirazione.



*Indice di Aridità primaverile-estivo per i periodi 61-90 e 91-08.*

La carta dell'Indice di Aridità relativa al periodo 1961-1990, così riclassificata, 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.

## **6.1.2 Siccità: lo *standardized precipitation index* (SPI)**

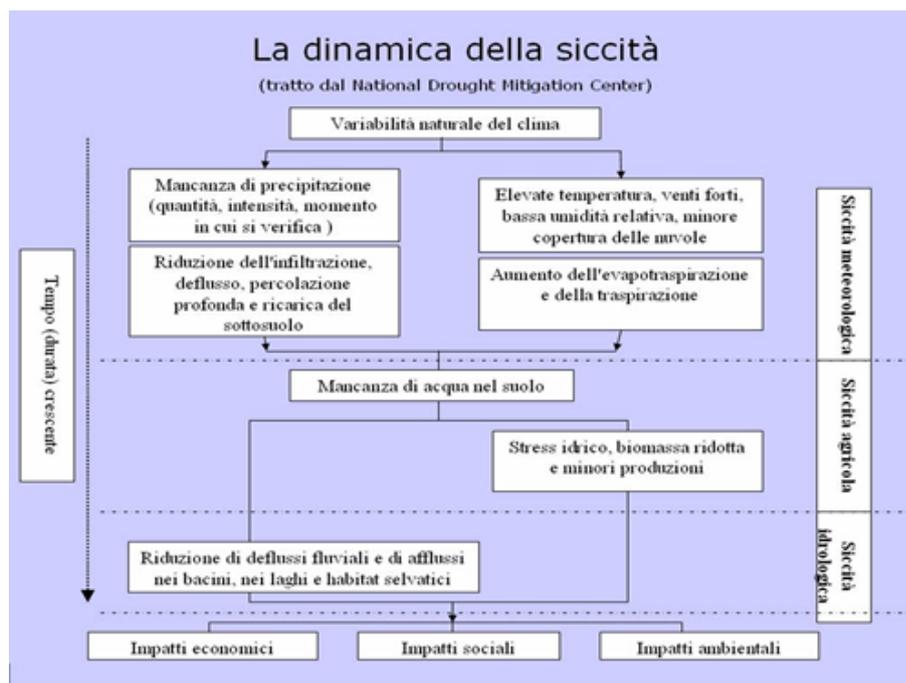
Abbiamo detto che la siccità è “una caratteristica normale e ricorrente del clima che può verificarsi in aree con differenti regimi climatici ed i cui impatti possono variare da regione a regione” (*The National Center of Drought of Australia*).

L'agricoltura è il principale consumatore di acqua ed è il primo a subire gli effetti di siccità intense che, se protratte anche e soprattutto durante i periodi di ricarica delle falde sotterranee e degli invasi superficiali, possono interessare anche gli ecosistemi naturali, il settore civile e quello industriale.

Si identificano comunemente diversi tipi di siccità, proprio in base alla durata ed al settore coinvolto:

- *meteorologica* – se si registra un'anomalia rispetto alla media del periodo considerato;
- *agricola* – si manifesta quando il fabbisogno idrico delle colture nelle loro varie fasi di sviluppo non è soddisfatto e c'è scarsità di acqua nello strato di suolo interessato dalle radici;
- *idrologica* – si manifesta a seguito di una prolungata riduzione/assenza delle precipitazioni che non sono in grado di rifornire nel breve, ma soprattutto nel lungo periodo, fiumi, bacini idrici e falde sotterranee;
- *socioeconomica* – è trasversale alle altre in quanto è legata al meccanismo di domanda offerta di risorsa idrica; si manifesta, quindi, quando la richiesta da parte di uno o più utilizzatori supera l'offerta come conseguenza di un deficit di rifornimento a causa delle condizioni meteorologiche sfavorevoli (scarse precipitazioni).

La carenza idrica, oltre ad essere una delle principali cause naturali dell'innescarsi di processi di degrado del suolo e desertificazione, ha come ulteriore impatto indiretto la riduzione del potenziale di sequestro della CO<sub>2</sub> da parte degli ecosistemi naturali.



Cause e dinamica della siccità (NDMC - National Drought Mitigation Center, 2003)

Data la complessità del fenomeno sono stati sviluppati innumerevoli indici, via via più complessi, che potessero monitorare la siccità, misurando quanto le precipitazioni si discostano dalla norma storicamente stabilita.

Nessuno degli indici può dirsi migliore degli altri in ogni circostanza, ma la loro efficacia varia a seconda degli usi e delle zone in cui vengono applicati.

Uno dei più completi è, ad esempio, il PDSI - *Palmer Drought Severity Index* (Palmer, 1965), basato non solo su dati di pioggia, ma anche su temperatura, ed AWC (*Available Water Content*) del suolo. Tale indice, però, non è adatto in regioni con una topografia complessa com'è quella della Toscana o che presentano estremi climatici frequenti; inoltre, i dati relativi all'umidità del suolo o al *runoff* (perdite per ruscellamento superficiale) non sono spesso disponibili.

Più idoneo per questo lavoro è stato ritenuto lo SPI - *Standardized Precipitation Index* (McKee et al., 1993) formulato per monitorare anomalie di pioggia a scale temporali diverse.

Lo SPI è un indice di probabilità basato esclusivamente sulle precipitazioni.

L'indice può essere calcolato per 3, 6, 12, 24 e 48 mesi, individuando, così, i differenti impatti della siccità sulla disponibilità delle varie risorse idriche (umidità del terreno, fiumi, laghi, falde sotterranee, ecc.).

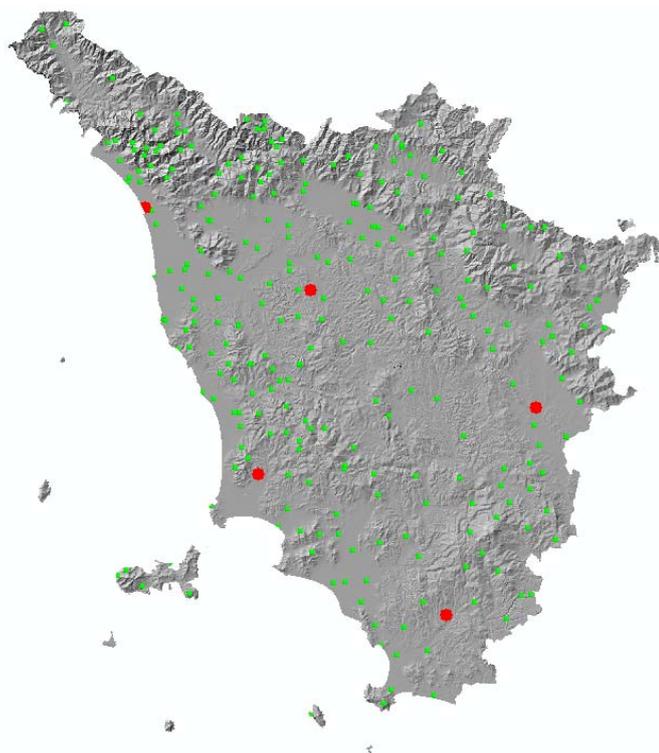
Un altro vantaggio consiste nell'essere un indice standardizzato (non influenzato dal dato medio di pioggia della stazione considerata), il che permette di poter confrontare stazioni climaticamente differenti.

## **Consorzio LAMMA**

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

---

Per la determinazione dell'indice è necessario disporre di serie storiche di dati pluviometrici mensili pari almeno ad un trentennio. I valori sono descritti con una probabilità di distribuzione che viene poi trasformata in una distribuzione normale, tale che lo SPI medio sia pari a zero, valori positivi indichino SPI superiori al dato normalmente atteso e valori negativi deficit di precipitazione. Secondo la classificazione adottata da McKee l'intensità di eventi umidi e di eventi secchi viene indicata con il numero di deviazioni standard rispetto alle condizioni normali.

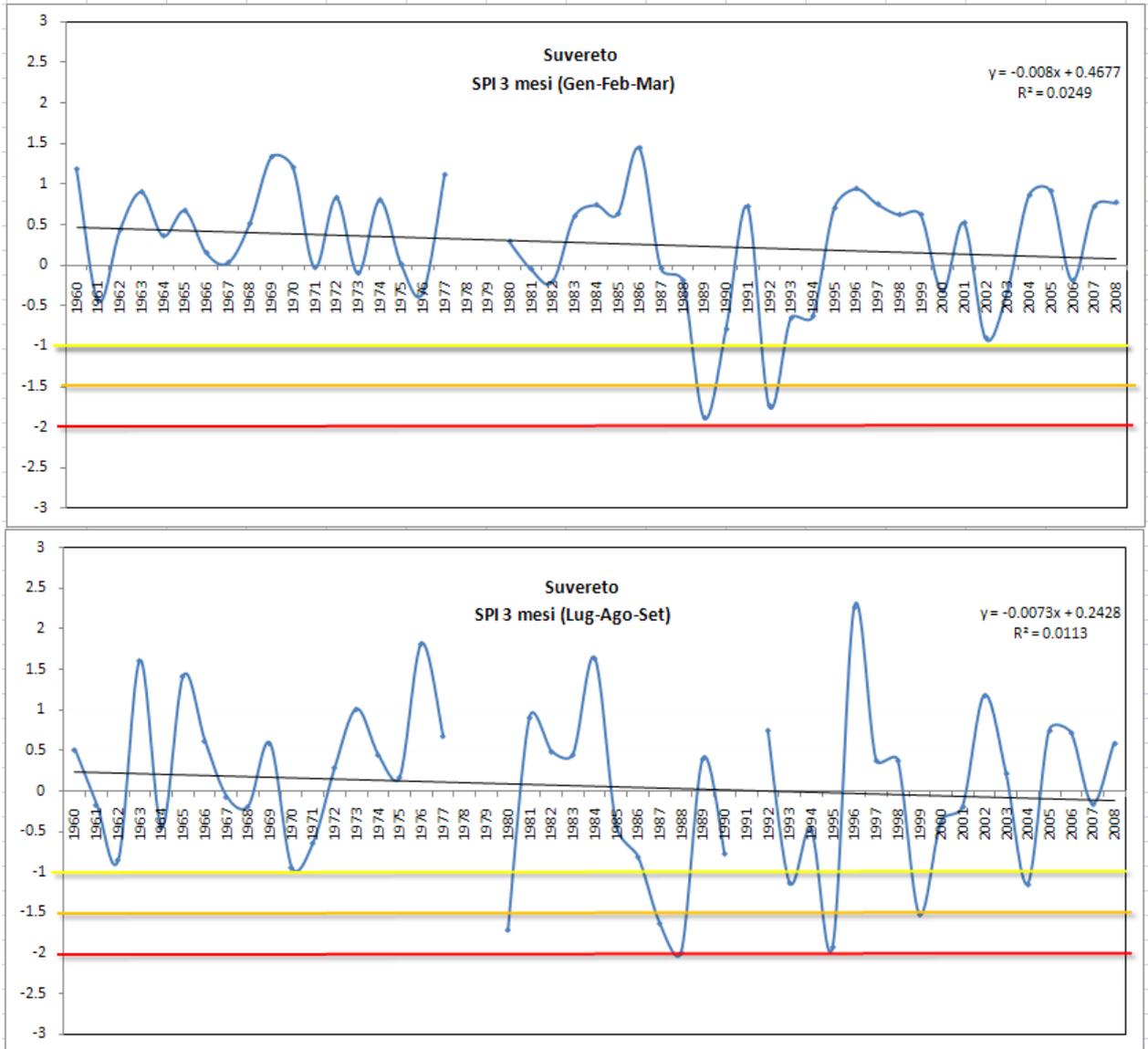


*Distribuzione delle stazioni termo pluviometriche (in giallo) e di alcune per le quali in seguito è mostrato il grafico dello SPI (in rosso)*

Sulla base di alcune stazioni di riferimento, scelte in modo da essere uniformemente distribuite sul territorio toscano, sono stati analizzati gli andamenti dello SPI nel periodo 1960-2008.

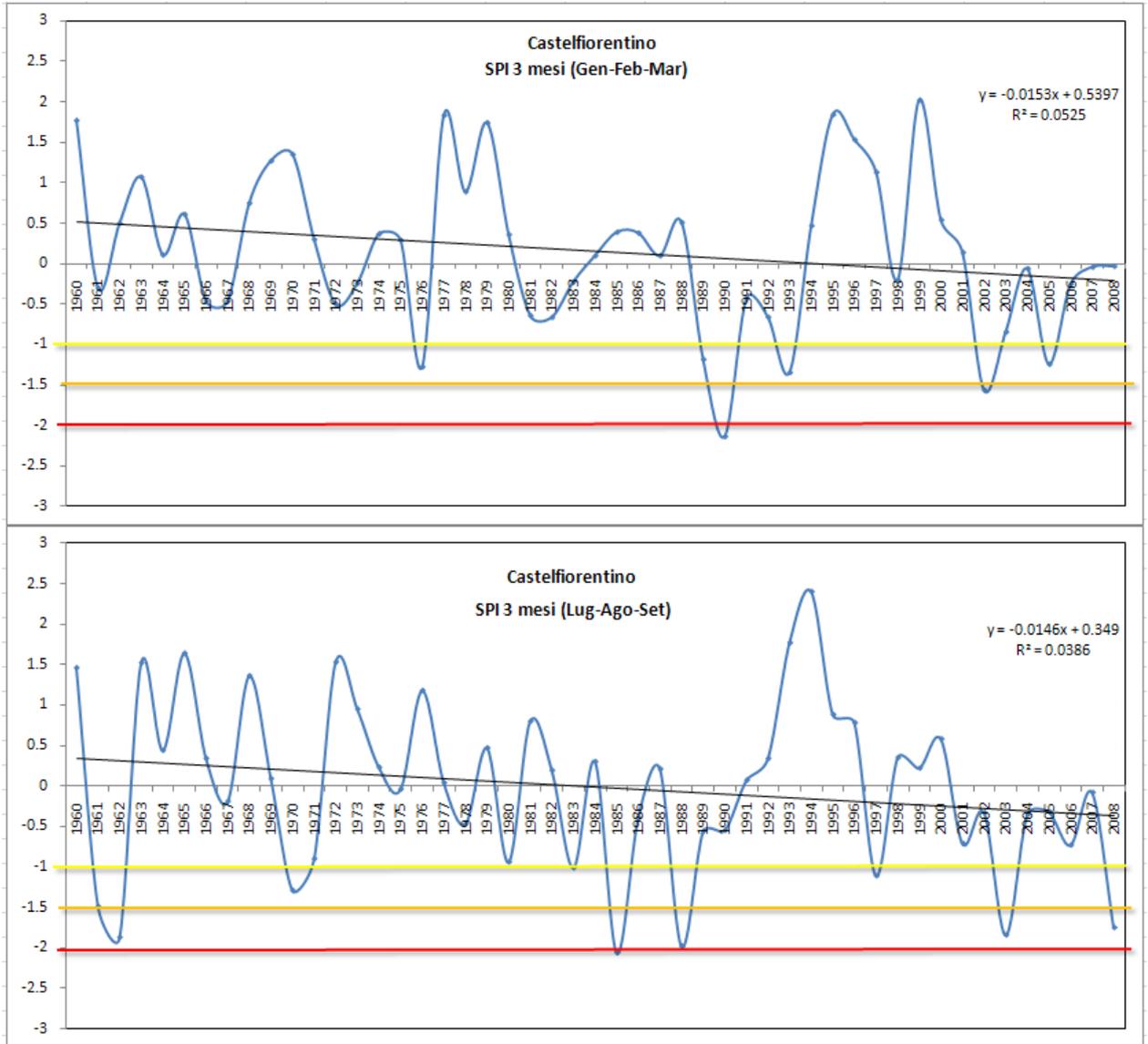
# Consorzio LAMMA

“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”



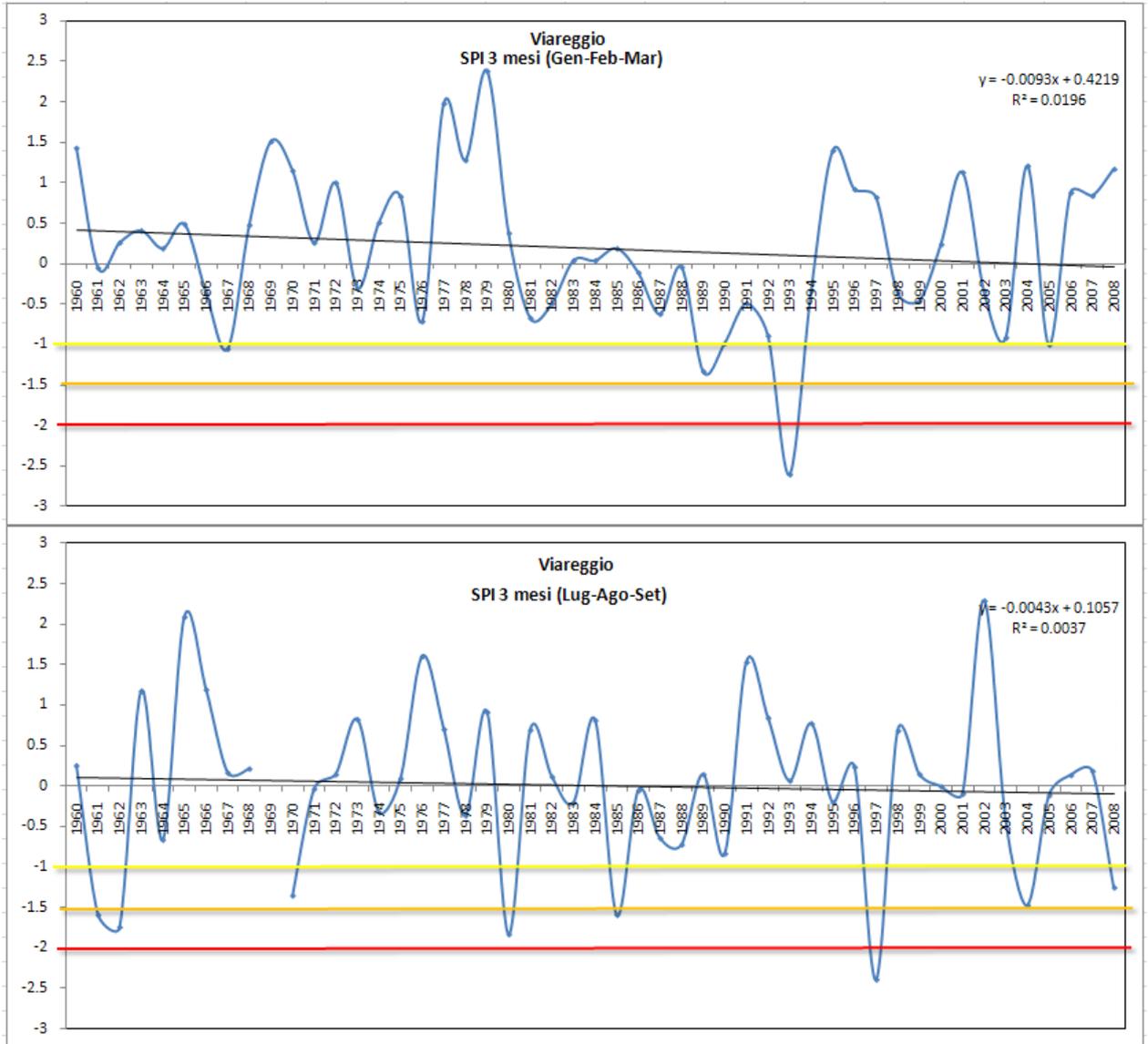
# Consorzio LAMMA

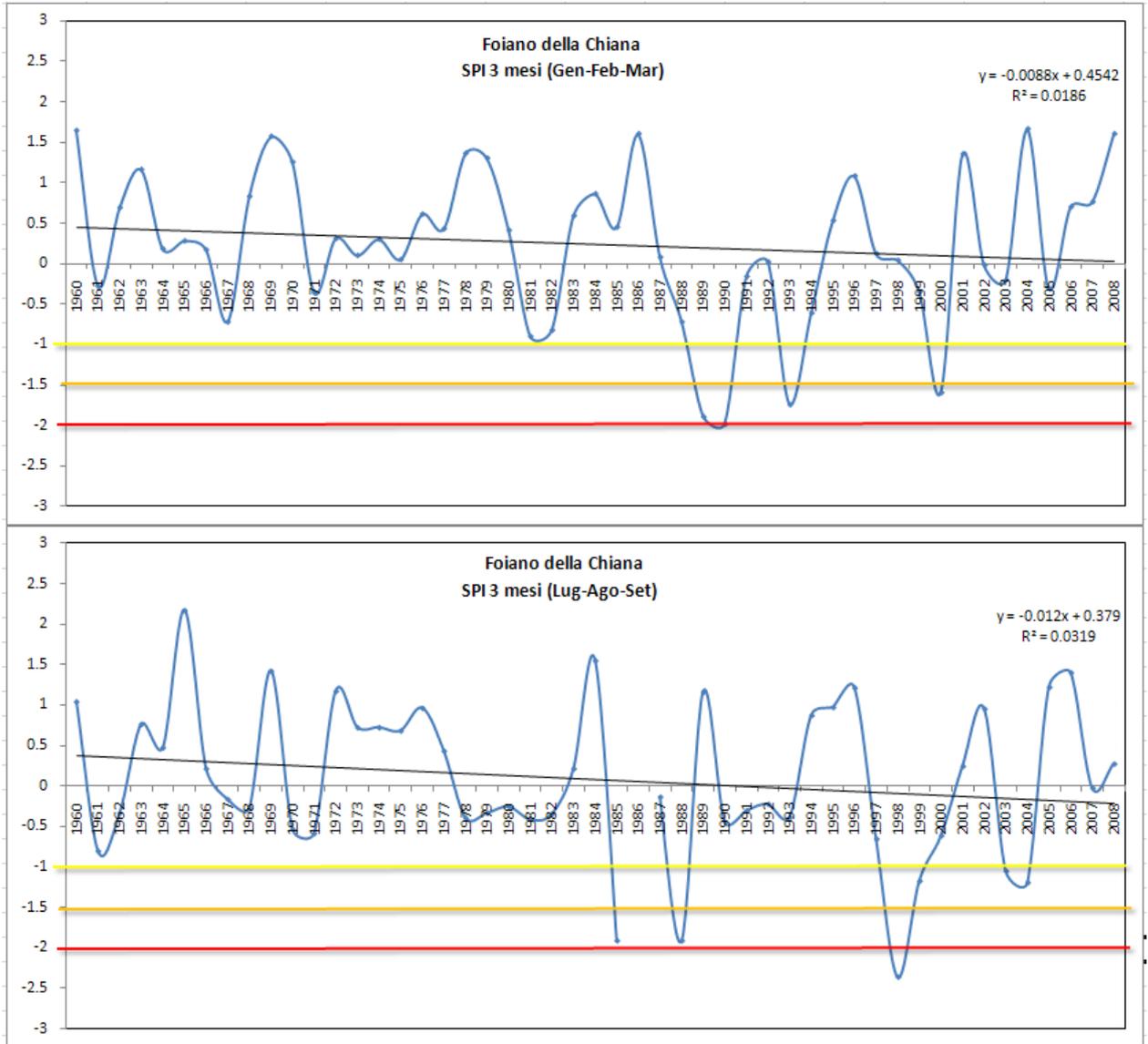
“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”

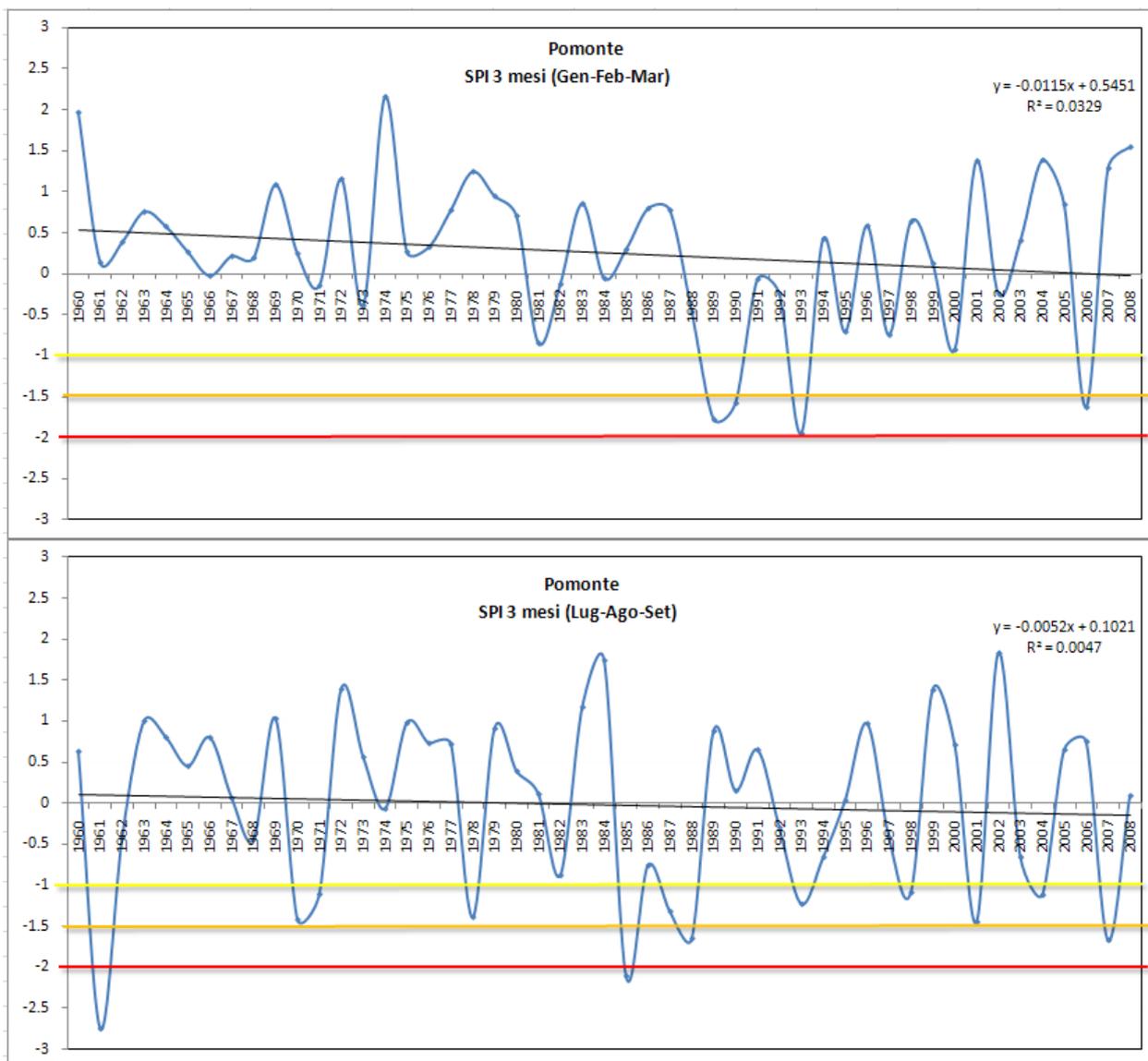


# Consorzio LAMMA

“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”







L'indice SPI, *Standardized Precipitation Index* ha mostrato un sensibile aumento dei fenomeni siccitosi invernali su tutto il territorio regionale nell'ultimo decennio. Nel periodo primaverile estivo invece si registra una maggiore variabilità.

### 6.1.3 L'INDICE DI QUALITÀ DEL CLIMA – CQI

Le quattro mappe di aridità e siccità sono incrociate per ottenere la carta relativa all'Indice di Qualità del Clima – CQI:

$$CQI = (AI_{61-90} * Var.\% AI_{91-08} * Freq. sicc.-61-90 * Var. \% freq. sicc.-08-91)^{1/4}$$

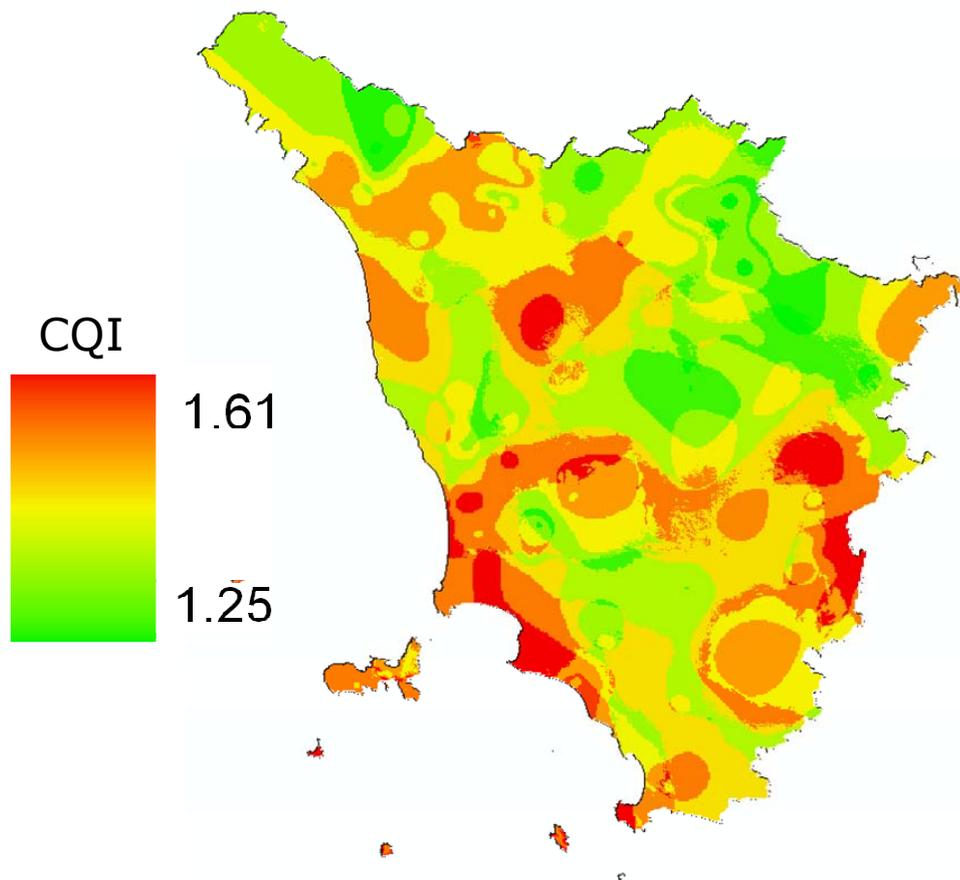
dove

**AI<sub>61-90</sub>** = Indice di aridità primaverile-estivo del periodo 1961-1990;

**Var.% AI<sub>91-08</sub>** = Variazione % dell'Indice di Aridità primaverile-estivo tra i periodi 1961-1990 e 1991-2008;

**Freq. sicc.<sub>61-90</sub>** = Percentuale delle frequenze siccitose primaverili-estive del periodo 1961-1990;

**Var. % freq. sicc.<sub>08-91</sub>** = Variazione % delle frequenze siccitose primaverili-estive tra i periodi 1991-2008 e 1961-1990.



*Carta del CQI (Climatic Quality Index)*

Dal punto di vista della criticità climatica tutte le zone con una colorazione dal giallo-arancio 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.

## **6.2 IL SUOLO**

I processi di degrado e riduzione del potenziale produttivo si innescano attraverso l'azione e modificazione di parametri "indiretti" quali il clima, la vegetazione e l'uomo, ma

anche la natura intrinseca del suolo stesso può favorire la desertificazione, attraverso fenomeni di erosione, lisciviazione delle sostanze nutritive o riduzione delle riserve idriche. Gli indicatori di qualità del suolo, infatti, sono legati al parametro acqua ed alla resistenza all'erosione idrica.

Tali indicatori si riferiscono ad alcune caratteristiche dei terreni facilmente valutabili, anche se, a scala regionale, richiedono operazioni di campionamento elevate, soprattutto per un territorio complesso come quello toscano.

La base cartografica utilizzata per le analisi è la Carta Pedologica della Regione Toscana, in scala 1:250.000, (<http://sit.lamma.rete.toscana.it/websuoli/>) basata su un numero di punti di sondaggio estremamente elevato.

Per ciascun punto di sondaggio sono stati definiti 5 parametri: profondità, tessitura, drenaggio, pietrosità e scheletro. Ogni parametro viene valutato e classificato secondo le proprie caratteristiche, a cui vengono attribuiti, a loro volta, degli score compresi fra 1 e 2. Si calcolano quindi le percentuali di punti di sondaggio appartenenti alla stessa classe rispetto al totale di sondaggi ricadenti nella singola unità ecopedologica. Tali percentuali sono infine moltiplicate per i rispettivi score e sommate in modo tale da ottenere, per ciascun poligono, un unico valore che tenga conto della variabilità presente in esso.

### **6.2.1 Profondità**

Nell'avvio ed evoluzione dei fenomeni di degradazione la profondità del suolo gioca un ruolo importante: su terreni sottili, ad esempio, lo sviluppo della vegetazione è limitato a specie erbacee o arbustive e l'evoluzione verso popolamenti arborei stratificati, che possono svolgere un'azione protettiva contro fenomeni erosivi, è impedita o limitata.

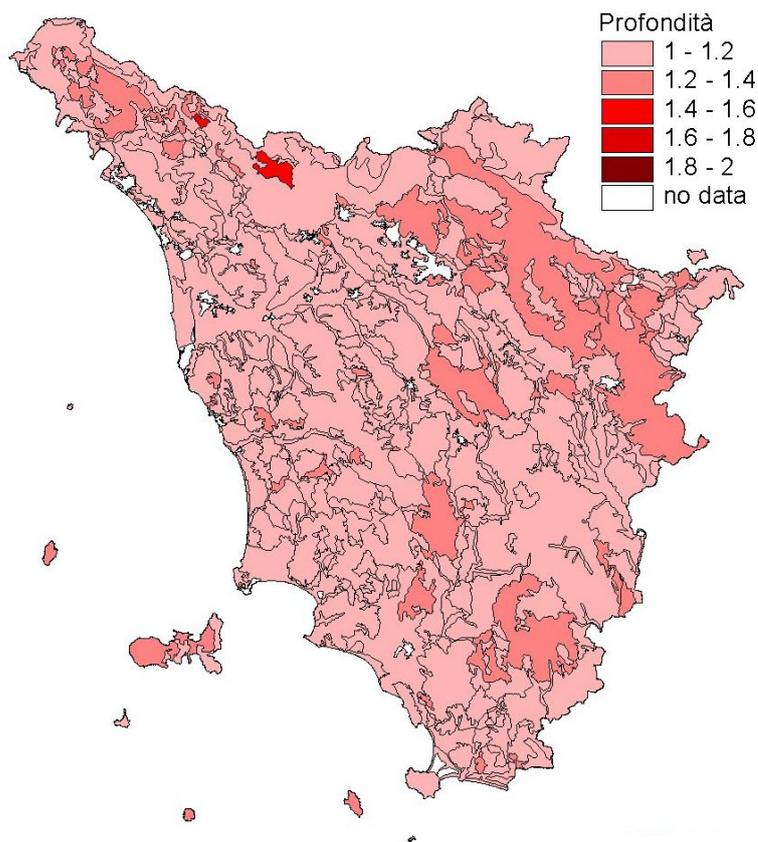
In base allo spessore del suolo sono state individuate 4 classi di profondità a cui si sono attribuiti gli score secondo la metodologia delle ESAs.

#### ***Profondità del suolo***

<b>Classe</b>	<b>Valore</b>	<b>Score</b>
Profondo	>75 cm	1
Moderato	75 - 30 cm	1.3
Sottile	30 - 15 cm	1.6
Molto Sottile	<15 cm	2

Come già accennato, il calcolo del valore finale delle unità ecopedologiche deriva dalla somma delle percentuali delle varie classi di profondità moltiplicate per i rispettivi *score*.

La carta della profondità media pesata dei suoli non indica criticità elevate e i valori maggiori si riscontrano, com'era logico aspettarsi, nelle zone appenniniche e collinari, dove la pendenza influisce sul trasporto del terreno verso zone più pianeggianti.



*Carta della profondità media pesata dei suoli, riclassificata secondo la metodologia ESAs*

### **6.2.2 Tessitura**

L'analisi della tessitura è fatta sulla frazione di terreno costituito da particelle con diametro inferiore a 2 mm.

La sabbia comprende particelle aventi diametro compreso fra 2 e 0.02 mm, il limo tra 0.02 e 0.002 mm, l'argilla particelle di diametro inferiore a 0.002 mm.

In base alla percentuale di particelle con dimensioni diverse si possono avere vari tipi di suoli.

Tali suoli sono stati classificati in base alle loro caratteristiche con *score* 1-2. I terreni sabbiosi presentano le proprietà "peggiori", quali ridotta capacità a trattenere l'acqua, scarsa plasticità ed incoerenza, tutti fattori che possono favorire l'erosione. Negativi, però, sono anche i suoli eccessivamente argillosi, generalmente caratterizzati da scarsa aerazione e da difficile drenaggio e che tendono a diventare duri e compatti allo stato secco.

## **Consorzio LAMMA**

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

---

### *Tessitura del suolo*

<b>Valore</b>	<b>Score</b>
F, FSA, FS, SF, FA	1
AS, FL, FLA	1.2
A, AL	1.6
S	2

Legenda:

F = terreni franchi

FSA = terreni franco-sabbioso-argillosi

FS = terreni franco-sabbiosi

SF = terreni sabbioso-franchi

FA = terreni franco-argillosi

AS = terreni argillo-sabbiosi

FL = terreni franco-limosi

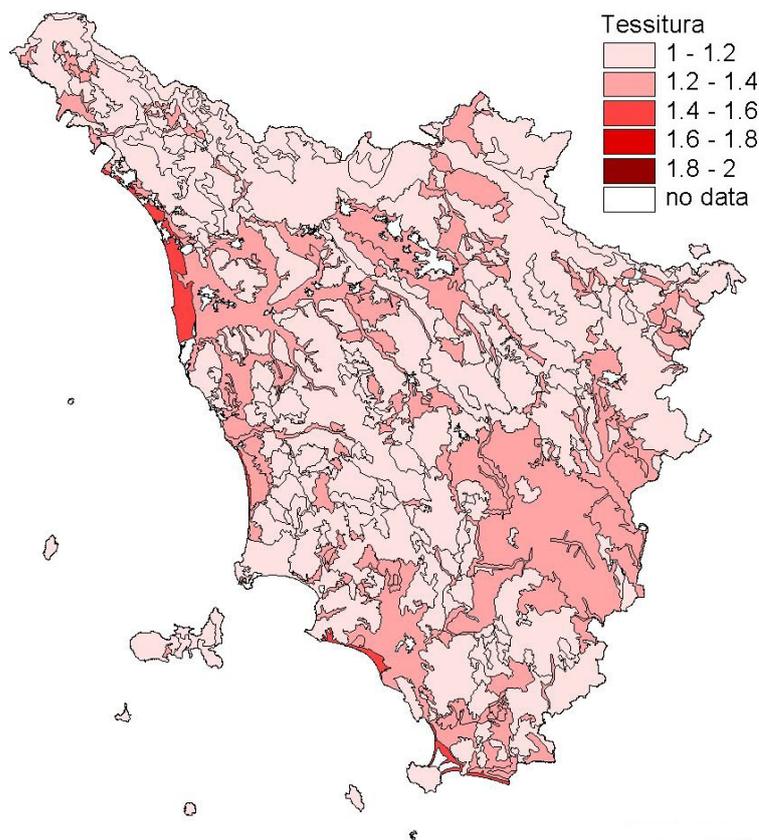
FLA = terreni franco-limoso-argillosi

A = terreni argillosi

AL = terreni argillo-limosi

S = terreni sabbiosi

La carta della tessitura media pesata dei suoli mostra come le zone più vulnerabili siano quelle costiere.



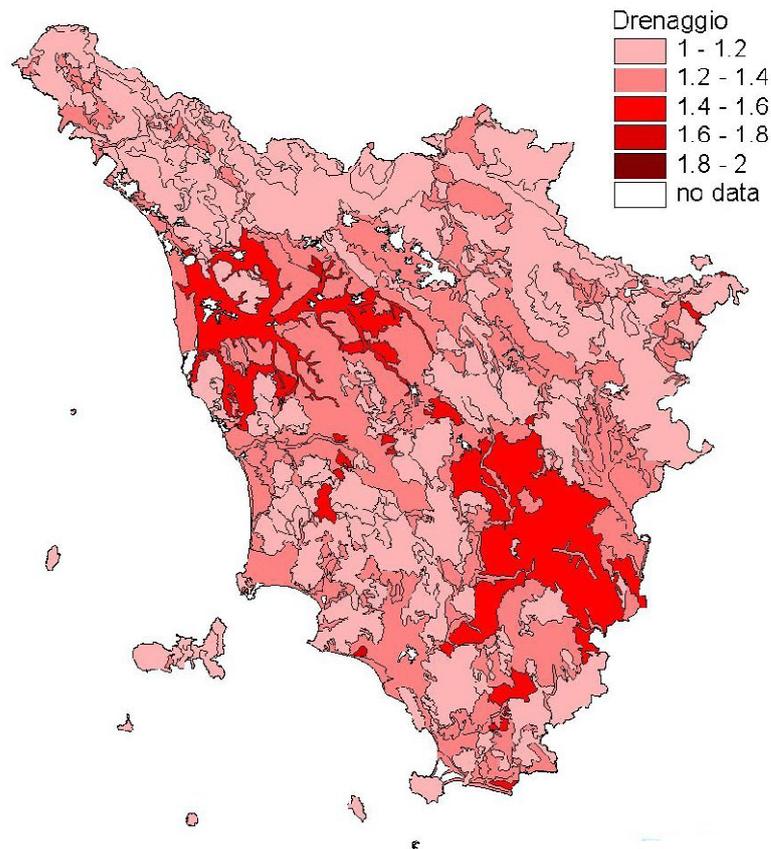
*Carta della tessitura media pesata dei suoli, riclassificata secondo la metodologia ESAs*

### **6.2.3 12. Drenaggio**

In un suolo con un buon drenaggio l'acqua è rimossa dal suolo prontamente ed è disponibile per le piante nella maggior parte della stagione di crescita senza che si verifichino eccessi di umidità limitanti per lo sviluppo vegetale. Nel caso, invece, di un terreno con scarsa capacità drenante, l'acqua è rimossa dal suolo così lentamente da permanere in superficie durante la maggior parte del periodo di crescita delle piante, provocando fenomeni di asfissia radicale o innescando processi erosivi in presenza di pendenze più o meno accentuate. Dall'attribuzione dello *score* 1-2 alle classi di drenaggio identificate in ogni punto di sondaggio si ottiene la carta del drenaggio medio pesato dei suoli per l'intera regione.

#### ***Drenaggio del suolo***

<b>Valore</b>	<b>Score</b>
Buono	1
Imperfetto	1.5
Scarso	2



*Carta del drenaggio medio pesato dei suoli, riclassificata secondo la metodologia ESAs*

#### **6.2.4 Pietrosità**

Per pietrosità si intende la percentuale di pietre o altro materiale di dimensione superiore a 2 mm presenti sulla superficie del suolo.

In base alle dimensioni dei frammenti si possono distinguere diverse classi di pietrosità:

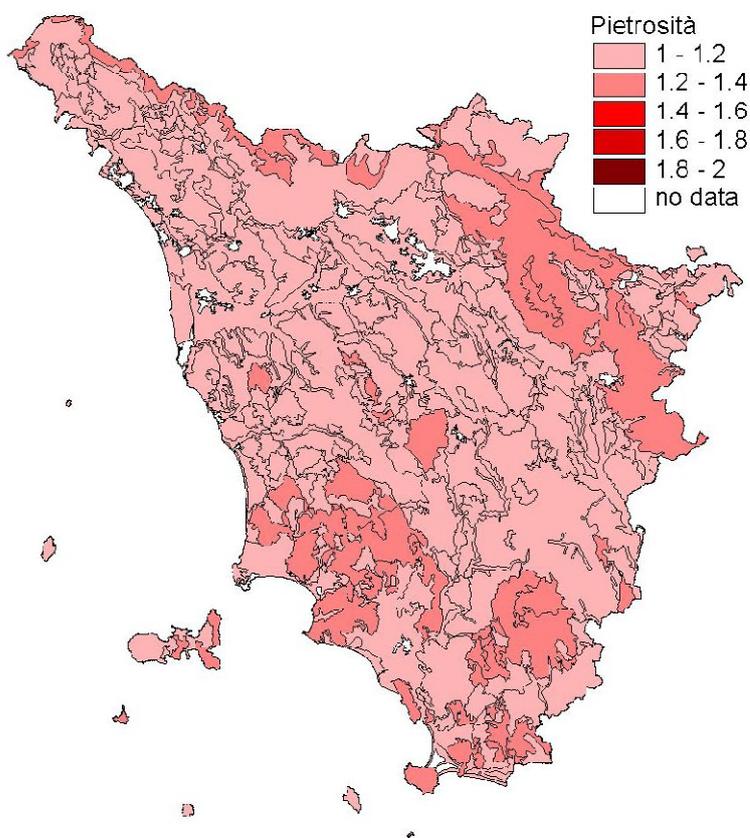
- Ghiaie 20-75 mm
- Ciottoli 76-250 mm
- Pietre 251-500 mm
- Blocchi > 500 mm

Una pietrosità moderata può avere degli effetti positivi sul terreno, permettendo la conservazione dell'umidità in condizioni di stress idrico moderato, come quello che si può avere in primavera ed inizio estate. Al contrario, l'eccessiva presenza di frammenti di roccia incoerente favorisce il ruscellamento superficiale e l'erosione, riducendo fortemente lo spessore di suolo ed accentua, soprattutto nei climi mediterranei, la perdita di acqua per evaporazione.

Di questo si è tenuto conto nell'attribuire gli *score* alle classi di pietrosità delle unità ecopedologiche.

### Pietrosità del suolo

Classe	Valore	Score
Molto pietrosi	>60 %	2
Pietrosi	20 - 60 %	1.6
Poco pietrosi	<20 %	1.33
Assente		1



Carta della pietrosità media pesata dei suoli, riclassificata secondo la metodologia ESAs

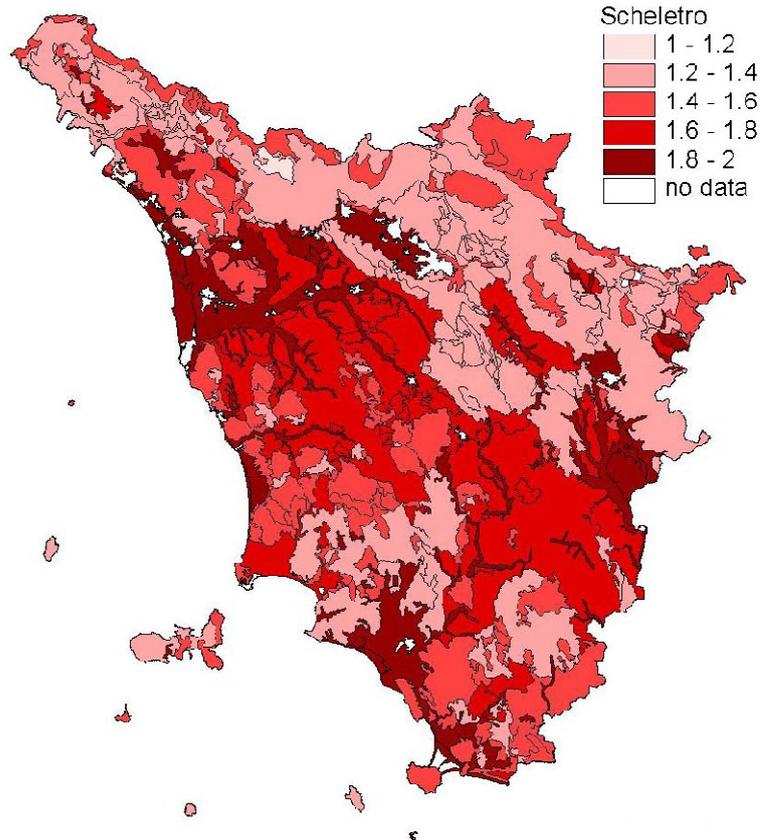
### 6.2.5 Scheletro

Lo scheletro si riferisce agli elementi litoidi presenti nel suolo, con diametro superiore a 2 mm. Un terreno con una buona percentuale di scheletro è un terreno ben areato, con caratteristiche di porosità, permeabilità e circolazione delle soluzioni tali da consentire la crescita delle piante e lo sviluppo radicale in profondità. Nella classificazione dei terreni in base a questo parametro, suoli privi di scheletro sono considerati i peggiori.

*Scheletro*

Classe	Valore	Score
Scheletrico	>60 %	1
Poco scheletrico	20 - 60 %	1.5
Assente	<20 %	2

Gli *score* più alti si hanno nelle valli e pianure a carattere fortemente agricolo e lungo le coste.



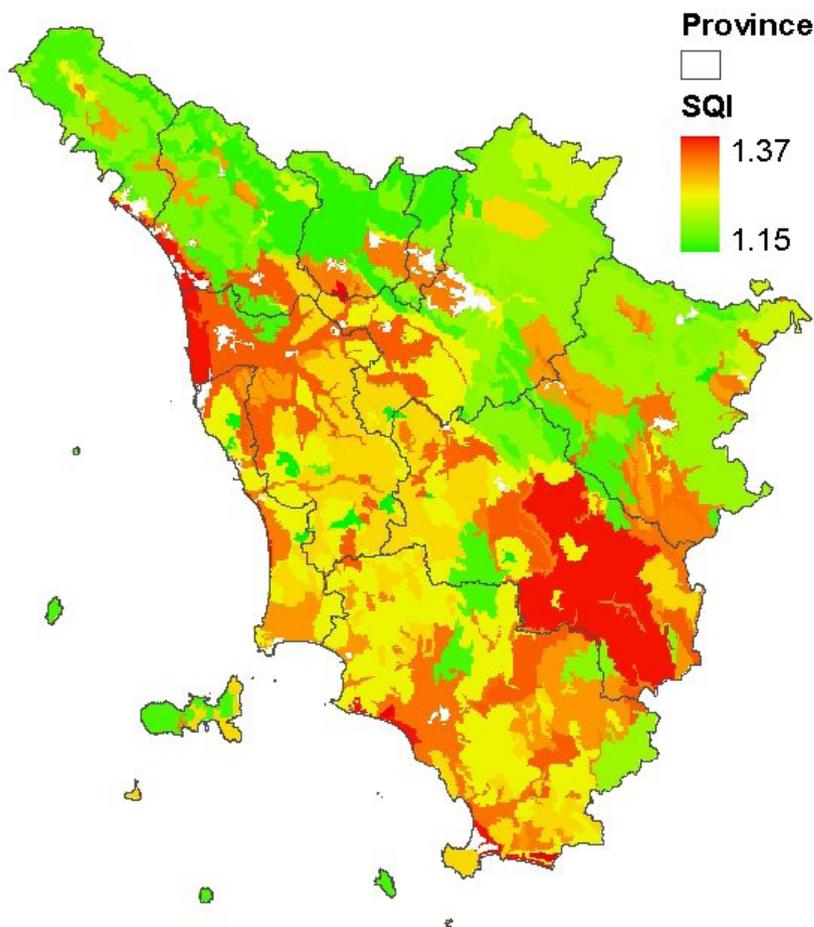
*Carta dello scheletro medio pesato in superficie dei suoli, riclassificata secondo la metodologia ESAs.*

**6.2.6 L'INDICE DI QUALITÀ DEI SUOLI - SQI**

Dall'aggregazione dei 5 indicatori legati alle principali caratteristiche dei suoli, che possono influire sui processi di degrado e desertificazione, si ottiene la carta dell'Indice di Qualità dei Suoli - SQI:

$$\text{SQI} = (\text{Profondità} * \text{Tessitura} * \text{Drenaggio} * \text{Pietrosità} * \text{Scheletro})^{1/5}$$

La carta finale non mostra livelli di criticità elevati per quanto riguarda il suolo, ma una certa vulnerabilità è presente lungo la costa pisano-lucchese e quella di Grosseto, nella zona di Orbetello e soprattutto una vasta area del sud-est senese (nord-est dell’Amiata, val d’Orcia e Crete Senesi).



*Carta del SQI (Soil Quality Index)*

### **6.3 LA VEGETAZIONE**

La vegetazione, con la sua biodiversità, la presenza più o meno intensa, l’interazione con l’uomo e le sue attività, ha anch’essa notevole influenza sulla conservazione della fertilità del suolo. Per definire la sensibilità del territorio al degrado dal punto di vista vegetazionale è necessario scegliere indicatori idonei ad una valutazione quali-quantitativa comprensiva di diversi aspetti. Fenomeni climatici estremi, quale la siccità o al contrario le gelate, hanno un impatto sulla vegetazione che varia da specie a specie a seconda della loro resistenza agli stress idrici e agli sbalzi di temperatura; allo stesso modo la struttura dei tessuti vegetali e la fisiologia influiscono sull’inflammabilità e, quindi, sulla probabilità di essere più o meno facilmente soggetti ad incendi. D’altro lato una funzione positiva della vegetazione è ad

esempio, quella dai fenomeni di erosione che possono essere notevolmente attenuati a seconda del tipo di copertura vegetale. Tutte queste funzioni naturali possono però essere alterate dall'intervento dell'uomo che può accelerare i fenomeni negativi: ad esempio, i sempre più frequenti incendi che devastano ogni anno decine di ettari di vegetazione mettono a nudo il suolo innescando dei processi di degradazione molto importanti.

### **6.3.1 L'indicatore di protezione dall'erosione**

Una delle primarie funzioni che svolge la vegetazione è quella di protezione dall'erosione. La presenza del manto vegetale, infatti, attutisce l'impatto della pioggia sul terreno riducendo il ruscellamento superficiale, mentre l'apparato radicale migliora la struttura del suolo impedendo un'eccessiva percolazione ed il dilavamento delle sostanze nutritive grazie all'aumentata capacità d'infiltrazione. L'efficacia dell'azione protettiva varia in base al grado e tipo di copertura (erbacea, arbustiva o arborea), alla struttura del popolamento, alle specie.

Utilizzando come base cartografica tematica il CORINE Land Cover tutte le classi relative alla vegetazione naturale e non sono state riclassificate tra 1 e 2.

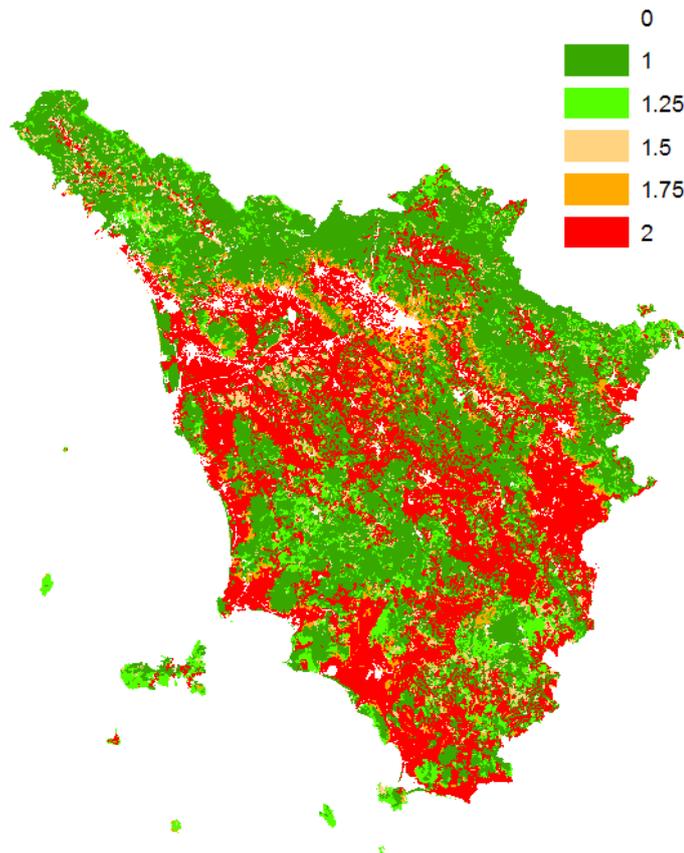
#### *Protezione dall'erosione*

CODICE	DESCRIZIONE	Score
111	Tessuto urbano continuo	0
112	Tessuto urbano discontinuo	0
121	Aree industriali o commerciali	0
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	0
123	Aree portuali	0
124	Aeroporti	0
131	Aree estrattive	0
132	Discariche	0
133	Cantieri	0
141	Aree verdi urbane	0
142	Aree sportive e ricreative	0
211	Seminitavi in aree non irrigue	2
213	Risaie	0
221	Vigneti	2
222	Frutteti e frutti minori	1.5
223	Uliveti	1.75
231	Prati stabili	1.25
241	Colture annuali associate e colture permanenti	1.75
242	Sistemi colturali e particellari permanenti	2
243	Aree prev. occup.da colture agrarie, con spazi nat.	1.5
244	Aree agroforestali	1.75
311	Boschi di latifoglie	1
312	Boschi di conifere	1
313	Boschi misti	1
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	1.25

## Consorzio LAMMA

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

322	Brughiere e cespuglieti	1.25
323	Aree a vegetazione sclerofilla	1.25
324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	1.25
331	Spiagge, dune, sabbie	1.75
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	1.75
333	Aree con vegetazione rada	1.5
334	Aree percorse da incendi	1.75
411	Paludi interne	0
421	Paludi salmastre	0
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	0
512	Bacini d'acqua	0
521	Lagune	0



*Carta della protezione della vegetazione dall'erosione riclassificata secondo la metodologia ESAs*

I valori più alti si riferiscono alle aree agricole, dove le coltivazioni, per lo più di tipo erbaceo, e le cure colturali messe in atto danno al terreno una protezione minore. Anche le colture arboree ed i rimboschimenti hanno un potenziale protettivo ridotto, data la natura dell'impianto, regolare e/o distanziato e monoplano che non permette un'elevata copertura del suolo.

### **6.3.2 L'indicatore di resistenza alla siccità**

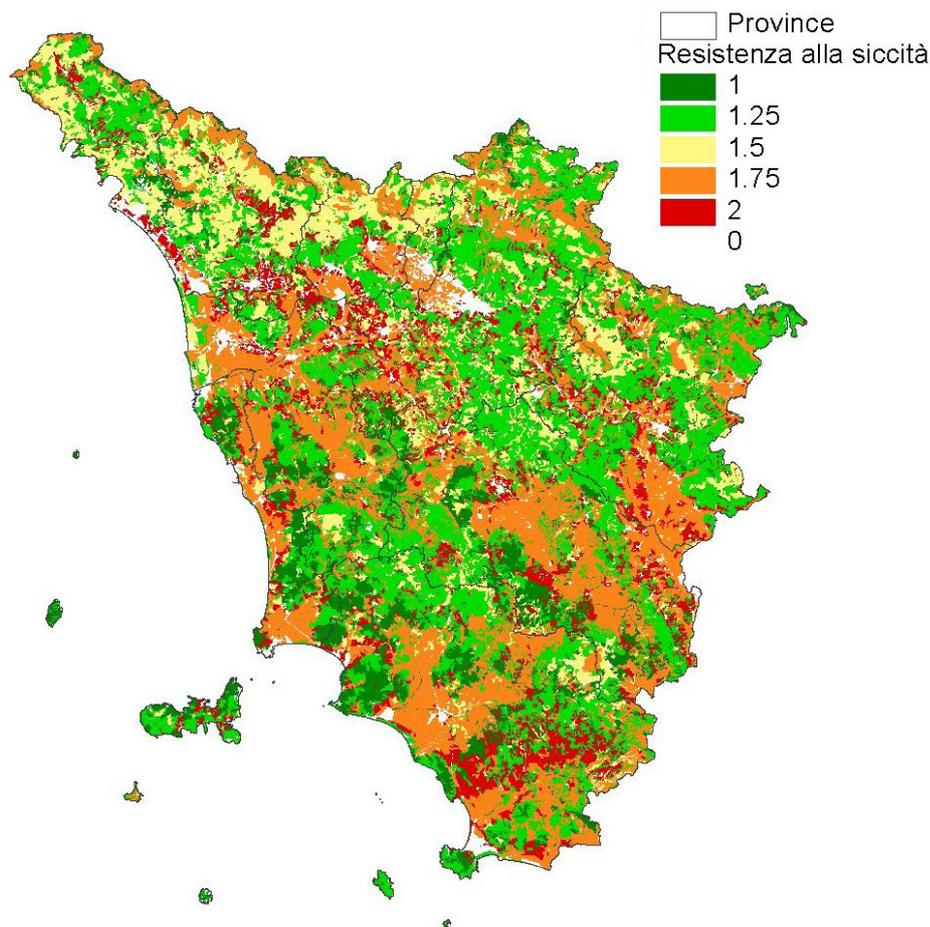
Affinché la vegetazione possa proteggere il suolo dall'erosione e dalla riduzione della fertilità è necessario che l'attività vegetativa non venga alterata da stress di varia natura, tra cui eventi climatici estremi quale, ad esempio, la siccità.

Anche in questo caso la risposta delle piante non è sempre la stessa: le specie che crescono in ambiente mediterraneo, ad esempio, si sono adattate alle particolari condizioni termopluviometriche ed hanno, quindi, una maggiore resistenza rispetto a specie prettamente montane.

Anche per la definizione della sensibilità della vegetazione alla siccità si è ricorso al CORINE Land Cover, opportunamente riclassificato:

#### ***Resistenza alla siccità***

<b>Descrizione</b>	<b>Score</b>
Boschi a prevalenza di querce sempreverdi (leccio e/o sughera). Boschi di pini mediterranei. Praterie aride calcaree. Praterie aride silicicole. Arbusteti montani, arbusteti termofili, arbusteti xerofili. Macchia alta. Aree con vegetazione psammofila litorale, aree prive di vegetazione.	1
Oliveto puro, oliveto misto ad altre colture permanenti. Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti di diverso tipo, spazi naturali costituiti da pascoli e/o cespuglieti, spazi naturali costituiti da aree in evoluzione e/o bosco. Boschi di querce caducifoglie. Boschi misti termofili. Boschi di conifere non native. Boschi naturali misti (conifere e latifoglie). Macchia bassa e/o gariga.	1.25
Vigneti a filare, vigneti a tendone, altri tipi di vigneto. Frutteti, agrumeti, formazioni forestali a prevalente produzione di frutti (castagneti e noceti). Colture temporanee associate a colture permanenti di tipo diverso, colture temporanee associate a vigneti, colture temporanee associate ad oliveti, Colture temporanee associate a frutteti. Boschi a dominanza di latifoglie mesofile. Boschi a dominanza di castagno. Rimboschimenti. Boschi di abete bianco e/o abete rosso. Boschi artificiali misti (conifere e latifoglie).	1.5
Seminativi semplici in aree non irrigue. Prati stabili. Boschi a dominanza di faggio.	1.75
Colture orticole in pieno campo in aree non irrigue. Risaie. Colture annuali alternate a prati stabili e colture permanenti, colture annuali alternate a prati stabili, colture annuali alternate a colture permanenti. Boschi igrofili.	2



*Carta della resistenza della vegetazione alla siccità, riclassificata secondo la metodologia ESAs.*

### **6.3.3 Gli incendi**

Il fuoco è un fattore di grande potenza per le modificazioni ambientali: può influire, infatti, sulla composizione e struttura dei popolamenti vegetali ed animali. Le condizioni di un ecosistema sottoposto all'azione del fuoco dipendono sia dal suo ritorno, sia dalla sua intensità.

Gli incendi determinano una mineralizzazione della sostanza organica più rapida di quella determinata dai processi naturali, con conseguente perdita di elementi nutritivi per dilavamento o lisciviazione.

Il fuoco, inoltre, modifica l'infiltrazione dell'acqua agendo sulla struttura del terreno, sigillando i pori e le fenditure, creando una crosta carbonizzata e formando uno strato idrorepellente.

La pioggia, scivolando sullo strato impermeabile, crea uno scorrimento laminare superficiale, accelerando la rimozione ed il trasporto delle particelle, non più frenato dalla copertura vegetale. Dove il suolo è poco stabile e la roccia non è compatta, la ripetizione degli

incendi comporta un'erosione maggiore della velocità di ricolonizzazione e rinnovazione da parte della vegetazione.

I fattori di cui bisogna tener conto in un'analisi delle aree più sensibili al fenomeno degli incendi sono essenzialmente due, uno "naturale" e l'altro "antropico".

L'infiammabilità delle specie e la struttura della vegetazione influiscono sulla potenzialità e propensione all'innescarsi e diffondersi di un incendio, ma è l'incidenza dell'azione umana (involontaria o intenzionale che sia) che aumenta la gravità e l'impatto del fenomeno sulla conservazione del suolo.

Per questo l'approccio al problema deve essere duplice, come duplici devono essere gli indicatori necessari alla sua definizione.

### **6.3.3.1 L'indicatore vulnerabilità agli incendi**

Gli ecosistemi mediterranei, nonostante l'incendio determini gli effetti esposti in precedenza, presentano meccanismi di resistenza maggiori, permettendo una ricostituzione del manto vegetale in tempi alquanto brevi.

La capacità di rigenerazione delle piante dipende dal tipo di vegetazione preesistente all'incendio e da come viene gestita l'area dopo l'evento. In condizioni naturali la vegetazione si ripristina grazie alla capacità di ricostituire la parte aerea attraverso le riserve rimaste nella zona ipogea e non danneggiate o per mezzo della germinazione dei semi, favorita dalle alte temperature.

In base alle classi del CORINE Land Cover si è ricavata la carta della vulnerabilità intrinseca della vegetazione agli incendi, basata sulla diversa infiammabilità delle specie e riclassificata con *score* 1-2.

La vegetazione sclerofilla e le aghifoglie mediterranee sono più facilmente predisposte agli incendi, data la loro natura e fisiologia, ma gli adattamenti a condizioni estreme, aggravate dal secolare uso del fuoco da parte dell'uomo, hanno altresì permesso di mettere in atto meccanismi di "difesa" e conservazione più efficaci rispetto ad altre specie.

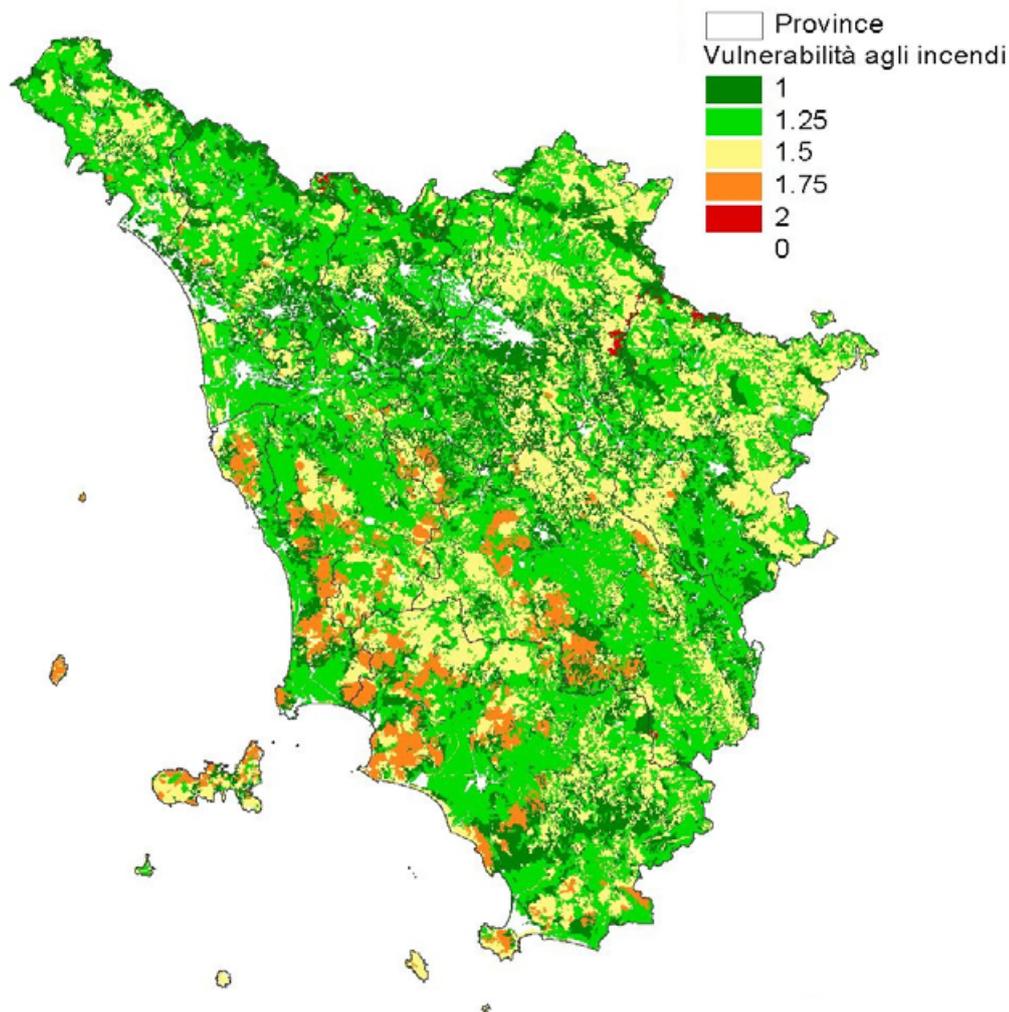
#### ***Vulnerabilità agli incendi***

<b>Descrizione</b>	<b>Score</b>
Colture orticole in pieno campo in aree non irrigue. Risaie. Vigneti a filare, vigneti a tendone, altri tipi di vigneto. Frutteti, agrumeti, Formazioni forestali a prevalente produzione di frutti (castagneti e noceti). Oliveto puro, oliveto misto ad altre colture permanenti. Colture temporanee associate a colture permanenti di tipo diverso, colture temporanee associate a vigneti, colture temporanee associate ad oliveti, colture temporanee associate a frutteti. Colture annuali alternate a prati stabili e colture permanenti, colture annuali alternate a prati stabili, colture annuali alternate a colture permanenti. Boschi a dominanza di faggio. Boschi igrofili. Aree con vegetazione psammofila litorale, Aree prive di vegetazione.	1
Seminativi semplici in aree non irrigue. Prati stabili. Aree prevalentemente occupate da colture	1.25

## Consorzio LAMMA

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

agrarie con presenza di spazi naturali importanti di diverso tipo, spazi naturali costituiti da pascoli e/o cespuglieti, spazi naturali costituiti da aree in evoluzione e/o bosco. Boschi a dominanza di latifoglie mesofile. Boschi a dominanza di castagno. Boschi di abete bianco e/o abete rosso. Boschi artificiali misti (conifere e latifoglie). Praterie aride calcaree. Praterie aride silicicole.	
Boschi di querce caducifoglie. Boschi misti termofili. Boschi di conifere non native. Rimboschimenti. Boschi naturali misti (conifere e latifoglie). Arbusteti montani, arbusteti termofili, arbusteti xerofili. Macchia bassa e/o gariga.	1.5
Boschi a prevalenza di querce sempreverdi (leccio e/o sughera). Macchia alta.	1.75
Boschi di pini mediterranei.	2



*Carta della resistenza della vegetazione agli incendi, riclassificata secondo la metodologia ESAs*

### 6.3.3.2 L'indice rischio d'incendio

La secolare presenza dell'uomo sul territorio e lo sfruttamento delle risorse naturali hanno sottoposto gli ambienti mediterranei alla continua azione del fuoco, tanto che molti autori hanno cominciato a parlare di "ecosistemi del fuoco".

## **Consorzio LAMMA**

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

---

Il fuoco veniva impiegato per creare nuovi spazi agricoli o per “rinnovare” il suolo dopo il raccolto, apportando sostanze minerali contenute nella cenere; oggi, però, il ripetersi sempre più frequente di incendi ha assunto una connotazione ben diversa, legata alla disattenzione o più spesso “all’intenzione” di arrecare danno per vendetta, divertimento o per poter trovare impiego nelle azioni di spegnimento.

Per tale motivo presso il Consorzio LaMMA è stato implementato un modello in grado di mettere in evidenza la suscettibilità di un’area a subire l’innesco e la propagazione di un incendio boschivo tenendo conto di diversi fattori legati al territorio.

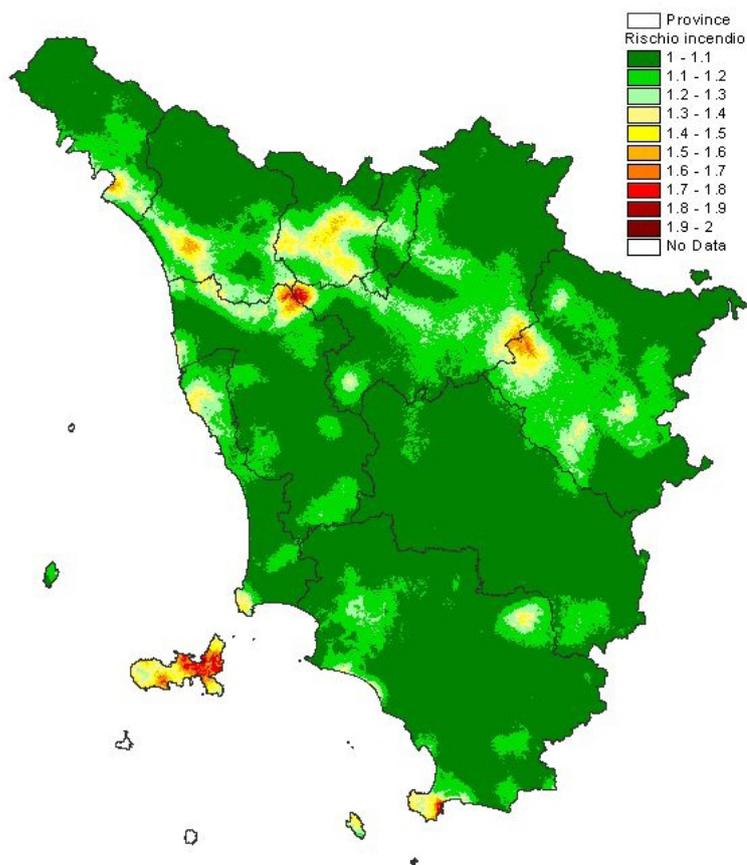
Il **Rischio Intrinseco** d’incendio, definito anche **Strutturale**, è stato determinato utilizzando i seguenti strati informativi:

- Quota;
- Pendenza;
- Esposizione;
- Carta di Uso del Suolo;
- Distanza dalle strade;
- Densità degli abitanti.

Ogni *layer* è in formato *raster* ed ha una risoluzione della cella pari a 100 metri. Unitamente alle suddette informazioni, sono stati utilizzati i dati dei punti d’innesco degli incendi avvenuti negli ultimi 20 anni, digitalizzando le informazioni contenute nelle schede AIB (Anti Incendi Boschivi) della Regione Toscana. Per ogni *layer* è stata verificata la distribuzione di frequenza dei punti d’innesco relativamente alle varie classi. In ciascuno strato informativo le classi con le frequenze maggiori sono quelle a maggior rischio. I *layer* sono stati quindi riclassificati in base alle distribuzioni di frequenza relative ai punti d’innesco. L’Indice globale è stato realizzato moltiplicando i singoli Fattori riclassificati:

$$\text{Rischio Incendio Strutturale} = F_{\text{quota}} * F_{\text{pendenza}} * F_{\text{esposizione}} * F_{\text{uso suolo}} * F_{\text{distanza strade}} * F_{\text{densità abitanti}}$$

La definizione dei parametri ed il loro incrocio per ottenere la carta di Rischio d’Incendio Boschivo vengono effettuati attraverso l’analisi di immagini telerilevate e l’utilizzo di tecniche GIS.

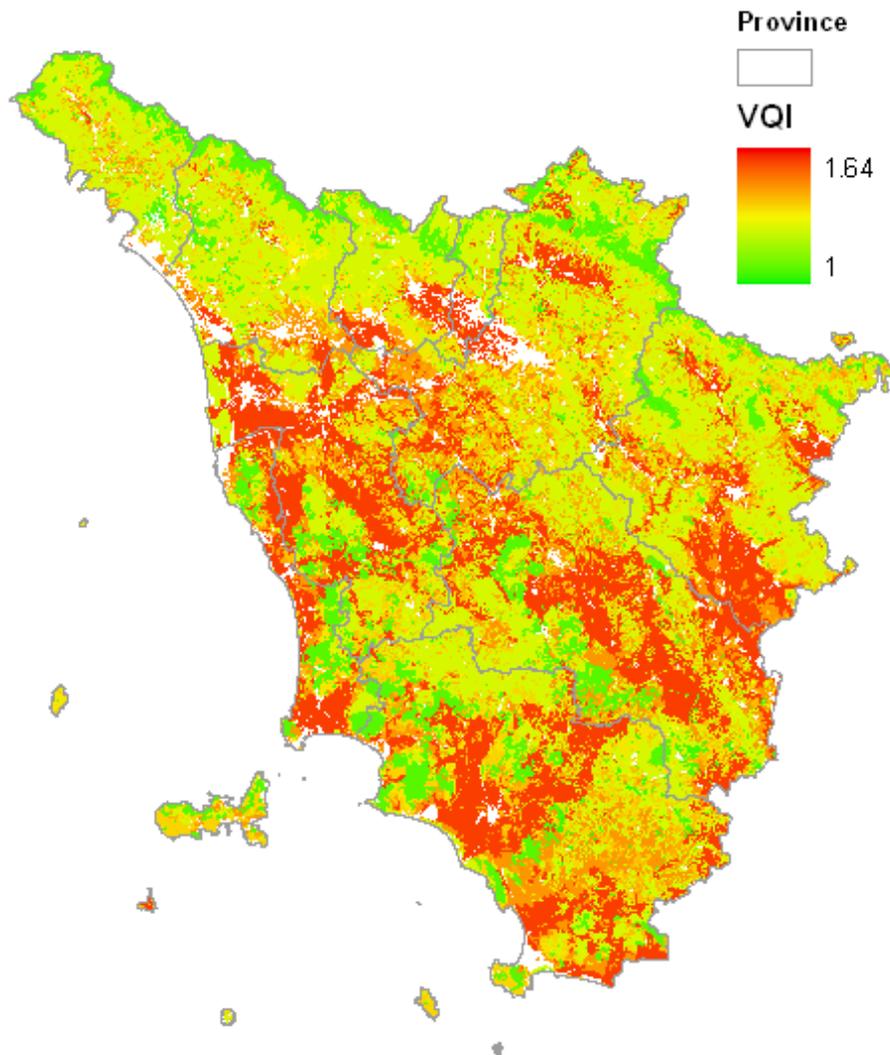


*Carta del rischio d'incendio, riclassificata secondo la metodologia ESAs*

#### **6.3.4 L'INDICE DI QUALITÀ DELLA VEGETAZIONE - VQI**

Le quattro mappe relative agli indicatori di vegetazione sono incrociate per ottenere la carta dell'Indice di Qualità della Vegetazione – VQI:

$$\text{VQI} = (\text{Protezione dall'erosione} * \text{Resistenza alla siccità} * \text{Vulnerabilità agli incendi} * \text{Rischio d'incendio boschivo})^{1/4}$$



*Carta del VQI (Vegetation Quality Index)*

Le maggiori criticità sono presenti nelle piane agricole lungo il corso del fiume Arno (Val di Chiana, Valdarno, piana pisana settentrionale), lungo l’asse Firenze-Prato-Pistoia ai piedi dell’Appennino, nel grossetano centrale, bassa valle dell’Albegna e in Val di Cornia.

#### **6.4 LA GESTIONE DEL TERRITORIO**

In Toscana il valore del territorio è d’importanza capitale per le attività legate ai sistemi agricoli, al turismo (paesaggio) e come base per lo sviluppo di gran parte delle attività produttive. I sistemi terrestri attuali si sono sviluppati in stretta connessione con l’abilità umana che li ha plasmati in armonia con le caratteristiche climatiche, portando il territorio all’attuale disegno.

I cambiamenti climatici e l'eccessiva pressione antropica, però, rischiano, oggi, di modificare in modo drastico ed irreversibile queste caratteristiche (Ibimet-Regione Toscana, 2004).

Inoltre, un sistema altamente “ottimizzato” come quello toscano, presenta una vulnerabilità ancora maggiore, in quanto ha perso la capacità di fronteggiare una perturbazione ambientale attraverso un adattamento flessibile, come di solito accade per gli ambienti naturali (concetto di resilienza di un ecosistema), tendendo, invece, a mantenere lo stato di equilibrio raggiunto (concetto di persistenza di un ecosistema).

Il *mismanagement* del territorio, legato alle pratiche agricole, agli incendi, all'allevamento, alla produzione di legname, ecc., porta ad un sovrasfruttamento delle risorse naturali, squilibri negli ecosistemi ed un rapido impoverimento dei suoli. Aree in cui, invece, sono operanti politiche di protezione ambientale subiscono impatti minori.

Nella scelta degli indicatori, quindi, si deve tener conto non solo degli effetti negativi dovuti alle attività umane, ma anche delle risposte messe in atto per garantire la conservazione o il ripristino della fertilità e produttività dei suoli. L'indice finale relativo all'azione antropica sul territorio si compone di due “sotto-indici” distinti, uno legato alle politiche di protezione messe in atto, l'altro inerente per lo più alla gestione agro-pastorale.

### **6.4.1 Le politiche di protezione del territorio**

Fra le azioni di protezione degli ecosistemi e conservazione dei suoli la costituzione di parchi e riserve naturali è forse la più diretta ed efficace, in quanto al loro interno vengono ferreamente regolamentate o addirittura impedito le attività agro-silvo-pastorali e la pressione antropica è notevolmente ridotta. Fra i temi del SIT (Sistema Informativo territoriale) della Regione Toscana sono presenti carte in formato digitale relative alle perimetrazioni di tutti i parchi nazionali e regionali e degli habitat naturali individuati nell'ambito del “Progetto Bioitaly”. Note le superfici di tali aree, è stata calcolata la percentuale ricadente in ciascun comune rispetto alla superficie comunale stessa. Quindi si è proceduto alla riclassificazione secondo il *range* 1-2 stabilito dalla metodologia MEDALUS.

#### **6.4.1.1 I parchi nazionali e regionali**

Per la definizione della carta relativa alla presenza di parchi sul territorio, quale fattore mitigante i fenomeni di degrado, sono state prese in esame sia le aree protette di competenza dello Stato (parchi nazionali e riserve statali) che quelle regionali, comprendenti parchi regionali e provinciali, riserve naturali e Aree Naturali Protette di Interesse Locale (ANPIL) istituite fino al 2008.

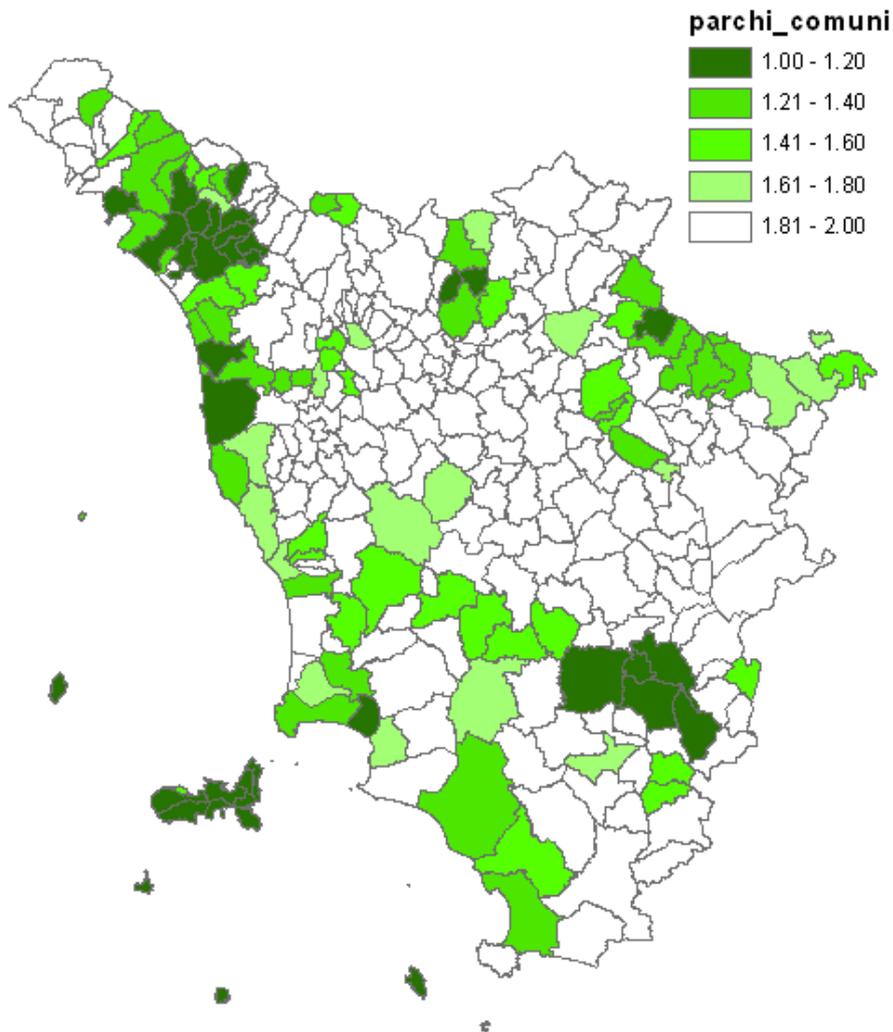
L'algoritmo usato per definire l'indicatore è:

$$\%Parchi = (Superficie\ a\ Parchi\ nazionali\ e\ regionali) / (Superficie\ comunale) * 100$$

### *Parchi nazionali e regionali*

Valore	Score
0 - 5 %	2
5 - 10 %	1.8
10 - 20 %	1.6
20 - 40 %	1.4
40 - 60 %	1.2
60 - 100 %	1

Le aree più scure della mappa indicano i comuni che hanno la porzione più alta di territorio investita a parco.



*Carta della % di superficie comunale investita a Parchi nazionali e regionali*

**6.4.1.2 La Direttiva Habitat 92/43/CEE - Bioitaly**

Fra le disposizioni legislative di carattere ambientale, particolarmente importante è la Direttiva Comunitaria 92/43/CEE, detta anche “Direttiva Habitat”. Lo scopo principale della direttiva 92/43 è quello di promuovere il mantenimento della biodiversità, "...in considerazione del fatto che nel territorio europeo degli Stati membri gli habitat naturali non cessano di degradarsi e che un numero crescente di specie selvatiche è gravemente minacciato; che gli habitat e le specie minacciati fanno parte del patrimonio naturale della Comunità e che i pericoli che essi corrono sono generalmente di natura transfrontaliera, per cui è necessario adottare misure a livello comunitario per la loro conservazione...".

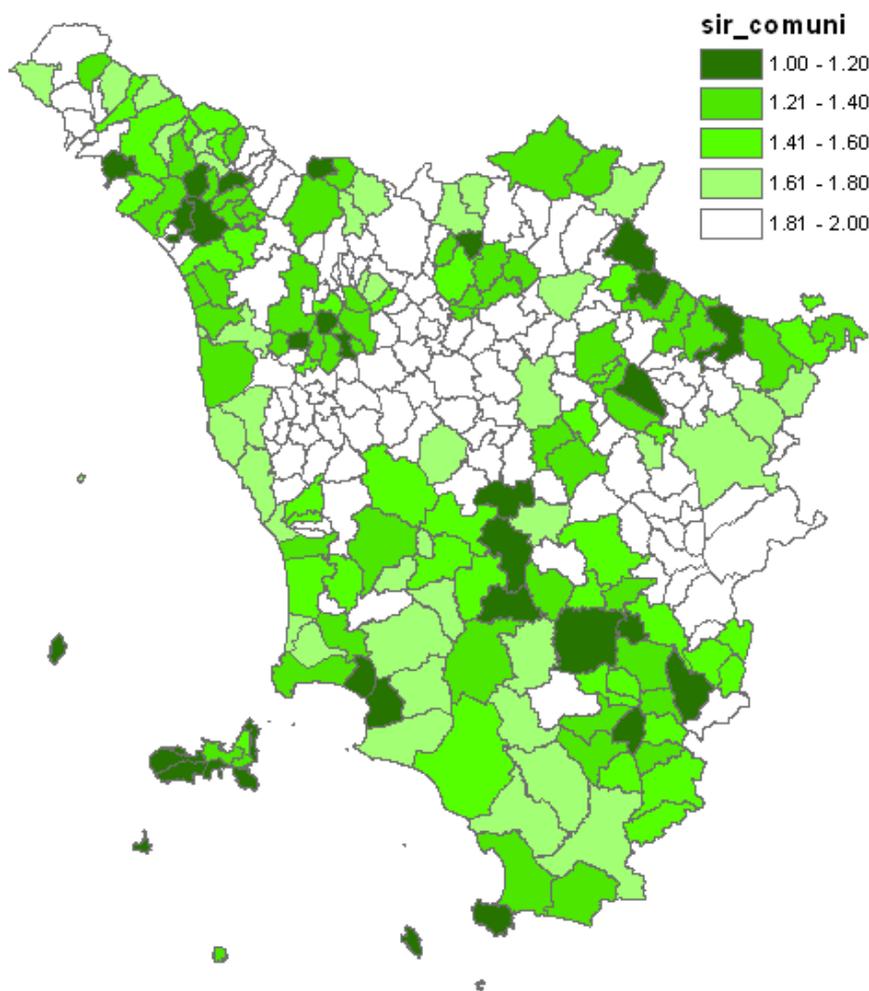
Allo scopo di conservare gli habitat naturali e le specie di interesse comunitario è stata prevista la costituzione di una rete ecologica europea di zone speciali di conservazione, denominata Rete Natura 2000, costituita di siti nei quali si trovino gli habitat elencati negli allegati alla Direttiva o gli habitat delle specie di interesse comunitario, che possa "...garantire il loro mantenimento o, all’occorrenza, il ripristino in uno stato soddisfacente”. Nel Progetto Bioitaly, svolto in attuazione della Direttiva, sono stati individuati ed elencati tali siti.

Per la determinazione dell’indicatore relativo alla Direttiva Habitat si è operato a livello comunale, individuando e classificando le superfici amministrative in rapporto alla percentuale di superficie interessata dalla disposizione comunitaria:

$$\%Bioitaly = \text{Superficie aree Bioitaly} / \text{Superficie comunale} * 100$$

***Direttiva Habitat 92/43/CEE - Bioitaly***

Valore	Score
0 - 5 %	2
5 - 10 %	1.8
10 - 20 %	1.6
20 - 40 %	1.4
40 - 60 %	1.2
60 - 100 %	1



*Carta della % della superficie comunale rispondente alla Direttiva Habitat 92/43/CEE – Bioitaly*

#### **6.4.2 La gestione agro-pastorale**

Dal punto di vista dell'intensità e velocità d'attuazione, lo sfruttamento non sostenibile delle risorse naturali da parte dell'uomo è uno dei fattori di maggior pressione sul territorio. In una regione morfologicamente complessa come la Toscana le attività legate al settore primario dell'agricoltura e allevamento devono trovare gli spazi necessari al soddisfacimento delle esigenze della numerosa popolazione che spesso si concentra nelle valli e nelle zone più fertili.

Il ricorso alle pratiche legate all'agricoltura intensiva (lavorazioni meccaniche, irrigazione, uso di fertilizzanti e pesticidi, ecc.), per ottenere produzioni sempre più elevate, può innescare una serie di processi che conducono tutti all'impoverimento dei suoli ed alla perdita del potenziale produttivo, spesso irreversibile.

Sono ormai limitate le zone in cui è ancora in atto un'agricoltura tradizionale attenta ai regimi di rotazione, all'adozione di tecniche quali il sovescio, la pacciamatura e le letamazioni, atte alla ricostituzione della sostanza organica, di una struttura ottimale, di una buona aerazione e ritenzione idrica. I processi di degrado sono oggi legati anche al *mismanagement* (errata gestione) dei mezzi di produzione, delle superfici e delle conversioni negli ordinamenti colturali, spesso indotti dagli incentivi che la Comunità Europea fornisce per determinate colture.

La scelta degli indicatori più adatti a mostrare le problematiche in atto è legata essenzialmente a due fattori: individuazione dei fenomeni di maggior impatto e disponibilità dei dati.

Quest'ultimo è l'elemento più fortemente limitante.

Il reperimento dei dati di tipo socio-economico ad una scala così ampia come quella regionale, infatti, è a tutt'oggi lo scoglio che impedisce un'analisi più accurata ed ampia di un aspetto così determinante per i processi di desertificazione.

Le informazioni più complete dal punto di vista spaziale e temporale a disposizione fanno riferimento ai Censimenti Generali dell'Agricoltura effettuati dall'ISTAT, con particolare riferimento al 2° (1970) e 5° (2001). Tutti i dati utilizzati hanno come massima risoluzione spaziale l'unità amministrativa comunale. Altre informazioni, in particolare le aziende biologiche ed in conversione, l'estensione dei prati pascoli e l'entità del patrimonio zootecnico sono state ricavate dai dati ARTEA (2008).

### **6.4.2.1 La variazione % della Superficie Agricola Utilizzata**

Il primo indicatore preso in esame riguarda la superficie messa a coltura (SAU – Superficie Agricola Utilizzata) ed i suoi mutamenti nel tempo.

A partire dai dati dei censimenti dell'agricoltura 1970 e 2001 è stata calcolata la variazione percentuale a livello comunale:

$$Var \%SAU = (SAU2001 * SAU1970) / SAU1970 * 100$$

dove:

SAU = Superficie Agricola Utilizzata (ha)

Valori positivi di variazione indicano che nel trentennio la SAU è aumentata (ad esempio +100% corrisponde ad un raddoppio della superficie messa a coltura); valori negativi, invece, rivelano una contrazione (-98% indica che la SAU nel 2001 è diventata 1/50 di quella del '70).

Entrambe le situazioni possono essere negative in termini di impatto sul suolo e sulla sua fertilità, visto che, se con l'espansione della SAU vengono sottratti spazi alla vegetazione

## **Consorzio LAMMA**

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

---

naturale ed una fetta più grande di territorio è soggetta a quelle pratiche agricole moderne di cui si è parlato in precedenza, è pur vero che gli appezzamenti agricoli vengono abbandonati, o convertiti e “cementificati” a causa dell’espansione degli agglomerati urbani.

L’abbandono dell’attività agricola nelle terre marginali può innescare fenomeni di degrado, venendo a mancare tutte quelle cure colturali legate alla regimazione delle acque; un suolo abbandonato è più facilmente soggetto all’erosione idrica ed eolica rispetto ad un terreno coltivato.

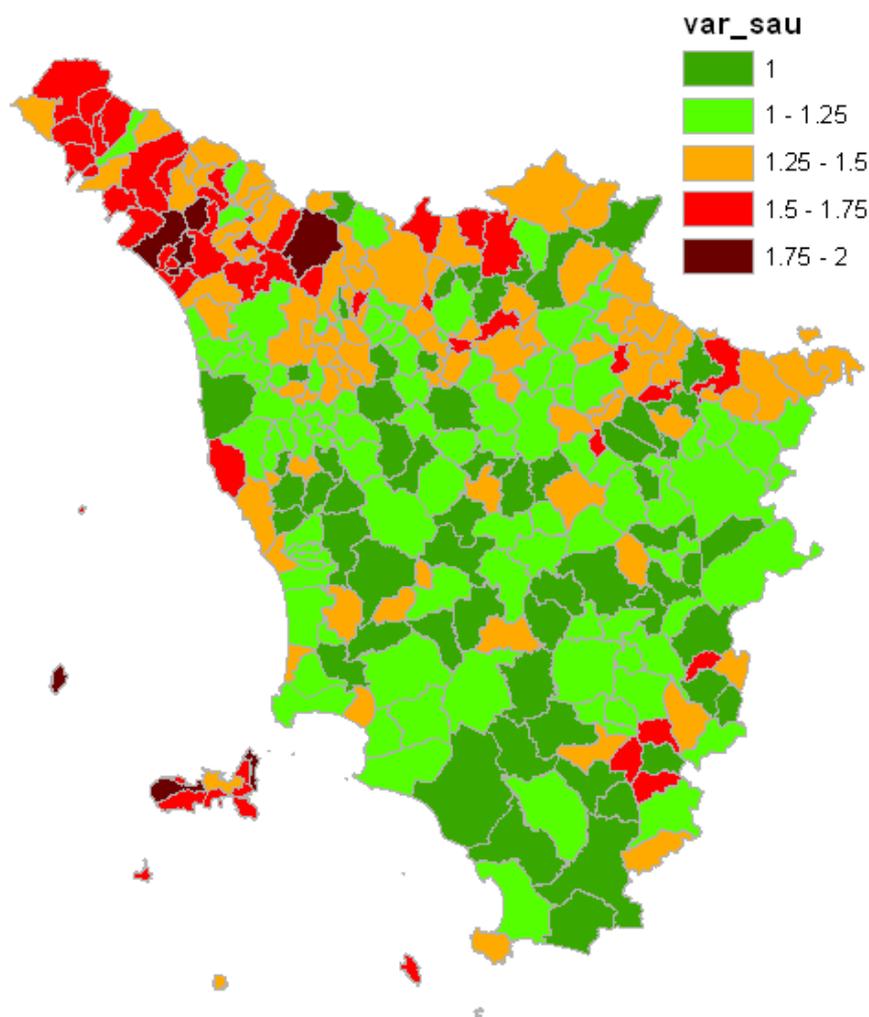
Allo stesso modo l’espansione delle città e delle attività industriali implica tutta una serie di problematiche legate alla impermeabilizzazione dei terreni, allo smaltimento dei rifiuti ed all’inquinamento delle falde.

Nell’attribuire gli score alle percentuali si è tenuto conto di tutto ciò e si sono, quindi, assegnati i pesi maggiori sia a valori altamente positivi che altamente negativi:

### ***Variatione % SAU2001-1970***

<b>Valore</b>	<b>Score</b>
-100 / -80 %	2
-80 / -50 %	1.75
-50 / -25 %	1.5
-25 / -10 %	1.25
-10 / 10 %	1
10 / 50 %	1.25
50 / 100 %	1.5
> 100 %	2

Dalla carta relativa all’Indice di variazione percentuale della SAU si può vedere come molte delle zone “critiche” siano concentrate nella parte nord della regione, eccezion fatta per l’Elba ed alcuni comuni del sud-est.



*Carta della variazione % della SAU 2001-1970*

#### **6.4.2.2 La superficie agricola convertita a biologico**

Non tutte le attività agricole e i metodi di produzione sono dannosi per i suoli: l'agricoltura biologica, ad esempio, adotta misure a basso impatto ambientale, che garantiscono il ripristino della fertilità, senza il bisogno di eccessive e profonde operazioni colturali o l'adozione di prodotti chimici di sintesi (concimi, antiparassitari, diserbanti, ecc.), sfruttando, invece, le interazioni naturali fra gli organismi nel terreno, l'ambiente fisico ed il suolo stesso.

Un territorio in cui viene praticata l'agricoltura biologica è meno vulnerabile rispetto ad uno soggetto ad agricoltura intensiva.

A partire dai dati forniti da ARTEA ed aggiornati al 2008 è possibile determinare quanti ettari di Superficie Agricola Utilizzata sono interessati da sistemi di produzione di tipo biologico e di aziende in conversione:

## Consorzio LAMMA

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

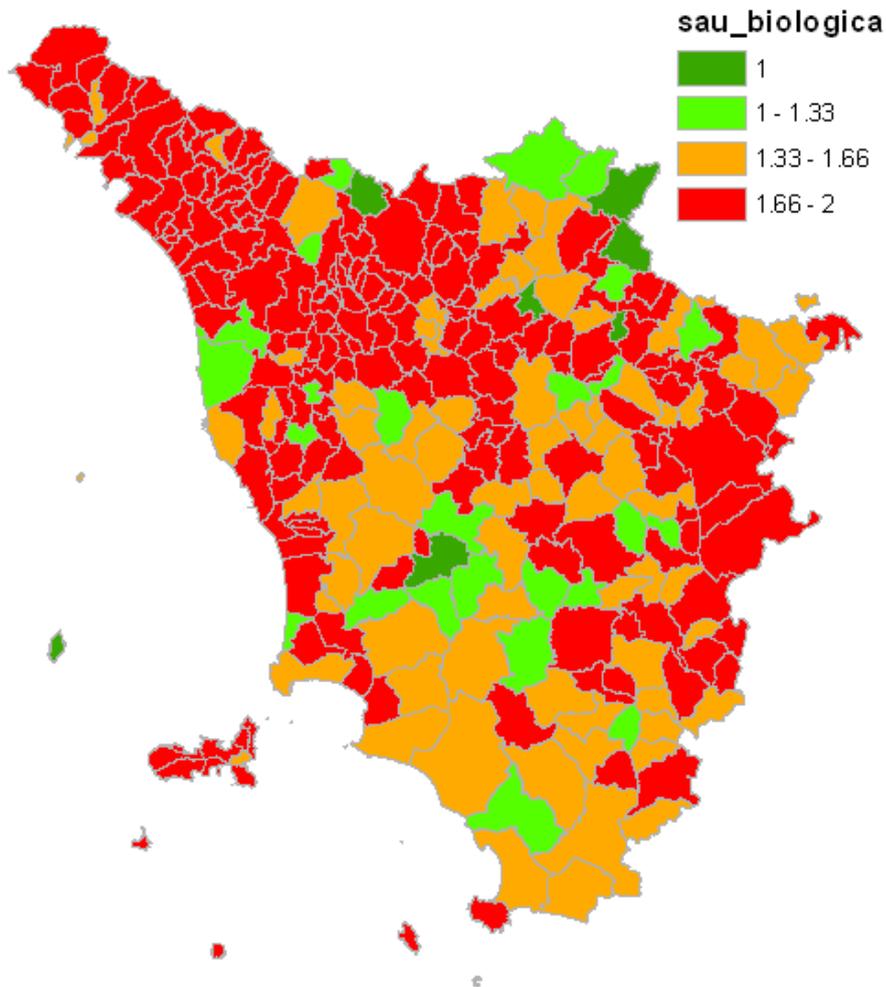
---

$$\%SAU\ biologica = SAU\ biologica/SAU\ totale * 100$$

La percentuale di territorio comunale così ottenuta viene riclassificata per poi dar vita all'indicatore di superficie agricola convertita in biologico:

### *% SAU biologica*

Valore	Score
0 - 10 %	2
10 - 30 %	1.66
30 - 60 %	1.33
60 - 100 %	1



*Carta della SAU convertita in biologico*

La carta mostra come nell'ultimo decennio siano aumentati le superfici gestite con criteri di agricoltura biologica.

#### **6.4.2.3 L'intensità d'irrigazione**

L'utilizzo di pratiche intensive per il soddisfacimento degli accresciuti fabbisogni alimentari consiste anche in un maggior consumo di acqua irrigua.

Il ricorso all'irrigazione permette rese maggiori, ma nel contempo rende le colture più sensibili agli stress idrici.

L'eccessivo e spesso incontrollato sfruttamento delle acque profonde o dei bacini superficiali ha diverse conseguenze negative sul suolo e sulla disponibilità stessa della risorsa idrica.

Se i prelievi superano gli apporti, dovuti essenzialmente alle precipitazioni, i livelli di falda si abbassano e ciò può innescare fenomeni di subsidenza (abbassamento del livello del terreno) o salinizzazione.

La salinizzazione delle falde è una caratteristica delle zone costiere dove, a seguito degli elevati emungimenti e dell'impermeabilizzazione del territorio, si assiste alla risalita del "cuneo salino" (acqua marina che si spinge nell'entroterra al di sotto dell'acqua dolce), non più ostacolato dalla presenza dell'acquifero.

Può accadere, quindi, che ci possa essere un aumento del tenore di salinità nel suolo, dovuto all'utilizzo di acque irrigue contaminate; questo, unitamente ai periodi siccitosi che sempre più caratterizzano il clima toscano, provoca variazioni strutturali del terreno e perdita di fertilità.

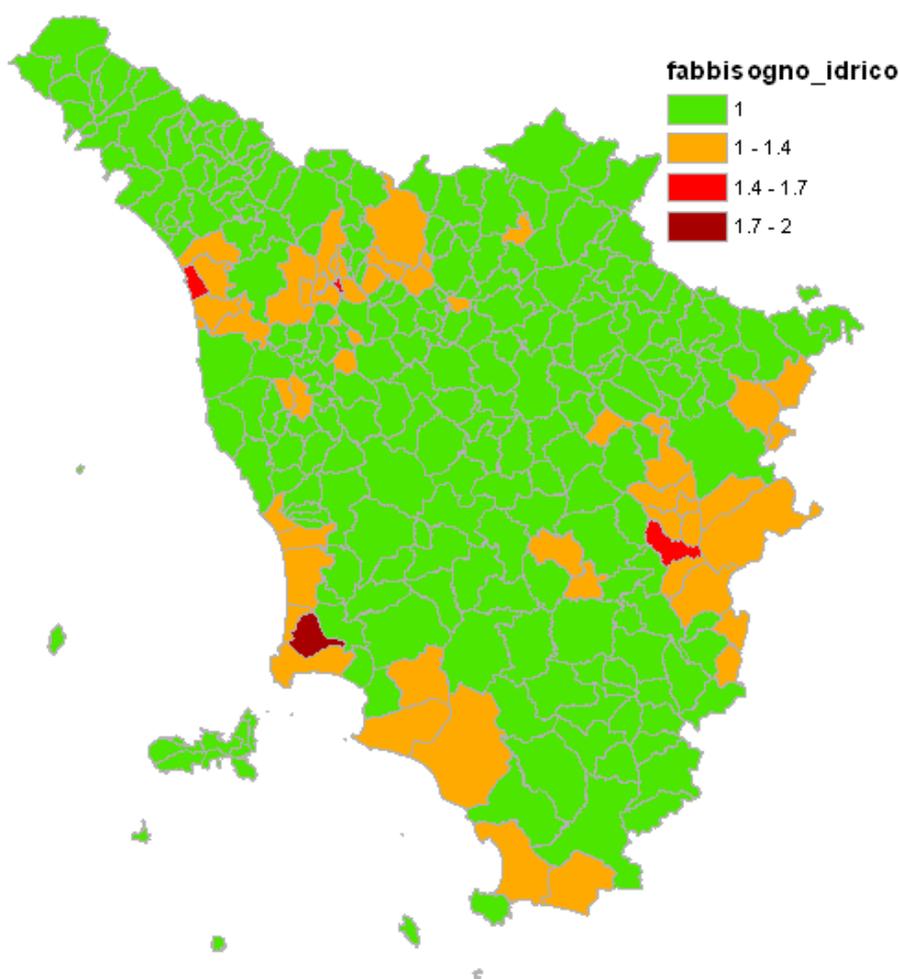
Conoscere l'intensità d'irrigazione di un territorio può essere un buon indicatore per la determinazione del suo stato di degrado. In particolare si è calcolato, in base ai dati di fabbisogno idrico del lavoro svolto dal CIBIC dell'Università di Firenze per conto del Centro Funzionale della Regione Toscana:

$$\text{Intensità d' irrigazione} = \text{Fabbisogno idrico/pioggia totale} * 100$$

Ai valori percentuali trovati si sono attribuiti degli *score* compresi fra 1 e 2 ed il risultato è stato "mappato" ottenendo la carta dell'intensità d'irrigazione a scala comunale.

#### **Deficit di fabbisogno idrico**

<b>Valore</b>	<b>Score</b>
0 - 1 %	1
1 - 4 %	1.4
4 - 7 %	1.7
> 7 %	2



*Carta dell'intensità d'irrigazione*

#### **6.4.2.4 I prati-pascoli**

La presenza di prati permanenti e pascoli in un dato territorio può avere una duplice valenza.

In aree, soprattutto collinari e montane, in cui spesso le aziende, accanto alle coltivazioni agricole, hanno anche degli allevamenti non in stabulazione fissa, disporre di notevoli superfici a prato-pascolo riduce il carico di bestiame che grava sul terreno.

Il sovrapascolamento, infatti, porta alla compattazione del suolo ed a modificazioni delle sue caratteristiche strutturali (riduzione della porosità e della permeabilità, ecc.), con conseguente accentuazione dei fenomeni di erosione idrica, tanto più grandi quanto maggiori sono le pendenze.

I prati permanenti ed i pascoli, inoltre, svolgono una funzione protettiva proprio nei confronti dell'erosione, anche se meno efficace di quella di una copertura arbustiva o arborea.

## Consorzio LAMMA

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

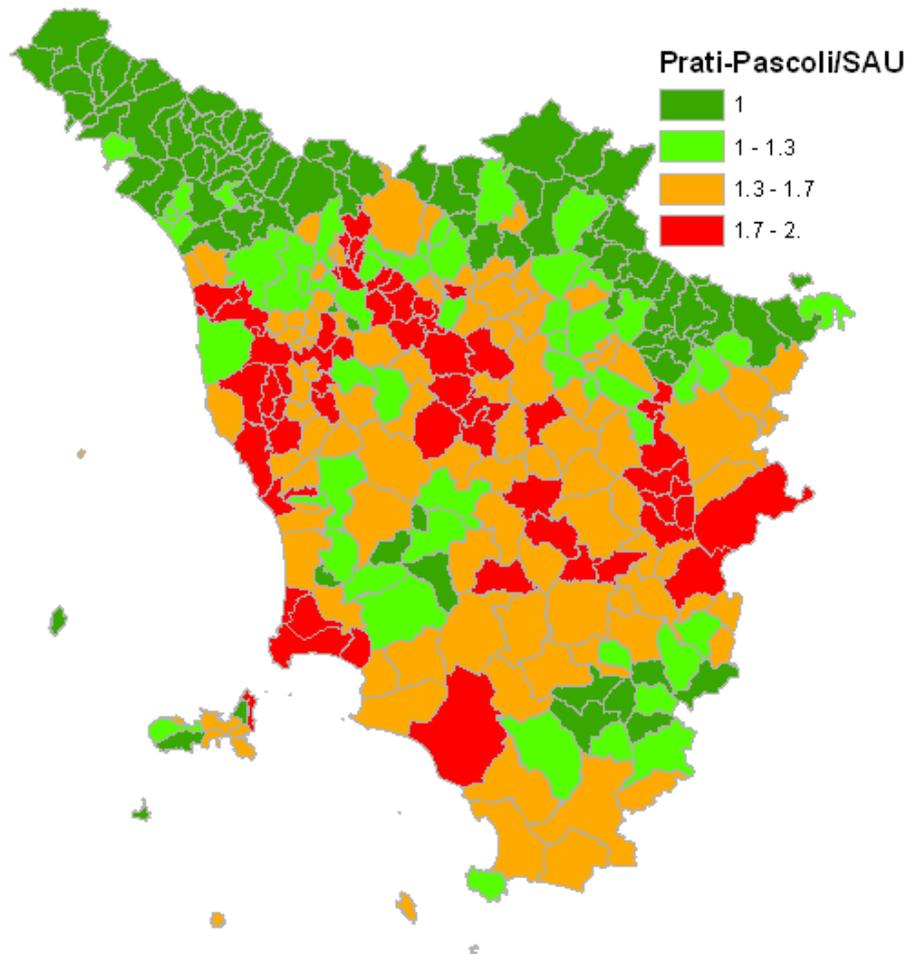
L'indicatore proposto, a partire dai dati dell'ISTAT del 2001 aggiornati con quelli di ARTEA al 2008, calcola la percentuale di superficie a prati-pascoli di cui ciascun comune dispone, rispetto alla Superficie Agricola Utilizzata:

$$\text{Intensità di prati - pascoli} = \text{Prati - pascoli} / \text{SAU totale} * 100$$

**% Prati-pascoli / SAU**

Valore	Score
0 - 5 %	2
5 - 15 %	1.7
15 - 30 %	1.3
> 30 %	1

Dalla riclassificazione dei valori percentuali si ricava la carta dell'intensità dei prati pascoli:



*Carta della superficie a prati-pascoli*

#### **6.4.2.5 La pressione degli allevamenti ovi-caprini**

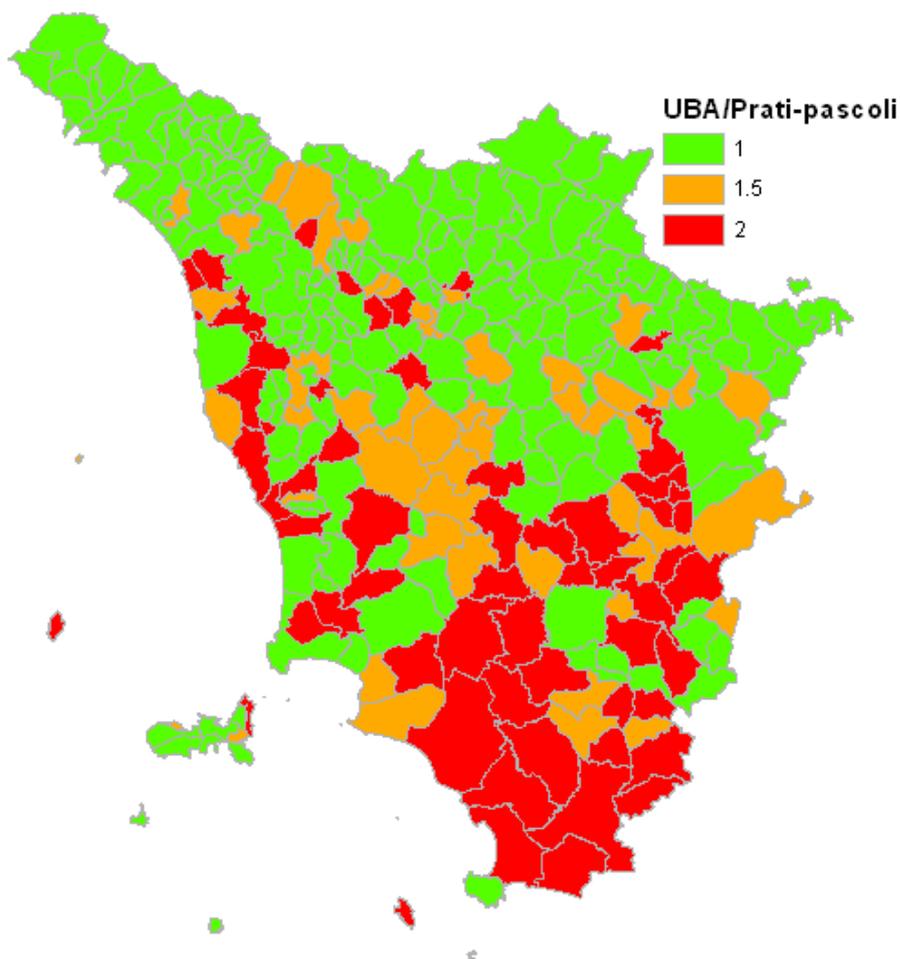
Si è già accennato all’azione di compattamento che un eccessivo carico animale causa al suolo riducendo l’infiltrazione ed aumentando il deflusso superficiale. Il pascolamento, inoltre, agisce sull’agro-ecosistema influenzando la crescita, il vigore e la riproduzione delle piante, nonché modificandone la composizione vegetale e la biomassa. Dato che la maggior parte degli allevamenti bovini è ormai effettuata in stabulazione fissa, l’indicatore scelto per rappresentare il carico di bestiame sul territorio considera i soli ovini e caprini, e rapporta le UBA (Unità Bovino Adulto) agli ettari di superficie a prato-pascolo:

$$\text{Pressione ovi - caprini} = \text{UBA/prati} - \text{pascoli}$$

#### **Allevamenti ovi-caprini (UBA/ha)**

Valore	Score
0 - 0.5	1
0.5 - 1	1.5
> 1	2

Come mostra la carta della pressione di bestiame ovi-caprino, i comuni in cui c’è più di un’Unità Bovino Adulto per ettaro presentano maggiore vulnerabilità.



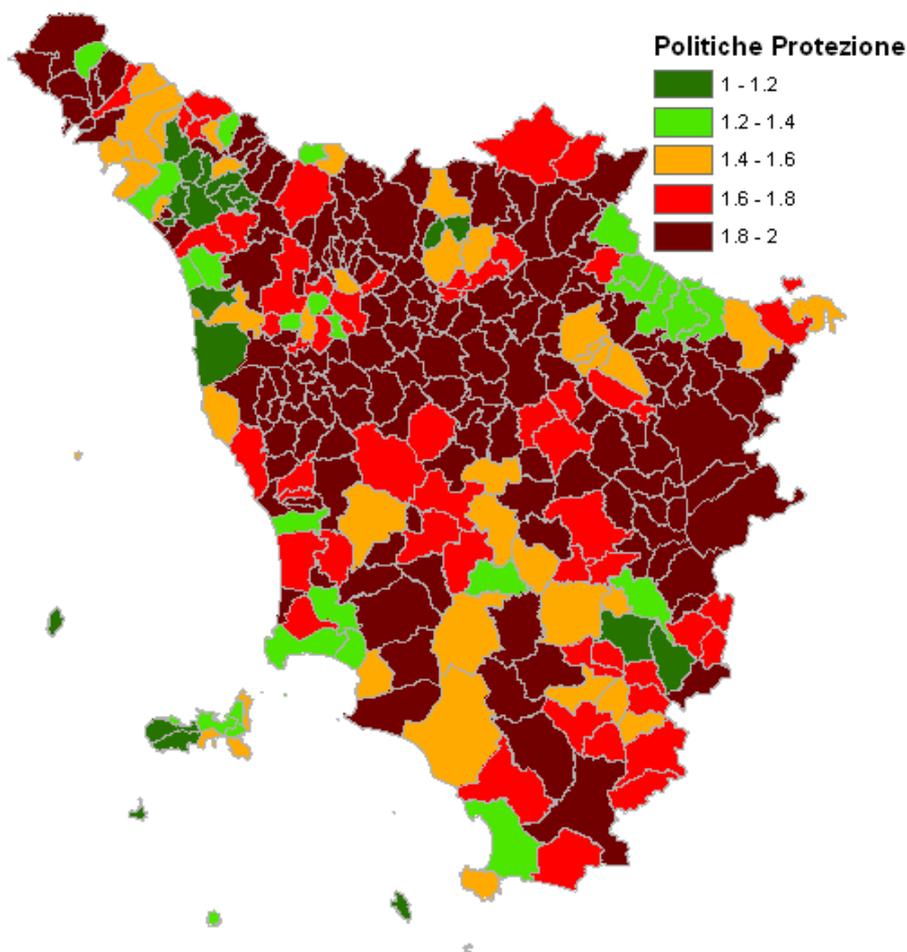
*Carta della pressione degli allevamenti ovi-caprini*

### **6.4.3 L'INDICE DI QUALITÀ DELLA GESTIONE – MQI**

L'indice finale di qualità della gestione MQI è dato dall'insieme dei due indici relativi alle politiche di protezione del territorio ed alla gestione agro-pastorale.

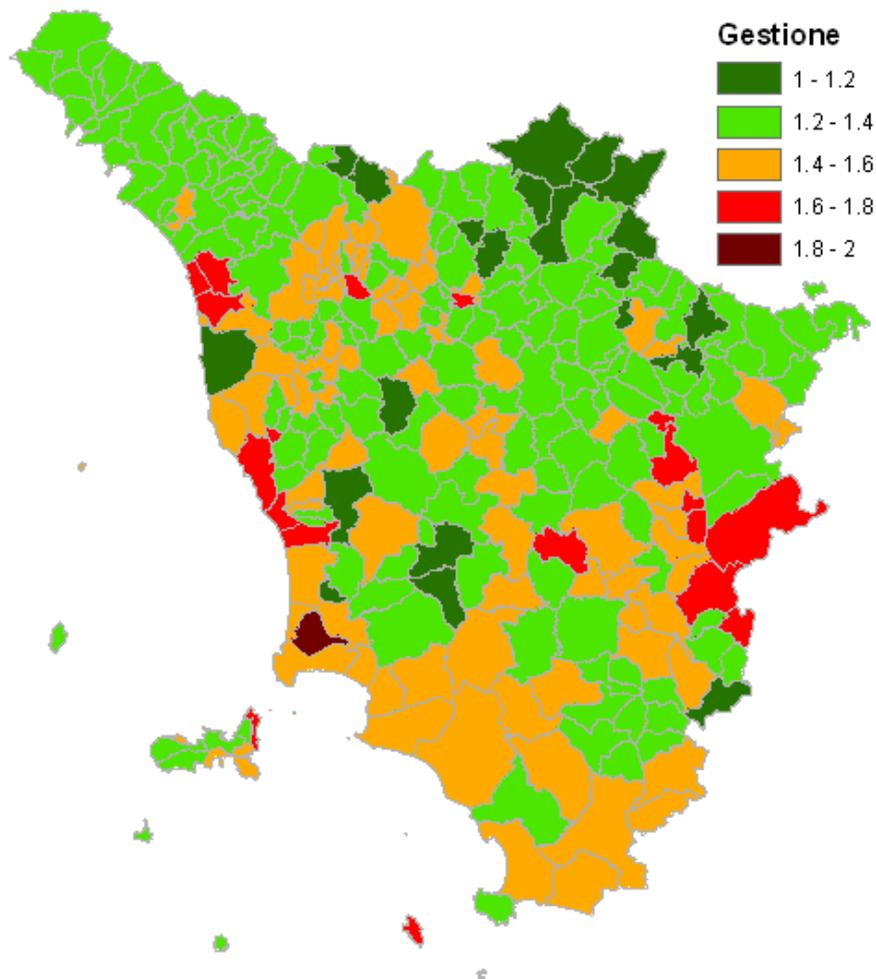
Ciascuno dei due indici è ottenuto, a sua volta, dall'incrocio delle carte dei diversi indicatori:

$$\text{Politiche di protezione} = (\text{Parchi nazionali e regionali} * \text{Direttiva Habitat})^{1/2}$$



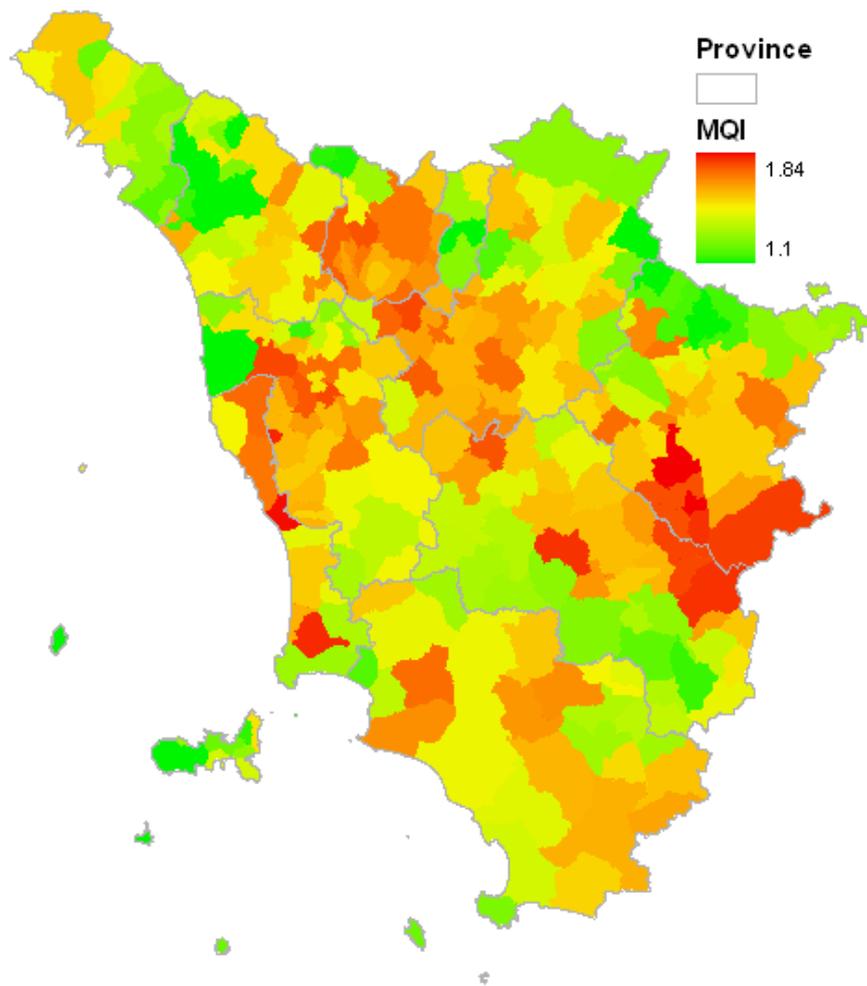
*Carta dell'Indice delle politiche di protezione*

$$\text{Gestione agro-pastorale} = (\text{Variaz. \% SAU}_{01-70} * \text{SAU bio.} * \text{Fabbisogno idrico} * \text{Prati-pascoli} * \text{Pressione ovi-caprina})^{1/5}$$



*Carta dell'Indice della gestione agro-pastorale*

$$\mathbf{MQI = (Politiche\ di\ protezione * Gestione\ agro-pastorale)^{1/2}}$$



*Carta del MQI (Management Quality Index).*

Le aree in cui il tipo di gestione del territorio ha maggiore impatto dal punto di vista della sensibilità a fenomeni di degrado sono per lo più concentrate nelle valli e pianure in cui l'attività agricola è più spinta, come ad esempio la Val di Chiana e l'asse a sud del Valdarno superiore.

## **6.5 LA PRESSIONE ANTROPICA**

Ai fini dell'identificazione delle aree sensibili alla desertificazione sono stati presi in considerazione una serie di indicatori ed indici legati ai fattori naturali e socio-economici (clima, suolo, vegetazione e gestione del territorio).

La presenza/assenza stessa dell'uomo in un'area, però, può rappresentare un fattore di pressione.

L'inurbamento massiccio comporta la cementificazione ed impermeabilizzazione del terreno, uno sfruttamento concentrato delle risorse naturali (soprattutto idriche), inquinamento, sottrazione di suolo alla vegetazione o all'agricoltura, spopolamento dei centri rurali, ecc.

Per questo è necessario inserire nell'analisi anche il fattore demografico, sia dal punto di vista strutturale, sia come dinamica spaziale e temporale.

### **6.5.1 La densità di popolazione**

La densità di popolazione (numero di abitanti / km<sup>2</sup>) è un buon indicatore dello squilibrio che l'alta concentrazione di residenti può causare nello sfruttamento delle risorse. Il calcolo è stato fatto a livello comunale, a partire dai dati dell'Ufficio Statistica della Regione Toscana (2008).

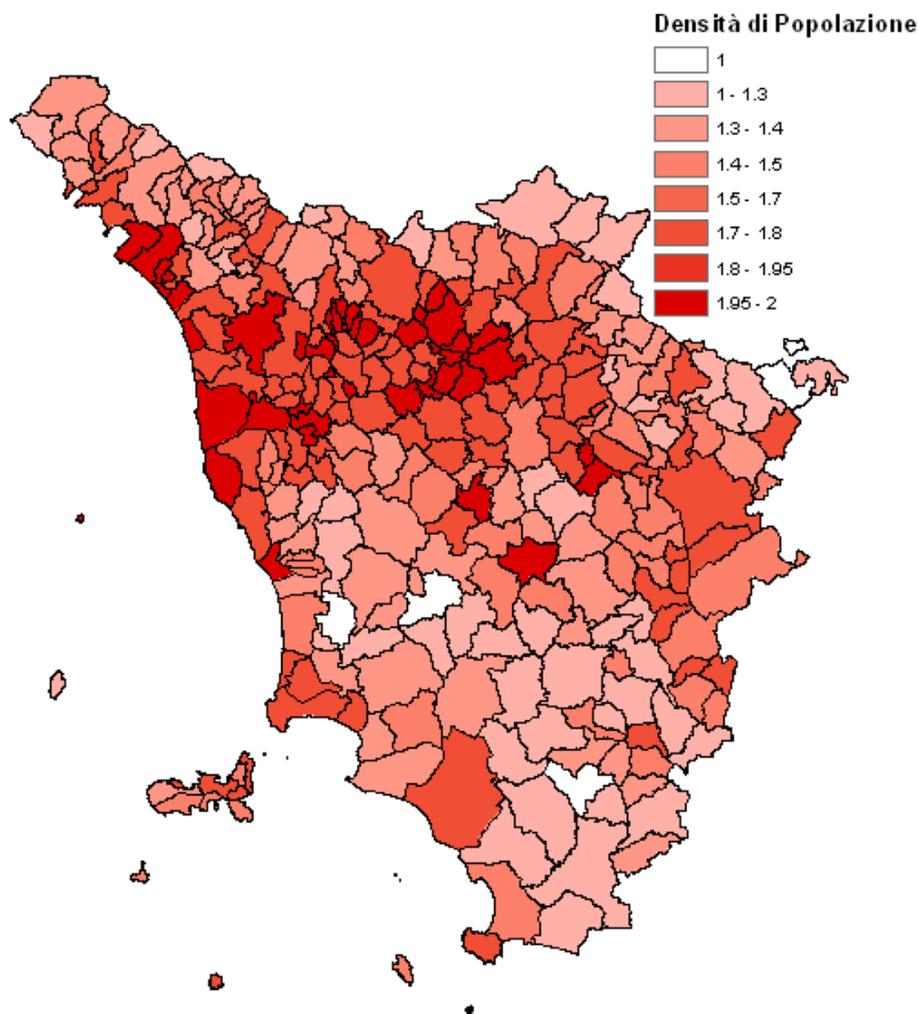
$$\text{Densità di popolazione} = \text{Numero abitanti/Km}^2$$

I valori di densità di popolazione sono stati aggregati in classi a cui, quindi, è stato attribuito uno *score* 1-2.

#### ***Densità di popolazione (abitanti/kmq)***

<b>Valore</b>	<b>Score</b>
0 - 10 ab./kmq	1
10 - 25 ab./kmq	1.3
25 - 50 ab./kmq	1.4
50 - 100 ab./kmq	1.5
100 - 200 ab./kmq	1.7
200 - 400 ab./kmq	1.8
400 - 800 ab./kmq	1.95
> 800 ab./kmq	2

La carta della densità di popolazione così riclassificata mostra una chiara concentrazione dei valori critici lungo il corso del fiume Arno ed in particolare sull'asse Firenze-Prato, nonché lungo la costa settentrionale da Carrara a Livorno.



*Densità di popolazione al 2008, riclassificata secondo la metodologia ESAs*

### **6.5.2 La variazione % della densità di popolazione**

Conoscere la distribuzione degli abitanti sul territorio non è sufficiente. I fenomeni di degrado del suolo dovuti alla presenza dell'uomo vengono magnificati se la dinamica della popolazione, fatta di abbandono di un'area ed inurbamento di altre, avviene in tempi brevi o comporta un movimento di masse tale da non permettere all'ecosistema di trovare un nuovo equilibrio o non essere capace di soddisfare i bisogni senza deteriorarsi.

L'indicatore di variazione percentuale della densità di popolazione è fra i più semplici in grado di mostrare un tale fenomeno.

$$Var \%dens. popol = (dens_{2008} - dens_{1961})dens_{1961} * 100$$

Il calcolo della variazione demografica è stato fatto fra i dati del Censimento della Popolazione del 1961 e quelli del 2008.

## Consorzio LAMMA

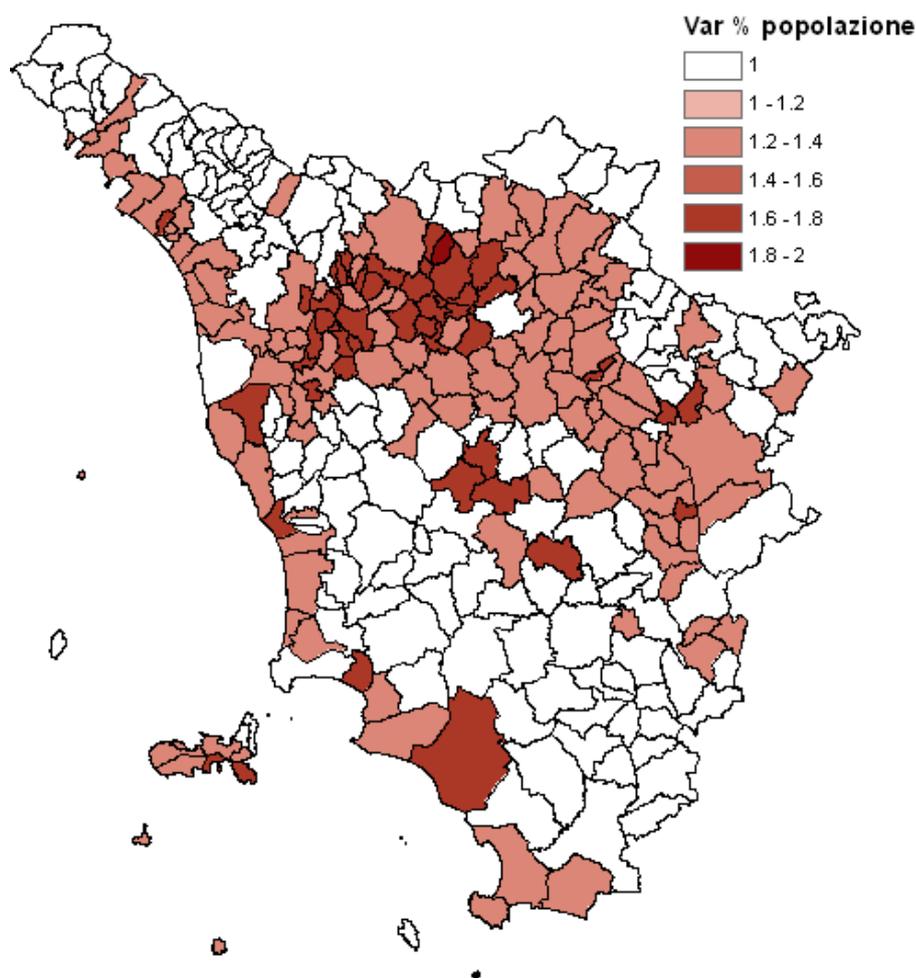
*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

Valori negativi di variazione corrispondono ad una riduzione della densità di popolazione, mentre valori positivi indicano un aumento; il raddoppio della popolazione si ha con una variazione del 100%.

I comuni che, secondo la riclassificazione dei valori di variazione percentuale, negli ultimi 50 anni hanno più che raddoppiato la densità abitativa sono concentrati ancora una volta intorno ai centri di Firenze e Prato, anche se il capoluogo toscano, in particolare, risulta aver subito una contrazione della popolazione.

### *Variazione % della densità di popolazione*

Valore	Score
-100 - 0 %	1
0 - 20 %	1.2
20 - 50 %	1.4
50 - 100 %	1.6
100 - 200 %	1.8
>200 %	2



*Variazione % della densità di popolazione 1961 e 2008*

### **6.5.3 La pressione turistica**

In una regione ricca di storia, bellezze naturali e patrimonio artistico come la Toscana un fenomeno da non sottovalutare è quello del turismo. L'incremento improvviso di presenze umane in un lasso di tempo concentrato e spazi limitati (come ad esempio le zone costiere) provoca uno stress sul territorio, già indebolito per l'elevata antropizzazione, e la risorsa idrica è la prima a risentirne.

Grazie ai dati dell'Ufficio Statistica della Regione Toscana, relativi alle presenze turistiche annuali, è stato possibile calcolare le presenze turistiche per Km<sup>2</sup> del 2008 di ogni comune.

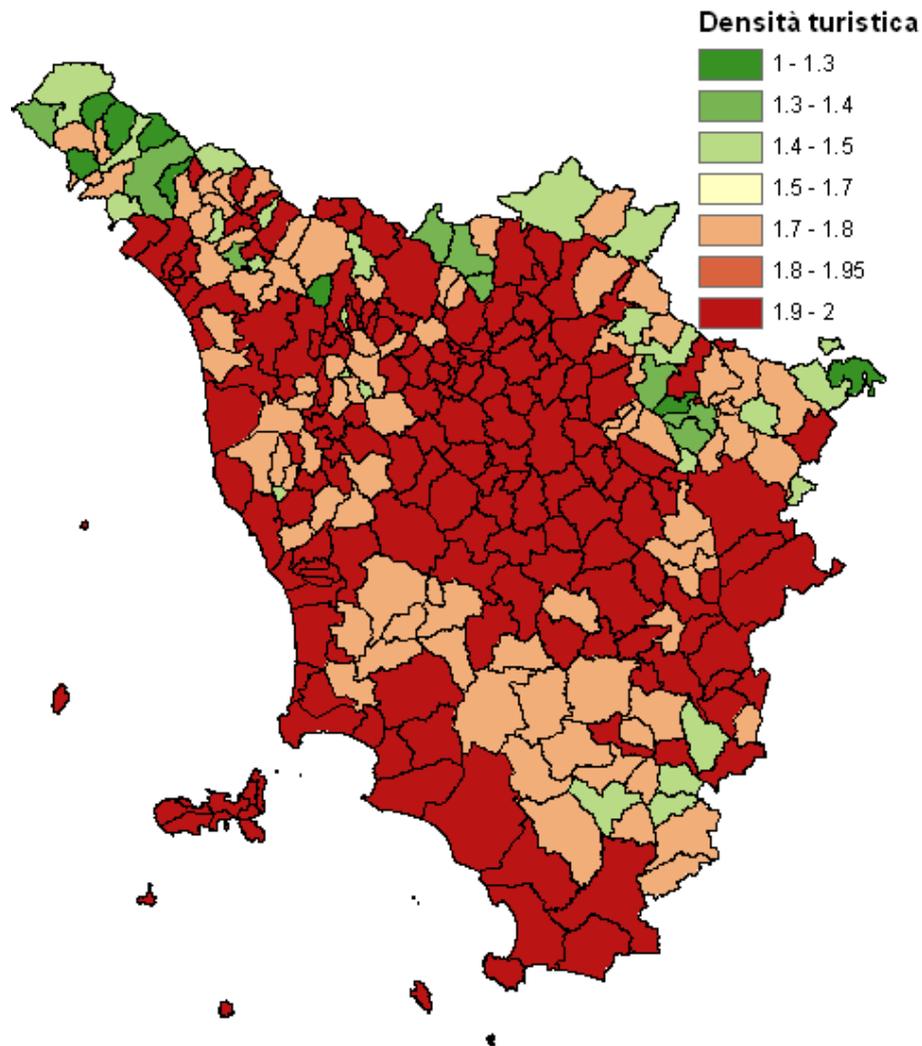
$$\text{Densità turistica} = \text{Numero turisti}/\text{Km}^2$$

La ripartizione degli score per classi di densità turistica ricalca quella della densità di popolazione.

#### ***Densità turistica (turisti/kmq)***

<b>Valore</b>	<b>Score</b>
0 - 10 tur./kmq	1
10 - 25 tur./kmq	1.3
25 - 50 tur./kmq	1.4
50 - 100 tur./kmq	1.5
100 - 200 tur./kmq	1.7
200 - 400 tur./kmq	1.8
400 - 800 tur./kmq	1.95
> 800 tur./kmq	2

I comuni a più alta vocazione turistica, e quindi con le criticità maggiori, sono quelli costieri, le isole ed i principali centri artistico-culturali.



*Densità turistica al 2008, riclassificata secondo la metodologia ESAs*

#### **6.5.4 La variazione % della pressione turistica**

Anche l'analisi della pressione turistica comporta lo studio della dinamica del fenomeno, così come fatto per la densità di popolazione.

Il calcolo della variazione percentuale è stato effettuato sui dati di presenze turistiche degli anni 2000 e 2008.

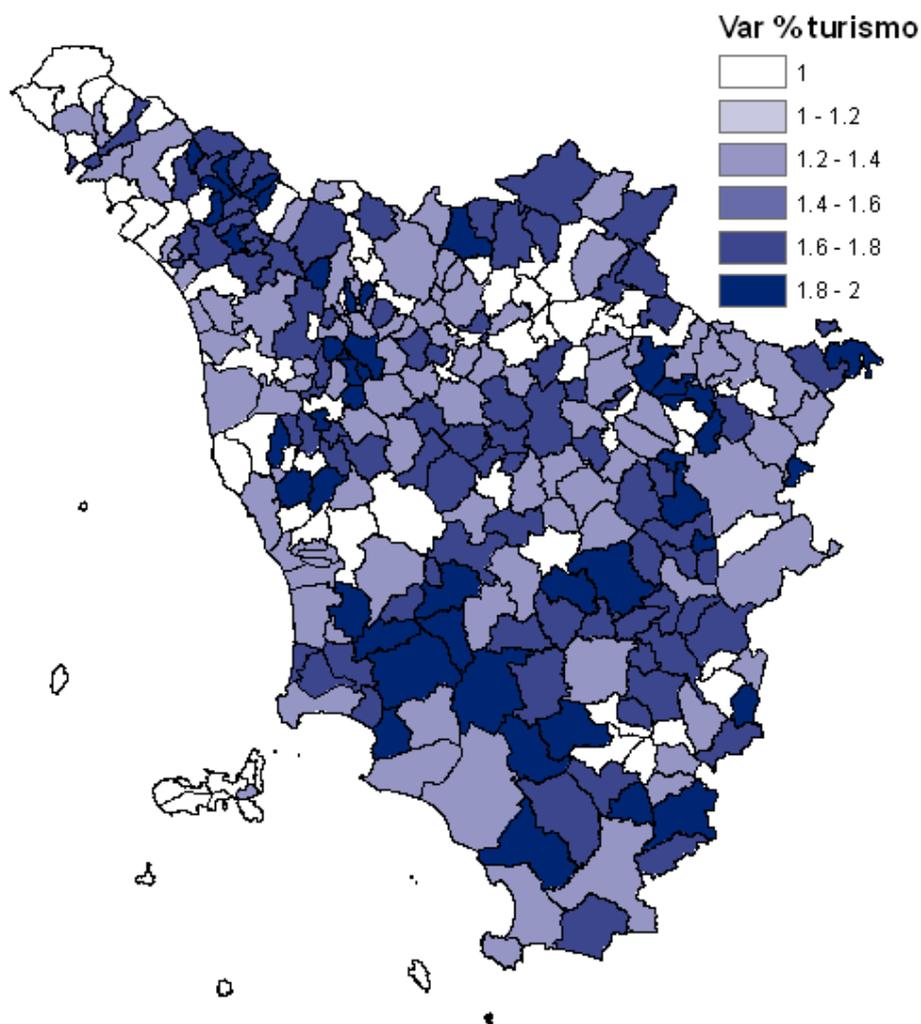
$$\text{Var \%dens. tur.} = (\text{tur}_{2008} - \text{tur}_{2000}) \text{dens}_{2000} * 100$$

L'aumento della densità turistica per comune corrisponde a valori percentuali positivi.

## *Variazione % della densità turistica*

Valore	Score
-100 - 0 %	1
0 - 20 %	1.2
20 - 50 %	1.4
50 - 100 %	1.6
100 - 200 %	1.8
>200 %	2

La carta risultante dalla riclassificazione 1-2 della metodologia ESAs vede, accanto al classico turismo delle città d'arte, l'incremento di nuove forme di turismo legate, ad esempio, allo sviluppo dell'agriturismo, al benessere fisico o all'escursionismo in parchi e zone di particolare richiamo naturalistico.

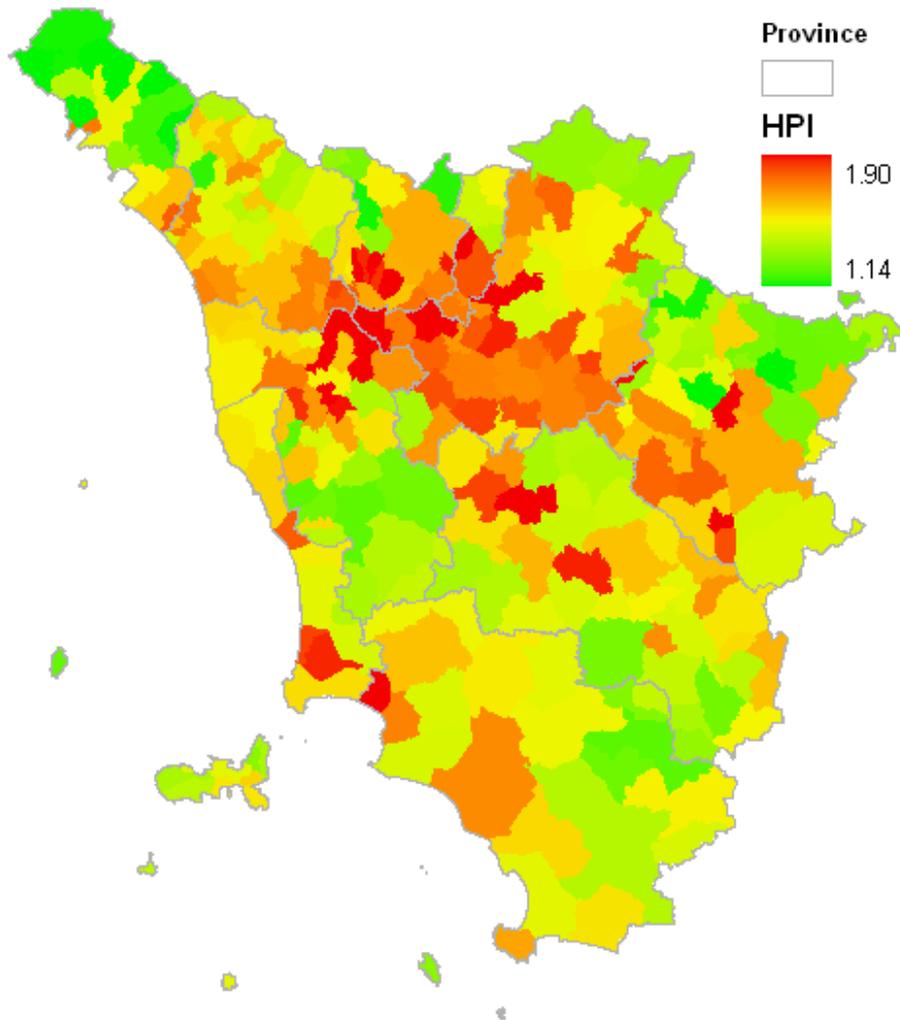


*Variazione % della densità turistica degli anni 2000 e 2008*

### 6.5.5 L'INDICE DI PRESSIONE ANTROPICA – HPI

Incrociando le mappe relative ai due fattori popolazione e turismo, analizzati sia dal punto di vista strutturale che nella loro dinamica, si ottiene la carta relativa all'Indice di Pressione Antropica – HPI:

$$\text{HPI} = (\text{Dens. popol}_{2008} * \text{Var. \% dens. popol}_{1961-2008} * \text{Dens. tur}_{2008} * \text{Var. \% dens. tur}_{2000-2008})^{1/4}$$



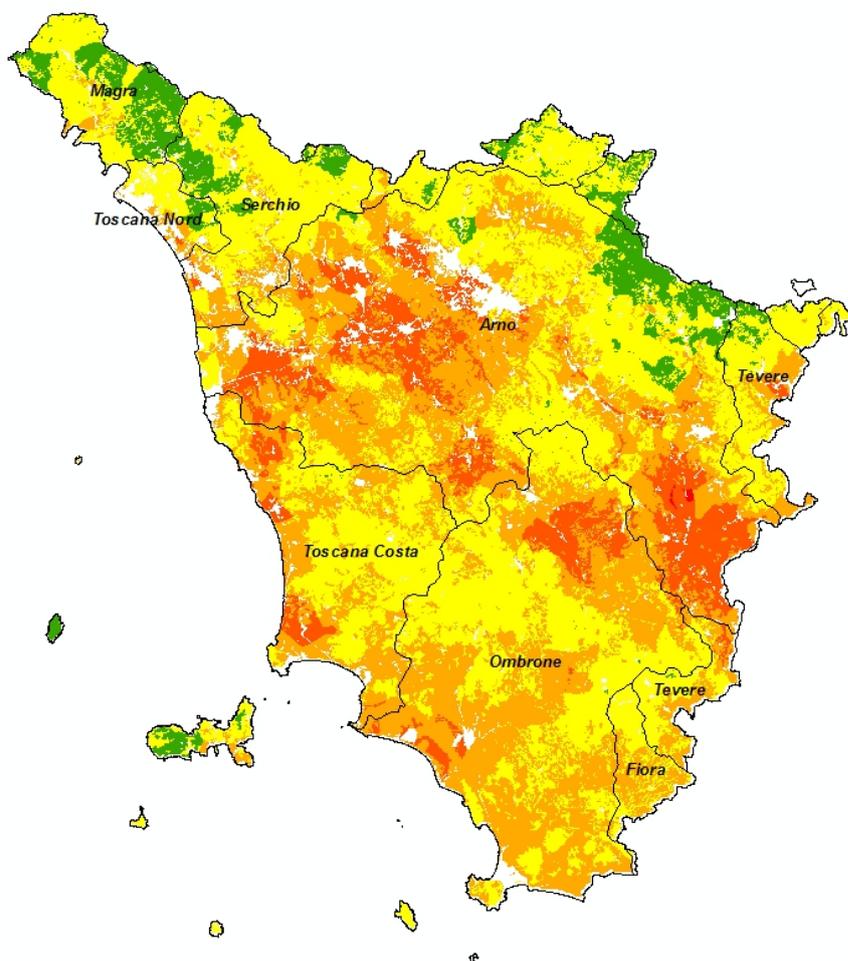
*Carta del HPI (Human Pressure Index).*

La zona centro-settentrionale è quella affetta da maggiore vulnerabilità dal punto di vista della pressione che l'uomo esercita sul territorio.

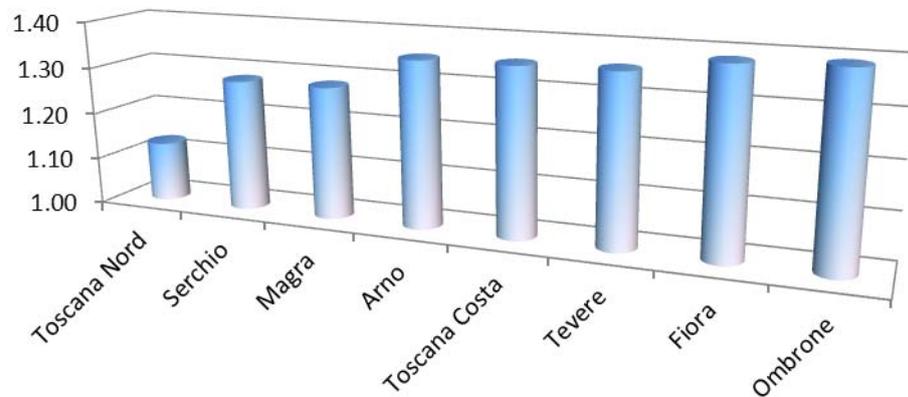
## **6.6 CONCLUSIONI**

L'analisi di sensibilità alla desertificazione, rappresenta una gerarchizzazione del territorio secondo la sua capacità di fare fronte a fenomeni negativi, permettendo, al tempo stesso, d'individuare il peso dei diversi fattori scatenanti, grazie ad un sistema di indicatori. 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. Dalla lettura della carta di sensibilità alla desertificazione per la regione Toscana emergono quattro macro-aree che presentano sensibilità medio-alta, caratterizzate da elementi di pressione diversi, ma omogenei all'interno di ogni macro-area.

L'analisi della sensibilità alla desertificazione, a livello di bacino idrografico individuati secondo la ex legge 183/1989 permette di mettere in evidenza gli ambiti idrografici che presentano i maggiori rischi.



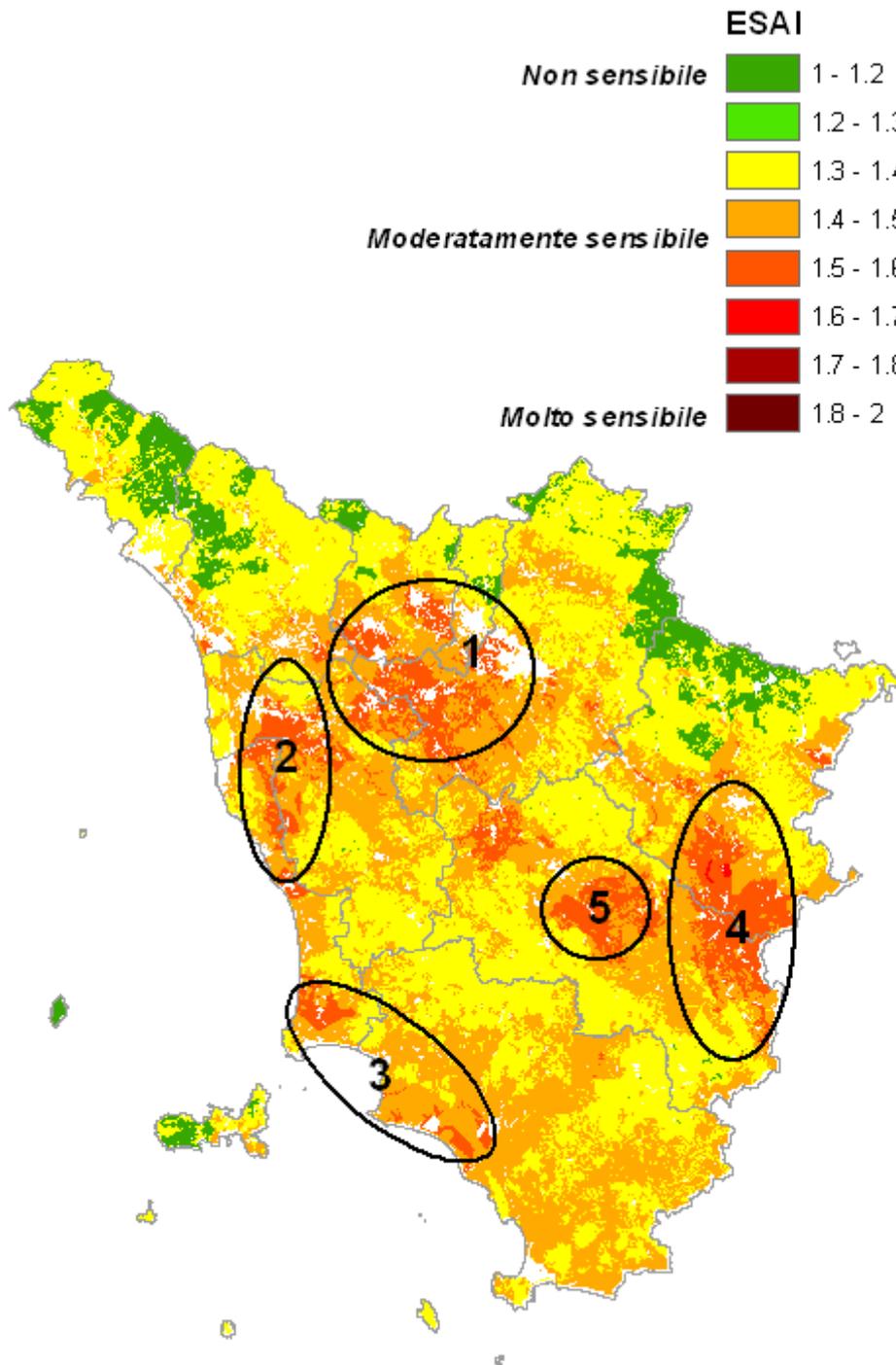
**VALORE MEDIO ESAI**



In generale si osserva che tutti i principali bacini idrografici presentano valori medi dell'indice inferiori a 1.5 e, quindi, non particolarmente sensibili alla desertificazione.

Appare evidente l'influenza del regime climatico, in particolare le piogge, sulle differenze nel valore dell'indice ESAI.

Per altri bacini, come l'Arno, il valore superiore a 1.3 è dovuto principalmente alle aree che presentano una forte antropizzazione e sfruttamento della risorse naturali.



*Zone sensibili alla desertificazione*

Da un'analisi comparata degli indici intermedi, presentati nel corso dei paragrafi precedenti, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- 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, infine, ricadente nella zona centrale della provincia di Siena presenta problematiche di gestione dovute all'attività agricola e alle politiche di protezione

## **7 AZIONE PILOTA NEL BACINO DEL FIUME ALBEGNA**

L'attuale livello di incertezza sui dati e sulle proiezioni dei modelli previsionali rende difficile una loro valutazione finalizzata alla pianificazione della risorsa idrica. Siccità ed eventi climatici estremi devono essere affrontati soprattutto con una programmazione di lungo periodo, attraverso la ricerca di un equilibrio tra conservazione, risparmio e sviluppo, e con la progettazione di sistemi di "gestione delle siccità".

In questo senso è necessario, inoltre, rafforzare la tutela ed il recupero della capacità naturale degli ecosistemi di mitigazione degli effetti, e ridurre il divario esistente tra disponibilità e domanda d'acqua.

L'approccio per un adattamento al fenomeno del cambiamento climatico può essere rappresentato non solo dalle classiche misure infrastrutturali, che si basano sull'incrementare la disponibilità della risorsa, come nuovi accumuli e sistemi di condotte o irrigazione più efficienti, ma anche da misure più *soft*, fondate sul governo della domanda, come il risparmio e la conservazione, l'educazione, i nuovi regolamenti (e le sanzioni), gli incentivi.

Rivolgersi oggi al "tradizionale" incremento dello sfruttamento della risorsa idrica sotterranea appare strategicamente poco "lungimirante" sul futuro, in quanto incapace di fronteggiare le incertezze legate alla evidente variabilità del clima.

Al contrario un grande sforzo e investimento di governo della risorsa vanno rivolti verso una forte riduzione della domanda e verso l'utilizzazione di fonti idriche secondarie (acque

reflue di depurazione) attraverso idonee politiche, normative e leggi, incentivi e misure tecniche.

A partire dai dati esistenti e di quelli che saranno integrati ed aggiornati, la Regione Toscana nel presente Programma di Azione Locale (PAL) si è posta come obiettivo la messa a regime di un **Osservatorio** nell’area pilota del bacino del fiume Albegna.

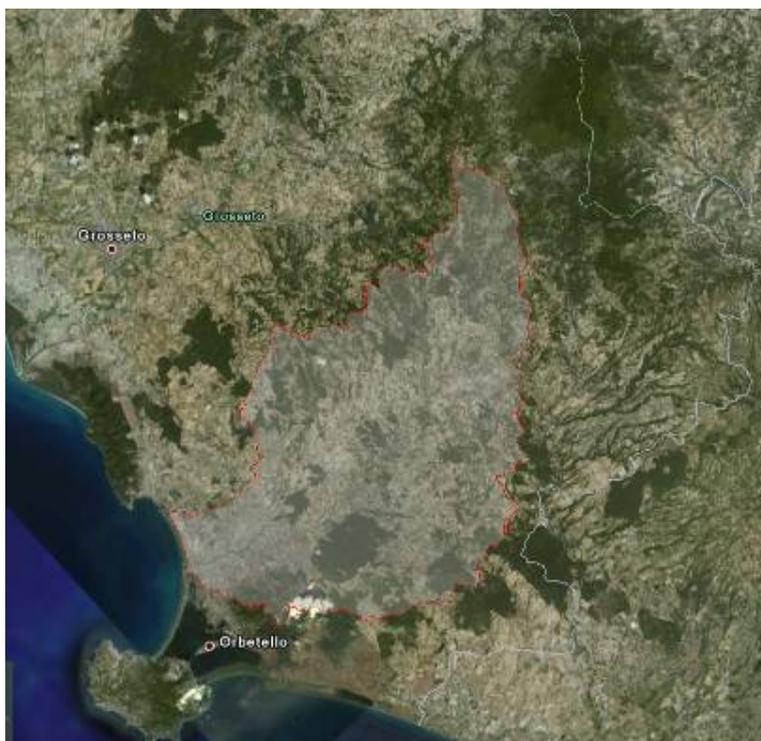
Il sistema di monitoraggio che è stato implementato permette di fornire un supporto alle decisioni (*governance*) degli enti coinvolti nella gestione della risorsa idrica, prima fra tutti la stessa regione, quindi la Provincia di Grosseto ed i comuni ricadenti nel bacino.

La caratterizzazione delle aree del bacino sulla base della disponibilità idrica permette di conoscere il livello di equilibrio del sistema ambientale rispetto alla risorsa idrica. Il monitoraggio e, soprattutto, l’uso dei modelli idrologici che permettono di “proiettare” nel futuro i valori quali-quantitativi della risorsa, da’ la possibilità di avere le informazioni necessarie per la gestione sostenibile delle risorse idriche.

Come evidenziato nelle premesse essa si realizza attraverso lo sviluppo di piani di prevenzione, mitigazione ed adattamento in relazione agli eventi di siccità e con il controllo e la razionalizzazione degli emungimenti idrici e delle derivazioni superficiali.

### 7.1 CARATTERISTICHE DELL’AREA PILOTA

L’area pilota individuata per il PAL è il bacino idrografico del fiume Albegna.



## **Consorzio LAMMA**

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

---

Il bacino, situato a sud della regione Toscana tra gli 11° 10' e 11° e 34' di longitudine est e i 42° 27' e 42° 50' di latitudine nord ricopre, un'area di circa 748 Km<sup>2</sup>. Comprende parte del territorio ricadente nei comuni di Arcidosso, Capalbio, Magliano in Toscana, Manciano, Orbetello, Roccalbegna, Santa Fiora, Scansano, Semproniano.

Il fiume nasce alle pendici del monte Buceto (m 1152), nella provincia di Grosseto, e sfocia nel mar Tirreno a Torre Saline, in località Albinia, senza entrare nella laguna di Orbetello ma restando a nord di poche centinaia di metri. Ha una lunghezza di 66 km.

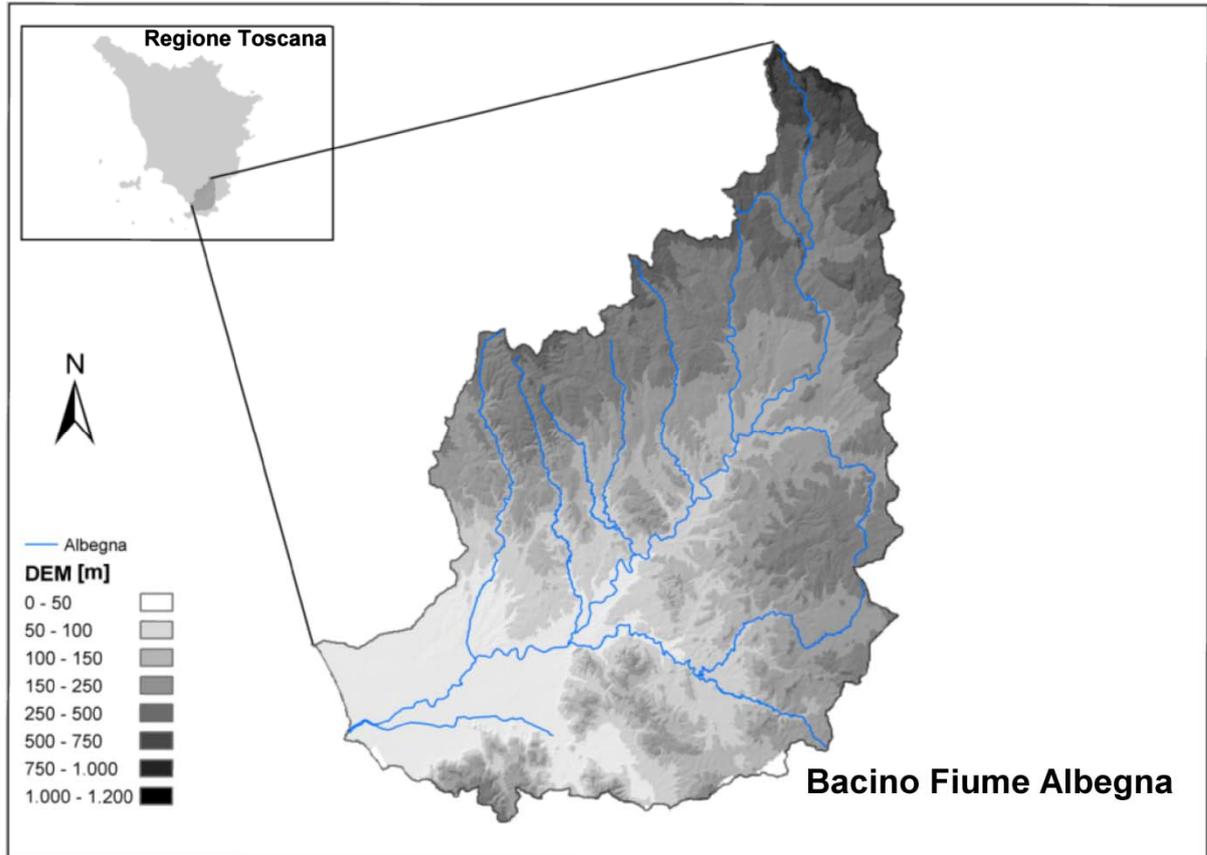
L'area nel suo complesso è caratterizzata da un clima tipicamente mediterraneo, con temperature medie annue di circa 16 °C nella zona costiera e di circa 12 °C nella zona montana.

La precipitazione cumulata media annua è inferiore a 1000 mm; valori superiori si riscontrano solo in corrispondenza dei rilievi più alti, mentre le zone di minore piovosità sono localizzate lungo la fascia costiera con valori minimi intorno ai 600 mm annui.

Dal punto di vista territoriale la zona può essere suddivisa in due parti, una più a nord denominata alta valle dell'Albegna che comprende i territori ricadenti nei comuni di Arcidosso, Roccalbegna, Santa Fiora, Semproniano e una più a sud denominata medio-bassa valle dell'Albegna comprendente i territori relativi ai comuni di Scansano, Manciano, Magliano in Toscana, Orbetello e Capalbio.

Dal punto di vista delle zone altimetriche il bacino è caratterizzato da una netta prevalenza di aree di pianura (75%) rispetto alle zone altimetriche collinari (22%) e di montagna (3%).

Le due zone, alta e medio-bassa valle, presentano caratteristiche differenti soprattutto per quanto riguarda l'utilizzazione del suolo. L'alta valle dell'Albegna è caratterizzata principalmente dalla presenza di prati permanenti, pascoli e aree boscate, mentre la medio-bassa valle da un uso del suolo principalmente agricolo con seminativi asciutti ed irrigui.

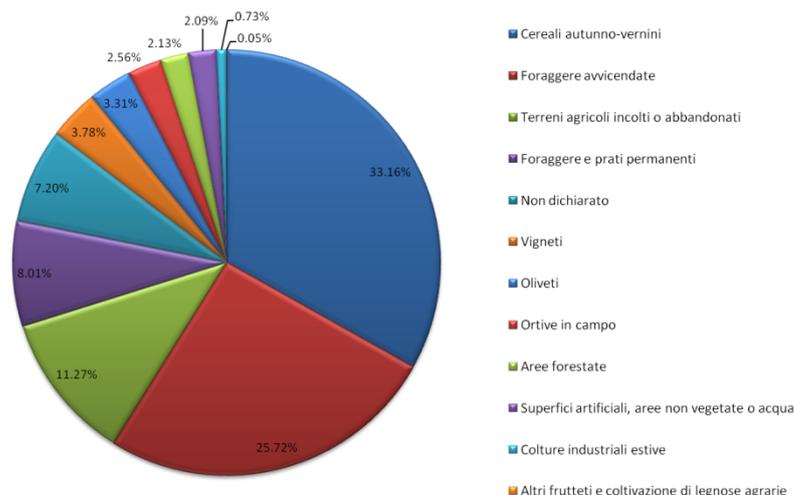


*Altimetria del bacino del fiume Albegna*

Il substrato geologico è costituito nella parte montana da unità tettoniche alloctone, fra loro sovrapposte, formate da torbiditi calcaree ed arenacee. La parte valliva del bacino presenta invece un andamento collinare morfologicamente caratterizzato dal modellamento dei depositi marino-lacustri costituiti in prevalenza da argille, sabbie e conglomerati.

Le due zone, alta e medio-bassa valle, presentano caratteristiche differenti soprattutto dal punto di vista dell'uso del suolo: l'alta valle dell'Albegna è caratterizzata principalmente dalla presenza di prati permanenti e pascoli, mentre nella medio-bassa valle si evidenzia un'utilizzazione del suolo principalmente agricola, con seminativi autunno-vernini e nelle aree di pianura colture orticole ed industriali.

L'analisi statistica del sistema AGRIT (programma statistico, messo a punto dal Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali, finalizzato a realizzare previsioni sulle superfici e sulle rese delle principali colture agrarie italiane) fornisce la suddivisione delle colture come riportata in figura.

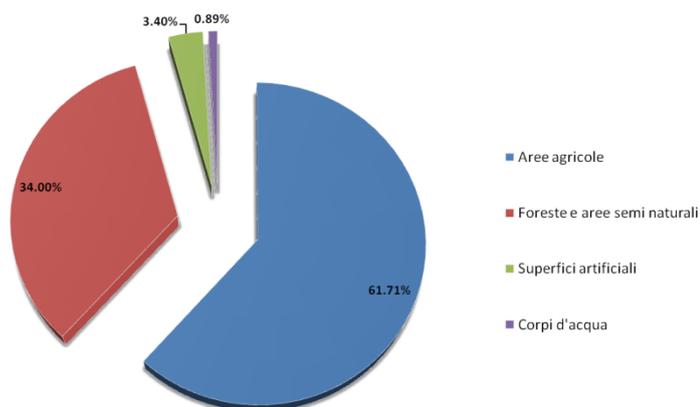


### Category of land use of the AGRIT system

Presso la sede di Grosseto del LaMMA è stata realizzata la Carta dell'Uso del Suolo di dettaglio, coerente dal punto di vista geometrico e topologico con la Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000. Gli elementi estratti sono stati controllati e corretti dal punto di vista geometrico e tematico, attraverso la fotointerpretazione in ambiente GIS sulle ortofoto AGEA.

La Carta dell'Uso del Suolo è stata realizzata secondo la legenda del *Corine Land Cover* fino al terzo livello di classificazione.

Il bacino risulta caratterizzato per circa il 60% da aree agricole, per il 35% da foreste e aree seminaturali, il 4% da superfici artificiali e per l'1% da corpi idrici. All'interno delle aree agricole circa l'80% del territorio è costituito da seminativi asciutti ed irrigui, il 6% da pascoli, il 5% da oliveti e il 4% da vigneti. A scala di bacino, quindi, i seminativi in senso stretto rappresentano ben il 50%.



### Main classes of land use of the basin

La popolazione residente nel bacino dell'Albegna è in netta diminuzione, con una riduzione preoccupante per il comune di Roccalbegna, -14,9% e Semproniano, - 9,3%, calo che si registra principalmente nel decennio tra il 1991 e il 2001. Questa tendenza negativa può

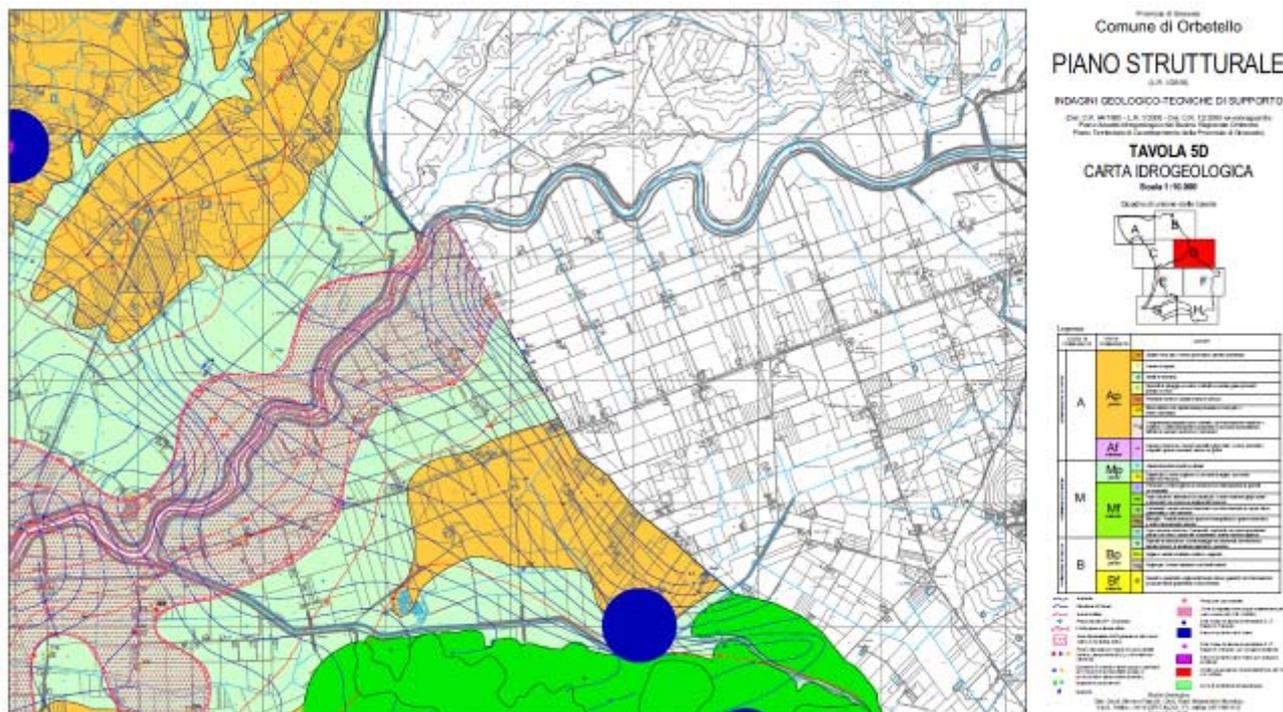
essere fondamentalmente attribuita a due elementi: calo delle nascite e abbandono del territorio da parte della popolazione più giovane.

L'attività economica più diffusa risulta l'agricoltura con un 57% delle aziende attive operanti sul territorio e solo un 5% di imprese industriali.

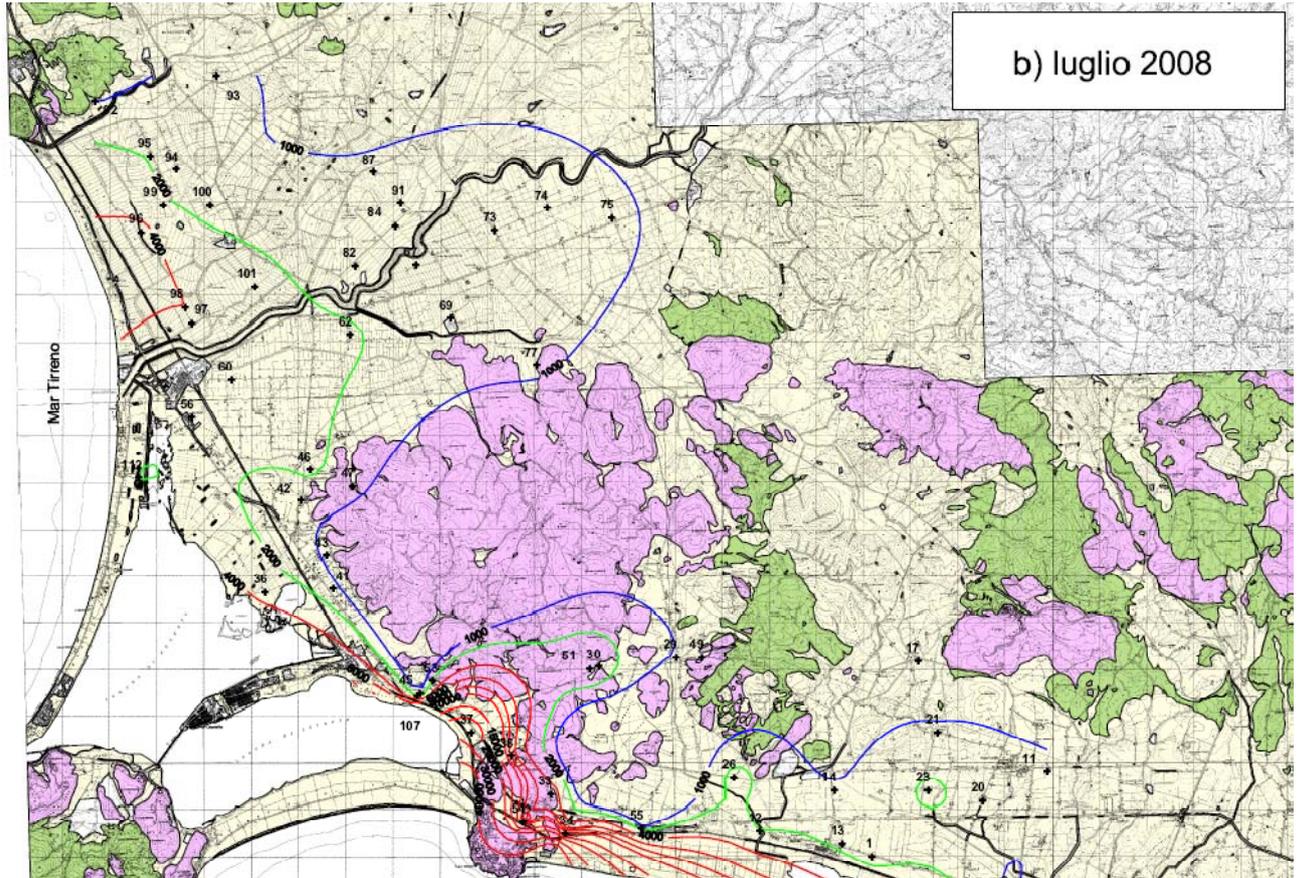
## 7.2 VULNERABILITÀ ALLA DESERTIFICAZIONE

Il bacino del fiume Albegna non presenta valori altissimi di ESAI (valore medio circa 1.5), risultando infatti al di sotto di altre aree della regione. Le principali cause “naturali” sono dovute alla conformazione dei suoli e al tipo di vegetazione.

Il bacino mostra, però, alcune situazioni di criticità ambientale molto importanti: in particolare, per quanto concerne la gestione delle risorse idriche l'area, nella parte vicino alla foce, è caratterizzata da un'agricoltura di tipo intensivo che comporta elevati emungimenti idrici sia superficiali che sotterranei. Quest'ultimi rappresentano una delle principali cause dell'ingressione del cuneo salino fino alla zona di Marsiliana (circa 20 km dalla foce). Infatti, la Provincia di Grosseto ed il comune di Orbetello, hanno già inserito nei propri strumenti di pianificazione, Piano Territoriale di Coordinamento e Piano Strutturale rispettivamente, norme di tutela e salvaguardia dei terreni sottoposti ad intrusione del cuneo salino.

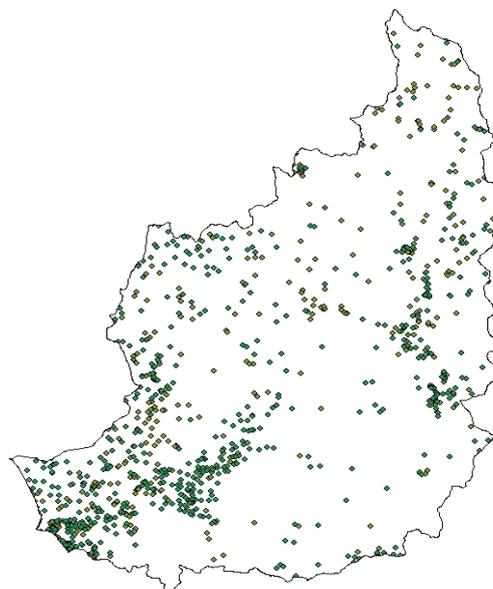


*Carta idrogeologica di corredo al Piano Strutturale del Comune di Orbetello*



*Carta delle isoconduttive di falda: la linea blu rappresenta il limite a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (studio Università degli Studi di Siena per conto della Provincia di Grosseto)*

Il LaMMA ha svolto un'indagine al fine di valutare la reale consistenza dei pozzi utilizzati a scopo irriguo: la figura sotto mostra la loro distribuzione.



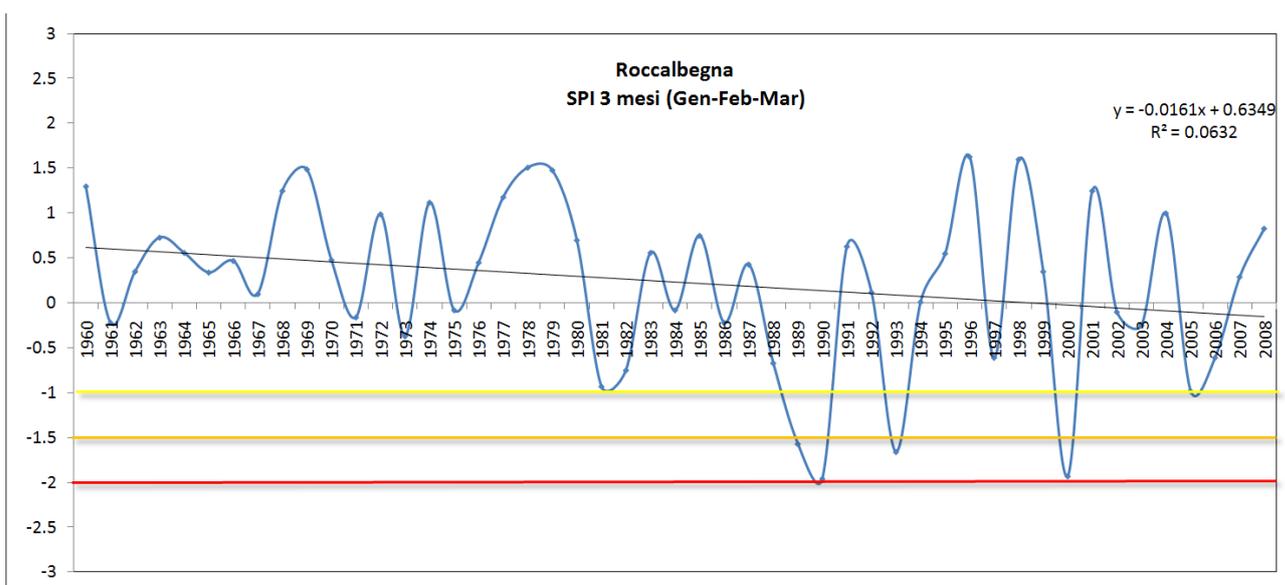
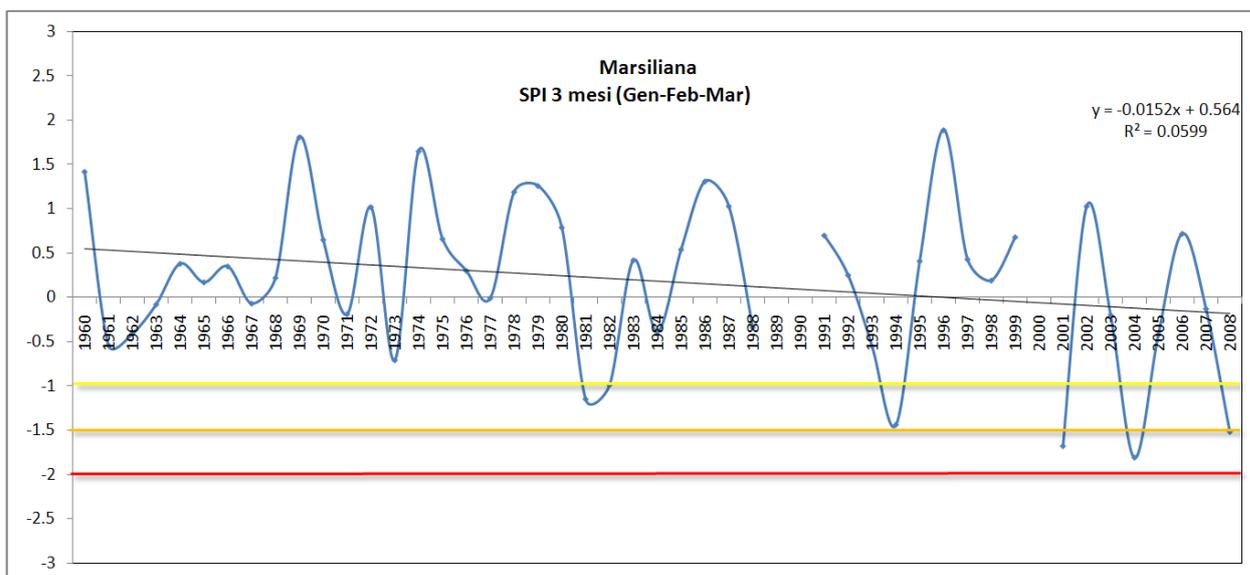
*Distribuzione dei pozzi*

Purtroppo sapere quanti pozzi ci sono e dove sono non aiuta a identificare le quantità di acqua emunta ma solamente a fornire un'indicazione sulla consistenza del problema. Inoltre, frequenti sono anche le derivazioni superficiali che vengono attuate spesso senza alcuna forma di controllo e stima delle quantità prelevate.



*Esempio di derivazione superficiale non monitorata*

L'analisi dello SPI evidenzia, negli ultimi anni, un aumento del numero, intensità e durata degli eventi estremi, con particolare riferimento alla siccità. Gli apporti meteorici al suolo ed verso le falde superficiali e sotterranee stanno subendo delle modifiche, mostrando una diminuzione anche e soprattutto nei mesi autunno-invernali, mentre gli utilizzi dell'acqua da parte delle attività umane sono in costante aumento.



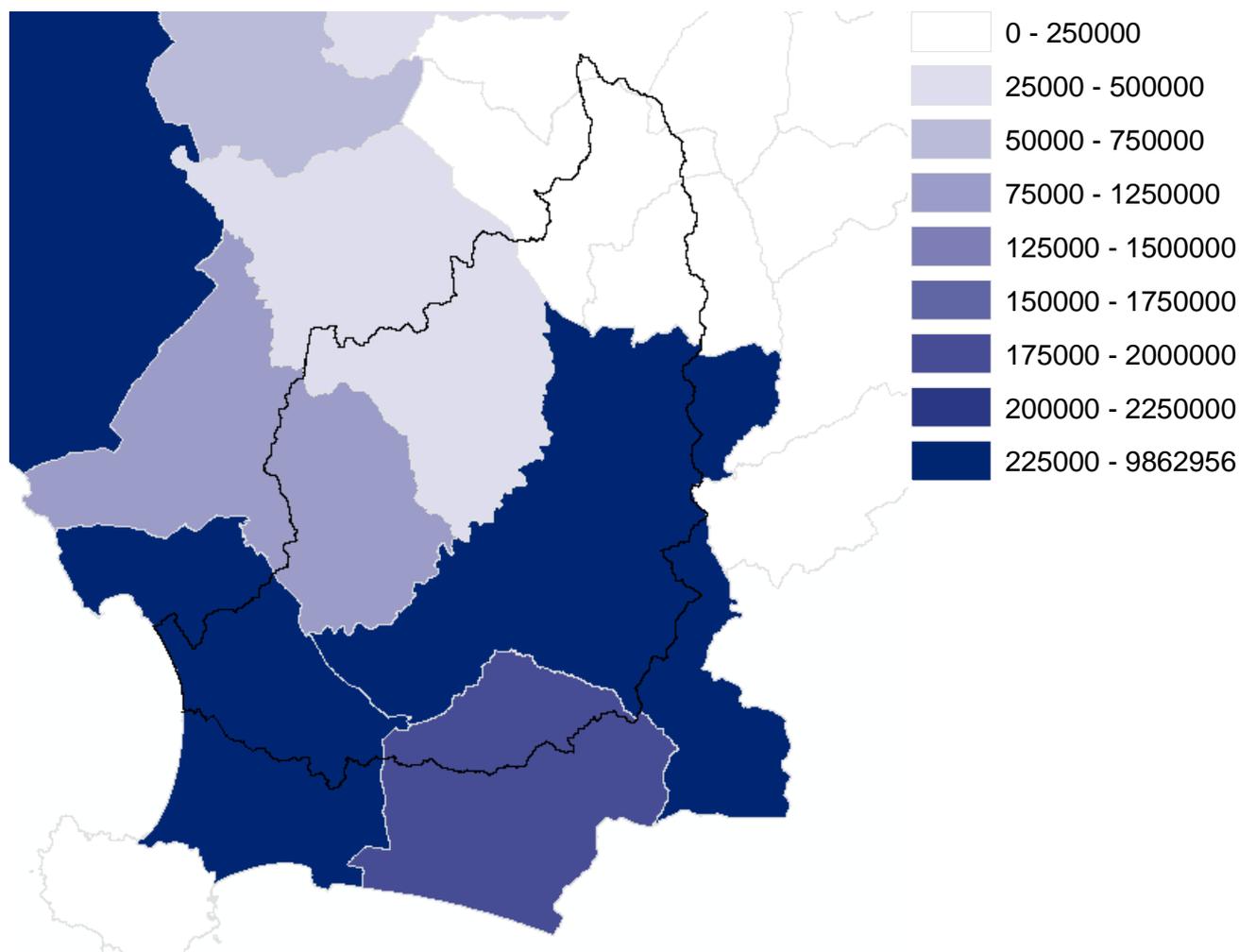
Andamenti dello SPI invernale in 3 stazioni del bacino del fiume Albegna

## 7.3 CONSUMI IDRICI

Sulla base dello studio svolto da CIBIC (Centro Interdipartimentale di Bioclimatologia – Università degli Studi di Firenze) per conto del Centro Funzionale della Regione Toscana sono stati calcolati i fabbisogni agricoli, civili ed industriali dei comuni ricadenti nell’area di studio

I valori sono molto elevati: in particolare, i comuni della bassa valle come Orbetello presentano un fabbisogno idrico 4.5 M m<sup>3</sup> anno, Manciano 2.4 M m<sup>3</sup> anno, mentre spostandoci

verso l'interno, dove si riducono le domande per uso irriguo e civile, abbiamo 1.2 M m<sup>3</sup> anno a Magliano in Toscana e 0.3 M m<sup>3</sup> anno per Scansano.



*Fabbisogni idrici dei comuni ricadenti nel bacino del fiume Albegna*

#### **7.4 ANALISI DELLO STATO DELLA VEGETAZIONE**

Il LaMMA mantiene un archivio di immagini satellitari a bassa risoluzione che viene utilizzato per lo studio dei parametri biofisici della vegetazione (stato fenologico, copertura vegetale, etc.)

Il prodotto "indice di vegetazione" del satellite *MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) usa, come dato di partenza il sensore "Terra" e il canale *surface reflectances* (MOD09) corretta per l'atmosfera, cioè *scattering*, assorbimento dell'ozono e aerosol. Uno degli indici più utilizzati è l'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), ottenuto effettuando la differenza fra l'immagine rilevata nella banda dell'infrarosso vicino e quella rilevata nella banda del rosso. Tale differenza viene normalizzata dividendo il risultato per la somma delle due stesse immagini:

## Consorzio LAMMA

“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”

---

$$NDVI = \frac{\rho_{(VNIR)}^- - \rho_{(rosso)}}{\rho_{(VNIR)}^+ + \rho_{(rosso)}}$$

Ci sono vari prodotti delle immagini NDVI del satellite MODIS che variano in funzione della risoluzione spaziale e temporale; le immagini composte a 16 giorni (CV-MVC, *Constrained View Maximum Value Composite*) sono disponibili con risoluzioni a 250 m, 500 m, 1 Km e 0.05 gradi (Huete et al., 1999). Vi sono anche immagini mensili con 1 Km e 0.05 gradi di risoluzione. Il prodotto che costituisce l'archivio del laboratorio LaMMA è il MODIS/Terra *Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid (MOD13Q1)*.

Le immagini subiscono inoltre dei trattamenti per la correzione degli *outliers* (valori anomali, spesso dovuti alla copertura nuvolosa) utilizzando una metodologia di ricostruzione del dato sulla base dei valori derivanti dalla media mobile a partire dalle due scene precedenti e le due successive dell'immagine da correggere.

L'indice di vegetazione normalizzato (NDVI) rappresenta un buon indicatore dello stato della vegetazione in base alla sua attività fotosintetica: l'indice sfrutta, infatti, l'assorbimento del rosso (fotosintesi) e l'elevata riflettanza nell'infrarosso (tessuti fogliari) per riconoscere la vegetazione fotosinteticamente attiva da altre coperture del suolo (acqua, suolo nudo, neve, ecc).

Un'interessante applicazione dell'archivio multitemporale di immagini NDVI è l'individuazione spaziale dei fenomeni siccitosi.

Al fine di avere un quadro delle anomalie annuali sono state calcolate le medie dell'indice nel periodo 2000 - 2007 di tutte e 23 le immagini secondo le date "giuliane".

È stato preso in considerazione il periodo estivo dal 25 maggio al 29 settembre 2008.

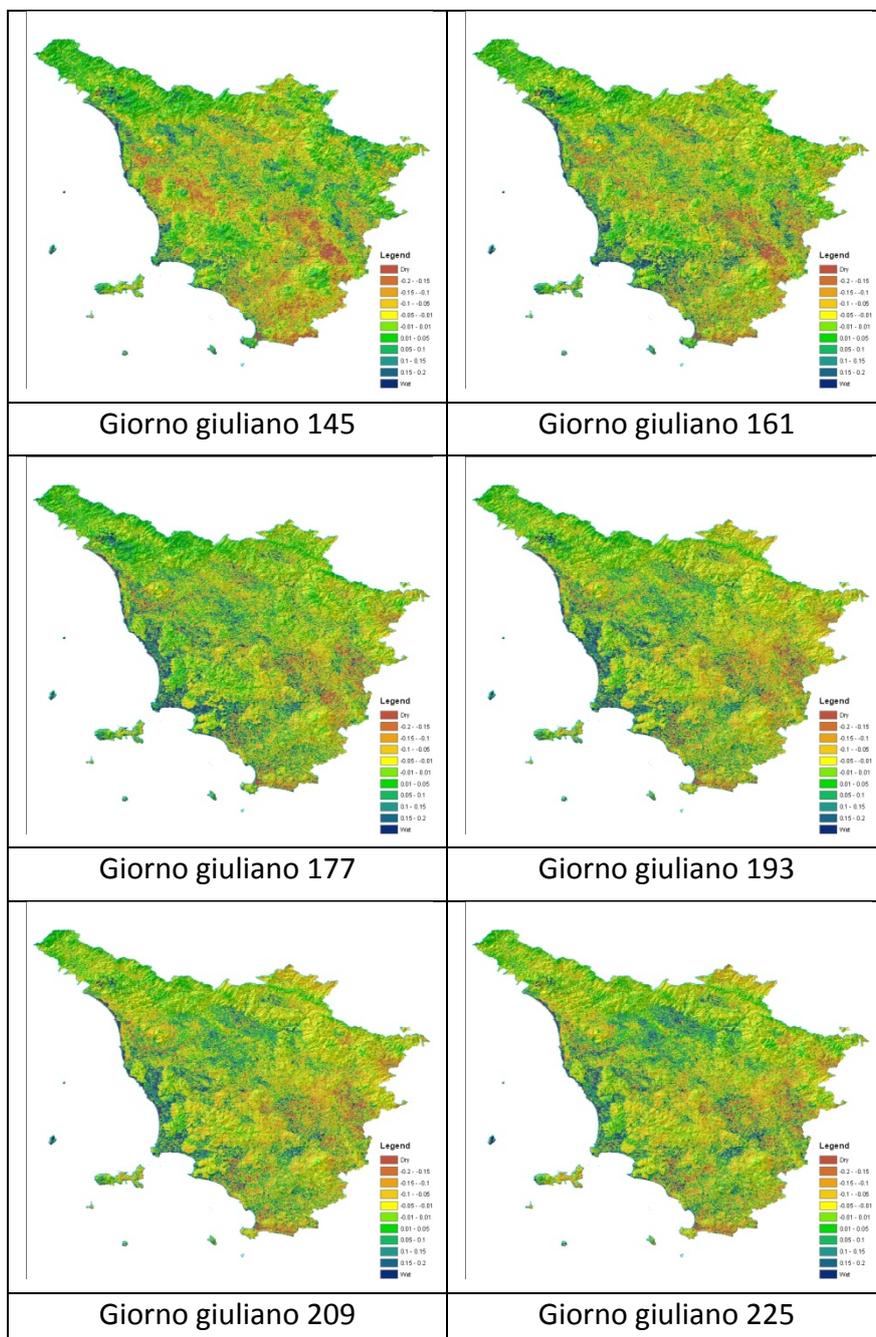
GIORNO GIULIANO	INIZIO	FINE
145	25/05	09/06
161	10/06	25/06
177	26/06	11/07
193	12/07	27/07
209	28/07	12/08
225	13/08	28/08
241	29/08	13/09
257	14/09	29/09

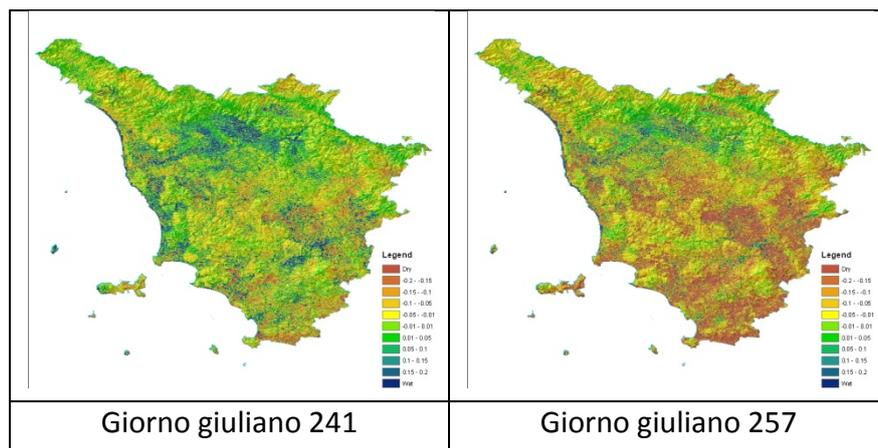
# Consorzio LAMMA

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

Per ognuna delle 8 immagini NDVI a 16 giorni del 2008 è stata calcolata la deviazione rispetto al valore medio del periodo 2000-2007 sulla base della seguente formula attraverso l'utilizzo dei software di analisi IDRISI e ArcMAP:

$$\left[ \frac{(\text{NDVI}_{\text{GG}} - \text{NDVI}_{\text{GGmedio2000-2007}})}{\text{NDVI}_{\text{GGmedio2000-2007}}} \right]$$





## **7.5 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO**

Quantificare gli effetti della gestione del territorio e dell'uso del suolo sul consumo idrico e sulla qualità della risorsa è il principale obiettivo della modellizzazione ambientale. Per una stima della disponibilità della risorsa idrica a scala di bacino e per la valutazione di valide alternative di gestione in grado di ridurre il carico di sedimenti e di inquinanti nei fiumi, è necessario prendere in considerazione modelli con parametri distribuiti o semi distribuiti.

I modelli idrologici, che trovano larga approvazione dalla comunità scientifica, stanno diventando sempre più complessi e richiedono metodologie molto sofisticate di elaborazione e gestione. Grazie all'integrazione fra il telerilevamento ed i Sistemi Informativi Geografici (GIS) l'analisi idrologica distribuita nello spazio produce dei dati che permettono un accurato monitoraggio dell'evoluzione del sistema idrico e di tutte le sue dinamiche ambientali.

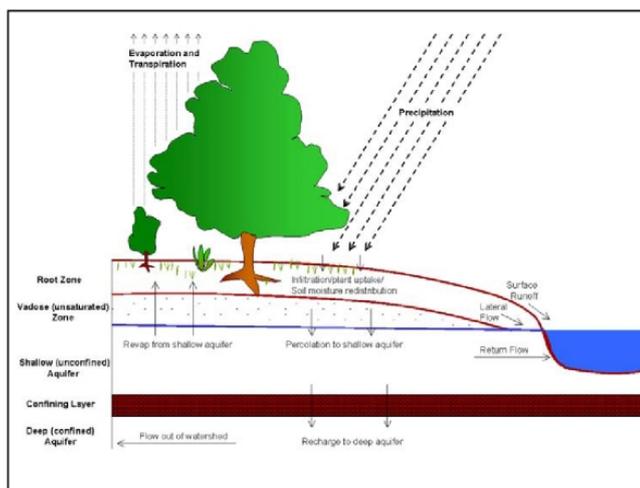
### **7.5.1 Caratteristiche del modello idrologico**

I modelli distribuiti tengono conto della variabile "spazio" la quale controlla parametri come la topografia, il suolo, l'uso del suolo ecc.; hanno il vantaggio di riuscire a caratterizzare accuratamente l'influenza delle variazioni spaziali nel corso della simulazione dando un'accurata rappresentazione del sistema idrologico (Chow et al., 1988). Per l'applicazione di uno di questi modelli nel caso di studio dell'azione pilota della Regione Toscana, è stato individuato SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*).

Il modello è stato messo a punto da USDA (*United States Department of Agriculture*) (Arnold et al., 1993) a partire dal modello distribuito SWRRB (evoluzione del famoso CREAMS, Knisel 1980) che era applicabile a bacini con un massimo di 10 sottobacini: SWAT può infatti girare simultaneamente su centinaia di essi.

SWAT viene utilizzato in ambiente GIS (ESRI ArcGIS 9.2 con l'estensione di *Spatial Analyst*). L'interfaccia GIS in particolare crea dei file che vengono utilizzati come input del

modello e, oltre a fornire uno strumento di visualizzazione dei risultati, permette di effettuare anche analisi statistiche di vari scenari sulla quantità e qualità della risorsa idrica del bacino.



Schema del ciclo idrologico

Il modello SWAT è un sistema di modellizzazione deterministico, quasi-distribuito, che consente di definire gli effetti di piogge, clima, uso e copertura del suolo (compresa la tipologia di conduzione agricola) sull'erosione potenziale del suolo e sulle portate liquide e solide delle aste fluviali.

Il modello è molto usato a livello internazionale ed è stato applicato con successo per simulazioni a lungo termine sull'impatto del cambiamento dell'uso del suolo sulla disponibilità idrica, sul trasporto dei sedimenti e degli inquinanti in bacini idrografici di varia grandezza con differenti condizioni climatiche, geologiche e idrologiche. Riesce a ben simulare il trasporto solido all'interno del bacino anche se in alcuni casi viene sottostimato nei mesi in cui i corsi d'acqua presentano una portata elevata.

SWAT è un modello a scala temporale continua che usa dati di input (clima, suoli, pendenza, uso del suolo) mediati giornalmente. Gli output sono generati come risultato dell'applicazione di equazioni idrologiche per la simulazione del flusso che devono essere accuratamente implementate con dati dettagliati.

Il modello suddivide l'area di studio in aree specifiche dette HRU (*Hydrologic Response Unit*) caratterizzate da parametri omogenei di elevazione, pendenza, tipo di suolo, uso del suolo, gestione agronomica, e valuta per queste il bilancio idrologico e l'erosione del suolo su un arco temporale maggiore di un anno. Le equazioni vengono calcolate per ogni HRU separatamente; il ruscellamento superficiale e il calcolo della portata sono direzionate alla HRU adiacenti fino ad arrivare allo sbocco di ogni sottobacino (Arnold et al., 1999).

SWAT ha otto componenti principali che lavorano con specifici algoritmi: idrologia, climatologia, sedimentazione, temperatura del suolo, crescita colturale, nutrienti, pesticidi e gestione dell'agricoltura.

Il bilancio idrico per ogni HRU è calcolato con la seguente equazione:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw})$$

dove:  $SW_t$  (mm) è il contenuto finale di acqua nel suolo;  $SW_0$  (mm) è il contenuto iniziale di acqua del suolo al giorno  $i$ ;  $t$  è il tempo (giorni);  $R_{day}$  (mm) è l'ammontare di precipitazione al giorno  $i$ ;  $Q_{surf}$  (mm) è l'ammontare di ruscellamento superficiale al giorno  $i$ ;  $E_a$  (mm) è l'ammontare di evapotraspirazione al giorno  $i$ ;  $w_{seep}$  (mm) è l'ammontare di acqua che percola nel profilo del suolo;  $Q_{gw}$  è l'ammontare di acqua che fluisce nella falda sotterranea.

Il ruscellamento superficiale per ogni HRU viene calcolato attraverso il metodo della SCS *curve number* (USDA, 1972). Recentemente (Neitsch et al., 2002) il modello è stato implementato con l'equazione di Green and Ampt (1911) per il calcolo dell'infiltrazione al fine di quantificare il volume del ruscellamento. Il massimo livello di *runoff* è calcolato con la "formula Razionale" modificata (Kuichling, 1889) o tramite il metodo SCS TR-55 (USDA-SCS, 1986).

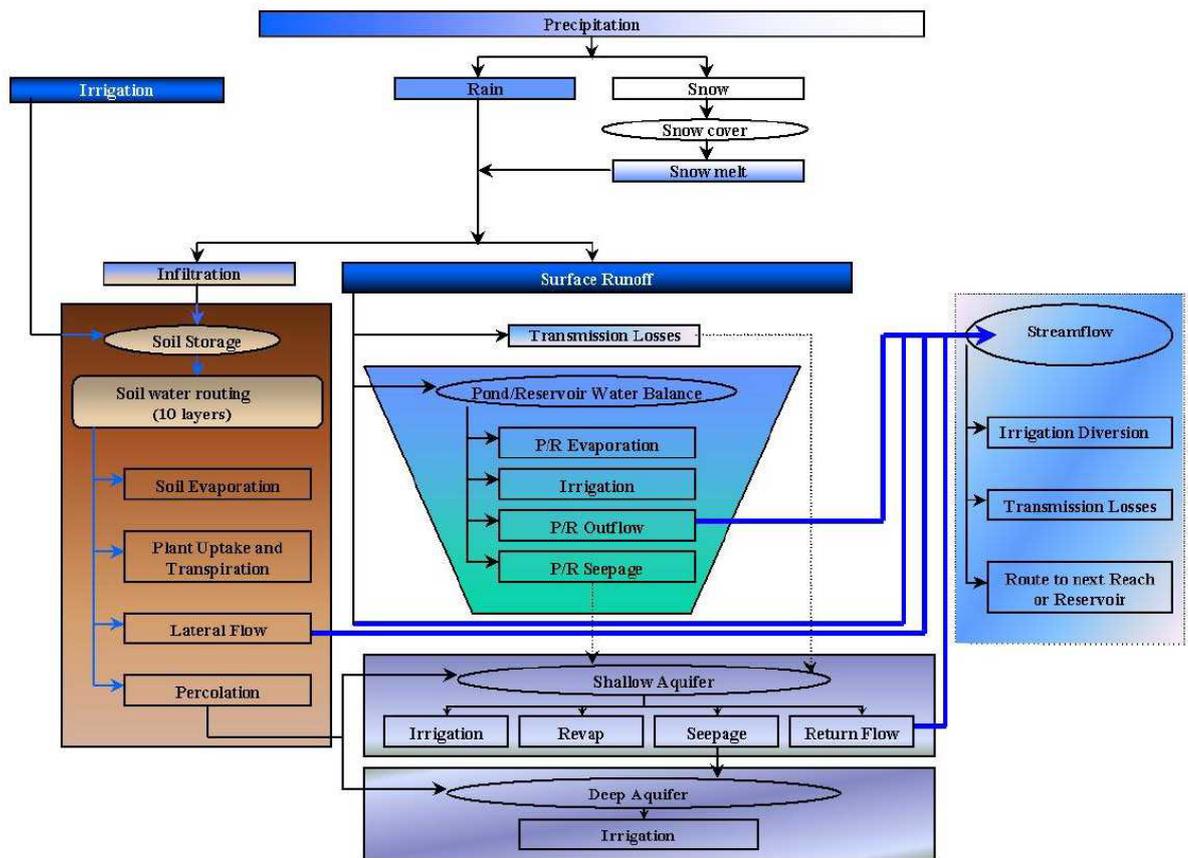
La portata laterale della falda è calcolata con il modello cinematico di Sloan et al. (1983) implementato con delle relazioni empiriche.

Il calcolo per il ruscellamento canalizzato si basa sul "metodo del coefficiente variabile" (Williams, 1969) e la portata canalizzata sull'equazione di Manning (Chow, 1959) modificata per le perdite di trasmissione, evaporazione, diversione e flusso di ritorno come descritto in Arnold et al. (1995).

Il calcolo della portata negli invasi si basa sul bilancio idrico e sul prelievo misurato.

Il volume di suolo eroso viene calcolato sulla base dell'Equazione Universale di Perdita del Suolo MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*) (Williams and Berndt, 1977) ed espresso in termini di volume del ruscellamento, massima portata e fattori dell'equazione USLE (Wischmeier and Smith, 1978).

Il trasporto canalizzato dei sedimenti si basa sul concetto di Bagnold's (1977) modificato da Williams (1980) per il trasporto in sospensione e il degradamento del letto fluviale. Quest'ultimo è modificato con i fattori di erodibilità e di copertura del suolo della USLE e la deposizione è stimata in base alla perdita di velocità delle particelle.



*Schema delle dinamiche di movimento dell'acqua previste dal modello SWAT*

Per la definizione del bilancio idrico del fiume Albegna è stata utilizzata la versione per ArcGIS SWAT 2005 che permette di implementare il modello all'interno del potente software GIS di ESRI.

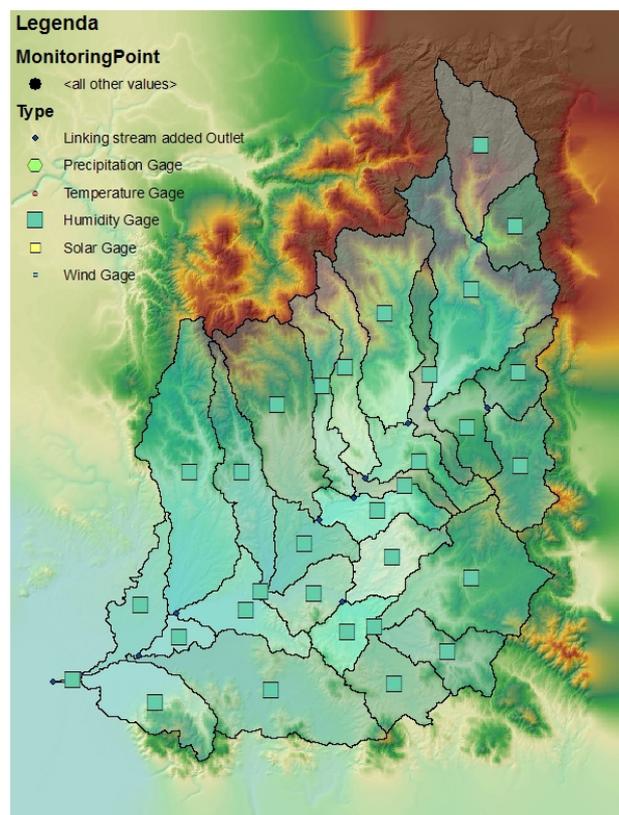
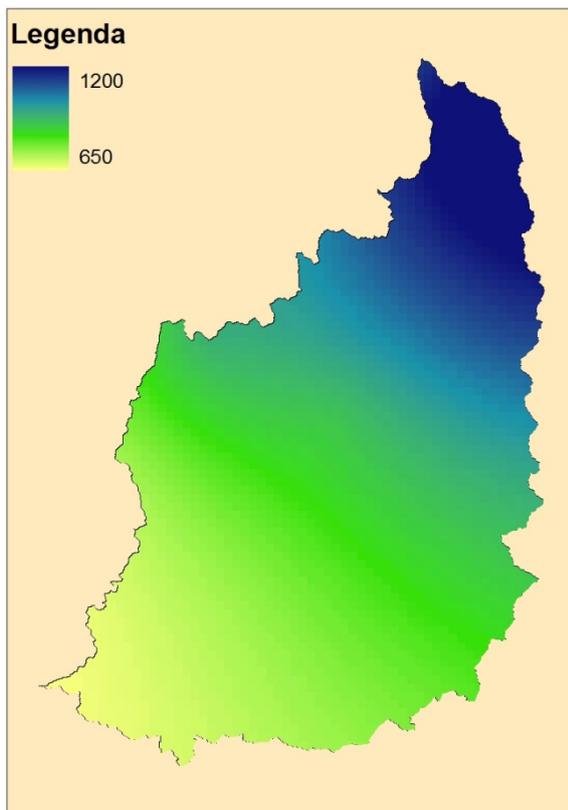
### **7.5.2 La simulazione del modello nell'area di studio**

Il modello SWAT, messo a punto per il calcolo dei bilanci idrici del bacino del fiume Albegna, ha richiesto il preliminare reperimento di tutti i dati di base necessari e la loro integrazione, dopo un'accurata verifica dei rispettivi contenuti informativi, allo scopo di renderli fruibili dal modello.

Di seguito sono elencati gli strati informativi utilizzati:

- DTM con risoluzione a 10 m: calcolato con il *tool* TOPOGRID presente in ArcInfo a partire dagli elementi (curve di livello, punti quotati, *stream*) della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000;
- suoli: dati ricavati a partire dalla Carta dei Suoli 1:250.000 della Regione Toscana ed integrati con le informazioni della Carta dei Suoli di semi-dettaglio a scala 1:25.000;

- uso del suolo: carta realizzata a partire dagli elementi presenti nella Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000 e fotointerpretata con le foto aeree a colori aggiornate al 2007; inserimento delle pratiche di gestione delle principali colture agricole;
- dati climatici giornalieri registrati negli anni 2000-2008: disponibili presso le stazioni meteorologiche del Centro Funzionale della Regione Toscana e di ARSIA (i parametri richiesti dal modello sono: temperatura minima e massima, precipitazione cumulata, radiazione solare, velocità del vento, umidità relativa);
- dati delle altezze idrometriche giornaliere relativi al periodo di calibrazione del modello: forniti dal Centro Funzionale della Regione Toscana.



Carta della piovosità media annua (mm di pioggia) e “stazioni virtuali” usate dal modello SWAT

Il primo passo da svolgere nell'applicazione del modello SWAT è quello che prevede la scelta e preparazione del modello digitale del terreno allo scopo di ricavare il reticolo idrografico, la suddivisione in sottobacini e i principali parametri morfometrici come la pendenza.

Una volta scelto il DEM occorre inserire il parametro *Threshold Area* nella sezione *Stream definition*. Questo parametro, che rappresenta l'area minima contribuente (in ha) per la

# Consorzio LAMMA

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

definizione del corso d’acqua, influisce sul dettaglio del reticolo risultante e, di conseguenza, sulla quantità di sottobacini considerati e, in ultima analisi, sulla qualità del risultato finale.

Dopo vari test realizzati sul bacino in esame, è risultato ragionevole il valore di 5000 ha che ha comportato la delimitazione di 31 sottobacini.

Una volta definito il reticolo, il modello fa scegliere l’*outlet* finale dell’intero bacino, cioè la foce del fiume, e sulla base dei dati impostati calcola i parametri morfometrici che servono per la modellazione del flusso.

Per definire le proprietà del suolo 22 diverse classi sono state introdotte nel modello. Per ciascuna di esse e per ciascun orizzonte che la compone, sono stati assegnati parametri fisici caratteristici come profondità, conducibilità idraulica, tessitura, contenuto di argilla, limo e sabbia, ecc.

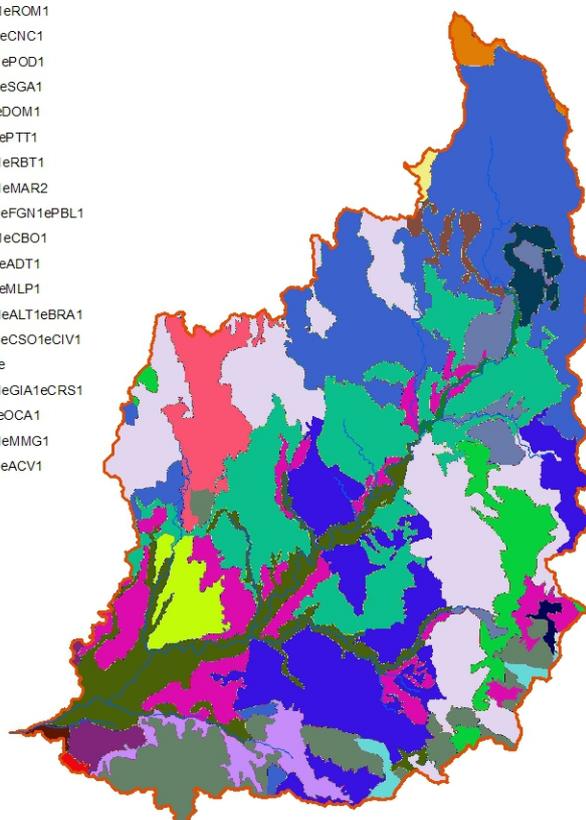
Ogni tipo di suolo così definito è stato inserito nel database che il modello utilizza nel calcolo del bilancio idrico.

## Legenda

### SwatSoilClass(LandSoils3)

#### Classes

ABN1eABN2
CAV1eGNZ1
CBO1eSBR1eVIV1
CMD1eROM1
CPA1eCNC1
CPR1ePOD1
CRL1eSGA1
FIN1eDOM1
LPV1ePTT1
MAC1eRBT1
MAR1eMAR2
MLP1eFGN1ePBL1
MUR1eCBO1
NAL1eADT1
PBL1eMLP1
RSG1eALT1eBRA1
SAN1eCSO1eCIV1
SAT1e
SUG1eGIA1eCRS1
TAL1eOCA1
UCC1eMMG1
VDA1eACV1



*Carta dei suoli*

# Consorzio LAMMA

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

Il ruscellamento e l'erosione del sedimento dipendono molto dal tipo di copertura del suolo e dalla gestione agronomica e forestale dei terreni. Poiché la classificazione dell'uso del suolo è così critica, i dati disponibili sono stati esaminati accuratamente prima di inserirli nel modello.

L'importanza dell'uso del suolo nel modello sta principalmente nel calcolo delle superficie di ruscellamento che avviene tramite il metodo di curva SCS (*Soil Conservation Service, Arnold et al., 1999*). Il modello include nel suo database 102 tipologie di copertura vegetale ciascuna delle quali è caratterizzata da un diverso valore del CNII (*Curve Number*). Infatti, ogni coltura presenta uno specifico indice di copertura fogliare che protegge il terreno da fenomeni di ruscellamento e di conseguenza influisce sul contenuto idrico del suolo.

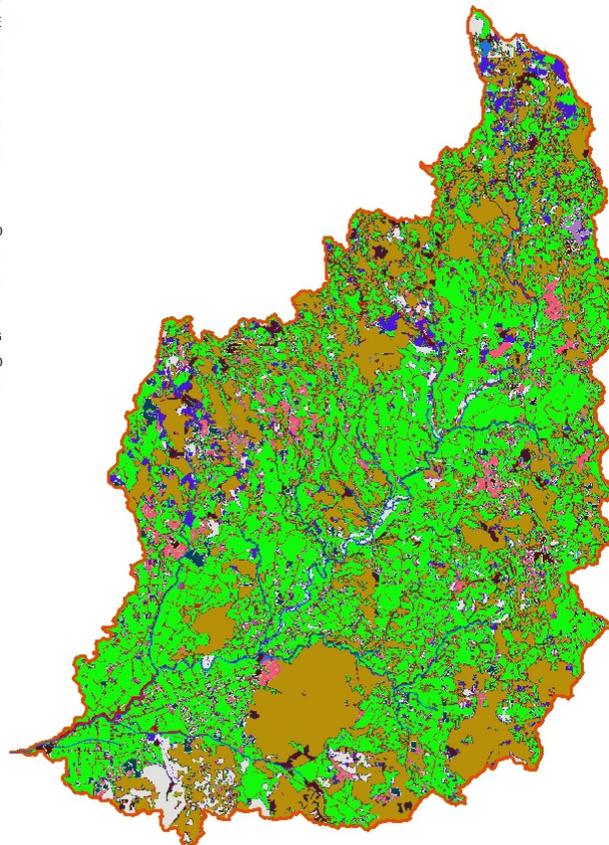
Nel caso del bacino del fiume Albegna sono stati individuati 19 diversi tipi di copertura vegetale, ognuno dei quali è stato incrociato con l'appropriata classe di uso suolo del database di SWAT.

## Legenda

SwatLandUseClass(LandUse8)

### Classes

■	RNGB
■	PAST
■	AGRL
■	WATR
■	RNIG
■	UTRN
■	FRSD
■	FRSE
■	URLD
■	BARE
■	OLIV
■	VINE
■	URHD
■	UIDU
■	FRST
■	AGR
■	RYEG
■	ORCD
■	POPL



*Carta dell'uso del suolo*

L'incrocio degli strati informativi suolo, copertura vegetale e pendenza determina le HRU (*Hydrologic Response Units*) ovvero le unità di risposta idrologica identificate in modo univoco. Su di esse vengono implementate le equazioni di bilancio idrologico per arrivare alla definizione, secondo la formula prima riportata, del deflusso superficiale e dell'infiltrazione che alimenta la falda sotterranea.



*Particolare delle HRU derivanti dalle combinazioni*

Le variabili climatiche, richieste da SWAT, consistono in:

- Precipitazioni giornaliere. Poiché le precipitazioni controllano direttamente il ciclo idrologico, la loro distribuzione è simulata nel modello in maniera molto accurata in termini sia spaziali sia temporali. La precipitazione che arriva al suolo in un dato giorno può essere letta da un database di input, oppure può essere generata dal modello. Maggiore è il numero di stazioni pluviometriche e più accurato è il calcolo del bilancio idrico.
- Temperature massime e minime. La temperatura influenza un notevole numero di processi fisici, chimici e biologici. La produzione delle piante è fortemente dipendente dalla temperatura così come lo sono i processi di mineralizzazione e di decomposizione della sostanza organica. Nel modello, i dati giornalieri di temperatura possono essere

inseriti dall'utente, oppure possono essere generati sulla base dei valori medi mensili. La temperatura del suolo e quella dell'acqua sono derivate dalla temperatura dell'aria.

- Radiazione solare. L'energia delle radiazioni solari è in pratica l'unica fonte energetica che influenza i processi climatici che hanno luogo sulla Terra. I dati della radiazione solare richiesti da SWAT sono dati giornalieri che devono essere scritti nei file di input oppure fatti generare dal modello.
- Velocità del vento. I dati giornalieri della velocità del vento sono richiesti dal modello nel caso in cui, come nel nostro, si utilizzi l'equazione di *Penman-Monteith* per stimare l'evapotraspirazione potenziale e la traspirazione.
- Umidità relativa. I dati dell'umidità relativa sono richiesti da SWAT se si utilizza l'equazione di *Penman-Monteith* o quella di *Priestley-Taylor* per stimare l'evapotraspirazione potenziale.

I valori sono stati calcolati come centroidi dei sottobacini identificati dal modello a partire dalle spazializzazioni dei parametri sopra esposti. Ciò permette di attribuire in maniera univoca i dati di una "stazione virtuale" ad ogni bacino considerato.

Una volta preparati gli strati informativi ed inseriti tramite le opportune interfacce, il modello collega l'identificativo di ciascun sottobacino ai valori corrispondenti nei database relativi ai suoli, al clima, alle HRU ecc e scrive l'informazione in opportuni file successivamente utilizzati nella simulazione.

Al termine della fase di scrittura su file, avviene la simulazione vera e propria.

Tramite il modello SWAT, oltre ad altre informazioni di dettaglio, è possibile impostare:

- il periodo di simulazione (al quale deve corrispondere la disponibilità di dati meteorologici);
- il tipo di metodo da usare nella stima dell'evapotraspirazione (*Priestley-Taylor*, *Penman-Monteith*, *Hargraves*) oppure, se disponibile, la lettura dei dati di evapotraspirazione da file;
- la frequenza dei dati di output (annuale, mensile, giornaliera).

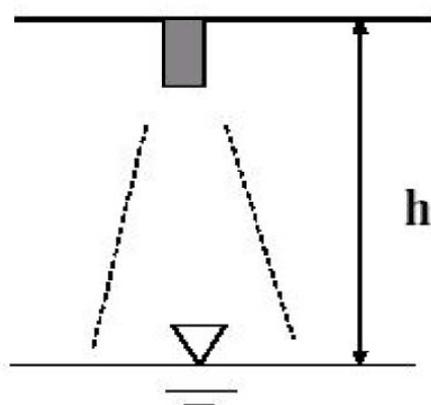
Nel caso specifico, dopo aver svolto alcuni test di confronto e avendo a disposizione i dati meteorologici richiesti, è stato scelto il metodo di stima dell'evapotraspirazione derivato da *Penman-Monteith*.

La frequenza dei dati di output è stata impostata al valore giornaliero.

### 7.5.3 Calibrazione e validazione del modello

La calibrazione di un modello consiste nella ricerca dei giusti parametri che minimizzano l'errore tra grandezza misurata e grandezza stimata.

Allo scopo di valutare la bontà previsionale del modello SWAT è stata valutata la correlazione tra i valori di portata calcolati e le altezze idrometriche misurate nella stazione di Marsiliana attraverso un sensore ad ultrasuoni.

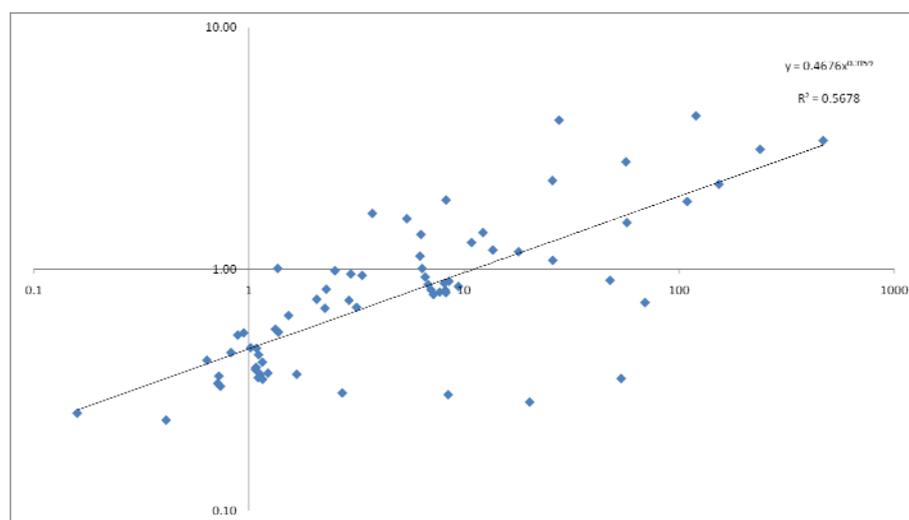


Sensore  
installato su  
un ponte



*Sensore ad ultrasuoni per la misura dell'altezza idrometrica*

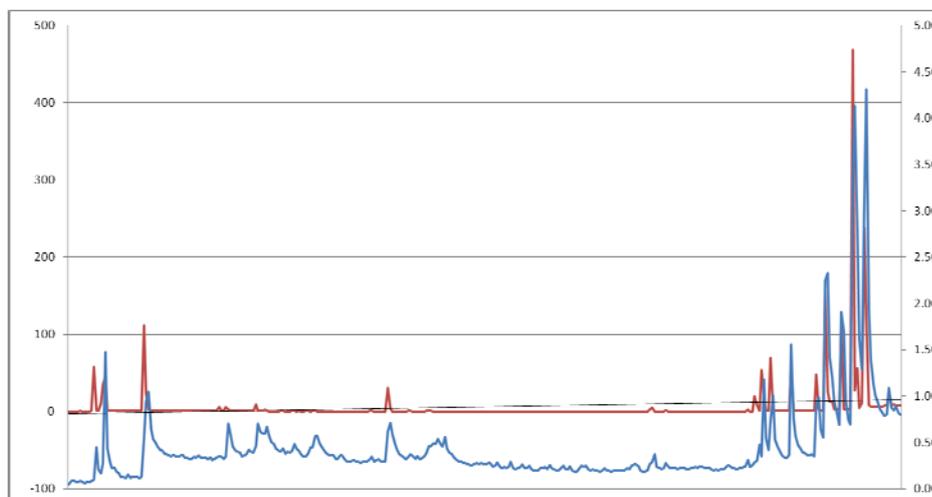
Il grafico mostra la relazione risultante tra i dati delle altezze idrometriche e le portate calcolate dal modello all'uscita del sottobacino dove è posizionato l'idrometro di Marsiliana.



*Correlazione tra portate stimate dal modello e altezza idrometrica misurata*

Sappiamo, infatti, che la relazione tra la portata defluente in una certa sezione di un'asta fluviale e l'altezza idrica, denominata scala di deflusso, è alla base dei procedimenti di misura in continuo delle portate di un corso d'acqua.

Nel grafico sotto riportato è possibile apprezzare la congruenza tra i dati misurati dall'idrometro di Marsiliana (linea blu) e i valori di portata stimati dal modello (linea rossa)



*Confronto tra la curva delle portate stimate dal modello e le altezze idrometriche misurate*

Sappiamo da dati di bibliografia che il regime idrologico del fiume Albegna è caratterizzato da un contributo unitario medio annuo di 17 l/s·km<sup>2</sup> (con riferimento alla stazione idrometrica di Montemerano ed all'anno idrologico medio 1951-1980) che è il valore più alto in assoluto della Toscana meridionale, da imputarsi principalmente al contributo delle acque delle Terme di Saturnia (0,3-0,6 m<sup>3</sup>/s) che si immettono nell'alto corso del fiume e ne costituiscono la maggior parte del flusso di base (BARAZZUOLI et alii, 2005, 2008).

La portata media annua dell'Albegna a Montemerano ( $Q = 3,25 \text{ m}^3/\text{s}$ ) è superata 61 giorni all'anno.

I dati stimati dal modello confermano tali valori con portate medie annue, in prossimità del sottobacino che sottende l'idrometro di Montemerano, di 3,1 m<sup>3</sup>/s calcolate nel periodo 2000-2008.

#### **7.5.4 Caratteristiche dei parametri idrologici**

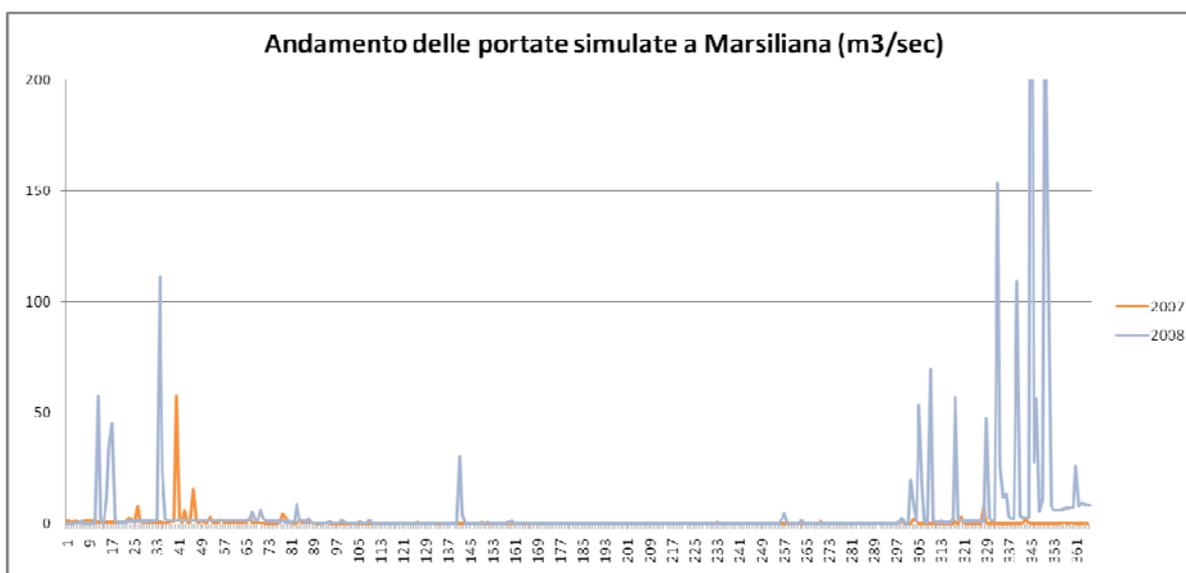
Il modello SWAT ha permesso di definire le caratteristiche idrologiche medie del bacino del fiume Albegna che rappresentano il punto di partenza per la definizione di un piano di monitoraggio della risorsa idrica.

PARAMETRO	SIGLA	VALORE (mm H <sub>2</sub> O)
Precipitazione	PREC	801,4
Ruscellamento superficiale (RUNOFF)	SURQ	81,46
Deflusso laterale	LATQ	26,67
Deflusso ipodermico	GWQ	45,92
Acqua utilizzata dalle radici	SW	6,53
Acqua di ricarica delle falde		56,69
Acqua utilizzata dalle colture		153,58
Percolazione	PERC	59,42
Evapotraspirazione reale	ET	630,1
Evapotraspirazione potenziale	PET	7382,1
Totale sedimenti asportati		6,558 Ton/Ha

Nella tabella sono riportati i parametri che risultano dall'implementazione del modello idrologico. Ai fini della gestione della risorsa idrica per usi irrigui è molto importante il valore di *Soil Water* (SW), cioè l'acqua disponibile nel profilo di suolo fino al punto di appassimento.

I valori di Evapotraspirazione reale sono coerenti con quelli riportati dai principali autori, così come i contributi al ruscellamento, al deflusso ipodermico e alla perdita nelle falde.

Il modello ha messo ben in evidenza la netta differenza tra l'andamento pluviometrico degli anni 2007 e 2008: il primo è stato, infatti, un anno siccitoso, soprattutto nella stagione invernale ed autunnale; al contrario il 2008 ha manifestato precipitazioni molto copiose ed intense (le "punte" delle portate a dicembre).



Andamento della portate calcolate dal modello negli anni 2007 e 2008

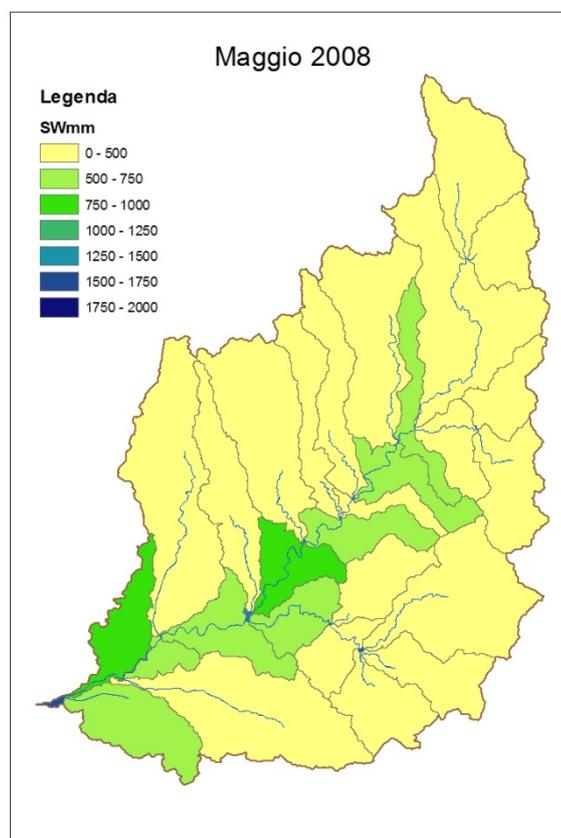
Nella tabella sotto sono riportati i parametri medi annuali degli anni 2000-2008.

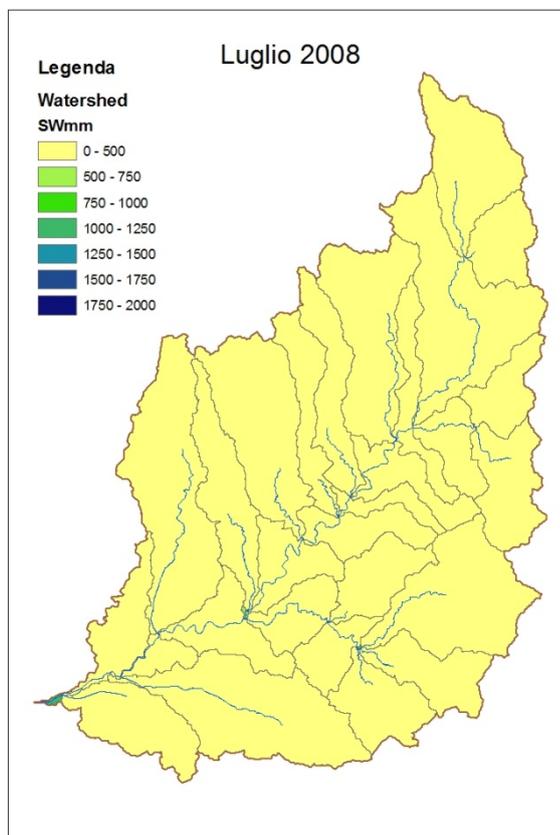
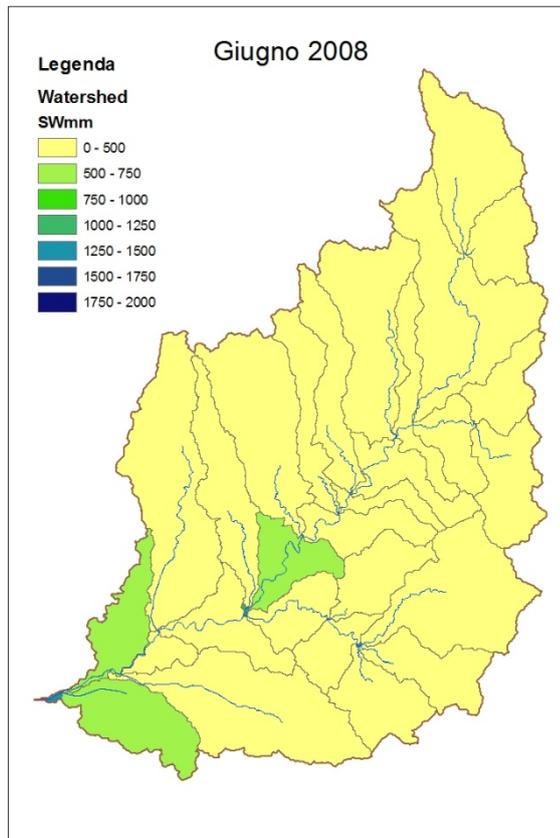
ANNO	PREC	SURQ	LATQ	GWQ	PERC	SW	ET	PET
2008	1129.08	246.43	40	44.63	127.69	77.24	666.1	7487.3
2007	483.16	13.44	13.29	10.1	6.4	31.96	468.25	7536.88
2006	636.68	53.56	22.21	55.74	33.08	49.55	552.05	6648.05
2005	925.76	126.58	30.9	63.37	76.51	72.03	697.86	6946.38
2004	940.84	131.08	31.2	56.64	85.41	78.33	691.77	7096.09
2003	660.88	89.65	23.81	62.89	65.07	77.57	484.74	7931.38
2002	860.09	54.15	27.58	17.67	48.03	79.48	690.92	7262.45
2001	650.78	35.18	24.17	86.79	62.3	41.67	578.59	7687.14
2000	828.09	112.87	29.23	39.18	72.44	88.53	590.38	7659.76

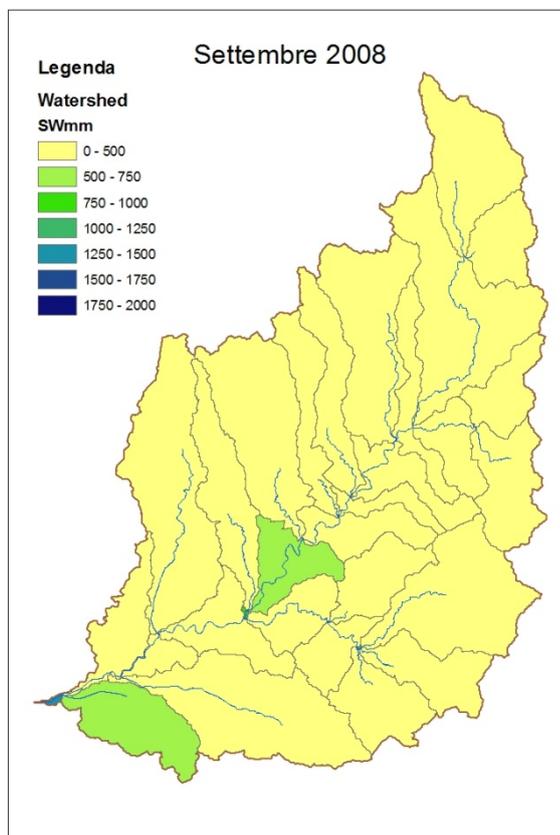
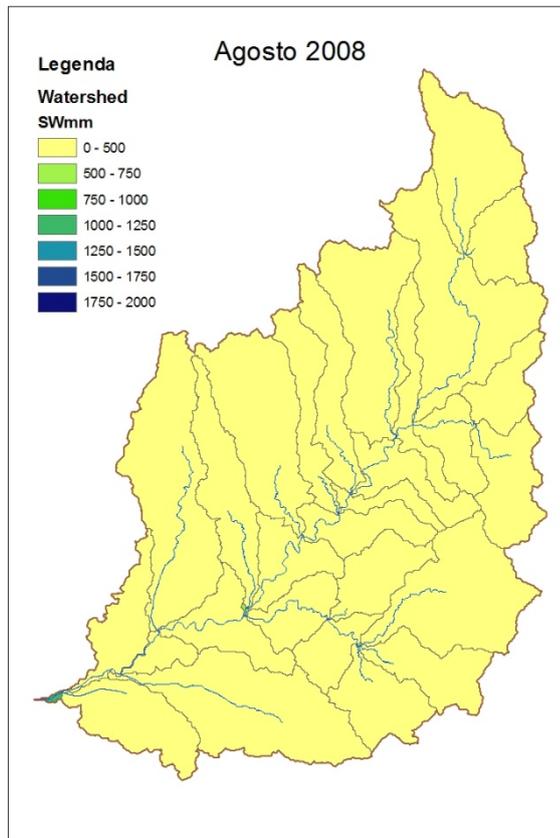
### 7.5.5 Utilizzo degli output del modello per la stima della disponibilità idrica

I parametri idrologici calcolati dai modelli rappresentano il punto di partenza per la definizione della disponibilità idrica ai fini del monitoraggio dei fenomeni di siccità e carenza.

Considerando i mesi più importanti per la fisiologia vegetale sia delle coltivazioni agrarie e che della vegetazione naturale è possibile, attraverso l'implementazione del modello SWAT evidenziare lo stato della risorsa idrica. Il periodo considerato va da Maggio a Settembre.

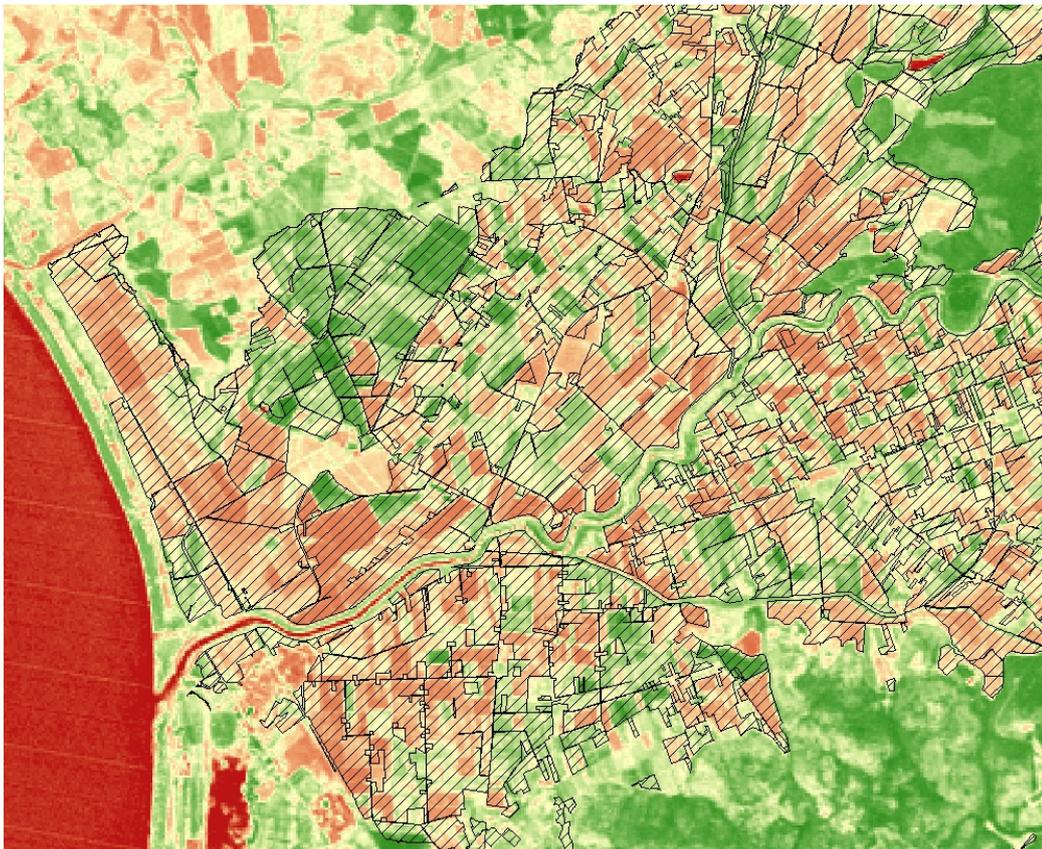






Il sistema realizzato permette di monitorare in continuo la disponibilità idrica nel terreno. Al fine di valutare il reale fabbisogno delle colture è in fase di realizzazione un sistema di analisi delle estensioni e delle tipologie delle principali colture agrarie che prevede l'utilizzo di immagini satellitari e verifiche a terra per l'estrazione delle firme spettrali necessarie per la classificazione delle coltivazioni.

L'uso del suolo agricolo, così denominato perché presenta le caratteristiche di stagionalità tipiche delle colture agrarie, è stato realizzato con l'acquisizione di un'immagine satellitare di Luglio 2008 (23/07/2008). Attraverso tecniche di *image processing* è stato calcolato l'indice di vegetazione (NDVI); quindi, sono state estratte le aree aventi valori superiori a 0.5 e queste sono state incrociate con il tematismo vettoriale dell'uso del suolo, classe seminativi, al fine di discriminare tutte le coperture forestali ed arboree. In questa fase ci siamo concentrati, infatti, solo sui seminativi poiché le coltivazioni arboree quali vite ed olivo non presentano, in questa zona, tecniche di gestione agronomica di tipo irriguo.



*Uso del suolo agricolo nella bassa valle dell'Albegna*

Tale metodologia promette di dare dei buoni risultati nell'ottica anche di supporto alle decisioni per la scelta del periodo ottimale in cui effettuare le irrigazioni.

La possibilità, inoltre, di conoscere stagione per stagione il reale uso del suolo consente di migliorare e affinare le simulazioni del modello idrologico.

## **Consorzio LAMMA**

*“Laboratorio di monitoraggio e modellistica ambientale per lo sviluppo sostenibile”*

---

Le problematiche riscontrate sono state principalmente nell'eseguire i rilievi in campo per la verifica delle "verità a terra": infatti, tale operazione è molto onerosa in termini economici e di risorse umane ragion per cui in questa prima fase sono state valutate le coltivazioni "estive" prevalenti come mais, erba medica e orticole a pieno campo.

### **8 SVILUPPI FUTURI**

Il Programma di Azione Locale realizzato dalla Regione Toscana ha permesso di realizzare la Carta delle aree Suscettibili alla Desertificazione che adesso è un dato disponibile per gli enti e le strutture territoriali che necessitano di conoscere le aree più vulnerabili a tale fenomeno.

In particolare le Autorità di Bacino hanno a disposizione un importante fonte di informazione al fine di una corretta Pianificazione e gestione degli ambiti di loro competenza.

Sono previsti incontri con le istituzioni locali (Province, Comuni, Consorzi di Bonifica) al fine di rendere disponibili i prodotti realizzati e migliorare il percorso fin qui intrapreso con l'integrazione dei dati mancanti (ad esempio le derivazioni superficiali) e la divulgazione presso la popolazione e gli attori del comparto produttivo (ad esempio agricoltori) dei risultati ottenuti.

Per il Consorzio LAMMA  
Il Responsabile del Progetto  
*Dott. Luca Angeli*

