



**DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELL'AMBIENTE FORESTALE E DELLE SUE
RISORSE**

**CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN
ECOLOGIA FORESTALE – XX CICLO**

**MODELLISTICA DELLE INTERAZIONI
ECOSISTEMA-UOMO PER LA GESTIONE
DELLE ZONE ARIDE E SEMIARIDE
DELL'INNER MONGOLIA (CINA)**

Settore Scientifico Disciplinare – AGR/05

Dottorando: Sara Da Canal

Firma _____

Coordinatore: Prof. Paolo De Angelis

Firma _____

Tutore: Prof. Riccardo Valentini

Firma _____

Co-Tutore: Prof. Ervedo Giordano

Firma _____

Università degli Studi della Tuscia
Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (DISAFRI)
Via S. Camillo de Lellis, snc 01100 Viterbo

Corso di Dottorato di Ricerca in Ecologia Forestale
Coordinatore: Prof. Paolo De Angelis

Tesi di Dottorato di Ricerca in Ecologia Forestale (XX ciclo)
di: Sara Da Canal
Marzo 2008

Questo lavoro mi ha dato l'opportunità di conoscere un paese immenso e complesso come la Cina, studiandone misteri e problemi che sono e saranno fondamentali per lo sviluppo dell'intero pianeta. Le difficoltà non sono mancate e ritengo doveroso esprimere il mio vivo ringraziamento a tutti coloro che mi sono stati vicini e mi hanno assicurato la loro collaborazione.

In primo luogo la mia gratitudine va al Prof. Riccardo Valentini che ha voluto affidarmi questa ricerca, mettendomi a disposizione la sua vasta esperienza scientifica internazionale e il suo sostegno.

Grazie al dott. Corrado Clini e al dott. Massimo Martinelli che con il loro lungimirante lavoro presso il ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, hanno permesso la realizzazione del progetto WINDUST fornendo non solo un supporto economico ma una ben più preziosa esperienza ormai decennale di cooperazione nel settore ambientale con la Repubblica Popolare Cinese.

Un grazie particolare ai partecipanti al progetto WINDUST: Gerardo Fratini, Monia Santini, Renato Zompanti ed in particolare ad Elena Martino che con il suo costante e appassionato lavoro di mediatrice culturale, mi ha aiutato a comprendere un più a fondo la realtà della Cina rurale.

Un vivo ringraziamento va a Cristina Monteverdi, insostituibile compagna di lavoro ed ora ottima amica.

Grato ricordo va a tutti i colleghi e collaboratori in Cina: Ding Jianqi, Li Zhang, Li Pei e a tutti i volontari della Alxa SEE Environmental Association.

Un ringraziamento particolare va alla famiglia di Lu Xin Jun che ha accolto il nostro progetto dandomi la gioia di vedere la diffidenza trasformata in interessato ottimismo e partecipazione sincera.

Un grazie speciale va al Prof. Giordano che, appassionandosi al mio lavoro, mi ha messo a disposizione tutta la sua paziente esperienza per comporre e completare il manoscritto così come lo leggerete.

Infine un timido grazie a Daniela, Guido, Francesca e Riccardo.

RIASSUNTO

La desertificazione mostra i suoi effetti più critici negli ecosistemi di transizione che dalle regioni aride della terra transitano verso le regioni temperate.

L'obiettivo principale della tesi è quello di individuare sotto quali condizioni è possibile stabilizzare la “steppa desertica” e in quale modo l'uomo, attraverso le sue scelte di gestione, può condizionare questo delicato equilibrio. La steppa desertica insieme al deserto sono due condizioni di equilibrio dell'ecosistema di transizione della regione dell'Alashan, nella provincia autonoma dell'Inner Mongolia (Cina).

Per studiare il fenomeno di transizione che si manifesta nella regione dell'Alashan è stato realizzato un modello dinamico operante su scala locale, che è in grado di rappresentare l'ecosistema di transizione attraverso 6 variabili di stato e di integrare un criterio decisionale che simula una scelta di gestione compiuta dall'uomo.

L'analisi dinamica del modello ha permesso di individuare i principali fattori che limitano lo sviluppo e la conservazione della regione di studio, fornendo suggerimenti per la sua gestione.

ABSTRACT

The desertification shows the most critical effects in the transition ecosystems (i.e. the arid regions that move towards the tempered areas).

The aim of the thesis is to identify the condition under witch it is possible to stabilize the desert steppe and in witch way inhabitants can alter the fragile equilibrium with their mismanagement. The desert steppe and the desert are two equilibrium conditions of the transition ecosystem in the Alashan region (Inner Mongolia, China).

The thesis shows a local dynamical model that has been developed in order to study the transition phenomena that are present in the Alashan region. The dynamical system uses 6 state variables to simulate the transition ecosystem and it is coupled with a decisional model that simulates the human choice of management.

The dynamical solutions of the model identify the main factors that limit the development and the conservation of the region understudy. It allows one to find possible hints for a better management of the area.

INDICE

PREMESSA.....	1
1 INTRODUZIONE	3
2 LA LEGA DELL'ALASHAN IN INNER MONGOLIA	7
2.1 Analisi climatica	9
2.1.1 Temperatura	11
2.1.2 Precipitazioni	13
2.1.3 Vento.....	14
2.1.4 Umidità	16
2.2 Analisi idrogeologica.....	19
2.3 Analisi ecologica	22
2.3.1 Flora dell'Alashan	22
2.3.2 Fauna dell'Alashan	24
2.4 Analisi socio-economica.....	25
2.4.1 Le comunità rurali dell'Alashan	26
2.5 Effetti antropici sull'ecosistema	30
2.5.1 La deforestazione	30
2.5.2 Il pascolo intensivo	31
2.5.3 L'abuso della risorsa idrica.....	31
3 MODELLO DINAMICO DI UN ECOSISTEMA ARIDO.....	33
3.1 Sistemi dinamici per l'ecologia economica.....	36
3.2 Il modello DHG – Desert, Grazing, Human	38
3.3 La dinamica della popolazione vegetale.....	41
3.3.1 L'equazione per la biomassa epigea	42
3.3.2 L'equazione per l'umidità del suolo	43
3.3.3 L'equazione per la necromassa.....	44
3.4 La dinamica della popolazione di erbivori	46
3.4.1 L'equazione per gli individui del gregge.....	47
3.4.2 L'equazione del peso medio della popolazione.....	49
3.5 Azione dell'uomo	50
3.5.1 Pastorizia.....	52
3.5.2 Agricoltura.....	53

3.5.3 Turismo	54
3.5.4 Vincoli	55
3.6 Stima dei parametri fisic- economici del modello	58
3.7 Implementazione del modello	62
3.8 Verifica del modello	63
4 STABILITA' DELL'ECOSISTEMA E SUA GESTIONE	67
4.1 Analisi di sensibilità per il sistema naturale	68
4.1.1 Pluviometria	69
4.1.2 Traspirazione potenziale	72
4.1.3 Appetibilità delle specie	74
4.2 Valutazione dell'effetto antropico	76
4.2.1 Gestione di tre comunità caratteristiche	76
4.2.2 Effetto della variazione interannuale di pluviometria	84
5 CONCLUSIONI	89
 APPENDICE A: il progetto Pilota in Alashan	 93
Cronologia degli interventi	95
Caratteristiche del sito	96
Valutazione agronomica del suolo	99
Impianto pilota	102
Sistema di pompaggio	103
Sistema d'irrigazione	107
Impianto agro-forestale	114
Primi risultati ottenuti	118
 APPENDICE B: implementazione in Python del modello DGH	 121
File DGH_main.py	121
File Class_DGH.py	125
 BIBLIOGRAFIA	 129

PREMESSA

Da alcuni anni, la comunità internazionale ha iniziato ad interrogarsi sulle cause di un processo chiamato desertificazione che l'United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) definisce come "land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid areas resulting from various factors, including climatic variations and human activities".

Il deserto copre il 30% delle terre emerse ed appare in continuo aumento con una velocità di circa 6 milioni di ettari di terre rese completamente sterili ogni anno. Più di 250 milioni di persone sono direttamente colpite dal fenomeno, mentre quasi un sesto della popolazione mondiale è a rischio di sopravvivenza (El Beltagy, 2000).

Le serie storiche di immagini satellitari sono in grado di fornire una visualizzazione chiara del processo di desertificazione, delle sue dimensioni e della vastità delle comunità coinvolte, ma è difficile comprendere in quale misura le cause di questo fenomeno dipendono da fattori climatici/ambientali o sono indotte dall'attività umana. La notevole differenza di scale temporali e spaziali sulle quali agiscono le due cause prime della desertificazione fa sì che, almeno sul breve periodo, sia praticamente impossibile analizzarli in forma disaccoppiata (Mainguet et al., 1995).

D'altra parte il fenomeno della desertificazione e le gravi conseguenze che comporta, sono solo la più concreta rappresentazione dei limiti dell'attuale modello di sviluppo. Crescita demografica e aumento dei bisogni manifestano i loro effetti prima in quelle regioni della Terra che sono povere di risorse naturali e, viceversa, è proprio lì che l'effetto della gestione umana può diventare devastante per il fragile equilibrio raggiunto. Vi è quindi necessità di integrare le conoscenze sull'ecosistema in modo da considerare non solo l'economia dell'uomo ma anche l'economia della natura (Costanza et al., 1997). L'originalità di questo lavoro, è rappresentata proprio, dal tentativo di ampliare i limiti dei modelli fino ad ora impiegati.

L'opportunità di sviluppare un'analisi accoppiata delle due fenomenologie è nata all'interno del progetto WINDUST affidato dal Ministero dell'Ambiente, del Territorio e del Mare al DISAFRI dell'Università degli Studi della Tuscia e inserito nel più vasto quadro della cooperazione bilaterale Italia-Cina.

La Cina con i suoi vasti territori desertici ed in particolare la Lega dell'Alashan (Inner Mongolia) che ospita nei suoi altopiani tre dei maggiori deserti del nord Asia - Badain Jaran, Tenggeri and Wulanbuhe - è una delle regioni più colpite dell'Asia settentrionale dal fenomeno della desertificazione e, non a caso, è stata inserita come punto focale nel Regional Plan to

combact Wind Dust. (Regional Master Plan for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms in Northeast Asia, 2005).

Le caratteristiche socio-economiche di questa regione, legate ai drammatici problemi ecologici, la rendono ideale per la costruzione di un primo modello integrato di evoluzione dinamica di un ecosistema di transizione deserto- steppa desertica gestito dall'uomo.

Nei prossimi capitoli, sarà illustrato il complesso d'ipotesi che ha generato il modello dinamico DGH (Desert-Grazing-Human) per fornire, nell'ultimo capitolo, i primi risultati in termini di gestione e sviluppo delle aree desertiche. Questo approccio globale risponde alla necessità di creare uno strumento di previsione degli scenari futuri che integri le decisioni umane, valutandone il loro effetto sull'ecosistema. Inoltre, in appendice, sono state descritte le varie fasi per l'attuazione del progetto pilota in Alashan realizzato in collaborazione con l'Environmental Protection Bureau di Beijing e l'Alxa SEE Ecological Association.

1 INTRODUZIONE

La Cina con il 34.6% del territorio dichiarato sensibile alla desertificazione, è uno dei paesi più colpiti dal fenomeno. Il deserto che si estende su un'area dall'orografia complessa, copre 2.636 milioni di km² ovvero quasi il 79,5% dell'area sensibile alla desertificazione, che è una percentuale più elevata della media mondiale che si aggira intorno al 69%.



Figura 1 Mappa della Cina: con evidenziata la Provincia Autonoma dell'Inner Mongolia e la Lega dell'Alashan.

Le regioni desertiche sono distribuite su 498 contee in 18 province, tra le quali lo Xinjiang, l'Inner Mongolia, il Tibet, il Qinghai, il Gansu, l'Hebei, il Ningxia, lo Shaanxi e lo Shanxi

(Regional Master Plan for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms in Northeast Asia, 2005)

La distribuzione geografica dei deserti della Cina è divisa in due parti dalla catena montuosa delle Helan (Ding et al., 1999).

La regione occidentale comprende il deserto sabbioso e roccioso del Gobi ed arriva fino alle montagne del Tianshan, delimitata a sud dalla catena montuosa di Qilian. Il sistema di drenaggio delle acque meteoriche è interno alla regione e le precipitazioni medie annuali variano tra i 150 e gli 80 mm. Questa regione è fortemente colpita da fenomeni di erosione eolica e con i suoi 1.839 milioni di km² rappresenta il 19% del territorio nazionale e comprende ben 13 province. Il deserto sabbioso che copre la parte più occidentale dell'area (i.e. Taklimakan e Badain Jaran) ospita ancora molte dune mobili (shifting dunes).

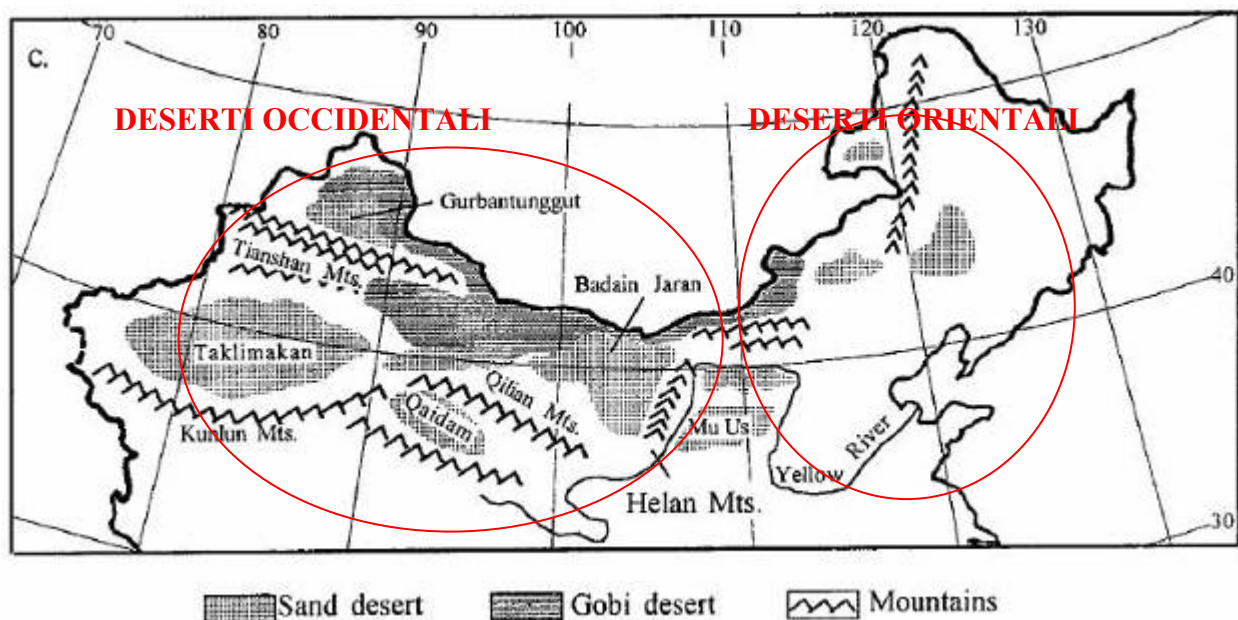


Figura 2 Mappa schematica che mostra la localizzazione dei deserti sabbiosi e dei deserti tipo Gobi nel nord e nord-ovest della Cina. Il deserto del Gobi è distinguibile per la sua maggiore superficie di deposito. Il Loess Plateau è localizzato a sud sud-est della regione desertica (Ding et al., 1999).

La regione orientale è situata nella parte est del Plateau della Mongolia Interna, ed è caratterizzata da un sistema di drenaggio esterno, guidato dal deflusso dell'alto e medio corso del fiume Giallo. Le precipitazioni annuali sono mediamente più elevate e oscillano tra i 200-400 mm. La regione desertica è frutto di una forte erosione idrica che ha interessato il bacino di deflusso del fiume Giallo (2.593 milioni di km²) che scorre per lo più all'interno del Loess Plateau. Le dune di sabbia presenti nella parte più orientale della regione sono state fissate da una vegetazione pseudo-perenne.

Il sorprendente sviluppo economico che ha caratterizzato la Cina negli ultimi 50 anni , non può escludere queste aree tanto più che ultimamente la ricerca di nuove fonti di energia

alternative al petrolio ha reso particolarmente vantaggioso lo sfruttamento dei giacimenti di carbone fossile che sono concentrati prevalentemente in Inner Mongolia.

E' proprio il progressivo e accelerato sviluppo, seguito ad un consistente aumento demografico, che sta trasformando le dinamiche tradizionali di organizzazione sociale e di utilizzo del suolo andando a completare il più vasto quadro di fattori abiotici e biotici che guidano il processo di desertificazione.

Per analizzare questo complesso quadro evolutivo partiamo dall'integrazione delle comunità rurali in una delle regioni più di confine della Cina, ovvero dall'Left Alxa Banner della Lega dell'Alashan in Inner Mongolia.

2 LA LEGA DELL'ALASHAN IN INNER MONGOLIA

La Regione Autonoma dell'Inner Mongolia (da ora in poi IMAR) nel complesso sistema dei deserti cinesi, si comporta come un'area di transizione tra le regioni umide del sud, caratterizzata dai regimi monsonici, e le regioni aride e desertiche del nord continentale. Non è un caso se l'IMAR è attraversata per tutta la sua larghezza dalla linea iso-pluviometrica dei 380 mm annuali, che rappresenta il confine tra fertile sud ed arido nord.

Lo stato di degrado che caratterizza la parte occidentale dell'IMAR, appare ogni giorno più evidente tanto che, la Lega dell'Alashan è stata dichiarata dall'UNCCD come la maggiore sorgente di polveri e sabbie del nord-est asiatico e rientra tra le "Focus Areas" del piano di recupero regionale della Repubblica Popolare Cinese (Regional Master Plan for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms in Northeast Asia, 2005).

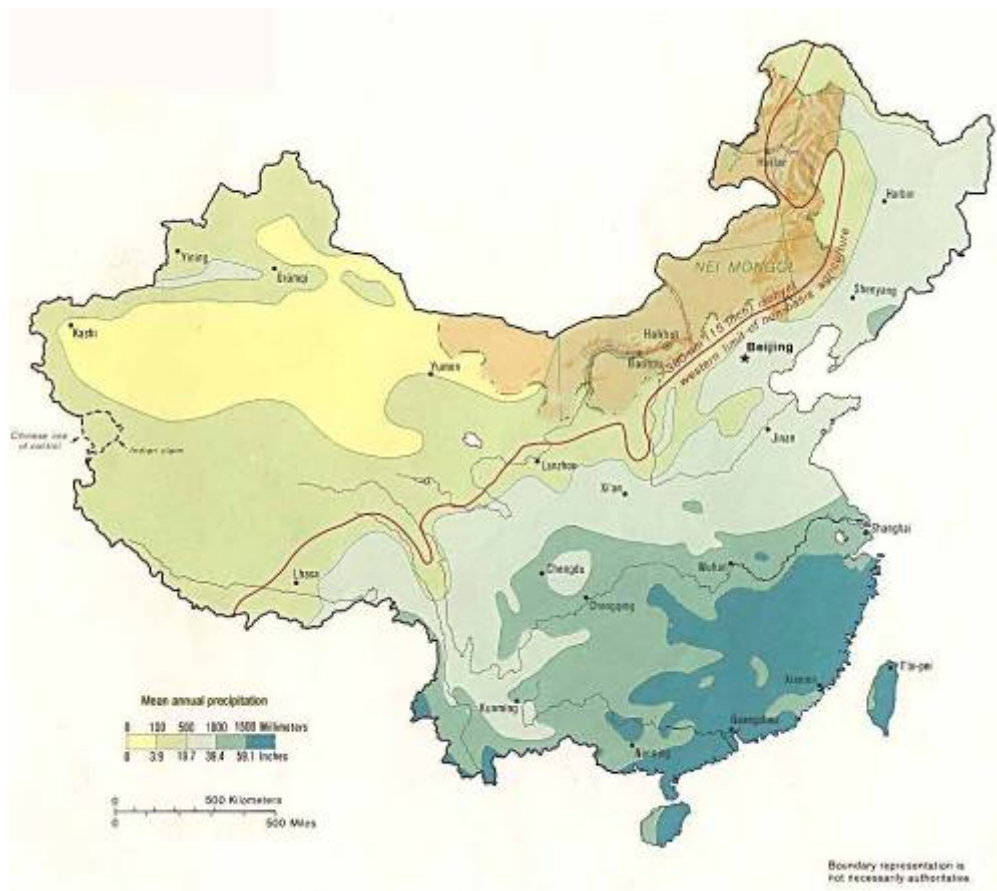


Figura 3 Mappa delle precipitazioni in Cina (da University of Texas Libraries)

Come osservato da Xue (Xue, 1996), la sistematica riduzione della copertura vegetale delle aree pre-desertiche dell'IMAR condiziona fortemente il clima di tutta la regione, proiettando i suoi effetti su scala planetaria.

Nell'ambito dello studio dei Cambiamenti Climatici, molti esperimenti ed analisi sono stati condotti per evidenziare il ruolo delle aree desertiche sul clima mondiale che hanno riguardato in prevalenza le regioni sahariane mentre minore attenzione è stata dedicata, finora, alle zone desertiche e pre-desertiche dell'Asia centrale.

Tuttavia lo stretto legame tra cicli monsonici del sud est asiatico e il clima dell'area a cavallo della catena delle Helan è fortemente biunivoco: come le precipitazioni estive che caratterizzano le regioni desertiche dell'IMAR trovano la loro origine nei monsoni primaverili che si abbattano sul sud della Cina, così le variazioni di bilancio termico causate dalle profonde modifiche nella copertura vegetale dovute alla desertificazione nel nord, condizionano a loro volta i regimi pluviometrici delle regioni umide (Xue, 1996). Il carico termico di queste vaste aree desertiche continentali genera meccanismi tutt'altro che locali le cui più spettacolari e preoccupanti manifestazioni sono le tempeste di sabbia che arrivano a colpire le città di Beijing e Shanghai.

La lega dell'Alashan, che si estende ad ovest della catena dell'Helan, è una delle quattro principali unità amministrative dell'IMAR ed è la più colpita dagli imponenti fenomeni di desertificazione. In particolare la diminuzione delle piogge e l'aumento della temperatura media, generate dalle variazioni climatiche globali, non fanno che incrementare i processi di degrado del suolo e della vegetazione che sono alla base della desertificazione. Inoltre il consistente aumento demografico che ha caratterizzato gli ultimi 50 anni, sta velocemente modificando il territorio determinando sistematici abbandoni delle aree ormai desertiche.

Lo studio dei fenomeni di transizione tra deserto e steppa desertica che sono alla base del processo di desertificazione, impongono per essere formulati nel modo più corretto, la localizzazione precisa dell'area di studio.

Nei prossimi paragrafi, sarà fornita una descrizione della regione intorno alla città di Jartai, nella Left Alxa Banner, area di transizione che introduce alla più vasta regione desertica del Badain Jarain. L'analisi di clima, idrogeologia, fauna e flora uniti all'analisi della struttura socio-economica della regione, hanno rappresentato l'indispensabile punto di partenza per l'elaborazione di questa ricerca.

2.1 *Analisi climatica*

La steppa dell'IMAR, compresa tra il 40° e il 50° N e tra il 107° e il 125° E, fa parte del più esteso sistema di steppe del continente Euro-Asiatico e rappresenta la regione di transizione tra la zona umida monsonica e la zona continentale.

Il Plateau dell'Alashan si trova nella parte centro occidentale di questa fascia ed è una regione di montagne basse intercalate da altopiani con una quota media di 1000-1500 m, mentre le montagne non superano i 2500 m.

L'intero altopiano è racchiuso da tre formazioni montuose: la catena delle Helan a est, la catena del Qilian a sud e dall'altopiano Tibetano ad ovest. Il Plateau si estende a nord all'interno della Mongolia fino a raggiungere la catena montuosa degli Altai, che separa il deserto dalla prateria e dalle foreste che si spingono fino alla taiga siberiana.

La lega dell'Alashan può essere divisa in tre principali ecosistemi: il deserto di rocce (Gobi) concentrato nella parte nord-occidentale, il deserto di sabbia al centro e la steppa di transizione che conduce alle praterie lungo il fiume Giallo.

Il clima della regione è caratterizzato da un regime freddo e secco, con temperature medie annuali che non superano i 15°C e piogge che oscillano tra i 30 e i 200 mm annuali.

Il regime pluviometrico è determinato principalmente dai monsoni che caratterizzano le regioni tropicali del sud-est dell'Asia (Xue, 1996). Le piogge monsoniche hanno inizio nel mese di maggio nelle regioni tropicali e sfiorano il bacino del fiume Giallo solo a luglio, determinando sul Plateau dell'Alashan una stagione delle piogge che si estende da luglio fino a settembre.

Il regime dei venti, in particolare nelle stagioni invernale e primaverile, è fortemente condizionato dall'accumulo d'aria fredda della regione siberiana. La forte stratificazione d'aria fredda che si accumula a nord-ovest dello Xinjiang diventa instabile con le repentine variazioni di temperatura che caratterizzano il periodo primaverile e tende a fluire verso sud. Il rapido incremento della temperatura che si ha nello strato superficiale dell'atmosfera, muovendosi da nord verso sud, determina le condizioni ideali per il sollevamento delle polveri. E' per questo che le tempeste di sabbia si concentrano nella stagione primaverile, tra marzo e maggio e hanno il loro picco stagionale nel mese d'aprile (Gao et al., 2003).

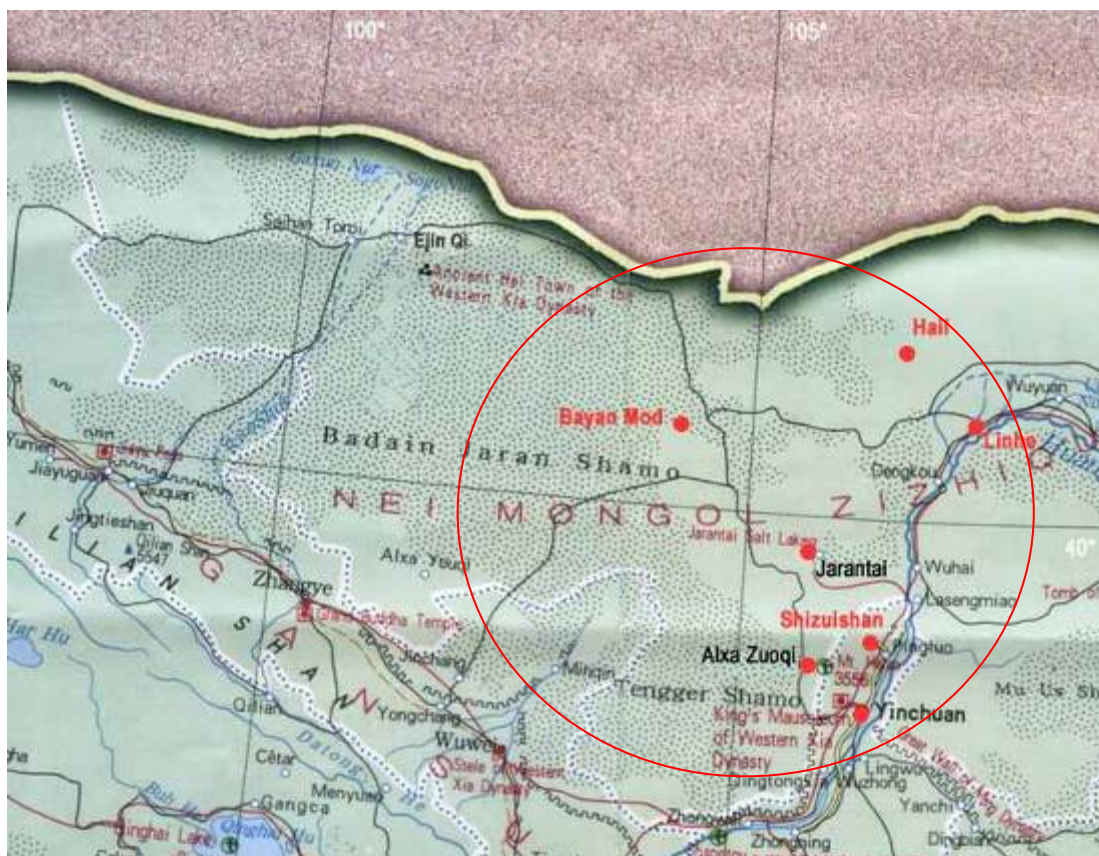


Figura 4 Plateau dell'Alashan. I punti rossi indicano la posizione delle 7 stazioni dell'NCDC scelte per l'analisi climatica della regione.

La scelta delle stazioni meteorologiche è stata condotta con l'intento di cogliere le peculiarità della regione che si posiziona a cavallo della catena montuosa delle Helan. Inoltre queste stazioni si trovano a non più di 60 km dall'area del progetto pilota. Tuttavia la lacunosità dei dati ha consentito l'analisi climatica accurata solo per il ventennio 1986-2007 per 7 stazioni meteorologiche dell'NCDC (National Climatic Data Center - U.S. Department of Commerce).

	n° WMO	STAZIONE	LONG.	LAT.	ALT.
WEST STATIONS	524950	BAYAN MOD	104.50	40.75	1329
	532310	HAILS	106.38	41.45	1510
CENTRE STATIONS	536020	ALXA ZUOQI/BAYAN HO	105.53	38.83	1500
	535020	JARTAI	105.75	39.78	1033
EAST STATIONS	535130	LINHE	107.40	40.76	1041
	535190	SHIZUISHAN/DAWUKOU	106.40	39.05	975
	536140	YINCHUAN	106.21	38.48	1112

Tabella 1 Codifica WMO (NCDC) e localizzazione geografica delle 7 stazioni selezionate.

Le 7 stazioni sono situate all'interno di un riquadro con lato di 4° di latitudine e 4° di longitudine, all'incrocio tra il 106° meridiano est e il 40° parallelo nord.

Le stazioni si dividono in tre sotto gruppi: le stazioni di Yinchuan, Shizushan e Linhe si trovano ad est delle Helan (East Stations). Le stazioni di Alxa Zuoqi, Jartai, le più vicine all'area di progetto, sono localizzate nell'area pre-desertica ad ovest delle Helan (Center Station). Mentre Bayan Mod e Hail sono decisamente spostate ad ovest, all'interno del Badain Jaran Shamo (Figura 4).

2.1.1 Temperatura

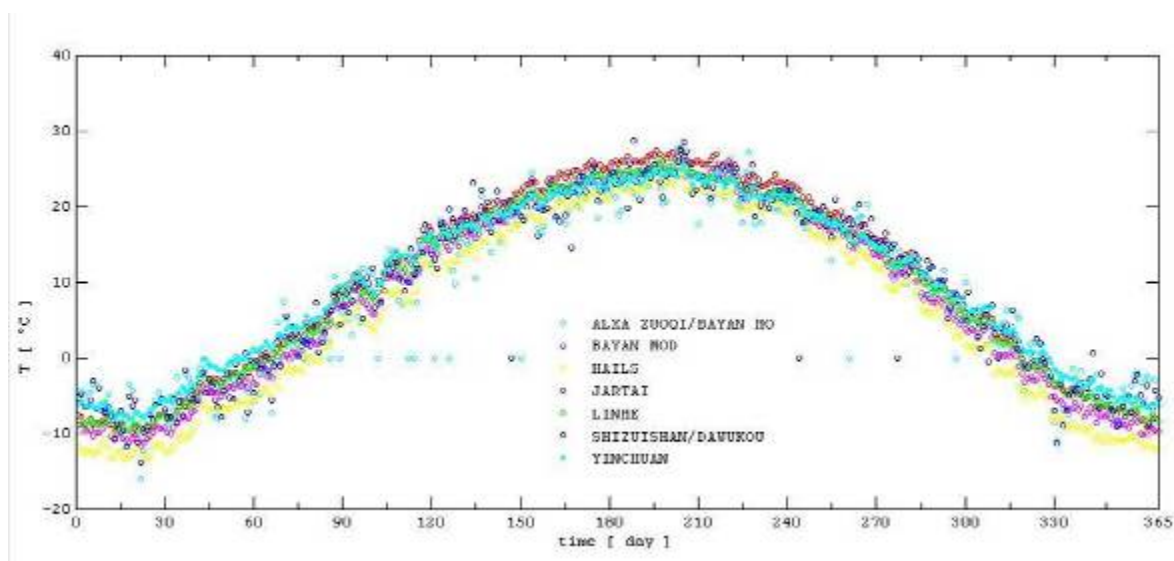


Figura 5 Temperatura media giornaliera –periodo 1986-2007- per le 7 stazioni di riferimento.

L'analisi termica della regione è stata effettuata a partire dai valori di temperatura media giornaliera calcolati sulle serie storiche 1986-2007 (Figura 5). Sono state poi analizzate le medie giornaliere (Figura 6) e le medie mensili (Figura 7) aggregate per i tre gruppi di stazioni East, Central e West Stations.

Si può osservare come la stagione invernale, che ha il suo mese più freddo in gennaio, mantiene temperature costantemente inferiori agli 0°C per tutte le stazioni analizzate. Nelle stagioni intermedie di primavera e autunno, le medie giornaliere sono normalmente superiori allo zero eccezion fatta per i mesi di marzo e novembre. L'estate è caratterizzata da temperature giornaliere elevate superiori ai 20°C che hanno il loro massimo nel mese di luglio.

L'escursione termica diurna ha valori medi di 15.1°C, oscillando tra un massimo di 26,9°C e un minimo di 1.3°C. E' importante osservare che il maggior numero di giornate con escursione termica giornaliera superiore alla media si concentrano nei mesi primaverili, con valori di 20°C.

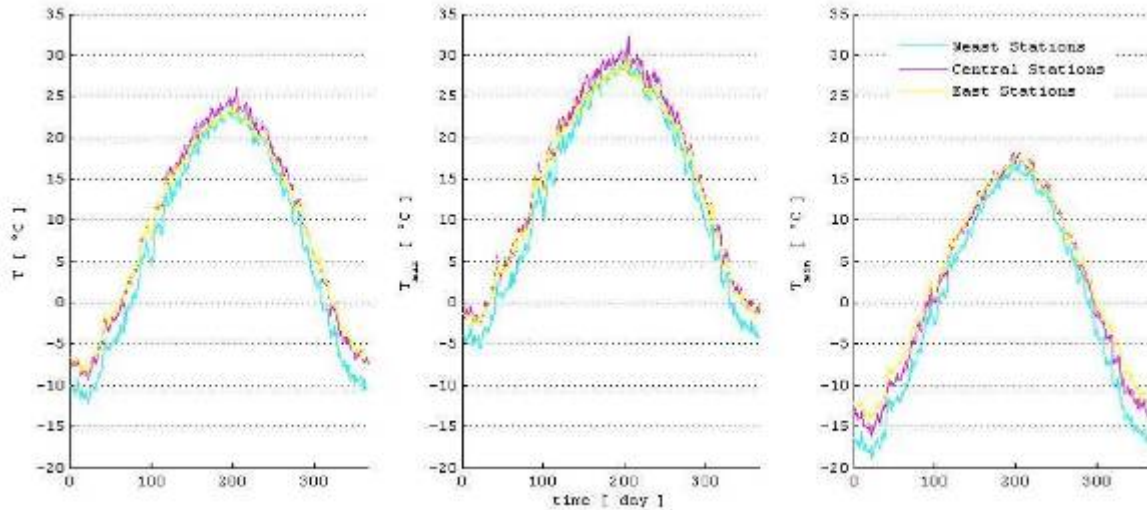


Figura 6 Medie giornaliere aggregate (anni 1986-2007) di T, Tmax, Tmin delle West Stations, Center Stations e East Stations.

Andando ad osservare le medie annuali aggregate delle stazioni per fasce geografiche localizzate da ovest ad est, si osserva (Figura 6) che le *Central Stations*, dove è situata l'area di studio (Alxa Zuoqi e Jartai), pur presentando una temperatura media annuale molto vicina a quella delle stazioni prossime al fiume Giallo (*East Stations*), hanno tutte le caratteristiche climatiche più estreme della regione interne al deserto (*West Stations*): escursione media stagionale molto accentuata di 32.9°C, temperature massime elevate, escursione termica media giornaliera di 15°C.

L'andamento delle temperature medie nel ventennio d'analisi non ha subito apprezzabili variazioni, ad eccezione della consistente anomalia termica rilevata nel 1998 in cui tutti i valori medi risultano superiori almeno 1.2° rispetto alla media.

La stima della Somma Termica - *GDD* (*Growing Degree Days*) - nell'area di studio, è stata effettuata a partire dalla temperatura media giornaliera con la formula (OMAFRA, 1993) che segue:

$$GDD = \sum_{d=1/4}^{30/9} \begin{cases} \bar{T}_d - T_0 & \text{se } \bar{T}_d \geq T_0 \\ 0 & \text{se } \bar{T}_d < T_0 \end{cases} \quad \text{Eq. 1}$$

nella quale la temperatura di riferimento T_0 indica il cardinale inferiore medio delle specie vegetali caratteristiche dell'ecosistema ed è stato posto pari a 10°C.

In media negli anni considerati la *GDD* maggiore si riscontra in corrispondenza delle *Center Stations* con un valor di 1886°C, che supera ampiamente il valore di fioritura delle principali culture agrarie.

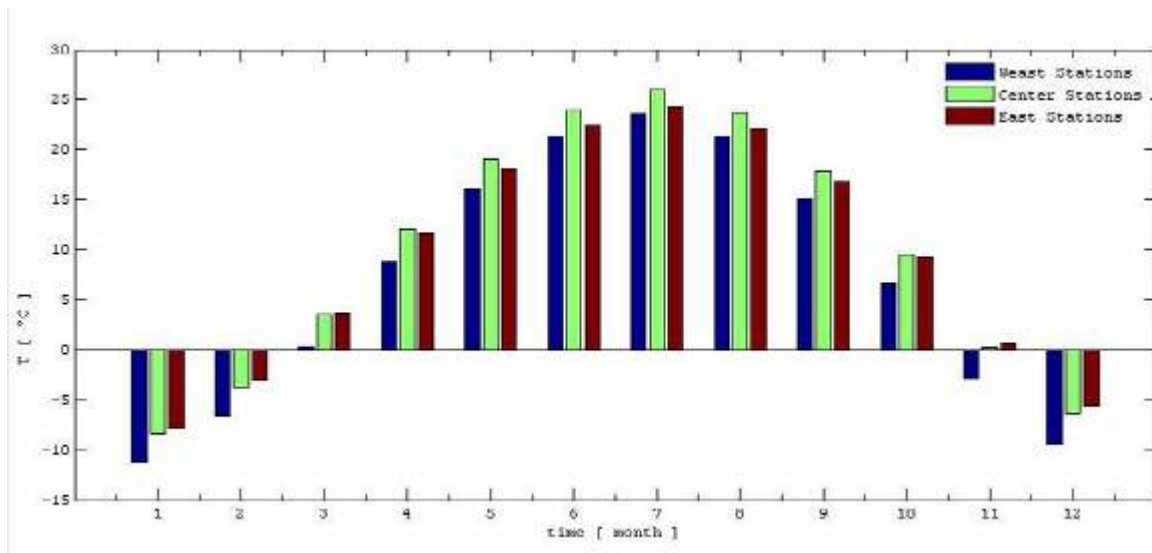


Figura 7 Temperatura media mensile per le stazioni selezionate.

2.1.2 Precipitazioni

Il regime di precipitazioni della regione è caratteristico delle zone aride, come illustrato nella Figura 3 ci si trova al disotto dell'iso-pluviometrica dei 380 mm annuali. Le stazioni selezionate mantengono una pluviometria media annuale che oscilla tra i 140-220 mm di pioggia. Le precipitazioni sono sporadiche e poco intense e si concentrano nei mesi di luglio e agosto (stagione delle piogge). In un anno si contano, in media, 20 giorni di precipitazioni superiori a 2 mm.

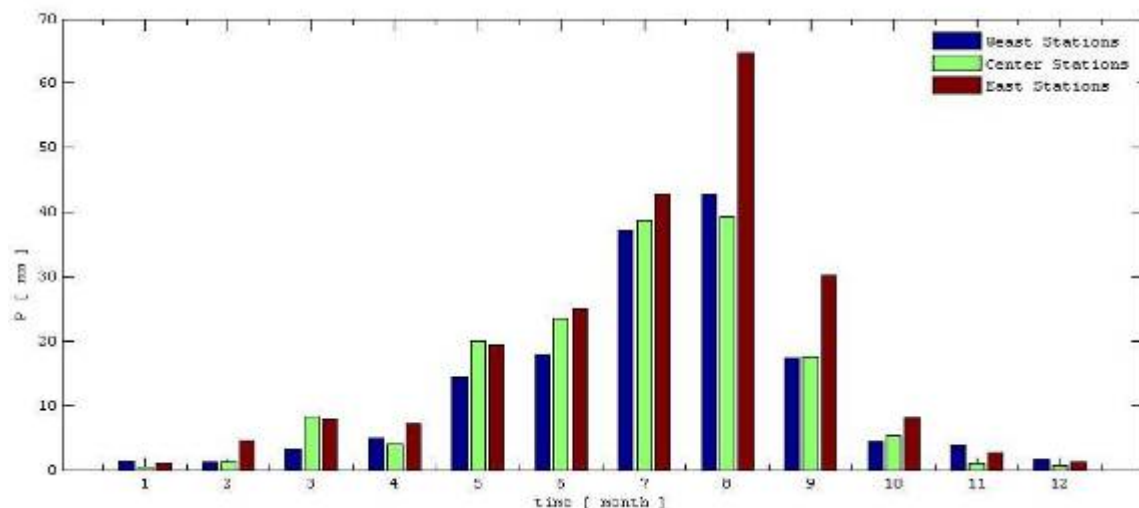


Figura 8 Precipitazioni medie mensili per i tre gruppi di stazioni selezionate West, Center and East Stations.

Il regime pluviometrico negli ultimi 20 anni si è mantenuto pressoché costante, con un picco di piovosità nel 1993 e nel 1995 verificatosi a Jartai dove si sono misurati rispettivamente 333 e 384 mm di pioggia.

Come osservato per la temperatura, le piogge sono più favorevoli nella regione che si posiziona ad ovest della catena montuosa delle Helan.

Nella Figura 8 è riportato l'andamento mensile delle precipitazioni mediate sugli ultimi 20 anni, per i tre raggruppamenti: *West, Center and East Stations*.

Prevalentemente nel mese di febbraio, si osservano sporadici eventi di neve che difficilmente superano i 6 cm annuali.

2.1.3 Vento

Il regime dei venti nella regione di studio dipende principalmente da due elementi fondamentali: le precipitazioni monsoniche che coinvolgono il sud-est della Cina e i venti provenienti dalle grandi pianure siberiane.

I grossi spostamenti di masse calde determinate dal regime monsonico del sud-est, favoriscono la movimentazione delle masse fredde di atmosfera stratificate sulle regioni siberiane, dando origine ad un vento costante che spira da nord-ovest verso sud-est. La catena montuosa delle Helan costituisce un frangivento posto sulla direzione nord-ovest sud-est sulla quale si manifestano i più rilevanti fenomeni ventosi.

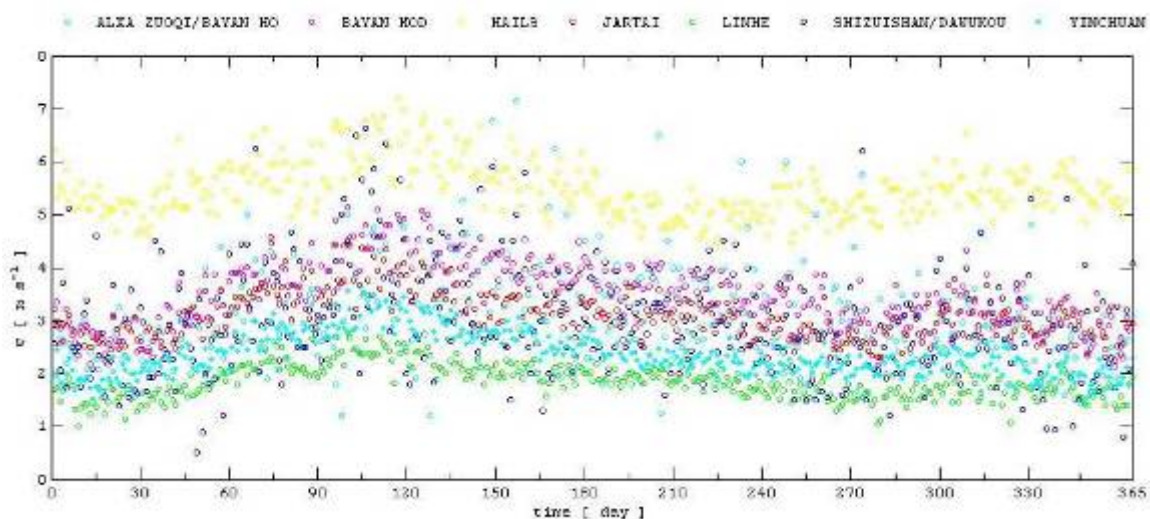


Figura 9 Distribuzione delle velocità giornaliere medie nelle 7 stazioni selezionate.

La ventosità diventa particolarmente elevata nei mesi primaverili con velocità massime, in condizione di tempesta, che superano i 30 ms^{-1} . Il maggior numero di tempeste avviene nel mese di aprile ed, in concomitanza con questa diffusa turbolenza dell'aria, si verifica anche la significativa riduzione della visibilità media, dovuta alla polvere che rimane sospesa nell'atmosfera.

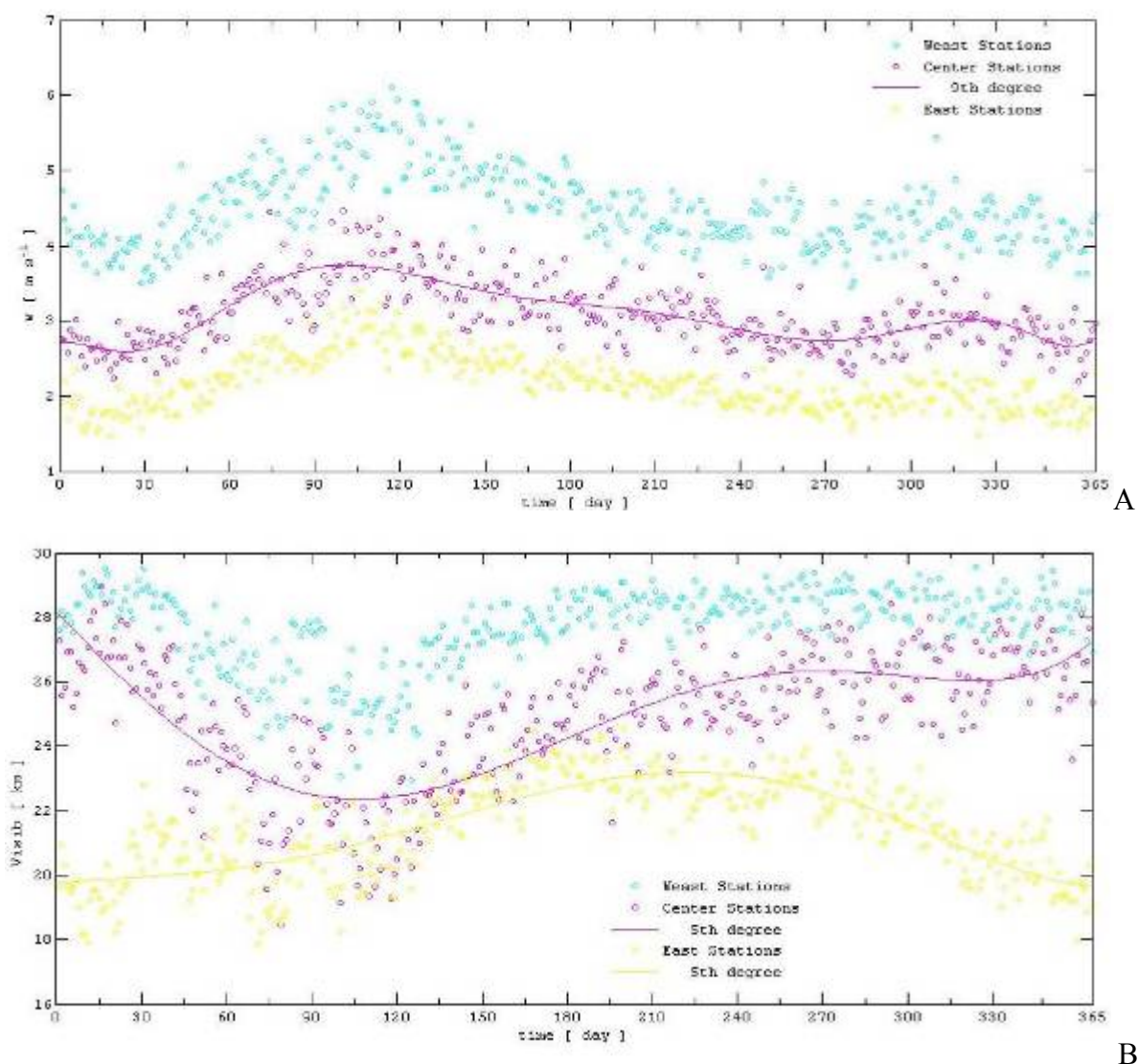


Figura 10 Andamento medio per i West, Center e East Stations di velocità media giornaliera e visibilità.

Nella Figura 10-A è ben visibile l'effetto delle Helan sul regime dei venti: le stazioni che si trovano ad ovest di queste ultime hanno un velocità media del vento sensibilmente inferiore pur subendo ma, in forma attenuata, gli effetti delle tempeste primaverili. Anche la visibilità si mantiene pressoché costante per tutto l'anno, con un valore di circa 28 km. Si ha il minimo della visibilità nel mese di aprile per le West and Center Stations, mentre è praticamente la visibilità resta pressoché costante nelle East Stations. Queste ultime, infatti, sono caratterizzate da una visibilità mediamente inferiore durante l'anno e un andamento a campana con un massimo nei mesi estivi (luglio-agosto).

Per concludere, nella Figura 11, sono riportati i valori della velocità media mensile per i tre raggruppamenti di stazioni.

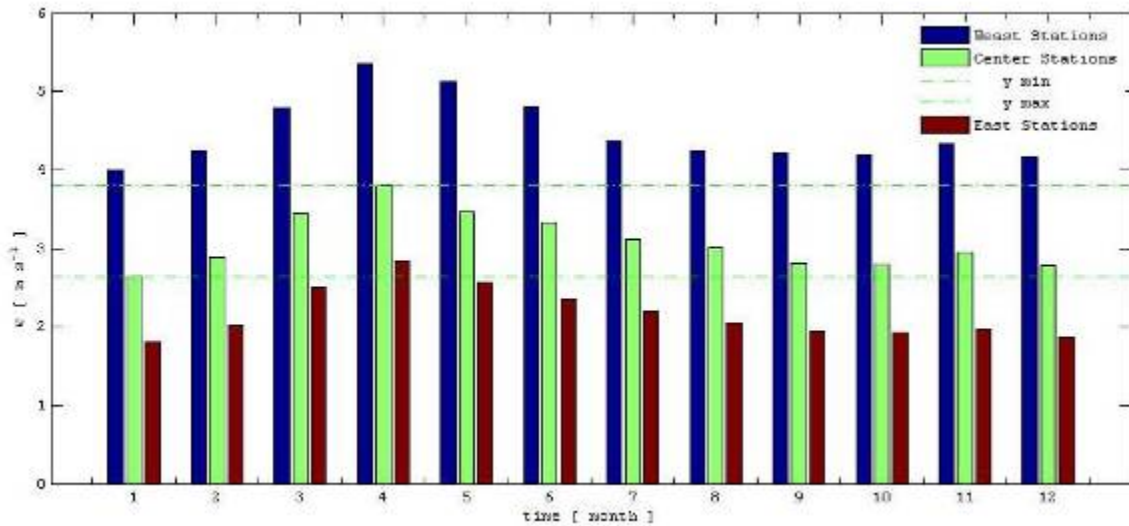


Figura 11 Velocità media mensile per i tre raggruppamenti di stazioni

2.1.4 Umidità

L'ultimo parametro importante per la stima dei fenomeni di evapotranspirazione è il valore di umidità relativa dell'aria:

$$RH(\%) = \frac{e(T)}{e_s(T)} \quad \text{Eq. 2}$$

dove $e(T)$ è la pressione di vapore e $e_s(T)$ la pressione di vapore saturo alla temperatura di misura.

I dati delle 7 stazioni selezionate forniscono il valore del Punto di rugiada (Dew Point – DEWP) che consente, assieme alla conoscenza del valor medio della temperatura giornaliera, un primo calcolo approssimativo dell'umidità relativa.

Considerando che la pressione di vapore coincide con la pressione di vapor saturo alla temperatura di rugiada è possibile scrivere:

$$RH(\%) = \frac{e_s(T_d)}{e_s(T)} \quad \text{Eq. 3}$$

con T_d , temperatura di rugiada.

Per calcolare il valore della pressione di vapor saturo al variare della temperatura è stata usata la seguente espressione (Peixoto and Oort, 1996):

$$e_s(T) = e_{s0} e^{\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \frac{\lambda}{R}} \quad \text{Eq. 4}$$

L'umidità relativa nella regione difficilmente supera il 60% a partire dal mese di aprile in conseguenza dei forti venti che spazzano la regione. I valori di umidità relativa oscillano intorno al 20% e quelli più elevati si hanno tra luglio e novembre (Figura 12).

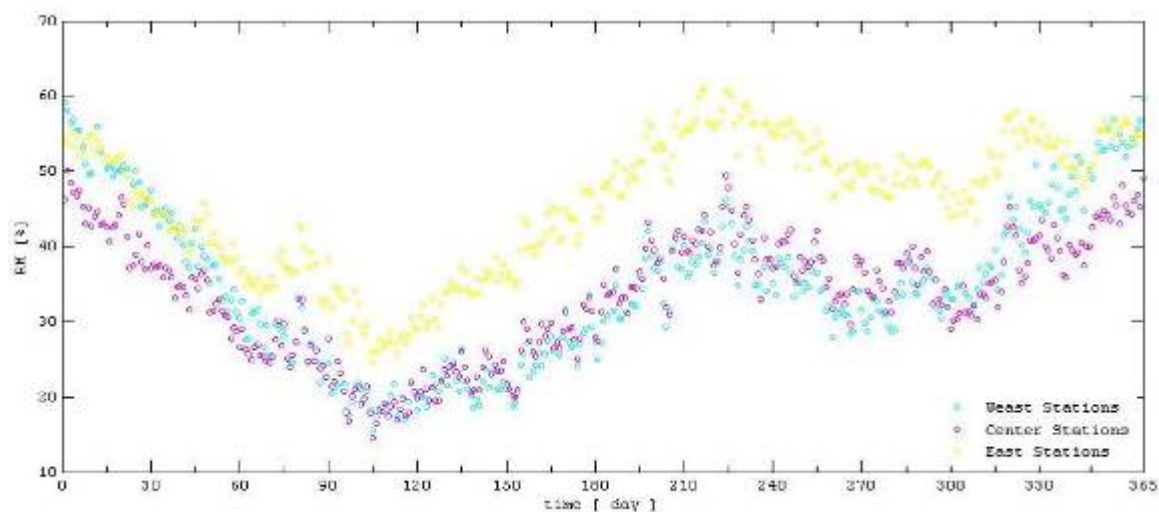


Figura 12 Umidità relativa giornaliera per le West, Center and East Stations

Nella Figura 13 è riportato l'andamento delle medie mensili per l'umidità relativa, si nota che il mese di aprile che è caratterizzato da una ventosità media elevata, ha il valore minimo di umidità relativa. Anche in questo caso l'umidità relativa delle East Stations presenta valori più elevati rispetto a quelle poste ad ovest delle Helan.

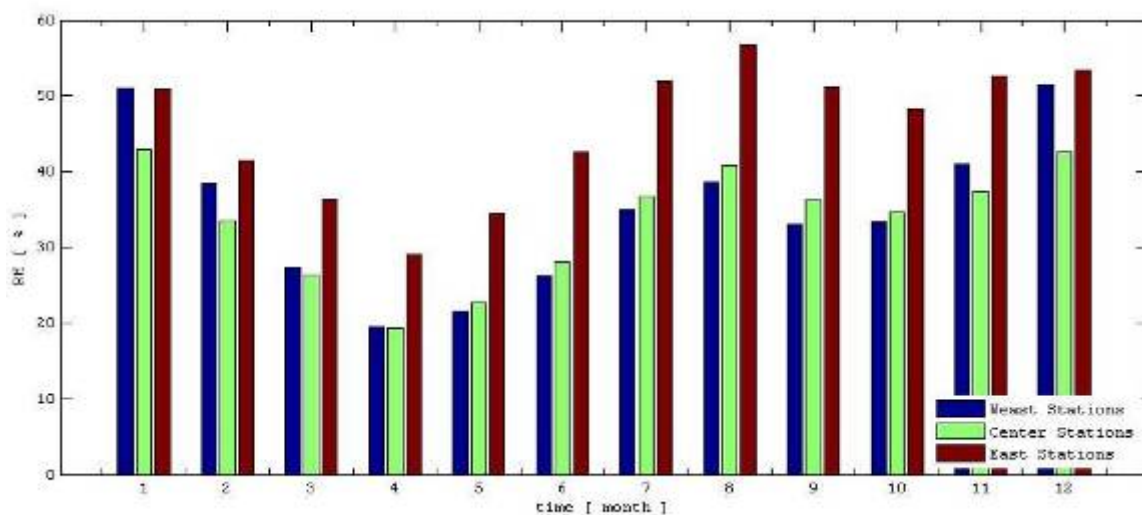


Figura 13 Umidità relativa –RH - media mensile per West, Center and East Stations.

In conclusione, dall'analisi dei parametri climatici risulta che il clima dell'area di studio è classificabile come arido/semi-arido freddo, con temperature medie basse, caratterizzate da forte escursione termica giornaliera, pluviometria pressoché inesistente e regimi ventosi sostenuti.

Il ciclo climatico annuale è caratterizzato da inverni molto freddi, secchi e poco ventosi; primavera e autunno molto ventosi, con violente tempeste di sabbia nel mese di aprile, temperature medie non superiori ai 10° C e sporadici fenomeni di pioggia. L'estate è calda, con forte escursione termica giornaliera ed eventi piovosi più intensi ma piuttosto brevi. Le condizioni estreme diventano sempre più severe spostandosi da est verso ovest.

La sintesi dei dati raccolti per i tre gruppi di stazioni, che contiene i valori medi delle principali variabili climatiche analizzate, è riportato nella Tabella 2.

		West Stations	Center Stations	East Stations
TEMPERATURA	media annuale [°C]	6.7	9.1	8.9
	mese temperatura massima	luglio	luglio	luglio
	massima annuale [°C]	24.0	26.1	24.3
	mese temperatura minima	gennaio	gennaio	gennaio
	minima annuale [°C]	-12.3	-9.3	-8.6
	escursione termica annuale massima [°C]	48.9	48.5	44.1
	escursione termica giornaliera media [°C]	13.7	15.1	12.8
	GDD [°C]	1459	1886	1666
	giorni di gelo [day]	132	110	105
PIOGGIA	pioggia annuale [mm]	149.9	160.2	214.6
	mese delle piogge	agosto	agosto	agosto
	giornate con prec>2mm [day]		20	30
VENTO	velocità media giornaliera [m s-1]	4.49	3.09	2.17
	velocità massima giornaliera [m s-1]	7.44	5.40	4.09
	mese massima ventosità	aprile	aprile	aprile
	velocità media mensile [m s-1]	5.35	3.81	2.83
	mese minima ventosità	gennaio	gennaio	gennaio
	velocità media mensile [m s-1]	4.00	2.65	1.80
RH	umidità relativa -RH- media annuale [%]	35	33	46
	mese minima RH RH media mensile [%]	aprile 20	aprile 19	aprile 29

Tabella 2 Riassunto dei principali dati climatici medi dell'Alxa Left Banner.

2.2 Analisi idrogeologica

L'alternarsi di altipiani e montagne caratterizza fortemente l'assetto idrico della regione. Le cinque catene montuose – Altay, Tianshan, Qilian, Kunlun e Helan – intercettano l'umidità atmosferica, determinando precipitazioni medie di 300-1000 mm l'anno, contro i 100-200 mm degli altipiani.

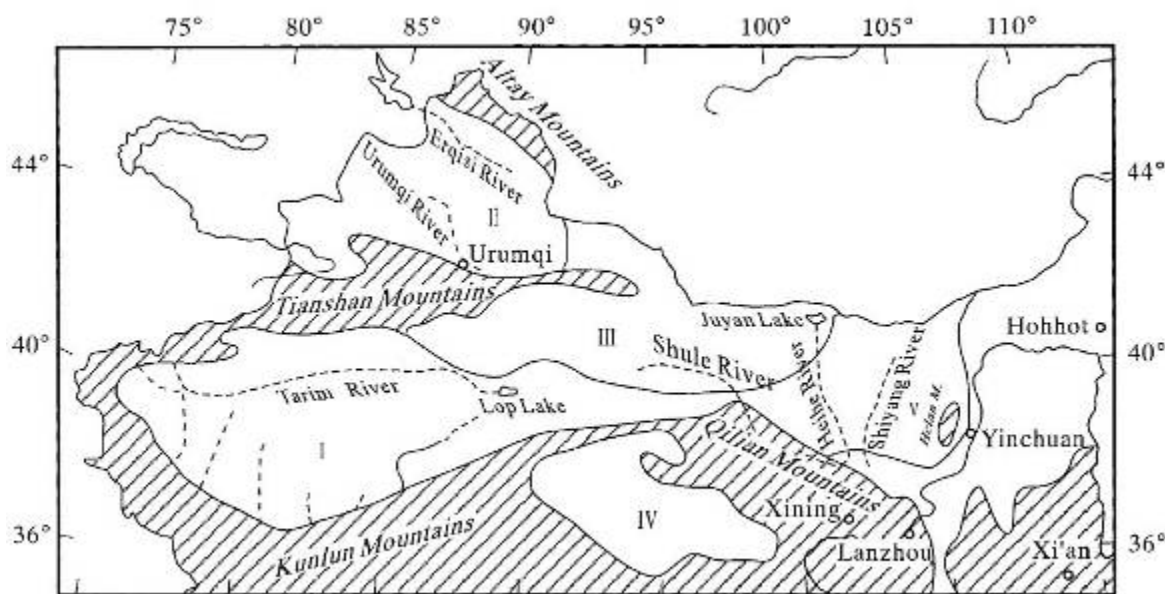


Figura 14 Mappa schematica dei deserti del nord-ovest della Cina: (I) deserto di Terim e Gobi, (II) bacino di Junggar e Gobi, (III) vicino Xinjiang e Gobi del Gasu, (IV) bacino del Qaidam e Gobi, (V) deserto Alxa e Gobi (Feng et al., 1999).

Le acque raccolte dalle catene montuose sono fondamentali per il bilancio idrico dell'intera regione, queste sono drenate alla base delle montagne dove s'infiltrano negli strati più profondi del terreno per ricaricare la falda idrica sotterranea ed alimentare uno dei 653 torrenti che costituiscono il sistema idrico superficiale della regione (Figura 15). Molti di questi torrenti, caratterizzati da bassa portata (intorno a 10^8 m^3 l'anno), dopo essere sgorgati ai piedi delle montagne, spariscono rapidamente nel deserto; i più grandi – Tarim, Heihe e Shiyang – danno origine a laghi interni (Feng et al., 1999). Questi laghi sono a loro volta testimonianza di una più vasta area lacustre, che copriva l'intero altipiano dell'Alashan nel tardo paleolitico ed in particolare il suo estremo meridionale, il deserto del Tengger, determinando l'origine sedimentaria dell'intera regione (Zhang et al., 2004).

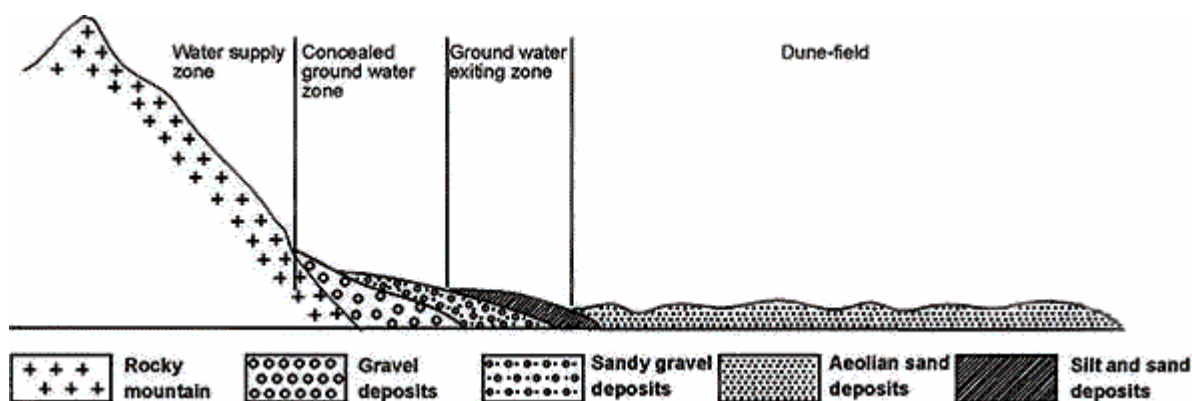


Figura 15 Schema del fenomeno d'accumulo delle acque piovane del nord-ovest della Cina.

L'Alashan si colloca all'interno di questo sistema idrico e l'area di studio appartiene al bacino di Bayanhaote che prende il nome dalla capitale amministrativa dell'Alxa Left Banner, localizzata pressoché al centro. Il bacino è incastonato tra la placca dell'Alashan, quella dell'Ordos e la linea di faglia costituita dalla catena montuosa Qilian (Figura 16).

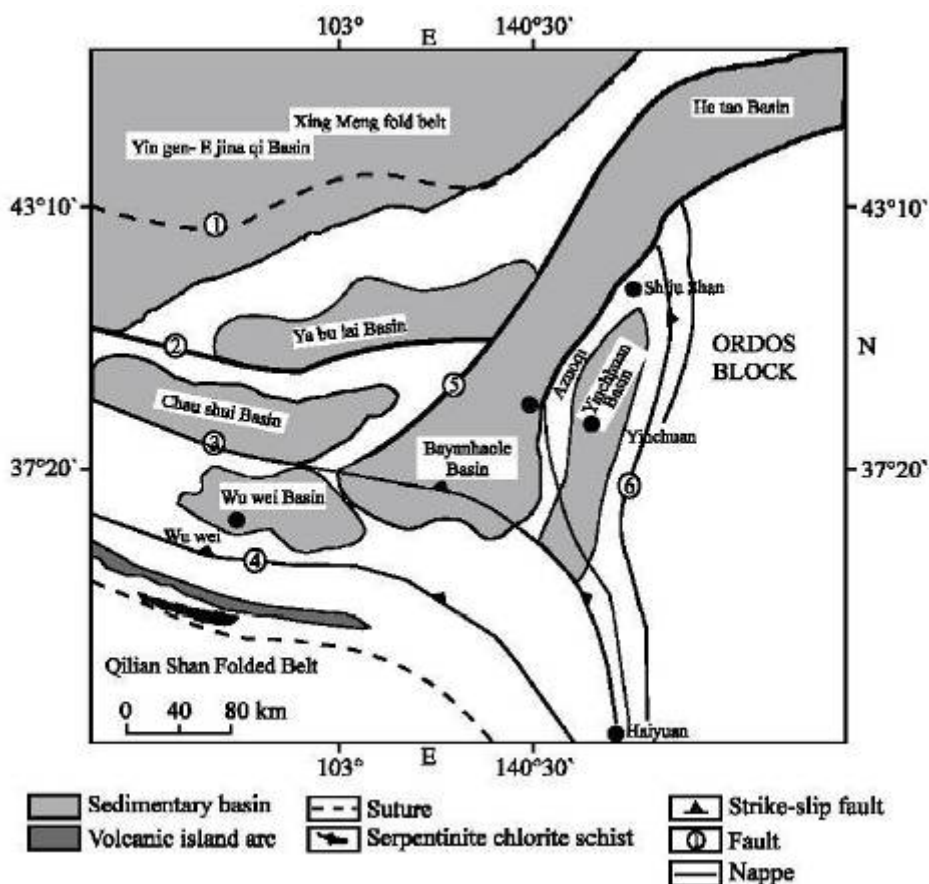


Figura 16 Mappa geologica del bacino di Bayanhaote: (1) sutura nord della placca dell'Alashan, (2) faglia terminale del Bei de Shan, (3) faglia di Long Shoshan (4) faglia terminale nord della placca delle Qilian, (5) faglia Lang Shan, (6) margine occidentale della faglia di Ordos (Muna and Tianyou, 2004).

Il suolo è di origine sedimentaria alluvionale, originato dalla lenta erosione delle montagne circostanti, mentre la costante erosione è responsabile dello strato superficiale sabbioso.

L'acqua raccolta sulle Helan, viene accumulata all'interno del bacino ed è disponibile per la popolazione locale come risorsa idrica sotterranea. Si tratta d'acque poco profonde che dipendono fortemente dal regime pluviometrico annuale e fanno parte delle risorse idriche sotterranee a ciclo breve. Come calcolato da Feng (Feng et al., 1999), la risorsa idrica dell'IMAR occidentale si aggira intorno a 2.4 milioni di m³ d'acqua, da ripartirsi tra una piccola percentuale di acqua superficiale e la rimanente immagazzinata nella falda freatica.

A titolo di esempio, nella Figura 17 sono riportate le stratigrafie di due indagini effettuate nel bacino di Bayanhaote (Zhang et al., 2004). Si tratta di scavi non superiori agli 8 m che mostrano, in entrambe le sezioni, come al di sotto dei 3 m di profondità sia facile trovare strati di argilla e limo di alcuni metri. Questi strati impermeabili isolano piani più profondi e permeabili di sabbia o sabbia mista a ghiaia che ospitano le falde acquifere più superficiali. Nella regione di Jartai, in particolare è facile incorrere in fenomeni artesiani.

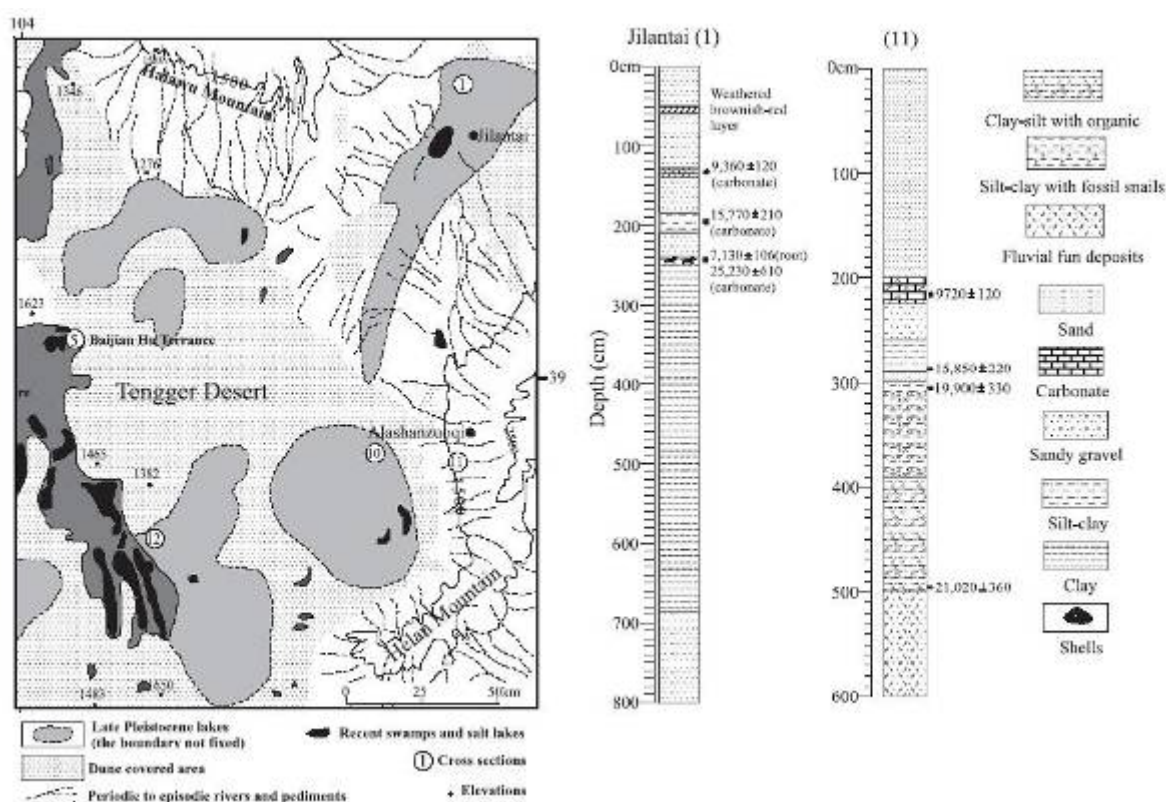


Figura 17 Colonne stratigrafiche per due sondaggi prossimi alle città di Jaratai (1) e Alshan Zuoqi (11) (Zhang et al., 2004).

2.3 *Analisi ecologica*

Il Plateau dell'Alashan fa parte di una delle 867 eco-regioni nelle quali è stata divisa la biosfera. Rappresenta quindi un'unità territoriale sufficientemente delimitata da contenere un insieme distinto di specie e comunità naturali (WWF).

Escludendo le zone più interne del deserto del Gobi, dove la vegetazione è pressoché assente, la regione è delimitata da catene montuose nelle quali, oltre i 2000 metri si estendono foreste con prevalenza di *Pinaceae sp.*, *Quercus sp.*, *Populus sp.*, *Betulla sp.* e *Ulmus sp.*.

La regione pedemontana che costituisce il confine del deserto è caratterizzato da un BIOMA di prateria e steppa che è uno dei più ricchi al mondo per biodiversità. I $\frac{3}{4}$ della prateria cinese si trovano tra le regioni dell'Inner Mongolia, Tibet, Xinjiang e Ningxia. Le praterie e le steppe sono caratterizzate per lo più da specie erbacee ed arbustive, piuttosto basse e solo in parte appetibili, che alimentano le tradizionali attività di pascolo. Più di 1322 specie foraggiere con 98 variazioni sono state identificate e divise in 340 generi e 76 famiglie (Zhang and Liu, 1992).

La Tabella 3 sono indicate le principali specie vegetali presenti nella regione semi-desertica che si trova ai piedi della catena montuosa delle Helan. La Figura 18 riporta un estratto dell'atlante della vegetazione della Cina nell'intorno dell'area di studio.

2.3.1 *Flora dell'Alashan*

La flora che caratterizza in Plateau dell'Alashan ha sviluppato tecniche di adattamento e acclimatazione decisamente evolute. Numerosi studi sono stati fatti per individuare le specie ecologiche chiave della regione, attraverso la classificazione in forme biologiche e la successiva individuazione dei percorsi fotosintetici adottati dalle specie più diffuse.

Per l'esame della flora presente nell'area di studio si è adottata la classificazione di Wang (Wang, 2002) che si basa su due criteri fondamentali:

- il percorso fotosintetico;
- la forma biologica;

Questi criteri sono efficaci per evidenziare le particolari strategie di adattamento imposte dalle caratteristiche climatiche della regione ed anche per valutare l'effetto antropico sulla vegetazione spontanea, attraverso lo studio delle successioni naturali di differenti forme biologiche.

SPECIE DESERTICHE	FAMIGLIA	C4	F.b.
semi-arboree nane			
<i>Haloxylon ammodendron</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	x	NF
arbustive			
<i>Zygophyllum xanthaxylon</i>	<i>Zygophyllaceae</i>		
<i>Calligonum mongolicum</i>	<i>Poligonaceae</i>	x	NF
<i>Nitraria sphaerocarpa</i>	<i>Zygophyllaceae</i>		
<i>Nitraria sibirica</i>	<i>Zygophyllaceae</i>		
<i>Potaninia mongolica</i>	<i>Rosaceae</i>		
<i>Caragana korshinskii</i>	<i>Fabaceae</i>		
semi-arbustive e semi-arbustive nane			
<i>Reaumuria soongorica</i>	<i>Tamaricaceae</i>		
<i>Salsola laricifolia</i>	<i>Chenopodiaceae</i>		
<i>Salsola passerina</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	x	
<i>Sympegma regelii</i>	<i>Chenopodiaceae</i>		
<i>Anabasis aphylla</i>	<i>Chenopodiaceae</i>	x	NF
<i>Artemisia salsoloides</i>	<i>Asteraceae</i>		
<i>Artemisia ordosica</i>	<i>Asteraceae</i>		
alofite succulente semi-arbustive nane			
<i>Kalidium foliatum</i>	<i>Chenopodiaceae</i>		
NF : nanofanerofite			

Tabella 3 Principali specie desertiche dell'area dell'Alashan (ChineseAcademyofSciences, 2001)

La regione dell'Alashan combina in se due situazioni di stress particolarmente rilevanti: il rigore invernale associato alle condizioni di forte radiazione e evapotraspirazione durante i mesi estivi. Il 90% delle piante presenti nelle praterie dell'Alashan adottano percorsi fotosintetici di tipo C4 e sono costituite dalle famiglie di Graminacee, Chenopodiaceae e Amaranthaceae. Queste ultime due svolgono una funzione pioniera e rappresentano la prima fase di successione nel ripopolamento di aree degradate (Wang, 2002). Le forme biologiche più diffuse sono le terofite (50%) ovvero piante annuali che superano la stagione invernale sotto forma di seme. Il 60% delle terofite si trovano in vecchi campi abbandonati e in terreni sottoposti a forti azioni di pascolamento (Wang, 2002). Le fanerofite, pur rappresentando appena il 9% delle forme biologiche delle specie C4 (Wang, 2002), sono tra le poche perenni e legnose della regione. In particolare *Haloxylon ammodendron* e gli arbusti *Salsola sp.* e *Anabasis sp.* rappresentano le piante più resistenti agli stress ecologici nelle aree con pluviometria inferiore ai 100 mm annuali (Pyankov et al., 2000), e sono in grado di costituire ecosistemi stabili, con adeguate capacità di rigenerazione.

Per questo motivo si è dedicata ad esse particolare attenzione nelle successive fasi operative del progetto.

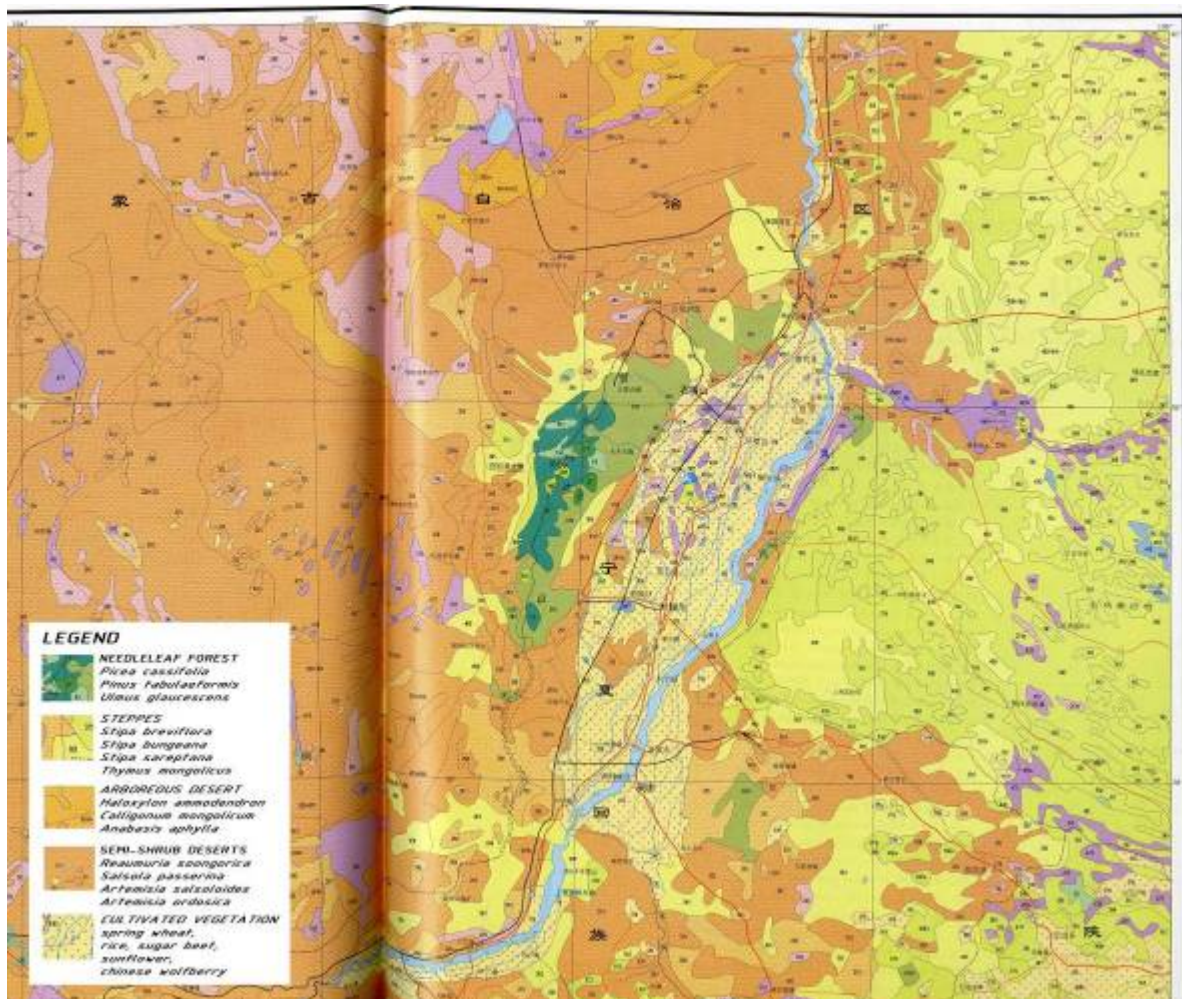


Figura 18 Atlante vegetazionale della Cina, dettaglio sulla parte sud orientale dell'Alashan tra Byana Hot e Cartai (Chinese Academy of Sciences, 2001)

2.3.2 Fauna dell'Alashan

L'Alashan, è un'area parzialmente protetta nella quale sono stati rilevati più di 49 mammiferi, 15 rettili e anfibi nonché 150 specie di uccelli differenti. Il *Brachiones przewalskii* è una delle ultime specie di cavallo selvatico presenti sulla terra, ed è endemica della regione.

Sfortunatamente la parte cinese dell'altopiano è scarsamente tutelata, sia nella flora che nella fauna, ciò ha reso le popolazioni selvatiche molto più a rischio di quella della Mongolia.

Un camélide autoctono, *Camelus ferus*, resiste in un'area del deserto del Taklimakan con una comunità di appena 300 esemplari. La presenza di ungulati selvatici come la *Saiga tartarica* è stata tradizionalmente soppiantata dal pascolo controllato che negli ultimi anni ha determinato l'introduzione di materiale biologico esogeno selezionato per caratteristiche agronomiche. La prevalenza degli animali è costituita da pecore e capre che contribuiscono alla sopravvivenza della popolazione.

2.4 Analisi socio-economica

Il programma di modernizzazione avviato da Deng Xiaoping nel 1978 ha riguardato anche regioni che fino ad allora erano ritenute non adatte alla produzione. Consistenti opere idrauliche e massicci impianti di agricoltura intensiva (cooperative produttive e serre) sono state realizzate a ridosso del deserto del Gobi per incrementare la produzione di generi alimentari e specie foraggiere. L'utilizzo sempre più massiccio di fertilizzanti e l'incremento continuo degli animali d'allevamento sono le prime conseguenze di questo sviluppo.

Le regioni periferiche come il Tibet, lo Xinjian e l'Inner Mongolia, tradizionalmente dedicate alla pastorizia, sono state investite dal nuovo assetto socio-economico, che ha determinato un flusso migratorio dalle campagne verso la città, mentre le grandi aree desertiche del nord della Cina sono diventate oggetto di immigrazione interna dalle regioni del centro sud, più popolate. In particolare, la minoranza mongola, per tradizione nomade, è stata resa stanziale ed i territori percorsi dalle carovane, sono stati occupati dalle nuove cooperative agricole gestite prevalentemente da popolazione di etnia Han (Borjigin, 2005).

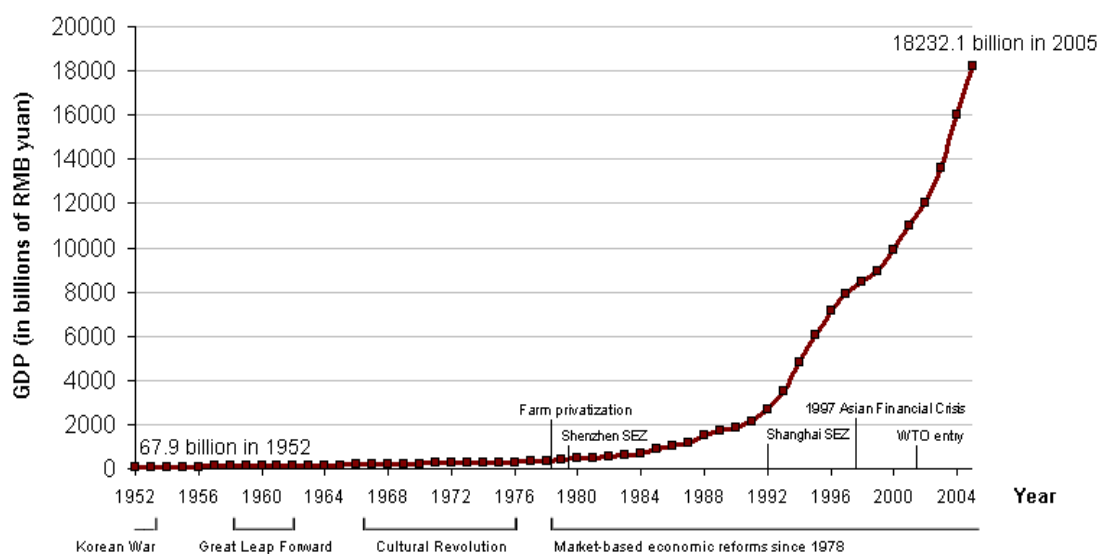


Figura 19 Prodotto Interno Lordo (GDP- Gross Domestic Product) della Cina dal 1952 al 2005

La Regione Autonoma dell'Inner Mongolia, con una superficie totale di 1.183 milioni di km² dei quali circa il 73% è prateria, rappresenta una zona di transizione tra le aree agricole e quelle dedite alla pastorizia. L'allevamento si concentra nella parte occidentale dell'IMAR ed è qui che sono più evidenti i fenomeni di *overgrazing*, mentre nella parte orientale dell'IMAR, in particolare nel bacino del fiume Giallo, è più sviluppata l'agricoltura intensiva e sono presenti molte aziende cosiddette miste ovvero che praticano l'allevamento utilizzando esclusivamente

specie foraggiere o scarti agricoli per l'alimentazione del bestiame con un impatto nullo sull'ecosistema naturale (Yu et al., 2004).

La popolazione dell'Inner Mongolia cresciuta dai 5.6 milioni del 1954 ai 32 milioni di abitanti nel 2005, ha aumentato considerevolmente i suoi bisogni idrici, alimentari e energetici. Il fragile ecosistema agro-pastorale è direttamente colpito da questa crescita con un progressivo processo di desertificazione.

Regions	Representative region area (km ²)	Desertified land area				Period
		in mid-1970s		in mid-1980s		
		(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	
Chahar	9050	2848	31.5	5992	66.1	1975-87
Ulanqab	46 660	2031	4.4	4055	8.7	1975-87
South Ordos	6551	5729	87.5	5248	80.1	1977-86
Mid-Korquin	2709	1270	46.9	1152	42.5	1974-88
Mid-Alxa	1573	1171	74.5	1308	83.2	1974-84
West Alqa	16 200	3480	21.5	5955	36.8	1975-86
North Hebei	17 250	2524	14.6	4608	26.7	1975-87

Figura 20 Lo sviluppo della desertificazione in Inner Mongolia (Zhu and Tao, 1993)

Le principali forme di degrado da combattere sono strettamente legate alla mancanza di una legislazione ambientale che regoli le attività umane e sono imputabili alla deforestazione, all'*overgrazing* e all'abuso della risorsa idrica superficiale e sotterranea.

2.4.1 Le comunità rurali dell'Alashan

La lega dell'Alashan copre poco più del 22% della superficie totale dell'IMAR con 260.000 km² ed è la parte meno popolosa della regione. Malgrado il recente sviluppo di città come Bayan Hot, Jartai o Ejina legate in particolare alle fiorenti industrie di estrazione del sale e del carbone, la popolazione vive prevalentemente nelle aree rurali ed è disseminata nel territorio in gruppi composti difficilmente da più di dieci famiglie che hanno come principale fonte di sostentamento l'agricoltura e l'allevamento.

Al fine di costruire un quadro dello sviluppo rurale dell'Alashan, nell'ambito del progetto "WINDUST", sono state effettuate numerose interviste tra gli abitanti delle comunità con l'aiuto della Alxa SEE Ecological Association, associazione che opera per la protezione dell'ecosistema locale.

Le comunità rurali nate dal processo di stabilizzazione dei mongoli, tradizionalmente nomadi, hanno costituito il nucleo di sviluppo della struttura socio economica dell'intera regione. Fortemente isolate, queste comunità svolgono prima di tutto attività necessarie al loro sostentamento e in secondo luogo producono e commercializzano beni alimentari prodotti localmente, principalmente derivati dalla pastorizia.

Quando la comunità si insedia in una località scava un pozzo che costituisce, assieme alla proprietà del gregge, la vera fonte di sostentamento del gruppo. Il pozzo è normalmente gestito con cicli fissi di utilizzo che garantiscano l'equità nella distribuzione dell'acqua, bene primario per la sopravvivenza.

Le comunità così costituite praticano agricoltura e pastorizia, usufruendo per il pascolo libero dei greggi dei vasti territori che li circondano. Si allevano principalmente ovini, pecore, capre e cammelli ma le singole comunità hanno sempre un piccolo numero di polli e maiali per usi domestici. Solo negli ultimi anni, a seguito del degrado dei territori naturali, è incrementato l'uso di mangimi a base di specie foraggiere e scarti della produzione agricola.

Sono principalmente le popolazioni di etnia Han che hanno diffuso la pratica dell'agricoltura una volta trasferitesi nell'Alashan a seguito delle leggi del '70. Queste leggi prevedevano l'assegnazione di terre a chi, dal popoloso sud, avesse accettato la sfida di colonizzare le regioni desertiche del nord. All'atto dell'insediamento l'amministrazione locale consegnava 5 mu di terra per ciascun componente della famiglia di coloni, è così che i terreni agricoli nelle aziende si estendono per 20-200 mu (1-15ha).

Le colture agrarie più diffuse sono mais, grano, sorgo, peperoni e peperoncini, cocomeri e girasoli che vengono scelte in base alla disponibilità idrica e alla qualità del suolo. Per proteggere i coltivi dalle frequenti e violente tempeste di sabbia sono predisposte delle barriere frangivento realizzate con specie arbustive e arboree tra le quali: *Populus alba*, *Robinia pseudoacacia* e *Tamarix sp.* Mais e grano sono le colture più diffuse perché richiedono minore quantitativo d'acqua e sono utili per integrare, con gli scarti colturali, la dieta del bestiame.

L'irrigazione per scorrimento superficiale è la tecnica più diffusa: le canalette (di 50cm circa) garantiscono la distribuzione all'interno dei campi e vengono aperte manualmente sui diversi settori da irrigare. Si tratta di una tecnica economica, che è caratterizzata da cospicue perdite idriche per percolazione e evaporazione attraverso i canali di distribuzione.

Nelle aziende di dimensioni maggiori inizia a diffondersi la costruzione di una rete principale di adduzione sotterranea dell'acqua che limita considerevolmente le perdite nella prima parte del sistema di distribuzione.

A queste attività di base si aggiunge una primordiale forma di turismo gastronomico ed è sempre più frequente trovare comunità che ospitano gruppi di visitatori che vogliono gustare la rinomata "carne del deserto". Si tratta di una fonte di reddito sempre più consistente in grado di facilitare i difficili collegamenti tra il mondo rurale e le città

La tipica comunità rurale dell'Alashan (Tabella 4) ha ridotte necessità energetiche domestiche, mentre possono essere molto consistenti i bisogni energetici per approvvigionamento idrico per l'irrigazione.

Comunità	4-30 persone
Terreno assegnato	1-10 ha (5 mu a persona)
Territorio disabitato disponibile	20-30 ha
Colture agrarie	Mais, grano, cocomeri, girasoli e vegetali
Animali domestici	200 pecore e capre 100 polli 4 maiali
Acqua	1 o 2 pozzi di 50-80 m
Connessione elettrica	Assente
Sistemi energetici	Generatori eolici e pannelli solari per gli usi domestici e generatori diesel da 5kW per il pompaggio e la distribuzione dell'acqua

Tabella 4 Dimensioni caratteristiche di una comunità agricolo/pastorale dell'Alashan (interviste 2005)

Normalmente, le comunità hanno due sistemi distinti di alimentazione elettrica: utilizzano energie rinnovabili per i bisogni domestici (con installazioni di 400-600 Wp con batterie e inverter) e generatori diesel di potenza variabile 5-10 kW per il pompaggio dell'acqua.

I bisogni di energia termica per il riscaldamento e la cucina sono garantiti attraverso stufe a legna (principalmente proveniente dal taglio dell'*Haloxylon ammodendron*) e forni solari.



Figura 21 Rotore eolico e pannelli solari installati in una azienda di Jartai, Inner Mongolia (marzo '05)



Figura 22 Stufa a legna e forno solare, Jartai, Inner Mongolia (marzo '05)

2.5 Effetti antropici sull'ecosistema

2.5.1 La deforestazione



Figura 23 Foresta di Saxoul, Alashan, Cina marzo 2005

Le popolazioni mongole hanno per secoli utilizzato le rare specie arboree della regione per usi domestici: i tronchi lunghi e resistenti del pioppo sono utilizzati per costruire le abitazioni, mentre specie arboree nane come il Saxoul (*Haloxylon ammodendron*) venivano impiegate per riscaldare le tende e per cucinare. Nel periodo che va dal 1989 al 1993 la raccolta di legname in Inner Mongolia ha superato le 8000 tonnellate all'anno (Shi and Xu).

Il peggioramento delle condizioni climatiche unito all'aumento della popolazione e al conseguente incremento del pascolo hanno ridotto le capacità rigenerative delle formazioni di Saxoul e lo sfruttamento diventa in breve deforestazione e desertificazione. Particolarmente colpite sono le “foreste protette” che secondo l'Istituto Forestale Mongolo (Tsogtbaatar, 2004), sono definite come “aree forestali con una copertura superiore a 100 ha e una pendenza non superiore al 30% ove prevalgono specie protette come il Saxoul (*Haloxylon ammodendron*)”.

L'importanza della tutela del Saxoul è stata compresa prima dalle comunità locali che dal governo. Già si osservano esempi di autoregolamentazione che limitano o addirittura vietano nelle cooperative rurali il taglio del Saxoul incentivandone il rimboschimento.



Figura 24 Pannello descrittivo delle leggi di autoregolamentazione decise dalla comunità rurale per la protezione dell'ambiente naturale

2.5.2 Il pascolo intensivo

I principali effetti derivati dal pascolamento possono venire così brevemente riassunti:

- *effetti sulla vegetazione*: quando il numero degli animali al pascolo è superiore alla capacità di carico dell'ecosistema la popolazione vegetale viene intaccata irrimediabilmente e non ha il tempo necessario per la rigenerazione. Nella regione di studio dove la biomassa supera difficilmente 1000 g m^{-2} la capacità di carico animale è inferiore ad un capo ad ettaro.
- *effetti sul suolo*: il passaggio continuo di animali determina la costipazione del suolo e rende difficile l'infiltrazione dell'acqua; spesso l'evaporazione dei depositi d'acqua superficiale crea croste saline. E' evidente che in queste condizioni l'attecchimento delle specie vegetali risulta molto difficile e sono fortemente ostacolati i processi di formazione della sostanza organica.
- *effetti sul microclima*: la diminuzione della copertura vegetale determina una modificazione del bilancio termico dello strato superficiale dell'atmosfera con un aumento dell'albedo che contribuisce al riscaldamento dell'aria (Li et al., 2000).

2.5.3 L'abuso della risorsa idrica

Le popolazioni locali hanno utilizzato per secoli soltanto pozzi poco profondi che raggiungevano appena le falde freatiche superficiali senza intaccare la risorsa idrica profonda. Negli ultimi dieci anni, il perfezionamento delle tecniche di scavo, ha favorito la proliferazione incontrollata di pozzi privati e collettivi.

••	Domestic(%)	Industrial(%)	Agriculture(%)
Total water resources			
1978	1	14	85
1997	10	21	69
2002	11	21	68
Groundwater resources			
1997	26	20	54

Tabella 5 Uso della risorsa idrica per i differenti settori (Huang et al., 2004)

Questo sfruttamento si manifesta diffusamente nell'Alashan con abbassamenti di falda che sfiorano l'1.5 m l'anno (Huang et al., 2004).

Le conseguenze dello sfruttamento idrico riducono la capacità delle specie vegetali di resistere ai periodi di siccità. Inoltre, l'abbassamento della falda determina un incremento dei costi per il sollevamento e la distribuzione delle acque per usi domestici che le comunità rurali devono sostenere.

3 MODELLO DINAMICO DI UN ECOSISTEMA ARIDO

La prima definizione di ecologia del biologo tedesco Ernst Heinrich Philipp August Haeckel nel 1870 veniva così formulata:

“By ecology we mean the body of knowledge concerning the economy of nature – the investigation of total relations of the animal both to its inorganic environmental including above all, its friendly and inimical relations with those animals and plants with which it comes directly or indirectly into contact – in a world, ecology is the study of all those complex interrelations referred to by Darwin as the conditions of the struggle for existence”

Anche se l’accezione della prima definizione concettuale di Haeckel poteva essere così generale da prevedere al suo interno la formalizzazione delle attività umana, in tutte le sue forme di evoluzione, nella realtà ciò non avvenne mai e venne mantenuta la dualità tra economia ed ecologia riassunta, nella più recente definizione di Costanza (Costanza et al., 1997):

“In practical terms, ecology became the study of the economy of that part of nature that does not include humans”

Nel più ampio contesto della crisi globale in seguito all’incremento esponenziale della popolazione, al conseguente aumento dei bisogni e all’espansione dei territori sfruttati e sottratti agli ecosistemi naturali, l’umanità si scontra con la scarsità delle risorse naturali e diventa quindi sempre più attuale l’integrazione dei due concetti al fine di fornire nuove strategie per lo sviluppo così detto “sostenibile”.

Parafrasando le parole di Costanza (Costanza et al., 1997), il pianeta sta passando da una successione ecologica primaria – empty world – nella quale la popolazione umana si sviluppava rapidamente con una disponibilità pressoché illimitata di risorse, ad una successione di maturazione – full world - nella quale le risorse sono ormai contingentate rispetto alla popolazione appare necessario integrare nelle nuove soluzioni di sviluppo i concetti di mutua alleanza, cooperazione e riciclo completo delle risorse energetiche esauste.

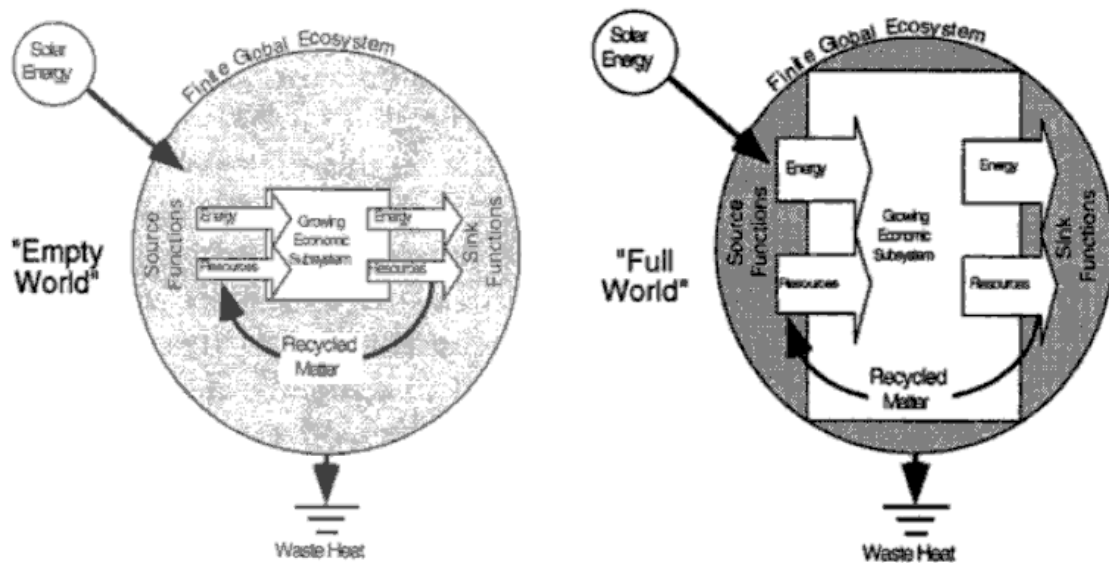


Figura 25 L'ecosistema globale finito in relazione con il sottoinsieme economico (Goodland et al., 1992)

I due sottoinsiemi, natura ed uomo, erano stati artificialmente disgiunti ed erano stati studiati separatamente dall'ecologia ed dall'economia, appaiono ora, con il progredire delle successioni di sviluppo dell'ecosistema globale, nuovamente strettamente correlati. Diventa fondamentale, per la comprensione dei nuovi fenomeni, la possibilità di indagare le connessioni e di individuare forzanti e fattori limitanti di un sistema globale che preveda l'evoluzione contestuale del sistema naturale e della componente umana.

Poiché variabili economiche comuni quali i prezzi condizionano e sono condizionate da variabili di stato dell'ecosistema, come densità di popolazione animale e vegetale, la loro simulazione congiunta consente di ottenere informazioni ulteriori sulla dinamica del sistema globale (Tschirhart, 2000).

Le osservazioni fin qui condotte diventano tanto più vere quanto più ci si prende in esame l'evoluzione di quegli ecosistemi che si definiscono di transizione tra le aree popolate del pianeta e quelle ancora allo stato naturale.

Proprio ai bordi del deserto, che rappresenta un terzo delle terre emerse e che ospita solo un quinto della popolazione mondiale, si rende più evidente questo limite "tra risorsa e bisogno" o, come meglio si direbbe in termini economici, tra "domanda umana di risorse e offerta naturale di beni primari".

Il sistema che normalmente dovrebbe persistere in uno stato di equilibrio dinamico crolla nel non equilibrio diventando maggiormente vulnerabile alle perturbazioni: "a system which has stability with time will exist longer than a system without stability" (Odum, 50).

Visto il livello di complessità che hanno raggiunto ecologia ed economia con lo sviluppo di strumenti specifici di analisi, appare sempre più difficile l'integrazione dei due contesti. Uno

dei concetti fondanti di questa nuova filosofia di analisi consiste nel considerare come fattore che limita la crescita economica, il “capitale naturale” (Anderies, 1998, Tschirhart, 2000).

La stima di questo ultimo è possibile solo attraverso l'ecologia che, mediante l'analisi di flussi di materia ed energia tra ecosistema ed esseri viventi, non fa altro che inglobare al suo interno i principi economici. E' in questo contesto che sono nati esperimenti di omogeneizzazione dei due linguaggi in grado di fornire descrizioni dei sistemi ecologici attraverso il linguaggio dell'economia e viceversa.

Lo scopo del lavoro svolto sull'Alashan è stato quello di ottenere una descrizione semplice ma fisicamente consistente dell'ecosistema, affiancandola ad una descrizione altrettanto consistente della microeconomia rurale, senza stravolgere i linguaggi di entrambe.

Al fine di cogliere le possibili dinamiche di evoluzione dell'ecosistema condizionato a differenti forme di gestione rurale, è stato scelto di costruire un modello dinamico in grado di valutare, nel tempo, i fenomeni di non equilibrio e di vulnerabilità e di illustrarne la formulazione matematica. La soluzione qui proposta prevede la formulazione di un modello semplificato dell'ecosistema deserto-steppa desertica che integri al suo interno la dinamica decisionale di una popolazione umana.

3.1 Sistemi dinamici per l'ecologia economica

I concetti di “carring capacity” e “ecological footprint” sono stati recentemente riformulati per tener conto dell'effetto delle attività umane sull'ecosistema (Komatsu et al., 2005, Zhao et al., 2005) e per fornire un primo strumento di analisi all'equilibrio dei limiti ecologici dello sviluppo. Questo tipo di formulazioni ha però il difetto di fornire una valutazione statica del fenomeno di degrado degli ecosistemi.

I sistemi dinamici, per la rappresentazione di una realtà in continua evoluzione, forniscono un valido strumento di analisi per l'ecologia così come aveva mostrato Lotka (Lotka, 1922) nella sua modellizzazione dinamica del sistema preda-predatore.

La possibilità di seguire l'evoluzione nel tempo delle grandezze rappresentative del sistema, legato alla variabilità temporale dei principali parametri del modello, fornisce un potente strumento d'indagine che tuttavia, per essere correttamente formulato, non può prescindere da una profonda conoscenza del sistema che si vuole osservare. Fu Meadows (Meadows et al., 1972) il primo a proporre un modello dinamico globale per la crescita mondiale, World3, che fosse in grado di esplorare la sostenibilità dell'attuale meccanismo di sviluppo socio-economico tenendo conto della limitatezza delle risorse naturali del pianeta.

La teoria dei sistemi dinamici, detta anche Matematica del Tempo, è una scienza nata con la definizione del matematico francese Jules Henri Poincaré che, a cavallo tra il 1800 e il 1900, fu il primo a formalizzare la teoria di sistemi dinamici, introducendo nei suoi scritti il famoso esempio dei tre corpi. Da allora l'utilizzo dei sistemi dinamici è di supporto alla descrizione dei principali fenomeni fisici, dalla fisica delle particelle alla meccanica del continuo, dalla dinamica del volo alla teoria del controllo.

Il sistema dinamico è una formalizzazione matematica di un insieme di regole che descrivono la dipendenza temporale dello stato di un sistema che si vuole osservare. Per seguire l'evoluzione dinamica di un qualsiasi sistema è necessario individuare:

- un insieme di grandezze, dette variabili di stato, che sono in grado di descrivere in modo univoco il sistema ;
- le relazioni che legano le attuali configurazioni del sistema a tutte le sue possibili, future configurazioni.;
- una corretta formulazione matematica del problema.

Per i sistemi ecologici/economici la prima difficoltà consiste nella definizione delle variabili di stato: la complessità delle interazioni che caratterizzano il complesso dei fenomeni

ecologici e economici necessita una prima semplificazione che riduca il numero di variabili di stato, selezionando quelle che hanno maggior peso per la dinamica che si vuole osservare.

Il complesso di relazioni matematiche che descrivono un sistema dinamico è spesso ben rappresentato da un sistema di equazioni differenziali lineari e non lineari, che nella loro forma più generale possono essere scritte come:

$$\begin{cases} \dot{x} = f(x, t) \\ x|_{t=0} = x_0 \end{cases}$$

dove x è il vettore delle variabili di stato, $f(x, t)$ è la matrice di evoluzione del sistema e x_0 è il complesso di condizioni iniziali dalle quali evolve il sistema.

L'integrazione del sistema di equazioni così costruito fornisce, assegnato un insieme di condizioni iniziali, tutti i futuri stati del sistema che sono descritti dalle cosiddette traiettorie od orbite all'interno dello spazio delle variabili di stato, detto "spazio delle fasi".

L'integrazione analitica di sistemi di equazioni differenziali è possibile solo per sistemi molto semplici, ciò significa che l'introduzione di tecniche numeriche di soluzione approssimata, legato allo sviluppo dei moderni calcolatori, ha fornito le basi per la soluzione di sistemi dinamici sempre più complessi e in tempi relativamente ridotti. La conoscenza delle singole traiettorie di evoluzione diventa poco significativa per quei sistemi che presentano fenomeni di biforcazione. Il fenomeno di biforcazione si osserva quando una piccola variazione nel valore dei parametri determina una immediata modifica topologica dell'evoluzione attesa del sistema. I fenomeni di biforcazione possono essere locali, quando originano piccole variazioni dei punti di equilibrio che restano prossimi all'equilibrio originario del sistema, mentre diventano biforcazioni globali quando le variazioni comportano il completo stravolgimento delle orbite del sistema, che non sono più confinabili in regioni prossime alle orbite descritte da quello originale. I fenomeni di biforcazione costituiscono condizione necessaria ma non sufficiente per la generazione del caos deterministico.

Nell'analisi topologica delle possibili evoluzioni del sistema è fondamentale individuare eventuali dinamiche caratteristiche o luoghi geometrici verso i quali convergono, per un tempo di evoluzione sufficientemente lungo, le traiettorie del sistema. Questi luoghi geometrici sono detti "attrattori" e possono essere punti, linee o superfici che, all'interno dello spazio delle fasi, si comportano come elementi attrattivi o repulsivi per le dinamiche del sistema. L'esistenza di eventuali attrattori costituisce un elemento fondamentale di comprensione dei sistemi dinamici e della loro eventuale deriva caotica (Bischi et al., 2003).

3.2 *Il modello DHG – Desert, Grazing, Human*

Nello studio dei fenomeni di desertificazione gli ecosistemi che portano il carico maggiore dell'amplificarsi del fenomeno sono quelli di transizione: si tratta di aree in cui il deserto coesiste con i fragili ecosistemi in cui sopravvivono specie animali e vegetali fortemente adattate.

L'Alashan è completamente attraversato da questa linea di demarcazione, su di essa si concentra la maggior parte della popolazione con tutte le sue attività caratteristiche legate prevalentemente alla pastorizia. In questa regione, infatti, la pratica dell'agricoltura è resa difficile dalla scarsità della risorsa idrica, le comunità isolate praticano la coltivazione di alcune colture resistenti, quali sorgo, miglio e mais che necessitano di un irrigazione costante resa disponibile dai pozzi artesiani dei quali dispone necessariamente ogni comunità isolata. Tuttavia, gran parte dell'economia rurale della regione è basata sullo sfruttamento del bestiame e sulla raccolta dei prodotti naturali della terra. E' proprio riguardo alle possibili evoluzioni di questo fragile ecosistema che ha senso chiedersi qual è l'effetto generato dalle dinamiche di sfruttamento messe in atto dall'uomo per garantirsi la sopravvivenza e promuovere lo sviluppo.

Il sistema dinamico che ci accingiamo a descrivere è in grado di simulare in forma accoppiata i tre elementi fondamentali che condizionano la dinamica dell'ecosistema rurale dell'Alashan:

- popolazione vegetale;
- popolazione di erbivori;
- azione della popolazione umana;

Lo sviluppo di queste componenti che caratterizza il sistema, prevede l'ausilio di diverse discipline prima fra tutte l'ecologia, che regola e definisce le principali forme di interazioni tra popolazioni animali e vegetali, fino all'economia che regola il processo decisionale delle comunità umane insediate.

Le variabili più rappresentative dello stato delle terre aride di transizione tra deserto e steppa desertica, che sono essenziali per la valutazione della sostenibilità, ambientale ed economica sono (Ares, 2007, Richardson et al., 2005, Zeng et al., 2005b):

$x \rightarrow$ biomassa epigea rappresenta la quantità totale di biomassa presente sul terreno;

$y \rightarrow$ umidità del suolo nella zona delle radici;

$z \rightarrow$ necromassa composta da tutti i residui di materia morta presenti sul terreno;

$N_D \rightarrow$ numero di animali femmina maturi in età fertile;

$N_Y \rightarrow$ numero di animali giovani;

$w_D \rightarrow$ peso medio della popolazione matura di erbivori;

$K \rightarrow$ capitale monetario a disposizione del proprietario

Le variabili di stato scelte hanno tutte un'evoluzione guidata da processi di immissione e sottrazione, dovuti a contributi esogeni e da processi naturali di generazione e morte, in generale sono descritti da equazioni del tipo:

$$\frac{dx}{dt} = \underbrace{\text{input} - \text{output}}_{\text{contributi esogeni}} + \overbrace{\text{generazione} - \text{morte} - \text{trasformazione}}^{\text{produzione}}$$

Il sistema completo di equazioni del modello è quindi descrivibile come segue:

$$\frac{dx}{dt} = G(x, y) - D(x, y) - C(F_{eat}, A')$$

$$\frac{dy}{dt} = P - E_v(x, y, z) - E_t(x, y) - R(x, y, z)$$

$$\frac{dz}{dt} = G_z(x, y) - D_z(z) - G_z(F_{eat}, A')$$

$$\frac{dN_Y}{dt} = N(N_D, w_D, x) - M_Y(N_Y, w_D) - T(N_D, w_D, x)$$

$$\frac{dN_D}{dt} = T(N_D, w_D, x) - M_D(N_D, w_D) - S(N_D)$$

$$\frac{dw_d}{dt} = F(N_Y, N_D, w_D, x)$$

$$\frac{dK}{dt} = \sum_{i=1}^3 (R_i - C_i)$$

Nel seguito sarà spiegata nel dettaglio, ogni singola equazione del sistema dinamico sopra descritto, analizzando singolarmente i sottoinsiemi di equazioni che descrive la dinamica della popolazione vegetale, animale e l'attività umana.

Il sistema è assunto rappresentativo all'interno di una cella elementare che costituisce la regione di influenza della singola comunità rurale e che può variare di 50 ha ai 100 ha di estensione. All'interno di questa cella elementare è possibile osservare l'interazione "deserto-pascolo-uomo" caratteristica delle comunità rurali dell'Inner Mongolia.

All'interno della cella d'analisi sono assunte valide le seguenti ipotesi semplificative:

- Fattori climatici assunti costanti;
- Omogeneità spaziale delle grandezze osservate;
- Scala temporale di osservazione annuale;
- Attività umane limitate a non più del 10% della superficie di ciascuna cella.

3.3 *La dinamica della popolazione vegetale*

Il sottomodello che descrive la crescita della popolazione vegetale, evolve tre grandezze fondamentali: la biomassa epigea, x , in kg m^{-2} ; l'umidità del suolo nello strato più superficiale nel quale si sviluppano le radici, y in mm, e la necromassa, z in kg m^{-2} . La scelta delle tre variabili di stato deriva dall'assunzione che gli ecosistemi aridi dell'Alashan siano in condizioni di non equilibrio, con principale fattore condizionante le precipitazioni (Ellis and Swift, 1988, Fernandez Gimenez and Allen Diaz, 1999). Le assunzioni principali per gli ecosistemi pastorali in condizioni di non equilibrio possono così riassumersi: (i) l'interazione tra piante e erbivori è debole, (ii) la biomassa vegetale è controllata prevalentemente da fattori abiotici, (iii) la competizione tra specie è un fattore non determinante nella crescita della popolazione vegetale, (iv) la capacità di carico dell'ecosistema varia troppo rapidamente perché la popolazione animale possa seguirne l'andamento (Ellis and Swift, 1988).

Per dare una rappresentazione accurata delle principali fenomenologie in atto nell'ambiente desertico è essenziale fornire una rappresentazione dei fenomeni di fotosintesi, respirazione e traspirazione delle piante, correlati al bilancio idrico del suolo (Zeng et al., 2005b).

L'equazione per la biomassa vegetale integra al suo interno i processi fisiologici di fotosintesi e respirazione, mentre l'equazione di umidità del suolo è l'esplicazione di un bilancio idrico superficiale. Per concludere, l'equazione di evoluzione della necromassa tiene conto dei fenomeni locali di ombreggiamento e riduzione di evaporazione che possono diventare determinanti in ambienti particolarmente ostili.

Nella cella elementare analizzata, la superficie si assume omogeneamente coperta da una popolazione vegetale mono-specifica, descritta attraverso parametri medi che ne definiscono la resistenza all'aridità e l'efficienza fotosintetica.

Per definire la forma funzionale dei diversi termini del sistema si è osservato che tutte le forzanti ecologiche possono essere facilmente ricondotte a funzioni saturanti del tipo:

$$f(u \rightarrow \infty) \rightarrow f_{\max} \quad (\text{limite di saturazione});$$

$$f(u \rightarrow 0) \approx f_{\max} ku \quad (\text{limite lineare});$$

La forma funzionale che raccorda le due condizioni limite è ben rappresentata da un'equazione esponenziale del tipo:

$$f(u) = f_{\max} (1 - e^{-ku}) \quad \text{Eq. 5}$$

La derivazione fisica delle singole forzanti richiede la determinazione dei diversi limiti di saturazione caratteristici del fenomeno rappresentato.

3.3.1 L'equazione per la biomassa epigea

L'equazione di variazione della biomassa epigea si scrive come:

$$\frac{dx}{dt} = G(x, y) - D(x, y) - C(F_{eat}, A') \quad \text{Eq. 6}$$

Dove le forzanti hanno il seguente significato:

$G(x, y) \rightarrow$ crescita o produzione primaria netta di biomassa fresca;

$D(x, y) \rightarrow$ riduzione/morte di biomassa;

$C(F_{eat}, A') \rightarrow$ consumo di biomassa;

Il termine di produzione di biomassa dipende dall'equilibrio tra fotosintesi e respirazione, $G = G_p - G_r$. Assumendo che i due termini siano proporzionali, ovvero $G = \text{const} G_p$, il modello più semplice per descrivere la fotosintesi è:

$$G_p = \alpha_0 P_c L_{ef} \quad \text{Eq. 7}$$

Dove P_c è la velocità d'assimilazione del carbonio per unità d'area fogliare e L_{ef} è la superficie di area fogliare non ombreggiata.

L_{ef} può essere espresso in funzione del LAI inserendo un fattore correttivo che tenga conto dell'ombreggiamento:

$$L_{ef} = (1 - e^{-KLAI}) / K$$

Il LAI (Leaf Area Index) è proporzionale alla densità di biomassa, x . L'indice α_0 è proporzionale, invece, al contenuto d'acqua nel suolo, $\alpha_0 \propto (1 - e^{-K'y})$.

Il termine di produzione di biomassa, nella formulazione proposta da Zeng (Zeng and Zeng, 1996), diventa quindi:

$$G(x, y) = \alpha (1 - e^{-\varepsilon_{gx} x})(1 - e^{-\varepsilon_{gy} y}) \quad \text{Eq. 8}$$

Con questa formulazione la costante α è la velocità massima di accrescimento che dipende naturalmente dalle condizioni climatiche, dalle specie vegetali e dalle proprietà del suolo, mentre ε_{gx} e ε_{gy} sono fattori esponenziali che dipendono dalle caratteristiche di adattamento delle specie presenti.

Il termine di appassimento è derivato in maniera analoga tenendo conto dei seguenti limiti di saturazione:

$$D(y \rightarrow 0) \rightarrow \infty,$$

$$D(x \rightarrow 0) \rightarrow \infty ,$$

che diventano:

$$D(x, y) = \beta (e^{\varepsilon_{dx} x} - 1)(1 - e^{\varepsilon_{dy} y})^{-1} \quad \text{Eq. 9}$$

dove β è la velocità d'appassimento media sul territorio, anch'essa dipendente dalle diverse essenze vegetali presenti.

Il termine di consumo della biomassa, $C(F_{eat}, A')$, direttamente dipendente dalla presenza di erbivori, verrà illustrata in seguito.

3.3.2 L'equazione per l'umidità del suolo

L'equazione di umidità del suolo è costruita a partire dal bilancio idrico della zona radicale:

$$\frac{dy}{dt} = P - E_v(x, y, z) - E_t(x, y) - R(x, y, z) \quad \text{Eq. 10}$$

con il seguente significato dei simboli:

P $\rightarrow$ precipitazioni efficaci;

$E_v(x, y, z)$ $\rightarrow$ evaporazione del suolo;

$E_t(x, y)$ $\rightarrow$ traspirazione della vegetazione;

$R(x, y, z)$ $\rightarrow$ scorrimento superficiale;

L'evaporazione del suolo, E_v , è fortemente condizionato dalle caratteristiche del suolo e dalla copertura vegetale, viva e morta. Il termine di evaporazione dal suolo nudo si può scrivere come:

$$E_{v00} = e_v (1 - e^{-\varepsilon_{vy} y}) \quad \text{Eq. 11}$$

dove e_v è l'evaporazione potenziale da una superficie completamente bagnata che dipende esclusivamente dalle condizioni climatiche ed è assunta costante.

Assumendo che la lettiera sia uniformemente distribuita sul suolo e che il calore latente di evaporazione di una superficie bagnata sia in equilibrio con la radiazione solare incidente, l'evaporazione dal suolo coperto dalla lettiera può essere scritta come segue:

$$E_{v0} = E_{v00} e^{-\varepsilon_{xy} z} = e_v (1 - e^{-\varepsilon_{vy} y}) e^{-\varepsilon_{xy} z} \quad \text{Eq. 12}$$

Per le aree coperte da vegetazione, la radiazione solare risulta attenuata. In questo caso l'evaporazione dal suolo coperto da lettiera e vegetazione ha la seguente forma:

$$E_{v1} = [(1 - \kappa_v) + \kappa_v e^{-\varepsilon_{vx} x}] E_{v0} = [1 - \kappa_v (1 - e^{-\varepsilon_{vx} x})] E_{v0} \quad \text{Eq. 13}$$

Dove κ_v è l'ampiezza dell'ombreggiamento dovuto alla biomassa viva.

L'evaporazione totale può essere scritta (Zeng and Zeng, 1996) come funzione dell'indice di copertura vegetale, σ_f :

$$E_v(x, y, z) = (1 - \sigma_f)E_{v0} + \sigma_f E_{v1} = e_v(1 - e^{-\varepsilon_{vy}y}) e^{-\varepsilon_{xy}z} [1 - \sigma_f \kappa_v(1 - e^{-\varepsilon_{vx}x})]$$

che è funzione della biomassa epigea x e si può scrivere come segue:

$$\sigma_f = 1 - e^{-\varepsilon_f x} \quad \text{Eq. 14}$$

Poiché la traspirazione è un processo complementare alla fotosintesi, anche in questo caso si assume che E_t possa essere modellato in modo equivalente a G . Tenendo conto della consistente variazione di traspirazione in condizioni di ombreggiamento o di pieno sole; si assume la seguente formulazione (Zeng and Zeng, 1996):

$$E_t(x, y) = e_t(1 - e^{-\varepsilon_{ty}y})\sigma_f(1 - \kappa_t e^{-\varepsilon_{tx}x}) \quad \text{Eq. 15}$$

Dove e_t è la traspirazione potenziale senza limitazioni di acqua e in condizioni di copertura vegetale uniformemente estesa e compatta su tutta la superficie.

Per finire, il termine di scorrimento superficiale (runoff) non solo tiene conto della quota di precipitazione utile, ma integra al suo interno anche l'effetto limitante dovuto alla presenza della copertura vegetale (Zeng and Zeng, 1996):

$$R(x, y, z) = \lambda P(e^{\varepsilon_{ry}y} - 1)e^{-\varepsilon_{rz}z} [1 - \sigma_f \kappa_r(1 - e^{-\varepsilon_{rx}x})] \quad \text{Eq. 16}$$

3.3.3 L'equazione per la necromassa

La dinamica che regola l'accumulo o il consumo della necromassa è stata derivata in analogia all'equazione che governa la dinamica della biomassa epigea:

$$\frac{dz}{dt} = G_z(x, y) - D_z(z) - G_z(F_{eat}, A') \quad \text{Eq. 17}$$

Con il seguente significato dei simboli:

$G_z(x, y) \rightarrow$ accumulo della lettiera;

$D_z(z) \rightarrow$ decomposizione della lettiera;

$C_z(z) \rightarrow$ consumo della lettiera;

L'accumulo di lettiera è legata alla morte della biomassa (Zeng et al., 2005b):

$$G_z(x, y) = \alpha_z D = \alpha_z \beta (e^{\varepsilon_{dx}x} - 1)(1 - e^{\varepsilon_{dy}y})^{-1} \quad \text{Eq. 18}$$

Dove $\alpha_z \in [0, 1]$ rappresenta la frazione di biomassa morta che si accumula nella lettiera.

La decomposizione D_z , può essere scritta come segue (Zeng et al., 2005b):

$$D_z(z) = \beta_z (e^{-\varepsilon_{dz} z} - 1)$$

Dove β_z è la velocità di decomposizione della lettiera, che dipende dalla specie e dalle condizioni climatiche che determinano il proliferare della popolazione batterica demandata al processo di decomposizione.

3.4 La dinamica della popolazione di erbivori

Nello studio degli ecosistemi aridi e nella loro valutazione in termini di gestione pastorale, un grosso dibattito si è aperto sulle forme di accoppiamento tra popolazione di erbivori e produzione vegetale. In particolare si discute sulla possibilità di descrivere i due ecosistemi con modelli così detti di equilibrio o di non-equilibrio (Ellis and Swift, 1988). L'ipotesi di non equilibrio implica la forte dipendenza dei fattori di produzione di biomassa dalla variabilità di fattori abiotici tra i quali prevalentemente la pluviometria. Mentre, al contrario, l'ipotesi di equilibrio determina una forte dipendenza dello stato della vegetazione dalla presenza e quota di erbivori.

Le due ipotesi sono state ripetutamente messe a confronto (Fernandez Gimenez and Allen Diaz, 1999, Hein, 2006, Vetter, 2005) attraverso sperimentazioni dirette e raccolta di serie storiche di dati. Tuttavia una valutazione dinamica dei fenomeni di accoppiamento che tenga conto dell'azione correttiva dell'uomo sulle dinamiche di crescita della popolazione di erbivori in base alla variabilità dei fattori abiotici percepiti, non è stata mai affrontata.

Allo scopo di indagare dinamicamente questo accoppiamento è stato sviluppato un modello semplificato della dinamica della popolazione di erbivori. Questo è simulato attraverso il modello semplificato studiato da Richardson (Richardson et al., 2005) per l'ecosistema semi-arido del Karoo, una regione interna del Sud Africa, caratterizzata da condizioni climatiche e vegetazione assimilabili a quelle del deserto del Gobi. Anche in questa regione la pastorizia è l'unica fonte di sostentamento là dove è possibile praticare solo un'agricoltura di sussistenza, data la cronica mancanza d'acqua.

Il termine di consumo di biomassa, che compare nell'equazione di evoluzione della biomassa epigea

Eq. 6, si può scrivere come segue:

$$C(F_{eat}, A') = \frac{(1 - f_F)F_{eat}}{(A_w - A')} \quad \text{Eq. 19}$$

dove A_w è l'area della cella e A' è la superficie destinata all'agricoltura, la differenza corrisponde al territorio allo stato naturale che è di pertinenza della singola fattoria. F_{eat} è la quantità di foraggio necessaria per nutrire tutto il gregge e f_F la frazione di foraggio fornita dall'allevatore e non sottratta all'ecosistema.

L'effetto del pascolamento sulla necromassa (Eq. 17) è assunto proporzionale al consumo di biomassa:

$$C_z(F_{eat}, A') = h_z C(F_{eat}, A') \quad \text{Eq. 20}$$

dove h_z è il fattore di proporzionalità tra la biomassa consumata e la necromassa.

Il sottomodello per il pascolamento è costruito sulla dinamica di crescita ed evoluzione di una popolazione di erbivori attraverso la stima dei bisogni alimentari della popolazione stessa. Il gregge è diviso in due gruppi d'età diverse: le femmine adulte in età fertile, N_D ed i giovani animali di almeno un anno d'età, N_Y . La terza variabile di stato è il peso medio della popolazione adulta, w_D , che comprende anche i piccoli non ancora svezzati.

La stima della quantità di foraggio consumata dalla popolazione di erbivori dipende naturalmente dalla quantità di biomassa epigea disponibile per animale, F_u , questa è chiaramente funzione diretta della biomassa epigea, x , attraverso la relazione:

$$F_u = \frac{\rho x (A_w - A') + f_F F_{eat}}{N_D + N_Y} \quad \text{Eq. 21}$$

La ρ rappresenta la frazione appetibile di biomassa fresca prodotta dall'ecosistema. Questo ultimo termine costituisce l'elemento di accoppiamento con il modello di crescita della popolazione vegetale illustrato nei paragrafi precedenti.

Ad esso si aggiungono i due termini di forzamento antropico, che rappresentano la scelta di gestione del singolo allevatore nel settore della pastorizia e del turismo, $S(N_D, S')$ e $Tu(T')$.

3.4.1 L'equazione per gli individui del gregge

Le due equazioni di crescita della popolazione di erbivori sono:

$$\frac{dN_D}{dt} = T(N_D, w_D, F_u) - M_D(N_D, w_D) + S(N_D, S') - Tu(T') \quad \text{Eq. 22}$$

$$\frac{dN_Y}{dt} = N(N_D, w_D, F_u) - M_Y(N_Y, w_D) - T(N_D, w_D, F_u) \quad \text{Eq. 23}$$

con il seguente significato dei termini forzanti:

$N(N_D, w_D, F_u) \rightarrow$ produzione annuale di giovani animali svezzati,

$M_Y(N_Y, w_D) \rightarrow$ mortalità all'interno della popolazione giovane,

$T(N_D, w_D, F_u) \rightarrow$ giovani animali diventati adulti ogni anno,

$M_D(N_D, w_D) \rightarrow$ mortalità della popolazione adulta,

$S(N_D, S') \rightarrow$ animali adulti venduti ogni anno,

$Tu(N_D, T') \rightarrow$ animali adulti utilizzati a scopo turistico,

Il termine che indica la sopravvivenza dei piccoli svezzati, può essere scritto come:

$$N(N_D, w_D, x) = \gamma p_k N_D \quad \text{Eq. 24}$$

dove γ rappresenta la frazione di sopravvivenza allo svezzamento dei piccoli, che normalmente viene posta pari a 0.5, considerando che solo pochi dei maschi nati superano lo svezzamento. La funzione p_k rappresenta la produttività del gregge e dipende dal foraggio disponibile e dal peso medio degli animali adulti.

La mortalità degli animali giovani $M_Y(N_Y, w_D) = m_y N_Y$ dove m_y è funzione del peso medio della popolazione animale.

Il termine che schematizza il trasferimento di individui dal gruppo di giovani al gruppo di animali maturi e che vale, con segno opposto per entrambe le equazioni, si scrive come segue:

$$T(x, N_D, w_D) = p_y N_Y.$$

Per analogia a quanto descritto per la popolazione di animali giovani, si possono scrivere le due equazioni della popolazione animale come segue:

$$\begin{aligned} \frac{dN_D}{dt} &= p_y(F_u, w_D)N_Y - m_D(w_D)N_D + S'N_D + \frac{T'}{t_i} \\ \frac{dN_Y}{dt} &= \gamma p_k(F_u, w_D)N_D - m_y(w_D)N_Y - p_y(F_u, w_D)N_Y \end{aligned} \quad \text{Eq. 25}$$

La crescita della popolazione di erbivori può essere semplificata, senza ledere la validità generale dei risultati ottenuti, facendo le seguenti ipotesi (Richardson et al., 2005):

La mortalità nella popolazione dei giovani non differisce in maniera sostanziale da quella per gli animali vecchi, $m_d = m_y$;

Il tasso di trasferimento tra i due insiemi dipende dalla mortalità, $p_y = 1 - m_y = 1 - m_d$.

Con le ipotesi precedenti la forma funzionale dei due termini m_D e p_k è (Richardson et al., 2005):

$$m_D = a_{md} + b_{md} e^{c_{md} w_D} \quad \text{Eq. 26}$$

$$p_k = a_{pk} - b_{pk} e^{c_{pk} F_u} + d_{pk} \log(w_D) \quad \text{Eq. 27}$$

Per finire, il foraggio consumato dal gregge ogni anno è dato da:

$$F_{eat} = F_{eatD} + F_{eatY} \quad \text{Eq. 28}$$

Dove F_{eatD} e F_{eatY} sono, rispettivamente il foraggio consumato dalla popolazione adulta e dalla popolazione giovane. Ciascuna quantità è calcolabile in base al seguente modello (Richardson et al., 2005):

$$F_{eatD} = N_D [a_{FeD} - b_{FeD} e^{-c_{FeD} F_u} + d_{FeD} p_K] \quad \text{Eq. 29}$$

$$F_{eatY} = N_Y [a_{FeY} - b_{FeY} e^{-c_{FeY} F_u}] \quad \text{Eq. 30}$$

3.4.2 L'equazione del peso medio della popolazione

Il modello si completa con un'equazione d'evoluzione per il peso medio della popolazione adulta d'erbivori. Il peso medio dei capi dipende dalla disponibilità di foraggio per singolo capo, dal peso attuale medio degli individui e dalla percentuale di nascite all'anno. La forma funzionale che assume l'equazione è la seguente (Richardson et al., 2005):

$$\frac{dw_d}{dt} = a_{wd} - b_{wd} e^{-c_{wd} F_u} + d_{wd} w_d \left(1 - \frac{w_d}{w_{\max}}\right) - g_{wd} p_k \quad \text{Eq. 31}$$

con p_k pari alla produttività annuale del singolo individuo del gregge.

3.5 *Azione dell'uomo*

La teoria microeconomica classica (Border, 2001-2007) individua due agenti principali che regolano il mercato: produttore e consumatore. I due agenti che sono alla base del meccanismo della domanda e dell'offerta che descrive il mercato, effettuano scelte mirate a massimizzare il benessere. Si assume che il consumatore voglia massimizzare il suo benessere o funzione d'utilità che gli deriva dall'acquisto dei beni di consumo. Il produttore tende invece ad ottimizzare il profitto, inteso come la differenza tra i ricavi derivati dalla vendita dei prodotti e i costi di produzione affrontati.

I flussi di prodotti e di risorse sono quantificati all'interno del mercato in base alla domanda e all'offerta: l'insieme dei consumatori determina il valore della domanda massimizzando la singola utilità, l'offerta è generata invece dalla somma dei beni prodotti dal singolo produttore, massimizzando il profitto. Si raggiunge l'equilibrio generale, quando la domanda è uguale all'offerta in ogni mercato (Tschirhart, 2000).

Le comunità rurali dell'Inner Mongolia sono da poco uscite da un'economia di sussistenza caratterizzata da ridotte attività di commercio con l'esterno. Oggi a seguito del clamoroso sviluppo e dell'estensione dell'urbanizzazione delle principali città, le comunità rurali si trovano a dover provvedere ad una domanda sempre crescente.

Si tratta di un'economia molto lontana dall'equilibrio, nella quale il produttore, ovvero il singolo allevatore, usufruisce direttamente delle poche risorse naturali e del proprio lavoro per rispondere ad una domanda pressoché illimitata. Il sistema descritto di seguito modella il solo settore di produzione, assumendo una domanda illimitata di beni di consumo da parte del consumatore, e cerca di valutare come questa produzione sia limitata dallo stato di degrado e dalle capacità rigenerative dell'ecosistema.

Si osserva quindi il singolo agente, produttore che opera la sua scelta di gestione del territorio basando la sua decisione sulla diretta massimizzazione del profitto in un periodo di tempo finito, fissato ad un anno solare. Il profitto è valutato a partire dalle tre attività che caratterizzano l'economia rurale dell'Inner Mongolia ovvero agricoltura, pastorizia e turismo. Le tre attività sono sinteticamente rappresentate dalle seguenti grandezze:

- A' , la superficie dedicata annualmente ad attività agricole,
- S' , la frazione di bestiame venduta annualmente
- T' la quota di turisti ospitata ogni anno.

Il valore delle tre grandezze, oltre a rappresentare l'importanza relativa assegnata a ciascun settore dal proprietario, costituisce un importante fattore di scelta della pratica di gestione ritenuta più idonea.

L'operazione di massimizzazione del profitto permette di selezionare, ogni anno, un valore per le tre variabili A' , S' e T' che costituisce la scelta di gestione per l'anno successivo.

Questa operazione è però vincolata da alcuni importanti fattori limitanti di natura fisica e sociale:

- disponibilità di risorse idriche superficiali e/o sotterranee,
- disponibilità di risorse energetiche,
- conservazione del gregge come bene primario di sostentamento,
- limite della struttura di accoglienza per la ricezione del turismo.

Le tre variabili così estrapolate determinano un forzamento sull'ecosistema che varia nel tempo e ne condiziona lo sviluppo.

La funzione di profitto è definita come segue:

$$\Pi = Ricavi - Costi = f(A', S', T')$$

Ricavi e costi sono quantificati in termini di produzione di beni primari, ovvero Cibo, Foraggio e Denaro e in consumo di Energia, Acqua e Denaro. Il sistema viene poi reso omogeneo, trasformando tutte le grandezze di cui sopra attraverso i prezzi di produzione e di vendita in moneta corrente (RMB, ¥).

Per effettuare questa trasformazione si sono fatte due ipotesi semplificative:

- prezzi di acquisto e vendita di prodotti equivalenti assunti uguali;
- prezzi assunti costanti per l'intero periodo di analisi,

E' da osservare che l'assunzione d'invarianza dei prezzi nel periodo di analisi impone un'ipotesi di mercato ideale nel quale i prezzi non sono condizionate dalle scelte del singolo produttore e/o consumatore.

SETTORI	VARIABLE	PRODUZIONE/CONSUMO				
		cibo [kcal]	foraggio [kg]	¥	energia [kWh]	acqua [m3]
AGRICOLTURA	$A' \rightarrow$ la superficie dedicata annualmente ad attività agricole	●	●		● ●	●
PASTORIZIA	$S' \rightarrow$ la frazione di bestiame venduta o acquistata annualmente	●	●		●	●
TURISMO	$T' \rightarrow$ quota di turisti ospitata ogni anno	●		●	●	●

● ricavi
● costi

La funzione di ricavo si può scrivere come segue:

$$\Pi(A', S', T') = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 R_{i,j} - \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 C_{i,j} \quad \text{Eq. 32}$$

La decisione è realizzata attraverso un'operazione di massimo vincolato sulla funzione di profitto rispetto alle tre variabili (A' , S' , T'):

$$\begin{cases} \max(\Pi(A', S', T')) \\ A' = [A'_{\min}, A'_{\max}] \\ S' = [S'_{\min}, S'_{\max}] \\ T' = [0, T'_{\max}] \end{cases}$$

In Tabella 6 sono riportati i principali costi e ricavi di cui si fornirà una modellazione nei prossimi paragrafi.

La funzione di profitto così calcolata permette di fornire una stima dell'andamento del capitale monetario accumulato dal singolo proprietario:

$$\frac{dK}{dt} = \Pi \quad \text{Eq. 33}$$

equazione che fornisce un'indicazione sul potenziale stato di sviluppo del sistema rurale.

	CIBO [kcal]	FORAGGIO [kg]	DENARO [\$]	ENERGIA [Wh]	ACQUA [m ³]
PASTORIZIA	$R_{1,1}$	$C_{1,2}$	-	$C_{1,4}$	$C_{1,5}$
AGRICOLTURA	$R_{2,1}$	$R_{2,2}$	-	$R_{2,4}$; $C_{2,4}$	$C_{2,5}$
TURISMO	$C_{3,1}$	-	$R_{3,3}$	$C_{3,4}$	$C_{3,5}$

Tabella 6 Schema riassuntivo dei costi e ricavi ritenuti significativi ai fini della determinazione della funzione di profitto

3.5.1 Pastorizia

L'allevatore ha ogni anno la possibilità di decidere il numero di capi in età fertile da vendere o acquistare, questa opzione rappresenta la principale forma di gestione pastorale introdotta all'interno del modello.

Un'ulteriore ipotesi, che ben rappresenta la realtà rurale dell'Alashan, è che il pascolo del gregge sia lasciato libero nel territorio che circonda l'azienda. Il territorio a disposizione del gregge si può estendere dalle decine fino alle centinaia di ettari. In genere, fattorie più isolate possono usufruire di più vasti territori per il pascolo, mentre fattorie vicine a centri urbani, a causa del maggiore popolamento, possono utilizzare per il pascolo territori di minore estensione.

Il maggior ricavo derivante dalla gestione del gregge è rappresentato dalla vendita della carne per il commercio alimentare. Dal modello sono esclusi, in prima approssimazione, i ricavi derivanti dalla vendita di lana e pellame.

Il ricavo di vendita è scomposto in due parti: la prima dovuta alla vendita degli animali non svezzati che rappresenta una percentuale fissa sulle nascite, il secondo dalla vendita di animali maturi che viene deciso ogni anno in base alle condizioni climatiche e allo stato del gregge. La vendita della carne costituisce una produzione in “cibo” che è possibile valutare in termini di chilo-calorie commestibili prodotte ogni anno e, attraverso il prezzo unitario della chilo-caloria, diventa un guadagno in moneta corrente - RMB equivalenti.

La relazione che ne deriva è descritta nella Eq. 34 con il significato dei simboli riportato in Tabella 7:

$$R_{1,1} = \beta_C p_1 ((1 - \gamma) P_k N_D w_y - S' N_d r_m w_d) \quad \text{Eq. 34}$$

L'espressione sopra riportata è la formalizzazione matematica dei ricavi. E' da osservare che $R_{1,1}$ è linearmente dipendente da S' e quindi i ricavi della pastorizia non sono sempre positivi. Negli anni in cui la scelta di gestione prevede la vendita di una frazione della popolazione matura, il ricavo dovuto alla pastorizia potrebbe risultare in perdita.

I costi di gestione del gregge sono, invece, proporzionali alle dimensioni del gregge stesso e sono costituiti principalmente dalle necessità di approvvigionamento idrico per l'abbeveraggio, che in aree desertiche rappresenta uno dei primi fattori limitanti e dall'eventuale acquisto di foraggio, che si somma al pascolo fornito dall'ecosistema.

L'approvvigionamento idrico rappresenta un duplice costo derivante da quello primario dell'acqua consumata e dai costi energetici necessari per la sua estrazione e distribuzione.

Per rendere confrontabili i differenti contributi è necessario utilizzare i costi di vendita relativi ai beni di consumo: foraggio, acqua e energia:

$$C_{1,2} = \beta_F [f_F F_{eat}] \quad \text{Eq. 35}$$

$$C_{1,4} = \beta_E [c_{1,4} (N_D + N_y)] \quad \text{Eq. 36}$$

$$C_{1,5} = \beta_A [c_{1,5} (N_D + N_y)] \quad \text{Eq. 37}$$

Per il significato di tutti i simboli utilizzati si rimanda alla Tabella 7.

3.5.2 Agricoltura

L'agricoltura in regioni aride e semi-aride è sempre stata un elemento di sussistenza per le popolazioni stanziali senza però rappresentare una vera e propria attività produttiva. La scarsità di acqua e la cronica mancanza di nutrienti che caratterizza il suolo di queste regioni sono due

dei principali fattori che ne limitano lo sfruttamento. Tuttavia lo sviluppo della tecnica ha permesso l'installazione di attività agricole semi-intensive anche in quelle regioni che fino ad oggi non erano sembrate idonee a questo tipo di attività.

L'Alashan inizia solamente oggi a realizzare esperimenti di produzione agricola su scala che va oltre la semplice sussistenza e la maggior parte delle comunità disperse sul territorio la praticano in forma ridotta.

L'attività agricola ha nel modello, la sua variabile di stato nella quota di territorio dedicata all'agricoltura, A' . Si assume che l'attività agricola possa fornire tre tipi di prodotti: vegetali ad uso alimentare, foraggio e biomassa ad uso energetico. Le tre produzioni sono proporzionali alla frazione di territorio ad esse dedicata:

$$R_{2,1} = \beta_C p_2 (r_{2,1} f_c A') \quad \text{Eq. 38}$$

$$R_{2,2} = \beta_F (r_{2,2} (1 - f_c - f_b) A') \quad \text{Eq. 39}$$

$$R_{2,4} = \beta_E (r_{2,4} f_b A') \quad \text{Eq. 40}$$

$$\text{le} \quad \text{Eq. 38,} \quad \text{Eq. 39 e} \quad \text{Eq. 40}$$

rappresentano i ricavi nei tre beni.

I costi sono calcolati in termini idrici e energetici, proporzionalmente al terreno coltivato assumendo omogenei i consumi idrici di tutte le colture considerate:

$$C_{2,4} = \beta_E (c_{2,4} A') \quad \text{Eq. 41}$$

$$C_{2,5} = \beta_A (c_{2,5} A') \quad \text{Eq. 42}$$

Anche in questo caso si rimanda alla Tabella 7 per il significato dei simboli utilizzati.

3.5.3 Turismo

Il turismo nella sua accezione più nota rappresenta un'attività economica che spazia dalla ristorazione alla cultura, dall'accoglienza alberghiera ai divertimenti.

Nel mondo rurale dell'Alashan il turismo si configura come una forma di accoglienza semi-domestica che, tuttavia, nel bilancio familiari inizia ad avere un peso ed una rilevanza sempre maggiori. Sono per prime le comunità che vivono vicino alle poche vie di comunicazione della regione a costituire un elemento di attrazione per il turismo locale, poiché la qualità della carne prodotta nel deserto del Gobi ha risonanza a livello nazionale. E' per questo che, pur costituendo una fonte alternativa di reddito, il turismo non può prescindere dall'allevamento del bestiame ed il guadagno che se ne ricava è molto maggiore.

Il ricavo dell'attività turistica è stimato proporzionale al numero di persone ospitate ed è quantificabile direttamente in moneta locale:

$$R_{3,3} = r_{3,3} T' \quad \text{Eq. 43}$$

I costi sono quantificabili sotto forma di energia, acqua e cibo consumato da ciascun ospite (vedi Tabella 7 per il significato dei simboli usati):

$$C_{3,1} = \beta_C (c_{3,1} T') \quad \text{Eq. 44}$$

$$C_{3,4} = \beta_E (c_{3,4} T') \quad \text{Eq. 45}$$

$$C_{3,5} = \beta_A (c_{3,5} T') \quad \text{Eq. 46}$$

3.5.4 Vincoli

I fattori che vincolano lo sviluppo rurale della comunità, indicati nel paragrafo introduttivo, devono essere formalizzati all'interno del modello fin qui descritto.

I limiti all'acquisto o alla vendita di capi di bestiame sono vincolati alla conservazione del gregge e alla quantità di capitale accumulato per effettuare l'acquisto, ovvero:

$$\frac{dN_d}{dt} > 0 \rightarrow T - M_D - Tu + S > 0$$

$$S\beta_{capo} < K$$

che si traducono come limite inferiore e superiore per la frazione di animali venduti ogni anno:

$$\frac{T - M_D - Tu}{N_D} \leq S' \leq \frac{K}{N_D \beta_{capo}} \quad \text{Eq. 47}$$

I vincoli al consumo idrico ed energetico possono così esplicitarsi:

$$C_e = C_{1,4} + C_{2,4} + C_{3,4} + R_{2,4} < C_{e,\max}$$

$$C_w = C_{1,5} + C_{2,5} + C_{3,5} < C_{w,\max}$$

I limiti sui consumi energetici ed idrici incidono principalmente sull'attività agricola, assumendo trascurabili i consumi dovuti alla pastorizia e al turismo. Ciò significa che la massima estensione di territorio da dedicare all'agricoltura è stimabile come il due valori ottenibili dalla semplificazione:

$$A_{\min} < A' < \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{C_{w,\max} - c_{1,5}(N_D + N_y)}{c_{2,5}} \\ \frac{C_{e,\max} - c_{1,4}(N_D - N_y)}{c_{2,4}} \end{array} \right. \quad \text{Eq. 48}$$

Infine il vincolo sul numero di turisti che è possibile ospitare ogni anno, dipende dalla disponibilità della struttura di accoglienza e dalla disponibilità di carne, questo diventa:

$$0 < T' < \min \begin{cases} 1000 \\ N_D t_t \end{cases} \quad \text{Eq. 49}$$

dove t_t rappresenta il numero di turisti che possono essere sfamati con un capo di bestiame adulto. I vincoli così definiti permettono di completare il processo di ottimizzazione.

PARAMETRI		UNITA'
β_c	prezzo del cibo	¥ kcal ⁻¹
β_f	prezzo del foraggio	¥ kg ⁻¹
β_e	prezzo dell'energia	¥ kWh ⁻¹
β_a	prezzo dell'acqua	¥ m ⁻³
p_1	coefficiente per la conversione della carne in calorie alimentari	kcal kg ⁻¹
p_2	coefficiente per la conversione della produzione vegetale in calorie alimentari	kcal kg ⁻¹
w_y	peso medio degli animali giovani	Kg
f_f	frazione di terre coltivate per usi alimentari	-
f_b	frazione di terre coltivate per produzione di biomassa	-
t_t	numero di turisti sfamati da un capo di bestiame	unit unit ⁻¹
r_m	resa al macello	-
$r_{2,1}$	produttività annua in specie alimentari delle terre coltivate	kg m ⁻² y ⁻¹
$r_{2,2}$	produttività annua in specie foraggiere delle terre coltivate	kg m ⁻² y ⁻¹
$r_{2,4}$	produttività annua in biomassa energetica delle terre coltivate	kg m ⁻² y ⁻¹
$r_{3,3}$	ricavo per turista ospitato	¥ u ⁻¹
$c_{1,4}$	energia consumata per capo di bestiame	kWh u ⁻¹ y ⁻¹
$c_{1,5}$	acqua consumata per capo di bestiame	M ³ u ⁻¹ y ⁻¹
$c_{2,4}$	consumo energetico per unità di terreno coltivato	kWh m ⁻² y ⁻¹
$c_{2,5}$	consumo idrico per unità di terre coltivate	m ³ m ⁻² y ⁻¹
$c_{3,1}$	cibo consumato da ogni turista	kcal u ⁻¹
$c_{3,4}$	consumo energetico per turista	kWh u ⁻¹
$c_{3,5}$	consumo idrico per turista	m ³ u ⁻¹
$C_{e,max}$	massima quantità di energia disponibile all'anno	m ³ y ⁻¹
$C_{w,max}$	massima quantità di acqua disponibile all'anno	kWh y ⁻¹

Tabella 7 Significato ed unità di misura dei simboli utilizzati per la formalizzazione del modello decisionale

3.6 Stima dei parametri fisic- economici del modello

Il modello non è completo senza una corretta stima dei suoi parametri, da essa dipende, infatti, l'affidabilità qualitativa e quantitativa dei risultati ottenuti.

In prima approssimazione si è scelto di risolvere il sistema per valori dei parametri costanti nel tempo e stimati, quando necessario, come valori medi sull'anno che è la scala temporale minima di osservazione.

La stima dei parametri del modello è stata effettuata in tre modi diversi:

- analisi bibliografica: i parametri globali sono stati ricavati singolarmente da dati climatici e ambientali pubblicati;
- individuazione dell'intervallo di variazione del parametro ed analisi di sensibilità del modello alle variazioni del parametro;
- estrapolazione di dati raccolti durante le attività del progetto WINDUST nella stagione 2005-2006.

Di seguito sono riportati tutti i parametri utilizzati all'interno del modello; di essi è fornita una sintetica descrizione, l'unità di misura utilizzata e il valore ad esso assegnato insieme alla fonte di provenienza del dato inserito.

E' da osservare che la maggior parte dei parametri che definiscono il modello decisionale umano, ad eccezione dei prezzi di acquisto/vendita dei beni che sono imposti dal mercato esterno, derivano da un'indagine puntuale effettuata nella Lega dell'Alashan coadiuvata dalle SEE Ecological Association, ONG locale coinvolta nel progetto di cooperazione WINDUST.

PARAMETRI	UNITA'	VALORE	FONTE
α produzione primaria netta potenziale	$\text{kg m}^{-2} \text{y}^{-1}$	0.6	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{gx} fattore esponenziale che esplica la dipendenza della PPN dalla presenza di biomassa epigea	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$	12.5	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{dx} fattore esponenziale che esplica la dipendenza della morte di specie vegetali con la presenza di biomassa	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$	12.5	Sensibilità
ϵ_{gy} fattore esponenziale che esplica la dipendenza della PPN dall'umidità del suolo	mm^{-1}	0.022	Sensibilità
ϵ_{dy} fattore esponenziale che esplica la dipendenza dell'appassimento dalla umidità presente nel suolo	mm^{-1}	0.010	Sensibilità
β velocità caratteristica di appassimento	$\text{kg m}^{-2} \text{y}^{-1}$	0.04	(Zeng et al., 2005a)
P precipitazione utile	mm y^{-1}	200	(NCDC)
e_v evaporazione potenziale	mm y^{-1}	1000	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_f fattore esponenziale	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$	10	(Zeng et al., 2005a)
k_v ampiezza dell'effetto di ombreggiamento	-	0.4	(Zeng et al., 2005a)
e_t traspirazione potenziale	mm y^{-1}	600	(Zeng et al., 2005a)
λ parametro correttivo	-	0.02	(Zeng et al., 2005a)
k_t parametro correttivo	-	1	(Zeng et al., 2005a)
Kr fattore di scorrimento superficiale	-	0.2	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{vx} fattore esponenziale di influenza della biomassa sull'evaporazione	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$	2.5	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{tx} fattore esponenziale di influenza della biomassa sulla traspirazione	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$	12.5	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{rx} fattore esponenziale di influenza della biomassa sullo scorrimento superficiale	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$	5	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{vy} fattore esponenziale di influenza dell'umidità del suolo sull'evaporazione	mm^{-1}	0.010	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{ty} fattore esponenziale di influenza dell'umidità del suolo sulla traspirazione	mm^{-1}	0.010	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{ry} fattore esponenziale di influenza dell'umidità del suolo sullo scorrimento superficiale	mm^{-1}	0.020	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{vz} fattore esponenziale di influenza dell'ombreggiamento della necromassa sull'evaporazione	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$	10	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{rz} fattore esponenziale di influenza dell'ombreggiamento della necromassa sulla traspirazione	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$	6.25	(Zeng et al., 2005a)
ϵ_{dz} fattore esponenziale di influenza della necromassa sull'appassimento	$\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$	12.5	Sensibilità

PARAMETRI	UNITA'	VALORE	FONTE
α_z tasso di accumulo della necromassa	-	0.5	(Zeng et al., 2005a)
β_z tasso di decomposizione della necromassa	kg m ⁻² y ⁻¹	0.04	Sensibilità
R frazione di biomassa appetibile	-	0.6	(Li and Ji, 2002)
f_F integrazione di foraggio fornita	-	0	Intervista
A_w superficie della cella	m ²	2000000	Intervista
a_{md} coefficiente nell'eq. di mortalità	y ⁻¹	0.0462	(Richardson et al., 2005)
b_{md} coefficiente nell'eq. di mortalità	y ⁻¹	0.00003	(Richardson et al., 2005)
c_{md} coefficiente nell'eq. di mortalità	kg ⁻¹	0.400066	(Richardson et al., 2005)
G frazione di animali svezzati ogni anno	-	0.5	(Richardson et al., 2005)
a_{pk} coefficiente per l'eq. di crescita della popolazione	y ⁻¹	-3.32223	(Richardson et al., 2005)
b_{pk} coefficiente per l'eq. di crescita della popolazione	y ⁻¹	0.32056	(Richardson et al., 2005)
c_{pk} coefficiente per l'eq. di crescita della popolazione	Kg ⁻¹	0.001251	(Richardson et al., 2005)
d_{pk} coefficiente per l'eq. di crescita della popolazione	-	1.2136	(Richardson et al., 2005)
g_{pk} coefficiente per l'eq. di crescita della popolazione	Kg ⁻¹	1	(Richardson et al., 2005)
w_{max} peso medio massimo della popolazione adulta	Kg	50	(Richardson et al., 2005)
a_{wd} coefficiente nell'eq. del peso medio della popolazione	kg y ⁻¹	1.7306	(Richardson et al., 2005)
b_{wd} coefficiente nell'eq. del peso medio della popolazione	kg y ⁻¹	48.052	(Richardson et al., 2005)
c_{wd} coefficiente nell'eq. del peso medio della popolazione	kg ⁻¹	0.001921	(Richardson et al., 2005)
d_{wd} coefficiente nell'eq. del peso medio della popolazione	y ⁻¹	1.97412	(Richardson et al., 2005)
g_{wd} coefficiente nell'eq. del peso medio della popolazione	kg	6.32188	(Richardson et al., 2005)
a_{fed} coefficiente nell'eq. del foraggio consumato dagli adulti	kg y ⁻¹	455.49	(Richardson et al., 2005)
b_{fed} coefficiente nell'eq. del foraggio consumato dagli adulti	kg y ⁻¹	316.215	(Richardson et al., 2005)
c_{fed} coefficiente nell'eq. del foraggio consumato dagli adulti	kg ⁻¹	0.001362	(Richardson et al., 2005)
d_{fed} coefficiente nell'eq. del foraggio consumato dagli adulti	kg	42.3836	(Richardson et al., 2005)
a_{fey} coefficiente nell'eq. del foraggio consumato dai giovani	kg y ⁻¹	455.49	(Richardson et al., 2005)
b_{fey} coefficiente nell'eq. del foraggio consumato dai giovani	kg y ⁻¹	316.215	(Richardson et al., 2005)
c_{fey} coefficiente nell'eq. del foraggio consumato dai giovani	kg-1	0.001362	(Richardson et al., 2005)

PARAMETRI	UNITA'	VALORE	FONTE
β_c prezzo del cibo	¥ kcal ⁻¹	3.6 10 ⁻⁴	(FAO, 2007)
β_f prezzo del foraggio	¥ kg ⁻¹	0.9	Intervista
β_e prezzo dell'energia	¥ kWh ⁻¹	1.125	(IEA, 2002)
β_a prezzo dell'acqua	¥ m ⁻³	2	(WorldBank, 2006)
p_1 coefficiente per la conversione della carne in calorie alimentari	kcal kg ⁻¹	25200	(Coiante, 2004)
p_2 coefficiente per la conversione della produzione vegetale in calorie alimentari	kcal kg ⁻¹	3600	Intervista
w_y peso medio degli animali giovani	kg	5	Intervista
f_f frazione di terre coltivate per usi alimentari	-	1	Intervista
f_b frazione di terre coltivate per produzione di biomassa	-	0	Intervista
t_t numero di turisti sfamati da un capo di bestiame	unit unit ⁻¹	10	Intervista
r_m resa al macello	-	0.4	(Regione Lombardia, 2003)
$r_{2,1}$ produttività annua in specie alimentari delle terre coltivate	kg m ⁻² y ⁻¹	2	(Zhao et al., 2007)
$r_{2,2}$ produttività annua in specie foraggiere delle terre coltivate	kg m ⁻² y ⁻¹	1.3	(Zhao et al., 2007)
$r_{2,4}$ produttività annua in biomassa energetica delle terre coltivate	kg m ⁻² y ⁻¹	1.3	(Zhao et al., 2007)
$r_{3,3}$ ricavo per turista ospitato	¥ u ⁻¹	15	Intervista
$c_{1,4}$ energia consumata per capo di bestiame	kWh u ⁻¹ y ⁻¹	0.22	Intervista
$c_{1,5}$ acqua consumata per capo di bestiame	m ³ u ⁻¹ y ⁻¹	1.99	Intervista
$c_{2,4}$ consumo energetico per unità di terreno coltivato	kWkm ⁻² y ⁻¹	0.22	Intervista
$c_{2,5}$ consumo idrico per unità di terre coltivate	m ³ m ⁻² y ⁻¹	1	Intervista
$c_{3,1}$ cibo consumato da ogni turista	Kcal u ⁻¹	8000	(Coiante, 2004)
$c_{3,4}$ consumo energetico per turista	kWh u ⁻¹	0.01	Intervista
$c_{3,5}$ consumo idrico per turista	m u ⁻¹	0.04	Intervista
$C_{e,max}$ massima quantità di energia disponibile all'anno	kWh y ⁻¹	3500	Intervista
$C_{w,max}$ massima quantità di acqua disponibile all'anno	m ³ y ⁻¹	7000	Intervista

3.7 Implementazione del modello

La simulazione del modello dinamico DHG presenta due problemi matematici:

- l'integrazione del sistema di equazioni differenziali non lineari,
- la soluzione del problema di massimo vincolato per funzione di profitto, Π .

Per l'integrazione del sistema di equazioni differenziali non lineare si è scelto di utilizzare il metodo di Eulero. Indicando con $\bar{x}$ il generico vettore delle variabili di stato il sistema può scriversi come segue:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{x}}{dt} = f(\bar{x}) \\ \bar{x}(0) = \bar{x}_0 \end{cases}$$

dove f rappresenta l'operatore non lineare che combine il vettore delle variabili di stato $\bar{x}$.

La soluzione numerica del sistema è:

$$\bar{x}^{n+1} = \bar{x}^n + Dt f(\bar{x}^n) \quad \text{Eq. 50}$$

Il metodo di Eulero fornisce un'approssimazione consistente del sistema, accurata al primo ordine nel passo di integrazione temporale Dt (Ferziger and Peric, 2002).

Nella formulazione del modello il problema decisionale che prevede la massimizzazione della funzione di profitto Π si riduce ad un problema di ottimizzazione lineare.

L'algoritmo scelto per la soluzione iterativa del problema di massimo vincolato è quella proposta da Byrd (Byrd et al., 1995).

Le due tecniche di soluzione sono state implementate con l'ausilio del linguaggio di programmazione Python. (Python Programming Language -- Official Website) Il Python è un linguaggio di script pseudo-compilato, orientato agli oggetti. La struttura aperta del linguaggio lo rende molto funzionale per applicazioni di calcolo numerico. Inoltre, la natura "open source" della licenza Python ha creato una comunità di sviluppatori che fornisce sempre nuovi strumenti di supporto alla programmazione.

Per lo sviluppo del modello DGH si è fatto uso del pacchetto SCIPY. In APPENDICE B si trovano gli script utilizzati per lo sviluppo del modello.

3.8 *Verifica del modello*

Il modello DGH ha la peculiarità di seguire l'evoluzione nel tempo del sistema che si assume completamente descritto dalle sette variabili di stato, ovvero: biomassa epigea, umidità del suolo, necromassa, numero di animali maturi, numero di animali giovani, peso medio della popolazione di erbivori e per finire capitale accumulato. Una verifica completa del modello dovrebbe confrontare i dati ottenibili dall'integrazione del sistema di equazioni differenziali così costruito con una serie storica di dati per tutte le sette variabili evolute.

Informazioni di questo dettaglio sono introvabili se non originate da una campagna di misure effettuata *ad hoc*. Tuttavia esistono grandezze globali, di uso più corrente, che sono monitorate rispetto ai gradienti di variazione dei principali fattori limitanti di natura biotica o abiotica.

Non potendo verificare le serie storiche di dati simulati, si è scelto di confrontare i valori di equilibrio ottenibili dalle simulazioni, con i dati medi di alcune grandezze globali dell'IMAR, reperite in letteratura.

La validazione è stata effettuata attraverso la verifica della variazione con i livelli pluviometrici di :

- biomassa epigea
- densità di carico animale sull'ecosistema

Le due grandezze combinano le variabili di stato così da ottenere una valutazione globale del modello.

Nel lavoro di Mei Yu (Yu et al., 2004) sono forniti dati precisi di biomassa epigea e densità di carico animale in funzione delle variazioni di pluviometria per tutta l'IMAR. I dati elaborati da Mei Yu provengono da campagne di misura puntuali effettuate tra il 1984 e il 1990 per i principali ecosistemi presenti in Inner Mongolia: steppa falciata, steppa naturale, steppa desertica e deserto. Questi dati sono stati poi confrontati con le serie climatiche storiche della regione e con i dati statistici relativi alla densità di bestiame caratteristica dell'area.

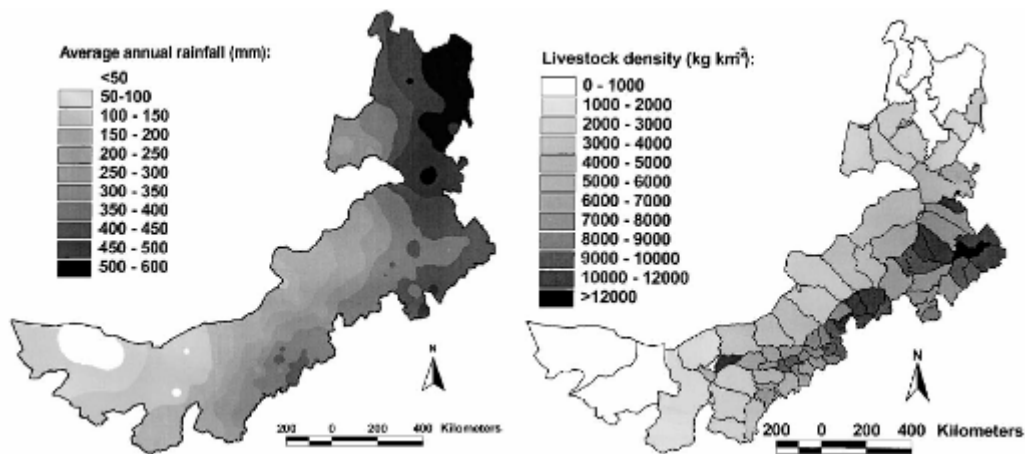


Figura 26 Dati di Pluviometria media e densità del bestiame (kgkm⁻²) dell'IMAR

Dalla Figura 26 si osserva che l'area occupata dall'Alashan presenta le condizioni climatiche più estreme con pluviometrie inferiori ai 200 mm e carico animale che non supera i 3000 kgkm⁻², corrispondente a meno di un capo di bestiame ad ettaro.

Le grandezze misurate da Mei Yu sono: la biomassa epigea che coincide con la variabile di stato x e la densità di animali – LD [kgkm⁻²] - che si può esprimere attraverso le variabili di stato del modello come:

$$LD = \frac{N_D w_d + N_y w_y}{(A_w - A')} \quad \text{Eq. 51}$$

dove le variabili di stato sono state valutate all'equilibrio, ovvero quando la dinamica è diventata stazionaria.

Le due grandezze, densità di bestiame e la biomassa epigea, sono indipendenti e ricavate in maniera diretta. Ciò garantisce che la verifica sulle capacità di simulazione del modello dell'ecosistema desertico con popolazione erbivora stanziale sia consistente.

In Tabella 8 sono riportati i valori ottenuti all'equilibrio al variare della pluviometria.

P [mm]	BIOMASSA EPIGEA [g m ²]			DENSITA' ANIMALE [kg km ⁻²]		
	reale	simulato	errore %	reale	simulato	errore %
140	51.5	-	-	500	-	-
160	62.5	47.9	23%	1300	1459	12%
180	73.5	68.9	6%	2000	2100	5%
220	95.6	94.1	2%	2800	2874	3%
255	114.9	110.7	4%	3600	3381	6%
300	139.7	128.0	8%	4200	3911	7%
350	167.2	143.7	14%	5000	4391	12%
400	194.8	156.3	20%	6000	4779	20%

Tabella 8 Dati riassuntivi di confronto tra risultati misurati e simulazione con DGH

Le Figura 27 e Figura 28 mostrano la sovrapposizione grafica della serie di dati sperimentali e i valori di equilibrio ottenuti con la simulazione del modello DGH, senza forzamento antropico. Si osserva che il modello fornisce:

- una buona approssimazione dei valori reali di biomassa epigea per pluviometrie comprese tra 140-350 mm di pioggia, con un errore medio dell'11%;
- una ottima approssimazione della densità di carico animale, nello stesso intervallo di variazione pluviometrico, con un errore medio del 9%.

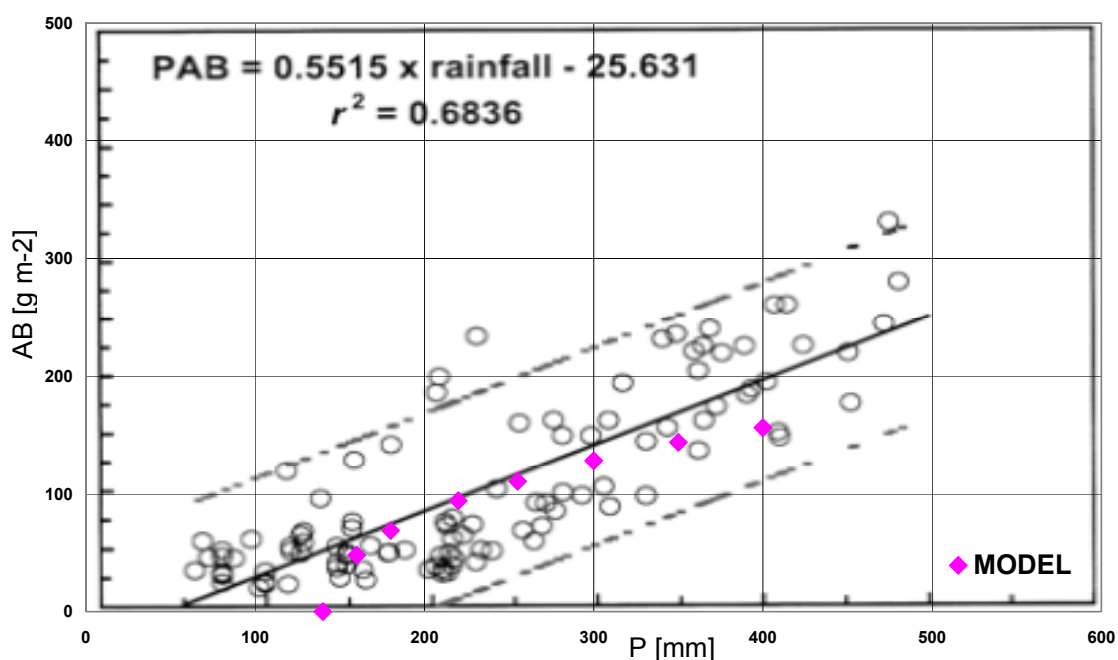


Figura 27 Biomassa epigea massima al variare della pluviometria media annuale: confronto dati simulati e valori misurati

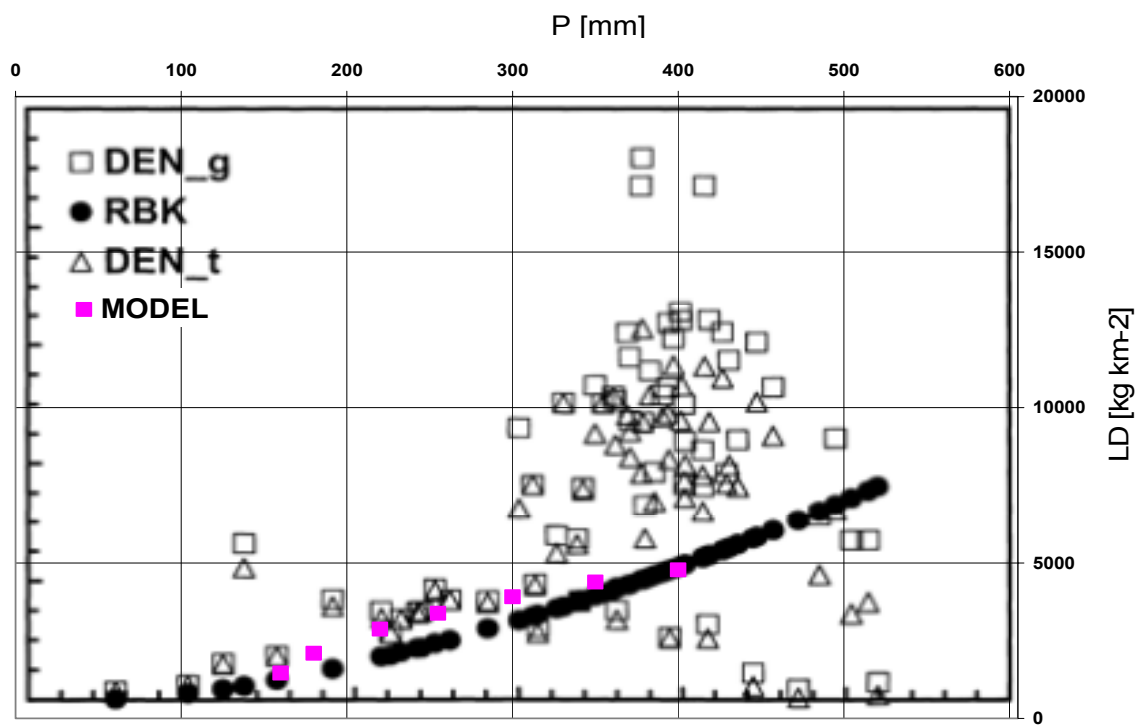


Figura 28 Densità animale al variare della pluviometria media annuale: confronto dati simulati e valori misurati.

4 STABILITA' DELL'ECOSISTEMA E SUA GESTIONE

Il modello DGH descritto nel precedente capitolo può essere utilizzato per rispondere ad alcune domande fondamentali per la comprensione del sistema deserto-steppa desertica e delle sue modalità di gestione:

- Qual è il comportamento che manifesta il sistema in seguito alla variazione del principale fattore abiotico di pluviometria media annuale?
- Qual è il comportamento del sistema naturale in seguito alla variazione dei principali parametri biotici quali, coefficiente di traspirazione potenziale e appetibilità delle specie vegetali?
- Come la presenza umana condiziona l'ecosistema?

Per rispondere alle domande sopra formulate è stato, prima di tutto, effettuato uno studio di sensibilità ai parametri del sistema naturale ovvero senza la presenza dell'uomo, che costituisce l'elemento di confronto per la valutazione dell'effetto generato dall'uomo sul sistema.

Per valutare il fattore umano sono state introdotte tre comunità caratteristiche e si è seguita l'evoluzione del sistema per un periodo di simulazione di 200 anni.

4.1 Analisi di sensibilità per il sistema naturale

Una grande disputa nello studio degli ecosistemi aridi o semi aridi, che siano essi allo stato naturale o gestiti dall'uomo, riguarda la definizione dell'effetto di parametri biotici-abiotici, infatti si parla della doppia definizione di “equilibrium and not-equilibrium rangeland system” in ambienti aridi o semi-aridi (Vetter, 2005). Si tratta di due configurazioni estreme dell'ecosistema: nella prima configurazione l'intrinseco equilibrio raggiunto tra vegetazione e clima risulta fortemente perturbato dalla presenza di erbivori stanziali in densità superiori alla capacità di carico propria dell'ecosistema (Yu et al., 2004); la seconda configurazione, così detta di non equilibrio, evidenzia una condizione per la quale la densità di popolazione vegetale è a tal punto condizionata dalla variazione dei fattori abiotici da far risultare praticamente nullo l'effetto generato dalla presenza di erbivori, che a loro volta non riescono mai a raggiungere condizioni di equilibrio stazionario con l'ecosistema che li circonda (Fernandez Gimenez and Allen Diaz, 1999). E' in questo secondo caso che la variabilità spaziale e temporale diventa fondamentale per la descrizione completa dello stato al quale tende l'ecosistema.

Alla luce di queste considerazioni, prima di procedere alla valutazione dell'effetto delle scelte di gestione operate dall'uomo sull'ecosistema, è necessario effettuare uno studio di sensibilità ai parametri per le grandezze biotiche e abiotiche più significative sul solo sistema costituito da popolazione vegetale e comunità selvatica di erbivori.

Tutte le simulazioni che costituiscono la base del lavoro che segue sono state effettuate a partire dal medesimo set di condizioni iniziali che riportiamo di seguito.

variabile	valore	unità	significato
x_0	0.08	kg m ⁻²	biomassa epigea
y_0	80	mm	umidità del suolo
z_0	0.08	kg m ⁻²	necromassa
Nd_0	10	unit	numero di capi adulti
Ny_0	5	unit	numero di capi giovani
wd_0	25	kg m ⁻²	peso medio

Tabella 9 Condizioni iniziali per l'analisi di sensibilità ai parametri.

4.1.1 Pluviometria

La prima variabile abiotica che condiziona l'ecosistema deserto-steppe desertica, determinando l'equilibrio tra popolazione animale e vegetale, è la pluviometria media annuale, P .

Si è analizzata l'intervallo di pluviometria che va da 140 a 200 mm di pioggia annuali, che corrisponde all'intervallo di pluviometria caratteristico della regione dell'Alashan (CAPITOLO 2) per il quale il modello è stato realizzato.

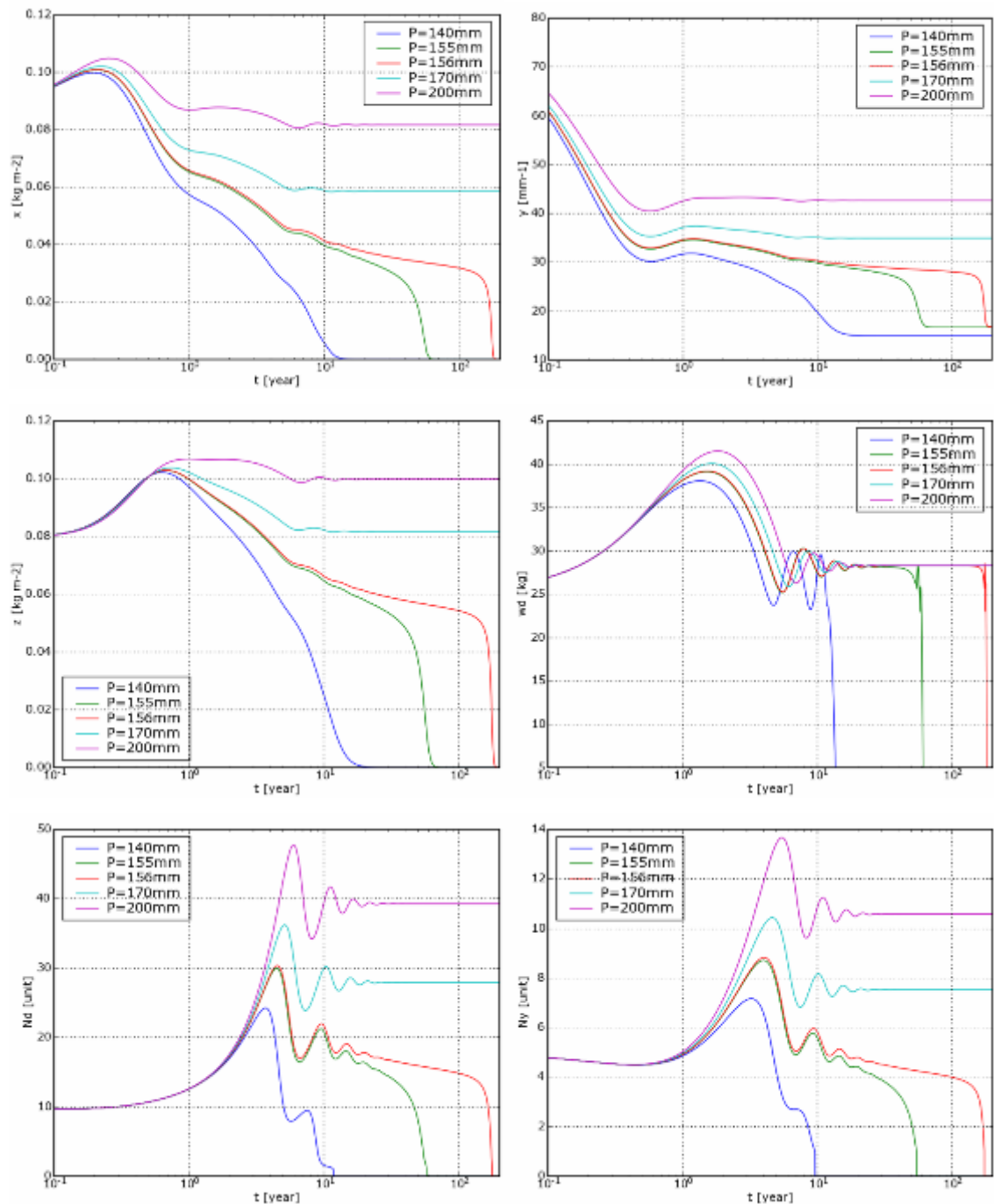


Figura 29 Andamento delle 6 variabili di stato del sistema naturale per pluviometria variabile dai 140 ai 200 mm di pioggia annuali

Nella Figura 29 sono riportate le sei variabili di stato del sistema naturale, al variare della pluviometria media annuale, per un intervallo di 200 anni. Sono rilevabili tre forme di evoluzione che individuano sostenibilità o non sostenibilità dell'ecosistema deserto-steppe desertica tutte caratterizzate da un andamento oscillatorio smorzato:

condizione di stabilità del deserto che si verifica per pluviometrie medie annuali inferiori ai 150 mm di pioggia: la popolazione di erbivori presente nell'area di studio non è compatibile con le capacità di rigenerazione dell'ecosistema, in un periodo di tempo di pochi anni (<10 anni) la copertura vegetale si annulla, il valore di umidità del suolo si riduce drasticamente parallelamente alla degenerazione della lettiera. Il territorio diventa deserto e la popolazione di erbivori muore o migra verso territori più ricchi di risorse.

condizione di meta-stabilità che si verificano per pluviometrie medie annuali intorno ai 150-160 mm di pioggia annuali: l'ecosistema riesce a tollerare la presenza della popolazione di erbivori per un tempo che può variare dai 50 ai 150 anni. La popolazione vegetale e quella d'erbivori si mantengono in equilibrio su valori molto bassi di popolamento, per poi crollare drammaticamente nella condizione di deserto sterile.

condizione di sostenibilità della steppa desertica che si verifica per pluviometrie superiori ai 160 mm di pioggia annuali: la popolazione di erbivori raggiunge, dopo un transitorio di adattamento, l'equilibrio dinamico tra la biomassa fresca prodotta e la popolazione di erbivori da essa nutriti. In queste condizioni la produttività in biomassa fresca dell'ecosistema è, in ogni caso, più bassa di quella che si avrebbe in assenza di erbivori.

La Figura 30 presenta una sezione dello spazio delle fasi, in essa si può osservare come le dinamiche di equilibrio della steppa desertica si manifestano per valori di pluviometria superiori ai 160 mm di pioggia.

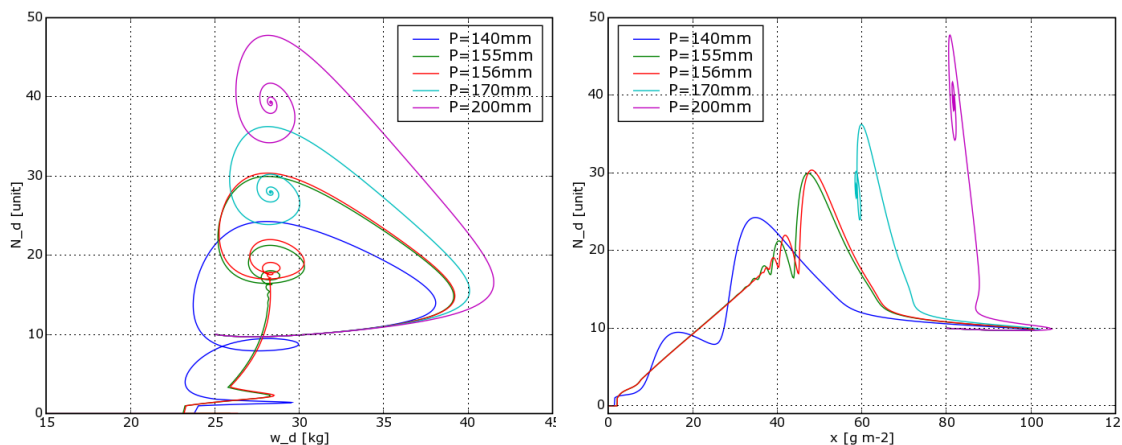


Figura 30 Sezioni dello spazio delle fasi: stabilità dell'ecosistema steppa desertica al variare della pluviometria

Dall'analisi nello spazio delle fasi si possono individuare due traiettorie fondamentali: la prima serie di traiettorie si manifesta per pluviometrie superiori ai 160 mm di pioggia ed è di tipo oscillatorio verso un punto d'equilibrio stabile. La seconda serie di traiettorie è stabile solo nella configurazione desertica e manifesta una prima fase oscillatoria che degenera velocemente. In particolare si osserva che il peso medio della popolazione aumenta proporzionalmente al numero di animali maturi fino ad arrivare ad un valore limite legato alla quantità di risorse naturali disponibili, a questo punto la popolazione continua da aumentare, per effetto inerziale fino ad un massimo correlato alla diminuzione del peso medio. Questo processo oscillatorio si smorza con il progredire del tempo fino a quando il sistema non cade in una condizione di stabilità dell'equilibrio. Al contrario, nel caso di traiettorie instabili, le oscillazioni troppo pronunciate di numero di animali e peso medio della popolazioni non sono sostenute dalle disponibilità di risorse e determinano una rapida degenerazione nella condizione di deserto.

4.1.2 Traspirazione potenziale

Uno dei principali parametri di origine biotica è la traspirazione potenziale, e_t , che corrisponde al valore limite corrispondente ad una copertura vegetale completa di un suolo ben irrorato di acqua ($x \rightarrow \infty$ e $y \rightarrow \infty$). Questo parametro dipende dalle specie presenti, dalla loro efficienza di uso idrico ed, in generale, dal complesso di caratteristiche fisiologiche che gli è proprio. Il parametro in ambiente desertico può variare da 400 a 800 mm annuali (Zeng et al., 2005a).

L'analisi di sensibilità è stata effettuata per un valore di pluviometria meta-stabile ($P = 155 \text{ mm y}^{-1}$) in modo che fosse più evidente l'effetto di variazioni apportate per la stabilità di una delle due condizioni dell'ecosistema considerate: deserto o steppa desertica.

Si osserva come la dinamica dell'evoluzione resta sostanzialmente analoga a quella osservata al variare della pluviometria media annuale. La crescita dei valori di traspirazione, caratteristici del sistema, determina un progressivo peggioramento delle condizioni di stabilità della steppa desertica a favore del deserto. La diminuzione degli effetti di traspirazione e quindi l'auto selezione delle specie ad elevata efficienza di uso idrico, tende a rendere stabile la condizione di steppa desertica: questa infatti non si manifesta per $e_t > 600 \text{ mm}$ dando luogo al fenomeno già osservato di meta-stabilità che si protrae per più di 50 ani, per valori di $e_t < 600 \text{ mm}$ la steppa desertica diventa progressivamente stabile con valori di biomassa crescenti (Figura 32)

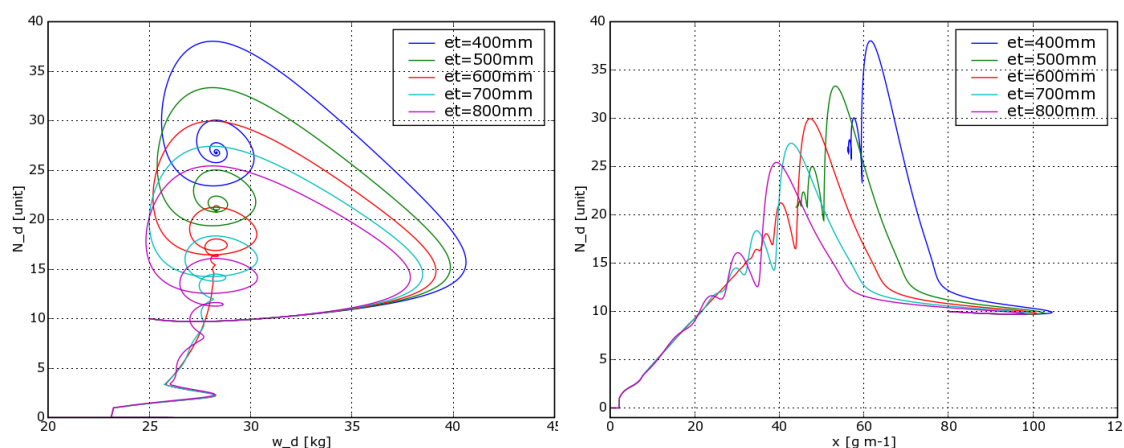


Figura 31 Sezioni dello spazio delle fasi: stabilità dell'ecosistema steppa desertica al variare della traspirazione potenziale e_t

Nella Figura 31 sono visibili le traiettorie di evoluzione del sistema al variare della traspirazione. Confrontando le orbite di Figura 30 con quelle della Figura 31, si osserva come la

conquistata stabilità della steppa desertica al variare della traspirazione è soltanto apparente: le traiettorie non sono attratte verso punti di equilibrio interni ma restano esterne, si tratta di condizioni simili a quelle che abbiamo chiamato di meta-stabilità, per le quali il periodo si estende oltre i 200 anni, tuttavia piccole variazioni o incertezze su altri parametri comporterebbero il repentino crollo nella condizione desertica dell'ecosistema.

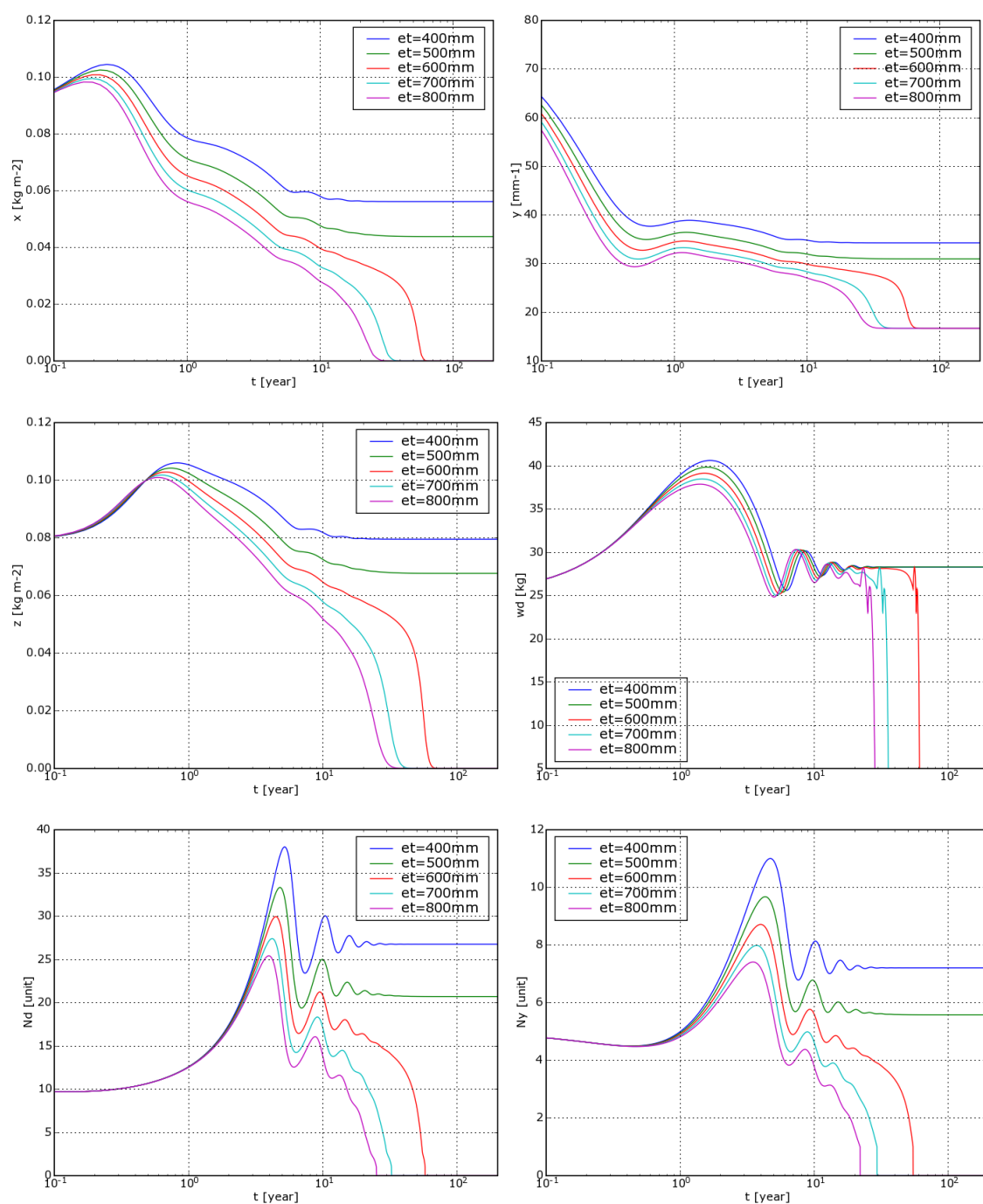


Figura 32 Analisi di sensibilità alla variazione della traspirazione potenziale per valori di pluviometria media annuale di 155 mm.

4.1.3 Appetibilità delle specie

All'interno dei sistemi aridi e semi-aridi la presenza consistente di specie non appetibili, rappresenta una forma importante di difesa della popolazione vegetale da fattori esogeni. L'incremento della densità di specie appetibili difende la popolazione vegetale, aumentando la mortalità della popolazione di erbivori, ma riduce anche la varietà biologica della steppa desertica, ponendola maggiormente a rischio nel caso in cui si presentassero variazioni sfavorevoli di altri parametri fondamentali (Fernandez Gimenez and Allen Diaz, 1999).

Lo studio di sensibilità è stato effettuato per un valore di pluviometria di 140 mm annuali per il quale la steppa desertica dell'Alashan non è in equilibrio (Figura 30). Il parametro ρ , che indica la quota appetibile della biomassa epigea presente, varia nell'intervallo compreso tra 0.1 e 0.9, valori che corrispondono rispettivamente ad una frazione appetibile del 10% e del 90% della biomassa presente.

Si osserva che la variazione di quota appetibile è un fattore che stabilizza la condizione di steppa desertica anche per valori bassi di pluviometria. L'effetto stabilizzante si osserva sia sui valori di equilibrio che sul transitorio. Per frazioni appetibili di biomassa epigea inferiori allo 0.3 il sistema si mantiene stabile con produzione di biomassa epigea intorno ai 40-60 g m⁻² e con densità animali inferiori agli 800 kg km⁻². Per gli stessi valori le consistenti oscillazioni che si hanno sul numero totale di erbivori nei primi 10 anni si riducono in ampiezza fino a raggiungere la condizione di equilibrio dinamico. La riduzione delle oscillazioni nel transitorio è ben evidente in Figura 33.

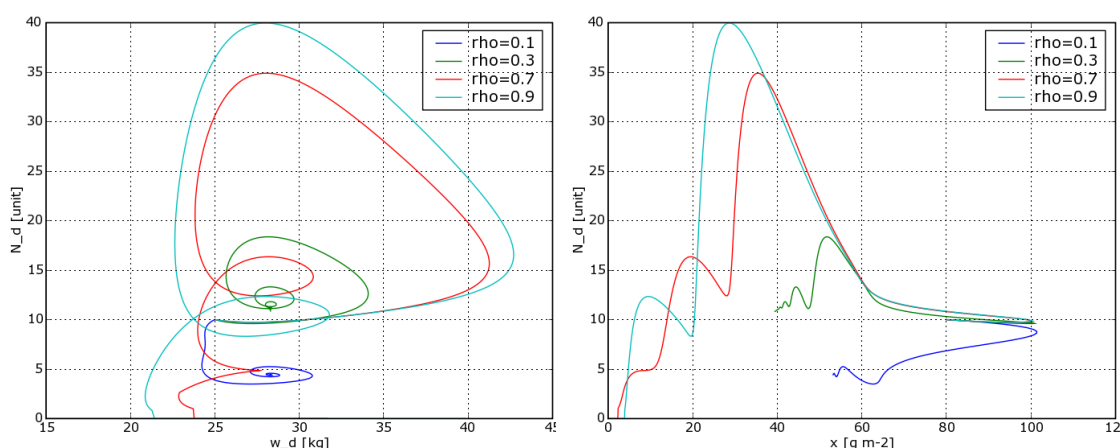


Figura 33 Sezioni dello spazio delle fasi: stabilità dell'ecosistema steppa desertica al variare della frazione di biomassa appetibile ρ

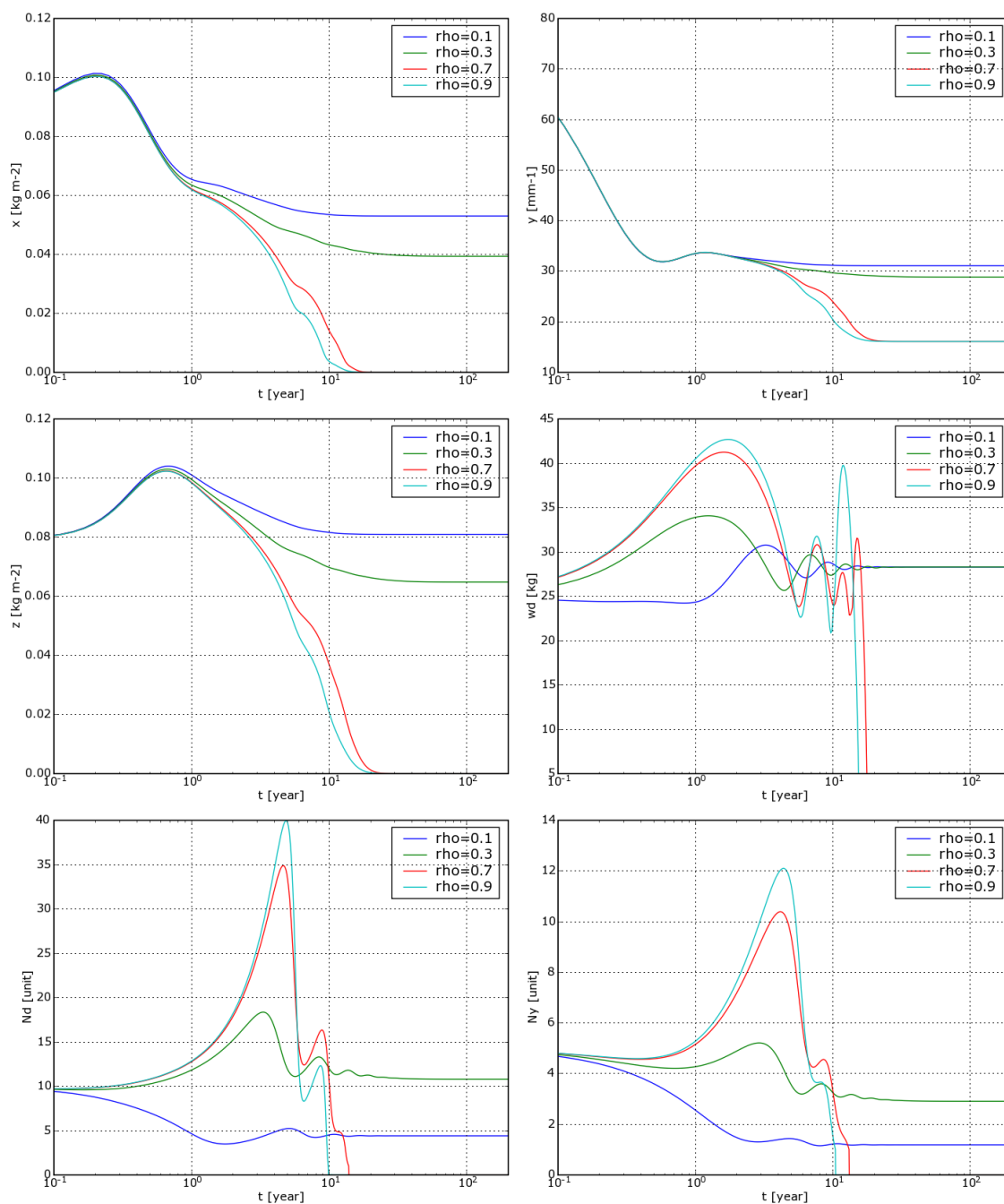


Figura 34 Andamento temporale del sistema al variare della frazione edibile di biomassa prodotta, valutata per P=150mm annuali

4.2 Valutazione dell'effetto antropico

Per valutare l'effetto antropico sull'ecosistema desertico dell'Alashan si sono introdotte tre comunità caratteristiche: le prime due, con etnia a prevalenza mongola e han, sono quelle più diffuse nella regione di studio, mentre la terza, cosiddetta "sostenibile", rappresenta una possibile comunità futura, che integra in se alcuni semplici principi ecologici. Le tre comunità eseguono le scelte di gestione del territorio, con il medesimo criterio d'ottimizzazione del profitto annuale. La definizione delle due comunità tradizionali è il risultato dell'attività congiunta dell'Università della Tuscia e della SEE Ecological Association.

Scopo dell'analisi che segue è di capire come le differenti comunità incidono sull'ecosistema naturale e, di contro, come l'ecosistema naturale incide sulla sopravvivenza delle differenti comunità determinandone i possibili livelli di profitto e quindi la sopravvivenza.

4.2.1 Gestione di tre comunità caratteristiche

La comunità prevalentemente di etnia mongola trae le sue origini nei tradizionali gruppi nomadi che sono stati resi stanziali con le politiche per le minoranze degli anni '50. Si tratta di comunità che praticano quasi esclusivamente la pastorizia affiancandola con primordiali forme di agricoltura di sostentamento. Il principale fattore che limita lo sviluppo di questa comunità è rappresentato dal forte isolamento, distanti dalle principali vie di comunicazione, hanno difficoltà a vendere le merci che producono e sono praticamente escluse dal nuovo fenomeno del turismo interno, che costituisce una buona occasione per lo sviluppo delle comunità rurali. Altri fattori limitanti, accentuati dall'isolamento, sono la difficoltà nell'approvvigionamento idrico ed energetico.

La seconda comunità, che trae le sue origini dal massiccio fenomeno di immigrazione interna degli anni '70, è a prevalenza di etnia Han. Si tratta di comunità piuttosto giovani che hanno cercato di installarsi in prossimità dei centri abitati o a fianco delle poche vie di comunicazione che attraversano la regione. La conoscenza dei principi dell'agricoltura, occupazione tradizionale nelle fertili ed umide terre del sud, ha fatto sì che queste comunità affiancassero alla pastorizia un'agricoltura più intensiva, che vorrebbe essere non più di sola sussistenza. Sono queste le comunità all'interno delle quali si sviluppa una nuova forma di turismo. Il principale fattore che limita lo sviluppo delle comunità han è la scarsa disponibilità di territorio naturale e di acqua, mentre l'approvvigionamento energetico non rappresentano un problema allo stato attuale.

La comunità cosiddetta "sostenibile", costituisce una comunità ideale che adotta alcune semplici pratiche ecologiche in parte già diffuse nelle aziende "miste" che vivono lungo il

fiume Giallo. La comunità “sostenibile”, così come l’Han, s’installa non lontano dai principali centri abitati e pratica: pastorizia, agricoltura e turismo. Al contrario dei due casi precedenti, la comunità “sostenibile” non adotta le tecniche agricole tradizionali, ma introduce tecniche più moderne come la fertirrigazione e l’irrigazione a goccia che realizzano obiettivi di riduzione dei consumi idrici ed energetici, aumentando proporzionalmente la redditività dei terreni agricoli. Al fine di ridurre l’impatto del pascolo sull’ambiente, la comunità coltiva una parte dei terreni con specie foraggiere.

			COMUNITA'		
			MONGOLA	HAN	SOSTENIBILE
condizioni iniziali	x	kg m ⁻²	0.08	0.08	0.08
	y	Mm	80	80	80
	z	kg m ⁻²	0.08	0.08	0.08
	N _d	Unit	60	10	20
	N _y	Unit	40	5	10
	w _d	kg m ⁻²	30	25	30
	K	¥	2000	2000	2000
	S'	-	0	0	0
	A'	m ²	200	500	500
	T'	unit	0	0	0
parametri	A _w	ha	100	49	25
	C _{w_max}	M ³ y ⁻¹	10000	50000	20000
	C _{e_max}	kWh y ⁻¹	2000	6000	3000
	f _c	-	1	1	0.8
	f _b	-	0	0	0
	r _{2,1}	kg m ⁻² y ⁻¹	1.3	2	2
	c _{2,4}	kWk m ⁻² y ⁻¹	0.22	0.22	0.14
	c _{2,5}	M ³ m ⁻² y ⁻¹	1	1	0.6
Attività	pastorizia		si	si	Si
	agricoltura		si	si	Si
	turismo		no	si	Si

Tabella 10 Insieme di condizioni imposte per la simulazione delle tre comunità mongola,Han e “sostenibile”.

Le tre comunità sopra descritte si traducono all’interno del modello DGH con:

- variazione delle condizioni iniziali,

- variazione di alcuni parametri del modello,
- esclusione delle attività produttive non praticate,

Nella Tabella 10 sono riportate le principali differenze introdotte nelle simulazioni per riprodurre le peculiarità di ciascuna delle tre comunità.

Come illustrato nel capitolo 2, le comunità umane incidono sull'ecosistema operando scelte sul numero di capi di bestiame del gregge, S' , sull'estensione dei terreni agricoli, A' e sul numero di turisti ospitati ogni anno, T' . La decisione di gestione della comunità è effettuata in modo automatico attraverso un'operazione di massimizzazione del profitto annuale. La scelta è la combinazione delle tre grandezze che meglio bilanciano costi e ricavi al fine di ottenere il più alto profitto annuale compatibilmente con i consistenti vincoli fisici, determinati dalla scarsità, di risorse naturali che caratterizzano l'Alashan.

In accordo con le condizioni climatiche medie dell'area di studio, illustrate in dettaglio nel capitolo 2, si è assunta una precipitazione media annuale di circa 160 mm. In queste condizioni, lo stato del sistema naturale, lasciato evolvere senza la presenza di una popolazione stanziale di erbivori, raggiunge condizioni di equilibrio caratterizzate da una copertura vegetale di appena 67 g m^{-2} .

Si tratta di un valore di biomassa epigea che già rappresenta una condizione di degrado secondo la classificazione di Xue redatta per l'Inner Mongolia (Xue, 1996). Siamo quindi esattamente nelle condizioni di transizione tra deserto e steppa desertica ed è qui che vogliamo valutare l'effetto generato dalle tre comunità umane sopra descritte su di un periodo di 200 anni.

Riportiamo per punti le principali osservazioni ricavate attraverso le simulazioni effettuate a parametri costanti:

Pur non modificando l'andamento qualitativo del transitorio di evoluzione, la presenza delle comunità umane, e quindi della popolazione di erbivori, riduce significativamente i valori biomassa e necromassa (Figura 35). Ciò determina una progressiva diminuzione dell'indice di copertura vegetale, σ_f , che contribuisce a rendere più vulnerabile l'equilibrio della steppa desertica contribuendo a ridurre l'umidità residua conservata nel suolo (Figura 36).

Per le due comunità tradizionali, mongola ed Han, la densità animale per unità di superficie si attesta, dopo i primi 10 anni, intorno ai 1420 kg km^{-2} . La comunità "sostenibile" riesce a mantenere un valore più alto di densità animale in quanto produce una quota di foraggio per incrementare l'alimentazione del bestiame. Fatta eccezione per la comunità Han, per la quale il gregge aumenta di quasi il 50% nei primi 5 anni, le altre due comunità hanno una consistente

riduzione della popolazione di erbivori, in parte dovuta alla scarsità di risorse ed in parte alle scelte di gestione (Figura 37, Figura 38).

Le tre comunità riescono a mantenersi in equilibrio con un ecosistema di steppa desertica fortemente degradata per tutto il periodo di analisi.

La comunità mongola, pur riuscendo a conservare un gregge di discrete dimensioni, ha un profitto annuo molto variabile e che non si discosta in maniera sostanzialmente da una condizione di semplice sussistenza. L'isolamento nel quale vive la comunità, la limitatezza delle risorse naturali ed ancora più la scarsa efficienza delle pratiche tradizionali adottate, rendono svantaggiosa la pratica dell'agricoltura che resta un onere di sopravvivenza per la comunità. Il modello fornisce una spiegazione del sempre più consistente fenomeno di migrazione verso le città delle popolazioni mongole: in condizioni climatiche estreme come quelle dell'Alashan, l'unica possibilità di sopravvivenza sul lungo periodo, per comunità tradizionali, è garantita dal nomadismo; una volta che questo è stato vietato, le comunità mongole sono state le prime a risentire degli effetti drammatici della desertificazione.

La comunità Han, al contrario di ciò che accade alla comunità mongola, ha la sua prima fonte di ricchezza nell'essere ben collegata con il resto della regione. Anche per gli Han l'agricoltura non ha ancora rendimenti sufficienti per renderla vantaggiosa eppure l'apertura ad attività diverse come il turismo permette alla comunità di mantenere un profitto annuo positivo che nei primi 5 anni di gestione si attesta intorno ai 1000RMB. La comunità mantiene una condizione di vita migliore rispetto alla comunità mongola, ma non riesce ad avviare nessun processo di sviluppo a causa dello scarso margine di liquidità del quale può disporre (da Figura 39 a Figura 41).

La comunità "sostenibile" è l'unica delle tre comunità in esame che trae profitto dall'agricoltura: l'utilizzo di tecniche di coltivazione più moderne che garantiscono maggiore produttività insieme a ridotti consumi idrici, che riducono i costi d'irrigazione, rendono vantaggioso aumentare l'estensione dei terreni coltivati a scapito della pastorizia. Per la comunità "sostenibile" l'allevamento del bestiame è strettamente funzionale al turismo e i suoi costi sono ragionevoli solo perché necessari per garantire l'ospitalità ai turisti. Al contrario l'agricoltura si estende su un territorio di più di 2 ha, generando un profitto annuale di più di 2000 RMB (da Figura 39 a Figura 41).

Dall'analisi a parametri costanti delle tre comunità si deduce che le risorse caratteristiche dell'ecosistema steppa desertica sono fortemente depauperate dalla presenza dell'uomo e a loro volta sono difficilmente compatibili con comunità stanziali tradizionali che non riescono a trarre sostentamento da una condizione così estrema. L'unica possibilità di sviluppo stanziale è

quindi rappresentata da attività di tipo agricolo che sfruttano tecniche moderne di gestione, capaci di aumentare l'efficienza del sistema produttivo e di ridurre i costi d'irrigazione.

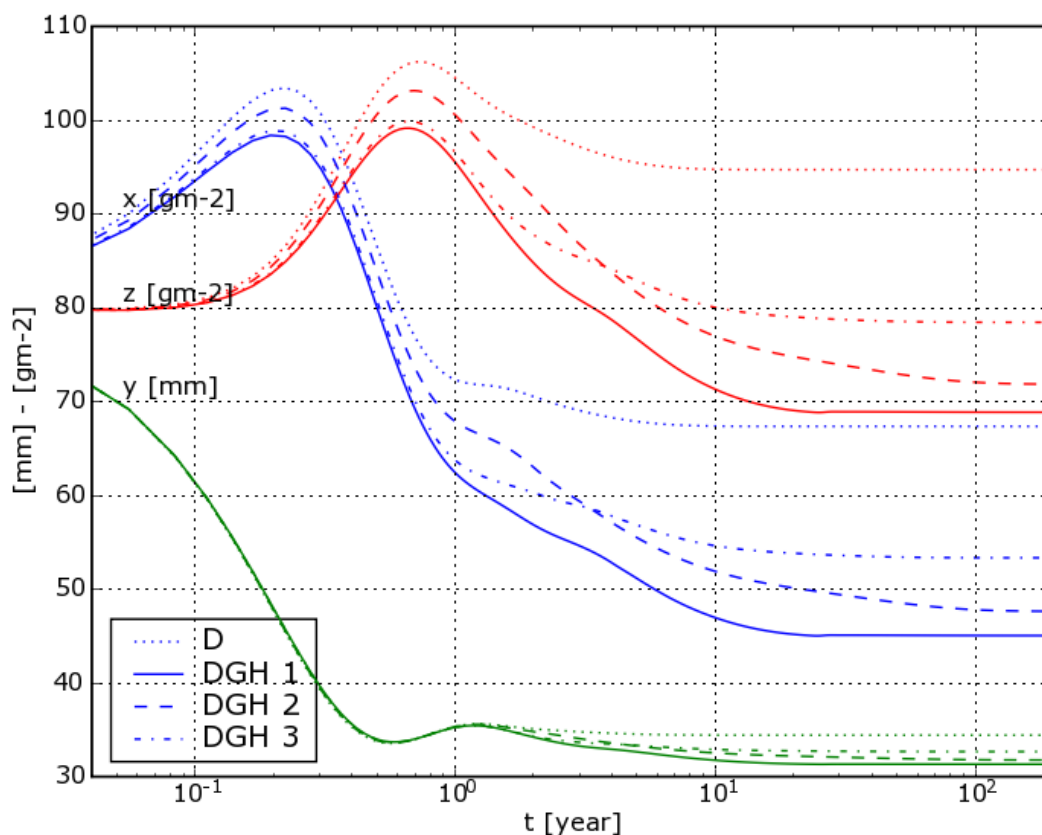


Figura 35 Stato di biomassa epigea (x in **blu**) , umidità del suolo (y in **verde**) e necromassa (z in **rosso**) per le tre comunità mongola (DGH1), Han (DGH2) e “sostenibile” (DGH3). La linea puntinata evidenzia il valore che le tre variabili assumerebbero in assenza di erbivori .

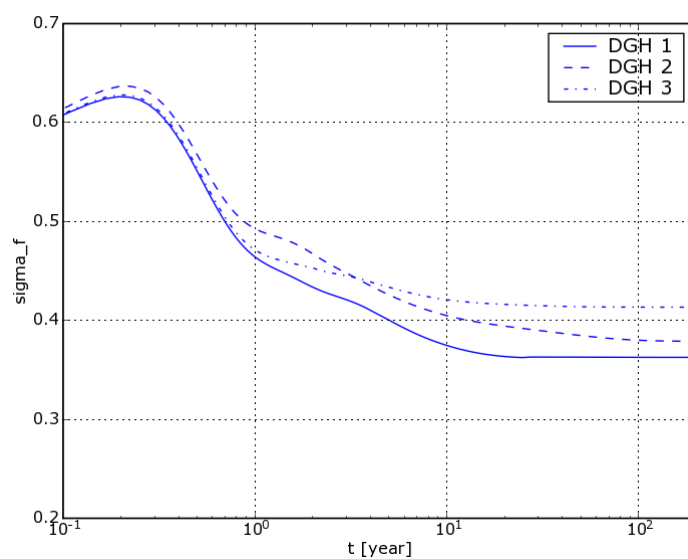


Figura 36 Andamento della copertura vegetale per le tre comunità mongola (DGH1), Han (DGH2) e “sostenibile” (DGH3).

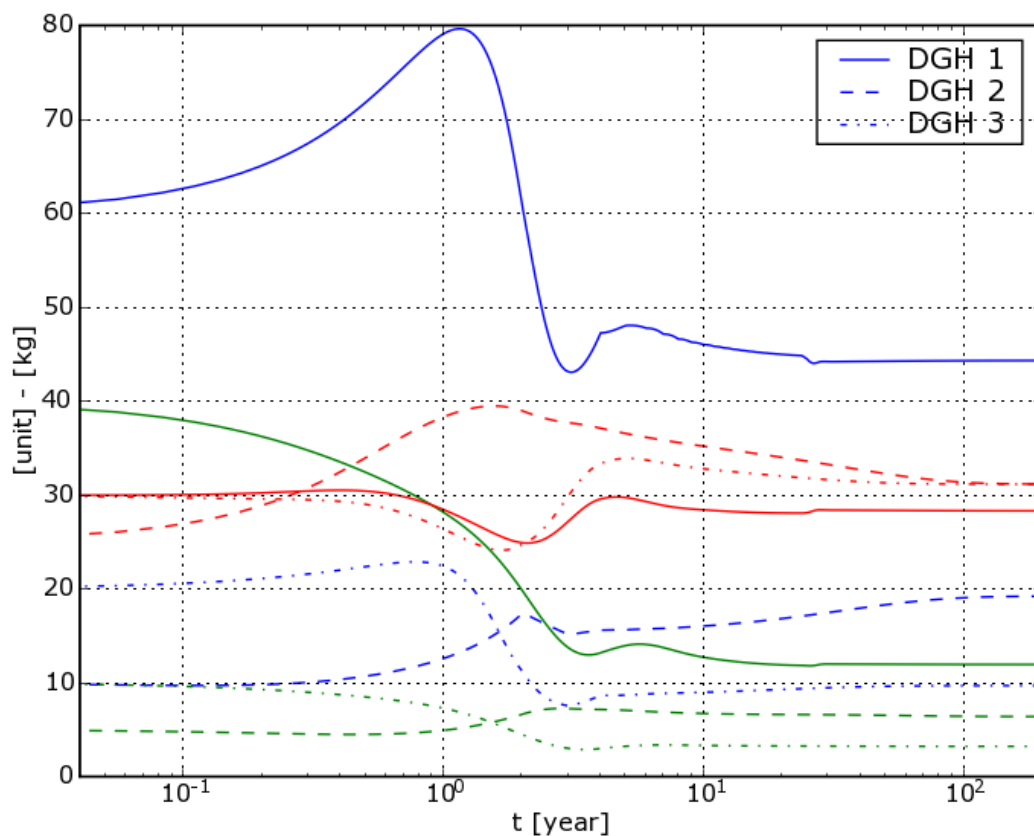


Figura 37 Andamento del numero di animali maturi (N_d in **blu**), degli animali giovani (N_y in **verde**) e del peso medio della popolazione adulta (w_d in **rosso**) per le tre comunità monogola (DGH 1), Han (DGH 2) e “sostenibile” (DGH 3).

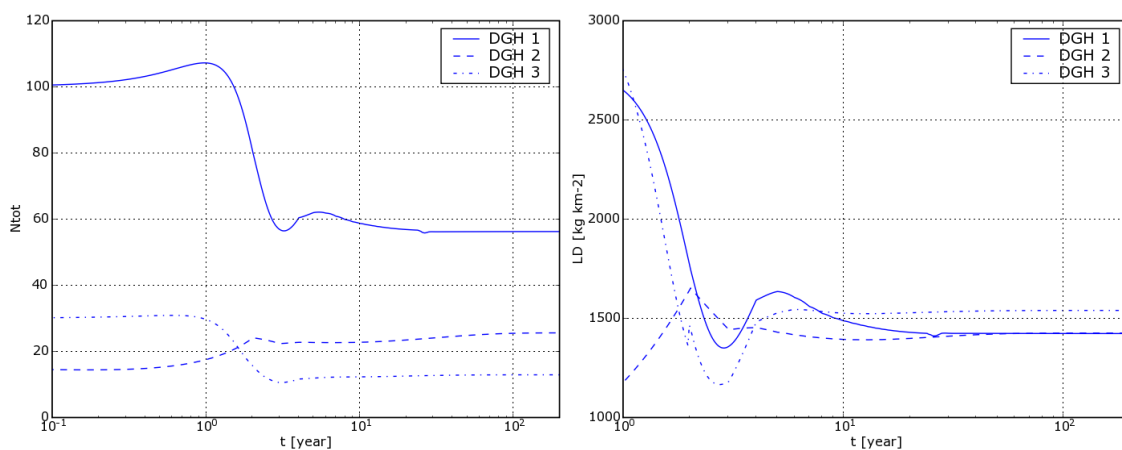


Figura 38 Variazioni nella dimensione del gregge, N_{tot} , e nella densità animale per unità di superficie, LD , per le tre comunità monogola (DGH 1), Han (DGH 2) e “sostenibile” (DGH 3).

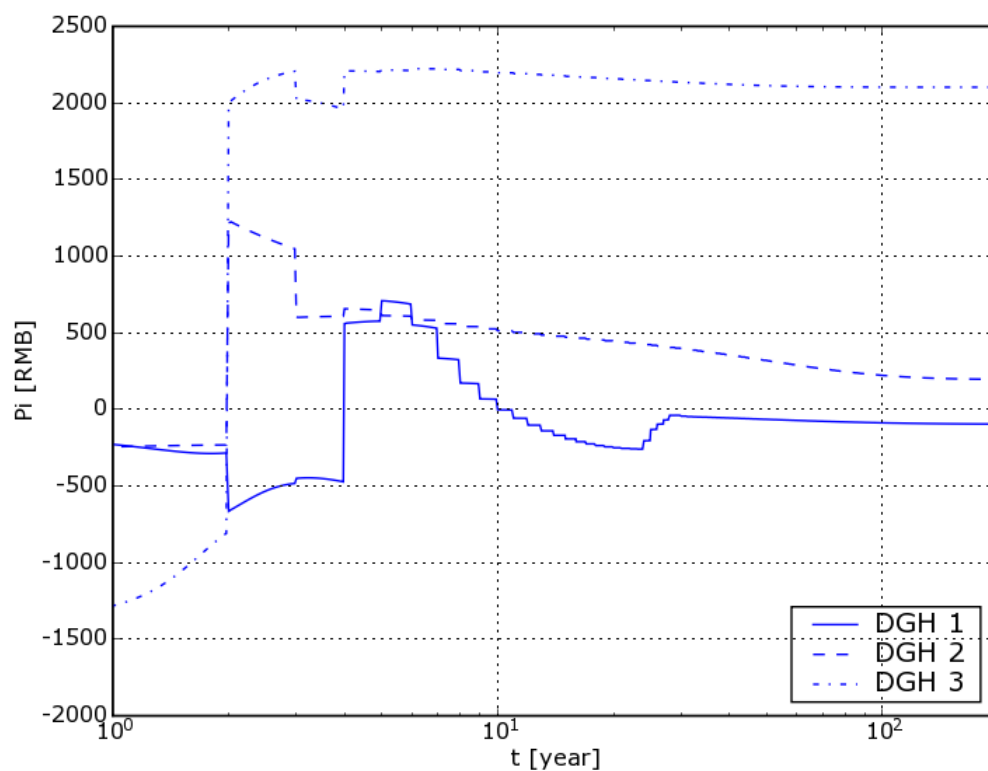


Figura 39 Andamento del profitto annuale per le tre comunità monogola (DGH 1), Han (DGH 2) e “sostenibile” (DGH 3).

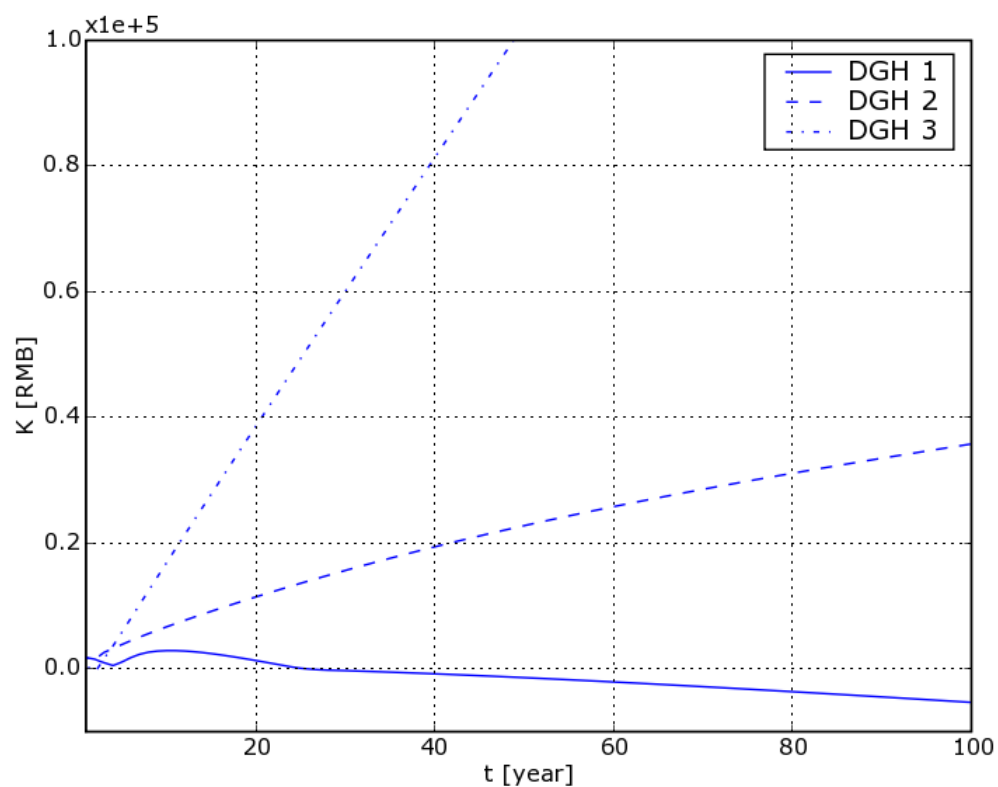


Figura 40 Andamento del capitale nei primi 100 anni per le tre comunità monogola (DGH 1), Han (DGH 2) e “sostenibile” (DGH 3).

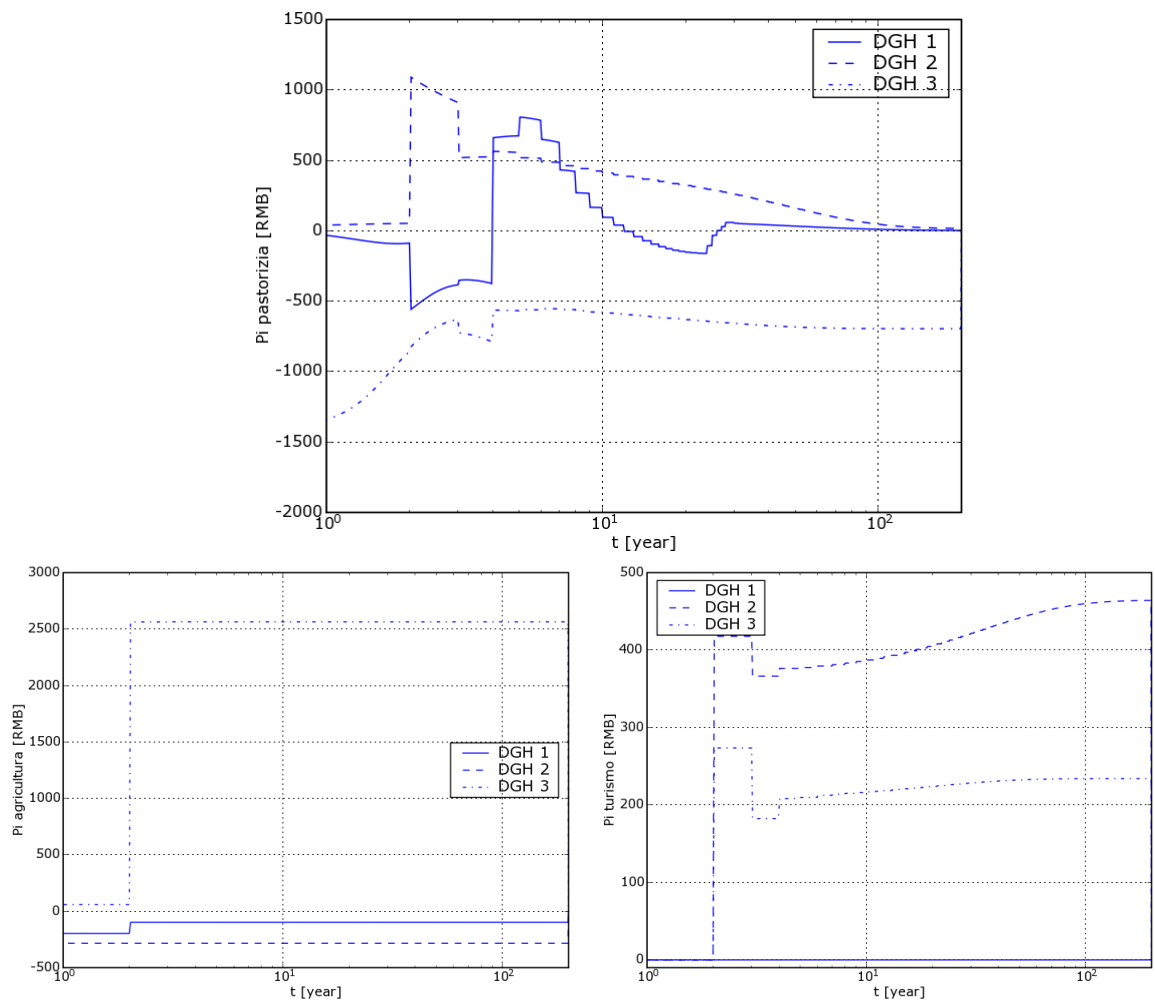


Figura 41 Profitto relativo alle attività simulate, agricoltura, pastorizia e turismo per le tre comunità mongola (DGH 1), Han (DGH 2) e “sostenibile” (DGH 3).

4.2.2 Effetto della variazione interannuale di pluviometria

Per verificare come si comporta l'ecosistema steppa, quando è sottoposto all'azione delle tre comunità in condizioni reali di pluviometria, è stata inserita al posto della pluviometria, P , una variabile stocastica. Le variazioni pluviometriche incidono direttamente sulla produzione primaria netta e quindi sulla disponibilità di foraggio per il bestiame, condizionando le scelte di gestione della comunità (Lise et al., 2006).

Per ciascun valore del coefficiente di variabilità pluviometrica (CVP) sono stati generati 20 set di valori pluviometrici annuali per i 200 anni di simulazioni. I dati discussi di seguito sono gli andamenti medi delle 20 simulazioni realizzate per ciascun CVP.

L'inserimento di una variabile stocastica non pregiudica la validità del modello decisionale umano in quanto, in prima approssimazione, si assume che la comunità umana elabori la scelta di gestione attraverso la valutazione del profitto annuale, senza effettuare alcun tipo di previsione futura.

Alti coefficienti di variabilità interannuale, pur mantenendo un valore medio di precipitazioni costante di 160 mm, hanno un effetto molto consistente sull'equilibrio della steppa e sulla sopravvivenza delle tre comunità. Per tutte e tre le comunità si assiste ad una consistente riduzione della biomassa e della densità animale che cresce tanto più aumenta il CVP. Le Figura 43 e Figura 44 mostrano gli andamenti delle principali variabili di stato in relazione a differenti indici di variazione pluviometrica interannuale.

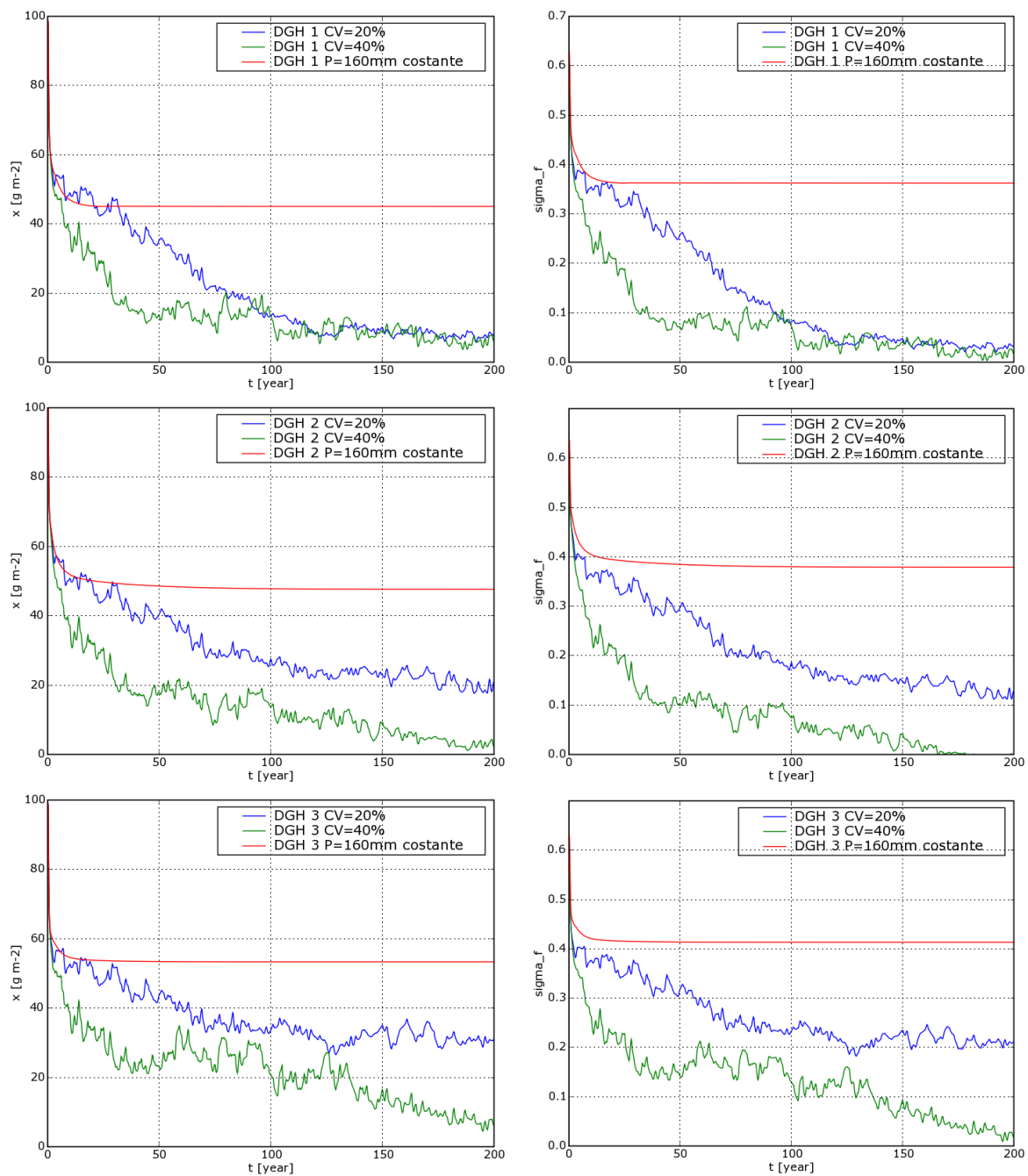


Figura 42 Andamento della biomassa epigea, x , e dell'indice di copertura vegetale σ_f al variare di CV la comunità mongola (DG1), Han (DG2) e “sostenibile” (DG3). .

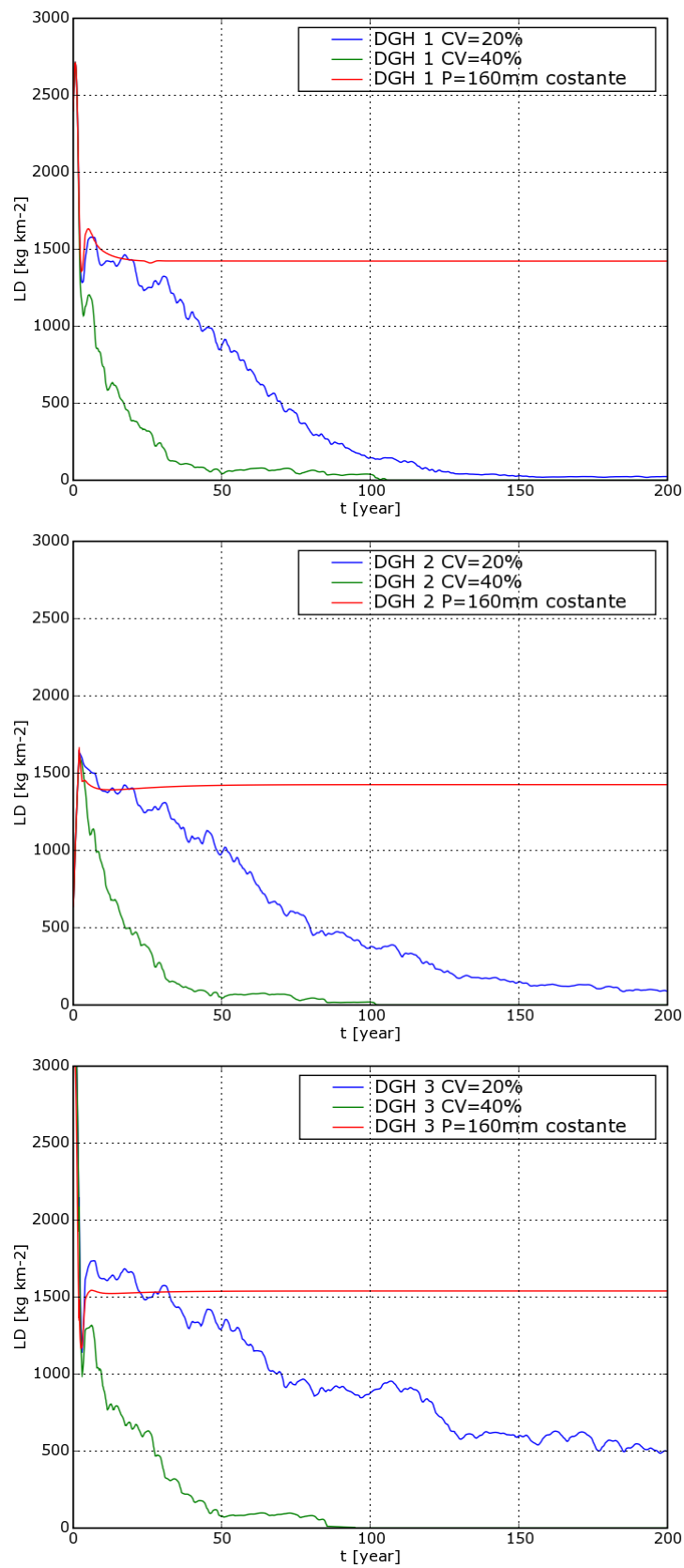


Figura 43 Andamento della densità animale. LD, al variare del CV per la comunità mongola (DGH1), Han (DGH2) e “sostenibile” (DGH3).

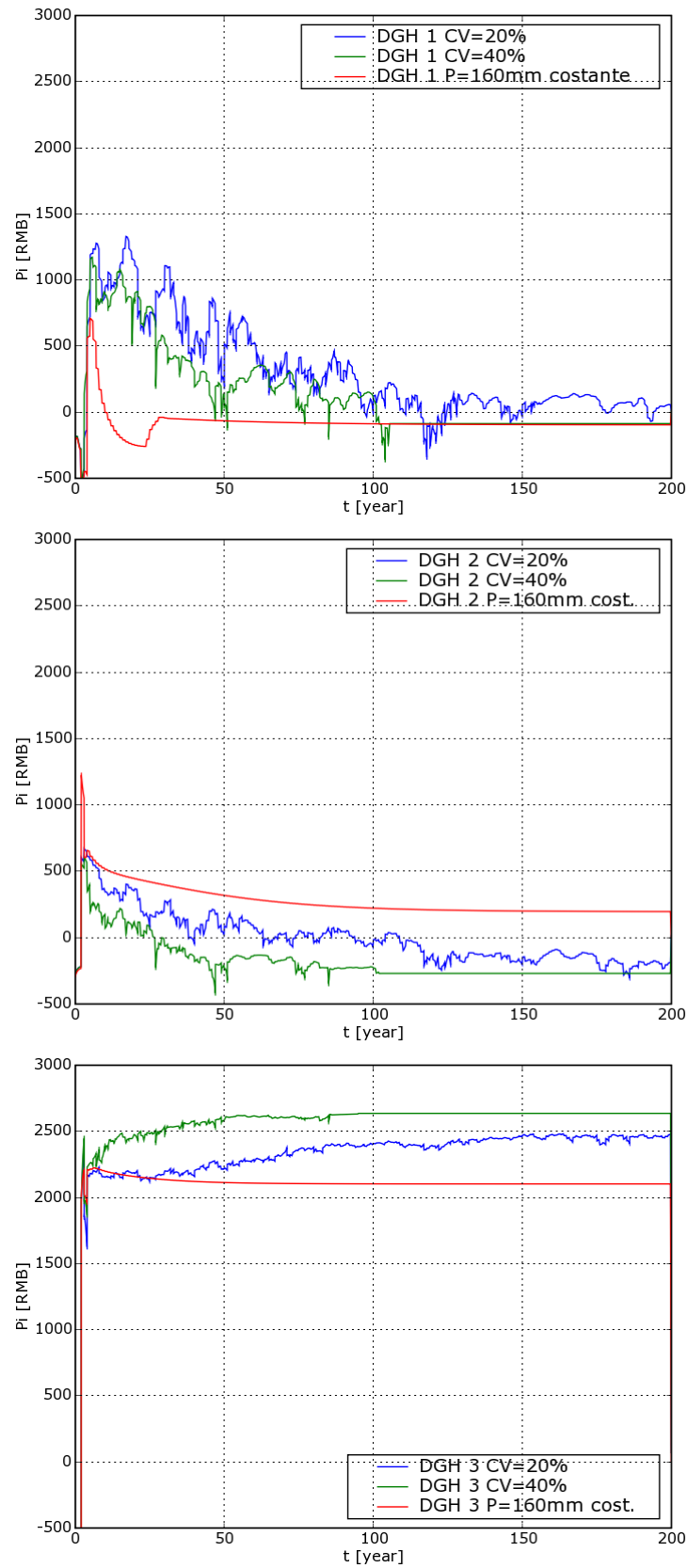


Figura 44 Andamento del profitto annuale, Π , al variare di CV, la comunità mongola (DGH1), Han (DGH2) e “sostenibile” (DGH3).

Analizziamo ogni comunità singolarmente:

- La comunità mongola non ha alcuna risorsa per gestire variazioni climatiche così repentine e il degrado della copertura vegetale legato all'estinzione della popolazione animale è irreversibile. Tuttavia il profitto, pur con consistenti variazioni interannuali, si mantiene positivo per i primi 50 anni di gestione che corrispondono al periodo di cambio generazionale della comunità stessa in cui si possono verificare migrazioni dei più giovani verso la città.
- Sotto la gestione della comunità Han che determina un minore impatto sull'ecosistema, i valori di biomassa epigea si mantengono mediamente più alti e, nel caso di CVP=20%, si mantiene anche una densità animale maggiore di 200 kg km⁻². Il profitto medio annuale, al contrario, è appena sopra la soglia di sussistenza, per i primi 100 anni, e non è in grado di garantire la sopravvivenza della comunità.
- La comunità “sostenibile” è quella che meglio resiste alle variazioni climatiche. La forte variabilità interannuale comporta un abbassamento repentino della copertura vegetale e della densità animale, tuttavia per CVP<20% il carico animale si mantiene intorno ai 600 kg km⁻² e il profitto annuale stabile e superiore ai 2000 RMB annuali. E' questa la comunità che meglio risponde a variazioni abiotiche, ciò è ragionevole in quanto l'aver sviluppato tecniche agricole efficienti che in ambiente arido non possono dipendere dalle precipitazioni ma sono vincolati ai cicli irrigui, diventano meno stringenti i condizionamenti climatici.

Non bisogna tuttavia dimenticare che il modello non è in grado di simulare gli effetti che variazioni climatiche ulteriori, come temperatura e umidità relativa, determinano sulla produttività agricola.

Le indicazioni ottenute attraverso la creazione del modello dinamico DGH sono state concretamente realizzate, all'interno del progetto WINDUST, in un'area pilota sperimentale avviata nelle vicinanze della città di Jartai nell'Alxa Left Banner, Inner Mongolia. L'attività, consistente nella realizzazione di un impianto agro forestale che utilizza energia solare per il sollevamento e la gestione dell'acqua di irrigazione, si propone di mettere in pratica attività di gestione sostenibile all'interno delle comunità rurali. I risultati di quest'attività che si sono protatti per più di due anni, hanno costituito parte integrante della ricerca fornendo dati preziosi sulla struttura sociale, l'economia e l'ecologia della regione. La cronologia delle attività, la scelta e progettazione delle attrezzature e i dati preliminari delle attività svolte sono riportati in APPENDICE A.

5 CONCLUSIONI

Il modello DGH nel suo utilizzo per il territorio dell'Alashan, rappresenta uno strumento innovativo nel panorama delle applicazioni volte alla razionale pianificazione dei territori critici, con forti limitazioni in termini di risorse naturali.

Il percorso realizzato inserisce nella modellistica riguardante le zone aride e semi-aride, l'elemento socio-economico derivante dalle attività dell'uomo.

Si è così giunti allo studio ed alla definizione di una comunità ideale, fortemente motivata da una maggiore conoscenza dell'ecosistema e della limitatezza delle sue risorse, in grado di proporre una prima forma di gestione sostenibile del territorio, basata sui vantaggi derivanti dalla integrazione delle pratiche agricole con quelle pastorali ed al ricorso a tecniche di risparmio energetico e idrico, nonché a pratiche di ricostruzione della vegetazione arbustiva ed arborea. Inoltre, il modello DGH ha evidenziato le forti limitazioni economiche per la sopravvivenza di popolazioni isolate nelle regioni remote della Cina del Nord, sottolineando l'importanza che assumono alcune nuove attività complementari, come il turismo, che prevedono l'apporto di capitali esterni, per l'incentivazione dello sviluppo di comunità rurali disperse sul territorio.

Possiamo così riassumere le informazioni ricavate con l'ausilio del modello dinamico DGH:

- Per gli ecosistemi deserto/steppa desertica il principale fattore limitante per lo sviluppo della vita è il valore delle precipitazioni medie annuali,
- Si osserva che l'ecosistema steppa desertica non è compatibile con una popolazione di erbivori stanziali per valori di $P < 150\text{mm}$ di pioggia annuali,
- La gestione umana basata sulla massimizzazione del profitto annuale determina un effetto di lungo periodo sull'ecosistema naturale che riduce la presenza vegetale sia che si tratti di comunità tradizionali (mongola ed Han) che "sostenibili";
- Variazioni della pluviometria media sono tollerate meglio dalle comunità "sostenibile" rispetto alle due comunità più tradizionali, mongola e Han, che presenta una migliore differenziazione delle fonti di reddito e una maggiore efficienza di produzione;

- Coefficienti di variazione della pluviometria del 40% provocano la desertificazione irreversibile per territori gestiti tradizionalmente (mongola e Han) anche per pluviometrie medie superiori ai 160 mm medi di pioggia annuali;
- Si osserva che pratiche mirate all'aumento dell'efficienza idrica associate all'incremento della produttività agricola dei terreni (comunità "sostenibile") garantiscono lo sviluppo di attività umane stanziali, con una corrispondente riduzione del carico complessivo sull'ecosistema.

Il fatto che la comunità ideale "sostenibile" possa, non solo assicurare la sopravvivenza per circa 20 individui, ma offra mezzi idonei per il miglioramento delle condizioni ambientali e per ridurre l'avanzata del deserto, costituisce un elemento importante per lo sviluppo socio economico della regione dell'Alashan.

Il modello DGH fin qui descritto merita senza dubbio, un futuro approfondimento nella descrizione dei fenomeni economici. Diventa, infatti, fondamentale, nello scenario di crescita della Cina degli ultimi 50 anni, estendere la sua validità a modelli sociali più complessi ed organizzati, tipici delle aree urbane, che acquistano sempre maggiore importanza nella gestione del territorio anche in aree scarsamente popolate come quelle dell'Alashan.

A fianco del lavoro modellistico si è anche affrontato il caso concreto dell'implementazione di tecnologie sostenibili in una comunità della Mongolia Interna al fine di sperimentare in pratica la possibilità di uno sviluppo economico nel rispetto delle risorse naturali (vedi APPENDICE B).

I principali risultati ottenuti al termine della prima stagione di attività del progetto, possono essere riassunti come segue.

Il ciclo irriguo breve, direttamente legato a quello solare fornisce un buon risultato per l'attecchimento di *Populus alba* a *Haloxylon ammodendron* che hanno raggiunto in media il del 77%.

L'impianto composto da un sistema fotovoltaico per il pompaggio dell'acqua e un sistema di irrigazione a goccia, con l'istallazione di circa 400 Wp ha⁻¹ è in grado di fornire 2000 m³ ha⁻¹ y⁻¹ per l'irrigazione, che è stata sufficiente ad ottenere una produzione media di sostanza secca al primo anno di impianto pari a 0.2 kg m⁻²

L'ottimo risultato d'attecchimento e tasso di crescita al primo anno dell'*H. ammodendron* confermano la teoria che l'irrigazione nei primi anni di vita può consentire l'impianto artificiale della *Cistanche salsa*, specie medicinale la cui produzione e vendita rappresentano una fonte di reddito aggiuntiva.

In fine, è da evidenziare l'ultimo, ma non certo meno importante, risultato ottenuto presso la popolazione locale: infatti, tutte le fasi costruttive dell'impianto sono state portate avanti con l'aiuto della comunità locale e ciò ha permesso una continua interazione e scambio d'informazioni. La primordiale diffidenza verso un gruppo di stranieri, si è trasformata via via in curiosa attesa fino a diventare vero e proprio interesse nel momento in cui l'impianto ha iniziato a dare i suoi primi risultati. Le buone percentuali di attecchimento del *P. alba* e dell'*H. ammodendron* uniti alla prima produzione simbolica di specie vegetali (pomodori e angurie in Figura 45), sono serviti da catalizzatori di interesse. La possibilità di non dipendere per l'irrigazione da continui rifornimenti di gasolio, rappresenta per le comunità rurali un'interessante opportunità di sviluppo. Tuttavia, l'impianto realizzato ha ancora costi troppo elevati per essere competitivo. E' fondamentale che l'esperimento continui mediante la realizzazione di impianti che utilizzino materiale tecnologico di produzione locale a costi più limitati e per il quale le comunità possano decidere l'acquisto e l'utilizzo delle nuove tecniche anche mediante l'attivazione di consorzi. La Alxa SEE Ecological Association che ha collaborato con noi nella realizzazione di questa prima fase del progetto si è già attivata in questo senso, prendendo contatti con produttori e con istituti che operano in modalità simili in altre regioni del paese.

L'introduzione di nuove tecnologie è stata accettata non senza difficoltà dalle popolazioni locali che si sono dimostrate molto attente e partecipative nelle varie fasi di esecuzione del progetto. Questo aspetto è fondamentale per la concreta applicazione di una gestione sostenibile, e potrà influire notevolmente sulla rapidità del raggiungimento degli obiettivi, se l'esempio realizzato potrà essere esteso a numerose altre comunità.



Figura 45 Prove di coltivazione di vegetali –pomodori e cocomeri – con il sistema di irrigazione a goccia

APPENDICE A: il progetto Pilota in Alashan

L'analisi condotta fin qui ha trovato la sua origine e la sua fine nella realizzazione di un'area sperimentale nella regione autonoma dell'Inner Mongolia, nell'altopiano dell'Alashan, inserita nel quadro della cooperazione bilaterale italo-cinese del Ministero dell'Ambiente Italiano. Nel contesto del progetto WinDust, nato per individuare e studiare l'origine delle tempeste di sabbia, proponendo strategie di adattamento, è stata proposta un'alternativa per l'integrazione dell'attività umana nel fragile ecosistema pre-desertico del Gobi. Se la presenza umana contribuisce, come dimostrato nei capitoli precedenti, al degrado ambientale della regione, è pur vero che la rigenerazione dell'ecosistema può passare solo attraverso una corretta gestione ambientale. Le comunità rurali dell'Inner Mongolia che vivono a chilometri di distanza le une dalle altre, in piccole comunità, costituiscono una rete capillare di gestione del territorio che, resa cosciente della sua importanza e sensibilizzata alla protezione ambientale, può rappresentare l'elemento chiave per il recupero ambientale dell'intera regione.

Il modello di gestione proposto è stato realizzato, all'interno di una classica comunità rurale mono-familiare e propone soluzioni alternative di gestione del territorio al fine di promuovere una nuova economia di sussistenza più rispettosa dell'ecosistema.

Per fare questo sono state proposte tecniche di gestione che potessero fornire valide alternative per il sostentamento, rispondendo ai più pressanti problemi che ostacolano lo sviluppo della regione.

Pascolamento intensivo: la riduzione dell'impatto del pascolo passa necessariamente attraverso la diminuzione dell'carico animale sull'ecosistema della steppa desertica. Ciò è possibile attraverso una progressiva diversificazione delle fonti di reddito delle comunità, la protezione e il reintegro delle zone degradate è legata alla produzione di specie foraggiere che limita l'effetto dei capi di bestiame residui sulla steppa. Questo tipo di intervento è ostacolato da diversi fattori esterni: la richiesta di carne a livello nazionale continuamente in crescita, rende difficile che i contadini siano disposti ad abbandonare la pratica dell'allevamento, d'altro canto la produzione locale di foraggio incrementa il consumo della risorsa idrica sotterranea contribuendo a peggiorare gli effetti di inaridimento dell'intera area. E' evidente che solo una gestione integrata di entrambe le attività può fornire una strada praticabile per la riduzione dell'impatto del pascolo e la sopravvivenza delle comunità umane. Diventa quindi

indispensabile promuovere una nuova coscienza ambientale presso la popolazione locale, al fine di fornire gli strumenti indispensabili per meglio bilanciare le diverse attività produttive e per recuperare un equilibrio con l'ecosistema ormai perso da tempo. Non è sufficiente fornire indicazioni sul numero di capi di bestiame massimi che l'ecosistema può sopportare, ma è importante suggerire nuove pratiche di gestione che permettono di sfruttare al meglio e con più rispetto la risorsa naturale disponibile.

Taglio delle specie arboree naturali: la pratica dell'utilizzo di legna per usi domestici di riscaldamento e cucina, determina una consistente riduzione delle capacità rigenerative dell'ecosistema, la raccolta ha bisogno di una regolamentazione che integra i principi ecologici con le necessità della comunità.

Sfruttamento della risorsa idrica: elemento fondamentale per la sopravvivenza delle comunità locali, l'acqua sotterranea costituisce una delle prime fonti naturali da tutelare, il suo sfruttamento deve essere ispirato al completo riciclo e recupero in particolar modo nel settore agricolo. L'agricoltura che rappresenta la nuova fonte di sostentamento per le comunità stanziali è realmente competitiva solo quando adotta pratiche di risparmio idrico volte a potenziare l'efficienza di produzione. Ancora una volta la sensibilizzazione ambientale in questo senso deve fornire nuovi strumenti di gestione per lo sfruttamento controllato della risorsa.

Il progetto ha lo scopo di introdurre in un ambiente rurale una serie di tecnologie scarsamente usate localmente che possono essere di supporto alle problematiche più gravi dell'area, fornendo quindi un modello nuovo di gestione del territorio.

In questo contesto l'area dimostrativa realizzata presenta le seguenti principali caratteristiche:

- Utilizzo di tecniche di irrigazione a goccia a basso consumo idrico: irrigazione goccia a goccia;
- Utilizzo di un sistema di pompaggio a basso consumo energetico, completamente basato su energie rinnovabili;
- Verifica del potenziale d'accrescimento del *Populus alba* nei primi stadi di crescita, in condizioni d'irrigazione limitata;
- Verifica del potenziale d'accrescimento dell'*Haloxylon ammodendron*, nei primi stadi di crescita, in condizioni irrigue;
- Verifica dell'efficienza del sistema d'irrigazione;
- Creazione di un'area dimostrativa di tecnologie a basso impatto ambientale che rimanga d'esempio per la comunità rurale presente.

Cronologia degli interventi

Per rispondere alle necessità della regione e agli obiettivi del progetto nella fattoria di Jartai di Lu Xin Jun è stato realizzato un impianto di irrigazione a goccia alimentato con un sistema di pompaggio dell'acqua ad energia solare, per l'irrigazione di *Populus alba* e *Haloxylon ammodendron*. Le attività sono iniziate nel giugno del 2005 per concludere nell'ottobre del 2006.

L'impianto favoriva in questa forma l'introduzione di alcuni fondamentali concetti di risparmio energetico ed idrico applicati a specie forestali di cui la prima, il *Populus alba*, importante per la produzione di biomassa ad uso energetico, e la seconda come specie ecologica fondamentale della regione. Per questa ultima viene proposta la reintroduzione artificiale al fine di sfruttarne alcune produzioni secondarie come la *Cistanche salsa*, senza intaccare le scarse risorse naturali di Saxoul ancora presenti nell'area.

Le attività svolte per la realizzazione del progetto hanno previsto:

- marzo 2005: Selezione del sito di intervento
- giugno-ottobre 2005: avvio delle attività di bonifica e attrezzatura dell'area di progetto, scavo del pozzo artesiano, eliminazione delle specie infestanti e prima aratura leggera del terreno, prima piantumazione tardiva di specie locali al fine di promuovere la rigenerazione del suolo, esausto da anni di agricoltura e pascolamento intensivo.
- aprile-ottobre 2006: a seguito del completamento degli impianti di irrigazione e di pompaggio dell'acqua è stato possibile effettuare la piantumazione di sei particelle distinte di *P. alba* e *H. ammodendron*. La stagione 2006 è servita per monitorare l'impianto durante le differenti fasi di crescita e collezionando dati di accrescimento dell'impianto relativi alla gestione idrica proposta.

Di seguito sono riportate le principali informazioni relative alla progettazione degli impianti tecnologici e i primi risultati relativi all'impianto agro-forestale realizzato.

Caratteristiche del sito

Il progetto pilota è stato realizzato presso la fattoria gestita dalla famiglia di Lu Xin Jun, che rappresenta un esempio tipico di insediamento rurale della lega dell'Alashan in Inner Mongolia.



Figura 46 Prospetto Nord fattoria di Lu Xin Jun

La fattoria è situata a poco più di 20 km a sud della città di Jartai e si trova a poche centinaia di metri di distanza da una delle principali vie di comunicazione della regione: la strada statale che collega la capitale del Ningxia, Yinchuan, all'estremo confine nord con la Mongolia. Contrariamente ad altre realtà più isolate la fattoria mantiene stretti rapporti commerciali con la città, vendendo carne, lana e prodotti agricoli. La fattoria esercita anche attività di ristorazione per gruppi di turisti locali.

Le principali attività della famiglia di Lu Xin Jun sono quindi: pastorizia, agricoltura di sussistenza e accoglienza turistica. Nonostante il discreto benessere che caratterizza la fattoria, l'area che circonda l'abitazione mostra i segni di un intenso sfruttamento che si rendono evidenti in una stentata copertura vegetale e in consistenti aree di terreno spoglie e indurite da una crosta superficiale di sedimenti calcarei.

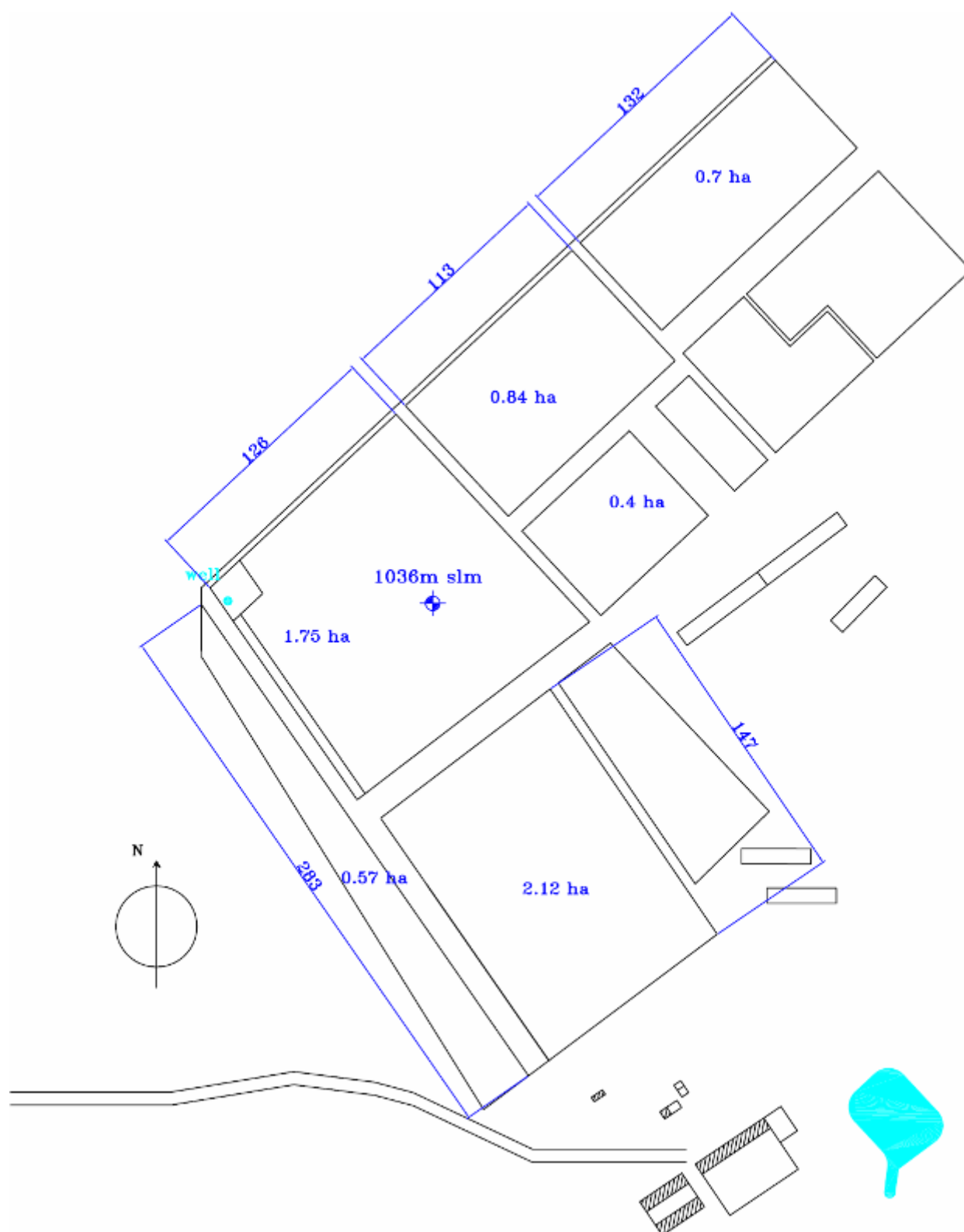


Figura 47 Planimetria schematica dell'area di intervento redatta nel marzo 2005 (quote in metri)

Nella medesima area è insediata un'altra famiglia ed entrambe hanno in gestione un territorio di circa 25 ha. La maggiore fonte di sostentamento per queste famiglie è la pastorizia e solo una piccola parte del territorio che circonda l'abitato è coltivato. Ogni famiglia ha 3 serre per la produzione dei generi alimentari di prima necessità.

Nell'area sono presenti 3 pozzi, due dei quali sono utilizzati solo per usi domestici, mentre il terzo, più profondo, è utilizzato per l'irrigazione. Tutti i pozzi sono artesiani, ma poiché non è prevista nessuna forma d'invaso, l'acqua che esce naturalmente si accumula in laghetti superficiali che subiscono consistenti perdite di traspirazione e percolazione rappresentando una costante perdita idrica.



Figura 48 Vista d'insieme area di intervento, maggio 2005

L'area selezionata per la realizzazione dell'impianto pilota (Figura 48) è un plot di circa 3 ha che era destinato in un passato recente all'agricoltura ma che è diventato poco produttivo ed è stato abbandonato. Mantiene ancora una barriera arborea contro il vento che delimita l'area, costituita da *Elaeagnus angustifolia* molto stentati. Il frequente uso dell'area recintata come ricovero per il gregge, evidenzia pronunciati fenomeni di costipazione del suolo. La copertura vegetale è stentata e non supera una densità del 5%, le specie vegetali manifestano segni del pascolamento e le piante sono tutte basse per meglio resistere al vento che batte l'altopiano, prevalentemente nei mesi primaverili.

<i>Festuca ovina</i>
<i>Elaeagnus angustifolia</i>
<i>Tamarix elongata</i>
<i>Zygophyllum xanthoxylum</i>
<i>Nitraria spp</i>
<i>Nitraria sibirica</i>
<i>Tarassaco mongolicum</i>
<i>Vicia spp</i>
<i>Iris lactea</i>
<i>Convolvulus arvensis</i>
<i>Phragmites communis</i>
<i>Diantus spp</i>
<i>Compositae</i>

Tabella 11 Specie rilevate nell'area d'intervento attraverso analisi floristica (giugno 2005)

Tra le principali specie che popolano l'area, è da notare la presenza della *Phragmites communis* che è una pianta tipica delle aree umide, la sua presenza si è osservata in prossimità di alcune depressioni che si trovano in corrispondenza del canale di scolo del pozzo artesiano. La notevole quantità d'acqua che sgorga, senza alcun controllo dal pozzo, crea un micro-clima umido in pieno deserto (Figura 49).

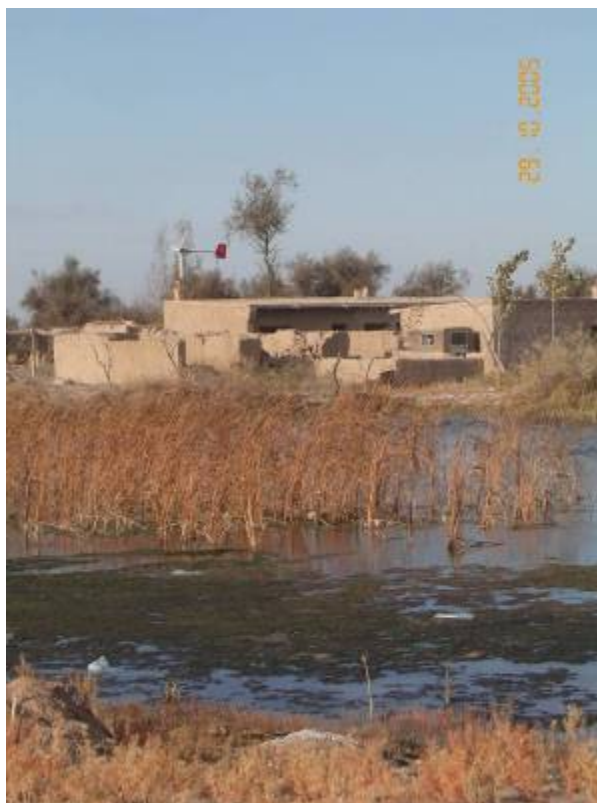


Figura 49 Laghetto creatosi a valle di un pozzo artesiano, Jartai ottobre 2005.

Valutazione agronomica del suolo

Durante il periodo di svolgimento del progetto, sono state condotti diversi campionamenti di suolo volti a stimare le condizioni iniziali d'intervento e le eventuali modifiche subite a seguito delle lavorazioni agricole intercorse.

In particolare la prima serie di analisi, condotta nel marzo 2005, si riferisce al suolo nella sua configurazione originaria: fortemente costipato a causa del continuo pascolamento e con tracce sparse di lavorazioni agricole risalenti alla fine degli anni '80. Mentre il secondo campionamento è successivo alla prima stagione di ripresa agricola, Aprile 2006.

Visto il breve tempo intercorso tra le successive analisi ancora non sono state rilevate apprezzabili differenze in termini di miglioramento delle condizioni del suolo, tuttavia un'analisi delle informazioni raccolte fornisce un ottimo punto di partenza per la valutazione delle condizioni di degrado diffuse dell'area di progetto.

Le analisi effettuate forniscono i valori medi riportati in Tabella 12, questi sono necessari per la valutazione agronomica dei suoli e la determinazione di eventuali interventi di correzioni con concimi e fertilizzanti delle caratteristiche chimiche del suolo (Se.S.I.R.C.A., 2000).

Il suolo dell'area di progetto ha le seguenti caratteristiche sintetizzate di seguito:

- Suolo a prevalenza sabbioso con struttura grossolana, risulterebbe ben areato se non fosse stato sottoposto ad un intensa attività di pascolamento stanziale.
- Concentrazione di sostanza organica scarsa, compresa tra 2 e 4 mg/kg.
- Azoto totale presente in quantitativi molto bassi, mediamente intorno a 0.2 g/kg . Nonostante il lungo periodo d'abbandono dell'area d'impianto, la scarsa vegetazione e il continuo pascolamento non hanno permesso di riportare in equilibrio il sistema facendo perdurare la condizione di impoverimento del suolo.
- Le concentrazioni di Fosforo assimilabile sono molto basse e pari in media a 0.28 g/kg per il fosforo totale di cui solo 0.025 g/kg di fosforo attivo.
- Le analisi chimiche effettuate mostrano un pH variabile da valori moderatamente alcalini, 8-8.14, a valori molto fortemente alcalini, 9. Valori di pH così elevati sono un primo indice della presenza in concentrazione elevata di sali di sodio.
- Il complesso di elementi facilmente disponibili per le piante – basi di scambio - è molto ridotto e condizionato da un fattore di stress salino decisamente elevato. L'unica concentrazione elevata si ha per il Sodio-Na che in concentrazioni superiori ai 230mg/kg si comporta da inibitore ionico per Calcio-Ca e Magnesio-Mg la cui concentrazioni risultano infatti molto basse. Non sufficiente per usi agronomici è anche il potassio scambiabile che dovrebbe avere una concentrazione superiore ai 100 mg/kg e si attesta, al contrario, su valori massimi di 82 mg/kg.

	PHISYC MEASUREMENT	UNIT	VALUE
PARTICLE SIZE ANALYSIS	coarse sand 2-0.2	%	31
	fine sand 0.2-0.02 mm	%	55
	0.02-0.002 mm	%	4
	clay <0.002 mm	%	10
SOIL FERTILITY	organic matter	g/kg	4.27
	total Nithrogen-N	g/kg	0.29
	soluble Nithrogen-N	g/kg	0.02
	total Phosphorus-P	g/kg	0.28
	active Phosphorus-P	g/kg	0.03
	total Potassium-K	g/kg	18.75
EXTRACTABLE MICRONUTRIENTS	active Potassium-K	mg/kg	229.95
	Copper-Cu	mg/kg	0.47
	Zinc-Zn	mg/kg	0.21
	Iron-Fe	mg/kg	6.98
SOIL SALINITY	Manganese-Mn	mg/kg	2.87
	pH	-	8.46
	total salt content	g/kg	1.54
	Anion (CO3) 2-	mg/kg	94.51
	(HCO3)-	mg/kg	263.90
	(SO4)2-	mg/kg	459.90
	CL-	mg/kg	305.78
	Cation (K)+	mg/kg	65.49
	EXCHANGABLE (Na)+	mg/kg	368.41
	(Ca)2+	mg/kg	93.18
	(Mg)2+	mg/kg	21.27

Tabella 12 Tabella complessiva analisi del suolo effettuate nell'area di progetto nell'Aprile del 2006 elaborate presso l'Istituto per le Analisi Chimiche di Yichuan (Yinchuan Soil Fertilizer Testing Center)

A fronte delle caratteristiche complessive riscontrate sono state effettuate due trattamenti per migliorare le caratteristiche agronomiche del suolo:

Le caratteristiche rilevate hanno imposto azioni continue volte al recupero delle caratteristiche agronomiche dell'area pilota:

- una prima fertilizzazione organica praticata all'inizio della primavera 2005, nella fase preparatoria dell'impianto;
- la fertirrigazione chimica ad un mese dopo la semina effettuata con fertilizzante e bilanciato nei tre componenti principali (N,P e K);
- la pratica del sovescio verde realizzata sistematicamente con le piante infestanti che coprono l'area di progetto dopo la stagione delle piogge.

Impianto pilota

L'area di progetto realizzata consta di tre sezioni distinte: il sistema di pompaggio dell'acqua di irrigazione che sfrutta la sola fonte solare di energia rinnovabile; il sistema di irrigazione a goccia che serve alla piantagione di *P. alba* e *H. ammodendron*.

La Figura 50 riporta lo schema semplificato dell'impianto che è stato realizzato su di un'area di prova di 3 ha.

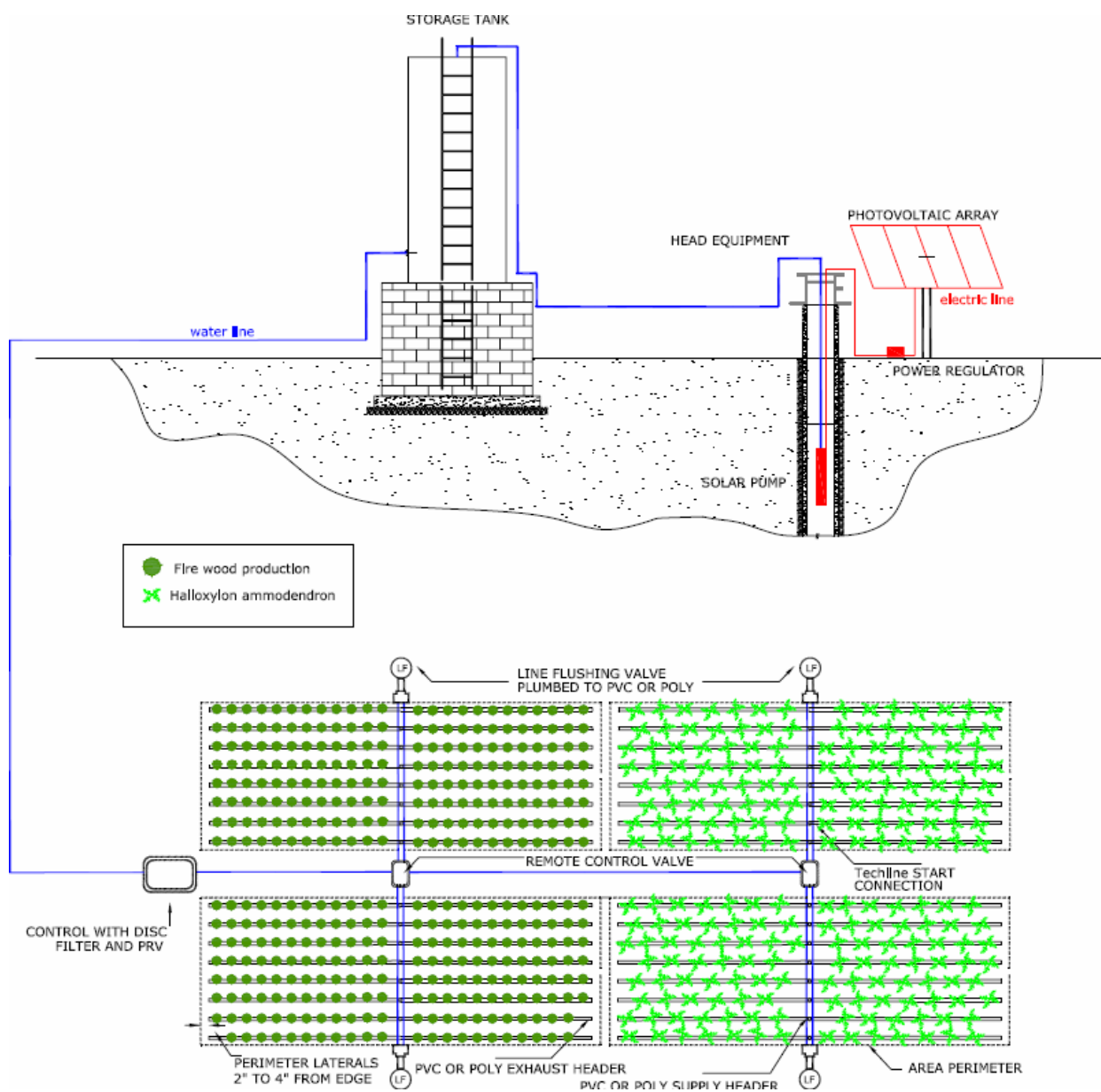


Figura 50 Rappresentazione schematica dell'impianto pilota realizzato, marzo 2005.

Nel seguito sono descritte le principali caratteristiche dell'impianto realizzato.

Sistema di pompaggio

La progettazione dell'impianto di pompaggio è stata effettuata tenendo conto che l'impianto avrebbe alimentato un'area di circa 3 ha di superficie, garantendo una distribuzione media giornaliera di 30-40 m³ di acqua al giorno.

Le caratteristiche fondamentali che hanno guidato la progettazione dell'impianto sono:

- Semplicità di funzionamento;
- Ridotta manutenzione;
- Portata media erogata pari a 30-40 m³/giorno;
- Prevalenza massima di 40m;

L'impianto di pompaggio è costituito da un sistema di quattro pompe indipendenti, installate in serie all'interno del pozzo, che convogliano l'acqua in una cisterna di accumulo posta 6 m al di sopra del piano campagna. La cisterna di accumulo genera la pressione sufficiente per garantire il corretto funzionamento dell'impianto distribuzione dell'acqua di irrigazione a goccia.

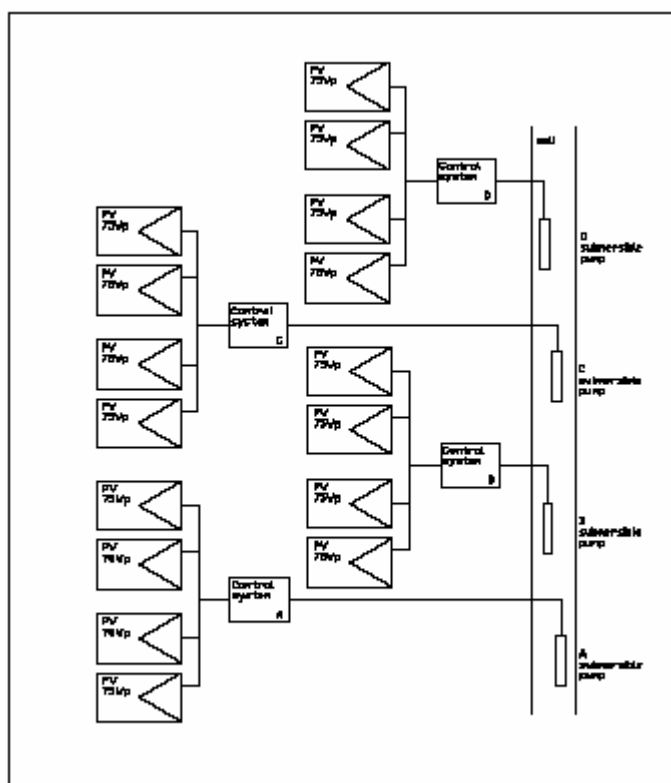


Figura 51 Schema elettrico di alimentazione del sistema di pompaggio.

Le pompe installate, SOLAFLUX di Fluxinos S.p.a., sono pompe sommerse a corrente continua in acciaio inossidabile, di piccola potenza ed elevato rendimento, alimentabili con

tensioni comprese tra 20 e 70 V, correnti comprese tra 1 e 4A. La potenza di ciascun elemento di pompaggio è compresa 20W e 280W ed è in grado di superare prevalenze comprese tra 0 e 150 metri. Il principio di funzionamento è basato su di un sistema di pistoni contrapposti equilibrati, azionati da camme e rullini in bagno d'olio mossi da un motore in corrente continua a magneti permanenti dotato di spazzole speciali di lunga durata. Il raffreddamento è ad aria e il sistema elettrico è tutto sigillato e completamente isolato dall'acqua.

Ciascuna pompa è alimentata direttamente da un array di 4 pannelli fotovoltaici di silicio monocristallino da 75Wp ciascuno per un totale di 1200Wp installati. Le portate medie di ogni elemento di pompaggio, a seconda delle condizioni di irraggiamento, variano tra i 600 e 11.000 litri/giorno.



Figura 52 Set di pannelli solari per l'alimentazione del sistema di pompaggio, fasi dell'installazione aprile 2006.

Per gestire l'alimentazione è necessario un dispositivo elettronico di sicurezza e controllo che ottimizza, in base alla potenza solare disponibile, il regime di funzionamento della pompa

variando la connessione in serie o in parallelo dei quattro pannelli solari usati per l'alimentazione di ciascun elemento.

Il controller è costituito da un circuito integrato che regola l'immissione dei pannelli solari di alimentazione in serie o in parallelo in base al voltaggio disponibile. Per fornire lo spunto necessario all'avviamento della pompa, una volta superati i valori di potenza solare minimi, viene utilizzato condensatore statico. Dopo l'azionamento della pompa, il circuito di controllo interviene quando il voltaggio di alimentazione scende sotto i 22V o l'intensità di corrente supera i 4.5 A interrompendo l'erogazione di potenza.

La pompa ha un diametro di 98 mm, una lunghezza di 760 mm, pesa circa 13 kg ed è dotata di un attacco rapido per tubi in polietilene da 25 mm.

Per coprire il fabbisogno idrico dell'impianto d'irrigazione si è scelto di disporre le quattro pompe a partire da una profondità di 20m fino a 35m, con una distanza intermedia di 5 m.

Con questa disposizione il livello dell'acqua nel pozzo non scende mai al di sotto del primo elemento di pompaggio, la distanza tra le pompe evita interazioni turbolente dovute al pompaggio.

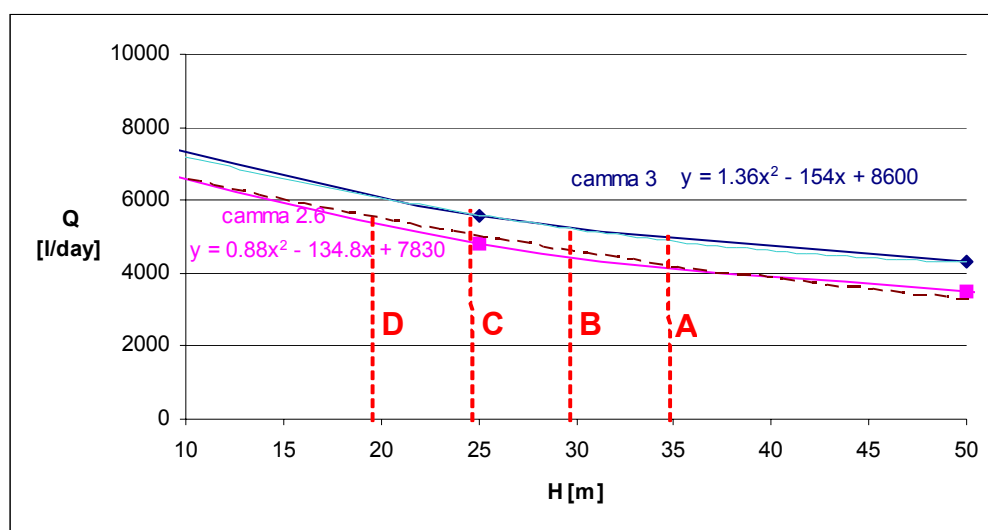


Figura 53 Valori medi di portata giornaliera in base profondità di installazione per le 4 pompe SOLAFLUX, A, B, C e D, installate.

Le quattro pompe convogliano l'acqua in una cisterna d'accumulo posta all'altezza di 6 m dal piano campagna e posizionata al centro dell'area irrigata.

La scelta dell'immissione in parallelo delle pompe è stata fatta per permettere il funzionamento dell'impianto, a regime ridotto d'erogazione idrica, anche nel caso in cui si verifici un guasto improvviso.

Chiusura in pressione del pozzo

Una nota particolare è da fare per la realizzazione di un sistema di chiusura in pressione del pozzo artesiano utilizzato per l'alimentazione all'impianto di irrigazione.

Come già osservato, una delle maggiori cause di perdita d'acqua nella regione di Jartai è dovuta alla consuetudine di non praticare alcuna forma di invaso dei pozzi artesiani. L'utilizzo di materiali cementizi poveri, che mantengono un'elevata permeabilità anche nella parte superiore del pozzo, oltre ad essere possibile fonte di contaminazione della falda, causa consistenti perdite superficiali.

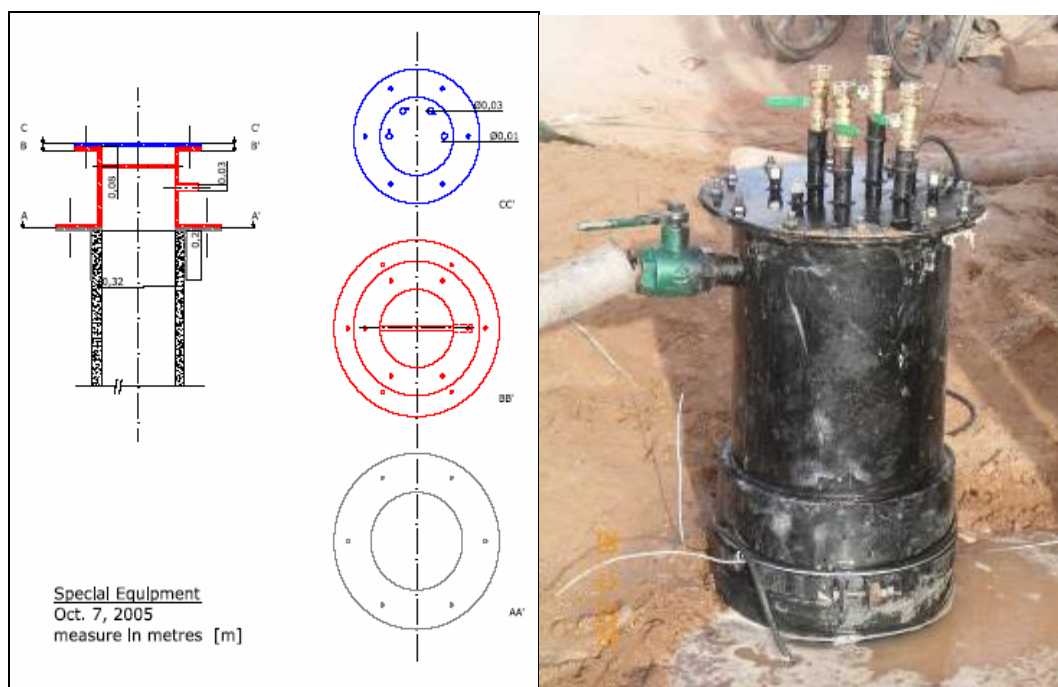


Figura 54 Sistema di chiusura del pozzo, realizzato con l'aiuto degli artigiani locali (ottobre 2005)

Con l'aiuto di artigiani locali si è realizzato un sistema di chiusura del pozzo a flangie di ferro nel quale sono stati predisposti i fori per il collegamento delle pompe e un rubinetto di bypass del sistema di pompaggio che può essere usato autonomamente.

Il sistema di chiusura può essere completamente sigillato durante l'inverno senza causare le usuali perdite (Figura 49).

La realizzazione del sistema di chiusura, oltre a essere un elemento fondamentale per il corretto funzionamento del sistema stesso, rappresenta un esempio di come sia possibile effettuare una corretta finitura dei pozzi artesiani, realizzando materiale locale.

Sistema d'irrigazione

L'irrigazione dell'area di progetto è garantita attraverso un sistema d'irrigazione a goccia, alimentato a gravità ed è diviso in 6 settori autonomi. La cisterna d'accumulo è riempita attraverso il sistema di pompaggio solare sopra descritto. Il sistema d'irrigazione è attrezzato con valvole automatiche a bassa energia che ne permettono il controllo automatico attraverso un PLC Millenium II ⁺ by Crouzet - XT20 24VDC.

I principali elementi dell'impianto sono:

- torre piezometrica;
- sistema di testa dell'impianto di irrigazione per il pre-condizionamento delle acque di irrigazione;
- valvole di sezionamento automatiche e manuali;
- linee di irrigazione a goccia;
- sistemi di misura per il monitoraggio dei singoli settori: barometri e misuratori di flusso.

In Figura 55 è riportata una distribuzione in pianta dei diversi elementi dell'impianto pilota. Nei capitoli che seguono verrà effettuata un'analisi

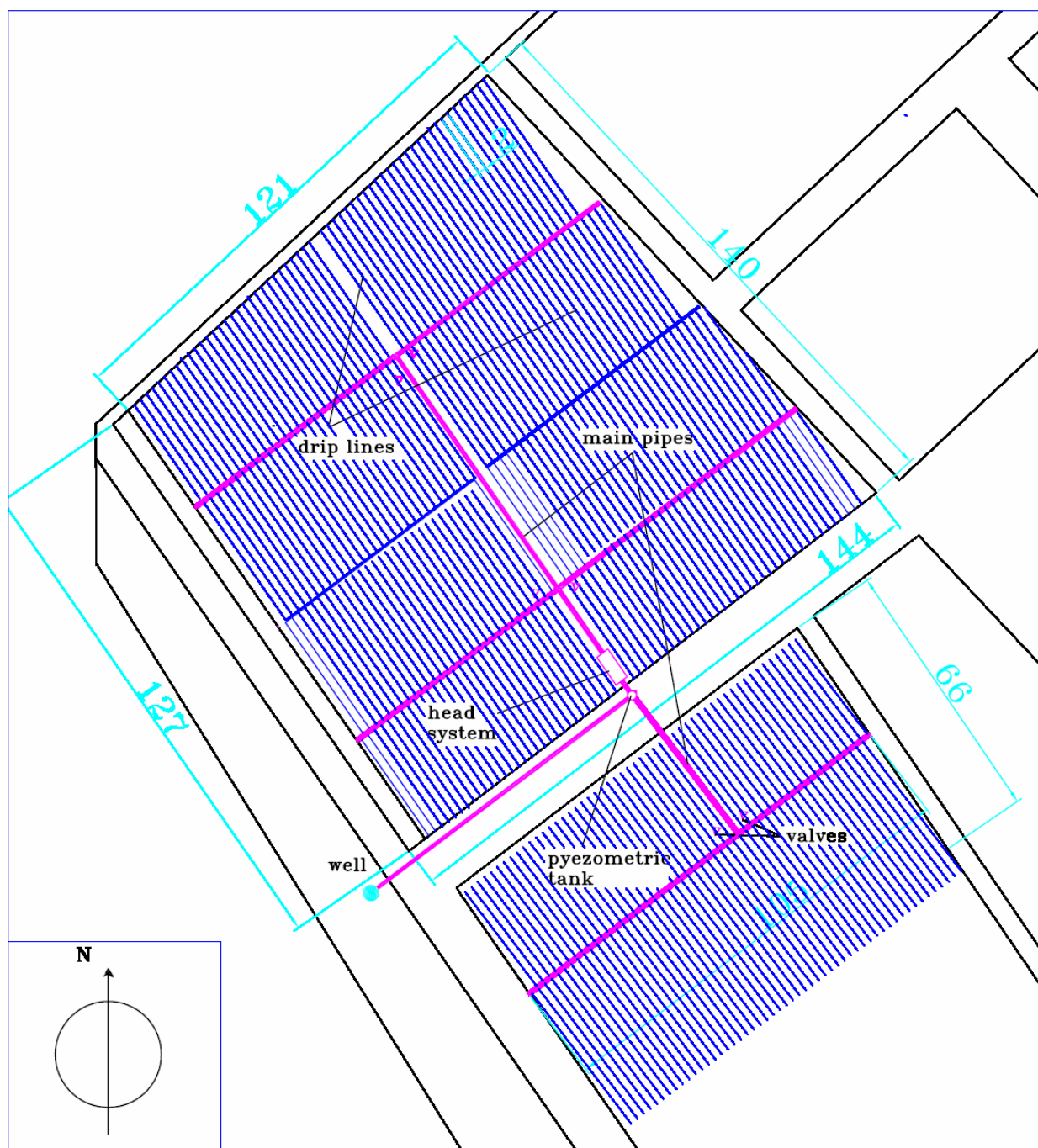


Figura 55 Schema delle principali componenti dell'impianto di irrigazione realizzato, aprile 2006

La torre piezometrica

Le dimensioni e il posizionamento della cisterna sono stati realizzati considerando:

Il regime delle pompe solari è fortemente discontinuo e dipendente all'irraggiamento solare disponibile. La portata media in una giornata estiva assoluta con 750 W/m^2 , è approssimativamente di $22.5 \text{ m}^3/\text{d}$ e $2.98 \text{ m}^3/\text{h}$.

La cisterna di accumulo è studiata per produrre la pressione necessaria all'interno dei tubi di distribuzione secondari, in corrispondenza degli iniettori. La cisterna non funziona da riserva

idrica per la stagione secca ma serve da regolatore di portata e effettua un pre-riscaldamento dell'acqua che proviene dal pozzo per ridurre gli effetti di choc termico sulle piante.

La progettazione della torre è stata eseguita con le seguenti ipotesi:

- la portata media in uscita dal sistema di pompaggio;
- le perdite idrauliche lungo il sistema di irrigazione, considerando che i settori vengono irrigati uno per volta;
- la pressione di lavoro dei principali componenti dell'impianto, in particolare è necessario che le servo-valvole siano sottoposte ad una pressione minima di 0.3 bar con una portata di 0.1 m³/h.



Figura 56 Vista della cisterna piezometrica durante la fase di completamento, marzo 2006.

A causa di ciò il livello dell'acqua non può mai essere inferiore ai 4.5m.

Considerando la topografia dell'area che manifesta una lieve pendenza procedendo verso nord-ovest, si è installata la cisterna in prossimità della barriera frangivento che divide il campo e che rappresenta una posizione centrale di distribuzione.

La cisterna in polietilene nero di circa 2m³, è stata montata all'altezza di 5m su di una struttura in ferro, ancorata a terra attraverso una base in cemento armato opportunamente dimensionata. L'installazione produce sulla testa dell'impianto di irrigazione una pressione non inferiore alle 0.45 atm.

Impianto di testa

L'acqua di irrigazione proveniente dalla cisterna piezometrica viene avviata all'impianto di distribuzione attraverso un sistema di pre-condizionamento costituito dai seguenti elementi:

- Filtro 120 mesh - ARKAL 2" dual – necessario per limitare i fenomeni di intasamento delle linee gocciolanti. Anche se l'acqua proveniente dal pozzo ha buone caratteristiche chimico-fisiche, questa potrebbe essere alterata durante le tempeste di sabbia.
- Valvola a vuoto - Kinetic Air valve 2" – necessaria per limitare effetti di sovrappressione che potrebbero danneggiare l'impianto a valle;

Sistema per la fertilizzazione controllata, si tratta di un sistema a valvole differenziali che regola la quota di sostanza immessa durante il ciclo di irrigazione.

In Figura 58 è riportato lo schema costruttivo e la realizzazione dell'impianto di testa dell'area di progetto.

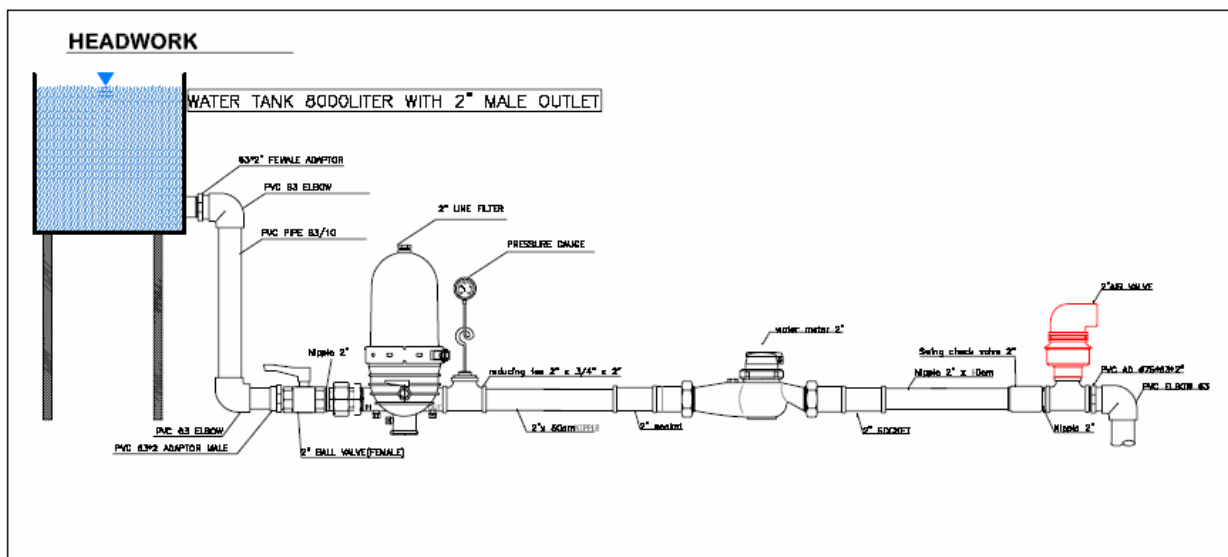


Figura 57 Schema costruttivo dell'impianto di testa dell'impianto di irrigazione a goccia, aprile 2006



Figura 58 Sistema di testa realizzato nell'aprile 2006.

Valvole di sezionamento e linee di irrigazione a goccia

L'impianto d'irrigazione è composto da 6 settori (Figura 55) che sono sezionati con l'utilizzo di otto valvole di sezionamento a controllo automatico comandate attraverso il controllore programmato (PLC Millenium II⁺ by Crouzet - XT20 24VDC).

Spessore delle pareti	0.38 mm
Massima pressione di lavoro	18 m
Diametro interno	15.7 mm
Portata nominale (pressione d 10m)	1.05 l/h
Spazio tra gli emettitori	0.4 m

Tabella 13 Dati tecnici delle linee gocciolanti Typhoon 150 – Netafim

Le valvole sono posizionate all'incrocio dei tubi principali di distribuzione che attraversano l'impianto come illustrato in Figura 55. Le linee gocciolanti scelte per la distribuzione dell'acqua alle culture sono le Typhoon 150 della Netafim, scelte per le loro buone caratteristiche di uniformità nella distribuzione, buona resistenza alla occlusione. Queste linee di distribuzione garantiscono, con le caratteristiche tecniche riportate in Tabella 13, l'uniformità nell'umidità del suolo per strisce che non supero i 40 m di lunghezza.

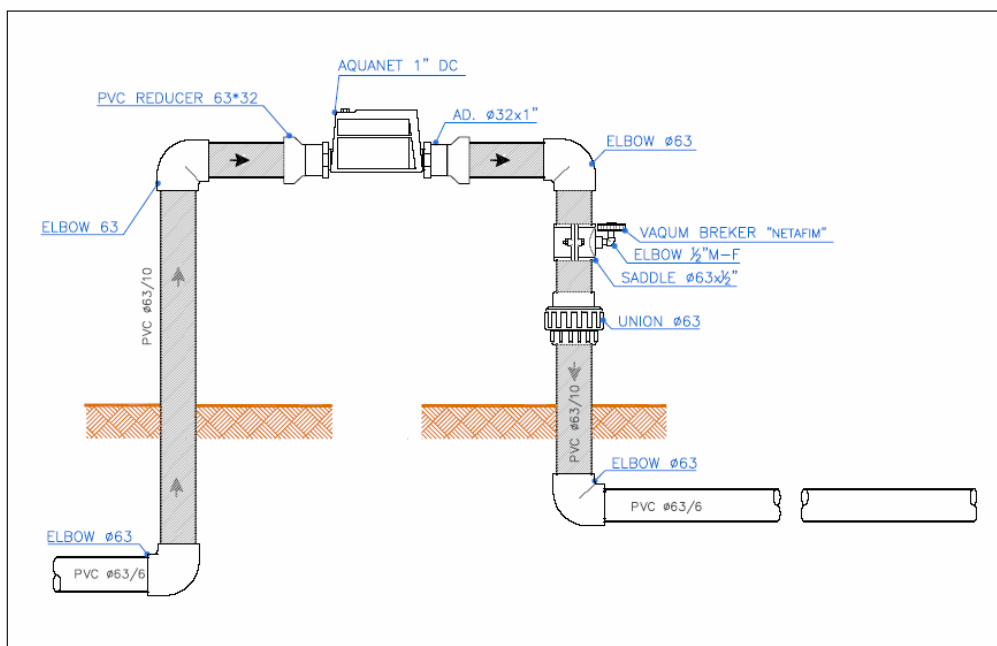


Figura 59 Schema costruttivo della sezione a valvole automatiche per il sezionamento dell'impianto.



Figura 60 Vista d'insieme dell'impianto d'irrigazione durante le fasi di realizzazione, giugno 2005.

Il sistema così costituito regola l'erogazione in base ad un ciclo periodico su sei settori, la disponibilità idrica giornaliera non è costante ma dipende dalla radiazione solare e il sistema di controllo integra la portata giornaliera con i limiti di irrigazione stabiliti per ciascuna specie aprendo ciclicamente i settori.

La strategia di controllo illustrata nella Figura 61 tiene conto della portata di ingresso dell'acqua, della prevalenza all'interno della cisterna e del ciclo di irrigazione ideale stabilito per ciascun settore. Con un controllo ripetuto i settori vengono irrigati automaticamente per un periodo non inferiore alle 3 ore consecutive per evitare che la consistente evapotraspirazione limiti gli effetti dell'irrigazione.

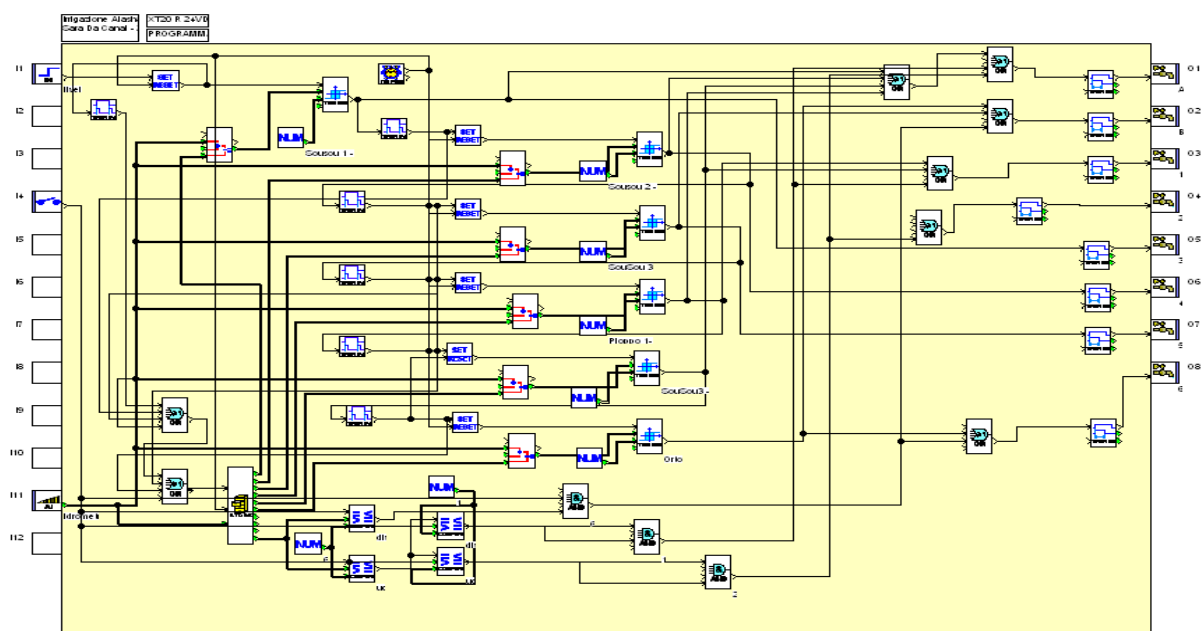


Figura 61 Schema del controllo automatico del PLC Millennium II per l'apertura automatica dei settori di irrigazione elaborato con il software specifico Crouzer Logic Software M2, versione 1.3.

Impianto agro-forestale

L'impianto ha lo scopo di testare la produttività di due pratiche di gestione selviculturale che siano di supporto alla sopravvivenza delle popolazioni locali e forniscano metodi non invasivi verso l'ecosistema. Le tesi sviluppate sono due:

piantagione a ciclo breve di *P. alba*: la produttività di piccoli sistemi di produzione a ciclo breve ha lo scopo di proporre un'alternativa allo sfruttamento del legname naturale creando nel contempo una fascia protettiva dei terreni agricoli più interni dai forti venti primaverili.

piantagione di *H. ammodendron* per la successiva inoculazione di *Cistancae salsa*: questa ipotesi di intervento ha lo scopo di verificare la produttività irrigua di una specie tipicamente desertica e tradizionalmente non irrigua, al fine di generare piante sufficientemente mature per procedere all'inoculazione, a livello radicale, di una Orobancacea come la *Cistancae salsa*, al fine di proteggere le foreste naturali.

Il *Populus alba* è una specie introdotta in Alashan come specie a rapido accrescimento per la costituzione di barriere antivento e per la produzione di legno da opera, la sua presenza è sempre legata a comunità umane stanziali che lo utilizzano prevalentemente nella costruzione delle abitazioni tradizionali. Il suo impiego tuttavia non prevede un ciclo di produzione, difficilmente le piante mature tagliate sono reintegrate.

La piantagione di *P. alba* realizzata è stata progettata per un ciclo di 3-5 anni con un sesto rado per gestire eventuali riduzioni della risorsa idrica disponibile di $1 \times 2.75 \text{ m}^2$. L'impianto si estende su due settori per un'area totale di circa 0.9 ha, con 3000 piante. La piantumazione è stata realizzata con materiale vegetale locale, costituito da astoni radicati di circa 2-3 cm di diametro ed alti 2 m. Prima della piantumazione, il materiale vegetale è stato conservato in tagliola e costantemente idratato per prepararlo al trapianto. Gli astoni sono stati impiantati all'interno di buche di $50 \times 50 \times 50 \text{ cm}^3$ di volume e irrigato costantemente nei primi 10 giorni dopo il trapianto. L'impianto ha subito una sola fertirrigazione (PARAGRAFO) ad un mese dalla piantumazione. Non sono state praticate cure culturali ad eccezione di uno sporadico controllo manuale delle piante infestanti.



Figura 62 Illustrazione delle caratteristiche botaniche principali dell'*Haloxylon ammodendron* (C.A. Mey.)Bunge (Plant of China).

L'*Haloxylon ammodendron* appartiene alla famiglia delle Chenopodiacee ed è una specie arbustiva C_4 che normalmente raggiunge i 3-5 m di altezza (Wang, 2002, Wang, 2005). Le foreste di Saxoul (nome volgare dell'*H. ammodendron*) erano diffuse in tutto il Gobi, dalla Mongolia Interna fino alla Russia, e sono state per secoli fonte di sussistenza per le popolazioni nomadi che abitavano la regione (Regional Master Plan for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms in Northeast Asia, 2005). Gli eserciti di Genghis Khan per primi distrussero le foreste naturali di Saxoul per garantire il rifornimento di legname alle truppe, durante le campagne di guerra condotte contro la Cina nel 1211 d.C. In tempi moderni il costante uso del Saxoul come biomassa energetica da parte delle popolazioni ormai stanziali della regione, ha accelerato la distruzione delle foreste naturali che solo di recente, con le nuove politiche di protezione ambientale introdotte, subiscono un reintegro da parte dei Forest Bureau delle amministrazioni locali.

Il Saxoul è caratterizzato da una forte adattabilità e resistenza all'aridità, per questo si comporta spesso come specie pioniera ed ha ottime caratteristiche di fissazione delle dune e protezione dall'erosione eolica (Han et al., 2002, Ma et al., 2003, Qiang et al., 2005). Per contro è una specie a lento accrescimento che rende particolarmente difficile la rigenerazione naturale delle foreste razziate. La radice principale del Saxoul può estendersi per più di 10 m per cercare acque sotterranee (Liu et al., 2003). Pur essendo una specie alofita e xerofita, quindi adattata a condizioni estreme di sopravvivenza il Saxoul è poco tollerante a ristagni d'acqua ed ombreggiamento. Huang ed altri (Huang et al., 2003) hanno dimostrato che le giovani piantine

sono molto sensibili agli stress idrici. Ciò significa che la siccità che caratterizza i primi 200 cm di suolo, accentuata dalla presenza umana, determina una germinazione molto bassa e fortemente legata ai saltuari fenomeni piovosi primaverili che sono efficaci solo se si manifestano a ridosso dei primi stadi di germinazione. L'aumento medio delle temperature, dovuto ai cambiamenti climatici, e la relativa diminuzione delle precipitazioni, non fanno che rendere più difficile il processo rigenerativo del Saxoul. Per di più la pratica consueta dell'inoculazione artificiale della *Cistanche salsa* sulle foreste naturali mette ulteriormente a rischio la riserva di Saxoul. La *C. salsa*, della famiglia delle Orobanchaceae, è un parassita delle principali specie desertiche come *H. ammodendron* e *Calligonum mongolicum* e ha una notevole importanza per la medicina tradizionale cinese (Dharmananda).

L'impianto di Saxoul realizzato ha lo scopo di verificare come l'irrigazione programmata dei primi stadi di crescita favorisce l'attecchimento e stimola l'accrescimento. La creazione di una piccola piantagione domestica, metterebbe a riparo le aree naturali dalle frequenti razzie.

La piantagione di *H. ammodendron* si estende all'interno di 4 settori di cui due misti con specie relative alla prima piantumazione effettuata nell'estate del 2005 con *Tamarix elongata* e *Caragana microphylla*, e due settori monospecifici. Il sesto adottato è di 1x2.75 m² per un totale di 2200 piante. L'impianto monospecifico si estende su di un'area totale di circa 0.8 ha. La piantumazione è stata realizzata con materiale vegetale locale, costituito da semensali di 1-2 anni provvisti di radice principale di circa 5-10 cm di lunghezza. Prima della piantumazione il materiale vegetale è stato conservato in tagliola e costantemente idratato per prepararlo al trapianto, a seguire sono stati introdotti due semensali per ciascuna posizione lungo il filare. L'impianto ha subito una sola fertirrigazione ad un mese dalla piantumazione.

Non sono state praticate cure culturali ad eccezione di uno sporadico controllo manuale delle piante infestanti.

L'irrigazione complessivamente fornita alle due colture è quantificabile in:

- *P. alba*: 39 litri a pianta ogni 4 giorni
- *H. ammodendron* dai 12 ai 7 litri a pianta ogni 4 giorni.

Si tratta di una stima media che ha subito delle oscillazioni in base alla radiazione solare e quindi al rendimento del sistema di pompaggio. L'irrigazione è durata circa 4 mesi a partire dalla metà di maggio, in corrispondenza della piantumazione, fino a settembre.

Per valutare l'attecchimento e l'accrescimento delle due piantagioni si sono effettuati seguenti rilievi di campo durante il periodo che va da aprile a settembre del 2006:

- conteggio degli individui vivi effettuato alla fine della stagione vegetale,

- cavallettamento al piede e misura dell'altezza per un campione di 20 individui, selezionati in maniera casuale, per ciascun settore effettuato in tre diversi stadi di crescita: all'inizio, a metà e alla fine della stagione vegetativa.
- valutazione della biomassa prodotta alla fine della prima stagione vegetativa attraverso la ricostruzione dell'albero modello con conteggio: di diametri – medio, centrale e apicale – per il tronco principale e i rami secondari, area fogliale e estensione radicale valutata a seguito dello sradicamento delle piante che costituiscono il campione e la misura del peso umido e del peso secco dopo essiccazione controllata in forno a 180°C.

Primi risultati ottenuti

L'attività condotta nell'area pilota di Jartai in Alashan, malgrado la brusca interruzione verificatosi alla fine del 2006, ha generato due risultati di natura completamente diversa:

- una valutazione preliminare, delle potenzialità di attecchimento e produttività dell'*H. ammodendron* e del *P. alba* sotto un regime di irrigazione ridotto e regolato dai cicli solari;
- la prima manifestazione di interesse da parte delle popolazioni locali per le attività svolte all'interno dell'area dimostrativa a fronte dei primi risultati ottenuti utilizzando tecniche non tradizionali di impianto.

E' da osservare che l'interesse della popolazione locale è strettamente correlato ai primi buoni risultati ottenuti, quindi partiamo da una sommaria descrizione di questi ultimi.

Alla fine della prima stagione di impianto, il *P. alba* ha mostrato un'ottima percentuale di attecchimento pari all'85% con accrescimenti in altezza anche che varia dal 15% al 30%. In particolare si osserva che i valori più bassi di accrescimento corrispondono al settore localizzato nell'estremo nord dell'area di studio che è maggiormente esposto ai venti durante la stagione primaverile, in questo settore si osserva anche un consistente ricaccio dal basso degli astoni impiantati. Attraverso un campionamento casuale per un totale di 41 piante è stato realizzato l'albero normale della piantagione che ha le caratteristiche riportate in TAB e ha avuto una produzione media di biomassa secca di 2.1 t ha⁻¹.

La Figura 63 riporta un'immagine della piantagione nell'autunno del 2006.



Figura 63 Filari di *P. alba* nella piantagione di Jartai, settembre 2006.

La piantagione di *H. ammodendron* ha risposto particolarmente bene al ciclo irrigazione con un attecchimento medio del 79% e dati di accrescimento ben superiori alle aspettative:

- accrescimento in altezza: 70-80%;
- accrescimento diametrale: 40-60%

L'unico problema osservato riguarda il ristagno d'acqua che nella zona più prossima alla cisterna ha determinato la morte per asfissia radicale di alcuni esemplari. Lo strato impermeabile che si trova in questa zona, dovuto probabilmente a ripetute azioni di aratura profonda, provoca un ristagno d'acqua che non è assolutamente tollerato dal Saxoul.



Figura 64 Filari di *H. ammodendron* dell'area pilota di Jartai, settembre 2006.

Riassumendo i principali risultati ottenuti al termine di questa prima stagione vegetativa sono:

Il ciclo irriguo breve, direttamente legato al ciclo solare fornisce un buon risultato per l'attecchimento medio del 77% per per entrambe le colture utilizzate.

L'impianto composto da un sistema fotovoltaico per il pompaggio dell'acqua e un sistema di irrigazione a goccia sono in grado di fornire con un'installazione di circa 400 Wp ha⁻¹ un'irrigazione di 2000 m³ ha⁻¹ y⁻¹ ottenendo una produzione media di sostanza secca al primo anno di impianto pari a 0.2 kg m⁻²

L'ottimo risultato di attecchimento e tasso di crescita al primo anno dell'*H. ammodendron* confermano la teoria che l'irrigazione nei primi anni di vita possa favorire l'impianto artificiale della *Cistanche salsa* e quindi la sua produzione e vendita.

Per finire è da evidenziare l'ultimo, ma non certo meno importante, risultato ottenuto presso la popolazione locale. Tutte le fasi costruttive dell'impianto sono state portate avanti con l'aiuto della comunità locale e ciò ha permesso una continua interazione e scambio d'informazioni. La primordiale diffidenza verso un gruppo di stranieri, si è trasformata via via in curiosa attesa fino a diventare vero e proprio interesse nel momento in cui l'impianto ha iniziato a dare i suoi primi risultati. Le buone percentuali di attecchimento del *P. alba* e dell'*H. ammodendron* uniti alla prima produzione simbolica di specie vegetali (pomodori e angurie in FIG), sono serviti da catalizzatori di interesse. La possibilità di non dipendere per l'irrigazione dai continui rifornimenti di gasolio, rappresenta per le comunità rurali un'interessante opportunità di sviluppo. Tuttavia l'impianto realizzato ha ancora costi troppo elevati per essere

competitivo. Fondamentale perché l'esperimento continui a dare frutti è la realizzazione di impianti che utilizzino materiale tecnologico di produzione locale che abbia costi più limitati e per il quale le comunità possano decidere di attivare consorzi per l'acquisto e l'utilizzo delle nuove tecniche. L'Alxa SEE Ecological Association che ha collaborato con noi nella realizzazione di questa prima fase del progetto si è già attivata in questo senso, prendendo contatti con produttori locali e con istituti che operano in modalità simili in altre regioni del paese.

APPENDICE B: implementazione in Python del modello DGH

Di seguito sono riportati i due programmi principali, scritti in Python, utilizzati per risolvere il sistema di equazioni differenziali che descrivono il modello DGH. La strategia di programmazione adottata prevede la definizione di una classe, definita all'interno del file Class_DGH.py, che è strutturata per accogliere tutte le variabili di stato e i parametri del modello. Si tratta di un oggetto particolarmente flessibile e caratteristico del linguaggio Python che permette di costruire oggetti comunque articolati e su di essi definire tutte le operazioni che si vuole. Nel file DGH_main.py sono definite tutte le equazioni e i parametri del modello e sono implementati il solutore numerico e l'ottimizzatore che sono necessari per l'integrazione del sistema.

File DGH_main.py

```
#
# MODELLO DGH (Desert-Grazing-Human)
# versione VALIDATA 2007 - Sara Da Canal e Riccardo De Maria
#
import Class_DGH
from scipy import optimize
import pylab as p

fun_set={
'G'      :  'alpha*( 1-exp(-eps_gx*x))*( 1-exp(-eps_gy*y))',
'D'      :  'beta *(-1+exp(eps_dx*x))/( 1-exp(-eps_dy*y))',
'C'      :  '((1-f_F)*F_eat)/(A_w-Aprime)',
'F_eat'   :  'F_eat_d + F_eat_y',
'F_u'     :  '1./(N_d+N_y+1.)*(rho*x*(A_w-Aprime)+F_buy)',
'F_eat_d' :  'N_d*(a_fed-b_fed*exp(-c_fed*F_u)+d_fed*P_k)',
'F_eat_y' :  'N_y*(a_fey-b_fey*exp(-c_fey*F_u))',
'F1'      :  'G-D-C',
'F2'      :  'P-E_v-E_t-R',
'E_v'     :  'e_v*(1-sigma_f*k_v*(1-exp(-eps_vx*x)))*(1-exp(-eps_vy*y))*exp(-eps_vz*z)',
'E_t'     :  'e_t*sigma_f*(1-exp(-eps_ty*y))*(1-k_t*exp(-eps_tx*x))',
'R'       :  'L*P*(-1+exp(eps_ry*y))*exp(-eps_rz*z)*(1-sigma_f*k_r*(1-exp(-eps_rx*x)))',
'sigma_f' :  '1 -exp(-eps_f*x)',
'F3'      :  'G_z-D_z-C_z',
'G_z'     :  'alpha_z*D',
'D_z'     :  'beta_z*(-1+exp(eps_dz*z))',
'C_z'     :  '0.1*C',
'T'       :  '(1-M_d)*N_y',
'F4'      :  'T-MD+S-Tu',
'F4bis'   :  'T+S-Tu',
'MD'      :  'M_d*N_d',
'S'       :  'Sprime*N_d',
'Tu'      :  'Tprime/t_t',
'F5'      :  'N-MY-T',
'N'       :  'gamma*P_k*N_d',
'MY'      :  'M_d*N_y',
```

```

'F6'      : 'F_wd',
#'M_d'     : 'a_md+b_md*exp(-c_md*(w_d))', #originale
'M_d'     : 'a_md+b_md*exp(-c_md*(w_d-w_max))',
'P_k'     : 'a_pk-b_pk*exp(-c_pk*F_u)+d_pk*log(g_pk*w_d)',
'F_wd'    : 'a_wd-b_wd*exp(-c_wd*F_u)+d_wd*w_d*(1.-(w_d/w_max))-
g_wd*(1./(1.-m))*P_k',
'R_1c'    : 'beta_c*p1 * (-Sprime * N_d * (w_d*rm) + 0.4*(1-gamma)*P_k *
N_d * w_y)',
'C_1f'    : 'beta_f*(f_F*F_eat)',
'C_1e'    : 'beta_e*(E1*(N_d+N_y))',
'C_1a'    : 'beta_a*(A1*(N_d+N_y))',
'R_2c'    : 'beta_c*p2*(r_2c*f_c*Aprime)',
'R_2f'    : 'beta_f * (r_2f*(1-f_c-f_b)*Aprime)',
'R_2e'    : 'beta_e * (r_2e*f_b*Aprime)',
'C_2e'    : 'beta_e * (c_2e*Aprime)',
'C_2a'    : 'beta_a * (c_2a*Aprime)',
'C_3c'    : 'beta_c * (c_3c*Tprime)',
'R_3d'    : 'r_3d * Tprime',
'C_3e'    : 'beta_e * (c_3e*Tprime)',
'C_3a'    : 'beta_a * (c_3a*Tprime)',
'Pi'      : 'R_1c+R_2c+R_2f+R_2e+R_3d-C_1f-C_1e-C_1a-C_2e-C_2a-C_3c-C_3e-
C_3a',
'C1'      : 'C_1f+C_1e+C_1a',
'C2'      : 'C_2e+C_2a',
'C3'      : 'C_3c+C_3e+C_3a',
'R1'      : 'R_1c',
'R2'      : 'R_2c+R_2f+R_2e',
'R3'      : 'R_3d',
'Pi1'     : 'R1-C1',
'Pi2'     : 'R2-C2',
'Pi3'     : 'R3-C3',
#costi energia ed acqua
'Cw'      : 'C_1a+C_2a+C_3a',
'Cw_a'    : 'C_1a+C_2a',
'Ce'      : 'C_1e+C_2e+C_3e',
'Ce_a'    : 'C_1e+C_2e',
'AprimeM1' : '(Cw_max - A1 * (N_d +N_y)) / c_2a',
'AprimeM2' : '(Ce_max - E1 * (N_d +N_y)) / c_2e',
'AprimeM3' : 'A_w',
'TprimeM1' : '0.2*t_t*N_d',
#variabile di servizio
'pro'     : 'K*1.+be_cap+Cw_max+TprimeM2+Tprimem+Aprimem',
}
fun_defaults={
#condizioni iniziali
'x'       : 0.08,
'y'       : 80.,
'z'       : 0.08,
'N_d'     : 20.,
'N_y'     : 10.,
'w_d'     : 30.,
'K'       : 2000.,
'Aprime'  : 500.,
'Sprime'  : 0.,
'Tprime'  : 0.,
#deserto
'P'       : 160., # mm # active rain
'A_w'     : 25.*10000., # superficie allo stato naturale
# disponibilita' massima acqua ed energia all'anno
'Cw_max'  : 20000., #7000., # [m3 y-1] consumo massimo ammissibile di
acqua
'Ce_max'  : 3000., #3500., # [kWh y-1] consumo massimo ammissibile di
energia

```

```

#
'alpha' : 0.60,      # kg/(m**2*year) # maximum growth rate',
'eps_gx' : 1./0.08, # m**2/kg # exponential attenuation coefficients'
'eps_dx' : 1./0.08, # m**2/kg # exponential attenuation coefficients'
'eps_gy' : 2.2/100.,
'eps_dy' : 1./100.,
'beta' : 0.040,
'e_v' : 1000.,
'eps_f' : 10.,
'k_v' : 0.4,
'e_t' : 600.,
'L' : 0.02,
'k_t' : 1.,
'k_r' : 0.2,
'eps_vx' : .2/0.08,
'eps_tx' : 1.0/0.08,
'eps_rx' : 0.4/0.08,
'eps_vy' : 1./100.,
'eps_ty' : 1./100.,
'eps_ry' : 2./100.,
'eps_vz' : 0.8/0.08,
'eps_rz' : 0.5/0.08,
'eps_dz' : 1.0/0.08,
'alpha_z' : 0.5,
'beta_z' : 0.04,
# nuove
'rho' : .5,          # frazione edibile della biomassa prodotta
'f_F' : 0.2,         # frazione di mangime acquistato
#pascolamento
'a_md' : 4.62E-2,
'b_md' : 2.82197E-5,
'c_md' : 0.400066,
'gamma' : 0.5,
'a_pk' : -3.32223,
'b_pk' : 0.32056,
'c_pk' : 1.251E-3,
'd_pk' : 1.2136,
'g_pk' : 1.,
'w_max' : 50.,
'a_wd' : 1.7306,
'b_wd' : 48.052,
'c_wd' : 1.921E-3,
'd_wd' : 1.97412,
'g_wd' : 6.32188,
'a_fed' : 455.49,
'b_fed' : 316.215,
'c_fed' : 1.362E-3,
'd_fed' : 42.3836,
'a_fey' : 455.49,
'b_fey' : 316.215,
'c_fey' : 1.362E-3,
# appoggio
'F_buy' : 0.,
#economico
'beta_c' : 3.560E-4,
'beta_f' : 0.9,
'beta_e' : 1.125,
'beta_a' : 1.5,
'be_cap' : 400.,
'p1' : 36000.,
'w_y' : 3.,
'E1' : 0.22,
'A1' : 1.99,

```

```

    'p2'      : 3600.,
    'r_2c'    : 2.*0.46, #rendimento in prodotto fornita la biomassa epigea
    'r_2f'    : 1.3,
    'r_2e'    : 1.3,
    'c_2e'    : 0.14,
    'c_2a'    : 0.6,
    'r_3d'    : 15.,
    'c_3c'    : 8000.,
    'c_3e'    : 0.01,
    'c_3a'    : 0.04,
    'rm'      : 0.4, # resa al macello della carne ovina
    't_t'     : 10., #numero di turisti sfamati da una pecora
# A' puo' produrre alimenti/biomassa/foraggio
# f_c+f_b+f_f=1 -->f_f=1-f_c-f_b
    'f_c'     : 0.8, #frazione di coltivo ad uso alimentare
    'f_b'     : 0., #frazione di coltivo per produzione biomassa
# limiti di ottimizzazione
    'TprimeM2': 1000.,
    'Tprimem' : 0.,
    'Aprimem' : 500.,
}

n_years=200
n_steps=36
ds=Class_DG.dyn_sys(n_years,n_steps,fun_set,fun_defaults)

def ftomin(x):
    ds['Aprime'],ds['Tprime'],ds['Sprime']=x.tolist()
    return -ds['Pi',ds._current]

def solve():
    x=[ds.Aprime[0],ds.Tprime[0],ds.Sprime[0]]

    for i in xrange(ds.size-1):
        if i>0:
            ds.F_buy[i] = ds.f_F[i]*ds.F_eat[i]
            ds.x[i + 1] =ds.x[i] + ds.deltat*( ds('F1',i) )
            ds.y[i + 1] =ds.y[i] + ds.deltat*( ds('F2',i) )
            ds.z[i + 1] =ds.z[i] + ds.deltat*( ds('F3',i) )
        if i>=0:
            if ds.N_d[i]<=1.:
                ds.N_d[i + 1] =0.+ ds.deltat*(ds('F4bis',i))
                Sp_min=-(ds.T[i]-ds.Tu[i])/(ds.N_d[i]+1.)
                if ds.N_y[i]<=1.:
                    ds.N_y[i + 1]=0.
                else:
                    ds.N_y[i + 1] =ds.N_y[i] + ds.deltat*(ds('F5',i))
            else:
                ds.N_d[i + 1] =ds.N_d[i] + ds.deltat*( ds('F4',i) )
                Sp_min=-(ds.T[i]-ds.MD[i]-ds.Tu[i])/(ds.N_d[i]+1.)
                if ds.N_y[i]<=1.:
                    ds.N_y[i + 1] =0.
                else:
                    ds.N_y[i + 1] =ds.N_y[i] + ds.deltat*(ds('F5',i))
            ds.w_d[i + 1]=ds.w_d[i] + ds.deltat*( ds('F6',i))

    ds.K[i+1]=ds.K[i]+ ds.deltat*(ds('Pi',i))
    if ds.K[i]<=0.:
        Sp_max = 0.
    else:
        Sp_max = ds.K[i]/(ds.be_cap[i]*(ds.N_d[i]+1.))

    if ds.x[i+1]<0.:

```

```

        ds.x[i+1]=0.
    if ds.N_d[i+1]<0.:
        ds.N_d[i+1]=0.
    if ds.N_y[i+1]<0.:
        ds.N_y[i+1]=0.
    if ds.w_d[i+1]<=0.:
        ds.w_d[i+1]=1.001

    ds('C1',i)
    ds('C2',i)
    ds('C3',i)
    ds('R1',i)
    ds('R2',i)
    ds('R3',i)
    ds('Pi1',i)
    ds('Pi2',i)
    ds('Pi3',i)
    ds('Cw',i)
    ds('Cw_a',i)
    ds('Ce',i)
    ds('Ce_a',i)
    ds('AprimeM1',i)
    ds('AprimeM2',i)
    ds('AprimeM3',i)
    ds('TprimeM1',i)

    if i%(ds.n_steps)==0 and i>n_steps:
        if Sp_min>Sp_max:
            Sp_min=Sp_max
        if Sp_min<-1.:
            Sp_min=-1.

    bounds=[(ds['AprimeM'],p.min(ds['AprimeM1'],ds['AprimeM2'],ds['AprimeM3'])),
             ((ds['TprimeM']),p.min(ds['TprimeM1'],ds['TprimeM2'])),(Sp_min,Sp_max)]
    x,f,d=optimize.fmin_l_bfgs_b(ftomin,x,bounds=bounds,approx_grad=True)
    ds.Aprime[i+1:i+1+ds.n_steps]=x[0]
    ds.Tprime[i+1:i+1+ds.n_steps]=x[1]
    ds.Sprime[i+1:i+1+ds.n_steps]=x[2]
    if d['warnflag']>0:
        print f,d
        raise "Warning the optimization doesn't work"

    ds('F1', -1)
    ds('F2', -1)
    ds('F3', -1)
    ds('F4', -1)
    ds('F4bis', -1)
    ds('F5', -1)
    ds('F6', -1)

```

File Class_DGH.py

```

# Classe di supporto per la risoluzione del modello DGH
# versione 1.0 - 2007 - Riccardo De Maria e Sara Da Canal

from numpy import zeros,exp,log,arange,all
global_fun={'exp': exp,'log': log, 'all': all, 'abs': abs}

class dyn_sys(object):
    def __init__(self,n_years,n_steps,fun_set,fun_defaults):
        dyn_sys.__setattr__=object.__setattr__

```

```

self.n_years=n_years
self.n_steps=n_steps
self.deltat=1/float(n_steps)
self.t=arange(0,n_years,self.deltat)
self.size=n_years*n_steps
self.fun_set=fun_set
self.fun_defaults=fun_defaults
self._find_dep()
self._find_fun_deps()
self._find_fun_deps_rec()
self._debug=False
for i in self._names :
    setattr(self,i,zeros(self.size, dtype=float))
self._current=None
dyn_sys.__setattr__=dyn_sys._mysetattr
for i,v in self.fun_defaults.items():
    setattr(self,i,v)

def copy(self):
    return dyn_sys(self.n_years,self.n_steps,self.fun_set,self.fun_defaults)

def _find_dep(self):
    self._fw_deps={}
    self._bw_deps={}
    self._fun_code={}
    self._fun_deps={}
    self._names=set()
    for i in self.fun_set:
        self._names.add(i)
        code_str=self.fun_set[i]
        self._fun_code[i]=compile(code_str,i,'eval')
        for j in self._fun_code[i].co_names:
            if j not in global_fun:
                self._names.add(j)
                self._fw_deps.setdefault(i, []).append(j)
                self._bw_deps.setdefault(j, []).append(i)
            if i in self.fun_set and j in self.fun_set:
                self._fun_deps.setdefault(i, []).append(j)

def _find_fun_deps(self):
    self._fun_deps={}
    for i in self._fw_deps:
        if i in self.fun_set:
            for j in self._fw_deps[i]:
                if j in self.fun_set:
                    self._fun_deps.setdefault(i, []).append(j)

def _find_fun_deps_rec_1(self,fun,out):
    out.append(fun)
    if fun in self._fun_deps:
        dfs=self._fun_deps[fun]
        for i in dfs:
            self._find_fun_deps_rec_1(i,out)
    return out

def _find_fun_deps_rec(self):
    self._fun_deps_rec={}
    for fun in self._fw_deps:
        self._fun_deps_rec[fun]=[fun]
    for fun in self._fun_deps:
        out=self._find_fun_deps_rec_1(fun, [])
        out.reverse()

```

```

        out1=[]
        for i in out:
            if i not in out1:
                out1.append(i)
        self._fun_deps_rec[fun]=out1

def __getitem__(self,k):
    if k in self._names :
        if self._current is None:
            return getattr(self,k)
        else:
            return getattr(self,k)[self._current]
    else:
        raise KeyError

def __add__(self,other):
    res=self.copy()
    res._current=None
    self._current=None
    other._current=None
    if hasattr(other,'_names'):
        for k in self._names:
            res[k]=self[k]+other[k]
    else:
        for k in self._names:
            res[k]=self[k]+other
    return res

def __div__(self,other):
    res=self.copy()
    res._current=None
    self._current=None
    other._current=None
    if hasattr(other,'_names'):
        for k in self._names:
            res[k]=self[k]/other[k]
    else:
        for k in self._names:
            res[k]=self[k]/other
    return res

def __mul__(self,other):
    res=self.copy()
    res._current=None
    self._current=None
    other._current=None
    if hasattr(other,'_names'):
        for k in self._names:
            res[k]=self[k]*other[k]
    else:
        for k in self._names:
            res[k]=self[k]*other
    return res

def __setitem__(self,k,v):
    if k in self._names :
        if self._current is None:
            getattr(self,k)[:]=v
        else:
            getattr(self,k)[self._current]=v
    else:
        raise KeyError

```

```

def _mysetattr(self,k,v):
    if k in self._names:
        self._current=None
        self[k]=v
    else:
#         print 'Warning: %s not in equations' %k
        object.__setattr__(self,k,v)

def _eval_fun(self,fun,n):
    self._current=n
    for f in self._fun_deps_rec[fun]:
#         print 'eval %s' %f
        self[f]=eval(self._fun_code[f],global_fun,self)
        if self._debug:
            print 'eval %s, %e' %(f,self[f])
    return self[fun]

__call__=_eval_fun

def info(self,name):
    if name in self._names:
        print name
        if name in self.fun_set:
            print 'function is :          %s' % self.fun_set[name]
        if name in self.fun_defaults:
            print 'default value is:      %s' % self.fun_defaults[name]
        if name in self._fw_deps:
            print 'depends directly on:      '+ ', '.join(self._fw_deps[name])
        if name in self._fun_deps_rec:
            print 'depends on          functions:          ' + ' ',
            print '.join(self._fun_deps_rec[name])
        if name in self._bw_deps:
            print 'is used by:          ' + ' ', '.join(self._bw_deps[name])
        else:
            print 'name not found'
        print

def info_all(self):
    for i in self._names:
        self.info(i)

```

BIBLIOGRAFIA

- Anderies J.M.: Culture, Economic Structure and the dynamics of ecological economic system in *Mathematics*, British Columbia, 1998.
- Ares J.O.: System valuing of natural capital and investment in extensive pastoral system: lesson from the Patagonia case, *Ecological Economics*, 62, pp.162-173, 2007.
- Bischi G., Italo, Carini R., Gradini L. and Tenti P.: Sistemi dinamici e caos deterministico, *Lettera Matematica Pristem*, 47, 2003.
- Border K.C.: Notes on topics in mathematics and mathematical economics, Los Angeles, <http://www.hss.caltech.edu/~kcb/Notes.shtml>, 2001-2007.
- Borjigin G.: Inner Mongolian Environment Threatened, Nomads Forced To Move, Suthern Monglian Human Rights Information Center, 2005.
- Byrd R.H., Lu P. and Nocedal J.: A Limited Memory Algorithm for Bound Constrained Optimization, *SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing*, 16, pp.1190-1208, 1995.
- ChineseAcademyofSciences, *Vegetation Atlas of China 1:1000000* (Sciences Press, Beijing, China, 2001).
- Coiante D., *Le nuove fonti di energia rinnovabile: tecnologie, costi e prospettive* (Franco Angeli s.r.l., Milano, 2004).
- Costanza R., Cumberland J., Daly H., Goodland R. and Norgaard R., *An introduction to Ecological Economics* (CRC Press, 1997).
- Dharmananda S.: CISTANCHE and Endangered Species Issues Affecting the Herb Supply, Institute for Traditional Medicine, Portland, <http://www.itmonline.org/arts/cistanche.htm>.
- Ding Z., Sun J., Rutter N.W., Rokosh D. and Liu T.: Changes in Sand Content of Loess Deposits along a North–South Transect of the Chinese Loess Plateau and the Implications for Desert Variations, *Quaternary Research*, 52, pp.56-62, 1999.
- El Beltagy A., "Land Degradation: A Global and Regional Problem," in *On the Threshold: the United Nation and Global Governance in the New Millennium*, (United Nations University, Tokyo, 2000).
- Ellis J.E. and Swift D.M.: Stability of African pastoral ecosystem:alternate parasigms and implications for development, *Journal of Range Management*, 41, pp.450-459, 1988.
- FAO: Food Outlook (GIEWS) - 2, AH876/E, 2007.

- Feng Q., Cheng G.D. and Masao M.K.: Tends of water resource development and utilization in arid north-west China *Environmental Geology*, 38(8), pp.831-838, 1999.
- Fernandez Gimenez M.E. and Allen Diaz B.: Testing a non-equilibrium model of rangeland vegetation dynamics in Mongolia, *Journal of applied Ecology*, 36, pp.871-885, 1999.
- Ferziger J.H. and Peric M., *Computational Methods for Fluid Dynamics* (2002).
- Gao T., Yu X., Ma Q., Li H., Li X. and Si Y.: Climatology and trends of the temporal and spatial distribution of sandstorms in Inner Mongolia, *Water, Air, and Soil Pollution*, 3, pp.51-66, 2003.
- Goodland R., Daly H.E. and El Seraty S., *Population, Technology and Lifestyle: The Transition To Sustainability* (International Bank for Reconstruction and Development and UNESCO, 1992).
- Han Y., Wang K., Zhang R., Yao Y. and Fan C.: Study on the Transpiration Eco-physiological Characteristics of degenerated *Haloxylon ammodendron* in Jilantai, *Acta Agrestia Sinica*, 10(1), 2002.
- Hein L.: The impacts of grazing and rainfall variability on the dynamics of a Sahelian rangeland, *Journal of Arid Environments*, 64, pp.488-504, 2006.
- Huang J., Wang J., Blanke A., Hang Q. and Rozelle S.: The Development, Challenges and Management of Groundwater in Rural China, G. G. i. Asia, ed. http://www.waterandfood.org/gga/Lecture%20Material/JWang_Development.pdf, 2004.
- Huang Z., Zhang X., G. Z. and Y. G.: Influence of light, temperature, salinity and storage on seed germination of *Haloxylon ammodendron*, *Journal of Arid Environments*, 55, pp.453-464, 2003.
- IEA: Developing China's Natural Gas Market. The Energy Policy Challenges, 2002.
- Komatsu Y., Tsunekawa A. and Ju H.: Evaluation of agriculture sustainability based on human carrying capacity in drylands - a case study in rural villages in Inner Mongolia, China, *Agriculture Ecosystems & Environment*, 108, pp.29-43, 2005.
- Li S.G., Harazono Y., Oikawa T., Zhao H.L., He Z.Y. and Chang X.L.: Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia, *Agricultural and Forest Meteorology*, 102, pp.125-137, 2000.
- Li Y. and Ji J., "Framework of a Regional Impacts Assessment Model and Its Application on Arid/Semi-Arid Region," in *International Environmental Modelling and Software Society*, (2002).
- Lise W., Hesse S. and Purev B.: Pastureland degradation and poverty among herders in Mongolia: data analysis and game estimation, *Ecological Economics*, 58, pp.386-401, 2006.

- Liu F.M., Wu Y.Q., Su J.P. and Du M.W.: Effect of water stress on Haloxylon ammodendron seedlings in the desert region of Heihe inland river watershed, Gansu Province, China, *Journal of Forestry Research*, 14(3), pp.197-201, 2003.
- Lotka A.J., "Contribution to the energetics of evolution," in *National accademie Science (USA* 8, 1922), pp. 147-151.
- Ma Q., Wang J., Ji Y. and Liu H.: Photosynthesis-physiological characteristics of Haloxylon ammodendron under different soil moisture grades, *Acta Bot. Boreal Occident Sin.*, 2003.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. and Behrens W.W., *The Limits to Growth* (Universe Book, New York, 1972).
- Muna G.E.D. and Tianyou L.: Integrated Geophysical Interpretation in Xi'ling Depression (Bayanhaote Basin), Inner Mongolia, *North China Journal of Applied Sciences*, 4(2), pp.257-261, 2004.
- NCDC: NCDC Data/Product Selection Matrix, <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/dataset.html>.
- OMAFRA: Growing Degree Days in Ontario - A Description, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs of Ontario, 1993.
- Peixoto J.P. and Oort A.H.: The Climatology of Relative Humidity in the Atmosphere, *American Meteorological Society*, 9, pp.3443-3463, 1996.
- Plant of China, <http://www.plant.ac.cn/>.
- Pyankov V.I., Gunin P.D., S. T. and Black C.C.: C4 plants in the vegetation of Mongolia: their natural occurrence and geographical distribution in relation to climate, *Oecologia*, 123, pp.15-31, 2000.
- Python Programming Language -- Official Website, <http://www.python.org/>.
- Qiang J., Gong L., Yang J. and Pan X.: Interaction Between the Process of Photosynthetic Physiological Ecology of Haloxylon ammodendron and Xeric Environment *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 19(4), 2005.
- Regional Master Plan for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms in Northeast Asia, Document of Asian Development Bank, <http://www.adb.org/Documents/Books/dust-and-sandstorm/default.asp>, 2005.
- RegioneLombardia: Valorizzazione delle carni caprine e dei prodotti trasformati, 2003.
- Richardson F.D., Hahn B.D. and Hoffman M.T.: On the dynamics of grazing systems in the semi-arid succulent Karoo: The relevance of equilibrium and non-equilibrium concepts to sustainability of semi-arid pastoral systems, *Ecological Modelling*, 187, pp.491-512, 2005.
- Se.S.I.R.C.A.: "Guida alla concimazione", 2000.

- Shi P. and Xu J.: Deforestation in China, C. U. o. H. Kong, ed.
http://www.usc.cuhk.edu.hk/wk_wzdetails.asp?id=1290.
- Tschirhart J.: General Equilibrium of an Ecosystem, *Journal of Theoretica Biology*, 203(1), pp.13-32, 2000.
- Tsogtbaatar J.: Deforestation and reforestation need in Mongolia, *Forest Ecology and Management*, 201, pp.57-63, 2004.
- Vetter S.: Rangelands at equilibrium and non-equilibrium: recent developments in the debate, *Journal of Arid Environments*, 62, pp.321-341, 2005.
- Wang R.Z.: The C₄ photosynthetic pathways and life form in grassland species from North China, *Photosynthetica*, 40(1), pp.97-102, 2002.
- Wang R.Z.: C₃ and C₄ photosynthetic pathways and life form types for native species from agro-forestry region, Northeastern China, *Photosynthetica*, 43(4), pp.535-549, 2005.
- WorldBank: On a proposed loan in the amount of US\$150 million to the People's Republic of China for a Henan Towns Water Supply and Sanitation Project 2006.
- WWF: Global 200, http://www.nationalgeographic.com/wildworld/profiles/g200_index.html.
- Xue Y.: The impact of desertification in the Mongolian and Inner Mongolian Grassland on the Regional Climate, *American Meteorological Society*, pp.2173-2189, 1996.
- Yu M., Ellis J.E. and Epstein H.E.: Regional Analysis of Climate, Primary Production and Livestock Density in Inner Mongolia, *Journal of Environmental Quality*, 33, pp.1675-1681, 2004.
- Zeng Q., Wang A., Zhao G., Shen S.S.P., Zeng X. and Zeng Q.: Ecological dynamic model of grassland and its practical verification, *Science in China Ser. C Life Sciences*, 48(1), pp.41-48, 2005a.
- Zeng Q. and Zeng X.: An analitical dynamic model of grass fields ecosystem with two variables, *Ecological Modelling*, 85, pp.187-196, 1996.
- Zeng X., Zeng X., Shen S.S.P., Dickenson R.E. and Zeng Q.: Vegetation-soil water interaction within a dynamical ecosystem model of grassland in semi-arid areas, *Tellus*, 57(B), pp.189-202, 2005b.
- Zhang H.C., Peng J.L., Ma Y.Z., Chen G.J., Feng Z.D., Li B., Fan H.F., Chang F.Q., Lei G.L. and Wunnemann B.: Late Quaternary palaeolake levels in Tengger Desert, NW China, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 211 pp.45– 58, 2004.
- Zhang Z.T. and Liu Q.: Rangeland Resources of the Main Pasture Areas in China and Their Development and Utilization, Science and Technology Press of China, 1992.

- Zhao H., Cui J., Zhou R., Zhang T., Zhao X. and Drake S.: Soil properties, crop productivity and irrigation effects on five croplands of Inner Mongolia, *Soil & Tillage Research*, 93, pp.346-355, 2007.
- Zhao S., Li Z. and Li W.: A modified method of ecological footprint calculation and its application, *Ecological Modelling*, 185, pp.65-75, 2005.
- Zhu Z. and Tao W.: Trends of desertification and its rehabilitation China, (22), pp.27-30, 1993.