

Analisi morfometriche delle Crete Senesi mediante Remote Sensing e GIS

Morphometric analysis of the Crete Senesi by means of Remote Sensing and GIS

SALVINI R. (*)

RIASSUNTO - Il lavoro riguarda l'analisi delle variazioni morfometriche delle Crete Senesi relative agli ultimi 50 anni attraverso l'integrazione di serie multitemporali di foto aeree pancromatiche e a colori, e di immagini satellitari QuickBird di recente acquisizione. Nell'area sono presenti calanchi e biancane di rilevante valore naturalistico che tuttavia, negli ultimi anni, sono stati oggetto di pratiche agricole intensive che ne hanno ridotto l'estensione innescando fenomeni di erosione accelerata dei versanti. Tutti i dati sono stati trattati in formato digitale ed inseriti in un GIS. Per l'orientamento dei dati telerilevati sono stati collezionati accurati GCP attraverso rilievi DGPS in modalità statica. L'immagine QuickBird, di tipo *Basic Bundle* (Pan + MS), è stata sottoposta ad operazioni di ortorettifica e di *data fusion* attraverso metodi rigorosi all'interno del *software* Erdas Imagine™. Per garantire la stereovisione dell'immagine QuickBird, il *software* PCI Geomatica™ ha permesso la creazione di un'immagine sintetica derivante dall'introduzione di un parallasse artificiale di entità direttamente proporzionale al DEM. Successivamente, sia le foto aeree sia le immagini satellitari sono state orientate secondo metodologie di fotogrammetria digitale per lo studio del territorio. Attraverso tecniche semi-automatiche sono stati quindi creati i DEM e le ortofoto relativi alle date investigate, mentre dalla fotointerpretazione sono state realizzate le banche dati multitemporali di uso del suolo. Operazioni di *Map Analysis* hanno infine permesso di confrontare i dati e di ricostruire l'evoluzione morfometrica delle Crete Senesi. Parallelamente l'interpretazione delle immagini multitemporali, relative agli anni 1954, 1998 e 2004,

mediante tecniche stereoscopiche digitali ha permesso di evidenziare qualitativamente e quantitativamente le variazioni morfologiche e di uso del suolo intercorse tra il 1954 ed il 2004 che hanno seriamente compromesso il valore naturalistico delle Crete Senesi.

PAROLE CHIAVE: Crete Senesi, fotogrammetria digitale, QuickBird, DEM, analisi multitemporale

ABSTRACT - Purpose of the present study is the multi-temporal analysis of the past 50 years concerning the Crete Senesi by means of both series of panchromatic and full chromatic multi-temporal aerial photos, and recent high resolution Quick Bird satellite imageries. The area is characterised by the presence of gullies, hillslope scarps with knife-edge ridges called "calanchi", and badlands, small conical hills called "biancane", of relevant naturalistic interest that in the years underwent high agricultural activities that strongly modified their extent, morphology and erosion rates. The data, digital format, has been treated within a Geographic Information System. Ground Control Points (GCPs) needed for the orientation of satellite imageries were collected by means of DGPS measurements in static mode. The QuickBird imagery, *Basic Bundle* (Pan + MS) type, was elaborated by data fusion then orthorectified through rigorous methodologies by utilising ERDAS Imagine™ software. Starting from the QuickBird satellite imagery, PCI Geomatica™ software allowed to create a synthetic image by the application of an artificial parallax proportional to the digital elevation model. Afterwards the

(*) Centro di Geotecnologie - Università di Siena, Via Vetri Vecchi 34, 52027 S. Giovanni Valdarno (AR), tel. +39.055.9119441, fax. +39.055.9119439, salvinir@unisi.it, www.geotecnologie.unisi.it

aerial photos were oriented as well as the satellite imagery by means of digital photogrammetric techniques directed to environmental study. Digital elevation models related to the different years were calculated from the aerial photos by utilising semi-automatic techniques, whilst multitemporal databases were carried out using photogrammetric analysis. Map Analysis procedures allowed to compare the data and to rebuild the Crete's geomorphologic evolution. The interpretation of multitemporal images related to the years 1954, 1998 and 2004 highlighted qualitative and quantitative changes in morphology and land use which have seriously compromised the naturalistic value of the Crete Senesi.

KEYWORDS: Crete Senesi, digital photogrammetry, QuickBird, DEM, multitemporal analysis

1. - INTRODUZIONE

La difesa del patrimonio naturale rappresenta una parte essenziale delle moderne strategie di conservazione tanto che, negli ultimi anni, il concetto di salvaguardia dei beni architettonici si è integrato con quello di salvaguardia del patrimonio geologico. A partire dal 1995, con il sostegno dell'UNESCO, si sono formati tre gruppi di lavoro a scala mondiale su località di interesse geologico o geomorfologico e di rilevante valore naturalistico, definiti "geositi" (WIMBLEDON *et alii*, 1996). Definita grossolanamente la situazione d'insieme dei Geositi italiani, sono seguite le iniziative di censimento e catalogazione dei geositi stessi da parte dell'APAT (Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici) su coordinamento europeo (ProGEO, 1995). I geositi, hanno un ruolo fondamentale nella valorizzazione dei beni ambientali della Provincia di Siena. Tra i più importanti geositi figurano i terreni argillosi di età pliocenica, modellati da ruscigliamento e da fenomeni gravitativi, conosciuti comunemente sotto il nome di Crete Senesi (REPETTI, 1846) e caratterizzati anche da forme più o meno ricollegabili alle biancane (GUASPARRI, 1978). Queste ultime sono forme erosive particolari dovute all'intenso dilavamento, dossi argillosi mammellonari di colore chiaro, il cui equilibrio è minacciato da processi di sviluppo incontrollati.

Il progetto BioItaly del Ministero dell'Ambiente ha indicato per i terreni argillosi pliocenici della Provincia di Siena quattro Siti di Importanza Comunitaria: "Crete di Camposodo" e "Crete di Leonina, Monte Oliveto Maggiore", "Crete di Asciano, Lucciolabella", "Crete dell'Orcia e del Formone" (MINISTERO AMBIENTE, 1991, 1992). Analogamente, sono

stati istituiti presso l'APAT due geositi, ubicati in questo stesso territorio; essi sono stati denominati: "Biancane di Leonina" e "Calanchi di Monte Oliveto Maggiore e Chiusure". Inoltre, un progetto finanziato dalla Fondazione Monte dei Paschi di Siena (DE DOMINICIS *et alii*, 2004), all'interno del quale si inserisce questo lavoro, ha permesso di intraprendere uno studio multidisciplinare sull'evoluzione del paesaggio delle Crete Senesi e di implementare il censimento dei geositi della Provincia di Siena nell'arco temporale dall'immediato dopoguerra ad oggi, attraverso l'uso di tecniche di fotogrammetria digitale e di *remote sensing*.

2. - AREA DI STUDIO

L'area in esame è situata a sud est di Siena (fig. 1A) e comprende due dei più importanti geositi della zona: le "Biancane di Leonina" e i "Calanchi di Monte Oliveto Maggiore e Chiusure" (fig. 1B).

L'area delle "Biancane di Leonina" si trova a circa 2,5 km dall'abitato di Arbia, in direzione di Asciano, a pochi chilometri da Siena. Si tratta di una delle pochissime zone a biancane rimaste nelle Crete Senesi ed è costituita da un versante esposto a sud-est, che si estende in direzione nord-est/sud-ovest circa dal Podere Fiorentine di Sopra, presso la Strada Statale Lauretana N. 438, fino al laghetto artificiale a nord di Leonina. Su questo pendio sono facilmente distinguibili numerose biancane, che si sviluppano per una lunghezza di circa 1300 m e presentano le caratteristiche tipiche di queste forme (fig. 2A), quali la forma mammellonare, la quasi assenza di vegetazione e la colorazione chiara dovuta sia alla composizione argillosa sia a particolari efflorescenze saline (CASTIGLIONI, 1979).

L'altro geosito studiato è situato vicino all'abitato di Chiusure nei pressi dell'Abbazia Benedettina di Monte Oliveto Maggiore. Si tratta di quattro versanti disposti a ferro di cavallo rivolti verso sud-ovest: uno dei versanti si trova a nord-ovest della Strada Statale di Monte Oliveto Maggiore N. 451, tra l'incrocio per Chiusure, il podere Chiuserra e Monte Oliveto, un altro è compreso tra la suddetta statale e la Strada Provinciale del Pecorile N. 60, mentre gli altri due si trovano compresi tra la località Chiusure, a nord, e i poderi Caggiolo e Greppani, rispettivamente ubicati a sud-est e sud-ovest (fig. 2B).

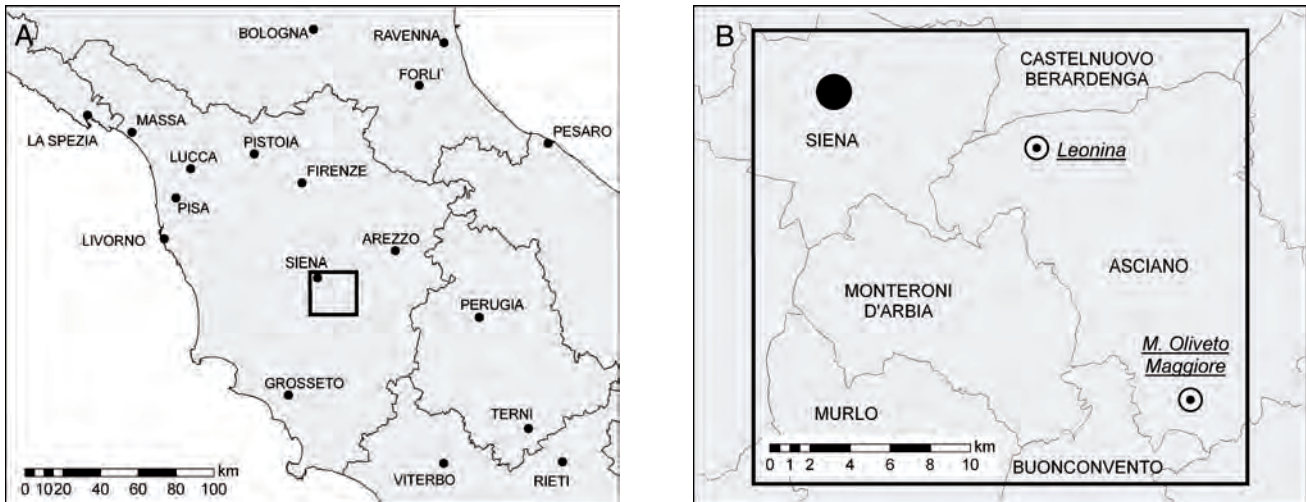


Fig. 1 – A: Localizzazione dell’area di studio; B: ubicazione dei Geositi studiati (Leonina e Monte Oliveto Maggiore).
 – A: Location map of the study area; B: the studied Geosites (Leonina and Monte Oliveto Maggiore)

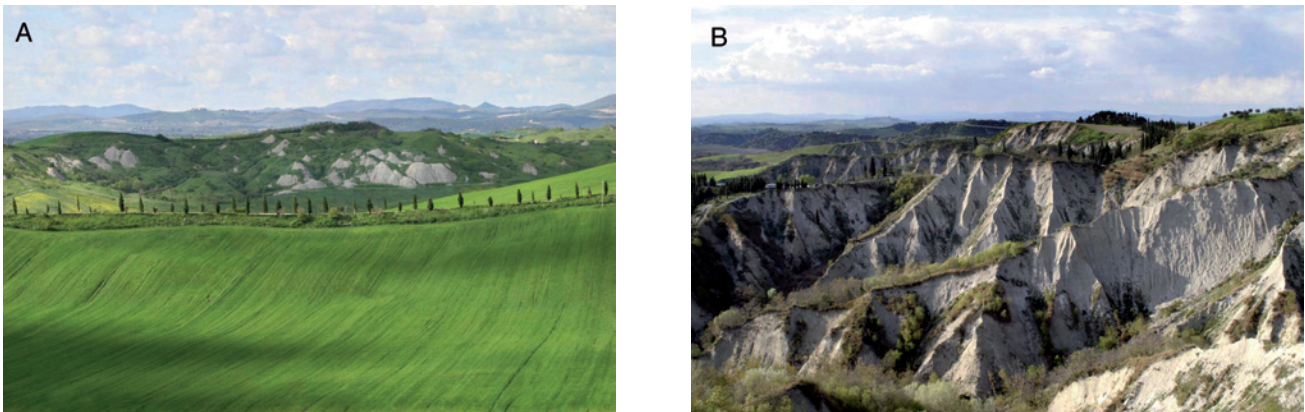


Fig. 2 – A: particolare delle “Biancane di Leonina”; B: panorama dei “Calanchi di Monte Oliveto Maggiore”.
 – A: Detailed image of the “Biancane di Leonina”; B: panoramic view of the “Calanchi di Monte Oliveto Maggiore”.

3. - METODOLOGIE DI ANALISI

Il lavoro di analisi dell’evoluzione geomorfologica delle Crete Senesi è stato effettuato utilizzando i seguenti dati:

- immagini satellitari QuickBird (di tipo *Basic Bundle*, Pan + MS), datate 19 Luglio 2004 complete dei dati di geometria interna, ottica del sensore e orientamento esterno necessari nei processi fotogrammetrici di ortorettifica ed estrazione semi-automatica del modello digitale di elevazione (*Digital Elevation Model*, DEM);
- fotografie aeree pancromatiche, alla scala nominale 1:33000, relative all’anno 1954, fornite dall’Istituto Geografico Militare Italiano, realizzate ad una quota media di volo di 5200 m (scansione a 1000 dpi, risoluzione nominale 0.8 m al suolo);
- fotografie aeree a colori, alla scala nominale

1:42000, relative agli anni 1998-99, appartenenti al volo IT2000 realizzato dalla Compagnia Generale Riprese Aeree (Parma) ad una quota media di volo di 6400 m (scansione a 1000 dpi, risoluzione nominale 1.0 m al suolo);

- DTM realizzato a partire dalle informazioni altimetriche contenute nelle CTR Regione Toscana, formato vettoriale, alla scala 1:10000;
- cartografia geologica e geomorfologica alla scala 1:10000, rilevata nell’ambito del Progetto di Cartografia Geologica “CARG” del Servizio Geologico d’Italia per la realizzazione della nuova cartografia nazionale alla scala 1:50000.

Le operazioni di analisi multitemporale dell’evoluzione geomorfologica dell’area di studio sono state condotte a partire da procedure di fotogrammetria digitale già sperimentate nella vicina Val d’Orcia (CHIAVERINI *et alii*, 1999). Gli orientamenti dei fotogrammi hanno infatti

consentito la produzione di accurati modelli di elevazione (CHIAVERINI *et alii*, 2001) e la generazione di ortofoto oltre alla visione stereoscopica dell'area di studio nei differenti anni di indagine.

L'orientamento esterno dei dati telerilevati è stato realizzato mediante la collimazione di 116 GCP, uniformemente distribuiti all'interno dell'area di studio, rilevati con misure DGPS in modalità statica, utilizzando due ricevitori Leica™ System 530. Il riferimento per le misure in statico è costituito dal punto "120901" della rete IGM95 posto in località La Coroncina, nel Comune di Siena. L'errore medio misurato nelle operazioni di *post-processing* è di 0,005 m, con uno scarto massimo pari a 0,0162 m. L'ubicazione dei GCP è stata pianificata sulla base della loro contemporanea evidenza sulle immagini delle tre date di studio. Gli orientamenti sono stati effettuati all'interno del Modulo LPS di Erdas™ Imagine utilizzando, oltre ai suddetti GCP, il certificato di calibrazione della camera fotografica per il volo IT2000 ed una procedura empirica per le foto del 1954 sprovviste dei metadati. Lo scarto quadratico medio (o *Root Mean Square Error*, RMSE) delle operazioni di triangolazione aerea è risultato pari a 1,12 *pixel* (minore di 1m) nel caso delle foto aeree del 1998 e 2,5 *pixel* (minore di 2m) per quelle del 1954. Mediante procedure semi-automatiche sono stati realizzati i modelli digitali di elevazione per le due date, a partire dai quali, tutte le foto aree orientate nei blocchi sono state ortorettificate.

Per quanto riguarda l'ortocorrezione dell'immagine QuickBird, necessaria per eliminare le distorsioni geometriche connesse all'orografia ed alla modalità *pushbroom* di acquisizione dei dati, sono stati utilizzati il DEM *level 3*, realizzato a partire dalle CTR, i metadati dell'immagine ed i GCP.

Per ciò che riguarda la qualità del DEM utilizzato è stato fatto riferimento alle normative della *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA, 2000) secondo cui, a partire da una cartografia topografica alla scala 1:10000, può essere ricavato un DEM *Level 3*. La risoluzione spaziale di tale DEM è mediamente 10 m e l'RMSE massimo consentito deve corrispondere alla metà dell'equidistanza delle isoipse (USGS, 2002). Nel presente caso l'RMSE è quindi pari a 5m. Secondo Kolbl (2001) l'ortorettifica delle immagini satellitari ad alta risoluzione può essere ottenuta a partire da un DEM di ± 10 m di precisione altimetrica. Ciò significa che la qualità del DEM creato a par-

tire dalle CTR è tale da consentire una buona correzione geometrica delle scene QuickBird. L'utilizzo del dato *Basic Bundle* grezzo, non pre-elaborato geometricamente ma corretto esclusivamente per le distorsioni radiometriche, congiuntamente con GCP di elevata accuratezza posizionale, ha infatti consentito di ottenere una qualità geometrica molto soddisfacente, come confermato dalla sovrapposizione delle CTR sul dato ortocorretto e dal RMSE di orientamento pari a 0,0038 *pixel* nel caso della scena pancromatica e a 0,0007 per quella multispettrale. È stato, infatti, possibile applicare una correzione geometrica rigorosa, basata su un modello parametrico 3D in grado di riflettere la reale geometria di vista del sensore e correggere quindi tutte le distorsioni geometriche dovute alla piattaforma, al sensore, alla terra ed al sistema di proiezione cartografico (TOUTIN & CHENG, 2002). Tali modelli vengono utilizzati per applicare modifiche addizionali alle effemeridi per mezzo di tecniche di interpolazione basate sui GCP inseriti. L'interpolazione delle effemeridi è stata effettuata attraverso un'equazione polinomiale di terzo ordine. Al fine di ottenere un dato multispettrale di elevata risoluzione spaziale, i dati PAN e MS ortocorretti sono stati sottoposti ad operazioni di *Resolution Merge* realizzate secondo il metodo delle Componenti Principali (CHAVEZ *et alii*, 1991).

Le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area in studio possono essere meglio analizzate usando la stereoscopia piuttosto che la monoscopia. Tradizionalmente, la visione stereoscopica è basata su di una coppia di foto aeree o immagini satellitari con particolare geometria di acquisizione. Per ottenere la visione stereoscopica a partire da una singola immagine QuickBird, è necessario creare una seconda immagine digitale, definita "stereo-immagine sintetica". Tale fase è stata espletata nel software PCI™ Geomatica introducendo un parallasse artificiale all'immagine satellitare ortocorretta. Basato sul DEM della zona, il calcolo analitico della nuova immagine introduce un parallasse artificiale direttamente proporzionale al valore di elevazione di ogni *pixel*. Il valore di tale parallasse (Δb) per un singolo *pixel* sull'immagine è calcolato tramite la seguente formula (BATSON *et alii*, 1976):

$$\Delta P = \Delta b K \quad [1]$$

dove Δb esprime l'elevazione del *pixel* al di sopra della quota minima presente nella zona e K è

un valore costante in relazione con l'intensità della percezione stereoscopica.

Il modulo STE (*STereo image pair from Elevation data*) del programma PCI™ Geomatica, basato sulla precedente relazione, prevede tre fondamentali parametri: *Stereoscopic Factor*, *Elevation Step Size* e Algoritmo di ricampionamento. Il primo parametro definisce l'intensità della percezione stereoscopica (la costante K della formula [1]), in particolare introduce il valore del parallasse artificiale nell'immagine ortorettificata. Tale fattore è proporzionale all'esagerazione verticale e questa esagerazione sarà tanto più accentuata quanto più grande sarà l'entità della traslazione dei pixel sulla base del DEM (METHAKULLACHAT, 1994). Il valore scelto per tale parametro è 2,92, sulla base di esperienze simili con altri tipi di immagini satellitari (BATSON *et alii*, 1976). Il secondo parametro, *Elevation Step Size*, definisce la variazione in metri della quota di ogni pixel. In questo lavoro tale parametro è stato posto uguale a 1 per ottenere una buona immagine stereoscopica sintetica. Infine, come algoritmo di ricampionamento è stato scelto il *Nearest Neighbour Resampling*, in modo da non alterare il contenuto radiometrico dell'immagine. Dalla creazione della stereo-immagine sintetica è stato intrapreso il processo fotogrammetrico digitale realizzato a partite da un modello di orientamento interno di tipo non-metrico. I metadati dell'immagine QuickBird contengono inoltre tutte le informazioni necessarie, quali la lunghezza focale (8,836202 m) ed il *pixel size* (11,9140 μm). L'orientamento esterno è stato effettuato integrando i GCP con circa 200 *tie points* generati automaticamente dal software ed opportunamente editati. L'RMSE risultante dalle operazioni di triangolazione è di 0,167 *pixels* corrispondenti a circa 0.1m.

La fotointerpretazione dei dati telerilevati ha infine prodotto le banche dati di uso del suolo per gli anni 1954, 1998-99 e 2004 secondo la Nomenclatura CORINE di quarto livello derivante da un approfondimento del sistema di classificazione europeo (HEYMANN *et alii*, 1994) secondo le raccomandazioni dell'ETC-L.C. (Centro Tematico per il Land Cover dell'Unione Europea) con voci aggiuntive al fine di meglio corrispondere alle caratteristiche legate alla scala maggiore (1:10.000 anziché 1:100.000) e in accordo con le indicazioni fornite dal Ministero dell'Ambiente per la redazione dei Piani di Gestione di SIC (Siti di Importanza Comunitaria) e ZPS (Zone di Protezione Speciale). Tali banche dati sono state in seguito confrontate per evidenziare i cambiamenti avvenuti nel territorio in esame.

4. - RISULTATI E CONCLUSIONI

Dal solo confronto qualitativo delle immagini del 1954 con le foto scattate nel 1972 non emergono sostanziali cambiamenti nei lineamenti naturali del paesaggio, se non alcuni dovuti essenzialmente a *sheep tracks*, in queste zone indotti dal calpestio delle pecore sulle pendici argillose provviste di copertura vegetale (GUASPARRI, 1993). Confrontando invece il paesaggio delle "Biancane di Leonina" del 1972 (fig. 3A) con quello del 1999 (fig. 3B) risulta evidente la notevole riduzione delle biancane a causa soprattutto delle opere di livellamento agricolo e l'intenso inerbimento dovuto al diverso uso del suolo. Tale riduzione potrebbe essere riferita in misura notevolmente inferiore anche alle variazioni climatiche e pluviometriche intercorse nell'intervallo di tempo analizzato (MAZZANTI & RODOLFI,



Fig. 3 - Panorama delle "Biancane di Leonina": confronto tra il paesaggio del 1972 (A) e quello del 1999 (B).
- Panoramic view of the "Biancane di Leonina": comparison between the landscapes referred to the years 1972 (A) and 1999 (B).

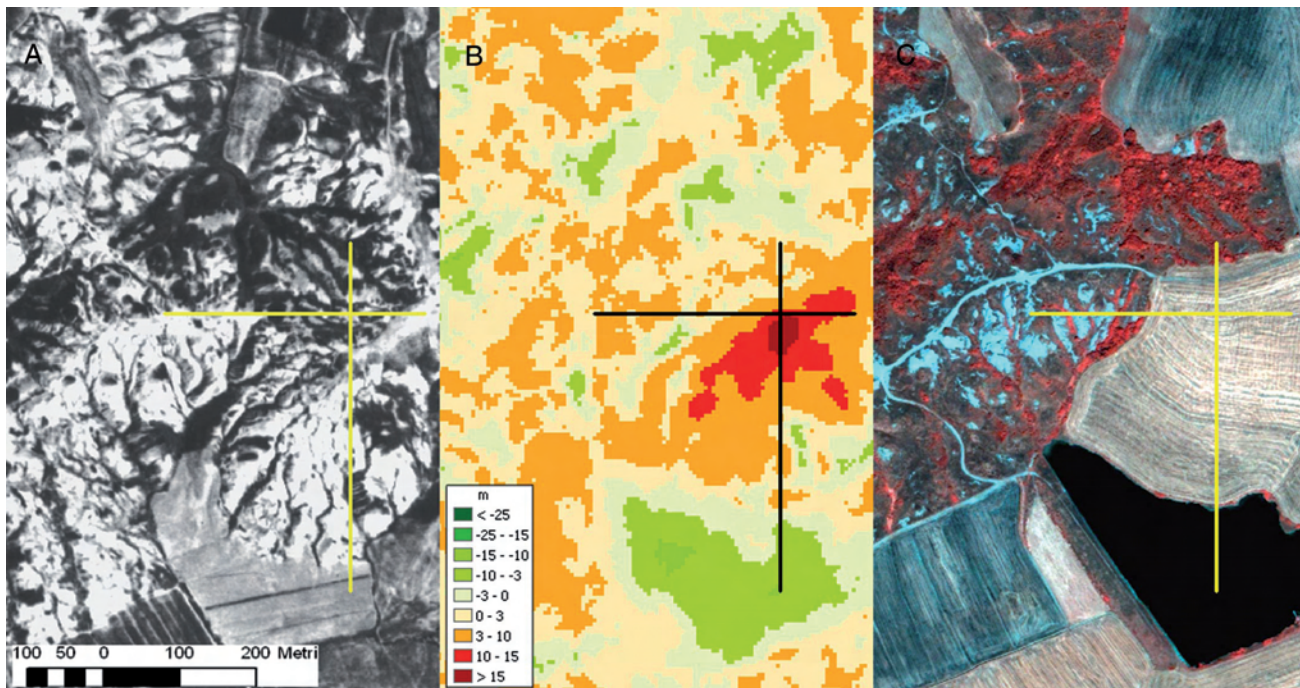


Fig. 4 - Cambiamenti morfologici tra il 1954 e il 1999: A- ortofoto dell'area di Leonina relativa al 1954; B- differenza tra il DEM del 1954 e quello del 1999; C- ortofoto della stessa area relativa al 1999. I valori positivi in B corrispondono ad aree con riduzione di elevazione.
 - Morphologic changes related to the time span 1954 - 1999: A- orthophoto of the area of Leonina dated 1954; B- map of the elevation differences from 1954 and 1999 DEMs; C- orthophoto of the same area dated 1999. Positive values in B correspond to areas where the elevation reduced.

1988). Tuttavia, i dati di precipitazione totali annuali e riassunti mensili, relativi a 25 anni (1970-1995) resi disponibili dal Laboratorio di Idrogeologia dell'Università di Siena per le stazioni pluviometriche di Taverne D'Arbia e Siena Poggio al Vento, indicano che in questa area non ci sono stati rilevanti cambiamenti del regime nel tempo, per cui sono da escludere significative variazioni climatiche negli ultimi 50 anni quali concausa dell'evoluzione morfologica dei rilievi.

I cambiamenti morfologici sono stati quantitativamente espressi dal confronto del DEM degli anni 1954 con quello del 1999 derivanti dalla fotogrammetria digitale.

In particolare, le operazioni di *Image Differencing* tra i DEM nella zona di Leonina, evidenziano la presenza di zone di intenso spianamento, con riduzione di elevazione, in corrispondenza delle bianche relative agli anni 1999 rispetto a quelle del 1954, e, nelle immediate vicinanze, aree nelle quali, al contrario, si è verificato un aumento di elevazione, dovuto alle operazioni di livellamento (fig. 4).

La figura 5 mostra l'estensione in ettari delle varie classi di uso del suolo riportate al secondo livello della Nomenclatura CORINE. Si nota in modo molto evidente la prevalenza nell'area di terreni agricoli seminativi (classe

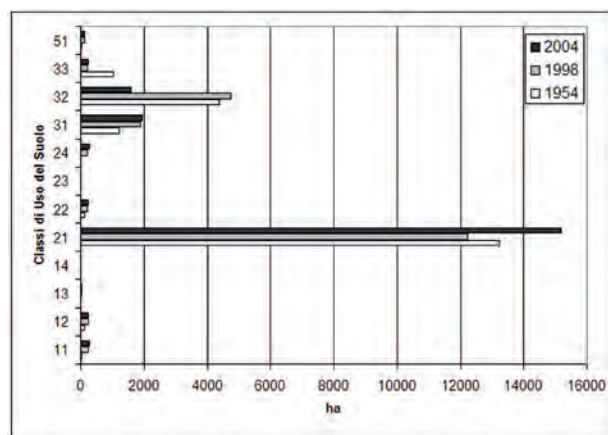


Fig. 5 - Estensione in ettari delle classi di uso del suolo al secondo livello della Nomenclatura CORINE.
 - Extent, in hectares, of the land-use classes related to the second level of the CORINE Nomenclature.

21) accompagnata da buone estensioni di aree seminaturali e naturali praticate a pascolo ed incolte (classe 32), da boschi (classe 31) ed aree scoperte tipo calanchi o bianche (classe 33). Proprio relativamente a quest'ultima classe la figura 6 mostra il passaggio a tutte le altre destinazioni d'uso del suolo per il periodo 1954-2004. Infatti, a causa dello sviluppo della meccanizzazione nell'agricoltura e della mancanza di vincoli di protezione più rigidi, la figura evidenzia come solamente il 16% delle aree sco-

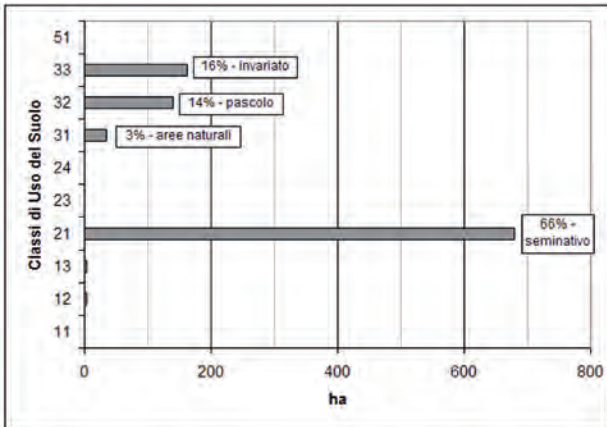


Fig. 6 - Estensione e dati percentuali riferiti al 2004 delle aree che nel 1954 appartenevano alla sola classe 33.
- *Extent and percentages, related to the year 2004, of the areas belonging to the 33 land-use class in 1954.*

perle a calanchi e biancane del 1954 si è conservato, mentre il 66% è passato a seminativo ed il 14% a pascolo. Solo il 3% delle “Crete” nell’intervallo di tempo 1954-2004 si è rinverdito. Aree quantitativamente non significative sono infine passate ad usi artificiali (classi 12 e 13). Il confronto tra le banche dati di uso del suolo fotointerpretati, corroborano quindi i risultati ottenuti dalle operazioni spaziali effettuate con i DEM, e mostrano come il diffondersi di

un’intensa attività agricola e l’uso di mezzi meccanici sempre più efficaci ed invasivi, abbiano influito notevolmente nel paesaggio riducendo l’estensione areale delle biancane.

In studi multidisciplinari sull’evoluzione del paesaggio delle Crete Senesi attualmente in corso (DE DOMINICIS *et alii*, 2006), vengono elaborate strategie di protezione e conservazione di queste morfologie: difficilmente sarà possibile far modificare la destinazione d’uso di centinaia di ettari di seminativo privato, ma potrebbe essere importante applicare tecniche di lavorazione del terreno più idonee, quali l’aratura a “girapoggio” anziché a “rittochino” (fig. 7), ed evitare che il terreno si indurisca troppo facendolo così trovare pronto, cioè smosso, all’inizio del periodo delle piogge. Parimenti si stanno testando tipi particolari di grano di rapida germinazione che potrebbero farsi trovare già nati a novembre, all’inizio del periodo delle piogge, offrendo una protezione al suolo più efficace (DE DOMINICIS *et alii*, 2006).

Il lavoro dimostra come immagini satellitari ad alta risoluzione spaziale, foto aeree ed accurati rilievi DGPS costituiscano uno strumento indispensabile per la ricostruzione storica dell’evoluzione dei paesaggi ed un metodo di monitoraggio efficace per la salvaguardia del patrimonio naturalistico a rischio di estinzione.

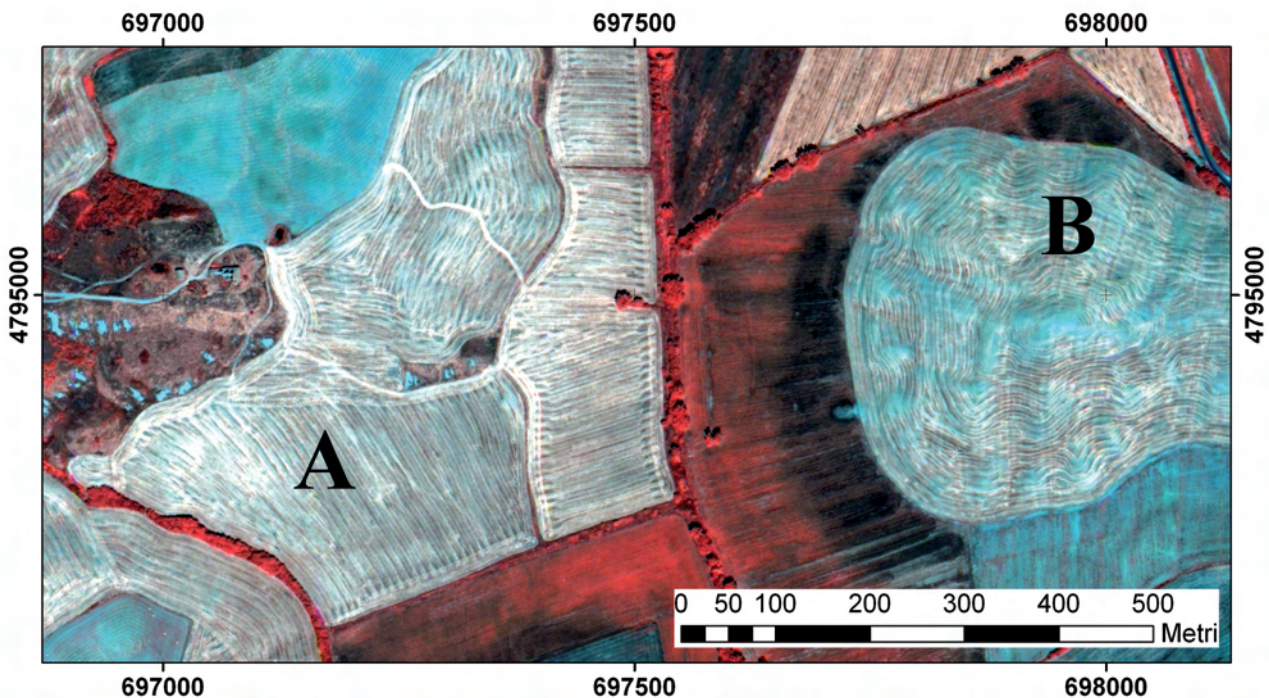


Fig. 7 - Esempio di aratura a “girapoggio”(A) ed a “rittochino” (B) nell’area di Podere Casanuova a circa 2 km da Leonina (immagine QuickBird).
- *Example of ploughed terrain in the area of Podere Casanuova, about 2 km western of Leonina (Quickbird image in background): in A the “girapoggio” way is practiced, in B the “rittochino” way.*

BIBLIOGRAFIA

- BATSON R.M., EDWARDS K. & ELIASON F.M. (1976) - *Synthetic stereo and Landsat pictures*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 42 (10): 1279-1284.
- CASTIGLIONI G.B. (1979) - *Geomorfologia*. UTET, 436.
- CHAVEZ P.S. JR., SIDES S.C. & ANDERSON J.A. (1991) - *Comparison of three different methods to merge multi-resolution and multi-sectoral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57 (3): 295-303.
- CHIAVERINI I., COLICA A., DEL SETTE M. & OSTUNI D. (1999) - *Misura dell'erosione: metodi fotogrammetrici applicati in alcune aree argillose nell'Alta Val d'Orcia*. Geologia Tecnica e Ambientale, 4: 39-45.
- CHIAVERINI I., MENCI L., DEL SETTE M., COLICA A. & OSTUNI D. (2001) - *Digital Photogrammetry applied to Geomorphology: Automatic generation of Digital Terrain Models (DTMs)*. Proc. Fifth Int. Conf. Geomorphology, Tokyo, Japan, 23-28 August 2001.
- DE DOMINICIS V., FANTOZZI P.L. & GUASPARRI G. (2004) - *Valorizzazione e protezione dei Geositi della provincia di Siena: metodologie e tecniche di studio per il censimento, protezione e valorizzazione delle crete senesi - Prima zona di indagine (Comune di Asciano, Siena)*. <http://www.geotecnologie.unisi.it/Geositi> (consultato l'08 Giugno 2006).
- DE DOMINICIS V., FANTOZZI P.L. & GUASPARRI G. (2006) - *Valorizzazione e protezione dei Geositi della provincia di Siena: metodologie e tecniche di studio per il censimento, protezione e valorizzazione delle crete senesi - seconda zona di indagine (Comune di S. Giovanni d'Asso, Siena)*. <http://www.fondazionemps.it/newsletter/viewNl.asp?nlid=p003-home&nsid=5303> (consultato l'08 giugno 2006).
- GUASPARRI G. (1978) - *Calanchi e biancane nel territorio senese: studio geomorfologico*. L'Universo, 58: 97-140.
- GUASPARRI G. (1993) - *Lineamenti geomorfologici dei terreni argillosi pliocenici*. In: F. GIUSTI (a cura di): "La storia naturale della Toscana meridionale": pp. 89-106. Amilcare Pizzi Editore.
- HEYMANN Y., STEENMANS C., CROISILLE G. & BOSSARD M. (1994) - *CORINE land-cover project. Technical guide*. European Commission Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection ECSC-EEC-EAEC, Brussels.
- KOLBL O. (2001) - *Technical specification for the elaboration of Digital Elevation Model*. Report Version 4: pp. 26-32, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Department du Genie Rural.
- MAZZANTI R. & RODOLFI G. (1988) - *Evoluzione del rilievo nei sedimenti argillosi e sabbiosi dei cicli neogenici e quaternari italiani*. In: P. CANUTI & E. PRANZINI (Ed.): "La gestione delle aree franose": pp. 14-60, Edizioni delle Autonomie, Roma.
- METHAKULLACHAT D. (1994) - *Synthetic stereo display and calculation on a PC*. Report, School of Surveying and Mapping, Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- MINISTERO DELL'AMBIENTE (1991-1992) - *Servizio Conservazione della Natura, Direttiva Habitat 92/43 del 21 maggio 1992 e Legge 6 dicembre 1991, n. 394, Legge quadro sulle aree protette*.
- NIMA - NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY (2000) - *Federation of American Scientists - Intelligence Resource Program "Digital Terrain Elevation Data"*. <http://www.fas.org/irp/program/core/dted.htm> (consultato l'08 Giugno 2006).
- PROGEO (1995) - *The European Association of Conservation of the Geological Heritage*. <http://www.sgu.se/hotell/progeo> (consultato l'08 Giugno 2006).
- REPETTI E. (1846) - *Dizionario geografico fisico storico della Toscana contenente la descrizione di tutti i luoghi del Granducato Ducato di Lucca Garfagnana e Lunigiana*. Firenze, presso l'autore e editore, vol. 6, pp. 1833-1846.
- TOUTIN, T. E CHENG, P. (2002) - *Quickbird - a milestone for high resolution Mapping*. Earth Observation Magazine, 11(4): 14-18.
- USGS (2002) - *National Elevation Dataset*. <http://gisdata.usgs.net/NED/AccuracyQ2.asp> (consultato l'08 Giugno 2006).
- WIMBLETON W.A.P., ANDERSEN S., CLEAL C.J., COWIE J.W., ERIKSTAD L., GONGGRIJP G.P., JOHANSSON C.E., KARIS L.O. & SUOMINEN V. (1996) - *GEOSITES: a global comparative site inventory to enable prioritisation for conservation*. Second International Symposium on the Conservation of our Geological Heritage (Rome, June 1996) *Mem. Descr. Carta Geol. d'It.* 2000: pp 45-60.