



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Tesi di tirocinio di formazione e orientamento

(Convenzione stipulata tra ISPRA ed Università degli Studi di Ferrara)

APPLICAZIONE DI RETI NEURALI ARTIFICIALI ALLO STUDIO DELLA
DESERTIFICAZIONE TRAMITE IMMAGINI SATELLITARI

Dr. Marco Guidi

Tutor dell'Ente Promotore: Professor Franco Mantovani

Tutor ISPRA: Dr. Nico Bonora

ANNO 2009

Data	Firma Tirocinante	Firma del Tutor ISPRA	Firma Responsabile Servizio ISPRA
	Firma del Tutor Ente Promotore*		

Autore

^(*)Marco Guidi

Hanno partecipato alla realizzazione del presente lavoro:

Nico Bonora^(**), Franco Mantovani^(*), Anna Luise^(**)

^(*) Università degli studi di Ferrara – Dip. di Scienze della Terra
Via Saragat, 1 – 44100, Ferrara

^(**) ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via Vitaliano Brancati 48 – 00144, Roma

1 - Abstract

Questo lavoro è contestualizzato nei progetti Europei INTERREG Desertnet 2 e Corine Land Cover 2006 (CLCC06).

L'elaborato in questione, frutto della convenzione avvenuta tra l'Università degli Studi di Ferrara – Dipartimento di Scienze della Terra ed il Sistema Informativo Nazionale Ambientale di ISPRA , (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), ha come fine ultimo l'applicazione delle Reti Neurali Artificiali (RNA) su immagini MODIS, per la classificazione automatica della copertura del territorio con particolare riferimento al fenomeno della desertificazione.

Tale procedura è stata confrontata, per validazione, con una tecnica collaudata di classificazione convenzionale semiautomatica (Maximum Likelihood) applicata ad immagini IRS LISS-III.

Seppure la metodologia presenta ancora limiti, soprattutto dal punto di vista dello sviluppo del software che applica le reti neurali, il positivo risultato raggiunto, in buona parte confermato dalla validazione tramite confronto, confida nell'applicazione di una metodologia sempre più automatizzata ad utilizzo ciclico per l'identificazione di determinati pattern territoriali, con conseguenti benefici in termini di tempo e costi, in virtù di un'unica fase di addestramento della rete neurale (applicabile successivamente ad altre immagini presentanti medesime caratteristiche).

2 - Introduzione

L'elaborato in questione, è frutto della convenzione avvenuta tra l'Università degli Studi di Ferrara –Dipartimento di Scienze della Terra, corso di laurea in Scienze Geologiche, nella figura del Professor Franco Mantovani, (Cattedratico Ordinario di Geomorfologia e Fotogeologia) ed ISPRA, (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) nella figura dell' Ing. Marcello Paolozza e del relatore Dott. Nico Bonora membro del SINA, (Servizio Informativo Nazionale). L'analisi e l'elaborazione sono state condotte nell'ambito di due progetti che si collocano nel contesto europeo, ovvero il progetto INTERREG Desertnet2 ed il progetto Corine Land Cover 2006 (CLC06). Il progetto Desertnet 2, finalizzato all'identificazione dell'indice ESA (Environmental Sensitive Areas) per la mappatura nazionale di aree suscettibili a fenomeni legati ai processi di desertificazione, ha provveduto allo sviluppo di un software basato sull'utilizzo delle reti neurali artificiali, con il quale si è proceduto nell'identificare, in modo automatico, i temi ambientali relativi al fenomeno legato alla natura del progetto. Nell'ambito di tale progetto, in particolare in collaborazione con l'Università di Cagliari, sono state identificate le bande del sensore MODIS (da 250m a 1 km di risoluzione geometrica – 36 bande) necessarie per la classificazione dei tematismi individuati per la produzione del risultato cartografico.

Il progetto Corine Land Cover 2006, progetto di punta dell'EEA (European Environmental Agency) che verte alla classificazione dell'uso/copertura del suolo di tutti gli Stati membri della Comunità Europea a scala 100.000, ha fornito la copertura satellitare IRS LISS III (20m di risoluzione geometrica – 4 bande) utilizzata, in questo contesto, per la produzione di cartografia utile alla validazione della classificazione precedentemente enunciata (rete neurale artificiale) tramite tecniche di classificazione convenzionali semiautomatiche. Il progetto Corine Land Cover ha inoltre fornito la copertura vettoriale relativa all'anno 2000 (CLC00) per una prima discriminazione tra aree naturali ed aree agricole, in modo da non produrre errori tra aree naturali a suolo nudo ed aree agricole temporaneamente prive di vegetazione.

All'interno di questa tesi di laurea, il connubio tra i due progetti ha portato a risultati più che soddisfacenti, tali da poter automatizzare l'identificazione di pattern specifici tramite l'utilizzo di immagini MODIS, ottenendo che il caricamento di una sequenza temporale di tali immagini, a valle dell'addestramento della rete neurale condotto in questo ambito, possa condurre all'identificazione dei cambiamenti territoriali relativamente al fenomeno investigato.

Oltre ad ottenere una risposta cartografia attendibile, altro risultato interessante è stato l'approccio *low cost* dell'applicazione, in quanto le immagini MODIS sono fornite gratuitamente dall'Università di Cagliari, essendo quest'ultima proprietaria dell'antenna specifica per la ricezione di tale dato satellitare.

Per concludere, è stato inoltre testato l'approccio “bassa risoluzione geometrica ed alta risoluzione spettrale (MODIS)” *versus* “alta risoluzione geometrica e bassa risoluzione spettrale (IRS LISS III)”, i quali hanno entrambi fornito, sebbene con tempistiche diverse, analoghi risultati a valle di elaborazioni e gestione del dato in ambiente GIS.

3 - *Indice*

1 - Abstract.....	1
2 - Introduzione.....	4
3 - Indice	5
4 - Inquadramento geografico	6
5 - Cenni petrologici	6
6 - Contesto di applicazione.....	10
La desertificazione	10
7 – Materiali	18
Il Progetto CORINE LAND COVER	18
Il Progetto CLC2006.....	19
Il Progetto Desertnet (Interreg - IIIB)	20
8 - Metodi.....	22
Il Telerilevamento	22
Caratteristiche dei sensori utilizzati	28
9 - Applicazione di metodologie innovative	30
Le Reti Neurali Artificiali	30
Classificazione semiautomatica: l’algoritmo di Maximum Likelihood.....	34
10 – Metodologia	35
Classificazione dell’immagine MODIS	35
Classificazione delle immagini IRS	39
Risultati di post Classificazione e validazione.....	43
11 - Conclusioni	50
12 - Riferimenti bibliografici	52

4 - Inquadramento geografico

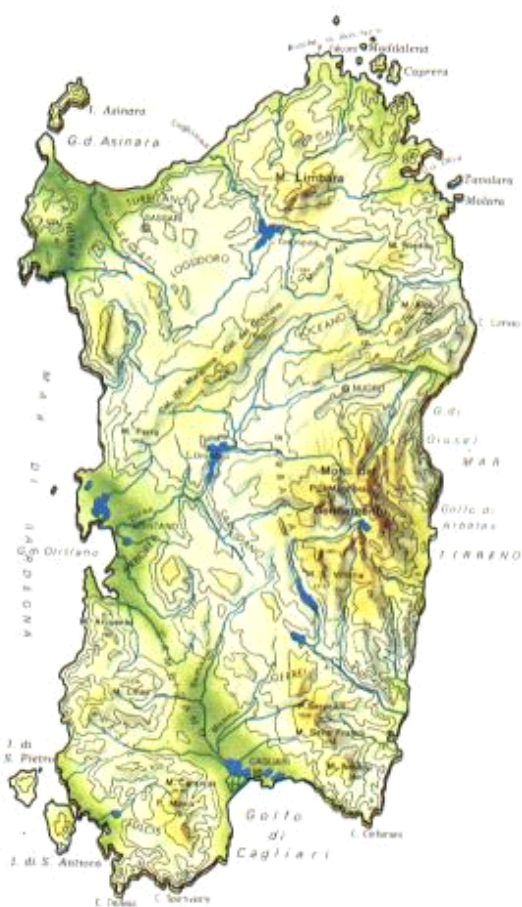


Figura 4.1 – Area di studio

La Sardegna è, per grandezza, la seconda isola del Mediterraneo: misura 24. 090 kmq, è compresa tra i 38° 51' 52" e i 41° 15' 42" di latitudine Nord e tra gli 8° 8' e 9° 50' di longitudine Est.

Posta al centro del Mediterraneo occidentale, dista appena 12 km dalla Corsica, 120 Km dalla Toscana, 185 Km dalle coste del Nord-Africa.

Le coste della Sardegna (con una lunghezza totale di 1. 849 Km) sono generalmente alte e rocciose, rettilinee per chilometri, spesso sono articolate terminanti in promontori, con insenature ampie e profonde contornate da isolette.

Essendo una terra antichissima, con rocce che risalgono al Paleozoico Antico (300 milioni di anni), l'Isola non possiede rilievi montuosi di grandi altezze a causa di lunghi processi di erosione. Predominano gli altipiani rocciosi di granito, scisto, trachite, basalto (detti "giare" o "gollei"), arenaria, dolomie-calcarei (detti "tonneri" o "tacchi") di altezza compresa tra i 300 e i 1. 000 metri.

Tra i massicci montuosi spiccano quello del Gennargentu - nel centro dell' Isola - con la sua cima più alta (1. 834 m.), il Monte Limbara (1. 362 m.) a Nord e il Monte Rasu, parte culminante della cosiddetta "catena del Marghine", che si allunga trasversalmente per 40 Km verso Nord.

Il clima è generalmente mite, influenzato da masse

d'aria provenienti dall'Atlantico, dall'Africa, dall'Artico.

Il tempo è sereno: nell'arco dell'anno circa 300 giorni sono di sole ed i restanti di pioggia, con una maggiore concentrazione della piovosità nella stagione invernale ed autunnale e qualche improvviso acquazzone nella stagione primaverile.

L'isola è molto ventilata, domina il maestrale - vento di Nord Ovest - fresco e pungente in inverno, d'estate mitiga il caldo rendendo l'aria più secca e respirabile.

Meno frequente lo scirocco - cui è esposta la costa meridionale - e i venti di levante e di Nord-Est, che soffiano lungo la costa orientale.

5 - Cenni petrologici

La storia geologica della Sardegna, insieme a quella della Corsica - sua isola gemella - cominciò circa 100 milioni di anni fa, attraverso gli spostamenti e gli scontri tra la grande placca africana, quella eurasiatica e quella nord-atlantica. Tra 35 e 13 milioni di anni fa, questi fenomeni crearono una profonda frattura che correva lungo tutta la costa che attualmente va dalla Catalogna alla Liguria. I relativi lati rocciosi originati da questa frattura sono ancora visibili tra i graniti cristallini che affiorano oggi in Provenza, nel massiccio dell' Esterel - tra Cannes e Fréjus - e poi, oltre il Mare di Sardegna, sulla costa sud-occidentale corsa e su quella nord e nord-occidentale sarda.

Lungo questa spaccatura, circa 30 milioni di anni fa, si originò il distacco di una micro-placca che comprendeva a Nord-Est le attuali Sardegna e Corsica, e più a Sud-Ovest il complesso delle isole Baleari. Conseguentemente, la rotazione della placca sardo-corsa in senso antiorario, nel suo

progredire, determinò il sollevamento dal mare della catena degli Appennini e delle Alpi Apuane. Furono queste le cause che portarono la Sardegna e la Corsica a migrare dalla parte continentale. Esse raggiunsero la loro posizione attuale circa 6-7 milioni di anni fa e al fenomeno della migrazione si aggiunse più tardi la tensione di apertura del Mar Tirreno, che creò conseguentemente la conformazione orientale tra le due isole e la penisola italiana.

Il territorio della Sardegna presenta una rilevante geodiversità, con rocce che vanno dal Cambiano inferiore (qualche autore ha anche ipotizzato l'esistenza di metamorfici precambriche) fino al Quaternario delle pianure recenti. Quasi 600 milioni di anni di storia e di vicissitudini geologiche estremamente complesse e varie con esiti multiformi che hanno impresso nel paesaggio e nelle rocce i segni di fenomeni sedimentari, tettonici, paleogeografici e paleoclimatici, originando geomorfosi di eccezionale interesse scientifico, didattico e turistico-culturale, tra i quali in particolare quelli legati al granito ercinico (Carbonifero sup. - Permiano) con un'età radiometrica tra i 310 e i 290 milioni di anni. Questa roccia, dura e compatta ma che gli agenti erosivi spesso rendono arrotondata e persino morbida nella forma, di colore grigio, rosa o biancastro, con cromatismi superficiali diversi in relazione all'alterazione superficiale e all'azione di colonizzazione a opera di licheni e muschi nelle zone più ombrose, si può considerare la roccia simbolo dell'Isola. In termini più appropriati è opportuno parlare di rocce granitoidi, invece che di "granito" in quanto i petrografi distinguono in Gallura diversi tipi di tale roccia: dal leucogranito, molto ricco in quarzo e dunque di colore particolarmente chiaro, alla granodiorite, nella quale aumenta notevolmente la presenza di biotite nerastra, che conferisce un particolare ed apprezzato "aspetto pepe e sale" alla roccia. Questi granitoidi sono attraversati da un vasto campo filoniano di porfidi granitici e apolitici, rioliti e diabasi con direzioni prevalenti NE-SW e N-S che documentano le direttrici di frattura tardo erciniche lungo le quali si sono effusi i prodotti magmatici. La presenza di questi filoni ha improntato non poco i lineamenti del paesaggio come pure la tettonica terziaria che ha prodotto un generale sbandamento delle regioni verso NE.

Le caratteristiche geologiche e morfologiche della Sardegna sono estremamente varie.

Il basamento paleozoico è costituito prevalentemente da un complesso di rocce metamorfiche e da graniti affioranti principalmente nella metà orientale e nel settore sud-occidentale dell'isola (Carmignani et al. , 1992), su cui poggiano direttamente i sedimenti per lo più calcarei e dolomitici del Mesozoico (Pala et al. , 1982). Questi affioramenti sono localizzati nel settore centro-orientale dell'isola, intorno al golfo di Orosei, in quello nord-occidentale (Nurra), nonché in un'area centro-meridionale (Ogliastra e Sarcidano). Gli affioramenti cenozoici sono localizzati prevalentemente in corrispondenza della vasta depressione mediana, allungata da nord a sud. Sono costituiti da prodotti di un intenso vulcanismo (andesiti, riodaciti, ignimbriti, tufi) e da sedimenti di origine marina, lagunare, e continentale (sabbie, marne, calcari, conglomerati, argille). Alla fine del Cenozoico inizia un vulcanismo basico (basalti) che si protrae fin nel Quaternario. Le colate basaltiche affiorano in vaste aree, concentrate particolarmente nella Sardegna centrale. La gran parte dei depositi quaternari è costituita da sedimenti di ambiente continentale, rappresentati prevalentemente da alluvioni ciottolose, localizzati nelle più importanti pianure dell'isola. Questi sedimenti variano notevolmente nella natura litologica, nella forma e dimensione dei ciottoli, nella natura della frazione fine dei cementi e delle matrici, nel grado di cementazione e di costipamento. Nelle aree costiere sono presenti, in modo discontinuo, depositi marini (conglomerati, arenarie, calcari organogeni), dune fossili ed attuali, e depositi di stagno.

La notevole varietà litologica ed i diversi processi morfologici succedutisi nel tempo, inseriti nel complesso quadro strutturale dell'isola dominato dalla suddivisione in horst del basamento caledoniano-ercinico e dalla presenza della grande fossa tettonica sardo-campidanese, hanno frammentato il territorio isolano in numerose regioni morfologiche con caratteristiche diverse. Sinteticamente, il territorio sardo è stato così suddiviso: 18, 5% in montagna, 67, 9% in collina e 13, 6% in pianura. I suoli della Sardegna presentano genesi, caratteristiche e proprietà estremamente varie, in funzione del tipo di substrato, della morfologia, della copertura vegetale e dell'uso del territorio. Quasi il 28% della superficie totale dell'isola presenta una associazione costituita da

roccia affiorante e Leptosols , diffusa in tutte le parti del territorio e soprattutto su rocce dure (metamorfiche, intrusive, effusive, dolomitiche e calcaree), per lo più in aree acclivi con morfologia irregolare e prive di copertura arborea ed arbustiva.

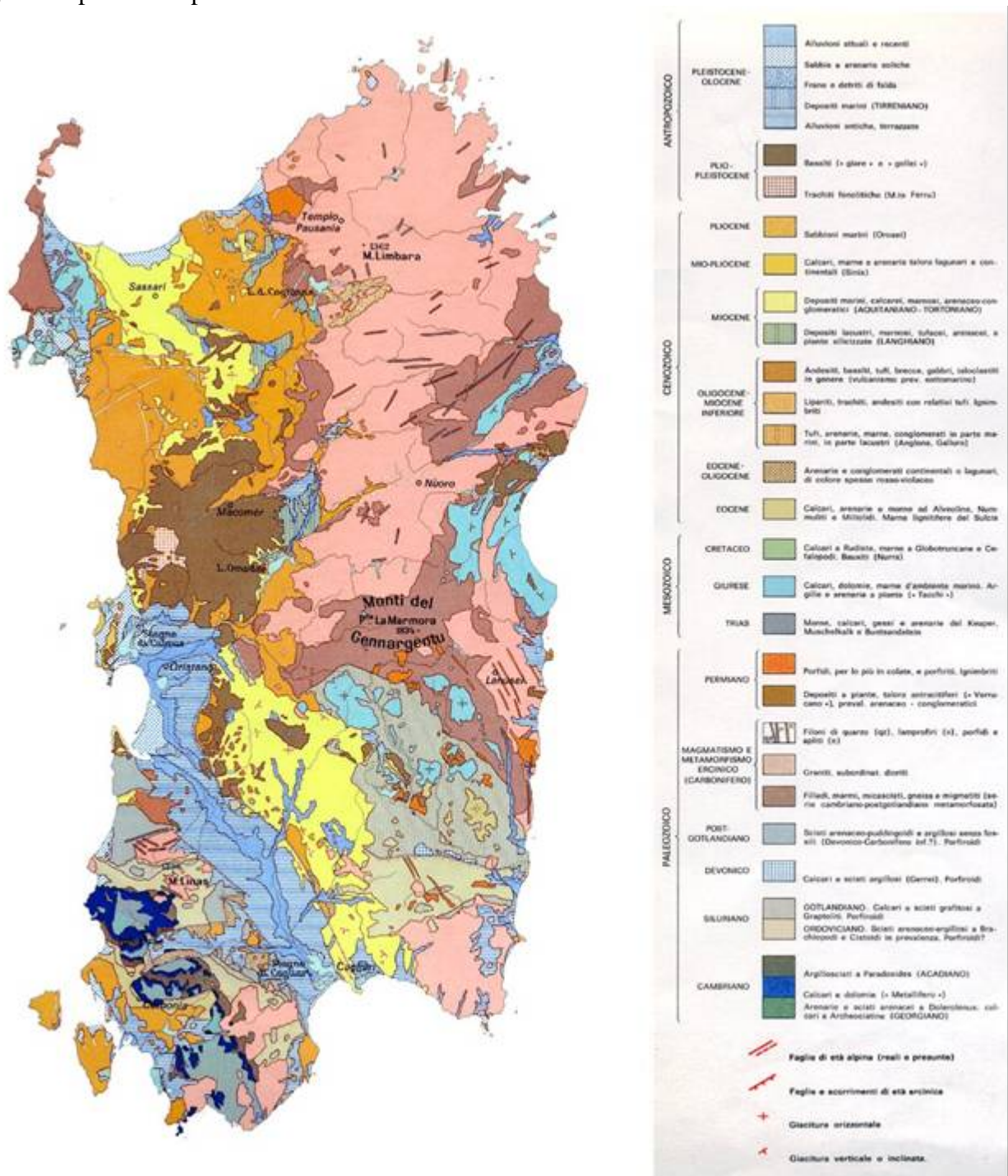


Fig. 4. 2—Carta geologica della regione Sardegna.

In queste aree l'attività prevalente è il pascolo estensivo, soprattutto ovino e caprino. Solo il 18% del territorio sardo è coperto da suoli suscettibili di irrigazione (Arangino et al. , 1986): 3% da suoli altamente suscettibili (Eutric, Calcaric e Mollic Fluvisols; Eutric, Calcaric e Vertic Cambisols; Eutric e Calcic Vertisols; Haplic e Calcic Luvisols), 6% da suoli moderatamente suscettibili (Vertic, Eutric e Calcaric Cambisols; Calcic e Haplic Luvisols; Calcaric Arenosols), e 9% da suoli marginalmente suscettibili (Haplic Nitisols; Chromic Luvisols; Eutric e Dystric Cambisols; Calcaric Regosols). Questi suoli sono localizzati nelle pianure interne ed in quelle costiere, per lo più su depositi alluvionali del Pleistocene e dell'Olocene, e supportano una attività agricola

prevalentemente intensiva, irrigua e non. Nel restante 54% del territorio sono presenti principalmente Cambisols, Leptosols e Regosols, in relazione ai diversi substrati, alle condizioni morfologiche ed al grado e tipo di copertura vegetale. Queste aree dell'isola sono marginali per l'agricoltura intensiva, ma hanno una grande importanza per particolari colture, per il pascolo e per le attività forestali. (Carmignani L . et Al., 1992 . Inquadramento Geo-Petrologico del territorio Sardo).

6 - Contesto di applicazione

La desertificazione

Il concetto di desertificazione ha subito dagli anni '70 ad oggi una continua evoluzione che ha condotto, attraverso una graduale transizione, verso definizioni che tengono sempre più in considerazione le interazioni dell'ambiente con le attività umane, fino a giungere ad un'accezione che abbraccia tutti i fenomeni di *“degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali le variazioni climatiche e le attività antropiche”*. Tale definizione, adottata dalla Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta contro la Siccità e la Desertificazione (United Nations Convention to Combat Drought and Desertification – UNCCD, 1977), delimita il suo ambito territoriale in funzione delle caratteristiche climatiche ed introduce alcuni concetti chiave di carattere innovativo: le *cause* possono essere di origine sia naturale che antropica; il *degrado* viene inteso non solo come perdita delle caratteristiche fisiche e biologiche, ma anche della redditività economica; le *zone aride, semi-aride e sub-umide secche* individuano le aree del pianeta maggiormente vulnerabili che, pertanto, richiedono interventi urgenti.

Le valutazioni delle Nazioni Unite offrono una panoramica relativa al fenomeno ed alla sua estensione preoccupante: il 70% delle terre aride coltivabili, pari a circa il 30% del totale delle terre emerse, è colpito o a rischio di desertificazione. Il problema è particolarmente grave in Africa e nei Paesi in via di sviluppo: in Asia, Sud America e Caraibi, ma anche Stati Uniti, Australia e Europa meridionale (soprattutto Italia, Grecia, Portogallo e Spagna) sono interessati dal fenomeno. In Italia, in particolare, la desertificazione è evidente in maniera significativa nelle regioni meridionali ed insulari (Basilicata, Puglia, Calabria, Sardegna e Sicilia) dove, oltre allo stress di natura climatica, la pressione spesso non sostenibile delle attività umane sull'ambiente sta determinando una riduzione della produttività biologica ed agricola ed una progressiva perdita di biodiversità degli ecosistemi naturali.

Anche le regioni del centro nord, in particolare Toscana, Emilia Romagna, e la Pianura Padana in generale, manifestano un peggioramento della situazione idrometeorologica e sono sempre più vulnerabili all'irregolarità delle precipitazioni, alla siccità ed all'inaridimento.

In tutto il Paese, caratterizzato da un territorio fortemente antropizzato, l'estendersi dei processi di desertificazione è da mettere in relazione, in particolare, all'assetto acquisito dalle città, basato sull'inurbamento diffuso del territorio con conseguente cementificazione massiccia, dispendio energetico e inquinamento ambientale, rispetto ad un assetto tradizionale del paesaggio, costituito da sistemi abitativi a forte compenetrazione naturale a basso consumo di risorse.

Le peculiarità ambientali e socio-economiche che accomunano l'Italia ai paesi della regione Nord Mediterranea, oltre a condizioni climatiche semi-aride e sub-umide secche, siccità stagionali, grande variabilità del regime pluviometrico e piogge improvvise e violente, sono la presenza di suoli poveri e sensibili all'erosione, di rilievi eterogenei con forti pendii, perdite importanti della copertura forestale dovute a incendi, la crisi dell'agricoltura tradizionale, caratterizzata dall'abbandono delle terre e dal deterioramento delle strutture di protezione del suolo e dell'acqua, lo sfruttamento non sostenibile delle risorse idriche ed, infine, la concentrazione dell'attività economica nelle zone costiere, lo sviluppo dell'urbanizzazione, delle attività industriali, del turismo e dell'agricoltura irrigua.

La figura 6. 1 riporta uno schema sintetico relativo alle principali cause di desertificazione, ai processi di degradazione ed ai fattori predisponenti (Sciortino, 2003).

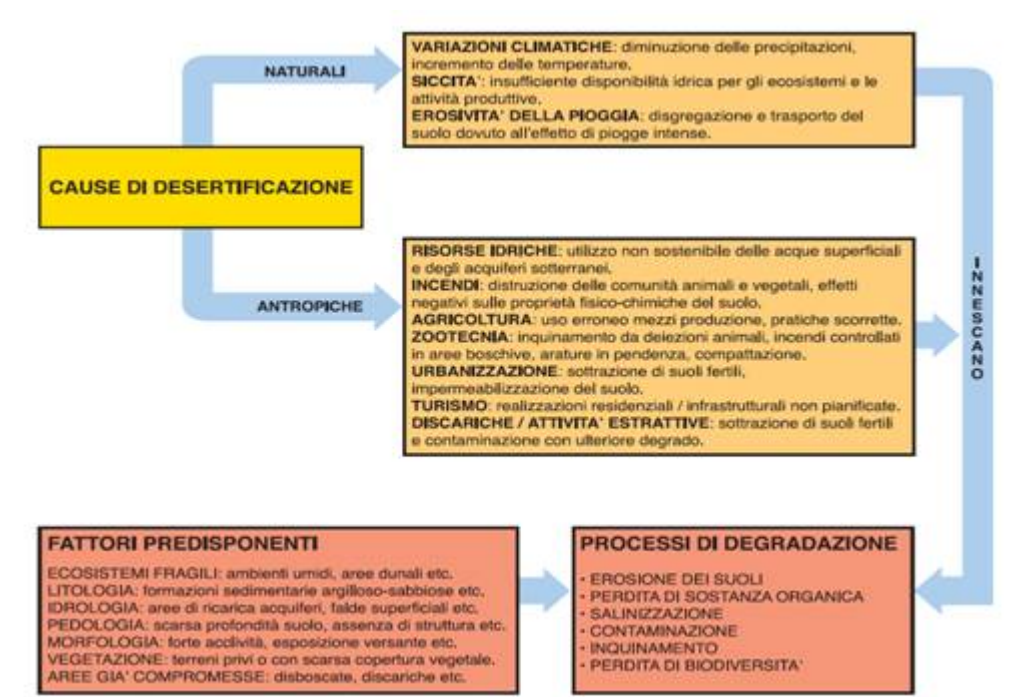


Fig. 6. 1-Schema sintetico di cause, processi e fattori predisponenti.

Come indicato in figura, le cause del degrado di un territorio possono essere attribuite a diversi fattori di pressione di origine sia naturale che antropica, oltre che all'esistenza di fattori predisponenti: la desertificazione è la risultante di questo complesso sistema di interazioni che porta a pregiudicare, in modo pressochè irreversibile, la capacità produttiva degli ecosistemi agricoli e forestali.

Cause naturali

Dal punto di vista *naturale* gli aspetti che caratterizzano maggiormente il fenomeno della desertificazione sono tipicamente climatici e sono legati alle caratteristiche delle precipitazioni in termini di quantità, intensità e distribuzione: aridità, siccità ed erosività delle precipitazioni.

L'*aridità* è una caratteristica climatica determinata dalla contemporanea scarsità delle piogge (aree con precipitazioni annue dell'ordine dei 200-400 mm) e dalla forte evaporazione, che sottrae umidità ai terreni ed alla vegetazione. Per valutare il grado di aridità di un'area la UNCCD ha adottato come indice di aridità (Ia) il rapporto fra le Precipitazioni medie annue (P) e l'Evapotraspirazione potenziale media annua (ETP), nelle condizioni climatiche riferite ad un arco temporale di almeno 30 anni.

La *siccità* è invece, un fenomeno che colpisce anche aree non aride quando le precipitazioni sono sensibilmente inferiori ai livelli normalmente registrati e può influire sul territorio principalmente apportando danni alle attività produttive agricole e zootecniche: gli ecosistemi naturali hanno, generalmente, la necessaria resilienza per superare periodi di siccità mentre i settori produttivi, che dipendono da un costante apporto di acqua, possono esserne danneggiati. L'impatto della siccità sulla disponibilità ambientale della risorsa idrica si manifesta su scale di tempo anche estremamente differenti:

- in tempi relativamente brevi, in relazione alle condizioni di umidità del suolo (siccità meteorologica, < 3 mesi);
- su tempi medio-lunghi, influenzando sulla resa produttiva delle colture (siccità agronomica, 3-6 mesi);
- su tempi lunghi, determinando una riduzione del livello delle falde acquifere e delle portate fluviali (siccità idrologica, 6-12 mesi e oltre).

Nelle zone aride, dove l'impiego delle risorse idriche è sempre vicino alla soglia della sostenibilità la siccità può rompere il delicato equilibrio fra risorse ambientali ed attività produttive provocando crisi alimentari, abbandono di territori e perfino migrazioni e conflitti.

L'erosività della pioggia è dovuta all'intensità delle precipitazioni. Quando precipitazioni brevi ed intense colpiscono terreni privi di copertura vegetale, l'impatto delle gocce di pioggia disgrega il suolo facilitando il dilavamento dello strato superficiale più ricco di materia organica. Le zone aride, semi aride e sub-umide sono esposte al rischio di piogge brevi ma intense che, invece di mitigare gli effetti della scarsità delle precipitazioni, innescano fenomeni erosivi e quindi favoriscono i processi di desertificazione.

I processi degenerativi dovuti all'azione dell'uomo si verificano in modo particolare laddove esiste una particolare vulnerabilità climatica e dove sussistono fattori predisponenti legati alla presenza di ecosistemi fragili, caratterizzati cioè da delicati equilibri bio-fisici (ambienti di transizione quali lagune e stagni costieri, aree dunali e retrodunali, aree calanchive, ecc.) o a particolari caratteristiche ambientali quali la litologia (suoli altamente erodibili derivanti da rocce calcaree o formazioni sedimentarie argilloso-sabbiose), l'idrologia (prelievi eccessivi e non pianificati nonché inquinamento puntiforme e diffuso di diversa origine), la pedologia (scarsa profondità dello strato pedogenetico, mancanza di struttura, scarso contenuto di sostanza organica, scarsa permeabilità etc.), la morfologia (l'esposizione dei versanti e la pendenza del terreno costituiscono un importante fattore di vulnerabilità del territorio nel contesto climatico e geomorfologico delle regioni soggette a condizioni di stress idrico e concorrono quindi a determinare fenomeni erosivi di tipo idro-meteorico) e la vegetazione (la continuità e la ricchezza di specie della copertura vegetale sono essenziali in relazione alla capacità di protezione del suolo).

Cause antropiche

Dal punto di vista antropico, le principali cause della desertificazione sono da ricondursi alle attività socio-economiche ed ai loro impatti, spesso responsabili dell'uso competitivo e non sostenibile delle risorse naturali con il conseguente sovrasfruttamento rispetto alle reali disponibilità :

Agricoltura. I processi di degrado del suolo sono spesso il risultato di pratiche agricole poco sostenibili dal punto di vista ambientale, tendenti ad elevare il livello di produttività dei terreni, anche attraverso un utilizzo non sostenibile dei mezzi di produzione e delle superfici agricole, l'impiego eccessivo di sostanze chimiche (fertilizzanti, pesticidi, ecc.), l'uso irriguo di risorse idriche non sempre idonee. Costipazione, compattazione, perdita della fertilità chimico-fisica dei suoli e progressiva salinizzazione degli strati superficiali e delle falde sono solo alcuni esempi di processi che possono essere scatenati da un'attività agricola non attenta ai principi di gestione sostenibile delle risorse naturali.

D'altra parte, anche i fenomeni di abbandono del territorio agricolo costituiscono una premessa per l'innescarsi di processi di degrado legati, ad esempio, al dissesto idrogeologico ed in particolare all'accentuarsi dei processi erosivi.

Attività zootecniche. Oltre all'agricoltura anche le attività zootecniche, qualora non rispettino le caratteristiche delle aree in cui vengono praticate, possono comportare un impoverimento del terreno e provocare l'innescarsi di processi di degrado del suolo. Nel corso degli ultimi anni si è assistito in Italia ad una riduzione generale del patrimonio zootecnico e ad una sempre più forte attività di allevamento intensivo. Ciò ha modificato l'uso del territorio: da una parte, prevalentemente in pianura, si assiste a fenomeni di inquinamento ambientale a causa della necessità di smaltimento delle deiezioni animali su superfici spesso limitate; dall'altra, in aree collinari e montane marginali, si verifica un più incisivo ricorso all'utilizzo di aree a pascolo, limitato a quelle di più facile accesso e meglio servite da acqua, strade, energia elettrica, sulle quali si sono spesso riscontrati carichi zootecnici eccessivi con conseguenti fenomeni di degrado della vegetazione, compattazione ed erosione dei suoli.

Sovrasfruttamento delle risorse idriche. L'uso incontrollato e non sempre sostenibile delle risorse idriche ha comportato, soprattutto negli ultimi decenni, un forte incremento di prelievi e derivazioni che rischia di compromettere, sia in termini quantitativi che qualitativi, il patrimonio idrico che l'Italia ha potuto vantare fino ad oggi. Tra le attività antropiche, sicuramente l'agricoltura è quella che assorbe la maggior parte delle risorse idriche. Una delle conseguenze di maggior rilievo in tale contesto è l'abbassamento del livello di falda che, a sua volta, può provocare il richiamo di acque marine in prossimità della costa, causando la salinizzazione delle falde freatiche.

Incendi. Il fuoco può influire sulla composizione e sulla struttura delle comunità vegetali ed animali, condizionandone l'evoluzione e la perpetuazione, ma può avere anche effetti negativi sulle proprietà fisico-chimiche del suolo, rendendolo meno permeabile e, quindi, più esposto a processi erosivi. Le sostanze idrorepellenti che si formano a seguito del passaggio del fuoco, favoriscono l'accelerarsi dello scorrimento superficiale e quindi del trasporto solido: nella prima stagione piovosa, immediatamente successiva all'incendio, problemi idrologici si sviluppano pressoché sistematicamente nelle aree bruciate acclivi. Sebbene gli ecosistemi mediterranei abbiano sviluppato meccanismi e strategie di resistenza in grado di ricostituirsi in tempi relativamente brevi, gli incendi costituiscono una piaga che interessa molte aree d'Italia, spesso a danno della macchia mediterranea che rappresenta una delle più importanti difese naturali nei confronti dei processi di desertificazione.

Urbanizzazione e turismo. Il processo di urbanizzazione incide sul fenomeno di desertificazione in termini di sottrazione di suoli fertili all'impiego agricolo determinando, in ultima analisi, la riduzione delle capacità produttive.

Un processo analogo a quello dell'urbanizzazione, in termini di sottrazione della risorsa, avviene per effetto della crescente diffusione sul territorio, soprattutto in certe realtà di discariche e di attività estrattive spesso incontrollate, alle quali possono anche essere connessi processi di contaminazione che determinano ulteriori forme di degrado. Le aree urbane e gli insediamenti turistici lungo le zone costiere contribuiscono al processo di desertificazione sia in modo diretto, perché si può dire che la stessa urbanizzazione massiccia è desertificazione a causa della cementificazione di vaste superfici naturali, sia in maniera indiretta, attraverso l'assorbimento e la distruzione delle risorse naturali nelle aree a forte concentrazione demografica.

I processi di degrado del territorio

I processi di degradazione del suolo vengono distinti in *processi fisici, chimici e biologici*.

Rientrano fra i primi i processi che comportano la perdita della risorsa in termini di sottrazione di volume e di superficie. Tali forme di degrado sono in molti casi il risultato di una gestione del territorio che non ha saputo coniugare le esigenze dello sviluppo produttivo con quelle della conservazione della risorsa. Tra i più rilevanti processi di degradazione fisica vengono annoverati:

- **erosione**, fenomeno generalmente naturale dovuto all'azione dell'acqua e del vento che rimuovono fisicamente le particelle di suolo, ma innescato anche da alcune attività umane, come l'uso improprio dei terreni, l'agricoltura intensiva in zone collinari, la deforestazione, gli incendi, che contribuiscono significativamente all'aumento dell'erosione naturale, in particolar modo nel caso di suoli che risultano intrinsecamente predisposti;
- **compattazione**, dovuta alla compressione delle particelle che costituiscono il suolo, con la conseguente riduzione della sua porosità a causa di un'eccessiva pressione meccanica dovuta, ad esempio, ad un uso continuo di macchinari pesanti o ad un pascolamento eccessivo;
- **impermeabilizzazione**, fenomeno di rivestimento del suolo, causato principalmente dalla costruzione di edifici e strade, che provoca la riduzione della superficie disponibile per lo svolgimento di importanti funzioni quali l'assorbimento di acqua piovana ed il filtraggio, modificando di fatto le modalità di deflusso dell'acqua.

Appartengono alla tipologia dei processi chimici quelli che determinano, in generale, un deterioramento delle caratteristiche chimiche dei suoli: tra questi la contaminazione, che riguarda in particolare le aree industriali, le aree minerarie (soprattutto quelle abbandonate) e le grandi vie di

comunicazione, e la salinizzazione, legata sia all'irrigazione che alle caratteristiche costituzionali dei suoli stessi, costituiscono un'autentica minaccia per i suoli italiani. Sono annoverati tra i processi chimici anche lisciviazione e acidificazione.

Sono infine definiti processi di degradazione biologica quelli che provocano un'alterazione dell'attività biologica della risorsa e delle sue funzionalità quali la perdita di sostanza organica, materiale costituito da residui di piante, animali, microrganismi e sostanze sintetizzate dagli organismi viventi nel terreno e di primaria importanza nel mantenimento delle funzioni chiave del suolo (fertilità resistenza all'erosione, potere tampone, ecc.) e la diminuzione della biodiversità della fauna e della flora del suolo, relativa non solo alla riduzione della copertura vegetale ma anche dei microrganismi e della microfauna che svolgono un'azione essenziale nel terreno.

Quadro istituzionale

La Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta contro la Desertificazione (United Nations Convention to Combat Desertification – UNCCD) è entrata in vigore il 26 Dicembre 1996 e, ad oggi, più di 190 paesi hanno aderito con diverso grado di formalizzazione.

L'attuazione della Convenzione avviene a livello locale, nazionale, sub-regionale e regionale. In tale quadro i paesi affetti vengono raggruppati nelle seguenti aree geografiche o Annessi: l'Annesso I (Africa), l'Annesso II (Asia), l'Annesso III (America Latina e Carabi), l'Annesso IV (Nord Mediterraneo) e l'Annesso V (Europa Centrale ed Orientale).

Gli obblighi dei Paesi affetti sono descritti all'art. 5 della Convenzione:

- *accordare debita priorità alla lotta contro la desertificazione ed all'attenuazione della siccità, e a devolvervi risorse sufficienti in rapporto con la loro situazione ed i loro mezzi;*
- *stabilire strategie e priorità, nell'ambito dei piani o delle politiche di sviluppo sostenibile, per lottare contro la desertificazione e attenuare gli effetti della siccità;*
- *operare per rimuovere le cause profonde della desertificazione e prestare attenzione particolare ai fattori socio-economici che contribuiscono a tale fenomeno;*
- *sensibilizzare le popolazioni locali, in particolare le donne e i giovani, e facilitare la loro partecipazione, con l'appoggio delle organizzazioni non governative, all'azione condotta per lottare contro la desertificazione e attenuare gli effetti della siccità;*
- *creare un contesto propizio rafforzando, secondo quanto conviene, la pertinente legislazione e, qualora non esista, adottando nuove leggi ed elaborando nuove politiche a lungo termine e nuovi programmi d'azione.*

L'Italia ha ratificato la sua adesione alla UNCCD, in veste di Paese sia affetto che donatore, con legge n. 170 del 4 Giugno 1997 e, per la sua attuazione, è stato istituito con DPCM del 26 Settembre 1997 presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, il Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione (CNLD, oggi Comitato Nazionale di Lotta alla Siccità ed alla Desertificazione - CNLSD). APAT e UCEA, insieme ad ENEA, INEA, CNR, AISF, IAO ed ECOMED, sono membri della Commissione tecnico-scientifica del Comitato, incaricata di fornire supporto tecnico-scientifico a Regioni ed Autorità di Bacino nella redazione delle proposte di lotta alla siccità ed alla desertificazione.

IL CNLSD, che coordina appunto l'attuazione della Convenzione in Italia, ha fra i suoi obiettivi:

- *l'individuazione delle strategie e delle priorità, nell'ambito dei piani e delle politiche di sviluppo sostenibile, per la lotta alla desertificazione e l'attenuazione degli effetti della siccità;*
- *la predisposizione di un Piano di Azione Nazionale (PAN) di lotta alla desertificazione;*
- *la definizione di parametri ed indicatori per la valutazione del fenomeno della desertificazione;*
- *la realizzazione di un inventario delle tecnologie, delle conoscenze e delle pratiche tradizionali e locali*
che contribuiscano al risparmio delle risorse ed alla lotta alla desertificazione;
- *il coinvolgimento dell'opinione pubblica;*
- *la definizione di un idoneo quadro legislativo;*

- *il coordinamento delle attività con gli altri Paesi del Mediterraneo ed in particolare con i Paesi dell'Annesso IV della Convenzione.*

Con Delibera n. 229 del 21 Dicembre 1999, il CIPE ha adottato il Programma di Azione Nazionale per la Lotta alla Siccità ed alla Desertificazione (PAN), così come previsto dalla Convenzione, al fine di ridurre le perdite di produttività dei suoli causate da cambiamenti climatici ed attività antropiche.

Il PAN individua le politiche e le misure da attuare da parte dello Stato, delle Regioni e delle Autorità di Bacino per combattere la desertificazione e la siccità in Italia e definisce quattro settori prioritari di intervento (protezione del suolo, gestione sostenibile delle risorse idriche, riduzione dell'impatto delle attività produttive e riequilibrio del territorio), all'interno di un quadro legislativo e programmatico così definito:

- **L. 183/89:** fissa le norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo;
- **L. 152/99:** assegna alle Regioni ed alle Autorità di Bacino il compito di individuare le aree vulnerabili alla desertificazione;
- **Autorità di Bacino:** hanno il compito di effettuare la programmazione territoriale;
- **Regioni:** hanno le competenze in materia di territorio ed ambiente;
- **Piani di sviluppo rurale:** rappresentano lo strumento di programmazione agricola in applicazione della normativa comunitaria.

Le Regioni e le Autorità di Bacino hanno quindi operato, secondo quanto previsto dalla Delibera stessa, una prima definizione dei Programmi, contenenti le iniziative proposte, con l'individuazione delle aree critiche su cui approfondire l'analisi, la descrizione dei processi, le misure previste ed i fabbisogni conoscitivi per la definizione delle aree vulnerabili.

Sensibilità, vulnerabilità e rischio di desertificazione

I termini "*sensibilità*", "*vulnerabilità*" e "*rischio*" legati al fenomeno della desertificazione sono stati fino ad ora utilizzati in maniera talvolta ambigua e poco chiara.

L'esempio più evidente è senza dubbio quello relativo alla mappatura del fenomeno ed al suo effettivo significato: fermo restando che la metodologia MEDALUS nasce per l'individuazione di aree ESAs, ovvero Environmentally Sensitive Areas, che in italiano possiamo definire "aree sensibili dal punto di vista ambientale", e che la metodologia "Pimenta" (Pimenta MT et al. , 1999) ha avuto come obiettivo la definizione delle aree vulnerabili, non sono rari i casi, in bibliografia, in cui la rappresentazione cartografica delle aree sensibili alla desertificazione sia stata realizzata attraverso lo stesso approccio con cui sono state individuate le aree a rischio o quelle vulnerabili. Tali termini sono stati utilizzati, pertanto, in numerosi casi come sinonimi, e ciò denota una situazione di scarsa chiarezza dovuta probabilmente alla mancanza di definizioni ufficiali e condivise dalla comunità scientifica nazionale ed internazionale.

Da una breve ricerca bibliografica relativa ai termini "*sensibilità*", "*vulnerabilità*" e "*rischio*", ed al loro utilizzo in contesti scientifici concernenti la tematica della desertificazione, emerge, infatti, una significativa varietà a testimoniare quanto sia ancora poco chiaramente definito tale quadro terminologico.

In ambito internazionale, ad esempio, l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) definisce:

- sensibilità "*grado al quale un sistema è affetto da processi legati alla desertificazione, causati sia da eventi naturali che antropici inclusi i cambiamenti climatici, erosione del suolo, deforestazione, salinizzazione, ecc.* ";

- vulnerabilità "*grado al quale un sistema è suscettibile, o incapace di far fronte, ad effetti negativi della desertificazione*". La vulnerabilità è una funzione delle caratteristiche, dell'intensità e della velocità dei processi di desertificazione ai quali un sistema è esposto, della sua sensitività e della sua capacità adattativa.

Il concetto di sensibilità in accordo con questa definizione, è legato all'evoluzione dei processi in atto che colpiscono un'area mentre il concetto di vulnerabilità è riferito alla possibilità di valutare la futura evoluzione potenziale del problema. La valutazione della sensibilità richiede la ricostruzione

della storia e dell'evoluzione del contesto ambientale e sociale attraverso dati ed informazioni fisiche, biologiche e socio-economiche. Attualmente i dati disponibili sono più adeguati alla valutazione della sensibilità. La valutazione della vulnerabilità richiederebbe la disponibilità di possibili scenari e previsioni attraverso modelli o altri strumenti statistici.

A livello europeo, il glossario dell'Agenzia europea per l'ambiente (EEA) riporta le seguenti definizioni generali:

- area sensibile: *“area in cui devono essere adottate misure speciali per proteggere gli habitat naturali che presentano un elevato livello di vulnerabilità”*;
- vulnerabilità *“grado a cui un sistema è suscettibile, o incapace di far fronte, ad un danno”*;
- rischio: *“perdite attese (di vite, persone ferite, proprietà ed attività economica danneggiate) dovute ad un particolare pericolo in una certa area ed in un periodo di riferimento”*.

Alcune definizioni più specifiche sono state fornite in contesti scientifici internazionali e nazionali in merito alla problematica della desertificazione. Nell'ambito dei Progetti Desertlinks e DISforME, ad esempio, viene definita *“area vulnerabile” una specifica entità territoriale nella quale fattori ambientali, socioeconomici e di gestione non sono in equilibrio tra loro o non sono sostenibili per quel determinato ambiente*. In tal caso la *“vulnerabilità ambientale”* è vista come *il risultato delle interazioni di fattori elementari relativi a suolo, clima, vegetazione e aspetti socio-economici che, singolarmente e nel loro insieme, sono più o meno collegati a fenomeni di degradazione ambientale e gestionale*.

Ad esempio, la combinazione di fattori ambientali critici (morfologia accidentata, presenza di suoli soggetti a forti fenomeni erosivi, andamento climatico sfavorevole, copertura vegetale scarsa) unita a fattori socioeconomici non ottimali individua e caratterizza un'elevata vulnerabilità ambientale.

A livello nazionale, nella Comunicazione Nazionale alla Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta contro la desertificazione nei Paesi gravemente colpiti dalla siccità e/o desertificazione, con particolare urgenza in Africa (UNCCD), il concetto di *“vulnerabilità”* viene definito come *entità dei possibili danni ad un sistema provocati da un cambiamento*; essa dipende non solo dalla sensibilità del sistema, ma anche dalla sua capacità di adattamento alle nuove condizioni attraverso una modifica delle pratiche, dei processi e delle strutture.

In altri contesti, la *“sensibilità ambientale”* è stata definita come *il grado di reattività dell'ecosistema, in particolare del suolo, alle sollecitazioni prodotte dagli agenti perturbatori esterni sia di origine antropica che naturale (agenti biologici, geodinamici o climatici)*.

Infine, l'Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione definisce *“area a rischio di sterilità funzionale” un territorio che è vulnerabile o sensibile ai processi di forte ed irreversibile degradazione del suolo*. In *“un'area vulnerabile”*, *le caratteristiche dei suoli sono vicine a quelle dell'area a sterilità funzionale, ma alcuni fattori, per esempio la copertura della vegetazione o l'irrigazione, attenuano con successo il processo di desertificazione*. D'altra parte, una *“terra sensibile”* è una *superficie in cui il processo che conduce alla desertificazione è attivo, anche se il suolo non ha ancora sterilità funzionale [...]*. L'obiettivo è distinguere chiaramente ed il più oggettivamente possibile:

i) le aree sterili, ii) quelle che, pur non essendo ancora sterili, appaiono in una fase di attiva forte degradazione o sono fortemente minacciate (aree sensibili), iii) quelle che hanno condizioni ambientali tali che possono portare alla loro sterilità se i fattori di equilibrio cambiano o vengono perturbati (aree vulnerabili).

Questa breve ma articolata rassegna di termini e definizioni circa *“sensibilità”*, *“vulnerabilità”* e *“rischio”* evidenzia quanto tali concetti, che sono stati oggetto di studio in molteplici ambiti, siano ancora piuttosto disomogenei a seconda dei contesti in cui vengono utilizzati. È pertanto quanto mai utile, nonché necessario, uno sforzo comune che sia finalizzato a fornire una distinzione chiara ed oggettiva di questi termini affinché a livello scientifico ci possa essere un dialogo più chiaro possibile. È evidente come vi sia una certa soggettività nella scelta dei termini da parte delle principali fonti consultate nel presente lavoro. Riteniamo tuttavia che la definizione del concetto di

vulnerabilità possa essere più idonea, in questo contesto, a rappresentare la situazione nazionale in riferimento allo specifico fenomeno della desertificazione. (Luise e Al. , APAT , 2006) .

7 – Materiali

Il Progetto CORINE LAND COVER

Nel 1985 il Consiglio delle Comunità Europee, con la Decisione 85/338/EEC, ha varato il programma CORINE (COoRdination of INformation on the Environment) per dotare l'Unione Europea, gli Stati associati e i paesi limitrofi dell'area mediterranea e balcanica di informazioni territoriali omogenee sullo stato dell'ambiente. Lo scopo principale dell'iniziativa è di verificare dinamicamente lo stato dell'ambiente nell'area comunitaria, al fine di fornire supporto per lo sviluppo di politiche comuni, controllarne gli effetti, proporre eventuali correttivi. Tra il 1985 e il 1990 la Commissione Europea ha promosso e finanziato il programma CORINE ed ha realizzato un sistema informativo sullo stato dell'ambiente in Europa, sono stati inoltre sviluppati e approvati a livello europeo sistemi di nomenclatura e metodologie di lavoro per la creazione del database *Corine Land Cover* (CLC), che viene realizzato inizialmente nel 1990 (CLC90). Alla Conferenza di Dobris del 1991 i Ministri dell'Ambiente Europei si accordarono per l'allargamento del programma CORINE includendo anche i Paesi dell'est aderenti al programma Phare, complessivamente i Paesi coinvolti nel progetto CORINE salgono quindi a 25. Sulla base delle indicazioni del Consiglio Europeo e a seguito della creazione della rete EIONET (*European Environment Information and Observation Network*), l'implementazione del database CORINE è responsabilità dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (AEA).

La copertura *Corine Land Cover* all'anno 90 (CLC90) ed il suo aggiornamento al 2000 *Image & Corine Land Cover 2000* (I&CLC00) sono riconosciute a livello europeo quali strumenti di base per la definizione delle politiche territoriali da parte di diversi servizi della Commissione Europea quali DG-Regional policy, DG-Environment e DG-Agriculture oltre all'AEA e ai nodi della rete costituita dagli *European Topic Centres* (ETCs). La copertura *Corine Land Cover* rappresenta altresì uno strato informativo di base per lo sviluppo di applicazioni di modellistica e di analisi spaziale su base GIS finalizzati alla derivazione di informazioni complesse utili a supportare le scelte dei *decision maker* a livello Europeo e nazionale. Il progetto Corine Land Cover (CLC) è nato a livello europeo specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela ambientale.

La prima realizzazione del progetto CLC risale al 1990 (CLC90), mentre gli aggiornamenti successivi si riferiscono all'anno 2000 tramite il progetto *Image & Corine Land Cover 2000*. L'iniziativa, cofinanziata dagli Stati membri e dalla Commissione Europea, ha visto nel 2000 l'adesione di 33 paesi tra i quali l'Italia, dove l'Autorità Nazionale per la gestione del progetto è stata identificata nell'APAT, in quanto punto focale nazionale della rete europea EIONet.

L'Agenzia Europea per l'Ambiente ha ultimamente deciso di avviare un aggiornamento del CLC, riferito all'anno 2006, nell'ambito del programma GMES Fast Track Service on Land Monitoring. L'APAT ha aderito a tale iniziativa ed ha approvato il progetto "CLC2006 IT". Con questo progetto si intende realizzare un mosaico Europeo all'anno 2006 basato su immagini satellitari SPOT-4 HRVIR, SPOT 5 HRG e/o IRS P6 LISS-III, derivate dalle stesse la cartografia digitale di uso/copertura del suolo all'anno 2006 e quella dei relativi cambiamenti. Nell'ambito del progetto verranno inoltre prodotti due strati ad alta risoluzione; il primo consiste nella mappatura delle aree impermeabilizzate, mentre il secondo è relativo alla copertura forest/no forest con discriminazione di conifere e latifoglie. Per l'Italia, analogamente alla realizzazione nazionale del CLC00, la proposta progettuale per il 2006 prevede un approfondimento tematico al IV livello per gli ambienti naturali e semi-naturali.

Il Progetto CLC2006

Nel Novembre del 2004 il Management Board dell'AEA, a seguito delle discussioni tra gli Stati Membri, l'Unione Europea e le principali istituzioni della stessa (DG ENV, EEA, ESTAT e JRC), ha valutato la possibilità di aumentare la frequenza di aggiornamento del *Corine Land Cover* ed ha deciso di avviare un aggiornamento del CLC, riferito all'anno 2006 e sviluppato nell'ambito dell'iniziativa Fast Track Service on Land Monitoring (FTSP) del programma Global Monitoring for Environment and Security (GMES). Con questa iniziativa si intende dotare l'Unione Europea di una serie di servizi informativi, sostenibili ed aggiornati periodicamente, che comprendono una copertura di immagini satellitari e dei database derivati di uso e copertura del suolo. L'iniziativa del CLC06, cofinanziata dagli Stati membri e dalla Commissione Europea, ha visto l'adesione di 38 paesi tra i quali l'Italia. I National Reference Centre on Land Use e Spatial Analysis di EIONet sono stati individuati come responsabili del progetto e National Authorities a livello nazionale. L'obiettivo principale è la produzione del database dei cambiamenti di uso/copertura del suolo tra il 2000 ed il 2006 (CLC change 2006) e la derivazione del database di uso/copertura del suolo al 2006 (CLC06) utilizzando come sistema di base una copertura europea di immagini satellitari riferita all'anno 2006 (Image 2006).

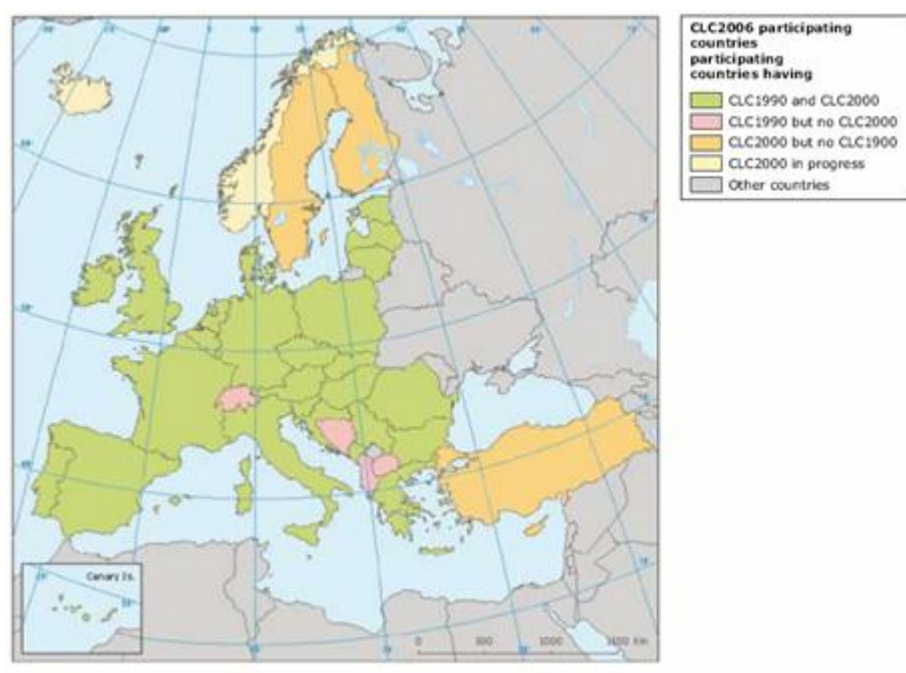


Fig. 7. 1-Paesi partecipanti al progetto CLC 2006.

Operativamente, l'aggiornamento al 2006 della base informativa CLC si distacca dai precedenti prodotti, in quanto lo strato vettoriale risultante sarà il prodotto dell'intersezione dei cambiamenti fotointerpretati tra il 2000 ed il 2006 con lo strato vettoriale CLC00. Utilizzando questo approccio si pretende, inoltre, di identificare e correggere eventuali errori di classificazione presenti nello strato CLC00. Il progetto CLC06 nazionale contribuirà anche alla realizzazione di un approfondimento tematico per le aree naturali e seminaturali, comparabile con quello di una cartografia forestale. A conclusione del progetto si avranno, quindi, quattro principali prodotti cartografici: lo strato dei cambiamenti territoriali tra il 2000 ed il 2006, la copertura del suolo all'anno 2006, il CLC00 revisionato e l'approfondimento al IV livello tematico dello strato CLC06. Questo approfondimento tematico relativamente alle aree boscate ed agli ambienti semi-naturali, garantisce sia un'omogeneità con la precedente base di dati e una continuità nel supporto ad attività come, ad

esempio, la pianificazione forestale regionale e di aree naturali protette o l'analisi e la tutela della biodiversità. (APAT) .

Il Progetto Desertnet (Interreg - IIIB)

Il progetto si basa sulla considerazione che l'UNCCD riconosce l'urgenza di sviluppare strategie e di identificare strumenti per minimizzare il degrado dei suoli, essendo questo intimamente legato ai problemi di povertà e sviluppo sostenibile del territorio.

Le aree a rischio desertificazione nei Paesi dell'Annesso IV (Paesi europei) sono concentrate nel settore nord del bacino del Mediterraneo con particolare gravità in Grecia, Italia, Portogallo e Spagna.

Per l'UNCCD la desertificazione è intesa *"il degrado delle terre nelle zone aride, semi-aride e subumide secche, provocato da diversi fattori, tra i quali le variazioni climatiche e il rapporto con l'attuale modello delle attività umane"* (UNCCD, Art. 1. a). Essa si manifesta con *"la diminuzione o la scomparsa della produttività e complessità biologica o economica delle terre coltivate, sia irrigate che non, delle praterie, dei pascoli, delle foreste o delle superfici boschive causate dai sistemi di utilizzo della terra, o da uno o più processi, compresi quelli derivanti dall'attività dell'uomo e dalle sue modalità di insediamento, tra i quali l'erosione idrica, eolica, ecc; il deterioramento delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche o economiche dei suoli; la perdita protratta nel tempo di vegetazione naturale"* (UNCCD, Art. 1. f).

La possibilità di disporre di strumenti adeguati per identificare le aree a rischio e quindi programmare le priorità di intervento delle misure di mitigazione e recupero rappresenta un punto fondamentale identificato sia a livello internazionale, come enfatizzato dal Comitato Scienza e Tecnologia (CST) della UNCCD, sia a livello Nazionale, come priorità dei Programmi di Azione Nazionale (PAN) di lotta alla desertificazione e come previsto dall'articolo 20 del D. Lvo n. 152/1999 sulla tutela delle acque.

In questo contesto il Progetto DESERTNET "Monitoraggio ed azioni di lotta alla desertificazione nella regione mediterranea europea" (INTERREG IIIB MEDOCC) coordinato dal Nucleo Ricerca Desertificazione - NRD dell'Università di Sassari, si propone di :

- § contribuire allo sviluppo di una cartografia basata su indicatori comuni tra le varie regioni italiane coinvolte nel progetto.
- § portare avanti uno studio specifico sul territorio regionale sviluppando metodologie di analisi che possano divenire patrimonio comune per le altre regioni.

Il suddetto progetto si integra e si coordina con il precedente "Rete Sovrannazionale di Laboratori Ambientali Multifunzionali", finanziato dal Programma InterregIIC-MEDOCC e sviluppato in collaborazione con il LaMMA, costituendo, con il precedente, un insieme organico relativo allo studio, al monitoraggio e alla gestione sostenibile delle aree a rischio di desertificazione, che si affacciano sul bacino del Mediterraneo.

Si è ritenuto opportuno, focalizzare l'attenzione da una parte sulla implementazione delle procedure standard di analisi di vulnerabilità alla desertificazione, così come previste dalla metodologia MEDALUS, attraverso la creazione di banche dati pertinenti rispetto ai parametri

richiesti, e dall'altra realizzare studi più approfonditi con metodologie innovative su tematiche ritenute chiave per il monitoraggio dei fenomeni di desertificazione : il clima e la vegetazione.

L'obiettivo generale è stato identificato ne "lo studio della vulnerabilità alla desertificazione del territorio grazie all'integrazione dei dati socio-economici e climatici con l'analisi delle serie storiche dei dati telerilevati". (APAT) .

Questo obiettivo generale viene perseguito secondo tre assi di attività principali o obiettivi specifici:

Asse 1: Studio e miglioramento delle metodologie di analisi satellitare per la valutazione della serie storica dell'indice di vegetazione a partire dalle immagini NOAA-AVHRR. Analisi multitemporale con immagini Landsat TM sulle aree identificate come sensibili.

Asse 2: Analisi climatologica sulla serie storica di riferimento 1961-1990 e confronto con il successivo decennio 1991-2000.

Asse 3: Integrazione degli indicatori ottenuti dall'analisi NDVI e climatica con dati socio-economici per l'identificazione delle zone vulnerabili alla desertificazione.

In parallelo rispetto agli obiettivi specifici del work package vengono portate avanti le attività funzionali alla realizzazione dei piani informativi comuni alle altre regioni per l'ottenimento di una cartografia omogenea.

8 - Metodi

Il Telerilevamento

Era generalmente accettata la definizione di telerilevamento come insieme di tecniche, strumenti e mezzi interpretativi in grado di estendere e migliorare le capacità percettive dell'occhio umano, fornendo informazioni qualitative e quantitative su oggetti posti a distanza dal luogo d'osservazione. Oggi il telerilevamento comprende anche tecniche di analisi della radiazione elettromagnetica e dei campi di forze finalizzate ad acquisire e interpretare dati geospaziali presenti sulla superficie terrestre, negli oceani e nell'atmosfera. Le nuove tecniche di rilevamento quali la geodesia spaziale (sistema Global Positioning System - GPS), la topografia automatica, la fotogrammetria digitale ed il telerilevamento (sistemi Landsat, Spot, SAR, Ikonos, Quick Bird, etc.), hanno profondamente cambiato i metodi di acquisizione di informazioni metriche e tematiche sull'ambiente e sul territorio. Contemporaneamente è divenuta fondamentale l'esigenza di interpretare e integrare tra loro le informazioni acquisite attraverso la cartografia numerica ed i sistemi informativi geografici GIS. (<http://www.geotecnologie.unisi.it/geotecnologie/telerilevamento.php>).

Nella storia del Telerilevamento, le diverse definizioni che troviamo in letteratura, risultano condizionate dal livello tecnologico del tempo, quindi : natura dei dati telerilevati, strumenti hardware e software innovativi, influenzano e ridefiniscono continuamente la capacità di indagine di tale mezzo , aggiornando in parallelo , la definizione stessa di tale Scienza. (Si pensi alla fotogrammetria aerea del secolo scorso , ed al ventaglio di possibilità di analisi offerta da una moderna satellitare Quickbird) . L'opportunità di elaborare tali nuovi dati con l' ausilio di software dedicati , permette di proporre modellizzazioni sempre più efficaci, riducendo sensibilmente il margine d' errore, aumentando l' accuratezza , la quantità e la flessibilità delle informazioni estratte a disposizione dell' utente.

La distanza dell'osservatore dalle informazioni raccolte può andare da alcuni metri (Proximal Sensing) fino a migliaia di chilometri (Remote Sensing), come nel caso delle osservazioni effettuate dai satelliti. Il veicolo di informazione del telerilevamento generalmente è l'energia elettromagnetica, sia essa proveniente dal sole, emessa dalla terra o generata da strumenti radar o laser. L'energia elettromagnetica che trasporta le informazioni più utili nel campo del telerilevamento applicato allo studio del territorio, è quella delle bande del visibile, dell'infrarosso e delle microonde.

Solitamente il rilievo di una superficie effettuato con tecniche di telerilevamento prevede tre fasi distinte: la ripresa dei dati (da aereo, da satellite o da terra), la loro elaborazione e l'analisi.

Gli strumenti di rilievo utilizzati possono essere distinti in due categorie e cioè quelli che forniscono delle misure, come radiometri, spettrofotometri, scatterometri o altri, e quelli che forniscono delle immagini, cioè macchine fotografiche, dispositivi digitali di scansione, termocamere etc. . Tutti gli strumenti da ripresa nel gergo tecnico vengono chiamati sensori. Una distinzione che può essere fatta è quella fra strumenti passivi e attivi: gli strumenti passivi misurano le radiazioni (siano esse emesse o riflesse) provenienti dalle superfici investigate, mentre gli strumenti attivi provvedono essi stessi alla illuminazione delle superfici, captando poi la radiazione riflessa.

L'insieme di questi strumenti parallelamente alle moderne tecniche di analisi rappresentano un metodo pratico, sistematico ed economico di mantenere ed aggiornare le informazioni sul mondo che ci circonda ed in particolare nei seguenti campi di applicazione:

- Agricoltura: gestione dei processi produttivi, verifiche di dettaglio di appezzamenti e tipologie di colture, inventario e previsione dei raccolti, controllo delle proprietà, valutazione dei danni post-calamità.



Fig. 8. 1-Esempio di Immagine satellitare Ikonos (321 RGB).



Fig. 8. 2-Esempio di Immagine satellitare Ikonos (432 RGB).

- **Scienze Forestali:** cartografia forestale, gestione demaniale, monitoraggio aree deforestate o percorse da incendi.



Fig. 8. 3-Esempio di immagine satellitare Landsat 7 ETM+ (sintesi 321 RGB).

- **Geologia e Geologia Applicata:** cartografia geologica, esplorazioni marine e terrestri, valutazioni di impatto ambientale, monitoraggio di attività estrattive, subsidenze, movimenti franosi.

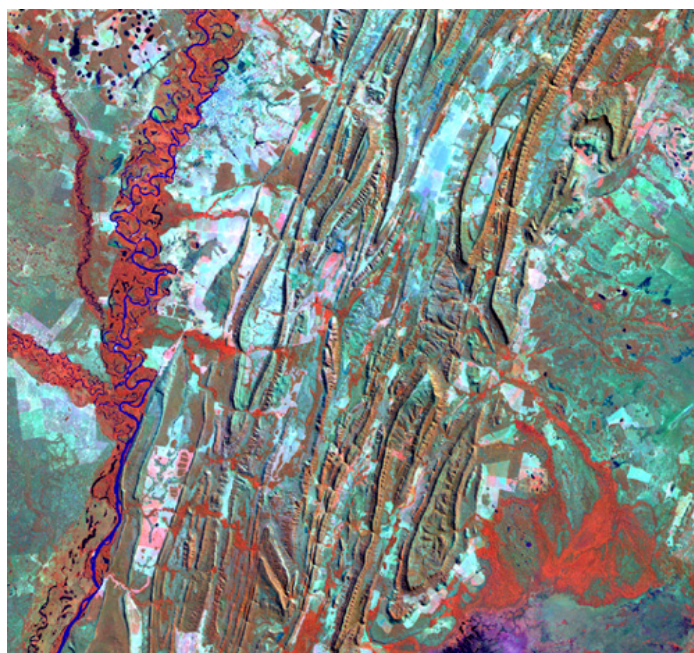


Fig. 8. 4-Strutture geologiche evidenziate da un'immagine satellitare Landsat 5 TM (sintesi 453 RGB).

- **Topografia e Cartografia Tematica:** realizzazione gestione ed aggiornamento della cartografia, pianificazione territoriale, catasto, controllo dell'abusivismo edilizio.

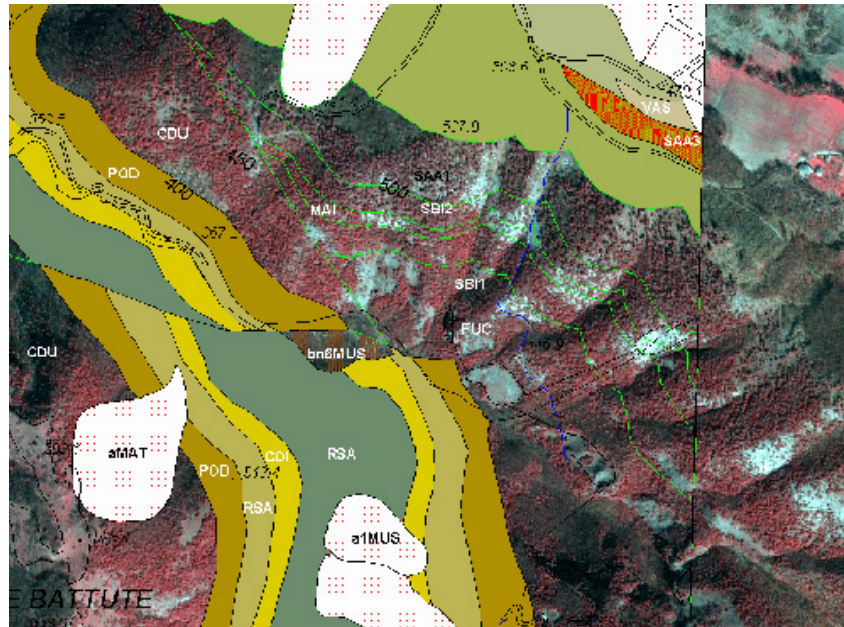


Fig. 8. 5-Esempio di integrazione del telerilevamento con Sistemi Informativi Territoriali per la produzione di cartografia geologica e geomorfologica. Immagine satellitare Ikonos (Sintesi 432 RGB).

- **Ambiente:** classificazione multitemporale di uso e coperture del suolo, controllo e gestione dell'ecosistema, valutazioni di impatto ambientale, monitoraggio inquinamento, discariche e rifiuti urbani e industriali, gestione della rete idrica e aree umide.

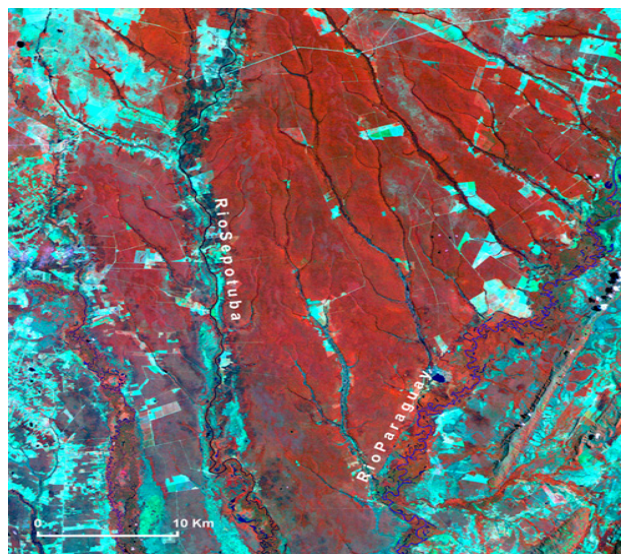


Fig. 8. 6-Monitoraggio della deforestazione satellitare Landsat 5 TM (Mato Grosso, 1985 - 453 RGB).

- **Gestione del Rischio:** monitoraggio di frane, subsidenze, alluvioni, vulcani e terremoti e valutazione dei danni, localizzazione di aree inquinate, pianificazione delle strutture di pronto soccorso.

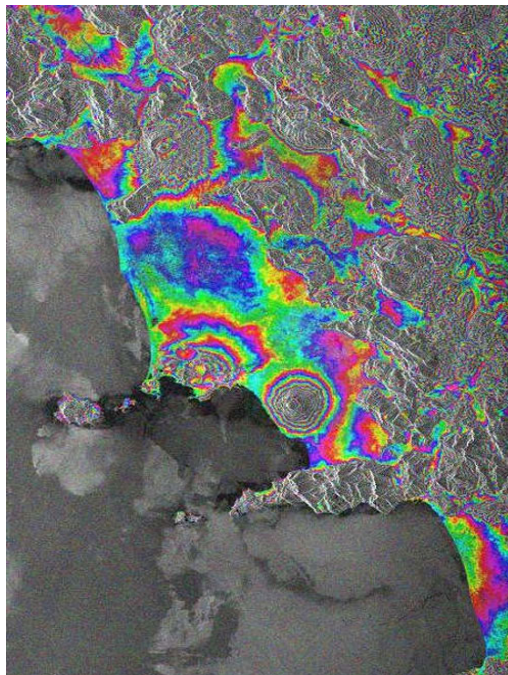


Fig8. 7-Esempio di identificazione di aree subsidenti attraverso interferometria - INSAR - Immagine Radar ERS2.

- **Difesa del territorio:** monitoraggio di obiettivi strategici, pianificazione e preparazione di missioni, verifica della pianificazione e degli accordi, controllo dell'industria estrattiva.



Fig. 8. 8-Esempio di applicazione di Immagini satellitari per la difesa ed il monitoraggio del territorio (321RGB).

- **Mare e Aree Costiere:** gestione delle coste, fenomeni di erosione costiera, monitoraggio aree glaciali e periglaciali, pianificazione e controllo delle rotte nautiche, presenza di alghe.



Fig. 8. 9-Applicazione del telerilevamento nei sistemi costieri - Immagine satellitare Ikonos (321 RGB).

- **Telecomunicazioni:** pianificazione e supporto delle reti di trasporto e navigazione a scala urbana e internazionale, etc. .
- **Media e Turismo:** cartografia, pubblicità, educazione, analisi di proprietà, valorizzazione del territorio, etc. .

Caratteristiche dei sensori utilizzati

La scelta delle immagini viene normalmente effettuata in fase pre-progettuale tenendo conto di quali caratteristiche si vorranno a disposizione nella fase di elaborazione, (risoluzione, frequenza, e numero di bande disponibili) ed anche , al costo effettivo del dato (dati economici permettono un'alta frequenza di applicazione dei modelli di analisi studiati, rendendo il monitoraggio più sensibile ed efficace). Nel nostro caso la scelta è ricaduta su immagini telerilevate dai satelliti Terra e Aqua (MODIS) ed IRS (LISS-III). Di seguito sono descritte le caratteristiche dei satelliti e dei sensori utilizzati.

Il sensore IRS LISS-III

L'IRS è un satellite ottico di proprietà indiana, in grado di operare sia nel modo multispettrale che in quello pancromatico; è stato fino al 2000 il satellite a maggior risoluzione geometrica. È stato lanciato nel Dicembre 1995 su di un'orbita polare circolare eliosincrona ad una altezza media di 817 km e con una inclinazione di 98°69', seguito dall'omologo IRS-1D nel Settembre del 1997. Il satellite impiega 101 minuti per completare una rivoluzione attorno alla Terra e copre l'intera superficie terrestre con 341 orbite durante un intervallo di 24 giorni. La possibilità di ruotare lateralmente il sensore permette di abbreviare il periodo di ripetizione a 5 giorni. A bordo della piattaforma sono montati i tre sensori PAN (Panchromatic camera), per le riprese in modalità pancromatica ad alta risoluzione, LISS-III (Linear Imaging and Self Scanning Sensor) per le riprese multispettrali, e WiFS (Wide Field Sensor) per le riprese multispettrali a bassa risoluzione.

PAN Camera	
Tipo	Sensore opto-meccanico
Risoluzione geometrica	5. 8 m
Range spettrale	0. 50-0. 75 μ m
Numero di bande	1
Tempo di ripetizione	24 giorni
Ampiezza di ripresa	70 km

LISS-III	
Tipo	Sensore opto-meccanico
Risoluzione geometrica	23. 5-70. 5 m
Range spettrale	0. 52-1. 7 μ m
Numero di bande	4
Tempo di ripetizione	24 giorni
Ampiezza di ripresa	141-148 km.

Tab. 8. 1-Sensori PAN e LISS.

Il sensore MODIS

Il MODIS (o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) è uno strumento determinante montato a bordo dei satelliti Terra (EOS AM) ed Aqua (EOS PM) (<http://terra.nasa.gov>; <http://aqua.nasa.gov>). L'orbita terrestre di 'Terra' è sincronizzata in modo che passi da nord verso sud attraverso l'equatore di mattina, mentre quella di 'Aqua' passa da sud verso nord per l'equatore di pomeriggio. I due satelliti, con sensore MODIS, riescono a coprire l'intera superficie terrestre in un periodo compreso tra uno e due giorni, acquisendo dati in 36 bande spettrali . Questi dati

miglioreranno la nostra comprensione delle dinamiche globali e dei processi che si verificano sulla superficie terrestre, negli oceani e nella bassa atmosfera. MODIS sta giocando un ruolo fondamentale nello sviluppo e validazione di modelli terrestri interattivi, abili a predire cambiamenti globali con sufficiente accuratezza da permettere di essere utilizzato efficacemente in materia di protezione e programmazione ambientale.

Specifications	
Orbit	705 km, 10:30 a. m. descending node (Terra) or 1:30 p. m. ascending node (Aqua), sun-synchronous, near-polar, circular
Scan Rate	20. 3 rpm, cross track
Swath	2330 km (cross track) by 10 km (along track at nadir)
Dimensions	
Telescope	17. 78 cm diam. off-axis, afocal (collimated), with intermediate field stop
Size	1. 0 x 1. 6 x 1. 0 m
Weight	228. 7 kg
Power	162. 5 W (single orbit average)
Data Rate	10. 6 Mbit/s (peak daytime); 6. 1 Mbit/s (orbital average)
Quantization	12 bits
Spatial Resolution	250 m (bands 1-2) 500 m (bands 3-7) 1000 m (bands 8-36)
Design Life	6 years

Tab. 8. 2-Sensore MODIS su satelliti Terra e Aqua.

Band	Wavelength (nm)	Resolution (m)	Primary Use
1	620-670	250m	Land/Cloud/Aerosols Boundaries
2	841-876	250m	
3	459-479	500m	Land/Cloud/Aerosols Properties
4	545-565	500m	
5	1230-1250	500m	
6	1628-1652	500m	
7	2105-2155	500m	
8	405-420	1000m	Ocean Color/

9	438-448	1000m	Phytoplankton/ Biogeochemistry
10	483-493	1000m	
11	526-536	1000m	
12	546-556	1000m	
13	662-672	1000m	
14	673-683	1000m	
15	743-753	1000m	
16	862-877	1000m	
17	890-920	1000m	Atmospheric Water Vapor
18	931-941	1000m	
19	915-965	1000m	
Band	<u>Wavelength</u> (<u>μm</u>)	Resolution (m)	Primary Use
20	3. 660-3. 840	1000m	Surface/Cloud Temperature
21	3. 929-3. 989	1000m	
22	3. 929-3. 989	1000m	
23	4. 020-4. 080	1000m	
24	4. 433-4. 498	1000m	Atmospheric Temperature
25	4. 482-4. 549	1000m	
26	1. 360-1. 390	1000m	Cirrus Clouds Water Vapor
27	6. 535-6. 895	1000m	
28	7. 175-7. 475	1000m	
29	8. 400-8. 700	1000m	Cloud Properties
30	9. 580-9. 880	1000m	Ozone
31	10. 780-11. 280	1000m	Surface/Cloud Temperature
32	11. 770-12. 270	1000m	
33	13. 185-13. 485	1000m	Cloud Top Altitude
34	13. 485-13. 785	1000m	
35	13. 785-14. 085	1000m	
36	14. 085-14. 385	1000m	

Tab. 8. 3-Bande disponibili

9 - Applicazione di metodologie innovative

Le Reti Neurali Artificiali

Le reti neurali costituiscono all'oggi uno dei modelli matematici più sofisticati e complessi per l'elaborazione delle informazioni. In campo applicativo, questo le rende uno strumento particolarmente interessante per varie motivazioni. La prima è che esse, essendo come si suol dire, modelli a memoria associativa, imparano direttamente da esempi e non richiedono particolari conoscenze a priori sulla realtà che si vuole esaminare il che, in alcuni casi, le pone come unico approccio percorribile per la risoluzione dei problemi di estrazione dell'informazione. La seconda è la loro caratteristica di robustezza e tolleranza al rumore. Questa deriva dalla natura al tempo stesso parallela e distribuita in cui si struttura il modello neurale. Una terza importante motivazione risiede

poi nelle proprietà di flessibilità e portabilità che caratterizzano questo tipo di algoritmi. La rete infatti riesce a fondere in maniera sinergica e costruttiva elementi informativi provenienti da sorgenti fisicamente anche molto differenti tra loro. Inoltre, una volta addestrata, la rete concentra la sua capacità di elaborazione in un numero ristretto di coefficienti caratteristici, il che rende quanto mai immediato il suo inserimento in qualsiasi ambiente di elaborazione.

Funzionamento delle Reti Neurali Artificiali

Uno dei più grossi problemi del modello computazionale matematico introdotto da J. Von Neumann (Macchina di von Neumann) è la sua rigidità e l'impossibilità di rispondere a stimoli esterni (input) in maniera diversa da ciò che viene inizialmente immesso nell'elaboratore. In parole semplici, un computer, generalmente, può riconoscere e rispondere solo a stimoli che sono stati codificati precedentemente; anche le risposte, inoltre, sono sempre rigidamente decise a priori. Per tentare di risolvere questo problema, è stato introdotto il concetto di rete neurale (artificiale), preso in prestito dalla biologia, precisamente da ciò che sappiamo sul funzionamento cerebrale. La rete neurale artificiale (ANN, *Artificial Neural Network*) è formata da un gran numero di unità indipendenti, connesse le une alle altre mediante dei collegamenti. Questo è simile alla struttura del nostro cervello, in cui le unità sono i neuroni e i collegamenti gli assoni e le sinapsi. Un impulso (elettrico) viaggia all'interno del cervello seguendo i collegamenti: quando un neurone riceve l'impulso, se questo è abbastanza forte il neurone si "attiva" e a sua volta invia il segnale a tutti i neuroni ad esso collegati, che si comporteranno nella stessa maniera.

Una ANN funziona nello stesso modo: ogni unità è collegata ad altre unità, le quali, in presenza di uno stimolo (input) di sufficiente intensità dalle unità poste "prima" di esse, si attivano e inviano il segnale alle unità collegate. I collegamenti (o gli assoni, nel caso del cervello) hanno la capacità di attenuare il segnale, in modo che questo viaggi secondo percorsi diversi e in alcune "direzioni" si spenga (cioè non sia sufficiente ad attivare alcuni neuroni).

Una rete neurale possiede poi, di solito, un algoritmo che modifica i pesi (le attenuazioni) dei collegamenti, in modo che essa si adatti a fornire un certo output in risposta ad un determinato input.

Una rete neurale artificiale (ANN, *Artificial Neural Network*), è quindi un insieme di elementi, chiamati nodi o neuroni, spesso organizzati in strati e interconnessi da canali di comunicazione.

Ogni nodo ha una piccola quantità di memoria locale e opera solo sui dati che gli arrivano in input dalle connessioni.

Esistono vari tipi di reti neurali e dunque vari modi per classificarle. La classificazione più comune è quella che le divide in supervisionate e non supervisionate. Alle reti della prima categoria viene presentato un input e osservato l'output generato, a questo punto, tenendo conto dell'output che si desiderava, vengono aggiornati i pesi dei collegamenti e presentato alla rete un nuovo input. Questa procedura è detta "addestramento" della rete. La "supervisione" consiste proprio nel conoscere che risposta ci si aspetta da un determinato input. Una rete neurale è in grado, successivamente, di dare risposte coerenti anche ad input che non erano stati presentati in fase di addestramento. La più comune rete di questo tipo, che è anche la più famosa, è quella multistrato (in cui, cioè, i nodi vengono posti in strati paralleli, generalmente 2 o 3, al massimo 4) a retropropagazione o backpropagation (che è il nome dell'algoritmo di addestramento), decisamente semplice da costruire anche per un programmatore poco esperto, con al più una decina di righe di codice. Un esempio classico di una rete simile è quella utilizzata per il riconoscimento di caratteri. Vengono presentati una serie di caratteri (di solito contenuti in una griglia quadrata) e la rete viene addestrata a riconoscere di che carattere si tratti. Successivamente essa sarà in grado, fornito un qualsiasi simbolo, di stabilire a quale carattere esso "somigli" di più. Le reti neurali, dunque, sono in grado di eseguire un'operazione impossibile a gran parte degli altri metodi dell'Intelligenza Artificiale:

rispondere coerentemente a input non codificati in precedenza. Questa caratteristica è fondamentale per tutte quelle applicazioni che hanno a che fare con l'ambiente esterno (è impossibile prevedere in fase di costruzione tutte le possibili situazioni), oppure quelle in cui gli input si presentano "rumorosi" (cioè non precisi), come ad esempio il riconoscimento di forme grafiche (ad esempio, caratteri, figure geometriche, simbologie, etc. . .), nell'interpretazione di segnali, nel riconoscimento vocale, nel controllo di processi di vario tipo e nei sistemi di supporto alle decisioni.

Reti Multilayer Feed-forward Back propagation (BPN)

Sono una particolare tipologia di Rete neurale artificiale che basandosi su una procedura di apprendimento supervisionato è in grado di modellizzare relazioni anche complesse tra variabili. Elementi caratterizzanti le BPN:

1. Sono costituite da nodi organizzati in strati;
2. L'informazione viaggia in modo unidirezionale dallo strato di input a quello di output;
3. Non ci sono connessioni tra nodi dello stesso strato;
4. L'errore che la rete commette nella stima del valore di output viene retro-propagato dallo strato di output a quello di input.

Come funziona una BPN

La rete viene addestrata utilizzando una serie di esempi di cui noi conosciamo sia gli input che l'output corretto.

Ad ogni esempio la rete confronta il suo output con quello corretto, calcola l'errore che sta commettendo e cerca di minimizzarlo modificando i pesi delle connessioni.

Alla fine della fase di addestramento i pesi vengono bloccati e sarà possibile utilizzare la rete con i soli dati di ingresso.

Gli esempi utilizzati per l'addestramento vengono in realtà suddivisi in tre gruppi:

- Training set
- Test set
- Validation set

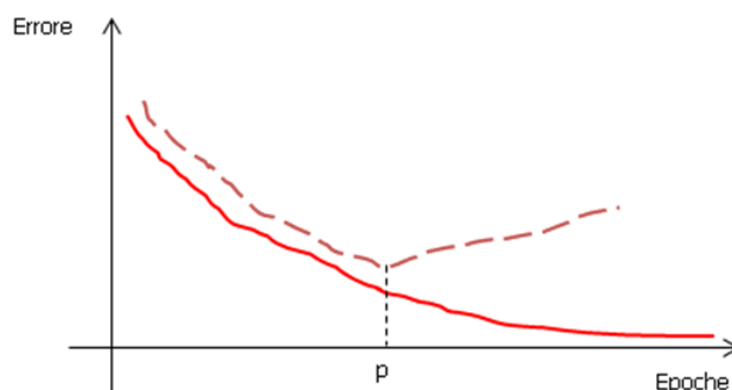


Fig. 9. 1-GraficoErrore-Tempo.

L'algoritmo Error Backpropagation

È un algoritmo per l'addestramento delle BPN che si basa sulla tecnica della discesa del gradiente.

Ad esempio prendendo in considerazione la connessione tra il nodo k e il nodo j :

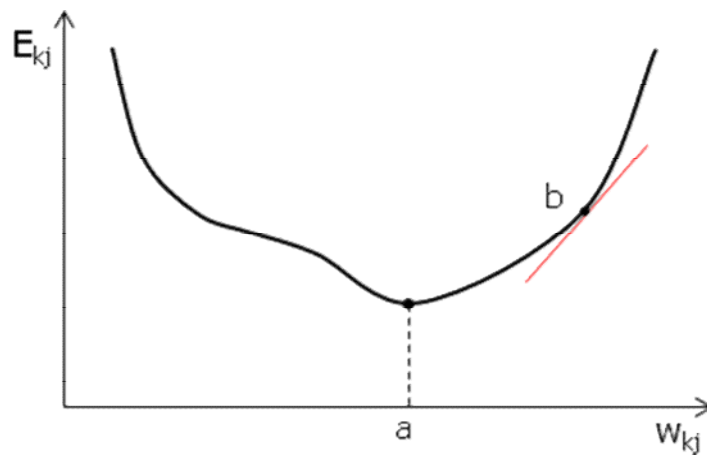


Fig. 9. 2-Grafico Error Backpropagation.

ANN per le classificazioni

Le ANN utilizzate per le classificazioni avranno un nodo di output per ogni classe esistente e conseguentemente il risultato sarà una serie di immagini. Per questo motivo possono essere classificate sia come classificatore hard (se unisco tutti i layers di output e assegno ogni pixel alla classe con valore più alto) che soft, nel caso in cui mantengo separate le informazioni (Del Frate e Solimini, 2004).

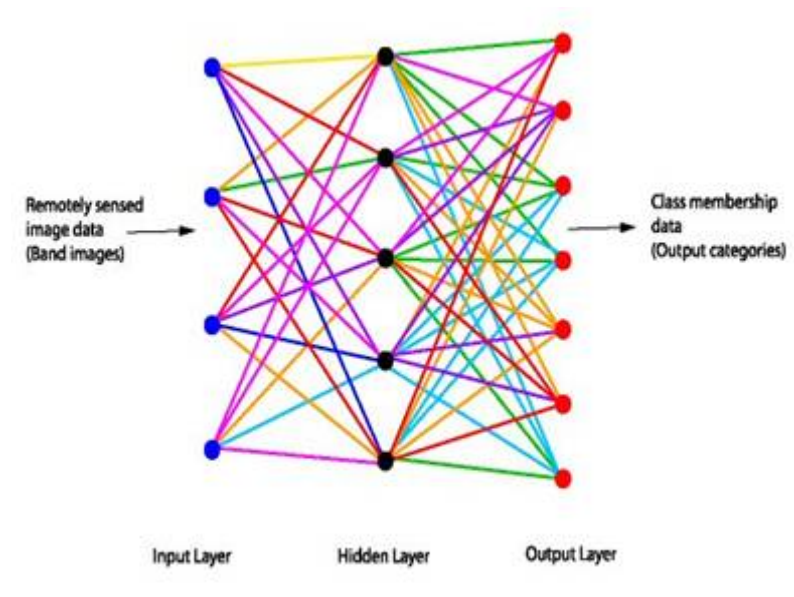


Fig. 9. 3-Schema di multilayering.

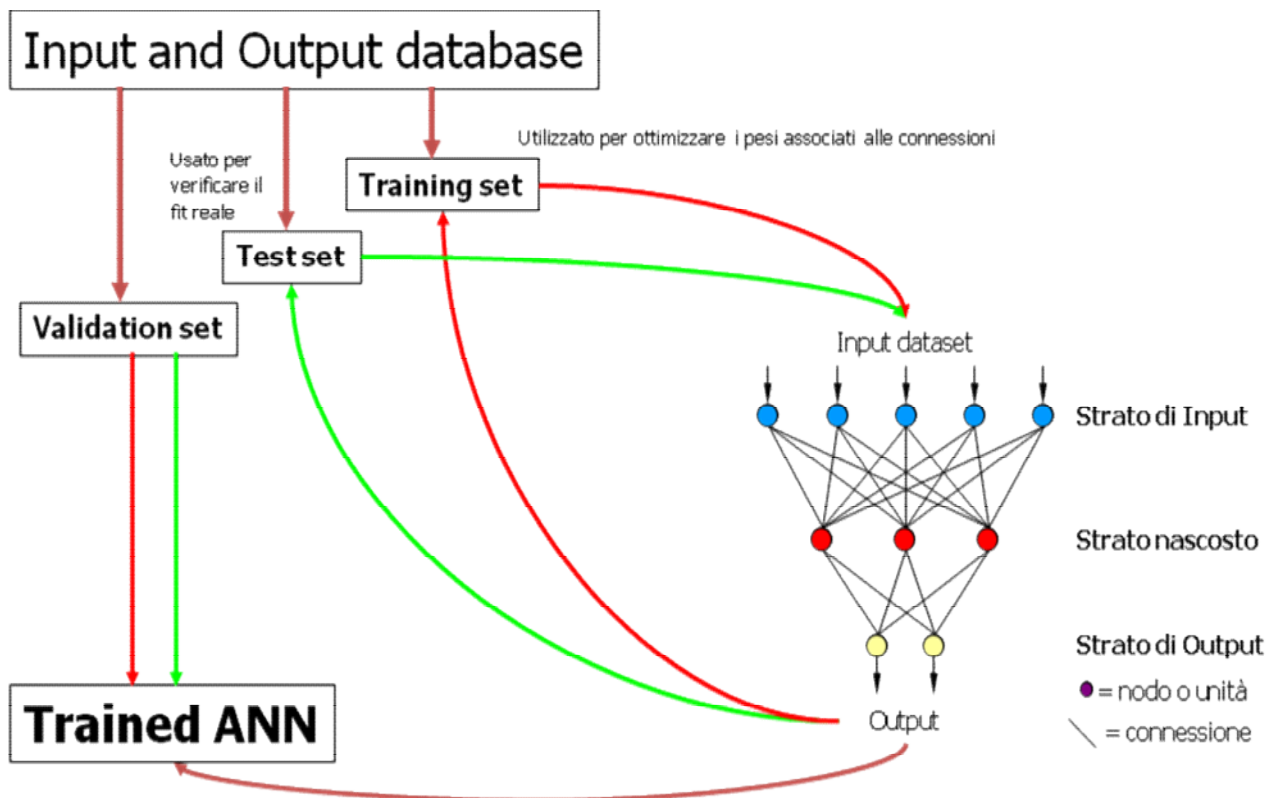


Fig. 9. 4-Addestramento della Rete Neurale.

Classificazione semiautomatica: l'algoritmo di Maximum Likelihood

Il Maximum Likelihood è uno degli algoritmi più usati, anche in applicazioni specifiche, per la sua disponibilità in gran parte dei software di trattamento delle immagini e per il fatto che non richiede un difficile processo di training. Tale processo permette di identificare nell'immagine digitale i pixels caratterizzati da risposte spettrali molto simili e di raggrupparli in categorie che rappresentano le categorie osservabili al suolo. Per ciascuna classe si assume una distribuzione statistica multi-normale, con dimensione corrispondente al numero delle bande a disposizione, e si calcola la probabilità di ogni pixel di cadere all'interno di quella classe. Dal campione di training di ogni classe si ricavano il valore medio, la varianza, la covarianza e le funzioni di probabilità.

Ciascun pixel è quindi assegnato alla classe con la massima probabilità. È possibile definire una probabilità minima affinché un pixel venga attribuito ad una data classe in modo che, se tale valore non è raggiunto, il pixel non viene classificato. Per poter definire la distribuzione di probabilità per ogni classe è necessario che il numero di pixel delle aree di training di ogni classe sia almeno pari al numero delle bande più uno.

10 – Metodologia

Per verificare se l'applicazione delle reti neurali alle immagini satellitari MODIS fornisce risultati soddisfacenti nell'identificazione dell'indicatore "Suolo nudo", quest'ultimo spesso presente negli algoritmi per il calcolo di indici di desertificazione (ad es. , la metodologia Medalus), si è deciso di validare le elaborazioni derivanti dal processo di classificazione non parametrico con metodologie di classificazione convenzionale applicate ad immagini IRS, presentanti una risoluzione geometrica più alta rispetto alle MODIS a discapito di quella spettrale.

Classificazione dell'immagine MODIS

La classificazione delle Immagini MODIS, fornite dal Laboratorio Telegis afferente all'Università degli studi di Cagliari, è stata una fase del lavoro piuttosto automatizzata, in quanto il SW, creato con una struttura piuttosto semplice dettata da determinate restrizioni progettuali, non permette alcun gradi di libertà nel processamento delle immagini.

Il SW (NeuModis), sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria Informatica dell'Università Tor Vergata di Roma, si avvale di metodologie non parametriche applicate alle reti neurali artificiali. Questo SW, Sviluppato nell'ambito del Progetto Grinfomed-Medifire (APAT, 2006), è sviluppato interamente in IDL, quindi interfacciabile con qualsiasi programma basato sul medesimo linguaggio di programmazione. La scelta di sviluppo restrittiva alle sole immagini MODIS è stata dettata dal potenziale inserimento del SW in automatismi volti alla classificazione sempre più automatizzata per il monitoraggio, a scala 1:100. 000, dei cambiamenti territoriali interessanti i processi di desertificazione.

Il SW si divide due principali applicazioni: "OpenModis" e "Neumodis": la prima apre l'immagine e ne visualizza il contenuto (Fig. 10. 1); la seconda permette di costruire la rete e di definire le aree di training (Figg. 10. 2 e10. 4).

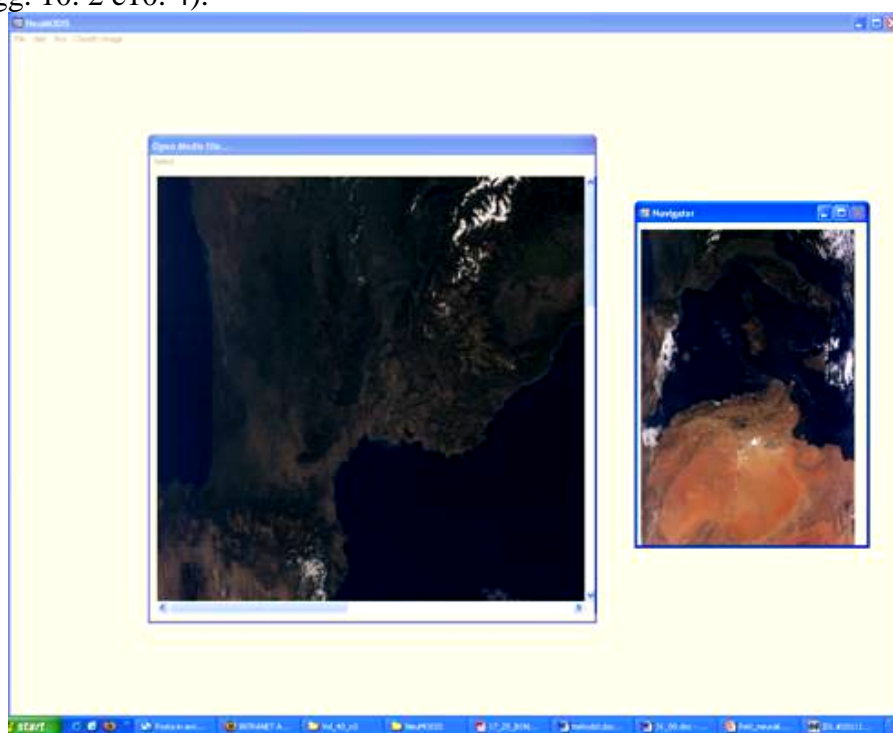


Fig. 10. 1–Screenshot dell'applicazione *OpenModis*.

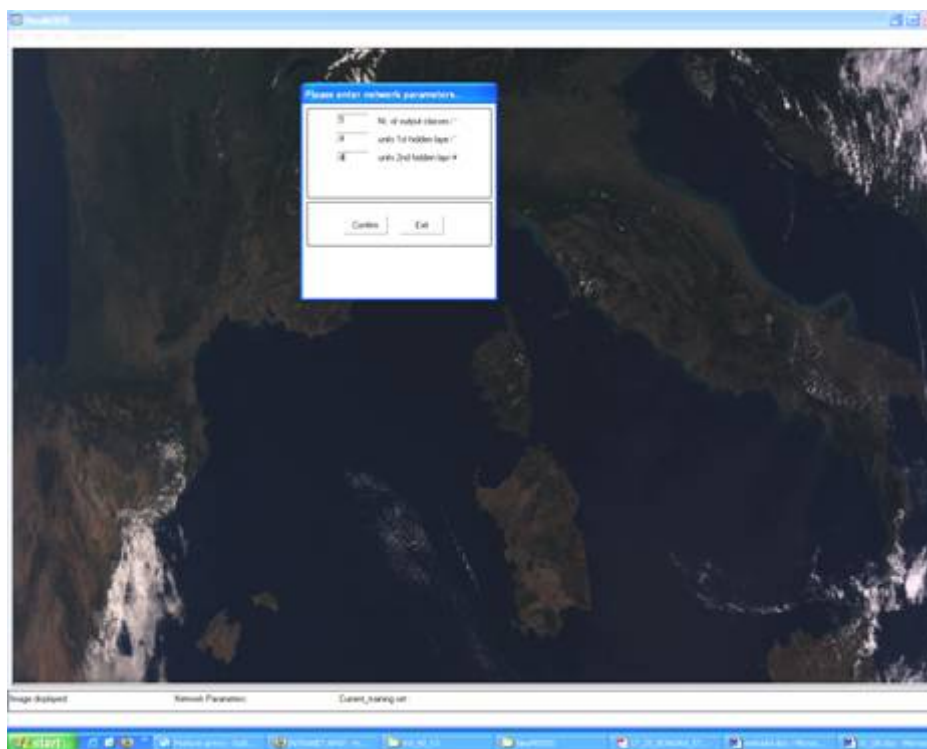


Fig. 10. 2–Fase di creazione della rete: definizione delle classi di output e numero dei nodi.

Prima di giungere a risultati soddisfacenti, è stato necessario valutare diverse opzioni per la creazione della rete, in quanto una rete troppo povera di nodi per strato nascosto fornisce una classificazione troppo generalizzata, con conseguente presenza di classi miste (Fig. 10. 3), mentre troppi nodi per strato porterebbe al sovra-addestramento della rete, con conseguente specializzazione di un determinato fenomeno ma generalizzazione per i restanti. Il numero di strati nascosti e di nodi è dettato dall'esperienza dell'operatore.

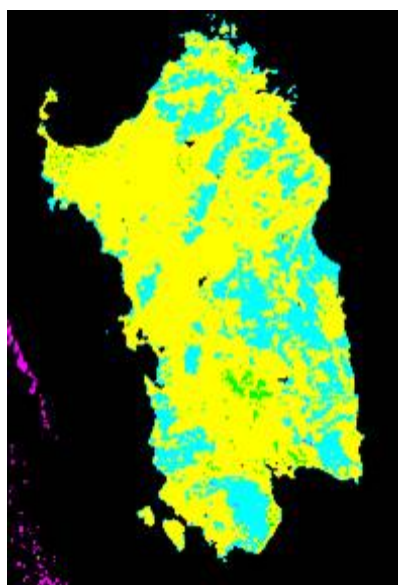


Fig. 10. 3–Esempio di classificazione derivata da un numero limitato di nodi per strato nascosto. Nell'immagine si può notare la limitata presenza di classi.

La rete che ha fornito i migliori risultati è stata composta da sei classi di output (Corpi idrici, Nubi, Vegetazione scarsa, Boschi a conifere, Boschi a latifoglie e Suolo nudo), due strati nascosti con quattro nodi per strato.

La fase successiva ha richiesto la determinazione di aree di training e di validazione, operazione che consiste nella creazione di poligoni identificanti determinate classi di coperture del suolo.

Considerando gli scopi del presente lavoro, ovvero una classificazione della copertura del suolo mirata all'identificazione di quelle aree soggette a processi di desertificazione, e le caratteristiche dell'immagine, è stata scelta la seguente legenda:

- 1 - Corpi idrici
- 2 - Aree agricole
- 3 - Suolo nudo
- 4 - Aree a vegetazione scarsa
- 5 - Boschi di Conifere
- 6 - Boschi di latifoglie

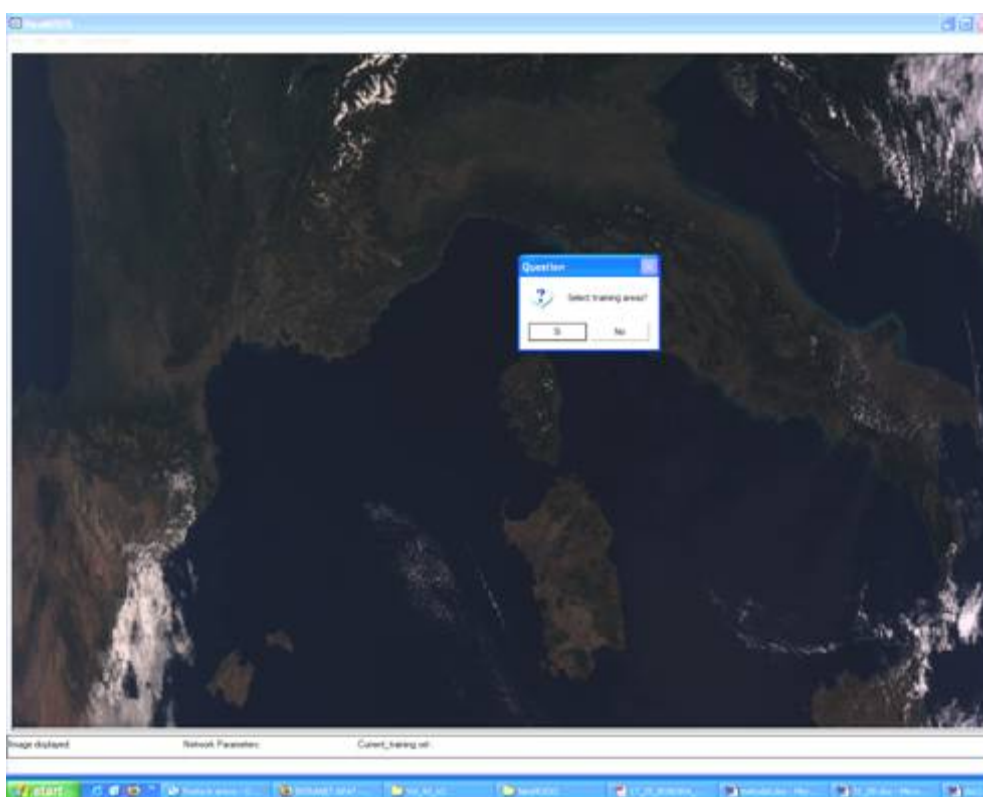


Fig. 10. 4–Fase di determinazione delle aree di training.

Le aree di training e di validazione sono state create tramite appositi tool grafici con restituzione poligonale, i quali sono digeriti dal sistema in formato ‘. txt’.

Queste aree sono necessarie all'addestramento della rete, la quale raggiunge il massimo addestramento quando la curva di validazione, dopo un determinato periodo di tempo chiamato Epoca, è il più vicino possibile alla curva di training (Fig. 10. 5).

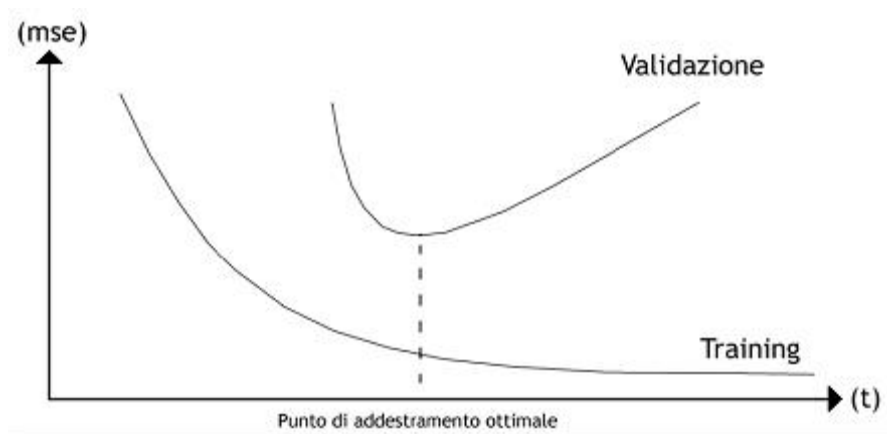


Fig. 10. 5-Curve risultanti dall'addestramento della rete neurale: in ascissa il Tempo, in ordinata l'Errore quadratico medio dell'addestramento.

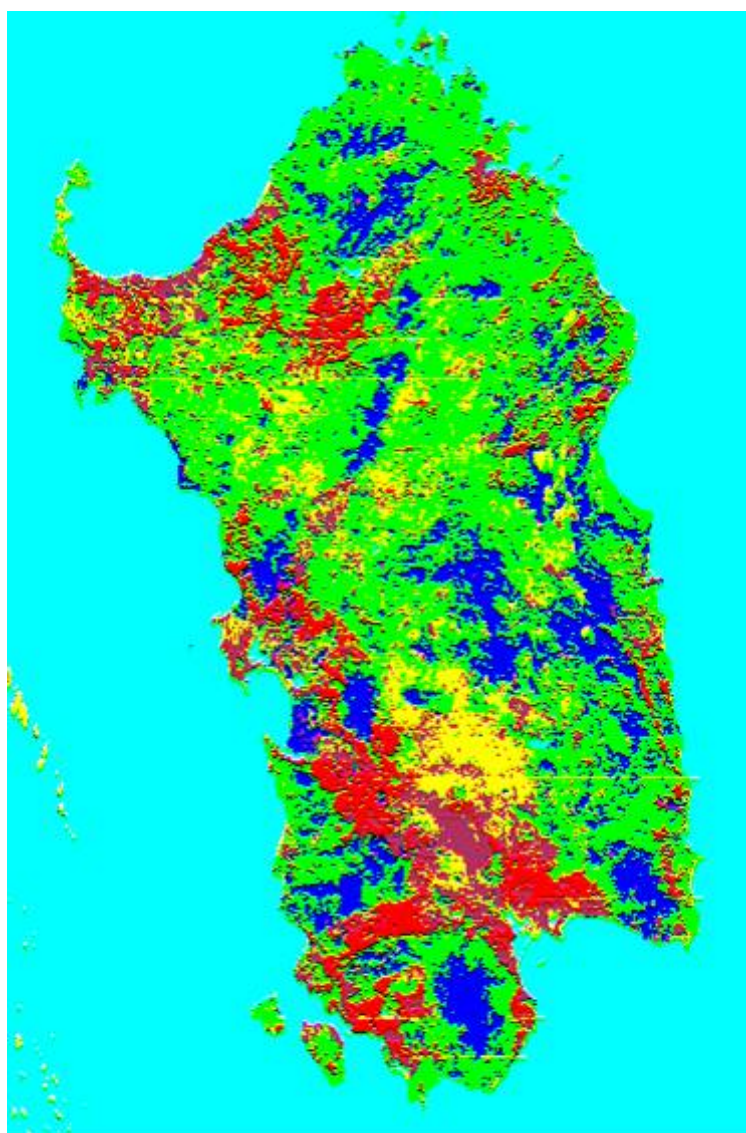


Fig. 10. 6-Classificazione dell'area di studio derivante da un corretto numero di nodi per strato nascosto.

Una volta ottenuta un'elaborazione soddisfacente (Fig. 10. 6), questa è stata georiferita ed ortorettificata tramite il SW Envi 4. 5 ;definendo a priori i punti di controllo a terra sulla scena non classificata, per una miglior identificazione di oggetti a terra (finalizzati al miglior processamento per la corretta posizione spaziale).

Classificazione delle immagini IRS

La classificazione delle immagini IRS è stata effettuata tramite l'utilizzo del SW Envi 4. 5, adottando la tecnica di classificazione parametrica '*Maximum Likelihood*', della quale sono noti da anni i buoni risultati delle sue applicazioni.

Le immagini relative all'area di studio sono state fornite dall'EEA (*European Environment Agency*) nell'ambito del progetto Europeo *Corine Land Cover 2006* (I&CLC06).

Considerando la minor risoluzione spettrale delle IRS rispetto alle MODIS, per un miglior risultato di classificazione, inizialmente si è proceduto nella distinzione di due macro unità dell'area di studio: superfici agricole utilizzate ed ambienti naturali e seminaturali. Questa prima distinzione ha permesso, tramite l'utilizzo dello strato vettoriale *Corine Land Cover* (CLC00), di separare le aree a suolo nudo sintomatiche di un processo di desertificazione da quelle relative a pratiche agricole (campi 'coltivati' che presentano una copertura priva di vegetazione).

Lo strato vettoriale *Corine* (Fig. 10. 7) ha permesso di creare una serie di maschere (Fig. 10. 8) sulle quali è stato possibile differenziare le diverse tipologie di suolo nudo, sia esso a carattere agricolo o naturale.

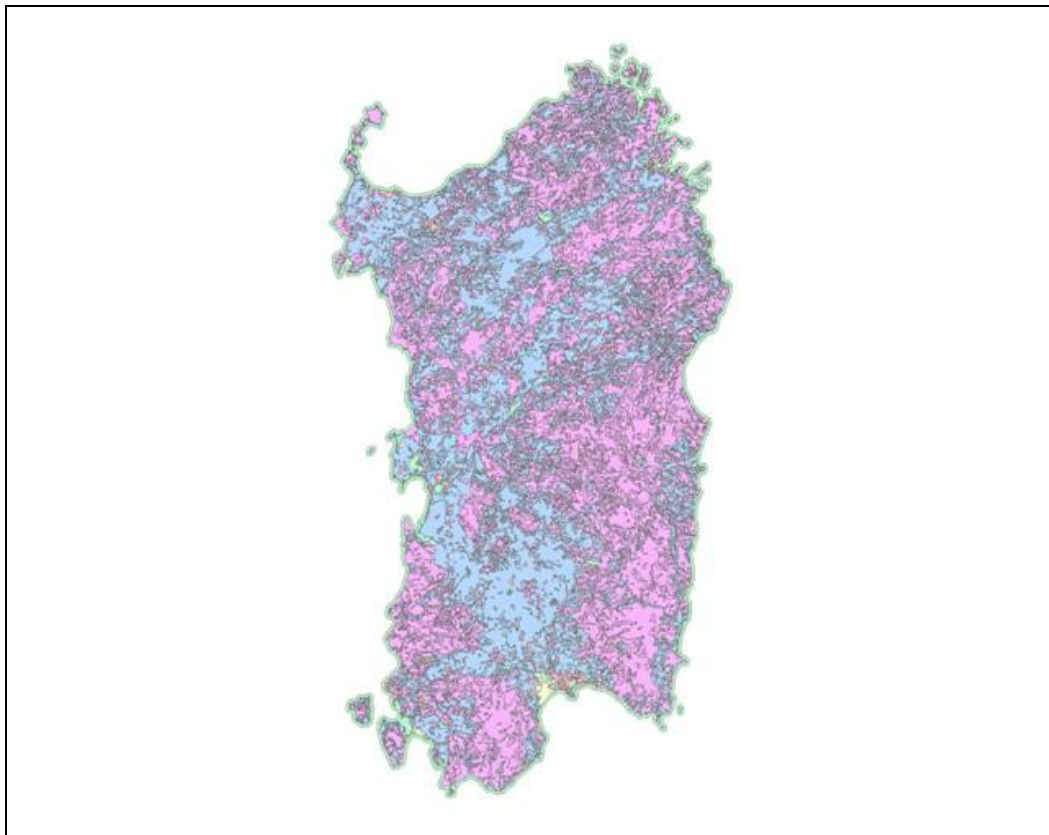


Fig. 10. 7–Strato vettoriale derivato dalla legenda Corine Land Cover 2000.

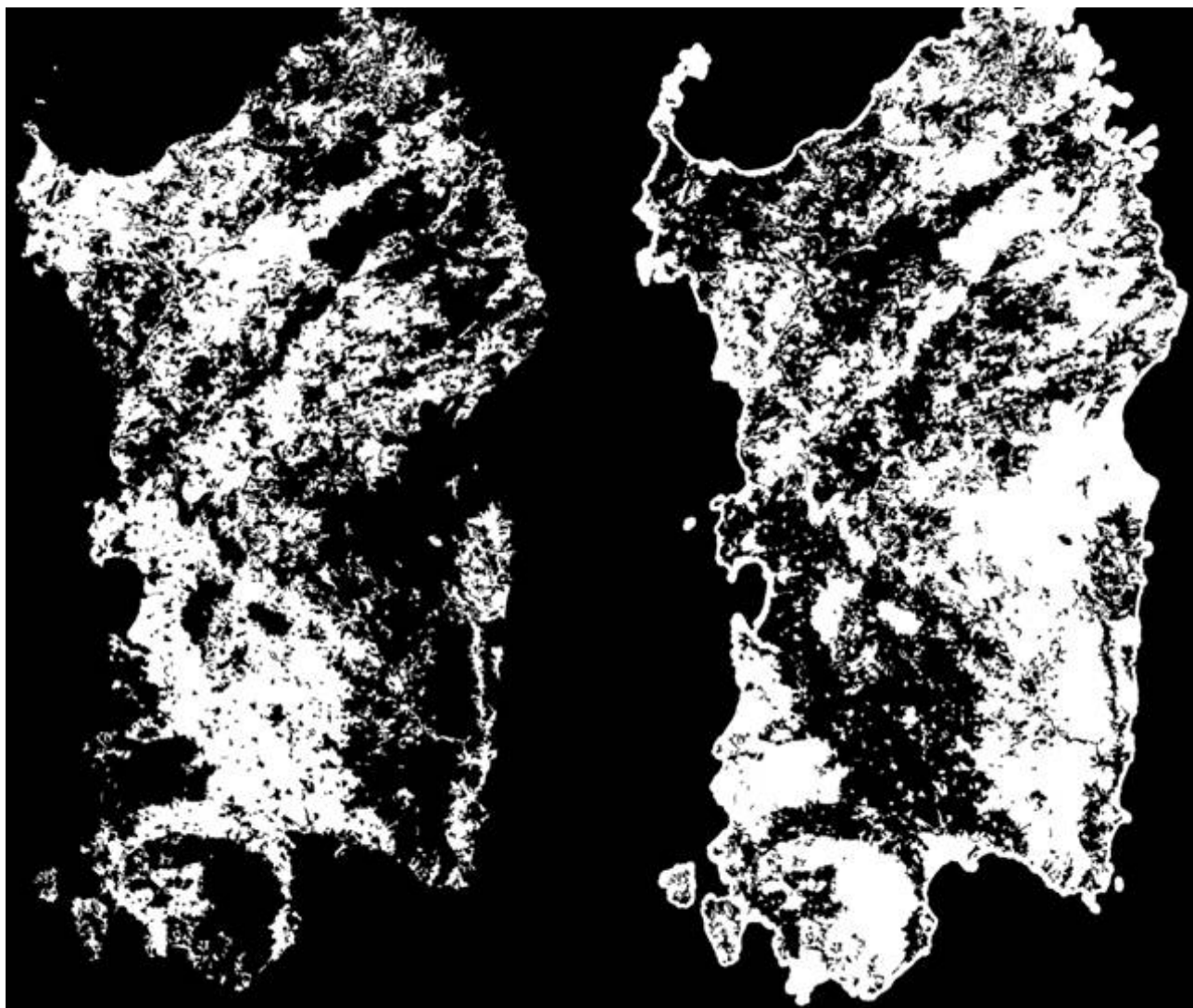


Fig. 10. 8–Composizione delle due maschere relative alla parte agricola ed a quella boschivo-forestale dell’area di studio.

Per ogni maschera sono state quindi tracciate aree di interesse (ROI – *region of interest*) utili alla classificazione dell’immagine. Anch’esse sono di tipo polinomiale e raccolgono un insieme di pixel identificanti un determinato tematismo.

Analogamente a quanto definito per le immagini MODIS, le classi di output delle immagini IRS sono le seguenti:

- 1 - Corpi idrici
- 2 - Aree agricole
- 3 - Suolo nudo
- 4 - Aree a vegetazione scarsa
- 5 - Boschi di Conifere
- 6 - Boschi di latifoglie

Il processo di classificazione ha quindi contemplato quattro diverse elaborazioni (Figg. 10. 9, 10. 10, 10. 11, 10. 12), le quali sono state poi mosaicate per restituire l’intera area indagata con omogeneità di legenda.

L’algoritmo usato per classificare le scene IRS, ovvero l’algoritmo di massima verosimiglianza (*Maximum Likelihood*).

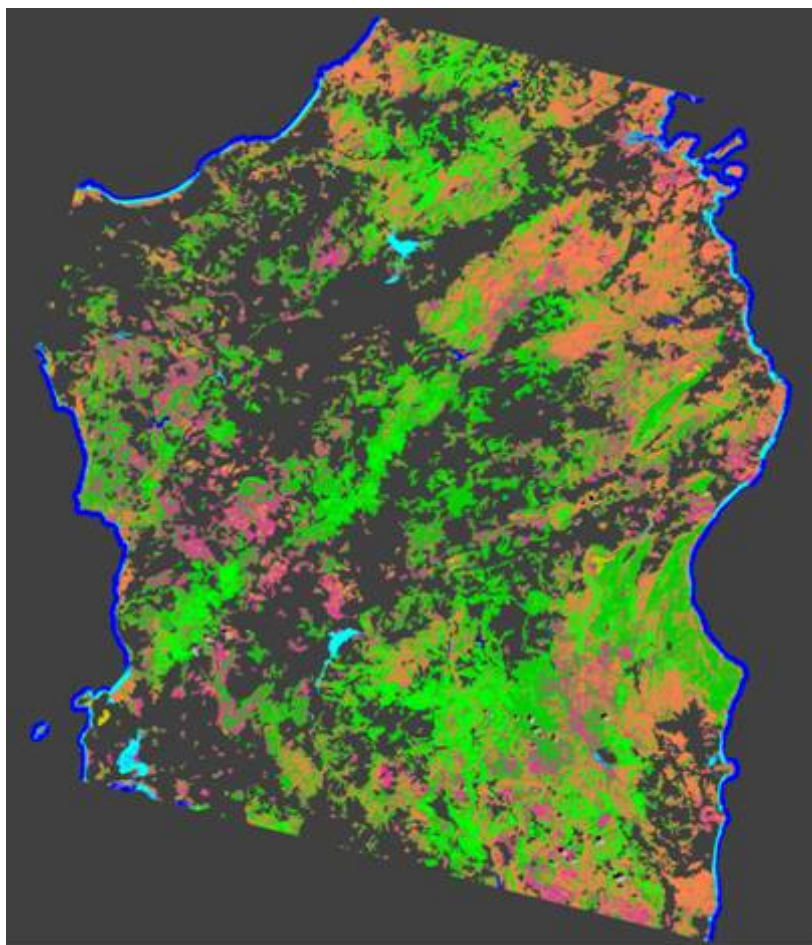


Fig. 10. 9–Classificazione risultante dalla prima immagine IRS relativamente agli ambienti naturali e seminaturali estratti dalla legenda CORINE.

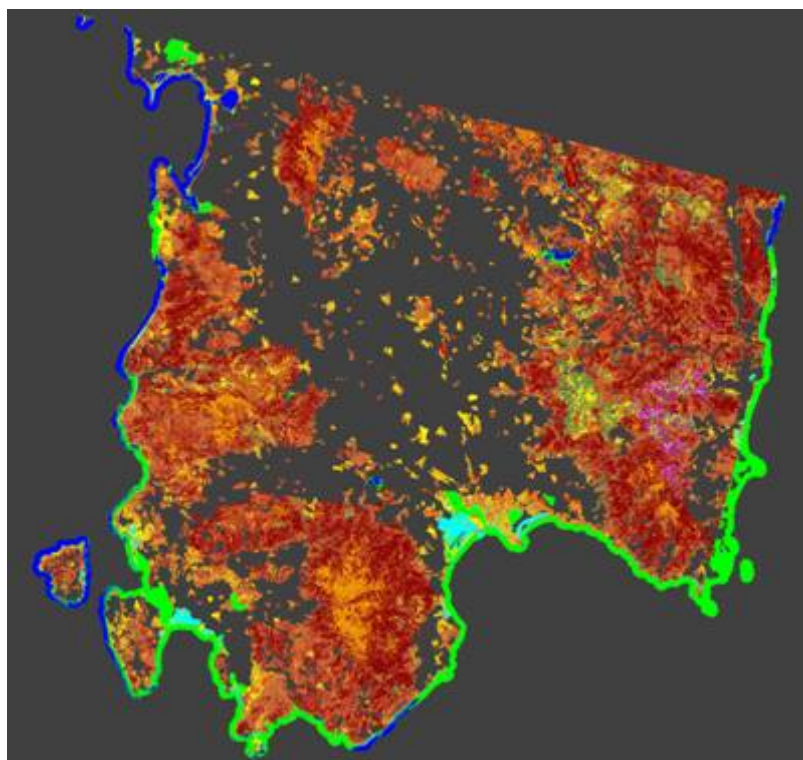


Fig10. 10–Classificazione risultante dalla seconda immagine IRS relativamente agli ambienti naturali e seminaturali estratti dalla legenda CORINE.

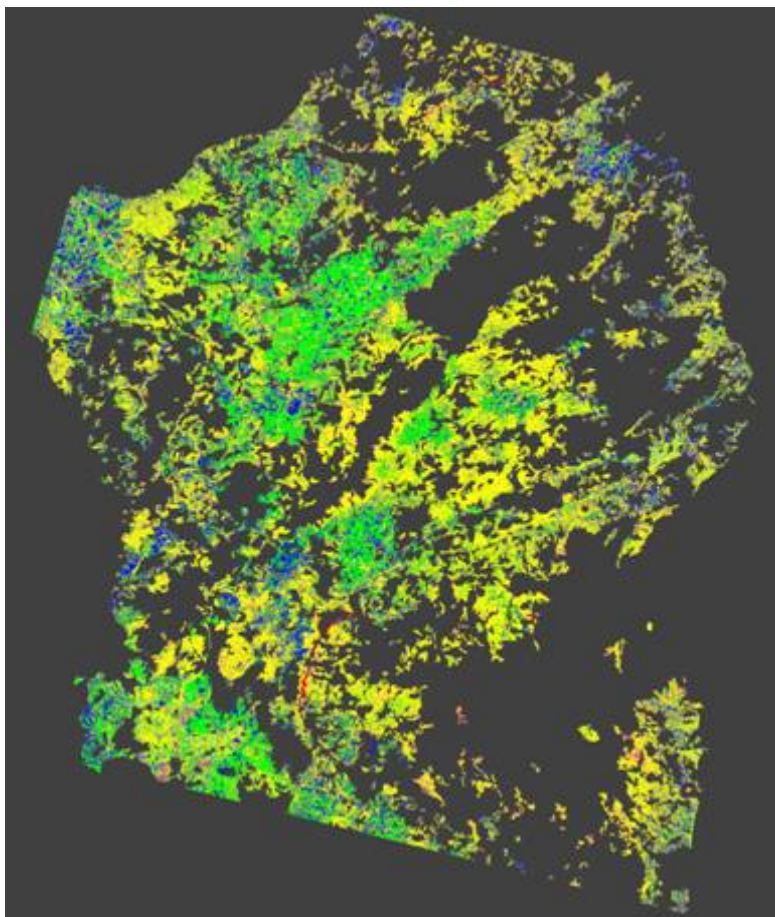


Fig. 10. 11-Classificazione risultante dalla prima immagine IRS relativamente ai territori agricoli estratti dalla legenda CORINE.

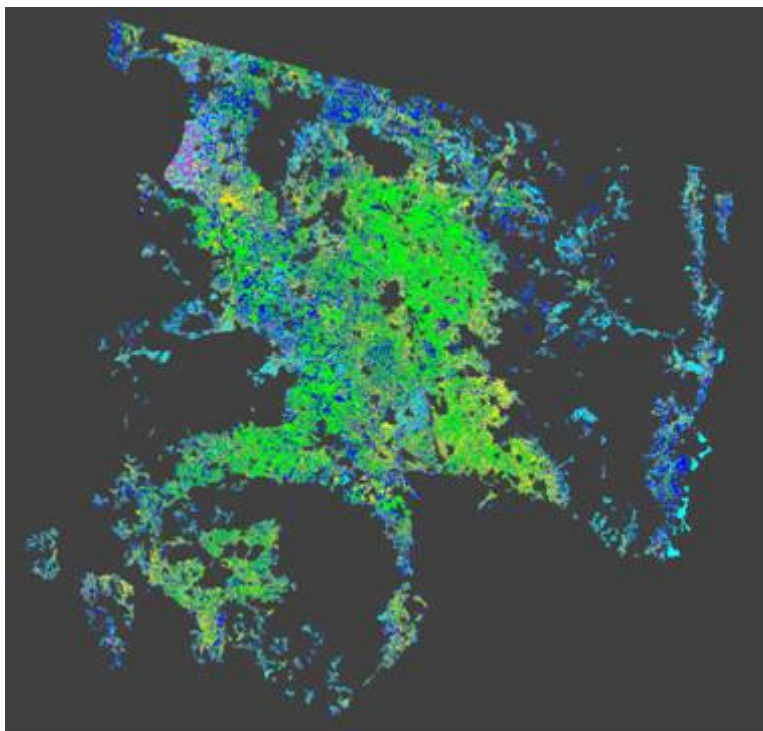


Fig. 10. 12– Classificazione risultante dalla seconda immagine IRS relativamente ai territori agricoli estratti dalla legenda CORINE.

Risultati di post Classificazione e validazione

Per poter procedere all'analisi del dato si è dovuto innanzitutto ri-georiferire l'output MODIS, in quanto il programma NEUMODIS non restituisce la classificazione nelle proiezioni geografiche di origine (UTM – fuso 32 – datum WGS84). Tale processo è stato condotto su piattaforma ArcGis 9.2 tramite l'applicazione di una polinomiale di ordine 3 roto-traslo- deformativa.

Un altro necessario step ha coinvolto il resize del dato classificato MODIS, per poter essere confrontato con il dato classificato IRS. Questa fase è stata resa possibile tramite tecniche GIS di calcolo raster.

Una volta ottenuta la stessa copertura areale, si è proceduto con i confronti delle diverse classificazioni basate sul numero di pixel appartenenti alle classi individuate.

Per entrambe le metodologie di classificazione è stata mantenuta la stessa legenda, ed i risultati del confronto sono evidenziati nella tabella 10. 1.

CLASSE	IRS (km ²)	MODIS (km ²)	ACCURATEZZA
Acque interne	400	792, 5	0, 504732
Agricolo	72747, 5	79522, 5	0, 914804
Latifoglie	26252, 5	40570	0, 647091
Conifere	48487, 5	36455	0,751843
Vegetazione scarsa	64572, 5	57235	0, 886368
Suolo nudo	14900	13735	0, 921812
Nuvole	570, 992	0	
Ombra nuvole	419, 064	0	

Tab. 10. 1–Confronto areale della classificazione dell'immagine IRS (classificazione semiautomatica - Maximum Likelihood) e dell'immagine MODIS (rete neurale – algoritmo di Back Propagation).

Assumendo che l'algoritmo di calcolo Maximum Likelihood è da considerarsi affidabile nell'identificazione delle classi in legenda, una prima lettura del confronto tra le metodologie di classificazione indica una bassa accuratezza discriminatoria della rete neurale per le classi 'Latifoglie', 'Conifere', 'Vegetazione scarsa' ed 'Acque interne'.

Analizzando però il dato accorpato per macroclasse, ovvero considerando la totalità della parte vegetazionale per l'immagine IRS (Latifoglie, Conifere) e per l'immagine MODIS, i risultati assumono una connotazione differente se si tengono in considerazione i seguenti punti:

- 1) l'analisi multispettrale delle immagini MODIS permette di discriminare il tema 'Vegetazione scarsa' quando esso ha un'estensione minima di 500x500m;
- 2) La classificazione delle immagini IRS, a causa della loro migliore risoluzione geometrica (20x20m) rispetto le MODIS, permette di discriminare una copertura anche esigua di vegetazione, anche quando essa si presenta di limitata entità;
- 3) L'immagine IRS, in virtù delle caratteristiche sopracitate, permette di discriminare le chiome arboree (*canopy*) anche quando esse sono disomogenee, mentre l'immagine

MODIS, dovendo mediare su una superficie di 25 ettari, non permette di discriminare un pattern misto.

- 4) L'estensione dei bacini d'acqua interni presentano aree diverse, probabilmente dovuti a diverse entità di precipitazione atmosferica (le immagini differiscono di qualche mese).

Tali considerazioni hanno portato ad una generalizzazione della classificazione, la quale ha condotto a risultati più soddisfacenti come mostrato in tabella 10. 2.

CLASSE	IRS (km ²)	MODIS (km ²)	ACCURATEZZA
Acqua	400	792, 5	0,504732
Agricolo	72747, 5	79522, 5	0, 914798
Bosco	74740	77025	0, 970334
Suolo nudo	14900	13735	0,921812
Veg. scarsa	64572, 5	57235	0, 886368

Tab. 10. 2–Confronto areale in (km²) della riclassificazione dell'immagine IRS (classificazione semiautomatica - Maximum Likelihood) e della riclassificazione dell'immagine Modis (rete neurale – algoritmo di Back Propagation).

I risultati cartografici delle elaborazioni sono mostrati nelle seguenti figure (Figg. 10. 13, 10. 14, 10. 15, 10. 16).

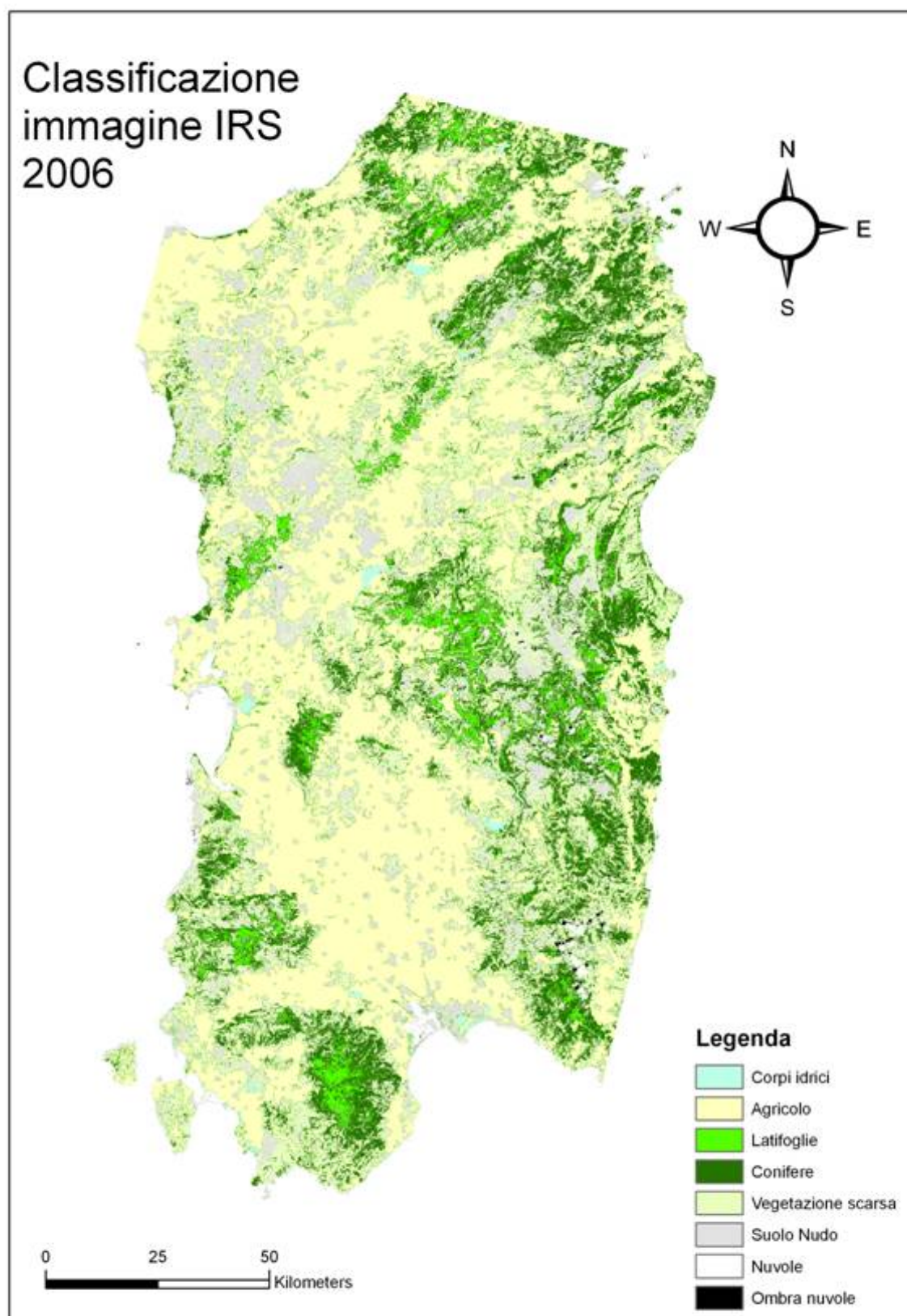


Fig. 10. 13–Classificazione dell’immagine IRS discriminando tutte le classi preliminarariamente considerate.

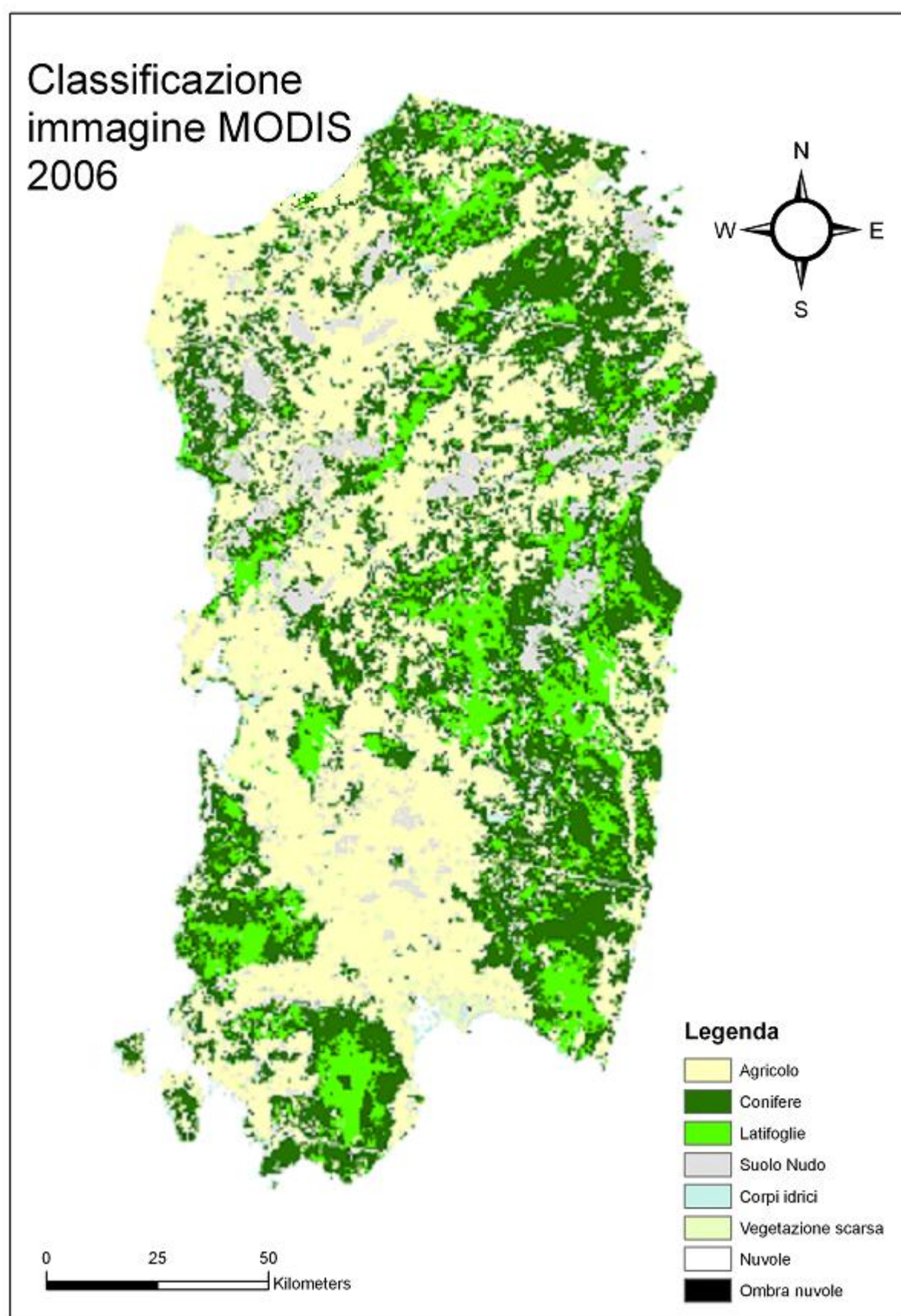


Fig. 10. 14–Classificazione dell’immagine MODIS discriminando tutte le classi preliminarariamente consierate.

Riclassificazione
immagine IRS
2006

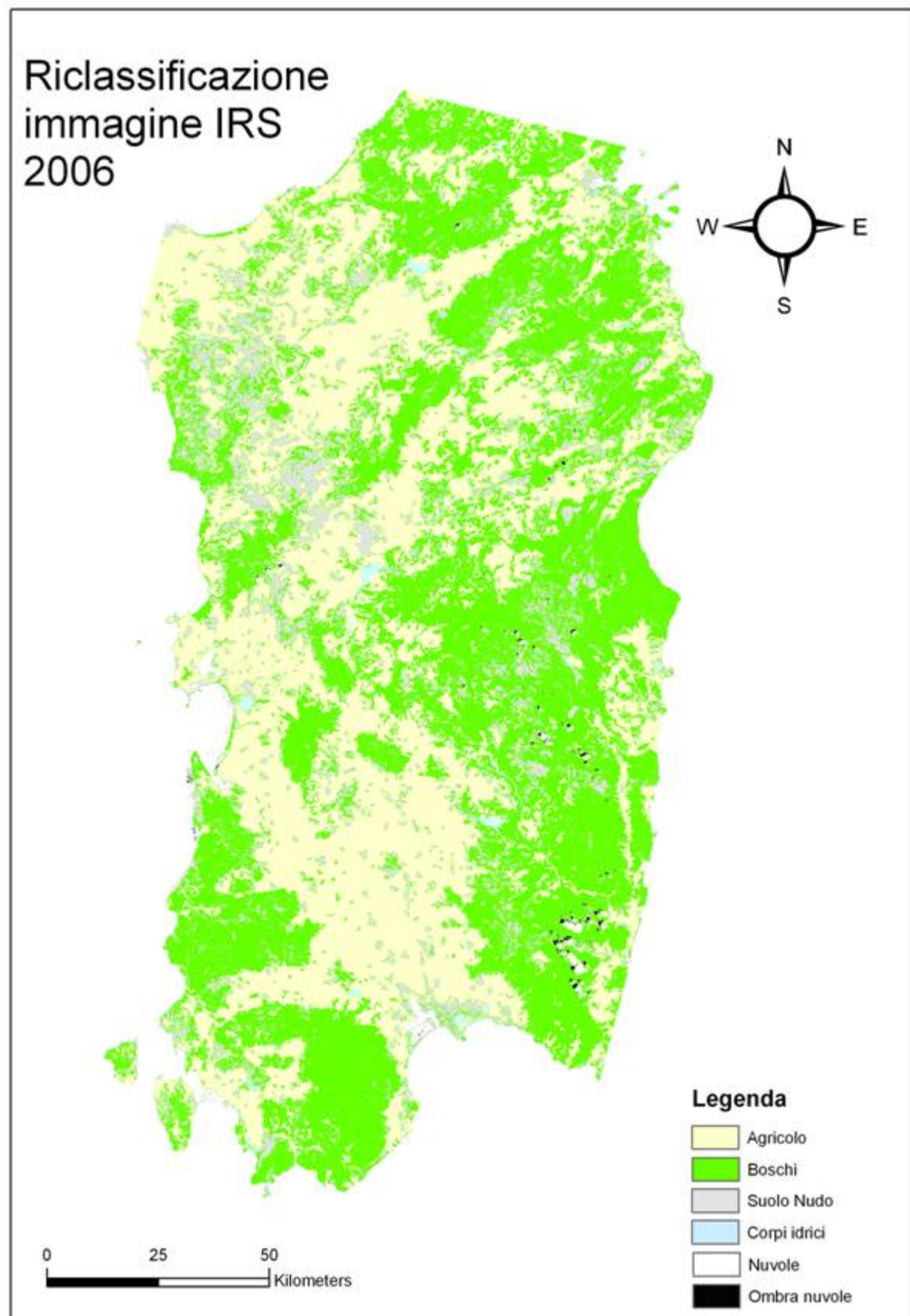


Fig. 10. 15–Riclassificazione dell'immagine IRS Accorpando le classi Conifere – Latifoglie - Vegetazione scarsa.

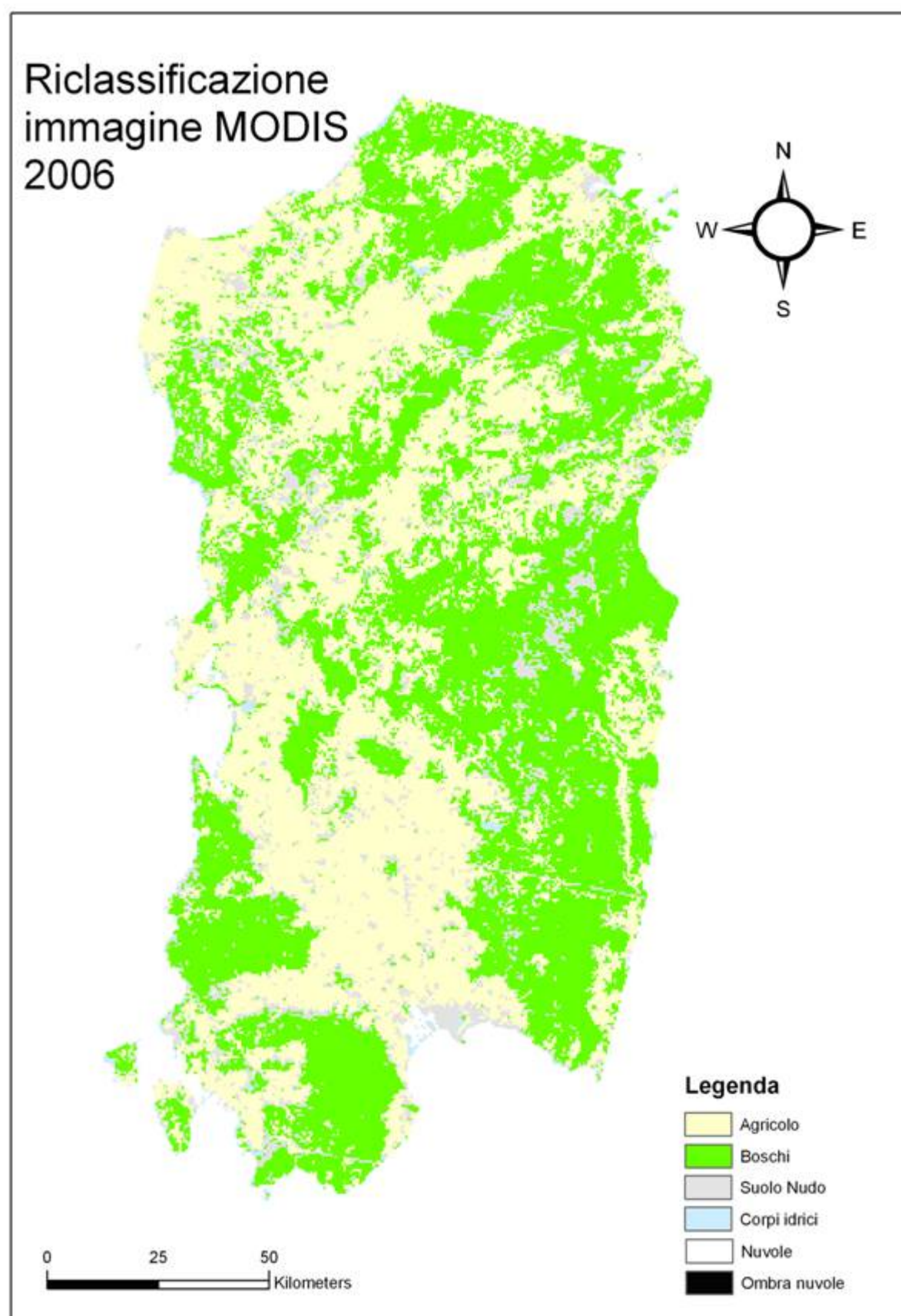


Fig. 10. 16–Riclassificazione dell'immagine MODIS accorpare le classi Suolo nudo - Vegetazione Scarsa e Latifoglie - Conifere.

Come si nota dalle elaborazioni, l'accorpamento in macroclassi ha permesso di allineare i risultati ottenuti dalle diverse tipologie di classificazione.

Per meglio comprovare quanto sopra esposto, è stata eseguita un'ulteriore verifica dei processi di classificazione tramite ortofoto (scala 1:10. 000) all'anno 2006, fornite tramite web service dal MATTM (Ministero dell'Ambiente per la tutela del Territorio e del Mare).

Tali ortofoto sono state caricate da remoto su piattaforma GIS (ArcInfo 9. 2) per poter confrontare i risultati ottenuti con un supporto digitale a 50 cm di risoluzione (Fig. 10. 17).

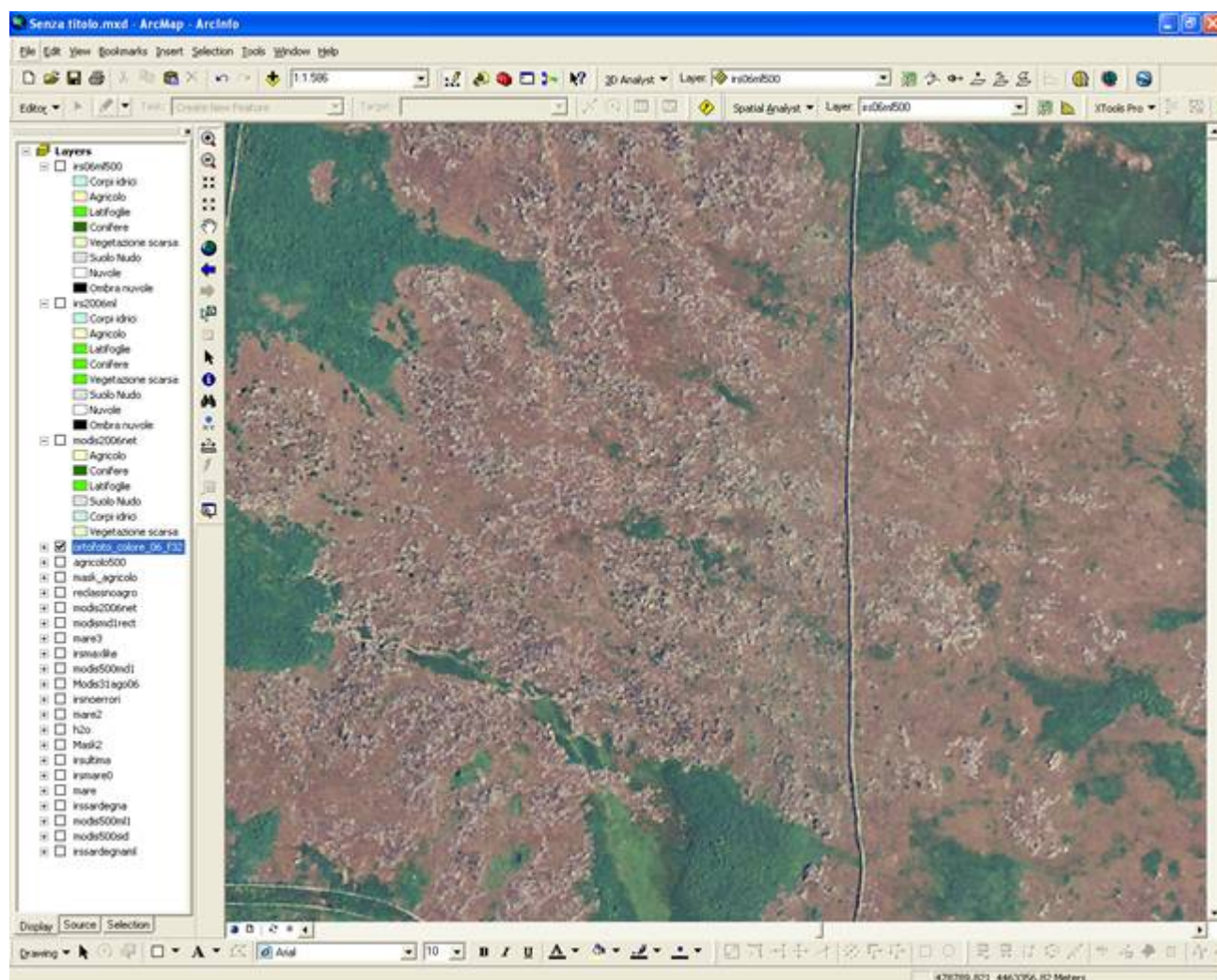


Fig. 10. 17–Visualizzazione delle aree a suolo nudo tramite ortofoto riferite all'anno 2006 (pixel 50 cm – scala 1:10. 000).

L'approccio per questa ulteriore verifica non è di carattere statistico, ma unicamente visivo, mantenendo una scala a monitor 1:20. 000 ed analizzando i frame sequenziali dell'area di studio.

11 - Conclusioni

Con il fine di contribuire all'identificazione dell'espansione del fenomeno della desertificazione, è stata applicata e perfezionata una metodologia, piuttosto innovativa, che utilizza l'applicazione delle Reti Neurali Artificiali per la classificazione di immagini satellitari.

Tale studio si avvale dell'utilizzo dei materiali provenienti da due progetti, precisamente il Progetto Corine Land Cover 2000 e 2006, per la fornitura di parte della copertura satellitare e dei dati vettoriali di copertura del suolo, e del progetto Desertnet2 (Interreg), il quale ha fornito il software necessario per l'applicabilità delle reti neurali.

Per l'applicazione delle reti neurali è stato scelto di utilizzare il dato proveniente dal sensore MODIS, il quale è fornito gratuitamente, in formato *row*, dall'Università degli Studi di Cagliari.

Il software utilizzato per la classificazione (Neuranus) è stato sviluppato dall'Università Tor Vergata (Roma).

Tale metodologia ambisce ad un monitoraggio, a regime, cadenzato nel tempo ed automatizzato, che presume l'intervento di un operatore esperto solo nella fase di addestramento, evitando così successive interazioni umane. Ovviamente, per rendere automatizzabile tale processo, le successive immagini da classificare dovranno avere caratteristiche geometriche, spettrali e spaziali analoghe a quella utilizzata nella fase di training.

Una volta ottenuto il dato classificato dalla rete neurale applicata alle immagini MODIS, ed opportunamente ri-georiferito a causa di alcuni banchi di sistema, questo è stato confrontato con una classificazione che ha visto l'utilizzo dell'algoritmo *Maximum Likelihood* applicato ad immagini IRS LISS-III. Essendo questo algoritmo ben noto in letteratura, si è deciso di affidarne alla cartografia risultante la validazione della classificazione oggetto della sperimentazione (RNA).

Questo passaggio ha visto l'utilizzo del SW ENVI 4. 5, mentre per entrambe le tipologie di classificazione utilizzate, i dati sono stati processati su piattaforma GIS ESRI ArcInfo 9. 2.

Mentre la classificazione tramite rete neurale, data la natura piuttosto specializzata del software Neuranus, ha previsto in fase operativa unicamente l'addestramento della rete mediante l'identificazione di determinati pattern (1-Corpi idrici, 2-Aree agricole, 3-Suolo nudo, 4-Aree a vegetazione scarsa, 5-Boschi di conifere, 6-Boschi di latifoglie), la classificazione delle immagini IRS LISS-III ha richiesto maggiori accorgimenti. Innanzitutto ci si è avvalsi di maschere vettoriali, derivanti dalla copertura CLC00, al fine di distinguere coperture agricole momentaneamente incolte dal pattern 'Suolo nudo'. Quest'attività ha permesso di escludere a priori eventuali errori nell'attribuzione delle classi individuate.

Una volta ottenute le classificazioni delle scene IRS LISS-III, si è proceduto ad uniformare la legenda, costituita come quella relativa alla classificazione della rete neurale (1-Corpi idrici, 2-Aree agricole, 3-Suolo nudo, 4-Aree a vegetazione scarsa, 5-Boschi di conifere, 6-Boschi di latifoglie).

Il confronto tra i dati derivanti dalle due tipologie di classificazione ha permesso di valutare positivamente l'applicazione delle reti neurali artificiali, anche se, in alcuni casi, come ad esempio la copertura arborea, non si sono raggiunti risultati particolarmente soddisfacenti. Questo potrebbe essere imputabile ad un addestramento troppo specializzato della rete neurale nell'identificazione del suolo nudo, e, per certo, considerando le caratteristiche geometriche medio-basse del sensore utilizzato, i pattern a vegetazione arborea mista hanno contribuito alla confusione tra boschi di conifere e boschi di latifoglie, i quali, dal confronto, hanno fornito un'accuratezza del 75% il primo e del 64% il secondo. Se si considera, invece, la componente arborea nella sua totalità, ci si accorge che il dato migliora sensibilmente, raggiungendo un'accuratezza del 97%.

Un forte limite operativo è stato dettato dalla rigidità del software Neuranus, il quale, essendo ancora in fase di sviluppo, non permette di poter correggere, in fase di identificazione dei singoli

pattern, eventuali errori di attribuzione delle classi. Ciò significa, più precisamente, che una volta accortisi che la rete neurale ha fornito una classificazione errata, si è reso necessario un riaddestramento della rete, che ha inficiato nell'economia tempistica del presente elaborato.

Nonostante i limiti di software emersi nella procedura oggetto della tesi, si può affermare, a valle dei risultati conseguiti, che tale approccio presenta le potenzialità per poter essere applicato in modo automatico per l'identificazione di pattern territoriali legati all'avanzare del fenomeno della desertificazione, fornendo, con una tempistica migliore rispetto alle metodologie di classificazione tradizionali, una classificazione del territorio affidabile, e con l'ulteriore vantaggio di poter essere applicato nel risparmio dei costi data la natura gratuita della fornitura di immagini MODIS.

12 - Riferimenti bibliografici

- APAT, *Operative plan for the implementation of I&CLC2000 project in Italy*. 25 Novembre 2002.
- Bianco G. , Bandinelli G. , Manca G. , Canu S. , (2001). *Metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250. 000 sulle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sardegna, sulla base di parametri meteorologici, fisiografici e pedologici*.
- Bologna S. , Chirici G. , Corona P. , Marchetti M. , Pugliese A. , Munafò M. ,(2004).Sviluppo e implementazione del IV livello Corine Land Cover 2000 per i territori boscati e ambienti semi-naturali in Italia. *Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA "GEOMATICA: Standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie. Vol. 1"*. Roma; 14 - 17 dicembre 2004. p. 467-472.
- Bossard M. , Feranec J. , Otahel J. ,(2000) . *CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. Technical report n. 40*. European Environmental Agency; 2000.
- Brandt J. , Geeson N. & Imeson A. , (2003). *A desertification indicator system for Mediterranean Europe*. DESERTLINKS Project (www.kcl.ac.uk/desertlinks).
- Brouwer F. B. , Thomas A. J. & Chadwick M. J. (Eds.), (1991). *Land use changes in Europe. Processes of change, environmental transformations and future patterns*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Buttarazzi B. , Del Frate F. , Solimini C. ,(2005). "A user-friendly automatic tool for image classification based on neural networks, " *Proceedings of URS/URBAN 2005 Conference*, Tempe, Arizona, USA.
- Carmignani L. ,(1992). Inquadramento Geo-Petrologico del territorio Sardo.
- Cecchi G. , Maricchiolo C. , Munafò M. , Pugliese A. , Sambucini V. ,(2003) .Il progetto Image & Corine Land Cover 2000 (I&CLC2000). *Atti dell'6a Conferenza Italiana Utenti ESRI*. Roma; Aprile 2003.
- Chirici G. , Corona P. , Marchetti M. ,(2002) .Realizzazione della "Carta dell'uso del suolo e delle coperture vegetazionali" a copertura nazionale. *Atti della 6a Conferenza Nazionale ASITA "Geomatica per l'ambiente, il territorio e il Patrimonio Culturale. Vol 1"*. Perugia; 5 - 8 novembre 2002. p. 787-792.
- Chirici G. , Corona P. , Marchetti M. , Baiocco F. , Visentin R. , Polvani M. ,(2004) .Controllo di qualità e validazione multifase del database Corine Land Cover 2000 in Italia. *Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA "GEOMATICA: Standardizzazione, interoperabilità e nuove tecnologie. Vol. 1"*. Roma; 14 - 17 dicembre 2004.
- Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione,(1999). *Carta delle Aree Vulnerabili al Degrado del Territorio e Sensibili al Fenomeno della Desertificazione*. Redazione a cura del Servizio Idrografico e Maregrafico Nazionale - Dip. Servizi Tecnici Nazionali - Ministero dell'Ambiente.
- Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione, (1998). *Comunicazione nazionale alla Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta contro la desertificazione nei paesi gravemente colpiti dalla siccità e/o desertificazione, con particolare urgenza in Africa (UNCCD)*.
- De Salvo P. , Salvati L. , Pasquini A. , Brunetti A. , Beltrano M. C. , (2005). *Valutazione agroclimatica dell'area costiera tirrenica: primi risultati*. Italian Journal of Agrometeorology 9.
- Del Frate , Solimini , D. F. D. , (2004). "On a neural network algorithm for retrieving forest biomass from SAR data, " *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 42, n. 1, pp. 24-34, January 2004.

DISforME Project - Sito web: <http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/>.

DISMED, (2003). *Map of Sensitivity to Desertification and Drought in the Mediterranean Basin - Italy* (http://dismed.eionet.eu.int/Facilities/dismed_products).

Enne G. , D'Angelo M. & Zanolla C. , (1998). *Indicators for assessing desertification in the Mediterranean*. Nucleo Ricerca Desertificazione, Università di Sassari.

Enne G. & Zucca C. , (2000). *Desertification indicators for the European Mediterranean region. State of the art and possible methodological approaches*. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Rome, Italy.

European Environmental Agency - European Topic Center-Terrestrial Environment. CORINE land cover update. I&CLC2000 project. Technical Guidelines. European Environmental Agency; 2002. Disponibile all'indirizzo:<http://www.clc2000.sinanet.apat.it/cartanetclc2000>.

Ferrara A. , Bellotti A. , Faretta S. , Mancino G. , Taberner M. ,(1999). *Identification and assessment of Environmentally Sensitive Areas by Remote Sensing*. MEDALUS III 2. 6. 2. OU Final Report.

Foody G.M. , (1992). On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 1992;58:1459-1460.

Incerti G. , Feoli E. , Salvati L. & Brunetti A. , (2005). *Drought estimation through a neural network approach*. Int. J. Biometeorology, in press.

ISSDS, INEA, Regione Sardegna, Regione Sicilia, Regione Calabria, Regione Puglia, . (2005). *Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione*.

Joint Research Centre. *Image2000 - Procedure For Image Selection*; 2001. Disponibile all'indirizzo:http://image2000.jrc.it/reports/procedure_image_selection.pdf

<http://www.clc2000.sinanet.apat.it/cartanetclc2000>.

JRC – INEA (2003). *Identification of Environmentally Sensitive Areas (ESAs) in the country of the Annex IV (Portugal, Spain, Italy, Greece, Turkey) UNCCD convention – brief methodological note*.

Kosmas C. , (1999). *Qualitative Indicators of Desertification In: Indicators for assessing desertification in the mediterranean*. Proceedings of the International Seminar held in Porto Torres, Italy 18-20 September, 1998. Osservatorio Nazionale sulla Desertificazione – Ministero dell'Ambiente.

Kosmas C. , Kirkby M. , Geeson N. , (1999). *Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. In: the MEDALUS project – Mediterranean desertification and land use. European Commission, Brussels.

Kosmas C. , Kirkby M. & Geeson N. , (1999). *The MEDALUS project. Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of Desertification and mapping environmental sensitive areas to desertification*. EUR 18882, Bruxelles, Belgium.

Lionetti L. , (1991). Su alcuni problemi campionari connessi al telerilevamento. Giornate di Studio. *La statistica per le analisi territoriali e spaziali*. Parma; 1991.

Luise A. , Brunetti A. , Perini A. , (2006). La vulnerabilità alla desertificazione in Italia: raccolta, analisi, confronto e verifica delle procedure cartografiche di mappatura e degli indicatori a scala nazionale e locale. APAT.

Luise A. , Viti S. , Giordano F. , (2003). *Emergenze globali e fenomeni locali: l'analisi della desertificazione in Italia*, Atti della 7^a Conferenza Nazionale delle Agenzie ambientali, Milano 24-26 Novembre 2003.

- Marchetti M.** ,(2002). Metodologie per una cartografia di uso del suolo multilivello e multiscala: analisi e sperimentazione applicative. *Documenti Del Territorio* 2002;49:33-51.
- Motroni A. , Canu S. , Bianco G. , Loj G. ,** (2004). *Carta delle aree sensibili alla desertificazione – ESAs* (Progetto DesertNet).
- Perini L. (a cura di)** ,(2004). *ATLANTE AGROCLIMATICO* agroclimatologia, pedologia, fenologia del territorio italiano (vers. 1. 0). Ministero delle Politiche Agricole e Forestali – Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, Roma.
- Salvati L. , Ceccarelli T. & Brunetti A. ,**(2005). *Geodatabase sul rischio di desertificazione in Italia*. CRA-UCEA & Agrisian, Collana Climagri n. 30 (Atlante + CD), 72 pagine.
- Salvati L. , Ceccarelli T. & Brunetti A. ,** (2005). *La vulnerabilità alla desertificazione del territorio italiano*. Bollettino Agro-meteorologico Nazionale.
- Salvati L. , Ceccarelli T. & Brunetti A. ,** (2005). *Valutazione del rischio di desertificazione in Italia: primi risultati*. Italian Journal of Agrometeorology 9: 124-125.
- Sciortino M.** ,(2003) .*Qualità e ambiente – La lotta alla desertificazione, l'attività dell'ENEA con riferimento particolare alla Sicilia*.
- Stehman SV.** ,(1997). Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment* 1997;62:77-89.
- Thornes J. B. & Brandt J. ,** (1995). *Mediterranean desertification and land use*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- UNCCD,** (1977) . *Desertification: its causes and consequences*. Pergamon Press, Oxford, UK.
- UNEP,** (1997) . *World Atlas of Desertification* (second Edition). London, Arnold Ed.
- Riva, F.,** (2008) . Università Politecnica delle Marche, Istituto di Biologia e Genetica , Ancona., Introduzione alle Reti Neurali.