

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SIENA  
POLO UNIVERSITARIO GROSSETANO

Localizzazione e georeferenzazione in ambiente GIS di fotografie  
aeree oblique della provincia di Grosseto

prof. paolo nannini

relatore  
dr. stefano campana

MASTER IN:

*ARCHEOLOGIA TERRITORIALE E GESTIONE INFORMATICA DEI DATI ARCHEOLOGICI  
ARCHEOLOGIA URBANA E MEDIEVALE*

Anno Accademico 2003-2004

## **Indice:**

1. INTRODUZIONE	P. 2
2. FINALITÀ DELLA RICERCA	P. 4
3. METODOLOGIA DELLA RICERCA	P. 5
3.1 Creazione del progetto GIS	p. 5
3.2 Localizzazione delle fotografie aeree oblique - voli 2002	p. 6
3.2.1 Localizzazione in ambiente GIS	p. 8
3.3 Localizzazione di anomalie osservate nelle ortofoto AIMA 1996	p. 10
3.4 Georeferenzazione di fotografie aeree oblique in ambiente GIS	p. 13
3.4.1 Crop ortofoto e allineamento fotografia obliqua	p. 14
3.4.2 Georeferenzazione e restituzione cartografica di foto oblique	p. 16
3.4.3 Ripulitura della fotografia e importazione in ambiente GIS	p. 19
3.5 Restituzione cartografica e interpretazione di anomalie in ambiente GIS	p. 21
3.6 Creazione di un Database fotografico delle foto oblique 2002	p. 23
4. VALUTAZIONE DEI RISULTATI E PROSPETTIVE	P. 27
Bibliografia e note sul CD allegato	p. 29

# Localizzazione e georeferenzazione in ambiente GIS di fotografie aeree oblique della provincia di Grosseto

## 1. INTRODUZIONE

L'archeologia territoriale può oggi avvalersi di due formidabili strumenti di ricerca e di studio delle emergenze archeologiche di un dato territorio, che vanno ad integrare efficacemente la pur sempre indispensabile ricognizione di superficie: la fotografia aerea, ortofoto e obliqua, e l'uso di sistemi GIS.

La fotografia aerea si afferma nel corso del XX secolo con lo sviluppo delle piattaforme aeree, in particolare dopo la I<sup>a</sup> guerra mondiale, fino ad arrivare, a partire dal secondo dopoguerra, alla fotografia satellitare. Le applicazioni delle fotografie aeree sono molteplici: da quelle militari e di intelligence, a quelle geografiche nelle scienze naturali e nelle scienze umane, fra le quali l'archeologia<sup>1</sup>. Proprio per la sua importanza strategica la fotografia aerea in Italia era, al di fuori dell'ambito militare, rigidamente controllata e limitata da una legge del 1939 che finalmente è stata abrogata nel 2000, rendendo possibile un ampio ricorso a questo preziosissimo strumento di ricerca e di studio da parte di un'utenza sempre più vasta.

In campo archeologico la fotointerpretazione<sup>2</sup> delle cosiddette *anomalie* è fondamentale per l'individuazione: della viabilità antica; di paleoalvei e paleo laghi; della centuriazione agraria; di siti archeologici insediativi (fino al livello di singoli edifici); di necropoli. Le anomalie superficiali, che possono rilevarsi dallo studio di fotografie aeree, hanno varia conformazione e origine. Quelle di natura archeologica emergono per il loro carattere geometrico dovuto a strutture che affiorano, od anche sepolte, queste, infatti, modificando le caratteristiche fisiche del suolo (quali: composizione, struttura, umidità) sono tradite nel telerilevamento essenzialmente da:

- Cambiamenti di colore della superficie;
- anomalie di crescita della vegetazione<sup>3</sup>, ad esempio i famosi *crop marks*;
- microrilievi dovuti ad un'erosione differenziale rispetto al suolo circostante;
- anomalie termiche rilevabili da sensori termici (IR lontano) per diverse capacità termiche degli strati superficiali.

In Italia l'attività di fotointerpretazione a fini archeologici anche prima del 2000 ha prodotto importanti risultati grazie al lavoro di diversi gruppi di ricerca fra i quali vanno citati: la sezione di Topografia Antica dell'Università "La Sapienza" di Roma; il laboratorio di Fotointerpretazione Archeologica del dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti dell'Università di Siena e, infine, il Laboratorio di Topografia Antica e Fotogrammetria dell'Università di Lecce. Negli ultimi anni dobbiamo citare le iniziative del dipartimento di Archeologia Medievale dell'Università di Siena che ha organizzato, con la collaborazione dell'English Heritage, la prima scuola di Survey Aereofotografico in Italia svoltasi nel 2001, con la partecipazione di 21 studenti e che ha prodotto durante lo svolgimento del corso, nelle 127 ore di volo, ben 7.534 scatti di fotografie

---

<sup>1</sup> Campana S., Forte M., 2001

<sup>2</sup> Wilson D.R., 1982

<sup>3</sup> Fu proprio l'osservazione di un'anomalia della vegetazione: una fila di maestose querce, allineate su un costone calcareo coperto da macchia, a condurre nel 1857 l'archeologo fiorentino Alessandro François alla scoperta del lungo e profondo corridoio di accesso alla splendida tomba etrusca, in località Ponte Rotto a Vulci, che ancora oggi porta il suo nome.

aeree oblique. Queste sono andate a costituire il primo nucleo di un archivio fotografico preziosissimo e continuamente arricchito negli anni successivi grazie all'attività del "Laboratorio di Remote sensing" dell'Università di Siena, oggi con una sede anche a Grosseto. L'archivio è stato organizzato in forma di database multimediale con il software "Cumulus" che ha permesso di creare un sistema gerarchizzato di categorie tematiche facilmente interrogabile e consultabile, anche da utenti non esperti<sup>4</sup>.

La creazione di cartografia GIS ricorrendo a processi di tipo informatico nasce in Canada negli anni '60 del secolo scorso grazie al lavoro prima del CGIS (Canadian Geographic Information System) e poi dell'ESRI (Environmental System Research Institute) con lo scopo iniziale di integrare le informazioni provenienti dal remote sensing con quelle territoriali-ambientali. Bisogna però aspettare il 1981, con la diffusione dei personal computer, per avere il primo software commerciale per la cartografia GIS: ArcInfo, progettato dall'ESRI e oggi giunto alla release 9.0. Con tali strumenti informatici è oggi possibile, con una spesa tutto sommato accessibile:

- Build powerful geoprocessing models for discovering relationships, analyzing data, and integrating data.
- Perform vector overlay, proximity, and statistical analysis.
- Generate events along linear features and overlay events with other features.
- Convert data to and from many formats.
- Build complex data and analysis models and scripts to automate GIS processes.
- Publish cartographic maps using extensive display, design, printing, and data management techniques<sup>5</sup>.

Ciò fa apparire assolutamente giustificato il motto dell'ESRI: "*Better Decisions Through Modeling and Mapping Our World*". "Decisioni migliori", quelle che purtroppo spesso difettano nella gestione territoriale in Italia.

In archeologia poter disporre di uno strumento che permette di:

- creare cartografia digitale in molteplici *layers* informativi, espressione di altrettanti database interrogabili con funzioni evolute di ricerca;
- analizzare in modo quantitativo le distribuzioni spaziali dei fenomeni studiati;
- analizzare in modo quantitativo le relazioni spaziali fra le diverse variabili in gioco in fenomeni complessi, quali, ad esempio, le dinamiche insediative nei diversi periodi storici o in diversi contesti ambientali;

risulta non più soltanto utile, ma oggi indispensabile e ineludibile volendo fare ricerca archeologica seria. Le applicazioni sono molteplici e moltiplicanti, a livello di cartografia basti pensare al *Progetto della Carta archeologica della Toscana*<sup>6</sup> dove l'informazione archeologica nota e potenziale, confluendo nel GIS del territorio regionale, diventa facilmente fruibile agli amministratori e quindi assume un ruolo fondamentale per le strategie di intervento territoriale. A livello di ricerca archeologica vanno invece citati i numerosi lavori e pubblicazioni in riguardo del LIAAM<sup>7</sup> (Laboratorio di Informatica Applicata all'Archeologia Medievale) dell'Università di Siena, una fra le migliori "botteghe" di arqueo-informatici a livello europeo.

---

<sup>4</sup> Campana S., 2002

<sup>5</sup> <http://www.esri.com/software/arcgis/arcinfo/>

<sup>6</sup> Pasquinucci M. et al., 2001

<sup>7</sup> <http://192.167.112.135/NewPages/LABORATORIO/labinfbiblio.html>

I vantaggi e le potenzialità di tali strumenti sono ancora solo in parte compresi ed esplorati dalla comunità scientifica, ma è indubbio che il futuro prossimo della ricerca archeologica, in particolare quella territoriale, parlerà sempre più la lingua del GIS.

Nel caso del presente lavoro di localizzazione e georeferenziazione di fotografie aeree oblique, la disponibilità di un'ambiente GIS, per la provincia di Grosseto, è stata essenziale: la possibilità di spaziare sul territorio con veduta zenitale zoommando a diverse scale con un click del mouse, davanti ad un portatile delle dimensioni di un libro, può apparire ancora fantascientifico, ed è, in effetti, un grande traguardo dell'informatica applicata alla geografia.

## 2. FINALITÀ DELLA RICERCA

Nel corso del 2002, nell'ambito di un progetto di Remote sensing per l'acquisizione di fotografie aeree oblique su emergenze archeologiche e anomalie, furono effettuati alcuni voli, in gran parte sul territorio della provincia di Grosseto, ma anche sulla provincia di Siena e nella provincia di Viterbo. Purtroppo tali voli, a causa di un disguido, furono effettuati senza attivare la registrazione del tracciato GPS delle rotte per cui le fotografie effettuate sono arrivate ad oggi senza una precisa localizzazione, nella maggior parte dei casi di difficile individuazione, ovviamente indispensabile per una loro proficua utilizzazione.

Si tratta di 15 rullini dei quali però, solo quattro con un numero completo di scatti, per un totale di 335 fotografie oblique. Di seguito nella Tabella 1, i codici dei rullini fotografici, nella prima riga, e, in colonna, i numeri dei fotogrammi:

**Tab.1** Codici dei 15 rullini di fotografie oblique con i relativi scatti e il totale delle fotografie.

206	207	208	211	213	214	217	218	219	220	221	223	224	227	260
12	8	3	1	10	1	2	3	2	25	2	2	2	12	1
13	9	6	2	11	2	3	4	3	26	3	3	3	33	2
14	10	11	3	12	3	4	5	4	27	4	4	4	36	3
15	11	28	4	13	4	5	6	5	28	6	5	5		4
16	12		5	14	5	6	7	6	29	7	6	6		5
17	14		6	15	6	7	8	7	30	8	7	7		6
18	15		7	27	7	8	9	8	31	9	8	8		7
19	16		8	28	8	9	10	9	32	10	9	9		8
20	19		9	29	9	10	11	10	33	11	10	10		9
21	21		10	30	10	11	12	11	34	12	11	11		10
22	31		11	31	11	12	13	12	35	13	12	12		11
23	32		12	32	12	13	14	13	36	14	13	13		12
24	33		13	33	13	14	15	14	37	15	14	14		13
25	34		14		14	15	16	15		16	15	15		14
26	35		15		15	16	17	16		17	16	16		15
27	36		16		17	17	18	17		19	17	17		16
28	37		17		18	18	19	18		20	18	18		17
29					19	19	20	19		21	19	19		18
30					20	20	21	20		22	20	20		19
31					21	21	22	21		23	21	21		20
32						22	25	22		24	22	22		21
33						23	27	23		25	23			22
34						24	28	24		26	24			23
35							29	25		27	25			24
36							30	26		28	26			25
37							31	27		29	27			27
38							32	28		30	28			28
							33	29		31	29			29
							34	30		32	30			30
							35	31		33	31			31
							36	32		34	32			32
								33		35	33			33
								34		36	34			34
								35			35			35
								36			36			36
								37			37			37
														38
														39
														40
														41
														42
Totale scatti =														335

Lo scopo del presente lavoro si può riassumere in 3 punti:

- localizzare nel territorio della provincia di Grosseto il numero massimo di fotografie oblique, attraverso il confronto, in ambiente GIS, con le ortofoto in bianco e nero e con l'ausilio della cartografia IGM al 25.000, sempre digitalizzata ed eventualmente di altri supporti cartografici;
- individuare fra le fotografie oblique localizzate, quelle più interessanti dal punto di vista della fotointerpretazione e georeferenziare quindi tali anomalie, sempre in ambiente GIS, con l'ausilio del software *AirPhoto*;
- produrre un *layer* vettoriale di queste ultime con la restituzione grafica delle anomalie presenti, eventualmente integrate con un processo di interpretazione, attraverso un nuovo *layer*;
- Creare un database fotografico con il software *Cumulus* delle fotografie esaminate, organizzate secondo criteri sia geografici che fotointerpretativi.

In realtà nel corso del lavoro, nella fase della ricerca sulle ortofoto dei luoghi delle ritratti dalle diverse fotografie oblique, si è aggiunto precocemente un nuovo obiettivo, che è stato quello di mappare su un layer specifico le numerose anomalie incontrate per serendipity nel territorio esaminato. In effetti la lettura sistematica di varie coperture aerofotogrammetriche della regione Toscana compiuta a partire dalla metà degli anni '80, grazie ad un progetto del prof. Riccardo Francovich, aveva consentito di censire un numero incredibilmente alto di possibili siti sepolti: circa 4500<sup>8</sup>.

Quindi un imprevisto ma, credo, comunque importante, risultato del lavoro è stato anche quello della creazione di un database GIS di anomalie osservate sulle ortofoto e descritte sinteticamente, facendo riferimento alla loro forma (circolare, lineare, ramificata, rettangolare, a macchia, et al.), senza addentrarsi in ipotesi interpretative che avrebbero richiesto un lavoro più lungo e complesso.

La natura e la localizzazione di queste anomalie dovrà essere meglio valutata e confrontata con i database esistenti sulla provincia di Grosseto. Eventualmente potrà essere approfondita in seguito con una mirata attività di ricognizione di superficie.

### **3. METODOLOGIA DELLA RICERCA**

#### **3.1 Creazione del progetto GIS**

Il primo passo del lavoro è consistito nella creazione di un progetto GIS attraverso ArcGis, dell'ESRI, versione 8.1.0. Questo software è in realtà composto da due componenti distinte: ArcMap che gestisce l'ambiente cartografico GIS e ArcCatalog che permette la creazione degli *ShapeFile (Layers)* e la gestione dei database associati al livello cartografico.

Il progetto, nominato GIS2002.mxd ha consentito inizialmente l'importazione in ambiente GIS dei *datasets* utili per la localizzazione delle fotografie oblique. Questi sono stati successivamente raggruppati in gruppi di layers elencati, di seguito, con il nome (in grassetto); il *Data Type* (raster o shapefile) e secondo l'ordine (da inferiore a superiore<sup>9</sup>) che hanno nel file GIS2002:

---

<sup>8</sup> Augenti A. et al., 1997

<sup>9</sup> Questo significa che il primo layer elencato sta sotto a tutti gli altri e quindi può essere "nascosto" da un layer di tipo raster, come le ortofoto, successivo.

**IGM 25 – raster:** 19 fogli della carta topografica IGM in scala 1:25.000 relativi alla provincia di Grosseto, essenziali per i toponimi.

- **OrtoGR – raster:** 146 ortofoto alla scala 1:10.000 necessarie a coprire il territorio della provincia di Grosseto in formato *ECW* (formato di immagine compresso) o, in alcuni casi formato *TIF*. Queste ortofoto disponibili presso il Laboratorio di Remote Sensing di Grosseto fanno parte di una copertura dell'intero territorio nazionale compiuta nel 1996 dall'AIMA (Azienda di Stato per gli Interventi nel Mercato Agricolo).
- **OrtoSI – raster:** 118 ortofoto AIMA alla scala 1:10.000 per la copertura della Provincia di Siena, aggiunte in un secondo tempo per verificare la presunta localizzazione di alcune fotografie oblique nella provincia di Siena.
- **OrtoLI – raster:** 27 ortofoto AIMA alla scala 1:10.000 per la copertura della parte centro-meridionale della Provincia di Livorno, aggiunte in un secondo tempo per verificare la presunta localizzazione di alcune fotografie oblique nella provincia di Livorno.
- **ComGR – shapefile (polygon):** limiti amministrativi dei comuni della provincia di Grosseto.
- **Province – shapefile (polygon):** limiti amministrativi delle province della Toscana.
- **rete10000 – shapefile (polygon):** reticolo della copertura regionale dei CTR 1:10000 corrispondente alla copertura delle ortofoto.
- **idro – shapefile (polyline):** reticolo idrografico della regione Toscana.

A questo punto il progetto GIS2002.mxd era pronto per l'utilizzazione come supporto per la localizzazione delle fotografie oblique. Questa seconda fase porterà alla creazione di nuovi *layers* che si aggiungeranno sopra a quelli elencati e che saranno di seguito presentati e commentati.

### 3.2 Localizzazione delle fotografie aeree oblique - voli 2002

La localizzazione in ambiente GIS delle fotografie aeree oblique dei voli del 2002 ha presentato in diversi casi notevoli difficoltà. Quando una fotografia non mostra altri elementi guida di riferimento se non le geometrie del paesaggio agrario, a grande scala, il compito diventa arduo<sup>10</sup>. Va detto in ogni modo, a bilancio del lavoro, che, forse, in certi casi, per qualche dose di fortuna, senz'altro per la costanza e il metodo, sono stati incredibilmente pochi i casi irrisolti e tutti con il sospetto, a volte accertato, che si trattava di luoghi al di fuori della copertura ortofoto provincia di Grosseto<sup>11</sup>.

Più semplici, ma lo stesso di risoluzione non immediata, le fotografie oblique che mostrano qualche elemento antropico: insediamenti, strade, ferrovie, cave, oppure aspetti geografico-fisici particolari come tratti della rete idrografica, rilievi isolati o tratti di costa. I pochi casi di un riconoscimento immediato della fotografia aerea sono

---

<sup>10</sup> La metafora forse più appropriata resta quella, classica, propria del nostro passato contadino, di trovare il famoso ago nel pagliaio e dicendo così si presume che la ricerca non avrà successo!

<sup>11</sup> Come detto nel paragrafo 3.1 in un secondo tempo si sono integrate le ortofoto di Grosseto con quelle della provincia di Siena e parte di quella di Livorno, ma non è stato coperto il confine Sud con la provincia di Viterbo.

stati quelli relativi alla zona di Castiglione della Pescaia e buona parte di quelli della costa dell'Argentario, molto caratteristica e ricca di emergenze sia storiche, come ad esempio le fortificazioni spagnole, o morfologiche come i tomboli e la laguna, Capo d'Uomo e altre.

Il metodo per affrontare questa fase del lavoro ha visto, come primo passo, la stampa laser B&N in formato A4 delle fotografie da localizzare divise in cartelline corrispondenti ai diversi rullini e segnate in modo univoco appunto con i due numeri del rullino e dello scatto (vedi Tab.1) che poi sono quelli che costituiscono, insieme con la cifra dell'anno, proprio il nome del file *JPG* di ogni fotografia<sup>12</sup>.

Questa scelta, anche se inizialmente energivora, si è dimostrata valida perché, prima di tutto anche le ortofoto di riferimento sono in B&N e poi il foglio poteva essere ruotato, spostato per confrontarlo più facilmente e, soprattutto, più rapidamente, che non la relativa immagine digitale. Ciò avrebbe costretto a continui cambi di schermata (a meno di non lavorare con due macchine) e di programma, e con attese dovute alla funzione di ruota immagine! Nei casi più difficili è stata riesaminata anche la fotografia digitale a colori per cogliere meglio eventuali dettagli confusi dalla stampa, o sfuggiti all'attenzione per l'assenza dei colori.

La ricerca, una volta individuato il livello di zoom, cioè di scala, ottimale, di solito qualche livello più ampio di quello delle fotografie in esame<sup>13</sup>, iniziava sempre partendo da un'area specifica della provincia, seguendo qualche elemento guida nella fotografia. Ad esempio, è stato facile riconoscere se si trattava di un paesaggio agrario nelle zone di bonifica costiere, con campi regolari a confini lineari e presenza di canali di drenaggio, oppure in zone collinari più interne con confini tendenzialmente irregolari, rilievo più vario e presenza di aree boschive. Altri elementi guida importanti come già detto la presenza di assi viari, i centri urbani, i corsi d'acqua, la costa.

Individuata l'area di ricerca l'esame dettagliato ai fini della localizzazione procedeva sia, soprattutto nella fase iniziale del lavoro, casualmente spostando la finestra GIS con il mouse (strumento *pan*) senza seguire una precisa direzione, questo permetteva, fra l'altro, di prendere dimestichezza con il software e di acquisire una prima conoscenza del territorio diciamo più panoramica possibile. In una fase più avanzata del lavoro gli spostamenti all'interno della provincia si erano fatti più sistematici, attivando anche un ortofoto alla volta e sfruttando le barre di scorrimento verticali ed orizzontali del programma, per un esame completo dell'area di ricerca. Le prime fotografie ad essere esaminate erano, solitamente, quelle con più elementi guida, in modo da sfruttare le congiungenti fra due o più punti localizzati e quindi ricostruire la rotta probabilmente percorsa dall'aereo, restringendo così l'area di ricerca per gli scatti contigui a quelli già localizzati.

### 3.2.1 Localizzazione in ambiente GIS

Preliminarmente all'inizio della ricerca sulle fotografie oblique di un dato rullino veniva creato uno shapefile, con geometria a punti, per riportare le fotografie localizzate in ambiente GIS. Tale *ShapeFile* (Fig.1) presenta i seguenti campi:

---

<sup>12</sup> La sintassi dei nomi dei file è la seguente: **aaaa\_rrrrr\_sss.jpg** con a= anno; r= numero del rullino; s= numero dello scatto.

<sup>13</sup> In effetti dopo un primo periodo di prove ho notato che il livello "ottimale" di zoom per la localizzazione poteva essere sempre lo stesso per tutte le foto: intorno cioè ad una scala di **1:6.500**; quindi l'area utile del monitor del mio portatile, con schermo a 15", corrispondeva ad un "finestra" sul territorio di 1625x1105m.

- **FID** = campo numerico progressivo; creato di default da ArcGis.
- **Shape** = point; campo di default.
- **Id** = nnn; numero di tre cifre identificativo, corrispondente al codice del rullino;
- **F1** = nn; numero di due cifre relativo al fotogramma della fotografia obliqua;
- **F2** = nn; num. di due cifre relativo ad un eventuale 2<sup>a</sup> foto dello stesso soggetto;
- **F3** = nn; num. di due cifre relativo ad un eventuale 3<sup>a</sup> foto dello stesso soggetto;
- **F4** = nn; num. di due cifre relativo ad un eventuale 4<sup>a</sup> foto dello stesso soggetto;
- **F5** = nn; num. di due cifre relativo ad un eventuale 5<sup>a</sup> foto dello stesso soggetto;
- **F6** = nn; num. di due cifre relativo ad un eventuale 6<sup>a</sup> foto dello stesso soggetto;
- **F7** = nn; num. di due cifre relativo ad un eventuale 7<sup>a</sup> foto dello stesso soggetto;
- **F8** = nn; num. di due cifre relativo ad un eventuale 8<sup>a</sup> foto dello stesso soggetto;
- **F9** = nn; num. di due cifre relativo ad un eventuale 9<sup>a</sup> foto dello stesso soggetto;
- **geor** = nn; num di due cifre relativo alla foto eventualmente georeferenziata, altrimenti assume valore = 0.
- **dove** = campo di testo *Lenght=40*; toponimo relativo alla localizzazione della fotografia, se questa non coincide con alcun toponimo, caso frequente nel caso il soggetto sia rappresentato da un'anomalia, viene indicato il toponimo più vicino in base alla cartografia IGM 1:25.000.
- **note** = campo di testo *Lenght=50*; note sul soggetto della fotografia.
- **comune** = campo di testo *Lenght=30*; comune dove si trova il soggetto fotografato.
- **prov** = campo di testo *Lenght=4*; sigla provincia dove si trova il soggetto fotografato.
- **orto** = nnnnnn *Long Integer*; campo numerico di sei cifre corrispondente al n. dell'ortofoto relativa al soggetto, che è lo stesso della cartografia regionale in scale 1:10.000.
- **X** = campo numerico *Float*<sup>14</sup>; relativo alla latitudine del marker della fotografia in coordinate Piane Gauss-Boaga.
- **Y** = campo numerico *Float*; relativo alla longitudine del marker della fotografia in coordinate Piane Gauss-Boaga.

**Fig. 1:** Esempio di *Attribute Table* di uno *ShapeFile* di localizzazione in ambiente GIS.

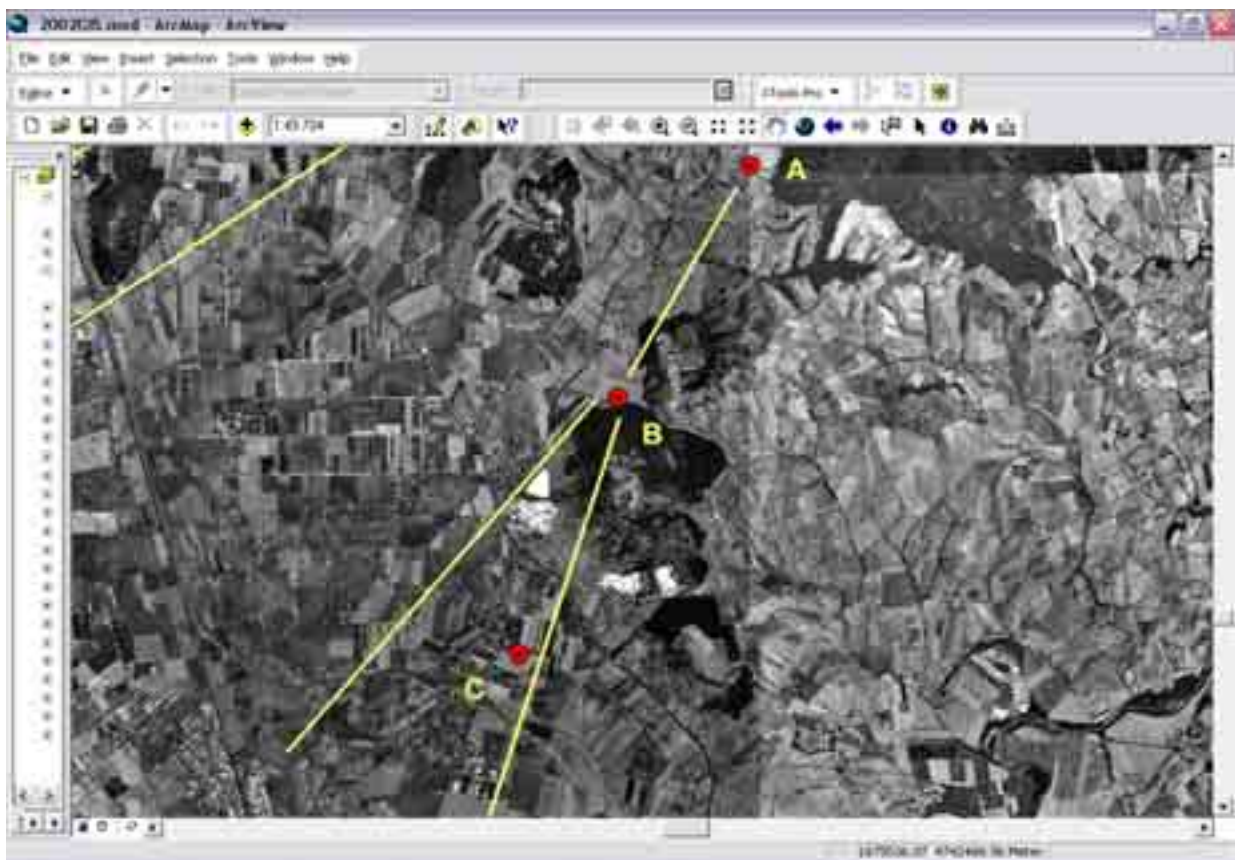
FID	Shape	Id	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	geor	dove	note	comune	prov	orte	X	Y
0	Point	206	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Talanone	centro abitato rocca	Gibbetello	GR	342020	1679234	4713488
1	Point	206	17	18	19	20	0	0	0	0	0	0	Magliano in Toscana	centro abitato	Magliano in Toscana	GR	221160	1690021	4718912
2	Point	206	13	14	15	16	0	0	0	0	0	15	Podere n.42	anomalia	Gibbetello	GR	342130	1684306	4715246
3	Point	206	21	22	23	24	0	0	0	0	0	0	Pereta	centro abitato	Magliano in Toscana	GR	221160	1690540	4724030
4	Point	206	25	26	0	0	0	0	0	0	0	0	Paganico	centro abitato area ombra	Civitella Paganico	GR	319080	1685413	4759974
5	Point	206	33	34	0	0	0	0	0	0	0	34	Badola al Fango	rovine s. pancrazio	Giocoletto	GR	330040	1659517	4738231
6	Point	206	35	36	37	38	0	0	0	0	0	0	Castiglione della Pescaia	centro abitato castello	Castiglione della Pescaia	GR	330130	1653071	4736359
7	Point	206	27	28	29	30	0	0	0	0	0	27	Poggio Ginzoli	anomalia circolare	Campagnatico	GR	319070	1677324	4752345
8	Point	206	31	32	0	0	0	0	0	0	0	21	C. Fuvace	anomalia lineare	Castiglione della Pescaia	GR	330040	1659121	4740020

<sup>14</sup> I campi X; Y; con i valori delle coordinate Piane Gauss-Boaga son in realtà creati automaticamente dall'estensione di ArcGis denominata *XTools Pro* (menù: *Table Operations*) e suppongo che sia *Float* in quanto i valori riportati sono cifre con 7 numeri interi e 5 decimali.

In certe situazioni, come accennato nel par. 3.2, è stato necessario cercare di individuare la probabile rotta dell'aereo, ad esempio fra due punti già localizzati per trovarne un terzo intermedio, restringendo così il campo di indagine sul territorio. Per questo scopo è stato creato un apposito *ShapeFile* a geometria lineare, denominato **Route**, utile per delimitare un'area di probabile localizzazione di una data fotografia aerea.

Nella Fig.2. si osserva uno di questi casi dove la rotta seguita fra due punti localizzati A e B (linea singola chiara<sup>15</sup>) è seguita, dopo il secondo punto, da due linee divergenti che individuano un cono di ricerca per la fotografia obliqua successiva (C), poi effettivamente localizzata all'interno del cono.

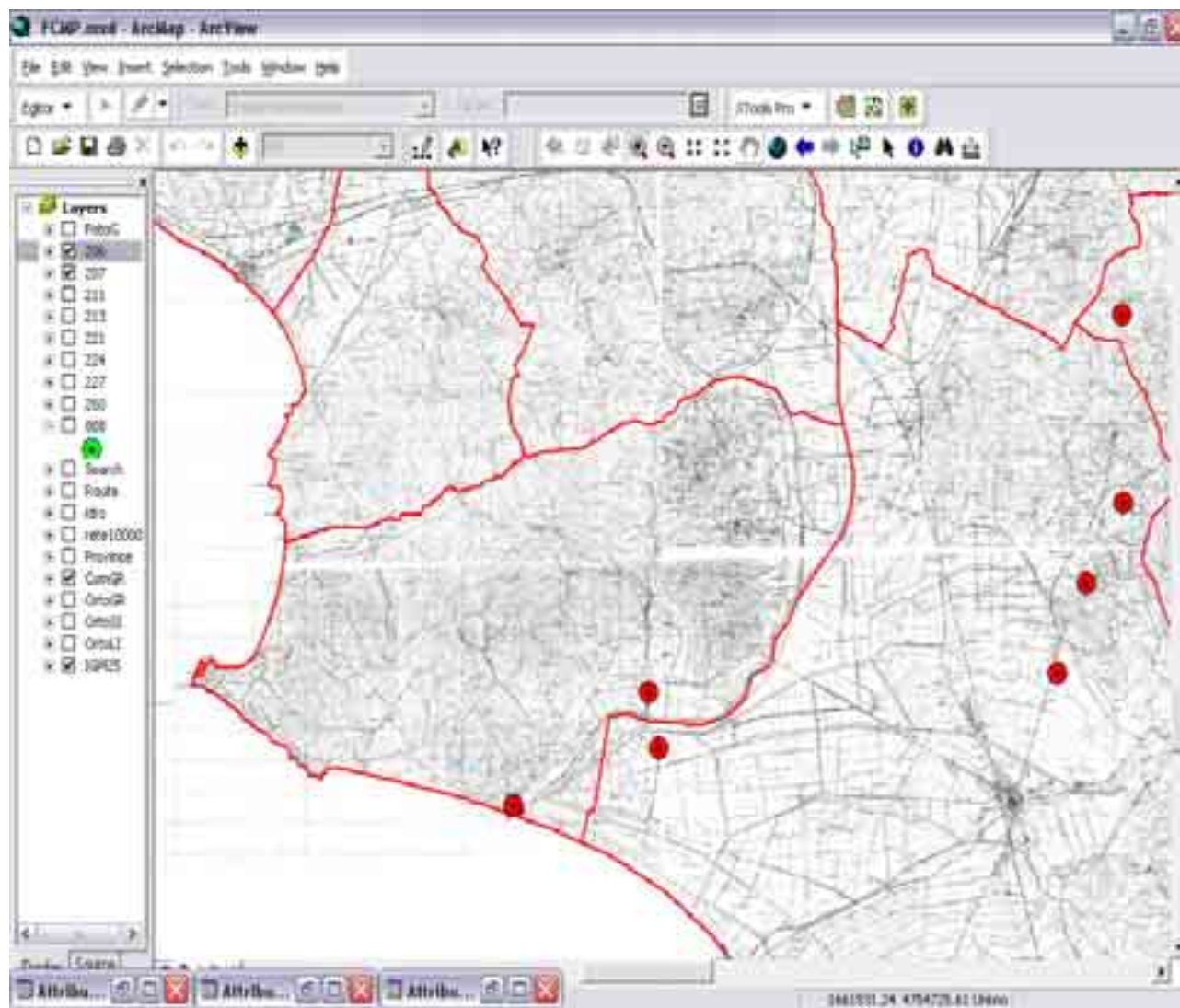
**Fig.2** Esempio di uso in ambiente GIS del *layer* Route per la localizzazione della foto aerea obliqua C.



In definitiva la localizzazione delle fotografie aeree oblique procedeva con la creazione di nuovi *ShapeFile* con ArcCatalog per ogni nuovo rullino di scatti esaminato. Questi layers, importati in ArcMap, costituiscono un database delle localizzazioni delle fotografie dei voli dell'anno 2002 facilmente consultabile ed interrogabile al momento che tali fotografie andranno ad unirsi all'archivio multimediale del Laboratorio di Remote sensing dell'Università di Siena-Grosseto. Nella Fig.3 è mostrato un esempio di tali layers: **206** e **207** di localizzazione delle fotografie aeree, grazie a marker circolari, in questo caso sovrapposti alla cartografia **IGM 25.000**. Sono evidenziati anche i limiti comunali per l'attivazione del layer **ComGR**.

<sup>15</sup> L'altra linea sull'angolo sinistro rappresenta un altro limite di ricerca relativo ad un altro volo.

**Fig.3** Esempio di layers di localizzazione tramite marker circolari di 7 fotografie aeree oblique del 2002 nei comuni di Grosseto e Castiglione della Pescaia.



### 3.3 Localizzazione di anomalie osservate nelle ortofoto AIMA 1996

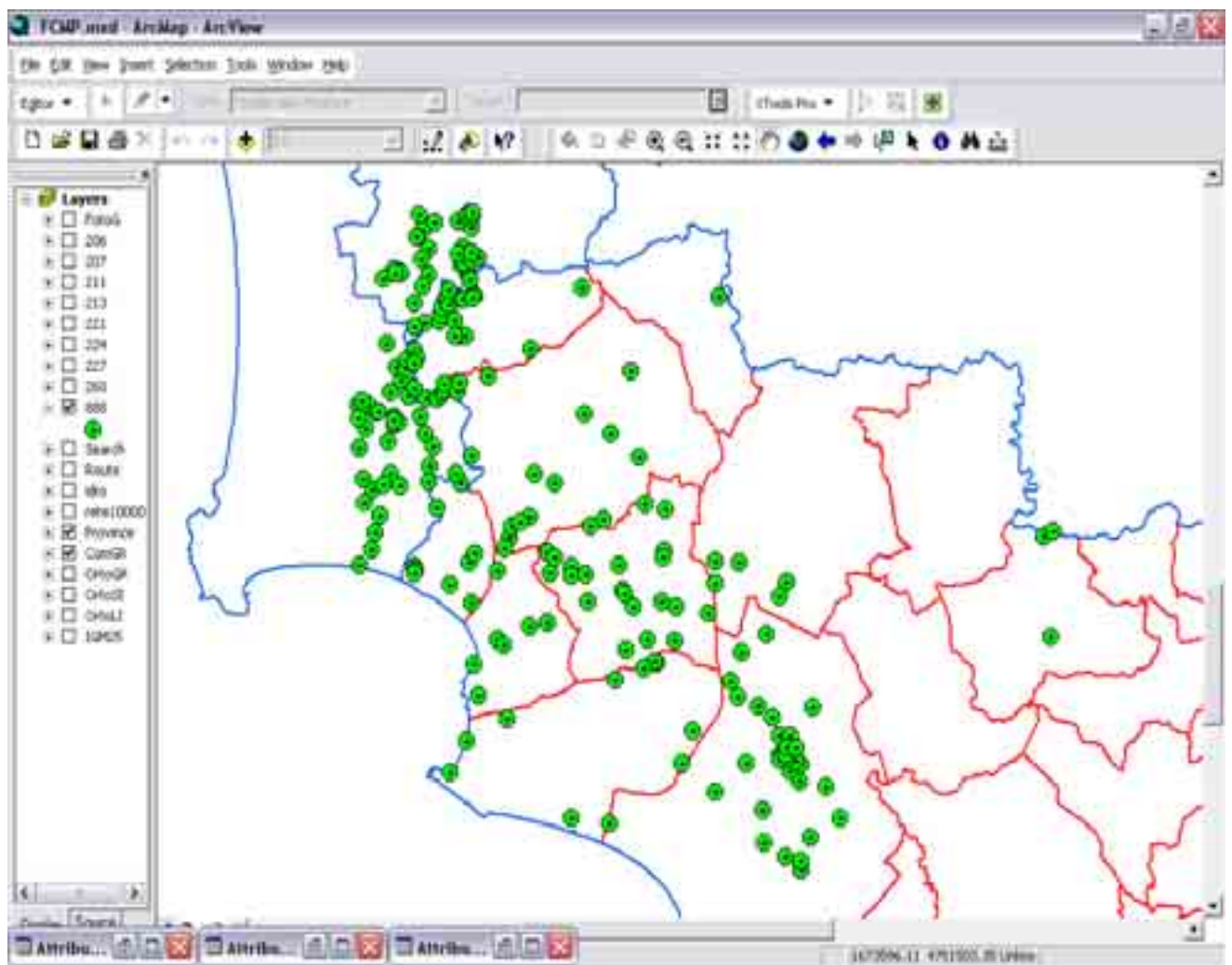
Come accennato nel secondo paragrafo, la ricerca dei luoghi delle fotografie aeree ha portato all'osservazione di numerose anomalie sulle ortofoto della provincia di Grosseto e anche in aree limitate di quelle confinanti di Siena, di Pisa e di Livorno. Per non perdere traccia di questa informazione è stato precocemente deciso di creare un apposito *ShapeFile*, sempre del tipo *Point*, dove con una diversa simbologia marcare queste anomalie, aggiungendo una sintetica descrizione basata sulla forma dell'anomalia (Fig.4). Sono state così localizzate ben 412 anomalie.

Ecco di seguito gli attributi dello *ShapeFile*:

- **FID** = campo numerico progressivo; campo di default.
- **Shape** = point; campo di default;
- **Id** = 888; codice identificativo arbitrario;

- **dove** = campo di testo *Lenght=40*; toponimo relativo alla localizzazione dell'anomalia, in base alla cartografia IGM 1:25.000;
- **note** = campo di testo *Lenght=50*; note sul tipo di anomalia/e;
- **interpreta** = campo di testo *Lenght=60*; eventuale interpretazione dell'anomalia;
- **X** = campo numerico *Float*; relativo alla latitudine del marker nell'ortofoto in coordinate Piane Gauss-Boaga;
- **Y** = campo numerico *Float*; relativo alla longitudine del marker nell'ortofoto in coordinate Piane Gauss-Boaga.

**Fig.4** la parte centro-settentrionale della provincia di Grosseto e parti limitrofe delle province di Pisa e Livorno, con le anomalie del layer 888 marcate da circoletti.



Può essere utile elencare le voci utilizzate nel campo **note**, riferite, come detto, esclusivamente alla forma dell'anomalia senza, però in genere, proporre per ora ipotesi interpretative, anche se, a volte, piuttosto evidenti. E' stata preferita questa impostazione perché l'analisi approfondita di queste anomalie, indispensabile per una loro interpretazione, avrebbe richiesto altri strumenti e molto più tempo, esulando dagli scopi del presente lavoro. Di seguito, nella tabella 2, l'elenco<sup>16</sup> delle voci, attribuite alle anomalie osservate, anche in combinazione fra loro<sup>17</sup>, o al plurale, nei casi, non infrequenti, di anomalie simili ravvicinate.

**Tab.2**

<b>Id</b>	<b>Categorie</b>
<b>1</b>	<b>Lineare</b>
<b>2</b>	<b>Lineari parallele</b>
<b>3</b>	<b>Lineari incrociate</b>
<b>4</b>	<b>Lineari convergenti</b>
<b>5</b>	<b>Lineare spezzata</b>
<b>6</b>	<b>Lineare curva</b>
<b>7</b>	<b>Nastriforme rettilinea</b>
<b>8</b>	<b>Nastriforme curva</b>
<b>9</b>	<b>Reticolare</b>
<b>10</b>	<b>Reticolare 90°</b>
<b>11</b>	<b>Ramificata</b>
<b>12</b>	<b>Radiante</b>
<b>13</b>	<b>Circolare</b>
<b>14</b>	<b>Circolari concentriche</b>
<b>15</b>	<b>Semicircolare</b>
<b>16</b>	<b>Ovale</b>
<b>17</b>	<b>Lenticolare</b>
<b>18</b>	<b>Angolare gradi: ___</b>
<b>19</b>	<b>Triangolare</b>
<b>20</b>	<b>Quadrata</b>
<b>21</b>	<b> Rettangolare</b>
<b>22</b>	<b>Esagonale</b>
<b>23</b>	<b>Macchia</b>
<b>24</b>	<b>Diverse</b>

<sup>16</sup> Tale elenco è stato in realtà il frutto di una revisione critica sulle voci utilizzate "liberamente" per descrivere le 412 anomalie localizzate.

<sup>17</sup> Quando si è osservata una combinazione di più di due anomalie ravvicinate a formare una struttura complessa è stata usata la voce **Diverse**.

### 3.4 Georeferenzazione di fotografie aeree oblique in ambiente GIS

La Georeferenzazione di fotografie aeree oblique si rende necessaria per utilizzare questa importante fonte informativa in ambiente GIS. Ogni fotografia aerea obliqua è affetta da errori (distorsioni) rispetto ad una visione "cartografica" del soggetto fotografato, questi sono dovuti essenzialmente a due motivi principali:

- Distorsioni prospettiche dovute all'inclinazione dell'angolo di ripresa rispetto allo zenith del soggetto<sup>18</sup>.
- Distorsioni ottiche dovute agli obiettivi di ripresa, sempre maggiori al diminuire della focale (grandangolari) e al peggiorare della qualità dell'ottica<sup>19</sup>.

D'altra parte le fotografie aeree oblique possono arricchire notevolmente la conoscenza del territorio e delle eventuali anomalie, rispetto alle ortofoto in quanto:

- mostrano il soggetto ripreso da una quota più bassa (200-500m, contro gli almeno 6000m delle ortofoto) e quindi sono più ricche di dettagli;
- sono fotografie a colori anziché, normalmente, in bianco e nero;
- possono essere effettuate più frequentemente, consentendo la ripresa del soggetto in condizioni ambientali diverse quali: condizioni di luce; crescita vegetativa stagionale, stato delle colture agrarie, umidità del suolo, presenza di copertura nevosa<sup>20</sup>.

L'importazione nel GIS di una fotografia obliqua comporta preliminarmente la soddisfazione di due requisiti:

1. la georeferenzazione del file secondo il sistema di coordinate del GIS<sup>21</sup>;
2. la correzione cartografica delle distorsioni inevitabilmente presenti.

Entrambe queste fondamentali operazioni possono essere compiute con l'ausilio di software dedicati, in questo lavoro è stato usato AirPhoto 2.02 disponibile presso il Laboratorio di Remote Sensing di Grosseto. AirPhoto è stato uno dei primi programmi sviluppati specificatamente per la restituzione cartografica di fotografie aeree oblique; oggi è giunto alla release 3.12<sup>22</sup>.

Il suo creatore: Irwin Scollar dell'Università di Koeln, è stato uno dei primi archeologi ad applicare e progettare tecnologie informatiche per l'archeologia. Fino dai primi anni '70 si è occupato di *computer image processing* per una valutazione quantitativa delle prospezioni fotografiche archeologiche, e di database archeologici. Oggi è una delle massime autorità dei metodi informatici in archeologia, e di prospezione archeologica<sup>23</sup>.

---

<sup>18</sup> Infatti le riprese aeree di survey sono quasi sempre oblique e non zenitali, per il fatto che negli aerei normalmente usati l'operatore può fotografare solo dal finestrino laterale.

<sup>19</sup> Gli obiettivi a focale variabile (zoom), anche se molto comodi per le riprese, tendono, ad esempio, a distorcere maggiormente delle ottiche fisse di eguale focale.

<sup>20</sup> La presenza di una leggera copertura nevosa rende evidenti tracce dovute a minime differenze di rilievo, altrimenti visibili solo con luce radente, dette: *Shadow Mark*.

<sup>21</sup> Il sistema di riferimento usato normalmente per ambienti GIS sul territorio italiano è quello del sistema geodetico-cartografico-nazionale caratterizzato da: **Map Datum**: Roma 40; **Ellissoide**: Internazionale, orientato sul meridiano di Monte Mario; **Proiezione**: Gauss-Boaga.

<sup>22</sup> <http://www.uni-koeln.de/~al001/airphoto.html>

<sup>23</sup> Il suo curriculum vitae è consultabile all'indirizzo: <http://www.uni-koeln.de/~al001/scollar.html>

La problematica, piuttosto complessa, relativa ai punti 1 e 2 di cui sopra, può essere affrontata in vari modi e con il supporto di altri software, integranti AirPhoto, come ad esempio Photoshop per le elaborazioni preliminari e finali sulle immagini.

Viene illustrato di seguito il percorso, *step by step*, seguito<sup>24</sup>, per il raggiungimento di uno degli obiettivi di questo lavoro.

### 3.4.1 Crop ortofoto e allineamento fotografia obliqua

Queste operazioni sono necessarie per velocizzare le operazioni una volta importati i file di immagine in AirPhoto e sono compiute con Photoshop:

**step1:** In **ArcGis** si individua il codice dell'ortofoto dove è stata localizzata la fotografia obliqua, attraverso l'attivazione del layer: *rete10000*, es: 330040.

**step2:** In **Photoshop** si apre il file: 330040.tif e, con le funzioni *Hand Tool* e *Zoom Tool*, si localizza l'area relativa al soggetto della fotografia obliqua restando ad una scala di qualche livello inferiore (più area rispetto alla foto).

**step3:** si seleziona con il *Rectangular Marquee Tool* l'area di interesse nell'ortofoto, abbastanza più ampia rispetto, da 2 a 3 volte, rispetto a quella inquadrata dalla fotografia<sup>25</sup>, in modo comunque da comprendere dei validi *Control Points*<sup>26</sup> (CPs) che saranno successivamente necessari Fig.5.

**Fig.5** Schermata di Photoshop con la selezione preliminare al *Crop*.



<sup>24</sup> seguendo le preziose indicazioni del dr. Stefano Campana, responsabile del Laboratorio di Remote Sensing per l'Archeologia Medievale di Siena e Grosseto.

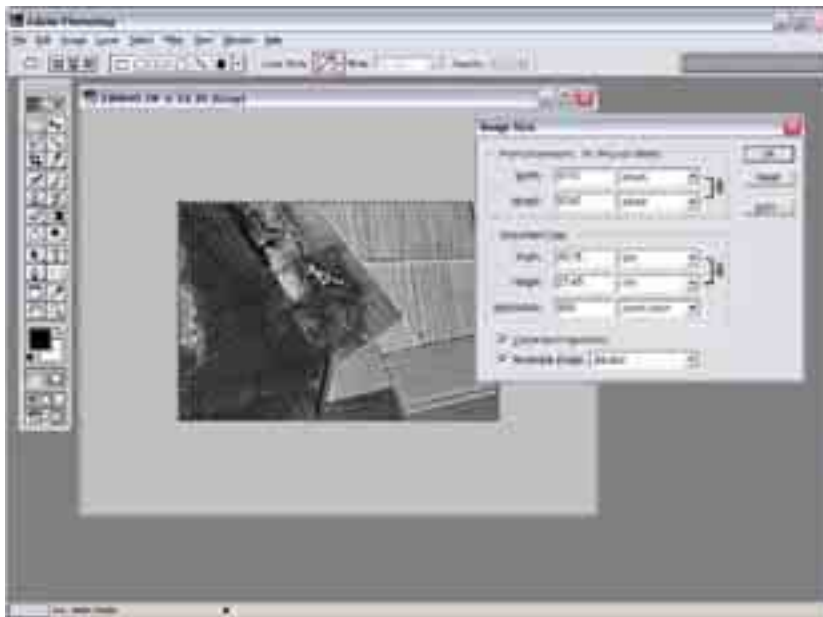
<sup>25</sup> Come riferimento si può misurare una distanza nella foto obliqua (df) e poi la stessa nell'ortofoto (do): il rapporto df/do dovrebbe cadere fra 2 e 3.

<sup>26</sup> I cosiddetti *punti di controllo* sono dei punti nel territorio facilmente riconoscibili e "marcabili" in modo preciso come ad es.: incroci stradali alberi isolati, intersezioni di confini culturali, spigoli di edifici ecc.

**step4:** si elimina con il comando *crop* (menù: *Image*) tutto ciò che sta al di fuori dell'area rettangolare precedentemente selezionata ed, eventualmente, si corregge l'immagine con il comando *Auto Levels* (menù: *Image-Adjust*).

**step5:** modifica del livello di risoluzione dell'immagine, con il comando *Image Size* (menù *Image*), settando, nella finestra relativa, la risoluzione di 300-400pixel/inch (Fig.6).

**Fig.6** Schermata di Photoshop con la finestra *Image Size*.



**step6:** *Save As* (menù: *File*): salvataggio dell'immagine in formato TIFF. Come nome è stato utilizzato quello del codice della fotografia obliqua relativa, con l'aggiunta del suffisso *TGT*<sup>27</sup>; es.: 206\_034\_TGT.tif

**step7:** sempre in **Photoshop** si apre il file di immagine della fotografia obliqua in esame, es.: 2002\_00206\_034.jpg e con il comando *Tile* (menù *Window*) si affianca, nella stessa schermata, questa immagine con la precedente immagine ortofoto salvata, ma ancora aperta, riportando le due immagini, con il comando *Zoom Out*, alla massima estensione.

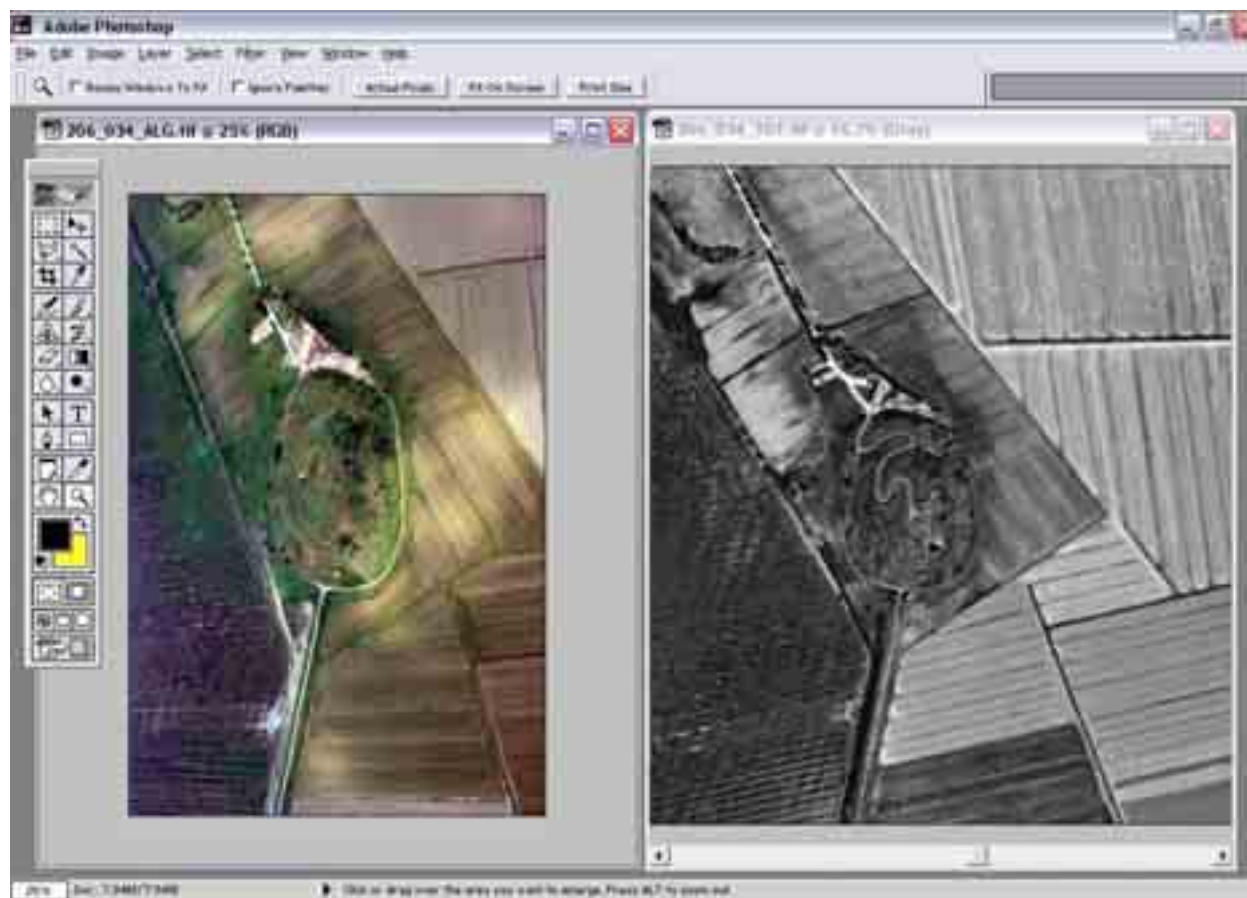
**step8:** allineamento della fotografia obliqua (deve essere la finestra attiva!) sull'allineamento dell'ortofoto<sup>28</sup> con il comando: *Rotate Canvas* (menù *Image*) scegliendo l'opzione *Arbitrary*. Ciò si ottiene procedendo per tentativi: impostando, nella finestra relativa, diversi valori dell'angolo di rotazione e scegliendo l'opzione in senso orario (*CW*) o antiorario (*CCW*), fino al raggiungimento dell'allineamento che, in ogni modo, non deve essere necessariamente perfetto (Fig.7). Di solito bastano uno o due tentativi.

**step9:** *Save As* (menù: *File*): salvataggio della fotografia obliqua allineata in formato TIFF. Come nome è stato utilizzato quello del codice della fotografia obliqua relativa, con l'aggiunta del suffisso *ALG*; es.: 206\_034\_ALG.tif

<sup>27</sup> Perché questa immagine sarà poi il Target nella georeferenziazione in AirPhoto: vedi **step 14**.

<sup>28</sup> Questa operazione faciliterà notevolmente le fasi di marcatura dei CPs in AirPhoto: vedi **step 15**.

**Fig.7** Schermata di Photoshop con le finestre della fotografie oblique e dell'ortofoto dopo l'allineamento.



### 3.4.2 Georeferenzazione e restituzione cartografica fotografia obliqua

Questa è la fase più importante e delicata del lavoro, viene compiuta in AirPhoto:

**step10:** In **AirPhoto** si importa prima l'ortofoto già pre-processata, aprendo il relativo file (comando *Open* dal menù *File*), nell'esempio fin qui seguito il file: 206\_034\_TGT.tif.

**step11:** georeferenzazione dell'ortofoto: si ottiene con la funzione *Calibration* (menù: *Grid/Calib...*). Questa operazione si rende necessaria perché il *crop*, effettuato sull'ortofoto originaria, rende inutilizzabile il file .TFW, associato al file .TIF dell'ortofoto, contenente l'informazione per georeferenziare l'intera ortofoto<sup>29</sup> in ambiente GIS. Si procede, quindi, attivando la funzione *Calibration* e con lo strumento "mirino" si clicca, in serie, almeno su 4 punti di controllo (Fig.8), per i quali il programma richiede di immettere i valori delle coordinate X e Y aprendo la finestra: *Grid System: X-Y Decimal*. Questi valori, delle coordinate piane dei punti, vanno letti in **ArcMap**<sup>30</sup> quando lo strumento puntatore si posiziona esattamente sul punto della stessa ortofoto, marcato in AirPhoto.

<sup>29</sup> I file di testo .TFW, che fra l'altro AirPhoto non riconosce richiedendo file con estensione .TIFW, contengono le stringhe delle coordinate del vertice NW e la scala dell'ortofoto.

<sup>30</sup> I valori delle coordinate sono visualizzati nella barra di stato in basso a destra, la prima è la X, ovvero la longitudine.

**Fig.8** Schermata di AirPhoto dopo la marcatura dei 4 punti di calibrazione con la finestra per l'inserimento delle coordinate piane X-Y.



**step12:** generazione dell'ortofoto (file \_TGT) georeferenziata: si ottiene stoppando<sup>31</sup> la funzione *Calibration*, con un nuovo click sulla voce del menu *Grid/Calib...*, e poi selezionando il comando *Align Image to Grid*, sempre dello stesso menù. Dopo il calcolo appare la finestra del *Save As* e si salva il file con lo stesso nome, aggiungendo *g*, e nella stessa posizione. Nell'es.: 206\_034\_TGTg.tif.

**step13:** restituzione cartografica della fotografia obliqua: adesso è il momento di importare in **AirPhoto** sia l'ortofoto che la fotografia obliqua pre-processate, aprendo nell'ordine le relative immagini, nell'esempio fin qui seguito il file: 206\_034\_TGTg.tif e poi il 206\_034\_ALG.tif. Il programma affiancherà automaticamente le due finestre nella stessa schermata, con a sinistra il file \_ALG e a destra il file \_TGTg. Su questo ultima immagine appariranno ancora i 4 marker della calibrazione, si possono nascondere selezionando la finestra e scegliendo il comando: *Hide/Show* nel menù *Grid/Calib*.

**step14:** attribuzione *Source/Target*: si ottiene rendendo attiva prima la finestra del file \_ALG (foto obliqua) e impostando la voce *Source* sulla barra della finestra, premendo una volta sulla voce *SrcTarg* della barra dei menù<sup>32</sup>. Stessa operazione sul file \_TGT (ortofoto) dopo aver attivato la relativa finestra e impostando, questa volta, la voce *Target*.

**step15:** Impostazione dei *Control Points* (CPs) attraverso il menù *CntlPts...* voce *Add/Del* oppure con il pulsante *Enter Control Points*. Questa operazione va compiuta con una certa attenzione perché è da questa che dipende la buona riuscita della correzione cartografica della fotografia obliqua. I CPs vanno scelti a coppie corrispondenti<sup>33</sup>, alternando lo strumento mirino (marker) su l'una e l'altra finestra di lavoro. I criteri per l'individuazione dei CPs sono

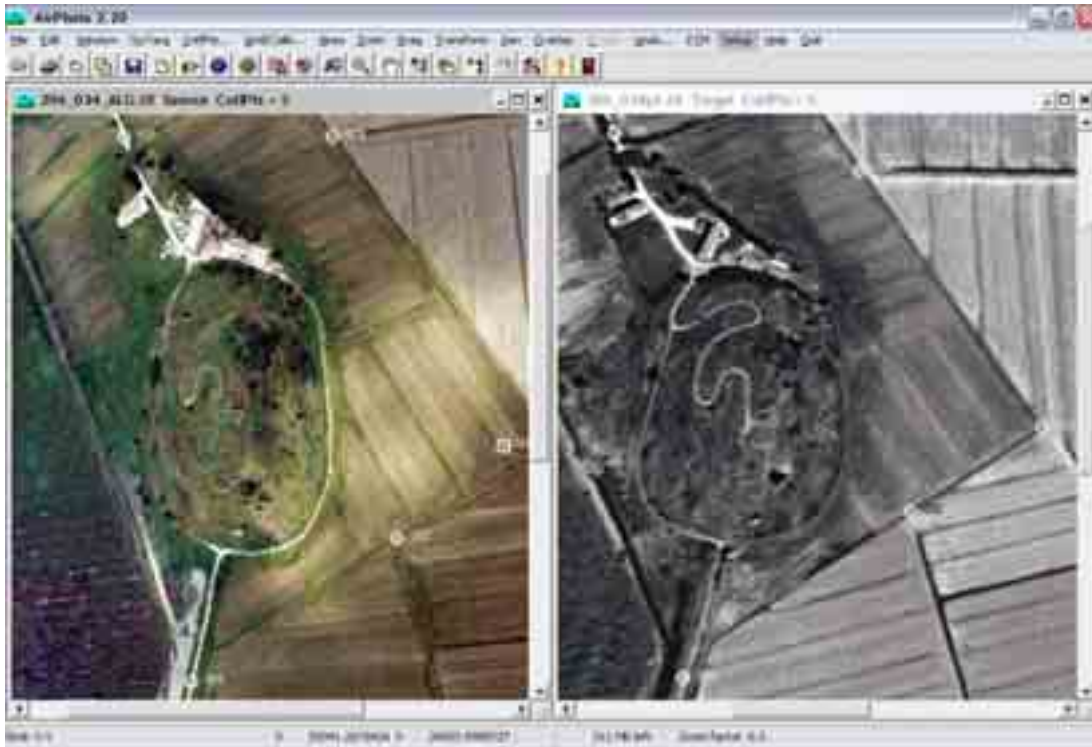
<sup>31</sup> Bisogna cliccare nuovamente sulla voce: *Calibration* menù *Grid/Calib*.

<sup>32</sup> Oppure, se presente, premendo il pulsante *Source/Target* sulla *ToolBar*.

<sup>33</sup> Adesso torna molto utile l'aver orientato allo stesso modo le due foto.

quelli di preferire punti netti e ben riconoscibili, che presentino, cioè, un minimo margine di errore nella centratura in entrambe le fotografie. Per facilitare e rendere più precisa, in molti casi, questa operazione AirPhoto mette a disposizione lo strumento di marcatura detto: *Intersection*, sempre nel menù *CntlPts*. Con questo strumento è possibile, scegliendo due elementi lineari intersecantesi, di tracciarvi sopra due segmenti di retta e di determinare automaticamente il CPs nel punto di intersezione dei segmenti. Il tutto va ripetuto naturalmente nelle due fotografie. I CPs devono essere almeno 4 (Fig.9).

**Fig.9** Schermata di AirPhoto dopo la marcatura dei *Control Points*.



**step16:** *Transform* nella barra dei menù, consente di attivare l'algoritmo di calcolo per la "metamorfosi" del *Target* in una fotografia cartografica, trasferendovi l'informazione del *Source* (la foto obliqua). Il successo dell'operazione, se i punti erano sufficientemente precisi e la fotografia obliqua non troppo distorta, è dimostrato dalla comparsa di una finestra *Finished* del *Transform*<sup>34</sup>. In questa finestra, oltre l'indicazione dei tempi di calcolo del *Transform*, cliccando sul pulsante di interrogazione: *?ControlPts*<sup>35</sup> viene data la possibilità di valutare l'errore della collocazione dei singoli CPs dopo la trasformazione e quello medio. Valori più bassi sono migliori, una buona restituzione cartografica ha un *Mismatches Mean Value* inferiore all'unità. Con il pulsante *Done* si accetta il *Transform*, mentre con il comando *undo* nella barra dei menù si annulla la trasformazione<sup>36</sup>.

<sup>34</sup> Altrimenti compare un avviso di errore che costringe a ripetere l'operazione.

<sup>35</sup> Compare solo se i *Cps* sono 5 o più, in teoria, in questi casi, la restituzione cartografica sarà più accurata che con 4 *Cps*.

<sup>36</sup> Nel caso si voglia ripetere la trasformazione con nuovi CPs occorre rimuovere i precedenti uno alla volta selezionando *Add/Del* (menù *CntlPts*) e si clicca, ritornando esattamente sopra ai CPs da eliminare con il mirino del marker. Volendo eliminare tutti i CPs, sempre dallo stesso menù, si attiva la voce *Delete All* per entrambe le finestre.

**step17:** *Save As* (menù: *File*): salvataggio finale del file dell'immagine *Target*, adesso corretta dalle distorsioni<sup>37</sup> e georeferenziata; nel nostro esempio il file 206\_034\_TGT.tif viene salvato con il nome: 206\_034g.tif in una diversa directory, *FotoG*, che raccoglierà tutte le fotografie georeferenziate pronte per essere importate in ambiente GIS.

### 3.4.3 Ripulitura della fotografia e importazione in ambiente GIS

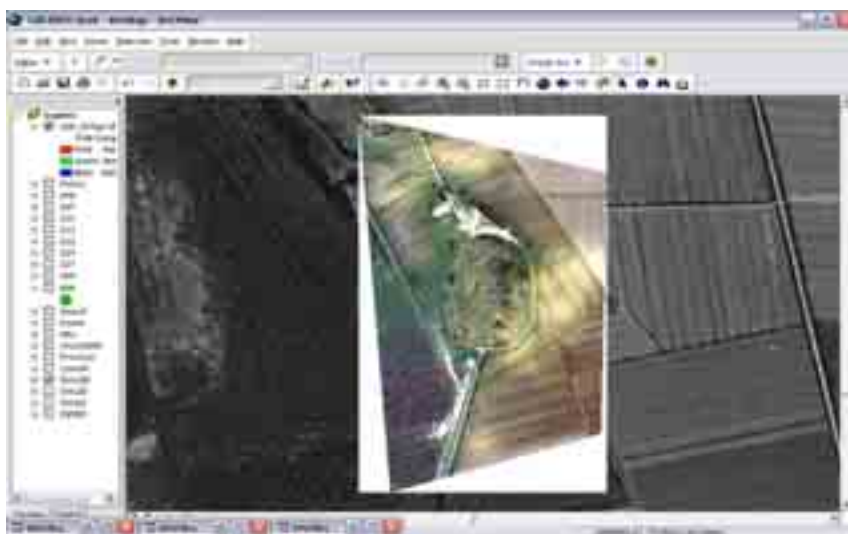
Questa ultima fase viene effettuata riaprendo l'immagine in Photoshop, per poi finalmente passare nel GIS.

**step18:** In **Photoshop** si apre il file: 206\_034g.tif e, aprendo la finestra *Info* (*Show Info* menù *Window*), bisogna verificare, scorrendo con il mouse, che l'area bianca intorno alla fotografia faccia segnare sempre valori R;G;B pari a 255<sup>38</sup>. Questa condizione può non essere soddisfatta (R;G;B = 254), allora occorre intervenire aumentando la luminosità di qualche punto (*Adjust-Brightness/Contrast* menù *Image*) e verificare che il bianco di fondo sia omogeneo con R;G;B pari a 255.

**step19:** Con lo strumento *Polygonal Lasso Tool*, si seleziona il perimetro dell'immagine, selezionando di conseguenza l'area al suo interno. Poi, si corregge, eventualmente, il contrasto, ma necessariamente la luminosità (*Adjust-Brightness/Contrast* menù *Image*), impostando nella finestra relativa il valore di **-1**<sup>39</sup>. *File save*: in questo caso il file, con le modifiche apportate, mantiene lo stesso nome.

**step20:** In **ArcMap** si importa la fotografia georeferenziata con il comando *Add Data* e andando a selezionare il file desiderato; nell'es. il file: 206\_034g.tif. Questo comparirà come primo dei *Layers* e sarà quindi sopra a tutti gli altri (Fig.10).

**Fig.10** Schermata di ArcMap dopo l'importazione della fotografia aerea dell'Isola Clodia, georeferenziata e corretta.



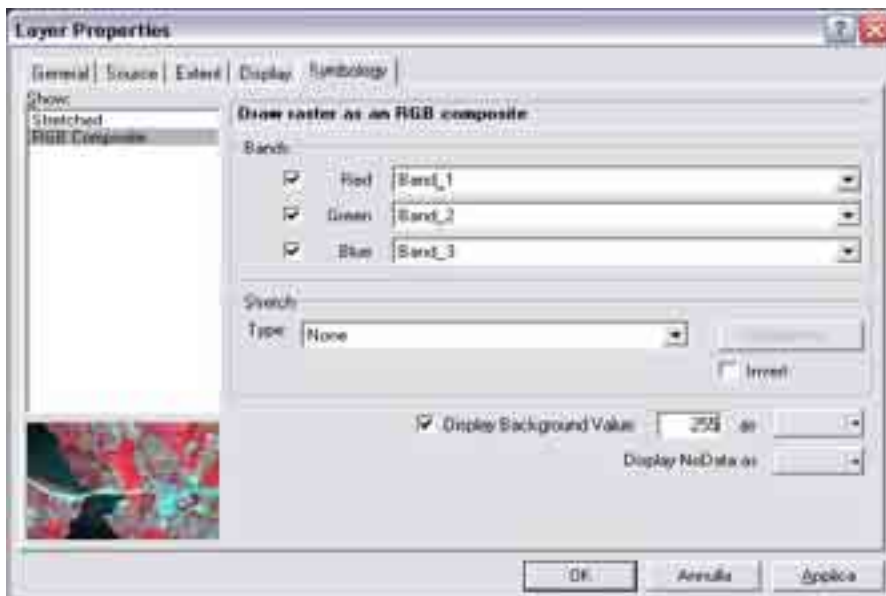
<sup>37</sup> L'effetto visibile di questa correzione è che il contorno della ex fotografia obliqua non è più rettangolare, ma "stirato" in forme poligonali irregolari.

<sup>38</sup> Valore massimo corrispondente alla massima luminosità (brightness) del bianco.

<sup>39</sup> Così facendo si riportano i bianchi puri all'interno della foto al valore RGB massimo di 254.

**step21:** Eliminazione dei valori di background: Attivando anche il layer delle ortofoto e zoomando si vedrà la fotografia georeferenziata a colori coprire il livello sottostante dell'ortofoto. La fotografia apparirà sghemba e su un fondo rettangolare bianco (Fig.10). Per eliminare i "ritagli" bianchi intorno alla fotografia occorre selezionare il layer RGB della fotografia sulla finestra dei *Layers*; con il pulsante sinistro del mouse evidenziare il menù relativo al layer e scegliere l'ultima voce: *Properties...*; compare così la finestra *Layer Properties* (Fig.11) dove, alla sottofinestra *Symbology* bisogna attivare l'opzione: *Display Background Value as: No Colour* (opzione questa di default); quindi si imposta nella relativa finestra il valore di 255; infine (*Applica*) *Ok* e il gioco, per rendere trasparente il bianco di background, è fatto. In questo modo la fotografia obliqua georeferenziata inserirà nel suo contesto GIS sovrapponendosi esattamente<sup>40</sup> alla stessa immagine nell'ortofoto.

**Fig.11** Schermata in ArcMap della finestra *Layer Properties*.



**step22:** Sistemazione del layer nel GIS e File Save: Abbiamo detto che il nuovo layer della fotografia georeferenziata comparirà al primo livello dei *layers*, e così sarà tutte le volte che si importa una nuova fotografia. Conviene quindi creare un nuovo *Group Layer*, che chiameremo *FotoG*, dove spostare tutte le fotografie importate. Questo si ottiene cliccando con il tasto sinistro del mouse sull'icona *Layers*<sup>41</sup> e scegliendo l'opzione: *New Group Layer* compare subito un *New Group Layer* nell'elenco dei *Layers*. Con un doppio click su tale voce si apre la finestra: *Group Layer Properties*, dove è possibile rinominare il gruppo, nel nostro caso: **FotoG**. Adesso è possibile con il mouse trascinare il layer della fotografia (206\_034g.tif) all'interno del gruppo di layer *FotoG*. Finalmente, con *File save*, la procedura proposta di georeferenziazione di una fotografia aerea oblique in ambiente GIS è terminata!

<sup>40</sup> In realtà qualche piccolo errore di disallineamento e/o distorsione rispetto all'ortofoto è inevitabile.

<sup>41</sup> Si trova in testa alla finestra dei *Layers*.

### 3.5 Restituzione cartografica e interpretazione di anomalie in ambiente GIS

Una volta importate nel GIS le foto georeferenziate e corrette cartograficamente, può essere molto utile evidenziare le anomalie fotografate e tentare anche una loro possibile interpretazione.

Questi due passi distinti hanno un duplice scopo:

- Creare layers vettoriali, quindi molto leggeri e pratici da gestire in ambiente GIS<sup>42</sup>, che, ricalcando fedelmente solo ciò che è effettivamente visibile dell'anomalia, cercano di sintetizzare tutta l'informazione significativa presente nelle foto oblique.
- Nei casi in cui sia evidente la presenza di strutture sepolte, creare layers vettoriali dove ricostruire gli elementi non più visibili delle probabili strutture che hanno generato le anomalie<sup>43</sup>.

E' importante separare nettamente la restituzione dalla interpretazione perché, mentre la prima si sforza di essere oggettiva, ricalcando le discontinuità che generano l'anomalia nell'immagine<sup>44</sup>, la seconda è soggettiva e come tale potrebbe essere diversa a seconda l'operatore, oppure alla luce di nuovi elementi informativi.

Questa fase del lavoro è utile anche perché, costringendo l'operatore ad un approfondito esame delle anomalie, può portare al riconoscimento nella foto di elementi importanti per l'interpretazione, magari sfuggiti ad un'analisi superficiale.

A questo scopo sono stati creati due *Shapefiles* a geometria poligonale (*Polygon*) nominati: **Anomalia** e **Interpreta** con gli *Attributes* di default (FID; Shape e ID) e posti al top della gerarchia dei *Layers*. La procedura, poi, è stata la seguente:

**step23:** Attivazione della funzione di *Editing* (menù: *Editor*, voce: *Start Editing*) e quindi selezionare la directory degli *Shapefiles* del GIS.

**step24:** Selezionare nel menù *Target* lo *Shapefile* **Anomalia** e procedere con lo strumento *Create New Feature* (icona a lapis) a circoscrivere le varie parti da cui è composta l'anomalia nella foto obliqua georeferenzata<sup>45</sup>. Alla chiusura di ogni poligono (doppio click) viene creato un record, visibile nella tabella degli attributi dello *Shapefile*<sup>46</sup>, dove nel campo ID va riportato ogni volta il codice a sei cifre<sup>47</sup> relativo alla foto obliqua analizzata.

**step25:** Selezionare nel menù *Target* lo *Shapefile* **Interpreta** e procedere come sopra, con l'accortezza di scegliere, in entrambi i casi, colori ben evidenti, che stacchino sugli altri *Layers* che si troveranno sullo sfondo.

Alcuni dei risultati, come esempio, sono visibili nella figura 12.

---

<sup>42</sup> Ciò può essere fondamentale quando si usi il GIS nei GPS cartografici portatili che non hanno chiaramente le capacità di memoria e di calcolo di un PC.

<sup>43</sup> I casi più frequenti sono quelli di piante di edifici visibili solo in parte, comunque non sempre facilmente ricostruibili.

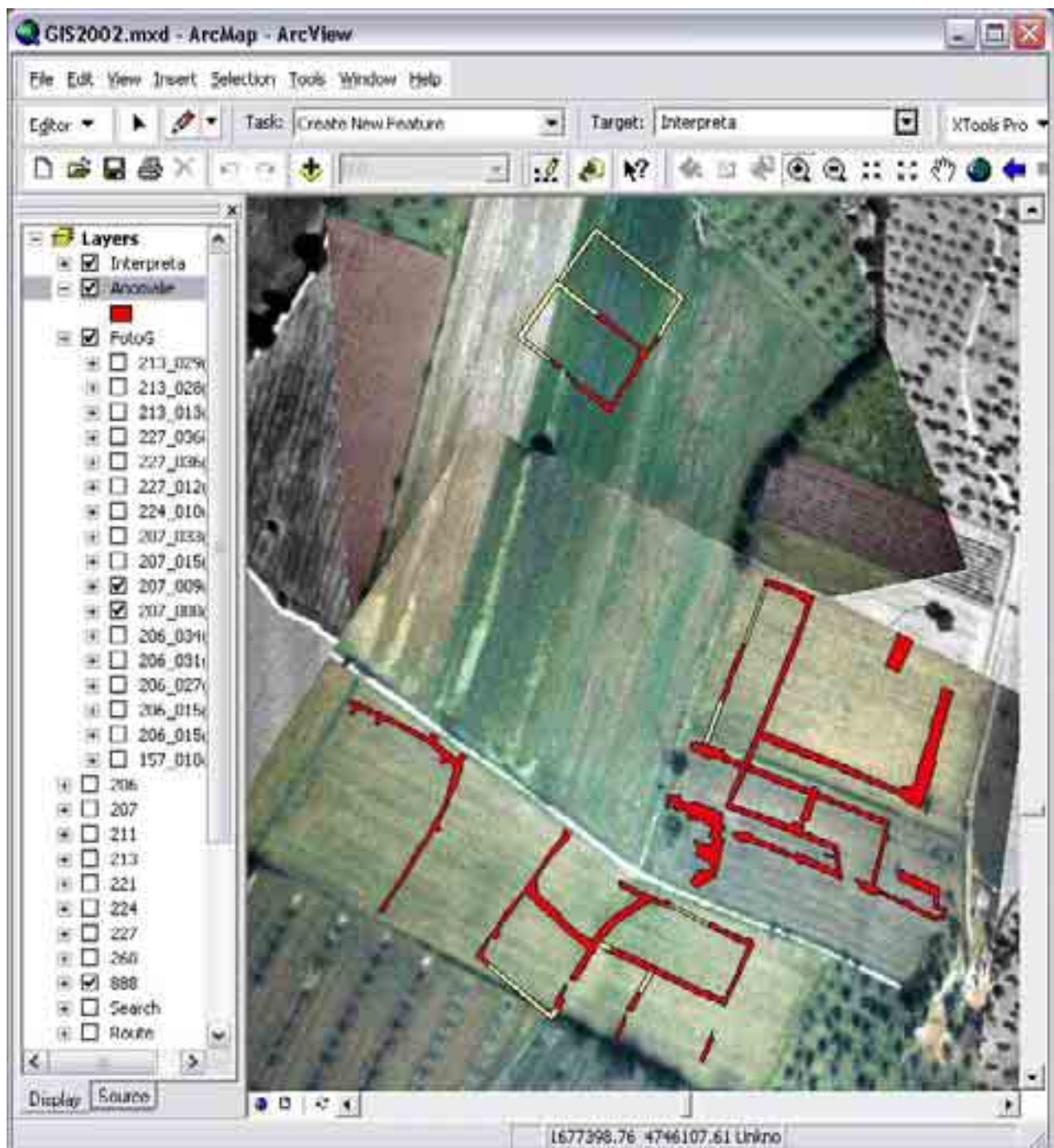
<sup>44</sup> Anche se, nei casi di discontinuità evidenziate ad esempio da un gradiente di colore, non risulta affatto un compito facile ed esente da apporti interpretativi!

<sup>45</sup> E' opportuno per seguire i contorni dell'anomalia adottare un livello di zoom abbastanza elevato ed eventualmente riesaminare anche la foto obliqua originale (non georeferenzata) per maggiori dettagli.

<sup>46</sup> voce: *Open Attribute Table* del menù attivato cliccando con il pulsante dx sul nome di un *Layer*.

<sup>47</sup> Le prime tre cifre relative al codice del rullino e le ultime tre a quelle dello scatto (es. 224010).

**Fig.12** Schermata in ArcMap delle foto oblique georeferenziate 207\_009 e 207\_008 con evidenziati i Layers vettoriali *Anomalie*, in rosso mattone, e *Interpreta*, in giallo paglierino.



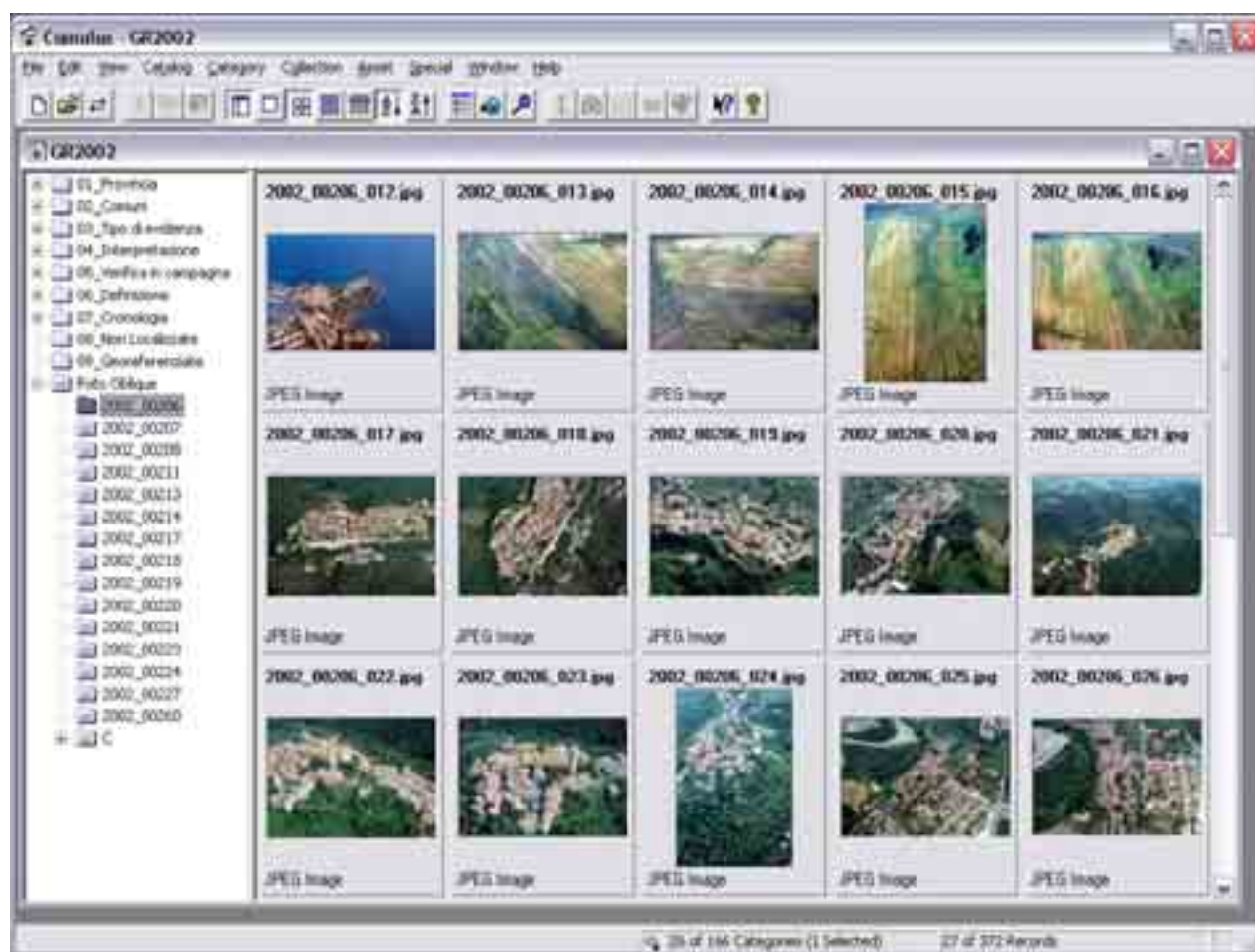
### 3.6 Creazione di un Database fotografico delle fotografie oblique 2002

La creazione un database fotografico delle fotografie oblique del 2002 è stato funzionale, sia per gli scopi contingenti del presente lavoro, che per una sua futura reintegrazione con l'archivio, ben più ampio e strutturato, delle fotografie aeree costituite, come detto, a partire dal 2001, presso il Laboratorio di Remote Sensing dell'Università di Siena e Grosseto. In questo contesto, i criteri di organizzazione del database, non potevano esulare da quelli già stabiliti e operativi nel database principale. L'aderenza comunque non è stata totale, in quanto alcune delle voci dell'archivio principale erano, in effetti, premature o ridondanti in questa fase della

ricerca<sup>48</sup>, mentre altre, per precisione le categorie: *Non Localizzate* e *Georeferenziate*, si sono rese necessarie, ma restano finalizzate evidentemente alle esigenze di questo lavoro.

Il software utilizzato per la creazione del database è stato **Cumulus 5.0** della Canto, software house di San Francisco CA<sup>49</sup>, oggi giunto alla release 6.0. Cumulus è uno dei prodotti più diffusi per la creazione di database di immagini e i suoi punti di forza sono: la facilità d'uso e la velocità delle funzioni, anche in presenza di archivi molto grandi e strutturati. Una volta importate nel programma le singole fotografie, o interi dataset, per semplice trascinamento, si procede alla creazione e alla gerarchizzazione delle categorie. Queste sono infatti distinte in: *Root Category*; *Subcategory* e *Related Category*. Infine si passa, sempre per trascinamento, alla distribuzione dei record fra le varie categorie (directory) e il database è già pronto per essere utilizzato e implementato con eventuali nuovi record Fig.13.

**Fig.13** Schermata dell'archivio di fotografie oblique 2002 in Cumulus, con nella parte sinistra della finestra la gerarchia delle categorie e a fianco la visualizzazione delle immagini, in opzione *Medium Thumbnails*.



Di seguito sono riportate e commentate le 10 *Root Categories* (RC) utilizzate con le relative *Subcategories*:

<sup>48</sup> Le categorie omesse sono state: Anno di ripresa; Pellicola (Colore, Digitale, Infrarosso, Pancromatica); Regione; Comprensorio e Affidabilità dell'interpretazione (Buona, Media, Scarsa).

<sup>49</sup> <http://www.canto.com/pro/>

**01\_Provincia** - RC presente anche nell'archivio principale: diverse fotografie di quelle esaminate sono state localizzate fuori della provincia di Grosseto, inoltre esiste un'altra parte di fotografie oblique sempre del 2002, sempre da localizzare, ma relative alla provincia di Siena.

*01\_Provincia*  
*Arezzo*  
*Firenze*  
*Grosseto*  
*Livorno*  
*Lucca*  
*Massa Carrara*  
*Pisa*  
*Pistoia*  
*Prato*  
*Siena*

**02\_Comuni** - RC presente anche nell'archivio principale. In questo caso sono riportati i 28 comuni della provincia di Grosseto.

*02\_Comuni*  
*Arcidosso*  
*Campagnatico*  
*Capalbio*  
*Castel del Piano*  
*Castell'Azzara*  
*Castiglione della Pescaia*  
*Cinigiano*  
*Civitella paganico*  
*Follonica*  
*Gavorrano*  
*Grosseto*  
*Isola del Giglio*  
*Magliano in Toscana*  
*Manciano*  
*Massa Marittima*  
*Monte Argentario*  
*Monterotondo Marittimo*  
*Montieri*  
*Orbetello*  
*Pitigliano*  
*Roccalbegna*  
*Roccastrada*  
*Santa Fiora*  
*Scansano*  
*Scarlino*  
*Seggiano*  
*Semproniano*  
*Sorano*

**03\_Tipo di evidenza** – RC presente anche nell'archivio principale. Non modificata.

*03\_Tipo di evidenza*  
*Anomalia della crescita della vegetazione boschiva*  
*Anomalia morfologica*  
*Anomalia subacquea*  
*Area archeologica*  
*Area urbanizzata*  
*Cantiere*

*Centro produttivo moderno*  
*Cropmark*  
*Dampmark*  
*Germinationmark*  
*Infrastruttura moderna*  
*Monumento*  
*Paesaggio*  
*Rudere*  
*Shadowmark*  
*Sito individuato da attestazione documentaria* *Sito individuato da ricognizione di superficie* *Sito individuato da foto aerea verticale* *Soilmark*  
*Sopravvivenza*  
*Struttura residenziale*

**04\_ Interpretazione** – RC presente anche nell'archivio principale. Non modificata.

*04\_ Interpretazione*  
*Buca/e*  
*Diga*  
*Falsa traccia*  
*Fossato*  
*Generica area insediamentiva*  
*Grande complesso insediativo* *Insediamento fortificato d'altura*  
*Non identificabile*  
*Paleoalveo*  
*Partizione agraria*  
*Sepoltura*  
*Strutture portuali*  
*Terrapieno*  
*Terrazzamento*  
*Viabilità*

**05\_Verifica in campagna** - RC presente anche nell'archivio principale. Non modif.

*05\_Verifica in campagna*  
*No*  
*Si*  
*Falsa traccia*  
*Fertilizzante*  
*Geologia*  
*Irrigazione*  
*Positivo*

**06\_Definizione** – RC presente anche nell'archivio principale. Non modificata.

*06\_Definizione*  
*Acquedotto*  
*Aeroporto*  
*Aglomerato aperto*  
*Anfiteatro*  
*Batterie di cannoni*  
*Borgo*  
*Cappella*  
*Carcere*  
*Cassero/Fortezza*  
*Castellare*  
*Castello*  
*Cattedrale*

*Cava*  
*Centro storico*  
*Certosa*  
*Chiesa*  
*Cimitero*  
*Città*  
*Complesso rurale*  
*Diga*  
*Eccessiva fertilizzazione dei suoli*  
*Fonte*  
*Generica frequentazione*  
*Grancia*  
*Infrastruttura termale*  
*Località*  
*Monastero*  
*Necropoli*  
*Ospedale*  
*Paesaggio "specifica il tipo"*  
*Palazzo*  
*Palazzo pubblico*  
*Parcellizzazione agraria*  
*Parco archeologico*  
*Pieve*  
*Podere*  
*Ponte*  
*Porto*  
*Rocca*  
*Scavo archeologico*  
*Stabilimento chimico-industriale moderno Stabilimento moderno per la produzione di ceramiche Stazio*  
*Strada*  
*Struttura portuale moderna*  
*Sviluppo urbano recente*  
*Torre*  
*Torre costiera*  
*Villa rustica*

**07\_Cronologia** - RC presente anche nell'archivio principale. Non modificata.

*07\_Cronologia*  
*1\_Preistoria*  
*2\_Protostoria*  
*3\_Etrusco*  
*4\_Romano*  
*5\_Medievalo*  
*6\_Moderno*  
*7\_Contemporaneo*

**08\_Non Localizzate** – RC non presente nell'archivio principale.

**09\_Georeferenziate** – RC non presente nell'archivio principale.

## 10\_Foto Oblique – RC presente nell’archivio principale. Modificata<sup>50</sup>.

Foto Oblique

2002\_00206

2002\_00207

2002\_00208

2002\_00211

2002\_00213

2002\_00214

2002\_00217

2002\_00218

2002\_00219

2002\_00220

2002\_00221

2002\_00223

2002\_00224

2002\_00227

2002\_00260

### 4. VALUTAZIONE DEI RISULTATI E PROSPETTIVE

I risultati del presente lavoro vanno valutati secondo aspetti diversi:

- il primo è stato quello di iniziare un recupero delle foto oblique di una serie di voli del 2002, attraverso la loro localizzazione sul territorio. E' evidente l'importanza di quest'aspetto: senza una localizzazione precisa, quelle fotografie rimangono utilizzabili solo per il loro valore illustrativo, in certi casi comunque alto. Questo compito, molto gravoso, in termini di tempo, è stato assolto solo in parte, rispetto al numero totale delle fotografie oblique da localizzare, presumibilmente nella provincia di Grosseto (335), ma è stato comunque coerente con le aspettative iniziali, raggiungendo una quota del 63% sul totale, pari a 212 fotografie esaminate, delle quali 153 (72%) localizzate. Nella Tabella 3 sono riassunti i numeri di tale sforzo, distribuiti secondo la casistica.

**Tab.3** Risultati dell'attività di localizzazione e georeferenziazione delle fotografie oblique 2002.

Id	Foto	note Local	GR Local.	Georef.	Out Prov.	Prov.	No Local.	Exam.	No Exam.
206	27	completo	27	4				27	
207	17	completo	17	4				17	
208	4	non local.					4	4	
211	17	incompleto	11		3	SI	3	17	
213	13	completo	13	3				13	
214	20							0	20
217	23							0	23
218	31							0	31
219	36							0	36
220	13							0	13
221	33	prov. VT	16		6	VT	11	33	
223	36	prov. VT			5	VT	31	36	
224	21	prov. SI	8	1	3	SI	10	21	
227	3	completo	3	2				3	
260	41	completo	41					41	
<b>Totali:</b>	<b>335</b>		<b>136</b>	<b>14</b>	<b>17</b>		<b>59</b>	<b>212</b>	<b>123</b>
% su 335			41%	4%	5%		18%	63%	37%
% su 212 (exam.)			64%	7%	8%		28%		

<sup>50</sup> E' costituita dai datasets di foto oblique importati, corrispondenti alla Tab.1.

- Va rilevato come solo 7 delle 59 fotografie non localizzate (rulli 208 e 211), hanno una qualche probabilità di essere relative al territorio della provincia di Grosseto. Infatti, le altre 52 non localizzate sono relative ad un volo che da Petriolo sconfinava nella Provincia di Siena (224), e a due voli nella provincia di Viterbo, dove sono state individuate due città<sup>51</sup>, Tarquinia (221) e Orte (223), alla fine della serie di scatti. Quindi la percentuale degli insuccessi nella localizzazione, all'interno della provincia di Grosseto, è stata molto bassa: 7 su 136 cioè circa il 5%.
- Il secondo aspetto rilevante è stato quello dell'inserimento di 12 di queste fotografie oblique in ambiente GIS, previa georeferenziazione e correzione cartografica, il che costituisce un'altro passo fondamentale per l'utilizzazione delle stesse, ad esempio nella prospezione archeologica, in particolare di quelle relative alle anomalie di superficie. Procedura, questa, di per se piuttosto complessa e non certamente immediata, coinvolgendo l'uso di almeno tre software diversi, che è stata affrontata con metodo e poi "ricostruita" analiticamente nei par. 3.4 e 3.5.
- Un terzo risultato importante è stata la creazione di un archivio informatico per le fotografie dei voli del 2002. Questo database, ricalcato su quello già presente presso il laboratorio di Remote Sensing dell'Università di Siena e Grosseto, permetterà, già adesso e ancor più una volta completato, di rendere le fotografie facilmente fruibili per l'utenza, fornendo, è auspicabile, un valido supporto per la ricerca archeologica.
- Infine deve essere sottolineato il contributo fornito da questo lavoro alla didattica, nel senso che, l'aver utilizzato in modo operativo software quali: ArcGis dell'ENRI; AirPhoto di Irwin Scollar; Photoshop di Adobe; Cumulus di Canto, ha portato all'esemplificazione di alcune delle potenzialità di questi programmi in campo archeologico, facilmente trasferibili in altri contesti formativi.

Le prospettive di questo lavoro vanno ricercate nel sempre maggior riconoscimento, da parte della comunità scientifica, dell'importanza delle tecniche del remote sensing nella ricerca archeologica e quindi nella loro ancor più ampia diffusione in futuro, non solo in ambito terrestre, ma anche marino dove ancor più deve essere fatto<sup>52</sup>.

Questo trend, già in atto, porterà ad una sempre maggior domanda di supporti informativi da remote sensing, fra i quali la fotografia aerea, obliqua e non, è certamente quello più comune. Le necessità di processamento ed archiviazione informatica di tale supporto, in ambito archeologico, sono quindi destinate a crescere rapidamente insieme alla diffusione del suo utilizzo.

---

<sup>51</sup> Per arrivare alla certezza di queste ultime localizzazioni sono state utilizzate, oltre alla cartografia tradizionale, anche le risorse di rete, per confrontare le vedute delle due città con quelle riprese aeree.

<sup>52</sup> La prospezione archeologica in ambiente marino riguarda soprattutto l'individuazione di relitti, ma anche, in certi casi (vedi Baia - NA), di strutture insediative sommerse. Le problematiche e le tecniche sono concettualmente simili a quelle dell'ambiente aero-terrestre - remote sensing, griglie di ricerca, riconoscimento e georeferenziazione delle anomalie, interpretazione - l'operatività e gli strumenti, con l'esclusione del GPS, sono chiaramente diversi: fotocamere subacquee, side scan sonar, magnetometri e gradiometri marini, sub bottom profiler, ROV.

## **Bibliografia:**

AUGENTI A., Cortese M.E., Farinelli R., Firmati M., Gottarelli A., *L'atlante informatizzato dei siti fortificati d'altura della Toscana: un progetto in corso di svolgimento* in: *Sistemi informativi e reti geografiche in archeologia* a cura di A. Gottarelli Firenze, 1997

CAMPANA S., *The culture 2000 training school in italy: images and locations. Preliminary result*, edizione digitale 2002.

CAMPANA S., FORTE M., *Remote Sensing in Archaeology*

Ed. All' Insegna del Giglio FI, 2001

PASQUINUCCI M., Signore O., *La Carta Archeologica fra Ricerca e Pianificazione Territoriale*, Ed. All' Insegna del Giglio FI, 2001

WILSON D.R., *Air Photo Interpretation for Archaeologist*, Tempus Pub. London, 1982.

## **Links in ordine di citazione:**

ArcGis ESRI: <http://www.esri.com/software/arcgis/arcinfo/>

LIAAM pubblicazioni: <http://192.167.112.135/NewPages/LABORATORIO/labinfbiblioa.html>

AirPhoto: <http://www.uni-koeln.de/~al001/airphoto.html> <http://www.uni-koeln.de/~al001/scollar.html>

Canto Software: <http://www.canto.com/pro/>

## **Note sul CD allegato**

Il CD allegato al presente lavoro contiene:

- le 136 fotografie oblique 2002, localizzate nella provincia di Grosseto in formato jpeg;
- il file di archiviazione in Cumulus delle 136 fotografie di cui sopra;
- tutti gli ShapeFile originali creati per la localizzazione e la georeferenziazione delle fotografie oblique in formato ArcGis ENRI;
- le 14 fotografie oblique georeferenziate e restituite cartograficamente;
- il file del presente lavoro in Pdf.