

PALLOTTINO

Aprire con brevi parole di introduzione l'incontro scientifico coordinato dal prof. Gullini, che ne tratterà inizialmente il programma.

GULLINI

Ringrazio anzitutto Massimo Pallottino e gli organizzatori del Convegno per aver predisposto l'opportunità di questa tavola rotonda a chiusura di interventi e discussioni sui problemi e sul procedere degli studi riguardanti alcune delle più notevoli antiche culture italiche.

Il tema scelto è l'illustrazione di metodologie integrate per ottenere sistematicità di approccio allo studio del territorio da cui provengono le testimonianze che sono base della ricerca archeologica, nonché di quelle ricerche che si pongono l'obiettivo della conservazione delle testimonianze rinvenute.

Se il terreno è il contenitore delle preesistenze antropiche, che sono oggetto della nostra indagine, è chiaro che per superare l'occasionalità del ritrovamento, che rende sempre difficili o comunque spesso ipotetiche le conclusioni del processo interpretativo, occorre che lo studio e l'investigazione di esso offrano garanzie di sistematicità per poter pervenire ad organiche ricostruzioni e analogie esplicative in un quadro d'insieme entro una cornice oggettiva. Questa sistematicità non può derivare tanto dalla cura e dal rigore delle nostre indagini sul singolo oggetto – il metodo che l'archeologia cerca da tempo di affinare – quanto dalla individuazione di un'area territoriale entro precisi confini fisici e storici, che deve essere sottoposta ad un'analisi completa che non privilegi le emergenze facilmente individuabili, ma approfondisca le informazioni offerte da ogni punto della superficie, in una visione organico-sinottica delle dimensioni spazio-temporali delle vicende insediative di una regione.

Affiancando alle tradizionali metodologie analogiche delle scienze umane quelle essenzialmente analitiche delle scienze fisiche e naturali è possibile ottenere questa invocata sistematicità di approccio.

La tradizionale ricognizione a piedi su un territorio per individuare e registrare resti emergenti o materiali di superficie da ricondurre ad una presenza umana, è oggi superata come strumento fondamentale d'indagine preliminare allo scavo. Essa non solo è limitata dall'effettiva possibilità di percorrere aree più o meno vaste, ma, specialmente nelle nostre regioni, è ormai fortemente ostacolata, per non dire sviata, dalle profonde trasformazioni agrarie e dalla sempre più fitta presenza di infrastrutture. In compenso le più moderne tecnologie ci offrono possibilità assai più ampie di acquisire informazioni su preesistenze antropiche affioranti o sepolte, per di più viste nel quadro generale delle condizioni ambientali dell'insediamento.

Le immagini da satellite – che mostrano, a seconda delle diverse lunghezze d'onda impiegate, la registrazione di energia riflessa o emessa dalla superficie del suolo – ci consentono di acquisire, attraverso opportuni trattamenti interpretativi, informazioni su preesistenze fisiche e antropiche non apparenti in superficie, ma che, pur sepolte, influenzano, in qualche modo, l'aspetto della superficie o attraverso le modificazioni della vegetazione o comunque attraverso variazioni, anche piccole, di temperatura, rivelate sia grazie alla luce riflessa, registrata nella parte visibile dello spettro, sia all'energia emessa, registrata nell'ambito del non visibile (immagini termiche). Queste immagini consentono di ottenere un quadro regionale di possibili interventi antropici e di strutture fisiche preesistenti e condizionanti ogni possibile sfruttamento dell'ambiente da parte dell'uomo e rappresentano quindi un'impostazione sistematica del nostro esame di un determinato territorio.

Quanto viene riconosciuto da immagini così remote può essere approfondito, in risoluzione e scala, attraverso analogo trattamento di immagini riprese da un aereo, da una piattaforma a più bassa quota (150-30 metri), o addirittura da terra mediante apposito elevatore. In questo modo si ottengono immagini con informazioni sempre più dettagliate. Queste, a loro volta, debbono essere sottoposte al controllo « verità-terreno » che avviene attraverso *prospezioni geofisiche, meccaniche e analogiche*.

Le prime, soprattutto magnetiche ed elettriche, saranno effettuate in corrispondenza dei luoghi « indiziati » nelle immagini e forniranno una prima serie di conferme legate alle proprietà rilevabili attraverso i diversi tipi di prospezioni.

Ulteriori conferme possono venire attraverso il prelievo di campioni indisturbati di suolo (i cosiddetti carotaggi), operazione che rientra nell'ambito delle *prospezioni meccaniche*. Questi campioni – da 15 a 10 centimetri di diametro, raccolti da apposite sonde con carotieri a tripla parete per evitare ogni inquinamento – offrono la possibilità di accertare la sequenza stratigrafica del suolo attraversato, nonché di raccogliere, per ciascun livello, manufatti e documenti paleoetnobotanici da riconnettere con una presenza umana.

Restano, infine, le *prospezioni analogiche*, cioè le tradizionali ricognizioni a piedi che sono sempre indispensabili per integrare la maglia di osservazioni che si è andata così tracciando: a questo punto esse perdono la casualità dell'avventura per concentrarsi nelle zone « indiziate » attraverso l'analisi sistematica delle immagini interpretate.

Ma il legame fra tutte queste operazioni e la possibilità del riscontro sul terreno sono assicurati da una rete topografica a cui riferire sia gli indizi delle immagini che i risultati delle prospezioni. Questa rete è anche la materializzazione del recupero dell'organizzazione spaziale della cultura e quindi della sua valutazione, concetto che noi spesso perdiamo, impegnati come siamo, dall'interpretazione del singolo oggetto. Solo attraverso precisi riferimenti topografici la nostra ricostruzione può acquisire l'effettiva tridimensionalità propria ad ogni intervento dell'uomo ed uscire dalla bidimensionalità della classificazione del documento singolo.

In questo Convegno si è parlato delle stele, documenti che presentano il problema della loro conservazione intesa come intervento contro il degrado del supporto fisico: scendiamo allo specifico del singolo oggetto, del prodotto dell'attività umana che dobbiamo acquisire, interpretare, e soprattutto conservare non solo per

il necessario controllo del procedimento scientifico della nostra ricostruzione, ma anche per non distruggere il messaggio dei nostri predecessori.

Da questa breve introduzione può trarsi la scaletta di questa tavola rotonda e quindi la successione degli interventi. Il dott. Bruno Marcolongo, dell'Istituto di Geologia applicata del CNR di Padova, vi parlerà dell'interpretazione e del trattamento di immagini telerilevate; il prof. Carmelo Sena, titolare di Topografia e Fotogrammetria al Politecnico di Torino, e Direttore del Laboratorio di Fotogrammetria per rilievi terrestri, illustrerà le metodologie e le problematiche della maglia topografica; il prof. Franco Piacenti, ordinario di Chimica organica-industriale dell'Università di Firenze e Direttore del Centro per le cause di degrado e metodologia di intervento sui materiali lapidei del CNR, esporrà le problematiche e le possibilità di assicurare la conservazione dei reperti in pietra. Dò pertanto la parola al dott. Marcolongo.

MARCOLONGO

L'interpretazione di immagini rappresenta la fase propedeutica alla conoscenza del territorio, che mette in evidenza non solo le caratteristiche fisico-antropiche attuali ma anche quelle del passato, in un confronto di dinamica storica e di previsione conseguente dei fenomeni di trasformazione territoriale.

È difficile per me sintetizzare in questa sede che cosa sia realmente la teleosservazione e quale sia il suo contributo, senza partire da una posizione critica.

Io credo, innanzitutto, che in merito ci siano stati sempre dei malintesi: da una parte infatti si ritiene - o si è ritenuto - che questo strumento di conoscenza possa surrogare totalmente altri metodi conoscitivi; dall'altro, invece, si ritiene che la teleosservazione possa dare solo informazioni poco attendibili e non utilizzabili sotto una certa scala.

Se teniamo presente che il metodo è uno strumento integrato e interdisciplinare per definizione, allora si comprende come si tratti di un mezzo a grande potenzialità d'informazione. È un metodo *integrato* perché l'utilizzazione di immagini da varie piattaforme (satellite, aereo e da vicino) deve essere valutata assieme, contemporaneamente, in un gioco di complementarità totale; è metodo *interdisciplinare* perché la grande quantità delle informazioni contenute nelle immagini viene sempre meglio e sempre più decodificata quanto maggiore è il contributo interpretativo di parecchi specialisti nei diversi campi delle scienze (botanici, geologi, idrogeologi, selvicoltori, ecc.).

Nella filosofia propria dell'approccio al territorio le teleosservazioni occupano la posizione iniziale di strumento descrittivo di sintesi, di elemento che mette in evidenza la presenza di un oggetto o di un fenomeno, di metodo che indirizza la ricerca successiva. Esso è articolato in due momenti essenziali, vale a dire: l'acquisizione e l'interpretazione delle immagini, cui segue l'utilizzazione geometrica delle stesse.

La sua resa è per di più funzione della scala a cui si riferisce l'analisi dell'immagine e, quindi, dall'altezza della ripresa. Si sa infatti che l'analisi telerilevata avviene da piattaforme spaziali, aeree a diverse quote, da vicino (elicottero o dirigibile) ed, infine, anche da piattaforme fisse a terra (lift).

Ora intendo sviluppare il concetto d'interpretazione e in questo senso è da sottolineare innanzitutto che il metodo per l'estrazione dell'informazione dall'immagine è lo stesso per tutte le piattaforme, e quindi le scale, utilizzate.

Quando si analizza un prodotto telerilevato, in molti casi si cade in un equivoco di base perché si tende semplicemente a « leggere » quanto è in esso contenuto. La lettura di un oggetto o di un fenomeno, invece, rappresenta solo il primo stadio dell'analisi: lo stadio cioè dell'identificazione e della individuazione attraverso il riconoscimento di « indicatori » di superficie, quali ad esempio elementi morfologici e oggetti antropici di varia natura, che si manifestano per la loro riflettività diversa o per la loro emissività calorica contrastante.

Tuttavia, quando attraverso gli indicatori di superficie si riesce a risalire al controllo di strutture sepolte, anche profonde, usando di un approccio deduttivo basato su un « background » di conoscenze specialistiche, allora si « interpreta » il territorio e i fenomeni o gli oggetti in esso presenti con risultati estremamente più completi e significativi.

In questo momento, allora, il rapporto che vi può essere tra oggetto e fenomeno ambientale e intervento dell'uomo assume risvolti non solo semplicemente statici, ma di evoluzione temporale stratificata.

Dunque, tra la connessione del significato degli indicatori¹ osservati e il bagaglio culturale dell'esperto che interviene nell'analisi telerilevata, nasce l'interpretazione del fenomeno, spesso in una dimensione spazio-temporale dinamica e quindi anche storica.

Gli stessi indicatori, pur contribuendo nell'insieme alla identificazione e alla classificazione di ogni oggetto dell'immagine, hanno un significato diverso nell'ambito del processo interpretativo, non soltanto in rapporto al fine prefissoci, ma anche alla natura del mezzo osservato (tipo di roccia, aspetti antropici ecc.) e alla condizione geografica della zona in esame (pianura o rilievo montuoso). Soprattutto quest'ultimo aspetto pone problemi di scelta preordinata degli indicatori più idonei.

Gli esempi d'interpretazione e d'uso differenziato degli indicatori che vi propongo con alcune diapositive, riguardano la pianura veneta.

Nel primo caso, relativo alla regione del Montello (Treviso), il prodotto usato è quello di tipo tradizionale, fotografico in bianco e nero, in una edizione mosaicata, ovverosia ottenuta per assemblaggio di foto opportunamente controllate sotto il profilo geometrico per eliminare le distorsioni marginali.

Se consideriamo come indicatori il tono, la tessitura e la forma delle aree più o meno antropizzate, possiamo a prima vista distinguere tre zone distinte tra loro che si caratterizzano anche per un uso diverso del territorio da parte dell'uomo: la zona del piano alluvionale del fiume Piave con alternanze di toni e di tessiture casuali e niente affatto geometriche, a cui non corrisponde ovviamente intervento umano alcuno; la zona collinare del Montello con una suddivisione in parcelle agrarie

¹ I principali indicatori dell'immagine rispondono al tono di grigio o di colore, alla tessitura e alla struttura, cui si aggiunge l'aspetto morfologico. In particolare, per tessitura si intende come ripetizione di gruppi di oggetti monotoni, spesso troppo piccoli per essere discriminati. Per struttura, invece, si intende un gruppo di elementi, definiti dalle relazioni ripetute che esistono tra gli elementi tessiturali.

non regolare e, comunque, con carattere di colture non intensive, in rapporto alla natura calcarea del terreno; l'area di pianura fuori alveo, intensamente convertita all'agricoltura in ragione della disponibilità d'acqua, sia in superficie che nel sottosuolo.

Il ruolo della parcellizzazione agraria e, in particolare, della sua struttura e forma appare evidente nella seconda diapositiva, relativa alla pianura subito a nord di Padova, in cui le discordanze del disegno, specie se sinuose, indicano la presenza di tracce di divagazione antiche del fiume Brenta.

A questo riguardo l'intervento dello specialista geologo può condurre l'interpretazione ancora più avanti, fornendo indicazioni di natura anche idrogeologica, quali la maggiore possibilità di una corrente freatica in corrispondenza ai paleoalvei fluviali individuati, tutto ciò con riflessi di carattere applicativo e pianificatorio dell'ambiente.

Applicando questi concetti di analisi metodologica all'intera regione dell'alta pianura veneta tra Vicenza, Padova e Bassano del Grappa, si sono riconosciute tutte le divagazioni fluviali del Brenta, a partire dal post-glaciale würmiano.

L'interpretazione conseguente della carta di sintesi denota come esista uno spostamento verso oriente dei vecchi percorsi, in rapporto forse alla subsidenza dell'area veneziana, fenomeno questo che assume significato regionale, interessando anche altri fiumi veneti.

Utilizzando immagini da una piattaforma di ripresa diversa, vale a dire il satellite, si sono potuti ricostruire buona parte degli elementi idrografici e idrogeologici dell'intera pianura veneta e, contemporaneamente, anche i diversi sistemi di centuriazione romana, in gran parte sepolti. Questo viene presentato nelle due diapositive seguenti, dal cui confronto si possono dedurre gli interessanti e stretti legami tra la situazione antropica passata – ma anche attuale – e la condizione paleo-territoriale.

Ad esempio, gli elementi di rottura rispondenti a vecchie divagazioni del fiume Tagliamento o del Brenta, oggi interessate da fiorenti coltivazioni, rappresentano motivi di discontinuità, di disarticolazione per il reticolato romano individuato. Ciò non tanto per una possibile azione distruttiva dell'uomo nel corso dei tempi, quanto per la presenza « ab origine » di fasce di esondazione fluviale che non permettevano una organizzazione territoriale a causa della loro instabilità.

Sotto questo profilo appare molto interessante interpretare la ragione del contenimento dell'agro romano verso l'attuale linea di costa adriatica, contenimento che si sviluppa nell'entroterra lungo una linea abbastanza definita con continuità. Essa corrisponde con sufficiente coerenza in ogni punto al limite di massima ingressione marina ritenuta di età versiliana. Questo fatto dà a pensare che a partire da quel periodo (inizio dell'Olocene) tutta la fascia costiera rappresentasse una zona di transizione lagunare (e comunque instabile) la cui bonifica si è completata del resto in tempi recenti.

Si è precedentemente appena accennato ai « trattamenti » delle immagini che permettono di meglio evidenziare alcuni elementi di lettura a svantaggio di altri. Questi artifici, indirizzati a scopi specifici di tipo analitico, sono ormai molteplici ed usati come metodi integrati d'interpretazione.

Il più comune, forse, corrisponde alla ripresa diretta con filtri colorati, che

normalmente si adotta per rilievi all'infrarosso fotografico. Si ottiene in tal caso un prodotto di lettura « a falsi colori », utilizzato per studi sulla vegetazione, in quanto descrive bene lo stadio di rigogliosità e fenologico delle piante attraverso una componente maggiore o minore del rosso e dell'azzurro.

Nella diapositiva che vi mostro, relativa ad un'area nei pressi della città di Bolzano, si nota come si sia utilizzato questo tipo di approccio per individuare in un bosco di conifere gli elementi malati, individuati da una colorazione a toni azzurrognoli anziché rossi.

Riferita la causa della degradazione vegetale ai composti di fluoro in aerosol, provenienti dalla zona industriale della città, e stabilita la direzione del vento prevalente vennero ricostruite delle isolinee di uguale diffusione dell'inquinamento, che sono state utilizzate successivamente per una campagna di misura quantitativa, dimezzando in tal modo i tempi d'intervento e i costi dell'operazione.

Attraverso, invece, un trattamento dell'immagine per colorazione indiretta, ovvero sia compiuta in laboratorio, di questo prodotto da satellite Landsat 1 che vi presento in diapositiva, si sono meglio riconosciuti alcuni elementi idrogeologici della pianura veneta e friulana, con particolare riguardo alle aree più imbibite, e quindi dai terreni più umidi, e alla linea delle risorgive che notoriamente segna il limite lungo cui le acque freatiche emergono in superficie sottoforma di polle sorgentifere naturali.

Quest'ultimo elemento conoscitivo assume anche per la ricerca archeologica un particolare interesse, perché ha vincolato l'organizzazione agraria romana, influenzando l'antropizzazione in termini di localizzazione degli insediamenti e di sviluppo delle strade e dei canali d'irrigazione.

L'esempio che segue è riferito ad immagini provenienti da un satellite termico, l'HCMM americano, lanciato a 620 Km d'altezza. L'immagine che si vede non è una ripresa fotografica, ma il prodotto di una trasformazione digitale attraverso « computer » dei dati di temperatura al suolo, acquisiti dai sensori termici installati nel satellite.

Le zone di grigio che compaiono su questa immagine « costruita » mettono in evidenza, a seconda della tonalità, aree più calde e più fredde, in rapporto sia alla composizione litologica del terreno e sia al contenuto di umidità.

Il fatto che le riprese termiche del satellite HCMM vengano ripetute in corrispondenza allo stesso settore terrestre di giorno e di notte, cioè nel momento più caldo e più freddo, permette di confrontare differenze di temperatura che sono la chiave interpretativa, in molti casi, di strutture sia geologiche che antropiche sepolte.

Attraverso un trattamento dell'immagine chiamato dell'equidensità, vengono rappresentati con lo stesso colore tutti gli elementi che hanno la medesima temperatura; oltre ad una lettura più definita e omogenea si giunge, in tal caso, ad ottenere una interpretazione di fenomeni altrimenti non rilevabili, quali ad esempio strutture geologiche sepolte sotto la coltre quaternaria della Pianura Padana e aree d'inquinamento ad opera di fiumi in prossimità delle coste.

Altri trattamenti particolari sono usati per definire a grandi linee l'uso del suolo di ampie regioni. Le diapositive che seguono riguardano riprese da satellite sulla Puglia, ottenute per sovrapposizione a falsi colori di tre bande dello spettro del visibile, da cui si mettono in evidenza, proprio in relazione alle diverse tonalità

dei diversi colori, aree coltivate, zone d'insediamento urbano, aree forestate e a pascolo, zone a terreno incolto e nudo.

Partendo da questi indicatori preliminari e utilizzando prodotti fotografici di satelliti precedenti o dello stesso satellite che ripercorre la sua orbita in tempi successivi, si possono avere informazioni multitemporali su cui dare una valutazione del cambiamento di colture o, addirittura, della produzione prevedibile di certe zone occupate da mais o da frumento, in quest'ultimo caso con l'aiuto di altri parametri desunti da un'analisi diretta sul terreno per campioni.

Per ultimo vorrei mostrare un'immagine trattata sull'area montuosa più interna delle Puglie, i cui falsi colori sono legati a differenti tipi vegetazionali. In proposito vorrei sottolineare come l'interpretazione di elementi naturali ed antropici sia più difficoltosa rispetto alle aree di pianura, poiché i rilievi orografici mascherano spesso le chiavi di analisi.

Ho cercato di offrire una panoramica piuttosto generale del mezzo analitico interpretativo che risponde alla teleosservazione o telerilevamento. Mi auguro di essere riuscito a fare conoscere la potenzialità del metodo anche ai fini archeologici, in particolare richiamando il suo significato di strumento di indirizzo e di scelta dell'intervento a terra, specie se puntuale.

GULLINI

Ritengo che Marcolongo abbia illustrato chiaramente le possibilità di interpretazione di immagini telerilevate, a cominciare da quelle da satellite. Egli ha parlato di risoluzioni, da satellite, di zone di 80 metri di lato. Sono già in azione satelliti che offrono immagini con risoluzioni maggiori, non diffuse, naturalmente, per ovvie ragioni militari. Fra un paio d'anni si potranno avere le immagini del satellite Landsat IV con risoluzioni ancora minori. Si intravedono, quindi, possibilità di interpretazioni che trasformeranno radicalmente il nostro modo di acquisire dati. Vorrei ricordare quanto ho già accennato nell'introduzione, che cioè la tecnica di interpretazione e trattamento di immagini può essere applicata anche per le riprese da quota più bassa. In questo caso diviene indispensabile, per lo studioso, avere a disposizione una piattaforma mobile, il cui impiego non sia molto oneroso e che non comporti lunghe e complesse procedure di richiesta. Per venire incontro a queste esigenze è in fase di progetto a Torino, in collaborazione tra l'Università e il Politecnico, un modello di piccolo dirigibile teleguidato capace di trasportare, su percorsi prestabiliti, sia una camera fotogrammetrica che uno scanner termico. Se si riuscirà, come spero, a realizzarlo, si potranno ottenere, a grandi scale e quindi con notevoli dettagli, informazioni su ciò che è contenuto nel terreno.

L'interfaccia fra termografia e ripresa fotogrammetrica consente anche risultati di grande importanza nel rilevamento delle stratigrafie archeologiche. Infatti la stratigrafia è essenzialmente accertamento di tipo differenziale effettuato dall'occhio esercitato dell'archeologo. Se sostituiamo all'occhio il sensore termico registriamo le più piccole differenze di temperatura (fino a 1/10 di grado) della superficie esplorata, differenze che sono in relazione con una diversa composizione e tessitura del suolo, quindi con diversi tipi di accumulo degli « scarti » di un insediamento umano.

È questo, finalmente, l'avvio ad una impostazione sistematica per sfogliare correttamente il gran libro della terra che contiene la storia dell'uomo in tutti i suoi particolari e accidenti. Ma diamo ora la parola a Sena che illustrerà gli aspetti più specificatamente geometrici e spaziali delle nostre procedure.

SENA

Desidero anzitutto complimentarmi con il collega Marcolongo per l'esposizione molto chiara da lui fatta del problema che gli competeva di illustrare; credo sia necessario, a questo punto, aggiungere soltanto qualcosa sulla distinzione tra il lavoro che fa la sua « equipe » e quello che è invece il lavoro che svolge il mio gruppo.

Il discorso fondamentale è stato in parte già fatto ed è quello del metodo integrato ed interdisciplinare tra queste nostre varie materie; occorre quindi mettere in evidenza, nel caso particolare dei nostri due gruppi di ricerca, soltanto le competenze che riguardano i compiti specifici ed in definitiva ciò che possono fare da una parte i fotointerpreti e ciò che possono fare invece quelli che si interessano della struttura geometrica del rilievo, sempre nell'ambito di questo comune studio.

A questo proposito vorrei richiamare una nozione ed assieme ad essa ricordare, per quel che abbiamo visto, la distinzione tra le cosiddette immagini convenzionali e non. È noto che la Fotogrammetria nasce con lo sviluppo scientifico della fotografia.

Già dall'inizio, oltre ai « trattamenti » di tipo geometrico dei fotogrammi, ne sono stati fatti degli altri di tipo qualitativo: questi ultimi rappresentano la fonte d'interesse principale per la categoria dei fotointerpreti. Essi hanno avuto come elemento base iniziale di studio, le immagini convenzionali e cioè le fotografie in bianco e nero prima e a colori poi; sono quindi stati utilizzati altri materiali (pellicole infrarosso bianco/nero, falso colore, ecc.) e la Fotointerpretazione con l'uso di questi nuovi materiali ha ricevuto un impulso di sviluppo veramente notevole.

Questo sviluppo è ulteriormente aumentato con l'utilizzo delle immagini non convenzionali (a rappresentazione elettronica o con altri mezzi non fotografici).

A questo punto però si è avvertito una specie di distacco tra i legami di interdipendenza instaurati in passato tra la Fotogrammetria tradizionale e la Fotointerpretazione, perché con gli ultimi ritrovati nel campo delle immagini non convenzionali che hanno suscitato vastissimi interessi, anche in settori completamente diversi (fisica, elettronica, ecc.) si è stati tentati e costretti ad interessarsi molto degli aspetti fisici del fenomeno, trascurando l'aspetto geometrico, del canovaccio geometrico fondamentale, a cui poter riferire tutte le informazioni, siano esse convenzionali e non.

Diciamo che il merito, piccolo, e certamente non soltanto nostro, è quello di cercare di riunire questa problematica per fare in modo che le due strade, quella della nuova Fotointerpretazione (nei settori che qui interessano) e quella del rilievo di tipo geometrico, possano riavere molti punti in comune.

Ecco, il mio gruppo in questa ricerca, studia di stabilire le metodologie ed

i mezzi, per definire anzitutto il canovaccio geometrico più opportuno, che permetterà, ad esempio, poi ai colleghi di potere lavorare con una certa sicurezza e sistematicità, nel territorio (ma non solo).

Ed a questo punto occorre chiarire cosa intendiamo per « canovaccio geometrico » ed ancora prima, un concetto, forse un po' difficile da definire, ma di una certa importanza, che è il concetto di « localizzazione geometrica ».

Occorre cioè chiedersi cosa vuol dire localizzare geometricamente qualche cosa sul territorio (in senso « locale », non generale).

Evidentemente è anche questo un concetto non inventato adesso, ma che adesso ci sembra si ponga con una sua particolare problematica, data la necessità di descrizione e di interventi, sui luoghi, manufatti, ecc. sempre più dettagliati e puntuali ed estesi.

In parole molto semplici, se esiste la necessità di localizzare un manufatto o qualsiasi altra cosa della superficie fisica della Terra, abbiamo bisogno di avere o di creare dei punti o delle direzioni o dei grigliati di riferimento, rispetto ai quali definire la posizione di punti caratteristici del manufatto o della superficie, ecc.

Tanto per ricordarne alcuni, ad esempio meridiani e paralleli sono grigliati di riferimento per sistemi di tipo generale, estesi cioè a tutta la superficie della Terra: gli angoli di latitudine e di longitudine (coordinate geografiche) individuano la posizione di punti, sulla superficie di riferimento (geoide, ellissoide).

Se si restringe la zona di interesse, bisogna cercare di avere sistemi più opportuni, per permettere localizzazioni più comode: si entra così nei sistemi di riferimento locali (coordinate geodetiche polari e rettangolari, coordinate topografiche, ecc.).

In realtà, non si tratta solo di individuare o stabilire sistemi di riferimento opportuni, dai quali, con metodi topografici, ricavare coordinate planoaltimetriche di punti, ma si tratta spesso volte di ben altra cosa più complessa, e cioè di integrare cartografie già esistenti o di effettuarne delle nuove, adeguate agli scopi.

Il problema cioè della localizzazione è quasi sempre un problema di richiesta di cartografia, o di cartografie topografiche adeguate.

È noto che in Italia disponiamo di cartografie ufficiali I.G.M. a scala 1/100.000 (o cosiddetti « fogli della Carta d'Italia »), di carte a scala 1/50.000 (in fase di preparazione da parte dell'I.G.M.); di tavolette a scala 1/25.000 (un po' antiquate e ormai non più in fase di aggiornamento).

Esiste poi tutta la cartografia catastale, a scale maggiori, ma, purtroppo, di tipo planimetrico, in gran parte.

Oggi, quasi tutte le Regioni, stanno cercando di dotarsi di carte tecniche, a scala 1/10.000, 1/5.000 ed anche 1/2.000 e 1/1.000.

Posso dire che per diversi nostri lavori si è reso necessario ricorrere a carte a scale ancora maggiori, ad esempio 1/500, 1/200 fino ad 1/50.

Come si vede, il campo delle scale utili è veramente vasto: con l'aumentare della scala delle carte cresce ovviamente il costo unitario di produzione, ma aumenta il dettaglio delle informazioni nel contenuto della carta e la sua precisione.

Quindi, per sintetizzare, su cartografie già esistenti si possono estrarre o introdurre le informazioni desiderate; per la formazione di nuove cartografie, invece occorre stabilire dapprima il canovaccio geometrico, quindi, possibilmente,

il collegamento con cartografie ufficiali già esistenti ed effettuare infine la rappresentazione del tema voluto.

A seconda del tipo di studio che si fa e a secondo dell'estensione della zona interessata allo studio (un centro storico, un'area archeologica, una zona di scavo, un complesso di edifici o un singolo edificio, il singolo manufatto, ecc.), il problema richiede sempre soluzioni adeguate.

Nelle immagini, convenzionali e non, del tipo che abbiamo precedentemente visto, può succedere che risultino più o meno evidenti punti caratteristici del terreno; può anche succedere che a motivo essenzialmente della vegetazione (ma anche per altre ragioni), invece, non risulti visibile nulla di caratteristico (morfologia, ecc.).

Nel primo caso si può pensare che sia sufficiente rintracciare una carta, trovare la corrispondenza tra alcuni punti sulle immagini e punti sulla carta, per considerare il problema risolto: le cose non sono ovviamente così semplici, perché intanto scala delle immagini e scala della carta sono di solito ben diverse; le immagini hanno poi le solite deformazioni prospettiche e tutte le varie distorsioni dipendenti dal tipo di lenti o di sistema adoperato per la presa; se le immagini sono stereoscopiche, si può ricorrere ai procedimenti rigorosi di restituzione, analogica o analitica (per le immagini convenzionali) o a sistemi tipo Stereofacet, ecc. per raddrizzamenti approssimati.

Se ci si trova poi nel 2° caso, la corretta localizzazione diventa veramente problematica, specie se non si è in qualche modo provveduto a creare dei riferimenti. In ogni caso, non è facile trovare la corrispondenza tra immagini e canovaccio geometrico.

C'è quindi una modesta ricerca da dover fare, per cercare di risolvere questo problema (in particolare, per tipi di indagine speciale quali quelli con immagini derivanti da strumenti tipo l'AGA Termovision, utilizzati su piccole distanze).

La collaborazione con i fotointerpreti può quindi essere su base fotogrammetrica, ma anche topografica, perché anche la Topografia, in questi ultimi tempi, si è arricchita di strumentazioni modernissime e di uso molto semplice, per misure di distanze ed angoli, anche per i non specialisti.

Lasciamo però da parte gli aspetti puramente topografici: mi pare infatti che il compito postomi, sia quello di illustrare quali possono essere i contributi che in generale la Fotogrammetria può dare, nel risolvere questi problemi, oltre agli aspetti di collaborazione con fotointerpreti, archeologi, ecc.

Com'è noto, una distinzione classica della Fotogrammetria è tra « aerofotogrammetria » e « fotogrammetria terrestre ». Tra la camera trasportata da un aereo, a quota relativa non inferiore ai 300 ÷ 350 m e la camera da presa situata su di un cavalletto vincolato al terreno, c'è però tutto uno spazio il cui recupero in termini di posizioni possibili può essere interessante per molti aspetti: è così che vengono effettuati studi e prove (anche da parte del mio gruppo) per l'utilizzo di elevatori (fino ad altezza da terra sui 10 ÷ 15 m), palloni frenati e radiocomandati (per altezze da terra dai 15 ai 50 m), elicotteri (utilizzabili con quote relative da 30 m a qualche centinaio di m), ecc.

Quali le ragioni di questo interesse? La Fotogrammetria aerea è oggi utilizzata in tutto il mondo non soltanto per l'effettuazione di cartografie, ma anche

per tutti quei lavori ai quali prima accennavamo; ha enormi vantaggi quali ad esempio quello degli spostamenti rapidi, della velocità di esecuzione di serie successive e numerose di fotogrammi, ecc.

Però l'aereo, sotto una certa quota come detto (per ragioni fotogrammetriche e per ragioni di sicurezza) non può volare ed alle volte cose interessanti proprio perché con certe dimensioni e delle quali si vuole avere una certa precisione di rilievo, non possono essere ottenute; per piccole zone, si può ricorrere allora alla Fotogrammetria Terrestre, ma quando si è a terra si incontrano altri vincoli notevoli, perché ad esempio alzarsi da terra anche di pochi metri può risultare molto difficoltoso (alzarsi da terra in maniera opportuna, evidentemente): andare a portare una camera fotogrammetrica a cinque, sei metri di altezza per tutta una serie di stazioni che possono poi permettere il rilievo delle zone che ci interessano, può risultare una impresa abbastanza complicata e di lunga durata. La Fotogrammetria Terrestre, storicamente la prima ad essere realizzata, non ha in definitiva avuto il successo della Fotogrammetria Aerea e soltanto in questo ultimo decennio ha avuto una vivace ripresa di interesse e di metodi.

Questa ripresa di interesse ha, penso, le sue giustificazioni, nelle seguenti ragioni: anzitutto, per certe esigenze che devono essere soddisfatte e che non lo possono essere, se non ricorrendovi; dai progressi strumentali.

S'è reso quindi necessario risolvere il problema di svincolare le posizioni nello spazio di una camera fotogrammetrica, dal vincolo di collegamento diretto al terreno, per cercare di avere prese ottimali nelle più diverse situazioni.

Si è reso necessario disporre di opportune camere da presa e di restitutori adeguati.

Le richieste e le esigenze che sono venute e vengono dal mondo della ricerca e da quello operativo, hanno avuto come conseguenza un risveglio del settore fotogrammetrico che ha portato alla costruzione di nuove strumentazioni e quindi alla nascita di nuove metodologie più adatte o adattabili alle varie esigenze; al progresso generale della tecnica fotogrammetrica.

Mi pare di avere così impostato il discorso generale.

Ma c'è stato un invito ben preciso che mi è stato fatto ed al quale desidero dare una risposta: stiamo progettando, assieme a dei colleghi aeronautici, un aeromobile tipo dirigibile capace di sopportare una camera da presa.

Chi si interessa di queste cose, è certamente al corrente che simili sperimentazioni sono state fatte e si fanno da altri gruppi (in particolare americani); noi operiamo forse in maniera un po' diversa, perché intanto la camera che si vuole fare sopportare dal dirigibile (radiocomandato) è una camera fotogrammetrica; quindi l'aeromobile deve soddisfare a tutte quelle esigenze che la Fotogrammetria richiede.

Bisogna ricordare che oggi queste esigenze sono meno vincolanti di ieri, perché le strumentazioni di restituzione, in particolare quelle analitiche, permettono oggi di accettare valori più alti dei parametri d'orientamento (sia relativo, che assoluto): si ha quindi più libertà nell'affrontare i problemi della presa.

Sotto questo aspetto le prese da dirigibile non dovrebbero presentare grossi problemi. Ricordo però che è ancora tutto a livello di progetto e che sicuramente si avranno, in pratica, difficoltà di vario genere (problemi di sicurezza della

strumentazione, ingombri, ricupero del gas utilizzato, stazionamento, corretto assetto della camera, ecc.).

Ringrazio per la cortese attenzione.

GULLINI

Sono stati illustrati, finora, due momenti della realizzazione di un approccio sistematico al terreno: l'interpretazione e il trattamento di immagini telerilevate e la determinazione della maglia topografica per ottenere l'organizzazione geometrica e spaziale di quanto raccolto attraverso le immagini. Il problema che dobbiamo ora affrontare è quello relativo al metodo di interfacciare i due procedimenti della ricerca: immagini e maglia topografica. Si comprende bene che l'approccio sistematico, in quanto controllo sul terreno di ciò che appare nelle immagini, ha, in questa interfaccia, un momento essenziale.

I sensori termici producono immagini non convenzionali, cioè di tipo televisivo, per usare un termine più facilmente comprensibile. Essi registrano, attraverso un cristallo di telloruro di cadmio, gli impulsi dell'energia emessa dalle superfici che vengono esplorate: questi impulsi sono resi visibili su un monitor, possono essere trattati attraverso programmi di calcolo e produrre immagini opportunamente poi riproducibili anche con materiali fotografici. Nel rilievo fotogrammetrico è essenziale il formarsi dell'immagine sul piano della lastra o della pellicola fotografica, cioè la proiezione della realtà ripresa su un piano, attraverso l'obiettivo. I parametri di questa proiezione sono indispensabili per la restituzione di quanto è stato ripreso stereometricamente (cioè della parte del soggetto che appare in entrambe le lastre della coppia, derivate dai due scatti effettuati ad una certa distanza l'uno dall'altro, ma sempre sullo stesso piano).

Si tratta, dunque, di immagini assai difficili da interfacciare proprio per la loro diversa intrinseca natura. Stiamo da tempo lavorando sull'individuazione di segnali che siano caratterizzanti entrambi i tipi di immagini per poter stabilire una precisa connessione che è essenziale alla nostra ricerca.

Ma non mi soffermerò certo a parlare di questi tentativi. Vorrei invece sottolineare l'importanza di questa maglia topografica nell'indagine più propriamente storica. Essa ci consente di recuperare l'organizzazione spaziale della cultura in relazione con insediamenti o, più generalmente, con interventi dell'uomo, siano essi manufatti o trasformazioni apportate all'ambiente. Non per nulla si parla, specialmente nel mondo anglosassone, di « Spatial Archaeology », che ritiene essenziale, nella ricostruzione di una cultura, la comprensione e l'acquisizione della sua realtà tridimensionale. Abbiamo quindi più che validi motivi per impegnarci a inserire esattamente nella maglia topografica le informazioni avute dalla lettura di un territorio attraverso l'interpretazione e il trattamento di immagini multitemporali e multispettrali.

Ma dobbiamo ugualmente sottolineare l'importanza, per oggetti come le stele, di un tipo di rilevamento che consente non soltanto precisione, ma che offre anche la possibilità di costituire una semplice banca-dati relativi all'aspetto geometrico e alla collocazione nello spazio. La coppia fotogrammetrica non esaurisce la sua potenzialità di restituzione al momento in cui viene effettuata, ma consente sempre nuove

possibilità ogni volta che viene ricollocata nel restitutore: si tratta, in altri termini, di riesaminare l'originale. È quindi opportuno approfondire i problemi relativi al rilevamento di oggetti mediante la tecnica che potremmo chiamare « fotogrammetria del vicinissimo » essendo l'espressione « fotogrammetria del vicino » già usata per tutte le riprese terrestri, distinte dalla « fotogrammetria aerea » che riguarda appunto le riprese da aereo. Sono differenziazioni che il progresso della ricerca sta rendendo sempre meno nette. Prego perciò Sena di prendere ancora la parola su questo argomento.

SENA

Sulla distinzione che facevo prima, per fare una breve precisazione. Dunque dicevo che bisogna distinguere tra Fotogrammetria aerea e terrestre.

Bisognerebbe qui parlare di Fotogrammetria terrestre, però a me non piace che si dia questa etichetta al tipo di Fotogrammetria di cui adesso vorrei parlare.

Ciò mi sembra più corretto parlare di Fotogrammetria del vicino o del vicinissimo. Questo per ragioni anche storiche, perché di solito la Fotogrammetria terrestre, che ha le caratteristiche di cui abbiamo già parlato, dovrebbe rilevare oggetti che sfuggono in profondità sul piano della fotografia. In realtà la Fotogrammetria del vicino o del vicinissimo è molto più simile alla Fotogrammetria aerea, perché ci si pone quasi nelle stesse condizioni di presa che ha l'aereo quando sta sorvolando il territorio, solo che la camera da presa è molto vicina all'oggetto da rilevare e non è in movimento perché in qualche modo vincolata al suolo e quindi torniamo nel settore della terrestre; dal punto di vista concettuale sono più le somiglianze con la Fotogrammetria aerea di quelle con la Fotogrammetria terrestre.

Sarei più favorevole, in definitiva, a distinguere in 3 settori la Fotogrammetria: quella del vicino (con tutta una sua serie di problemi), la Fotogrammetria terrestre e la Fotogrammetria aerea.

Si ha la Fotogrammetria del vicino o del vicinissimo, quando la distanza tra l'oggetto da rilevare e la camera da presa è sotto certi limiti. Per esempio già sotto i 10 m noi possiamo senz'altro affermare che siamo nel campo della Fotogrammetria del vicino, e questo anche secondo quelli che sono i pareri espressi in sede di Convegni, dalla Società Internazionale di Fotogrammetria. La Fotogrammetria del vicino ha avuto uno sviluppo notevole in questi ultimi tempi, perché richiede soltanto apparecchiature speciali di presa e non di restituzione (la restituzione è identica a quella ad esempio della Fotogrammetria aerea); richiede apparecchiature di presa che siano capaci di focalizzare a distanze molto ravvicinate, proprio quelle che noi vogliamo per avere scale di un certo valore nel rilievo degli oggetti piccoli. Ora ci si può meravigliare che questo possa avvenire perché è noto che le camere fotografiche normali, anche quelle professionali, permettono anche di fotografare molto da vicino; le macchine da ripresa fotogrammetriche terrestri, in passato riuscivano invece a focalizzare da distanze che andavano da 5 m all'infinito, o da 10 m all'infinito.

Sotto queste distanze non era possibile andare (entro i valori di profondità

di campo). Oggi ci sono già case costruttrici che costruiscono camere che possono focalizzare con particolari accorgimenti sotto il metro. Una di queste camere è quella di cui disponiamo, la UMK della Carl Zeiss, che foca da circa un metro all'infinito. Vi ricordo che il problema fondamentale delle camere fotogrammetriche è che gli obiettivi non devono avere distorsioni o ad ogni modo devono dare distorsioni piccole e di andamento noto.

Ora da studi che sono stati fatti ci si accorge che nel variare la distanza principale della camera fotogrammetrica (che deve essere conosciuta al centesimo di millimetro), succede che cambia anche la curva di distorsione dell'obiettivo, cioè ci si viene a trovare in situazioni geometriche di difficile controllo. Ricordo che la Fotogrammetria si basa sulla geometria della fotografia, cioè i punti immagini sulla lastra fotografica, devono avere una giacitura corretta. Se questo non avviene, perché ad esempio l'obiettivo dà fenomeni di distorsione, noi ci veniamo a trovare con tutta una serie di punti che danno delle informazioni non corrette; la restituzione, cioè l'elaborazione di questi fotogrammi risulta non solo in queste condizioni abbastanza difficile, ma anche alle volte impossibile.

Il costruire camere che soddisfino queste condizioni è stato un problema anche abbastanza pesante dal punto di vista ottico e meccanico: adesso come si diceva esistono camere fotogrammetriche che focano a distanze molto ravvicinate. Però c'è anche il problema che le camere non devono soltanto servire per la sola fotogrammetria del vicinissimo. Anche se oggi dal punto di vista della ricerca si fa parecchio nel vicinissimo, dal punto di vista operativo mi pare non ci siano grandi programmi e quindi avere una camera che serva soltanto per il vicinissimo può essere ritenuto non un investimento, sia da un centro di ricerca che da una ditta di fotogrammetria. Allora bisogna che anche la camera per il vicino possa servire per il lontano e viceversa e questo ha complicato la progettazione di queste camere. Comunque adesso queste camere esistono e quindi possiamo lavorare sia sul vicino che non. E però il vicino, pone ancora tutta una altra serie di problemi perché è evidente che quando fotografiamo dal vicino si va su scale piuttosto grandine. Ci sono delle precisioni che bisogna conseguire elevatissime sia dal punto di vista topografico che della restituzione. Queste precisioni sono necessarie d'altra parte per l'ottenimento di quegli scopi che sono stati richiesti. E allora il problema ritorna anche sull'aspetto topografico: se la fotogrammetria deve dare i suoi risultati, ha bisogno di operazioni topografiche preliminari adeguate.

I metodi topografici, com'è noto, possono raggiungere anche precisioni molto elevate, ma purtroppo nei casi degli oggetti vicini, i metodi topografici di tipo classico non possono di solito essere adoperati perché ad esempio lo spazio a disposizione è modesto o esistono altri inconvenienti che non permettono di usare correttamente la strumentazione topografica (teodoliti, distanziometri, livelli).

Ricordo l'esempio del cavallo di S. Marco. Sarebbe risultato molto complesso creare la struttura dei punti di appoggio attorno al cavallo, per sei prospetti, con metodi topografici. Abbiamo risolto il problema creando una struttura di punti in posizioni nello spazio predeterminate e note con elevatissima precisione. Insomma, si è creata una specie di gabbia spaziale che riportava certi punti in posizioni note. Quindi il problema topografico veniva risolto a monte, con la creazione di una gabbia da sovrapporre all'oggetto che bisognava rilevare. Lo stesso sistema stiamo usando per il rilievo delle colonne di Agrigento; le colonne sono però qualcosa di

diverso dal cavallo, quindi il problema si è riproposto in termini diversi e direi più complesso (si lavora all'esterno, c'è notevole vento, ecc.). C'è ancora da dire che per il cavallo le precisioni previste erano alquanto elevate, per le colonne un po' meno, quindi anche la progettazione ha seguito strade diverse. La struttura utilizzabile per le colonne è costituita da un grosso esagono che si posiziona in alto sulla colonna e dal quale pendono un certo numero di fili che riportano un certo numero di punti, posizionati in maniera precisa, tanto quanto è richiesto dal rilievo che si vuole effettuare. Una differenza tra questi due esempi è che il cavallo è una struttura orizzontale, la stele e la colonna sono strutture verticali, quindi le operazioni di presa vengono organizzate in maniera diversa.

Desidero infine ricordare che i problemi devono essere anche risolti in maniera economica perché occorre pensare non solo all'aspetto scientifico, ma anche a non appesantire l'aspetto economico che è sempre un aspetto importante, anche nelle nostre ricerche.

GULLINI

Chiedo scusa a Sena per l'interruzione, ma ritengo che questo argomento sia di notevole importanza. Quando si rende necessaria una restituzione fotogrammetrica, colonna per colonna, a grande scala, addirittura 1:5? Vi posso dare, al proposito, un esempio: il problema della conservazione del tempio di Giunone ad Agrigento. Esso è originato sia dal degrado della calcarenite con cui il tempio è costruito, sia dai numerosi interventi di restauro che si sono succeduti, almeno dal '700 ad oggi. Questi interventi, eseguiti con perni di ferro e gesso, o cemento, hanno accelerato il processo di disfacimento della pietra, determinato soprattutto dall'evaporazione dell'umidità interna derivata da risalita o da penetrazione delle acque meteoriche, evaporazione che trasporta una parte del legante della calcarenite e che crea quindi quelle cavità che oggi alterano notevolmente la compattezza della pietra. L'evaporazione essendo impedita in corrispondenza delle parti restaurate ha accentuato i suoi effetti distruttivi sulle parti della pietra che mantenevano la loro originaria superficie. Tutto ciò ha portato alla penosa degradazione attuale. Si è deciso, un paio di anni fa, di rimuovere completamente i vecchi restauri, operazione necessaria per allontanare una causa di accelerazione e di concentrazione del degrado, ma che ha creato il grave problema dell'aspetto finale dell'edificio. Il colonnato appare oggi come una successione di stalagmiti sorgenti dallo stilobate; non si può più cogliere neppure l'originario significato geometrico dell'edificio. Per recuperare almeno quanto i vecchi restauri ci avevano, in qualche modo, trasmesso, non esiste, a mio parere, che una soluzione: tassellare le parti mancanti con la stessa calcarenite dell'edificio antico non alterando così le caratteristiche fisico-chimiche del materiale, ma recuperando l'originario aspetto geometrico. Come realizzare questa tassellatura nell'ambito dei principi fondamentali del restauro? Non ci appare rilevante, naturalmente, l'obiezione che la tassellatura verrebbe a coprire parte della pietra antica, perché ciò che sarà nascosto è il risultato del degrado, non una superficie lavorata, quindi non si incide sull'autenticità del manufatto. Il vero problema è come collocare i tasselli leggermente arretrati rispetto alle originarie superfici e

profili degli elementi architettonici, quando di questi abbiamo solo poche parti sicure per ciascun elemento. È proprio qui che vengono in aiuto il rilevamento e la restituzione fotogrammetrica, secondo i modi di cui Sena vi ha parlato. Il rilievo delle parti superstiti degli elementi architettonici, e delle colonne in particolare, ci consente di recuperare una serie di punti per ogni listello, per ogni scanalatura, determinanti la giacitura spaziale del sistema geometrico della colonna, così come fu progettata e realizzata. Una volta individuato questo sistema, un facile programma di calcolo permette di tracciarlo, nella sua logica necessaria, anche per le parti non conservate, incluse, ovviamente, tutte le correzioni ottiche che caratterizzano l'originale, colonna per colonna, con le differenze dovute alla manualità degli scalpellini. In questo modo si possono ottenere i profili di listelli e scanalature, da materializzare con sagome o lignole, per assicurare che la collocazione dei tasselli sia sempre leggermente al di sotto del profilo originario.

L'intervento nella realtà deve essere limitato a quanto è necessario per recuperare i volumi, mentre il risultato della elaborazione dei rilievi potrà tradursi in modelli in scala, validi sussidi didattici per avviare il visitatore ad una corretta lettura dell'edificio antico.

Mi sembra di aver dimostrato chiaramente, con questo esempio, quanto il rilievo fotogrammetrico possa contribuire al restauro e allo stesso approfondimento conoscitivo del manufatto.

Quando potremo offrire una agevole standardizzazione degli appoggi topografici, sarà allora disponibile, per l'archeologo sul campo, un valido e rapido metodo di documentazione e di registrazione di reperti e, in genere, di oggetti. Per la ripresa dei Cavalli di S. Marco è stata usata, al fine di appoggio topografico, una rete di fili di nailon con pallini-segnali in posizioni perfettamente note. Un sistema non dissimile è stato impiegato per le colonne di Agrigento. Una gabbia del genere potrebbe essere usata per riprendere, all'interno di essa, vasi, ad esempio.

Un altro obiettivo da raggiungere – e stiamo lavorando in questa direzione – è quello di riuscire ad impiegare per la ripresa fotogrammetrica anche camere normali, naturalmente di una certa qualità perché talune caratteristiche costruttive siano costanti, come la Hasselblad, la Linhof. Ciò appare assai importante soprattutto per oggetti in cui la restituzione in scala molto grande (da 1:2 a 1:5) comporta una ugualmente abbastanza grande scala fotogramma, in modo che le deformazioni, non calcolabili e quindi non eliminabili nel programma informatico di restituzione, risultino avere una incidenza marginale.

Vorrei rilevare, inoltre, come il rilevamento fotogrammetrico possa essere il punto di partenza di quella che chiamerei una anastilosi grafica per monumenti crollati e scomposti nei loro elementi costitutivi. Il rilievo e la restituzione di ciascuno di essi – nonché quello dell'assetto planimetrico dell'edificio – possono consentirci, con sicurezza, una volta acquisita la logica geometrica del sistema, di ricomporre l'immagine dell'aspetto originale, o quanto meno dei volumi fondamentali, se mancano dati sulla finitura dell'aspetto superficiale. Nello stesso tempo si rendono possibili preziose osservazioni sull'esecuzione dei singoli elementi, sulla manualità, quindi, dell'esecutore e sulla sua fedeltà al progetto. Si penetra in quel rapporto invenzione-esecuzione che è essenziale nella valutazione del dato architettonico.

Pensate, ad esempio, al significato che diamo, nello studio di un tempio greco, arcaico o classico, alle sagome dei capitelli. In genere queste sono astrazioni in

quanto si riferiscono a quel capitello o a quei capitelli (due o tre al massimo) che sono stati direttamente rilevati. Il rilievo fotogrammetrico consente, invece, di confrontare agevolmente tutti i capitelli superstiti e di leggere quindi l'intervento degli esecutori rispetto al modello dell'architetto. È evidente, dunque, come l'apporto della scienza matematica renda possibile un nuovo approfondimento nell'ambito più specificatamente storico e inoltre come l'ampliarsi della conoscenza storica imponga nuove analisi e quindi nuove domande alle scienze fisiche e matematiche. Si viene a stabilire così una dialettica tendente a sempre maggiori acquisizioni nell'ambito di tutte le scienze. È un processo che ho potuto constatare personalmente più volte nella direzione del Progetto Finalizzato « Scienze per la valorizzazione e conservazione del patrimonio culturale », un processo che conduce a quel recupero dell'unità della scienza a servizio dell'uomo, e non più alla logica del profitto, decisivo per il miglioramento della qualità della vita.

I risultati che Sena vi ha esposto sono il frutto di un lavoro continuo di questi anni, con sperimentazioni assai varie in Italia e all'Estero; ma esso ha soprattutto suscitato una integrazione disciplinare che si riscontra oggi anche nel settore della conservazione. Sui problemi relativi alla conservazione del materiale lapideo vi parlerà ora il prof. Piacenti.

PIACENTI

Vi devo parlare di un tema completamente diverso da quelli che sono stati trattati adesso, cioè un problema di conservazione. In modo particolare del problema della conservazione della pietra.

Questo è uno dei problemi fra quelli che riguardano la conservazione dei beni culturali, che ha maggior rilievo nel nostro paese in quanto la velocità di decadimento dei materiali lapidei non solo nelle nostre città ma in tutto il paese è grande e si è accelerata in questi ultimi tempi. È un problema quello della conservazione che finora è stato affrontato in modo principalmente empirico, senza un approccio scientifico approfondito. Solo da alcuni anni si cerca di procedere al rilevamento delle cause del fenomeno secondo quello che è l'approccio classico delle scienze naturali: il rilevamento delle cause del fenomeno seguito dallo studio del meccanismo del fenomeno stesso onde individuare quelli che saranno i sistemi di intervento. Questo tema è talmente vasto che io posso solo cercare di delinearvi la sua impostazione e quali possono essere i tipi di intervento che si possono suggerire.

Ormai è un dato appurato che il materiale lapideo si degrada per due tipi sostanzialmente diversi di cause: un tipo chimico-fisico e un tipo puramente chimico. Il tipo che indichiamo come chimico-fisico, è quello che riguarda: a) l'aggressione dovuta a variazioni di temperatura, variazioni di umidità associate a sbalzi di temperatura, quindi fenomeni di gelo e disgelo dell'acqua di cui si è imbevuto il materiale lapideo, b) fenomeni di dissoluzione del legante del materiale, spesso costituito da carbonato di calcio. Questi sono due grossi fattori che io ho elencato sotto la voce cause di tipo fisico-chimico. Poi c'è il tipo più propriamente chimico che è una aggressione vera e propria da parte degli agenti inquinanti dell'atmosfera, tra cui dobbiamo catalogare non solo composti acidi quali l'anidride solforosa ed i suoi pro-

dotti di ossidazione, formati da scarichi industriali e domestici, ma anche l'anidride carbonica che pure è un prodotto che sempre si è trovato nell'atmosfera e che è capace di sciogliere il legante di un materiale lapideo, cioè il carbonato di calcio, mediante trasformazione di questo in bicarbonato. Questi fenomeni di alterazione sono sempre avvenuti. Essi si sono accelerati in questi ultimi tempi specialmente a causa della maggiore incidenza di questo secondo tipo di cause di degrado, cioè quelle di tipo chimico.

Come sa un chimico, tutte le aggressioni di tipo chimico avvengono sempre in presenza di acqua. Quando si riesce in qualche modo ad allontanare l'acqua dall'ambiente in cui si conserva un certo oggetto, tutti i fenomeni di degrado subiscono un rallentamento molto marcato. Uno dei sistemi di intervento che possono condurre alla protezione di un materiale lapideo è pertanto quello di isolarlo in qualche modo dall'acqua, quindi dalla pioggia e al limite dall'umidità. Un oggetto che viene battuto dalla pioggia è quello più soggetto al degrado.

Queste considerazioni hanno indirizzato coloro che si occupano dei problemi di conservazione di materiali lapidei verso l'individuazione di tecniche che possono proteggere dall'acqua il materiale in questione.

Questo come si può fare? Tutti gli studi fatti finora e le sperimentazioni in vivo hanno mostrato che se si riesce a ricoverare l'oggetto, cioè a metterlo al coperto, si è fatto un gran passo avanti. Devo dire che nella situazione attuale tutti i manufatti in pietra che sono esposti all'aperto in tempi non molto lunghi sono destinati a rovinarsi in modo evidente. Quindi bisogna certamente ricorrere a sistemi protettivi di tipo appropriato. Quando dico di tipo appropriato, voglio mettere l'accento sul fatto che bisogna certamente non affidarsi a sistemi non adeguatamente studiati che molto spesso fanno più danno che bene. Mi riferisco a questo proposito a quei trattamenti che da alcuni non solo sono stati suggeriti, ma anche fatti con sostanze polimeriche organiche, con nuovi materiali non adeguatamente sperimentati. Come chimico che si occupa anche di polimeri, e che conosce questi prodotti, direi che sono materiali da trattare con grande cautela. Sono prodotti industriali fatti per fini completamente diversi dalla protezione dei monumenti e a durata relativamente limitata.

Per i normali prodotti industriali non esiste infatti un problema di durata nei termini in cui si pensa nel mondo della conservazione dei beni culturali.

Quindi direi a tutti voi che vi occupate di questi problemi, di tenere presente quando avrete a che fare con i cosiddetti trattamenti di materiali lapidei di muovervi con molta circospezione e di farvi consigliare bene, da non interessati, su quelli che sono i trattamenti da fare.

Come vi dicevo il modo migliore di proteggere è quello di ricoverare, quando è possibile, l'oggetto, toglierlo dall'azione diretta della pioggia per studiare poi la situazione ambientale.

Ho visto per esempio che qui a Manfredonia c'è una grossa raffineria. Una raffineria è inevitabilmente una sorgente di inquinamento specialmente per anidride solforosa. Questo sarà maggiore o minore: è necessario determinare la percentuale degli inquinanti, la direzione prevalente dei venti, per risalire all'incidenza di questo inquinamento nel luogo in cui si intendono conservare questi oggetti. Da una analisi della situazione si potranno ricavare dei dati sulla base dei quali sarà poi possibile programmare un intervento.

Per la misura in loco del tasso di inquinamento ci sono sistemi che io ho visto attuati in alcuni musei. Qui a Manfredonia nel caso che vi riguarda è prospettato il ricovero delle opere in ambiente confinato. In tal caso non è difficile controllare l'inquinamento dell'ambiente mediante un sistema di purificazione dell'aria. Si può controllare sia il tasso di anidride solforosa o di inquinanti che sono presenti nella stanza in cui viene conservato l'oggetto così come il tasso di umidità.

L'umidità e le sue fluttuazioni entro limiti ragionevoli non hanno peraltro importanza per la conservazione di opere di questo genere.

Spesso uno dei problemi che viene sollevato è che il materiale da conservare è tenero. Se tale materiale non viene peraltro sollecitato e non subisce attacchi degradanti da parte di inquinanti io penso che il sistema migliore per conservare queste opere sia quello di non fare niente. Cioè, condizionerei l'ambiente, ma non toccherei l'oggetto. Questa è la mia opinione.

Intervento dalla Sala

La mia è una richiesta di chiarimento in relazione alle stele della Daunia e cioè se i monumenti in pietra presentano tutti lo stesso problema di conservazione per questo genere di materiale. Però hanno anche la particolarità di avere visibilissime anche a occhio nudo tracce di colore. Ora, volevo chiedere come si possono conservare quando sono già evidenti queste tracce di colore, che sono soggette naturalmente a una maggiore degradazione. Questa può essere osservabile sulla superficie.

Nel caso in cui non siano apparentemente visibili, come possono essere individuate su questi monumenti, anche al di sotto di quelle incrostazioni superficiali che il Prof. Piacenti ha avuto modo di osservare durante la sua visita al Castello? Grazie.

PIACENTI

Ho visto che in alcuni casi invece di aversi una corrosione della superficie si aveva addirittura la formazione di depositi su questa, verosimilmente costituiti da carbonati. Probabilmente delle acque di scolo o ascendenti, ricche di carbonati sono evaporate e hanno lasciato questo deposito. Come intervenire?

Questo diventa un problema di restauro, non più di conservazione. Per un rispetto delle competenze altrui devo fare presente che io mi occupo di conservazione e non di restauro. In questo caso peraltro direi che bisogna cominciare con l'analizzare cos'è questo prodotto che si è depositato sopra la superficie. Appurare se è effettivamente un deposito calcareo o meno, e poi agire di conseguenza. Devo fare presente che quando si fa ricerca, è la ricerca stessa che suggerisce le ulteriori indagini e le soluzioni. Si deve cominciare con l'esaminare la crosta; dalla risposta dell'esame della crosta si hanno suggerimenti sul come andare avanti. Non le posso dire quali sono le vie da seguire in queste condizioni.

GRAZIOSI

Vorrei fare una brevissima digressione allontanandomi per un momento da questioni relative al materiale lapideo per affrontarne altre che ci preoccupano altrettanto, per esempio quelle relative alla conservazione di importanti monumenti d'arte preistorica: in particolare in questi ultimi anni nuove scoperte d'arte pittorica rupestre hanno polarizzato la nostra attenzione, per esempio quelle avvenute nel Salento, nella Grotta di Porto Badisco presso Otranto. Queste pitture correranno gravi rischi se non ci preoccuperemo fin d'ora della loro tutela. La conservazione delle pitture parietali preistoriche costituisce un problema che si è presentato e si presenta tutt'ora per varie altre grotte paleolitiche d'Europa: basti ricordare quelle delle grotte di Lascaux e di Altamira che hanno dovuto essere chiuse per impedire la distruzione di quelle magnifiche opere d'arte. Esse erano infatti sottoposte ad un deterioramento rapido dovuto al profondo cambiamento climatico dell'ambiente conseguenza dello sfruttamento turistico della grotta.

Dobbiamo tener presente che nel caso delle pitture preistoriche non è l'umidità causa del loro deterioramento ma in molti casi è l'opposto: bisogna che venga conservato un costante grado di umidità altrimenti il colore si secca e cade in polvere essendo stato disteso originariamente sulla superficie rocciosa senza un collante ma semplicemente mescolato con acqua o a secco.

Bisognerebbe veramente affrontare la questione anche per le grotte italiane così come hanno fatto Francesi e Spagnoli per le loro.

Quanto ci è stato detto circa la possibilità che venga attuato dal C.N.R. un programma finalizzato anche alla tutela delle manifestazioni d'arte preistorica certamente ci conforta; speriamo che tutto ciò possa avvenire con la massima celerità e sulla base di un piano organizzato in modo serio e affidato a tecnici competenti i quali si rifacciano alle recenti esperienze dei colleghi d'Oltralpe che hanno dato così felici risultati.

GULLINI

Vorrei sottolineare, in aggiunta a quanto è stato opportunamente rilevato da Franco Piacenti, nell'esame delle cause di degrado, l'importanza del microclima relativo all'oggetto in un museo o al monumento all'aperto. Sono dati che debbono essere pazientemente e scrupolosamente raccolti e registrati, perché sono quelli che determinano le condizioni ambientali responsabili o, comunque, influenti in ogni processo di trasformazione ed alterazione dei materiali.

Per lo studio e la registrazione del microclima abbiamo progettato, nell'ambito del Progetto Finalizzato, e ci auguriamo di poterla presto realizzare, una unità mobile, la cui gestione sarà affidata all'Istituto di Tecnologie applicate ai Beni Culturali del C.N.R. di Montelibretti, diretto dal Prof. Donato. Essa consentirà di effettuare le registrazioni necessarie nei momenti più opportuni e con le apparecchiature più congrue alla specificità del sito. Si potrà così parlare di approccio sistematico anche per gli interventi di conservazione, in quanto si partirà dall'accertamento delle con-

dizioni ambientali per procedere ad ulteriori osservazioni ed analisi sul materiale dell'oggetto da conservare.

Mi auguro che l'esposizione a più voci di questi due esempi di approccio sistematico sia stata abbastanza chiara per tutti; poiché abbiamo ancora un po' di tempo vorrei sollecitare domande, quesiti, obiezioni da parte di chi ci ha ascoltato.

Intervento della sala

A proposito dei materiali lapidei si è detto che il modo migliore per evitare il degrado è quello di collocare l'oggetto in un ambiente non inquinato. Ma se ci troviamo nella situazione di provvedere ad una struttura inamovibile a quali mezzi dobbiamo ricorrere?

PIACENTI

Naturalmente mi riferivo al caso specifico delle stele quando parlavo di ambiente condizionato, proprio perché mi è stato chiesto di intervenire su questo argomento in questa sede. Il problema diventa molto più difficile quando si tratta di un bene monumentale, cioè di un bene inamovibile. Ci sono varie posizioni sull'argomento. La nostra è basata sulla considerazione che facevo poc'anzi e cioè che l'aggressione di tipo chimico ed anche di tipo chimico-fisico è da collegare sempre con la presenza di acqua liquida, anche se naturalmente l'acqua vapore ha la sua influenza.

Ciò che a mio avviso bisogna fare – e mi riferisco ad una ricerca in atto nel Progetto Finalizzato – è di individuare e mettere a punto un trattamento superficiale protettivo il quale faccia sì che l'acqua, da cui vengono investiti i monumenti, scivoli su di essi senza che la superficie della pietra resti occlusa. È questa una necessità assoluta quando si debba intervenire nella protezione e conservazione del materiale lapideo esposto all'aperto, la necessità cioè che la superficie della pietra non venga completamente occlusa, ma possa respirare, risulti permeabile ai vapori d'acqua ed ai gas.

Edifici trattati con materiale che provocava la completa occlusione dei pori della pietra hanno subito, con il passare del tempo, danni gravissimi. Che cosa succede in questi casi? All'interno del materiale lapideo si trova sempre dell'acqua di origine ascensionale, cioè salente dalla base o dall'interno dell'edificio. Poiché le condizioni di temperatura fra l'interno e l'esterno dell'edificio sono diverse – in modo particolare nei periodi invernali quando all'esterno vi è una temperatura molto bassa – l'acqua muove dall'interno verso l'esterno, cioè si forma una specie di condensazione, si forma, dietro lo strato impermeabile, acqua che scioglie il legante della pietra, costituito prevalentemente da carbonato di calcio.

Con il passare del tempo l'azione di scioglimento del legante, che tiene insieme i granuli costituenti la pietra, diventa talmente marcata che la superficie cade e si ha perfino il distacco di frammenti anche non piccoli. Mentre prima dell'intervento

il degrado era costituito dal formarsi sulla superficie della pietra di una specie di strato gessoso, friabile, dopo l'intervento può avvenire addirittura la caduta di intere parti della pietra.

Quindi, a nostro avviso, è errato parlare oggi di consolidanti, perché tutti quelli che attualmente sono noti come tali, hanno appunto la caratteristica di occludere completamente i pori della superficie della pietra, non arrestando il deterioramento, ma causandone di maggiore. È un degrado che appare con il passare del tempo. Ricordo gli interventi che sono stati fatti con i fluorosilicati; questi erano ritenuti, quaranta-trenta anni fa, un toccasana; hanno invece provocato disastri. Il pulpito della chiesa di S. Maria delle Grazie a Prato è stato quasi distrutto dal trattamento fatto nel 1939 con i fluorosilicati.

Una delle caratteristiche che debbono avere le sostanze protettive che si vogliono usare, è quella di non provocare reazione con il sostrato, cioè con la pietra; esse debbono essere assolutamente inerti, dal punto di vista chimico, nei confronti del sostrato; non solo, ma il trattamento deve essere reversibile, deve cioè poter essere asportato e sostituito con altri eventuali ritrovati più recenti dimostratisi più efficaci. Ci sono delle tecniche per togliere i trattamenti effettuati: si fanno ad esempio impacchi assorbenti che permettono di estrarre anche le sostanze già penetrate nella pietra; per questo è necessario che il materiale protettivo mantenga la propria solubilità, non reagisca con il materiale lapideo e non vada soggetto a trasformazioni. Per questo è necessario che, quando si decide di intervenire a proteggere la pietra di un oggetto o di un monumento, ci si rivolga a consulenti che conoscono le reazioni dei materiali che si vogliono impiegare e non ci si basi su quello che viene affermato ed assicurato da ditte interessate soltanto, ovviamente, a vendere i propri prodotti.

Quando si affronta un problema di conservazione è necessario anzitutto studiare le cause e la dinamica dei fenomeni per rendersi conto del loro verificarsi. Quando ho parlato di acqua, non volevo affermare che l'acqua in genere sia dannosa alla pietra, ma, trattandosi di monumenti, alludevo naturalmente alla pioggia; sono le acque meteoriche che provocano danni. L'acqua in sé non fa assolutamente nulla; ad esempio a Firenze nei lavori di scavo compiuti alla Fortezza da Basso si sono trovate colonne, interrata da almeno 200 anni, in stato di conservazione perfetto, mentre altre, esposte, sono degradate. Quelle interrate sono rimaste sempre completamente bagnate; l'interramento ha costituito un vero e proprio volano termico che ha evitato sbalzi di temperatura e di umidità. Non importa infatti che l'umidità sia alta o bassa, quanto che sia costante.

Quando, prima, si parlava di pitture rupestri si è sottolineato il fenomeno della diminuzione di umidità nella caverna, con un progressivo essiccamento in conseguenza della circolazione d'aria. Ciò comporta un continuo flusso di umidità da quella che possiamo chiamare la riserva nella roccia, verso l'esterno, flusso sollecitato dal cambiamento dell'aria satura di umidità con altra più secca. È allora che si verificano gli inconvenienti più gravi, come le efflorescenze saline. Il disseccamento significa distruzione. Se si vuol conservare la grotta con le sue pareti bisogna mantenerla chiusa e non ammettere il pubblico.

Il problema è sempre quello di comprendere bene il meccanismo di un certo fenomeno ed intervenire quindi sulle cause e non soltanto sugli effetti.

Intervento dalla sala (domanda sulla conservazione del legno)

PIACENTI

Il problema si ripresenta per il legno. Lo si affronta sostituendo glicerina all'acqua che imbeve il legno: infatti quando il legno impregnato di umidità si essicca, si toglie una materia che fa da supporto alla struttura del legno stesso che non è completamente mineralizzata, anche se è andata piuttosto avanti nel processo di mineralizzazione. Bisogna quindi inserire un altro liquido che riempra gli alveoli, all'interno della struttura, che sono pieni d'acqua.

Un sistema che si è affermato nella conservazione del legno impregnato d'acqua, quando lo si debba rimuovere dall'ambiente in cui si trova ad umidità costante, è quello di sostituire gradatamente l'acqua con glicerina, etilpropilene o altri liquidi che non evaporino e che possano stazionare permanentemente nel legno senza produrre effetti secondari.

DONATO

Voglio fare il burocrate, o meglio il preciso archivista di alcuni provvedimenti che dovevano incidere, nell'attuazione, sulla ricerca scientifica. Una commissione per le « Scienze Sussidiarie dell'archeologia » fu costituita nel 1969, come una per i « Metodi di conservazione delle opere d'arte ». Due iniziative che, all'epoca erano di avanguardia e che avevano fatto nascere legittime speranze e stimolato l'impegno di specialisti di molti settori. Purtroppo i mezzi e le risorse finanziarie non sono stati adeguati alle speranze e all'indubbio interesse di questo incontro tra scienze, anche se oggi abbiamo, da un lato, l'Istituto di Tecnologie Applicate ai Beni Culturali e, dall'altro, i Centri per le cause di degrado ed i metodi di intervento nella conservazione delle opere d'arte, a Roma, a Milano e a Firenze, quello di cui è appunto Direttore il Prof. Piacenti.

C'è inoltre il Progetto Finalizzato « Scienze per la valorizzazione e la conservazione del Patrimonio Culturale » che, come tutti i progetti finalizzati, ha durata limitata: cinque anni e che speriamo, porti a risultati duraturi non solo sul piano scientifico, ma anche su quello delle strutture, come è avvenuto per i già ricordati Centri per la conservazione. I progetti finalizzati, alla loro conclusione, dovrebbero sfociare nella costituzione di organismi per mantenere viva ed operante la tensione di ricerca che hanno creato.

GULLINI

Scusate, ma la filosofia dei progetti finalizzati è diversa. Essi debbono, prima di tutto, rappresentare un richiamo di tutte le forze di ricerca operanti in un determinato settore per poter far compiere agli studi e alle loro applicazioni un deciso

salto di qualità, sulla base di una precisa domanda della collettività. È proprio il caso del Progetto Finalizzato « Scienze per il Patrimonio Culturale »: la domanda della società ha avuto una sua prima risposta ufficiale con la creazione del Ministero dei Beni Culturali ed Ambientali. Possiamo però dire che, in questo caso, la classe politica ha scavalcato non tanto gli addetti ai lavori, quanto la realtà delle strutture. Per questo l'auspicato Ministero atipico è diventato più burocratico di quelli tradizionali. La correzione non potrà avvenire attraverso nuovi articoli di legge o di regolamento, ma solo attraverso l'intervento della ricerca scientifica nella gestione del Ministero. Questa ricerca, per rispondere adeguatamente alla domanda sociale, deve integrare gli apporti dei più diversi settori disciplinari appartenenti a scienze fisiche e scienze umane, apporti richiesti dalle necessità di approfondire la conoscenza, assicurare la tutela e promuovere la piena godibilità, per la società, di tutto quanto costituisce il Patrimonio Culturale del nostro Paese.

La ricerca creerà modelli operativi che saranno assunti da Servizi, altamente qualificati per garantire l'applicazione alle esigenze quotidiane della gestione. Il Progetto Finalizzato può anche lasciare eredità di personale specializzato che costituirà il gruppo dei responsabili dei servizi e, nello stesso tempo, coloro che possono guidare ed allenare altro personale ai compiti specifici richiesti.

Accanto alle strutture del Ministero dobbiamo immaginare, oltre ai Dipartimenti universitari, strutture permanenti di ricerca del C.N.R., come il ricordato Istituto di Tecnologie applicate ai Beni Culturali (anche se la titolazione non è, sul piano epistemologico, soddisfacente), per offrire sempre nuovi ed avanzati contributi alle domande che si vanno moltiplicando in quella costante e serrata dialettica tra scienze fisiche e scienze storiche di cui parlavamo poco fa.