

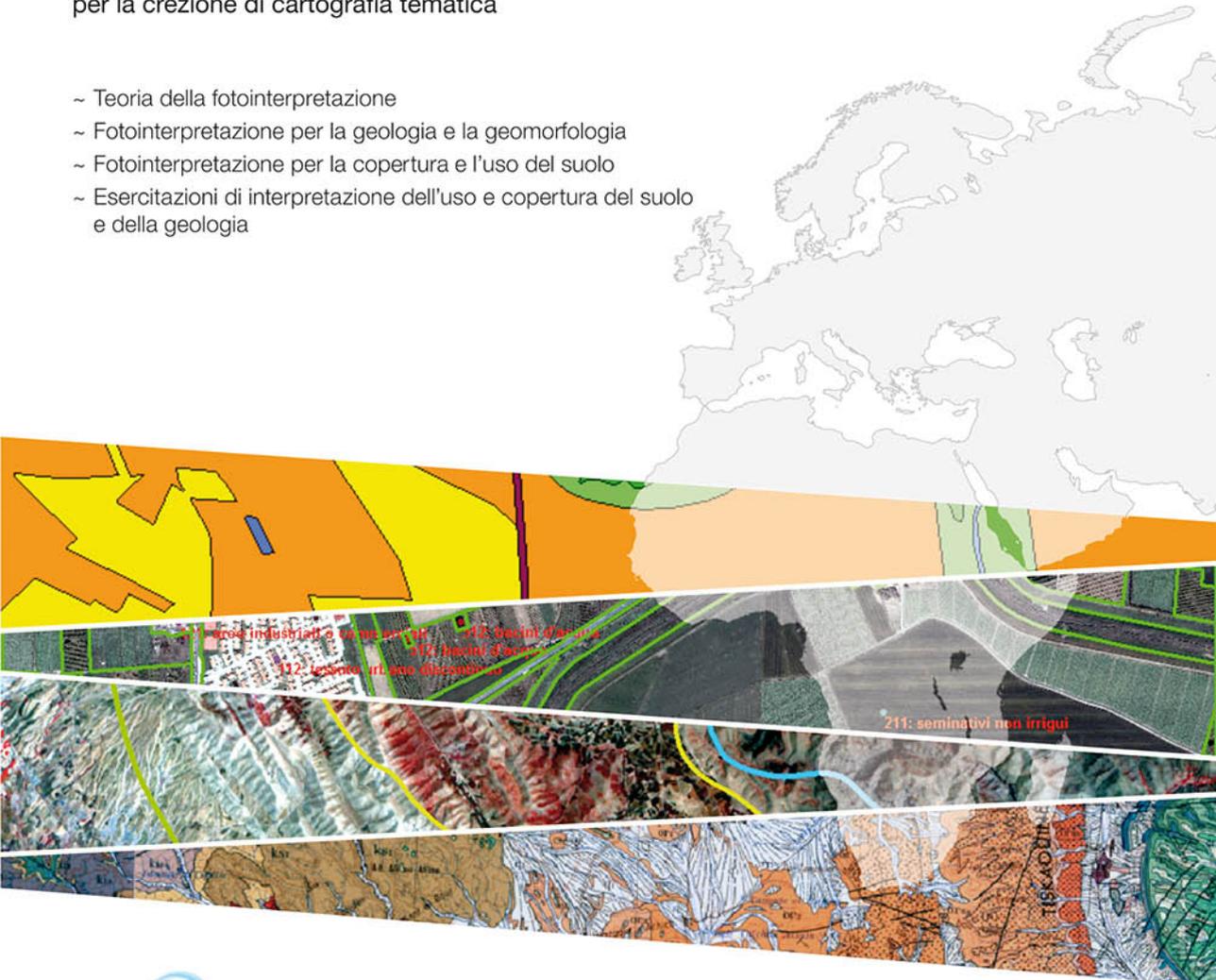
Niccolò Dainelli

L'osservazione della Terra

Fotointerpretazione

Metodologie di analisi a video delle immagini digitali
per la creazione di cartografia tematica

- ~ Teoria della fotointerpretazione
- ~ Fotointerpretazione per la geologia e la geomorfologia
- ~ Fotointerpretazione per la copertura e l'uso del suolo
- ~ Esercitazioni di interpretazione dell'uso e copertura del suolo e della geologia



Niccolò Dainelli

L'OSSERVAZIONE DELLA TERRA
FOTOINTERPRETAZIONE

Metodologie di analisi a video delle immagini digitali
per la creazione di cartografia tematica



Dario Flaccovio Editore

Niccolò Dainelli

L'OSSERVAZIONE DELLA TERRA – FOTINTERPRETAZIONE

Metodologie di analisi a video delle immagini digitali per la creazione di cartografia tematica

ISBN 978-88-579-0088-9

© 2011 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: giugno 2011

Il volume è completato da: L'osservazione della Terra – Telerilevamento

Dainelli, Niccolò <1969->

L'osservazione della terra : fotointerpretazione : metodologie di analisi a video delle immagini digitali per la creazione di cartografia tematica / Niccolò Dainelli. -

Palermo : D. Flaccovio, 2011.

ISBN 978-88-579-0088-9

1. Telerilevamento.

621.3678 CDD-22

SBN Pal0234253

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, maggio 2011

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

INDICE

Premessa

Parte Prima Teoria della fotointerpretazione

1. La fotointerpretazione

1.1. Cenni introduttivi.....	»	3
1.2. Il processo interpretativo	»	4
1.3. Gli elementi base della fotointerpretazione	»	9
1.3.1. Tono, colore e firma spettrale	»	9
1.3.2. Forma	»	12
1.3.3. Dimensione.....	»	15
1.3.4. Tessitura.....	»	15
1.3.5. Modello.....	»	16
1.3.6. Ombre.....	»	19
1.3.7. Localizzazione e associazione	»	20
1.3.8. Elementi temporali	»	22
1.4. Strumenti e tecniche della fotointerpretazione.....	»	23
1.4.1. Cenni sui sistemi fotografici tradizionali e sulla visione in stereoscopia	»	23
1.4.1.1. La geometria delle fotografie aeree	»	23
1.4.1.2. Il modello stereoscopico.....	»	28
1.4.2. L'interpretazione a video delle immagini digitali	»	33
1.4.3. La procedura di fotointerpretazione.....	»	36
1.4.3.1. Definizione degli obiettivi	»	37
1.4.3.2. Scelta dei parametri di base.....	»	37
1.4.3.3. Scelta delle immagini	»	39
1.4.3.4. Raccolta e valutazione dei dati ancillari.....	»	40
1.4.3.5. Definizione delle chiavi interpretative.....	»	41
1.4.3.6. Primo controllo sul terreno.....	»	41
1.4.3.7. Interpretazione delle immagini e costruzione della banca dati	»	42
1.4.3.8. Secondo controllo sul terreno.....	»	42
1.4.3.9. Revisione, validazione e completamento.....	»	43

2. Fotointerpretazione per la geologia e la geomorfologia

2.1. Cenni introduttivi.....	»	45
2.2. Forme del rilievo.....	»	45

2.3.	Drenaggio	»	47
2.3.1.	Modello dendritico	»	48
2.3.2.	Modello parallelo	»	50
2.3.3.	Modello angolare.....	»	50
2.3.4.	Modello radiale.....	»	52
2.3.5.	Modello anulare.....	»	52
2.3.6.	Modello meandriforme.....	»	53
2.3.7.	Modello intrecciato	»	53
2.3.8.	Modello carsico	»	54
2.3.9.	Densità di drenaggio.....	»	54
2.4.	Tono e colore.....	»	55
2.5.	Vegetazione.....	»	56
2.6.	Litologia.....	»	59
2.6.1.	Rocce sedimentarie	»	60
2.6.1.1.	Arenarie.....	»	60
2.6.1.2.	Argilliti, argille e <i>silt</i>	»	61
2.6.1.3.	Rocce carbonatiche.....	»	62
2.6.1.4.	Alternanze di rocce sedimentarie.....	»	63
2.6.2.	Rocce ignee	»	65
2.6.2.1.	Rocce intrusive	»	65
2.6.2.2.	Rocce effusive.....	»	66
2.6.3.	Rocce metamorfiche	»	68
2.6.3.1.	Meta-arenarie.....	»	68
2.6.3.2.	Marmi	»	69
2.6.3.3.	Scisti	»	69
2.6.3.4.	<i>Gneiss</i>	»	70
2.6.4.	Depositi di copertura.....	»	70
2.6.4.1.	Depositi e forme alluvionali	»	71
2.6.4.2.	Depositi e forme di versante.....	»	72
2.6.4.3.	Depositi eolici.....	»	75
2.6.4.4.	Depositi glaciali.....	»	75
2.7.	Struttura	»	76
2.7.1.	Giacitura degli strati.....	»	77
2.7.2.	Pieghe	»	79
2.7.3.	Faglie e fratture	»	82
2.8.	Fotointerpretazione geomorfologica.....	»	85

3. Fotointerpretazione per la copertura e l'uso del suolo

3.1.	Cenni introduttivi.....	»	89
3.2.	Metodologia di realizzazione di carte della copertura e dell'uso del suolo	»	90
3.3.	Il progetto CORINE Land Cover	»	92
3.3.1.	Cenni introduttivi e metodologia.....	»	92
3.3.2.	Atlante delle classi di copertura e uso del suolo secondo la legenda CORINE Land Cover.....	»	95

3.3.2.1. Tessuto urbano continuo (livello 1.1.1)	»	96
3.3.2.2. Tessuto urbano discontinuo e rado (livello 1.1.2)	»	98
3.3.2.3. Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati (livello 1.2.1).....	»	99
3.3.2.4. Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche (livello 1.2.2)	»	101
3.3.2.5. Aree portuali (livello 1.2.3)	»	102
3.3.2.6. Aeroporti (livello 1.2.4)	»	103
3.3.2.7. Aree estrattive (livello 1.3.1).....	»	104
3.3.2.8. Discariche (livello 1.3.2).....	»	105
3.3.2.9. Cantieri (livello 1.3.3).....	»	106
3.3.2.10. Aree verdi urbane (livello 1.4.1)	»	106
3.3.2.11. Aree ricreative e sportive (livello 1.4.2)	»	107
3.3.2.12. Seminativi in aree non irrigue (livello 2.1.1)	»	109
3.3.2.13. Seminativi in aree irrigue (livello 2.1.2).....	»	110
3.3.2.14. Risaie (livello 2.1.3).....	»	111
3.3.2.15. Vigneti (livello 2.2.1)	»	112
3.3.2.16. Frutteti e frutti minori (livello 2.2.2).....	»	113
3.3.2.17. Oliveti (livello 2.2.3).....	»	114
3.3.2.18. Prati stabili (livello 2.3.1)	»	115
3.3.2.19. Colture temporanee associate a colture permanenti (livello 2.4.1).....	»	115
3.3.2.20. Sistemi colturali e particellari complessi (livello 2.4.2)...	»	116
3.3.2.21. Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti (livello 2.4.3).....	»	117
3.3.2.22. Aree agroforestali (livello 2.4.4).....	»	118
3.3.2.23. Boschi di latifoglie (livello 3.1.1).....	»	118
3.3.2.24. Boschi di conifere (livello 3.1.2).....	»	120
3.3.2.25. Boschi misti di latifoglie e conifere (livello 3.1.3)	»	121
3.3.2.26. Aree a pascolo naturale e praterie (livello 3.2.1)	»	121
3.3.2.27. Brughiere e cespuglieti (livello 3.2.2).....	»	122
3.3.2.28. Aree a vegetazione sclerofilla (livello 3.2.3)	»	123
3.3.2.29. Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione (livello 3.2.4).....	»	125
3.3.2.30. Spiagge, dune e sabbie (livello 3.3.1).....	»	125
3.3.2.31. Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti (livello 3.3.2).....	»	127
3.3.2.32. Aree con vegetazione rada (livello 3.3.3)	»	127
3.3.2.33. Aree percorse da incendi (livello 3.3.4).....	»	128
3.3.2.34. Ghiacciai e nevi perenni (livello 3.3.5)	»	129
3.3.2.35. Paludi interne (livello 4.1.1).....	»	129
3.3.2.36. Torbiere (livello 4.1.2).....	»	130
3.3.2.37. Paludi salmastre (livello 4.2.1)	»	130
3.3.2.38. Saline (livello 4.2.2).....	»	131
3.3.2.39. Zone intertidali (livello 4.2.3).....	»	131
3.3.2.40. Corsi d'acqua, canali e idrovie (livello 5.1.1).....	»	131

3.3.2.41. Bacini d'acqua (livello 5.1.2)	»	132
3.3.2.42. Lagune (livello 5.2.1)	»	133
3.3.2.43. Estuari (livello 5.2.2)	»	134
3.3.2.44. Mari e oceani (livello 5.2.3)	»	134

Parte Seconda

Esercitazioni di fotointerpretazione

4. Cenni introduttivi agli esercizi

4.1. Scopi e tipologia degli esercizi	»	139
4.2. Strumenti e dati a disposizione	»	140

5. Cenni introduttivi al software ILWIS

5.1. Cenni introduttivi a ILWIS 3.x	»	143
5.1.1. Installare ILWIS	»	143
5.1.2. Lanciare ILWIS	»	143
5.1.3. Il NAVIGATOR	»	145
5.1.4. Il CATALOG	»	145
5.1.5. Gli oggetti di ILWIS	»	146
5.1.5.1. I <i>data objects</i>	»	147
5.1.5.2. I <i>service objects</i>	»	147
5.1.5.3. Gli <i>special objects</i>	»	149
5.1.5.4. I <i>container objects</i>	»	150
5.1.6. Le barre del titolo e del menu	»	150
5.1.7. L'OPERATION-TREE e l'OPERATION-LIST	»	151
5.1.8. La STATUS BAR	»	151
5.1.9. Le toolbar della MAIN WINDOW	»	152
5.1.10. L'HELP in linea e la documentazione	»	153

6. Esercitazioni di interpretazione dell'uso e copertura del suolo

6.1. Tutorial per l'interpretazione dell'uso e copertura del suolo secondo la legenda CORINE Land Cover	»	155
6.1.1. Preparazione dei dati	»	155
6.1.2. Analisi dell'immagine con definizione delle chiavi di fotointerpretazione	»	159
6.1.3. Digitalizzazione e finalizzazione	»	167
6.2. Esercizi di interpretazione dell'uso e copertura del suolo secondo la legenda CORINE Land Cover	»	184
6.2.1. Esercizio 6.2A: interpretazione di un'immagine Quickbird della provincia di Catania	»	184
6.2.1.1. Tessuto urbano continuo – classe 1.1.1	»	185
6.2.1.2. Tessuto urbano discontinuo – classe 1.1.2	»	185

6.2.1.3. Zone industriali e commerciali – classe 1.2.1	»	185
6.2.1.4. Reti stradali e ferroviarie – classe 1.2.2.....	»	186
6.2.1.5. Aree estrattive – classe 1.3.1.....	»	186
6.2.1.6. Aree verdi urbane – classe 1.4.1	»	187
6.2.1.7. Seminativi in aree non irrigue – classe 2.1.1	»	187
6.2.1.8. Frutteti – classe 2.2.2.....	»	188
6.2.1.9. Oliveti – classe 2.2.3.....	»	189
6.2.1.10. Boschi di latifoglie – classe 3.1.1	»	189
6.2.1.11. Aree a pascolo naturale – classe 3.2.1	»	190
6.2.1.12. Aree a vegetazione rada – classe 3.3.3	»	190
6.2.2. Esercizio 6.2B: interpretazione di un'immagine Eros B della provincia di Benevento	»	191
6.2.2.1. Tessuto urbano continuo – classe 1.1.1	»	191
6.2.2.2. Tessuto urbano discontinuo – classe 1.1.2	»	192
6.2.2.3. Aree industriali e commerciali – classe 1.2.1	»	192
6.2.2.4. Reti stradali e ferroviarie – classe 1.2.2.....	»	193
6.2.2.5. Aree verdi urbane – classe 1.4.1	»	193
6.2.2.6. Seminativi in aree non irrigue – classe 2.1.1	»	194
6.2.2.7. Frutteti – classe 2.2.2.....	»	195
6.2.2.8. Sistemi colturali e particellari complessi – classe 2.4.2...	»	195
6.2.2.9. Boschi di latifoglie – classe 3.1.1	»	197
 7. Esercitazioni di fotogeologia		
7.1. Cenni introduttivi	»	199
7.2. Tutorial 1: interpretazione e digitalizzazione del drenaggio in un'area del Kurdistan iracheno.....	»	199
7.2.1. Inquadramento geografico e geologico dell'area di studio.....	»	200
7.2.2. Dati a disposizione e loro preparazione	»	201
7.2.3. Interpretazione e digitalizzazione del drenaggio	»	204
7.3. Esercizio 7.3A: interpretazione e digitalizzazione del drenaggio in un'area del Kurdistan iracheno.....	»	212
7.4. Tutorial 2: fotointerpretazione per il riconoscimento delle unità fotogeologiche in un'area dell'Anti-Atlante marocchino.....	»	213
7.4.1. Inquadramento geografico e geologico dell'area di studio.....	»	213
7.4.2. Dati a disposizione e loro preparazione	»	215
7.4.3. Analisi preliminare dell'area di studio.....	»	218
7.4.4. Digitalizzazione delle unità fotogeologiche	»	222
7.4.5. Creazione della <i>polygon map</i> delle unità fotogeologiche.....	»	229
7.5. Esercizio 7.5A: interpretazione e digitalizzazione delle unità fotogeologiche in un'area dell'Anti-Atlante marocchino.....	»	230
 Bibliografia.....	»	233
 Ringraziamenti.....	»	235

PREMESSA

Gli strumenti per l'osservazione della Terra, ossia i sensori per il telerilevamento, mettono a disposizione dell'uomo un'innumerabile quantità di immagini raffiguranti l'intera superficie terrestre ai più svariati livelli di dettaglio e in quasi tutte le regioni dello spettro elettromagnetico, fornendo così una visione completa e differenziata del nostro pianeta.

Le immagini, di per sé hanno poca utilità se da esse non viene ricavata alcuna informazione utile alla vita e al progresso dell'uomo. Per questo motivo è necessario che avvenga una trasformazione da immagine, ossia da dato bruto, a informazione tematica, ossia livello di conoscenza elaborata e ciò può avvenire attraverso l'applicazione di un insieme di tecniche analitiche che vanno sotto il nome di *fotointerpretazione*, che può essere svolta solo da personale adeguatamente qualificato.

Difficilmente, infatti, il lavoro del fotointerprete potrà essere sostituito interamente da procedure automatizzate. Nonostante i grandi progressi ottenuti dai sistemi di classificazione delle immagini mediante algoritmi automatici o semi-automatici, la fotointerpretazione resta il mezzo d'indagine migliore per estrarre grandi quantità d'informazioni di vario tipo dai dati telerilevati. Nonostante la fotointerpretazione abbia preso campo negli anni '40 del secolo scorso, l'uomo ha iniziato a osservare immagini della superficie della Terra riprese dall'alto già dal XIX secolo, quando i pionieri di questa disciplina scattavano fotografie di Parigi e Boston da palloni aerostatici ancorati a qualche centinaio di metri da terra. Da allora sono cambiate le caratteristiche delle immagini: da bianco e nero a colori, da supporti cartacei a quelli digitali, da colori naturali ai cosiddetti *falsi colori*. Per quanto riguarda le tecniche di interpretazione, invece, non sono fundamentalmente variate dalla metà del secolo scorso a oggi, per cui, si segnala fin da ora, nella bibliografia sull'argomento figurano numerosi testi risalenti agli anni fra il 1950 e il 1970 che non sono da considerarsi propriamente libri d'epoca, ma ancora in buona parte, ottime fonti di insegnamento a cui l'autore si è ampiamente ispirato per la stesura di questo volume.

Ciò che appare evidente è che fotointerpretazione e telerilevamento sono due discipline strettamente legate, in quanto la prima si serve di strumenti creati grazie a tecniche proprie della seconda e la conoscenza di queste tecniche è di grande

aiuto nel capire come sono generate, strutturate e successivamente elaborate le immagini di cui l'interprete si serve per il suo lavoro.

Per questo motivo, il presente testo nasce come naturale seguito dell'opera *Telev rilevamento. L'osservazione della Terra*, non solo per la complementarità degli argomenti, ma anche e soprattutto per l'approccio pratico con cui è stato scritto. Infatti, come nella precedente opera, lo scopo che l'autore si è prefisso nel redigere il testo è stato quello di coniugare teoria e pratica, mettendo in condizione l'utente di applicare immediatamente le conoscenze acquisite nei capitoli teorici attraverso una serie di tutorial ed esercizi che fanno uso di immagini da satellite. I tutorial e molti esercizi, eseguiti utilizzando il software a codice libero *ILWIS*, sono spiegati, passaggio dopo passaggio, in modo da rendere chiara la procedura da seguire, che sarà poi applicata dall'utente agli esercizi proposti per lo svolgimento autonomo. Al termine, sarà possibile verificare i risultati ottenuti mediante dati di confronto disponibili sul DVD allegato.

Un testo di questo tipo, avendo un approccio marcatamente didattico, è stato scritto pensando allo studente universitario quale naturale destinatario, ma è in realtà perfettamente adeguato per qualunque figura tecnica o professionale che voglia avvicinarsi a questa disciplina con un approccio operativo.

Trattandosi di un testo di base, si è scelto volutamente di mantenere un livello appropriato, per cui alcuni argomenti non sono stati affrontati in maniera eccessivamente dettagliata, rimandandone l'approfondimento a opere specifiche segnalate in bibliografia.

PARTE PRIMA
Teoria della fotointerpretazione

1. LA FOTOINTERPRETAZIONE

1.1. Cenni introduttivi

La vita di tutti i giorni mette continuamente l'uomo a confronto con immagini fotografiche rappresentanti il mondo che lo circonda.

Attraverso l'osservazione di queste fotografie viene comunemente compiuto un processo di identificazione di ciò che vi è raffigurato e cioè di persone, oggetti, luoghi ed eventi. Se tale processo ha successo, ossia se si è in grado di spiegare il significato dei contenuti della foto e trasmettere ad altri le informazioni dedotte da essa, allora si è eseguita una *fotointerpretazione*.

Apparentemente, quindi, la fotointerpretazione può apparire un'attività addirittura banale, dato che chiunque è in grado di svolgere nella maggioranza dei casi le operazioni sopra descritte. Tuttavia, le immagini di cui si tratterà in questo testo e che sono oggetto di fotointerpretazione finalizzata allo studio della Terra differiscono sostanzialmente da quelle che vengono scattate normalmente nella vita di tutti i giorni, in quanto sono riprese da piattaforme aeree e satellitari che si trovano ad altezze spesso considerevoli rispetto al terreno e raffigurano la superficie terrestre dall'alto verso il basso. Come si spiegherà con maggior dettaglio in seguito, questa rappresenta già una prima differenza che rende l'attività fotointerpretativa non così banale come si può immaginare. La prospettiva di osservazione nelle immagini aeree e satellitari risulta, infatti, ben poco familiare a un interprete alle prime armi e richiede uno sforzo iniziale per abituarsi a questo diverso punto di vista. Il fotointerprete si affaccia quindi su un mondo nuovo e deve imparare ad associare gli oggetti presenti nella foto a quelli che normalmente può osservare dalla sua posizione a livello del terreno.

L'interpretazione di foto aeree, intese come immagini della superficie terrestre riprese da considerevole altezza (ma non necessariamente da un aereo), nasce, come si è già accennato in premessa, all'incirca a metà dell'800 con i primi scatti di Parigi effettuati da mongolfiera nel 1858 dal fotografo francese Gaspard-Félix Tournachon, detto Nadar e con quelli di Boston effettuati nel 1860 dall'americano James Wallace Black (si veda paragrafo 2.3.2 del volume *L'osservazione della Terra – Telerilevamento*).

Fino allo scoppio della Prima guerra mondiale, tuttavia, la ripresa di foto aeree non ebbe grande successo, essendo un'attività piuttosto rischiosa e di cui non si

comprendevano probabilmente i numerosi utilizzi, ma nel corso dei due conflitti mondiali si ebbe un suo grande uso per scopi militari, specialmente per la ricognizione dei campi di battaglia. Fra l'altro, durante la Seconda guerra mondiale, la necessità di rivelare installazioni nemiche mimetizzate o verificare gli effetti di un'azione bellica portò allo sviluppo di nuove tecnologie quali le pellicole all'infrarosso, capaci di discriminare fra una copertura naturale di vegetazione viva e una artificiale di piante morte usate a scopo di occultamento. In forma embrionale, durante il periodo fra le due guerre e in maniera esponenziale a partire dagli anni '50, si sono sviluppate le applicazioni per usi civili della fotointerpretazione, andando a interessare i campi più disparati, dalla geologia alle scienze agronomiche e forestali, dall'urbanistica all'archeologia.

Dalla metà dell'Ottocento e per tutto il Novecento fino a oggi, si è assistito inoltre a un'evoluzione estremamente rapida dei sistemi di ripresa (dalle camere analogiche ai sensori digitali), delle piattaforme ospitanti tali sistemi (dalle mongolfiere ai satelliti), ma anche degli strumenti per l'interpretazione (stereoscopi ottici, computer) e dei supporti per la rappresentazione delle immagini (pellicole, immagini digitali). Attualmente, il termine *foto aerea* è pertanto rappresentativo solo di una particolare tipologia di immagine ripresa da un certo tipo di piattaforma. Per questo motivo, anche in questo volume dedicato alla fotointerpretazione, come in quello sul telerilevamento, si utilizzerà preferibilmente il termine più generale di *immagine telerilevata*, intendendo con essa un'immagine della superficie terrestre registrata da considerevoli altezze da un generico sistema di ripresa montato su una qualche piattaforma sospesa o in volo a una data quota.

In questo capitolo si esamineranno i principi fondamentali su cui si basa la fotointerpretazione, ricordando tuttavia che un buon fotointerprete si forma soprattutto attraverso la pratica, con l'osservazione di numerose immagini raffiguranti aree della Terra e situazioni diverse fra loro. Per tale motivo si è tentato di trattare la parte teorica introduttiva in maniera piuttosto sintetica, lasciando più spazio agli esempi e agli esercizi della parte pratica.

1.2. Il processo interpretativo

Secondo il manuale di fotointerpretazione dell'*American Society of Photogrammetry*, "l'interpretazione fotografica è l'atto di esaminare immagini fotografiche allo scopo di identificare oggetti e giudicare il loro significato". Il processo interpretativo di un'immagine telerilevata consiste quindi di due fasi:

- la prima comporta l'osservazione degli elementi presenti nell'immagine stessa, attraverso il loro esame, riconoscimento e, a volte, la loro misurazione;
- la seconda fase, interpretativa, consiste nel formulare ragionamenti deduttivi e induttivi basati sulle osservazioni effettuate, allo scopo di dare un significato a

quanto rappresentato nell'immagine (di solito in riferimento al/ai tematismo/i studiato/i).

Il successo di entrambe le fasi dipende da più fattori.

Uno di questi, definito *fattore umano*, è direttamente correlato all'esperienza, al livello di addestramento, al background culturale e alle capacità intrinseche di analisi visuale dell'interprete. Alcune di queste caratteristiche possono migliorare nel tempo, come ad esempio l'esperienza e il livello di addestramento, mentre altre sono esclusivamente soggettive e rimangono pressoché invariate, essendo dipendenti dal grado di professionalità della persona. Nonostante uno spiccato senso dell'osservazione faccia la differenza fra un ottimo fotointerprete e uno semplicemente buono, è anche vero che la casistica di situazioni osservate ha una fondamentale importanza per rendere un interprete sicuro delle proprie scelte.

Altri due fattori influenzano la riuscita del processo interpretativo:

- la qualità dell'immagine;
- la strumentazione a disposizione per l'interpretazione.

Per le immagini digitali, la qualità delle stesse dipende innanzitutto dalla risoluzione spaziale, spettrale e radiometrica (si veda paragrafo 2.5 del *L'osservazione della Terra – Telerilevamento*): la prima è legata alla dimensione del pixel dell'immagine, da cui segue la considerazione per cui a maggiore risoluzione corrisponde una dimensione del pixel minore e quindi la capacità non solo di discriminare oggetti sempre più piccoli nell'immagine, ma di riconoscere con maggiore facilità anche quelli più grandi, che saranno così meglio definiti.

La risoluzione spettrale dipende dal numero di bande e quindi definisce la quantità di informazione spettrale che un'immagine telerilevata può contenere: più alto è il numero di bande, più numerose saranno le finestre spettrali in cui sarà possibile osservare una data area, ricavando maggiori informazioni che agevoleranno il processo interpretativo.

La risoluzione radiometrica, infine, definisce il numero di livelli di grigio di un'immagine ed è importante tanto quanto, se non più, della risoluzione spaziale, poiché influenza la capacità di discernere le differenze tonali (di grigio o di colore) presenti nell'immagine.

Come si vedrà più avanti, il tono è uno dei parametri fondamentali della fotointerpretazione, essendo direttamente influenzato anche dalle elaborazioni di miglioramento che è possibile eseguire sull'immagine, preliminarmente all'interpretazione (si veda paragrafo 3.3 del *L'osservazione della Terra – Telerilevamento*); in particolare, fra le più usate vi è il cosiddetto *stretching*, che ha la capacità di aumentare le differenze tonali fra pixel, aumentando il contrasto generale dell'immagine.

La strumentazione a disposizione del fotointerprete ha lo scopo di facilitare il processo interpretativo. Ad esempio, gli strumenti atti alla visione stereosco-

pica delle foto aeree, sia che si tratti di stereoscopi tradizionali sia di apparati per osservare in tre dimensioni sul video del computer (a tal proposito si veda il prossimo capitolo), incrementano la quantità di informazione che può essere estratta dall'immagine, con l'introduzione della terza dimensione. È opportuno sottolineare che gli studi sulla morfologia e sulla morfometria, nonché tutte le attività di aerofotogrammetria, dipendono strettamente dalla capacità di osservare in stereoscopia e sono praticamente impossibili da effettuare su immagini in 2D. Per l'interpretazione delle immagini digitali, inoltre, anche gli strumenti software contribuiscono ad agevolare l'interpretazione.

In particolare, i programmi GIS, con le loro interfacce per la visualizzazione e l'editing dei dati, aiutano l'interprete nell'osservazione dell'immagine permettendo la rappresentazione a diversi livelli di zoom (e quindi diverse scale), combinando bande spettrali differenti e anche permettendo il confronto diretto di immagini di periodi diversi.

Come si è accennato nel paragrafo introduttivo, una delle caratteristiche distintive delle immagini telerilevate che può rappresentare uno scoglio per l'interprete alle prime armi è la prospettiva di ripresa. Essa, infatti, è verticale invece che orizzontale, come quella delle comuni fotografie scattate da terra. Questo fatto comporta una visione della realtà sostanzialmente diversa da quella a cui si è comunemente abituati. Se si osserva la propria casa dalla strada, si vedranno i muri perimetrali, la porta e le finestre, mentre il tetto sarà prevalentemente nascosto alla vista; una foto aerea mostrerà della propria casa esclusivamente il tetto. Dunque questa diversa prospettiva può rendere l'interpretazione, soprattutto inizialmente, un po' difficoltosa, ma anche se può verificarsi un certo scoraggiamento, esso è un ostacolo facilmente superabile già alle prime esperienze.

Ad oggi lo è ancora di più rispetto al passato poiché strumenti come *Google Earth* e altre risorse geografiche disponibili su Internet, dove il mondo è rappresentato con immagini satellitari o ortofoto, sono diventati di comune dominio e di quotidiana consultazione. L'occhio dell'utente comune sta quindi diventando sempre più abituato a considerare il mondo che lo circonda anche da questo nuovo punto di vista.

Altre due peculiarità delle immagini telerilevate possono mettere in difficoltà l'interprete neofita: la riproduzione in falsi colori utilizzando bande spettrali diverse da quelle del visibile e la rappresentazione di oggetti del mondo reale a scale non familiari.

I sensori per il telerilevamento possiedono infatti bande spettrali che abbracciano regioni più o meno piccole dello spettro elettromagnetico intorno a una certa lunghezza d'onda. Tipicamente, alcune bande sono centrate su tre zone della regione del visibile, intorno al blu, al verde e al rosso; altre si trovano centrate in diverse regioni dell'infrarosso vicino e medio, ecc. Rappresentando le immagini di tre bande spettrali, ciascuna con uno dei colori fondamentali rosso, verde e blu (R,

G, B), si ottengono quelle che vengono chiamate *composizioni a colori* o *color composites*.

Una composizione che rappresenta in rosso la banda centrata sulla regione del rosso, in verde quella centrata sul verde e in blu quella centrata sul blu mostra la superficie terrestre nei suoi *veri colori*, come fosse una comune fotografia a colori. Ogni altra combinazione di bande rappresenterà la superficie della Terra in colori che non rispondono alla realtà e per questo viene chiamata a *falsi colori*. Per esempio, colorando l'infrarosso vicino in rosso, si vedrà la vegetazione rappresentata in vari toni di rosso invece che in verde. Ad un primo approccio, i falsi colori possono pertanto disorientare l'interprete, il quale è abituato a una diversa percezione cromatica della realtà. Invece, con l'esperienza, si converrà che spesso i falsi colori aiutano a ricavare molte più informazioni su certe proprietà della superficie terrestre e degli oggetti che vi si trovano: la natura delle rocce e dei terreni, la salute e la densità della vegetazione, la temperatura del suolo e dell'acqua, tanto per citarne alcune.

In relazione invece al problema della rappresentazione in scala, esso si risolve prevalentemente attraverso il confronto di dimensioni fra oggetti noti e altri la cui attribuzione risulta dubbia. Quest'aspetto sarà approfondito nel paragrafo 1.3.3.

Il fatto di osservare la Terra da una prospettiva verticale, se inizialmente può comportare alcune difficoltà di adattamento, costituisce tuttavia uno dei punti di forza delle immagini telerilevate. Infatti, solo attraverso la ripresa dall'alto è possibile rappresentare in singole immagini grandi aree della superficie terrestre e ottenere quindi una visione sinottica di essa, di grande aiuto nello studio di oggetti e fenomeni e delle loro relazioni a scale che vanno da quella locale a quella regionale.

Oltre a questa caratteristica, le immagini telerilevate hanno la capacità, attraverso particolari metodi di acquisizione, di permettere l'osservazione del territorio in tre dimensioni, aprendo il campo a tutta una serie di indagini sulla morfologia e sulla topografia.

Dette immagini hanno inoltre la peculiarità di per così dire "immortalare" una particolare situazione in un determinato istante temporale, permettendo di fermare il tempo in momenti di particolare importanza, come, ad esempio, subito dopo particolari eventi calamitosi oppure in concomitanza di cruciali stadi di sviluppo di specie vegetali o di infrastrutture, ecc.

La fotointerpretazione presenta, infine, un indubbio vantaggio nel permettere lo studio di regioni della Terra inaccessibili, sia per motivi naturali sia per motivi di sicurezza. È evidente che in tali zone i dati ricavati dall'interpretazione delle immagini potranno essere difficilmente verificati a terra, ma l'alternativa di non poter avere alcun tipo di dato sarebbe comunque peggiore.

Tutte queste proprietà fanno sì che le immagini telerilevate siano un dato estremamente prezioso per lo studio della superficie terrestre e dei processi che vi hanno luogo e che la fotointerpretazione sia un metodo di indagine estremamente vantaggioso in termini di rapidità di esecuzione, costi e ampiezza della copertura.

In conclusione, è opportuno porre attenzione a un'importante caratteristica della fotointerpretazione: la soggettività, intrinseca al concetto di interpretazione. Questo aspetto spesso sfugge a molti, ma deve essere sempre considerato nel valutare i risultati di un lavoro di analisi di immagini telerilevate. A parità di area investigata, non esisteranno mai interpretazioni identiche effettuate da persone diverse, ma saranno presenti differenze più o meno marcate da interprete a interprete, legate alla sensibilità professionale. La stessa persona, addirittura, a distanza di tempo, difficilmente fornirà la stessa interpretazione di una determinata area. Si tenga conto, comunque, che la componente soggettiva è normalmente di entità limitata, riguardando solo alcuni aspetti dell'interpretazione più suscettibili di incertezza; al contrario, gli elementi fondamentali presenti nell'immagine devono essere riconosciuti allo stesso modo da ogni osservatore.

La variabilità nell'interpretazione riguarda fundamentalmente due aspetti:

- l'attribuzione;
- il posizionamento.

Nel primo caso, si danno differenti classificazioni di un oggetto o di un fenomeno: ad esempio, nel caso dell'uso del suolo, due interpreti potranno esprimersi in maniera diversa riguardo a come classificare un appezzamento di legnose agrarie, se ad agrumeto o a oliveto. Entrambi dovranno tuttavia concordare sul fatto che si tratti di colture arboree e non erbacee.

Nel secondo caso, si interpreta in maniera diversa la posizione di un elemento presente nell'immagine, sia esso un oggetto o il limite di una zona omogenea: per esempio, due interpreti tracceranno in maniera diversa il limite di un'area boscata (figura 1.1), in quanto esso non ha, specialmente se si tratta di una foresta naturale, un confine netto, ma spesso sfrangiato. Nel caso di elementi ben determinabili



Figura 1.1. Discrepanze nell'acquisizione di un limite di bosco da parte di due fotointerpreti diversi (fonte: ortofoto, fonte: Blom CGR)

sull'immagine, quali ad esempio strade, limiti di appezzamenti agricoli o edifici, le differenze di tracciamento da fotointerprete a fotointerprete dovranno risultare quanto più possibile coincidenti.

La componente di soggettività è evidentemente correlata al fattore umano citato in precedenza, secondo il quale ogni fotointerprete ha una sua peculiare capacità di analisi visuale, una sua esperienza, uno specifico background culturale e professionale, ecc. Proprio per questo motivo, se si deve studiare una certa zona attraverso immagini telerilevate, è sempre opportuno, ove possibile, che il numero di interpreti da impiegare sia limitato e scelto con caratteristiche simili fra loro (in termini soprattutto di background culturale), in modo da garantire la massima omogeneità.

1.3. Gli elementi base della fotointerpretazione

Nel momento in cui il fotointerprete si confronta con un'immagine telerilevata, assume in un certo senso il ruolo di "investigatore". L'immagine, infatti, contiene una serie di indizi da individuare e combinare assieme per ottenere una spiegazione degli elementi presenti nell'immagine stessa. Questo processo investigativo avviene attraverso l'uso di uno o più dei cosiddetti *elementi base* della fotointerpretazione.

Essi sono in totale nove e possono essere suddivisi in tre gruppi:

- elementi spettrali, rappresentati da:
 1. tono, colore e firma spettrale.
- elementi geometrici, rappresentati da:
 2. forma;
 3. dimensione;
 4. tessitura;
 5. modello;
 6. ombre.
- elementi spaziali, rappresentati da:
 7. localizzazione;
 8. associazione.
- elementi temporali, quali:
 9. variabilità nel tempo.

1.3.1. Tono, colore e firma spettrale

Il tono, sia esso inteso come livelli di grigio o scala di colori, è l'unico elemento direttamente osservabile sull'immagine e pertanto è il più importante, essendo la diretta espressione della risposta spettrale degli oggetti alla radiazione incidente (*firma spettrale*). Tutti gli elementi che seguono derivano dal tono.



Figura 1.2. Contrasto tonale fra spiaggia a sinistra e mare a destra
(fonte: foto aerea, archivio Geomap)

Ciò che realmente ha importanza nella pratica, più che il tono in sé, sono le sue differenze, osservabili nell'immagine, che permettono di individuare e riconoscere gli oggetti in essa presenti: infatti è grazie a tali differenze che si definiscono i confini fra oggetti diversi. Un esempio semplice può essere il contrasto fra una spiaggia e il mare in un'immagine pancromatica: la prima sarà chiara, prossima al bianco, mentre il secondo risulterà di colore scuro (figura 1.2); questa differenza di tono permetterà non solo di riconoscere e delimitare i due elementi areali "spiaggia" e "mare", ma di individuarne con buona approssimazione un terzo, la linea di costa, interfaccia fra i due. Le differenze di tono in un'immagine telerilevata sono legate alla differente quantità di radiazione riflessa dalla superficie terrestre codificata in ciascun elemento formante l'immagine stessa, ossia il pixel (il tono viene, infatti, classificato come *elemento spettrale*).

Sono pertanto la natura e le caratteristiche geometriche della superficie su cui incide la radiazione che determinano quanta di quest'ultima viene riflessa e successivamente catturata dal sensore; quindi la chiave di interpretazione di un'immagine telerilevata sta nella conoscenza delle firme spettrali dei vari tipi di elementi naturali e antropici che vi si possono osservare (a tale scopo, si fa riferimento al paragrafo 1.8, *L'osservazione della Terra – Telerilevamento*).

Il tono espresso come livelli di grigio, tipico delle immagini pancromatiche, delle fotografie aeree in bianco e nero o delle singole bande spettrali, risulta spesso più difficile da interpretare, soprattutto per un neofita, in quanto non corrisponde alla percezione che si ha normalmente della realtà (che è a colori). L'interprete dovrà pertanto per così dire "tradurre" un tono di grigio nel colore associato aiutandosi con altri elementi base, quali la forma e le dimensioni. Per esempio, riconoscendo i tetti a spiovente degli edifici di un centro storico italiano, si potrà associare il livello di grigio con cui sono rappresentati con il rosso dei laterizi e



Figura 1.3. Traduzione da toni di grigio a colori (fonte: Quickbird © e-Geos)

farsi un'idea quindi di come questo colore appare in una immagine pancromatica (figura 1.3).

Un'immagine a colori comporterà uno sforzo notevolmente inferiore per il riconoscimento degli elementi in essa visibili. Inoltre i toni di colore forniscono una mole d'informazioni molto maggiore, aiutando l'interpretazione, in quanto l'occhio umano è in grado di distinguere più combinazioni di colori che gradazioni di grigio (in un rapporto di circa 100 a 1). Come accennato, se i colori sono naturali (*true color*), ci si troverà davanti a una rappresentazione fedele del mondo reale, mentre se l'immagine è a falsi colori (*false color composite*) sarà necessario tradurre i toni cosiddetti *artificiali* in quelli naturali sulla base della conoscenza delle bande spettrali utilizzate nella composizione e delle firme spettrali delle superfici presenti nell'immagine. A volte, come negli studi sulla vegetazione, un'immagine in falsi colori sarà molto più efficace nell'aiutare l'interpretazione



Figura 1.4. Variazioni tonali in un'area agricola (fonte: foto aerea, archivio Geomap)

di certi elementi di una a veri colori, poiché accentua le differenze (fra specie o di condizioni di salute delle piante).

Bisogna tener presente che il tono (grigi o colori) è influenzato da fattori quali le condizioni atmosferiche, le stagioni, le condizioni di illuminazione e la quantità di umidità: ad esempio, la foschia può alterare sensibilmente l'aspetto tonale di diverse superfici, in generale schiarendole; oppure, la diversa posizione del sole sull'orizzonte può determinare una maggiore o minore riflessione della radiazione da parte di un corpo d'acqua che apparirà rispettivamente più chiaro o più scuro; infine, un suolo umido risulterà progressivamente più scuro di uno secco in proporzione alla quantità d'acqua contenuta.

La figura 1.4 mostra un'immagine in scala di grigio di un'area agricola. Le differenze tonali fra i vari appezzamenti sono conseguenza della presenza e della differente densità di vegetazione. I campi chiari sono spogli, mentre quelli scuri presentano una copertura erbacea. All'interno di alcuni appezzamenti chiari si distinguono variazioni tonali riferibili invece al grado di umidità del terreno: i toni più scuri sono correlati a una maggiore umidità.

1.3.2. Forma

La forma è il primo e più importante elemento geometrico utilizzato per il riconoscimento di un oggetto: essa si riferisce alla generale conformazione di quest'ultimo nelle tre dimensioni. In un'immagine telerilevata la forma è dedotta da differenze di tono, che ne definiscono i contorni. In un'immagine satellitare o in un'ortofoto, solo due delle dimensioni di un oggetto sono visibili, anche se la terza può essere a volte desunta dall'ombra (si veda più avanti il paragrafo 1.3.6). Con una coppia stereoscopica di foto aeree, anche la terza dimensione può esse-



Figura 1.5. Riconoscimento di oggetti di forma nota (ortofoto, fonte: © Blom CGR)

re rivelata e quindi la forma dell'oggetto risulta completamente visibile, anche in altezza. Tuttavia, come si è già accennato, si tratta comunque di una forma osservata da una inconsueta prospettiva che, quindi, a volte può essere difficile da riconoscere. L'interprete dovrà quindi imparare a identificare gli oggetti da questo nuovo punto di vista; certi elementi saranno più semplici da riconoscere, come alcuni tipi di edifici particolari (le chiese o certi palazzi e monumenti di cui si è già vista la pianta in altri documenti; si veda la figura 1.5 a tal proposito, dove sono mostrati, da sinistra a destra, alcuni edifici e monumenti noti come il Duomo di Firenze, il Colosseo e la Basilica di S. Marco a Venezia).

Più difficile può essere invece distinguere una ferrovia da una strada, entrambi elementi lineari, ma con uno sviluppo generalmente diverso: la prima di solito stretta, con curve larghe e regolari, la seconda da stretta a molto larga, nel caso di autostrade, con curve anche molto strette e andamento spesso molto tortuoso (figura 1.6).

Ancora più difficile può essere, per esempio, la distinzione fra vari tipi di alberi da frutta. Chiaramente, l'avvento di immagini ad altissima risoluzione (World-view 1, con 0,5 m di risoluzione spaziale) facilita enormemente il riconoscimento



Figura 1.6. Differenze di forma fra strade, autostrade e ferrovie (fonte: ortofoto, Provincia di Arezzo)

delle forme, in quanto molti particolari diagnostici di un oggetto vengono resi ben visibili dalle ridotte dimensioni del pixel.

Va tenuto presente infatti che la forma di un oggetto può essere anche indizio della sua genesi: per esempio, riconoscere in una zona desertica un campo di dune



Figura 1.7. Dune a barcana: il vento proviene da sud (fonte: foto aerea, archivio Geomap)



Figura 1.8. Forme diverse legate a specifici oggetti (ortofoto, fonte: © Blom cgr)

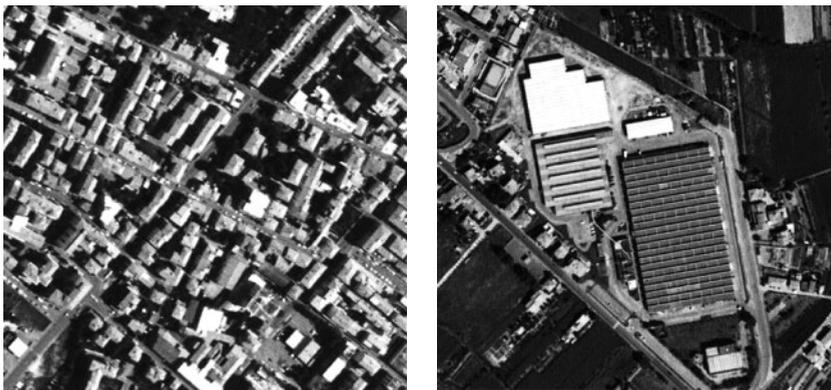


Figura 1.9. Forme diverse in base alla funzione: a) edifici residenziali; b) capannoni commerciali e industriali (fonte: ortofoto, Provincia di Arezzo)

del tipo barcana (a mezza luna) può dare indicazioni sulla provenienza del vento che le ha formate (figura 1.7).

La figura 1.8 mostra tre esempi di forme diverse che sono direttamente correlate alla specificità dell'oggetto: a sinistra il Duomo di Pisa con le forme peculiari della Torre pendente, della Basilica e del Battistero (figura 1.8a); al centro il cimitero dei Rotoli a Palermo a forma di semicerchio (figura 1.8b) e in figura 1.8c un complesso sportivo con i campi da calcio e l'ippodromo.

La figura 1.9 mostra, all'interno della categoria di oggetti "edificio" le differenze di forma correlate alla funzione: a sinistra edifici residenziali, a destra edifici commerciali e industriali.

1.3.3. Dimensione

La misurazione delle dimensioni di un oggetto sconosciuto presente in un'immagine può fornire utilissime indicazioni sull'identità dello stesso, soprattutto se, oltre alla sua dimensione assoluta, viene determinata anche quella relativa ad altri oggetti di natura nota. In questo modo, infatti, si può ridurre notevolmente la gamma delle possibili identificazioni e arrivare a quella corretta.

Le dimensioni degli elementi di un'immagine telerilevata sono facilmente determinabili quando si trattano dati digitali in ambiente GIS, dove praticamente tutti i software, nelle loro interfacce grafiche, prevedono strumenti di misura impostabili direttamente in unità terreno. Quando invece si utilizzano foto aeree in formato cartaceo, è necessario conoscere la scala delle stesse per esprimere le misure in unità a terra.

1.3.4. Tessitura

La tessitura può essere definita come la frequenza di variazione tonale nello spazio prodotta da elementi molto piccoli presenti nell'immagine, che, presi singolarmente, non forniscono informazioni tanto significative quanto quelle che danno se presi nel loro insieme. Va tenuto presente che ciò che l'interprete percepisce nell'immagine come tessitura è l'aspetto visuale di una superficie, da più *rugoso* (tessitura grossolana) a più *liscio* (tessitura fine). Per esempio, le foglie degli alberi conferiscono a un bosco di latifoglie una tessitura più grossolana rispetto a quella che i singoli fili d'erba danno a un prato-pascolo (figura 1.10). Anche in ambito geologico, la tessitura gioca un ruolo fondamentale nella distinzione delle diverse litologie.

La figura 1.11 mostra superfici a tessitura diversa: in A e in E si può osservare una tessitura grossolana dovuta alle chiome degli alberi, in prevalenza di latifoglie; in B si ha una tessitura ancora grossolana ma meno della precedente in corrispondenza di un bosco di conifere e in F ancora più fine, ma sempre legata a



Figura 1.10. Differenza di tessitura fra vegetazione arborea e erbacea (fonte: immagine del sensore aerotrasportato AMDC)



Figura 1.11 . Differenze di tessitura fra varie superfici (fonte: ortofoto, Provincia di Arezzo)

vegetazione arborea. In G, D e C si ha tessitura progressivamente sempre più fine corrispondente rispettivamente a un vigneto, una coltura erbacea e uno specchio d'acqua.

1.3.5. Modello

Il modello (o *trama*), definito in inglese *pattern*, riguarda la distribuzione spaziale o arrangiamento degli oggetti in un'immagine. In generale, i modelli che interessano sono quelli in cui si riconosce una ripetizione di oggetti uguali o simili a dare particolari disposizioni (cioè schemi regolari di posizionamento di oggetti) e



Figura 1.12. Pattern di un frutteto (fonte: Quickbird© e-Geos)

che costituiscono la struttura di un elemento areale omogeneo. Gli arrangiamenti possono essere di origine antropica o naturale: in generale, i primi sono molto più uniformi e caratteristici dei secondi.

Si consideri che il *pattern* regolare di un frutteto (figura 1.12) è sicuramente più uniforme di quello degli alberi di un bosco naturale o di altre colture arboree ed è così caratteristico che rappresenta per il fotointerprete un indizio inequivocabile per l'identificazione. Lo stesso si può dire a proposito dei vigneti, i cui filari regolarmente disposti in file parallele (o a reticolato nella coltivazione a tendone) costituiscono una trama inequivocabile (figura 1.13).



Figura 1.13. Pattern diversi per differenti tipi di vigneto: a filari e a tendone (fonte: foto aerea, archivio Geomap)

Anche il *pattern* di una zona agricola (figura 1.14) è talmente distintivo che può essere usato come unico elemento per la classificazione di una data area. Altri *pattern* di origine antropica di grande interesse sono quelli creati dai reperti archeologici che, affioranti o sub-affioranti dal terreno, mostrano nelle immagini telerilevate le tracce di antichi complessi insediativi o reti viarie abbandonate (figura 1.15). A livello naturale, fra i modelli più studiati, ci sono quelli formati dalle reti idrografiche (*drenaggio*): essi, come sarà mostrato nel prossimo capitolo, rivestono una particolare importanza per poter interpretare la natura delle rocce del substrato e le strutture che lo caratterizzano. Per questa ragione, nelle applicazioni geologiche della fotointerpretazione, l'acquisizione del drenaggio costituisce una delle prime operazioni da compiere.

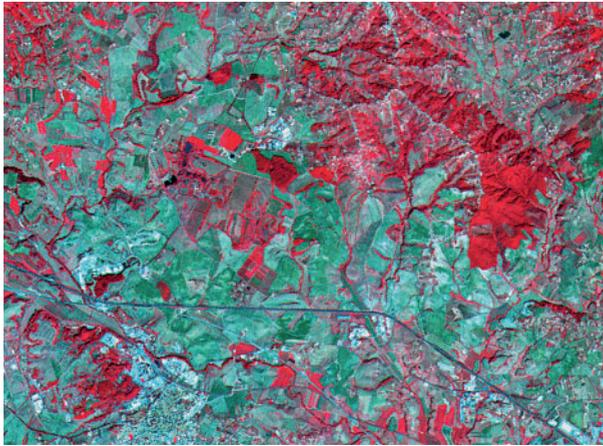


Figura 1.14. Tipico pattern agricolo (fonte: Aster nir © IPT)



Figura 1.15. Zona archeologica (ortofoto, fonte: © Blom cGR)

12.3.6. Ombre

Le ombre in un'immagine telerilevata hanno una duplice influenza: come elemento di disturbo e come ausilio. Da una parte rappresentano un impedimento, in quanto sono proiettate su zone a volte molto estese dell'immagine dove, di conseguenza, l'energia riflessa dalla superficie è molto bassa, se non quasi nulla, e dove quindi risulta molto difficile o impossibile identificare gli elementi presenti. Tipici casi sono:

- le zone alla base di falesie e scarpate (figura 1.16), le quali proiettano ombre estese in proporzione alla loro altezza e all'altezza del sole sull'orizzonte;

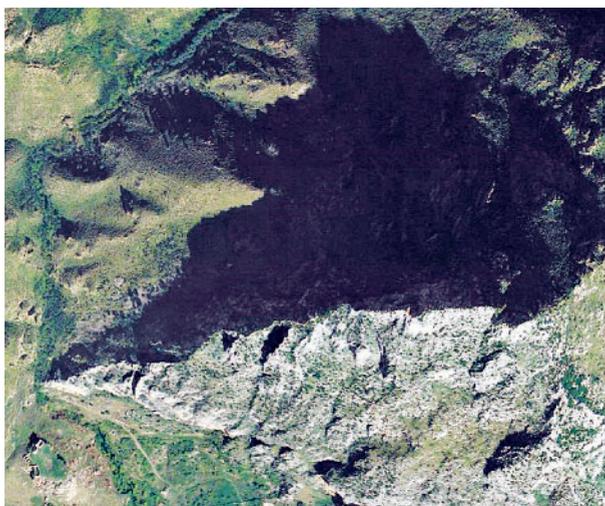


Figura 1.16. Ombra proiettata da una rupe (ortofoto, fonte: © Blom c&g)

- le ombre delle nuvole, spesso molto estese. In quest'ultimo caso, spesso, non si ha un annullamento totale della riflettanza, per cui è possibile identificare gli oggetti in ombra.

Le ombre, d'altra parte, rappresentano anche un utilissimo elemento indiziario per ricavare la forma e l'altezza degli oggetti. Infatti, dal profilo dell'ombra proiettata sul terreno si possono sia dedurre informazioni su come è fatto un oggetto in prospettiva (l'ombra proiettata da un ponte può rivelarne la struttura altrimenti invisibile, come in figura 1.17) sia stimare la sua altezza sulla base dell'elevazione solare al momento dell'acquisizione dell'immagine. Quest'ultima operazione è possibile risolvendo un semplice problema di trigonometria: infatti, l'altezza dell'oggetto è data dalla lunghezza dell'ombra per il seno dell'angolo di elevazione del sole.

Le ombre, inoltre, con la loro capacità di mettere in evidenza le variazioni topografiche, risultano molto utili anche come ausilio per l'interpretazione della



Figura 1.17. L'ombra rivela la struttura del ponte (ortofoto, fonte: © Blom cgr)



Figura 1.18. Le ombre mettono in risalto la morfologia (fonte: Landsat ETM+ © GLCF)

morfologia di un'area. Questo è particolarmente vero quando l'altezza del sole sull'orizzonte non è particolarmente elevata (figura 1.18).

1.3.7. Localizzazione e associazione

Dato il loro stretto legame, la localizzazione e l'associazione verranno trattate insieme.

La localizzazione di un oggetto è data dalla sua posizione *assoluta* nello spazio geografico (descritta da una terna di coordinate x, y, z) e relativa rispetto agli elementi che determinano la conformazione topografica e ad altri oggetti. Spesso, però, singoli elementi non sono facilmente localizzabili da soli, ma risultano più facilmente identificabili se considerati in associazione con altri. L'associazione,

quindi, si riferisce all'usuale concomitanza di due o più oggetti, tale per cui l'individuazione di uno indica o conferma la presenza di uno (o più) di un altro tipo. Riguardo alla localizzazione in senso assoluto, essa è spesso utilizzata per l'identificazione di specie vegetali: molte specie arboree, infatti, vivono ciascuna in particolari condizioni climatiche e/o orografiche, per cui, se è possibile riconoscere in quali di queste condizioni ci si trova, è possibile anche identificare la specie o comunque ridurre drasticamente le possibili scelte. Anche rispetto alle colture agricole, sono possibili valutazioni basate sulla loro localizzazione: un frutteto in Trentino Alto Adige sarà molto probabilmente un meleto, mentre in Sicilia sarà più facilmente un agrumeto.

Riguardo alle associazioni, anche in questo caso, molte delle applicazioni si hanno negli studi della vegetazione: per esempio, in corrispondenza di un lago, la



Figura 1.19. Riconoscimento di un'azienda agricola in base ad associazione e localizzazione (fonte: foto aerea, archivio Geomap)

copertura vegetale sarà facilmente rappresentata da canneti, mentre lungo un fiume si avranno specie igrofile. Si hanno tuttavia associazioni anche nel caso di elementi antropici, come nell'esempio di figura 1.19: l'area edificata visibile può essere classificata con buona approssimazione come un'azienda o una cantina sociale, dato il contesto agricolo in cui si trova.

1.3.8. Elementi temporali

Gli elementi temporali sono dati essenzialmente dalla variabilità nel tempo degli oggetti da identificare, per cui riveste particolare importanza la scelta del momento della ripresa, per ottenere la migliore identificazione (figura 1.20) o per rilevare un loro particolare stato. Tipici esempi sono gli stati dello sviluppo fenologico delle colture e della vegetazione in generale.



Figura 1.20. Nell'immagine di maggio sono più evidenti i confini dei corpi d'acqua
(fonte: foto aerea, archivio Geomap)

Un altro aspetto è costituito dalla possibilità di analizzare lo sviluppo nel tempo di certi fenomeni, attraverso riprese in tempi successivi. Ad esempio, l'evoluzione di una frana o di un versante in erosione, le fasi di un'inondazione (figura 1.21), le modifiche nel tempo di un impianto industriale per identificare le zone dove necessitano interventi di bonifica, ecc., o, più semplicemente, la documentazione dello stato di un oggetto in un dato momento.