

FOTOINTERPRETAZIONE ARCHEOLOGICO-AMBIENTALE DELLA LAGUNA DI TORCELLO E ZONE LIMITROFE

ROSA BONETTA-LOMBARDI* BRUNO MARCOLONGO*

Nell'ambito degli studi di carattere storico-archeologico, promossi dall'Istituto di Studi Classici / Archeologia dell'Università di Venezia, diretto dal Prof. Gustavo Traversari, in collaborazione con l'Accademia Polacca delle Scienze di Varsavia, nella zona più nord-orientale della laguna, l'inserimento e il contributo della «teleosservazione» («remote sensing»), che si è voluto applicare prima di iniziare un saggio di scavi ben precisi, riveste un duplice significato: da un lato, quello di acquisire nuovi elementi conoscitivi sulle relazioni spazio-temporali tra insediamenti e interventi antropici e risorse naturali lato sensu; dall'altro, ha lo scopo di indirizzare propedeuticamente le fasi di più diretta indagine sul terreno. Infatti, peculiare caratteristica di tale metodologia, applicata all'analisi dell'ambiente e ai suoi contenuti, è la stretta integrazione con i sistemi di rilevamento classici, i cui dati si pongono nei suoi confronti dapprima come «verità-terreno», atte a definire particolari chiavi interpretative, successivamente come verifica del processo interpretativo medesimo.

Nelle proposte metodologiche, contenute in questa breve nota, ci si riconduce ai più recenti sviluppi e alle più attuali posizioni della teleosservazione, sia per quanto concerne l'elaborazione delle immagini, sia per quanto attiene la loro interpretazione; pertanto si considera opportuno, pur essendo state impiegate preliminarmente solo immagini riprese nel campo del visibile (foto pancromatiche in B e N, a colori e all'infrarosso colori falsati), dare il giusto sviluppo ad alcune considerazioni di tipo generale ed introduttivo sulla natura e sulla funzione della «teleosservazione», in specifico rapporto con i problemi di carattere archeologico, anche in vista di un indispensabile approfondimento e completamento del quadro strutturale, qui presentato, mediante l'impiego di altri tipi di immagini telerilevate, quali immagini termiche e loro specifici trattamenti analogici-digitali.

* Istituto Universitario di Architettura - Venezia.

** Consiglio Nazionale delle Ricerche - Padova.

Introduzione metodologica

Il «remote sensing» (teleosservazione), definibile nella sua accezione più lata come metodo di analisi e descrizione di «oggetti» o fenomeni (interazione tra vari «oggetti») qualsiasi attraverso la registrazione delle loro risposte spettrali, si è venuto sempre più imponendo quale strumento operativo in molti campi delle scienze ambientali.

Esso è per ragioni intrinseche una disciplina «integrata» e «interdisciplinare», poiché da un lato si articola o si fonda su fasi l'una propedeutica all'altra, quali l'acquisizione delle immagini, il loro trattamento sia analogico che digitale, la raccolta di dati di campagna con metodi classici, l'interpretazione e la successiva verifica in loco delle «chiavi interpretative», dall'altro collega diverse scienze evidenziandone i mutui legami e i rapporti specifici nello studio di uno stesso fenomeno.

Il «remote sensing», inoltre, si è evoluto in modo rapido e sempre più ampio soprattutto negli ultimi anni ed in particolare dopo la disponibilità delle prime immagini riprese da satelliti operativi per le risorse terrestri (Landsat, '72). Così alle classiche fotografie aeree pancromatiche in B e N, la cui caratteristica peculiare è la stereoscopia, in uso già prima della seconda guerra mondiale, vediamo affiancate le riprese multispettrali, sia nel campo del visibile che in quello dell'infrarosso fotografico, le riprese termiche principalmente nelle fasce dello spettro elettromagnetico note come «finestre atmosferiche» (3-5 e 8-14), i rilievi con radiometri passivi e attivi, del tipo «Side Looking Airborne Radar» (SLAR) o «Sintetic Aperture Radar» (SAR).

Parallelamente hanno ricevuto un impulso notevole tutte le ricerche concernenti le elaborazioni di una così vasta e varia messe di dati, conducibili tanto per via analogica (fotografico-elettronica), quanto per via digitale mediante l'analisi statistica delle firme spettrali dei vari «oggetti» registrate su nastro.

Da un punto di vista concettuale-interpretativo le due vie possono essere riconducibili a due approcci ben distinti, il primo definibile come « analisi delle forme » e quindi delle « strutture », ovvero dell'interpretazione spaziale delle « forme », il secondo come « analisi delle risposte spettrali » e cioè del comportamento energetico di una qualsiasi superficie. In particolare nella individuazione e descrizione di « strutture sepolte », tanto naturali quanto antropiche, è soprattutto il primo approccio a fornire i risultati più promettenti, essendo in tal caso essenziale la interpretazione di morfologia, morfometria e rapporti spaziali degli « indicatori di superficie », che risultano sempre in qualche modo collegati alle strutture profonde medesime.

In altri termini nell'ambito del processo interpretativo, caratterizzato da ben precisi stadi logici di analisi (individuazione, identificazione, classificazione e deduzione) costanti per tutti i tipi di immagini, occorre privilegiare l'aspetto « deduttivo » legato alle « corrispondenze biunivoche » tra « parvenze » sulle immagini degli oggetti di superficie e anomalie sottostanti. Per fare ciò si deve possedere delle informazioni derivanti da controlli sul terreno (« verità-terreno ») il cui numero è variabile in funzione della complessità e della eterogeneità delle strutture da interpretare e della scala del modello stesso.

Per quanto concerne il campo archeologico, dove una valutazione dei vari parametri attraverso l'analisi di immagini telerilevate non può mai essere diretta, tranne che in casi particolari (affioramenti di strutture più o meno discontinui), risulta ovvio che la posizione metodologica appena illustrata è l'unica produttiva. È indubbio, infatti, che il controllo delle strutture sepolte a debole profondità (da qualche decina di cm a qualche m) esercitato su alcuni specifici « indicatori » di superficie, quali contenuto di umidità nella zona insatura del sottosuolo, sviluppo, densità, tipo e stato di rigogliosità della vegetazione, rapporti tessiturali nella utilizzazione del suolo, microrilievi, etc., sia così forte e biunivoco da fornire all'interprete uno strumento molto potente di analisi e deduzione, per molti versi quasi operativo a fini archeologici.

A questo punto si ritiene utile presentare un modello di sviluppo di una « ricerca-tipo integrata » di « remote sensing » applicata all'archeologia, in cui i principi sin qui esposti di integrazione con

altri metodi di indagine e di interdisciplinarietà con altre scienze vengono posti in particolare rilievo.

Lo schema a blocchi sottolinea soprattutto il processo evolutivo che collega, senza soluzione di continuità, le informazioni sull'ambiente (indicate con rettangoli) acquisite attraverso i due approcci fondamentali del « telerilevamento » (R.S. o « remote sensing ») e delle indagini dirette (V.T. o « verità-terreno ») alla programmazione degli interventi per un ulteriore approfondimento conoscitivo, passando attraverso « stadi creativi » simboleggiati dal cerchio!

Dopo questa premessa metodologica, di basilare importanza nella definizione del giusto rapporto tra « remote sensing » e fasi di analisi precedenti o susseguenti, si passa ora ad esaminare in dettaglio i diversi tipi di immagine, ripresi da varie piattaforme, e le loro possibili elaborazioni in funzione di una applicazione per ricerche archeologiche.

1. RIPRESE TERRESTRI

1.a Riprese all'*infrarosso termico* nelle bande o lunghezze d'onda simili, mediante telecamere o altro tipo di sensore sensibile alla energia emessa.

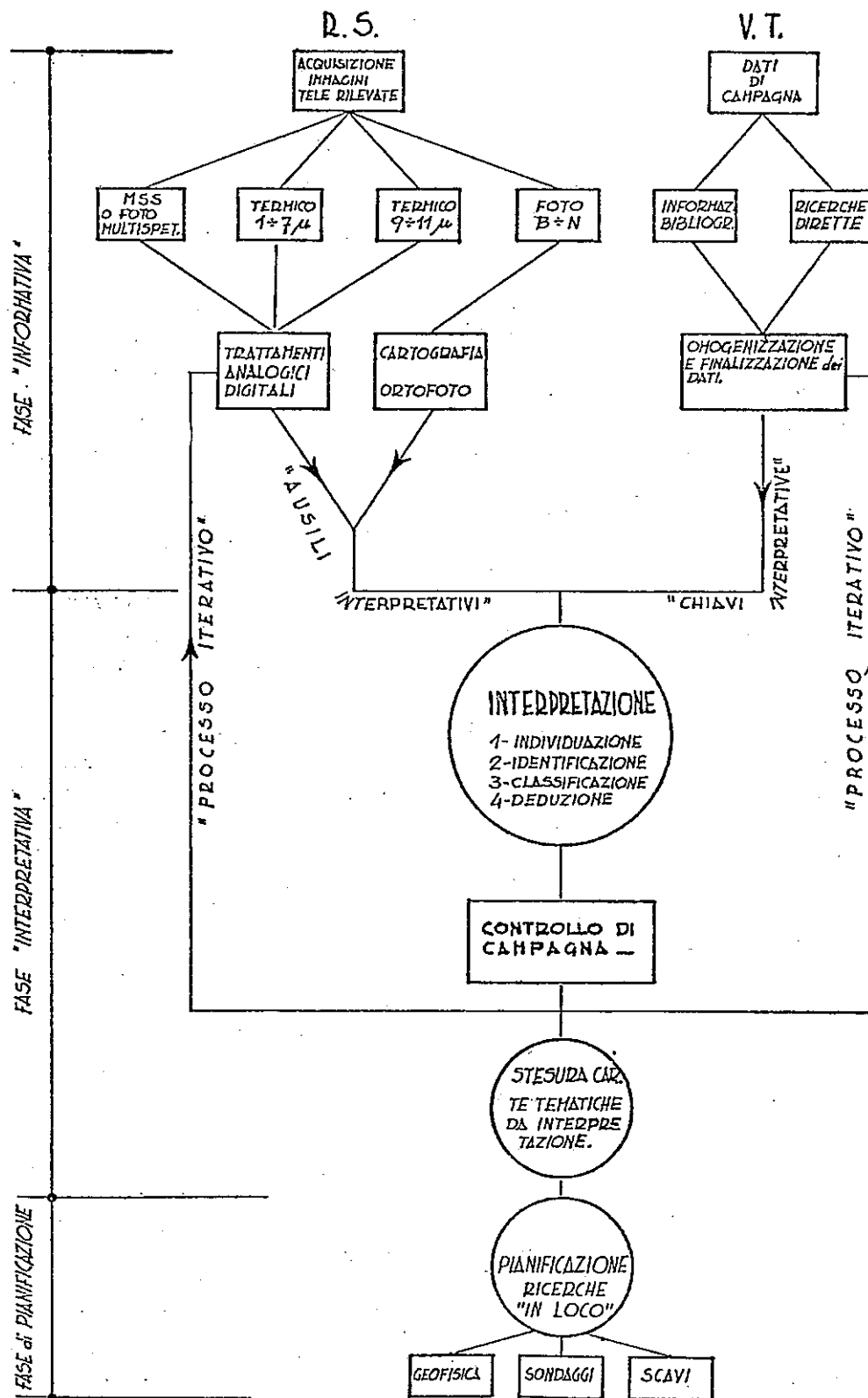
— Tale tipo di ripresa va eseguito a distanza ravvicinata (da qualche decina di cm a qualche decina di m) e possiede una elevata potenzialità di informazioni riguardanti lo stato di conservazione, le vicissitudini cronologiche, la struttura e la costituzione intrinseca di un certo « oggetto archeologico ». Ovviamente una corretta interpretazione delle immagini si basa sulla conoscenza di notizie dirette (assimilabili alle « verità-terreno » o « ground-truth » del remote sensing da aereo o satellite) che permettono di ricavare opportune « chiavi interpretative ».

— Alcuni specifici trattamenti, inoltre, quali la « derivata » fotografica o le « *equidensità* » con il metodo « *Agfa Contour* » permettono di evidenziare superfici di contatto tra *parti composte in tempi successivi*, o *superfici di frattura*, presumibilmente anche potenziali, e *distribuzione ed intensità di umidità*.

1.b Riprese *fotogrammetriche* con pellicola pancromatica in B&N, o pellicola a colori, o pellicola all'I.R.F.C., da effettuarsi mediante apparecchio fotografico su cavalletto o fototeodolite, posto suc-

SVILUPPO DI UNA RICERCA DI « REMOTE SENSING » APPLICATA ALL'ARCHEOLOGIA

B. MARCOLONGO



cessivamente in due distinte posizioni (con adeguata apertura di base B in funzione della distanza dall'oggetto), oppure con strumentazione fotogrammetrica per monumenti (bicamera).

Tali fotografie stereoscopiche servono a ricavare l'esatta « cartografia » dell'oggetto (rilievo, ortofotografia), su cui *appoggiare* sia i *dati della « verità-terreno »*, sia le *immagini termiche*, eventualmente trattate, per dare un maggiore rigore scientifico alla identificazione delle « *chiavi interpretative* ».

2. RIPRESE AEREE

2.a Riprese *aerofotogrammetriche* con pellicola pancromatica in B&N, la cui caratteristica peculiare è la *stereoscopia* (possibilità di restituzioni, ortofotografie, raddrizzamenti in zone piane). Esse, in funzione degli oggetti o delle strutture da individuare, hanno normalmente una scala compresa tra 1:5.000 e 1:30.000 (talvolta sino a 1:60.000).

— Sono preferibili le riprese eseguite in particolari condizioni di « *luce radente* » per evidenziare i « *microrilievi* », importanti *indicatori* di strutture sepolte a debole profondità. Tenuto quindi conto della morfologia e topografia della zona (versanti in ombra, esposizione, pendenza) sono preferibili le riprese fatte *al mattino* o *verso il tramonto*.

2.b Riprese all'*infrarosso falsi colori* (0,6 ÷ 0,9 μ), eseguite con metodo fotogrammetrico e quindi con caratteristiche stereoscopiche. Esse sono particolarmente indicate per ricerche archeologiche poiché, in aggiunta alle informazioni sopra esposte, permettono di meglio evidenziare variazioni di *stato* e *crescita* (evoluzione fenologica) della *vegetazione*, che è notoriamente un importante *indicatore* superficiale di strutture sepolte.

2.c Riprese all'*infrarosso termico* (1 ÷ 2 μ e 9 ÷ 11 μ), eseguite con sensori non fotografici, particolarmente indicate per analisi tessiturali e per gli studi sulla distribuzione e variazione del *contenuto di umidità* nella zona insatura del sottosuolo, altro basilare *indicatore* in una interpretazione archeologica. Esse tuttavia non sono stereoscopiche e la loro risoluzione a terra risulta inferiore a quella delle riprese di cui ai punti 2a. e 2b. (circa

2,5 m ogni 1.000 m di altezza relativa di volo, per cui ad esempio una ripresa termica effettuata a 3.000 m possiede una risoluzione di circa 7,5 m, laddove la risoluzione di una equivalente ripresa fotografica, sia in B&N che all'I.R.F.C., è di circa 1 ÷ 2 m).

— Le immagini dei punti 2b. e 2c. debbono essere *multitemporali*, in particolare per seguire la dinamica degli aspetti *vegetazionali* e *idrici* della zona più superficiale del sottosuolo, contenente le strutture investigate.

Indicati sono i periodi di *massimo innalzamento del livello della falda freatica* (possibile interazione con le strutture sepolte), di *elevato contenuto di umidità nella zona insatura del sottosuolo* (dopo periodi piovosi), *all'inizio o al termine della notte*, oppure *poco dopo il mezzogiorno* (per avere condizioni di massima interazione calorica degli oggetti con l'ambiente, in funzione della loro *intrinseca « inerzia termica »*), e privilegiate infine sono le stagioni della *primavera e dell'autunno* (particolari condizioni fenologiche di stresse, fioritura e caduta delle foglie delle piante).

— I *trattamenti analogici*, da eseguirsi prima dell'interpretazione, sono: sovrapposizioni *multitemporali* (composizioni multitemporali con diapositive appartenenti a più riprese) e *multispettrali* (« false colour composite »), *equidensità colorate*, *analisi armonica*, *derivata fotografica*, queste ultime soprattutto per ricerche su strutture lineari.

3. RIPRESE DA SATELLITE

Immagini *multispettrali* nel campo del visibile e dell'infrarosso fotografico (0,4 ÷ 1,1 μ). La loro fondamentale limitazione operativa consiste nell'analisi di strutture sepolte solo a grande scala e molto estese (ad esempio: sistemi di « *centuriazione* » e partizione dell'agro, sistemi *viari* e di *canalizzazione*, grandi complessi urbani, etc.). Infatti la loro risoluzione è dell'ordine di parecchie decine di m; solo nel caso di oggetti o indicatori caratterizzati da una *riflettività* particolarmente diversa dalla media circostante, la risoluzione può scendere a qualche decina di m.

Vanno impiegate tutte le bande variamente combinate tra di loro e in particolare la banda *giallo-verde* (0,5 ÷ 0,6) e quella *rosso-infrarosso* (0,8 ÷

1μ) (rapporto tra le due bande), al fine di evidenziare « *anomalie idriche* » del sottosuolo ed « *anomalie* » della vegetazione, entrambi « indicatori » di strutture antropiche sepolte.

Anche in questo caso si utilizzano riprese appartenenti a diversi passaggi, per costruire *composizioni multitemporali*. Per quanto concerne i trattamenti più indicati a scopi archeologici, si rinvia alle indicazioni del punto 2c.

Applicazione del metodo sulla laguna veneta e risultati conseguiti

I concetti di carattere metodologico illustrati sin qui, sono stati applicati nello studio fotointerpretativo preliminare sulla porzione più nord-orientale della laguna veneta.

Lo scopo, come già accennato in premessa, è quello di descrivere attraverso la « teleosservazione » gli eventuali rapporti spaziali esistenti tra i vari insediamenti antichi di terraferma (Altino) e di Laguna (Torcello, Treporti, etc.), attraverso l'evidenziazione in un quadro sintetico di tutte le strutture antropiche sepolte sia « lineari » che « areali », oltreché quello di cogliere i legami tra evoluzione morfologica del territorio, in particolare delle linee di costa e centri insediativi.

Preliminarmente all'indagine è stata compiuta un'accurata ricerca sulla documentazione telerilevata esistente (rilievi nel campo del visibile in B e N, a colori, all'infrarosso falsi colori, e rilievi termici), che ha dato luogo alla scelta di alcuni tipi di immagini ritenute, per la specificità del tema, i più opportuni. In particolare, ai fini interpretativi, sono state utilizzate foto in B e N alla scala media 1:16.000 del 1979, integrate da foto a colori (scala media: 1:13.000) del 1974; le riprese all'infrarosso termico, invece, eseguite sui 2.500÷3.000 m di quota, presentano una risoluzione eccessivamente bassa (7÷10 m) per la descrizione degli « oggetti » o dei « fenomeni » propri a questo studio, per cui non sono state utilizzate.

Tuttavia si ritiene di dover sottolineare ancora una volta la fondamentale importanza dell'impiego di tale tipo di immagini nell'ambito di un approccio integrato, che abbia come obiettivo

una carta tematica, la più dettagliata e completa, delle emergenze archeologiche e storiche della laguna veneta e dei loro rapporti con le caratteristiche fisiografiche ambientali.

L'interpretazione delle immagini, concepita come successione di vari stadi logici di analisi sempre più approfonditi, ha portato alla stesura di una « carta fotointerpretativa archeologico-ambientale della laguna di Torcello e zone limitrofe », alla scala 1:25.000 ritenuta la più adatta per descrivere sinteticamente i rapporti spaziali tra « oggetti » identificati, senza nulla togliere al dettaglio. La relativa legenda evidenzia i legami esistenti tra le varie fasi interpretative e i « tipi di elementi », fisiografici o antropici, che ad ogni livello vengono identificati. Essa sottolinea inoltre gli elementi deducibili attraverso l'analisi delle corrispondenze esistenti tra « indicatori » di « superficie » e « strutture sepolte », oltreché quelli ricavabili dall'« analisi strutturale » (densità e distribuzione) dei vari elementi già individuati (ad esempio: « aree di influenza » e « direttrici di comunicazione » interlagunare).

Tra i risultati più rilevanti va citato il riconoscimento dei rapporti spazio-temporali tra la « Via Annia » e uno stadio di ingressione lagunare nella terra ferma a NE di Altino, fenomeno che viene, quindi, ad essere datato come posteriore alla via stessa (circa V-VI secolo D.C.). Inoltre, sempre in ambito di terra ferma, appaiono molto significativi l'orientamento e l'estensione di un lembo di centuriazione S-SW di Altino, che si appoggia con un decumano alla appendice rilevata di Ca' Montirone, questa, quindi, sembra essere un « polo stabile » lungo il bordo lagunare, almeno a partire dall'epoca romana e il riconoscimento di tal punto fisso lungo l'arco lagunare acquista indubbiamente notevole importanza per un tentativo di ricostruzione paleogeografica della laguna stessa.

Nel settore lagunare, invece, gli elementi più cospicui sono rappresentati da tutta una serie di strutture lineari antropiche che convergono su Torcello e dai successivi accrescimenti di Punta Sabbioni. L'insieme di questi elementi, tra loro collegati, porta ad avere una visione unitaria del possibile ruolo di Torcello quale « polo insediativo centrale stabile » da cui si dipartono due aree di influenza speculari; la prima di convergenza del traffico lagunare e marino verso Torcello stessa, la seconda di collegamento con Altino attraverso il Canal Si-

lone e di diffusione nella terra ferma retrostante. Contemporaneamente risulta valida anche una descrizione di tali rapporti caratterizzata da un flusso di verso opposto.

Considerazioni propositive

In base ai concetti metodologici qui illustrati e alla luce degli elementi tanto fisiografici quanto antropici riconosciuti, si ritiene che l'area della laguna di Torcello sia particolarmente interessante, soprattutto sotto il profilo dei rapporti tra insediamenti, territorio e sue risorse, visti in un'ottica evolutiva temporale.

Già questo stadio preliminare, limitato per questioni contingenti all'analisi di immagini rilevate solo nel campo del visibile, indica come possa essere fruttuoso il tipo di approccio integrato proposto all'inizio. Si ritiene che un ulteriore approfondimento delle indagini, attraverso l'impiego di opportune immagini termiche possa fornire la descrizione più dettagliata e attendibile dell'evoluzione del complesso sistema uomo-laguna, proponendo quindi in modo interdisciplinare ad altri studiosi e ricercatori stimoli per nuove ricerche.

Istituto Universitario di Architettura - Venezia
Consiglio Nazionale delle Ricerche - Padova

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- 1) BARRETT, E. C., CURTIS, L. F.: *Environmental remote sensing* 1,2. Edward Arnold publ., London.
- 2) GIRARD, C. M., GIRARD, M. C. (1975): *Applications de la Télédétection à l'étude de la Biosphère*. Masson et C. éd., Paris.
- 3) LINTZ, J., SIMONETT, D. S. (1976): *Remote Sensing of Environment*. Addison-Wesley publ., London.
- 4) VERSTAPPEN, H. TH. (1977): *Remote Sensing in Geomorphology*. Elsevier Scientific publ., Amsterdam.
- 5) MARCOLONGO B. (1973): *Fotointerpretazione sulla Pianura alluvionale tra i fiumi Astico e Brenta, in rapporto alle variazioni del sistema idrografico principale*. « Studi Tridentini di Scienze Naturali », vol. L, Trento.
- 6) MARCOLONGO, B., LECHI G. M., TONELLI A. M. (1974): *Applicazioni delle immagini multispettrali da satellite alla individuazione di materiale da costruzione nella Pianura Veneta*. Atti del I Convegno Internazionale sulla coltivazione di pietre e minerali litoidi, Torino.
- 7) MARCOLONGO B., LECHI G. M., TONELLI A. M. (1976): *The principal hydrogeological aspects of the eastern Venetian plain as identified by multispectral photography from satellites*. XXI Convegno Nazionale della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia (SIFET), Bologna.
- 8) MARCOLONGO B., MATTEOTTI E. (1976): *Utilizzazione di immagini da satellite nella programmazione territoriale regionale*. Atti del XXI Convegno Nazionale della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia (SIFET), Bologna.
- 9) MARCOLONGO B. (1977): *Photointerpretation applied to hydrogeological problems: soil moisture content, soil permeability, hydrogeological structures*. Int. Courses on « Remote Sensing Applications in Agriculture and Hydrology », CCR-Euratom, Ispra.
- 10) MARCOLONGO B., MASCELLANI M. (1977): *Satellite images and their treatments applied to the identification of the « Roman reticulum » in the Venetian plain*. XXXVI Settimana Fotogrammetrica di Stoccarda, Stoccarda.
- 11) MARCOLONGO B., MASCELLANI M., MATTEOTTI E. (1977): *Significato storico ambientale di antiche strutture topografiche sepolte nella Pianura Veneta*. XXII Convegno Nazionale della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia (SIFET), isola d'Elba.
- 12) MARCOLONGO B.: *Il telerilevamento applicato al campo della idrogeologia*. Atti del I° Convegno Nazionale sul Telerilevamento S.I.T.E., Gargnano del Garda, ottobre 1978.
- 13) MARCOLONGO B., BARISANO E. (1980): *Contribution à l'évaluation des potentialités des images thermiques de satellites (HCM-EXPLORER 1) pour la déduction d'aspects physiographiques: application à la plaine du Po en Italie du nord*. « Tellus News letter », 22, J.R.C. - Ispra.
- 14) BONETTA R. (1972): *Premesse per una carta archeologica* in « Studio preliminare per il piano territoriale paesistico della costiera amalfitana », Roma 1972, p. 21 ss.
- 15) BONETTA R. (1973): *Analisi e premesse per la definizione del territorio sublacense in epoca antica*, in « Quaderni dell'Istituto di Pianificazione territoriale » della Facoltà di Architettura di Roma, N.S., IV, 2, 1973, p. 13 ss.

BIBLIOGRAFIA STORICO-ARCHEOLOGICA

- 1) MARCELLO, J.: *La via Annia alle porte di Altino*, Venezia, Altino romana, 1, 1956.
- 2) BOSIO, L.: *I problemi portuali della frangia lagunare veneta nell'antichità*, in « Venezia », I, Padova, 1967, p. 54 ss.
- 3) SCARFI, B. M.: *Altino (Venezia). Le iscrizioni funerarie romane provenienti dagli scavi 1965-69 e da rinvenimenti sporadici*, AIV, CXXVIII, 1969-70, p. 210 ss.
- 4) LECIEJEWICZ, L. - TABACZYNSKA, E. - TABACZYNSKI, S.: *Torcello - Scavi 1961-62*, Roma, 1977, Ist. Naz. di Archeologia e Storia dell'Arte - Monografie III.
- 5) SCHMIEDT, G.: *La prospezione aerea nella ricerca archeologica*, Roma, Consiglio Naz. delle Ricerche, 1963.
- 6) VECCHI, M.: *Torcello. Ricerche e contributi*, Roma, 1979.
- 7) BOSIO, L.: *Le presenze insediative nell'arco dell'Alto Adriatico dall'epoca romana della nascita di Venezia*, in « Da Aquileia a Venezia », Milano, 1980, Libreria Scheiwiller.
- 8) FAVERO, V. - SERANDREI-BARBERO, R.: *Evoluzione paleoambientale della Laguna di Venezia nell'area archeologica tra Burano e canale S. Felice*, in « Lavori Soc. Ven. di Scienze Naturali », vol. 6, p. 119 ss., Venezia, 1981.