

Lotta alla desertificazione e sviluppo rurale: l'esempio di un progetto integrato in Cina

Riassunto

Le tempeste di sabbia sono eventi estremi caratterizzanti le regioni aride e semi-aride del pianeta. In particolare la Cina è uno degli stati maggiormente colpiti da questo fenomeno.

Al fine di promuovere lo studio delle tempeste di sabbia e di proporre possibili interventi di mitigazione e prevenzione, il Ministero dell'Ambiente e del Territorio Italiano assieme al Dipartimento di Protezione Ambientale della Municipalità di Pechino, hanno lanciato alla fine del 2004 un ambizioso progetto chiamato "WinDust"; il progetto si focalizza nella Prefettura dell'Alashan (Inner Mongolia, Cina).

Gli scopi del progetto sono: (i) proporre e testare metodologie e tecnologie di intervento *in situ* per le aree degradate che costituiscono la fonte più consistente di polveri; (ii) sviluppare un modello integrato che consenta di simulare l'effetto di mitigazione conseguente all'implementazione di diversi scenari di intervento.

Il progetto è strutturato nelle 3 parti principali di (i) studio del fenomeno, (ii) implementazione di progetti pilota, e (iii) modellistica integrata; i risultati di queste tre attività convergeranno nella conclusiva fase di pianificazione degli interventi su larga scala.

Durante le fasi di studio e modellistica sono stati utilizzati diversi strumenti di ricerca: le tecniche di Remote Sensing e GIS sono state usate per caratterizzare le potenziali aree sorgente delle tempeste di sabbia; un innovativo strumento di misura dell'erosione eolica è stato sviluppato per studiare in dettaglio la suscettibilità di diversi tipi di suoli e di copertura vegetale all'azione del vento; infine, un modello integrato di circolazione e trasporto atmosferico è stato sviluppato per studiare le dinamiche, a larga scala, delle tempeste di sabbia.

Nella fase di sperimentazione sono state proposte attività mirate a ridurre l'impronta ecologica delle comunità locali nelle cosiddette "aree sensibili". Per fare

questo è in via di completamento la realizzazione di un sistema di irrigazione per l'agricoltura delle comunità rurali progettato per ridurre sensibilmente i consumi di acqua ed energia sfruttando al minimo la risorsa idrica sotterranea e utilizzando le sole fonti rinnovabili, sole e vento, ampiamente disponibili in Alashan per la gestione delle acque. Allo stesso tempo si stanno sviluppando tecniche di micropropagazione delle specie ecologicamente più rilevanti per la ricostruzione dell'ecosistema desertico. Lo scopo finale è quello di identificare la soluzione potenzialmente più efficace e fattibile in termini di rapporto costi-benefici delle comunità locali.

Per la pianificazione di una gestione integrata di sviluppo sostenibile atta a combattere i differenti problemi che sono contemporaneamente origine e causa delle Tempeste di Sabbia, le attività svolte nel 2005 forniscono i primi incoraggianti risultati.

Abstract

Dust sandstorms (DSS) events are frequently experienced in the arid and semi-arid areas of China. To strengthen knowledge about DSS's causes and effects and evaluate proper countermeasures, the 'WinDust' project was launched in 2004 by the Italian Ministry of Environment (IMET) and the Beijing Environmental Protection Bureau (EPB), in the framework of the Sino-Italian Cooperation Program for the Environmental Protection (SICP).

The *rationale* of the WinDust project is to propose and test methodologies of intervention aiming at preventing and mitigating Dust Storms impacts. The distinctive idea is to joint scientific research, experimentation and practical implementations for rural development into an integrated effort of cooperation and mutual exchange, in order to develop and propose a comprehensive and participatory methodology of intervention.



The WinDust project is structured in three conceptual phases: a *study phase*, a *"pilot projects" phase* and a *modelling phase*, joining the outputs of this three packages leads to the final *large-scale intervention planning phase*.

Advanced Remote Sensing (RS) and Geographical Information System (GIS) techniques were implemented to characterize the potential DSS originating source areas and to describe the evolution of the land cover in the last twenty years. A fully coupled atmospheric-emission/dispersion model was set up to understand the DSS dynamics. Direct measurements of emission dust fluxes were conducted in sensible areas by means of an Eddy Covariance-based technology (EOLO), setting the basis for a dedicated emission inventory. Such emission measurements allowed tuning of an up-to-date wind erosion model. Demonstration activities of energy substitution and water saving in agriculture, and micro-propagation-based plant production were undertaken in order to identify the most suitable and cost-effective mitigation and control measures. In 2005, such activities provided several preliminary results that were assessed to set up an integrated management approach to DSS mitigation and control.

1. Le tempeste di sabbia

Nel 2004 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio Italiano (MATT) in collaborazione con l'Ufficio di Protezione Ambientale della Municipalità di Pechino (BMEPB), ha lanciato un ambizioso progetto per la lotta contro le tempeste di sabbia che affliggono la città di Pechino. Il progetto, chiamato "WinDust", è parte del più ampio "Programma di cooperazione Sino-Italiano per la protezione ambientale", avviato nel 2000 per promuovere lo sviluppo e l'attuazione di progetti pilota, attività dimostrative e monitoraggio ambientale, allo scopo di comprendere l'attuale stato dell'ambiente in Cina e indirizzare le politiche di sviluppo nazionali verso la sostenibilità, la protezione delle risorse naturali e la riduzione dei gas ad effetto serra (www.sinoitaenvironment.org).

Le tempeste di polvere e sabbia (in inglese "Dust and Sand Storms", o DSS) sono fenomeni atmosferici estremi, tecnicamente caratterizzati da particolato solido trasportato ad elevata velocità dal vento a seguito di erosione. Per particolato, si intendono qui le particelle solide di dimensioni variabili nell'intervallo 0.1-10 μm , che compongono la "polvere minerale" (*mineral dust*). I luoghi di formazione delle tempeste di sabbia nel mondo sono le grandi aree desertiche o semidesertiche del Nord America, dell'Africa del Nord, dell'Australia e dell'Asia Centrale. In particolare la Cina, con il 58% del territorio classificato come arido o semi-arido, è una delle nazioni che più soffrono gli effetti della desertificazione e che subisce sul

suo territorio le tempeste di sabbia più violente al mondo. In effetti le DSS, pur essendo un fenomeno naturale che da sempre piaga il pianeta [1], stanno subendo negli ultimi decenni un incremento, in numero ed intensità, le cui radici vanno cercate nell'incremento demografico e nel conseguente aumento dell'impatto sul territorio. Difatti, è stato mostrato, anche se il dibattito è ancora in corso [2], che le aree di origine delle tempeste di sabbia non sono i grandi deserti sabbiosi ma le zone di confine tra tali deserti e le aree semi-aride abitate; il processo di degradazione che queste aree subiscono ad opera dell'azione umana sono alla base dell'incremento delle DSS nel tempo. In questo senso, le tempeste di sabbia possono essere ritenute una *conseguenza* del processo di desertificazione; in realtà, esse sono anche una notevole *causa* di desertificazione; infatti, i suoli battuti da una tempesta di sabbia sono soggetti ad intensa erosione che può causare immediata degradazione e perdita di fertilità; allo stesso modo le piantagioni colpite da una tempesta di sabbia vengono danneggiate; le tempeste di sabbia possono inquinare, anche irreparabilmente, i corsi d'acqua e costituiscono anche un fattore di rischio immediato per la vita degli animali e degli uomini. Nelle aree desertiche dove queste hanno origine, un problema locale è legato al fenomeno del *dune shifting*, ossia del dislocamento delle dune di sabbia che durante una tempesta di sabbia può raggiungere anche le decine di metri e che determina l'avanzamento del deserto.

Durante una tempesta di sabbia la visibilità può essere ridotta a zero, creando notevoli rischi di incidenti, sia automobilistici che aerei. Le DSS sono poi un fattore di rischio a lungo termine sia per gli uomini che per gli animali. È noto infatti che la frazione più fine del materiale trasportato (particolato atmosferico di dimensioni inferiori a 2.5 μm , o $\text{PM}_{2.5}$), quando respirato, va a depositarsi lungo tutti i tratti del sistema respiratorio, creando sul lungo periodo problemi di occlusione e riduzione della capacità polmonare [3]. Sono proprio queste componenti più fini, poi, ad essere sollevate al livello della troposfera (fino a quote dell'ordine di 10.000 metri) e ad essere trasportate su grandi distanze a scala continentale, fino alle grandi megalopoli estremo-orientali come Pechino, Tokio, Pyongyang, Seul, raggiungendo nei casi più estremi anche le coste occidentali degli Stati Uniti. Qui, le tempeste di sabbia non si presentano con la furia devastante delle regioni in cui originano, ma la densità abitativa e dei traffici stradali ed aerei le rendono molto più pericolose sia dal punto di vista del rischio immediato, sia dell'im-

patto sulla salute pubblica nel lungo periodo.

2. Il progetto WinDust

Come già ampiamente riconosciuto dalla UNCCD “*there is a need to document the nature, extent, causal factors associated with the severe sand and dust storms experienced in China and to look for methodologies to face them.... Combating sand and dust storms demands political, social, biological, economic, educational and engineering approaches as well as the physical effort that has dominated efforts in the past*” [4]. Con questa chiave interpretativa è stato definito l’approccio integrato proposto nel progetto WinDust, allo scopo di approfondire la conoscenza fenomenologica delle DSS, le loro cause prime e le dirette conseguenze, nonché proporre progetti dimostrativi di mitigazione.

Il progetto si focalizza, come un esempio di area sensibile, nella Prefettura dell’Alashan (Inner Mongolia, Cina); questo altipiano, con terre classificate come aride e semi-aride, è caratterizzato da un clima fortemente continentale, come inverni freddi e secchi ed estati molto calde, relativamente umide (la piovosità raramente supera i 150 mm/anno). I venti, forti e persistenti che in inverno e primavera spirano dalla Siberia, si abbattano quindi su terre secche e praticamente prive di vegetazione, facendo di questa Prefettura una sorgente di tempeste di sabbia privilegiata. La popolazione della regione è costituita principalmente da pastori che vivono in fattorie mono-familiari sparse sul territorio ed allevano principalmente capre, pecore e cammelli, praticando un’agricoltura di sussistenza. Questa seppur esigua popolazione (non più di 300.000 abitanti) ha un impatto notevole su un territorio dall’equilibrio instabile: il sovra-sfruttamento della vegetazione naturale come pascolo per gli animali e come legna da ardere per il riscaldamento ed un utilizzo niente affatto efficiente delle risorse idriche, intaccano profondamente l’ambiente semi-desertico in cui vivono, determinando una rapida degradazione del territorio. È stato infatti osservato che, parallelamente allo sviluppo demografico nella regione, si è registrato un incremento nel numero e nell’intensità delle tempeste di sabbia.

Data la scarsa conoscenza dei legami di causa-effetto che intercorrono tra le varie componenti ambientali che determinano e sono determinate dalle DSS, data l’enorme dimensione del problema e le estreme condizioni ambientali delle aree coinvolte, diversi obiettivi parziali devono essere

raggiunti per verificare la fattibilità e l’efficacia di qualsiasi azione di prevenzione/mitigazione. Innanzitutto, è necessario approfondire la conoscenza dei processi e le loro interazioni; l’efficacia e l’affidabilità di tecniche e tecnologie di intervento devono essere accuratamente valutate, così come il loro potenziale di attecchimento tra le popolazioni locali; infine, la fattibilità di un intervento su larga scala, che si configura come un’azione socio-economico-ambientale, deve essere valutata tenendo in debita considerazione la preservazione delle tradizioni e della cultura locale.

Di là dall’essere meramente un progetto ambientale, WinDust si configura allora come un’azione di introduzione del concetto di sviluppo sostenibile nella aree rurali dell’Alashan, allo scopo di limitare la pressione antropica sul territorio e quindi di combattere le cause delle DSS, nel rispetto delle consuetudini e della volontà delle popolazioni coinvolte. Questo processo si attua tramite la valorizzazione delle risorse locali, e l’introduzione di metodologie di *energy saving* ed *efficiency enhancement*.

Il carattere distintivo del progetto è il tentativo di unire ricerca scientifica, sperimentazione e attività dimostrative di sviluppo rurale in uno sforzo integrato di cooperazione e mutuo scambio, al fine di sviluppare e proporre una metodologia olistica e partecipativa di approccio ad un fenomeno che sempre più si configura come un fenomeno socio-ambientale.

Il progetto è stato allora strutturato nelle due fasi distinte di (i) *studio delle DSS* e (ii) *progetti pilota* che si riuniscono idealmente e praticamente nella conclusiva fase di (iii) *pianificazione su larga scala*.

3. Studio delle tempeste di sabbia

È ampiamente riconosciuto nell’ambito della comunità scientifica che il fenomeno “tempeste di sabbia” non è ancora chiaramente compreso in tutte le sue componenti. D’altra parte, è evidente che per poter intervenire sul fenomeno nel senso delle prevenzione e della mitigazione è necessario conoscere in dettaglio i meccanismi di formazione e di evoluzione del fenomeno. Allo stato attuale, in effetti, non c’è ancora un generale consenso nemmeno su quali siano le aree sorgenti delle DSS, ossia quali terreni siano più suscettibili all’erosione eolica, causa prima della formazione della tempesta. Se, infatti, è generalmente riconosciuto che le grandi estensioni di dune non contribuiscono in maniera significativa alle DSS in Cina,



non è però chiaro se le sorgenti più intense siano localizzate, ad esempio, nelle regioni coperte dal suolo tipo "Gobi" [5], oppure nelle *grassland* degradate ad opera dell'azione umana o addirittura nelle terre coltivate e poi abbandonate [6]. Analogamente, non è chiaro in che misura le polveri sollevate dalle aree desertiche della Cina centrale contribuiscano agli "eventi di polveri" (*dust events*) sulle città estremo-orientali, rispetto alle sorgenti "locali", quelle cioè situate nelle zone suburbane delle megalopoli, dove l'intensa attività estrattiva e la diffusa attività agricola portano a degradazione dei suoli e conseguente erosione e sollevamento di polveri.

Date queste premesse, all'interno del progetto WinDust si sono sviluppate due attività di ricerca parallele e complementari, la prima (i) concentrata sulla determinazione dei suoli maggiormente suscettibili all'erosione eolica e quindi probabili sorgenti di tempeste, la seconda (ii) volta a studiare, tramite modelli di trasporto atmosferico, l'evoluzione delle DSS, dalla loro formazione fino alle fasi di deposizione delle polveri.

Determinazione delle sorgenti di polveri

Nell'ambito dello studio delle tempeste di sabbia, e più in generale dell'erosione eolica, sono stati sviluppati diversi metodi per la misurazione della quantità di particolato rilasciato dal suolo durante un fenomeno erosivo. Questo è ovviamente il primo passo verso la determinazione quantitativa della suscettibilità di un suolo rispetto all'erosione eolica, essendo il *flusso verticale di emissione* il primo indicatore delle potenzialità del suolo come sorgente di DSS. Nella schematizzazione classica dell'erosione eolica [7], questa avviene tramite i fenomeni di *creeping*, *saltation*, *sandblasting* e *suspension*; le particelle più grandi (sopra i 2 mm) rotolano sul terreno (*creeping*) mentre quelle di dimensioni intermedie (sabbie) sono soggette a "saltazione" (*saltation*); nell'impattare sul terreno rilasciano energia cinetica distruggendo gli aggregati (*sandblasting*) che liberano quindi le particelle più piccole, le quali vengono sollevate e trasportate via (*suspension*).

La maggior parte degli strumenti sviluppati sono basati su questa schematizzazione e generalmente deducono il flusso emissivo (verticale) dalla misura diretta di altre grandezze ad esso collegate, quale ad esempio il flusso (orizzontale) delle particelle saltanti, tramite correlazioni di volta in volta empiriche o dedotte per via modellistica (per una trattazione dei metodi di misura esistenti

si può fare riferimento, ad esempio, a [8]). Il motivo di queste scelte risiede, nella maggior parte dei casi, nella difficoltà di misurare direttamente il flusso emissivo di particolato.

Nell'ambito del progetto WinDust è stato sviluppato uno strumento (chiamato **EOLO**) per la misura diretta dei flussi verticali netti (emissione-deposizione) di particolato. **EOLO** è basato sulla teoria micro-meteorologica che va sotto il nome di *eddy covariance*. Questa teoria, alla base di una metodologia di misura dei flussi turbolenti verticali, è ampiamente utilizzata e delineata nei suoi limiti di utilizzo, nell'ambito dello studio degli scambi atmosfera-biosfera per i gas ad effetto serra, i composti organici volatili, gli aerosol.

La metodologia consente la misura continua dei flussi verticali netti a scala locale (la *footprint* dello strumento è dell'ordine del chilometro), fornendo risultati ad elevata risoluzione temporale (dati di flusso ogni 30 minuti) a partire dall'acquisizione ad elevata frequenza (5 Hz) della concentrazione di interesse e dell'intensità e direzione del vento.

La tecnica, basata su una semplificazione delle equazioni del moto dei fluidi (equazioni di Navier-Stokes e di conservazione della massa), richiede che il sito di misura sia omogeneo in termini di copertura e di topografia, e che la turbolenza sia il meccanismo di trasporto dominante durante la misura. Queste condizioni sono in genere largamente soddisfatte dai siti desertici, durante gli eventi di erosione eolica.

Per quanto noto, questo è il primo tentativo di applicazione della metodologia *eddy covariance* alla *mineral dust*, nonché il primo tentativo di misurare direttamente i flussi emissivi ad opera dell'erosione eolica, in maniera continua e ad una frequenza tale da cogliere qualsiasi evento di emissione/deposizione.

Forse ancor più interessante, il sistema messo a punto consente di valutare in maniera oggettiva e quantitativa l'efficacia di diverse coperture del suolo (come ad esempio vegetazione), fornendo anche indicazione di quali tipologie di copertura (specie, densità, *layout*) sono più efficaci.

EOLO è stato sviluppato interamente da una collaborazione tra il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (DiSA-FRi) dell'Università della Tuscia di Viterbo e l'azienda manifatturiera FAI Instruments (Roma, Italia). Lo strumento fa uso di un *Optical Particle Counter* (Climet CI-3100, USA) per la misura veloce della concentrazione (in numero) delle particelle nell'intervallo 0.3-7.00 μm e di un anemometro ultrasonico (Metek USA-1, USA) per la misura

di intensità e direzione del vento. Tutto l'hardware ed il software necessari al funzionamento ed al processamento dei dati è stato sviluppato *ex-novo*.

EOLO è stato applicato per la prima volta in una campagna di monitoraggio nella prefettura dell'Alashan, durata due mesi (Aprile-Maggio 2005) e che ha interessato 4 siti (la cui posizione è mostrata in Fig. 1 e le cui caratteristiche sono riassunte in Tab. 1), scelti con la collaborazione degli esperti cinesi del *Cold and Arid and Regions Environmental and Engineering Research Institute (CARERI)* della Accademia cinese delle Scienze (CAS).

Due siti (GB1 e GB2) sono completamente naturali, cioè niente affatto intaccati dall'azione antropica e sono caratterizzati da suolo tipo "Gobi", costituito da ciottoli di dimensioni variabili tra i 5 mm e 2 cm, inseriti in una matrice dura e molto fine; questa tipologia caratterizza ampie aree della regione ovest dell'Alashan; la differenza tra i due siti è data esclusivamente dalla copertura vegetale. Gli altri due siti, entrambi affetti in qualche modo dall'azione dell'uomo, si trovano nella regione orien-

tale dell'Alashan; sono due aree classificate come *desert grassland*; la maggiore differenza tra i due siti risiede proprio nell'intervento umano: il primo sito (DG1) è infatti parte di un'area riforestata con semina da aereo all'interno di un grandioso progetto avviato dal Governo cinese intorno alla fine degli anni '70; il sito è inoltre protetto dal pascolo, per cui è ricoperto da una vegetazione relativamente fitta, costituita da arbusti alti circa 1-1.5m; l'ultimo sito (DG2) è, al contrario, un sito non riforestato e soggetto al pascolo.

Per l'analisi dei test di validazione dello strumento si rimanda a [9]. I risultati della campagna di misura mostrano (in Fig. 2 sono riportati gli andamenti temporali relativi ai siti GB1 e GB2) che sia i siti tipo "Gobi" (GB1), sia i *desert grassland* (DG2), possono essere rilevanti sorgenti di tempeste di sabbia. Anche se le diverse condizioni atmosferiche non consentono un confronto puntuale, i due siti hanno mostrato elevate potenzialità emissive. Peculiare – e per nulla scontato – è il fatto che il sito GB2, pur avendo subito condizioni di vento forte (fino a 14 ms^{-1}), non ha presentato

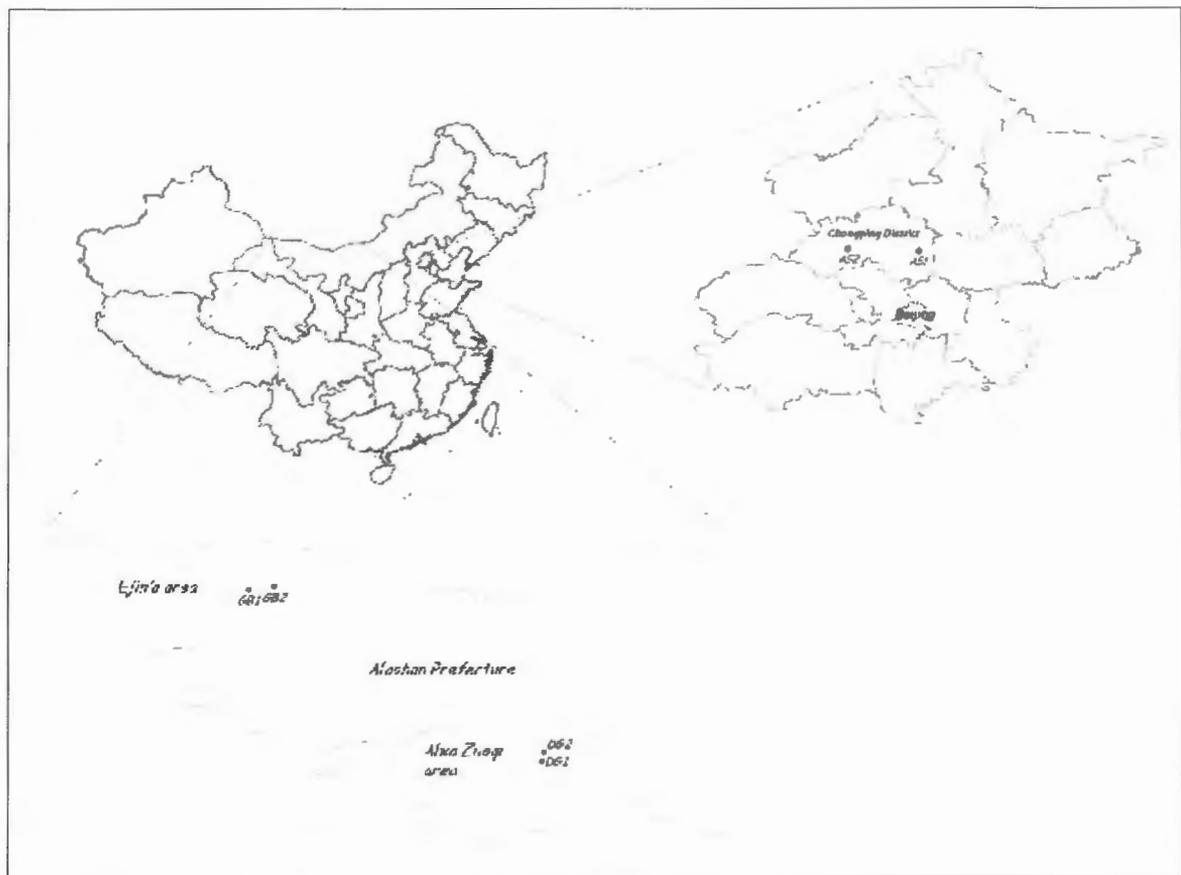


Figura 1. Siti progetto WinDust: i quattro siti (GB1, GB2, DG1, DG2) sono localizzati nella Prefettura di Alashan (Inner Mongolia, Cina).



Tabella 1. *Descrizione dei siti: i dati di copertura vegetale sono riferiti al periodo di monitoraggio, primavera 2005.*

SITE ID	SITE FULL NAME	area	latitude (°)	longitude (°)	soil type	topography	vegetation cover
GB1	Ejin'a Gobi 1	Ejin'a qi	41,8833	100,5362	Gobi	flat	shrubs with small dunes downwind
GB2	Ejin'a Gobi 2	Ejin'a qi	41,9381	100,9751	Gobi	flat	none
DG1	Alxa Desert Grassland 1	Alxa Zuoqi	38,8676	105,6096	sandy	small dunes	dense homogeneous shrubs
DG2	Alxa Air-sowed Desert Grassland	Alxa Zuoqi	39,0270	105,6454	sandy	flat	sparse small bushes and some grass
AS1	Changping Maize field	Beijing	40,1867	116,4092	silt	flat, tilled	standing and flat residue of maize
AS2	Nankou Rubble Pit	Beijing	40,1953	116,0997	gravely, sandy	irregular	sparse and various (grass and trees)

SITE ID		particles density		grave	sand	silt	clay
GB1	AVR	2,54	AVR (%)	46,65	48,75	4,14	0,46
	ST_DEV	0,07	ST_DEV (%)	14,02	14,20	0,47	0,31
GB2	AVR	2,48	AVR (%)	50,55	39,85	8,20	1,40
	ST_DEV	0,08	ST_DEV (%)	0,01	1,52	1,19	0,35
DG1	AVR	2,41	AVR (%)	0,00	83,03	16,03	1,11
	ST_DEV	0,06	ST_DEV (%)	0,00	3,75	3,69	0,68
DG2	AVR	2,45	AVR (%)	0,00	76,81	22,38	0,81
	ST_DEV	0,04	ST_DEV (%)	0,00	6,57	6,41	0,16
AS1	AVR	2,48	AVR (%)	0,00	43,76	55,75	0,49
	ST_DEV	0,13	ST_DEV (%)	0,00	7,83	7,68	0,22
AS2	AVR	2,40	AVR (%)	69,60	15,40	14,41	0,59
	ST_DEV	0,08	ST_DEV (%)	6,06	6,06	0,13	0,13

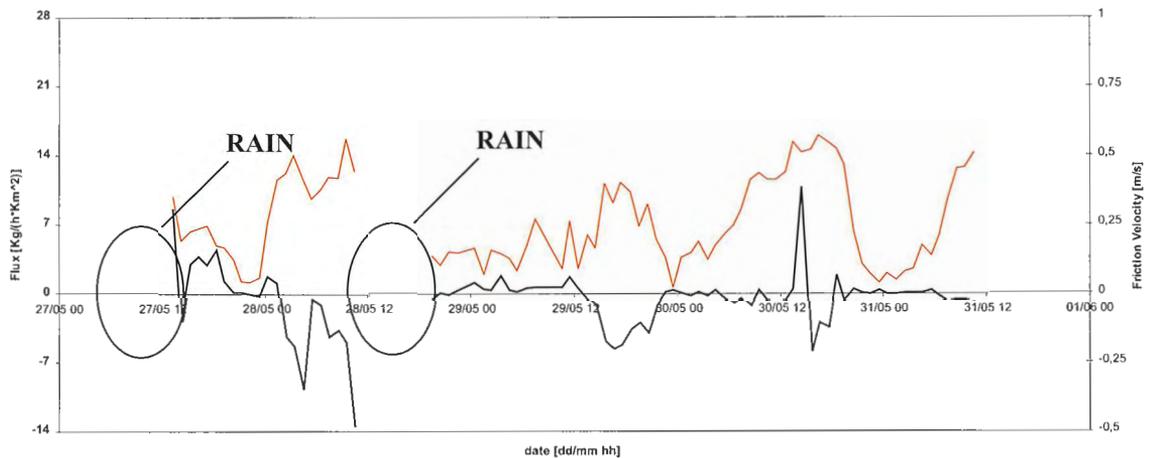
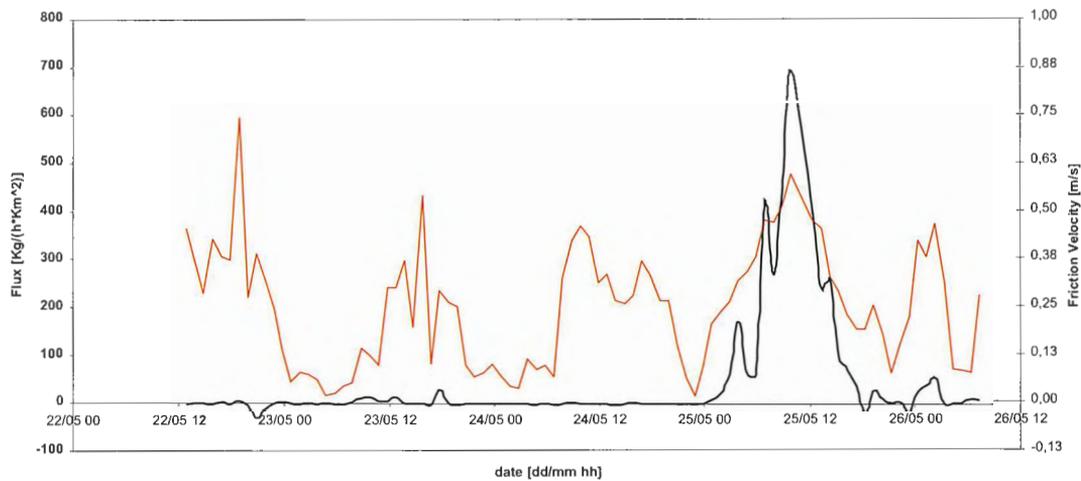


Figura 2. Serie temporali di flussi di PM_{10} ; flusso verticale netto di PM_{10} (linea nera) e velocità di frizione (linea rossa) nel tempo per i siti (dall'alto in basso) GB1, GB2.

rilevanti emissioni. Ciò che lo distingue dal sito GB1, ossia l'assenza di vegetazione, può in questo caso tradursi, paradossalmente, in un fattore inibitorio delle emissioni. Infatti, si è osservato che nel sito GB1 gli sparsi arbusti presenti erano affiancati da una piccola duna nella direzione sottovento. Evidentemente queste piccole dune sono l'effetto di precedente deposizione. Si ipotizza qui che, in funzione delle condizioni di vento, queste dune possano alimentare il flusso di particelle *saltanti* che determina, per impatto, l'emissione delle particelle ultrafini. Il sito GB2, non presentando tali dune, in qualche modo manca del materiale (tipicamente sabbioso) in grado di indurre i fenomeni di *sandblasting*.

La determinazione sperimentale dei flussi di emissione da erosione eolica è stata affiancata da uno studio modellistico dello stesso fenomeno, allo scopo di fornire uno strumento di confronto.

È stato selezionato un modello recente (WEAM, [10], [11]) ed è stata effettuata una campagna di raccolta dati negli stessi siti, allo scopo di applicare il modello nelle medesime condizioni monitorate e consentire un confronto quanto più aderente possibile. I risultati (Fig. 3) mostrano che, nonostante gli andamenti generali vengano riprodotti con una certa fedeltà, c'è spesso un notevole disaccordo in termini quantitativi; in particolare, si nota come il modello segua in maniera puntuale la velocità di frizione; questo si capisce perfettamente quando si pensi che tutti i parametri che dipendono dal sito rimangono costanti nel tempo, mentre l'unico parametro che varia è appunto la velocità di frizione. Nella realtà, però, non c'è una dipendenza così netta ed a periodi di vento forte non necessariamente si accompagnano intensi flussi di emissione, come mostra anche il grafico relativo al monitoraggio diretto. Questo può far



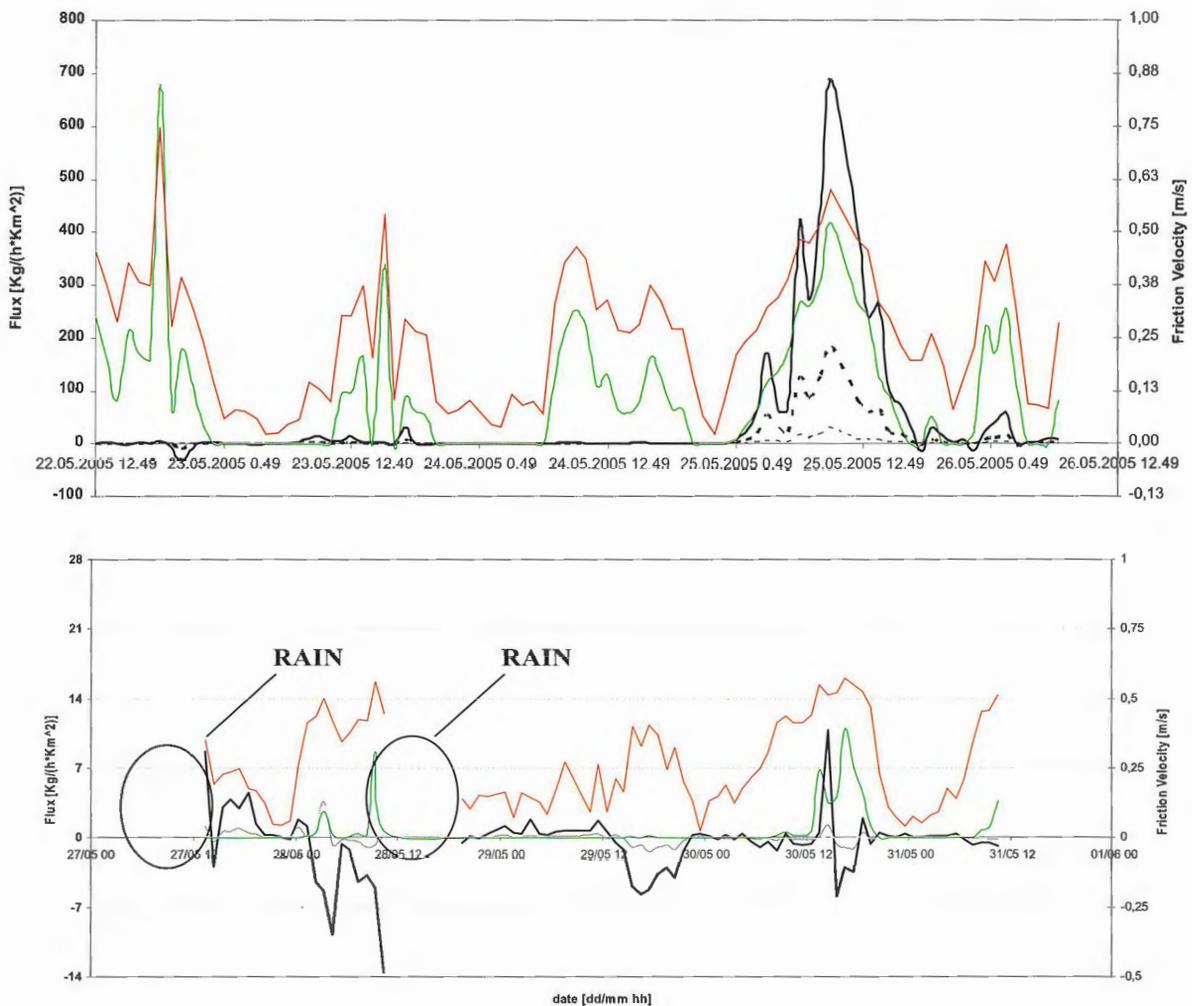


Figura 3. Confronto diretto modello WEAM e sistema EOLO: flusso verticale netto di PM₇ (linea nera), flusso di emissione da simulazione con WEAM (linea verde) e velocità di frizione (linea rossa) nel tempo per i siti (dall'alto in basso) GB1, GB2.

pensare che alcune variabili ancora trascurate nel modello debbano essere prese in considerazione (manca, ad esempio, una esplicita dipendenza dalla *direzione* del vento, oltre che dalla sua intensità), oppure a limiti intrinseci nella modellazione della velocità di soglia oltre la quale ha inizio l'erosione, che non tiene sufficientemente conto di variazioni avvenute nel sito (ad esempio, variazioni di umidità). È evidente che per le applicazioni su larga scala, uno strumento di monitoraggio diretto può difficilmente sostituirsi ad un modello; d'altra parte è essenziale avere un modello che riproduca adeguatamente il fenomeno dell'erosione, soprattutto dal punto di vista della localizzazione delle sorgenti e della loro intensità; ad oggi, praticamente ogni modello fa uso di un qualche

parametro che va calibrato in funzione di evidenze sperimentali o numeriche [12]; ciò rende i modelli caso-specifici, per cui nessun modello può essere considerato tale da dare risultati adeguati in diverse condizioni di suolo e a diverse scale. Per questi motivi l'approccio utilizzato, che consente di calibrare e modificare il modello tramite il confronto con misure dirette rilevate dalle aree sensibili, sembra il più promettente.

Modellistica delle tempeste di sabbia

Allo scopo di capire in che misura le polveri sollevate nelle remote regioni della Cina centro-settentrionale possano contribuire ai *dust events*

che si registrano nelle grandi capitali dell'estremo oriente come Pechino, è necessario fare uso di un modello previsionale di trasporto atmosferico a scala regionale. Una volta identificate le sorgenti di polveri rilevanti e quantificate le emissioni (paragrafo precedente), questi dati possono essere utilizzati come input ad un modello integrato di trasporto a scala regionale. Il modello integrato utilizzato nel progetto WinDust è composto da due sottomodelli, uno per la simulazione meteorologica (RAMS, *Regional Atmospheric Modeling System*) ed uno per il trasporto del particolato (CAMx, *Comprehensive Air quality Model with extensions*). Per una descrizione dettagliata del modello e per l'analisi dei risultati si rimanda a [13]. Oltre a costituire uno strumento di studio dell'evoluzione delle tempeste di sabbia, il modello integrato consente di studiare l'effetto di interventi di mitigazione e di prevenzione applicati su larga scala. Modificando gli scenari di utilizzo e di copertura del territorio in base a plausibili interventi, si modificano di fatto le mappe di emissione dalle zone desertiche e si può quindi determinare in che misura gli interventi di recupero ipotizzati influiscono sulle DSS a scala regionale. Questa parte del progetto è attualmente in fase di sviluppo: è stata completata l'integrazione dei vari moduli e sono in fase di definizione gli scenari di intervento su larga scala.

4. Progetti pilota di sviluppo sostenibile in Alashan

Come si è detto sopra, il modello integrato è stato sviluppato al fine di determinare l'impatto a scala regionale di scenari di intervento. Per fornire una base sostanziale a questi scenari di intervento, sono stati progettati e sono tuttora in fase di sviluppo dei progetti pilota su piccola scala, volti a testare l'integrazione di tecnologie e metodologie innovative di gestione del territorio, con le tecniche tradizionali, peculiari della regione dell'Alashan. Lo scopo principale dei progetti è fornire un'analisi di fattibilità per interventi di prevenzione e mitigazione su larga scala; testando "sul campo" l'introduzione di diverse tecnologie e *good practices*, se ne può valutare l'efficacia e la fattibilità economica su piccola scala, nonché la capacità di attecchimento sul territorio. Una componente tutt'altro che trascurabile, infatti, è proprio il grado di accettazione delle innovazioni introdotte da parte della popolazione rurale coinvolta; questa variabile, oltre ad essere difficilmente quantificabile, è anche caratterizzata da un elevato grado di aleato-

rietà, dipendendo strettamente anche da fattori contingenti, quali ad esempio la credibilità di chi propone gli interventi, a prescindere dal valore oggettivo intrinseco nel progetto. In questo senso, il progetto pilota si configura allora come un passo essenziale verso la produzione di scenari di intervento su larga scala che abbiano la pretesa di essere verosimili – che si propongano, in definitiva, come strumenti di *policy-aiding*. L'analisi di natura socio-economica condotta nelle primissime fasi del progetto ha portato all'identificazione dei fattori socio-ambientali critici e alla definizione delle necessità della popolazione locale ritenute prioritarie. I fattori di impatto antropico sul territorio ritenuti più rilevanti sono: (i) il sovra-pascolamento derivante dall'elevato numero di capi di bestiame (100-300 tra capre, pecore, cammelli e cavalli per famiglia); (ii) il disboscamento delle già esigue riserve forestali della regione per l'accumulazione di legna da ardere durante i lunghi e rigidissimi inverni (in media 6 ton/famiglia/anno); (iii) il sovra-sfruttamento della falda acquifera dovuto all'impiego di pratiche di irrigazione niente affatto efficienti e di scelte non oculate nella selezione delle specie coltivate; in particolare, un arbusto (l'*Haloxylon ammodendron*, detto anche *saxoul*) che, per diffusione e resistenza alle estreme condizioni ambientali, è considerato la più importante risorsa naturale della zona, è a rischio di estremo depauperamento. Tra le necessità prioritarie della popolazione locale, oltre ovviamente ad un auspicato sviluppo della ricchezza interna, vi è la volontà di preservare lo stile di vita che porta a vivere in nuclei familiari isolati dal resto della comunità e di perpetrare la pastorizia come principale fonte di sostentamento (retaggio della tradizione nomade, seppur ormai abbandonata da decenni in queste regioni).

Tra gli altri, due progetti pilota sono stati proposti all'interno di WinDust: (i) un progetto di *energy substitution* ed *energy saving* in agricoltura, e (ii) un progetto di micro-propagazione in vitro del *saxoul*.

Progetto Pilota I: Energie rinnovabili e risparmio energetico per l'agricoltura rurale

Al fine di affrontare, con un approccio unitario, i tre problemi ecologici emersi come prioritari, è stato proposto un progetto di sostituzione delle fonti energetiche familiari e di introduzione di tecniche irrigue a risparmio d'acqua e di energia. Il progetto è stato contestualizzato su una fattoria, localizzata in prossimità della città di Jar-



tai (Fig. 1). Nelle sue linee generali (per una descrizione dettagliata del progetto si rimanda a [14]), il progetto prevede l'introduzione di un sistema di irrigazione a goccia (Netafim, Israele), alimentato da un sistema di pompe funzionanti in corrente continua a basso voltaggio (Fluxinos, Italia), alimentate cioè direttamente da pannelli fotovoltaici (Eni Tecnologie, Italia); uno schema dell'impianto è mostrato in Fig. 4. La quantità di acqua resa disponibile per l'irrigazione è regolata dal ciclo solare, mentre un serbatoio di accumulo fornisce la prevalenza necessaria per distribuire l'acqua lungo tutto l'impianto (che si estende per circa 2 ettari) e costituisce un modesto volano di riserva idrica. Il concetto che sottende la progettazione del sistema di approvvigionamento idrico si fonda sul principio che esista un continuo feedback tra energia disponibile e bisogni idrici della piantagione, capace di regolare costantemente l'emissione idrica. È appena il caso di sottolineare che il sistema è stato dimensionato in modo tale che ogni pianta riceva in media, nella stagione, una quantità d'acqua pari alla sua necessità idrica.

Il sistema assolve così a diversi scopi: (i) massimizza l'utilizzo di energia (pulita e rinnovabile) per definizione ampiamente disponibile in aree desertiche, ossia l'energia solare; (ii) propone una fonte alternativa al gasolio, combustibile normal-

mente utilizzato nella zona; (iii) minimizza la quantità di acqua utilizzata per unità di territorio tramite un dosaggio puntuale e predefinito, proponendosi come eccellente alternativa alla tradizionale tecnica di irrigazione a scorrimento (tecnica semplice ma che comporta un ingente spreco di acqua, che può arrivare fino al 90%).

Il sistema così pensato è stato installato per irrigare una piantagione in cui le specie sono state accuratamente selezionate, ancora al fine di affrontare i problemi identificati. Una delle specie selezionate è proprio il *saxoul* (*Haloxylon ammodendron*), arbusto tanto utilizzato dalle popolazioni dell'Alashan, principalmente come legna da ardere ma anche perché in corrispondenza delle radici del *saxoul* cresce un tubero (*Cistanche salsa*) che, simile al *jingseng*, è molto utilizzato in ambito farmaceutico ed officinale. Le potenzialità economiche di questo tubero sono note alle popolazioni locali, che però non hanno ancora trovato le vie commerciali per renderlo redditizio; piantare il *saxoul* potrebbe ovviamente essere un'alternativa economica ecologicamente vantaggiosa, atta a proteggere l'ecosistema desertico originale. Va osservato, tra l'altro, che gli abitanti della regione hanno già maturato una consapevolezza del loro impatto sul territorio, tanto che si sono imposti delle leggi locali che vietano il taglio del *saxoul* che



Figura 4. Sopra: *layout* del sistema di irrigazione ed uno schizzo del sistema di pompaggio ad energia solare; sotto: dettagli dell'installazione.

cresce spontaneamente: questo li ha posti ovviamente di fronte al dilemma di dove reperire, altrimenti, la legna da ardere necessaria al riscaldamento. A questo scopo, specie a rapido accrescimento come *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia* o *Salix matsudana* sono state proposte per piantagioni in *short-rotation* che hanno le potenzialità di fornire il combustibile necessario alle attività domestiche. Evidentemente, il potere calorifico di specie a rapido accrescimento è ben inferiore a quello del *saxoul*, per cui si è completata la proposta con l'introduzione di stufe ad alta efficienza energetica, che hanno il vantaggio di ridurre l'inquinamento domestico, con un adeguato trattamento dei fumi; in effetti, il paradosso che vivono le famiglie dell'Alashan è quello di abitare in un ambiente praticamente incontaminato ma con un inquinamento *indoor* elevatissimo, a causa dei bruciatori utilizzati. Una parcella di *sorghum sudanensis* è stata piantata per fornire una parziale alternativa al pascolo naturale per gli animali allevati; nella seconda fase si prevedono allo stesso scopo anche piantagioni di *Corniculatum*, *Trifolium repens*, *Festuca ovina*, *Festuca arundinacea* o *Dactylis glomerata*. Nella prima installazione, a causa di problemi contingenti nell'approvvigionamento del materiale vegetale, la piantagione del pioppo è stata sostituita con quella della *Tamarix elongata*, della *Caragana microphylla* e dell'*Elaeagnus angustifolia* specie tipiche della regione, ad alto potenziale rigenerativo e quindi utilizzabili in interventi di riforestazione.

Nella seconda fase del progetto è prevista inoltre l'installazione "in remoto" (ossia non in prossimità di una fattoria supervisionata quotidianamente) di un'altra piantagione irrigata, alimentata questa volta da una pompa eolica (Ropatec, Italia), al fine di testare le potenzialità di utilizzo dell'altra fonte pulita e rinnovabile abbondantemente disponibile, ossia il vento; il test è inteso anche a verificare la fattibilità per l'installazione di unità di ripopolamento vegetale a sé stanti, in cui il fattore da massimizzare è stavolta l'area riforestata. Queste unità locali di ripopolamento potrebbero creare masse critiche capaci di ripopolare regioni limitrofe.

I risultati, assolutamente parziali, ottenuti fin ora, suggeriscono ottimismo; anche se la piantagione, per ragioni contingenti, è stata effettuata in netto ritardo (Luglio 2005), le percentuali di attecchimento sono assolutamente confortanti, come mostra la Tab. 2.

Un discorso a parte va fatto per il *saxoul*, la cui bassa percentuale di attecchimento potrebbe essere dovuta (oltre che alla piantumazione fuori sta-

Tabella 2. Percentuali di sopravvivenza nella prima piantagione.

<i>Elaeagnus angustifolia</i>	60%
<i>Haloxylon ammodendron</i>	20%
<i>Caragana microphylla</i>	80%
<i>Tamarix elongate</i>	70%
<i>Sorghum sudanensis</i>	100%

gione) anche alla qualità del materiale di partenza. In effetti, si vede dalla Fig. 5 che la crescita media del *saxoul* nella piantagione è nettamente più rigogliosa rispetto al *saxoul* piantato, nello stesso anno ma nella stagione corretta (Maggio 2005), secondo le tecniche tradizionali. Questo potrebbe indicare che l'elevata mortalità non è da associare alla qualità dell'irrigazione, ma piuttosto alla qualità del materiale di partenza.

Progetto Pilota II: Micro-propagazione in vitro dell'*Haloxylon ammodendron*

Data la rilevanza, anche in chiave economica, associata all'*Haloxylon ammodendron*, è stato inserito in WinDust un progetto pilota per la micro-propagazione in vitro di questa specie. L'idea è quella di trovare una tecnica di riproduzione rapida ed efficiente per il *saxoul*, allo scopo di alimentare le attività vivaistiche in Alashan e rendere disponibili giovani piante per l'utilizzo sia su piccola scala (fattorie), sia su più ampia scala (interventi di riforestazione governativi). Lo scopo dell'attività è di selezionare gli agenti di accrescimento ed il protocollo di propagazione *in vitro* più idonei nello specifico caso del *saxoul*. Una volta terminata questa fase, che viene portata avanti nei laboratori dell'Università della Tuscia, il progetto prevede uno studio di fattibilità per la creazione di un laboratorio di micro-propagazione del *saxoul* in Cina, se non addirittura in Alashan. Per quanto noto, questo è il primo tentativo di micropropagazione dell'*Haloxylon ammodendron*; soltanto in [15] si è trovato un tentativo di propagazione dell'*Haloxylon aphyllum*, i cui risultati sono comunque stati considerati come riferimento. Il materiale di partenza (semi e piante madri) è stato fornito dal *Chinese Forest Bureau of Alashan*. Il primo passo (la Fig.6 mostra alcune fasi dell'esperimento) è consistito nella determinazione della soluzione sterilizzante ottimale sia per i semi che per le piante madri, ottenendo percentuali di germinazione pari al 100% ed al 68%, rispettivamente. Successi-



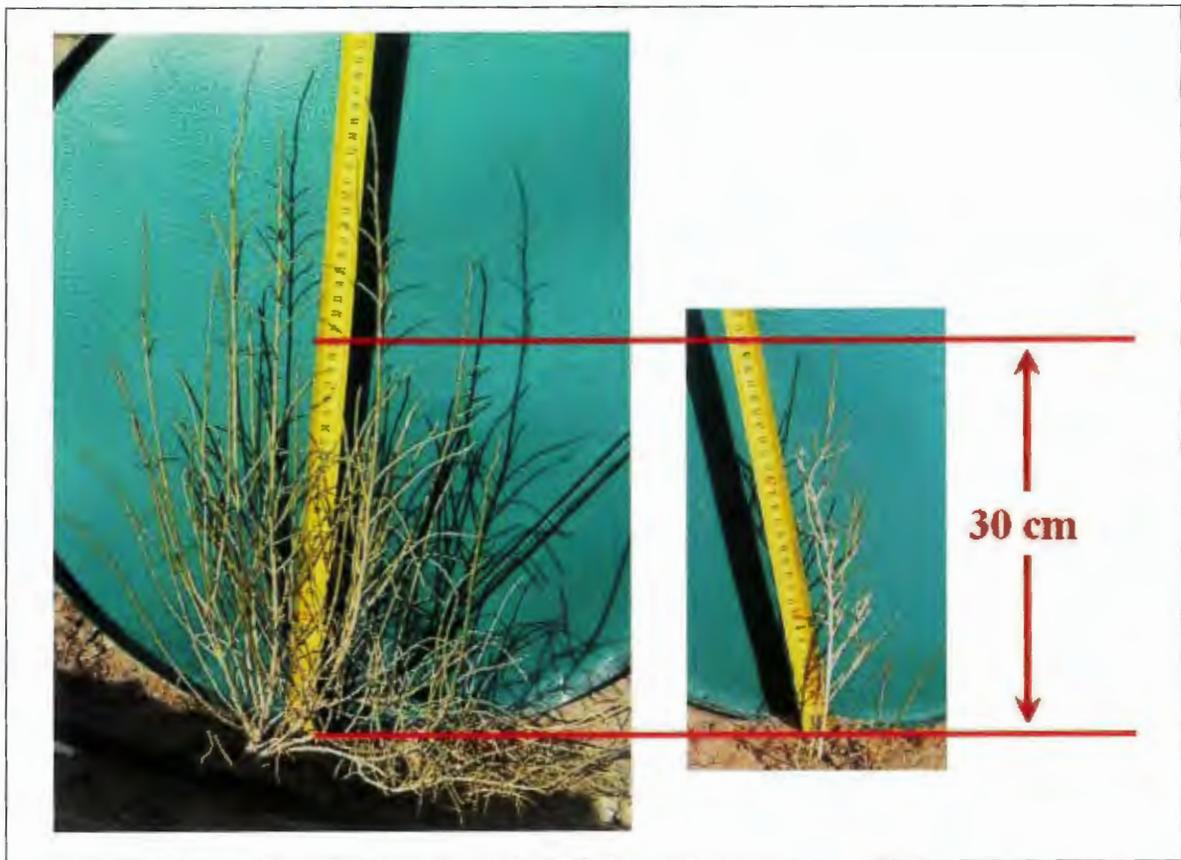


Figura 5. Confronto tra una pianta di *saxoul* ottenuta nella piantagione irrigata a goccia (sinistra) e nella piantagione effettuata con tecnica tradizionale (destra). I due esempi sono rappresentativi delle dimensioni medie delle piante nelle due piantagioni. Le fotografie sono state prese nello stesso giorno (20 Ottobre 2005).

vamente, sono stati selezionati terreni di coltura, determinando nella MS modificata con l'aggiunta di 1 mg/L BAP la sostanza ottimale per la moltiplicazione dei rami. La fase di radicazione, condotta sui semi privati dell'apparato radicale, ha evidenziato una capacità massima di radicazione del 20%, ciò che, se confermato dalle ulteriori attività di laboratorio previste per la seconda fase del progetto, ridurrebbe l'efficienza del sistema, senza peraltro metterne in discussione la fattibilità, data la relativamente elevata disponibilità di semi per il *saxoul*. Le attività attualmente in corso sono volte allo studio degli agenti di radicazione ottimali anche a partire dalle piante madri.

5. Conclusioni

Lo scopo finale del progetto è ovviamente quello di fornire uno strumento di *policy-aiding* alla Municipalità di Pechino, che aiuti nella selezione di interventi che mirino contemporaneamente

allo sviluppo rurale e alla prevenzione e mitigazione delle tempeste di sabbia. Per far questo, i risultati dei progetti pilota saranno oggetto di un'analisi oggettiva (in termini tecnici e socio-economici) di diffusione su larga scala. Questo consentirà lo sviluppo di verosimili scenari di intervento futuro sul territorio; questi scenari si tradurranno quindi in mappe di variazione nell'uso del territorio, le quali a loro volta saranno un input ai modelli di emissione e diffusione delle polveri. In tal modo, si fornirà gli enti decisionali di uno strumento di valutazione oggettiva dell'effetto di diversi interventi, eventualmente da compararsi con i piani di azione nazionali; questo evidentemente si pone come un potente strumento decisionale, che consente di prevedere, eventualmente anche soltanto in termini di tendenza, l'effetto a lungo termine di politiche di sviluppo e di preservazione ambientale, altrimenti impossibili da ipotizzare. Quando, affiancato agli usuali strumenti di *policy-making*, che tengano conto anche di altre priorità ed altri vincoli, il modello integrato andrà quindi

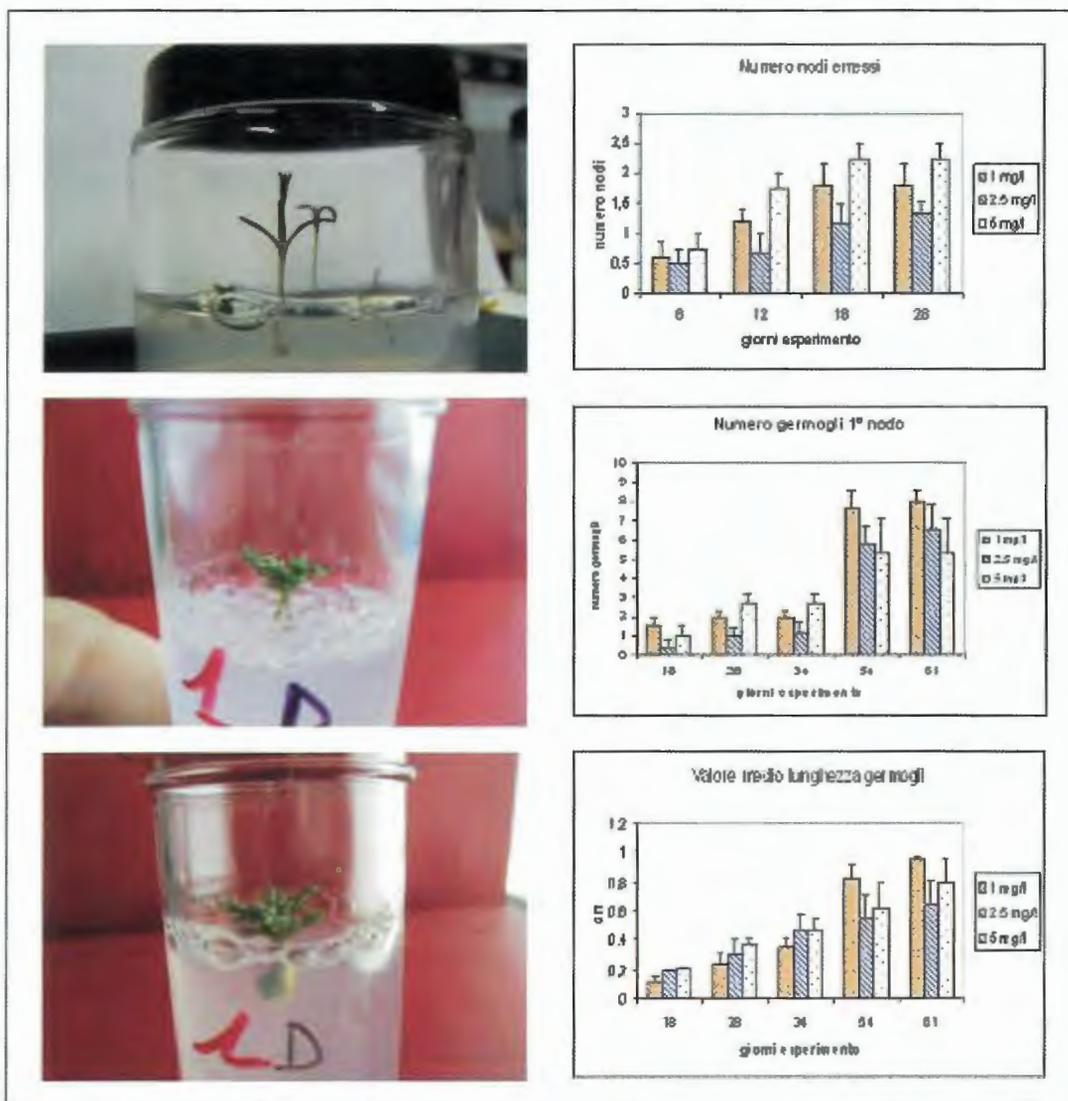


Figura 6. fasi di radicazione, di moltiplicazione e di elongazione durante l'esperimento di micro-propagazione dell'*Haloxylon ammodendron* condotto nei laboratori dell'Università della Tuscia.

a completare il set di strumenti a disposizione per la pianificazione su larga scala ed a lungo termine, con un *tool* molto efficace quando ci si trovi ad affrontare problematiche complesse e dalle dinamiche fortemente non lineari come le tempeste di sabbia.

Bibliografia

Quan H., *KOSA study in last 3000 years* Research of Environmental Sciences 1994. (6): p. 1-12.
Wang X.D., Z. Zhang, J. Liu, L., *Modern dust storms in China: an*

overview. Journal of Arid Environments, 2004. 58: p. 559-574.
Kim D.S.C., G.H., White, B.R., *A wind-tunnel study of atmospheric boundary-layer flow over vegetated surfaces to suppress PM10 emission on Owens (dry) lake*. Boundary-Layer Meteorology, 2000. 97: p. 309-329.

China national report to implement the United Nation's convention to combat desertification (UNCCD). 2002.

Sun J.Z., M. Liu T.; *Spatial and temporal characteristics of dust storms in China and its surrounding regions, 1960-1999: relations to source area and climate*. Journal of Geophysical Research, 2001 106(D10): p. 10325-10333.

Liu S., *Where dust storm come from?* Environmental Education, 2001. 3: p. 6-8.

Bagnold R.A., *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. London : Methuen & Co., 1941.

Zobeck T.M.S., G., Funk R., Rajot J.L., Stout J.E., Van Pelt R.S., *Measurement and data analysis methods for field-scale wind erosion*



studies and model validation. Earth Surf. Process. Landforms, 2003. 28: p. 1163-1188.

Fratini G., M. Santini, M. Valentini, R., *Assessing wind erosion vertical dust fluxes: direct measures vs model application.* under preparation for the *8th International Conference on Development of Drylands.* 2006. Beijing.

Lu H.S., Y., *A new model for dust emission by saltation bombardment.* Journal of Geophysical Research, 1999. 104(16827-16842).

Shao Y., *A model of mineral dust emission.* Journal of Geophysical Research, 2001. 106(20239-20254).

Dong Z.L., X., Wang, H., Wang X., *Aeolian sand transport: a wind tunnel model.* Sedimentary Geology 2003 161: p. 71-83.

Pasqui M.B., L. Busillo C., Guarnieri F., Martinelli M., Scalas P. Torriano L., *Dust sandstorm dynamics analysis in northern China by means of atmospheric, emission, dispersion modeling* under preparation for the *8th International Conference on Development of Drylands.* 2006. Beijing.

Da Canal S.M., M., Monteverdi M.C., Mancini F., Valentini R., *Improving sustainable rural development as a key to fight Dust Storms: an example in North China,* under preparation for the *8th International Conference on Development of Drylands.* 2006: Beijing.

Parveen P.B., E.H.; *In vitro propagation of Haloxylon aphyllum.* Acta Hort. (ISHS) 2001. 560: p. 461-464.