

ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DI IMMAGINI TELERILEVATE PER LO STUDIO SISTEMATICO DELLE TESTIMONIANZE ANTROPICHE NEL TERRITORIO. I CASI DI PALMYRA E DI SELINUNTE

1. INTRODUZIONE

L'uso di fotografie aeree per indagare il territorio inizia con il nostro secolo e trova molto presto numerose ed efficaci applicazioni in campo archeologico. Un ampliamento delle possibilità di realizzare la ricerca storica è stato permesso, negli ultimi due decenni, dalla disponibilità di immagini da satellite, gestite con l'ausilio della tecnologia informatica.

Il sistema di ripresa orbitale consente, innanzitutto, sintesi di aree molto vaste; in secondo luogo, la caratteristica delle immagini consiste nella registrazione di più dati in funzione della lunghezza d'onda impiegata, acquisendo sia l'energia riflessa, sia quella emessa. Poiché entrambe dipendono dalla natura dell'oggetto a terra, è effettuabile l'identificazione di tutte le tracce distinguibili al suolo e nell'immediato sottosuolo.

L'uso di sensori multispettrali e le numerose piattaforme di ripresa permettono, dunque, di conoscere al meglio le risorse naturali del pianeta e di raccogliere una notevole massa di informazioni sull'ambiente utilizzato dall'uomo. Inoltre, il telerilevamento offre validi apporti per l'analisi e lo studio delle strutture antropiche attuali e passate. Si ha, infatti, la possibilità di registrare, attraverso una selezione nella lettura delle immagini orbitali, dati su tutto ciò che il suolo, in queste riprese, contiene, riconducibile ad una attività umana.

Queste informazioni, che sono funzione delle variazioni dell'energia emessa e riflessa dalla superficie del terreno, devono essere spiegate e interpretate per diventare documenti utilizzabili nella ricostruzione storica dei sistemi insediativi che si sono succeduti sul territorio investigato. Pertanto, è necessaria la raccolta parallela di dati sulle conoscenze pregresse nella stessa area, cartografici, bibliografici e di archivio, elementi determinanti per illuminare l'interpretazione.

Il riconoscimento dell'orientamento delle tracce interpretate e l'individuazione, ad esempio, di una certa regolarità nelle forme riscontrate sull'immagine – regolarità che è distintiva di un'azione antropica – rappresentano le linee-guida dell'analisi del territorio attraverso il telerilevamento, traducibili in termini topografici dopo la georeferenziazione delle immagini. L'orientamento è, infatti, il segno evidente di un progetto dell'uomo che occupa il territorio ed è la forma sottesa al concetto di sistema insediativo, come impianto abitativo connesso con l'insieme delle risorse naturali dell'area. L'iden-

tificazione delle organizzazioni territoriali nell'area indagata è, perciò, il primo capitolo dell'applicazione del *remote sensing* alla ricerca archeologica e il supporto su cui appoggiare le informazioni maggiormente dettagliate fornite dalle riprese a più bassa quota.

Parallelamente, i sistemi insediativi individuati vanno confrontati e spiegati con le caratteristiche geoambientali del territorio in esame, che offrono indicazioni determinanti sulla sua suscettività di occupazione: l'analisi delle relazioni diacroniche esistenti tra insediamenti e ambiente rappresenta, infatti, una delle applicazioni più stimolanti del metodo.

L'interfaccia del modello così ottenuto con l'insieme delle informazioni pregresse, gestito con adeguati sistemi informativi, permette di passare alla ricostruzione storica delle forme di presenza umana sul territorio studiato. Il quadro può ricevere le integrazioni finali attraverso i controlli, puntuali e molto significativi, rappresentati dalle prospezioni geofisiche e dai carotaggi. Infine lo scavo, al termine di queste procedure, ne diventa il controllo definitivo.

L.P.

2. IL CASO DI PALMYRA

Il progetto di realizzazione di una cartografia archeologica della Siria affidato dall'UNESCO al Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino contempla, come intervento campione, l'indagine del territorio di Palmyra, determinato in base ad una scelta di priorità avanzata dalle autorità siriane.

Il lavoro, che ha avuto inizio nel 1995 e si svolge in collaborazione con la Direction Générale des Antiquités et des Musées (DGAM), è stato condotto, in fase preliminare, su un'area di 30 per 30 km centrata sulla città.

L'oasi di Palmyra, citata nelle fonti del II millennio a.C. con il nome di Tadmor, assunta ad importante centro di scambi commerciali e culturali tra il mondo romano e quello partico nei primi secoli della nostra era, è uno dei siti maggiormente investigati della Siria. Oltre sessant'anni di ricerche archeologiche seguite agli studi del profondo conoscitore delle antichità palmirene H. Seyrig hanno illuminato vividamente la storia di questo grande nodo carovaniero, punto di sosta nel deserto siriano sull'asse che unisce Homs ad Abu Kemal, a metà strada tra Damasco e l'Eufrate (Fig. 1).

Non solo le rovine dell'antica città, ma molto presto anche il territorio ad essa circostante sono divenuti oggetto di studi. Sfiando solo le tappe più significative della ricerca, si possono ricordare i primi sforzi pionieristici di A. Poidebard che, investigando la regione per mezzo della fotografia aerea, mise in evidenza la rete di strade e piste che si dipartivano dalla città (POIDEBARD 1937). D. Schlumberger esplorò sistematicamente negli anni '40 i resti relativi ad una occupazione dell'ampia area che battezzò "La Palmyrène du nord-ouest" (SCHLUMBERGER 1951). Il recente convegno internazionale dal titolo



Fig. 1 - Localizzazione geografica dei principali centri antichi del Vicino Oriente.

“Palmyra and the Silk Road” (Palmyra and the Silk Road 1996) ha consentito di fare il punto sullo stato delle ricerche e ne ha fornito un quadro di sintesi estremamente valido. In particolare, un notevole contributo all’indagine del territorio più prossimo a Palmyra è costituito dal lavoro di J.-M. Dentzer il quale, avvalendosi del prezioso apporto di una serie di fotografie aeree scattate dall’Aviation Française du Levant nel 1930, ha individuato la presenza di numerose strutture sepolte nell’area immediatamente circostante la città, sia a nord - da interpretare, verosimilmente, come costruzioni legate all’attività commerciale e carovaniera del sito (DENTZER 1994),- sia a sud - dove si estendeva la zona urbana,- nonché nella valle delle note tombe monumentali (DENTZER, SAUPIN 1996).

Il progetto che il Centro Scavi sta realizzando si propone l’indagine sistematica di un’ampia area del territorio palmireno applicando la metodologia di studio integrato sopra descritta.

L.P.

2.1 L’elaborazione delle immagini

Nella presente indagine sono stati utilizzati dati acquisiti dal sensore Thematic Mapper del satellite Landsat 5 e dal sensore pancromatico del satellite SPOT.

La visione sinottica delle riprese telerilevate, gli intervalli di ripresa spettrale e la risoluzione geometrica al suolo (rispettivamente 30 m per il sensore Thematic Mapper e 10 m per il sensore Pancromatico) sono le caratteristiche che rendono questi satelliti particolarmente adatti all'identificazione di eventuali presenze antropiche, soprattutto in aree a clima semi-arido.

Questo lavoro si propone di illustrare la metodologia di studio applicata per i dati acquisiti dai due satelliti e i risultati ottenuti e testati con controlli in situ dell'identificazione e ubicazione delle presenze antropiche.

Le immagini utilizzate sono relative ad una ripresa del sensore Thematic Mapper del satellite Landsat 5, acquisita in data 04/aprile/1994, e ad una ripresa del sensore Pancromatico del satellite SPOT, acquisita il 29/maggio/1993.

Al fine di ottenere una ubicazione degli elementi presenti nell'immagine in termini di coordinate geografiche e per eliminare l'effetto dovuto alla distorsione panoramica delle riprese satellitari (effetto della curvatura terrestre), la correzione geometrica dei dati è stata effettuata applicando il metodo dei Ground Control Points (DAVISON 1986), selezionati sulla cartografia a scala 1:200.000 del 1972 prodotta dal Servizio Topografico della Repubblica Araba Siriana.

Gli effetti atmosferici, indotti da fenomeni di scattering, sono stati, almeno in parte, corretti con metodi di normalizzazione dell'istogramma (MATHER 1987).

Per individuare la migliore combinazione di bande del sensore Thematic Mapper, da porre in sintesi RGB, è stata utilizzata la metodologia proposta da Sheffield (SHEFFIELD 1985) che definisce la terna "maggiormente informativa" quella che massimizza il determinante della matrice varianza-covarianza.

La terna "maggiormente informativa" utilizzata in questo lavoro è risultata essere quella formata dalle bande spettrali 4, 3 ed 1. Le bande 4, 3 ed 1 sono state sottoposte ad un miglioramento del contrasto e della luminosità e combinate, secondo l'ordine citato, in sintesi RGB.

L'immagine risultante non si presta ad un'accurata identificazione visuale delle tracce legate a presenze antropiche. Esse, infatti, non sono ben distinguibili, cromaticamente e geometricamente, dagli elementi circostanti.

Un procedimento per aumentare l'interpretabilità di un'immagine a colori consiste nell'espandere la distribuzione dei punti, corrispondenti al colore del pixel, nello spazio RGB. Mediante tale metodologia si accentuano le differenze tra colori all'origine molto simili. In questo lavoro è stato applicato il metodo denominato IHS Colour Enhancement (IHS-CE) (GILLESPIE 1986).

Nel caso di bande correlate tra loro e con distribuzione gaussiana, nello spazio 3D la distribuzione dei pixel si configura con la forma di un ellissoide più o meno allungato.

Con operazioni di contrast stretch, eseguito sulle singole bande, l'effetto prevalente è un aumento del contrasto dell'Intensità dell'immagine RGB,

mentre la Tinta e la Saturazione restano all'incirca inalterate. Si ottiene, in definitiva, un allungamento dell'ellissoide.

Il metodo IHS-CE è fondato su un cambio del sistema di coordinate nello spazio di rappresentazione dei colori. Intensity, Hue e Saturation sono grandezze numeriche con le quali è possibile descrivere buona parte dei colori visibili in modo più direttamente collegato alla percezione umana del colore di quanto lo siano i valori RGB. Eseguita la trasformazione da RGB a IHS, le tre nuove componenti possono essere elaborate in modo tra loro indipendente per poi ritornare al sistema RGB e alla successiva visualizzazione.

In relazione alle immagini Landsat-TM (bande 1, 3 e 4), dopo la conversione in immagini I, H ed S, è stato applicato uno stretch lineare della sola componente saturazione, lasciando volutamente inalterata la Hue. Delle tre componenti, la Intensity è quella che contiene la maggior parte delle informazioni legate alla variazione di contrasto luminoso (ad esempio luce-ombra o caldo-freddo). Basandosi su tali considerazioni, le variazioni ad alta frequenza (connesse a rapide variazioni di luminosità) sono state enfatizzate applicando alla Intensity un filtro passa alto e ricombinando l'immagine risultante con la Intensity stessa.

Tale operazione consente di accentuare la separazione tra le diverse strutture presenti nell'immagine e compensa, anche se in modo parziale, l'effetto di sfocatura introdotto dal ricampionamento durante la fase di correzione geometrica. Successivamente si ritorna al sistema di coordinate R, G e B e l'immagine è nuovamente visualizzata in sintesi additiva.

Nell'immagine ottenuta per mezzo dell'applicazione del metodo IHS-CE (Tav. I) risultano ben evidenti con il colore violetto (al centro della scena) le aree antropizzate relative alla città di Palmyra.

Con colori variabili dal blu scuro al nero, al centro dell'immagine (a sud del centro abitato), sono ben riconoscibili i limiti della grande area di sabka che occupa questa zona, mentre ad ovest del centro abitato sono distinguibili in verde chiaro le aree vegetate e usate per coltivazioni. Immediatamente a sud del centro abitato è ben evidente in verde scuro l'area attualmente occupata dall'oasi a palme.

Nell'area in alto a sinistra dell'immagine è visibile una zona abbastanza estesa di colore bianco corrispondente ad una fascia di sedimentazione fluviale percorsa verso il suo limite settentrionale (in nero), con direzione all'incirca NE-SW, da un corso d'acqua, oggi a carattere non perenne.

Di particolare interesse è l'area immediatamente ad ovest dell'attuale centro abitato di Palmyra, dove è riconoscibile con tessitura granulare e con colori variabili dalle tinte di viola al rosso e con taluni andamenti lineari, il sito archeologico di Palmyra. Utilizzando la risposta spettrale di questo, l'interpretazione visuale è stata estesa a tutta la scena e una zona con caratteristiche spettrali molto simili e geometrie regolari (di colore bianco) visibili chiaramente nell'immagine SPOT-PAN di Fig. 2 è stata identificata nell'area a sud

del centro abitato (limite inferiore della scena) a circa 18 km dallo stesso. Da un controllo diretto (novembre 1995), come spiegato più avanti, è risultato essere un consistente sito che si estende su un'ampia superficie, noto solamente per le strutture ancora emergenti che ne occupano solo una piccola parte, conosciuto come Al Bakhra (BOUNNI, AL AS'AD 1989, 122). Alcuni dettagli sono riprodotti nelle Figg. 4 e 5. Nell'immagine della Tav. I, inoltre, sono ben riconoscibili le tracce di strade (piste) anch'esse segni evidenti di un sistema insediativo.

L'impiego di due bande di ripresa nell'infrarosso vicino (bande 3 e 4 del sensore Thematic Mapper) congiuntamente ad una nel visibile (banda 1 dello stesso sensore), in virtù delle condizioni climatico-ambientali dell'area di studio (elevata differenza di riflettività tra litologie a carattere sabbioso del terreno e manufatti antropici, in concomitanza con assenza di vegetazione di copertura), ha contribuito ad un esito positivo nell'identificazione di tracce correlate a presenze antropiche sul territorio.

Le immagini dell'area posta oltre il limite meridionale del lago salato sembrano inoltre evidenziare come esista una stretta interrelazione tra strutture antropiche ed evoluzione paleogeografica del territorio. Tracce di odierne piste non asfaltate e di probabili antichi percorsi oggi non più praticati sono evidenti in modo più persistente a partire da un rilievo morfologico (tell Schéjara) in direzione sud che non in direzione nord (verso il centro abitato), dove solo alcune tracce di piste lo attraversano in corrispondenza della sua area di minima espansione (Fig. 3).

Lo studio delle caratteristiche morfologiche del territorio e delle sue variazioni paleogeografiche, condotto con integrazione di dati telerilevati e dati di campagna, potrebbe risultare particolarmente significativo per l'identificazione ulteriore di vicende insediative. L'indagine diviene così sistematica e fondata su presupposti anche di carattere ambientale e non solo affidata a scoperte casuali.

D.S.

2.2 Il riscontro al suolo

L'elaborazione delle immagini Landsat TM e Spot (Tav. I; Figg. 2, 3) ha condotto ad individuare una maglia di testimonianze di presenze umane, oltre a quelle di una fitta rete di tracciati viari che attraversavano l'area nell'ambito dei collegamenti più diretti tra la Mesopotamia e il Mediterraneo.

Una completa georeferenziazione sul terreno, realizzata con GPS e stazione totale, ha permesso di attuare un controllo diretto, molto significativo, di quanto interpretato nelle immagini, con notevoli corrispondenze. Le ricognizioni sul territorio e la raccolta di materiali in superficie troveranno integrazione nel sistema informativo che si sta costruendo con i dati già noti attraverso archivio e bibliografia. L'interfaccia del GIS con le immagini



Fig. 2 – Immagine SPOT-Panchromatica, 29.05.1993. Area a sud di Palmyra (Al Bakhra).



Fig. 3 – Immagine SPOT-Panchromatica, 29.05.1993. Area a sud-est di Palmyra (Tell Schéjara).

georeferenziate e interpretate permetterà una più approfondita ricostruzione storica e indicherà le aree per le riprese da bassa quota. Queste consentiranno di ottenere informazioni molto analitiche per le aree più specificatamente indiziate e guideranno eventuali successive operazioni di scavo.

Fin da ora sembra evidenziarsi un quadro generale dell'occupazione del territorio in età storica che privilegia i quadranti a sud di Palmyra, dal momento che quelli a nord, montuosi, restituiscono prevalentemente materiale litico preistorico, sovente non in giacitura primaria.

Il settore meridionale, che si sviluppa attorno ad un antico lago attualmente eutrofico (*sabka*) (Tav. I), presenta insediamenti che paiono disporsi generalmente su piccoli rilievi o tell emergenti dalla steppa. La loro caratteristica costante pare essere quella di un'occupazione notevolmente ampia in senso diacronico, spesso caratterizzata da una fase preistorica (posteriore al Paleolitico medio) che scende sino all'età islamica.

Alcuni di tali siti, come il possente complesso fortificato di epoca ommayade di Al Bakhra, situato a ca. 18 km a sud di Palmyra, presentano tecniche costruttive e materiali ceramici che attestano con sicurezza anche una fase di età romana (BOUNNI, AL AS'AD 1989, 122). Nel caso citato, si tratta di una cittadella a pianta rettangolare dalle dimensioni di circa m 300 per 250, cinta da mura, che si impone e riutilizza resti di un insediamento di epoca imperiale (Fig. 4). La fortificazione, in blocchi di calcare, presenta due ingressi opposti, l'intero muro nord-est raddoppiato per tutta la lunghezza e quattordici torri semicircolari che scandiscono lo sviluppo delle mura. All'interno sono distinguibili resti di costruzioni, anche se i vari ambienti, con ingressi indicati da grandi soglie monolitiche, non sono chiaramente leggibili (Fig. 5). All'esterno dell'area fortificata risultano decisamente notevoli, per estensione, le tracce di quartieri d'abitazione o di servizio; è da segnalare, inoltre, ad ovest, un'area sepolcrale islamica, anch'essa situata su un rilievo. Una cisterna di grandi dimensioni rappresentava una delle ragioni di vita del complesso.

L'aspetto fortificato e le relazioni spaziali che sembrano legare la maggior parte di questi insediamenti lasciano ipotizzare una loro logica disposizione topografica in corrispondenza di precisi assi viari antichi, verosimilmente in direzione di Damasco e del Mediterraneo nel settore sud-ovest investigato e verso l'Eufrate in quello sud-est.

Interessante appare anche il caso di tell Schéjara, posto a 12 km a sud-est di Palmyra e attualmente ancora sfruttato per la coltivazione, con orti e palmeti (Fig. 6). Esso non presenta strutture antiche visibili, ma restituisce parecchia industria litica preistorica e ceramica islamica, mentre sulle immagini satellitari è chiaramente leggibile la presenza di quattro assi viari che si dipartono a raggiera all'esterno di una struttura racchiudente il perimetro della collina (Fig. 3).

Si tratta, per ora, solo di alcuni accenni esemplificativi di una situazio-



Fig. 4 – Al Bakhra. Veduta d'insieme da sud-est.



Fig. 5 – Al Bakhra. Area interna del complesso fortificato



Fig. 6 – Tell Schéjara. Veduta d'insieme da sud.

ne estremamente variegata, in cui ogni elemento troverà la sua esatta collocazione storica solo in una fase più avanzata della ricerca. Un esempio può essere offerto dalla possibilità di ricostruire interamente il tracciato della *strata Diocletiana*, suggerito dalle immagini e verificato al suolo tramite le strutture maggiormente evidenti e i numerosi blocchi e colonne, forse interpretabili come edicole e come miliari.

L.P.

3. IL CASO DI SELINUNTE

L'area di diretta influenza della colonia greca di Selinunte, come già indicarono Hulot e Fougères nei primi anni del '900 (HULOT, FOUGÈRES 1910, tav. IV), corrisponde a un vasto comprensorio, delimitato dal fiume Mazaro ad ovest e dal monte S. Calogero, presso Sciacca, ad est, ed esteso, verso nord, lungo la fascia collinare che racchiude in un'ampia curva i centri moderni di S. Margherita Belice, Partanna, S. Ninfa e Salemi. Su quest'area si sta operando, tramite l'elaborazione e l'interpretazione di immagini telerilevate multispettrali e multitemporali, al fine, da un lato, di assumere nuove conoscenze sull'assetto stratigrafico, strutturale e geomorfologico della zona, dall'altro lato, per tentare di ricostruire, con l'apporto di diverse competenze, le dinamiche insediative che caratterizzarono questo ricco territorio.

In questa sede, oltre ad uno studio tettonico-strutturale a scala regionale, si presentano i dati preliminari relativi al territorio, fisicamente omogeneo, racchiuso tra il fiume Belice ad est, il fiume Modione ad ovest ed il lungo banco di calcarenite delle Cave del Barone verso nord. Sono i dati che permetteranno di costruire il sistema informativo territoriale da interfacciare con i sistemi insediativi letti dalle immagini per giungere alla più completa interpretazione storica delle vicende occupazionali del territorio. Le valli del Belice e del Modione delimitano un'ampia fascia collinare, che verso sud si sfalda in una serie di pianori stretti ed allungati protesi verso il mare, incisi dalle numerose diramazioni del Gorgo Cottone (Tav. II).

Il centro urbano di Selinunte venne ad occupare il promontorio roccioso denominato "Acropoli", tra i fiumi Modione e Cottone, e si estese verso nord sull'ampio pianoro di "Manuzza". L'area urbanizzata, che nel V sec. a.C. raggiunse la massima estensione, espandendosi verso ovest e verso est lungo le vallate dei due fiumi e a ridosso dei porti, dopo il 409 a.C. iniziò a contrarsi, fino a che, alla fine del IV secolo, solo la Collina Meridionale ("Acropoli") era ancora abitata, mentre gli antichi quartieri cittadini di Manuzza, ormai abbandonati, furono occupati da necropoli.

Se molto, ormai, si conosce del centro urbano, il territorio che direttamente circonda Selinunte è stato fino ad oggi scarsamente indagato, sebbene, come le ricognizioni hanno dimostrato, esso fosse densamente occupato in antico.

Sono stati di qualche aiuto per la ricerca alcuni studi topografici, correlati da mappe più o meno puntuali ed esaustive, condotti da autori di fine '800. Essi prestarono, infatti, particolare attenzione alle vie di comunicazione tra la città e l'entroterra e riportarono alcune informazioni su ritrovamenti e strutture, oggi scomparse, in una zona compresa tra la Collina Orientale, la collina della Buffa e l'altura di Galera-Bagliazzo. Il Cavallari, per esempio, accenna a resti archeologici di incerta natura nei pressi dell'area dei templi della Collina Orientale (CAVALLARI 1872, 8), ma l'indicazione dei luoghi e la collocazione dei resti è vaga, così come la loro interpretazione.

Le conoscenze sui dintorni di Selinunte non sono di molto progredite nel corso di questo secolo: sulle colline che circondano il centro urbano, oltre allo studio parziale delle vaste necropoli di Galera-Bagliazzo e della Buffa (per una bibliografia aggiornata vedi KUSTERMAN GRAF 1991, 101-123; inoltre AA.VV. 1992a), non è mai stato affrontato alcun tipo di indagine, e gli scarsi ritrovamenti sono stati per lo più fortuiti e occasionali.

Dunque, pur non tralasciando le scarse informazioni bibliografiche e d'archivio, la ricerca sul terreno si è svolta sulla base delle numerose indicazioni forniteci dall'analisi delle immagini telerilevate.

F.C.

3.1 Immagini e geologia

La continua evoluzione tecnologica consente l'utilizzazione di complessi sistemi computerizzati di ripresa e di elaborazione di immagini a un'utenza sempre più ampia, tali da rendere l'analisi da telerilevamento un approccio oramai imprescindibile per qualsiasi studio di tipo ambientale; esso infatti consente di comprendere ed evidenziare, in tempi reali, le presenze e i processi di trasformazione territoriale con una capacità di definizione analitica raffinata e di notevole dettaglio. La quantità e la qualità delle informazioni riconducibili ad oggetti o fenomeni naturali o antropici che emergono da un tale tipo di analisi non debbono comunque rimanere una semplice rilevazione delle risposte fisiche (riflettività, emissione termica ...) degli elementi territoriali, bensì debbono diventare oggetti di un processo interpretativo interdisciplinare, la cui completezza di informazioni e di verifiche è affidata all'intervento simultaneo e coordinato di indirizzi scientifici multipli.

Tale metodologia di approccio sistematico ha trovato applicazione nello studio del territorio di Selinunte; con l'analisi da telerilevamento si è svolta l'indagine a cascata in tre fasi conseguenti l'una all'altra, con l'utilizzo di immagini multitemporali e multibanda riprese da satellite, da aereo e da bassa quota.

Le informazioni deducibili dai dati digitali telerilevati sono state restituite al suolo in termini di coordinate topografiche attraverso le operazioni di georeferenziazione, che consentono di orientare e di correggere geometricamente le immagini. Con l'uso di immagini multispettrali e attraverso op-

portune elaborazioni computerizzate, proprie di specifici parametri territoriali, è stato possibile ricavare una serie di informazioni su tematiche ambientali diverse. I vari elementi ottenuti attraverso l'analisi, l'elaborazione e la combinazione delle diverse bande spettrali delle immagini satellitari sono stati messi a confronto ed integrati in più elaborati tematici, di cui si intendono presentare qui alcuni esempi che rappresentano le fasi metodologiche di lavoro.

Nell'ambito di un inquadramento fisiografico e geo-archeologico del territorio di Selinunte, si è ritenuto fondamentale effettuare uno studio della tettonica tardiva regionale. La possibilità di individuare le tracce tettoniche ed inserirle nel contesto geologico-strutturale della regione risulta di notevole importanza, in quanto i grandi sistemi di fratturazione della crosta terrestre, oltre a costituire delle vie di trasporto di soluzioni minerali e zone di localizzazione di giacimenti minerali, risultano elementi condizionanti l'evoluzione morfologica e idrogeologica del territorio e sono i responsabili dei movimenti tellurici, noti storicamente in tutta la valle del Belice. In particolare, per il territorio di Selinunte le immagini riprese da satellite Landsat 5 (con risoluzione a terra = 30 m) si sono dimostrate le più adatte per il riconoscimento delle caratteristiche lineazioni di significato tettonico-strutturale. In Fig. 7 è rappresentato il modello tettonico-strutturale regionale emerso dall'interpretazione di un'immagine ripresa da satellite Landsat 5 TM nel 1985; il quadro tettonico è stato confermato ed arricchito nel dettaglio dall'interpretazione condotta su immagini aeree schematizzata in Fig. 8. I principali sistemi di faglie e di fratturazione individuati da telerilevamento sono stati controllati e confermati da rilevamenti diretti sul terreno e da indagini geofisiche in profondità (AA.VV. 1992a).

In tale inquadramento strutturale si sono trovate le ragioni della scelta della costruzione degli imponenti monumenti architettonici eretti sulla Collina Orientale; le faglie individuate sembrano essere le responsabili dei rigetti della piastra calcarenitica che si inspessisce proprio in corrispondenza della Collina Orientale, essendo qui il substrato roccioso in grado di sopportare meglio i carichi delle strutture architettoniche.

Attraverso l'analisi di immagini satellitari sono state inoltre identificate le tracce indotte dagli interventi di tipo antropico del passato. Tali interventi, infatti, restano "memorizzati" al suolo e nell'immediato sottosuolo e sono riconoscibili per la particolare risposta dei loro parametri fisici; essi sono stati successivamente controllati ed inseriti in un contesto di uso del territorio nei tempi antichi, anche se a piccola scala. L'acquisizione periodica e multitemporale delle immagini da satellite risulta di notevole aiuto al processo interpretativo, dato che le anomalie riferite a strutture antropiche sepolte possono essere riprese in diverse sequenze ed in condizioni ottimali.

La Fig. 9 è un esempio di interpretazione delle tracce antropiche sepolte applicata all'area di Selinunte, tratta da un'immagine ripresa nell'aprile del 1986 dal satellite SPOT. È stato possibile distinguere due sistemi sovrapposti

di anomalie sepolte, riferibili a due sistemi di segni reticolati, diffusi e diversamente addensati, legati probabilmente a due fasi di organizzazioni territoriali antiche.

Da una serie di fotografie aeree, multiscalarali e multitemporali (1968, 1975, 1987, 1993), riprese non multispettrali, ma solo nello spettro del visibile pancromatico, è stato possibile confermare, con maggior dettaglio e definizione, le tracce dei segni lasciati dalle due occupazioni antropiche nel territorio selinuntino. L'interpretazione integrata delle serie di foto aeree è rappresentata in Tav. II, ove emergono i diversi sistemi di tracce di organizzazione territoriale, le anomalie relative a percorsi viari e quelle dovute ad antichi insediamenti.

La correzione geometrica delle fotografie aeree è possibile attraverso l'uso di immagini digitali e di un relativo software di image processing. Le foto sono state quindi acquisite tramite uno scanner, memorizzate e trattate con un software (Erdas 8.1) dedicato all'elaborazione di immagini (operazioni ancora in fase di svolgimento). Dopo aver corretto geometricamente le immagini fotografiche si è proceduto al miglioramento delle stesse attraverso l'utilizzo di opportuni filtri che hanno consentito una facilitazione all'interpretazione. La Fig. 10 è un esempio di interpretazione di una porzione di immagine, ripresa nel 1987, in scala originale 1:13.000 circa, in corrispondenza al sito romano di "Trenta Salme"; in tal modo i segni interpretati aiutano a chiarire il significato geometrico degli elementi individuati come strutture sepolte riferite all'occupazione dell'uomo antico.

La fase finale dell'analisi utilizza riprese da piattaforme da bassa quota di immagini ad alta risoluzione e possibilmente con sensori diversi per le varie bande dello spettro elettromagnetico, che in genere, per l'analisi archeologica, sono la banda del visibile, dell'infrarosso fotografico e dell'infrarosso termico.

La Fig. 11 si riferisce all'interpretazione di un'immagine fotografica, ripresa nel visibile b/n durante un volo a bassa quota (circa 200 m d'altezza dal suolo) effettuato dal Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino nel luglio del 1990 sulla Collina Orientale di Selinunte per mezzo di una piattaforma mobile, costituita da un aereo ultraleggero motorizzato in grado di volare a velocità di circa 50 Km/ora. La ripresa delle immagini con una camera semimetrica Rollei, associata ad un sistema di restituzione fotogrammetrica computerizzato, ha consentito la localizzazione corretta al suolo delle anomalie interpretate. Infatti, i negativi delle immagini sono stati acquisiti tramite scanner di una stazione computerizzata; i dati digitali sono stati quindi georiferiti, migliorati e si è proceduto all'interpretazione delle anomalie antropiche sepolte.

L'esempio qui riportato si riferisce ad un'area test localizzata sulla Collina Orientale di Selinunte, zona oggetto anche di successive verifiche puntuali, anche mediante prospezioni geofisiche (gloelettriche, geomagnetiche e

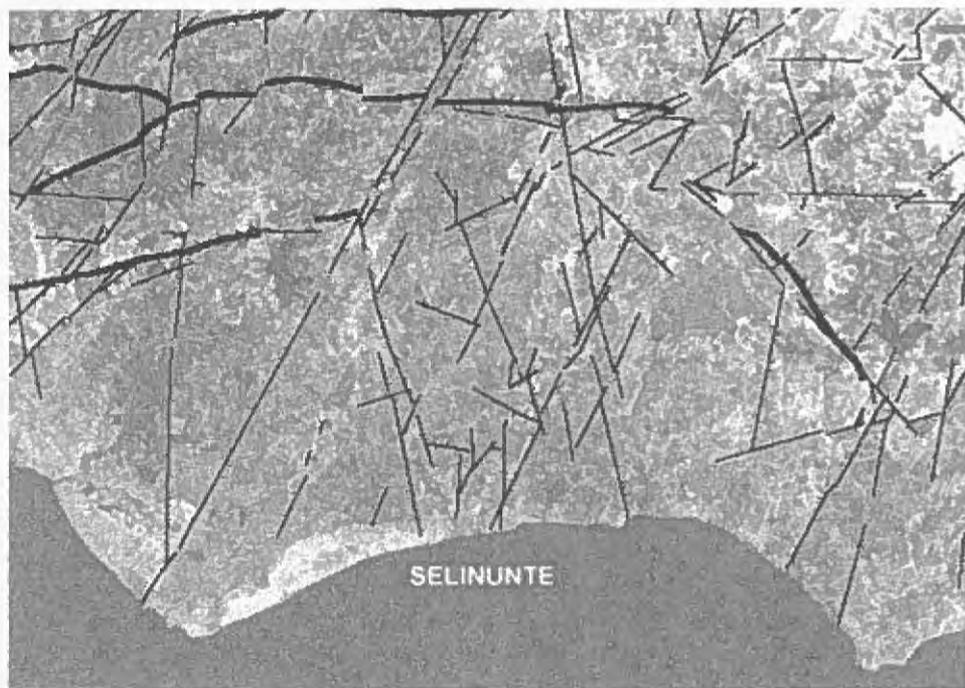


Fig. 7 - Carta Tettonica della Sicilia sud-occidentale da satellite Landsat 5 TM del 23 luglio 1985. Interpretazione: P. Baggio - C. Zamboni (CNR Padova - L.A.TER. Torino)

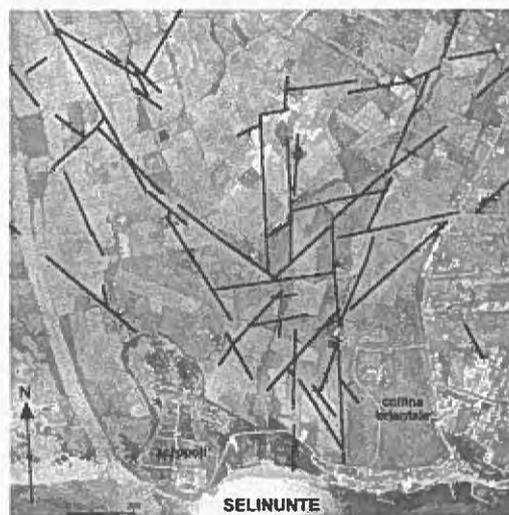


Fig. 8 - Carta Tettonica della zona di Selinunte da foto aerea del 1975. Interpretazione: P. Baggio - C. Zamboni (CNR Padova - L.A.TER. Torino).



Fig. 9 - Il territorio di Selinunte. Tracce di antropizzazioni sepolte interpretate da satellite SPOT 1 del 1986. Interpretazione: P. Baggio - C. Zamboni (CNR Padova-L.A.TER. Torino).



Fig. 10 – il sito di "Trenta Salme". Tracce delle strutture antropiche sepolte da foto aerea del 1987.

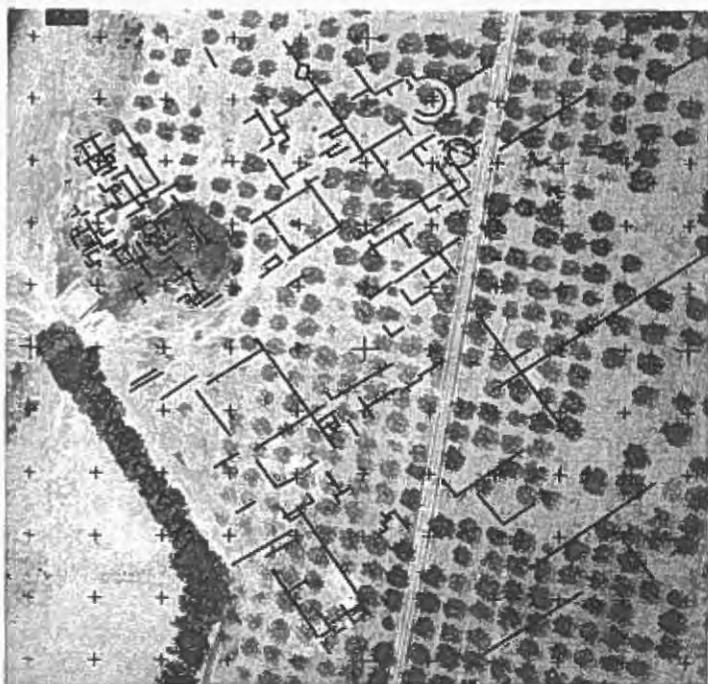


Fig. 11 – La collina orientale di Selinunte. Anomalie antropiche sepolte in un'immagine del 1990 ripresa da bassa quota a nord-ovest del tempio G. Interpretazione: P. Baggio - C. Zamboni (CNR Padova - L.A.TER. Torino).

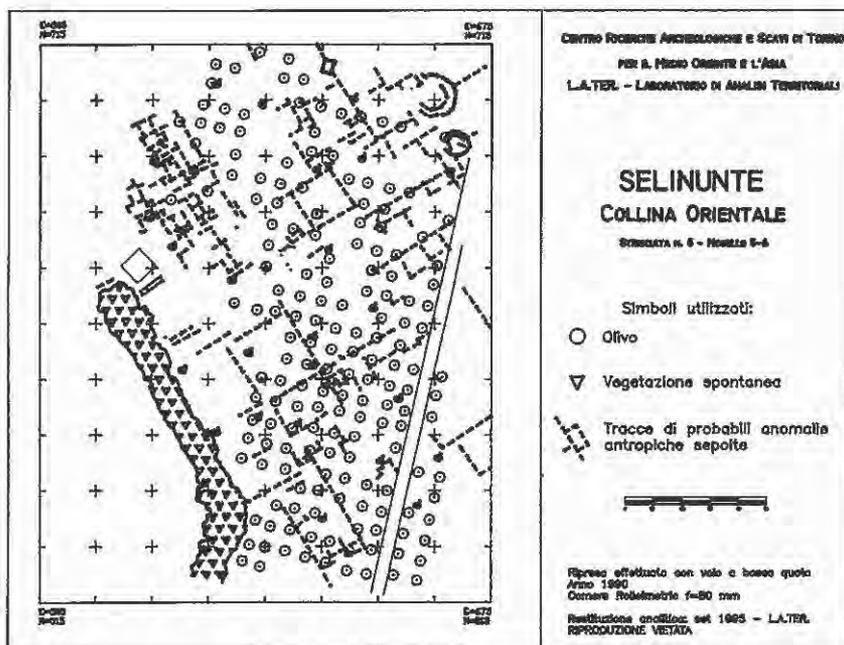


Fig. 12 - La Collina Orientale di Selinunte. Restituzione fotogrammetrica digitale e interpretazione di immagini da bassa quota. (C.A. Birocco - C. Zamboni - L.A.TER. Torino)

radar) effettuate da esperti del C.N.R. dell'I.T.A.B.C. di Roma (PIRO, VERSINO 1992). La vettorializzazione delle tracce individuate ed interpretate come probabili anomalie antropiche sepolte ha reso possibile la loro localizzazione esatta sul terreno mediante un trasferimento su un supporto topografico (Fig. 12) - in una scala di dettaglio - la cui restituzione fotogrammetrica digitale è stata curata dall'ing. C.A. Birocco. L'analisi di tale area, localizzata nell'oliveto al margine della collina orientale a nord ovest del tempio G, ha evidenziato un reticolo di segni con direzione ENE-WSW che si infittiscono in una zona al limite con la scarpata sulla valle del Cottone nei pressi di un abbeveratoio alimentato da una sorgente ancora oggi ricca d'acqua.

C.Z.

3.2 La ricognizione sul terreno

I risultati delle ricognizioni di superficie confermano ed allargano l'interpretazione delle immagini: per lo più agli indizi di presenze antropiche sepolte dedotte dalle foto aeree corrispondono vaste aree di frammenti fittili, talvolta accompagnate dalla presenza di blocchi da costruzione di grosso ta-

glio o da elementi architettonici modanati; più raramente si conservano tratti di muri molto danneggiati o strutture tombali. Emerge il quadro di una fascia territoriale molto popolata, su cui, pur variando le modalità di occupazione, sono tuttora riconoscibili le tracce di uno sfruttamento continuato ed intensivo.

La colonia di Selinunte venne ad occupare un territorio già densamente abitato, come evidenziano i resti di un villaggio indigeno sulla collina di Manuzza (RALLO 1976-77, 720-733), sporadiche attestazioni ceramiche dal santuario della Malophoros (TUSA 1982, 111-117) e dall' "Acropoli" (DE LA GENIÈRE 1975, 83-84), e indizi di una occupazione pre-coloniale nell'area della Collina Orientale (GULLINI 1985, 488, nota 25).

La fondazione della *polis* comportò certamente, tramite relazioni più o meno amichevoli con le genti locali, la graduale presa di possesso del territorio e la programmata spartizione della terra coltivabile. Infatti lungo le fasce collinari a nord e a nord est di Selinunte, a partire da una certa distanza dalle grandi necropoli cittadine, si attestano una serie di abitati databili almeno dalla fine del VI sec. a.C. Una serie di divisioni ortogonali individuate sulle foto aeree (in rosso su Tav. II), insieme alla distribuzione regolare di questi insediamenti, fanno pensare ad una suddivisione in lotti in funzione della coltivazione. Si può inoltre ipotizzare la loro dislocazione lungo alcune vie di uscita dalla città; infatti l'andamento di una strada diretta verso nord è stata in parte individuata sulle foto aeree: essa, costeggiando la necropoli di Gale-
ra, si snodava lungo la parte occidentale del pianoro, attraversando il grande sito 32. È possibile che tale tracciato corrisponda al "Weg zur Burg", indicato su una mappa topografica della seconda metà dell'800 (HOLM 1870, tav. IV) e che ricalchi, in parte, il percorso descritto dal Cavallari «...che dall'Acropoli attraversa la città dirigendosi al nord per comunicare con la necropoli di Galera Bagliazzo, e, ripiegando a nord est, conduce nell'ora chiamata Contrada di Giancontieri» (CAVALLARI 1872, 5).

Sulle immagini da satellite (Fig. 9) e sulle foto aeree è stata identificata una seconda organizzazione territoriale, riconoscibile da una serie di tracce distribuite su tutta l'area indagata, con orientamento circa NW/SE (in verde ed in blu su Tav. II). Dalle ricognizioni di controllo è emersa una fitta rete di abitati, distribuiti regolarmente tra i fiumi Belice e Modione. In parte essi, a cui erano annesse piccole necropoli, continuarono ad occupare i più antichi insediamenti, ma è completamente nuova l'occupazione diffusa e capillare della fascia territoriale compresa tra il fiume Belice e la Collina Orientale. Il materiale ceramico e laterizio ha permesso di datare queste fattorie tra la seconda metà del IV sec. e la metà del III sec. a.C., quando, cioè, il comprensorio di Selinunte rientrò definitivamente nell'eparchia punica, e quando un nucleo abitativo si insediò sulla Collina Orientale, annidandosi tra i templi G ed F e avvolgendo E (MARCONI BOVIO 1961, 12; 1966, 110-111).

Alcune tra esse furono occupate anche in età romana, ma rispetto all'epoca precedente si assiste ad una certa rarefazione degli insediamenti ac-

compagnata ad un aumento delle loro dimensioni. I grandi siti di “Trenta Salme” (n. 9), di “Baglio Florio” (n. 1), di “Case Pisciotta” (n. 28.), di “Casa Amari” (n. 32), di “Casa Pecorella” (n. 7) presentano caratteristiche insediative molto simili: sono distesi ai margini di ampi pianori coltivabili, in posizione di controllo dei grandi corsi d’acqua ed in prossimità delle vie di comunicazione (Fig. 13). Sebbene in alcuni casi sia attestata una presenza ininterrotta dal II sec. a.C. alla prima età imperiale, solo a partire dal II sec. d.C. gli abitati assunsero la vasta estensione che attualmente li caratterizza: sembra dunque che in questo secolo alcune fattorie produttive di limitate risorse si



Fig. 13 – Insediamento di età romana N.9 visto da ovest - 1) Baglio “Trenta Salme”. 2) Fiume Belice.



Fig. 14 – Versante occidentale della “Collina Orientale” - 1) Insediamento di età romana. 2, 3, 4) Templi “E”, “F” e “G”. 5) Abbeveratoio. 6) Fondo valle Gorgo Cottone.

siano trasformate in ampi complessi rurali, la cui vita si protrasse fino al V sec. d.C e oltre.

Mediante l'aiuto delle immagini a bassa quota (Figg. 11 e 12) è stato possibile scendere ad un'analisi di maggior dettaglio su uno dei più cospicui e significativi insediamenti di età romana: il grande stanziamento a nord del tempio G (Fig. 14, n. 1). Infatti le ricognizioni di superficie hanno permesso di localizzare, in corrispondenza delle tracce a reticolo con orientamento ENE-WSW individuate sulle immagini, una vasta area di frammenti fittili, particolarmente concentrati ai limiti occidentali del pianoro, in prossimità del vecchio abbeveratoio. Per la costruzione di questo sono stati riutilizzati grossi blocchi antichi da costruzione in calcare; altri, molto numerosi, sono accumulati ai limiti del pianoro, all'inizio del pendio e lungo la stradella proveniente da Baglio Florio. Infine la crescita spontanea e molto abbondante di rovi intorno all'abbeveratoio e nelle vicinanze dello stesso, suggerisce la presenza di accumuli di pietra, oggi del tutto nascosti dalla vegetazione. Essi, insieme a frammenti di cocciopesto e ad alcune lastrine in marmo, segnalano la presenza di strutture interrato.

Per questa ragione sull'area sono state effettuate una serie di campagne di prospezioni geofisiche nell'ambito del progetto strategico "Moderne tecnologie per il patrimonio culturale in Italia Meridionale". I risultati ottenuti confermano la presenza di un insieme di strutture sepolte con orientamenti nord-ovest/sud-est e perpendicolari, e di pavimentazioni sepolte a piccola profondità (PIRO, VERSINO 1992). Si può quindi affermare che, su un'area molto vicina ai templi orientali, si installò un abitato, che il materiale ceramico di superficie permette di datare tra la seconda metà del II sec. a.C. ed il VI sec. d.C. (alcuni frammenti di ceramica a vernice nera di buona qualità e di tegole di varia foggia di epoca greca sono probabilmente relativi a sepolture, già segnalate dallo SCHUBRING (1865) sulla sua pianta topografica della città). La portata della scoperta è significativa, se pensiamo che a lungo si è supposto un totale abbandono di Selinunte dal 250 a.C. all'epoca tardo imperiale (MARCONI BOVIO 1957, 70-78).

Degna di particolare interesse, infine, è una documentazione non molto ampia, ma senza dubbio significativa, che segnala la presenza nel Selinuntino di agglomerati sviluppatisi tra la tarda età romana ed il periodo bizantino. Oltre, infatti, all'individuazione di strutture murarie, di tombe, di lucerne di tipo africano e della nota lampada con monogramma cristiano e l'iscrizione "Deo Gratias" tra i templi C e D (CAVALLARI 1882, 462-468; SALINAS 1882, 332; GABRICI 1930, 63-65), al ritrovamento di un accumululo di lucerne e statuette votive alla Gaggera, e al riconoscimento di lavori di restauro al Megaron della Malophoros (HULOT, FOUGÈRES 1910, 296 e 131, nota 4; SALINAS 1883, 132-134; GABRICI 1927), da un'area di necropoli ad est dei templi della Collina Orientale proviene l'iscrizione funeraria di un certo Ausanius Diaconus, probabilmente giunto in Sicilia per sfuggire alla persecuzione ariana e rifu-

giatosi a Selinunte (BIVONA 1970, 59. n. 44, tav. XXIX). In questo panorama ben si inquadra la presenza di un insediamento tardo romano o bizantino alla foce del fiume Belice, come probabile postazione di controllo della via fluviale.

F.C.

FRANCESCA COLOSI

Istituto per le Tecnologie Applicate ai Beni Culturali
C.N.R. Area della Ricerca - Montelibretti

LAURA POMPEO
DOMENICO SANGIORGIO
CRISTINA ZAMBONI

L.A.TER. Laboratorio di Analisi Territoriali,
Centro Ricerche Archeologiche e Scavi di Torino

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. 1992, *Collezione archeologica del Banco di Sicilia*, Palermo.
- AA.VV. 1992a, «Boll. Geof. Teor. Appl.», Trieste, 134-135, june-september.
- AL AS'AD K. 1996, *Caravan Roads of Palmyra*, in *Palmyra and the Silk Road 1996*, 123-124
- BAUZOU Th. 1989, *Les routes romaines de Syrie*, in J.-M. DENTZER (ed.), *Archéologie et histoire de la Syrie, II, de l'époque perse à l'époque byzantine*, Saarbrücken, 205-221.
- BIVONA L. 1970, *Iscrizioni latine lapidarie del Museo di Palermo*, Palermo.
- BOUNNI A., AL AS'AD K. 1989, *Palmyre. Histoire, monuments et musée*, Damas.
- CAVALLARI F.S. 1872, *Topografia di Selinunte e suoi dintorni*, «Bullettino Comm. Ant. Belle Arti in Sicilia», 5, 1-8.
- CAVALLARI F.S. 1882, *Selinunte*, Memorie dell'Accademia Nazionale dei Lincei, s. III, 10, 462-468.
- DAVISON G. J. 1986, *Ground control pointing and geometric trasformation of satellite imagery*, «International Journal of Remote Sensing», 1.
- DE LA GENIÈRE J. 1975, *Saggi sull'acropoli di Selinunte*, «Kokalos», 21, 68-107.
- DENTZER J.-M. 1994, *Khàns ou casernes à Palmyre? A' propos de structures visibles sur des photographies aériennes anciennes*, «Syria», 71, 45-112.
- DENTZER J.-M., SAUPIN R. 1996, *L'espace urbain à Palmyre. Remarques sur des photographies aériennes anciennes*, in *Palmyra and the Silk Road 1996*, 287-318.
- DODINET M., LEBLANC J., VALLAT J.P., VILLENEUVE F. 1990, *Le paysage antique en Syrie: l'exemple de Damas*, «Syria», 67, 338-355.
- GABRICI E. 1927, *Il santuario della Malophoros a Selinunte*, «Monumenti Antichi dei Lincei», 32, 1-406.
- GABRICI E. 1930, *Acropoli di Selinunte. Scavi e topografia*, «Monumenti Antichi dei Lincei», 33, 61 ss.
- GILLESPIE A. et al. 1986, *Color Enhancement of Highly correlated images, I. Decorrelation and HSI Contrast Stretches*, Remote Sensing of Environment.
- GULLINI G. 1985, *L'architettura, in Sikanie. Storia e civiltà della Sicilia greca*, Milano, IVAG, 417-491.
- HOLM H. 1870, *Geschichte Siziliens im Altertum*, I, Leipzig.
- HULOT J., FOUGÈRES H. 1910, *Sélinonte*, Paris.

- KENNEDY D.L., RILEY D. 1990, *Rome's Desert Frontier from the Air*, London.
- KUSTERMANN GRAF A. 1991, *Necropoli di Selinunte (necropoli Manicalunga, gruppo di tombe Gaggera)*, in *Documentazione analitica delle necropoli dell'Italia meridionale e della Sicilia*, diretta da J. de La Genière e G. Nenci, «Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa», 21, 1, 101-123.
- MARCONI BOVIO J. 1957, *Inconsistenza di una Selinunte romana*, «Kokalos», 3, 70-78.
- MARCONI BOVIO J. 1961, *Recenti scoperte dell'archeologia della Sicilia occidentale, con particolare riguardo agli scavi di Selinunte*, in *Atti del VII Congresso Internazionale di Archeologia Classica*, II, 9-30.
- MARCONI BOVIO J. 1966, *Selinunte. Scavi intorno al tempio E*, «Bollettino d'Arte», 51, 110-111.
- MATHER P.M. 1987, *Computer Processing of Remotely Sensing Data*, Wiley.
- Palmyra and the Silk Road* 1996, «AAS», 42 (Special Issue Int. Coll. "Palmyra and the Silk Road, Palmira, 7-11 April 1992).
- PIRO S., VERSINO L. 1992, *Primi risultati delle indagini geofisiche effettuate nell'area archeologica di Selinunte (Collina Orientale). Metodo Magnetico, Elettromagnetico induttivo ed impulsivo Georadar*, in *Monografia Selinunte 1*, Intesa di programma CNR - MISM, 9 - 32.
- POIDEBARD A. 1937, *La trace de Rome dans le désert*, Paris.
- RALLO A. 1976-77, *Scavi e ricerche nella città di Selinunte*, «Kokalos» 21-23, 2, 720-733.
- SALINAS A. 1882, *Selinunte (Castelvetrano)*, «Notizie degli Scavi», 332-336.
- SALINAS A. 1883, *Ricordi di una Selinunte cristiana*, «Archivio Storico per la Sicilia», n.s. 7, 132-134.
- SCHLUMBERGER D. 1951, *La Palmyrène du nord-ouest*, Paris.
- SCHUBRING J. 1865, *Die Topographie der Stadt Selinus*, Nachrichten von der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Gottingen, 15, 1 Nov.
- Servizio Topografico Repubblica Araba Siriana 1972, *Carta Topografica 1:200.000*.
- SHEFFIELD C. 1985, *Selecting band combinations from multispectral data*, «Photogrammetric Engineering and Remote Sensing», 2.
- TUSA S. 1982, *Presenze indigene nel territorio selinuntino*, «Sicilia Archeologica», 15, 49-50, 111-117.
- WILL E. 1992, *Les Palmyréniens. La Venise des sables*, Paris.

ABSTRACT

The remote sensing, by the orbital, airborne or close range images, is, today, the most accurate and suitable methodology to achieve an exhaustive investigation of a defined territory, intended as the great reservoir of any document left by the past human societies, settled in the studied area and at the same time, to recover the spatial organisation of the cultural produced by those societies. The multispectral images record both the reflected and the emitted energy; the last one is linked to the nature of the soil and of the included structures, especially the built artefacts.

The ground control by direct surveys or geophysics detection and an accurate georeferentation, mainly by GPS receivers, allows to build a topographic information system to be interfaced with those built by the already known information of all the preserved documents about the settling system within the investigated region. Two case histories are offered to the reader: the area surrounding Palmyra in Syria and the territory of Selinus in Sicily; both allow to understand, by newly discovered evidences, the historical results of the applied methodology.