



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO**  
**DIPARTIMENTO SCIENZE AGRARIE E FORESTALI**

Dottorato Agroecosistemi Mediterranei

**LA SENSIBILITA' ALLA DESERTIFICAZIONE  
DEL SOTTOBACINO IUDEO-BUCARI (TP)**

Settore scientifico disciplinare 07 E1 - Chimica agraria, Genetica agraria e Pedologia

TESI DI  
**LUCA GAZZARA**

COORDINATORE DEL DOTTORATO  
**PROF. ADRIANA BONANNO**

TUTOR  
**PROF. SALVATORE RAIMONDI**

CICLO XXIII - ANNO ACCADEMICO 2011-2012

---

DOTTORATO



*Si ringrazia per la collaborazione:*

- *Il Dott. Giovanni Arnone, Dirigente Generale del Dipartimento Regionale dell'Ambiente di ARTA Sicilia.*
- *L'Ingegnere Vincenzo Sansone, dirigente ARTA Sicilia del Servizio 3 "Assetto del territorio e difesa suolo".*
- *La Dott.ssa Rosanna Giordano, dirigente ARTA Sicilia dell'U.O. 3.3 "Prevenzione dei fenomeni di desertificazione. Studi e cartografie tematiche".*
- *La Dott.ssa Marcella Perricone, collaboratrice dell'U.O. 3.3 di ARTA Sicilia.*
- *L'Ingegnere Agostino Cirasa, collaboratore dell'Area 2 di ARTA SICILIA.*
- *Il Dott. Lorenzo Gentile, dirigente chimico dell'U.O. "Monitoraggi ambientali" di ARPA Sicilia, Struttura Territoriale di Trapani.*

*“La sensibilità alla Desertificazione del Sottobacino Iudeo-Bucari (TP)”  
rappresenta un esempio di approccio al problema evidenziando come la  
destinazione d’uso e la gestione del suolo diventa fondamentale per la  
mitigazione dei fenomeni di desertificazione.*

*A Leonardo... mio padre*



<b>INDICE</b>	<i>Pag.</i>
<b>INTRODUZIONE</b>	<b>6</b>
<b>CAPITOLO 1</b>	<b>10</b>
<b>LA STORIA DELLA DESERTIFICAZIONE NEL MONDO</b>	<b>10</b>
<b>METODOLOGIA APPLICATA PER IL CALCOLO DEL RISCHIO</b>	
<b>DESERTIFICAZIONE IN ITALIA</b>	<b>14</b>
<b>ATLANTE NAZIONALE DELLE AREE A RISCHIO</b>	
<b>DI DESERTIFICAZIONE</b>	<b>14</b>
<b>METODOLOGIE APPLICATE PER IL CALCOLO DEL RISCHIO</b>	
<b>DESERTIFICAZIONE IN SICILIA</b>	<b>18</b>
<b>CARNEMOLLA ET AL. (2001)</b>	<b>18</b>
<b>ARNONE ET AL. (2008)</b>	<b>23</b>
<b>CAPITOLO 2</b>	<b>28</b>
<b>IL SOTTOBACINO IUDEO-BUCARI</b>	<b>28</b>
<b>L'INQUADRAMENTO DELL'ARIA OGGETTO DI STUDIO</b>	<b>28</b>
<b>IL CLIMA DEL SOTTOBACINO</b>	<b>29</b>
<b>LE VARIETÀ CLIMATICHE</b>	<b>30</b>
<b>I TIPI TERMOMETRICI DEI SUOLI</b>	<b>30</b>
<b>I REGIMI IDRICI DEI SUOLI</b>	<b>30</b>
<b>LA MORFOLOGIA E LA LITOLOGIA</b>	<b>31</b>
<b>L'IDROGRAFIA</b>	<b>32</b>
<b>L'AMBIENTE PEDOLOGICO</b>	<b>33</b>
<b>CAPITOLO 3</b>	<b>35</b>
<b>L'ATTIVITÀ SPERIMENTALE</b>	<b>35</b>
<b>SCOPO DELLA RICERCA E METODOLOGIE IMPIEGATE</b>	<b>35</b>
<b>DESCRIZIONE DEL MODELLO "MEDALUS"</b>	
<b>E SUA APPLICAZIONE IN SICILIA (2011)</b>	<b>35</b>
<b>ACQUISIZIONE ELABORAZIONE DATI E CALCOLO DEGLI INDICI</b>	<b>39</b>
<b>MATERIALI E METODI</b>	<b>41</b>
<b>ATTIVITÀ DI COORDINAMENTO E PROMOZIONE DEL PROGETTO</b>	<b>41</b>
<b>INDICI UTILIZZATI PER LA VALUTAZIONE</b>	<b>42</b>
<b>I RISULTATI SPERIMENTALI</b>	<b>90</b>

<b>CAPITOLO 4</b>	<b>95</b>
<b>LA SENSIBILITÀ ALLA DESERTIFICAZIONE RESIDUA DEL SOTTOBACINO \</b>	
<b>IUDEO.BUCARI</b>	<b>95</b>
<b>CAPITOLO 5</b>	<b>104</b>
<b>CONCLUSIONI</b>	<b>104</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>106</b>
<b>SITOGRAFIA</b>	<b>111</b>
<b>ALLEGATI</b>	<b>112</b>

# ***LA SENSIBILITÀ ALLA DESERTIFICAZIONE DEL SOTTOBACINO IUDEO-BUCARI (TP)***

## **INTRODUZIONE**

La sostenibilità è la caratteristica di un processo o di uno stato che può essere mantenuto ad un certo livello. Il termine nell'ambito ambientale si riferisce alla potenziale longevità di un sistema di supporto per le attività e la vita umana. Come il sistema climatico per il pianeta, i sistemi, agricolo, industriale e forestale, della pesca e delle comunità umane, determinano la vita dell'uomo. La questione della sostenibilità nasce da un disadattamento sistemico tra l'uomo e l'ambiente o tra cultura e natura.

Allo stato attuale la capacità di trasformare il mondo da parte dell'uomo è di gran lunga più rilevante e veloce di quanto non sia quella dell'ambiente a metabolizzare cambiamenti prodotti a seguito delle trasformazioni (quando si parla di suolo questo processo prende il nome di **resilienza**). A loro volta queste trasformazioni indotte nel sistema ambiente retroagiscono sul sistema uomo nei modi che conosciamo: riscaldamento climatico, piogge acide, polveri sottili perturbazioni di vario tipo fino a minacciare la stessa sopravvivenza della specie umana. Tali fenomeni peraltro non risultano circoscritti ai sistemi agricoli dei paesi industrializzati ma, seppur in modo diversificato, sono presenti nelle aree dei cinque continenti. Poiché il suolo è una risorsa ambientale, pochissimo rinnovabile tanto da essere considerata non rinnovabile, e la qualità del suolo è espressione delle sue forme d'uso, si impongono nuovi sistemi di gestione del territorio sostenibili, attenti alla conservazione più che allo sfruttamento delle risorse naturali. **Quindi è urgente coniugare il rispetto della qualità dell'ambiente e delle risorse naturali con la sostenibilità economica e con lo sviluppo della società.** In questo contesto la conservazione delle peculiari proprietà della risorsa suolo, rappresenta una delle più avvincenti sfide a cui è chiamata la presente generazione. Lo sviluppo sostenibile è pertanto quel tipo di sviluppo che dovrebbe garantire un riavvicinamento tra l'uomo e l'ambiente in modo tale che ogni generazione possa lasciare a quella successiva un pianeta in condizioni almeno non peggiori di quelle che ha trovato alla sua nascita.

Lo sviluppo sostenibile è un processo finalizzato al raggiungimento di obiettivi di miglioramento ambientale, economico, sociale e istituzionale sia a livello locale che globale.

Attraverso l'indagine di campo e di laboratorio e l'elaborazione delle carte tematiche di destinazione d'uso, di gestione specifica per ogni uso, il risultato auspicato è quello di un futuro di agricoltura sostenibile.

Con il termine di agricoltura sostenibile sono raggruppate diverse tecniche agricole tendenti a conservare per il futuro la fertilità del suolo coltivato (suolo agrario). Nella coltivazione dei cereali, possono considerarsi conservative quelle lavorazioni del terreno che conservano in superficie tutti i residui colturali della coltura precedente, con funzione di copertura, per contrastare l'erosione e per conservare l'umidità e la sostanza organica del suolo. E' auspicabile che tutti gli enti territoriali che si occupano di programmazione territoriale effettuino delle scelte basate sulla conoscenza dei suoli, del clima, delle acque, della litologia, della morfologia e delle colture (in funzione del territorio). **Le risorse investite in armonia con l'ambiente costituiscono un'attività antropica sostenibile sotto tutti gli aspetti.**

Nel territorio del sottobacino Iudeo-Bucari i casi di criticità sono diversi sia per la messa a coltura di suoli su forti pendii, sia per i filari dei vigneti sistemati a rittochino senza interruzione di continuità se non sul confine di proprietà o nella rete idrografica che per l'assenza di opere di regimazione delle acque di deflusso. Un intervento della pubblica amministrazione risulta indispensabile. La valutazione del rischio per il suolo è auspicabile, anzi non è più rinviabile, sia nei confronti dell'erosione incanalata che di quella di massa.

La valutazione del rischio frana è un processo logico che coinvolge tre stadi di studio (Romeo e Tiberi, 2007):

- Suscettività: fattori che predispongono un versante a franare (ambiente morfoclimatico, pedologico, uso e gestione del suolo);
- Pericolosità: fattori intrinseci legati sia a cause interne (condizioni idrauliche) che a cause esterne (precipitazioni, terremoti, attività antropiche);
- Rischio: beni potenzialmente suscettibili a subire danni (fabbricati, infrastrutture, ecc.).

La proposta avanzata negli ultimi anni, per un'azione di prevenzione del rischio idrogeologico è: maggiore conoscenza delle caratteristiche dei suoli e dell'importanza dei dati climatici negli enti preposti alla pianificazione del territorio (Raimondi e Calcaterra, 2011).

Sulla base di queste considerazioni nel sottobacino Iudeo-Bucari interessato dal presente studio sono state elaborate complessivamente 34 carte tematiche, che permettono di esprimere una valutazione del processo di desertificazione in atto e di redigere la **Carta della sensibilità alla desertificazione residua** ipotizzando degli interventi di mitigazione del processo. La nuova gestione proposta e/o i nuovi indirizzi agronomici d'uso del suolo permettono di mettere in pratica il concetto di **Agricoltura Sostenibile**.

Con D.D.G. n. 270 del 21 aprile 2011 l'Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente ha realizzato la "**Carta della Sensibilità alla Desertificazione della Regione Siciliana in scala 1:250.000**". Sulla base dell'esperienza maturata nella realizzazione della suddetta carta e in considerazione dell'importanza delle problematiche ambientali nel territorio siciliano si è deciso di realizzare uno studio in scala 1:50.000 del Bacino Iudeo-Bucari ricadente nel territorio dei Comuni di Salemi, Mazara del Vallo e Marsala (TP).

Obiettivo è la realizzazione di una "Carta della Sensibilità alla Desertificazione a scala 1:50.000 dell'area sottesa ai torrenti Iudeo e Bucari. Per la realizzazione del lavoro è stata fondamentale la collaborazione del Dipartimento Regionale dell'Ambiente, attraverso la stipula di una convenzione che ha visto come ulteriore partners l'ARPA Sicilia per l'attuazione degli scopi prefissati dal "Tavolo tecnico di desertificazione".

Lo studio verte su una Carta dei Suoli (inedita) e su una indagine conoscitiva di tutti i parametri pedologici, climatici, vegetazionali e antropici-gestionali nonché della qualità delle acque dei torrenti Iudeo e Bucari e di alcuni invasi artificiali utilizzati per l'irrigazione delle colture agricole. Tali dati sono stati utilizzati per diverse elaborazioni, che hanno portato ad una valutazione dei suddetti sottobacini sulla sensibilità alla desertificazione nell'ottica di una gestione integrata delle acque e delle risorse agronomiche-ambientali del territorio in esame. Per l'attuazione di quanto in argomento sono stati effettuati dei campionamenti e le relative analisi delle acque dei torrenti e dei laghetti collinari, finalizzati a far emergere il livello della qualità dell'acqua utilizzata per l'irrigazione in funzione delle colture e dei suoli. Tali analisi sono state oggetto di accordo di programma tra la Regione

(Dipartimento Regionale Ambiente) e l'Agencia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA).

**La realizzazione della Carta della sensibilità alla desertificazione a scala 1:50.000 dell'area sottesa alla confluenza dei torrenti Iudeo e Bucari ha come obiettivo principale la validazione dei dati, relativi all'area di studio, della "Carta della sensibilità alla desertificazione della Regione Siciliana" a scala 1:250.000 e inoltre con l'inserimento di nuovi indicatori pedologici, idrologici e gestionali migliorare l'adattabilità del metodo "Medalus" al territorio Siciliano.** A tal proposito uno dei principi della *Land Evaluation* afferma che i sistemi di valutazione del territorio (parametrici o categorici) non possono essere esportati ed applicati in modo uniforme, ma bisogna prima riadattare ogni sistema alle nuove condizioni locali. Inoltre una stessa combinazione di fattori pedologici e climatici ha effetti diversificati in relazione agli ambienti. Ecco che la via più semplice è quella di cercare di individuare processi che possano valutare il funzionamento del sistema ecologico sinteticamente, riservando di effettuare le dovute correzioni, inserendo altri parametri. **Il processo considerato per la realizzazione della "Carta della Sensibilità alla Desertificazione Residua", ha in se la valutazione dell'interazione clima, suolo, vegetazione (sinergismo ed antagonismo).**

L'attività svolta per la realizzazione dello studio ha riguardato sia l'indagine bibliografica volta alla ricerca di dati, sia un'attività di campionamento delle acque di laghi e fiumi, sia attività di controllo di alcuni suoli del sottobacino Iudeo-Bucari, nonché l'applicazione del Metodo "Medalus" nella forma originale che riadattata. L'indagine è stata effettuata tenendo conto di tutti gli aspetti necessari per l'attuazione della ricerca.

In particolare è stato necessario svolgere ricerche sulle:

- Normative che regolano il sistema "Acque";
- Problematiche del sistema acqua-suolo-pianta;
- Caratteristiche fisiche dell'area di studio;
- Ricerca dati disponibili sulla qualità delle acque e del suolo;
- Ricerca metodologie applicate per la realizzazione della carta della desertificazione;
- Approfondimento e studio del metodo "Medalus".
- Individuazione di nuovi indicatori e relativa applicazione degli stessi in

"Medalus".

# CAPITOLO 1

## LA STORIA DELLA DESERTIFICAZIONE NEL MONDO

I grandi deserti del mondo come oggi li conosciamo sono stati formati da processi naturali che si sono sviluppati in lunghi intervalli di tempo. Durante la maggior parte di questi periodi, i deserti si sono modificati indipendentemente dalle attività umane, ma negli ultimi mille anni la componente antropica nella modificazione della Terra ha avuto un rilievo innegabilmente determinante. Se i grandi pascoli ed il disboscamento sono tra i maggiori responsabili della desertificazione dei terreni, a ciò va spesso aggiunta una gestione irrazionale ed ecologicamente sbagliata delle acque. Oltre al ben visibile deterioramento della vegetazione, all'erosione ed alla salinizzazione, gli effetti della desertificazione possono riscontrarsi nella drammatica perdita di fertilità del suolo e nel suo compattamento ed incrostazione. Come commentava Dregne (1983), del Centro Internazionale per gli studi sulle terre aride degli Stati Uniti, il fenomeno della desertificazione “*Ha accompagnato la nostra storia per oltre un millennio, senza che ce ne accorgessimo*”.

Fino a poco tempo fa questa problematica sembrava esser stata poco compresa, in parte perché il problema venne trascurato nelle sue fasi iniziali, vedendolo come peculiare solo di certe zone isolate; in parte perché la prospettiva di nuove terre da coltivare è sempre apparsa agevolmente dietro l'angolo. Fu all'inizio del ventesimo secolo, quando le facili espansioni territoriali stavano per terminare, che i governi e le persone finalmente si resero conto che la continuata ed imprudente degradazione delle risorse naturali stavano compromettendo il loro futuro sulla terra. Il decennio che iniziò nel 1950 vide il primo sforzo universale per richiamare l'attenzione di tutti sui problemi delle regioni aride. Tutto ebbe inizio quando l'UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) lanciò il suo *Major Project on Scientific Research on Arid Lands* (UNESCO, 1951).

Quel progetto condusse alla pubblicazione di un bollettino, ad alcuni provvedimenti per la concessione di fondi agli istituti di ricerca sulle zone aride, all'organizzazione di

conferenze e simposi ed alla pubblicazione di una serie di ricerche e rapporti speciali. Il Major Project terminò nel 1962 e venne assorbito nel più generale programma dell'UNESCO sulle risorse naturali. Il problema della desertificazione fu trattato per la prima volta in modo globale nel 1956 quando, a Rio de Janeiro, si tenne il convegno dell'Unione Internazionale dei Geografi; il termine “**desertificate**” designava in quella sede le regioni tropicali dell'Africa soggette a un uso non corretto delle risorse. Un evento servì a concentrare l'attenzione del mondo proprio sulla desertificazione: tra il 1969 ed il 1973 si registrò una gravissima siccità in Africa che coinvolse sei paesi già gravemente colpiti dalla desertificazione. Nel dettaglio: Mauritania, Senegal, Mali, Volta superiore, Niger e Ciad.

Compresa la gravità della questione, l'ONU indisse nel 1977 un convegno a Nairobi, ove si varò il **Piano di Azione per Combattere la Desertificazione (PACD)**; tali piani contengono una serie di linee guida e di raccomandazioni, mirate ad aiutare i paesi colpiti da desertificazione, sottolineando l'importanza di un approccio economico/sociale integrato; anche se il PACD sembrava una buona base di partenza, in futuro si rivelò inefficace e costoso. Oltre alla visibilità data alla questione, durante i lavori della conferenza fu elaborato ed approvato un piano d'azione per combattere **la desertificazione e l'erosione dei terreni**. La responsabilità per seguire e coordinare la realizzazione del Piano di Azione per Combattere la Desertificazione venne affidata allo United Nations Environment Program.

Quel che non si riuscì a definire, malgrado l'organizzazione di una conferenza ad hoc, fu il significato esatto della parola intorno cui ci si andava interessando. La sua definizione non è ancora stata universalmente accettata. Quella di **desertificazione** è una terminologia utilizzata almeno a partire dal 1949, quando il botanico *Aubreville* pubblicò un libro sul clima, le foreste e la desertificazione dell'Africa tropicale. Egli considerava la desertificazione come la **trasformazione di un terreno produttivo in deserto**, quale risultato di una distruzione della terra causata dall'erosione del suolo di origine antropica. Le cause maggiori di distruzione della terra erano il disboscamento, l'uso indiscriminato del fuoco e le coltivazioni eccessivamente estese. La desertificazione non era il risultato di una espansione autonoma del Sahara verso l'esterno (**desertizzazione**), ma il risultato di attività localizzate. *Aubreville* era poi abbastanza chiaro nel definire la desertificazione dell'Africa tropicale come causata dall'attività dell'uomo, non essendoci stato, a suo dire,



alcun significativo cambiamento climatico nei precedenti mille e più anni. Ancora oggi probabilmente per la maggior parte della gente, la parola evoca un'immagine mentale di un paesaggio ostile e sterile che somiglia alla *Death Valley o al Sahara*, ma fortunatamente quell'immagine non si applica alla maggior parte delle terre che hanno subito desertificazione. Il processo di desertificazione, come si diceva all'inizio, è un processo lento di degradazione che implica un continuo cambiamento dovuto all'intervento dell'uomo. Di solito la desertificazione inizia in una zona isolata del terreno dove l'uso (da parte dell'uomo) è diventato **super-uso e poi abuso**. Da quel luogo, che può trovarsi nei pressi di un'area coltivata in asciutto o gestita in irriguo, la degradazione del suolo si espande finché l'abuso non viene interrotto. Più punti di degradazione in un territorio possono unirsi a formare una macro-area. Un altro fraintendimento è quello secondo cui le siccità sono responsabili della desertificazione. Un terreno ben gestito non avrà grandissimi problemi a ristabilirsi da una siccità con il ritorno della pioggia.

La combinazione fatale è data dall'abuso della terra nei periodi climatici normali e dalla sua continuazione durante i periodi di pioggia scarsa.

Nel 1992 le Nazioni Unite promossero una **Convenzione per la Lotta alla Desertificazione (UNCCD)** ratificata fino ad oggi da 180 paesi: tale convenzione rappresenta ancora oggi il riferimento istituzionale più importante per la lotta alla desertificazione ed ha come obiettivo quello di combatterla e mitigarne le conseguenze attraverso l'elaborazione di **Programmi di Azione Nazionali (PAN)** da parte dei paesi colpiti.

La desertificazione non ha una definizione univoca e nel tempo ne sono state date varie interpretazioni. Tra queste, le più importanti sono:

✓ *“L'impovertimento di ecosistemi terrestri sotto l'effetto dell'impatto umano, che può essere misurato attraverso la riduzione di produttività di specie utili, la riduzione di biomassa e la riduzione di biodiversità nella micro e macro-fauna e flora, e l'accelerata degradazione del suolo”* (Dregne, 1983);

✓ *“Tutte le espressioni comprese per indicare i processi socio-economici, naturali e antropici, che causano una modifica nel suolo, nella vegetazione, nell'atmosfera e nel bilancio idrico di regioni caratterizzate da aridità indotta da fattori edafici e climatici”* (FAO/UNEP, 1984);

✓ *“Degradazione del suolo in aree aride, semi-aride e secche/sub-umide, risultante da vari fattori, incluse le variazioni climatiche e gli impatti antropici”* (UNEP, 1994).

Quest’ultima definizione è proprio quella adottata dalla Convenzione delle Nazioni Unite (UNCCD), definizione che, oltre a circoscrivere l’ambito dell’intervento territoriale in funzione delle caratteristiche climatiche, introduce esplicitamente fra le cause del fenomeno, oltre all’azione dell’uomo, anche le variazioni climatiche direttamente legate alle caratteristiche delle precipitazioni e delle temperature.

Tale evento non deve essere considerato soltanto nel suo stadio finale, bensì nel complesso processo innescato ed alimentato dalla combinazione di un insieme di fenomeni, tra i quali:

- ✓ l’erosione del suolo;
- ✓ la variazione dei parametri strutturali del suolo;
- ✓ la salinizzazione;
- ✓ la rimozione della coltre vegetale e del materiale rigenerativo;
- le variazioni del regime pluviometrico e termometrico;
- ✓ le interazioni tra la superficie terrestre e l’atmosfera.

La degradazione delle terre assume quindi il significato di una riduzione della produttività biologica e/o economica e della complessità delle colture, dei pascoli, delle foreste, dovuta ad un processo, o ad una combinazione di processi, che provocano l’alterazione delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche dei suoli e la distruzione o cambiamenti della copertura vegetale.

Lo strato superficiale del terreno ha bisogno di lungo tempo per svilupparsi, ma se non viene curato in maniera appropriata, può scomparire in poche stagioni, a causa dell’erosione che deriva dagli agenti atmosferici.

L’erosione del suolo, nel territorio italiano, è dovuta principalmente all’azione dell’acqua sotto forma di precipitazioni meteoriche e di deflusso superficiale, esplicandosi in maniera più efficace su terreni senza, o con scarsa, copertura vegetale, e caratterizzati da forte acclività. Per questo le aree dell’Italia meridionale e le isole, sono le più soggette a intensi fenomeni erosivi e di desertificazione; in tali zone, infatti, sono diffusi litotipi e suoli altamente erodibili ed il regime climatico è caratterizzato da un forte contrasto stagionale. Le conseguenze si riflettono sia sull’ecosistema, che direttamente sulle

condizioni di vita umana, accrescendo l'incidenza di povertà, carestie, esodi migratori, tensioni politiche, economiche, sociali.

Un fenomeno così complesso non è facile da interpretare dal punto di vista economico, in quanto non bisogna considerare solo gli investimenti che vengono fatti per combattere il fenomeno, ma anche la progressiva diminuzione delle risorse ed i costi derivanti dalle relative conseguenze sociali. Inoltre, non è possibile attribuire un valore alle risorse naturali e umane, ma al di là di tutto è confortante il fatto che, negli ultimi anni, a livello globale si sta diffondendo la consapevolezza che il costo dell'inerzia è maggiore del costo degli interventi atti a contrastare la degradazione delle terre. Da qui scaturisce la necessità di un uso e di una gestione degli usi sostenibili dei suoli in armonia con i principi della *Land Evaluation* (Raimondi, 2012).

## **METODOLOGIA APPLICATA PER IL CALCOLO DEL RISCHIO DESERTIFICAZIONE IN ITALIA**

### **ATLANTE NAZIONALE DELLE AREE A RISCHIO DI DESERTIFICAZIONE**

In Italia, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha incaricato nell'anno 2003 due istituti di ricerca, afferenti al Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo (ISSDS), attualmente parte del Consiglio per la Ricerca e sperimentazione in Agricoltura (CRA) e l'Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA), della preparazione di un *Atlante del Rischio di Desertificazione in Italia* ad un livello di dettaglio proprio della scala di riconoscimento. La richiesta era quella di un Atlante, non di una singola carta. L'attenzione è stata posta quindi sulla definizione di un insieme strutturato di indici ed indicatori che, a partire dalle banche dati esistenti, potessero costituire un sistema informativo in grado di supportare le attività del PAN attraverso una fotografia dello stato dell'ambiente in relazione ai fenomeni connessi alla desertificazione (INEA, 2007). Come sottolineato da *Van deer Knijff et al. (1999)*, una validazione scientifica a piccola scala è molto difficile. Per questo motivo l'Atlante è corredato di un catalogo fotografico di situazioni di aree

desertificate, sensibili e vulnerabili, realizzato con la collaborazione degli esperti regionali, che potrà fornire utili elementi di giudizio sulle relazioni causa - effetto dei diversi sistemi di degradazione del suolo agenti sul territorio.

In sintesi, se l'Atlante non rappresenta un'analisi esaustiva dei fenomeni legati alla desertificazione, mancando uno studio approfondito dei processi di desertificazione e della loro evoluzione temporale, offre un contributo concreto alla conoscenza della reale diffusione delle forme di desertificazione in Italia (INEA, 2007).

La metodologia adottata per l'Atlante utilizza come criterio guida la ricerca delle evidenze della realtà fattuale che testimonino dell'avvenuta sterilità funzionale o dei processi che possono portare ad una più o meno imminente degradazione irreversibile. Come si è detto, infatti, la desertificazione è il risultato delle complesse interazioni fra le forze trainanti nella loro dimensione a lungo termine, per cui risulta più opportuno monitorare lo stato dell'ambiente piuttosto che definire dei modelli predittivi (UNCCD, 2003). La valutazione dell'impatto delle pressioni avviene a partire dall'analisi dello stato dell'ambiente, espressione dell'azione esercitata dall'insieme delle pressioni. La metodologia scelta nella realizzazione dell' Atlante si basa sulla struttura d'analisi dei processi denominata DPSIR (*Determinanti, Pressioni, Stato, Impatto, Risposta*), applicata anche in Italia per i processi di degradazione del suolo che possono condurre alla desertificazione (Gentile, 1999; Vacca e Marrone, 2004). Lo schema DPSIR può essere usato come riferimento per la sistemizzazione tipologica dei fenomeni di desertificazione, dove le conoscenze sui problemi non sono omogenee fra le diverse regioni (Vacca, 2004). L'organizzazione di indici ed indicatori secondo questo schema, in riferimento ad una specifica scala spaziale, aumenta l'efficacia dell'informazione fornita e ne facilita la comprensione e la comunicazione (Corona et al, 2006).

Nell'Atlante sono rappresentati separatamente i singoli indicatori di pressione, stato e risposta organizzati secondo il modello DPSIR. La codifica degli indicatori di pressione, stato e risposta, in indici di impatto permette ai decisori di individuare direttamente le aree dove intervenire con misure di prevenzione e mitigazione specifiche. In altre parole, si è inteso l'Atlante come un primo passo per creare un sistema informativo per analizzare il fenomeno della desertificazione a livello nazionale, per identificare aree da analizzare a

maggior dettaglio e dove intervenire, in prima approssimazione, con misure di prevenzione e mitigazione (INEA, 2007).

Tabella. 1 - Il modello DPSIR e gli indici di desertificazione utilizzati (sistemi di degradazione del suolo: erosione idrica)

<b>Sistema di degradazione del suolo: denudamento per erosione idrica</b>				
<b>Determinanti</b>	<b>Pressioni</b>	<b>Indicatori di pressione, stato e risposta</b>		<b>Indici di Impatto</b>
Clima, agricoltura, pastorizia e selvicoltura, altre azioni dell'uomo	Aggressività climatica, incendi, gestione del suolo	Indicatore di pressione	Pascolamento	Terre sensibili o aggravamento del rischio
		Indicatore di pressione	Aree incendiate	Aggravamento del rischio
		Indicatore di stato	Pendenza	Terre vulnerabili
		Indicatore di stato	Profondità radicale	Terre vulnerabili
		Indicatore di stato	Presenza di fenomeni di erosione	Terre sensibili o aggravamento del rischio
		Indicatore di stato	Copertura vegetale (NDVI)	Terre sterili sensibili o aggravamento o mitigazione del rischio
		Indicatore di risposta	Aree protette	Mitigazione del rischio
Indicatore di risposta	Misure agro- ambientali	Mitigazione del rischio		

Tabella. 2 - Il modello DPSIR e gli indici di desertificazione utilizzati (sistemi di degradazione del suolo: aridità)

<b>Sistema di degradazione del suolo: aridità</b>				
<b>Determinanti</b>	<b>Pressioni</b>	<b>Indicatori di pressione, stato e risposta</b>		<b>Indici di Impatto</b>
Clima	Precipitazioni e ed evapotraspirazione	Indicatore di stato	Regioni climatiche	Terre ad aridità potenziale (livello nazionale)
		Indicatore di stato	Aridità	
		Indicatore di stato	Regimi di temperature e umidità del suolo	
		Indicatore di stato	Numero medio annuale di giorni in cui il suolo è secco	Terre ad aridità potenziale (livello regionale)
		Indicatore di risposta	Aree irrigue	Mitigazione del rischio

Tabella. 3 - Il modello DPSIR e gli indici di desertificazione utilizzati (sistemi di degradazione del suolo: salinizzazione)

<b>Sistema di degradazione del suolo: salinizzazione</b>				
<b>Determinanti</b>	<b>Pressioni</b>	<b>Indicatori di pressione, stato e risposta</b>		<b>Indici di Impatto</b>
Gestione dell'acqua	Eccessivo emungimento degli acquiferi costieri e in aree su litotipi salini, irrigazione con acque saline	Indicatore di stato	Distanza dal mare	Terre vulnerabili
		Indicatore di stato	Quota	
		Indicatore di stato	Litotipi salini	

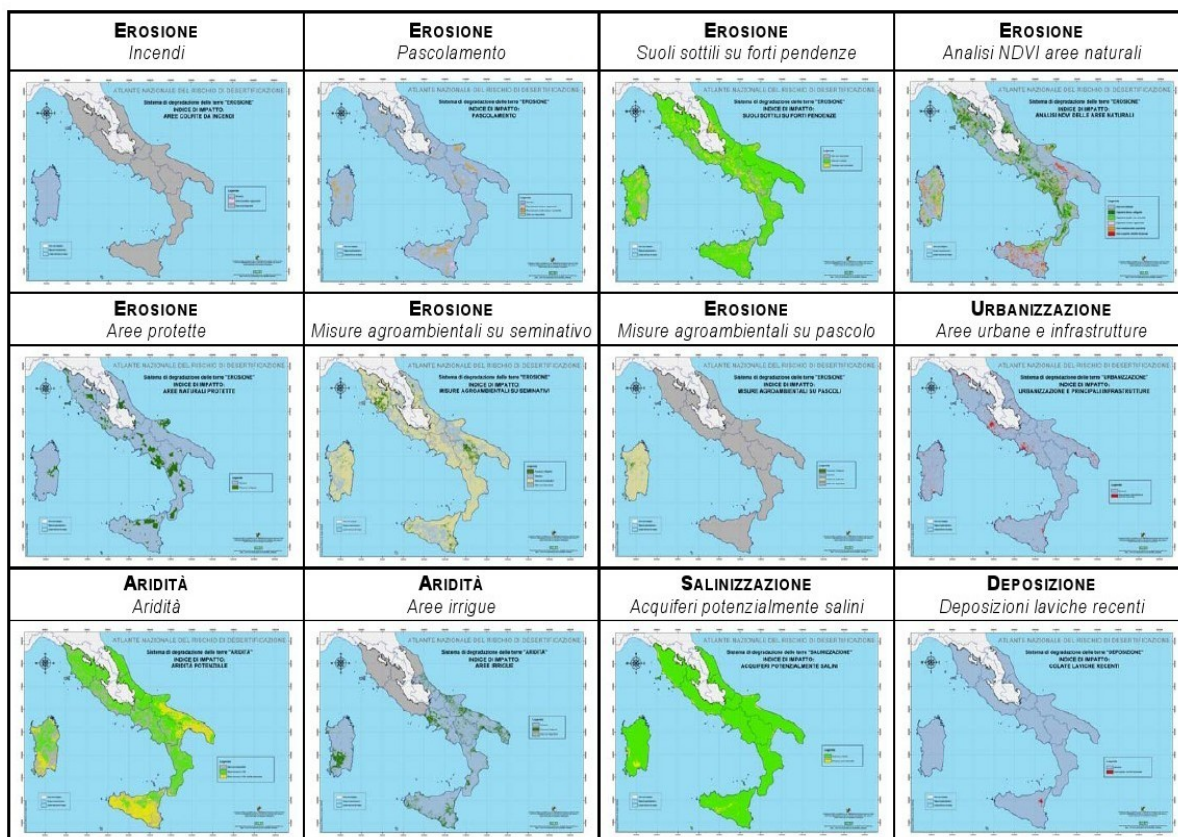
Tabella. 4 - Il modello DPSIR e gli indici di desertificazione utilizzati (sistemi di degradazione del suolo: urbanizzazione)

<b>Sistema di degradazione del suolo: urbanizzazione</b>			
<b>Determinanti</b>	<b>Pressioni</b>	<b>Indicatori di pressione, stato e risposta</b>	<b>Indici di Impatto</b>
Incremento demografico, espansione urbana, mobilità, sviluppo di aree industriali	Urbanizzazione	Aree urbane e infrastrutture principali	Terre sterili

Tabella. 5 - Il modello DPSIR e gli indici di desertificazione utilizzati (sistemi di degradazione del suolo: deposizione)

<b>Sistema di degradazione del suolo: copertura del suolo per deposizione</b>			
<b>Determinanti</b>	<b>Pressioni</b>	<b>Indicatori di pressione, stato e risposta</b>	<b>Indici di Impatto</b>
Geologia e geomorfologia	Eruzioni vulcaniche, alluvioni	Effusioni vulcaniche recenti e alvei fluviali	Terre sterili

Figura 1 – Quadro sinottico delle elaborazioni nazionali degli indici di impatto per sistema di degradazione del suolo



## METODOLOGIE APPLICATE PER IL CALCOLO DEL RISCHIO DESERTIFICAZIONE IN SICILIA

Diverse sono state le valutazioni del rischio desertificazione nel territorio siciliano. Di seguito vengono riportate le metodologie e gli approcci scientifici che meglio si prestano alla rappresentazione della problematica.

### **CARNEMMOLLA ET AL. (2001)**

Per la redazione della carta hanno preso spunto dalla metodologia redatta dal SAR Sardegna – Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna (Bandinelli et al., 2000) e da una proposta di indici per l'identificazione di aree vulnerabili alla desertificazione, elaborata da un gruppo di lavoro interdisciplinare portoghese (Pimenta et al., 1999),

nell'ambito della Convenzione Internazionale per la lotta alla desertificazione (CCD - *Convention to Combat Desertification*). La presente metodologia è stata applicata per elaborare una carta a scala 1:250.000 della vulnerabilità alla desertificazione del territorio regionale che, alla suddetta scala, restituisce una informazione attendibile, in quanto compatibile e coerente con i dati territoriali utilizzati. La proposta metodologica è basata sulla combinazione di tre differenti indici, ciascuno dei quali riflette specifici aspetti legati al fenomeno della desertificazione:

- ✓ le condizioni di aridità;
- ✓ le condizioni di siccità;
- ✓ la perdita di suolo, in relazione alle sue caratteristiche, al suo uso e all'erosività delle piogge.

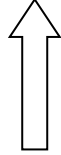
Tale studio ha permesso di effettuare una valutazione di massima della vulnerabilità alla desertificazione del territorio considerato, giungendo ad un primo livello conoscitivo da approfondire introducendo in una seconda fase ed a scale di maggior dettaglio (ad esempio, 1:100000), altri indici rappresentativi del fenomeno quali, ad esempio, quelli riguardanti la qualità delle acque, il contenuto di sostanza organica dei suoli, le aree percorse da incendi e la pressione di pascolamento, gli aspetti socio-economici (es. abbandono delle terre), ecc.

La metodologia adottata permette di esprimere la vulnerabilità di un territorio al rischio di desertificazione, intesa in termini di potenziale innesco del fenomeno, tenendo conto di fattori predisponenti di tipo climatico e pedologico, opportunamente elaborati e combinati tra loro attraverso l'uso di un software commerciale per la gestione di sistemi informativi geografici.

L'uso di tali indici consente di raggruppare e oggettivare, quanto più possibile, i processi fisici connessi con i fenomeni di desertificazione. Ciascun indice può tuttavia conservare un certo grado di soggettività, che, attraverso la conoscenza dei fenomeni che vi sono alla base e, soprattutto, della loro interazione con il territorio di applicazione, si è in ogni caso cercato di mantenere entro limiti accettabili e comunque tali da non alterare il risultato finale. Lo schema sotto riportato indica in modo sintetico come si è operato nell'utilizzo dello strumento GIS.



**INDICE DI VULNERABILITA'**  
(somma di tre indici di base)



**INDICE DI ARIDITA' + INDICE DI SICCITA' + INDICE DI PERDITA DI SUOLO**

(prodotto di quattro componenti)



**Edafica**

**Pendenza**

**Copertura del suolo**

**Erosività delle piogge**

Tutte le elaborazioni climatiche sono state realizzate a partire da dati di base di temperatura e precipitazioni relativi a stazioni del Servizio Idrografico Regionale, per il trentennio 1965-1994.

Figura 2: Carta della Vulnerabilità alla desertificazione della Regione Sicilia in scala 1:250.000

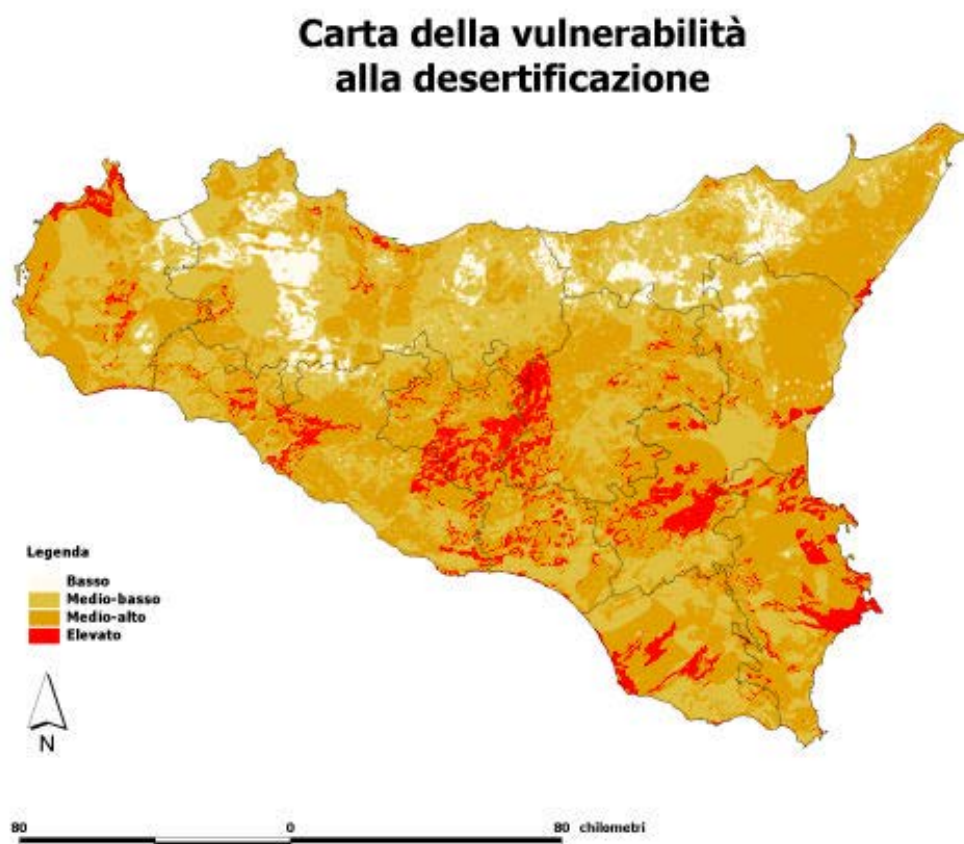
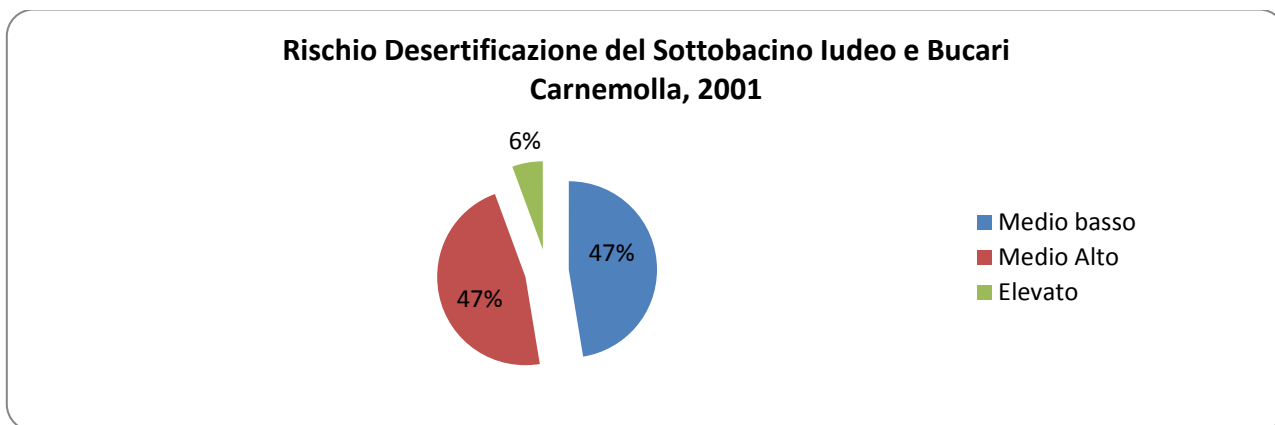
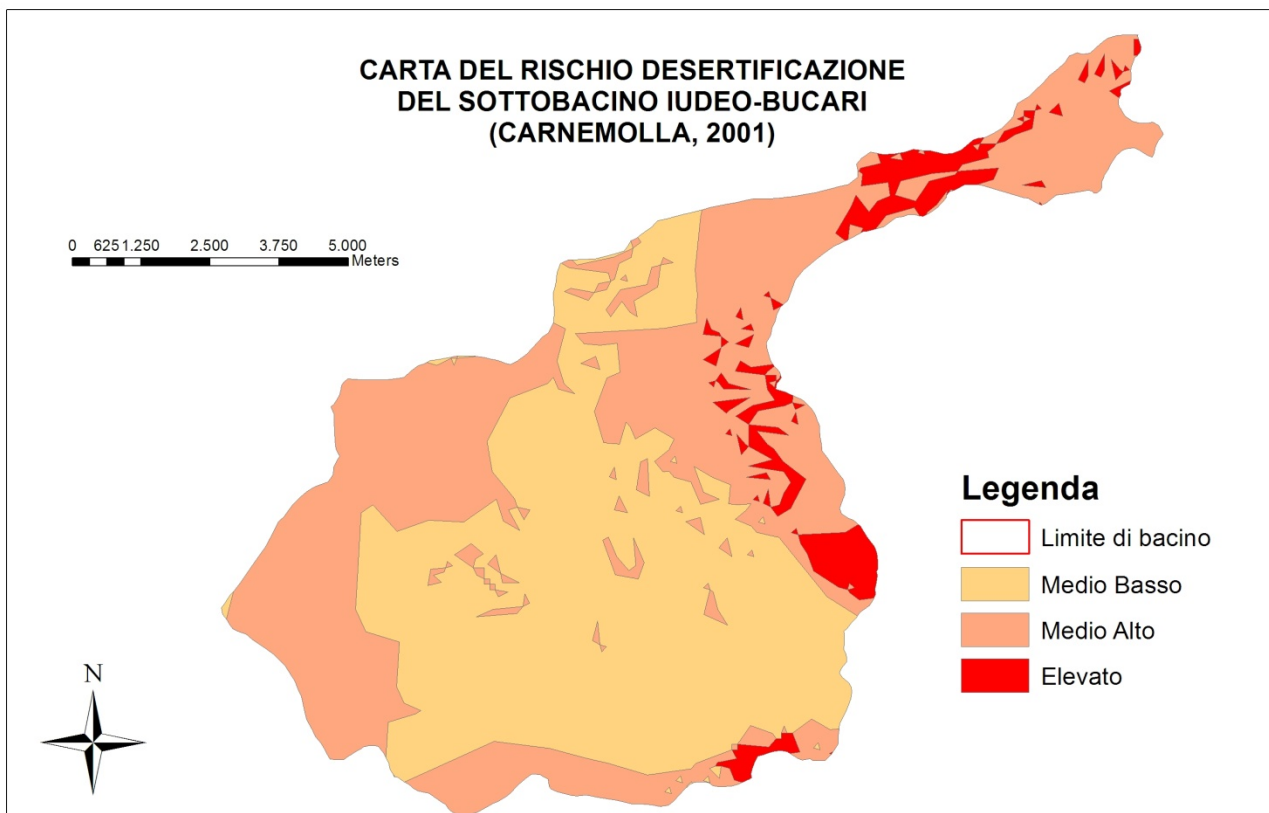


Tabella 6. Quadro di sintesi delle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia.

<b>CLASSE DI RISCHIO</b>	<b>SUPERFICIE (ha)</b>	<b>SUPERFICIE (%)</b>
Basso	152.653	6,0
Medio – Basso	969.600	38,1
Medio – Alto	1.230.115	48,4
Elevato	191.655	7,5
<b>Totale</b>	<b>2.544.023</b>	<b>100</b>

Di seguito si riporta il dettaglio della carta relativo all'area del sottobacino Iudeo-Bucari espresso graficamente a scala 1:50.000, con relativo grafico delle aree a rischio desertificazione. Il taglio della carta del sottobacino è stato effettuato attraverso l'uso del programma *ArcGIS*.

Figura 3: Carta del rischio desertificazione del sottobacino Iudeo-Bucari in scala 1:50.000



### ARNONE ET AL. (2008)

Il metodo adottato è stato quello della metodologia DESERT con alcune implementazioni. In particolare, per la realizzazione della “Carta della vulnerabilità alla desertificazione della Sicilia” si è ritenuto opportuno focalizzare l’attenzione sulla implementazione delle procedure standard di analisi di vulnerabilità alla desertificazione, attraverso l’utilizzo di banche dati pertinenti e di pubblico dominio e di realizzare studi più approfonditi con metodologie innovative su tematiche ritenute fondamentali per il monitoraggio dei fenomeni di desertificazione in Sicilia: il clima, la vegetazione, aspetti socioeconomici, gli aspetti morfologici, i contributi neotettonici ai fenomeni idrogeologici.

Questo obiettivo generale viene perseguito secondo cinque capitoli principali di analisi:

*capitolo 1: analisi climatica effettuata con l’ausilio delle seguenti carte regionali:*

- ✓ temperature medie annue;
- ✓ precipitazioni medie annue;
- ✓ indice di aridità 
$$\frac{P}{T+10} - \frac{12p}{t+10} * \frac{1}{2};$$

- ✓ indice di siccità  $SPI_{t\Delta t} = (X_{t\Delta t} - \bar{X}_{t\Delta t})/S_{t\Delta t}$

- ✓ evapotraspirazione annua ( $E_{pi} = K [1,6 (10 T_i / I)^a]$ );

*capitolo 2: analisi della copertura vegetale effettuata con l’ausilio delle seguenti carte regionali:*

- ✓ Suolo;
- ✓ vegetazione potenziale;
- ✓ uso del suolo;

*capitolo 3: analisi dei dati socioeconomici effettuata con l’ausilio delle seguenti carte regionali:*

- ✓ densità di popolazione;
- ✓ edifici residenziali e non (in relazione alla distribuzione degli edifici, ad uso residenziale e non, nel territorio siciliano, si distinguono tre sistemi socio-economico-produttivi caratterizzati da diverse densità abitative: rurali, urbane e metropolitane);

✓ carta delle riserve naturali (sono state censite le aree naturali che rientrano in parchi, riserve e rete natura 2000 ed è stato assegnato l'indice 1);

✓ carta della concentrazione dei nitrati (è stata utilizzata la carta della concentrazione dei nitrati realizzata dalla sezione di Palermo dell'INGV nell'ambito dello studio finalizzato alla caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei per la definizione dello stato di qualità delle acque, così come previsto dal D.Lgs. n. 152/99);

*capitolo 4: analisi dei dati morfologici e dei processi erosivi effettuata con l'ausilio delle seguenti carte regionali:*

- ✓ densità di drenaggio;
- ✓ Acclività;
- ✓ Permeabilità;
- ✓ geomorfologia e processi erosivi;
- ✓ aggressività delle piogge;

*capitolo 5: analisi dei dati tettonici effettuata con l'ausilio delle seguenti carte regionali:*

- ✓ copertura litologica;
- ✓ densità delle faglie;
- ✓ tassi di sollevamento.

La legenda di ogni carta è stata impostata con tre o cinque classi, ciascuna delle quali possiede un peso crescente in termini di contributo alla desertificazione.

Ogni analisi contenuta in ciascuno dei capitoli precedenti ha dato origine ad una carta unica ottenuta tramite la sovrapposizione pesata delle carte di dettaglio utilizzando celle elementari di 200 m x 200 m. L'ulteriore sovrapposizione pesata delle cinque carte così ottenute ha dato origine alla "Carta della desertificazione in Sicilia", come visibile nello schema sottostante.

Figura 4: Modello di costruzione della carta della desertificazione

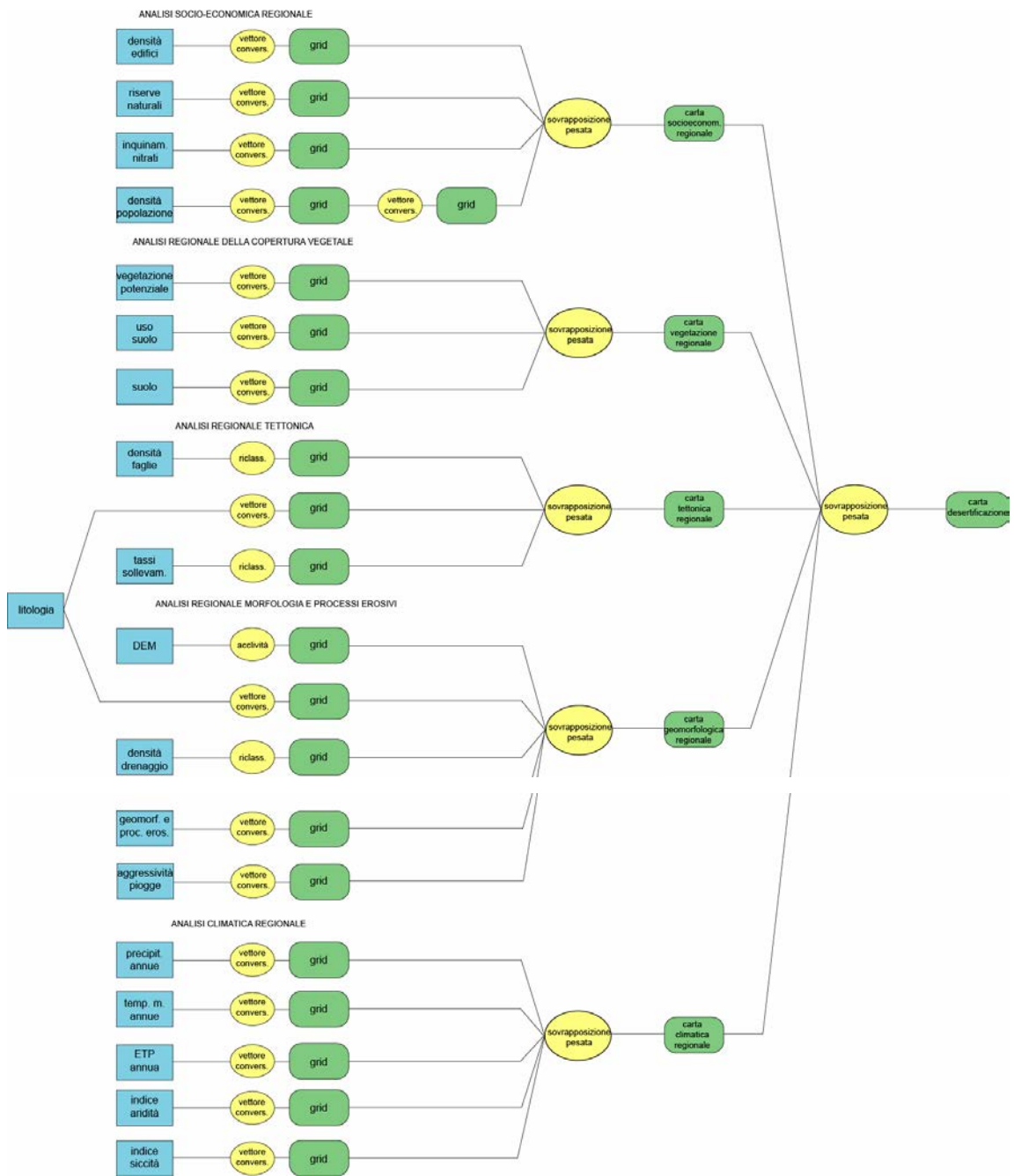
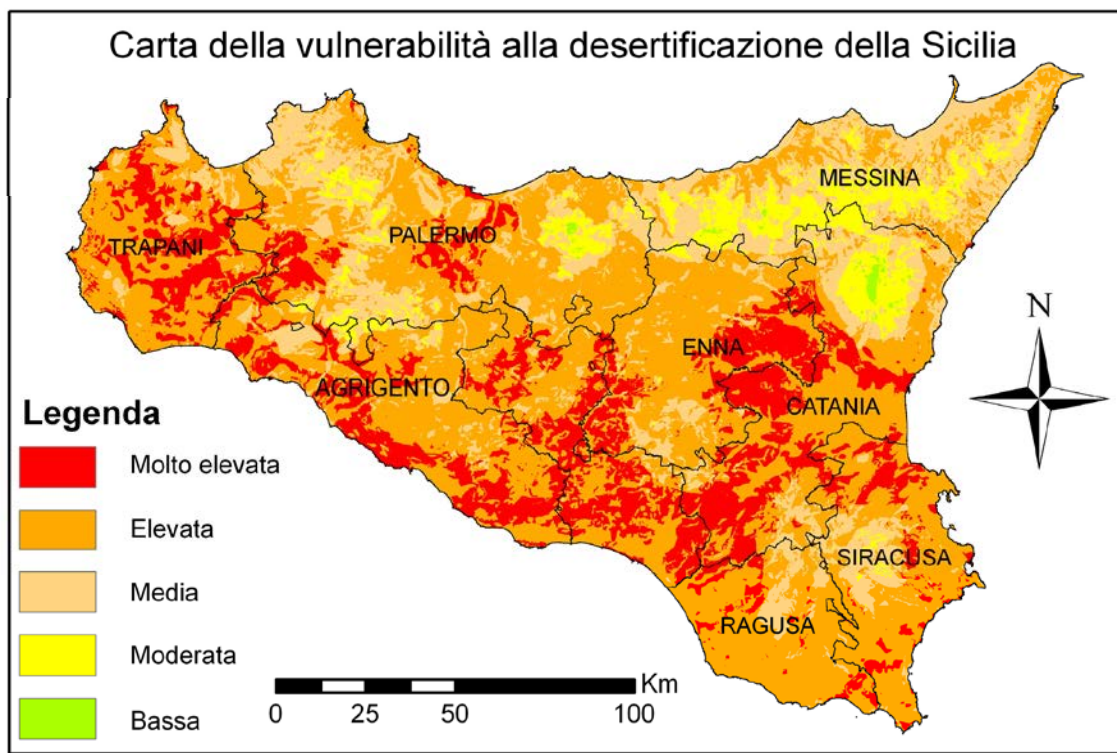
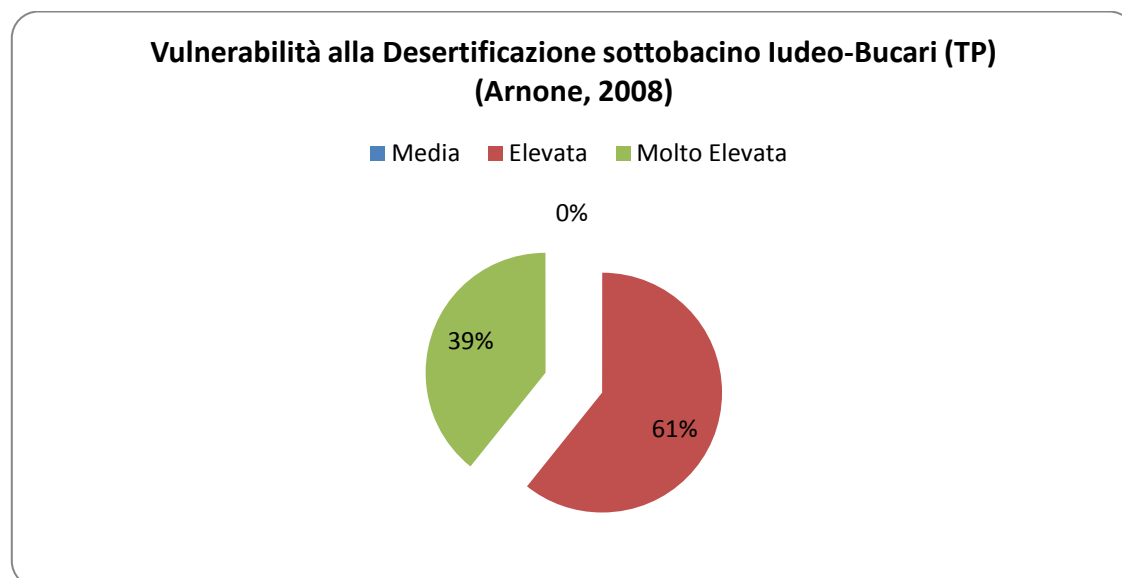
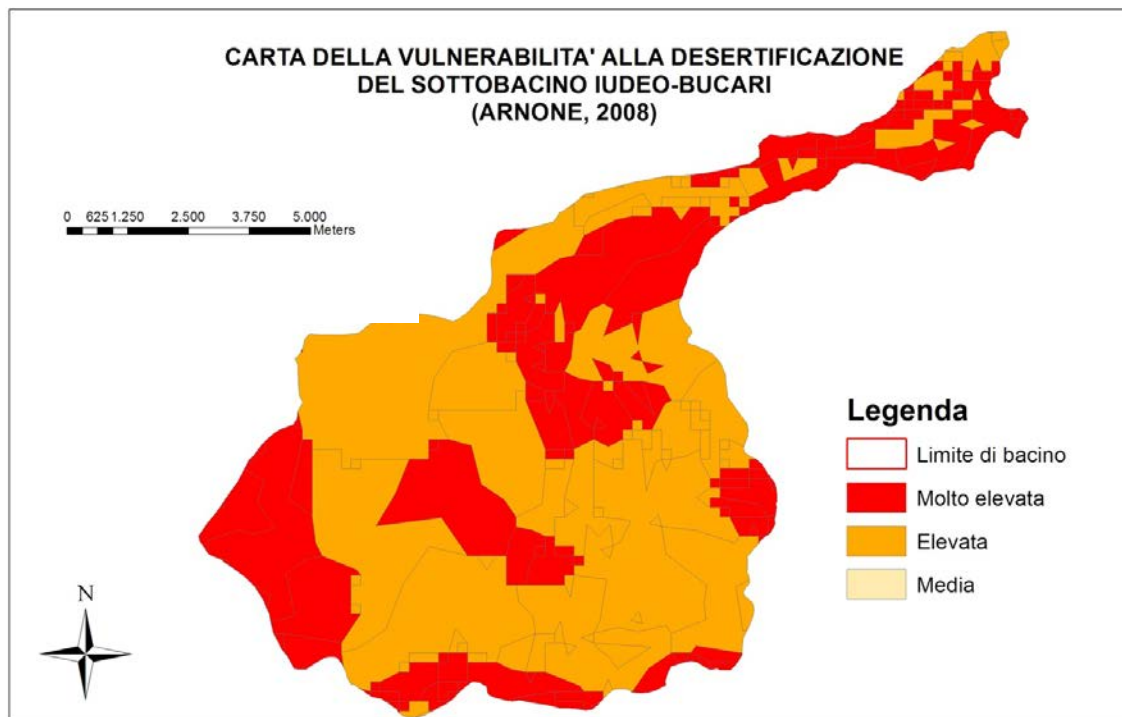


Figura 5: Carta della vulnerabilità alla desertificazione della Sicilia in scala 1:250.000 (Arnone et al. 2008)



Di seguito si riporta il dettaglio della carta relativo all'area del sottobacino Iudeo-Bucari espresso graficamente a scala 1:50.000, con relativo grafico delle aree vulnerabili alla desertificazione. Il taglio della carta del sottobacino è stato effettuato attraverso l'uso del programma ArcGIS.

Figura 6: Carta della vulnerabilità alla desertificazione del Sottobacino Iudeo-Bucari in scala 1:50.000 secondo Arnone et al. 2008.





## CAPITOLO 2

### IL SOTTOBACINO IUDEO-BUCARI (TP)

#### L'INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

Il territorio del sottobacino Iudeo-Bucari è inserito nel bacino idrografico del fiume Màzaro e ne costituisce la parte centro settentrionale. Ricade all'interno del territorio dei comuni di Marsala, Mazara del Vallo e Salemi (Figura 7 e 8).

Figura 7: Quadro di unione del bacino Màzaro (codice 053) e limiti amministrativi dei comuni (PAI 2006, modificato).

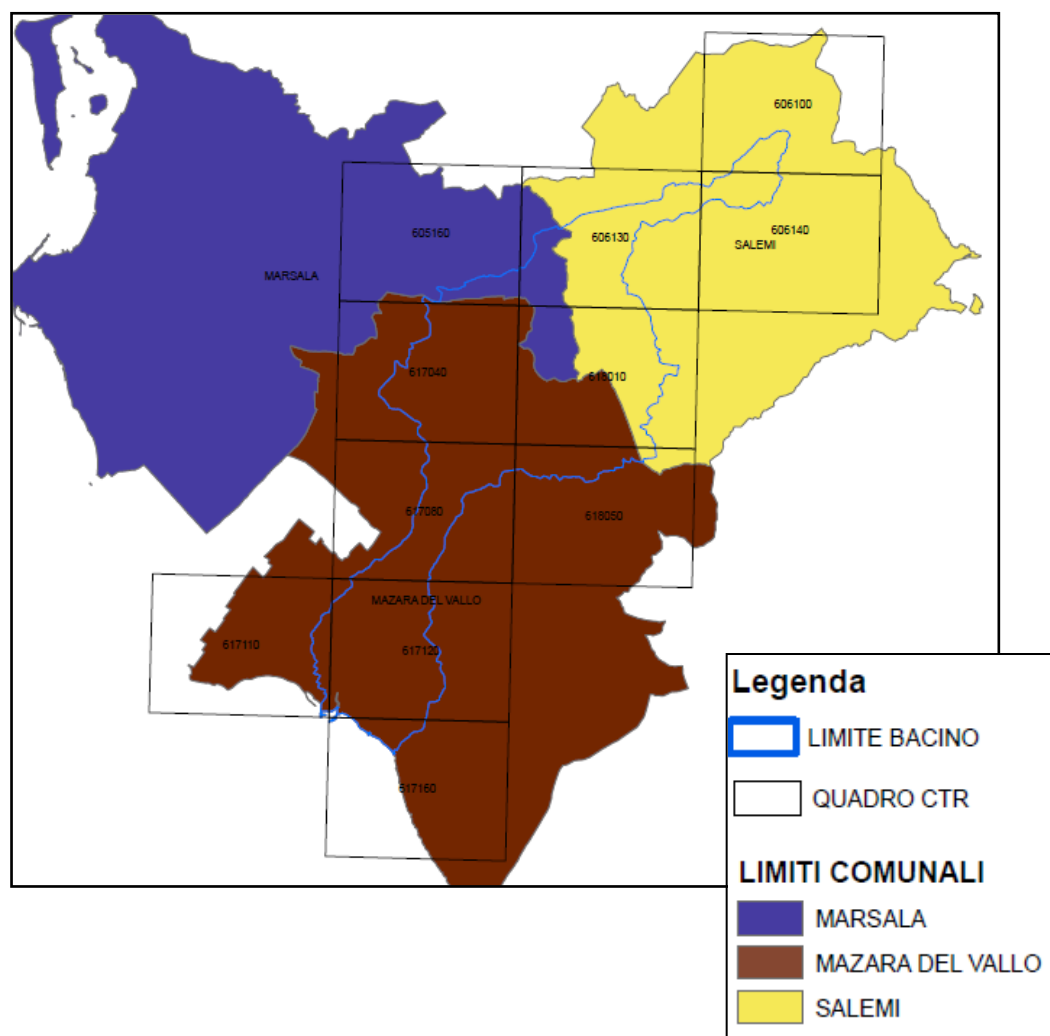
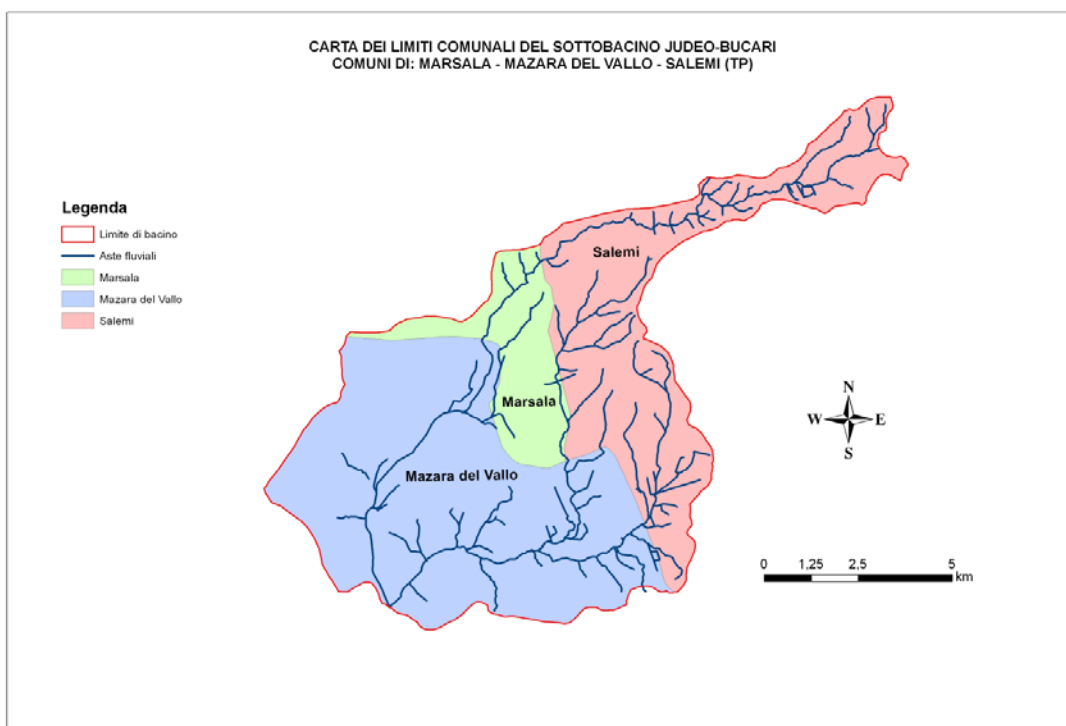


Figura 8: Sottobacino Iudeo-Bucari e limiti amministrativi dei comuni



## IL CLIMA DEL SOTTOBACINO

Dalla carta della distribuzione dei tipi climatici. (Raimondi e Lupo, 1998).

I tipi climatici presenti nel sottobacino appartengono sia al gruppo degli **aridici**, con un indice di umidità globale inferiore a zero ( $Im < 0$ ) che al gruppo degli **umidi**, ( $Im > 0$ ). Del primo gruppo sono presenti il “**semiarido**” (D con  $Im$  da -66,6 a -33,3) e quello da “**subumido a subarido**” (C1 con  $Im$  da -33,3 a 0); mentre del secondo gruppo si riscontra quello da “**umido a sub umido**” (C2, con  $Im$  da 0 a 20). Il clima semiarido (D) si riscontra in tutta l’area con morfologia pianeggiante e collinare fino ad un’altimetria di 200 m s.l.m. circa, che corrisponde alla parte più bassa del sottobacino. Il clima da **subumido a subarido** (C1) è presente nella fascia intermedia caratterizzata da una morfologia collinare e si estende fino ad una quota di 500 m s.l.m. circa. Nell’area di monte Polizzo, al di sopra dei 500 m s.l.m. circa è presente il clima appartenente al gruppo dei climi umidi e precisamente il tipo da “**umido a sub umido**” (C2).

## LE VARIETÀ CLIMATICHE

In base all'efficienza termica (Evapotraspirazione potenziale) nel sottobacino sono state individuate due varietà climatiche comprese tra il **secondo mesotermico** ( $712 < PE < 855$ ) ed il **terzo mesotermico** ( $PE > 855$ ), dividendo il sottobacino in due aree (**B2'** e **B3'**). La varietà più diffusa è il **terzo mesotermico** presente nella parte bassa del sottobacino fino ad un'altimetria di 380 m s.l.m. circa, mentre il **secondo mesotermico** risulta essere presente nelle parte più alta caratterizzata dalla presenza di aree a morfologia collinare e montana.

## I TIPI TERMOMETRICI DEI SUOLI

L'area considerata si inserisce prevalentemente nel **regime di temperatura termico** ( $15 < T \text{ } ^\circ\text{C} < 22$ ). Il sottobacino è suddivisibile in due aree con la delimitazione di una linea posta a 180 m s.l.m. circa. Nella parte più bassa si ha la presenza del **regime termico marittimo** (T1;  $19 < T \text{ } ^\circ\text{C} < 22$ ) perché in essa è notevole l'influenza del mare. Nella parte più alta si ha la presenza del **regime termico continentale** (T2;  $15 < T \text{ } ^\circ\text{C} < 19$ ). Sulla cima del monte Polizzo per la morfologia e la vegetazione boschiva non si esclude la presenza del regime di temperatura Mesico.

## I REGIMI IDRICI DEI SUOLI

Nel caso in cui la capacità di ritenzione idrica disponibile dei suoli è di 25 mm risulta dominare il regime idrico intermedio **Xerico-Torrico**, mentre il regime idrico **Xerico** risulta presente alle quote più alte, al di sopra dei 500 m s.l.m. circa. Nel caso in cui la capacità di ritenzione idrica disponibile è di 50 mm, l'area a regime intermedio **Xerico torrico** è meno estesa e risulta ubicata nella fascia ovest del sottobacino che abbraccia le contrade di Chitarra e Carcitella, Timpone e Cudda. In essa è forte l'influenza delle perturbazioni che arrivano da ovest (Marsala); mentre la rimanente parte del sottobacino presenta un regime idrico **Xerico**. Quando invece la ritenzione idrica disponibile è più alta (100, 200 e 300 mm) il sottobacino presenta un regime idrico **Xerico** su tutta la superficie.

## LA MORFOLOGIA E LA LITOLOGIA

Il territorio del bacino Màzaro nel settore meridionale è caratterizzato da lineamenti morfologici pressoché costanti e regolari, tipici delle ampie pianure costiere modellate e spianate dall'azione del mare nel periodo Quaternario. Tali superfici pianeggianti, nelle aree più interne settentrionali, lasciano il posto a morfologie di tipo collinare e mammellonari, ma sempre con rilievi molto modesti e con pendenze molto blande. I principali elementi morfo-litologici che contraddistinguono il territorio in studio sono rappresentati dai terrazzi marini calcarenitici di età quaternaria che, con pendenze molto blande, si sviluppano dalla linea di costa verso l'interno, fino ad una quote di circa 150 m s.l.m.. Verso le aree più interne dominano i depositi prevalentemente plastici di età miocenica e pliocenica, caratterizzati da un assetto morfologico collinare molto blando ed arrotondato. Le quote più elevate si rinvergono lungo lo spartiacque settentrionale e sono comprese tra i 500 e i 712 m s.l.m. della vetta di monte Polizzo,. All'interno dell'area in esame, invece, si raggiungono quote meno elevate in corrispondenza delle strutture morfologiche, tipiche dell'area trapanese e marsalese, denominate "Timponi"; in generale si tratta di modesti rilievi di natura calcarenitica e sabbioso-conglomeratica, che si ergono di alcuni metri rispetto alle superfici adiacenti, e che sono riconducibili a strutture morfologiche formatesi in ambiente deposizionale di spiaggia e di dune costiere. Tra i più rilevanti si ricordano le strutture di Timpone Cudda, Calamita, D'Oro, Lipponi, del Gesso, localizzati lungo il settore meridionale de sottobacino Iudeo – Bucari, che raggiungono quote comprese tra i 100 e i 250 m s.l.m.. Le pendenze dei versanti sono molto modeste sia in corrispondenza degli affioramenti calcarenitici, sia in corrispondenza degli affioramenti argillosi, caratterizzati da versanti con forme blande e mammellonari. (P.A.I., 2006). Il margine settentrionale della piattaforma calcarenitica delimita a sud il sottobacino Iudeo – Bucari che nel tratto meridionale ha un'altimetria che oscilla dai 71 ai 120 m s.l.m. circa. Il salto dai 150 m s.l.m. alla vallata crea una depressione tendenzialmente pianeggiante molto vasta nel sottobacino Bucari, mentre è poco estesa nel sottobacino Iudeo. Alla confluenza dei torrenti Iudeo e Bucari l'altimetria è di 70,5 m s.l.m. circa. Adiacenti ai due torrenti nel settore centro meridionale si sviluppano depositi alluvionali piuttosto estesi.

## **L'IDROGRAFIA**

Nel sottobacino sono presenti due Torrenti denominati Iudeo e Bucari che confluiscono a 70,5 m s.l.m. dando origine al fiume Màzaro. Il Fiume Màzaro nasce dalle pendici di monte Polizzo (712 m s.l.m.), in territorio comunale di Salemi, e inizialmente assume la denominazione di Fosso Ranchibilotto. Nei pressi di Timpone Monaco, in territorio comunale di Marsala, assume la denominazione di Torrente Iudeo e varia leggermente direzione, proseguendo il suo corso prima con orientamento NNE – SSW e poi N – S.

Alla confluenza, in sinistra idraulica, con il Torrente Bucari, in territorio comunale di Mazara del Vallo, continua il suo percorso con andamento NE – SW e sfocia nel mar Mediterraneo nei pressi del Porto Canale di Mazara del Vallo.

Il Fiume Màzaro è caratterizzato da un reticolo idrografico dendritico, discretamente gerarchizzato, maggiormente sviluppato in sinistra idraulica, dove il territorio presenta una morfologia meno pianeggiante per la presenza di piccoli rilievi isolati, i cosiddetti Timponi.

## **L'AMBIENTE PEDOLOGICO**

I vari suoli presenti nel territorio sono rappresentati nella carta pedologica (inedita).

Qui di seguito sono schematicamente riportati tutti i suoli presenti all'interno del territorio seguendo la leggenda della carta pedologica del sottobacino.

### **A SUOLI SUI DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI.**

A1 Suoli sui depositi alluvionali recenti a tessitura grossolana.

A1-1 Typic Torrifluent, famiglia fine, mista, termica continentale.

A1-2 Tipyc Calcixeroll, famiglia fine, mista, termica continentale.

A2 Suoli sui depositi alluvionali recenti a tessitura fine.

A2-1 Typic Calcitorrert, famiglia fine, smectitica, termica continentale.

Typic Haplotorrert, famiglia fine, smectitica, termica continentale, fase salina in profondità.

### **B SUOLI SUI DEPOSITI ALLUVIONALI LACUSTRI.**

B1 Typic Calcitorrert, famiglia franca-fine, mista, termica continentale, fase idromorfa.

### **C SUOLI SUI DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI TERRAZZATI.**

C1 Suoli sui depositi alluvionali antichi terrazzate fini.

- C1-1 Typic Calcitorrert, famiglia fine, mista, termica continentale.  
 Typic Calcitorrert, famiglia fine, smectitica, termica continentale, fase mediamente sodica in profondità.
- C2 Suoli sui depositi alluvionali antichi terrazzate grossolani.
- C2-1 Typic Palexeralf, famiglia franca-grossolana, mista, termica continentale, fase a complesso di scambio moderatamente sodicizzato.
- D SUOLI SULLE CALCARENITI DI SPESSORE ESIGUO (PLEISTOCENE SUPERIORE).**
- D1 Calcic Haploxeroll, famiglia franca fine, mista, termica continentale.
- D2 Mollic Haploxeralf, famiglia franca fine, mista, termica continentale.
- D3 Typic Calcixerept, famiglia franca fine, mista, termica continentale.
- E SUOLI SUGLI STRATI E BANCHI ARENACEI (VALLE DEL BELICE – PLIOCENE MEDIO SUPERIORE).**
- E1 Humic Haploxerept, famiglia franca grossolana, mista, termica continentale.
- F SUOLI SUGLI STRATI PELITICO ARENACEI E STRATI E BANCHI ARENACEI (VALLE DEL BELICE – PLIOCENE MEDIO).**
- F1 Mollic Haploxeralf, famiglia franca fine, mista, termica continentale.
- F2 Typic Calcixerept, famiglia franca fine, mista, termica continentale.
- F3 Vertic Calcixerept, famiglia franca fine, mista, termica continentale.
- F4 Typic Calcixerept, famiglia fine, mista, termica continentale.  
 Typic Calcixerept, famiglia franca fine, mista, termica continentale.
- F5 Typic Calcixerert, famiglia fine, smectitica, termica continentale.
- G SUOLI SULLE ARGILLE SABBIOSE GRIGE (VALLE DEL BELICE– PLIOCENE MEDIO).**
- G1 Typic Calcixerept, famiglia fine, mista, termica continentale.
- G2 Typic Calcixerert, famiglia fine, smectitica, termica continentale.
- H SUOLI SULLE MARNE BIANCHE E GRIGE (TRUBI – PLIOCENE INFERIORE).**
- H1 Lithic Haploxeroll, famiglia franca grossolana, mista, termica continentale.
- H2 Aridic Calcixeroll, famiglia franca fine, mista, termica continentale.

**I SUOLI SUI CALCARI E CALCARENITI ORGANOGENI (CALCARI CONGERIE - MESSINIANO SUPERIORE).**

I1 Typic Calcixeroll, famiglia franca fine, mista, termica continentale.

**L SUOLI SUI GESSI (MESSINIANO SUPERIORE).**

L1 Typic Torriorthent, famiglia franca fine, gessosa e salina, termica continentale.

L2 Typic Calcixeroll, famiglia franca fine su franca grossolana, mista, termica continentale; fase salina.

**M SUOLI SUI CALCARI E CALCARENITI (BAUCINA – MESSINIANO INFERIORE).**

M1 Lithic Haploxeroll, famiglia franca fine, mista, termica continentale sui calcari.  
Typic Calcixerept, famiglia franca fine su franca grossolana, mista, termica continentale sulle calcarenite.

**N SUOLI SULLE ARGILLE SABBIOSE (MIOCENE MEDIO O TORTONIANO).**

N1 Typic Haplotorrert, famiglia fine, smectitica, termica continentale.

N2 Chromic Haploxerert, famiglia fine, smectitica, termica continentale.

N3 Typic Calcitorrert, famiglia fine, smectitica, termica continentale.

N4 Typic Haploxerert, famiglia franca fine, mista, termica continentale.

**O SUOLI SUI CONGLOMERATI POLIGENICI (MIOCENE MEDIO O TORTONIANO).**

O1 Arenic Palexeralf, famiglia franca grossolana su franca fine, mista, termica continentale.

**P SUOLI SULLE SABBIE (MIOCENE MEDIO O TORTONIANO).**

P1 Typic Calcixerept, famiglia franca fine, termica marittima.

## CAPITOLO 3

### L'ATTIVITÀ SPERIMENTALE

#### SCOPO DELLA RICERCA

La ricerca ha lo scopo di testare l'applicazione del metodo ““Medalus”” già utilizzato per la redazione della carta della Sensibilità alla Desertificazione della Regione Sicilia, a scala 1:250.000, (2011), costruendo la “Carta della Sensibilità alla Desertificazione del sottobacino Judeo-Bucari a scala 1:50.000”. Inoltre oltre all'introduzione di nuovi indici per avere una valutazione più aderente alla realtà si vuole proporre una modifica della metodologia che preveda interventi di mitigazione del processo.

#### DESCRIZIONE DEL MODELLO “MEDALUS” E SUA APPLICAZIONE IN SICILIA (2011)

Il metodo utilizzato, sviluppato all'interno del progetto dell'Unione Europea “MEDALUS” (*Mediterranean Desertification And Land Use*), è stato elaborato da Kosmas et al. (1999) per lo studio delle aree vulnerabili alla desertificazione nell'isola di Lesvos (Grecia) e ha trovato applicazione in tre aree test di altrettanti Paesi del Mediterraneo (Italia, Portogallo e Spagna). La metodologia, nota come ESAs (*Environmentally Sensitive Areas*), ha lo scopo di individuare le aree sensibili alla desertificazione, attraverso l'applicazione di indicatori sia biofisici che socio-economici che consentono di classificare le aree in **critiche** (già altamente degradate a causa del cattivo uso del terreno, che rappresenta una minaccia all'ambiente delle aree circostanti), **fragili** (aree dove qualsiasi cambiamento del delicato equilibrio dei fattori naturali o delle attività umane molto probabilmente porterà alla desertificazione) e **potenziali** (aree minacciate dalla desertificazione).

La Metodologia “MEDALUS” si basa sull'identificazione di “**Aree Ambientali Sensibili alla desertificazione (ESAs - Environmentally Sensitive Areas)**” e consiste in un approccio multifattoriale dei processi ambientali in atto, sia sulla conoscenza generale che su quella locale. La metodologia in questione definisce 4 classi d'indicatori di desertificazione afferenti alle seguenti categorie:



- ✓ Suolo (6 indicatori);
- ✓ Clima (3 indicatori);
- ✓ Vegetazione (4 indicatori);
- ✓ Gestione del territorio (3 indicatori).

Il modello “MEDALUS” presuppone che ciascuno dei quattro indici abbia individualmente solo una limitata capacità di influenza sul valore finale dell’indice ESAI (*Environmental Sensitive Areas Index*) e che solo quando più parametri hanno un alto punteggio un’area può essere assegnata ad una classe di alta sensibilità. Il modello “MEDALUS” lascia, inoltre, la possibilità di variare il numero di parametri da utilizzare per la valutazione degli indici di qualità.

Attraverso i primi tre indici si ottiene un quadro dello stato delle condizioni ambientali, mentre l’ultimo indice esprime una valutazione della pressione esercitata dalle attività antropiche; dalla media dei quattro indici si determina l’indice ESAI di sensibilità ambientale.

La metodologia è basata sulla classificazione di ciascun indice di qualità ottenuto come **media geometrica degli indicatori ambientali ed antropogenici disponibili**. Tali indicatori vengono quantificati assegnando ad ognuno di essi un punteggio in relazione alla sua influenza sui processi di desertificazione. La metodologia prevede l’elaborazione di 4 Indici di Qualità a partire dalle variabili alle quali è attribuito un valore numerico sulla base della maggiore o minore influenza sul processo della desertificazione.

Si ottengono così **tramite media geometrica dei vari strati informativi i 4 indici di qualità:**

1. *Indice di Qualità del Suolo - SQI*
2. *Indice di Qualità del Clima - CQI*
3. *Indice di Qualità della Vegetazione - VQI*
4. *Indice di Qualità di Gestione - MQI*

Dalla combinazione, tramite media geometrica, dei quattro indici si ottiene l’indice sintetico **ESAI (Environmental Sensitive Areas Index):**

$$\text{ESAI} = (\text{SQI} * \text{CQI} * \text{VQI} * \text{MQI})^{1/4}$$

Seguendo la metodologia proposta dagli autori (Kosmas et al., 1999), l’individuazione delle aree sensibili alla desertificazione dovrebbe seguire il seguente schema (tabella 9):

Tabella 9: Applicazione “Medalus”

INDICATORI	INDICI	RISULTATO
Roccia madre Tessitura Pietrosità Profondità Drenaggio Pendenza	<b>SQI</b> (Soil Quality Index)	<b>ESAI</b>
Erosività delle precipitazioni Indice di aridità Esposizione dei versanti	<b>CQI</b> (Climate Quality Index)	
Rischio incendio Protezione dall'erosione Resistenza alla siccità Copertura vegetale	<b>VQI</b> (Vegetation Quality Index)	
Politiche di protezione del territorio Intensità d'uso del suolo	<b>MQI</b> (Management Quality Index)	

L'applicazione del modello “MEDALUS” in Sicilia, a scala regionale, per l'individuazione delle aree sensibili alla desertificazione, ha reso necessaria una serie di lievi modifiche per identificare i corretti indicatori da utilizzare in base alla natura e disponibilità delle banche dati esistenti.

È bene sottolineare come, rispetto a quanto proposto da *Kosmas et al. (1999)*, sia stato necessario apportare adeguate modifiche nell'applicazione della metodologia ESAs alla Sicilia. Le caratteristiche pedologiche, climatiche, di uso del suolo, nonché la disponibilità di dati, hanno imposto, in alcuni casi, delle scelte metodologiche differenti rispetto al modello originale.

Le principali attività che sono state svolte sono le seguenti:

- ✓ Definizione del set di indicatori;
- ✓ Acquisizione;
- ✓ Elaborazione dati;
- ✓ Calcolo degli indici;

L'aggiornamento della “**Carta della sensibilità alla desertificazione in Sicilia**” (2011), è stato svolto attraverso la collaborazione tra gli Enti regionali di diversi settori, quali il Dipartimento Regionale Ambiente (comprendente anche l'ARPA), il Dipartimento

Regionale Interventi Infrastrutturali per l’Agricoltura, il Comando del Corpo Forestale ed il Dipartimento Regionale dell’Acqua e dei Rifiuti.

Sono state condivise le rispettive informazioni ed esperienze presenti a livello regionale sulla tematica desertificazione; sono state valutate le banche dati disponibili ed è stato definito il **set di indicatori** che vengono riportati nella seguente tabella 10.

Tabella 10: Metodo “Medalus” applicato per la redazione della “Carta alla sensibilità alla desertificazione della Sicilia, 2011”

LAYER	INDICATORI	CARTA
SUOLO	Litologia	Carta dell’Indice di Qualità del Suolo <b>(SQI)</b>
	Pietrosità	
	Profondità del suolo	
	Pendenza	
	Drenaggio	
	Tessitura del suolo	
CLIMA	Esposizione dei versanti	Carta dell’Indice di Qualità del Clima <b>(CQI)</b>
	Erosività delle precipitazioni	
	Indice di aridità	
	Stagionalità delle precipitazioni	
VEGETAZIONE	Rischio d’incendio	Carta dell’Indice di Qualità della Vegetazione <b>(VQI)</b>
	Protezione dall’erosione	
	Resistenza alla siccità	
	Grado di copertura vegetale	
GESTIONE	Politiche di protezione	Carta dell’Indice di Qualità della Gestione <b>(MQI)</b>
	Intensità dell’uso del suolo	
	Indice di Pressione antropica	

## ACQUISIZIONE, ELABORAZIONE DATI E CALCOLO DEGLI INDICI

Per poter calcolare ed elaborare i vari indicatori allo scopo di ottenere la carta finale delle Aree Sensibili alla Desertificazione, sono state utilizzate le tecniche GIS. Gli indicatori individuati sono stati elaborati con il software *ArcGIS* della *ESRI* utilizzando strumenti di analisi spaziale. I singoli indicatori, in formato vettoriale, sono stati riprogettati nel sistema di coordinate UTM-WGS84 fuso 33 N e, per ognuno di essi, è stato creato un attributo che contiene un valore calcolato secondo la metodologia di Kosmas (1999).

Le carte tematiche ottenute sono state trasformate in formato *raster grid* con una maglia di campionamento di 100 x 100 metri. Tutti i *grid* fanno riferimento, per avere le celle perfettamente allineate, al *grid* DEM100 che è il ricampionamento del DEM 40 x 40 metri derivato dai file *ascii* delle ortofoto IT2000 ed elaborato dall'area 2 Inderdipartimentale *SITR*, dell'ARTA Sicilia.

E' stata calcolata la media geometrica tra i diversi punteggi degli indicatori per cui:

$$\text{Qualità Carta X} = (\text{indicatore 1} \times \text{indicatore 2} \times \dots \times \text{indicatore n})^{1/n}$$

in modo da ottenere le quattro carte relative agli indici di qualità (SQI, VQI, CQI, MQI). Infine, sempre utilizzando lo strumento *map algebra*, si è proceduto al calcolo dell'ESAI secondo la seguente formula:

$$\text{ESAI} = (\text{SQI} \times \text{CQI} \times \text{VQI} \times \text{MQI})^{1/4}$$

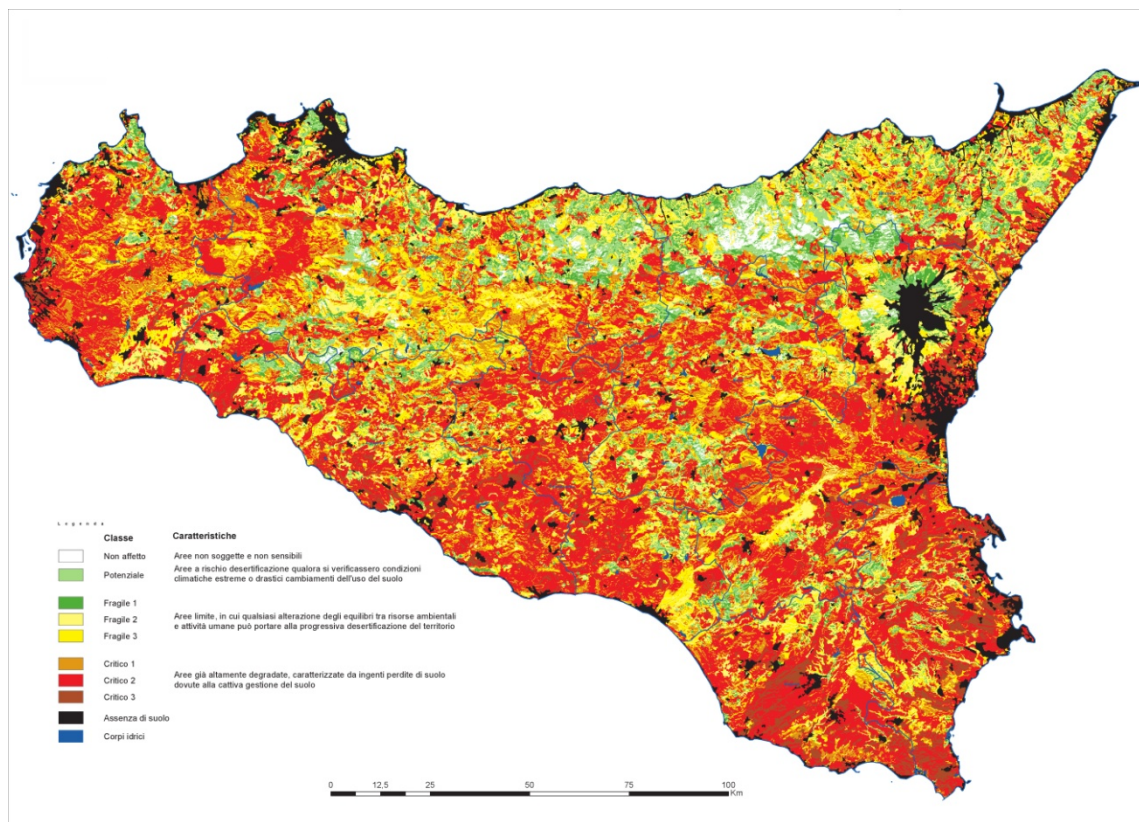
L'indice finale ESAI individua le aree con crescente sensibilità alla desertificazione secondo il seguente schema (tabella 11), in cui sono riportati i differenti valori che tale indice può assumere:

Tabella 11: Classificazione delle aree sensibili alla desertificazione

VALORE ESAI	CLASSE	CARATTERISTICHE
ESAI < 1.17	Non affetto	Aree non soggette e non sensibili
1.17 < ESAI < 1.225	Potenziale	Aree a <b>rischio di desertificazione</b> qualora si verificassero condizioni climatiche estreme o drastici cambiamenti nell'uso del suolo.
1.225 < ESAI < 1.265	Fragile 1	Aree limite, in cui qualsiasi alterazione degli equilibri tra risorse ambientali e attività umane può portare <b>alla progressiva</b>
1.265 < ESAI < 1.325	Fragile 2	
1.325 < ESAI < 1.375	Fragile 3	

		<b>desertificazione</b> del territorio.
1.375<ESAI<1.415	Critico 1	<b>Aree altamente degradate</b>
1.415<ESAI<1.530	Critico 2	
ESAI>1.530	Critico 3	

Figura 7: Carta della sensibilità alla desertificazione della Regione Sicilia a scala 1:250.000



Kosmas et al., (1999) definiscono come:

**Aree (ESAs) potenziali:** aree minacciate dalla desertificazione. Sono quelle aree soggette ad un significativo **cambiamento climatico**; se una particolare utilizzazione del suolo è praticata con criteri gestionali non corretti si potranno creare seri problemi, per esempio lo scorrimento dei pesticidi lungo le pendici e deposito a valle dei principi attivi nocivi alla vegetazione. Si tratta per lo più di aree marginali abbandonate non gestite in modo appropriato. Questo tipo è meno severo del successivo, ma ciò nonostante è necessario attuare una pianificazione territoriale corretta.

**Aree (ESAs) fragili:** aree dove qualsiasi cambiamento del delicato equilibrio dei fattori naturali o delle attività umane molto probabilmente porterà alla desertificazione. Per esempio, l'impatto del previsto cambiamento climatico causato dall'effetto serra probabilmente determinerà una riduzione del potenziale biologico causata dalla siccità, provocando la perdita della copertura vegetale in molte aree, che saranno soggette ad una maggiore erosione, e diventeranno aree critiche.

**Aree (ESAs) critiche:** aree già altamente degradate a causa del cattivo uso del terreno, che presenta una minaccia all'ambiente delle aree circostanti. Per esempio, aree molto erose soggette ad un alto deflusso e perdita di sedimenti.

## **MATERIALI E METODI**

L'applicazione del Metodo "Medalus" a scala 1:50.000 nell'area del sottobacino Iudeo-Bucari ha richiesto l'analisi di parametri ambientali caratterizzanti l'area di studio. Si è proceduto ad aggiornare alcuni dati necessari per il calcolo degli indici e a inserire altri indicatori. Infatti aumentando la scala di rappresentazione grafica da 250.000 a 50.000 è necessario un dettaglio maggiore delle informazioni poste in ingresso e necessarie per il calcolo dell'indice ESAI. La realizzazione del progetto può essere sintetizzata in 3 gruppi principali:

1. ATTIVITA' DI COORDINAMENTO E PROMOZIONE DEL PROGETTO
2. RICERCA SCIENTIFICA
3. PROGETTO CARTOGRAFICO

### **ATTIVITA' DI COORDINAMENTO E PROMOZIONE DEL PROGETTO**

Nel corso degli anni del dottorato è maturata l'idea che una ricerca che coinvolga parametri su scala di riferimento 1:50.000, ha bisogno di una moltitudine di dati con una densità maggiore rispetto al 250.000. Tali dati non sempre sono disponibili presso l'Università. Inoltre bisognava consultare tutti i soggetti che fino ad allora avevano lavorato per la realizzazione della Carta della Sensibilità alla Desertificazione della Regione Sicilia a scala 1:250.000. Infatti, questa ultima elaborazione è stata considerata dall'Amministrazione Regionale come strumento di programmazione e di richiamo di fondi comunitari e regionali per limitare i danni della desertificazione. Allo stato attuale esiste un

**“Tavolo Tecnico Desertificazione”** che vede come protagonisti principali l’Assessorato Regionale dell’Ambiente (Servizio 3° - U.O. 3.3), Assessorato Regionale delle Risorse Agricole ed Alimentari (SIAS – Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano) e l’ARPA Sicilia.

Nel corso di questi anni vi sono stati numerosi contatti con le tre strutture regionali proponendo l’idea progettuale, valorizzandola e facendola oggetto d’interesse. Il risultato è stato il seguente:

- **Autorizzazione** ad utilizzare i dati disponibili in possesso del Tavolo Tecnico Desertificazione;
- **Convenzione** tra l’UNIPA e l’ARTA Sicilia per la realizzazione del progetto definito “PILOTA”;
- **Analisi** chimiche delle acque superficiali presenti nell’area di studio ed utilizzate per l’irrigazione a cura del’ARPA Sicilia (Struttura Territoriale di Trapani).

#### **GLI INDICI UTILIZZATI PER LA VALUTAZIONE**

L’applicazione del metodo “Medalus” prevede la raccolta di dati che vengono sintetizzati attraverso la realizzazione di Layer (Suolo, Clima, Vegetazione, Gestione), indicatori ed indici.

L’esposizione dei vari indici e dei relativi indicatori fa riferimento alla Carta della sensibilità alla desertificazione pubblicata dalla Regione Siciliana nel 2011. Ad essa sono state integrate le informazioni relative agli approfondimenti e alle innovazioni da noi definite nel corso dello studio.

#### **✓ Indice della qualità del suolo – SQI**

Il suolo riveste un ruolo fondamentale nei processi di desertificazione degli ecosistemi delle aree semi-aride, soprattutto nei casi in cui la profondità del suolo, necessaria per il minimo sostentamento fisico degli apparati radicali delle piante e per il contenimento dell’acqua e degli elementi nutritivi. Ai fini della desertificazione, la qualità del suolo si esprime in considerazione della disponibilità idrica e della resistenza al fenomeno erosivo. Nell’attività di ricerca è stata utilizzata la **“Carta dei suoli del sottobacino Iudeo-Bucari”** di Raimondi et al. (inedita) a scala 1:50.000. Gli indicatori della Carta della sensibilità alla

desertificazione dell'Assessorato, di conseguenza, sono stati sia aggiornati che integrati con altre informazioni. Ai suddetti indicatori sono stati aggiunti i dati di **Salinità del Suolo**, della **Capacità del suolo in acqua disponibile per le piante (AWC)** ed è stato inoltre aggiornato il dato della profondità del suolo, della tessitura, del drenaggio e della pietrosità. I dati grezzi per l'aggiornamento e l'integrazione dei nuovi indicatori sono stati opportunamente elaborati ed inseriti nel calcolo dello SQI.

Nello specifico è stato necessario provvedere alla costruzione, attraverso una media geometrica, dei seguenti indici attraverso l'interpolazione dei rispettivi indicatori:

Gli indicatori presi in considerazione sono:

- Litologia;
- Pietrosità;
- Profondità del suolo;
- Pendenza;
- Drenaggio;
- Tessitura del suolo;
- Salinità del suolo;
- AWC del suolo.

### *LA LITOLOGIA*

La roccia madre rappresenta il materiale da cui prende origine il suolo. E' molto importante poiché molti dei caratteri acquisiti dal suolo dipendono dalle caratteristiche chimiche e fisiche del materiale di partenza. Suoli originatesi su differenti substrati reagiscono in maniera differente all'erosione e possono portare a gradi differenti di desertificazione. Ad esempio i suoli derivati da rocce metamorfiche sono generalmente poco profondi, facilmente erodibili e non consentono un rapido ripristino della vegetazione. Caratteristiche simili presentano i suoli formati su rocce piroclastiche, come ad esempio gli affioramenti plio-quadernari nella porzione settentrionale degli Iblei; le rocce piroclastiche presentano uno spessore molto ridotto, elevata erodibilità e conseguente elevato rischio di desertificazione. Al contrario, i suoli formati sui conglomerati e le rocce effusive basiche, possono mantenere un buono stato idrico anche durante gli anni siccitosi e conseguentemente una buona copertura vegetale del terreno e un'elevata produzione di



biomassa. La base informatica utilizzata è costituita dalla carta geologica regionale a scala 1:100.000, utilizzata per il Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sicilia, prodotto nel 2009. La metodologia applicata, di tipo qualitativa, prevede di attribuire ai singoli tipi geologici valori rispettivamente di 1 – 1,4 – 1,7 – 2 rispetto ad una valutazione della sensibilità ai processi erosivi definita bassa, media, alta ed elevata.

La tabella seguente esprime la legenda della carta della qualità del suolo in funzione della roccia madre.

Tabella 12

<b>Classe</b>	<b>Legenda</b>	<b>Roccia Madre</b>	<b>Indice</b>
1	Predisposizione all'erosione bassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Detrito, Alluvioni, sabbie - Recente ed Attuale</li> <li>▪ Formazione Terravecchia - Tortoniano</li> </ul>	1
2	Predisposizione all'erosione media	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Argille brecciate - Miocene e Pliocene</li> <li>▪ Argille Varicolori - Cretaceo - Miocene</li> <li>▪ Calcareniti organogene quaternarie</li> <li>▪ Formazioni carbonatiche Meso - Cenozoiche</li> <li>▪ Arginiti, marne, calcari e siltiti - Flysch Carni</li> <li>▪ Flysch Monte Soro - Cretaceo - Miocene</li> <li>▪ Flysch Numidico - Oligocene Miocene</li> <li>▪ Flysch Troina - Arenarie, marne e siltiti - Cretaceo Oligocene</li> <li>▪ Calcari e Calcareniti degli Iblei - Cenozoico</li> <li>▪ Formazioni carbonatiche Meso - Cenozoiche</li> <li>▪ Complesso metamorfico di basso grado - Paleozoico</li> <li>▪ Unità Longi-Taormina - Basamento epimetamorfico - Paleozoico</li> <li>▪ Unità Longi-Taormina - Sequenze carbonatiche - Meso Cenozoiche</li> <li>▪ Unità Stilo-Capo d'Orlando- Oligo miocene</li> <li>▪ Vulcaniti Plio - Quaternarie</li> </ul>	1.4

3	Predisposizione all'erosione alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Argille sabbiose del Pliocene medio - sup.</li> <li>▪ Detrito ed argille (Paleofrane) - Recente</li> <li>▪ Flysch Reitano - Miocene sup</li> <li>▪ Formazione gessoso-solfifera - Messiniano</li> <li>▪ Formazione Polizzi - Tufiti di Tusa - Eocene</li> <li>▪ Calcareniti e marne - Cenozoico</li> <li>▪ Formazioni silico - marnose Meso - Cenozoiche</li> <li>▪ Complesso metamorfico di alto grado - Paleozoico</li> <li>▪ Marne e Calcareniti - Oligocene Miocene</li> <li>▪ Unità Floresta, Calcareniti e Arenarie - Miocene</li> </ul>	1.7
4	Predisposizione all'erosione elevata	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Marne calcaree - Trubi - Pliocene ini</li> <li>▪ Sabbie e arenarie del messiniano</li> <li>▪ Piroclastiti Plio - quaternarie</li> </ul>	2

### *LA PIETROSITÀ*

Con il termine pietrosità si indica la percentuale di pietre o altri materiali, di dimensioni >2 mm, presenti sulla superficie del suolo. La pietrosità ha un effetto determinante, anche se variabile, sul ruscellamento e sull'erosione del suolo, sulla capacità idrica dei suoli e sulla produzione di biomassa, tale da svolgere un importante ruolo nella protezione del suolo in ambiente mediterraneo (Kosmas et al., 1999). La presenza di ciottoli, nonostante l'aumento del ruscellamento e dell'erosione, consente una maggiore conservazione dell'umidità in condizione di moderato deficit idrico nel periodo primaverile e in quello estivo, i più cruciali per lo sviluppo e la produttività delle specie invernali. In base alle considerazioni esposte, sono state proposte (Kosmas, 1999) tre classi di pietrosità crescente alle quali corrisponde un maggiore rischio di erosione, riportate nella tabella 13. I dati provengono dall'elaborazione della carta dei suoli a scala 1:50.000 di Raimondi et al. (inedita).

Tabella 13: Classi di pietrosità dei suoli correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Pietrosità (%)</b>	<b>Indice</b>
1	>60	1.0
2	20-60	1.3
3	<20	2.0

### *LA PROFONDITÀ*

La profondità del suolo è intesa come lo spessore tra il confine del suolo e uno strato continuo e coerente sottostante, in particolare la profondità radicabile esprime la distanza tra la superficie e gli orizzonti o strati del suolo con caratteristiche tali da ostacolare lo sviluppo e l'approfondimento degli apparati radicali. In generale, all'aumentare della profondità di un suolo aumenta la capacità di riserva idrica e di conseguenza il grado di copertura vegetale, condizioni che determinano maggiore resistenza all'erosione e alla desertificazione. La tabella 14 mostra le diverse classi di profondità dei suoli e l'indice di desertificazione corrispondente. I dati provengono dall'elaborazione della carta dei suoli a scala 1:50.000 di Raimondi et al. (inedita)

Tabella 14: Classi di profondità dei suoli correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Profondità (cm)</b>	<b>Indice</b>
1	Molto Profondo	>90	1.0
2	Profondo	60 - 90	1.25
3	Moderatamente profondo	30 - 60	1.50
4	Poco profondo	15 - 30	1.75
5	Superficiale	< 15	2

### *LA PENDENZA*

La pendenza e le altre caratteristiche topografiche sono molto importanti nel determinare il livello di erosione di un suolo, che è considerato grave quando l'angolo di pendenza raggiunge valori pari o maggiori rispetto ad una soglia critica e successivamente

crece in modo esponenziale. Nei suoli a forte pendenza il rischio di erosione dipende dalla frequenza delle precipitazioni con elevata intensità ed è accentuato se associato ad una gestione agronomica poco conservativa (lavorazioni profonde ed eseguite secondo le linee di massima pendenza, ecc.).

Il calcolo delle classi di pendenza è stato effettuato attraverso l'elaborazione di un DEM (*Digital Elevation Model*) con risoluzione spaziale di 40x40 metri. I valori di pendenza che definiscono le classi differiscono da quelli consigliati dalla metodologia secondo Kosmas. Insieme al Professore Raimondi si sono apportate alcune correzioni in modo da considerare classi di pendenza standard che trovano un migliore adattamento alle condizioni dell'area di studio.

Tabella 15: Classi di pendenza dei suoli correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Pendenza (%)</b>	<b>Indice</b>
1	<6	1.0
2	6-18	1.25
3	18-35	1.50
4	35-50	1.75
5	>50	2

### *IL DRENAGGIO*

Rappresenta una qualità del suolo relativa alla frequenza e alla durata dei periodi durante i quali il suolo non è saturo o è parzialmente saturo di acqua. La valutazione si riferisce alle condizioni stagionali più limitanti. E' un dato molto importante per capire le potenzialità produttive di un suolo e fornisce utili indicazioni sulle sue limitazioni ambientali e gestionali. Condizioni di drenaggio imperfetto associate all'utilizzo di acque irrigue di scarsa qualità (saline), in particolare negli ambienti caldo aridi caratterizzati da elevata evapotraspirazione, determinano il mancato trasporto dei sali verso gli strati più profondi favorendo così il processo di salinizzazione del suolo e il rischio di desertificazione. In base a tali considerazioni, si possono definire le classi indicate nella tabella 16. I dati provengono dall'elaborazione della carta dei suoli a scala 1:50.000 di Raimondi et al. (inedita).

Tabella 16: Classi di drenaggio dei suoli correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Drenaggio</b>	<b>Indice</b>
1	Ben drenato	1.0
2	Imperfettamente drenato	1.2
3	Scarsamente drenato	2.0

### *LA TESSITURA*

Si definisce tessitura del suolo la distribuzione in classi di grandezza delle particelle elementari del suolo. La distribuzione in classi che si applica alla frazione minerale del suolo di dimensioni inferiori ai 2 mm definisce i limiti di dimensione della sabbia, del limo e dell'argilla.

La conoscenza delle caratteristiche tessiturali e della struttura dei suoli è di fondamentale importanza per definire alcune caratteristiche degli stessi, in particolare la capacità di ritenzione idrica e il rischio di erosione, due fattori chiave nei processi di desertificazione. La classificazione utilizzata è quella consigliata dal Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) del 1975, che distingue i diversi tipi di suolo in base alla composizione in sabbia, limo e argilla, di seguito brevemente schematizzata:

A = Argilloso
AL = Argilloso - limoso
AS = Argilloso - sabbioso
FLA = Franco – limoso - argilloso
FA = Franco - argilloso
FSA = Franco - sabbioso-argilloso
FL = Franco-limoso
F = Franco
FS = Franco - sabbioso
SF = Sabbioso - franco

In base a questa classificazione, a ciascun gruppo tessiturale è stato assegnato un indice in relazione alla maggiore o minore capacità di trattenere l’acqua e di resistere all’erosione:

Tabella 17: Classi di tessitura dei suoli correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Classi tessiturali</b>	<b>Indice</b>
1	F, FSA, FS, SF, FA	1.0
2	AS, FL, FLA	1.2
3	L, A, AL	1.6
4	S	2.0

#### *LA SALINITÀ DEI SUOLI*

I dati grezzi per la determinazione della salinità dei suoli derivano dalla Carta dei Suoli a scala 1:50.000 (Raimondi et al., inedita). Per ogni profilo riportato (33 profili e 28 unità cartografiche) è stato determinato il dato di salinità ponderato, che scaturisce dai dati degli orizzonti che costituiscono il Solum. Per ogni unità cartografica è stato dato un peso della salinità che varia da 1 a 2,5 (Tabella 11) e cartografato con il sistema vettoriale. Successivamente è stato creato un *raster grid* ed interpolato con una media geometrica con i *raster grid* degli altri indicatori.

Tabella 18: Classi di salinità dei suoli correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Classe di salinità</b>	<b>Valori dSm<sup>1</sup></b>	<b>Indice</b>
1	Trascurabile	<2	1.0
2	Leggera	2-4	1.25
3	Moderatamente alta	4-6	1.50
4	Alta	6-8	1.75
5	Molto Alta	8-10	2.0
6	Eccessiva	>10	2.5

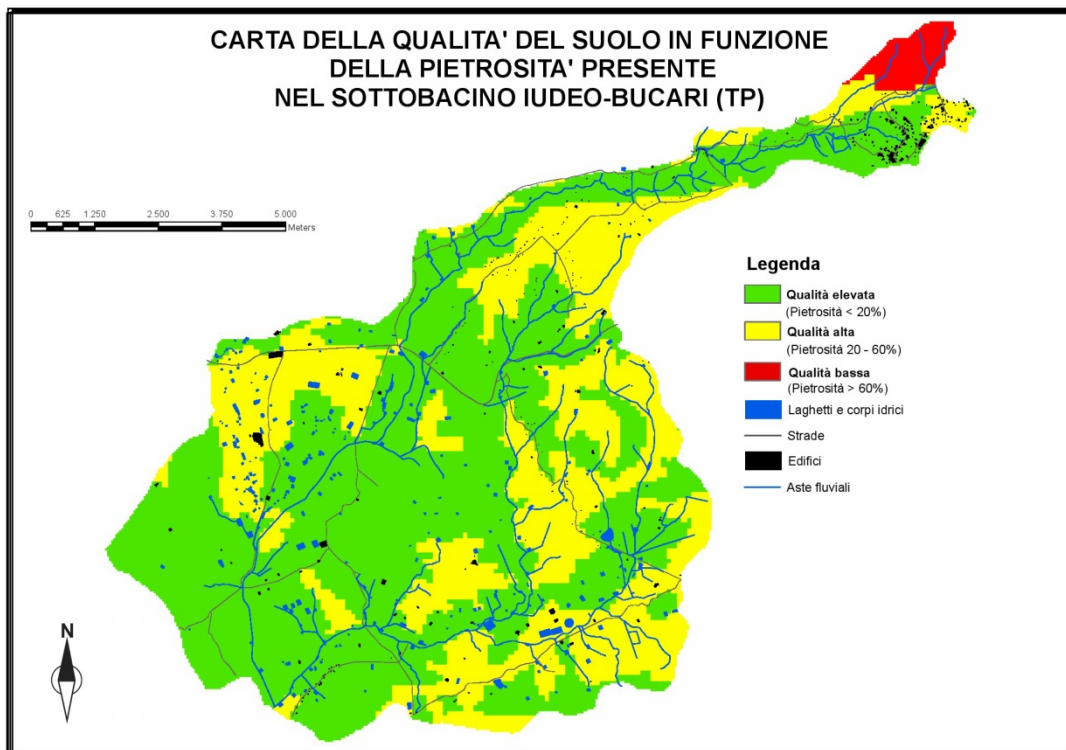
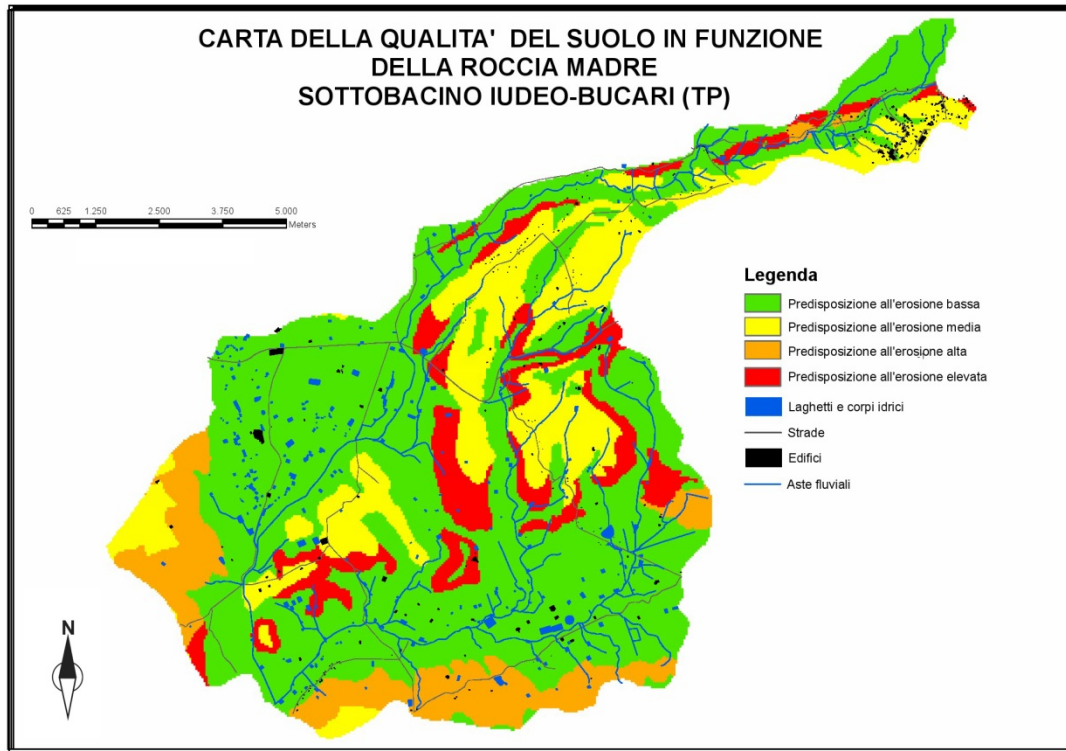
### *AWC DEI SUOLI*

Anche per ciò che riguarda il calcolo dell'AWC dei suoli è stato necessario utilizzare i dati derivanti dalla carta dei suoli di Raimondi et al. (inedita). Per ogni profilo è stato determinato il valore di AWC inteso come contenuto di acqua massimo disponibile per le piante nel Solum e cartografato con la creazione di poligoni vettoriali che coincidono con le unità cartografiche della carta dei suoli del bacino Iudeo-Bucari. Individuata l'AWC dell'unità cartografica è stato dato un peso da 1 a 2,5 (Tabella 12) e cartografato con il sistema vettoriale. Successivamente è stato creato un *raster grid* ed interpolato con una media geometrica con i *raster grid* degli altri indicatori.

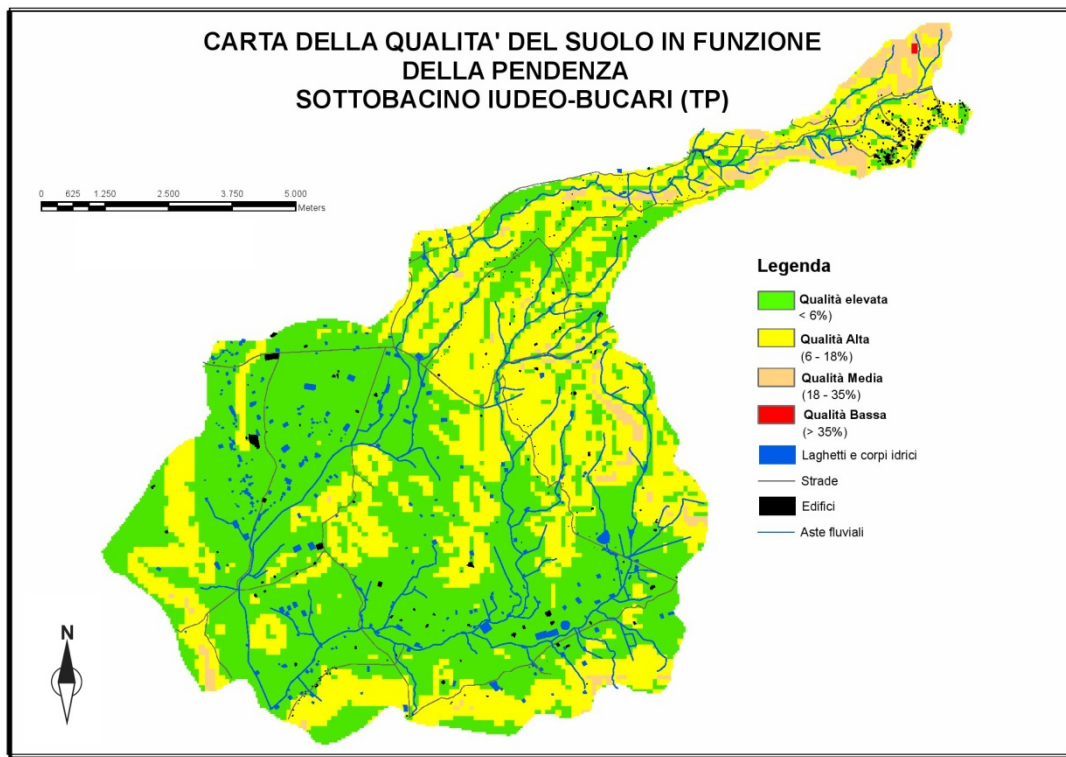
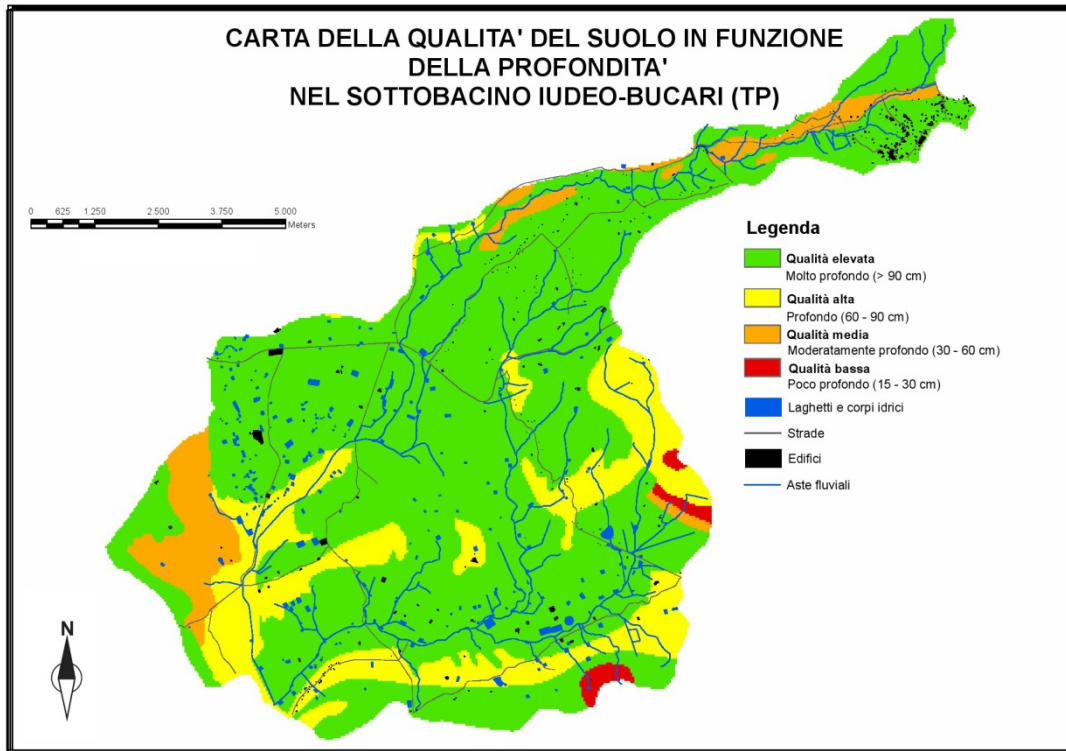
Tabella 19: Classi di AWC dei suoli correlate alla sensibilità alla desertificazione

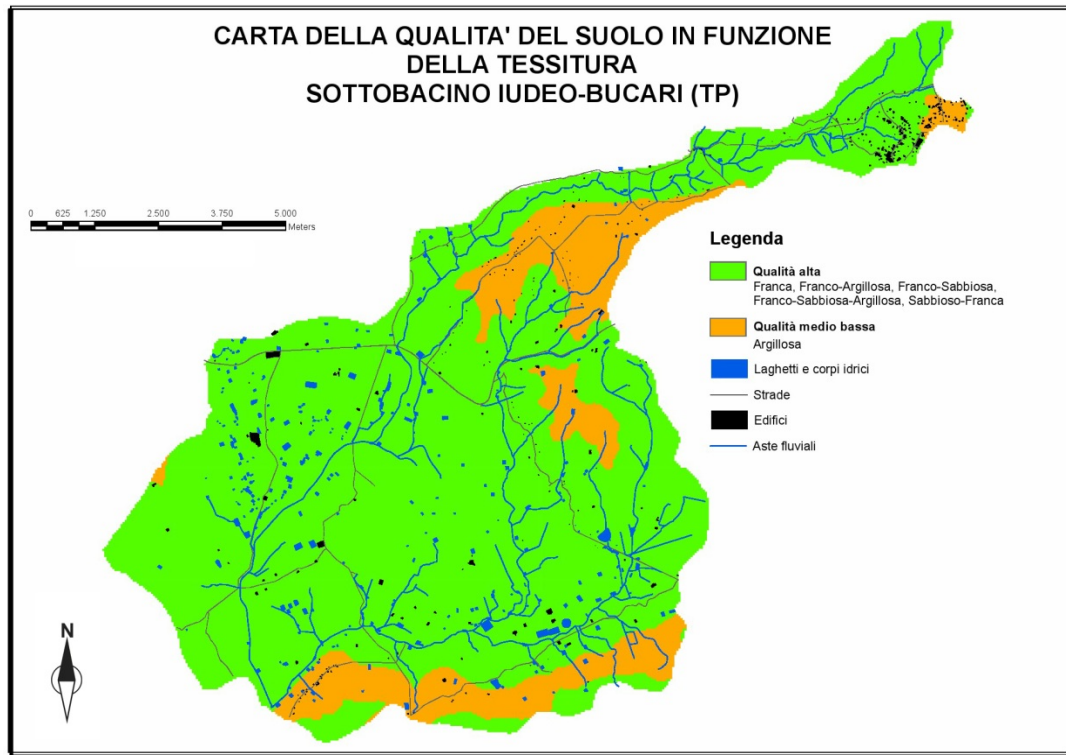
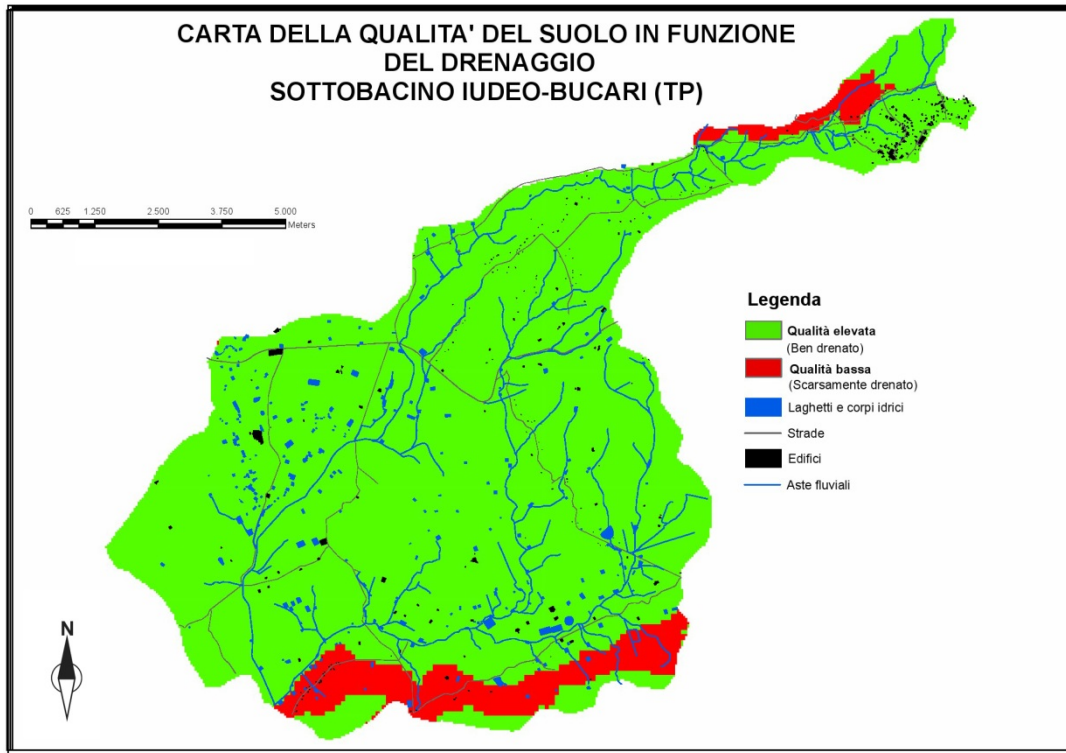
<b>Classe</b>	<b>Classe di AWC</b>	<b>Indice</b>
1	>300	1.0
2	300-200	1.25
3	200-100	1.50
4	100-50	1.75
5	50-25	2.0
6	<25	2.5

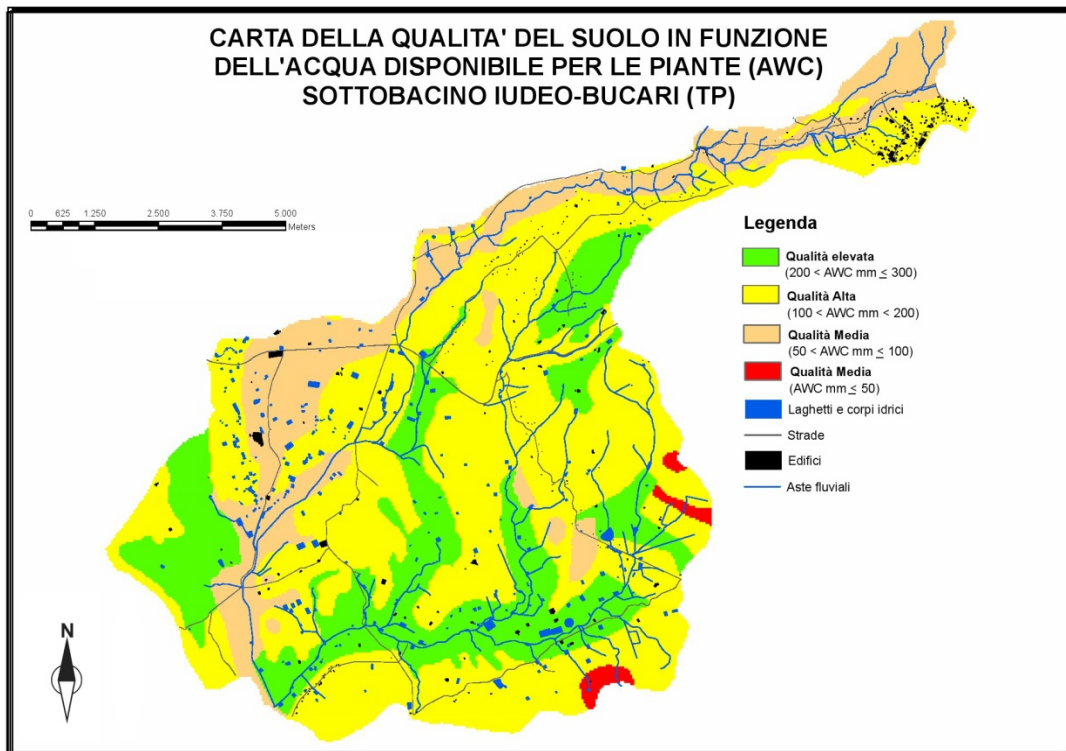
L'elaborazione dei seguenti indicatori in *grid raster* ha permesso di rappresentare ogni parametro in una carta a scala 1:50.000. Si riportano di seguito le elaborazioni cartografiche.











### **Calcolo dell'Indice di Qualità del Suolo (SQI)**

L'Indice di Qualità del Suolo è stato ottenuto, attraverso l'uso di tecniche GIS, dalla media geometrica degli otto indicatori sopra descritti:

$$\text{SQI} = (\text{litologia} \times \text{pietrosità} \times \text{profondità} \times \text{pendenza} \times \text{drenaggio} \times \text{tessitura} \times \text{salinità} \times \text{AWC})^{1/8}$$

Il risultato di tale elaborazione è un indice inteso come piano informativo che possiede dei valori numerici esplicativi di classi di qualità del suolo. La tabella qui riportata elenca i limiti delle classi:

Tabella 20: Limiti delle classi SQI correlati alla sensibilità alla desertificazione

<b>Indice di Qualità del Suolo</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Range</b>
1	Qualità alta	<1.13
2	Qualità media	1.13-1.46
3	Qualità elevata	>1.46

La cartografia relativa all'Indice di **Qualità del suolo** prodotta dalla sovrapposizione delle carte tematiche di base è riportata in allegato e rappresentata a scala 1:50.000.

### ✓ **Indice della qualità del clima – CQI**

Il deficit idrologico, la distribuzione irregolare delle precipitazioni durante l'anno, la frequenza degli eventi estremi e la conseguente durata irregolare della stagione vegetativa, nell'ambiente mediterraneo sono le principali caratteristiche del clima che contribuiscono al degrado del territorio. Gli indicatori presi in considerazione sono:

- Esposizione dei versanti;
- Erosività delle precipitazioni;
- Indice di aridità;
- Stagionalità delle precipitazioni.

Questo indice non è stato modificato rispetto alla versione originaria.

### *ESPOSIZIONE DEI VERSANTI*

L'esposizione dei versanti, in relazione all'influenza che la stessa ha sugli elementi climatici, è ritenuta un importante fattore per quanto attiene i processi di degradazione del territorio, alla luce dell'influenza che la stessa ha sull'ambiente microclimatico in funzione dell'angolo e della durata dell'incidenza dei raggi solari sulla superficie del terreno. Negli ambienti mediterranei, le aree con esposizione dei versanti a sud e ad ovest sono quelle interessate da una più elevata quantità di energia solare incidente. Queste sono, pertanto, quelle più calde e mostrano livelli di evapotraspirazione più marcati ed una conseguente maggiore perdita di acqua, rispetto ai versanti esposti a nord e ad est. Di conseguenza, nei versanti sud ed ovest la vegetazione è sottoposta a maggiori livelli di stress idrico e i tassi di erosione sono maggiori, se rapportati a quelli dei versanti nord ed est (Poesen et al., 1998). Gli studi effettuati da Kosmas et al. (1999) in ambienti caratterizzati da diverse tipologie di vegetazione hanno rilevato che il livello di erosione osservato lungo i versanti esposti a sud sia pari a circa il doppio o anche superiore rispetto ai versanti nord. In funzione di questi studi è stato possibile determinare i seguenti indici:

Tabella 21: Classi di esposizione dei versanti correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Esposizione</b>	<b>Indice</b>
1	NO-NE	1.0
2	SO-SE	2.0

Il dato cartografico di base, preso come riferimento per il calcolo dell'esposizione, è il DEM (Digital Elevation Model) con una risoluzione spaziale di 40 metri. Questo livello di dettaglio, considerata la nostra scala di lavoro, consente una buona distinzione delle diverse esposizioni dei versanti, e quindi delle conseguenze sulle condizioni energetiche e climatiche che possono condizionare i processi di erosione, in relazione allo stato della vegetazione.

### *EROSIVITÀ DELLE PRECIPITAZIONI*

Nella caratterizzazione climatica del territorio siciliano, ai fini della determinazione delle zone sensibili alla desertificazione, deve essere preso in considerazione tra gli indicatori rappresentativi quello riguardante l'erosione idrica superficiale. Questa scelta

discende dalle peculiarità dell'ambiente mediterraneo che è caratterizzato, oltre che da una notevole variabilità delle precipitazioni, sia nell'arco di un singolo anno che in un periodo pluriennale, anche da una loro concentrazione nel tempo. Infatti, in particolare in Sicilia le precipitazioni risultano distribuite in un numero limitato di giorni piovosi all'interno dell'anno (mediamente 65 giorni), che si concentrano in pochi mesi. Gli eventi di precipitazione sono inoltre spesso caratterizzati da elevati valori di intensità. Per questa ragione non è corretto rappresentare le caratteristiche pluviometriche solo attraverso i valori totale annui, ma devono essere rappresentati anche in termini di intensità al fine di tenere conto dell'influenza del clima sui processi erosivi. L'aggressività della pioggia, individuata dall'indice di aggressività delle piogge "R" utilizzato nell'ambito dei modelli USLE, costituisce un importante elemento di riferimento perché da un lato tiene conto di alcuni importanti parametri che caratterizzano l'agente erosivo, quali l'energia e l'intensità della pioggia, dall'altro è spesso l'unico strumento che consente di stabilire quali sono, in un dato territorio, le aree a maggior rischio erosivo e quindi quelle che necessitano di interventi di protezione del suolo. La complessità di calcolo di tale indice, sommata all'esigenza di avere delle informazioni riguardanti la distribuzione spaziale del rischio erosivo in una data regione, ha indotto numerosi ricercatori ad individuare delle metodologie semplificate per il calcolo di "R" ed approntare delle carte regionali delle isoerodenti, cioè delle linee ad ugual valore dell'indice di aggressività.

Il fattore "R" sintetizza l'influenza del clima sulla perdita di suolo, attraverso la valutazione degli effetti provocati dalla pioggia battente su un suolo erodibile.

Il calcolo di "R" secondo le procedure indicate da Wischmeier si presenta alquanto complesso e non sempre sono disponibili sufficienti dati pluviografici.

Sono stati, pertanto, sviluppati metodi semplificati basati sul riconoscimento, all'interno di una regione climaticamente omogenea, di una correlazione tra i valori di "R" calcolati secondo le procedure originali e grandezze climatiche facilmente reperibili.

Per il territorio siciliano il fattore "R" risulta correlato linearmente al prodotto delle intensità delle piogge di durata 1, 6 e 24 ore e tempo di ritorno 2 anni, rispettivamente indicate  $I_{1,2}$ ,  $I_{6,2}$ ,  $I_{24,2}$  mediante la seguente relazione (Ferro et al. 1991):

$$R = 183,8 + 1,396 * I_{1,2} * I_{6,2} * I_{24,2}$$

Per il calcolo di “R” si è partiti dalla conoscenza della distribuzione spaziale delle piogge con assegnato tempo di ritorno T

$$- \quad h_{t,T} = K \cdot a \cdot t^n$$

in cui  $h_{t,T}$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  e tempo di ritorno  $T$ , mentre  $K(T)$  è il coefficiente di scala, detto coefficiente di crescita, che dipende dal tempo di ritorno  $T$  e dal coefficiente di variazione della stazione CVS attraverso la seguente relazione:

$$K_T = 1 - CV (0,450 + 0,779 \ln(\ln (T/(T - 1))))$$

Per l'applicazione si sono utilizzate le distribuzioni regionali (formato raster) dei parametri  $CV$   $a$  e  $n$  ricavati per la Sicilia del Dipartimento di ingegneria idraulica dell'Università degli Studi di Palermo utilizzati per la redazione dei piani di assetto idrogeologico.

Per l'indicatore elaborato è stato creato un tematismo in ambiente “ArcGis” attribuendo valori dell'indicatore compresi tra 1 e 2:

Tabella 22: Classi di erosività delle precipitazioni correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Qualità</b>	<b>Indice</b>
1	Alta	1.0
2	Medio - alta	1.25
3	Media	1.5
4	Medio bassa	1.75
5	Bassa	2

### *INDICE DI ARIDITÀ*

L'indice di aridità, nel nostro caso, è dato dal rapporto fra i valori totali annui di l'evapotraspirazione potenziale e i valori totali annui di precipitazioni. La carta dell'indice di aridità è stata ottenuta attraverso il calcolo raster in ambiente GIS, utilizzando come dati in input le carte di evapotraspirazione potenziale e delle precipitazioni, realizzate secondo la metodologia descritta nei paragrafi seguenti.



## **Carte delle precipitazioni**

Le carte delle precipitazioni sono quelle della seconda edizione dell'Atlante climatologico della

### **Carta dell'evapotraspirazione potenziale - Metodologia per la stima di ET<sub>0</sub> secondo Penman-Monteith, partendo da valori stimati secondo Thornthwaite.**

In agrometeorologia e idrologia, l'evapotraspirazione, o potere evaporante dell'atmosfera, rappresenta la perdita di acqua dal suolo per evaporazione diretta dalle superfici libere e traspirazione delle piante. Tale processo bio-fisico si può misurare o stimare. Mentre per la misura si utilizzano metodi e strumenti in genere complessi e costosi (es. lisimetri), per la stima sono state messe a punto, nel tempo, diverse metodologie e algoritmi, basati sulle relazioni esistenti fra i processi evapotraspirativi e le diverse variabili meteorologiche. Tali algoritmi, in genere noti con il nome degli studiosi che li hanno proposti, si distinguono soprattutto per il numero di variabili meteorologiche considerate per la stima. I metodi più recenti, caratterizzati da una maggiore completezza e affidabilità, sono basati sulle relazioni con tutte le variabili che influenzano il processo evapotraspirativo: radiazione solare, temperatura e umidità dell'aria, intensità del vento. Fra tali metodi, quello di Penman-Monteith, recentemente rivisto e proposto nell'ambito del quaderno FAO 56 (Allen et al. 1998), è considerato il più affidabile soprattutto per applicazioni giornaliere ed orarie. Tuttavia, nei territori in cui si opera non sempre si dispone di serie storiche complete di dati meteorologici, per le quattro variabili necessarie alla stima secondo tali metodologie. Soprattutto nel passato, nella gran parte dei casi si disponeva solo di dati di temperatura dell'aria. In queste circostanze la scelta non può che limitarsi a quelle equazioni che utilizzano soltanto tale variabile, quale ad esempio quella di Thornthwaite (1957). Nel nostro caso, per tenere conto della maggiore correttezza della stima utilizzando i metodi più completi, ma non disponendo di serie trentennali di dati delle quattro variabili necessarie, si è ricorso ad una doppia stima sulle stazioni della rete del SIAS, utilizzando contemporaneamente i metodi di Penman-Monteith e di Thornthwaite.

Da un confronto fra i due metodi, effettuato appunto sulle stazioni SIAS, si è osservato che i valori di ET<sub>0</sub> stimati con il metodo Thornthwaite sono sempre più bassi di quelli ottenuti attraverso la stima con il metodo Penman-Monteith FAO. Ciò è dovuto soprattutto alle componenti igrometrica e aerodinamica del processo evapotraspirativo, che



chiaramente non viene bene sintetizzato dalla sola temperatura. Ciò è infatti quello che si nota confrontando i dati dei valori stimati sulle stesse stazioni con i due metodi. Le stazioni che presentano differenze significative tra i due metodi sono quelle topograficamente più caratterizzate: il gruppo di stazioni con indice topografico elevato (site in zone convesse e quindi più ventilate) e il gruppo con indice topografico basso (siti con profilo concavo, ovvero depressioni topografiche, e quindi meno ventilate). Ovviamente, nel primo caso le differenze sono positive (valori stimati secondo Penman-Monteith significativamente maggiori di quelli stimati secondo Thornthwaite), mentre nel secondo caso sono negative. Tenuto conto di ciò, si è quindi adottato il percorso metodologico descritto di seguito. Le Carte di partenza sono quelle della seconda edizione dell'Atlante climatologico della Sicilia (trentennio 1965-1994), ottenute applicando il metodo di Thornthwaite in ambiente GIS: in particolare attraverso l'elaborazione dell'algoritmo proposto dall'Autore nell'ambito di ciascun singolo pixel (partendo, come dato meteorologico di input dalle carte di temperatura in formato raster) e non, come molte volte accade, attraverso l'interpolazione spaziale successiva all'elaborazione dell'algoritmo sui punti stazione. Successivamente, per tenere conto appunto solo delle differenze anemometriche e igrometriche su base topografica, si sono utilizzati i parametri di correzione ottenuti dal confronto tra i valori mensili stimati con i due metodi sui punti stazione più significativi. In particolare, si è effettuato il calcolo della media mensile settennale (2002-2008) del rapporto tra  $ET_{0PM}$  ed  $ET_{0Th}$ , per gruppi di stazioni omogenee, aventi le stesse caratteristiche anemometriche (quindi anche igrometriche): poco ventose, mediamente ventose e molto ventose. Si è quindi messo a punto un algoritmo di correzione dei valori delle carte di partenza di  $ET_{0Th}$ , a partire dai valori più bassi del suddetto rapporto (ottenuti nelle stazioni poco ventose), tenendo conto delle differenze tra i valori massimi (stazioni molto ventose) e i valori minimi (stazioni poco ventose), utilizzando come variabile-guida territoriale l'indice topografico. Pertanto, i valori di  $ET_0$  stimata secondo il metodo Penman-Monteith sono dati dal prodotto dei valori di  $ET_{0Th}$  per un fattore di correzione, ottenuto sommando al valore di  $ET_{0PM}/ET_{0Th}$  per le stazioni poco ventose il fattore di correzione topografica. Quest'ultimo a sua volta è dato dal prodotto dell'indice topografico per la differenza fra i valori massimi e minimi di  $ET_{0PM}/ET_{0Th}$ .

Esempio: applicazione mensile del seguente algoritmo:

$ETOPM = ET0Th * RET0base + (IT2 * \Delta ET0vv)$ , dove:

ETOPM= evapotraspirazione potenziale stimata secondo Penman-Monteith

ET0Th= evapotraspirazione potenziale stimata secondo Thornthwaite

RET0base= rapporto fra ETOPM e ET0Th per le stazioni poco ventose

IT2 = indice topografico a 2 km (Antolini et al., 2004)

$\Delta ET0vv = ETOPM/ET0Th$  (stazioni molto ventose) -  $ETOPM/ET0Th$  (stazioni poco ventose)

Tabella 23: ETP0PM/ET0Th

Mese	ETOPM/ET0Th									
	A Stazioni poco ventose	C Stazioni molto ventose	C - A							
<b>Gen</b>	<b>1,7</b>	<b>2,0</b>	0,3	<b>Gen</b>	Y=	ET0Th*	1,7	+	(IT2*	0,3)
<b>Feb</b>	<b>2,1</b>	<b>2,6</b>	0,4	<b>Feb</b>	Y=	ET0Th*	2,1	+	(IT2*	0,4)
<b>Mar</b>	<b>2,3</b>	<b>2,5</b>	0,2	<b>Mar</b>	Y=	ET0Th*	2,3	+	(IT2*	0,2)
<b>Apr</b>	<b>1,8</b>	<b>2,0</b>	0,2	<b>Apr</b>	Y=	ET0Th*	1,8	+	(IT2*	0,2)
<b>Mag</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	0,1	<b>Mag</b>	Y=	ET0Th*	1,6	+	(IT2*	0,1)
<b>Giu</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	0,1	<b>Giu</b>	Y=	ET0Th*	1,2	+	(IT2*	0,1)
<b>Lug</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	0,2	<b>Lug</b>	Y=	ET0Th*	1,1	+	(IT2*	0,2)
<b>Ago</b>	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	0,2	<b>Ago</b>	Y=	ET0Th*	1,0	+	(IT2*	0,2)
<b>Set</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	0,1	<b>Set</b>	Y=	ET0Th*	1,0	+	(IT2*	0,1)
<b>Ott</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	0,2	<b>Ott</b>	Y=	ET0Th*	1,0	+	(IT2*	0,2)
<b>Nov</b>	<b>1,0</b>	<b>1,3</b>	0,3	<b>Nov</b>	Y=	ET0Th*	1,0	+	(IT2*	0,3)
<b>Dic</b>	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	0,4	<b>Dic</b>	Y=	ET0Th*	1,2	+	(IT2*	0,4)

Sulla base dei risultati del calcolo raster delle due carte, si è definita la carta dell'indice di aridità, che è stata poi riclassificata secondo i seguenti valori:

Tabella 24: Classi dell'Indice di Aridità correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Indice di Aridità</b>	<b>Indice</b>
1	0.80 – 0.65	1.0
2	0.65 – 0.50	1.2
4	0.50 – 0.35	1.4
5	0.35 – 0.20	1.6

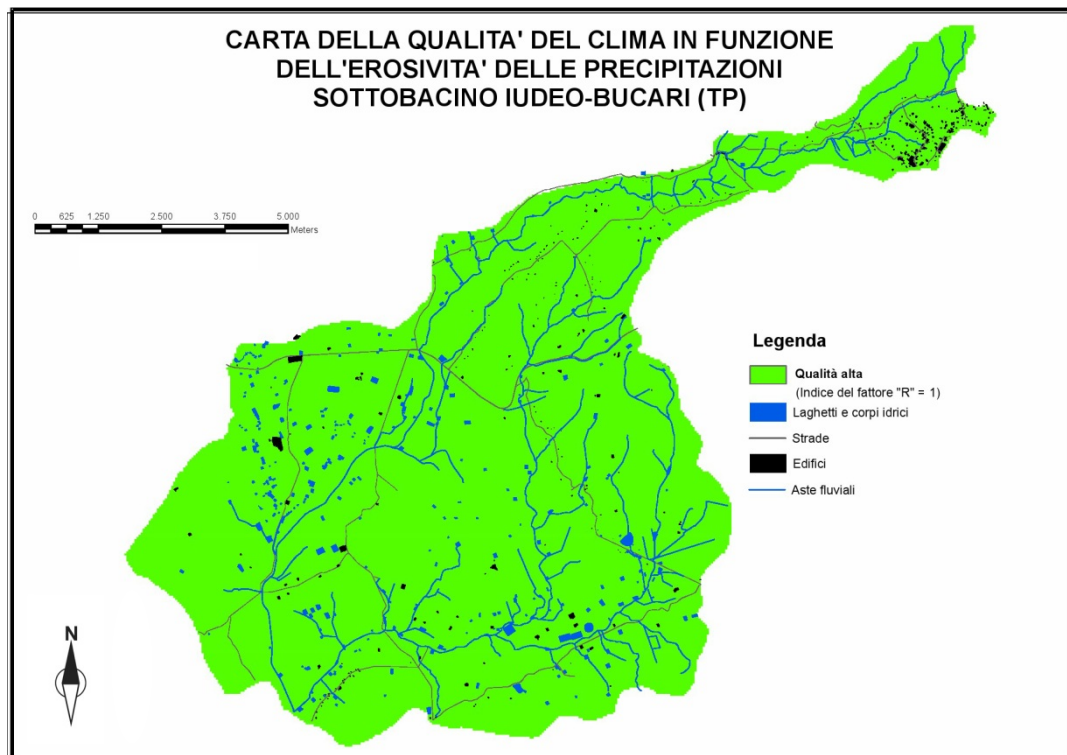
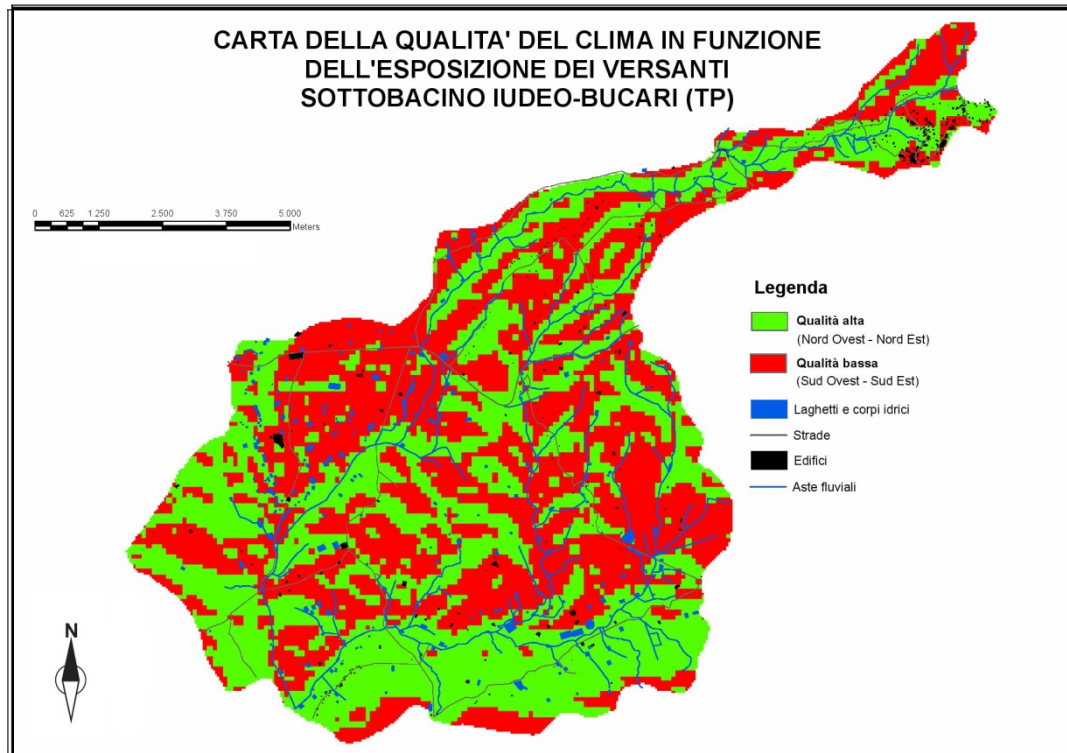
#### *STAGIONALITÀ DELLE PRECIPITAZIONI*

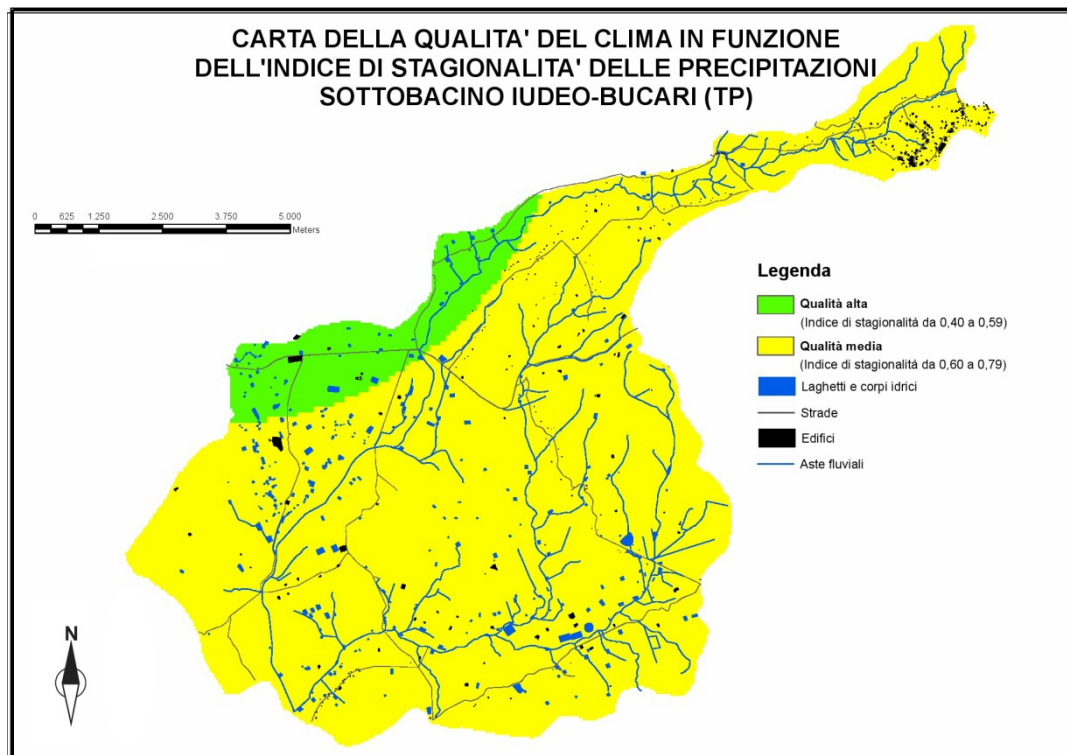
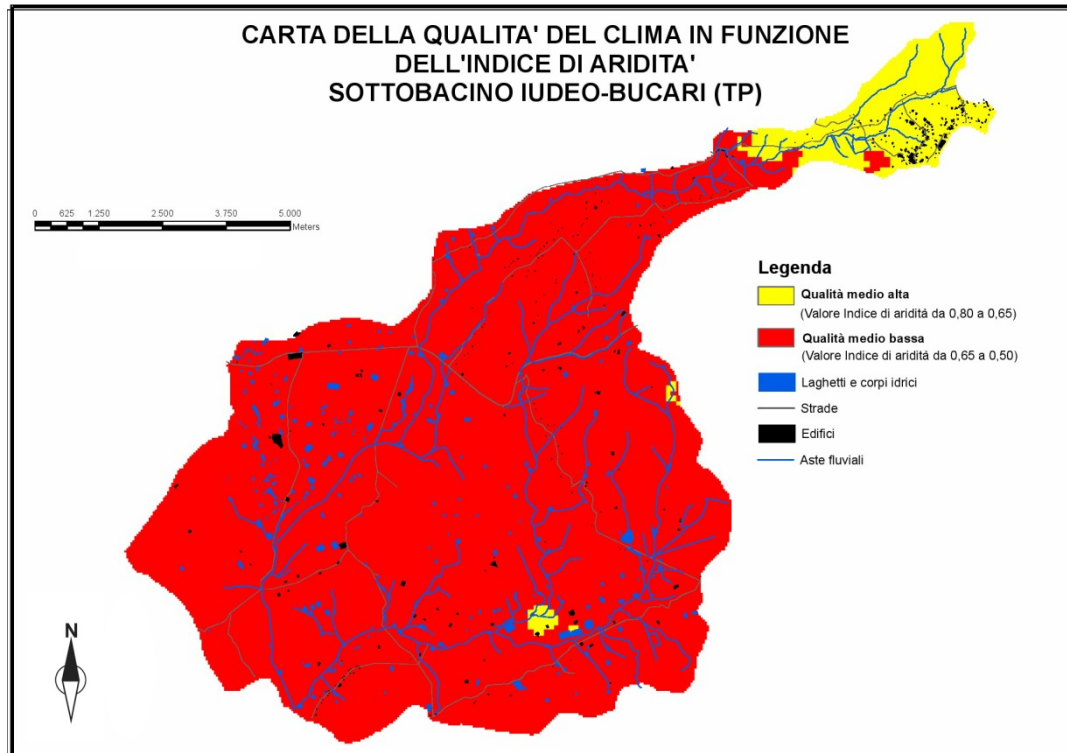
Per la realizzazione di tale carta è stato applicato l'indice "Rainfall Seasonality" proposto nell'ambito della pubblicazione "DIS4ME - Desertification Indicator System for Mediterranean Europe" dell'Università della Basilicata. In particolare, l'elaborazione dell'algoritmo è stata effettuata nell'ambito di ciascun singolo pixel (a partire dalle carte di precipitazioni in formato raster, della seconda edizione dell'Atlante climatologico della Sicilia) e non, come spesso accade, attraverso l'interpolazione spaziale successiva all'elaborazione dell'algoritmo sui punti stazione.

Tabella 25: Classi di stagionalità delle precipitazioni correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Stagionalità</b>	<b>Indice</b>
1	0.40 – 0.59	1.35
2	0.60 – 0.79	1.55
3	0.80 – 0.99	1.70

L'elaborazione dei seguenti indicatori in *grid raster* ha permesso di rappresentare ogni parametro in una carta a scala 1:50.000. Si riportano di seguito le elaborazioni cartografiche.





### **Calcolo dell'Indice di Qualità del Clima (CQI)**

L'elaborazione dei quattro indicatori descritti ha consentito di ottenere l'Indice di Qualità del Clima attraverso la seguente relazione:

$CQI = (\text{esposizione dei versanti} \times \text{erosività delle precipitazioni} \times \text{indice di aridità} \times \text{stagionalità delle precipitazioni})^{1/4}$

Tabella 26: Limiti delle classi CQI correlati alla sensibilità alla desertificazione

<b>Indice di Qualità del Clima</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Range</b>
1	Alta qualità	<1.15
2	Moderata qualità	1.15-1.81
3	Bassa qualità	>1.81

La cartografia relativa all'Indice di **Qualità del suolo** prodotta dalla sovrapposizione delle carte di base è riportata in allegato e rappresentata a scala 1:50.000.

### **✓ Indice della qualità della vegetazione – VQI**

La copertura vegetale svolge un ruolo importante nei processi di desertificazione in quanto è in grado di stabilizzare il suolo, riducendo l'impatto delle precipitazioni ed in certe condizioni controllare l'erosione da ruscellamento superficiale. La sua composizione può essere rapidamente alterata lungo i pendii delle aree collinari mediterranee a seconda delle condizioni climatiche e del periodo dell'anno. Nelle aree caratterizzate da medie annuali di precipitazione inferiori a 300 mm e tassi di evapotraspirazione piuttosto alti, l'acqua del terreno disponibile per le piante è ridotta drasticamente e il suolo rimane relativamente nudo favorendo lo scorrimento dell'acqua superficiale. Questo indice è stato interamente aggiornato e revisionato. Infatti è stata costruita una nuova carta delle colture, aggiornata al 2012, utilizzando come base le ortofoto del 2008 e poi aggiornate con osservazioni puntuali di campo. Sulla base della nuova carta dell'uso del suolo è stato necessario rivedere interamente tutti gli altri indicatori creando una nuova versione dell'indice VQI.

## *LA CARTA DELL'USO DEL SUOLO DEL SOTTOBACINO IUDEO-BUCARI*

Sono state determinati gli usi:

- ✓ Vigneto;
- ✓ Seminativo;
- ✓ Vigneto – Seminativo;
- ✓ Uliveto;
- ✓ Rimboschimento;
- ✓ Pascolo e Incolto;
- ✓ Area Fluviale;
- ✓ Strade;
- ✓ Edifici;
- ✓ Laghetti collinari;

I risultati dell'elaborazione indicano che la coltura predominante è il vigneto con il 62,53%. Considerando la classe Vigneto-Seminativo, che insiste per il 6,96%, essendo una classe intermedia dove la coltura è distribuita equamente tra le due classi, si può attribuire alla classe Vigneto un ulteriore 3,48% arrivando alla copertura del 66,01%. In modo analogo il Seminativo, che si attesta al 14,57%, deve essere incrementato del 3,48% derivato dalla classe Vigneto-Seminativo, di conseguenza copre il 18,04% della superficie. Un'altra classe di relativa importanza è il "Pascolo e Incolto" che insiste su una superficie del 11,5%.

Le classi che incidono in modo inferiore sono i laghetti collinari 1,18%, l'area fluviale 1,08%, l'uliveto 0,93%, la rete stradale 0,69%, gli edifici 0,42% e infine il Rimboschimento con lo 0,17% della superficie.

La classe Vigneto è presente su tutto il territorio e risulta essere più sporadica nella zona sud-est del bacino dove insistono prevalentemente seminativi. Le aree che ricadono nella classe Pascolo e Incolto si trovano sparse in tutto il territorio presentando spesso aree piccole; vi è una zona molto estesa nel settore settentrionale del sottobacino. Questa è un'area adibita prevalentemente a pascolo mentre le aree che si trovano all'interno del territorio sono per lo più aree divenute incolte e utilizzate successivamente come pascolo. La distribuzione degli edifici segue l'andamento delle strade. Vi è un nucleo abitativo a nord del bacino, mentre non sono rari i casolari all'interno delle coltivazioni collegate alla

strada principale con stradelle interne. I laghetti sono distribuiti a macchia di leopardo ma rispecchiano in qualche modo la disposizione di alcuni canali utilizzati per il deflusso delle acque in eccesso, che si registrano durante il periodo invernale. Risultano poche aree utilizzate esclusivamente a oliveto, molto frequente è la distribuzione di piante lungo i confini o nelle zone limitrofe alle abitazioni, superfici molto esigue per poter essere rappresentate alla scala di riferimento e quindi non rilevate. Le zone che appartengono alla classe del Rimboschimento sono solo in due punti del sottobacino nella zona nord e nella zona centrale del settore occidentale. Queste informazioni sono state mappate attraverso la costruzione di poligoni vettoriali.

Alla fine della elaborazione cartografica sono stati attribuiti i pesi alle varie colture per definirne i seguenti indicatori. Rischio incendio, protezione dall'erosione, resistenza alla siccità e grado di copertura vegetale. Il dato vettoriale è poi stato trasformato in *raster grid* e interpolato con una media geometrica per il calcolo dell'VQI.

Per la valutazione dell'indicatore rischio d'incendio è stata utilizzata la Carta del rischio di incendio estivo redatta dal Comando del Corpo Forestale della Regione Sicilia consultabile nel sito del Sistema Informativo Forestale della Regione e facente parte del redigendo "Piano regionale per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi 2009-2013".

Gli indicatori presi in considerazione sono:

- Rischio d'incendio;
- Protezione dall'erosione;
- Resistenza alla siccità;
- Grado di copertura vegetale.

### ***RISCHIO INCENDIO***

In Sicilia, come del resto nell'area del bacino del Mediterraneo, il fuoco rappresenta una delle cause principali di degrado del suolo. La frequenza degli incendi è aumentata drasticamente durante gli ultimi decenni con conseguenze spesso drammatiche per l'erosione dei suoli e la biodiversità.



La valutazione del rischio d'incendio costituisce un presupposto fondamentale per qualsiasi tipo di pianificazione territoriale dove la possibilità che un incendio si sviluppi dipende principalmente da tre gruppi di fattori strutturali:

- ambientali fissi, quali pendenza, esposizione ed illuminazione e variabili, quali temperatura, precipitazioni, umidità relativa, vento ecc.;
- copertura vegetale del suolo con le sue caratteristiche quali densità, umidità, altezza combustibilità;
- attività antropica in tutte le sue forme ed interazioni con l'ambiente.

Per le finalità del presente documento volte alla valutazione del rischio d'incendio, sono stati presi esame soltanto i fattori predisponenti: l'insieme, cioè, delle variabili che con azione combinata consentono il verificarsi delle potenziali condizioni per lo sviluppo del fuoco.

Per impostare l'analisi dei fattori predisponenti il rischio d'incendio e quindi l'analisi del rischio derivato dalle variabili, sono stati presi in esame:

- Viabilità (strade di circolazione principali)
- Modelli di combustibile attribuiti alle varie classi di uso del suolo cartografate (boschi e arbusteti, praterie, pascoli, incolti e frutteti abbandonati, impianti di arboricoltura da legno) Pendenza (derivata dal Modello Digitale del Terreno della Regione Sicilia – DEM)
- Esposizione (derivata dal DEM)
- Bioclima siciliano (fonte “Atlante climatologico della Sicilia, seconda edizione” - Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano- SIAS).

Ad ogni layer corrispondente a ciascun fattore di rischio è stato assegnato un peso  $P_i$  e ad ogni classe di ciascuno di essi, un coefficiente di rischio  $C_f$  che sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 27: Classi di rischio incendio

<b>Layer</b>	<b>Rischio</b> P <sub>i</sub> (%)	<b>Alto</b> 90 < C <sub>f</sub> < 100	<b>Medio</b> 70 < C <sub>f</sub> < 80	<b>Basso</b> 50 < C <sub>f</sub> < 60	<b>Molto Basso</b> 0 < C <sub>f</sub> < 40	<b>Assente</b> C <sub>f</sub> = 0
<b>Viabilità (distanza in m)</b>	15	0-50	50-100	100-200	200-300	>300
<b>Pendenze (%)</b>	15	>50%	-	30-50%	0-30%	
<b>Esposizione (°)</b>	10	136-225	-	46-135 226-315	0-45 316-360	-
<b>Bioclima</b>	25	Termomed.	Mesomed. secco - subumido	Mesomed. umido	Supramed, Oromed. e Crioromed.	-
<b>Modelli di combustibile</b>	35	4	3	2, 5, 6 e 7	1, 8 e 9	-

Le soglie delle quattro classi di rischio isodimensionali sono state stabilite coerentemente con le norme previste dal sopra citato Piano anti-incendio boschivo.

Il rischio di incendio e l'indice corrispondente possono essere così riassunti:

Tabella 28: Classi di rischio incendio correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Rischio d'incendio</b>	<b>Indice</b>
1	Basso	1.0
2	Medio	1.3
3	Alto	1.6
4	Molto alto	2.0

#### *PROTEZIONE DALL'EROSIONE*

La vegetazione e l'uso del suolo, insieme alle precipitazioni, sono i fattori che regolano l'intensità del ruscellamento superficiale e dell'erosione. Vaste aree in cui dominano colture in asciutto, come i cereali, la vite, il mandorlo e l'olivo sono localizzate in aree collinari con suoli poco profondi molto sensibili all'erosione. Il rischio di erosione e di desertificazione per tali aree tende ad aumentare a causa della ridotta protezione da parte della copertura vegetale nei confronti dell'effetto battente della pioggia sul terreno, e per il

ruscellamento superficiale. Le tecniche colturali adottate per molte colture agrarie, come ad esempio i vigneti, i frutteti e gli oliveti prevedono lavorazioni frequenti nell'interfila: il suolo rimane pertanto nudo per buona parte dell'anno, creando le condizioni favorevoli per il ruscellamento e all'erosione. Prove sperimentali condotte in diverse aree del bacino del Mediterraneo caratterizzate da differenti tipi di utilizzo del suolo e di vegetazione naturale hanno mostrato come le perdite di suolo maggiori si verificano nelle aree collinari in cui domina la viticoltura. Inoltre, le aree coltivate con colture annuali come i cereali autunno-vernini (frumento, orzo, ecc.) lasciano il suolo nudo durante la stagione più piovosa (autunno) favorendo i fenomeni relativi alla perdita dei sedimenti e al degrado del suolo, specialmente con valori di precipitazione annua superiori a 380 mm (Kosmas et al., 1999). Per quanto riguarda le colture perenni come l'olivo, i fenomeni di erosione dipendono dall'acclività del terreno e, in particolare, dalla presenza o meno di inerbimento sottochioma. Nelle aree in cui è presente la vegetazione naturale a macchia, tipica degli ecosistemi mediterranei, si è notata (Kosmas et al., 1999) una protezione medio-alta dall'erosione che dipende dall'entità del cumulato annuale di precipitazione: partendo da valori elevati di precipitazione, fino a valori di 280-300 mm, l'erosione aumenta, mentre a valori inferiori si ha una riduzione progressiva del fenomeno. In conclusione, la migliore protezione dall'erosione è favorita in aree in cui dominano querce, olivi e conifere con sottobosco ben sviluppato, come mostrato nella seguente tabella.

Tabella 29: Classi di protezione della vegetazione dall'erosione correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Carta delle vegetazione Iudeo-Bucari</b>	<b>Indice</b>
1	Boschi di Latifoglie sempreverdi, boschi misti, macchia mediterranea – sempreverdi, roccia	1.0
2	Macchia mediterranea, conifere, prati perenni, oliveti, cespuglietti, boschi di latifoglie decidue	1.3
3	Pascoli	1.6
4	Mandorleti, frutteti	1.8
5	Vigneti, orticole, colture annuali scarsamente vegetati, suoli nudi	2.0

### *RESISTENZA ALLA SICCIITÀ*

Gli ecosistemi mediterranei hanno sviluppato nel corso del tempo un'elevata resistenza alla siccità grazie a numerosi adattamenti di natura anatomica ed ecofisiologica delle specie. Molte di esse sono in grado di resistere a condizioni di deficit idrico severe e prolungate nel tempo, per cui le risposte fisiologiche della vegetazione a una graduale riduzione delle precipitazioni possono essere messe in evidenza solo dopo un numero critico di anni siccitosi. Tra le specie agrarie prevalenti in ambiente mediterraneo, l'olivo presenta una spiccata adattabilità e resistenza a periodi siccitosi anche piuttosto lunghi, mentre le specie decidue e le colture agricole annuali sono meno adatte, secondo la scala di valori esemplificata nella tabella 3.4.

La principale risposta da parte della pianta alla ridotta disponibilità idrica è data dalla riduzione dell'Indice di Area Fogliare (Leaf Area Index, LAI), con la conseguente riduzione dell'attività respiratoria; dal punto di vista del rischio di desertificazione, si riduce in questo modo l'azione protettiva della copertura vegetale e si intensificano i processi di erosione.

Tabella 30: Classi di resistenza alla siccità della vegetazione dall'erosione correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Carta delle vegetazione Iudeo-Bucari</b>	<b>Indice</b>
1	Boschi di Latifoglie sempreverdi, boschi misti, macchia mediterranea – sempreverdi, roccia e suoli nudi	1.0
2	Macchia mediterranea, conifere, oliveti, boschi di latifoglie	1.2
3	Mandorleti, vigneti	1.4
4	Prati perenni, frutteti, pascoli e cespuglieti	1.7
5	Orticolture, colture annuali scarsamente vegetati	2.0

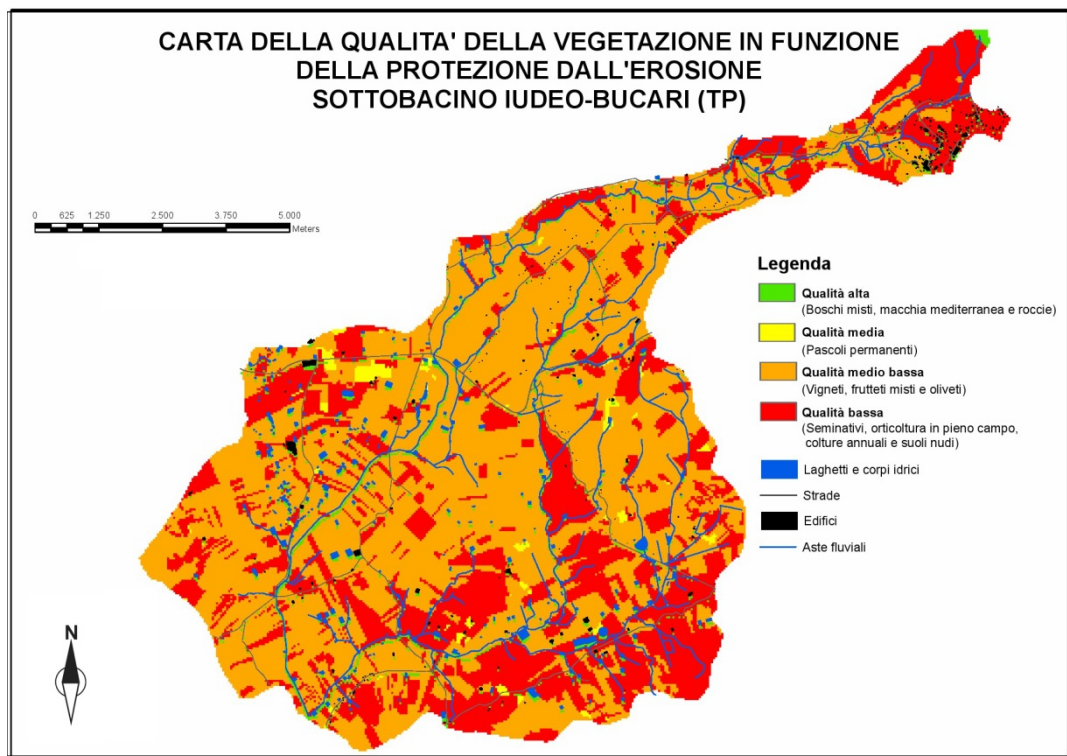
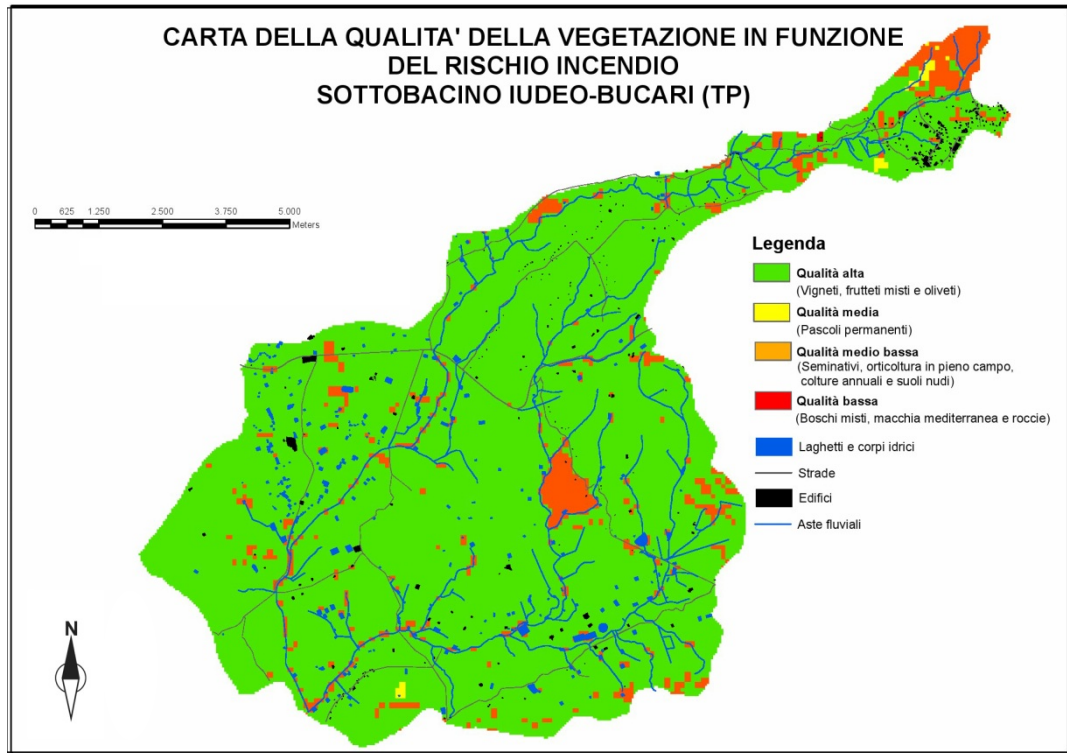
### *GRADO DI COPERTURA VEGETALE*

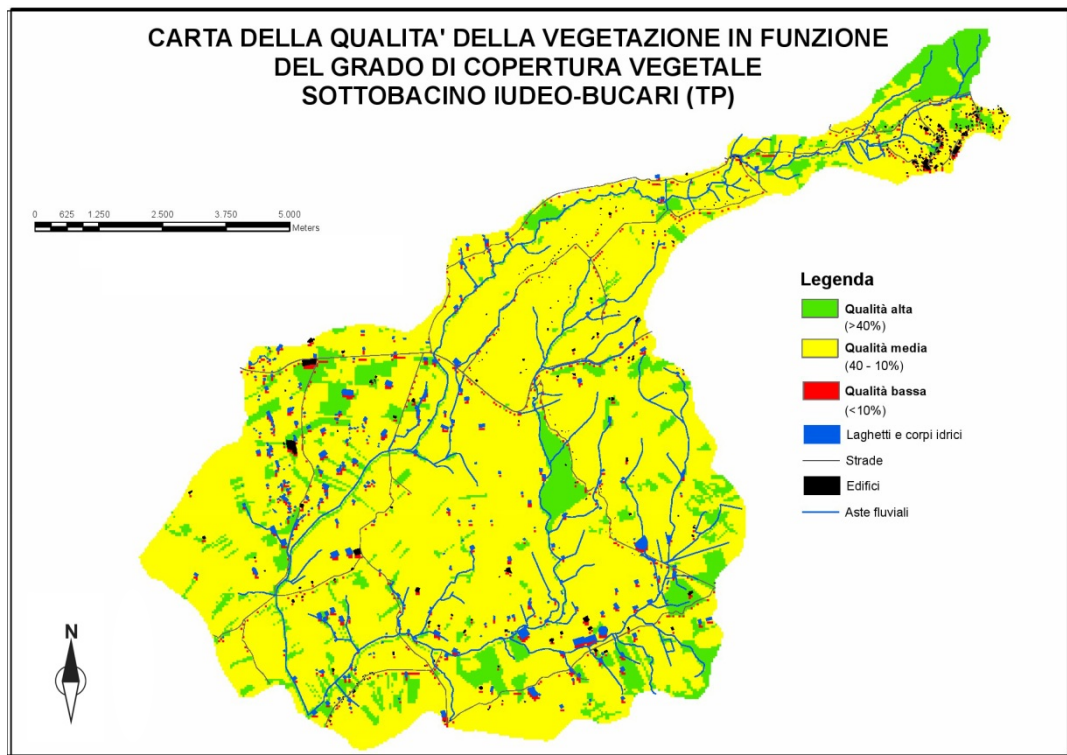
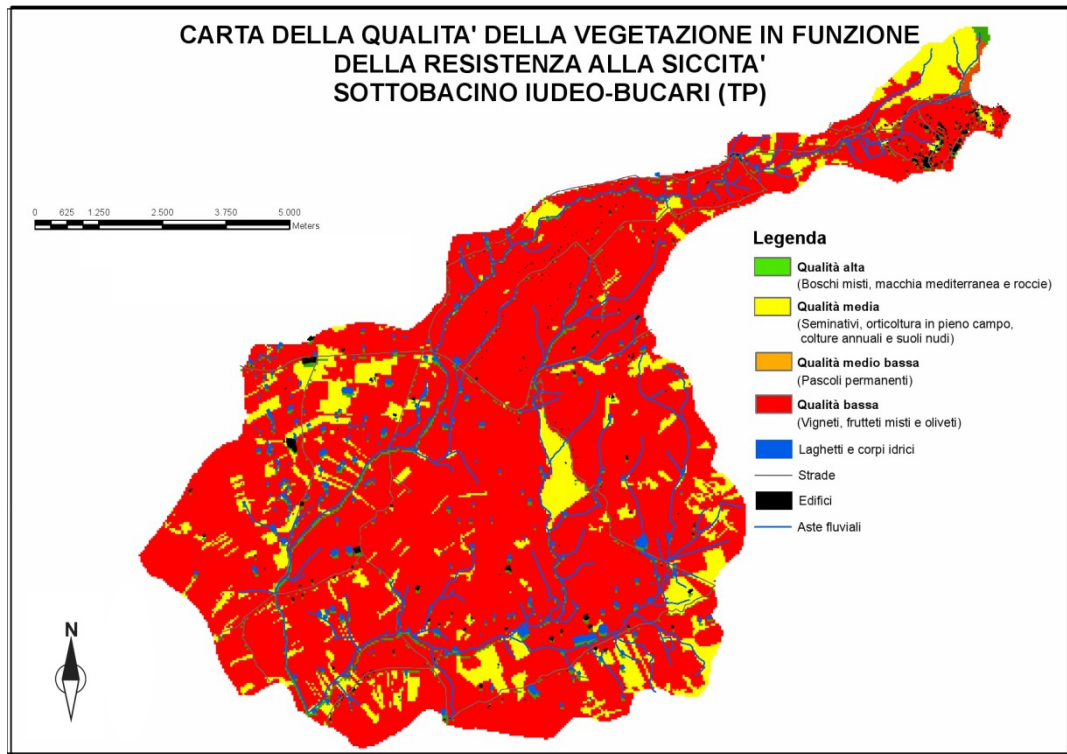
Molti studi (Francis e Thornes, 1990) hanno dimostrato come il ruscellamento e la perdita di suolo diminuiscono notevolmente all'aumentare della percentuale di copertura del suolo da parte della vegetazione. Una porzione di territorio è considerata desertificata quando la produzione di biomassa per unità di superficie si trova al di sotto di una determinata soglia. In termini di percentuale di copertura vegetale, tale soglia è stata individuata nel 40% di copertura; oltre questo valore di riferimento, in zone acclivi, si verificano condizioni di accelerata erosione. Il valore di tale soglia può cambiare in funzione del tipo di vegetazione, dell'intensità della pioggia e delle caratteristiche del territorio, ma il degrado del terreno inizia solo quando una porzione sostanziale (circa il 40%, appunto) del terreno è spoglia. Nella tabella seguente sono presentati i valori della copertura del terreno, espressa in percentuale, e l'indice associato.

Tabella 31: Classi di resistenza alla siccità della vegetazione dall'erosione correlate alla sensibilità alla desertificazione

<b>Classe</b>	<b>Copertura vegetale</b>	<b>Indice</b>
1	> 40%	1.0
2	tra 40 e 10%	1.8
3	< 10%	2.0

L'elaborazione dei seguenti indicatori in *grid raster* ha permesso di rappresentare ogni parametro in una carta a scala 1:50.000. Si riportano di seguito le elaborazioni cartografiche.





### Calcolo dell'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI)

L'Indice di Qualità della Vegetazione è stato ottenuto dalla media geometrica dei diversi indicatori che contribuiscono a definire le caratteristiche della vegetazione, attraverso la seguente relazione:

$$\text{VQI} = (\text{rischio d'incendio} \times \text{protezione dall'erosione} \times \text{resistenza all'aridità} \times \text{grado di copertura vegetale})^{1/4}$$

Tabella 32: Limiti delle classi VQI correlati alla sensibilità alla desertificazione

<b>Indice di Qualità della Vegetazione</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Range</b>
1	Qualità Alta	<1.13
2	Qualità Media	1.13-1.38
3	Qualità Bassa	>1.38

La cartografia relativa all'Indice di **Qualità della vegetazione** prodotta dalla sovrapposizione delle carte di base è riportata in allegato e rappresentata a scala 1:50.000.

#### ✓ **Indice della qualità della gestione:**

L'utilizzo del territorio da parte dell'uomo è un aspetto fondamentale nel determinare i processi che possono portare al degrado del suolo e alla desertificazione. Il tipo di gestione dipende da un insieme di fattori di diversa natura: fattori ambientali, pedologici, climatici, ma anche sociali, economici, politici e tecnologici. Un altro aspetto particolare è il progressivo abbandono delle terre, dovuto a ragioni economiche e sociali, nonché alla maggiore produttività dell'agricoltura e al conseguente passaggio da agricoltura estensiva ad intensiva. I territori agricoli abbandonati possono essere interessati da fenomeni di deterioramento o di miglioramento delle caratteristiche del suolo a seconda del tipo particolare di suolo e delle condizioni climatiche dell'area. Le caratteristiche pedologiche delle aree collinari che possono sostenere una copertura vegetale sufficiente possono migliorare nel tempo attraverso l'accumulo di sostanza organica, l'aumento dell'attività biologica delle componenti biotiche sia animali che vegetali, il miglioramento della



struttura e della permeabilità del suolo, con la conseguente riduzione del rischio di erosione (Kosmas et al., 1995). Nel caso invece di aree caratterizzate da vegetazione scarsa, i processi erosivi possono essere molto attivi e la perdita di suolo irreversibile. Il modello considera l'intensità di uso del territorio, le politiche di tutela e l'indice di pressione antropica (HPI). Per il calcolo dell'Indice di Qualità della Gestione del Territorio sono state utilizzate:

- Le informazioni provenienti dalla mappa d'uso del suolo del Sottobacino Iudeo-Bucari (1:50.000)
- La delimitazione ufficiale delle aree protette (*parchi e riserve*) e dei siti di interesse comunitario (*SIC-ZPS*):
- I territori comunali della Sicilia
- Dati ISTAT (variazione della popolazione anni 1985 - 2008)

A queste informazioni è stato aggiunto un altro parametro determinato sulla base delle aree irrigate. Sono state infatti definite tre diverse aree del bacino Iudeo-Bucari. L'area **A0 non irrigata**. L'area **A1, irrigata con acque di buona qualità**. L'area **A2 irrigata con acque leggermente salata e quindi di media qualità**.

Gli indicatori presi in considerazione per la valutazione dell'indice MQI sono:

- Politiche di protezione del territorio;
- Intensità dell'uso del suolo;
- Indice di pressione antropica;
- Aree irrigate e qualità delle acque d'irrigazione.

#### *INTENSITÀ D'USO DEL SUOLO*

Per quanto riguarda questo parametro si è fatto riferimento alle diverse classi di uso del suolo della Carta dell'uso del suolo del Sottobacino Iudeo-Bucari a scala 1:50.000 e sono stati attribuiti i diversi valori di intensità di uso del suolo, come da seguente tabella:

Tabella 33: Classi d'intensità d'uso del suolo correlate alla sensibilità alla desertificazione

Nome dell'indicatore	Carta della vegetazione Iudeo-Bucari		Indice
Intensità d'uso del suolo	Bassa	Prati stabili, colture annuali, boschi di latifogli e conifere, boschi misti, macchia mediterranea, aree naturali scarsamente vegetate	1.0
	Media	Area a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	1.2
	Alta	Colture annuali, pascoli, cespuglieti	1.5
	Elevata	Vigneti, frutteti, orticole	2.0

#### *POLITICHE DI PROTEZIONE DELL'AMBIENTE*

L'indicatore relativo alle politiche di protezione dell'ambiente classifica le aree in base al grado con cui tali politiche vengono applicate in ciascuna delle aree oggetto di studio. A tale scopo, sono stati raccolti i dati cartografici relativi alle aree del territorio regionale sottoposte a varie forme di protezione, e in particolare:

- Parchi e Riserve regionali (L.R. N.14 del 1988)
- Siti SIC e ZPS (Rete Natura 2000)
- Vincolo Idrogeologico ex R.D. 3267/23

Tabella 34: Classi politiche di protezione dell'ambiente correlate alla sensibilità alla desertificazione

Classe	Tipo di vincolo	Indice
1	Parchi e riserve regionali e Rete Natura 2000	1.0
2	Aree sottoposte a vincolo idrogeologico	1.5
3	Senza vincoli	2.0

## *INDICE DI PRESSIONE ANTROPICA*

La presenza dell'uomo in una determinata zona determina un fattore di pressione. Infatti, l'elevata urbanizzazione comporta cementificazione e impermeabilizzazione del suolo, nonché uno sfruttamento puntuale delle risorse idriche, sottrazione di terreno agricolo, abbandono delle campagne, etc., . Una maggiore antropizzazione di un territorio va tenuta, pertanto, nella dovuta considerazione nello studio del fenomeno della desertificazione attraverso un'attenta analisi di quelle che sono le complesse dinamiche sia strutturali che spazio-temporali della popolazione. La relazione finale della Regione Toscana (2004) del "Programma Interregg IIIB Medocc Azione pilota in Toscana" denominata "Integrazione dei dati climatici, telerilevati e socio-economici per la definizione di indicatori di vulnerabilità alla desertificazione" mette a punto un'apposita metodologia che di seguito si descrive e che è stata utilizzata per la valutazione della pressione antropica all'interno della problematica delle aree sensibili alla desertificazione.

La densità di popolazione, ossia il numero di abitanti/Km<sup>2</sup> rappresenta una valida indicazione dei possibili squilibri causati da un'elevata concentrazione della popolazione residente relativamente allo sfruttamento delle risorse naturali. In funzione dei dati ISTAT della popolazione residente su base comunale per l'anno 2008, ARPA Sicilia ha proceduto a calcolare la seguente formula:

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

I valori di densità ricavati sono stati aggregati in classi alle quali è stato attribuito un punteggio come da tabella seguente

Tabella 35: Densità di popolazione (abitanti/kmq) nell'anno 2008

<b>Classe</b>	<b>Indice</b>
0 - 10 ab./kmq	1,00
10 - 25 ab./kmq	1,30
25 - 50 ab./kmq	1,40
50 - 100 ab./kmq	1,50
100 - 200 ab./kmq	1,70

200 - 400 ab./kmq	1,80
400 - 800 ab./kmq	1,95
> 800 ab./kmq	2,00

Si è, poi, proceduto alla creazione di un elaborato cartografico in ambiente “ArcGis” sulla base della densità di popolazione riclassificata come da tabella precedente. Alle varie classi si sono attribuiti dei determinati valori di punteggio di sensibilità al fenomeno della desertificazione sulla base del metodo “MEDALUS”: maggiore è il punteggio maggiore è la sensibilità al fenomeno. Per quanto riguarda la variazione percentuale della densità di popolazione, essa attiene a quelle che sono le dinamiche spazio-temporali del fenomeno demografico. Infatti l’abbandono da un lato e l’antropizzazione dall’altro possono avvenire in un arco di tempo ristretto e possono avere una tale portata da non consentire all’ambiente di potere ritrovare una nuova condizione di equilibrio o da non permettere alla popolazione medesima il soddisfacimento dei propri bisogni in modo sostenibile.

L’indicatore che misura la variazione percentuale della densità di popolazione si calcola in funzione dei valori demografici confrontando gli anni 1985 – 2008 da fonte ISTAT. La formula utilizzata è stata la seguente:

$$\text{Variazione \% dens. popol.} = \frac{\text{dens.}_{2008} - \text{dens.}_{1985}}{\text{dens.}_{1985}} * 100$$

Eventuali valori negativi identificano una diminuzione della densità di popolazione nel periodo preso in considerazione, mentre valori positivi mostrano un aumento. Il raddoppio della popolazione residente si ha con valori di variazioni del 100%.

Tabella 36: Variazione % della densità di popolazione

<b>Classe</b>	<b>Indice</b>
-100 - 0 %	1,00
0 - 20 %	1,20
20 - 50 %	1,40
50 - 100 %	1,60
100 - 200 %	1,80
> 200 %	2,00

Si è, poi, proceduto alla creazione di un elaborato cartografico in ambiente “ArcGis” sulla base della densità di popolazione riclassificata come da tabella precedente. Alle varie classi si sono attribuiti dei determinati valori di punteggio di sensibilità al fenomeno della desertificazione sulla base del metodo “MEDALUS”: maggiore è il punteggio maggiore è la sensibilità al fenomeno. Infine incrociando le mappe relative alla densità ed alla variazione di densità si ricava un’elaborazione cartografica relativa al complessivo indice di pressione antropica. Quest’ultimo risulterà determinato dalla media geometrica tra la densità comunale di popolazione per i comuni siciliani (dato ISTAT 2008) e la variazione di densità per gli anni 1985-2008, come da formula seguente:

$$\text{HPI} = (\text{Dens. popol.2008} * \text{Var. \% dens. popol.1985-2008})^{1/2}$$

Il valore ricavato farà parte della media geometrica relativa al calcolo dell’indice di qualità della gestione (MQI), precedentemente descritto.

#### *AREE IRRIGATE E QUALITÀ DELLE ACQUE D’IRRIGAZIONE*

Per formulare una carta che tenga conto delle aree irrigue e della qualità delle acque utilizzate per l’irrigazione è stato necessario provvedere ad un campionamento delle acque nel sottobacino Iudeo – Bucari, per determinare il migliore utilizzo della risorsa, finalizzato alla mitigazione del rischio desertificazione di questo territorio. L’irrigazione infatti costituisce il principale intervento nell’ottica della mitigazione quando il rischio desertificazione dipende da una diminuzione della piovosità o da una diminuzione delle piogge nelle stagioni vegetative. Il campionamento delle acque é stato effettuato lungo i torrenti Judeo e Bucari e in alcuni dei numerosi laghetti collinari che rientrano nell’area irrigua del territorio. Si è scelto di utilizzare il metodo di campionamento “*preferenziale o ragionato*”. Nella pianificazione del lavoro è stata tenuta in considerazione l’aspetto logistico delle operazioni e sono stati definiti dei punti di campionamento facilmente accessibili; per il campionamento lungo i torrenti si sono prelevati i campioni rispettivamente a monte, a valle del torrente in modo da avere una visione delle possibili variazioni della qualità delle acque dovute alla pratica agricola nell’area irrigua, inoltre è stato prelevato un campione lungo i canali di scolo che conducono al torrente Bucari, nei pressi delle formazioni gessose solfifere in modo da tenere in considerazione l’influenza che quest’ultima ha sulla qualità dell’acqua. Per la programmazione del lavoro è stato

tenuto in considerazione l'andamento climatico per stabilire i giorni possibili di campionamento in modo da evitare un eccessivo effetto di intorbidamento per il trasporto di particelle terrose dovuto a eventi piovosi verificatesi nei giorni precedenti, o all'opposto di non posticipare troppo il campionamento per evitare un periodo senza piogge con conseguente livello del torrente troppo basso e impossibilità di prelevare i campioni. Il campionamento dei laghetti collinari è stato programmato prima dell'utilizzo delle acque a scopo irriguo, infatti si verifica che i laghetti durante il periodo di irrigazione si svuotino completamente, inoltre l'acqua campionata durante la fase di irrigazione subirebbe l'influenza della perturbazione dei macchinari di sollevamento.

*Materiali utilizzati:*

per la raccolta dei campioni sono stati utilizzati dei contenitori di diverse dimensioni :

- 2,0 litri per i campioni destinati alle analisi generali;
- 0,10 litri sterili per le analisi biologiche;
- 0,10 litri per le analisi dei metalli;

Le misure dei valori di temperatura, pH e conducibilità sono state effettuate contestualmente, utilizzando un pHmetro conduttimetro di campo.

Il prelievo dei campioni è molto accurato. La prima azione da effettuare è quella di annotare tutte le informazioni utili sulla scheda che accompagna il campione; si procede con la scelta del punto più idoneo e sicuro per il prelievo dei campioni; durante il prelievo si cercano di evitare le cause che potrebbero falsare i dati (acqua stagnante, elevata presenza di materiale organico in sospensione, presenza di rifiuti nelle immediate vicinanze del campione, sollevamento di sedimenti, ecc.). Dopo il prelievo del campione si procede con le misure del pH, della conducibilità e della temperatura, utilizzando l'apposito strumento avendo molta cura nell'esecuzione di ogni misura (pulire lo strumento con acqua pulita prima di effettuare una misura, attendere che si sia stabilizzata la lettura, ecc.). Le letture vengono annotate sulla scheda e poi si procede con il prelievo delle aliquote destinate alle analisi dei metalli e alle analisi biologiche; per le analisi biologiche si utilizza il contenitore sterile aperto sul momento cercando di evitare possibili contaminazioni. Per le analisi dei metalli si preleva un'aliquota e si sottopone al filtraggio con apposito filtro di 0,45 micron fino al raggiungimento del volume stabilito per questo tipo di analisi. Effettuate tutte le operazioni di prelievo i campioni sono trasferiti in ambiente refrigerato.

Completata l'operazione di prelievo si effettua un controllo sulla procedura eseguita in quel punto e se non si denota nessun tipo di problema si passa al punto successivo. Terminato il piano di prelievo giornaliero, i campioni, in giornata, sono consegnati al laboratorio di riferimento per le analisi in modo da ridurre al minimo la possibilità di alterazione del campione. L'acqua è stata prelevata dai torrenti direttamente nell'alveo, nei punti più profondi. Per il prelievo nei laghetti è stata utilizzata un'asta telescopica in modo da agevolare le operazioni di prelievo del campione più lontano possibile dagli argini evitando così l'influenza delle piante che crescono sull'argine.

*Punti di prelievo:*

Sono stati effettuati: due campionamenti lungo il torrente Iudeo, rispettivamente nei punti denominati I1 e I5; tre campionamenti lungo il torrente Bucari, rispettivamente nei punti denominati B2, B3 e B4. Il punto B4 appartiene ad un affluente del torrente Bucari. Quest'ultimo punto è stato scelto per indagare l'influenza della serie gessoso solfifera sulla qualità delle acque del sottobacino. Infine, dieci campioni sono stati prelevati nei laghi collinari, uno per lago, prediligendo quelli sicuramente utilizzati per la pratica irrigua e quelli nelle vicinanze della serie gessoso solfifera, i punti di prelievo sono stati denominati L (da 1 a 10). Successivamente, i campioni sono stati recapitati all'agenzia ARPA del Comune di Trapani, che ha proceduto all'analisi dei parametri chimico-fisici e microbiologici più importanti. L'obiettivo di queste analisi è quello di effettuare l'elaborazione dei dati analitici, stimando con metodi matematici i parametri utili alla caratterizzazione della qualità delle acque a uso irriguo.

Tabella 37: Dati analitici forniti dall'ARPA, struttura di Trapani.

Codice <sup>(1)</sup>	Sito Campione	Data prelievo	pH	ECw a 20°C	Na+	K+	Ca++	Mg++	NH4+
				dS/m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
I1	Fiume Iudeo I	19/03/12	8,15	2,06	260,00	9,88	230,00	60,00	0,19
B2	Fiume Bucari I	19/03/12	8,05	4,37	724,00	5,00	323,00	100,00	0,05
B3	Fiume Bucari II	19/03/12	8,14	2,06	242,00	3,54	179,00	69,00	0,05
B4	Fiume Bucari III	19/03/12	8,04	1,86	220,00	2,36	199,00	44,00	0,05
I5	Fiume Iudeo II	19/03/12	8,22	1,41	94,00	4,00	245,00	37,00	0,05
L1	Lago Mazara del Vallo I	14/05/12	8,08	1,68	182,00	6,25	175,00	42,00	0,05
L2	Lago Mazara del Vallo II	14/05/12	8,08	1,69	239,00	4,28	144,00	32,00	0,05

L3	Lago Mazara del Vallo III	14/05/12	8,07	1,07	133,00	4,61	115,00	28,00	0,05
L4	Lago Marsala I	14/05/12	8,26	0,94	90,00	13,00	80,00	31,00	0,05
L5	Lago Marsala II	14/05/12	8,17	1,28	151,00	5,95	123,00	34,00	0,06
L6	Lago Salemi I	18/06/12	7,77	1,21	168,00	9,43	81,00	62,71	0,05
L7	Lago Salemi II	18/06/12	7,28	3,99	451,00	2,15	477,00	185,00	0,05
L8	Lago Mazara del Vallo IV	18/06/12	8,71	3,72	535,00	4,45	279,00	126,60	0,05
L9	Lago Mazara del Vallo V	18/06/12	8,80	4,23	614,00	10,20	390,00	170,10	0,05
L10	Lago Salemi III	18/06/12	7,71	3,18	557,00	12,50	122,00	139,00	0,05
<b>1. Codice che identifica i singoli campioni in ordine di prelievo. I= Iudeo, B= Bucari, L= Laghetto.</b>									

Tabella 38: Dati analitici forniti dall'ARPA, struttura di Trapani.

Codice <sup>(1)</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	F <sup>-</sup>	C <sup>-</sup>	Coliformi tot.	Escherichia coli
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	MPN/100mL	MPN/100mL
I1	1,41	0,015	504	0,037	0,56	353	/	344,80
B2	<0,20	<0,005	1080	<0,005	0,61	1121	/	62,00
B3	0,60	<0,005	431	<0,005	0,69	365	/	11,00
B4	1,26	<0,005	331	<0,005	0,61	374	/	1299,70
I5	0,56	<0,005	512	<0,005	0,62	158	/	46,40
L1	<0,10	<0,005	503	<0,005	0,50	242	365,40	1,00
L2	<0,10	<0,005	282	<0,005	0,86	354	>2419,60	16,10
L3	<0,10	<0,005	211	<0,005	0,51	203	>2419,60	5,20
L4	<0,10	<0,005	184	<0,005	0,60	142	435,20	31,30
L5	<0,10	<0,005	262	<0,005	0,51	228	1299,70	4,10
L6	0,13	<0,005	259	<0,005	1,09	240	2419,60	14,60
L7	<0,10	<0,005	1566	<0,005	0,88	800	>2419,60	57,30
L8	<0,10	<0,005	975	<0,005	0,69	849	1732,90	3,00
L9	<0,10	<0,005	1459	<0,005	0,99	953	>2419,60	13,40
L10	<0,10	<0,005	580	<0,005	1,62	689	>2419,50	93,30
<b>1. Codice che identifica i singoli campioni in ordine di prelievo. I= Iudeo, B= Bucari, L= Laghetto.</b>								



Tabella 39: Dati analitici forniti dall'ARPA, struttura di Trapani.

Codice <sup>(1)</sup>	Al	As	B	Cd	Cr tot.	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
I1	149,00	<2	376,00	<1	2,17	<10	<10	664,00	3,57	<2	6,97	10,00
B2	208,00	<2	995,00	<1	2,17	<10	<10	39,20	3,98	<2	7,61	<10
B3	123,00	<2	604,00	<1	2,00	<10	<10	13,80	2,61	<2	5,77	<10
B4	124,00	<2	394,00	<1	2,00	<10	<10	<2	2,31	<2	5,44	<10
I5	152,00	<2	200,00	<1	<2	<10	<10	14,80	2,68	<2	5,81	<10
L1	134,00	3,10	305,00	<1	<2	<10	11,70	7,02	2,51	<2	5,12	<10
L2	108,00	3,15	401,00	<1	<2	<10	26,00	<2	2,48	<2	4,19	18,00
L3	118,00	<2	95,10	<1	2,55	<10	500,00	4,89	<2	<2	4,79	14,10
L4	84,00	<2	95,70	<1	<2	<10	14,20	<2	<2	<2	3,91	15,20
L5	99,00	2,52	169,00	<1	<2	<10	<10	8,80	2,80	<2	4,68	<10
L6	71,20	<2	402,00	<1	<2	<10	<10	10,20	<2	<2	5,22	11,20
L7	284,00	2,39	504,00	<1	<2	<10	26,20	43,20	<2	2,12	7,54	11,00
L8	175,00	3,45	785,00	<1	<2	<10	<10	2,92	<2	<2	4,74	11,20
L9	233,00	<2	927,00	<1	<2	<10	<10	37,50	<2	<2	4,80	<10
L10	73,50	3,54	2157,00	<1	<2	<10	66,50	172,00	<2	<2	5,77	11,80

**1. Codice che identifica i singoli campioni in ordine di prelievo. I= Iudeo, B= Bucari, L= Laghetto.**

Nella Tabella 40 si confrontano i valori di pH e ECw determinati in campo (alla temperatura di riferimento dello strumento di 25 °C), e in laboratorio, in seguito a refrigerazione (alla temperatura di riferimento di 20 °C).

Tabella 40: Valori di pH e ECw determinati in campo.

Codice	Temperatura acqua in campo	pH	pH	ECw dS/m	ECw dS/m
		25°C	20°C	25°C	20°C
		campo	Arpa	campo	Arpa
<b>I1</b>	18,6	7,85	<b>8,15</b>	2,46	<b>2,06</b>
<b>B2</b>	17,8	7,92	<b>8,05</b>	5,21	<b>4,37</b>
<b>B3</b>	17,8	7,91	<b>8,14</b>	2,29	<b>2,06</b>
<b>B4</b>	17,4	8,00	<b>8,04</b>	2,20	<b>1,86</b>
<b>I5</b>	19,1	7,95	<b>8,22</b>	1,66	<b>1,42</b>
<b>L1</b>	23,5	8,00	<b>8,08</b>	2,02	<b>1,69</b>
<b>L2</b>	23,2	7,78	<b>8,08</b>	1,99	<b>1,70</b>
<b>L3</b>	23,6	7,75	<b>8,07</b>	1,29	<b>1,07</b>
<b>L4</b>	23,7	7,97	<b>8,26</b>	1,09	<b>0,95</b>
<b>L5</b>	23,5	8,00	<b>8,17</b>	1,62	<b>1,28</b>
<b>L6</b>	27,3	8,10	<b>7,77</b>	1,43	<b>1,22</b>
<b>L7</b>	25,2	7,60	<b>7,28</b>	4,66	<b>3,99</b>
<b>L8</b>	29,0	8,64	<b>8,71</b>	4,13	<b>3,72</b>
<b>L9</b>	28,1	8,90	<b>8,80</b>	4,93	<b>4,23</b>
<b>L10</b>	25,7	7,67	<b>7,71</b>	3,51	<b>3,18</b>

Si osserva che, nella determinazione di laboratorio, il pH (misurato con strumento tarato a 20 °C) presenta valori lievemente più elevati (in media: +1,26%) rispetto a quelli determinati in campo (con strumento tarato a 25 °C). Al contrario, il valore di conducibilità determinato in laboratorio risulta moderatamente più basso (in media: -14,49%) rispetto al dato di campo. Si è scelto, nell'ambito della presente tesi, di utilizzare i dati determinati in laboratorio.

#### *Valutazione sintetica della qualità delle acque analizzate*

In accordo con la tesi di Rizzo (relatore il prof. Raimondi), si propone, inoltre, la formulazione di un **Indice Sintetico di Qualità dell'acqua**, che mette in relazione la frequenza percentuale dei parametri con limitazioni severe o parziali per ogni campione, con un sistema di classi per definire la qualità delle acque.

Si considera equivalente il contributo apportato da ogni parametro. Si procede considerando solo tre dei sistemi di valutazione (Wilcox e Magistad, Ayers e Westcot, Giardini). Si attribuisce il valore 1 a ogni punto percentuale relativo ai parametri con limitazione severa, e il valore 0,5 a ogni punto percentuale relativo ai parametri con limitazione parziale. I punteggi parziali sono sommati per arrivare ad un indice finale che oscilla da 0 a 100 e rappresenta l'Indice Sintetico di Qualità. I valori compresi fra 0 e 33 corrispondono a un'acqua di qualità alta; i valori superiori a 33 fino a 66 corrispondono a un'acqua di qualità media; i valori superiori a 66 fino a 100 corrispondono a un'acqua di qualità bassa. Di seguito si propone l'applicazione dell'Indice ai suddetti sistemi di valutazione. Inoltre si è scelto di considerare il valore medio fra questi tre Indici per unificare, orientativamente, il giudizio sulla qualità delle acque dei campioni analizzati (tabella seguente).

Valutazione delle acque in relazione all'Indice Sintetico di Qualità.

<b>Indice Sintetico</b>	<b>Qualità</b>
da 0 a 33	Alta
>33 a 66	Media
>66 a 100	Bassa

Tabella 41: Indice Sintetico di Qualità dell'acqua applicato a tre sistemi di valutazione.

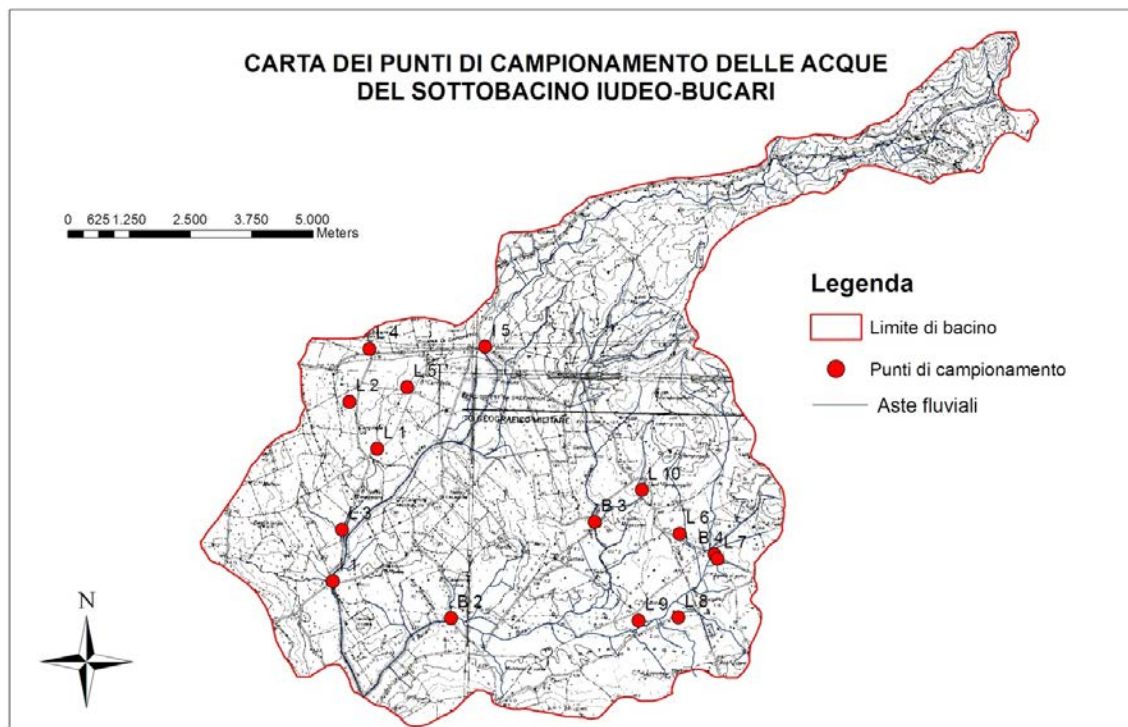
WILCOX-MAGISTAD			AYERS-WESTCOT			GIARDINI		
Codice	Indice	Qualità	Codice	Indice	Qualità	Codice	Indice	Qualità
I1	25,00	A	I1	33,33	M	I1	40,00	M
B2	62,50	M	B2	45,45	M	B2	45,00	M
B3	50,00	M	B3	36,36	M	B3	38,89	M
B4	37,50	M	B4	31,82	A	B4	35,00	A
I5	12,50	A	I5	22,73	A	I5	25,00	A
L1	25,00	A	L1	22,73	A	L1	35,00	A
L2	25,00	A	L2	27,27	A	L2	40,00	M
L3	25,00	A	L3	36,36	M	L3	30,00	A
L4	0,00	A	L4	22,73	A	L4	30,00	A
L5	25,00	A	L5	22,73	A	L5	30,00	A
L6	25,00	A	L6	22,73	A	L6	35,00	M
L7	62,50	M	L7	40,91	M	L7	45,00	M
L8	62,50	M	L8	54,55	M	L8	55,00	M
L9	62,50	M	L9	54,55	M	L9	55,00	M
L10	75,00	B	L10	50,00	M	L10	60,00	M

Tabella 42. Valutazione definitiva della qualità delle acque in relazione all'Indice Sintetico Medio.

Codice	Indice medio	Qualità	Codice	Indice medio	Qualità
I1	32,78	A	L4	17,58	A
<b>B2</b>	50,98	<b>M</b>	L5	25,91	A
<b>B3</b>	41,75	<b>M</b>	L6	27,58	A
<b>B4</b>	34,77	<b>M</b>	<b>L7</b>	49,47	<b>M</b>
I5	20,08	A	<b>L8</b>	57,35	<b>M</b>
L1	27,58	A	<b>L9</b>	57,35	<b>M</b>
L2	30,76	A	<b>L10</b>	61,67	<b>M</b>
L3	30,45	A			

Si riporta di seguito la carta di base utilizzata per l'identificazione dei punti di prelievo dei campioni.

Figura 18: Carta dei punti di prelievo dei campioni.

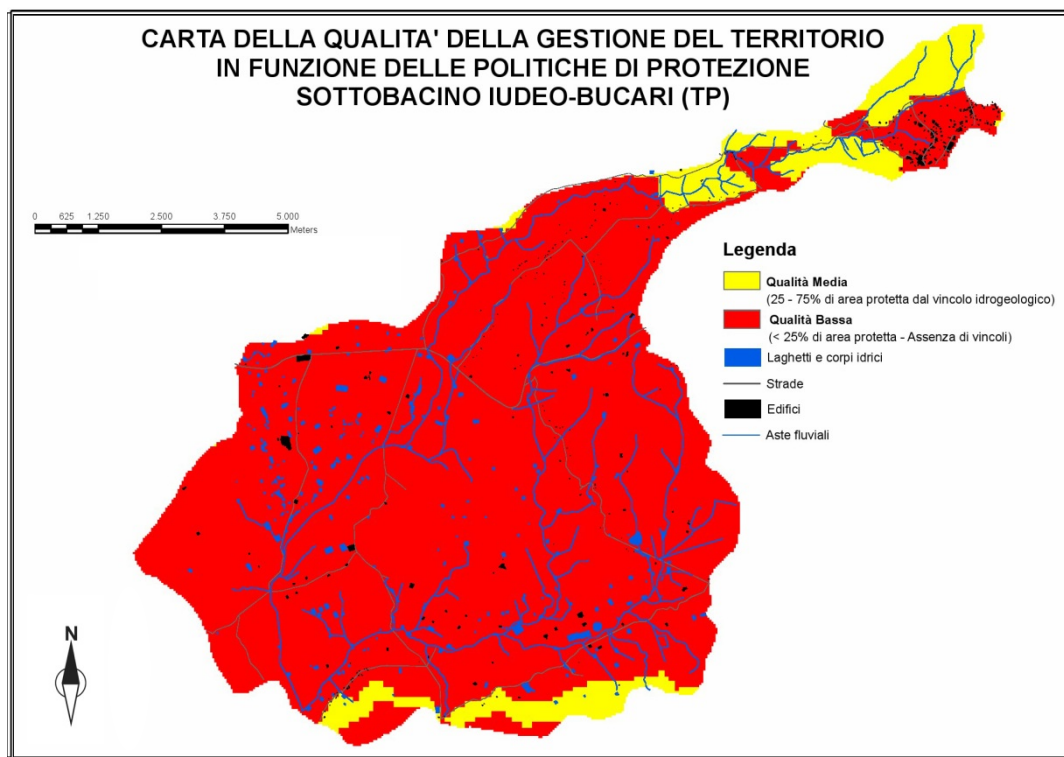
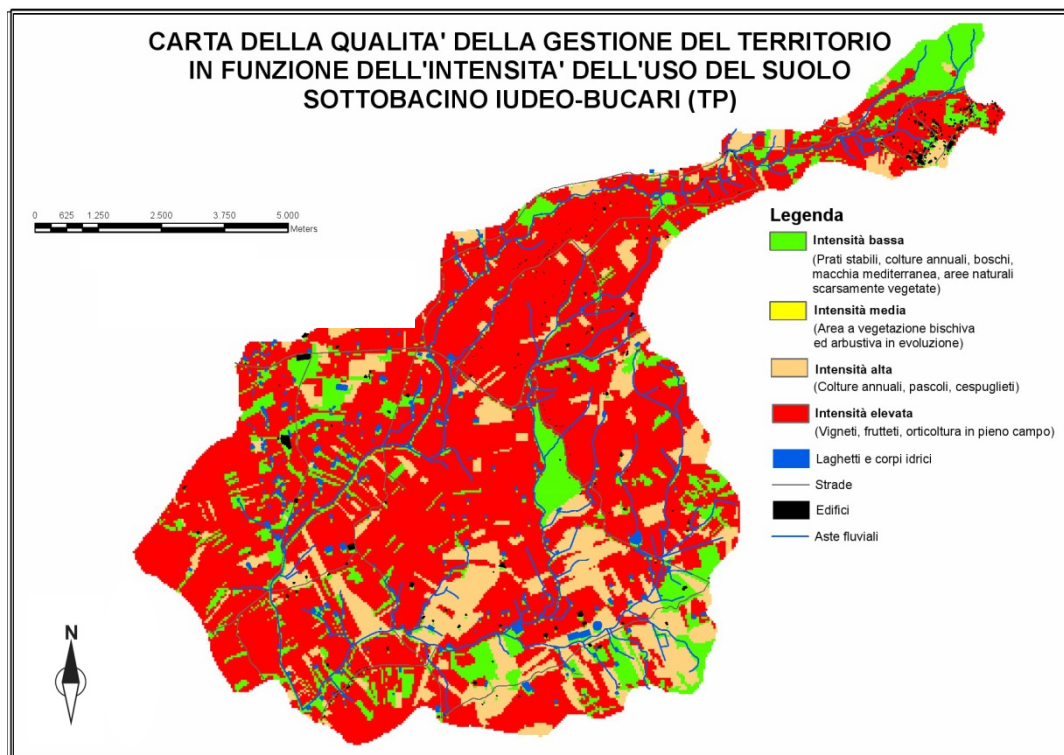


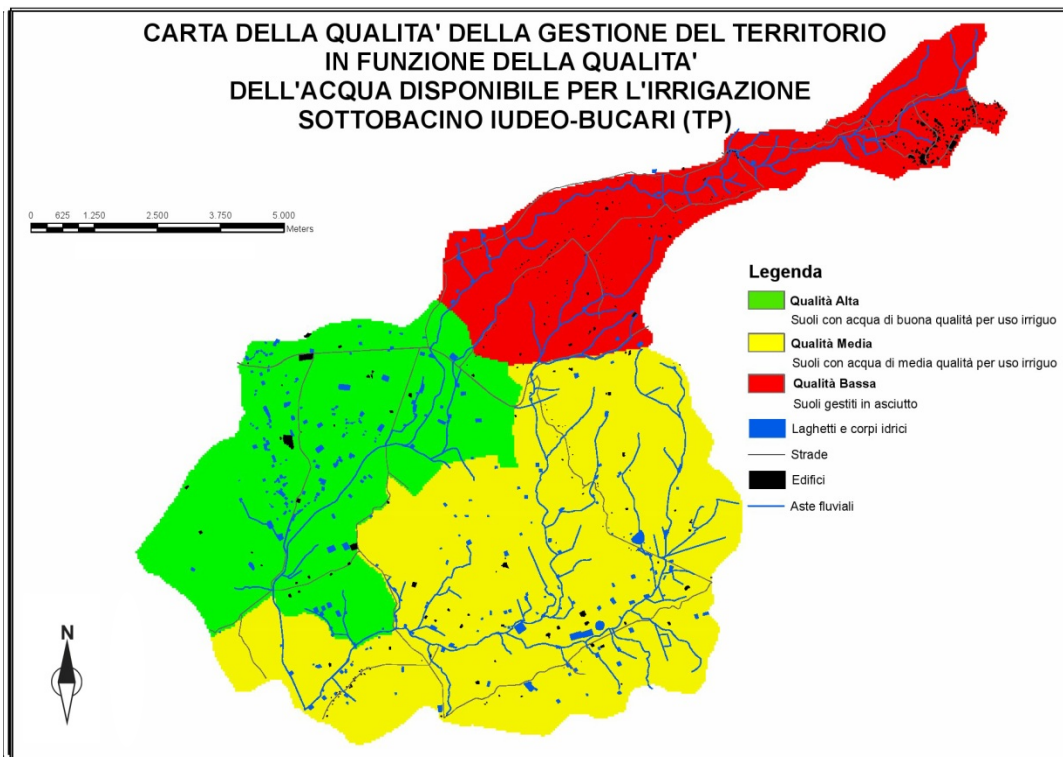
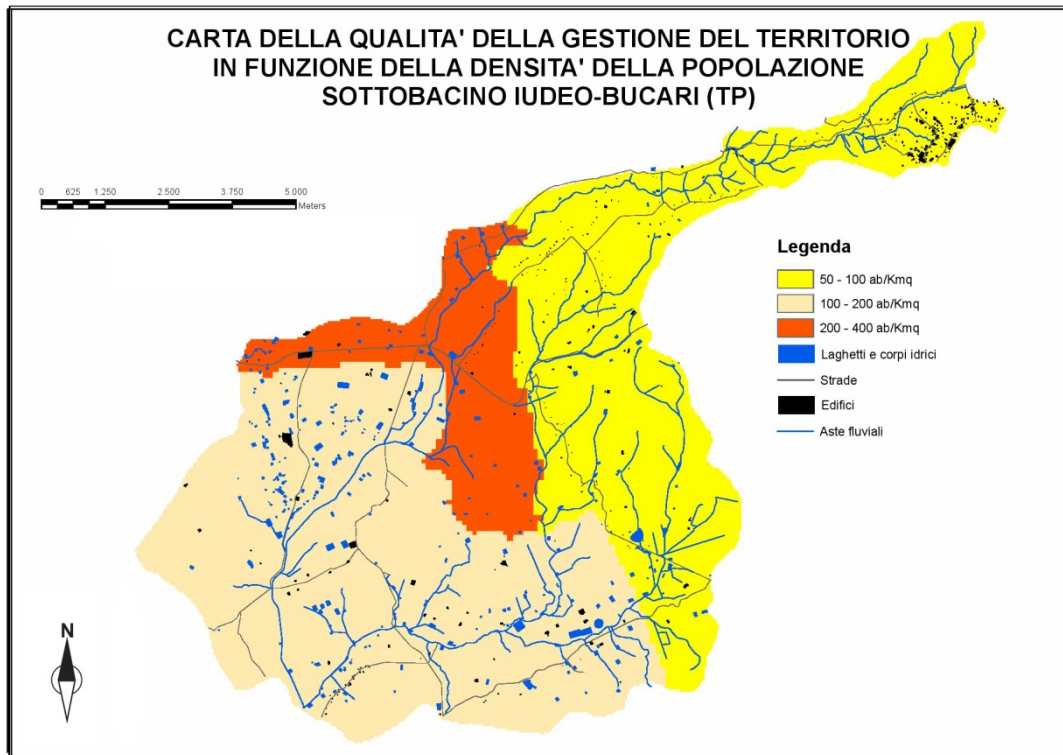
Valutata l'area di utilizzazione delle risorse idriche in funzione delle colture riscontrate nel bacino di studio sono state tracciate tre diverse aree, cartografate con il sistema della creazione di poligoni vettoriali che poi trasformati in *grid raster* sono stati interpolati con le carte degli altri indicatori dando vita all'indice di riferimento.

Tabella 43: Classi delle aree irrigue e della qualità delle acque utilizzate per l'irrigazione correlate alla sensibilità alla desertificazione

Classe	Tipo di Area	Indice
1	Area irrigata con acqua di buona qualità (A1)	1.0
2	Area irrigata con acqua leggermente Salata (A2)	1.5
3	Area non irrigata (A0)	2.0

L'elaborazione dei seguenti indicatori in *grid raster* ha permesso di rappresentare ogni parametro in una carta a scala 1:50.000. Si riportano di seguito le elaborazioni cartografiche.





Calcolo dell'Indice di Qualità della Gestione (MQI)

L'Indice di Qualità della Gestione è stato ottenuto dalla media geometrica dei quattro indicatori che contribuiscono a definire le caratteristiche della gestione, attraverso la seguente relazione:

$$\text{MQI} = (\text{intensità d'uso} \times \text{politiche di protezione} \times \text{l'indice di pressione antropica} \times \text{acqua disponibile per irrigazione})^{1/4}$$

Tabella 44: Limiti delle classi MQI correlati alla sensibilità alla desertificazione

Indice di Qualità della Gestione	Descrizione	Range
1	Qualità alta	<1.25
2	Qualità media	1.25-1.50
3	Qualità bassa	>1.50

La cartografia relativa all'Indice di **Qualità del suolo** prodotta dalla sovrapposizione delle carte di base è riportata in allegato e rappresentata a scala 1:50.000.

## I RISULTATI SPERIMENTALI

Le carte tematiche ottenute sono state trasformate in formato *raster grid* con una maglia di campionamento 40 x 40 metri (nella versione originale della carta della sensibilità alla Desertificazione della Regione Siciliana la maglia di campionamento è di 100 x 100 metri). Tutti i grid fanno riferimento, per avere le celle perfettamente allineate, al grid DEM 40 x 40 metri derivato dai files ascii delle ortofoto IT2000 ed elaborato dall'area 2 Interdipartimentale SITR.

Si è poi proceduto a calcolare una media geometrica tra i diversi punteggi degli indicatori per cui:

**Qualità Carta**  $x = (\text{indicatore 1} \times \text{indicatore 2} \times \dots \times \text{indicatore n})^{1/n}$ , in modo da ottenere le quattro carte relative agli indici di qualità (SQI, VQI, CQI, MQI). Infine, utilizzando lo strumento **map algebra**, si è proceduto al calcolo dell'indice ESAI secondo la seguente formula:

$$\text{ESAI} = (\text{SQI} \times \text{CQI} \times \text{VQI} \times \text{MQI})^{1/4}$$

L'elaborazione degli indicatori, tutti cartografati, che per motivi di spazio non si riportano in questa tesi, ha permesso di redigere le quattro carte degli indici necessari per il calcolo della "Carta della Sensibilità alla Desertificazione del sottobacino Iudeo-Bucari" a scala 1:50.000. In allegato si riportano le carte degli indici SQI, CQI, VQI, MQI.

$$\text{SQI} = (\text{litologia} \times \text{pietrosità} \times \text{profondità} \times \text{pendenza} \times \text{drenaggio} \times \text{tessitura} \times \text{salinità} \times \text{AWC del suolo})^{1/8}$$

La carta dell'indice di qualità del suolo (SQI) mostra la distribuzione delle diverse classi di qualità relative alla risorsa suolo. Essa costituisce la sintesi degli otto indicatori presi in considerazione.

Come si evince la maggior parte dei suoli del sottobacino Iudeo-Bucari ricadono nella classe "Qualità media". Una buona rappresentanza è data alla classe "Qualità alta". Una piccola parte viene cartografata come "Qualità bassa".

Questa carta afferma che la risorsa ambientale suolo nell'area di studio è di media-alta qualità e quindi ancora disponibile per le attività antropiche legate all'agricoltura. Tale valutazione è in armonia con la potenzialità agronomica dei suoli riportata nella relazione della "Carta dei suoli".

$$\text{CQI} = (\text{esposizione dei versanti} * \text{erosività delle precipitazioni} * \text{indice di aridità} * \text{stagionalità delle precipitazioni})^{1/4}$$

La carta dell'indice di qualità del clima (CQI) mette in luce come il clima non è un fattore limitante nella conservazione delle altre risorse ambientali. La qualità del clima è media per l'intero territorio cartografato e permette stabilità anche nelle attività antropiche.

$$\text{VQI} = (\text{rischio d'incendio} \times \text{protezione dall'erosione} \times \text{resistenza alla siccità} \times \text{grado di copertura vegetale})^{1/4}$$

La carta VQI mette in luce molteplici limitazioni. Il territorio del sottobacino è quasi



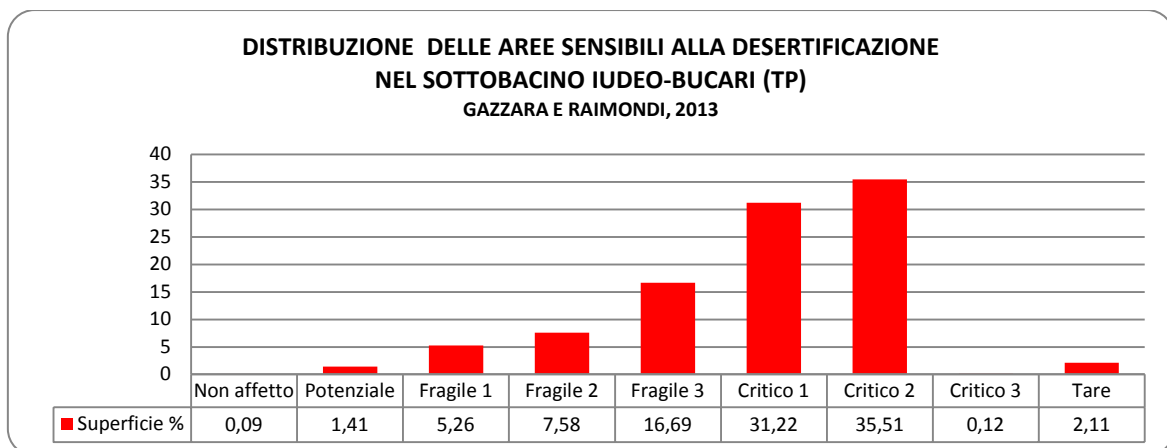
interamente coltivato. La coltura prevalente è il vigneto che non garantisce così come la coltura dei seminativi semplici una omogenea e costante copertura vegetale. In tal senso nei periodi invernali il suolo si trova scoperto e maggiormente soggetto a fenomeni erosivi. Il risultato è evidente e cartografato con il colore rosso indice di una qualità bassa del territorio in merito alla vegetazione presente.

$$\text{MQI} = (\textit{politiche di protezione} \times \textit{intensità dell'uso del suolo} \times \textit{indice di pressione antropica} \times \textit{aree irrigate e qualità delle acque})^{1/4}$$

Anche la carta dell'indice di qualità della gestione MQI mette in luce molteplici criticità legate a un utilizzo dei suoli che non tiene conto di nessuna politica di protezione, pur essendo presente un indice di pressione antropica elevato. Nei vari sopralluoghi effettuati per la raccolta dati e la conoscenza del territorio queste limitazioni sono state subito chiare. I vigneti (coltura prevalente del bacino) sono disposti secondo le linee di massima pendenza non sempre orientati nella direzione est-ovest, per agevolare le lavorazioni che però in questo modo favoriscono la perdita di suolo. Inoltre la lunghezza dei filari è molto elevata e le lavorazioni del suolo vengono eseguite, quindi, secondo la linea di massima pendenza. Gli inerbimenti dei filari non sono contemplati, anche se in questo caso risultano assolutamente necessari per ridurre il fenomeno erosivo. Nei seminativi non vi è una adeguata rete di drenaggio delle acque di scorrimento superficiale. I canali di scolo sono inesistenti e nei periodi invernali i fenomeni erosivi sono molto evidenti, mentre in una parte delle aree pianeggianti è presente il ristagno idrico superficiale oppure falde idriche stagionali. La qualità della gestione del suolo è bassa in quasi tutto il bacino.

Interpolando le quattro carte attraverso una media geometrica si ottiene la carta della sensibilità alla desertificazione del sottobacino Iudeo-Bucari.

$$\text{ESAI} = (\text{SQI} \times \text{CQI} \times \text{VQI} \times \text{MQI})^{1/4}$$



Il grafico riassume la distribuzione delle aree sensibili alla desertificazione ricadenti nel bacino di studio. E' evidente che la maggior parte della superficie ricade nelle classi "Critico 1" e "Critico 2", con una incidenza complessiva di quasi il 67% del territorio. Le aree definite critiche, risultano, secondo la metodologia "Medalus", qui applicata, *già altamente degradate, caratterizzate da ingente perdita di suolo dovuta ad una cattiva gestione.*

In effetti quanto emerso in questa carta lo si poteva già apprezzare nelle carte degli indici VQI ed MQI. La gestione agricola del bacino non risulta sufficiente a garantire la sostenibilità delle risorse ambientali (suolo in particolare) e nel tempo la situazione può solo degradare in quanto sono in atto fenomeni erosivi.

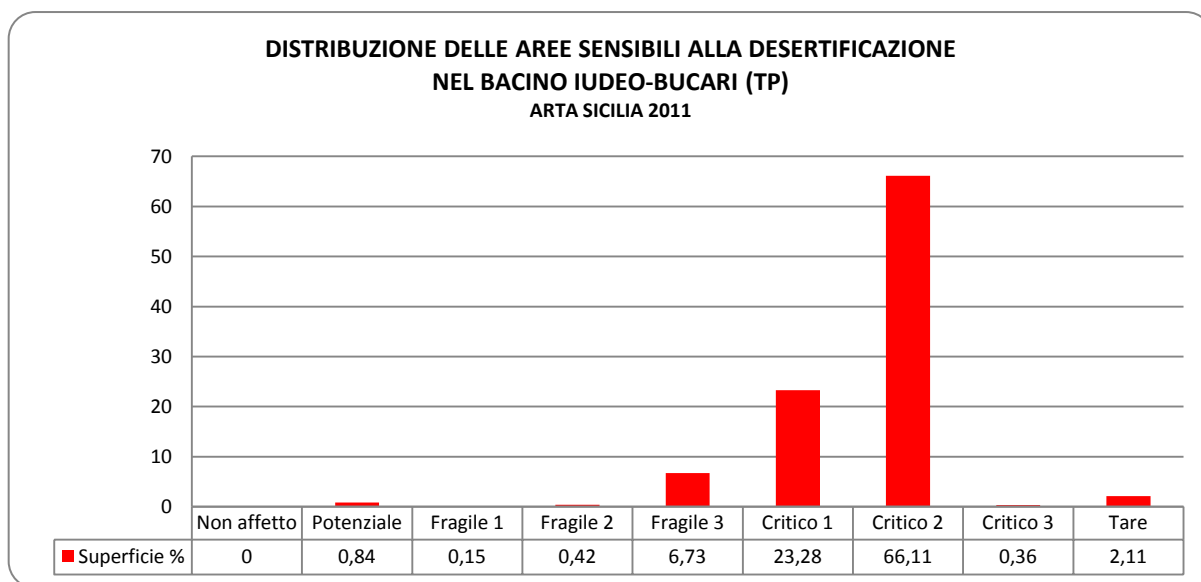
Il concetto di "Desertificazione" ha senso anche se visto come andamento temporale e non solo come fotografia dello stato attuale delle risorse. L'identificazione della qualità delle risorse serve solo da monito per tracciare un andamento che può risultare, a seconda dei casi, reversibile o irreversibile.

E' interessante evidenziare, che in questo caso, una corretta gestione agronomica dei suoli, finalizzata alla sostenibilità degli usi e della gestione, non solo può interrompere il trend negativo del consumo della risorsa ma addirittura può invertire l'andamento e rendere negli anni il suolo con una fertilità costante ed anche migliorata.

Mettere in luce le criticità del bacino, così come le potenzialità, diventa strumento di pianificazione che si può definire "*strategico per le future generazioni*".

Una ulteriore fase dello studio riguarda il confronto con la carta della sensibilità alla

desertificazione redatta dalla Regione Siciliana nel 2011. Così come fatto con l'elaborazione di Carnellolla et al. (2001) e Arnone et al. (2008) anche per l'elaborazione del 2011 (a scala 1:250.000) utilizzando il programma *arcGIS*, è stato possibile riportare l'area del bacino Iudeo-Bucari sulla Carta a scala 1:50.000 che si riporta di seguito.



Il dato di sintesi, in scala 1:250.000, della carta della sensibilità alla desertificazione redatta dalla Regione Siciliana mette in luce un dato molto differente. Infatti circa 66% della superficie del bacino ricade in classe “Critico 2”. Il motivo dello scostamento con l'elaborazione in scala 1:50.000 è che la qualità dei dati in ingresso non è molto elevata. Infatti l'utilizzo di uno studio pedologico in scala 1:50.000 ha aggiornato i dati relativi alla profondità dei suoli, alla pietrosità, alla tessitura e inoltre ha messo in evidenza anche i dati di salinità e dell'AWC del suolo, l'individuazione delle aree irrigue e la qualità delle acque utilizzate, evidenziando una realtà differente dalla precedente valutazione. Inoltre il dato aggiornato dell'uso del suolo ha permesso di rivedere interamente l'indice VQI e di renderlo maggiormente attendibile.

## **CAPITOLO 4**

### **LA SENSIBILITÀ ALLA DESERTIFICAZIONE RESIDUA DEL SOTTOBACINO IUDEO-BUCARI**

Il bilancio idrico è uno strumento efficace per ottenere stime del deficit e del surplus idrico, che permettono a livello territoriale la gestione delle acque allo scopo di prevenire o ridurre i danni legati a nubifragi e inondazioni, e a livello aziendale per migliorare l'efficienza irrigua e con conseguente aumento stabilizzazione della produttività.

Uno dei fattori che limitano l'agricoltura meridionale è appunto la disponibilità idrica. Per evitare queste carenze, è essenziale conoscere l'evoluzione, inteso come variabilità del contenuto idrico dei suoli, in rapporto alle caratteristiche degli stessi e alle condizioni climatiche.

È quindi necessario stimare questa variazione di risorsa, soprattutto negli ambienti di pianura e di bassa collina, dove il territorio è maggiormente utilizzato a fini agricoli. È utile prevedere in che misura il suolo sarà in grado di rifornire le colture sotto l'aspetto idrico, al fine di valutarne le potenzialità.

Nel suolo, il contenuto di acqua disponibile per i vegetali è intimamente legato alle caratteristiche fisiche dello stesso (tessitura, sostanza organica, struttura, profondità e mineralogia delle argille ecc..) e alle condizioni climatiche dell'area. La disponibilità di dati pedologici, colturali e climatici, consente un ottimo studio che riguarda le condizioni idriche dei vari suoli e rappresenta uno degli strumenti più validi per avere un corretto e razionale uso dell'acqua sia in campo agronomico che territoriale, indicando la presenza di zone più o meno deficitarie dal punto di vista della disponibilità idrica, e la capacità di classificare i territori a livello pedo-climatico.

Ad esempio, da tale strumento risulta possibile individuare l'idoneità dei diversi ambienti in relazione alle singole colture o gruppi di esse, evitando di far coincidere il loro sviluppo vegetativo in periodi di deficit idrico più elevato.

Inoltre, va sottolineato che in ambienti particolarmente sfavorevoli sotto l'aspetto dell'approvvigionamento idrico meteorico, e sottoposti a un regime colturale intensivo, con sfruttamento delle acque sotterranee e/o di quelle superficiali, si possa talvolta verificare un

progressivo depauperamento delle falde freatiche e un allontanamento dalle condizioni di climax dei suoli, con frequenti fenomeni di degrado. Bisogna tenere presente che i suoli più profondi e/o dotati di frazioni tessiturali più fini (limo, argilla) presentano valori di deficit idrico meno accentuati e possono nel contempo assicurare una riserva idrica maggiore nei riguardi dei vegetali, per cui il corso del deficit idrico durante l'anno varia, in relazione al valore di riserva idrica utile del suolo (ST), all'intensità della evapotraspirazione potenziale (PE) ed agli afflussi meteorici.

#### *IL BILANCIO IDRICO DI THORNTHWAITE E MATHER*

Per applicare questo metodo, abbiamo considerato i dati annuali secondo il concetto dell'annata agraria, che sono rispettivamente i mesi che vanno da settembre ad agosto. Le stazioni termo-pluviometriche di riferimento sono:

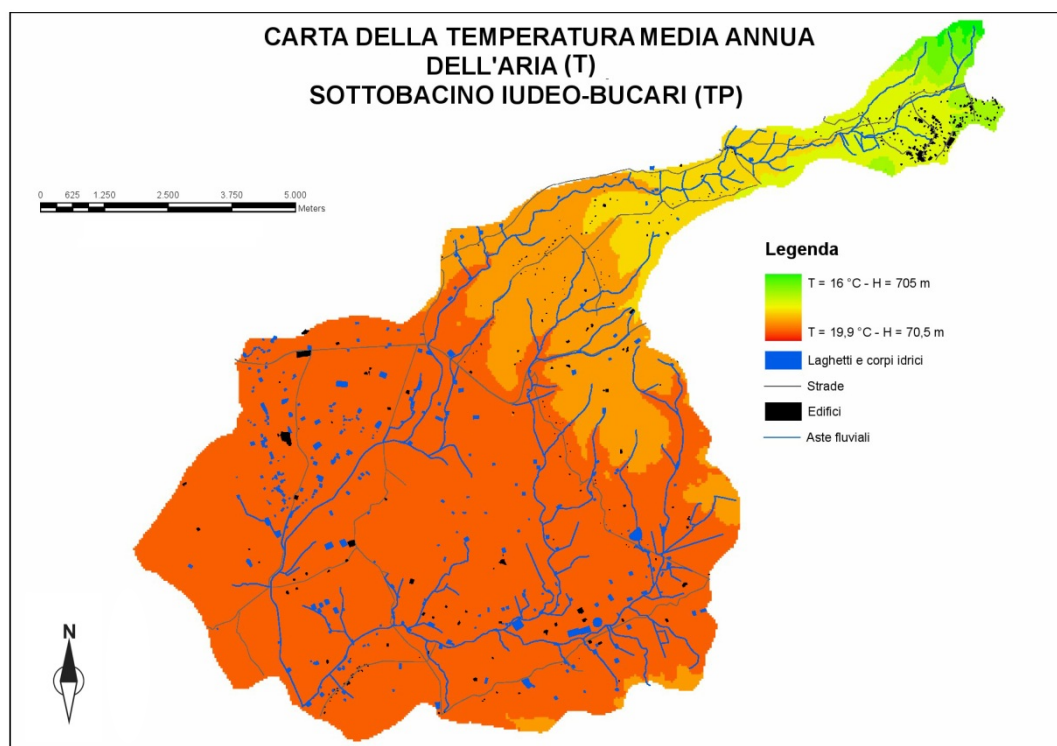
- **Stazione di Castelvetro (TP): Altezza = 190 m s.l.m – Latitudine = 37,40;**
- **Stazione di Marsala (TP): Altezza = 12 m s.l.m – latitudine = 37,48°;**
- **Stazione di Mazara del Vallo (TP): Altezza = 8 m s.l.m – Latitudine = 37,39°;**
- **Stazione di Partanna (TP): Altezza = 407 m s.l.m – Latitudine = 37,43°;**
- **Stazione di Salemi (TP): Altezza 270 m s.l.m. – Latitudine = 37, 48°.**

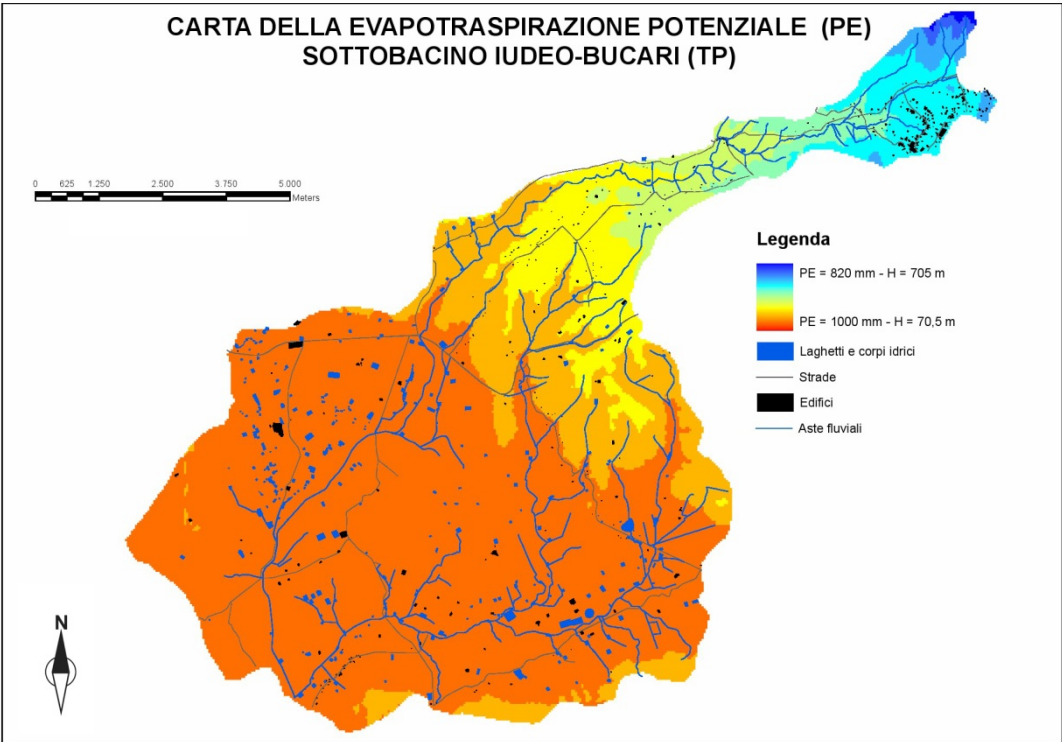
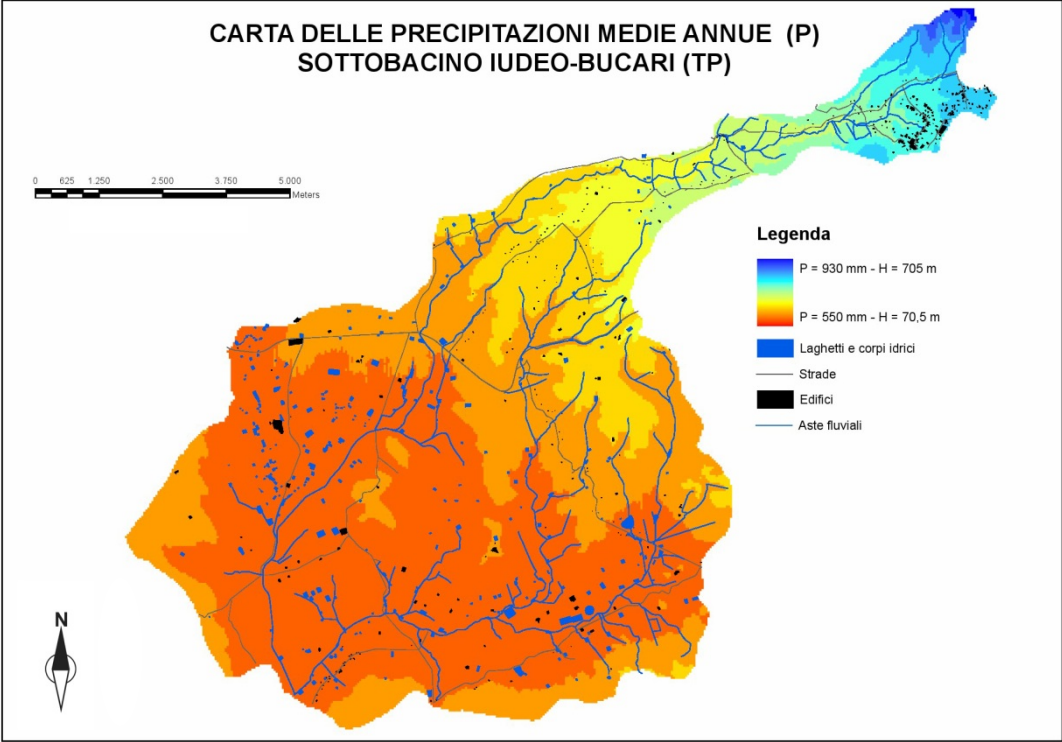
Sono stati presi in considerazione i dati di pioggia e temperature annuali forniti dal S.I.A.S. (Servizio Informatico Agrometeorologico Siciliano) di un periodo che va dal 1990 al 2011. Le stazioni termo-pluviometriche più rappresentative della variabilità pedoclimatica sono quelle di Marsala e Salemi. Trovati i dati riferiti al periodo considerato e inseriti questi, nei bilanci idrici sono stati determinati tutti i valori di Deficit, Surplus e AE che è l'evapotraspirazione effettiva. I dati determinati per una AWC del suolo di 150 mm costituiscono il dato pedoclimatico medio dell'area.

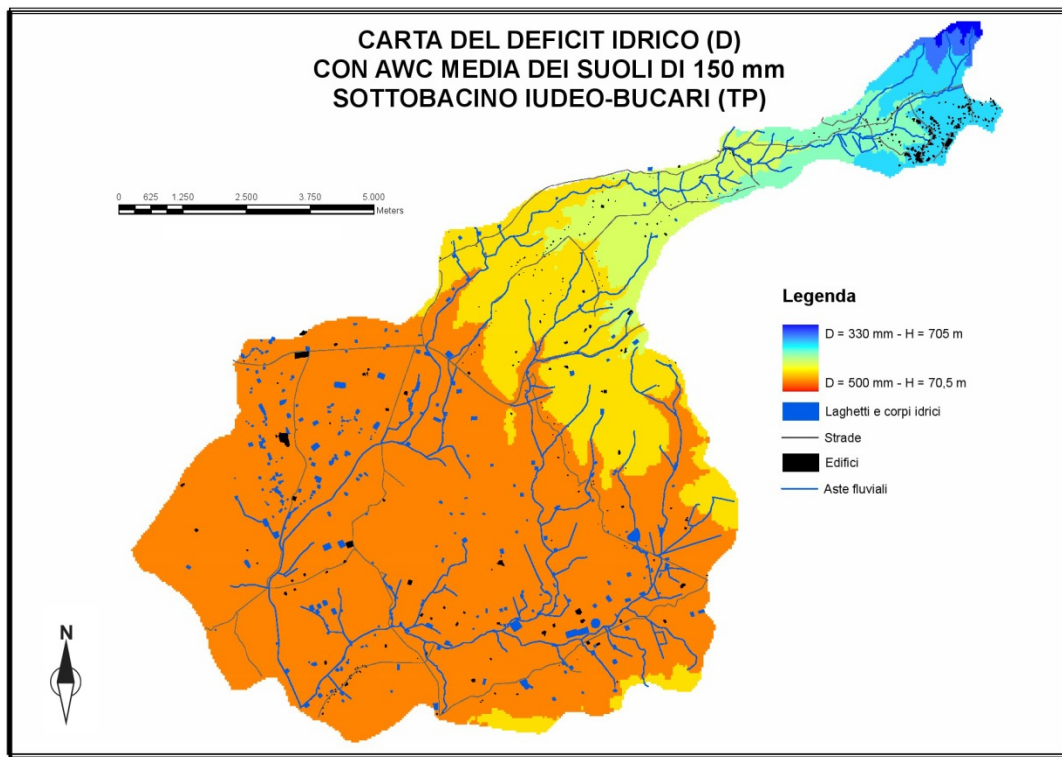
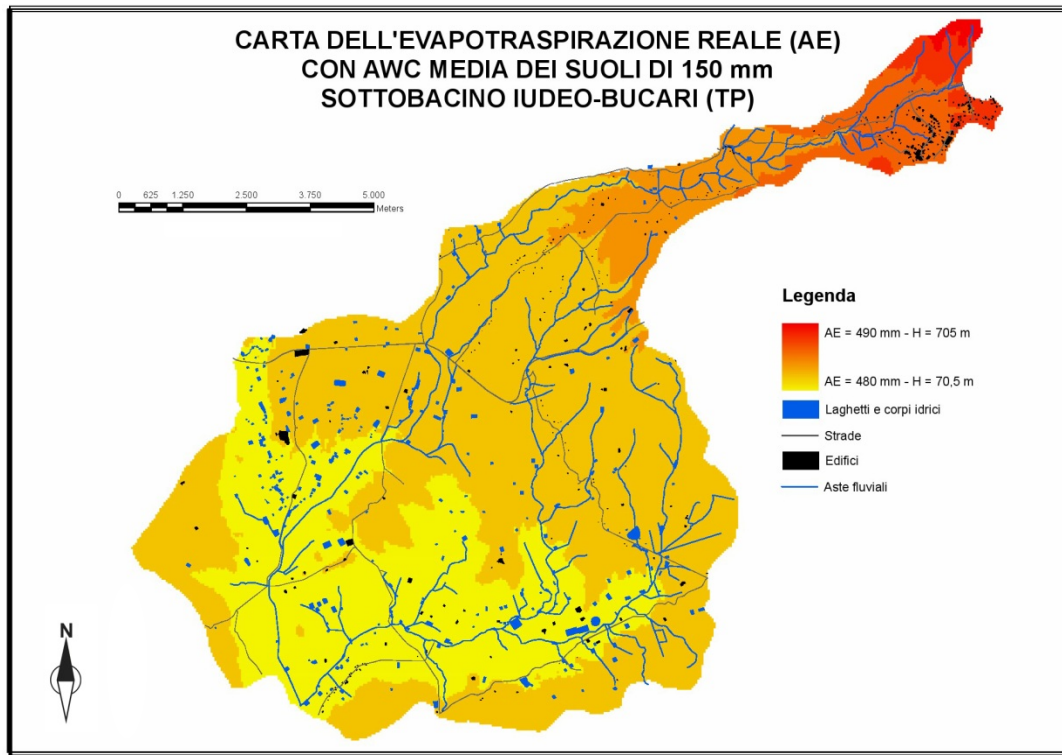
Tabella 45: Valori reali e ponderati in funzione della vulnerabilità del surplus idrico

Surplus idrico	mm/anno	Valore ponderato di vulnerabilità
Nulla o scarso	< 15	1
Limitato	15 - 59	2
Medio	60- 119	3
Forte	120 - 180	4
Eccessivo	> 180	5

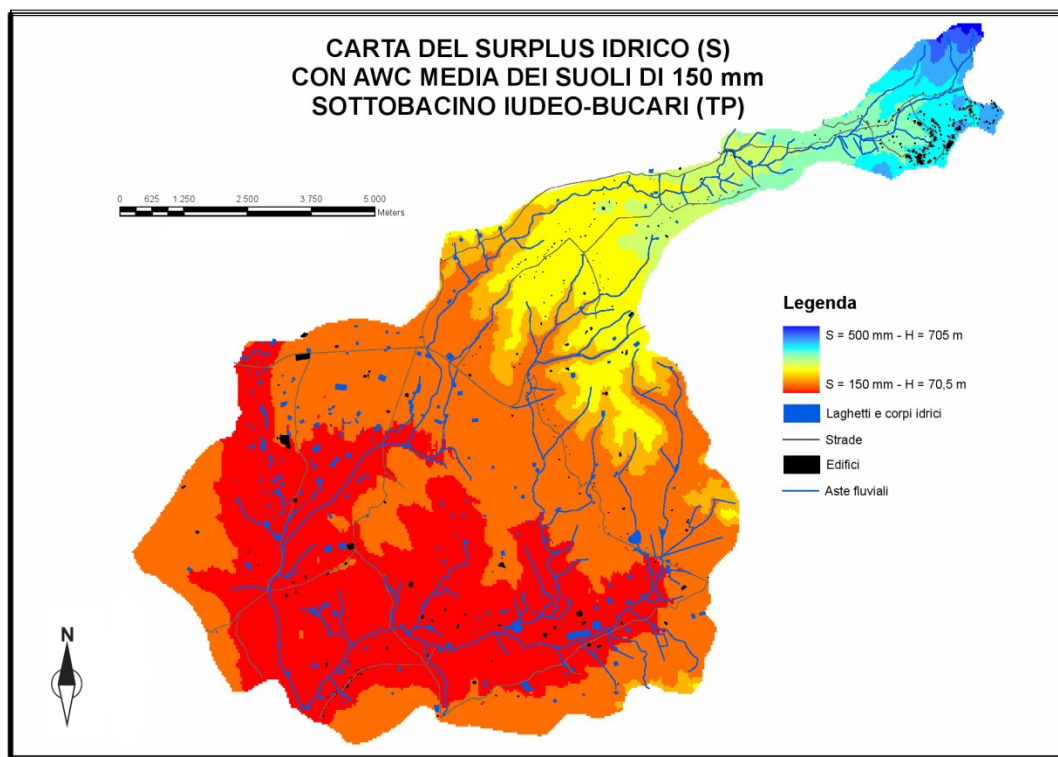
Interpolando in dati e creando un sistema grid raster con il programma arcGIS è stato possibile creare le seguenti carte:











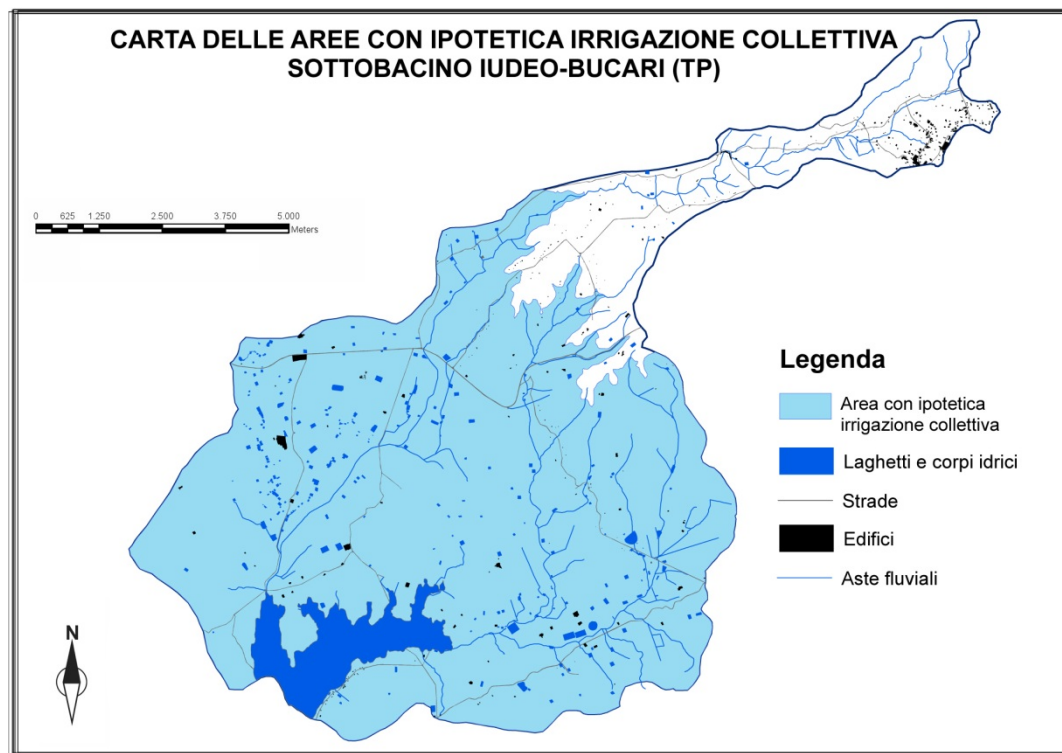
L'elaborazione dei bilanci idrici ha permesso di valutare il Surplus idrico che nell'area sottesa alla confluenza dei torrenti Iudeo e Bucari si attesta intorno ai **20 milioni di m<sup>3</sup>**. Sulla base della disponibilità di questa risorsa idrica, abbiamo ipotizzato l'utilizzo della stessa per uso irriguo invasandola in un invaso posizionato alla confluenza dei torrenti Iudeo e Bucari. Ipotizzando la costruzione dell'invaso denominato "Cuddia" (Fierotti, 1974) dimensionato per circa 15 milioni di m<sup>3</sup>, si è proceduto ad una elaborazione GIS avendo come carta di base il DEM 40 x 40 metri, utilizzato nelle precedenti elaborazioni.

Partendo dalla quota 70,5 m s.l.m. (confluenza dei torrenti Iudeo e Bucari) si è arrivati fino alla quota 85 m s.l.m. per una capacità di invaso massima di 18 milioni di m<sup>3</sup>.

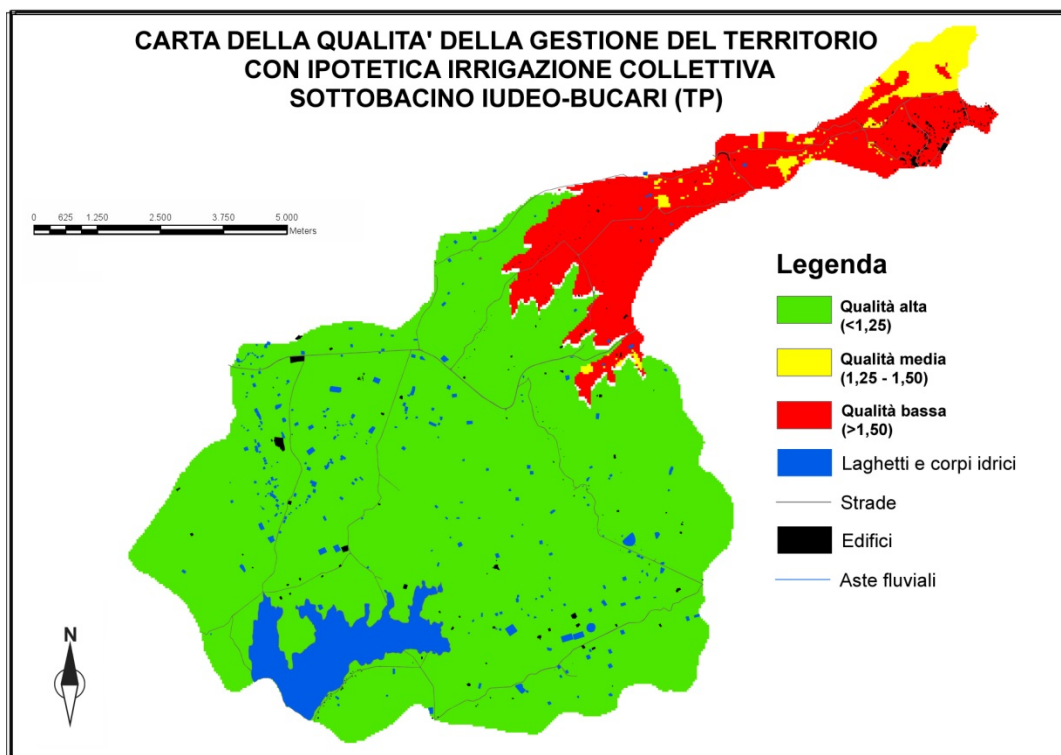
A questo punto abbiamo ipotizzato che con volumi medi stagionali di adacquamento di circa 2000 – 2200 m<sup>3</sup>/Ha necessari per trasformare in irriguo le colture in atto nell'area di studio (seminativi irrigui e vigneti) si può irrigare una superficie di 7.600 Ha (non considerando la parzializzazione irrigua ma una irrigazione annuale costante). La risorsa invasata e disponibile per l'irrigazione dovrebbe essere trasportata attraverso un sistema di reti idriche che porti l'acqua d'irrigazione fino a quota 235 m s.l.m. In alternativa si

propone di attuare una politica agricola che favorisca la realizzazione di piccoli invasi al di sotto di 100.000 m<sup>3</sup>.

Di seguito si riporta la carta delle ipotetiche aree a irrigazione collettiva



Intervenendo sulla gestione (Indice MQI dell'elaborazione dell'ESAI) e dando valore 1 all'area irrigata e lasciando i valori inalterati rispetto alla precedente carta per l'area residua, il risultato cartografico è il seguente.

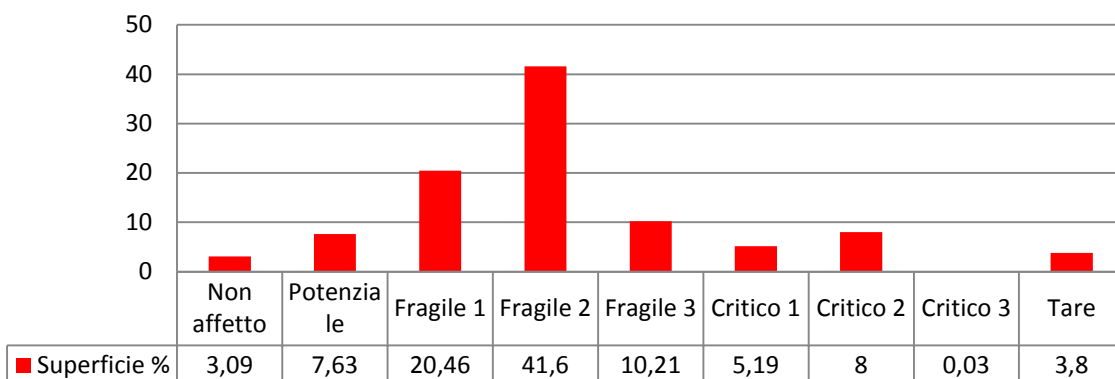


A questo punto è stato necessario ricalcolare con il comando *map algebra* la nuova “**Carta della desertificazione residua**” (allegata) che tiene conto di una gestione che attiva azioni di mitigazione della desertificazione (trasformazione da asciutto ad irrigua perpetua dei suoli).

Il risultato è sorprendente. La “**Carta della sensibilità alla desertificazione residua del sottobacino Iudeo-Bucari**” a seguito della mitigazione assume un aspetto totalmente differente della precedente “Carta della sensibilità alla desertificazione”.

Il grafico seguente mette in evidenza la diversa distribuzione delle aree relative alla sensibilità alla desertificazione.

**DISTRIBUZIONE DELLE AREE SENSIBILI ALLA DESERTIFICAZIONE RESIDUA  
NEL SOTTOBACINO IUDEO-BUCARI (TP)  
GAZZARA E RAIMONDI, 2013**



Questa volta le classi di desertificazione maggiormente rappresentate sono la fragile 2 con il 41,6% della superficie e la fragile 1 con il 20,46% della superficie.

Le classi critico 2 e critico 1 si sono considerevolmente ridotte. Si riscontra un aumento delle tare in quanto la costruzione della diga rende inutilizzabile per fini agricoli circa 1,7% della superficie totale del sottobacino Iudeo-Bucari.

## CAPITOLO 5

### CONCLUSIONI

Alla luce di quanto sopra le potenzialità di uno studio di questo tipo sono enormi. Ogni attività antropica, agricola e non, dovrebbe tener conto di queste informazioni per l'identificazione degli interventi sia in termini spaziali che temporali. Le responsabilità dell'uomo sulla sostenibilità delle risorse e quindi sulla sostenibilità della vita sono indiscusse e in questo modo anche cartografate.

Indirettamente lo studio mette in luce anche le potenzialità di ampliamento delle attività umane e ne fa uno strumento di programmazione territoriale efficiente, anche innescando un circuito occupazionale virtuoso.

In un momento storico dove le risorse finanziarie sono limitate è opportuno ottimizzare gli investimenti e quindi, rendere più preciso uno strumento di programmazione, diventa anche utile ai fini di una ottimizzazione e valorizzazione delle risorse. Il beneficio sulla collettività è immediato con possibilità di destinare le poche risorse finanziarie dove effettivamente servono, con un elevato ritorno economico e sociale. L'irrigazione della vite con acque da lieve a moderata limitazione per salinità migliora la qualità dell'uva e quindi anche del vino (Raimondi e Pollina, 2006; Scacco et al., 2010).

Nel sottobacino Iudeo-Bucari il fattore “**gestione attuale**” emerge come variabile negativa. I vigneti coltivati secondo la linea di massima pendenza e con filari lunghi più di 150 metri e le lavorazioni effettuate sempre secondo la linea di massima pendenza attivano fenomeni di erosione difficilmente mitigabili. È necessario provvedere con urgenza ad una gestione ambientale dei suoli per concretizzare il concetto di produzione agricola sostenibile.

Altre variabili sono importanti nell'approccio per il calcolo dell'indice MQI (indice della qualità della gestione antropica) quali ad esempio lo **stato strutturale dei fabbricati rurali**. Questo ultimo, infatti, se degradato, è sinonimo di abbandono e di degradazione sociale. La sensibilità della società sulla effettiva e positiva presenza dell'uomo in ambienti rurali assume il valore di una variabile positiva rendendo il territorio ameno e fruibile.

Un altro aspetto di mitigazione sono le sistemazioni idrauliche agrarie.

La nuova “Carta dei Suoli” se realizzata a scala 1:50.000 potrebbe apportare un

notevole contributo alla gestione del territorio come nella valutazione della “Sensibilità alla Desertificazione” e come strumento di campo nell’attività di assistenza tecnica delle strutture regionali.

In ultima analisi questo tipo di studio pone le base anche per la redazione di piani d’intervento per invertire andamenti negativi di gestione delle risorse ambientali che risultano sensibili alla desertificazione.

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. – *Arcview GIS* – USA, Environmental Systems Research Institute, 1996.
- AGRIMI M., LEONE A. - *Le opere di regimazione fluviale in rapporto all'ambiente* -in “Economia Montana”, 1989.
- ALLEN R. G., PEREIRA L. S., RAES D., SMITH M., 1998. Crop evapotranspiration. *Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Roma.
- AMBROSETTI P., BOSI C., CARRARO F., CIARANFI N., PANIZZA M., PAPANI G., VEZZANI L. & ZANFERRARI A. (1983) – *Carta neotettonica d'Italia (F. 5-6)*. C.N.R. P.F.G., neotettonica, L.A.C., Firenze.
- ANPA(2001) *Atlante degli indicatori del suolo*. RTI CTN\_SSC 3.
- ANTOLINI G., ZINONI F., SELVINI A., 2004. *Specializzazione delle previsioni meteorologiche per la stima delle gelate*. In: CRPV, Centro Ricerche Produzioni Vegetali. “Previsione e difesa dalle gelate tardive - Risultati del progetto DIsgELO”, Notiziario Tecnico CRPV n. 70, pp. 49-63, Cesena.
- ANTONINO DRAGO – *Atlante climatologico della Sicilia* (2005) – Seconda edizione - Regione Siciliana – Assessorato Agricoltura e Foreste SIAS - Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano
- ARISCO G., ARNONE G., FAVARA R., GRECO D., NIGRO F., PERRICONE M., RENDA P. (2008) – *Carta della vulnerabilità alla desertificazione della Regione Sicilia*
- ARNOLD J.G., WILLIAMS J.R., SRINIVASAN R., KING K.W., – *SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL)* – Blackland research center Texas Agricultural Experiment Station, Temple – Texas, 1999.
- ARONOFF S., -*Geographic Information System. a management perspective*. Ottawa - WDL Publ., 1989.
- ARPA Sicilia – *Tavolo tecnico interagenziale “Gestione sostenibile delle Risorse Idriche”* – Palermo 2003.
- BARLUND I., GALBIATI L. – *Water balance, erosion and nutrient processes in SWAT and ICECREAM* – in “Rapporto CHES (Climate, Hydrochemistry and economics of surface water systems) ECN FP, Contract ENV 4 - CT 97 - 0440”, 2000.
- BRANDT J., GEESON N. & IMESON A. (2003). *A desertification indicator system for Mediterranean Europe*. DESERTLINKS Project ([www.kcl.ac.uk/desertlinks](http://www.kcl.ac.uk/desertlinks))
- CATALANO R. & D'ARGENIO B. (1982) - *Schema geologico della Sicilia*. In: *Catalano R. e D'Argenio B. Eds., Guida alla geologia della Sicilia occidentale*. Guide geologiche regionali della SGI, Suppl. A., XXIV, 9-41 Palermo.
- CENTRO INTERNAZIONALE DI CULTURA SCIENTIFICA ETTORE MAJORANA – *Le basi agronomiche ed efficienza dell'irrigazione negli ambienti mediterranei* – Arti Grafiche Siciliane – Palermo 1974.

- CHIARANTINI L., (1996), *Abruzzo Region: Soils*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (“MEDALUS” II Project 4) ““MEDALUS”: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.
- CIVITA M. -*La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Relazione generale* - in “Atti 10 convegno nazionale Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: Metodologia, Tecnologia e Obiettivi, Modena, 1990.
- CIVITA M., *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, teoria e pratica*. Bologna Pitagora Editrice, 1994.
- COMITATO NAZIONALE PER LA LOTTA ALLA DESERTIFICAZIONE (1998). *Comunicazione nazionale alla Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta contro la desertificazione nei paesi gravemente colpiti dalla siccità e/o desertificazione, con particolare urgenza in Africa (UNCCD)*. [www.desertification.it](http://www.desertification.it)
- COMITATO NAZIONALE PER LA LOTTA ALLA DESERTIFICAZIONE (1999). *Carta delle Aree Vulnerabili al Degrado del Territorio e Sensibili al Fenomeno della Desertificazione*. Redazione a cura del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale - Dip. Servizi Tecnici Nazionali - Ministero dell'Ambiente.
- CONESE C., (1996), *Abruzzo Region: GIS*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (“MEDALUS” II Project 4) ““MEDALUS”: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.
- COSTANTINI E.A.C. (a cura di) (2007). *Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici*. CRA – ABP, Firenze.
- COSTANTINI E.A.C. (coordinatore) (2006). *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*. Edizioni Cantagalli, Siena
- D’OTTAVIO, P. BAFFARI, V. TRIVIGNO (2004). *Carta delle aree sensibili alla desertificazione in Basilicata* (Progetto DesertNet).
- DISforME Project - Sito web: <http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/>
- DISMED (2003). *Map of Sensitivity to Desertification and Drought in the Mediterranean Basin - Italy* ([http://dismmed.eionet.eu.int/Facilities/dismmed\\_products](http://dismmed.eionet.eu.int/Facilities/dismmed_products))
- DRAGO A., 2002. *Atlante climatologico della Sicilia, seconda edizione*. Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano, Palermo.
- ENNE G., ZUCCA C. (2000) *Indicatori di desertificazione per il Mediterraneo europeo: stato dell'arte e proposte di metodo*, ANPA. Rome ISBN – 88-448-0272-4.
- FAO/UNEP, (1984). *Provisional Methodology for assessment and mapping of desertification*. Published by FAO in 1984. ISBN 92-5-101442-6.
- FERRARA A., A. BELLOTTI, S. FARETTA, G. MANCINO, M. TABERNER (1999). *Identification and assessment of Environmentally Sensitive Areas by Remote Sensing*. “MEDALUS” III 2.6.2. OU Final Report.



- FERRARA, A. BELLOTTI, S. FARETTA, G. MANCINO, P. BAFFARI, A. D'OTTAVIO, V. TRIVIGNO (1999). *Map of environmental sensitivity areas to desertification for the Basilicata region, Italy.*
- FERRO V., (2008). *Atlante della qualità dei suoli del bacino del fiume Imera Meridionale.*
- FERRO V., (2008). *Linee guida per l'applicazione della Universal Soil Loss Equation (USLE) in ambiente mediterraneo.* Quaderni di Idronomia Montana 28/1.
- FIEROTTI G. (1974). *La Sicilia e le sue zone irrigue..*
- GIULIANO G., PELLEGRINI M., ZAVATTI A. – *Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi 11* – Pubblicazione GNDICI-CNR n.1175, Bologna, Pitagora Editrice, s.d.
- HOFMANN A., CIBELLA R., BERTANI R., MIOZZO M., FANTONI I., LUPPI S. (a cura di) 2011 – *Strumenti conoscitivi per la gestione delle risorse forestali della Sicilia.* Sistema Informativo Forestale. Assessorato Territorio ed Ambiente. Regione Siciliana 208 pp.
- INEA Istituto Nazionale dell'Economia Agraria– *Ottimizzazione dell'uso delle risorse idriche, convenzionali e non, in sistemi colturali sostenibili* – Palermo 2001.
- INEA Istituto Nazionale dell'Economia Agraria– *Stato dell'irrigazione della Sicilia* – 2001.
- ISSDS, INEA, Regione Sardegna, Regione Sicilia, Regione Calabria, Regione Puglia (2005). *Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione.*
- ISTAT - *Atlante Statistico dei Comuni*, ed 2005 e 2008
- ISTAT 2001. *V Censimento Nazionale dell'Agricoltura. Database on line: sezione 5-Consistenza degli allevamenti.*
- JRC – INEA (2003). *Identification of Environmentally Sensitive Areas (ESAs) in the country of the Annex IV (Portugal, Spain, Italy, Greece, Turkey) UNCCD convention* – brief methodological note.
- KOSMAS C., FERRARA A., BRIASOULI H., IMESON A., (1999). *Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification.* In *'The "Medalus" project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification.* Edited by: C. Kosmas, M.Kirkby, N.Geeson. European Union 18882. pp: 31-47 ISBN 92-828-6349-2.
- KOSMAS C., KIRKBY M., GEESON N. 1999. *Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification.* In: the "MEDALUS" project – Mediterranean desertification and land use. European Commission, Brussels.
- KOSMAS C., KIRKBYM., GEESON N. (1999) *The "Medalus" project. Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification.* European Commission.
- KOSMAS C., MOUSTAKAS N., DANALATOS N.G., AND YASSOGLOU N. 1995. *The effect of land use change on soil properties and erosion along a catena.* In: J. Brandt and J. Thornes (eds), *Mediterranean desertification and land use*, John Wiley & Sons, 271-299 pp.

- KOSMAS C., POESEN J., BRIASSOULI H. 1999. *Key indicators of desertification at the ESA scale*. In: the “MEDALUS” project – Mediterranean desertification and land use. European Commission, Brussels.
- L. GENESIO, R. MAGNO, V. CAPECCHI, A. CRISCI, L. BOTTAI, R. FERRARI, L. ANGELI, L. GARDIN (2004). *Integrazione dei dati climatici, telerilevati e socio-economici per la definizione di indicatori di vulnerabilità alla desertificazione* (Progetto DesertNet).
- L. GIORDANO, F. GIORDANO, S. GRAUSO, M. IANNETTA, L. ROSSI, M. SCIORTINO, G. BONATI (2002). *Individuazione delle zone sensibili alla desertificazione nella regione Siciliana*. In: “Valutazione e mitigazione della desertificazione nella Regione Sicilia: un caso studio, pp. 27-47. A cura del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio”. ENEA, Roma.
- LUISE A., VITI S., GIORDANO F., MARRA CAMPANALE R. (2004) “Le azioni pilota: linee guida per la loro definizione e prime osservazioni sulle attività operative dei Partner”. Rapporto tecnico realizzato nell’ambito del Progetto DesertNet (Interreg IIIB)
- LUISE A., VITI S., GIORDANO F., MARRACAMPANALE R. (2004) “Indicatori di desertificazione: aspetti generali, metodologie di mappatura delle aree sensibili, indici di aridità e di siccità, caratteristiche socio-economiche”. Rapporto tecnico realizzato nell’ambito del Progetto DesertNet (Interreg IIIB).
- M. SCIORTINO (2003) *Qualità e ambiente – La lotta alla desertificazione, l’attività dell’ENEA con riferimento particolare alla Sicilia*.
- MARIANI L., (1996), *Abruzzo Region: Meteorology*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (“MEDALUS” II Project 4) ““MEDALUS”: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.
- MARINI, L. NAITZA, D. MACCIOTTA, S. ORRÙ (2004). *La cartografia delle aree a rischio desertificazione* (Progetto DesertNet)
- MOTRONI, S. CANU, G. BIANCO, G. LOJ (2004). *Carta delle aree sensibili alla desertificazione – ESAs* (Progetto DesertNet).
- NICCOLAI M., (1996), *Abruzzo Region: Climatology, Remote Sensing and Socio-economics*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (“MEDALUS” II Project 4) ““MEDALUS”: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.
- OECD *core set of indicators for environmental performance reviews*
- POSTIGLIONE L., (1996), *Agri Basin: Vegetation Survey*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (“MEDALUS” II Project 4) ““MEDALUS”: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.
- PREVITALI F., (1996), *Abruzzo Region and Sardinia: Geomorphological Processes*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (“MEDALUS” II Project 4) ““MEDALUS”: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.

- RAIMONDI S., 2002. *I suoli siciliani di fronte al processo di desertificazione. Convegno: Desertificazione la nuova emergenza del bacino del mediterraneo. Stazione Consorziale Sperimentale di Granicoltura per la Sicilia Caltagirone (CT)*. Union Printing Viterbo, pp. 97-104.
- RAIMONDI S., CALCATERRA N., 2011. *Il centro abitato di San Fratello e le frane. Il territorio della frana di San Fratello. Sicilia Foreste anno XIX, 61: 17-39.*
- RAIMONDI S., LUPO M. 1998. *Il clima ed il pedoclima dei suoli della Sicilia occidentale. Sicilia Foreste anno V, 19/20: 59-64.*
- RAIMONDI S., POLLINA N., 2006. Una nuova classazione per valutare la salinità dell'acqua nei comprensori irrigui caldo-aridi dell'Italia meridionale. Atti del IV convegno Associazione Italiana Società Scientifiche Agrarie (AISSA). "Qualità e sostenibilità delle produzioni agrarie, alimentari e forestali". Mosciano Sant'Angelo (TE), 5-6 Dicembre 2006. Università degli Studi di Teramo, Facoltà di Agraria pp. 187-188.
- RAIMONDI S., POMA I., FRENDIA A.S. (1997). *Il pedoclima come fattore di sensibilità ambientale: esempio di metodologia applicata all'agro di Sparacia-Cammarata (AG)*. Rivista di Agronomia XXXI, n 3, pp. 726-733.
- RAIMONDI S., POMA I., LUPO M., DI LEO M., 2000. *Clima, pedoclima e rischi per l'attività vegetativa delle piante erbacee sui monti Sicani (Sicilia)*. Bollettino della SISS, 49 (3): 591–597; 662-677.
- RAIMONDI S., BARRACO F.M., 3, GAZZARA LUCA (2012). *Valutazione della sostenibilità dell'attività antropica in un ambiente prevalentemente caldo-arido della Sicilia centro occidentale.*
- REGIONE SICILIANA – ASSESSORATO TERRITORIO ED AMBIENTE – *Carta della vulnerabilità alla desertificazione della Sicilia* – Palermo 2008.
- REGIONE SICILIANA – ASSESSORATO TERRITORIO ED AMBIENTE – *Carta della sensibilità alla desertificazione in Sicilia* – Palermo 2011.
- REGIONE SICILIANA - ASSESSORATO TERRITORIO ED AMBIENTE – *Relazione sullo stato dell'ambiente in Sicilia 2002* – Tipografia Zangara – Novembre 2003 – cap. 11, pp 3-134.
- REGIONE SICILIANA - ASSESSORATO TERRITORIO ED AMBIENTE – *Relazione sul Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Mazzo.*
- S. CARNEMOLLA, A. DRAGO, M. PERCIABOSCO, F. SPINNATO (2002) *Metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250.000 sulle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia.*
- SANTINI A., (1999), *Application of the MEDRUSH Model to the Agri*, in Final Report Covering the Period 1 January 1996 to 31 December 1998, ("MEDALUS" III Project 1) "“MEDALUS”: Mediterranean Desertification and Land Use”.
- SCACCO A., VERZERA A., LANZA C. M., SPARACIO A., GENNA G., RAIMONDI S., TRIPODI G., DIMA G., 2010. Influence of Soil salinity on sensory characteristics and volatile aroma compounds of Nero d'Avola wine. American Society for Enology and Viticulture. 61:4; pp 498-505. DOI 10.5344/ajev.2010.10003. issn: 0002-92.

- SOIL SURVEY STAFF (1994), *Soil Survey Manual, Agricultural Handbook n. 18, USDA, Natural Resources Conservation Service*, Washington D.C., USA.
- THORNES J. B., MAIROTAP., (1995), “*Medalus*”: *Achievements and Prospects*, in Proceedings of the Conference held in Sassari, Italy, 25 May 1994 “Land Use and Soil Degradation: “MEDALUS” in Sardinia”, eds. Enne G., Pulina G., Aru A., Alghero.
- UNCCD (1977). *Desertification: its causes and consequences*. Pergamon Press, Oxford, UK.
- UNEP (1997). *World Atlas of Desertification* (second Edition). London, Arnold Ed.

## SITOGRAFIA

- ENEA - *Inaridimento e salinizzazione del suolo*
- [www.enea.it/it/enea\\_informa/events/...giu2012/PagliariNapoli.pdf](http://www.enea.it/it/enea_informa/events/...giu2012/PagliariNapoli.pdf)
- *MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO*
- [www.minambiente.it/export/sites/.../PAL-REGIONE\\_LIGURIA.pdf](http://www.minambiente.it/export/sites/.../PAL-REGIONE_LIGURIA.pdf)
- *MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO*
- [www.minambiente.it/export/sites/.../PAL\\_CAMPANIA-PARTE\\_I.PD](http://www.minambiente.it/export/sites/.../PAL_CAMPANIA-PARTE_I.PD)
- *MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO - La desertificazione*
- [www.minambiente.it/export/sites/default/archivio/.../Scheda\\_2.pdf](http://www.minambiente.it/export/sites/default/archivio/.../Scheda_2.pdf)
- *MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO - Raccolta ed analisi di indicatori ambientali*
- [www.minambiente.it/.../Raccolta\\_ed\\_analisi\\_di\\_indicatori\\_ambientali](http://www.minambiente.it/.../Raccolta_ed_analisi_di_indicatori_ambientali)
- SARDEGNA AGRICOLTURA - Salinizzazione dei suoli nelle piane agricole
- [www.sardegnaagricoltura.it](http://www.sardegnaagricoltura.it) > pubblicazioni > studi e ricerche

# **ALLEGATI**