POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Valutazione qualitativa dell’espansione spaziale e temporale della Prosopis Juliflora in un’area arida nel nord del Kenya

Original
Valutazione qualitativa dell’espansione spaziale e temporale della Prosopis Juliflora in un’area arida nel nord del Kenya / Bigi, V.. - In: BOLLETTINO DELL'ASSOCIAZIONE ITALIANA DI CARTOGRAFIA. - ISSN 0044-9733. - 171:(2021), pp. 37-51.

Availability:
This version is available at: 11583/2956358 since: 2022-02-24T16:54:58Z

Publisher:
EUT Edizioni Università di Trieste

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

26 November 2026

EUT EDIZIONI UNIVERSITÀ DI TRIESTE

Bollettino della ASSOCIAZIONE ITALIANA di CARTOGRAFIA **2021 (171), 37-51**

ISSN 2282-572X (online) ISSN 0044-9733 (print)
http://www.openstarts.units.it/dspace/handle/10077/9933

DOI: 10.13137/2283-6438/33431

Valutazione qualitativa dell'espansione spaziale e temporale della *prosopis juliflora* in un'area arida nel nord del Kenya

Qualitative assessment of spatial and temporal expansion of the prosopis juliflora *in an arid area in northern Kenya*

VELIA BIGI

Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio, Politecnico di Torino; velia.bigi@polito.it

Riassunto

In Kenya, le Terre Aride e Semi-Aride sono gravemente degradate da lunghi periodi di siccità, dai processi di erosione dei suoli e dal sovra sfruttamento dei pascoli. A partire dagli anni Settanta, la ***Prosopis juliflora*** è stata introdotta con l'obiettivo di favorire il rinverdimento di tali aree. Questa pianta è stata scelta per la sua adattabilità a climi a tendenza siccitosa e per la sua rapidità di sviluppo. Tuttavia, a causa di una scarsa gestione e attenzione durante la fase di introduzione della pianta, la diffusione della ***Prosopis juliflora*** è rapidamente sfuggita al controllo delle comunità beneficiarie di tali interventi. L'invasione della ***Prosopis juliflora*** costituisce un serio problema per la biodiversità locale, poiché si sostituisce alle specie palatabili, alterando alcune funzioni eco-sistemiche vitali per le popolazioni dell'area e causando oltretutto ingenti danni economici. Questo studio valuta l'espansione spaziale e temporale della ***Prosopis juliflora*** con un approccio qualitativo in un'area di studio appartenente alla sub-contea di North-Horr. Gli strumenti GIS sono usati in combinazione con le immagini da telerilevamento per ottenere mappe relative all'estensione passata e attuale della ***Prosopis juliflora*** in modo da supportare le comunità locali a prevederne l'espansione e a contrastarla.

Parole chiave

Specie aliene; ***Prosopis juliflora;*** regioni aride; Kenya

Abstract

Arid and Semi-Arid Lands in Kenya are severely degraded by prolonged droughts, soil erosion processes and overgrazing effects. Since the 1970s, the Prosopis juliflora *was introduced in the area for its re-greening potential, in particular its drought-tolerant and fast-growing characteristics. However, due to a lack of preventive management practices, the expansion of* Prosopis juliflora *was rapidly beyond the community's control. This invasive alien species replaces native biodiversity, in particular palatable species, altering ecosystem functions and services and causing significant economic damage.*
This study aims to assess and map the spatial expansion and temporal dynamics of Prosopis juliflora *in selected interest areas in North Horr Sub-County (Marsabit County). GIS instruments are used for combining satellite-derived information. As a result, historical and present expansion maps are obtained. Understanding the processes behind the* Prosopis juliflora *expansion can help the community to predict future areas of invasion and eventually to contrast its increase.*

Keywords

Invasive species; Prosopis juliflora*; Arid and Semi-Arid Lands; Kenya*

1. Introduzione

Grazie alla coordinazione pan-Africana, oggi stiamo assistendo a un imponente sforzo di riforestazione che trova il suo esempio concreto nel progetto della Grande Muraglia Verde del Sahel, che andrà dal Senegal a Djibouti (Goffner et al., 2019). Allo stesso modo, negli anni Settanta e Ottanta numerose politiche di rinverdimento sono state portate avanti in tutto il continente africano con l'obiettivo di arrestare la rapida degradazione dei suoli e la conseguente perdita delle risorse. Tali politiche, promosse dalla FAO (Food and Agriculture Organization) e adottate su scala locale anche da piccoli progetti di cooperazione internazionale (International Council for Research in Agroforestry, 1988; Ng et al., 2016), hanno introdotto nelle regioni aride del Kenya numerose specie aliene. Le scelte fatte in passato hanno fallito nel tener conto della complessità degli impatti ecologici, economici e sociali che l'introduzione di nuove specie comporta. Tra le specie aliene introdotte troviamo la P*rosopis juliflora* (*P. juliflora*), una pianta originaria dell'America Centro-meridionale e dei Caraibi. Si tratta di una pianta azotofissatrice che cresce molto rapidamente e tollera bene condizioni estreme come gli ambienti aridi e i suoli salini (Mwangi, Swallow, 2005). Oltre a contribuire al recupero e alla conservazione del suolo, la *P. juliflora* trova impiego come foraggio per gli animali, materiale da costruzione, produzione di carbone (Shackleton et al., 2014) e infine, come riparo per animali selvatici. Per le sue caratteristiche di versatilità e adattabilità, alla fine degli anni Settanta si è pensato che la *P. juliflora* potesse alleviare il processo di desertificazione e allo stesso tempo fornire beni e servizi utili alle popolazioni rurali di molte aree aride del mondo, e in special modo in Africa (Pasiecznik et al., 2001). Benché si nutrissero molte speranze sul suo utilizzo e sul ruolo che avrebbe potuto giocare nella riabilitazione delle Terre Aride e Semi-Aride (Arid and Semi-Arid Lands o ASALs)[1], questa specie aliena si è rivelata rapidamente come una pianta particolarmente invasiva, che ha progressivamente sostituito le specie indigene palatabili, con conseguenti severi effetti sulla biodiversità, sui servizi eco-sistemici e sull'insieme di usi e abitudini tradizionali locali (Mbaabu et al., 2019; Meyerson et al., 2007; Pimentel et al., 2005). Per le sue particolari caratteristiche la *P. juliflora*, infatti, si distingue per la sua capacità di sopravvivere laddove altri arbusti non riescono a crescere. I periodi siccitosi solitamente rappresentano un ostacolo al naturale sviluppo delle piante dell'area, mentre la *P. juliflora* riesce a superare i periodi di stress idrico rimanendo dormiente fino a condizioni più favorevoli, generando un meccanismo di sovrappopolazione che si traduce in un problema rilevante per l'ecosistema, tanto da essere considerata tra le specie più nocive (Lowe et al., 2000).

La prima documentazione relativa all'introduzione della pianta nel nord del Kenya, in particolare nella zona del Lago Turkana, risale ai primi anni Ottanta, quando la *P. juliflora* è stata introdotta - assieme ad altre piante aliene - nell'ambito di un progetto di sviluppo agroforestale. L'intento principale del progetto era la salvaguardia della vegetazione originaria dallo sfruttamento incontrollato da parte della popolazione locale (International Council for Research in Agroforestry, 1988). I fenomeni di aumento della popolazione e sedentarizzazione, associati a un regime incerto di diritti di proprietà delle terre, infatti, hanno portato all'aumento della pressione sulle risorse naturali e alla loro conseguente degradazione. La lotta alla degradazione delle terre passa anche attraverso il monitoraggio di queste piante aliene, in modo da prevederne la diffusione e contrastarla.

Oggi la *P. juliflora*, che nella lingua locale si chiama *alga roba*, ha invaso anche la contea di Marsabit e in particolare la sub-Contea di North Horr, andando ad aggiungersi ai problemi che già gravano su quest'area, come le frequenti siccità, la crescita demografica e la degradazione dei suoli (Hazard et al., 2018). Del resto, la popolazione di queste aree geografiche è per lo più costituita da comunità di pastori nomadi che basano i propri spostamenti sulla disponibilità delle risorse naturali, i.e. acqua e pascoli. Rispettando le antiche pratiche tradizionali per l'allevamento di cammelli, pecore e capre , i pastori si muovono alla ricerca di pascoli (fora) e di punti di abbeveraggio, che durante le stagioni secche, a causa della scarsità delle risorse,

1 Cfr. Ministero dell'Ambiente del Kenya: http://www.environment.go.ke/?p=5344.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

li vedono costretti a percorrere anche fino a 40 chilometri al giorno per riuscire a soddisfare questi bisogni primari.

In questo contesto, perciò la *P. juliflora* gioca un ruolo determinante sulla vita quotidiana dei pastori, sottraendo spazio essenziale alla vegetazione indigena, ma soprattutto al foraggio del bestiame, che rappresenta l' unica fonte di sostentamento e ricchezza per queste comunità.

Studi precedenti in zone aride dell'Africa hanno contribuito a valutare l'espansione raggiunta dalla *P. juliflora* sul territorio. Lo studio di Meroni et al. (2017) utilizza le immagini satellitari derivate da Landsat 8 per mappare la *P. juliflora* nell'area arida di Hargeisa nel Somaliland. Dallo studio emerge la forte diffusione della pianta, con una copertura totale del 9% dell'area di studio (Meroni et al., 2017).

In Kenya, nello specifico, gli studi si sono concentrati sulle aree del lago Turkana e del Lago Baringo. Lo studio di Ng et al. (2016) analizza la distribuzione della *P. juliflora* nella regione del Turkana basandosi sulle immagini satellitari di Sentinel-2, concludendo che esiste una correlazione tra la presenza di corsi d'acqua e *P. juliflora,* mentre non sembra esistere una relazione con la presenza di centri urbani (Ng et al., 2016). Studi successivi hanno proposto modelli predittivi di distribuzione spaziale della *P. juliflora* nella regione del Turkana (Ng et al., 2018). Lo studio di Masakha, Wegulo (2015), invece, ha analizzato le immagini satellitari dal 1998 al 2012 per valutare la distribuzione spaziale della *P. juliflora* nell'area arida di Salabani, tra il Lago Baringo e il lago Bogoria. Più precisamente, la ricerca indaga i cambiamenti nell'uso del suolo arrivando a constatare che, nell'arco di un decennio, la pianta si è espansa nel 61,8% dell'area, diventando una minaccia per l'ecosistema della zona (Masakha, Wegulo, 2015). Allo stesso modo, Mbaabu et al. (2019) constatano che la *P. juliflora* rappresenta un fattore importante nei cambiamenti di uso del suolo nella zona del lago Baringo, in quanto favorita dal clima locale *in primis*, e dall'assenza di nemici naturali *in secundis*. In particolare, la *P. juliflora* si sostituisce alla classe delle *grasslands* andando così a ridurre la disponibilità di pascoli (Mbaabu et al., 2019).

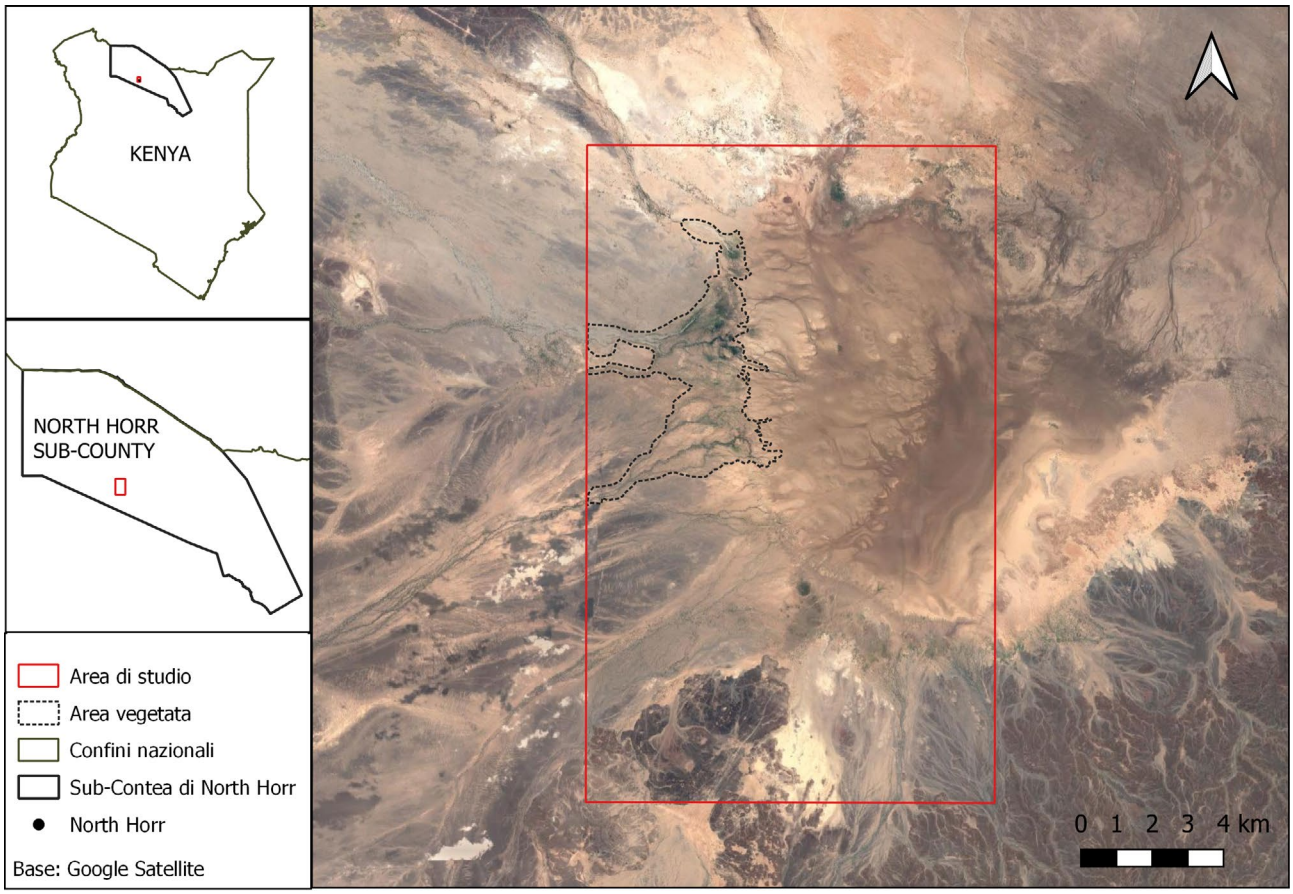
Questa ricerca si inserisce in un progetto di cooperazione internazionale che ha come obiettivo il miglioramento della salute umana, animale e ambientale della sub-Contea di North Horr. In particolare, il progetto cerca di fornire soluzioni basandosi sulla conoscenza e sulle tradizioni locali, ma con il supporto delle tecnologie più moderne, come ad esempio, l'identificazione degli utilizzi del suolo e il tracciamento degli spostamenti del bestiame in base alle stagioni delle piogge attraverso sistemi di mapping interattivo supportato dall'aiuto di staff locale formato *ad hoc*. L'obiettivo di questa specifica ricerca è quello di valutare e mappare l'espansione spaziale e temporale della *P. juliflora* in un'area non ancora investigata, adiacente alla cittadina di North Horr nell'omonima sub-Contea di North-Horr. Nonostante le fonti locali rivelino che l'espansione sia avvenuta maggiormente negli ultimi anni, non si hanno notizie ufficiali a riguardo. Perciò, a partire da diverse fonti di immagini satellitari per il periodo 1984-2020, è stato calcolato il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) al fine di valutare le dinamiche della vegetazione nel tempo, in particolare in un appezzamento di *P. juliflora* di circa 200 km^2 (in base ad osservazioni personali nell'area di studio). Infatti, capire l'evoluzione e l'espansione della *P. juliflora* è fondamentale per stabilire delle pratiche di gestione della pianta a livello locale.

Il resto del documento si sviluppa come segue: nella Sezione 2 si introduce l'area di studio riportando alcune caratteristiche climatiche e ambientali della zona; nella Sezione 3 si illustrano le fonti dei materiali e le caratteristiche tecniche delle immagini satellitari utilizzate per svolgere l'analisi; nella Sezione 4 si presentano i risultati dell'analisi corredati da alcune considerazioni critiche, sviluppate sulla base della letteratura presente sull'argomento e dell'evidenza visiva dei risultati; infine, nella Sezione 5 si presentano le conclusioni.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

2. Area di studio

FIGURA 1 - Figura di inquadramento dell'area di studio



FONTE: Elaborazione dell'autore

L'area di studio si trova nella sub-Contea di North Horr (Contea di Marsabit) nel Nord del Kenya (Lat.: 3°8'56''N, 3°19'55''N – Long.: 37° 0' 46''E, 37°7'19''E) (Figura 1). Nella Figura 1, oltre all'Area di Interesse delimitata dal rettangolo rosso, è riportata con la linea tratteggiata, l'area vegetata osservata presumibilmente costituita da *P. juliflora* (Figura 2) (vedi Sezione 3.1.2).

Quest'area fa parte delle cosiddette ASALs e si trova sul bordo del deserto del Chalbi (435-500 m.s.l.), una depressione con suoli altamente salini che riceve il ruscellamento delle acque proveniente dalle alture circostanti (Ghazanfar, 2007; Government of Kenya, 2012). In questa fascia climatica, le precipitazioni hanno un andamento bimodale (due stagioni delle piogge alternate a due stagioni secche) e un'elevata variabilità in termini di cumulate annuali dovuta all'alternarsi di cicli di periodi umidi e siccitosi (Karanja, Mutua, 2000; Ogalo et al., 2008; Orindi, Ochieng, 2005; Vigna et al., 2020). La variabilità inter-annuale delle precipitazioni è spesso correlata alla presenza di due fenomeni climatici, ossia l'ENSO (El Niño-Southern Oscillation) e lo IOD (Indian Ocean Dipole)[2]: anni di IOD

2 I fenomeni di ENSO e IOD sono caratterizzati da oscillazioni periodiche irregolari (3-7 anni) delle condizioni climatiche e atmosferiche con conseguenze sull'intero pianeta. Tali oscillazioni influenzano la temperatura oceanica, la pressione atmosferica, i venti e le piogge (https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Weather_IT/SEMR91WO1FG_0.html; https://www.climate.gov/

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

e ENSO negativi sono associati a periodi di siccità, mentre anni di IOD e ENSO positivi sono associati a periodi più umidi del normale (Kiflie, Tao, 2020; Nicholson, 2014; Wenhaji Ndomeni et al., 2018).

La vegetazione è quella tipica della savana, prevalentemente costituita da piccoli arbusti o alberi resistenti alle siccità, es. acacie, che si sviluppano maggiormente nelle due stagioni delle piogge: i) la stagione delle piogge lunghe che va da marzo a maggio; ii) e la stagione delle piogge corte che va da settembre a novembre. Di conseguenza quest'ultima stagione limita significativamente le attività pastorizie a periodi piuttosto brevi e concentrati. Inoltre, durante i periodi più siccitosi l'unica vegetazione disponibile raggiunge il livello di arbusto ed è solitamente commestibile solo per cammelli e capre (County Government of Marsabit, 2018).

news-features/blogs/enso/meet-enso%E2%80%99s-neighbor-indian-ocean-dipole).

FIGURA 2 - *Prosopis juliflora*: nell'immagine si notano i rami con le caratteristiche foglie bipennate e le lunghe spine.



FONTE: (Government of Western Australia - Agriculture and Food, 2019)

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

3. Materiali e metodi

3.1 Materiali

3.1.1 Le immagini satellitari

Le immagini satellitari necessarie per le analisi sono stati scaricate da tre tool:

i. LandLook Viewer dell'USGS (United States Geological Survey) disponibile sul sito https://landlook.usgs.gov;
ii. LandViewer della NASA (Agenzia Spaziale degli Stati Uniti) disponibile sul sito https://eos.com/landviewer;
iii. EO Browser dell'ESA (Agenzia Europea per lo Spazio) disponibile sul sito https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/.

Le immagini selezionate sono relative al mese di maggio ossia l'ultimo mese della stagione delle piogge lunghe, mese in cui si presume che la rigogliosità della vegetazione sia al suo picco massimo. Per appurare questa assunzione, le immagini NDVI relative al mese di maggio sono state confrontate con il mese di giugno. Per i periodi 1984-2002 e 2014-2020, in assenza di immagini relative al mese di giugno, queste sono state sostituite con i mesi di aprile o marzo. Infine, la selezione delle immagini satellitari ha tenuto conto di una copertura nuvolosa inferiore al 20% in modo da poter avere un'osservazione completa dell'area. Tale selezione è stata comunque accompagnata da un'analisi visuale dell'immagine al fine di constatare che l'area fosse sgombra da nuvole.

Nell'analisi La serie storica analizzata presenta un buco temporale di una decina di anni dovuta all'impossibilità di reperire immagini satellitari per l'area di studio poiché Landsat 7 ha subito un guasto al Scan Line Corrector (SLC) ed ha registrato immagini viziate da lacune, rendendole di fatto inutilizzabili ai fini della ricerca. Nella Tabella 1 e Tabella 2 sono specificati per ogni anno il satellite e il giorno di riferimento dell'immagine satellitare.

Il giorno marcato con un asterisco corrisponde al giorno scelto per il calcolo dell'immagine NDVI, mentre l'altra immagine è stata utilizzata come immagine di controllo.

TABELLA 1 - Informazioni relative alle immagini satellitari utilizzate nell'analisi per il periodo 1984-2002

FONTE	ANNO	GIORNO/MESE	SATELLITE	SENSORE
LandLook Viewer (USGS)	1984	30-05*	Landsat 5	MSS
		15-06	Landsat 5	MSS
	1988	09-05*	Landsat 5	MSS
		26-06	Landsat 5	MSS
LandViewer (NASA)	1992	18-04	Landsat 5	TM
		20-05*	Landsat 5	TM
	1995	13-05*	Landsat 5	TM
		14-06	Landsat 5	TM
	1997	18-05*	Landsat 5	TM
		19-06	Landsat 5	TM
	1999	24-05*	Landsat 5	TM
		25-06	Landsat 5	TM
	2001	29-05	Landsat 5	TM
		30-06*	Landsat 5	TM
		16-07	Landsat 5	TM
	2002	29-03	Landsat 5	TM
		16-05*	Landsat 5	TM

FONTE: Elaborazione dell'autore

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

TABELLA 2 - Informazioni relative alle immagini satellitari utilizzate nell'analisi per il periodo 2014-2020

FONTE	ANNO	GIORNO/MESE	SATELLITE	SENSORE
EO Browser (ESA)	2014	17-05*	Landsat 8	OLI
		18-06	Landsat 8	OLI
	2015	20-05*	Landsat 8	OLI
		05-06	Landsat 8	OLI
	2016	22-05*	Landsat 8	OLI
		07-06	Landsat 8	OLI
	2017	25-05*	Landsat 8	OLI
		26-06	Landsat 8	OLI
	2018	28-05*	Landsat 8	OLI
		13-06	Landsat 8	OLI
	2019	31-05*	Landsat 8	OLI
		16-06	Landsat 8	OLI
	2020	17-05*	Landsat 8	OLI
		02-06	Landsat 8	OLI

FONTE: Elaborazione dell'autore

3.1.2. Distribuzione della *P. juliflora* nell'area di studio

La scelta dell'area di studio si basa sull'osservazione registrata durante una missione di progetto effettuata nella zona ad agosto 2019. In particolare, l'area vegetata che si snoda lungo tutto il fronte est al confine con il deserto del Chalbi, è stata tracciata sulla base dell'immagine satellitare True Color di Landsat 8 del 16 giugno 2019.

3.2 Metodi

3.2.1 Le bande RED e NIR relativi a ciascun satellite Landsat

I sensori a bordo dei satelliti Landsat sono stati progettati per acquisire dati in diversi range di frequenza lungo lo spettro elettromagnetico. Il sensore Multispectral Scanner (MSS) montato sui Landsat da 1 a 5 raccolgono dati in quattro bande; il sensore Thematic Mapper (TM) a bordo dei Landsat 4 e 5 oltre alle bande sopramenzionate include le bande termiche e a infrarosso vicino. Su Landsat 7, invece, si trova il sensore Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) per la banda pancromatica. A differenza dei precedenti, Landsat 8 raccoglie dati in 11 bande differenti da due sensori separati (Operational Land Imager o OLI e Thermal Infrared Sensor TIRS)[3].

Le bande utilizzate per il calcolo dell'NDVI sono la banda del rosso visibile (RED) e dell'infrarosso vicino (NIR)[4]. Poiché i sensori a bordo dei diversi satelliti differiscono nell'acquisizione dei range di lunghezza d'onda per ciascuna banda, è opportuno riepilogare quali range corrispondono a RED a NIR (Tabella 3).

3 Cfr. USGS. Landsat Band Designations. https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products.

4 Cfr. Earth Observing System. https://eos.com/ndvi/ .

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

TABELLA 3 - Bande RED e NIR e lunghezze d'onda associate per Landsat 5 MSS, Landsat 5 TM e Landsat 8

SATELLITE	SENSORE	RED		NIR	
		banda	*lunghezza d'onda (micrometri)*	*banda*	*lunghezza d'onda (micrometri)*
LANDSAT 5	MSS	B2	0,6-0,7	B4	0,80-1,1
LANDSAT 5	TM	B3	0,63-0,69	B4	0,76-0,90
LANDSAT 8	OLI	B4	0,64-0,67	B5	0,85-0,88

FONTE: Elaborazione dell'autore

3.2.2 L'analisi del Normalized Difference Vegetation Index

Il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) è un semplice indice che, utilizzando la banda rossa del visibile (rosso o RED) e la banda dell'infrarosso vicino (Near InfraRed o NIR), valuta la presenza di vegetazione. I valori dell'indice variano da -1, che indica l'assenza di vegetazione, fino a +1 che invece segnala la presenza di vegetazione sana[5] (Figura 3). L'NDVI è calcolato come segue (Equazione 1):

FIGURA 3 La scala utilizzata per l'NDVI: l'intensità del colore verde è associata alla presenza di vegetazione sana mentre il colore arancione è associato all'assenza di vegetazione



$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

EQUAZIONE 1

FONTE: Elaborazione dell'autore

4. Risultati e discussione

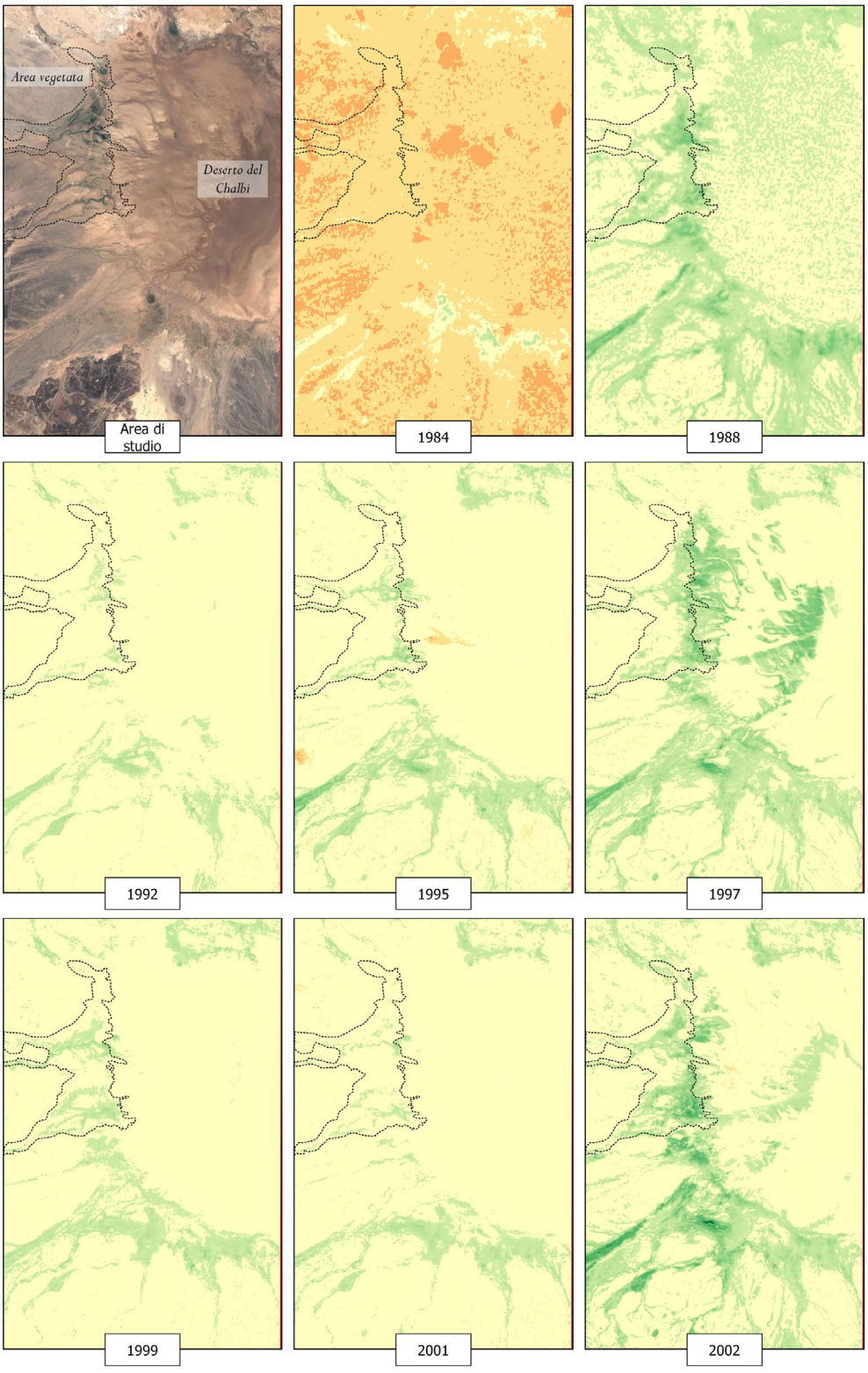
Dal calcolo dell'NDVI per ciascun mese si ottiene una serie di immagini che copre il periodo dal 1984 al 2020 permettendo il monitoraggio dell'espansione della *P. juliflora* nell'area di studio. Le immagini sono suddivise in due serie storiche. La prima, in Figura 3, si riferisce all'espansione della *P. juliflora* dal momento dell'introduzione all'inizio degli anni Ottanta e negli anni immediatamente successivi fino ad arrivare agli inizi degli anni Duemila, dove la sua espansione raggiunge l'estensione spaziale attuale. Nella Figura 4, invece, le immagini si concentrano tra il 2014 e il 2020 permettendo di osservare la distribuzione spaziale della *P. juliflora* negli anni più recenti.

La prima immagine della prima serie dimostra che l'area era nettamente più arida all'inizio degli anni Ottanta, ed è andata via via inverdendosi con il passare degli anni. Infatti, si passa da valori prossimi allo zero con rari punti di vegetazione osservabili nel 1984, a un'ambiente arido ma con punti di vegetazione distribuiti lungo i fiumi con un'intensità variabile nello spazio e nel tempo negli anni successivi. La seconda serie dimostra che il primo decennio del XXI secolo è stato generalmente più umido tanto che la vegetazione è sempre presente, ma con l'incostanza dovuta alla variabilità inter-annuale delle piogge.

5 Cfr. Earth Observatory – NASA, Normalized Difference Vegetation Index. https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

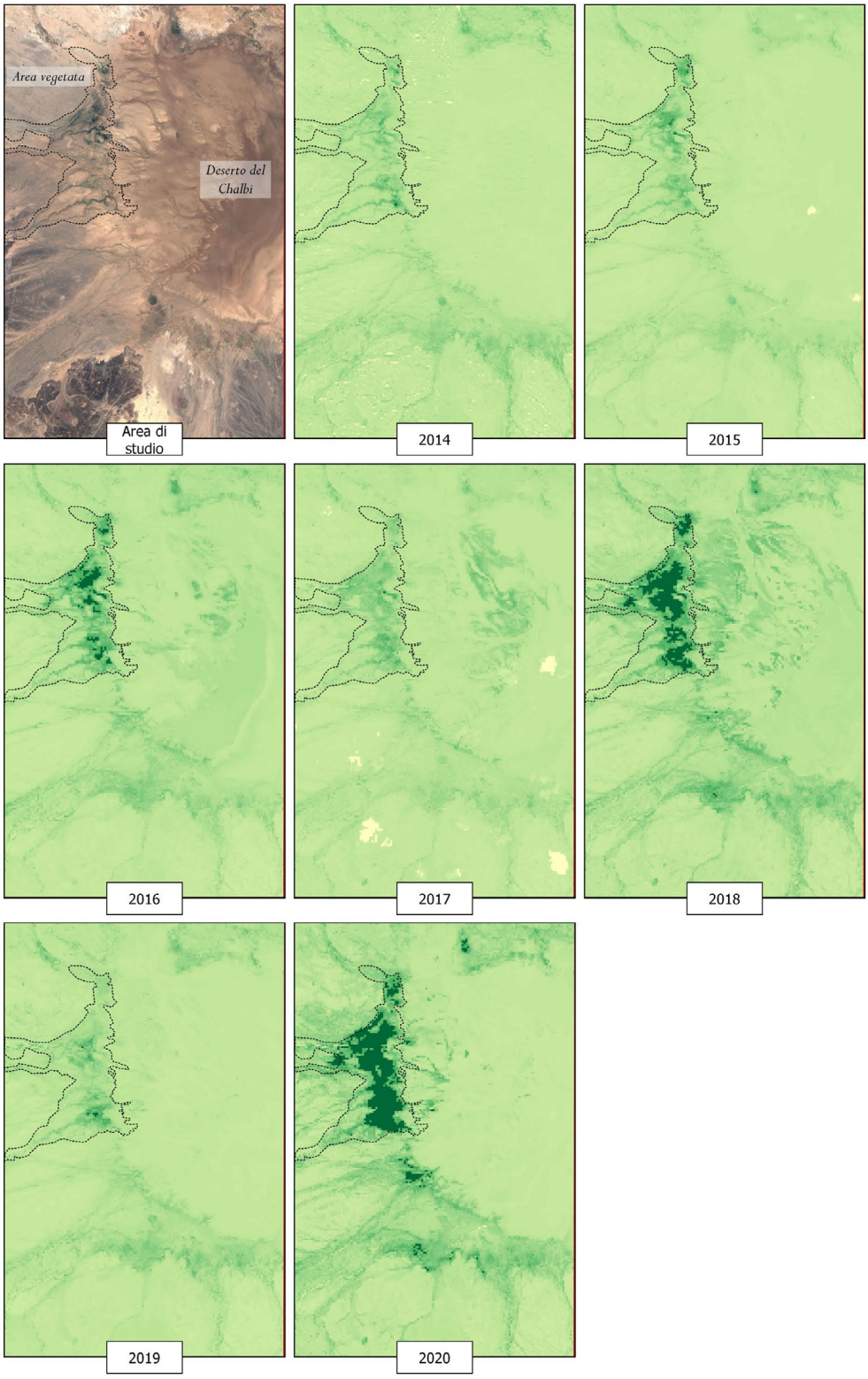
FIGURA 4 - Prima serie NDVI 1984-2002



FONTE: Elaborazione dell'autore

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

FIGURA 5 - Seconda serie NDVI 2014-2020



FONTE: Elaborazione dell'autore

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Come dimostrato dalle immagini NDVI (Figura 4), all'inizio degli anni Ottanta, l'area di studio era una zona arida persino nella stagione delle piogge, tanto che, in un'area vicina al Lago Turkana, anch'essa arida, si è ritenuto necessario rinverdire le aree desertiche attraverso l'introduzione di piante aliene adatte alla sopravvivenza in zone aride. Già alla fine del 1988, la vegetazione si era espansa nell'area, presumibilmente costituita in maggior parte da *P. juliflora*. La densità della vegetazione è stata poi intermittente fino al 2002 (Figura 4). Negli anni Ottanta, infatti, si sono verificati molti periodi siccitosi associati ai fenomeni della Niña (ENSO negativo) e di IOD positivo (vedi Figura 6). Probabilmente questi fenomeni hanno rallentato a più riprese l'espansione della vegetazione per poi prendere definitivamente piede negli anni Duemila (Figura 5), come riportato da testimonianze locali (Salza, 2018). I semi della *P. juliflora*, infatti, rimangono dormienti per molti anni e germinano solo quando si verificano le condizioni necessarie allo sviluppo. In particolare, la germinazione avviene in presenza di alte temperature, tra i 20° e i 40°C, con una temperatura ottimale di 30°C. Le temperature regolano di conseguenza la quantità di acqua necessaria per attivare la germinazione (Ffolliot, Thames, 1983; Miranda et al., 2014). Perciò è probabile che un primo attecchimento sia avvenuto agli inizi degli anni Ottanta, dove solo alcune piante si sono sviluppate fino a una fase matura. Dopodiché, i semi sono rimasti dormienti fino all'instaurarsi di fenomeni di precipitazione prolungati che hanno creato ambienti umidi per periodi più lunghi, così come avvenuto dagli inizi degli anni Novanta in poi. Quando si trovano in suoli altamente salini, infatti, i semi rimangono vitali, ma non germinano fino a che le alte concentrazioni di sale non vengono diluite da abbondanti precipitazioni. In questo modo la *P. juliflora* è riuscita ad adattarsi anche ad ambienti aridi con suoli altamente salini; diversamente lo stress idrico-salino impedirebbero la sua diffusione nell'area (Miranda et al., 2014).

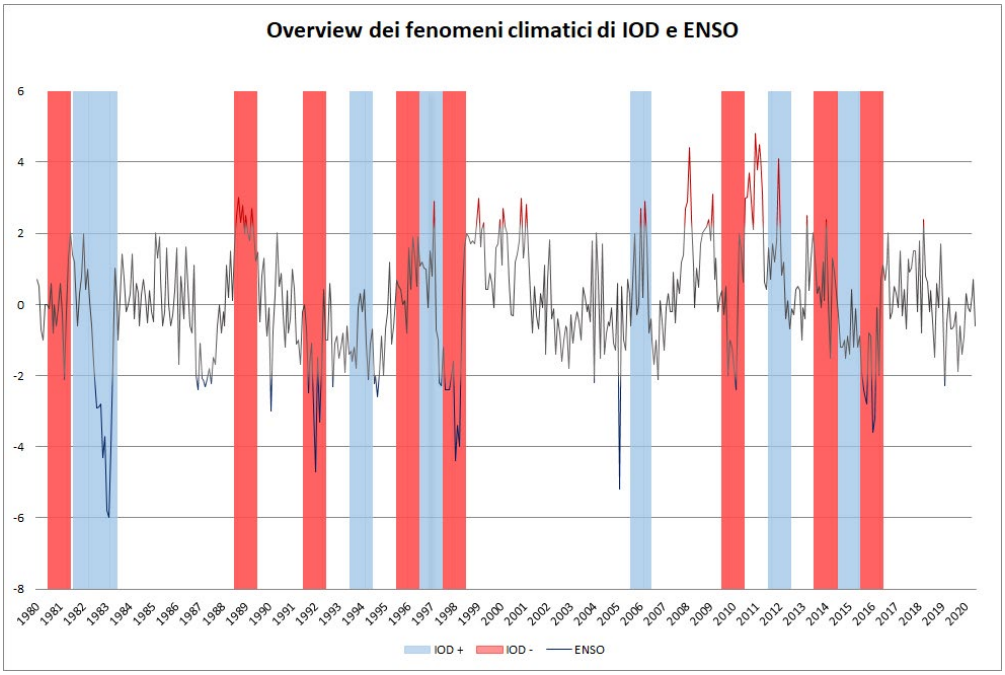


FIGURA 6 - Overview sui fenomeni di ENSO e IOD: le barre verticali corrispondono a eventi di IOD positivo (più siccitosi del normale) e eventi di IOD negativo (più umidi del normale). La linea sfumata corrisponde all'indice del Southern Oscillation Index (SOI) con cui si monitorano gli eventi di ENSO[6]: il grigio corrisponde a condizioni climatiche nella norma, mentre con il colore rosso si identificano condizioni siccitose (valori minori di 1) e con il colore blu condizioni più umide del normale (valori maggiori di 1)

FONTE: Elaborazione dell'autore

6 Le fonti dei dati utilizzate per questa analisi sono, per gli eventi IOD, il Bureau of Meteorology of Australia http://www.bom.gov.au/climate/iod/ e le serie storica mensile SOI NOAA https://www.psl.noaa.gov/data/climateindices/.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Oltre all'influenza generata dai fenomeni climatici, un altro fattore determinante nell'espansione della *P. juliflora* sembra essere rappresentato dalla prossimità di fiumi/bacini idrici o nel caso specifico, dalla presenza di alvei di fiumi temporanei. Ciò che risulta evidente è che la pianta si sviluppa in presenza di condizioni umide, laddove l'acqua è presente anche solo in falda e non necessariamente in superficie. La *P. juliflora* infatti, ha una radice a fittone che raggiunge elevate profondità ed è meno dipendente dalle precipitazioni (Ng et al., 2018). Quindi, una volta che l'apparato radicale è formato esso raggiunge elevate profondità in cerca di acqua, permettendo la sopravvivenza delle piante anche in condizioni di estrema aridità.

5. Conclusioni

Sulla base delle considerazioni proposte nella discussione, la disponibilità di acqua superficiale potrebbe essere il parametro sulla base del quale stimare la diffusione della *P. juliflora* nel prossimo futuro. Infatti, studi dimostrano che i semi della *P. juliflora* hanno bisogno di condizioni umide per passare da una fase dormiente alla fase di germinazione (Ffolliot, Thames, 1983), soprattutto qualora il suolo sia altamente salino (Miranda et al., 2014). Per evitare la riduzione della germinazione a causa delle alte concentrazioni di sale, dunque, le piante crescerebbero solo in condizioni di prolungata umidità in quanto è richiesto un sufficiente livello di idratazione per il successivo allungamento della radichetta (*ibid*.). Tutto ciò può indicare che nell'area di studio, adiacente al deserto del Chalbi, la germinazione e la conseguente crescita della *P. juliflora* possa avvenire solo in prossimità dei fiumi, Infatti, gli alvei dei fiumi costituiscono lo sbocco naturale del deflusso superficiale, mentre nei dintorni il suolo di tipo sabbioso, essendo altamente permeabile, non rimane umido a lungo. L'area vegetata individuata, dunque, potrebbe delimitare già la massima espansione della pianta. Questo perché il deserto del Chalbi funge da ulteriore sbarramento per la diffusione della pianta dato che le concentrazioni saline presenti nei suoli della depressione del Chalbi inibiscono la germinazione dei semi.

Per le caratteristiche sopra menzionate, la *P. juliflora* si è rivelata essere estremamente adattabile, a tal punto da sostituirsi alle specie locali e diffondersi senza controllo in tutto il Corno d'Africa. La sostituzione fisica delle piante non è stata però corredata da una sostituzione delle funzioni che le piante locali svolgevano in passato, come ad esempio è successo per il foraggio. Le spine, ad esempio, impediscono fisicamente l'avvicinamento degli animali alla pianta. Altri problemi sono legati alla salute stessa dell'animale, poichè le fibre contenute nei baccelli rimangono incastrate nelle mascelle ostacolando la masticazione, oltre al fatto che queste possono accumularsi nel rumine creando occasionalmente dei blocchi intestinali (Maundu et al., 2009). Quindi, ad oggi, la diffusione della *P. juliflora* è ritenuta una grave minaccia da parte delle popolazioni che vivono in queste aree. Nonostante il problema sia reale e particolarmente sentito, a causa di limiti tecnico-economici e di un'impasse politica, l'eradicazione della *P. juliflora* non è ancora considerata un'azione prioritaria da parte del Governo keniano. Difatti nel 2018, il governo ha fatto divieto di taglio delle foreste pubbliche, comprese le aree infestate da *P. juliflora*[7] bloccando così le iniziative di rimozione della pianta.

Questo fa sì che il contenimento della diffusione della *P. juliflora* diventi ancora più importante. Per questo motivo, è necessario conoscere la distribuzione della pianta per prevederne l'espansione e contrastarla. In tal senso, questo studio contribuisce a mappare la *P. juliflora* in una piccola area nei pressi della cittadina di North Horr. Bisogna evidenziare, tuttavia, che si tratta di uno studio esplorativo che risponde alla domanda di ricerca proposta solo dal punto di vista qualitativo. Benché le testimonianze locali affermino che l'area identificata dapprima desertica sia stata colonizzata dalla *P. juliflora*, al momento di questo studio non abbiamo la certezza che l'area vegetata possa essere stata costituita, seppur in misura minore, anche da altre specie vegetali. I prossimi studi potrebbero essere rivolti all'accertamento di questo aspetto, nonché alla definizione quantitativa dell'espansione spaziale nel tempo.

7 https://news.mongabay.com/2018/10/kenyan-charcoal-businesses-trying-to-nip-invasive-tree-in-the-bud/ Center for International Forestry Research. https://www.cifor.org/publications/pdf_files/infobrief/7719-infobrie.pdf.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Ringraziamenti

Questo studio è stato condotto nell'ambito di un progetto di Cooperazione Internazionale "One Health". Si ringrazia il Comitato di Collaborazione Medica (capofila di progetto) e gli altri partner di progetto (Translate into Meaning, Vétérinaires sans Frontiers-Germany e Politecnico di Torino) per il supporto. Un ringraziamento particolare va alla prof.ssa Elena Comino per i preziosi consigli forniti per la stesura del lavoro.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

Bibliografia

County Government of Marsabit (2018), *Second County Integrated Development Plan 2018-2022*, Kenya, (https://repository.kippra.or.ke/handle/123456789/90).

Ffolliot P. F., Thames J. L. (1983), "Collection, handling, storage and pre-treatment of Prosopis seeds in Latin America", *Food and Agriculture Organization of the United Nations Collections,* Roma.

Ghazanfar S. A. (2007), "Saline and alkaline vegetation of NE Africa and the Arabian peninsula: An overview", in Öztürk M., Waisel Y., Khan M.A., Görk G. (Eds) *Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants*, Birkhäuser, Basel, pp. 101–108. DOI:10.1007/3-7643-7610-4_11.

Goffner D., Sinare H., Gordon L. J. (2019), "The Great Green Wall for the Sahara and the Sahel Initiative as an opportunity to enhance resilience in Sahelian landscapes and livelihoods", *Regional Environmental Change*, 19(5), pp. 1417–1428. DOI: 10.1007/S10113-019-01481-Z/FIGURES/3.

Government of Kenya (2012), *Vision 2030 Development Strategy for Northern Kenya and other Arid Lands,* Kenya, (https://repository.kippra.or.ke/handle/123456789/530).

Government of Western Australia - Agriculture and Food (2019), "Mesquite: declared pest", (https://www.Agric.Wa.Gov.Au/Declared-Plants/Mesquite-Declared-Pest, accesso: 03/12/2021).

Hazard B., Adongo C., Wario A., Ledant M. (2018), "Comprehensive study of pastoral livelihoods , WASH and natural resource managment in Northern Marsabit", *Research Report IFRA*, Nairobi, Kenya.

International Council for Research in Agroforestry (1988), *Agroforestry Development in Kenya*, in Atti del Convegno Second Kenya National Seminar on Agroforestry, ICRAF, Nairobi, Kenya.

Karanja F. K., Mutua F. M. (2000), "Reducing the impact of environmental emergencies through Early Warning and preparedness. The case of el Niño-Southern Oscillation (ENSO)", *Report of UNFIP, UNEP, NCAR, WMO, IDNDR,UNU,* Nairobi, Kenya.

Kiflie K. A., Tao L. (2020), "Opposite Effects of ENSO on the Rainfall over the Northern and Equatorial Great Horn of Africa and Possible Causes", *Advances in Meteorology,* 2020. DOI: 10.1155/2020/9028523.

Lowe S., Browne M., Boudjelas S., De Poorter M (2000), "100 of the world's worst invasive alien species A selection from the global invasive species database", *The Invasive Species Specialist Group (ISSG) of the World Conservation Union (IUCN).*

Masakha E. J., Wegulo F. N., (2015), "Impacts of Prosopis Juliflora on Land Use and Ecology of Salabani Location, Marigat District, Baringo County, Kenya", *Journal of Environment and Earth Science*, 5, pp. 17-23.

Maundu P., Kibet S., Morimoto Y., Imbumi M., Adeka R., (2009), "Impact of prosopis juliflora on Kenya's semi-arid and arid ecosystems and local livelihoods", *Biodiversity*, 10 (2-3), pp. 33–50. DOI:10.1080/14888386.2009.9712842.

Mbaabu P. R., Ng W., Schaffner U., Gichaba M., Olago D., Choge S., Oriaso S., Eckert S., (2019), "Spatial Evolution of Prosopis Invasion and its Effects", *Remote Sensing*, 11 (10), pp. 1–24. DOI: 10.3390/rs11101217.

Meroni M., Ng W. T., Rembold F., Leonardi U., Atzberger C., Gadain H., Shaiye M., (2017), "Mapping Prosopis juliflora in West Somaliland with Landsat 8 Satellite Imagery and Ground Information", *Land Degradation and Development*, 28 (2), pp 494–506. DOI: 10.1002/ldr.2611.

Meyerson L. A., Mooney H. A., Meyerson L. A., Mooney H. A., (2007), "Invasive Alien Species", *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(4), pp. 199–208. DOI:10.1890/1540-9295(2007)5[199:IASIAE]2.0.CO;2.

Miranda R. D. Q., Correia R. M., de Almeida-Cortez J. S., Pompelli M. F., (2014)," Germination of *Prosopis*

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)

juliflora (Sw.) D.C. seeds at different osmotic potentials and temperatures", *Plant Species Biology*, 29(3), pp. 9–20. DOI:10.1111/1442-1984.12025.

Mwangi E., Swallow B. (2005), "Invasion of prosopis juliflora and local livelihoods Case study from the Lake Baringo area of Kenya", *ICRAF Working Paper n°3*.

Ng W. T., Cândido de Oliveira Silva A., Rima P., Atzberger C., Immitzer M., (2018), "Ensemble approach for potential habitat mapping of invasive Prosopis spp. in Turkana, Kenya", *Ecology and Evolution*, *8*(23), pp. 11921–11931. DOI:10.1002/ece3.4649.

Ng W. T., Immitzer M., Floriansitz M., Vuolo F., Luminari L., Adede C., Wahome R., Atzberger C. (2016), *Mapping Prosopis spp. within the Tarach water basin, Turkana, Kenya using Sentinel-2 imagery*, in Atti del Convegno Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, XVIII, 9998, SPIE Remote Sensing, Edinburgh, United Kingdom. DOI:10.1117/12.2241279.

Nicholson S. E., (2014), "The Predictability of Rainfall over the Greater Horn of Africa. Part I: Prediction of Seasonal Rainfall", *American Meteorological Society,* 15(3), pp. 1011-1027. DOI:10.1175/JHM-D-13-062.1.

Ogalo L., Owiti Z., Mutemi J. (2008), "Linkages between the Indian Ocean Dipole and East African Rainfall Anomalies", *Journal of Kenya Meteorological Society*, *2 (1)*, pp. 3–17.

Orindi V. A., Ochieng A. (2005), "Kenya Seed Fairs as a Drought Recovery Strategy in Kenya", *IDS Bulletin*, 36(4), pp. 87–102. DOI:10.1111/j.1759-5436.2005.tb00236.x.

Pasiecznik N. M., Felker P., Harris P. J. C., Harsh L. N., Cruz G., Tewari J. C., Cadoret K., Maldonado L. J. (2001), *The Prosopis juliflora–Prosopis pallida Complex: A Monograph*, HDRA, Coventry, United Kingdom. DOI:10.1016/s0378-1127(02)00559-5.

Pimentel D., Zuniga R., Morrison D., (2005), "Update on the environmental and economic costs associated withalien-invasive species in the United States", *Ecological Economics,* 52(3), pp. 273-288. DOI:10.1016/j.ecolecon.2004.10.002.

Salza A. (2018), "Don't ask , don't tell. One-Health Seeking Behaviours among Pastoralists in a Semi-arid Land", *Technical report AICS Project AID11507*.

Shackleton R. T., Le Maitre D. C., Pasiecznik N. M., Richardson D. M., (2014), "Prosopis: A global assessment of the biogeography, benefits, impacts and management of one of the world's worst woody invasive plant taxa", *AoB PLANTS,* 6. DOI:10.1093/aobpla/plu027.

Vigna I., Bigi V., Pezzoli A., Besana A., (2020), "Comparison and Bias-Correction of Satellite-Derived Precipitation Datasets at Local Level in Northern Kenya", *Sustainability,* 12(7). DOI:10.3390/SU12072896.

Wenhaji Ndomeni C., Cattani E., Merino A., Levizzani V., (2018), " An observational study of the variability of East African rainfall with respect to sea surface temperature and soil moisture", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 144(S1), pp. 384–404. DOI:10.1002/qj.3255.

ISSN 2282-572X (online)
ISSN 0044-9733 (print)