



Rendiconti

Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL

Memorie di Scienze Fisiche e Naturali

125° (2007), Vol. XXXI, P. II, t. I, pp. 311-328

PIERMARIA CORONA* – MARIA CRISTINA MONTEVERDI**
ANNA BARBATI** – ISACCO BERITOGNOLO**
MANUELA BALZAROLO** – MONIA SANTINI** – SARA DA CANAL**
GIOVANBATTISTA DE DATO** – GERARDO FRATINI**
ELENA KUZMINSKY** – GRAZIA ABBRUZZESE** – MAURIZIO SABATTI**
PAOLO DE ANGELIS** – RICCARDO VALENTINI**

Linee di ricerca forestale a supporto della lotta alla desertificazione

Abstract – The United Nation Convention to Combat Desertification acknowledges the primary importance role to the Science and Technology for combating desertification. Forestry measures have always been considered a fundamental tool to combat desertification. In this perspective, the Department of Forest Environment and Resources of the University of Tuscia (Viterbo, Italy) has started and developed several and innovative studies, both on local and global scales. Each research line integrates different aspects of the desertification processes, and in this paper some examples are provided, mainly related to environmental process modelling and monitoring, forest management in desert and degraded land, reforestation and afforestation of semi-arid and arid land.

Keywords: desertification, climate changes, forest management, afforestation, environmental modelling

Riassunto – La Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla siccità e alla desertificazione riconosce un ruolo di primaria importanza alla scienza e alla tecnologia nella lotta alla desertificazione. In questo ambito le misure forestali sono sempre state considerate uno strumento fondamentale. In merito, il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse dell'Università degli Studi della Tuscia ha intrapreso e sviluppato molteplici

* Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (DISAFRI), via San Camillo de Lellis, 01100 Viterbo (Italy). Membro della Commissione Tecnico-Scientifica del Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione. E-mail: piermaria.corona@unitus.it - Autore con cui corrispondere.

** Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (DISAFRI), via San Camillo de Lellis, 01100 Viterbo (Italy).

studi innovativi, su scala sia locale che globale. Ciascuna linea di ricerca integra aspetti diversi delle problematiche connesse ai processi di desertificazione e, a scopo illustrativo, ne vengono descritti alcuni esempi, con riferimento a: modellistica e monitoraggio ambientale, gestione forestale nei territori a rischio di desertificazione, rimboschimento di ambienti aridi e semiaridi.

Parole chiave: desertificazione, cambiamenti climatici, gestione forestale, rimboschimento, modellistica ambientale

1. INTRODUZIONE

La desertificazione è uno dei più allarmanti processi di degradazione ambientale a scala globale, che interessa le zone aride e semi-aride di tutti i continenti, compreso quello europeo, e minaccia oltre un terzo della popolazione mondiale. Le aree desertificate nelle quali si è verificato nel tempo un declino persistente e irreversibile della capacità produttiva dei terreni per usi agricoli e forestali, rappresentano verosimilmente tra il 10% e il 20% delle zone aride del pianeta.

Il fenomeno produce conseguenze drammatiche a scala locale determinando marginalizzazione e povertà; conseguenze che si spingono oltre le zone affette, determinando, a esempio, massicci flussi migratori dai Paesi Africani verso l'Europa. Ogni anno, desertificazione e siccità causano una perdita di produzione agricola stimata intorno a 42 miliardi di dollari. Da ciò nasce la necessità di studiare e sviluppare strategie operative per prevedere, mitigare e combattere tali processi. In questo ambito le misure forestali sono sempre state considerate uno strumento fondamentale. Anzi, è stato affermato che le pratiche forestali (gestione razionale dei boschi, difesa dagli incendi, rimboschimenti) siano nate proprio dall'osservazione che l'utilizzazione incontrollata delle risorse boschive si è tradotta inesorabilmente in processi degradativi che, in zone aride e subaride, hanno come esito l'avanzata del deserto [4].

La Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla siccità e alla desertificazione riconosce un ruolo di primaria importanza alla scienza e alla tecnologia nella lotta alla desertificazione. In questa prospettiva, il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse dell'Università degli Studi della Tuscia ha intrapreso e sviluppato molteplici studi innovativi, su scala sia locale che globale. Ciascuna linea di ricerca integra aspetti diversi delle problematiche connesse ai processi di desertificazione: a scopo illustrativo ne vengono descritti, in modo selettivo, alcuni esempi.

2. MODELLISTICA E MONITORAGGIO AMBIENTALE

2.1. *Valutazione del rischio di desertificazione*

Il monitoraggio e la modellistica ambientale sono riconosciuti come fondamentali strumenti di supporto alle decisioni. In questo ambito è stato sviluppato un sistema di modelli integrati in ambiente GIS per la valutazione e il monitoraggio delle aree a rischio di desertificazione.

La valutazione del rischio di desertificazione è diventato un obiettivo primario per la tutela ambientale, recentemente anche nell'area mediterranea. Assumendo il fenomeno di desertificazione come l'interazione tra fattori predisponenti (es: localizzazione geografica), scatenanti (es: eventi climatici estremi) ed acceleranti (es: le attività umane), è stata sviluppata una nuova metodologia [22] che combina insieme, nella struttura di un modello integrato, numerosi indicatori di desertificazione, precedentemente sviluppati da vari progetti relativi all'area mediterranea (es: Desertlinks – Combating Desertification in Mediterranean Europe: Linking Science with Stakeholders) integrandoli nello schema DPSIR (Driving forces, Pressure, State, Impact, Response). Il presente approccio è stato applicato per valutare il rischio di desertificazione in Sardegna, in un progetto finanziato dalla stessa Regione. È stato realizzato un database multitematico processato ed organizzato in ambiente GIS allo scopo di fornire gli input per cinque modelli riguardanti processi di degrado tipici dell'area di studio: erosione idrica, erosione eolica, degrado biologico del suolo, perdita della produttività della vegetazione, salinizzazione degli acquiferi costieri, sovrappascolamento. Le quantità risultanti dalla modellazione di tali processi sono state normalizzate in indici variabili da 0 (nessun degrado) a 1 (degrado irreversibile) che hanno fornito una mappa di rischio per ciascun processo di degrado. L'intera procedura è stata applicata per due differenti periodi secondo la disponibilità di dati: l'inizio degli anni novanta ed i nostri giorni. I dieci indici di degrado ottenuti sono stati integrati in un indice finale, combinando in questo modo differenti fattori di desertificazione, la loro intensità, e la loro rapidità di variazione, e dando pesi diversi sia secondo l'importanza di un singolo processo sia secondo la qualità dei dati di input. L'indice integrato di desertificazione finale (IDI – Integrated Desertification Index) ha un range di variazione da 0 (nessun degrado) a 1 (degrado irreversibile: desertificazione).

La metodologia ha permesso di evidenziare la variabilità spaziale e temporale del fenomeno di desertificazione, oltre a stimare la vulnerabilità del territorio rispetto a ciascun singolo processo di degrado. Dalla stima della vulnerabilità ambientale ed unitamente ad aspetti più strettamente socio-economici riguardanti possibili scenari di cambiamenti di uso del suolo, è possibile identificare aree a differente rischio per il futuro, in un approccio GIS-orientato, fornendo un utile strumento per predisporre misure di prevenzione, adattamento o mitigazione contro la desertificazione.

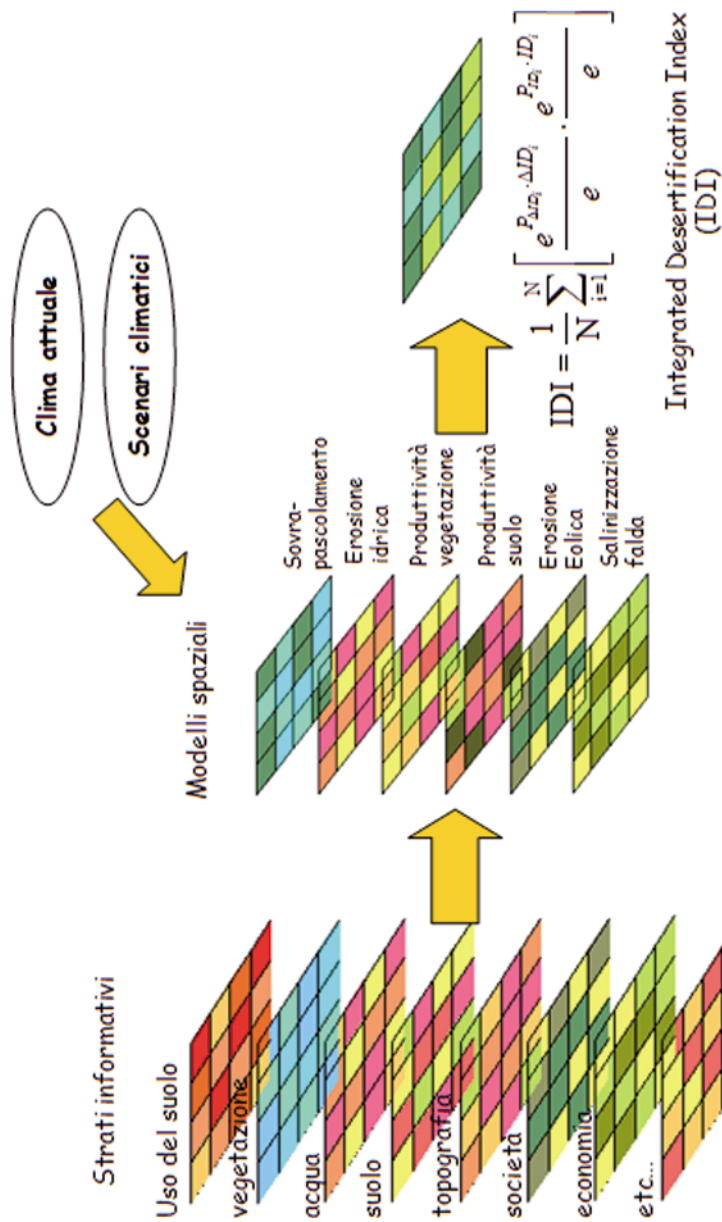


Fig. 1. Schema della metodologia applicata per la valutazione del rischio di desertificazione in Sardegna.

2.2. *Impatto dei cambiamenti climatici sulla vegetazione forestale*

Un approccio per simulare il processo dell'effetto di cambiamenti climatici è stato applicato in aree semiaride della Sardegna nell'ambito del progetto di ricerca europeo Vulcan (Vulnerability assessment of shrubland ecosystem in Europe under climate change) [7]. È stato a tal fine realizzato un esperimento pluriennale per studiare l'impatto dei cambiamenti climatici (incremento della temperatura e prolungamento dell'aridità) sulle formazioni arbustive, mediante un sistema di manipolazione di pieno campo a ridotta artificialità. Il sistema (Fig. 2) prevede l'uso di teli ritraibili che coprendo la vegetazione durante le ore notturne riflettono parte della radiazione termica riemessa [8]. Il sistema può essere utilizzato anche per ridurre l'apporto idrico delle precipitazioni.

La ricerca ha previsto lo studio dei processi che avvengono a livello sia di piante (crescita, fenologia, produzione di lettiera, crescita radicale, allocazione dei nutrienti) che di suolo (respirazione, decomposizione della lettiera, mineralizzazione dell'azoto, micro- e meso-fauna, soluzione circolante). Gli obiettivi di lungo termine prevedono la costruzione di scenari di vulnerabilità ai cambiamenti climatici e la determinazione del livello di rischio degli ecosistemi arbustivi, considerando la perdita di biodiversità e funzionalità ed i fattori di pressione socio-economici a seguito dei cambiamenti climatici, al fine di individuare possibili azioni di gestione che possono controbilanciarne gli effetti negativi [9, 17].

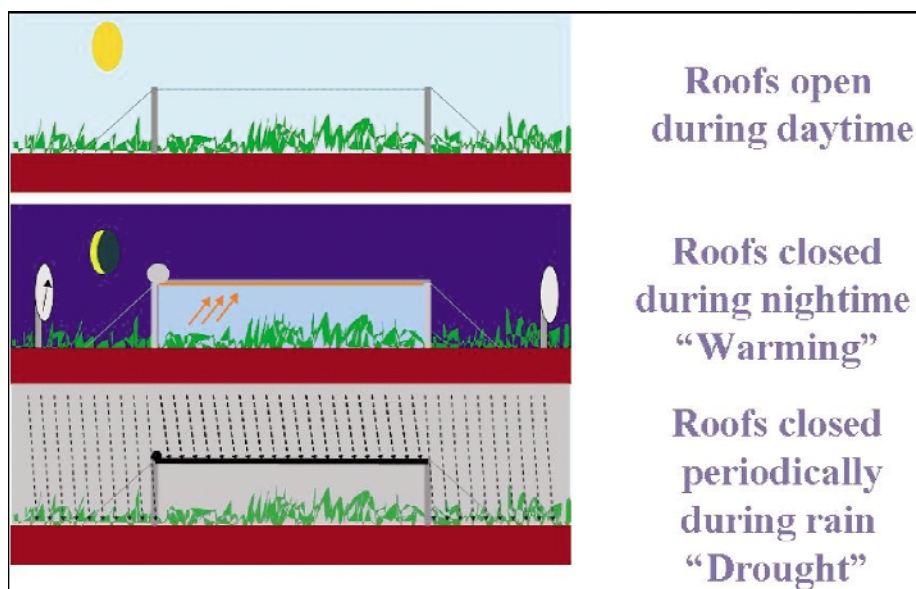


Fig. 2. Sistema di manipolazione climatica nell'area dimostrativo-sperimentale del progetto Vulcan in Sardegna.

2.3. Strumenti di misura

Per caratterizzare in termini quantitativi le potenzialità di emissione di polveri fini, e quindi la suscettibilità del suolo all'erosione eolica, è stato messo a punto e brevettato un innovativo strumento di misura delle emissioni di polveri a seguito di erosione eolica, basato sulla tecnica *eddy covariance* (Fig. 3). Lo strumento permette di caratterizzare in termini quantitativi le potenzialità di emissione di polveri fini di diversi suoli in aree desertiche e degradate in relazione a diverse coperture vegetali, potendo così classificare e mappare diverse tipologie di suolo in base alla loro suscettibilità all'erosione eolica.

A livello applicativo, i dati ottenuti dall'impiego di questo strumento sono stati utilizzati come input nell'ambito del progetto italo-cinese Windust (Cooperation project to combat dust storms in northern China and in Beijing) per un modello di trasporto atmosferico allo scopo di analizzare in che misura interventi di mitigazione in aree desertiche possano apportare reali benefici sia localmente che su scala continentale [10].

3. GESTIONE FORESTALE NEI TERRITORI A RISCHIO DI DESERTIFICAZIONE

Se arrestare l'avanzamento dei processi di desertificazione è impossibile, è invece plausibile contenerli, adottando un approccio basato sulla diffusione di una cultura della prevenzione nei territori a rischio di desertificazione.



Fig. 3. Strumento basato sulla tecnica *eddy covariance* per la misura dell'erosione eolica.

Il ruolo che il settore forestale può svolgere a tal fine è significativo, secondo un approccio proattivo e adattativo che si concretizza nella gestione forestale sostenibile e si pone come primo obiettivo il mantenimento dell'efficienza funzionale delle foreste, o il suo ripristino nel caso di sistemi degradati. Essa svolge un ruolo essenziale nel prevenire e mitigare i processi di degrado nei sistemi forestali, determinando l'aumento di resilienza del sistema ai disturbi, nonché il recupero delle molteplici funzioni ad esso associate. La gestione forestale sostenibile aiuta, quindi, a ridurre i costi per contrastare i processi di desertificazione nei territori sensibili, nonché i costi economici e sociali che tali fenomeni producono nelle zone colpite (marginalizzazione).

In questa ottica sono stati elaborati standard operativi (*best practices*) per la gestione forestale sostenibile nelle aree sensibili ai processi di desertificazione in Italia [5]. Gli standard sono rivolti principalmente alle Amministrazioni pubbliche responsabili della programmazione forestale regionale e della regolamentazione in materia forestale e configurano un quadro di azioni programmatiche orientate alla realizzazione di interventi concreti a favore della gestione forestale sostenibile. Le questioni operative più stringenti attengono alla lotta ai fattori di degrado e al recupero, attraverso idonei interventi colturali, della funzionalità ecosistemica delle biocenosi.

4. RIMBOSCHIMENTO DI AMBIENTI ARIDI E DEGRADATI

La ricostituzione di una copertura forestale attraverso il rimboschimento di terreni in condizioni di degrado pedologico-vegetazionale ha storicamente rappresentato uno dei principali strumenti di intervento per la sistemazione e recupero delle aree degradate e interessate da processi di desertificazione.

La lotta al degrado dei suoli ha sempre visto i rimboschimenti come strumento fondamentale. Con rimboschimento viene indicato in modo generico un intervento di ricostituzione di soprassuoli forestali attraverso l'impianto di specie arboree, ed eventualmente arbustive, che può essere realizzato con differenti finalità: (a) costituire un soprassuolo per la produzione di materiale legnoso in grande quantità o di alta qualità; (b) rappresentare l'input per il ripristino di un sistema naturale.

La scelta dei siti di intervento e dei metodi colturali applicati discendono dalle finalità sopraindicate. Gli impianti di cui al punto (a) sono generalmente realizzati in aziende agrarie (es. in Europa terreni con colture agricole in eccedenza o ritirati dalla produzione) e comportano la sostituzione (eventualmente reversibile) di colture agrarie con impianti forestali, gestiti secondo algoritmi colturali intensivi. Questo tipo di attività, strettamente connessa all'ordinamento colturale dell'azienda agraria e finalizzata alla creazione di veri e propri agro-ecosistemi, è correttamente identificata con il termine di arboricoltura da legno.

Gli interventi di cui al punto (b) vengono generalmente realizzati su: suoli nudi o comunque fortemente degradati sotto il profilo pedologico-vegetazionale; terreni agricoli abbandonati in aree a tipica vocazione forestale. Soprattutto nel

caso di suoli degradati, l'intervento di rimboscimento catalizza un processo di ricostituzione della copertura forestale che potrebbe avvenire spontaneamente, ma soltanto in presenza di specie arboree e arbustive in grado di disseminare, condizione non comune nelle situazioni di cui ai punti precedenti, e comunque in tempi molto più lunghi. Inoltre, il rimboscimento attiva il graduale recupero di altre funzioni tipiche dei sistemi forestali perdute o indebolite dai processi di degrado: *in primis*, la conservazione del suolo e la regimazione delle acque.

Gran parte degli interventi di rimboscimento possono essere assimilati a ecosistemi recuperati secondo i criteri della *restoration ecology* [23]. Il processo di recupero ecologico si ritiene compiuto quando il sistema inizialmente degradato ha acquisito un insieme di caratteristiche ecologiche tali da far ritenere che abbia imboccato una traiettoria ecologica nella direzione di un incremento della complessità strutturale e funzionale (Fig. 4).

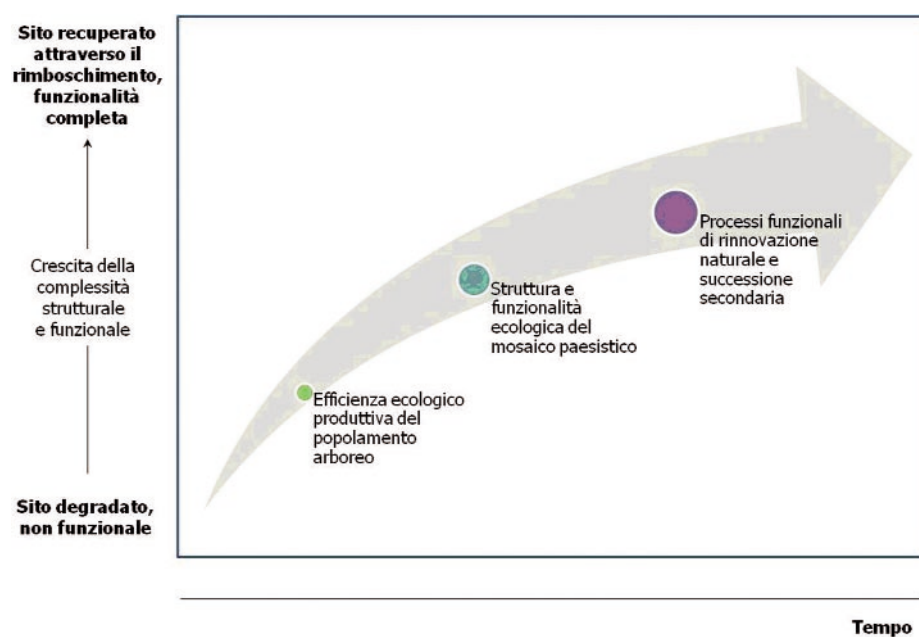


Fig. 4. Schema concettuale per la valutazione del successo dell'attività di rimboscimento come intervento di recupero ecologico.

Elementi su cui sono state approfondite le conoscenze riguardano le potenzialità degli interventi di rimboscimento per la lotta alla desertificazione in termini di ricadute anche su altri aspetti della funzionalità ecologica (conservazione della biodiversità, assorbimento di carbonio, riqualificazione del paesaggio) e la selezione di entità genetiche idonee.

4.1. Meccanismi di tolleranza alla salinità nel genere *Populus*

Il genere *Populus* presenta un'ampia variabilità genetica per molti caratteri adattativi determinanti la produttività, compresa la tolleranza alla salinità. Una delle specie più interessanti per gli studi di tolleranza allo stress salino è il *Populus euphratica*, ma questa specie è di scarso interesse a livello produttivo. La specie *Populus alba*, originaria della regione mediterranea, ha una moderata tolleranza alla salinità, ma risulta nel complesso interessante anche per rusticità e potenzialità produttiva di biomassa legnosa. Per questa specie, inoltre, è documentata una buona variabilità di tolleranza alla salinità in popolazioni naturali della regione mediterranea, presupposto necessario per avviare programmi di miglioramento genetico e selezione di cloni adatti a piantagioni in zone semiaride.

La prima fase di studio delle risorse genetiche naturali di *Populus alba* è iniziata nel 1997, con la raccolta di germoplasma da dieci popolazioni naturali provenienti da ambienti molto differenziati del territorio italiano, seguendo un gradiente latitudinale. Una seconda fase del programma di conservazione e caratterizzazione del germoplasma è stata sviluppata con la realizzazione in ambienti diversi di esperimenti *common garden*, che hanno interessato circa 350 genotipi appartenenti a 45 famiglie di fraterastri provenienti da 10 diversi bacini fluviali. Questo germoplasma è stato caratterizzato tramite il rilevamento di caratteri produttivi e adattativi, quali l'accrescimento, l'architettura della chioma e la fenologia. In una terza fase è stato possibile selezionare dei genotipi con caratteristiche genetiche contrastanti, da utilizzare come modelli sperimentali per studi di genetica e fisiologia [19] e per ottenere generazioni F1, F2 e incroci di ritorno (B1, B2), attualmente utilizzate per lo studio dell'ereditabilità di alcuni caratteri interessanti per la selezione. Ulteriori analisi della variabilità genetica mediante marcatori molecolari hanno confermato il grado di differenziazione genetica delle provenienze in collezione [16, 21].

Due genotipi provenienti rispettivamente dal nord e dal sud Italia, divergenti per morfologia e fenologia, sono stati scelti per lo studio dei meccanismi di tolleranza alla salinità. Questo studio rientra nell'attività scientifica del progetto italo-israeliano «Combatting Desertification. A cooperative research project as part of the Italian-Israeli Forum on Environmental R&D Scientific and Industrial cooperation» finanziato dal Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare. I genotipi sono stati confrontati in esperimenti di stress salino in ambiente controllato e hanno dimostrato un diverso grado di tolleranza, espresso come una diversa riduzione dell'accrescimento rispetto alle piante di controllo: il genotipo di origine meridionale ha mostrato una maggiore tolleranza del genotipo di origine settentrionale [18]. Esperimenti comparativi di stress salino hanno evidenziato come il differente comportamento dei due genotipi sia legato a differenze nei meccanismi di trasporto degli ioni attraverso le membrane cellulari e anche a differenti adattamenti della morfologia fogliare in relazione alla regolazione stomatica [2].

Per identificare i geni che controllano la risposta allo stress salino, gli stessi genotipi sono stati impiegati in un esperimento di analisi del trascrittoma (insieme

dei geni espressi) tramite microarrays. Questa tecnica permette di analizzare in parallelo il livello di espressione di migliaia di geni. Uno studio comparativo dell'espressione genica nelle foglie ha permesso di identificare un set di geni la cui espressione è regolata dallo stress salino mostrando un profilo di espressione diverso tra i due genotipi a confronto. Questi geni con comportamento diverso sono di grande interesse, perché potrebbero essere alla base della variabilità genetica di tolleranza allo stress. Essi possono essere considerati come geni candidati per studi più approfonditi e per il miglioramento genetico della tolleranza allo stress salino [3].

4.2. Valutazione dei limiti di impiego di specie idonee a colonizzare ambienti estremi

Per il successo di piantagioni in zone desertiche e degradate è cruciale la selezione di specie idonee a tale attività. Nell'ambito del citato progetto italo-israeliano, un obiettivo delle linee di ricerca attivate è stato anche di selezionare specie resistenti all'aridità e salinità per combattere la desertificazione e aumentare la capacità di sequestro di carbonio in aree desertiche e degradate (Fig. 5), con particolare attenzione ai generi *Tamarix* e *Populus* per le specie a rapido accrescimento ed il genere *Haloxylon* per le specie a più lento accrescimento, ma in grado di colonizzare con successo ambienti proibitivi per altre specie.

A tal fine è fondamentale la caratterizzazione ecofisiologica delle specie, reperite in aree desertiche, adattate a condizioni estreme (aridità e salinizzazione): studio della variabilità fisiologica dei tratti adattativi, caratterizzazione delle risposte fisiologiche allo stress salino e idrico, valutazione della capacità di produrre biomassa. I principali parametri misurati a livello inter e intra-specifico sono stati quelli fotosintetici, l'efficienza di uso idrico (anche mediante l'uso degli isotopi stabili del carbonio) [14], gli osmoliti a livello fogliare, i tassi di accrescimento e la biomassa totale [15].

4.3. Radiometria di campo per la caratterizzazione di specie forestali in condizioni di stress

Una promettente linea di ricerca per monitorare in maniera non distruttiva e a basso costo lo stato di degrado di un ecosistema è l'uso di tecniche di telerilevamento da campo (*proximal sensing*) che si basano sulla risposta spettrale della vegetazione a diverse condizioni ambientali [24].

Le specie che colonizzano ambienti degradati e desertici hanno sviluppato meccanismi adattativi (es. particolare struttura fogliare) per permettere alla pianta di vivere in condizioni estreme. Numerosi studi hanno dimostrato che la produzione di biomassa delle piante è strettamente correlata alla densità del flusso di fotoni fotosinteticamente attivi intercettati dalla pianta stessa. La luce intercettata a livello fogliare è correlata ai principali parametri ecofisiologici e alla struttura della



Fig. 5. Piantazione sperimentale a turno breve (SFR) di *Tamarix* spp. nel deserto del Negev.

chioma della pianta. La firma spettrale di una foglia è a sua volta relazionabile ai parametri biofisici della pianta come il contenuto dei pigmenti clorofilliani (clorofilla; carotenoidi), la biomassa vegetale, il contenuto idrico, l'età, lo stato di crescita e condizioni di stress [11]. Analizzando quantitativamente la firma spettrale della vegetazione, attraverso semplici relazioni tra le bande spettrali del visibile e del vicino infrarosso, è possibile comparare lo stato fisiologico in condizioni ottimali e di stress. Dagli esperimenti condotti in serra è stato osservato che, a condizioni di salinità del suolo differenti, corrispondono valori degli indici di vegetazione diversi sia a livello inter- che intra-specifico [1].

Una applicazione pratica di queste tecniche di telerilevamento è l'identificazione, la mappatura e il monitoraggio della vegetazione dei territori affetti da fenomeni di degrado ambientale, come ad esempio i coni salini alluvionali, aree in via di desertificazione e salinizzazione e le zone costiere, mediante il rilevamento delle differenze delle firme spettrali della vegetazione in risposta agli stress ambientali e alle loro variazioni.

4.4. Studio degli adattamenti morfo-anatomici in specie xerofite e alofite

Un'altra promettente attività di ricerca è lo studio delle implicazioni della morfo-anatomia fogliare sulla tolleranza allo stress salino. Vari studi [12, 25] hanno messo in luce la variabilità intraspecifica nei generi *Tamarix* e *Populus* per quanto riguarda l'anatomia e la morfologia del legno e delle foglie.

Più recenti indagini, condotte nell'ambito del citato progetto italo-israeliano, hanno messo in luce alcune interazioni significative tra la morfologia degli apparati stomatici e la loro capacità di adattamento in condizioni di stress salino, in particolare nei genotipi più tolleranti. In tale ambito la metodologia applicata a livello inter e intra-specifico è: indagini a livello macroscopico (morfologia foglie ed infiorescenze) e microscopico (caratteristiche morfo-anatomiche); studi per la localizzazione subcellulare di ioni salini; misure di scambi gassosi; misure del livello di escrezione dei sali dalle foglie delle tamerici.

4.5. Micropropagazione di specie alofite

Un ulteriore linea di ricerca ha come obiettivo principale lo sviluppo di protocolli sperimentali per la micropropagazione di specie rilevanti per attività di rimboscimento di aree degradate e desertiche.

In particolare, nell'ambito del progetto Windust è stato messo a punto e brevettato un protocollo per la micropropagazione di *Haloxylon ammodendron* (Fig. 6), basato sulla moltiplicazione in vitro di germogli ascellari a partire da colture di nodi sterili prelevati da piante madri, che in una seconda fase vengono fatti radicare. L'impiego della metodica consente di mantenere inalterato il patrimonio genetico della pianta originale [13].

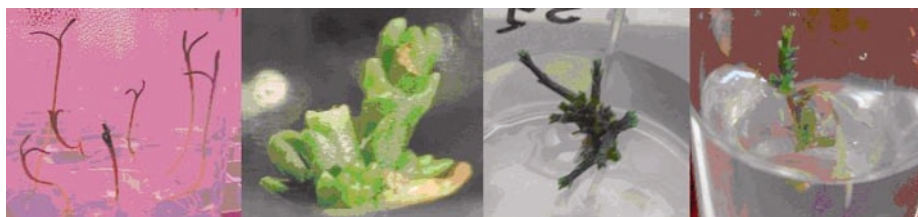


Fig. 6. Micropropagazione di *Haloxylon ammodendron*.

Haloxylon ammodendron (Fig. 7), il cui nome comune è Saxoul, è una specie arborea delle famiglia delle *Chenopodiaceae* che cresce in regioni desertiche dell'Asia Centrale (Gobi) ed è a rischio di estinzione. La specie vive in ambienti estremi con meno di 70 mm/anno di apporto idrometeorico e temperature che nell'arco dell'anno variano da -40°C a $+40^{\circ}\text{C}$, su terreni anche estremamente salinizzati. Dal punto di vista ecologico questa specie psammofila risulta importante poiché, oltre



Fig. 7. Esempio di *Haloxylon ammodendron*.

a colonizzare aree dove nessun'altra specie arborea riesce a vivere, trattiene il terreno sabbioso creando nicchie dove si insediano in successione una gran varietà di specie animali e vegetali.

Le comunità rurali insediate in prossimità delle zone desertiche del Gobi hanno utilizzato questa specie come principale (talora unica) fonte di biomassa energetica e di foraggio per il bestiame. Nel tempo lo sfruttamento non sostenibile ha portato la specie sull'orlo dell'estinzione. Per fermare il fenomeno è necessaria una significativa azione di rimboscimento e a tal fine la messa a punto della tecnica di micropropagazione può consentire la produzione di un elevato numero di piantine selezionate.

4.6. *Interventi di rimboscimento a basso input energetico in aree semiaride*

Una sperimentazione per la fissazione di carbonio atmosferico in zone semi-aride tramite interventi di rivegetazione arbustiva è in corso nella Sardegna nord-occidentale con specie mediterranee autoctone. Nell'area sperimentale-dimostrativa realizzata sono state: (i) verificate tre diverse densità di impianto e tre diverse composizioni specifiche (due monospecifiche a ginepro e lentisco e una plurispecifica con ginepro, lentisco e rosmarino), secondo uno schema sperimentale replicato; (ii) valutate la capacità di attecchimento e la produttività dell'impianto a seconda dei differenti moduli di densità e composizione specifica adottati; (iii) monitorati gli

effetti indotti dall'impianto, a seconda dei differenti moduli di densità e composizione specifica, sui processi del suolo (respirazione del suolo, modifica delle parametri microclimatici, caratteristiche chimico-fisiche); (iv) adottate tecniche di impianto e gestione a basso input energetico (messa a dimora manuale, assenza di irrigazione e di cure colturali) al fine di verificare la possibilità di adottarle anche in paesi caratterizzati da un accesso limitato alle risorse energetiche e idriche, con caratteristiche climatiche simili.

Un altro esempio di attività sperimentale per la fissazione di carbonio atmosferico in zone semiaride è il progetto pilota di applicazione di energia rinnovabile per la realizzazione di sistemi agro-forestali nella provincia dell'Alashan (Cina centrosettentrionale) nell'ambito del citato progetto italo-cinese.

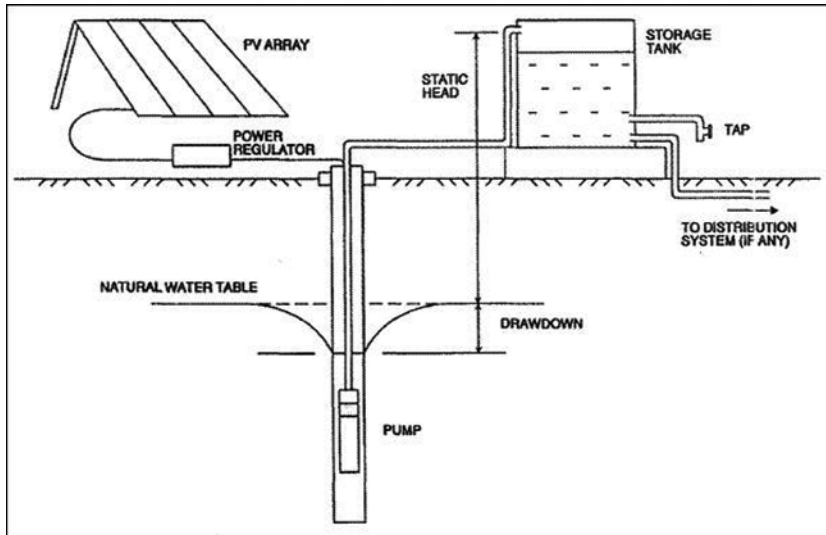
Obiettivo principale è di realizzare impianti agroforestali sostenibili, capaci di creare rapidamente una copertura verde mediante piantagioni forestali che, al contempo, contrastino l'avanzamento del deserto e attivino microeconomie ecocompatibili per le popolazioni locali. A tal fine sono state messe in opera, in aree estremamente degradate, piantagioni governate a ceduo con turni di 3-5 anni (*short rotation forestry*) di *Tamarix elongata* e *Populus alba* per la produzione di biomassa a destinazione energetica. Inoltre sono state create piantagioni con specie miglioratrici del suolo in grado di fornire prodotti secondari (*Haloxylon ammodendron*, *Caragana microphylla*).

Le piantagioni sono state irrigate con sistemi a goccia alimentati da energia rinnovabile (solare-eolica) (Fig. 8-9). L'uso del sistema di irrigazione a goccia permette di ridurre significativamente le perdite di acqua per evapotraspirazione. Bassi costi di investimento, facile mantenimento da parte della popolazione locale, uso di strumenti e materiale disponibile sui mercati locali sono stati i criteri per la selezione, sviluppo e/o design del sistema di pompaggio dell'acqua e di realizzazione della piantagione. Attualmente sono in corso di monitoraggio i principali parametri fotosintetici, l'efficienza di uso idrico dell'acqua, i tassi di crescita e la biomassa totale prodotta delle piante messe a dimora, in relazione alla quantità e regime di distribuzione dell'acqua irrigua [6].

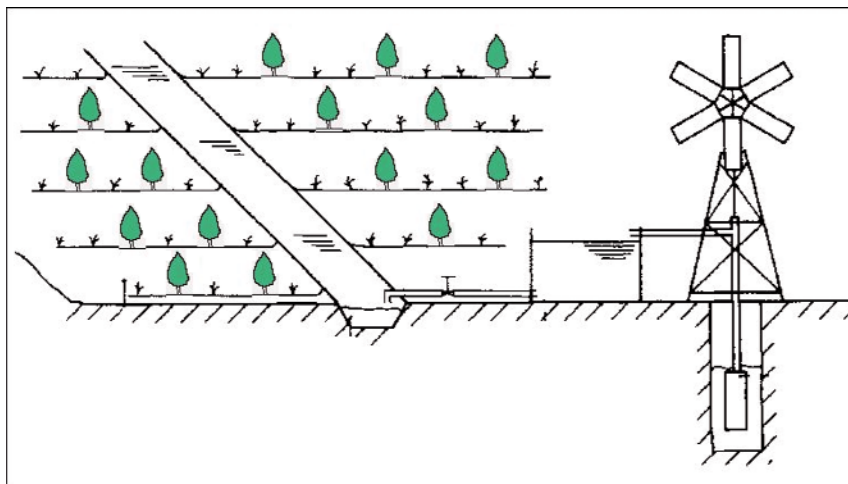
5. CONSIDERAZIONE CONCLUSIVA

Tra i vari e complessi problemi che minacciano il futuro dell'ambiente globale emerge con dimensioni sempre più allarmanti la desertificazione, processo di degradazione che colpisce le zone aride e semiaride del Pianeta. L'urgenza di tempestive azioni di contenimento dei processi di desertificazione è giustificata dal destino di marginalizzazione a cui vanno incontro le zone affette, conseguente alla riduzione persistente della produttività ecologica ed economica degli ecosistemi naturali e delle aree agricole.

Particolare attenzione viene posta alle innovazioni apportate a livello locale, anche attraverso il recupero di conoscenze tradizionali o da una loro riproposizione innovativa attraverso l'uso di nuove tecnologie. Secondo quanto selettivamente illu-



a)



b)

Fig. 8. Schema dei sistemi di irrigazione a supporto della realizzazione di piantagioni governate a ceduo a turno breve nella provincia dell'Alashan (deserto dei Gobi-Inner Mongolia): (a) sistema solare; (b) sistema eolico.



a)



a)

Fig. 9. Aspetti realizzativi dei sistemi di irrigazione a supporto delle piantagioni governate a ceduo con turni brevi nella provincia dell'Alashan (deserto dei Gobi-Inner Mongolia): (a) sistema solare; (b) sistema eolico.

strato, il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse dell'Università degli Studi della Tuscia ha da tempo attivato importanti linee di ricerca in merito, anche attraverso significative partnership internazionali. L'auspicio è che gli strumenti messi a punto possano essere di efficace supporto ai fini dell'implementazione di misure concrete volte al contenimento dei processi di desertificazione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Balzarolo M., Monteverdi M.C., De Luca A., Valentini R., 2006. Use of proximal sensing to understand salinity tolerance in plants The case y of *Tamarix Aphylla* and *Tamarix Jordanis* International Conference on Biosaline Agriculture & High Salinity Tolerance, 03-08 Novembre, 2006, Gammarth, Tunis. Abstract, pp. 96.
- [2] Beritognolo I., Piazzai M., Benucci S., Kuzminsky E., Sabatti M., Scarascia Mugnozza G., Muleo R., 2007. Functional characterisation of three Italian *Populus alba* L. genotypes under salinity stress. *Trees – Structure and Function*, 21, 465-477.
- [3] Beritognolo I., Sabatti M., Brosché M., Scarascia Mugnozza G., 2008. Functional genomics to discover genes for salt tolerance in annual and perennial plants. In: Abdelly C., Ozturk M., Grignon C. (Eds.), *Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants*. Birkhäuser Verlag AG. Basel. In stampa.
- [4] Corona P., 2005. Desertificazione, siccità, foreste e ricerca. *Forest@*, 2, 256-257.
- [5] Corona P., Ferrari B., Marchetti M., Barbati A., 2006. Risorse forestali e rischio di desertificazione in Italia. Standard programmatici di gestione. Comitato nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione, Università della Tuscia, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Roma.
- [6] Cremonini M.G., Da Canal S., Fratini G., Lazzeri M., Martinelli M., Scalas P., Torriano L. and Valentini R., 2007. An integrated approach to combact dust sandstorms in Northern China. In: *Human and Nature – Working Together for Sustainable Development of Drylands*. (El-Beltagy A., Mohan C. Saxena and tao Wang ed.). Proceedings of the Eighth International Conference on Development of Drylands, 25-28 February 2006, Beijing, China. ICARDA, Aleppo, Syria, pp 366-375.
- [7] De Angelis P., de Dato G., Scoppola A., Spano D., Sirca C., Asunis C., Sechi S., Pierpaolo Duce, Pellizzaro G., Cesaraccio C., D'Angelo M. & Scarascia-Mugnozza G., 2003. *Vulnerability assessment of shrubland ecosystems in Europe under climatic changes*. In: *Mediterraneo e Italia nel Cambiamento Globale: un ponte fra scienza e società* (edito da Miglietta F. e Valentini R.). Atti della 1ª Conferenza Nazionale IGBP, Paestum (Salerno), 14-16 Novembre 2002, pp. 79-83.
- [8] de Dato G., De Angelis P., Scarascia Mugnozza G., 2005. Impatto dell'aridità e della temperatura sul tasso di respirazione del suolo in una gariga mediterranea. *Bollettino della Società Italiana di Scienza del suolo*, 54 (1-2), 310-315.
- [9] de Dato G., Pellizzaro G., Cesaraccio C., Sirca C., De Angelis P., Duce P., Spano D., Scarascia G., 2006. Effects of warmer and drier climate conditions in plant composition and biomass production in a Mediterranean shrubland community. *Forest@*, 3(4), 511-526. [online] URL: <http://www.sisef.it/>.
- [10] Fratini G., Ciccioli P., Febo A., Forgione A., Valentini R., 2007. Size-segregated fluxes of mineral dust from a desert area of northern China by eddy covariance. *Atm. Chem. Phys.*, 7, 2839-2854.
- [11] Filella I., Panuelas J., 1994. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll content, biomass and hydric status. *Int. J. Remote Sensing*, 15, 1459-1470.

- [12] Kuzminsky E., Sabatti M., 1994. Aspetti ecologici della morfologia fogliare in alcune 446 specie del genere *Populus*. *Linea Ecologica*, 6, 53-57.
- [13] Kuzminsky E., Abbruzzese G., Angelaccio C., Tamantini M., Valentini R., 2006. Micropropagation by axillary proliferation of *Haloxylon ammodendron*. International Conference on Biosaline Agriculture & High Salinity Toleran, 03-08 Novembre, 2006, Gammarth, Tunis. Abstract, pp. 87.
- [14] Monteverdi M.C., Lauteri M., Valentini R., 2008. Biodiversity of plant species and adaptation to drought and salt conditions. Selection of species for sustainable reforestation activity to combat desertification. In: Biosaline Agriculture and High Salinity Tolerance (C. Abdely, M. Öztür, M. Ashraf, C. Grignon eds.), Birkhäuser Verlag, Switzerland.
- [15] Monteverdi M.C., Lauteri M., Cosimi M., Valentini R., 2007. Physiological variability of adaptive traits to select species to face desertification and atmospheric carbon dioxide increase. International Scientific Conference on «Afforestation and Sustainable Forests as a means to Combat Desertification» – Jerusalem, Israel 16-19 April 2007, Abstract.
- [16] Paolucci I., Pagnotta M.A., Sabatti M., Dominici L., Tanzarella O.A., Scarascia Mugnozza G., 2003. Analisi genetica e della variabilità in pioppo bianco (*Populus alba* L.) mediante marcatori RFLP e RAPD. Proc. of the 3rd National Congress of Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale (SISEF). Viterbo, Italy. Atti, 4, 29-36.
- [17] Peñuelas J., Prieto P., Beier C., Cesaraccio C., De Angelis P., de Dato G., Bridget A.E., Estiarte M., Garadnai J., Gorissen A., Kovács Láng E., Kröel-Dulay G., Llorens L., Pellizzaro G., Riis-Nielsen T., Schmidt I.K., Sirca C., Sowerby A., Spano D., Tietema A., 2007. Response of plant species richness and primary productivity in shrublands along a north-south gradient in Europe to seven years of experimental warming and drought. Reductions in primary productivity in the heat and drought year of 2003. *Global Change Biology*, 13, 2563-2581.
- [18] Piazzai M., Beritognolo I., Abbruzzese G., Kuzminsky E., Sabatti M., Muleo R., Scarascia Mugnozza G., 2003. Strategie di risposta allo stress salino in differenti genotipi di *Populus alba*. IV congresso della Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale, Rifreddo (Potenza), Atti, 4, 573-578.
- [19] Sabatti M., Scarascia Mugnozza G.E., Anselmi N., 1997. Conservazione e caratterizzazione del germoplasma di popolazioni naturali italiane di *Populus alba* L. In: SISEF, «La Ricerca Italiana per le Foreste e la Selvicoltura», Legnaro (Padova). Atti, 1, 165-170.
- [20] Sabatti M., Kuzminsky E., Giordano E., Anselmi N., Scarascia Mugnozza G., 2000. Esperienze di rinaturalizzazione di terreni agricoli in pianura Padana mediante piantagioni forestali. *L'Italia Forestale e Montana*, 4, 241-252.
- [21] Sabatti M., D'Ovidio R., Tanzarella O.A., Scarascia Mugnozza G., 2001. Assessment of geographic variation by RAPD markers among Italian open-pollinated progenies of *Populus alba* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 48, 423-428.
- [22] Santini M., Caccamo G., Noce S., Valentini R., 2007. Integrated Modeling and GIS: a new approach to assess desertification vulnerability and risk in Sardinia island (Italy), *Eos Trans. AGU*, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract CG13A-0948.
- [23] SER, 2004. The SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group) International Primer on Ecological Restoration. Society for Ecological Restoration International, Tucson, USA. <http://www.ser.org>.
- [24] Ustin S.L., Jacquemoud S., Palacios-Orueta A., Li L., Whiting M.L., 2005. Remote Sensing Based Assessment of Biophysical Indicators for Land Degradation and Desertification. Conference on Remote Sensing and Geoinformation Processing in the Assessment and Monitoring of Land Degradation and Desertification. State of the Art and Operational Perspectives, September 7th to 9th, 2005, Trier (Germany).
- [25] Waisel Y., 1991. Adaptation to salinity. Chapter 15. In: *Physiology of Trees* (A.S. Raghavendra, ed.). John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 357-381.