

TORRICELLIANA

BOLLETTINO

DELLA SOCIETÀ TORRICELLIANA DI SCIENZE E LETTERE

FAENZA



36

1985

INDICE

Scienze

- Ugo VALDRÈ, *I progressi e le applicazioni della microscopia elettronica* p. 3
- Sergio ZANGHERI, *Antiparassitari in agricoltura e razionalità del loro impiego* » 51
- Bruno MONESI, *Evoluzione della chirurgia ortopedica e traumatologica in questi ultimi 40 anni* » 61

Lettere

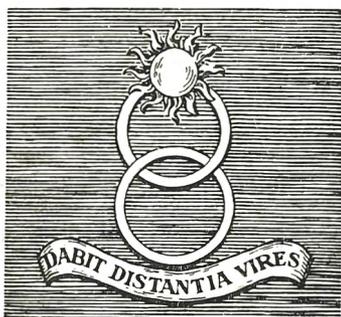
- Sante ALBERGHI, *L'apertura della Scienza in Teilhard de Chardin* » 67
- Giuseppe BERTONI, *Breve nota sulla vexata quaestio del luogo natale di Evangelista Torricelli* » 73
- Pietro MALPEZZI, *Giuseppe Ugonia e le sue litografie* » 79
- Valeria RIGHINI, *Elementi per la storia di Faventia fra il IV e il VI sec. d.C.* » 93
- Mario TABANELLI, *Alcuni tempi nella vita di Carlo Malatesta signore di Rimini* » 115

TORRICELLIANA

BOLLETTINO

DELLA SOCIETÀ TORRICELLIANA DI SCIENZE E LETTERE

FAENZA



36

1985

Stabilimento Grafico Fratelli Lega - Faenza - Luglio 1986

Direttore responsabile prof. ARMELINO VISANI, *presidente della Società Torricelliana*
Autorizzazione Tribunale Ravenna n. 720/Stampa del 16/12/82

UGO VALDRÈ

Professore Ordinario di Fisica nella Facoltà di Scienze
dell'Università di Bologna

I PROGRESSI E LE APPLICAZIONI DELLA MICROSCOPIA ELETTRONICA

1. INTRODUZIONE

Fra i vari metodi d'indagine scientifica, quelli basati sulla visione sono certamente i più affascinanti perché consentono di ottenere informazioni dirette, immediate e molteplici, e quindi convincenti. Infatti non solo forniscono informazioni spaziali e temporali sullo stato e sull'evoluzione del sistema investigato, ma consentono di passare immediatamente da immagini d'assieme ai dettagli (e viceversa) e le informazioni ricavabili possono inoltre riguardare altre grandezze fisiche quali, ad esempio, la temperatura (la cui distribuzione viene mostrata con le mappe di colore) od il numero atomico dei componenti del sistema (attraverso le mappe di elementi). Ciò spiega la preferenza a tradurre in immagini l'oggetto della ricerca e giustifica gli sforzi fatti a questo scopo ogni qualvolta se ne è intravista la possibilità. Quando l'attenzione del ricercatore è rivolta allo studio della struttura della materia fino a livello atomico, vengono utilizzati, quali strumenti d'indagine *diretta*, i microscopi; essi consentono di risolvere nel modo più semplice il cosiddetto « problema inverso », che consiste nel dedurre la forma e le proprietà dell'oggetto investigato attraverso l'analisi delle informazioni riportate da tante microscopiche sonde (fotoni della luce, elettroni, ecc.) che vengono fatte interagire con esso.

Lo scopo del presente lavoro di rassegna è di mostrare il progresso compiuto dalla microscopia, che è ormai in grado di consentire l'osservazione diretta di distribuzioni regolari di atomi nel reticolo di un cristallo ed anche (con certe limitazioni) di singoli atomi; si vuole inoltre sottolineare il fatto che lo strumento non è tutto, ma che sono di fondamentale importanza ai

fini delle informazioni ricavabili e della loro interpretazione, anche il tipo e la natura del preparato, la metodologia usata e la conoscenza delle basi teoriche del meccanismo del contrasto.

2. IL POTERE SEPARATORE

La caratteristica fondamentale, che costituisce il maggior pregio di un microscopio, è il suo potere separatore o potere risolutivo. Esso può venire definito come la più piccola distanza δ alla quale possono essere posti due oggetti (di dimensioni confrontabili con la loro distanza), tale che sia ancora possibile riconoscere con certezza i due oggetti come distinti. Sembra ovvio ritenere che tutte le strutture aventi dettagli di dimensioni uguali o maggiori del potere risolutivo siano accessibili all'osservazione. Tuttavia un adeguato potere separatore non è condizione sufficiente perché un dettaglio si riveli. Infatti la definizione semplice ed intuitiva di cui sopra non è completamente soddisfacente perché, come si vedrà in seguito, non tiene conto del meccanismo di contrasto operante nelle varie situazioni che si possono presentare. Inoltre, il potere separatore limite di uno strumento può essere sfruttato solo con preparati stabili sotto l'irraggiamento e, nel caso di osservazioni per trasparenza, con preparati sottili. Il rapporto ρ fra il potere separatore δ e la distanza L dalla quale i due oggetti vengono osservati viene chiamato risoluzione angolare: $\rho = \delta/L$. Se lo strumento usato per l'osservazione è l'occhio umano, risulta $\delta \simeq 0,1$ mm e $\rho = 0,1/250 = 0,4$ mrad. Se si usa un microscopio ottico e l'oggetto è illuminato con un fascio di luce parallela, assiale e monocromatica di lunghezza d'onda λ , allora, in base alla teoria di Abbe [1], risulta:

$$\delta = \lambda/n \cdot \text{sen}\theta, \quad (1)$$

n è l'indice di rifrazione del mezzo ove è posto l'oggetto e θ è l'angolo massimo che possono formare i raggi uscenti da un punto dell'oggetto posto sull'asse ottico con l'asse ottico stesso, affinché vengano raccolti dalla lente obiettivo (θ in pratica coincide con il semiangolo di apertura dell'obiettivo). Risulta quindi all'incirca: $\delta = \lambda$. Ne consegue che non è accessibile all'osservazione diretta mediante la luce (per la quale λ è compreso fra circa 0,4 e 0,7 μm) quella ipotetica parte del mondo microscopico al disotto di circa 0,5 μm . Presentemente non è possibile

formare immagini usando altre radiazioni elettromagnetiche di lunghezza d'onda assai inferiore a quella della luce; ciò perché tutte le sostanze note presentano praticamente lo stesso indice di rifrazione per le radiazioni X e quindi non sono atte alla costruzione di lenti convenzionali. Tentativi promettenti sono in corso per realizzare lenti di Fresnel per i raggi X mediante microlitografia.

È però possibile « vedere » l'architettura della materia, organica ed inorganica, al disotto di $0,5 \mu\text{m}$ mediante l'uso di sonde costituite da corpuscoli materiali carichi (elettroni e ioni). Ciò discende dal fatto che le particelle cariche, in particolare gli elettroni che sono di più facile produzione e più penetranti degli ioni, possono venire deviate e foccheggiate da campi elettrici e magnetici di forma ed intensità opportune; questi campi esplicano sulle cariche la stessa funzione che hanno le lenti di vetro nei confronti della luce. Si possono cioè costruire delle lenti elettromagnetiche che consentono, in particolare, di realizzare una corrispondenza biunivoca fra i componenti dell'oggetto (dai quali le particelle vengono deviate) ed i punti dell'immagine (ove le particelle vengono convogliate). Sotto opportune condizioni, valgono per l'ottica corpuscolare leggi simili a quelle dell'ottica geometrica della luce. Ciò che conta ai fini di ottenere la risoluzione dei dettagli dell'oggetto in osservazione non sono però, come si potrebbe pensare, le dimensioni delle particelle (circa 10^{-13} cm di raggio nel caso degli elettroni, cioè 100.000 volte inferiori a quelle di un atomo), bensì le loro proprietà ondulatorie, caratterizzate dalla lunghezza d'onda associata λ . Essa è data dalla relazione $\lambda = h/p$, dovuta a Louis De Broglie nel 1926, dove h è la costante di Planck e p l'impulso della particella. Nel caso degli elettroni si ha:

$$\lambda \text{ (in nm)} = 1,22639 \cdot (V + 0,97845 \cdot 10^{-6} \cdot V^2)^{-1/2} \approx 1,23/\sqrt{V}$$

dove V (in Volt) è la differenza di potenziale usata per comunicare agli elettroni l'impulso p . Se è $V = 100.000$ Volt risulta, $\lambda = 3,7$ picometri ($3,7 \cdot 10^{-10}$ cm), cioè circa 1.000 volte maggiore delle dimensioni dell'elettrone, ma ancora 100 volte minore delle dimensioni di un atomo. Va inoltre tenuto presente che le lenti elettromagnetiche costruibili sono ancora, nonostante i progressi compiuti, di qualità assai scadente rispetto a quella delle lenti in vetro per la luce; infatti non si riesce a ridurre o correggere la principale aberrazione, (quella di apertura, o aberrazione

sferica), a valori soddisfacenti. Questa incapacità di correzione obbliga in generale a diaframmare le lenti per ridurre l'aberrazione sferica, ma ciò fa crescere l'aberrazione di diffrazione. Vengono di solito usati dei diaframmi che limitano l'apertura angolare dell'obiettivo intorno a 5-20 mrad, cioè le aperture sono circa 100 volte minori di quelle delle lenti in vetro. Si può dimostrare che, sotto certe condizioni, esistono degli angoli di apertura ottimali ai quali corrisponde una risoluzione espressa da [2]:

$$\delta = c \cdot (C_s \cdot \lambda^3)^{1/4} \quad (2)$$

Risulta $c = 0,70$ per preparati sottili, o deboli oggetti di fase, (tipicamente di spessore inferiore ai 10 nm per elettroni da 100 keV), per i quali il meccanismo produttore il contrasto è legato a variazioni nella fase dell'onda elettronica, mentre è $c = 1$ per preparati spessi ove opera il contrasto di ampiezza. C_s è una costante che misura l'entità dell'aberrazione sferica; essa dipende dalla forma e dimensioni della lente e diminuisce con la distanza focale, cioè al crescere dell'eccitazione della lente (numero di Ampère · spire, o intensità del campo elettrico, a seconda del tipo di lente). I valori minori di C_s si riescono ad ottenere per le lenti magnetiche e ciò spiega l'abbandono quasi totale dell'uso di lenti elettrostatiche nella formazione di immagini. Queste lenti detengono invece il monopolio nella costruzione di sorgenti di elettroni e di ioni. Nei microscopi elettronici funzionanti a 100 kV si riescono ad ottenere valori di C_s intorno a 0,7-1 mm; in questo caso, posto $\lambda = 0,0037$ nm e $C_s = 1 \cdot 10^6$ nm nella (2), si ottiene un potere risolutivo $\delta = 0,33$ nm per deboli oggetti di fase e $\delta = 0,47$ nm per oggetti a contrasto d'ampiezza. Questi valori sono cento volte maggiori della lunghezza d'onda λ e prossimi alle dimensioni degli atomi (0,2-0,5 nm di diametro). Con queste risoluzioni si riescono a formare immagini di piani reticolari di relativamente grande spaziatura in materiali cristallini.

Per migliorare la risoluzione si è dovuta ridurre ulteriormente la lunghezza d'onda degli elettroni, cioè aumentare la tensione di accelerazione. Sono stati progressivamente costruiti microscopi operanti a tensioni massime di 200, 300, 400, 600 kV, fino ad 1 MV. Il microscopio elettronico ad alta risoluzione da 600 kV dell'Università di Cambridge (Inghilterra), la cui costruzione ha avuto inizio nel 1973 [3], mirava a raggiungere una risoluzione migliore di 0,2 nm. La lente obiettivo progettata ha

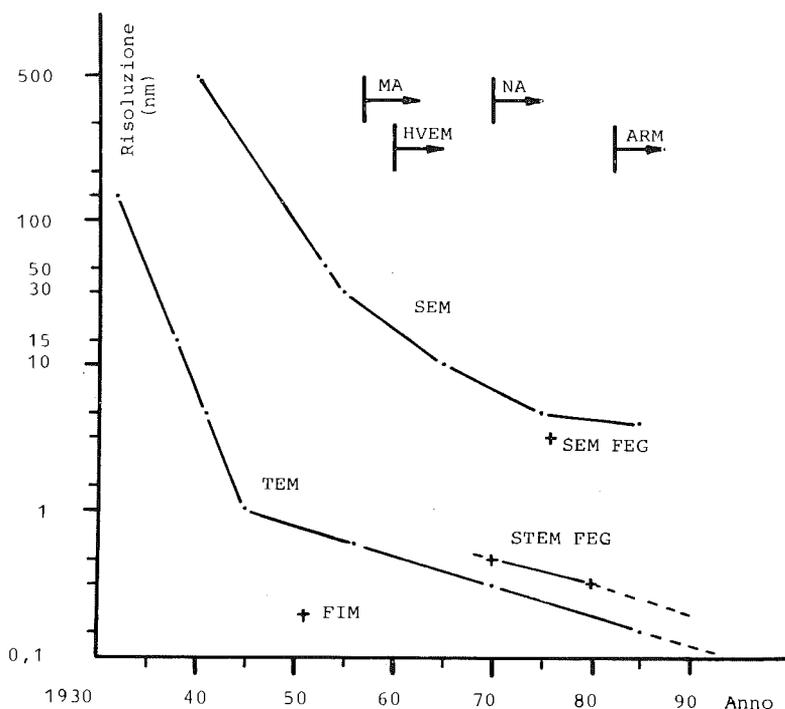


Fig. 1. Progressivo miglioramento della risoluzione limite ottenibile da TEM, SEM e STEM dal 1932, data ufficiale d'inizio della microscopia elettronica a trasmissione, ad oggi. Sono anche indicate le date di inizio della microanalisi (MA) e della nanoanalisi (NA) e le date di entrata in funzione dei microscopi ad alta tensione (HVEM) e di quelli a risoluzione atomica (ARM).

$C_s = 2,48$ mm e, in base alla (2), con $\lambda = 0,001256$ nm, il potere risolutivo teorico è $\delta = 0,18$ nm, valore che è stato raggiunto sperimentalmente tre anni fa [4]. La miglior risoluzione in assoluto finora conseguita è di 0,15 nm ed è stata ottenuta con un microscopio da 400 kV con $C_s = 1$ mm [2,5].

Questi risultati sono il frutto di un lento e continuo progresso da quando Ernst Ruska ha costruito a Berlino nel 1932 il primo microscopio elettronico che ha superato in risoluzione il microscopio ottico [6]. Questo graduale miglioramento della risoluzione può essere valutato dal grafico della figura 1. Si sono dovuti superare molteplici e notevoli problemi di natura tecnologica relativi alla stabilità dell'alta tensione di accelerazione degli elettroni, alla stabilità della corrente delle lenti, alle aberrazioni, alla preparazione e stabilità dei campioni, ecc., nonché problemi di natura teorica relativi alla comprensione dei mecca-

nismi di contrasto ed allo sviluppo delle corrispondenti metodologie di osservazione. Si è cercato di superare questi problemi e le limitazioni imposte dagli strumenti di tipo tradizionale anche con lo sviluppo di microscopi basati su principi diversi, fra i quali, ad esempio, quello della scansione.

Nel seguito verranno brevemente descritti i tipi principali di microscopi corpuscolari ed i progressi conseguiti nello studio dei preparati. Inoltre verranno forniti alcuni esempi illustrativi delle applicazioni; essi sono stati scelti fra campi diversi, sia della ricerca di base ed applicata e sia della tecnologia, nell'intento di mostrare con questo sguardo panoramico la versatilità della microscopia elettronica.

3. IL MICROSCOPIO ELETTRONICO A TRASMISSIONE

Il primo microscopio elettronico, realizzato nel 1932 [6], ricalca lo schema del microscopio ottico per trasparenza, sia per la disposizione dei componenti e sia per il fatto che il fascio di elettroni è mantenuto stazionario ed « illumina » quindi simultaneamente almeno la zona di preparato della quale viene fornita un'immagine. Esso viene chiamato microscopio elettronico a trasmissione ed indicato con l'acronimo TEM (Transmission Electron Microscope); gli strumenti moderni di questo tipo non sono concettualmente dissimili dai primi modelli.

Il moto degli elettroni deve avvenire in un ambiente relativamente privo di gas e vapori, ove la pressione ha solitamente il valore di $10^{-7} - 10^{-8}$ Pascal (Pa), cioè, circa $10^{-5} - 10^{-6}$ Torr *. Tuttavia, in certi casi, la pressione può essere di due ordini di grandezza maggiore od anche, quando la superficie del

* Nel 1966 la Conferenza Generale dei Pesi e Misure ha raccomandato ai Governi dei Paesi membri l'adozione del Pascal (Pa) quale nome speciale dell'unità derivata per la misura della pressione nel Sistema Internazionale: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N.m}^{-2}$, ed ha stabilito che le altre unità di misura di pressione siano gradualmente ritirate. In particolare l'uso del Torr ($1 \text{ Torr} = 101325/760 \text{ Pa} \approx 133,322368 \text{ Pa}$), introdotto nel passato in onore di Torricelli, è deprecato e deve essere abbandonato. La Commissione del CNR-UNJ nel 1974 ha aderito alla richiesta ed ha considerato il Torr unità non SI transitoriamente tollerata. Il Governo Italiano ha recentemente stabilito che, a partire dall'1.1.1986, il Torr sia abrogato. È doveroso in questa sede esprimere ancora una volta il rammarico per questa perdita formale del ricordo immortalante di Evangelista Torricelli nella cultura scientifica internazionale, in quanto, citando P.W. Hawkes [7]: « diventare una Unità di misura è il più alto riconoscimento che la scienza può offrire, ben maggiore di essere Membri di Accademie delle Scienze o di ricevere il Premio Nobel ».

campione debba essere esente da materiali contaminanti, di cinque ordini di grandezza più bassa.

Un TEM convenzionale è costituito, (si veda la figura 15 a pag. 43), anzitutto da una sorgente di elettroni S (di solito prodotti per effetto termoionico da un filamento portato all'incandescenza); essi vengono accelerati da una differenza di potenziale, nella maggioranza dei casi di 80-100 kV, per ridurne la lunghezza d'onda associata e per renderli più penetranti. Due o tre lenti elettromagnetiche dette condensatori (C) servono per concentrare gli elettroni sul preparato, che viene introdotto nella camera P del microscopio attraverso una chiusa d'aria. Il campione deve essere opportunamente trattato (se del caso « stabilizzato » per sottostare al vuoto del microscopio ed all'irraggiamento degli elettroni, o « colorato » con atomi pesanti perché fornisca immagini contrastate) ed in ogni caso deve avere uno spessore inferiore a circa 1 μm (comunemente da 10 a 100 volte di meno) affinché possa essere attraversato dagli elettroni. All'uscita dal campione gli elettroni attraversano i campi magnetici prodotti da un gruppo di lenti (da tre a cinque); l'obiettivo O è la lente di caratteristiche più stringenti in quanto forma la prima immagine dell'oggetto. Le altre lenti servono in generale per aumentare ulteriormente l'ingrandimento e per ottenere diagrammi di diffrazione. L'ingrandimento deve essere tale da far apparire visibili all'occhio (o da far registrare dalla grana delle emulsioni fotografiche) i dettagli risolti dall'obiettivo. La presentazione dell'immagine viene ottenuta con un sistema di rivelazione R, che converte l'immagine elettronica in una immagine visibile all'occhio; a questo scopo si usano schermi fluorescenti e lastre fotografiche. Costi a parte, è preferibile registrare l'immagine elettronicamente mediante convertitori ed elaborarla in tempo reale con minicalcolatori accoppiati in linea al microscopio. L'immagine viene allora osservata su di un visualizzatore a tubo a raggi catodici (tubo da televisore), opportunamente analizzata e contrastata; oppure il calcolatore può far eseguire al microscopio certe operazioni correttive intese a migliorarne le prestazioni.

La figura 1 indica che lo sviluppo in risoluzione ha avuto due periodi ben distinti. Il notevole progresso compiuto nei primi 13 anni è legato al miglioramento delle lenti ed alla introduzione di stigmatori; essi consentono di correggere l'aberrazione di astigmatismo basale, che è dovuta a deviazioni dalla simmetria circolare della distribuzione dei campi magnetici prodotti dalle

lenti, e di correggere l'eventuale astigmatismo introdotto dalle condizioni operative usate.

Il progresso successivo, sempre di tipo esponenziale come il primo, è stato più lento, con costante di tempo di circa 25 anni anziché di 3 anni. Ciò lascia intravedere che occorreranno circa 10 anni per raggiungere una risoluzione omniatomica di 0,1 nm. Il miglioramento della risoluzione da 0,3 a 0,15 nm è stato ottenuto, come si è visto, principalmente riducendo la lunghezza d'onda degli elettroni, cioè aumentando la tensione di accelerazione da 100 kV a 1 MV e stabilizzandola entro una parte per milione; inoltre sono stati compiuti ulteriori progressi nella qualità delle lenti e nei metodi di osservazione. Gli strumenti con risoluzione migliore di 0,2 nm sono chiamati microscopi ad alta risoluzione (HREM = High Resolution Electron Microscope) oppure microscopi a risoluzione atomica (ARM = Atomic Resolution Microscope). La risoluzione ottenuta va intesa nel piano del preparato: vengono cioè risolte, in generale, colonne di atomi viste dall'alto; la risoluzione in direzione perpendicolare al piano del campione è scarsa e corrisponde a varie decine di piani atomici.

Sono stati anche costruiti dei microscopi elettronici ad alta tensione (HVEM = High Voltage Electron Microscope), senza pretese di alta risoluzione, ma allo scopo di rendere più penetranti gli elettroni e quindi di poter osservare campioni più spessi (fino a circa 10 μm per il silicio); aumentando il rapporto volume/superficie si possono studiare proprietà tipiche dei campioni massicci. Il primo HVEM è entrato in funzione nel 1960 a Tolosa. La tensione più usata è di 1-1,5 MV, ma sono stati anche costruiti due esemplari da oltre 3 MV. Una particolare, ma importante, applicazione degli HVEM riguarda lo studio del danno prodotto nel reticolo cristallino dagli elettroni veloci del fascio in seguito all'urto con spostamento di atomi; questi studi consentono di ricavare informazioni utili per giungere alla comprensione di ciò che avviene in un reattore nucleare ove la materia è sottoposta a continuo bombardamento da parte di particelle elementari.

I principali tipi di contrasto usati in microscopia elettronica sono il contrasto d'ampiezza ed il contrasto di fase. Il contrasto d'ampiezza è stato finora di gran lunga il più usato: un diaframma con foro circolare (diaframma dell'obiettivo) esclude dal concorso alla formazione dell'immagine quegli elettroni che sono deviati dal preparato di angoli maggiori di quello sotteso dal diaframma (si vedano in figura 12 i raggi tracciati a tratto e punto).

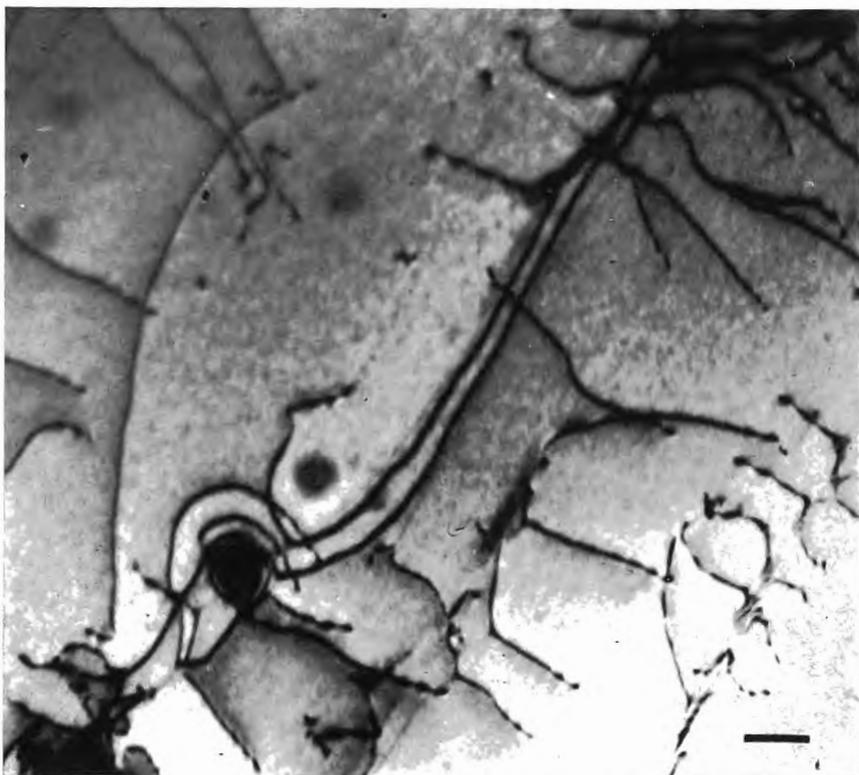


Fig. 2. Micrografia TEM di un campione di NiCr deformato per trazione ed assottigliato elettroliticamente. Le dislocazioni e le inclusioni sono visibili per contrasto di diffrazione (contrasto di ampiezza). Tensione di accelerazione del fascio: 100 kV. La barra indica 100 nm.

La loro rimozione dal fascio produce un contrasto, così come l'assorbimento di una certa quantità di luce da parte di regioni diverse di un preparato semitrasparente origina il contrasto in un microscopio ottico. Le regioni del preparato che producono queste deviazioni a relativamente grande angolo possono essere costituite o da materiale ad alto numero atomico Z , (un esempio tipico è il caso di materiale biologico colorato, cioè trattato con sostanze ad alto Z) o da regioni cristalline i cui piani sono localmente orientati in modo tale da dar luogo alla riflessione secondo Bragg (questo tipo di contrasto d'ampiezza viene giustamente denominato contrasto di diffrazione). In entrambi i casi queste regioni appariranno scure su di un fondo chiaro.

Le foto delle figure 2, 3 e 4 mostrano esempi di contrasto di diffrazione su tre campioni diversi pertinenti ad altrettanti campi

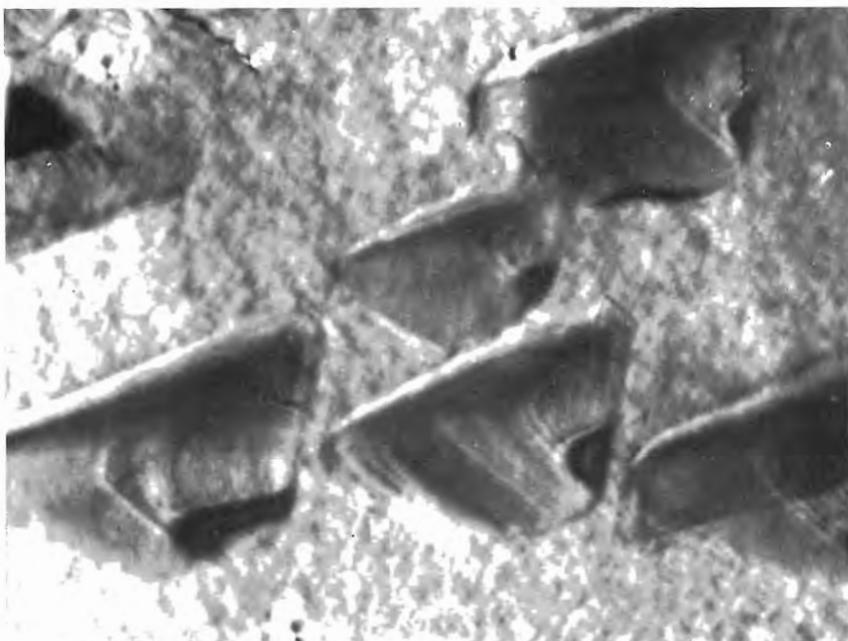


Fig. 3. Isole di Cu_2O , aventi il lato maggiore di circa 100 nm, cresciute su una faccia di orientazione (531) di un cristallo di Cu. Notare che due isole stanno coalescendo.

di ricerca ove la microscopia elettronica è uno strumento di grande potenzialità: metallurgia fisica, chimica delle superfici, energetica. La figura 2 mostra due tipi di difetti presenti in un campione di NiCr(77/20) deformato per trazione: dislocazioni e particelle d'impurezze. Le dislocazioni (linee scure) sono visibili perché producono una distorsione nei piani reticolari limitrofi, mentre le particelle appaiono scure o per ragioni di orientazione, o di spessore, o di alto numero atomico. Dalla foto si evince che durante la deformazione una particella ha funzionato da sorgente di dislocazioni, e che queste hanno poi interagito con gli accumuli e le reti di dislocazioni già presenti od introdotte dalla deformazione stessa. Studi di questo tipo hanno fornito una conferma diretta dell'esistenza delle dislocazioni, previste teoricamente, ed hanno consentito di chiarire molti meccanismi che regolano le proprietà meccaniche dei materiali.

La figura 3 proviene da lavori intesi a chiarire i fenomeni di ossidazione superficiale. In essi, campioni sottili di rame, aventi una superficie preventivamente pulita in ultra alto vuoto, sono stati esposti all'attacco da parte dell'ossigeno ed osservati al

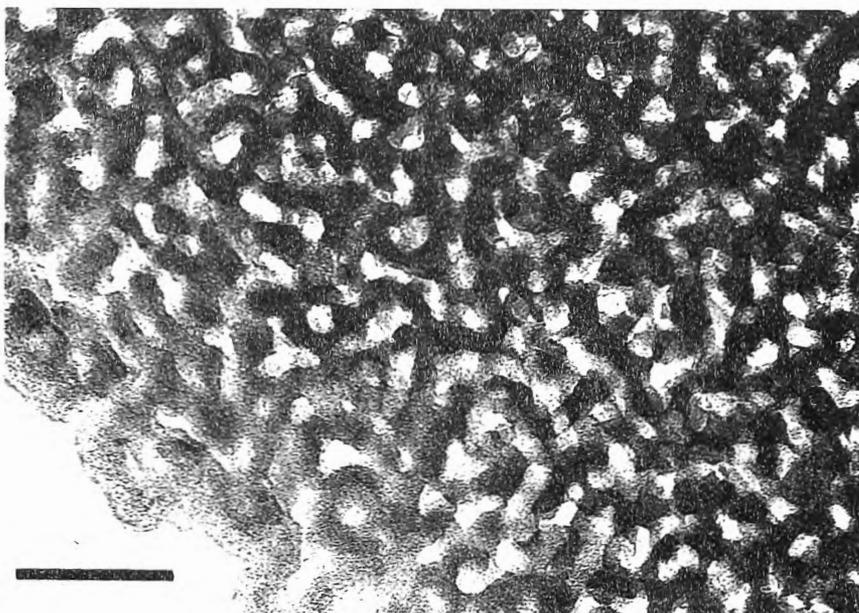


Fig. 4. Micrografia di un rivestimento antiriflettente, in vetro di borosilicato di sodio, contenente una microstruttura composta di due fasi sovrapposte. La barra indica 100 nm.

microscopio elettronico. Gli studi hanno messo in evidenza, fra l'altro, che il passaggio dell'ossigeno nel rame è favorito da superfici ad alto indice cristallografico; ciò produce dapprima dei nuclei di Cu_2O , da dove l'ossidazione procede con la formazione di isole di ossido, i cui piani interfacciali sono sempre gli $\{110\}$. La coalescenza delle isole dà poi origine ad un film sottile e continuo di ossido.

Il terzo esempio è connesso con lo studio dei fattori che determinano la riflettività dei vetri. A parte l'ovvia importanza pratica che queste ricerche hanno per le vetrate in genere, esse rivestono interesse più specificatamente negli impianti di sfruttamento dell'energia solare mediante piatti di dispositivi a semiconduttore. Infatti, per aumentare la raccolta dell'energia solare occorre che essa giunga sulle celle solari in massima quantità e ciò si ottiene con l'uso di rivestimenti antiriflettenti. Nel caso dell'esempio di figura 4, la riflettività è stata ridotta di un fattore 10, dal 4% al 0,4% sull'intero spettro visibile. L'effetto è stato attribuito alla formazione di una struttura a due fasi prodotta da trattamento termico.

È tuttavia nel campo della biologia e della medicina che il

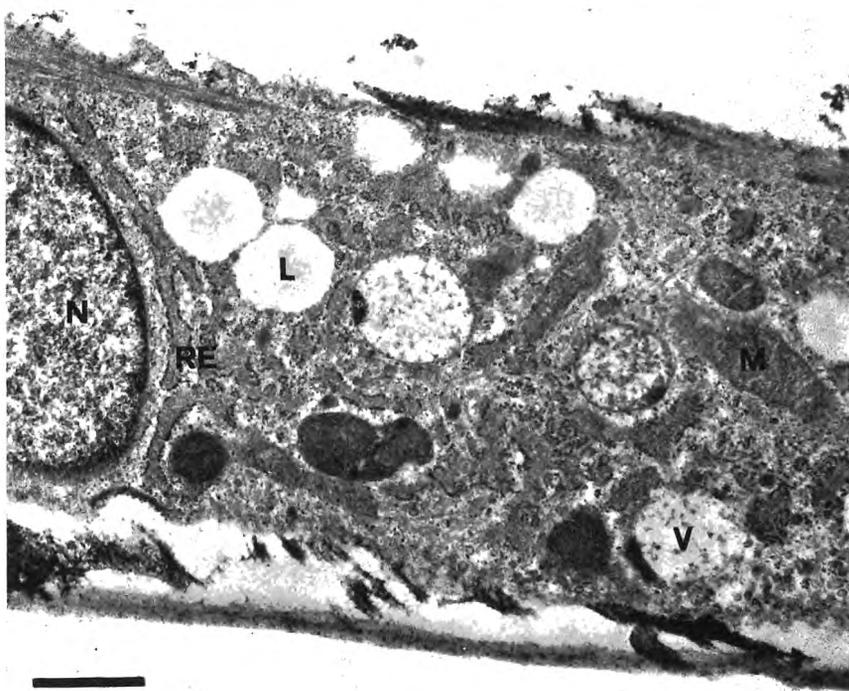


Fig. 5. Parte di una cellula coltivata in vitro. Si tratta di un fibroblasto isolato dal derma di una paziente affetta da una malattia genetica (pseudoxanthoma elasticum) che interessa il sistema elastico. Sono visibili il nucleo N, mitocondri M, vacuoli citoplasmatici V, globuli lipidici L, tubuli del reticolo endoplasmico RE e numerosi ribosomi riuniti a catena (polisomi) o attaccati al reticolo endoplasmico. Questi polisomi risultano in media molto più abbondanti che nelle cellule prelevate da persone sane. Il fissaggio del materiale è stato eseguito con acido osmico e glutaraldeide; il contrasto è stato ottenuto per colorazione con acetato di uranile, citrato di piombo ed acido tannico. L'inclusione è stata fatta in resina epon e lo spessore della fettina è di circa 30 nm. Tensione: 80 kV. La barra indica 1 μ m.

microscopio elettronico ha fornito un immenso contributo nello studio morfologico, strutturale e funzionale della materia vivente, non altrimenti ottenibile. Non è qui pensabile di poter descrivere neanche per cenni questo contributo e le micrografie delle figure 5 e 6 hanno il solo scopo di illustrare come appaiono le immagini di materiale biologico a colorazione positiva e negativa. In entrambe il meccanismo di contrasto è quello d'ampiezza, che viene prodotto aumentando la diffusione elastica in certe regioni mediante l'uso di atomi pesanti. La colorazione positiva di figura 5 è stata ottenuta facendo reagire il preparato con una soluzione di sali di metalli pesanti (Os, Pb, U, W, ecc.) che, in generale, non presentano spiccata specificità chimica; questo tipo di colorazione viene usato con materiale tagliato a fettine. Il

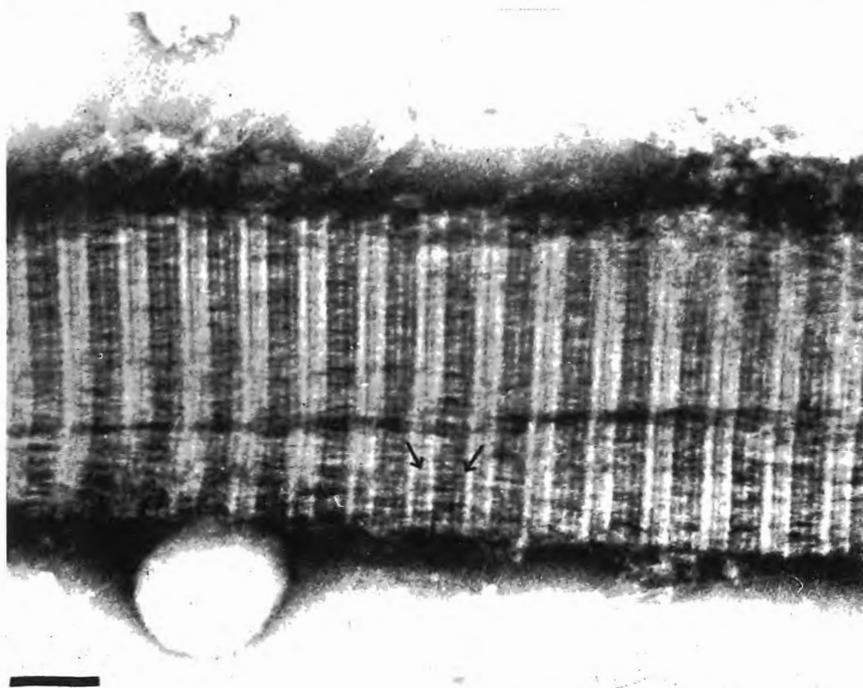


Fig. 6. Fibrille collagene, isolate da tendine di ratto, colorate negativamente con acido fosfotungstico e sostenute da un film di carbonio. Oltre ai periodi e sottoperiodi tipici della bandatura trasversale delle fibrille, visibili solo al microscopio elettronico, nell'immagine sono osservabili i singoli filamenti costituenti la fibrilla (treccia). Tali microfilamenti sono l'espressione della aggregazione di poche molecole di collagene. Tensione 80 kV. La barra indica 100 nm.

contrasto di figura 6 è di tipo negativo in quanto i sali di metalli pesanti vengono usati per riempire spazi vuoti o per circoscrivere la struttura; esso è adatto per materiale particolato e/o contenente delle cavità. I mitocondri e le fibre muscolari, osservati da G.B. Amici verso la metà del secolo scorso al microscopio ottico come corpi rotondeggianti e filamenti con risoluzioni intorno al μm , hanno rivelato la loro struttura e funzione al microscopio elettronico; nuovi componenti cellulari sono stati scoperti, come il reticolo endoplasmico ed i ribosomi.

La microscopia elettronica applicata alle scienze della vita ha spinto le sue frontiere verso i problemi della biologia molecolare, ove consente di determinare la struttura di molecole e di cristalli organici. Fra i pionieri di questo campo è Aaron Klug, premio Nobel per la Chimica nel 1982, il quale, mediante l'uso di immagini corrispondenti a proiezioni dello stesso oggetto in diverse

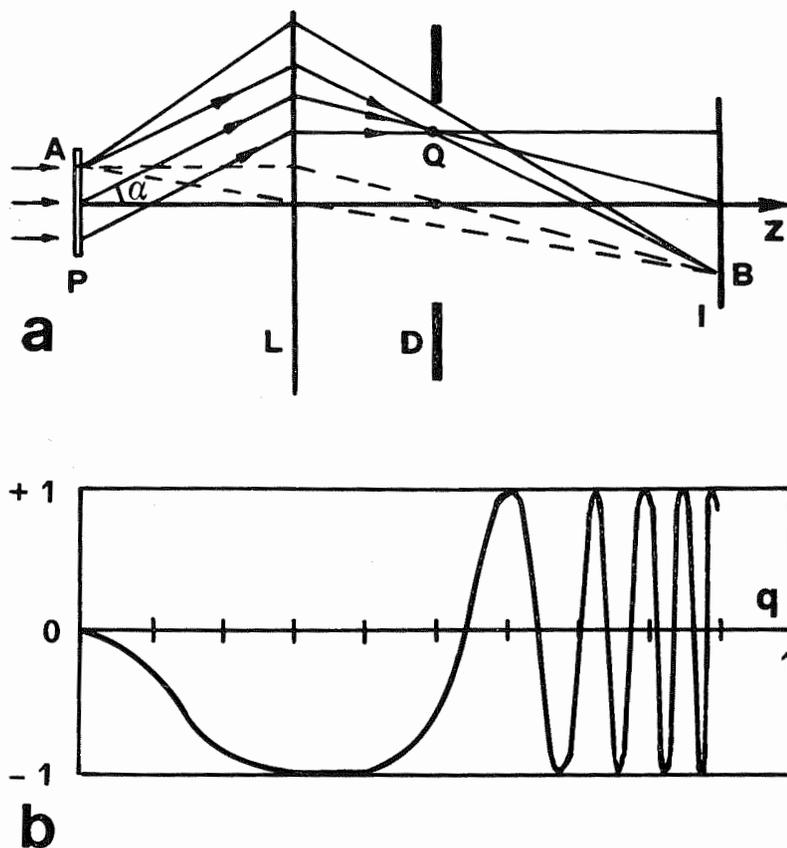


Fig. 7. a. Illustrazione del meccanismo di formazione dell'immagine secondo Abbe. b. La funzione di trasferimento del contrasto $\sin[2\pi k.W(q)]$ è rappresentata in funzione della frequenza spaziale q .

orientazioni rispetto al fascio, è riuscito a determinare la struttura di certi virus e di complesse molecole organiche.

Negli ultimi 15 anni è stato compiuto un notevole progresso nella comprensione del meccanismo di formazione delle immagini ad alta risoluzione e del loro contrasto. Ciò può essere descritto utilizzando i concetti della teoria del trasporto dell'informazione [8], vale a dire, concependo ed usando il microscopio come un sistema di trasmissione lineare fra il segnale in ingresso ed il segnale in uscita.

Seguendo lo schema della figura 7a, si supponga che un'onda elettronica piana, coerente e monocromatica di numero d'onda $k = 1/\lambda$, incida sul campione P lungo la direzione z dell'asse ottico della lente obiettivo L. Essa può essere descritta dalla fun-

zione d'onda $\psi = \exp[2\pi ikz]$, ove si è tralasciata la parte temporale, perché comune a tutte le formule che seguono e si è normalizzata l'ampiezza ad 1. Il suo modulo al quadrato è proporzionale alla grandezza misurabile densità di corrente $J(\mathbf{r}_o)$. L'interazione fra gli elettroni ed il preparato (fenomeno della diffrazione o diffusione) modifica la ψ alterandone in generale l'ampiezza e la fase, per cui il segnale S_o emergente dalla superficie di fondo del preparato si scriverà:

$$S_o(\mathbf{r}_o) = a(\mathbf{r}_o) \cdot \exp[i\eta(\mathbf{r}_o)] \cdot \exp(2\pi ikz) \quad (3)$$

dove $a(\mathbf{r}_o)$ è il fattore d'ampiezza ed $\eta(\mathbf{r}_o)$ quello di fase. \mathbf{r}_o è un vettore che definisce i punti del piano oggetto (x_o, y_o) ove l'interazione ha avuto luogo.

Nell'ipotesi che il preparato non sia assorbente (ed è il caso di preparati sottili per microscopia ad alta risoluzione), risulta $a(\mathbf{r}_o) \approx 1$ e l'interazione crea solo una distorsione del fronte d'onda, cioè la variazione di fase $\eta(\mathbf{r}_o)$. Essa è dovuta a variazioni locali del potenziale elettrostatico in corrispondenza degli atomi e fra gli atomi. Per deboli oggetti di fase [cioè per $\eta(\mathbf{r}_o) \ll 1$ per tutti i punti \mathbf{r}_o], risulta:

$$\eta(\mathbf{r}_o) = (2\pi e/hv) \int \phi(x_o, y_o, z) dz$$

dove l'integrale è esteso allo spessore dell'oggetto, v ed e sono la velocità e la carica degli elettroni, e ϕ è la proiezione del potenziale del preparato nel piano (x_o, y_o). In base alla teoria di Abbe, l'onda distorta e diffratta dall'oggetto nell'attraversare la lente L viene rifratta, in modo tale che i raggi provenienti dai diversi punti dell'oggetto ed incidenti sulla lente con uguale direzione (ad esempio α) si riuniscono in uno stesso punto Q del piano focale posteriore della lente ove si trova il diaframma D . La figura d'interferenza che qui si forma (diagramma di diffrazione) stabilisce una corrispondenza fra ciascuna direzione nello spazio-oggetto ed un punto del piano focale (piano di diffrazione); la distribuzione dell'intensità ivi ottenuta dipende ovviamente dalle relazioni di fase fra le onde interferenti.

All'effetto del preparato occorre anche aggiungere lo slittamento di fase geometrico, causato dal diverso cammino ottico compiuto dai vari raggi paralleli uscenti da punti diversi del preparato e convergenti in un dato punto. L'inclusione di questo effetto porta ad una distribuzione dell'intensità nel piano di dif-

frazione che è fornita dalla trasformata di Fourier della funzione d'onda uscente dal preparato. È conveniente descrivere lo sfasamento geometrico introducendo un vettore \mathbf{q} , che fornisce le coordinate nel piano di diffrazione ed il cui modulo è dato, per piccoli angoli α , da $q = k\alpha = \alpha/\lambda$. Se il preparato contiene una struttura periodica di passo d , per la legge di Bragg a piccoli angoli è: $d \cdot \alpha = \lambda$, quindi $q (= 1/d)$ può essere interpretato come una frequenza spaziale, in analogia al caso temporale, essendo il reciproco di una lunghezza. La trasformata di Fourier $s_o(\mathbf{q})$ della (3), con $a(\mathbf{r}_o) = 1$, fornisce il cosiddetto spettro dello slittamento di fase, o spettro di frequenze spaziali q in ingresso al sistema di trasmissione:

$$\begin{aligned} s_o(\mathbf{q}) &= \int S_o(\mathbf{r}_o) \cdot \exp(2\pi i \mathbf{q} \cdot \mathbf{r}_o) d\mathbf{r}_o = \\ &= \int \exp[i\eta(\mathbf{r}_o)] \cdot \exp(2\pi i k z) \cdot \exp(2\pi i \mathbf{q} \cdot \mathbf{r}_o) d\mathbf{r}_o \end{aligned} \quad (4)$$

dove l'integrale va esteso agli elementi di superficie del piano-oggetto.

Il diagramma di diffrazione espresso dalla (4) presuppone l'uso di una lente perfetta; in pratica le lenti sono affette da aberrazioni (sferica, di astigmatismo, cromatica) e può anche accadere che vi sia un errore Δz nella messa a fuoco. In tal caso Δz è la distanza fra la superficie del preparato da dove emergono gli elettroni ed il piano nello spazio-oggetto coniugato con quello immagine I (piano di registrazione). Δz è considerato positivo (e l'immagine viene detta « in sottofuoco ») quando il piano coniugato si trova fra l'oggetto e la lente; un'immagine con Δz negativo è detta « in soprafuoco ». I difetti di cui sopra danno luogo ad un ulteriore sfasamento $W(\mathbf{q})$. Inoltre vanno considerate la forma e le dimensioni del diaframma dell'obiettivo, in quanto discriminano le frequenze spaziali ammesse. Si tiene conto di questi effetti introducendo una funzione moltiplicativa di $s_o(\mathbf{r}_o)$, che descrive le caratteristiche operative dello strumento, chiamata funzione di trasferimento $T(\mathbf{q})$:

$$T(\mathbf{q}) = [1/M] \cdot B(\mathbf{q}) \cdot \exp[-2\pi i k \cdot W(\mathbf{q})] \quad (5)$$

M è l'ingrandimento della lente (tiene conto che l'intensità dell'immagine deve variare in ragione inversa ad M^2 , perché gli elettroni sono distribuiti su un'area M^2 maggiore di quella di provenienza del preparato). $B(\mathbf{q})$ è la funzione di mascheratura e descrive le variazioni nell'ampiezza dell'onda a causa di una certa

perdita di elettroni, perché intercettati dal diaframma. È $B(\mathbf{q}) = 1$ per i punti del foro del diaframma, cioè per $q < q_{\max}$, dove q_{\max} è la massima frequenza spaziale corrispondente al massimo angolo di diffusione $\alpha = \theta$ ammesso dal diaframma, mentre è $B(\mathbf{q}) = 0$ altrove. $W(\mathbf{q})$ descrive l'aberrazione dell'onda, cioè lo sfasamento del fronte d'onda reale da quello sferico, (convergente nel punto immagine), che si avrebbe in assenza di difetti.

Infine, per ottenere l'ampiezza dell'onda nel piano-immagini (x_i, y_i) , o il segnale in uscita $S_i(\mathbf{r}_i)$, bisogna imporre che i raggi uscenti dal piano di diffrazione interferiscano nel piano-immagini. Di nuovo occorre considerare le differenze fra i cammini ottici percorsi dai fasci di raggi che, partendo dalla lente, convergono nei vari punti \mathbf{r}_i del piano-immagine. Ciò porta a scrivere una trasformata inversa di Fourier:

$$S_i(\mathbf{r}_i) = \int T(\mathbf{q}) \cdot s_o(\mathbf{q}) \cdot \exp[-2\pi i \mathbf{q} \cdot \mathbf{r}_i] d\mathbf{q} \quad (6)$$

l'integrale essendo esteso agli elementi della superficie del piano di diffrazione.

Putroppo $|S_i(\mathbf{r}_i)|^2$, che è una quantità misurabile in quanto proporzionale alla densità di corrente in uscita, non è linearmente legata a nessuna proprietà dell'oggetto. Tuttavia, se si considerano dei deboli oggetti di fase ($\eta \ll 1$), per i quali si possa scrivere $\exp[i\eta(\mathbf{r}_o)] \approx 1 + i \cdot \eta(\mathbf{r}_o)$, si può dimostrare che il contrasto dell'immagine è in prima approssimazione una funzione lineare del cambiamento di fase η indotto dal preparato.

Il contrasto C in una immagine in campo chiaro ($B(\mathbf{q}) = 1$) può venir definito come la differenza fra le densità di corrente nell'immagine e nel fondo, rapportata alla densità di corrente del fondo. Si ha, in prima approssimazione e nel caso di una lente ed un diaframma simmetrici:

$$C = 2 \int A(\mathbf{q}) K(\mathbf{q}) \exp[-2\pi i \mathbf{q} \cdot \mathbf{r}_i/M] d\mathbf{q} \quad (7)$$

dove è:

$$A(\mathbf{q}) = \int \eta(\mathbf{r}_o) \cdot \exp[2\pi i \mathbf{q} \cdot \mathbf{r}_o] d\mathbf{r}_o \quad (8)$$

e:

$$K(\mathbf{q}) = \sin[2\pi k W(\mathbf{q})] \quad (9)$$

La (7) esprime una relazione lineare fra il contrasto (reale) e lo slittamento di fase reale $\eta(\mathbf{r}_o)$ che descrive le proprietà dell'oggetto. L'equazione (8) è la trasformata di Fourier dello slittamento di fase η ; la (9) è chiamata funzione di trasferimento del contrasto (CTF = Contrast Transfer Function).

Si può mostrare [9] che, in presenza di sola aberrazione sferica e di un errore di messa a fuoco, la funzione W ha la seguente espressione:

$$W = (1/4) [C_s \cdot \lambda^4 \cdot q^4 - 2 \cdot \Delta z \cdot \lambda^2 \cdot q^2]$$

oppure, quando venga scritta introducendo l'angolo di diffusione α :

$$W = (1/4) \cdot [C_s \cdot \alpha^4 - 2\Delta z \cdot \alpha^2] \quad (10)$$

La funzione di trasferimento del contrasto $\sin(2\pi k W)$ è, in questo caso, una funzione oscillante fra $+1$ e -1 al variare di $q = 1/d = \alpha/\lambda$ e presenta di solito un largo massimo (o minimo), come schematicamente mostrato dalla figura 7b. La CTF ha il primo zero per $d = 0,70 \cdot C_s \cdot \lambda^3)^{1/4}$, e questo valore può venire assunto ad indicare la risoluzione (si veda l'equazione 2), dopo di che le oscillazioni diventano molto rapide. Il massimo contrasto nell'immagine si ottiene ovviamente quando la (9) assume i valori ± 1 ; il contrasto inverte alternativamente il segno, passando da positivo (chiaro) a negativo (scuro).

In conclusione, gli effetti di C_s e di Δz si combinano per introdurre uno spostamento di fase fra punto e punto del fronte d'onda convergente nel punto-immagine; questo sfasamento si combina con quello prodotto dalla struttura del preparato. Per dati valori di C_s e Δz il microscopio riproduce fedelmente dettagli dell'oggetto in un certo intervallo di dimensioni e distorce gli altri in vario modo, eliminando o fortemente attenuando certi od invertendo il contrasto di altri. Agendo su Δz , (cioè variando l'eccitazione della lente obiettivo, oppure variando il livello del preparato), si può, entro certi limiti, variare l'azione di filtraggio del microscopio e quindi riprodurre fedelmente i dettagli contenuti in un certo intervallo di valori. In prossimità del valore $(C_s \cdot \lambda^3)^{1/4}$ l'interpretazione dei dettagli diventa difficile e conclusioni attendibili si possono trarre dall'immagine solo se le condizioni operative del microscopio sono accuratamente note.

Altri effetti che complicano e riducono il contrasto sono prodotti dall'aberrazione cromatica, dall'astigmatismo e dalla coerenza solo parziale della sorgente, che in pratica non può essere puntiforme. In particolare, si ha uno smorzamento dell'ampiezza di oscillazione della CTF a causa delle dimensioni finite della sorgente (a cui corrisponde un angolo d'illuminazione finito) e della sua non monocromaticità, a cui vanno abbinata le fluttuazioni nella tensione di accelerazione e nella corrente delle lenti (questi effetti contribuiscono a variare la distanza focale della lente e quindi a produrre uno sfuocamento Δz).

Le precauzioni da prendere nell'uso del contrasto di fase ad alta risoluzione sono diverse: 1. Affinché un'immagine sia direttamente interpretabile con l'approssimazione della semplice proiezione del potenziale $\phi(x_0, y_0)$, occorre che il preparato (cristallino) sia orientato con un asse principale nella direzione del fascio; solo allora le colonne di atomi appariranno scure ed i canali fra gli atomi chiari. 2. Il preparato deve essere molto sottile (circa 8 nm a 200 kV per Z medi) e preferibilmente di spessore costante. 3. Il diaframma dell'obiettivo deve lasciar passare solo quei fasci diffratti che corrispondono a distanze accessibili alla risoluzione del microscopio, cioè l'apertura angolare dell'obiettivo deve corrispondere al primo zero della CTF. 4. Il fascio deve viaggiare lungo l'asse ottico dell'obiettivo del microscopio. Se queste condizioni non sono soddisfatte, allora le immagini possono essere interpretate con confidenza solo mediante calcoli dettagliati e complicati. Questa elaborazione considera l'oggetto suddiviso in tante fette sottili perpendicolari al fascio e viene calcolata l'intensità dei fasci diffratti, sulla base di un modello della struttura ed usando l'appropriata CTF, a mano a mano che gli elettroni attraversano strati successivi. Queste immagini calcolate vengono confrontate con le immagini sperimentali fino a trovare il modello che fornisce un accordo soddisfacente.

La figura 8 mostra la struttura atomica di un preparato cuneiforme di MgO ottenuta con un microscopio a risoluzione atomica da 400 kV. La distanza fra le file di atomi di ossigeno e di magnesio è di soli 0,149 nm. Si noti che il contrasto è invertito, cioè gli atomi appaiono chiari.

È stato possibile osservare anche atomi singoli di elementi pesanti usando il metodo del campo scuro. Esso consente di aumentare il contrasto dell'oggetto osservato, e di rivelare la presenza di oggetti di dimensioni inferiori al potere risolutivo. Il problema è analogo a quello ottico dell'osservazione delle stelle,

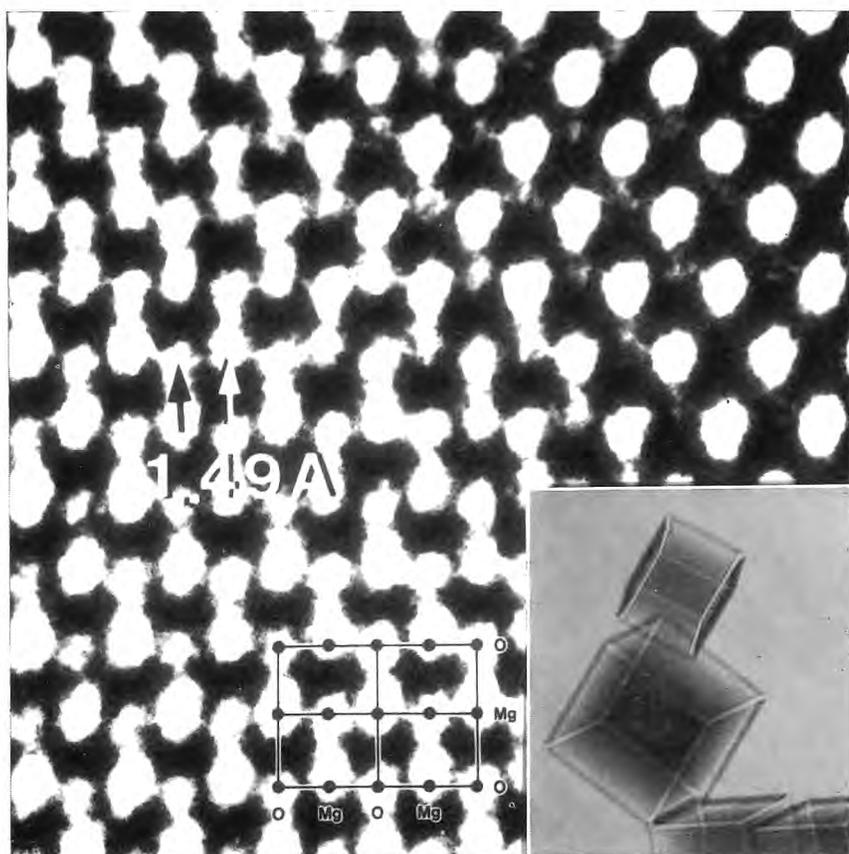


Fig. 8. Immagine ad alta risoluzione di un cristallo di MgO, di spessore variabile, in orientazione 110. A destra sono visibili solo atomi di ossigeno. Immagine ottenuta col microscopio a risoluzione atomica da 400 kV, con una sfuocatura di 70,1 nm e divergenza del fascio di $1 \cdot 10^{-3}$ rad. L'insero mostra, a basso ingrandimento, cristalli cubici di MgO dei quali, il più piccolo, ha uno spigolo di 70 nm.

che risultano ben visibili di notte quando è assente la luce di fondo prodotta dal sole (o dalla luna). Per rendersi conto della difficoltà del problema, si pensi che per osservare con l'occhio nudo un singolo atomo del diametro di 0,25 nm occorrerebbe una acuità visiva (risoluzione angolare) $\rho = 1 \cdot 10^{-9}$ rad, (per confronto, la risoluzione dei telescopi terrestri è limitata a circa $5 \cdot 10^{-6}$ rad, non sufficienti per osservare la superficie di Plutone), e che sarebbe come voler osservare dalla Torre dell'Orologio di Faenza una sferetta di vetro trasparente ed incolore del diametro di 1/20 mm posta sulla Torre degli Asinelli di Bologna.

Il campione di MgO dell'esempio sopra riportato è partico-

larmente stabile, come in generale tutti i campioni di tipo inorganico. Tuttavia, nel caso dell'osservazione ad alta risoluzione di materiale organico e biologico cristallino (paraffina, l-valina, adenosina, nailon, ecc.) il fascio produce un danno irreversibile attraverso una serie di processi (eccitazione di molecole, o ionizzazione, o eccitazioni molecolari collettive) che portano dapprima alla rottura dei legami chimici, poi alla perdita di cristallinità e di materiale. Ciò rende difficile, ed in certi casi impossibile, l'osservazione dei campioni ad alta risoluzione. A titolo di esempio, la dose richiesta per produrre la distruzione completa a temperatura ambiente degli aminoacidi alifatici irradiati con elettroni da 100 keV è di circa $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ C.cm}^{-2}$, ($1 \text{ Coulomb.cm}^{-2}$ equivale a circa 50.000 elettroni per nm^2), mentre nel caso dei complessi aromatici è da 10 a 100 volte maggiore. Per esporre una emulsione fotografica a una densità 1 con ingrandimento di 100.000 diametri, necessario per risoluzioni intorno al nm, occorrono dosi di 0,1-1 C.cm^{-2} , cioè ben superiori a quelle letali degli aminoacidi e confrontabili con quelle delle catene aromatiche.

Sono stati escogitati vari accorgimenti, ed altri sono in fase di sperimentazione, per ridurre il danno da irraggiamento (non sembra sia possibile eliminarlo se non, forse, in qualche caso). Alcuni sono di tipo strumentale (quale l'uso di alte tensioni o di tensioni molto basse, l'ultra alto vuoto, il raffreddamento del campione, le tecniche per ridurre l'esposizione del preparato al solo tempo necessario per le riprese fotografiche, l'alta efficienza nella raccolta dei dati, l'uso di STEM ad alta tensione, ecc.), altri sono di tipo preparativo (quali i rivestimenti conduttori, la colorazione negativa, l'inclusione, la sostituzione di elementi, i preparati sottili, la riduzione delle superfici libere interne, l'uso di particolari orientazioni del preparato, ecc.). La grande varietà dei metodi proposti sottolinea la difficoltà del problema ed indica che nessun rimedio è finora risultato veramente efficace. È tuttavia confortante la recente notizia [10] che è stato possibile osservare cristalli monolamellari di paraffina ($n\text{-C}_{44}\text{H}_{90}$), dello spessore di 5,77 nm e mantenuti ad una temperatura inferiore a 15 K, con una risoluzione reticolare di 0,25 nm. Le osservazioni hanno avuto luogo in un prototipo di microscopio TEM operante a 100 kV, dotato di lenti superconduttrici, ove l'ambiente attorno al preparato è alla temperatura dell'elio liquido (4,2 K).

4. IL MICROSCOPIO ELETTRONICO A SCANSIONE

Questo strumento trae origine dall'interesse ad osservare superfici con una risoluzione migliore di quella dei microscopi ottici. Prima del suo sviluppo sono stati costruiti dei microscopi elettronici a riflessione basati sul principio di funzionamento del fascio stazionario; essi però, a differenza dei microscopi ottici a riflessione che funzionano altrettanto bene in trasparenza, soffrono di vari inconvenienti: scarsa risoluzione, preparato sottoposto a campi elettrici, limitata flessibilità, ecc. I microscopi a riflessione sono ancora usati, ma solo per usi particolari. Un nuovo principio di formazione delle immagini è stato allora escogitato: quello della formazione sequenziale per punti mediante un fascio mobile, invece della formazione simultanea con fascio stazionario.

In un microscopio elettronico a scansione (SEM = Scanning Electron Microscope) un fascio di elettroni viene foccheggiato su di una piccola area del preparato e fatto scorrere su di esso secondo linee parallele ravvicinate, come avviene per il pennello elettronico di un tubo televisivo. L'impatto del fascio col preparato dà luogo all'uscita di elettroni (secondari e retrodiffusi) e di fotoni (quanti di luce, di raggi X, ecc.) da una superficie all'incirca uguale a quella investita. Gli elettroni od i fotoni così creati vengono raccolti da dei rivelatori ed il segnale da questi prodotto viene inviato a modulare l'intensità del fascio di un tubo a raggi catodici (CRT = Cathode Ray Tube), o di un tubo TV. Se il moto di scansione del fascio primario sul preparato è sincrono col moto del pennello di elettroni del CRT, viene prodotta su questo una immagine ove le zone più luminose corrispondono alle aree del preparato emettenti un maggior numero di particelle. L'ingrandimento della videoimmagine è dato, come in un pantografo, semplicemente dal rapporto fra la larghezza dello schermo del CRT e la lunghezza del corrispondente tratto percorso dal fascio primario sul preparato. Il capostipite dei SEM moderni è il microscopio realizzato da Dennis McMullan all'Università di Cambridge nel 1952; nella figura 1 sono riportati i progressi compiuti nel miglioramento della risoluzione col passare degli anni.

Questo metodo di formazione delle immagini presenta notevoli vantaggi. Anzitutto, qualunque perturbazione prodotta nel campione che dia luogo ad un segnale rivelabile può essere studiata ed usata per formare un'immagine. I segnali finora utilizzati sono:

1. Elettroni secondari, di energia ≤ 50 eV, provenienti da una profondità di pochi nm. Sono prodotti dal fascio primario e dagli elettroni retrodiffusi per interazione con gli elettroni di valenza. Forniscono informazioni topografiche.

2. Elettroni retrodiffusi (energia > 50 eV), risultanti da interazioni singole o multiple degli elettroni primari coi nuclei. Forniscono informazioni legate al numero atomico del materiale attraversato, alla topografia ed alla struttura cristallina.

3. Corrente di campione. È dovuta agli elettroni che vengono assorbiti dal campione. Questo segnale è complementare a quello degli elettroni retrodiffusi quando venga soppressa l'uscita degli elettroni secondari.

4. Elettroni trasmessi. Questo segnale è ottenibile solo con campioni sottili. Gli elettroni trasmessi possono essere divisi in elettroni anelastici, elettroni diffusi elasticamente ed elettroni che non hanno interagito. Gli elettroni anelastici possono fornire informazioni sulla composizione del campione (si veda il paragrafo 6 sullo STEM); gli altri due tipi di elettroni danno informazioni cristallografiche.

5. Corrente indotta dal fascio. Utile nello studio di semiconduttori contenenti una giunzione p-n od una barriera Schottky, in quanto le coppie elettrone-lacuna, create dal fascio in gran numero, possono venire raccolte dal campo della giunzione e fornire una corrente dalla quale si ricavano informazioni di tipo elettrico ed elettronico.

6. Catodoluminescenza. Viene raccolta la radiazione ultravioletta o visibile eccitata dal fascio. Si ottengono informazioni di tipo analitico, elettrico ed elettronico.

7. Onde termo-acustiche. Rivelano le caratteristiche legate al coefficiente di dilatazione termica del campione ed alle sue proprietà elastiche. Occorre impulsare il fascio.

8. Raggi X. È un segnale di tipo compositivo (v. Par. 5) e può essere usato anche per produrre immagini, chiamate mappe degli elementi, qualora i raggi X caratteristici di un elemento vengano selezionati ed usati come segnale.

9. Elettroni Auger. Forniscono informazioni sugli elementi costituenti i primi piani atomici superficiali. Occorre lavorare

in ultra alto vuoto, ragion per cui vengono utilizzati di solito solo in strumenti speciali, dedicati allo studio delle superfici.

In secondo luogo i segnali prodotti possono essere raccolti simultaneamente da opportuni rivelatori ed inviati ad altrettanti CRT per formare le corrispondenti immagini, o ad un calcolatore interfacciato al SEM. I segnali possono essere elaborati elettronicamente, quindi, in particolare, si può migliorare il contrasto delle immagini, sovrapporre o quantificarle senza ricorrere ad elaborati processi di taratura come nel caso delle immagini fotografiche.

Altri vantaggi sono le notevoli dimensioni che possono avere i campioni (anche 10×10 cm), la facilità con cui questi possono essere preparati e la possibilità di esami non distruttivi; inoltre il SEM gode di una notevole profondità di fuoco (da qualche μm a una decina di mm, dovuta alle piccole aperture angolari utilizzate) la quale, a seconda degli ingrandimenti e dei diaframmi usati, può essere da 10 a 1.000 volte maggiore di quella dei microscopi ottici.

Il diametro minimo del fascio, che praticamente indica la risoluzione massima ottenibile, è di circa 5 nm; le tensioni di accelerazione usate vanno da qualche centinaio di Volt a 50 kV. La corrente di elettroni diminuisce rapidamente al calare del diametro del fascio (cala inoltre al crescere di C_s), per cui le osservazioni ad alta risoluzione richiedono tempi di scansione lunghi (decine o centinaia di secondi), se si vuole evitare che l'immagine appaia sovrapposta ad un fondo d'intensità fluttuante statisticamente nel tempo e variabile da punto a punto. Inoltre, affinché l'immagine appaia all'occhio di alta qualità, occorre che lo schermo del CRT sia riempito di linee separate al massimo di 0,1 mm; ciò richiede almeno 1.000 linee se lo schermo ha un lato di 10 cm, ovvero, riferendosi all'intera superficie dello schermo, supposto quadrato, almeno 10^6 punti-immagine.

Per esemplificare sulle applicazioni meno intuitive del SEM, vengono mostrate due immagini della stessa regione di un transistor ad effetto di campo (FET = Field Effect Transistor) realizzato su di un cristallo di GaAs. La figura 9a è l'immagine ottenuta con elettroni secondari e mostra dettagli della topografia superficiale; il fondo scuro è costituito da uno strato di materiale elettricamente isolante, dello spessore di circa 1 μm , ottenuto amorfizzando il substrato di GaAs cristallino (conduttore) mediante bombardamento con protoni. La figura 9b mostra invece

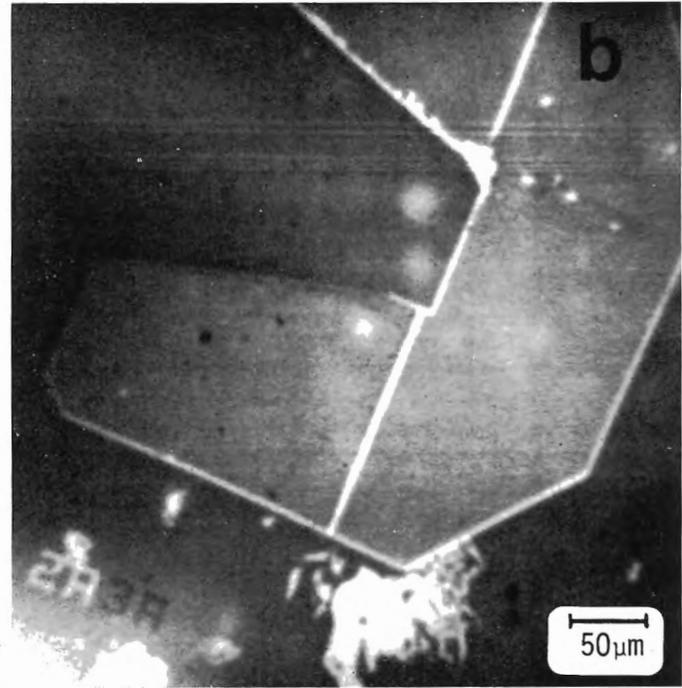
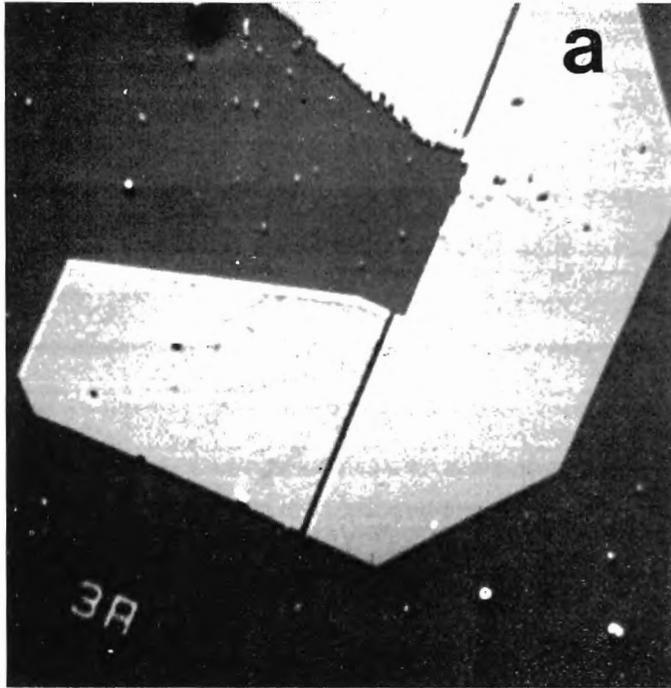


Fig. 9. Transistor ad effetto di campo osservato al SEM. a. Immagine ottenuta con elettroni secondari; b. Immagine acustica.

un'immagine ottenuta raccogliendo un segnale acustico (ultrasuoni) prodotto dal campione; il segnale viene rivelato con un trasduttore piezoelettrico incollato sotto il preparato. Il segnale acustico viene generato dall'impatto di pacchetti successivi di elettroni, prodotti impulsando il fascio del SEM (246 kHz nel caso della figura). Si creano così delle dilatazioni periodiche nel preparato per effetto del riscaldamento generato dall'energia trasferita dal fascio impulsato al campione. In questa immagine si nota in particolare una zona chiara di forma irregolare (in basso al centro) di materiale non amorfizzato e quindi conduttore, non osservabile con gli elettroni secondari usati per formare l'immagine di figura 9a. Questa zona è la conseguenza di un difetto nella mascheratura del campione durante il bombardamento con protoni. Il FET studiato è un prototipo in fase di collaudo. Se si fosse passati al processo industriale di produzione, ove i vari dispositivi elettronici sono affiancati a piccola distanza l'uno all'altro, il difetto nella maschera avrebbe cortocircuitato due FET adiacenti. Ciò indica l'importanza del SEM nell'industria dei semiconduttori, sia nella fase di progetto di nuove strutture, sia in quella dei controlli di produzione e sia nella ricerca dei guasti.

Un altro esempio di applicazione del SEM riguarda uno studio storico, fatto attraverso l'analisi di monete del terzo secolo. Le micrografie della figura 10a e b sono state ottenute da un tetradramma argentato antiocheno emesso a nome di Traiano Decio (249-251). Mediante immagini e mappe di questo tipo ed altri risultati microanalitici è stato possibile stabilire che la tecnica d'argentatura delle monete era già in uso alla metà del III secolo, retrodatando di circa mezzo secolo la data di inizio di questa tecnica, quale risulta dall'esame del numerario propriamente romano.

Per sottolineare infine la versatilità del SEM giova citare alcuni esempi di strumenti modificati per scopi particolari. Nello studio di reperti, la polizia scientifica ha spesso la necessità di confrontarli con altri per giungere alla loro identificazione; un caso tipico è lo studio delle rigature dei proiettili, che sono come impronte digitali dell'arma usata. L'esame deve essere ovviamente molto accurato e rapido; le dimensioni dei campioni e l'ingrandimento richiesto rendono l'uso del microscopio ottico poco adatto a causa della sua scarsa profondità di fuoco. Il problema viene risolto accoppiando due SEM gemelli: uno serve per osservare i reperti e l'altro per gli oggetti indiziati; uno schermo video pre-

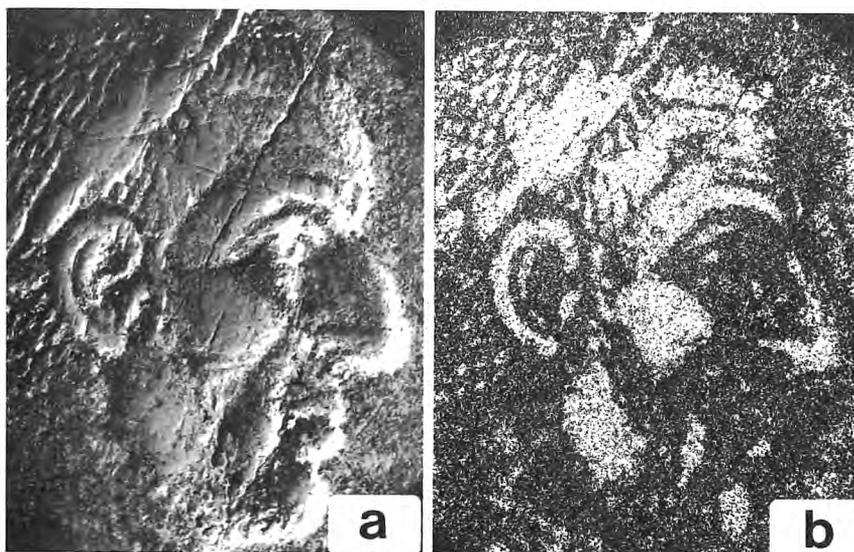


Fig. 10. a. Immagine di un tetradramma ottenuta con gli elettroni secondari, mostrando l'effigie dell'imperatore romano Traiano Decio.

b. Mappa della stessa moneta ottenuta raccogliendo i raggi X della riga $\text{CuK}\alpha$. Si noti la maggiore intensità in corrispondenza delle parti in rilievo più usurate, ove l'argenteratura è ormai assente. Tensione: 30 kV. La dimensione della testa è di 7 mm.

senta le immagini di entrambi gli oggetti, che possono così essere agevolmente confrontati. Sui microscopi possono inoltre venire eseguite microanalisi a raggi X per rivelare sia eventuali differenze di composizione o tracce di materiali depositati (nell'esempio di cui sopra, la natura della polvere da sparo). Un altro esempio di uso non convenzionale riguarda la costruzione di SEM completamente automatizzati, per comando a distanza; questi microscopi vengono sistemati in ambienti ad alto rischio per il personale, come lo sono, ad esempio, le celle calde ad elevato livello di radioattività per lo studio di materiali irradiati nei reattori nucleari. Si ritiene interessante ricordare anche il progetto da parte del Laboratorio di Ottica Elettronica di Tolosa di un piccolo SEM portatile, attualmente in fase di collaudo. Esso reca un'apertura nella base e può essere appoggiato a tenuta di vuoto su oggetti e componenti di apparecchiature inamovibili od ingombranti; le osservazioni potranno essere fatte in loco e la zona dell'oggetto da esaminare costituisce il sigillo della base.

5. LA MICROANALISI E LE MICROSONDE

La microanalisi ha avuto inizio a Cambridge nel 1957 per opera di Peter Duncumb, il quale si propose di rivelare la natura chimica degli elementi del preparato, presenti nella zona sotto osservazione, mediante la raccolta e l'analisi dei raggi X caratteristici emessi dal preparato per effetto dell'eccitazione dei suoi atomi da parte degli elettroni del fascio. A questo scopo venne adattato uno spettrometro per raggi X ad un TEM. Venne coniato il termine microanalisi per significare che l'analisi chimica era fatta su aree dell'ordine di grandezza del μm . Le tecniche microanalitiche hanno poi avuto un notevole sviluppo sia strumentale, sia metodologico, a cui ha contribuito in particolare il gruppo guidato da Raymond Castaing a Parigi.

Spettrometri a raggi X di vario tipo (a dispersione di energia o di lunghezza d'onda) e spettrometri elettronici sono stati in seguito montati nei TEM e nei SEM.

Gli strumenti costruiti ad hoc per eseguire microanalisi sono chiamati microsonde. In tutte queste apparecchiature esiste una sonda (costituita da un fascio di particelle o di luce) che viene focheggiata su di un'area avente un diametro di circa $1 \mu\text{m}$. Il posizionamento della sonda viene spesso eseguito con l'ausilio di un microscopio ottico. Nelle microsonde automatiche viene programmata la sequenza delle analisi, sia per i tipi di elementi da ricercare e sia per le zone del campione da analizzare; la sonda esegue poi le analisi senza l'intervento dell'operatore. Nelle microsonde si dà preferenza alla risoluzione analitica anziché a quella spaziale, non potendo di solito eccellere in entrambe. Le microsonde possono differire sia nel tipo di sonda, cioè nel tipo di radiazione primaria che viene focheggiata sul campione (luce, fascio laser, elettroni, ioni) e sia nel tipo di radiazione secondaria, cioè emessa nell'impatto, che viene rivelata (raggi X, luce, elettroni di varia origine, ioni). Inoltre i metodi di rivelazione possono essere diversi (mediante scintillatori, o rivelatori allo stato solido, o spettrometri di massa, ecc.). Queste apparecchiature possono differire anche per la risoluzione spaziale ottenibile e per la sensibilità, che può raggiungere i 10^{-21} grammi; inoltre possono fornire informazioni quantitative o solamente qualitative. L'abbondanza relativa minima rivelabile di un elemento disperso in una matrice raggiunge però, nei casi più favorevoli, soltanto qualche percento. Certe metodiche, quali quelle basate sugli elettroni

Auger, forniscono informazioni sulla natura degli atomi formanti una superficie e sui primi strati di atomi sottostanti.

6. IL MICROSCOPIO ELETTRONICO A SCANSIONE IN TRASMISSIONE

Nel 1968 Albert Crewe dell'Enrico Fermi Institute di Chicago [11] ha introdotto nella microscopia elettronica l'uso di sorgenti di elettroni ad emissione a freddo, cioè prodotta per effetto di un intenso campo elettrico ($\sim 10 \text{ V.nm}^{-1}$) applicato ad una punta di tungsteno di circa 100 nm di raggio. Queste sorgenti vengono denominate FEG (= Field Emission Gun) e sono state messe a punto allo scopo di superare la limitazione in corrente che s'incontra con le sorgenti convenzionali di tipo termoionico (a W od LaB_6) quando si vogliono ottenere fasci foceggiati su aree dell'ordine del nm di diametro.

La figura 11 mostra le intensità massime di corrente, ottenibili da vari FEG, in funzione del diametro del fascio e le mette a confronto con quelle prodotte dagli emettitori termoionici più usati. Si riescono ad ottenere densità di corrente di circa 10^5 - 10^6 A.cm^{-2} (contro i 10 - 100 A.cm^{-2} dei filamenti caldi di W), a cui corrispondono circa 1.000 elettroni per punto-immagine (su di un visore da 10^6 punti-immagine); essi sono sufficienti per registrare immagini in tempi dell'ordine di 10 s con fluttuazioni statistiche contenute entro qualche per cento. Le brillanze delle sorgenti di W, LaB_6 e FEG sono rispettivamente di 10^5 , 10^6 e 10^8 - $10^9 \text{ A.cm}^{-2}.\text{sr}^{-1}$.

Affinché l'emissione sia alta occorre evitare che la punta si ricopra anche di un solo strato di molecole del gas residuo presente nell'ambiente circostante. Ciò richiede un ultra alto vuoto (migliore di $10^{-12} \text{ Pa} \cong 10^{-10} \text{ Torr}$), ottenibile con le moderne pompe ioniche, ed il frequente sgassamento della punta per riscaldamento (circa ogni ora).

I FEG sono stati usati nella costruzione di microscopi elettronici a scansione per trasmissione (STEM = Scanning Transmission Electron Microscope), cioè per l'osservazione di preparati sottili, trasparenti agli elettroni. Gli STEM sono stati progettati principalmente per due ordini di ragioni. Da un lato per fornire una via alternativa ai TEM nella speranza (ancora tale) di superare le difficoltà che ostacolano il raggiungimento di migliori risoluzioni (0,1 nm). Dall'altro, per sfruttare nelle osser-

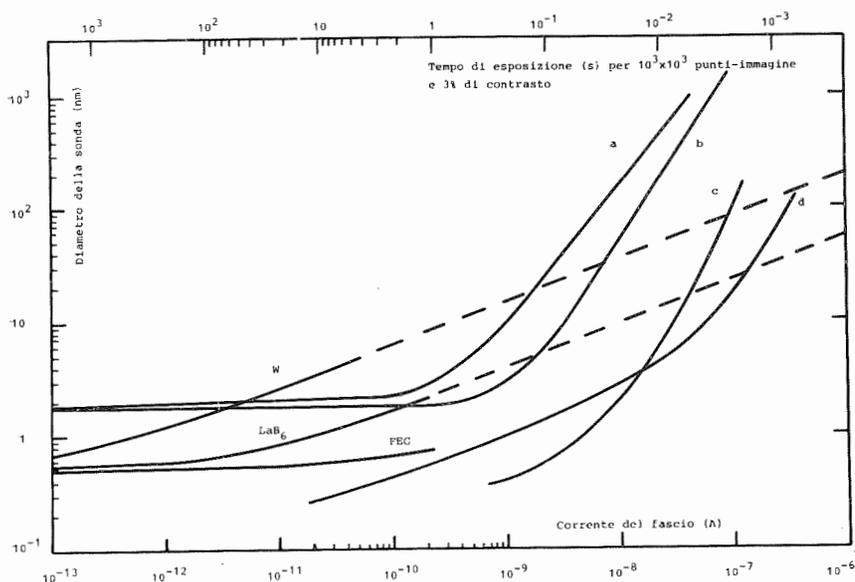


Fig. 11. Intensità di corrente massima che può essere convogliata da una sonda elettronica di un dato diametro. Gli emettitori termoionici a W ed LaB_6 sono confrontati con quelli ad emissione di campo FEG. Le curve a e b si riferiscono a due SEM commerciali dotati di FEG, lavoranti rispettivamente a 15 e 25 kV. Le curve c e d riportano i dati forniti da due ditte costruttrici di STEM/FEG.

vazioni in trasparenza le prerogative tipiche del SEM, cioè la molteplicità delle informazioni, la loro simultaneità ed elaborazione elettronica, la versatilità, ecc.

Il funzionamento di uno STEM è simile a quello del SEM nel metodo di formazione sequenziale dell'immagine mediante l'uso di una sonda elettronica. Tuttavia, nello STEM vengono anche, e principalmente, raccolti gli elettroni trasmessi dal preparato, che sono numerosi grazie all'uso di tensioni di accelerazione elevate (100 o più kV) e di campioni sottili. Questi non producono un apprezzabile allargamento del fascio durante il suo passaggio, per cui la risoluzione ottenibile è determinata solo dal diametro della nanosonda elettronica (0,3-0,5 nm di diametro).

Gli elettroni trasmessi dal preparato possono venire rivelati (con dispositivi a stato solido o con scintillatori) senza che sia necessario l'uso di altre lenti oltre a quelle che servono a foccheggiare la sonda (fig. 12); oppure possono essere inviati ad uno spettrometro elettronico EELS (= Electron Energy Loss Spectrometer) il quale mostra come è distribuita l'energia fra

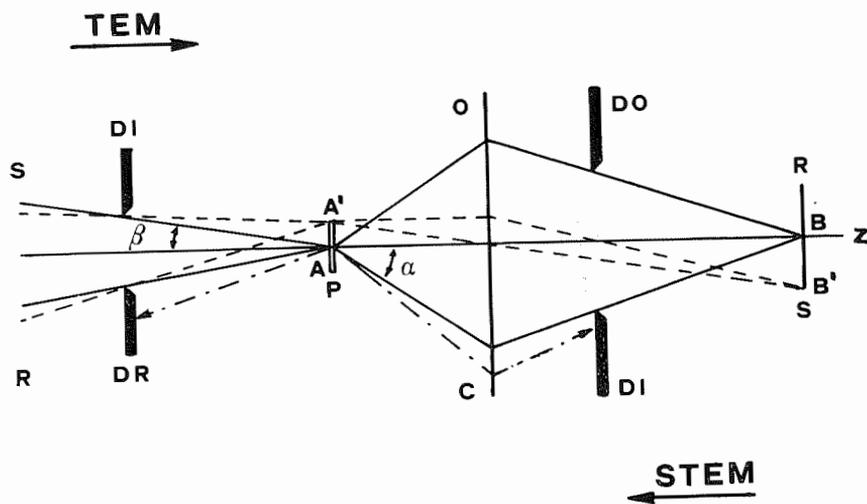


Fig. 12. Illustrazione del teorema di reciprocità. Quando le linee rappresentanti il moto degli elettroni vengono percorse da sinistra verso destra si ha il caso del TEM (si leggano i simboli in alto); se percorse da destra verso sinistra si ha il caso dello STEM (simboli in basso). A ed A' sono due punti luminosi del preparato P a cui corrispondono le immagini B e B' nel rivelatore R (caso del TEM). B e B' vanno considerate come sorgenti puntiformi S di elettroni in conseguenza del moto di scansione del fascio nel caso dello STEM, che vengono foccheggiate nei punti A ed A' del preparato, dietro al quale è posto il rivelatore R. O è la lente obbiettivo nel caso del TEM e diventa il condensatore C per lo STEM. DI = Diaframma d'illuminazione per TEM e STEM; DO = Diaframma dell'obbiettivo; DR = Diaframma di raccolta. I raggi a tratto e punto indicano come si genera il contrasto di ampiezza.

gli elettroni. Infatti l'energia inizialmente posseduta dagli elettroni (uguale per tutti entro 0,5 eV) può diminuire in seguito a collisioni anelastiche con gli elettroni e gli atomi del preparato.

In un TEM, l'aberrazione cromatica della lente obbiettivo posta dopo l'oggetto contribuisce, assieme alle altre aberrazioni, a determinare la risoluzione ottenibile quando gli elettroni non siano monocinetici. L'assenza di lenti post-oggetto in uno STEM aveva fatto sperare in un miglioramento della risoluzione a parità di altre condizioni. In realtà, l'uso di preparati sottili riduce notevolmente il difetto di cromaticità in un TEM, e, nel caso di preparati spessi, si è trovato che la causa principale della perdita di risoluzione è la diffusione multipla anziché l'effetto dell'aberrazione cromatica. Il problema della risoluzione atomica viene affrontato, come per i TEM, utilizzando STEM ad alta tensione (da 1 a 1,6 MV) dotati di sorgente FEG. È in corso la costruzione e messa a punto di due strumenti, uno in Francia ed uno in

Giappone, dopo l'abbandono di due progetti USA, ma i risultati sperati non sono ancora stati ottenuti.

Nonostante il metodo di formazione dell'immagine faccia apparire un TEM intrinsecamente diverso da uno STEM, si può dimostrare un teorema di reciprocità per le onde, valido, mutatis mutandis, per TEM e STEM. Esso afferma che se in un punto B (fig. 12) si raccoglie un certo segnale quando una sorgente di radiazione si trova in A, allora lo stesso segnale, di uguale ampiezza e fase, verrà rivelato in A se la sorgente viene posta in B. Il teorema di reciprocità è una conseguenza della simmetria delle leggi governanti i fenomeni naturali rispetto all'inversione del tempo e dice che le funzioni d'onda scambiate sono uguali: $\psi_A(B) = \psi_B(A)$. Questo teorema consente di prevedere per lo STEM tutti i meccanismi di contrasto già elaborati per il TEM [12].

Vi è tuttavia un tipo di contrasto, chiamato contrasto Z o di numero atomico, che è tipico dello STEM ed è il risultato di un intervento discriminante dell'operatore nella rivelazione degli elettroni trasmessi dal preparato. Si noti infatti che la diffusione elastica degli elettroni da parte di un atomo ha una distribuzione angolare caratterizzata da un angolo (angolo di schermatura) che è dell'ordine di 30-50 mrad per elementi di peso atomico medio-leggero e medio e per tensioni di accelerazione di 100 kV, (ben maggiore della divergenza del fascio di elettroni); la diffusione anelastica, prevalentemente legata alla eccitazione di plasmoni (cioè di oscillazioni collettive degli elettroni di valenza nei metalli), ha una distribuzione angolare molto più stretta, essendo caratterizzata da un angolo che è intorno al mrad, sempre per elettroni di 100 kV. È quindi possibile raccogliere prevalentemente elettroni diffusi elasticamente od anelaticamente mediante l'uso di rivelatori posti dopo il preparato che sottendano angoli tipici dell'uno o dell'altro tipo di evento di diffusione. Precisamente, un rivelatore a forma di anello, chiamato ADF (= Annular Dark Field), fornirà un segnale prodotto quasi esclusivamente da elettroni che hanno subito eventi d'urto elastici se il suo foro esclude elettroni diffusi ad angoli minori di circa 10-20 mrad. Il segnale ha un basso rumore grazie al grande angolo solido di raccolta. Un rivelatore BF (= Bright Field), formato da un dischetto centrato sull'asse del microscopio, e di apertura angolare 10-20 mrad, raccoglierà invece gli elettroni che hanno perso energia. Eseguendo elettronicamente il rapporto fra i segnali forniti, in acquisizione simultanea, dai due

rivelatori ADF e BF, si ottiene un segnale che è proporzionale al rapporto fra le sezioni d'urto elastica σ_e ed anelastica σ_a . Queste sono approssimativamente espresse da:

$$\sigma_e = Z^4/32V \quad e \quad \sigma_a = 9Z^{1/3}/V$$

dove Z è il numero atomico del materiale attraversato dal fascio di elettroni, accelerati da una differenza di potenziale V . Dal rapporto fra σ_e e σ_a si ottiene:

$$\sigma_e/\sigma_a \simeq Z/20$$

cioè il rapporto fra i segnali è all'incirca proporzionale al numero atomico. Con questo metodo è possibile rivelare atomi singoli pesanti e medio-pesanti (U, Th, Hg, ecc.) se questi si trovano in una matrice sottile di elementi leggeri o se colorano grosse molecole (ad es. organiche o di tipo biologico).

Lo STEM si è tuttavia affermato principalmente per le sue eccezionali prestazioni nell'analisi qualitativa e quantitativa diretta degli elementi presenti nel campione su aree del nm^2 e su volumi di alcuni nm^3 , analisi comunemente eseguite mediante lo spettrometro EDS a raggi X e lo spettrometro elettronico EELS a perdita di energia. Il rivelatore dell'EDS viene posto vicino al preparato, in modo da favorire la raccolta dei raggi X emessi; lo spettro è caratterizzato da picchi (v. fig. 16c) e fornisce, sotto forma di un istogramma, per ogni canale, il numero di raggi X rivelati aventi un'energia compresa fra E ed $E + \Delta E$, dove ΔE è compreso fra 10 e 100 eV. L'EELS viene montato in modo da raccogliere gli elettroni trasmessi dal preparato e produce uno spettro (fig. 16b) costituito da un istogramma che dà, per ogni canale, il numero di elettroni che hanno perduto energia in un intervallo E ed $E + \Delta E$, con ΔE compreso fra 0,1 e 10 eV.

È utile poter disporre di entrambi gli spettrometri in quanto si complementano a vicenda. Infatti, l'EELS ha un'ottima risoluzione energetica ($\cong 1$ eV) ed efficienza di raccolta, ed è in grado di rivelare qualunque elemento (sebbene in pratica venga progettato per elementi di basso Z , cioè per analisi in un intervallo di perdita di energia da 0 a 2.000 eV). Purtroppo il rapporto segnale/fondo è circa 1, ed è necessario usare campioni sottili (di spessore inferiore a circa 50 nm) a meno di non ricorrere a complicati ed incerti metodi di deconvoluzione; inoltre non è ancora disponibile un metodo soddisfacente di acquisizione dati

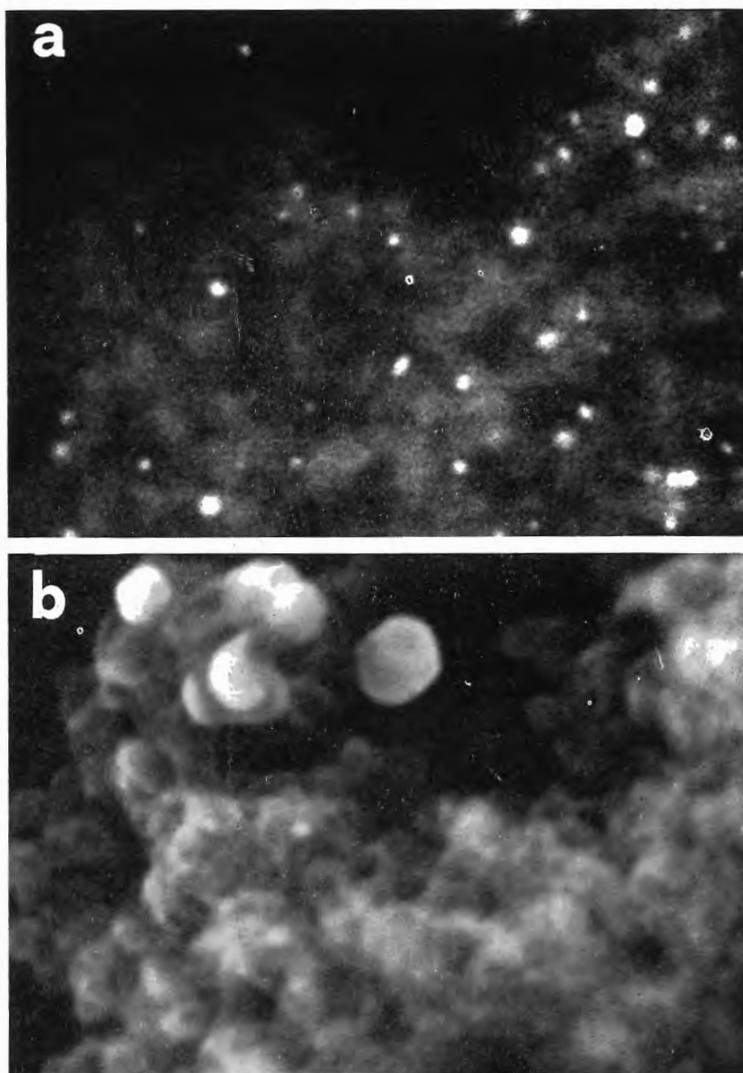


Fig. 13. Catalizzatore contenente particelle di platino in una matrice di carbonio, osservato allo STEM a 100 kV. Le particelle più piccole hanno un diametro di circa 2 nm. a. Micrografia ottenuta col rivelatore per campo scuro ADF. b. Immagine ottenuta con elettroni secondari; si noti che qui si hanno informazioni sullo stato della superficie e che solo le particelle di Pt di grandi dimensioni sono distinguibili.

in parallelo, per cui i tempi di raccolta sono molto lunghi. Per contro, l'EDS acquisisce i dati velocemente in parallelo, ha un rapporto segnale/fondo intorno a 50, non richiede campioni sottili e l'energia dei quanti X rivelati può giungere ad alcune decine di keV. Soffre però di una scarsa risoluzione (circa 150 eV) e di

una bassa efficienza di raccolta. Si deve inoltre tener presente che l'EDS non si presta alla rivelazione di elementi leggeri, sia perché i raggi X molli da questi emessi non riescono di solito ad entrare nella zona attiva del rivelatore e sia perché il rendimento nella produzione di raggi X è piccolo per valori di $Z \leq 10$, a causa della competizione con la produzione di elettroni Auger; il rendimento passa dal 50% per $Z \approx 30$ al 95% per $Z \approx 90$.

Gli spettri EELS mostrano due caratteristiche tipiche: i picchi di perdita per eccitazione di plasmoni, assai poco indicativi del tipo di elemento, ma utili per misurare lo spessore del preparato, ed i « gradini » o « bordi » in conseguenza della eccitazione di elettroni delle orbite più interne K, L, M degli atomi coi quali gli elettroni del fascio hanno interagito. Questi bordi, presentandosi ad energie tipiche per ogni elemento, ne consentono la rivelazione e, dalla misura dell'area sotto ai bordi se ne può ricavare la concentrazione. Inoltre la struttura fine dei bordi fornisce informazioni sui legami chimici e sulla posizione degli atomi circostanti l'atomo eccitato.

Ovviamente uno STEM può fornire immagini della superficie del preparato qualora vengano raccolti gli elettroni secondari emessi. La figura 13 mostra immagini di un catalizzatore Pt/C per l'industria petrolchimica, ottenute in uno STEM con il rivelatore di elettroni secondari e con il rivelatore ADF. Lo studio dettagliato delle piccole particelle di platino è d'importanza teorica e pratica per capire i meccanismi di azione e di avvelenamento dei catalizzatori e perché le loro dimensioni, forma e sfaccettature, nonché la loro dispersione nella matrice, influiscono sull'efficienza dei catalizzatori.

7. ALTRI STRUMENTI D'INDAGINE ELETTROTTICI

Vengono nel seguito brevemente descritti alcuni strumenti di minor diffusione, o perché ancora in fase di sviluppo o da poco messi a punto, o perché di limitata flessibilità, o infine perché di costo elevato. L'elenco non è per niente esauriente, in quanto è disponibile almeno un'altra decina di strumenti elettroottici che sono stati introdotti per svolgere particolari tipi di indagini.

7.1. *Il microscopio ionico a scansione*

I microscopi ionici a scansione (SIM = Scanning Ion Microscope) sono concettualmente identici a quelli elettronici, ma usano sorgenti di metalli liquidi per produrre un fascio di ioni (As^{++} , B^+ , Sb^+ , Si^{++} , Au^{++} , Bi^+ , ecc.) per effetto di campo [13]. L'impulso alla loro costruzione è venuto principalmente in vista della loro applicazione alla tecnologia a scala d'integrazione molto grande dei dispositivi elettronici a semiconduttore, ove si richiede una sempre maggiore densità di dispositivi in poco spazio. Si cerca cioè, sfruttando la bassa dispersione di un fascio ionico all'interno di un campione spesso sul quale il fascio viene fatto incidere e la scarsa importanza del fenomeno della retrodiffusione, di miniaturizzare ancor più i dispositivi elettronici. L'uso di ioni consente non solo di creare maschere fini, ma anche d'impiantare direttamente il materiale semiconduttore per produrre i dispositivi.

Raccogliendo radiazioni di varia natura, prodotte dalla sonda ionica nell'impatto col preparato, si possono formare immagini di vario tipo. Inoltre, potendo in particolare la sonda estrarre atomi e ioni dal preparato, è possibile eseguire un'analisi assai accurata degli elementi presenti nel campione mediante l'uso di spettrometri di massa. La risoluzione spaziale è per ora limitata a circa 10 nm.

7.2. *Il microscopio ottico a scansione*

Un microscopio ottico a scansione (SOM = Scanning Optical Microscope) può ovviamente essere realizzato senza ricorrere all'ottica elettronica, dotando il preparato di un moto di scansione ed illuminandolo con un fascio puntiforme. Tuttavia, per ottenere un controllo più accurato della scansione, una maggior velocità di scansione ed una maggior flessibilità, si stanno costruendo dei microscopi ottici a scansione mediante l'uso di un SEM; essi vengono denominati SOM/SEM.

Il fascio di elettroni di un SEM viene utilizzato per produrre una sorgente puntiforme di luce dotata di moto di scansione facendo, per esempio, cadere la sonda elettronica su di una sostanza fluorescente; una lente ottica diminuisce ulteriormente la macchia luminosa prodotta dalla sonda e la foceggia sul preparato. La risoluzione ottenibile è ovviamente dell'ordine della

lunghezza d'onda della luce di fluorescenza, ma il vantaggio risiede nella possibilità di formare l'immagine dell'oggetto utilizzando, anche simultaneamente, i vari segnali da esso prodotti (ad esempio, luce trasmessa e riflessa, corrente di campione, corrente indotta dal fascio, ecc.) e di poterli elaborare elettronicamente. È anche possibile studiare quei preparati che non sopportano il vuoto del SEM, come i materiali volatili ed i preparati biologici.

7.3. *Il microscopio ionico di campo*

Il principio di funzionamento di questo strumento, introdotto da Erwin Müller nel 1951 ed indicato con l'acronimo FIM (Field Ion Microscope), è diverso da quelli finora descritti. Si tratta di un microscopio a proiezione che trae origine dal microscopio ad elettroni a punta proiettante (FEM = Field Emission Microscope) inventato sempre da Müller nel 1936 [14]. Il FIM è in grado di mostrare come puntini chiari i singoli atomi costituenti la superficie di una punta (di raggio inferiore a 100 nm, come per il FEG). Il principio su cui si basa è molto semplice e lo si può illustrare con un esempio familiare: quando si elettrizza per strofinio una riga od una bacchetta di materiale isolante, si crea un forte campo elettrico nelle sue vicinanze che può polarizzare ed attirare pezzetti di carta leggera; questi, una volta entrati in contatto con la riga neutralizzano una parte della loro carica e, rimanendo elettrizzati con cariche di segno uguale a quello della riga, vengono da questa respinti con violenza. Così, nel FIM, la punta viene portata ad un potenziale positivo (10-30 kV) tale da produrre un campo di circa 50 V.nm^{-1} (500 MV.cm^{-1}) in un ambiente inizialmente vuotato a pressioni inferiori a 10^{-12} Pa ($\sim 10^{-10} \text{ Torr}$), indi riempito con elio gassoso alla pressione di circa $5 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$. Gli atomi di elio, a cui è associata una corta lunghezza d'onda, si polarizzano, vengono attratti dalla punta e vi cadono sopra. Qui subiscono successivi rimbalzi finché non vengono ionizzati in prossimità degli atomi più sporgenti della punta. Gli ioni He così formati vengono quindi violentemente respinti dagli atomi e proiettati, seguendo praticamente le linee di forza rettilinee del campo, su di uno schermo fluorescente. Qui producono un punto luminoso che rappresenta la posizione dell'atomo da cui sono stati espulsi, come mostrato dalla figura 14. L'ingrandimento medio è dato dal rapporto fra

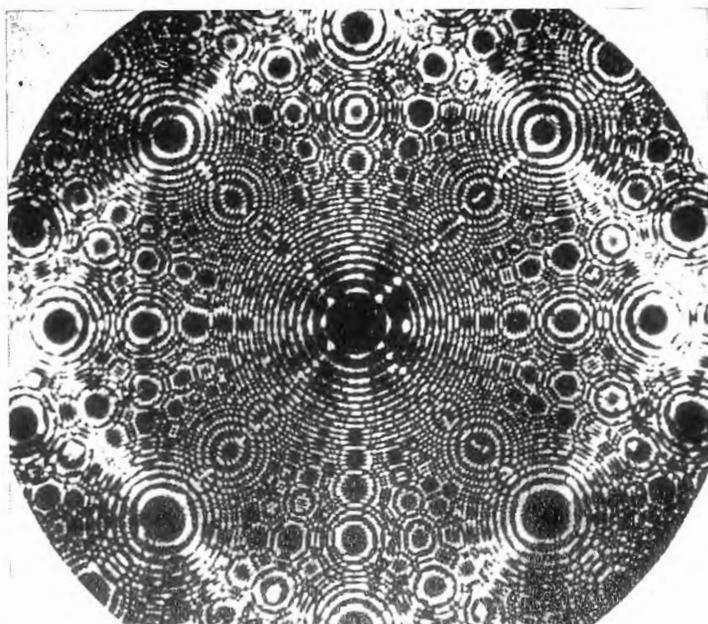


Fig. 14. Immagine della distribuzione degli atomi (puntini chiari) alla superficie di una punta di Pt in orientazione 001, ottenuta con un FIM ad elio.

la distanza punta-schermo ed il raggio medio della punta. Per aumentare la risoluzione, che ha raggiunto il valore di 0,15 nm, la punta viene mantenuta alla temperatura dell'azoto o dell'elio liquido (4,2 K).

Il FIM consente inoltre di identificare i singoli atomi. A questo scopo la punta viene orientata finché l'immagine dell'atomo prescelto non appaia al centro dello schermo, poi il campo elettrico viene rapidamente aumentato al disopra di un valore di soglia, indi riabbassato. In tal modo si riesce a strappare l'atomo scelto e ad identificarlo mediante una tecnica di spettrometria di massa a tempo di volo. Il FIM viene usato per studiare la disposizione degli atomi, particolarmente in presenza di vari tipi di difetti cristallografici o di impurità; associato allo spettrometro di massa viene usato per investigare reazioni chimiche a sensibilità atomica e per lo studio della composizione di piccoli precipitati od impurezze. Le limitazioni del metodo risiedono nella scarsa versatilità e nel numero ristretto di materiali (elementi e leghe) adatti a fungere da punta-campione.

7.4. *Il microscopio a scansione ad effetto tunnel*

Anche questo strumento, come quello precedente, si basa sull'effetto di campo, ma utilizza un principio di formazione delle immagini sequenziale, e la punta costituisce la sonda anziché l'oggetto da osservare. Infatti, una punta metallica (di tungsteno, con raggio di circa 10 nm e contenente asperità a livello atomico) viene fatta scorrere con moto di scansione in due direzioni (x , y) sopra la superficie da studiare ad una distanza di circa 1 nm dalla superficie [15]. Questo moto fine di scansione viene ottenuto mediante cristalli piezoelettrici. Un flusso di elettroni, prodotti per effetto tunnel con una energia che può andare dal mV a qualche eV, viaggia fra la punta ed il preparato. Se durante la scansione questa corrente di elettroni viene mantenuta costante aggiustando la distanza punta-preparato mediante un servomeccanismo a comando piezoelettrico, la tensione da applicare a questo scopo al cristallo piezoelettrico è direttamente collegata alle asperità superficiali (nel caso di un preparato con funzione di lavoro costante). Si può così tracciare una mappa tridimensionale del campione (la terza dimensione, l'altezza z , può venire convenientemente mostrata con superfici di livello a colori diversi). Mediante modulazione della distanza punta-preparato è poi possibile separare i contributi alla corrente di tunnel dovuti sia a variazioni geometriche di quota e sia a variazioni di altezza della barriera di potenziale. La risoluzione in altezza è di 0,01 nm (ben meno di 1/10 delle dimensioni atomiche e quindi almeno 100 volte migliore di quella della microscopia elettronica in trasmissione) e quella laterale di 0,3 nm. Lo studio di superfici può essere fatto non solo nel vuoto, ma anche in aria [16] e forse anche in mezzi acquosi. Inoltre la bassa energia degli elettroni usati non è in generale in grado di produrre danni al preparato. Questo strumento viene indicato con STM (Scanning Tunnelling Microscope) e presenta enormi potenzialità per lo studio di superfici, di lavori di estrazione, di molecole depositate od adsorbite, ecc.

7.5. *Il TEM/STEM*

È questo uno strumento ibrido, in quanto è costituito da un TEM convenzionale al quale sono stati incorporati ed aggiunti diversi accessori che gli conferiscono anche le prerogative di uno

STEM, completo del suo corredo. Si vengono così a conglobare in un unico strumento tutti i pregi maggiori di entrambi i tipi fondamentali di microscopi anche se, per quanto riguarda la scansione, non al meglio delle prestazioni di uno STEM progettato come tale. Poiché in questi strumenti la sorgente di elettroni è unica, per il teorema di reciprocità si ottengono immagini equivalenti se, nel passaggio dall'uso come TEM a quello come STEM, le aperture angolari α e β di figura 12 vengono scambiate. Negli strumenti più potenziati la sorgente termoionica convenzionale del TEM viene sostituita con un FEG; inoltre questi strumenti vengono dotati di spettrometri EDS per l'analisi dei raggi X ed EELS per l'analisi elettronica a perdita di energia. Il costo di questi strumenti supera il miliardo di lire. La figura 15 mostra il microscopio TEM/STEM, prodotto dalla Ditta Philips, del Centro di Microscopia Elettronica del Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna. Esso è dotato di sorgente FEG, unità STEM, spettrometri EDS-EDAX ed EELS con elaboratore elettronico, rivelatori per fornire immagini in campo chiaro ed in campo scuro ADF, nonché per elettroni retrodiffusi e per l'analisi delle superfici con elettroni secondari. Vi è inoltre montato un biprisma elettronico per ricerche d'interferometria ed olografia elettroniche, e si sta approntando un dispositivo per l'osservazione dei preparati a bassa temperatura. La tensione di accelerazione massima è di 120 kV e la risoluzione di 0,3 nm. Questo strumento è unico in Italia. Qui di seguito viene mostrato un esempio del suo utilizzo.

La micrografia e gli spettri di figura 16 fanno parte delle informazioni ricavate da microscopi TEM e STEM allo scopo di risolvere un problema compositivo nel campo dei semiconduttori. Un particolare dispositivo elettronico al Si, contenente una giunzione p-n poco profonda in vista del suo uso per la grandissima scala d'integrazione, è stato ottenuto col seguente procedimento. Un film di Ti (spessore circa 60 nm) è stato depositato sul silicio, indi irradiato con ioni N^+ da 40 keV al fine di formare una fase di TiN. Dopo ricottura, vi è stato depositato un film di Al per formare un contatto ohmico. Lo strato di TiN ha la funzione di impedire la diffusione dell'alluminio nella giunzione. È importante determinare la distribuzione dell'azoto in profondità nello strato di Ti, in quanto la sua concentrazione relativa al Ti condiziona la formazione o meno di una fase di $TiSi_2$ all'interfaccia col silicio. La presenza del $TiSi_2$ migliora il contatto ohmico Al-Si. Il dispositivo così trattato è stato sottoposto ad una

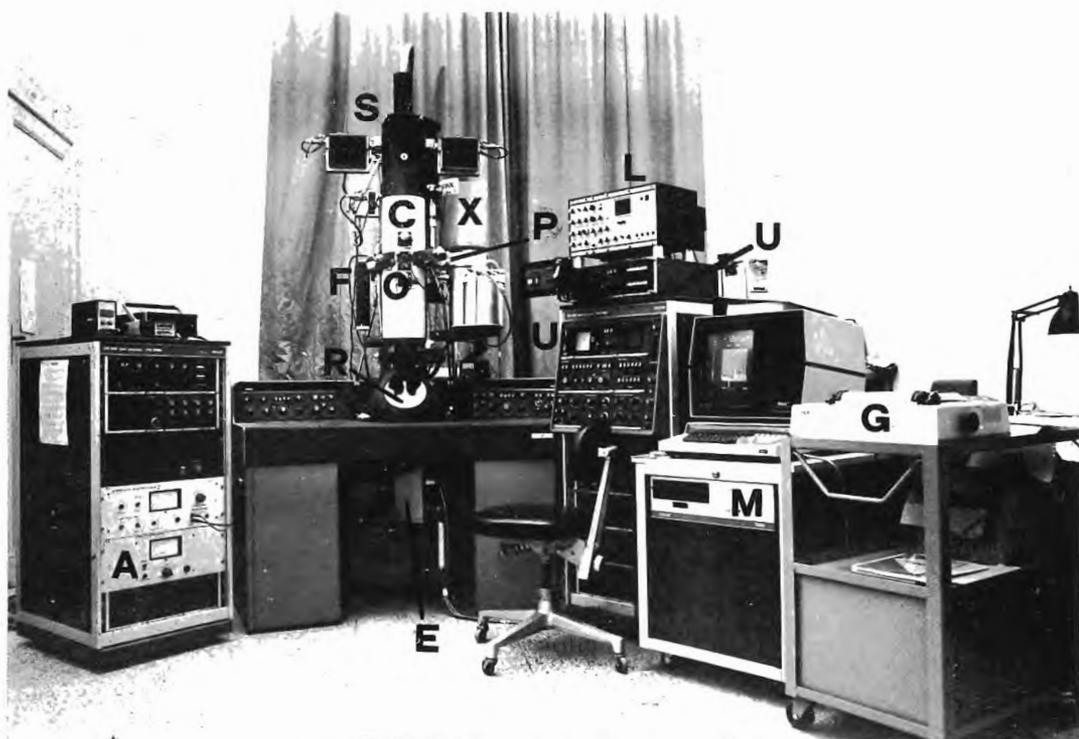


Fig. 15. Microscopio elettronico TEM, modello Philips EM400T, dotato di sorgente FEG ad emissione di campo, di accessori per STEM e di microanalisi a raggi X e ad elettroni. S = Sorgente di elettroni con alimentatore A del FEG; C = Condensatori; P = Camera del preparato con chiusa d'aria; O = Lente obiettivo; R = Rivelatore per TEM; U = Unità STEM con possibilità di fornire contemporaneamente quattro immagini, ottenute con altrettanti segnali diversi; F = Rivelatore di elettroni secondari per l'analisi in scansione della superficie del campione; X = Spettrometro EDS a raggi X; E = Spettrometro EELS ad elettroni con unità di comando L; M = Microprocessore per acquisizione ed elaborazione dati EDS ed EELS, con visualizzatore; G = Stampante.

prova di degrado rapido a 600 °C per simulare le condizioni di funzionamento normale per lunghi periodi a temperature di poco superiori a quella ambiente. Per poter determinare il profilo di concentrazione N/Ti, il dispositivo è stato sezionato ed assottigliato. La micrografia TEM di figura 16a è un'immagine del materiale sezionato. Essa mostra quattro strati, precisamente, Si, TiN, Al e colla (usata per sostenere il campione) e dei cristalliti disposti fra Si e TiN. L'analisi EELS per punti (di cui la figura 16b mostra un esempio) ha consentito di determinare il profilo di concentrazione N/Ti ed ha confermato la mancata formazione dello strato di $TiSi_2$ a causa di una eccessiva concentrazione di atomi di azoto. L'analisi EDS ha indicato che i cristalliti

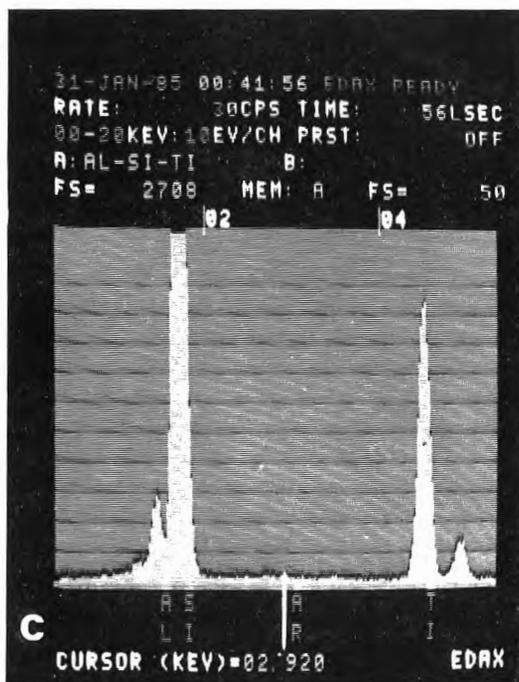
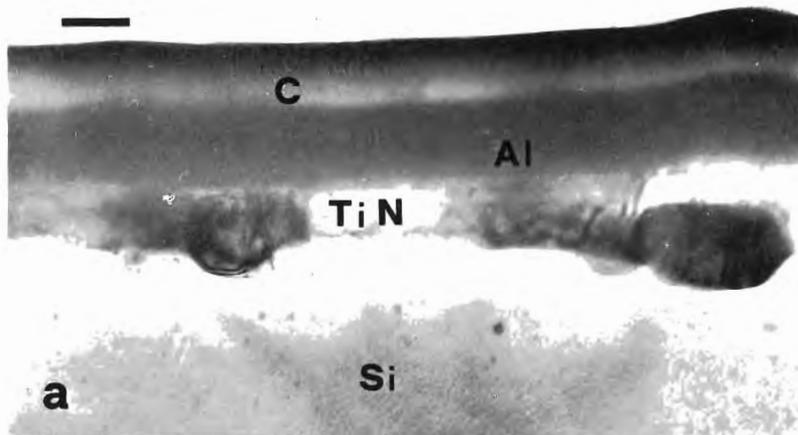


Fig. 16. a. Micrografia TEM di una sezione trasversale di un dispositivo a semiconduttore al Si. Sono visibili gli strati di Si, TiN, Al e di colla C. La barra indica 100 nm. b. Spettro EELS ad elettroni, acquisito in una regione del TiN. Sono visibili i bordi K ed L_{23} dell'N e del Ti, rispettivamente a 400 e 455 eV. Il bordo K del C a 284 eV è prodotto da contaminazione carboniosa. c. Spettro EDS a raggi X preso all'interfaccia TiN/Si. I picchi $AlK\alpha$, $AlK\beta$ (1490 e 1560 eV) e $SiK\alpha$, $SiK\beta$ (1740 e 1840 eV) sono sovrapposti, mentre risultano separate le righe $TiK\alpha$ (4510 eV) e $TiK\beta$ (4930 eV). Si noti che quand'anche lo spettrometro EDS fosse stato messo in condizioni tali da poter rivelare i raggi X molli dell' $NK\alpha$ (390 eV), la sua scarsa risoluzione ed efficienza non avrebbero praticamente consentito di distinguere la riga $NK\alpha$ da quella $TiL\alpha$ (450 eV).

sono sacche di Al, diffuso attraverso lo strato di TiN. Lo spettro di figura 16c, preso in una zona del TiN vicino all'interfaccia col silicio, mostra appunto la presenza di Al. È opportuno sottolineare i vantaggi derivanti dall'abbinamento dei due metodi spettroscopici. Anzitutto, ragioni di rivelabilità dell'azoto e di risoluzione impongono l'uso dell'EELS, il quale potrebbe venir usato anche per rivelare il silicio e l'alluminio. Ciò però richiede un allargamento dell'intervallo di energia analizzato e quindi un aumento dei tempi di acquisizione, con conseguente rischio di derive del preparato, di variazione dell'intensità della sorgente e di contaminazione. L'uso in parallelo dell'EDS ha quindi portato a tempi brevi di raccolta ed ai benefici ad essi connessi.

8. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Questa breve rassegna, sebbene non esauriente, dovrebbe aver contribuito a far riconoscere nella microscopia elettronica una disciplina a strumentazione diversificata, in continua evoluzione ed espansione, di grande versatilità e ricca d'informazioni. L'elevata risoluzione spaziale, e le tecniche nanoanalitiche, consentono di affermare che la microscopia elettronica analitica è il più potente mezzo d'indagine sia per studi strutturali (diretti e mediante nanodiffrazione), e sia per analisi chimiche su volumi intorno al nm³. Contemporaneamente si è mostrato che esistono, in aggiunta ai requisiti strumentali, problemi preparativi e di stabilità dei campioni e problemi connessi con l'interpretazione delle immagini a risoluzione atomica; le ricerche in corso per superarli sono state tratteggiate.

I campi di applicazione della microscopia elettronica sono innumerevoli: metallurgia, semiconduttori, scienza dei materiali (compositi, polimeri, ceramici, magnetici, ecc.), fisica dello stato solido, chimica, mineralogia e geologia, biologia, biochimica, medicina, ecologia. Perfino le discipline storiche e forensiche (come risulta dagli esempi riportati a proposito del SEM) e quelle artistiche (relativamente a problemi di conservazione, di autenticità, ecc.) traggono vantaggio dalla microscopia elettronica.

È sorprendente pensare che 50 anni fa, con la fisica atomica già consolidata e con la fisica nucleare in avanzato sviluppo (la famosa Conferenza Solvay ebbe luogo nel 1933), fosse stato messo in dubbio che l'appena nato microscopio elettronico potesse fornire un contributo alle conoscenze in campo biologico;

infatti si riteneva che non vi fossero strutture di rilevanza biologica al disotto del limite di risoluzione fissato dal microscopio ottico [6]. Il microscopio elettronico si è invece in pochi anni imposto al biologo, non senza che prima venissero superate difficoltà strumentali, metodologiche e preparative, come uno strumento ineguagliabile, d'importanza assai maggiore che nelle altre discipline. Per molti anni infatti i lavori biomedici hanno dominato il campo delle applicazioni della microscopia elettronica. Questa disciplina si è poi andata estendendo sempre più verso campi diversi da quelli tradizionali ed è interessante rilevare che sono ora i settori abiologici a detenere, nei paesi tecnologicamente più sviluppati, il primato nell'uso del maggior numero di microscopi elettronici. I campi classici della sua applicazione, biomedicina e metallurgia, si sono evoluti nella biologia molecolare e nella diagnostica da una parte, e nella scienza dei materiali e nella fisica dello stato solido (in particolare dei semiconduttori) dall'altra. Infatti, in campo medico, la microscopia elettronica si sta affiancando alle altre metodiche diagnostiche e, in certi campi, con notevole successo, come nel caso della patologia virale renale, ove sono rivelabili specifiche alterazioni morfologiche delle cellule. Un contributo insostituibile, di notevoli implicazioni economiche, viene poi fornito nella identificazione dei virus. Sono stati anche costruiti i cosiddetti microscopi diagnostici, formati dalla combinazione di un microscopio ottico e di un TEM, ove il preparato può essere agevolmente traslato da uno all'altro per riconoscerne e correlarne i dettagli; le immagini ottiche vengono memorizzate in un calcolatore e poi riprodotte per la comparazione simultanea con quelle elettroniche. Inoltre, da qualche tempo, biologi e biochimici hanno iniziato ad usare la microscopia elettronica ad alta risoluzione ed analitica per tracciare mappe di posizioni funzionali, per identificare gruppi chimici in una molecola od in insiemi di molecole e per determinare la struttura tridimensionale di proteine mediante ricostruzione da proiezioni, con una risoluzione migliore di 1 nm.

L'entrata in funzione dei microscopi a risoluzione atomica ha aggiunto un nuovo metodo per lo studio delle superfici esterne (chiarificazione dei difetti strutturali, dei meccanismi delle reazioni e trasformazioni chimiche e delle reazioni catalitiche) ed interne (interfacce, bordi di grani), delle strutture disordinate in cristalli complessi (in particolare ossidi), nonché dei processi di nucleazione e crescita di strati superficiali. Questi studi interessano la chimica inorganica, la fisica, la chimica fisica e la mi-

croelettronica. Se abbinato a strumentazione microanalitica, l'ARM è prossimo a diventare l'ultimo strumento chimico perché fornisce informazioni sulla composizione, struttura e tessitura dei preparati con risoluzione spaziale migliore del nm, cioè a livello di una chimica « visiva ».

L'avvento della microscopia elettronica ad alta tensione e la messa a punto di un metodo di assottigliamento dei preparati poco selettivo, come il bombardamento con fascio ionico, ha consentito alle scienze della terra di usufruire della microscopia in trasmissione, che ha portato, ad esempio, alla scoperta di nuovi minerali.

Contemporaneamente le industrie della nuova rivoluzione industriale (petrolchimica, semiconduttori, materiali compositi, telecomunicazioni, dispositivi e sensori, aerospaziale, nucleare, ecc.) apprezzano sempre più la potenzialità dei microscopi elettronici, specialmente del SEM, per ricerche tecnologiche e di base e per i controlli di produzione. Lo STEM ha trovato un impiego specifico nello studio di catalizzatori. Tuttavia le applicazioni, sebbene in aumento, non sono ancora così estese come ci si attenderebbe dall'enorme contenuto in materiali nuovi dell'industria ad alta tecnologia. Nel solo campo dei progetti di reattori nucleari a fusione è stato valutato che la microscopia elettronica sarà impegnata per i prossimi venti anni nello studio e nello sviluppo di materiali nuovi o modificati, da usare nella costruzione delle strutture dei reattori, tali da reggere alle severe condizioni di temperatura, irraggiamento, corrosione e sforzo a cui si troveranno sottoposti.

Il futuro vedrà l'abbinamento di strumenti di tipo diverso per ampliarne le prestazioni; maggior uso verrà fatto dell'elettronica e dei sensori per l'automazione, l'elaborazione delle immagini in linea e per dotare gli strumenti di un sempre maggiore livello d'intelligenza. Le tecniche di simulazione al calcolatore, per interpretare il contrasto delle immagini ad alta risoluzione ottenute da campioni spessi, verranno perfezionate e diverranno di uso più comune. È previsto un più largo uso delle sorgenti ad emissione di campo e lo sviluppo di filtri d'energia per poter eseguire analisi EELS con risoluzioni migliori di 0,1 eV. Vi sarà una maggior diffusione dei TEM e STEM a tensioni intermedie, fra i 300 ed i 500 kV, d'ingombro compatibile con le normali dimensioni dei locali, ed i cui vantaggi sono un'accresciuta risoluzione ed una maggior brillantezza. Queste prerogative concorrono entrambe al miglioramento delle indagini strutturali ed analitiche. Analogamente

discorso vale per i microscopi ionici a scansione. La spettroscopia e la microscopia a scansione ad effetto tunnel, attualmente in mano a pochi esperti e non ancora inserita fra la strumentazione elettroottica, si espanderà e verrà integrata con le altre tecniche.

Si registrerà un progresso nella preparazione dei campioni, in particolare di natura biologica. È facile prevedere che si diffonderà l'uso della microscopia a bassa temperatura per lo studio analitico e strutturale di materiale il più vicino possibile allo stato nativo, cioè non fissato, non disidratato, non incluso e non colorato. Questa è forse una delle maggiori innovazioni preparative che siano state introdotte. I metodi di contrasto verranno migliorati e diversificati, ed è prevedibile a questo scopo lo sviluppo della olografia elettronica. Il problema del danno da radiazione, che attende ancora una soluzione convincente, continuerà senza dubbio ad attrarre enorme interesse. Ad esso, oltre che per ragioni di aumento del contrasto, può essere associato lo sviluppo dei microscopi a tensione molto bassa ($200 \div 2.000$ V), al momento limitati nelle prestazioni dalla scarsa risoluzione e brillantezza.

Il grado di vuoto all'interno dei microscopi continuerà a migliorare per consentire d'investigare le proprietà fondamentali delle superfici, cioè in assenza di artefatti; ciò contribuirà anche a far capire meglio l'influenza dei contaminanti. Non è da escludere che venga compiuto uno sforzo congiunto dei paesi scientificamente più progrediti per realizzare un microscopio elettronico orbitale di concezione insolita, dedicato principalmente allo studio delle superfici. I vantaggi di un tale strumento sono facilmente prevedibili: le osservazioni potranno essere fatte in un ambiente pulito con un vuoto migliore di quelli ottenibili sulla terra, il preparato verrà a trovarsi alla temperatura di qualche grado assoluto, (ciò gioverà alla stabilità dei preparati organici e biologici), le lenti elettromagnetiche potranno agevolmente essere di tipo superconduttore e quindi ad altissima stabilità. Inoltre non esisteranno i problemi creati dalla presenza di campi magnetici spuri e di vibrazioni meccaniche di cui soffrono invece i laboratori terrestri, problemi il cui superamento aumenta d'importanza col progredire della risoluzione.

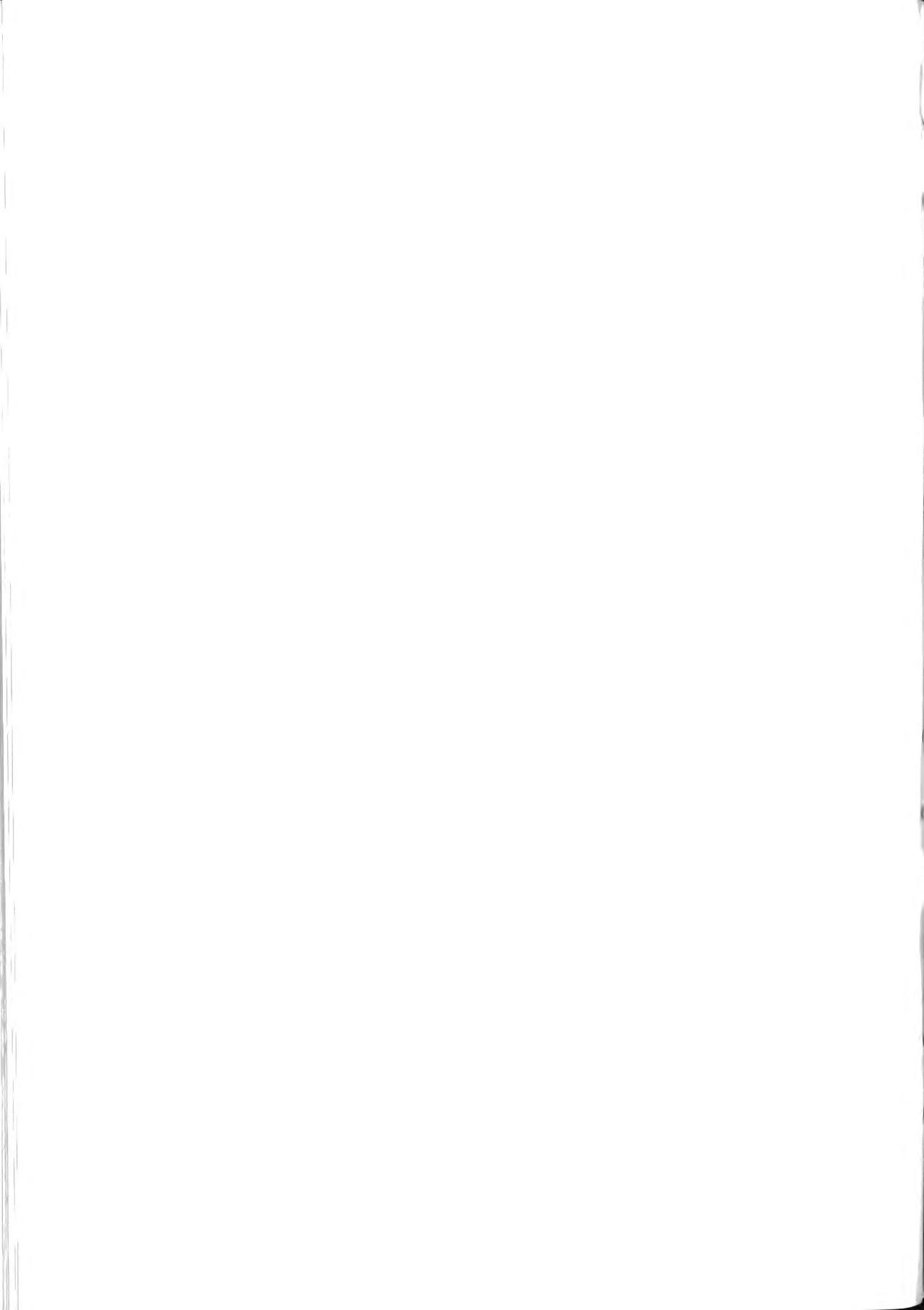
RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano i Dottori D.G. Davies, D. Imeson ed R.H. Milne del Cavendish Laboratory, Cambridge per aver fornito le

figure 9, 4 e 13, e 3 rispettivamente; la Prof.ssa I. Pasquali Ronchetti dell'Istituto di Patologia Generale di Modena per le figure 5 e 6; il Prof. G. Russo ed il Dr. G. Valdrè del Dipartimento di Fisica di Bologna per le figure 10 e 16 rispettivamente. È inoltre un piacere ringraziare il Prof. A. Visani, Presidente della Società Torricelliana, per aver favorito l'occasione di estendere anche ai non specialisti le conoscenze sul ruolo e sugli sviluppi della microscopia elettronica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] U. VALDRÈ, *Misure e complementi di Fisica*, Pàtron, Bologna, 1969.
- [2] H. HASHIMOTO, *JEOL News: Electron Optics Instrumentation*, 22E, 2-10 (1984).
- [3] V.E. COSSLETT, *Contemp. Phys.*, 22, 147-182 (1981).
- [4] D.J. SMITH, R.A. CAMPS, L.A. FREEMAN, M.A. O'KEEFE, W.O. SAXTON and G.J. WOOD, *Ultramicroscopy*, 18, 63-76 (1985).
- [5] T. HONDA, K. IBE, S. SUZUKI, Y. ISHIDA and K. TSUNO, *Inst. Phys. Conf. Ser. No 78*, Adam Hilger Ltd, London, pp. 579-582 (1985).
- [6] E. RUSKA, *The early development of electron lenses and electron microscopy*, S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1980.
- [7] P.W. HAWKES, *Ultramicroscopy*, 5, 67-70 (1980).
- [8] F.A. LENZ, *Transfer of image information in the electron microscope*, in: *Electron microscopy in material science*, U. Valdrè ed., Academic Press, London 1971, p. 540.
- [9] L. REIMER, *Transmission Electron Microscopy*, Springer Verlag, Berlin 1984.
- [10] F. ZEMLIN, E. RUEBER, E. BECKMANN, E. ZEITLER and D.L. DORSET, *Science*, 229, 461-462 (1985).
- [11] A.V. CREWE, *High intensity electron sources and scanning electron microscopy*, in: *Electron microscopy in material science*, U. Valdrè ed., Academic Press, London 1971, p. 162.
- [12] U. VALDRÈ, *Microscopia elettronica a scansione in trasmissione e spettroscopia elettronica*, in: *Microscopia elettronica a scansione e microanalisi*, A. Armigliato e U. Valdrè coord., Laboratorio di Microscopia Elettronica dell'Università, Bologna 1981, p. 301.
- [13] J.R.A. CLEAVER, *Inst. Phys. Conf. Ser. No 68*, The Institute of Physics, London 1984, pp. 461-466.
- [14] E.W. MÜLLER and T.T. TSONG, *Field ion microscopy*, American Elsevier Publ. Co., New York 1969.
- [15] G. BINNING, H. ROHRER, CH. GERBER and E. WEIBEL, *Phys. Rev. Lett.*, 49, 57-61 (1982).
- [16] J.E. DEMUTH, R.J. HAMERS, R.M. TROMP and M.E. WELLAND, *A simplified scanning tunnelling microscope*, *J. Vac. Sci. and Technology* (1986). In corso di stampa.



SERGIO ZANGHERI

Direttore dell'Istituto di Entomologia Agraria
Università di Padova

ANTIPARASSITARI IN AGRICOLTURA E RAZIONALITÀ DEL LORO IMPIEGO

Nell'attuale vastissimo dibattito ecologico si inserisce, a livello del problema della fame nel mondo, la disputa tra chi, da una parte, stima le perdite spesso enormi causate da insetti e da altri animali ai prodotti agricoli e chi, dall'altra mette l'accento su un altrettanto preoccupante massiccio impiego di antiparassitari, veleni caratterizzati spesso da una lunga persistenza nell'ambiente e da una elevata tossicità.

Ci si trova infatti in un dilemma di ben difficile soluzione. Le statistiche più recenti confermano che l'incremento nella produzione di alimenti in questi ultimi decenni è stato proporzionalmente inferiore all'aumento della popolazione. Infatti nonostante un incremento di cibo pari al 7%, non egualmente distribuito però in quanto comprende anche continenti quali l'Africa e l'America Latina nei quali l'alimento pro capite negli ultimi 20 anni è addirittura diminuito, l'aumento della popolazione è stato maggiore. Occorre anche tenere presente che in tutto il mondo c'è un desiderio generalizzato di incrementare al massimo lo standard di vita, il che comporta una maggiore richiesta di energia (non solo nel campo industriale ma anche nel settore agricolo) bene anch'esso prezioso per la rapida diminuzione delle scorte di combustibile.

La produzione di alimenti è da considerarsi oggi ancora carente; infatti con una popolazione mondiale di circa 4 miliardi, i due terzi degli uomini vive con una media di 2.100 calorie al giorno, consumo che, come rilevava il Direttore Generale della F.A.O. Sen, è un « mezzo nutrimento » che in realtà corrisponde ad una « mezza vita ».

Ciò premesso, la stretta connessione tra agricoltura, parassiti delle piante, impiego di antiparassitari e relative conseguenze

non è un fenomeno nuovo; la novità consiste nella dimensione enorme assunta dal problema negli ultimi decenni e della quale ebbi occasione ripetutamente di occuparmi (Servadei, Zangheri e Masutti, 1963 e 1964; Zangheri, 1977 e 1981). Una efficace sintesi del problema è stata curata da D. Pimentel nel 1978 per conto dell'« American Association for the Advancement of Science » in un volume dal titolo quanto mai appropriato: « World Food, Pest Losses and the Environment ».

La comprensione scientifica di questo problema, come premessa per una sua soluzione, può essere sintetizzata in una sequenza che prende in considerazione tre punti:

1) le pullulazioni degli animali dannosi (i cosiddetti fitofagi) e la conseguente lotta chimica sono un effetto della costante modificazione degli ecosistemi naturali;

2) le alterazioni di cui al punto precedente possono essere, almeno in parte, limitate con azioni atte a ricostituire equilibri biologici preesistenti tra fitofagi e loro antagonisti naturali o con altri metodi non chimici;

3) essendo i primi due fenomeni chiaramente in competizione, la tendenza attuale è quella di raggiungere un punto d'incontro tra le esigenze alimentari ed economiche da una parte e la difesa della salute umana e della qualità dell'ambiente dall'intossicazione da antiparassitari dall'altra.

Cominciamo con l'esaminare un primo concetto di base. È a tutti facilmente comprensibile che la trasformazione di un ecosistema naturale in un agro-ecosistema (cioè in una coltura agraria) porta con sé un inevitabile squilibrio anche nelle popolazioni animali, soprattutto dei fitofagi e dei loro parassiti e predatori, squilibrio che favorisce un limitato numero di specie legate alle piante coltivate, a scapito delle altre. I cosiddetti agro-ecosistemi sono di minima complessità, perché formati da una o da poche specie di vegetali e quindi lontani da qualsiasi equilibrio; mancano di una caratteristica fondamentale degli ecosistemi naturali: la stabilità o « omeostasi ecologica ».

Nei tempi recenti l'agricoltura è divenuta sempre più industrializzata ed intensiva su territori sempre più vasti per la necessità di trarre da questi terreni la quantità massima possibile di prodotti, sia per fattori economici che per i bisogni alimentari crescenti. Tutto ciò ha aumentato l'uso dei cosiddetti prodotti

agrochimici (concimi, erbicidi, insetticidi, anticrittogamici, ecc.) che hanno reso gli ecosistemi sempre più innaturali; pensiamo solo alla pratica del diserbo unita alla monocoltura su superfici molto vaste e all'ulteriore effetto dei trattamenti chimici sulle piante od all'impiego su larga scala dei geodisinfestanti.

La conclusione generale di queste prime considerazioni non può essere che quella che in tal modo si instaura nell'agro-ecosistema uno squilibrio a favore dei fitofagi, il cui danno sarà proporzionale all'entità dello spostamento. Occorre quindi prendere atto che il danno economico quantitativo e qualitativo alle produzioni vegetali è una conseguenza inevitabile della messa a coltura di un territorio, fin da quando l'uomo è divenuto agricoltore come ci testimoniano reperti e cronache di tutte le epoche. È noto ad esempio, che cereali danneggiati dalle Calandre (i Punteruoli del grano) si sono riscontrati nelle tombe dei Faraoni e che Plinio nella « *Historia Naturalis* » descrive i peculiari attacchi della mosca olearia.

Se da un lato quindi l'uso razionale degli antiparassitari ha effettivamente incrementato la produzione agricola, ha diminuito le perdite dei prodotti immagazzinati, ha protetto l'uomo da molte malattie (ad es. la mortalità da malaria è scesa drasticamente), portando quindi una serie di benefici; si deve però altrettanto chiaramente affermare che il loro abuso ha causato fenomeni di inquinamento ambientale, di accumulo di residui nei tessuti dei viventi, di contaminazione di cibi, di riduzione o soppressione di organismi utili.

Tutto questo è avvenuto in pochi decenni a partire dal 1945 con l'introduzione dei nuovi composti chimici di sintesi (intere serie quali i cloroderivati, i fosfororganici, i carbammati, i piretrinoidi, ecc.). Nel giro di 40 anni è stato prodotto un immenso arsenale di antiparassitari; solo in Italia vi sono oggi circa 350 principi attivi in 4.600 formulazioni.

L'immissione di sostanze chimiche nell'ambiente agricolo è quindi massiccia, anche se solo in parte proviene dagli antiparassitari (detti anche pesticidi) parola nella quale si comprendono normalmente insetticidi, fungicidi ed erbicidi. L'impiego e il carico inquinante dei tre gruppi è diverso. I dati degli Stati Uniti, estensibili anche all'Europa, ci dimostrano che oggi la tendenza è verso una stabilizzazione o un decremento nei consumi di insetticidi e fungicidi e in un rapido, elevato incremento nell'uso di erbicidi.

Non possediamo statistiche del tutto affidabili sul consumo

di antiparassitari nel mondo (solo negli U.S.A. la produzione di pesticidi è passata in un trentennio da 80.000 a 500.000 quintali) ma dai dati riportati da Pimentel (1978) l'impiego si stima in due milioni di tonnellate annue (mezzo Kg per ogni abitante della Terra in media) concentrate però per oltre 2/3 in Europa e in Nord-America. Anche in Italia vi sono punte elevatissime di consumo come hanno rilevato Celli e Corazza (1983) nelle zone frutticole dell'Emilia-Romagna.

In questo conflitto tra esigenze alimentari crescenti e aspetti negativi nell'impiego di antiparassitari vi può essere una via d'uscita? Molti oggi si pongono questa domanda ed una risposta positiva è possibile. Infatti non si possono eliminare gli antiparassitari quando si conosce che ancor oggi oltre il 20% dei prodotti agricoli mondiali è perduto ad opera dei fitoparassiti, ma d'altra parte vi sono dati, anche italiani, che dimostrano che si può diminuire anche del 35-50% l'impiego di principi chimici, senza riduzione del raccolto.

In sintesi, come si svilupperà successivamente, occorre razionalizzare l'uso degli antiparassitari mediante la scelta, fra la miriade di prodotti esistenti, di quelli meno tossici per l'uomo e meno persistenti nell'ambiente e con l'impiego dei pesticidi solo nei casi in cui il fitofago sia veramente dannoso. Questo porta a rivalutare l'azione di tutti gli antagonisti naturali che frenano la moltiplicazione degli insetti dannosi, forze che sono alla base degli equilibri biologici esistenti in natura. Ricerche recenti in molti paesi mostrano che una agricoltura con minore impiego di antiparassitari può essere una agricoltura non solo altrettanto redditizia in termini economici, ma senza dubbio più valida per quanto riguarda le prospettive della qualità dell'ambiente ove viviamo; richiede però l'impiego di personale altamente qualificato ed è a questa preparazione che si dovrà soprattutto mirare.

Tutto questo è oggi racchiuso nei principi della lotta integrata, che costituiscono anche rivalutazione della lotta biologica. Quest'ultima sfrutta l'azione dei predatori e dei parassiti (molto spesso altri insetti) ma ha buone probabilità di riuscita solo in certi casi (contro fitofagi esotici importati) mentre può essere solo un mezzo coadiuvante negli altri.

La lotta integrata contro i fitofagi non è un metodo, ma un modo di pensare non solo in chiave economica ma anche ecologica, come si ricava da una sua ormai classica definizione: « Sistema di controllo degli animali dannosi che utilizza tutti i mezzi compatibili con le esigenze economiche, ecologiche e tossicologiche,

dando priorità ai fattori limitanti naturali e alle soglie economiche » (De Bach). Notiamo subito che il termine lotta è sostituito con quello di controllo, nel suo preciso significato di « regolazione » delle popolazioni. Gli obbiettivi del controllo integrato sono diversi da quelli della lotta chimica perché con quest'ultima noi tendiamo alla distruzione completa (ma in pratica impossibile) di un fitofago od a causarne la più alta mortalità, mentre con il controllo integrato cerchiamo solamente di abbassare la popolazione del fitofago fino al di sotto della soglia economica, tenendo sempre presenti però quali possano essere le concomitanti variazioni dei livelli delle popolazioni dei simbiotici.

Oggi non abbiamo una sufficiente base di conoscenze scientifiche per fare una vera « lotta integrata » per carenze di dati sulla biologia e la dinamica delle popolazioni dei fitofagi e dei loro predatori e parassiti e dell'influenza dell'ambiente e degli antiparassitari sui diversi organismi costituenti l'agro-ecosistema. Operiamo piuttosto col metodo semplificato della « lotta guidata ».

Essa si basa principalmente su tre punti strettamente collegati: a) fissazione di una soglia di dannosità o economica; b) riduzione del numero dei trattamenti antiparassitari; c) scelta dei trattamenti secondo criteri di selettività e di limitata tossicità.

Il primo punto stabilisce che non si deve intervenire quando un fitofago è semplicemente presente, come purtroppo spesso ancora avviene, ma solo quando si accerta o si prevede che il suo numero superi un determinato livello (la sopracitata soglia) che si stima come rapporto tra il valore previsto dei danni e il costo delle misure di controllo. Esistono per questa stima vari metodi applicabili ai singoli casi sui quali sarebbe troppo lungo intrattenersi.

Il secondo obbiettivo, cioè la riduzione del numero dei trattamenti, si ottiene sia come conseguenza del primo punto che con una più accurata scelta del momento dell'intervento, in ciò aiutati da adeguate metodologie come, ad esempio, il monitoraggio con trappole a ferormoni sessuali che ci indicano quantitativamente il periodo della comparsa di certi insetti. I ferormoni sono messaggeri chimici estremamente importanti nella vita di relazione degli insetti, di molti dei quali oggi esistono anche formulazioni di sintesi (Tremblay e Rotundo, 1980).

Con la riduzione del numero dei trattamenti si otterranno contemporaneamente benefici effetti non solo nella quantità di tossico immessa nell'ambiente (Celli, 1980), ma anche per quan

to riguarda i riflessi sul complesso biotico effetti che, oltre alla difesa degli utilissimi parassiti e predatori, concernono nuovi aspetti negativi. Si è notato infatti che uno degli effetti « boomerang » conseguenti all'eccesso degli interventi chimici può essere lo scatenarsi dei fenomeni di resistenza, come ormai si è verificato in centinaia di specie di insetti e di acari. La ripetuta e continuata « pressione selettiva » dovuta ai pesticidi crea le condizioni favorevoli alla rapida selezione di individui geneticamente resistenti, quasi sempre tali per meccanismi di detossificazione enzimatica di singoli o gruppi di principi attivi di sintesi.

L'ultimo punto, infine, riguarda la scelta dell'antiparassitario, cosa senza dubbio non facile quando si constata che sul mercato i prodotti si contano a centinaia. Vi è inoltre da considerare che, in parecchi casi similmente a quanto avviene per i medicinali, si assiste alla proliferazione di principi attivi e formulati molto simili dal punto di vista dello spettro d'azione, come pure della loro tossicità e persistenza, che mettono l'agricoltore di fronte a difficoltà sempre maggiori nelle scelte. Quest'ultima deve innanzitutto essere orientata verso i prodotti meno tossici per l'uomo e gli animali superiori. Ad esempio è necessario usare, ove possibile, principi attivi di III classe (secondo la classificazione del Ministero della Sanità) invece che di I e II classe che comprendono prodotti mortali o che causano comunque intossicazioni gravi alle dosi d'impiego.

Altra caratteristica positiva negli antiparassitari è la maggiore specificità possibile (cioè un limitato spettro d'azione). È da tenere sempre presente anche la selettività verso gli insetti impollinatori, in primo luogo l'ape, senza i quali la fruttificazione di molte piante si riduce drasticamente.

I risultati dell'attuazione di questi principi sono oggi verificabili, come abbiamo potuto dimostrare in molte ricerche eseguite nell'Istituto di Entomologia agraria di Padova nel corso degli ultimi due decenni operando in vari settori, ma soprattutto in viticoltura.

Si sono potuti eliminare in molti casi alcuni interventi considerati di uso normale della pratica agraria, come le disinfestazioni dei terreni coltivati a mais o barbabietola contro gli Elateridi e le Altiche, da effettuare invece saltuariamente e solo in presenza di determinate situazioni pedologiche o colturali.

In viticoltura è possibile eliminare totalmente i trattamenti acaricidi con un oculato impiego di insetticidi e fungicidi. La conseguente salvaguarda degli Acari Fitoseidi predatori degli Acari

Tetranichidi rappresenta un bell'esempio di ricostituzione di controllo biologico contro quelli che vengono giustamente definiti « fitofagi indotti ». Quest'ultima ricerca, portata avanti per un ventennio, ha dimostrato che le pullulazioni dei Tetranichidi (i cosiddetti Ragnetti della vite) osservate dagli anni '50 in poi e che avevano ricevuto spiegazioni insoddisfacenti ad un serio controllo scientifico come la « trofobiosi » (induzione di maggiore fertilità e longevità per modificazioni del biochimismo della pianta da prodotti agrochimici) erano invece del tutto riconducibili a rotture di equilibri biologici. Da qui la denominazione oggi in uso di « fitofagi indotti » per quelle specie nelle quali l'aumento massiccio e rapido delle popolazioni è causato direttamente da interventi di tecnica agricola. Nel caso specifico si è potuto ampiamente dimostrare che non solo gli insetticidi, ma soprattutto i nuovi anticrittogamici acuprici, causavano una elevata mortalità dei predatori e che era sufficiente ritornare ad un impiego generalizzato dei composti a base di rame perché l'equilibrio si ricostituisse (Ivancich Gambaro, 1984; Girolami e Duso, 1984). Nel corso delle ricerche si è pure osservato, come conseguenza, che è raramente necessario intervenire chimicamente, dato che la soglia di dannosità può essere elevata di parecchio rispetto a quella precedentemente consigliata (Duso, in corso di stampa).

In frutticoltura oltre ad una riduzione nel numero degli interventi sugli insetti carpo-fagi, si può arrivare ad una eliminazione di quelli contro diversi minatori fogliari, in particolare la Lito-collete, specie ampiamente parassitizzata in natura e quindi altro fitofago indotto (Celli, 1970).

Dobbiamo riconoscere infine che un considerevole aiuto alla riduzione nell'impiego dei prodotti tossici in agricoltura ci viene dall'attuale legislazione. L'Italia ha infatti, nel complesso, una buona regolamentazione riguardante la produzione e l'impiego degli antiparassitari. Queste disposizioni non riguardano solo la registrazione dei prodotti (e a molti principi attivi nel corso di questi ultimi anni tale registrazione è stata revocata) ma anche le limitazioni d'impiego come dosaggio e intervalli di sicurezza per l'immissione delle derrate al consumo, codificate nella recente O.M. 6-VI-85. A quest'ultimo riguardo è necessario purtroppo rilevare la pratica impossibilità di un efficiente controllo per carenze strutturali e di funzionamento delle Amministrazioni responsabili; e violazioni, anche gravi, sono sotto gli occhi di tutti.

Possiamo chiederci a questo punto, avviandoci alla conclusio-

ne, quali potranno essere gli ulteriori sviluppi in senso ecologico del rapporto agricoltura-antiparassitari.

L'ulteriore riduzione del carico inquinante, oltre che con i sistemi già detti, si potrà ottenere con metodi non chimici o bioambientali, operazioni che un Rapporto americano sull'ambiente riunisce nella definizione: « modificazioni dell'ambiente ove vive l'organismo dannoso, inteso sia come parte fisica che biologica o alterazioni della fisiologia, della struttura genetica e del comportamento di animali e piante, oppure combinazione di questi sistemi ».

Un filone genetico molto promettente in questo settore è quello della costituzione di cultivar resistenti: per gli insetti è sufficiente ricordare il caso del Mais resistente alla Piralide e molti esempi sono noti nella patologia vegetale.

Molto ci si aspetta da talune biotecniche. Conoscendo la struttura chimica dei ferormoni sessuali di numerose specie dannose, oggi queste sostanze possono venire impiegate non solo per campionare il livello delle popolazioni, ma anche per abbassare direttamente l'entità di queste ultime, sia in pieno campo che nei magazzini (Sacco e Pellizzari Scaltriti, 1983).

Il controllo con patogeni o con metodi « autocidi » allargano le possibilità di intervento non chimico. L'impiego di alcuni agenti microbiologici e di virus offre, in linea di massima, il grande vantaggio di dar luogo ad una sorta di reazione a catena poiché gli individui colpiti e divenuti a loro volta portatori delle infezioni finiscono per disseminare la morte intorno a loro. Questi microrganismi sono specifici per gli insetti e per questo non pongono problemi per la salute umana.

I virus entomopatogeni insidiano in modo particolare l'esistenza degli insetti defogliatori, soprattutto negli stadi precoci di sviluppo. Il fenomeno interessa particolarmente le larve dei Lepidotteri e degli Imenotteri. Sperimentazioni effettuate su vasta scala hanno già dimostrato che la disseminazione di materiale infetto, ottenuto per frammentazione e speciale preparazione di larve malate di virosi, può portare a risultati molto incoraggianti, soprattutto in aree occupate da colture estensive o foreste.

I preparati a base di Batteri si trovano già in commercio e si distribuiscono sotto forma di polveri in sospensioni acquose, in modo analogo a quello seguito per gli insetticidi chimici. L'agente di gran lunga più sfruttato è il *Bacillus thuringiensis* nella sua vasta gamma di varietà. Esso si presta per il controllo di Lepidotteri sia in colture agrarie che in campo forestale. L'azione le-

tale del *B. thuringiensis* è dovuta alle inclusioni cristalline che si formano nello sporangio al momento della produzione delle spore. Questi cristalli, a contatto con i succhi digestivi dell'ospite liberano, anche grazie all'ambiente fortemente alcalino presente nell'intestino delle larve degli insetti, delle tossine responsabili dell'azione patogena. Un particolare ceppo (var. *israeliensis*) è attivo su larve acquatiche di Ditteri (es. zanzare).

La lotta genetica o autocida consiste nell'indurre con appositi trattamenti chimici (chemosterilanti) o, più spesso fisici (raggi X, raggi gamma del ^{60}Co , radiazioni particellari) la sterilità degli insetti (più di frequente nei maschi). Con le radiazioni si può ottenere anche la morte degli insetti ed il sistema è già entrato in uso, sia pure limitatamente, nel Nord-America per la disinfestazione delle granaglie immagazzinate. Esso però richiede grandi e costose attrezzature in quanto sono necessarie dosi ed intensità elevate; si pensi, a titolo di esempio, che mentre per l'uomo la dose letale di radiazione è stimata intorno a 600 r, per gli insetti è dell'ordine di migliaia o, più spesso, di decine di migliaia di r.

Prospettive più lontane, ma anch'esse promettenti, riguardano l'impiego di ormoni per bloccare o deviare lo sviluppo di insetti.

Come si può costatare il ventaglio delle strade nuove nel campo della lotta antiparassitaria è quanto mai ampio e promettente. I risultati conseguiti negli ultimi anni dimostrano che è possibile e talora già in atto una inversione di tendenza all'espansione dell'impiego degli antiparassitari con i programmi che ho cercato di esporre e che gli anglosassoni sintetizzano nel concetto di « Integrated Pest Management » (I.P.M.) (Pimentel, 1981).

BIBLIOGRAFIA

- CELLI G. (1970). Indagine preliminare sulle possibilità di attuazione di un metodo di lotta fondato sul rispetto e la valorizzazione degli entomofagi di due minatori del melo (*Leucoptera scitella* Zell. e *Lithocolletis blancardella* F.). Bollett. Istit. Entomol. Univers. Bologna, vol. 29, pp. 217-314.
- CELLI G. (1980). I limiti e i pericoli dell'impiego degli insetticidi in agricoltura, in: ZANGHERI S. (Ed.), Prospettive di controllo biologico degli insetti in agricoltura. C.N.R., Padova, pp. 3-48.
- CELLI G. e CORAZZA L. (1983). Antiparassitari e difesa del melo. Inform. Fitopatol., 33, n. 7-8, pp. 9-14.
- DUSO C. (1986). Comparison between two control strategies of *Panonychus ulmi* (Koch) on vineyards. Proc. Meet. Europ. Comm. Expert's

capaci di interessare un intero osso lungo, creando uno stato tossico che spesso portava a morte il bambino; quando ciò non succedeva, il decorso per la guarigione era molto lungo e spesso lasciava postumi importanti, trattandosi di soggetti in via di accrescimento.

Se poi prendiamo in considerazione la poliomielite anteriore acuta, entriamo nel vivo della ortopedia di quei tempi. Almeno un terzo dei letti degli ospedali ortopedici erano occupati da poliomielitici che dopo il periodo acuto passato nelle cliniche pediatriche, giungevano a noi per la correzione delle deformità e disfunzioni conseguenti alle paralisi muscolari.

Frequentemente un paziente doveva subire vari interventi chirurgici; osteotomie, artrodesi, trapianti muscolari, seguiti da lunghi periodi di riabilitazione, con risultati in genere discreti, talvolta deludenti.

Ricordo anche il numero cospicuo di deformità congenite, prima fra tutte la lussazione congenita dell'anca. Non vi era una organizzazione adatta per la prevenzione nei primi mesi dalla nascita con lo screening e con il trattamento in divaricatore. Giungevano in ospedale bambini che dalla fase di prelussazione erano già passati a quella di lussazione franca, difficile ormai da trattare con trazione ed apparecchi gessati e spesso destinata ad essere operata di riduzione cruenta.

Nel vasto campo delle alterazioni degenerative delle articolazioni, cioè nell'artrosi, le possibilità della chirurgia ortopedica erano limitate ad interventi correttivi di deformità (osteotomie), eseguite con successivi apparecchi gessati che non mettevano al riparo da rigidità articolari secondarie. Nei casi già molto evoluti, si tendeva anzi a sopprimere l'articolazione con artrodesi (anchilosi), ottenendo scomparsa del dolore ma contemporaneamente una netta riduzione della funzionalità degli arti, e a lungo andare, artrosi delle articolazioni viciniori.

La sede più frequente di interventi per artrosi era l'anca.

Altro settore era rappresentato dalla chirurgia della colonna vertebrale, sia per ernie discali cervicali o lombosacrali, sia per infezioni o neoplasie che interessassero lo scheletro vertebrale o i contenuti del canale vertebrale.

In questo campo le tecniche chirurgiche non sono in pratica cambiate, tranne che per i mezzi diagnostici.

La scoliosi, cioè una deviazione congenita o acquisita della colonna vertebrale, veniva trattata unicamente con busti gessati

ed ortopedici correttivi. Anche la prevenzione con presidi fisioterapici era praticata solo in qualche istituto specializzato.

I pazienti di tipo traumatologico erano in numero sensibilmente minore: il boom della motorizzazione non è venuto che più tardi. Inoltre in quegli anni gran parte della traumatologia veniva trattata dai chirurghi generali, anche perché in pochi ospedali di provincia era stato istituito il reparto Ortopedico-Traumatologico. Anche nel traumatizzato imperava il trattamento non cruento con apparecchio gessato, tranne che per le fratture articolari.

Questo il quadro della situazione a cavallo degli anni cinquanta. L'avvento degli antibiotici ha mutato radicalmente le cose in vari settori: sono state debellate quasi completamente le infezioni: osteomieliti, artriti gonococciche, da melitense, da tifo e paratifo. Il trattamento con streptomina ed altri farmaci dei pazienti affetti da tubercolosi polmonare o viscerale ha ridotto o impedito l'insorgenza delle lesioni osteoarticolari secondarie, e, quando queste si fossero già instaurate ne ha provocato un decorso favorevole. Oggi pertanto molti dei sanatori sono stati trasformati e deputati ad altre patologie essendo i casi di tubercolosi ridotti quasi a zero. Lo stesso dicasi della sifilide, per quanto in questi ultimi anni sia stata segnalata una modesta ripresa della morbilità, legata, come anche per la tubercolosi, a ceppi batterici resistenti.

La vaccinazione ha vinto in Italia la poliomielite e tutte le sue conseguenze. Già i giovani Chirurghi ortopedici di oggi non conoscono un quadro poliomielitico, se non per quello che hanno potuto leggere in un testo di patologia.

Come ho già detto, nel campo delle malattie congenite la lussazione dell'anca era causa frequente di invalidità per le sequele artrosiche che ne derivavano. Ora è raro il caso che essa sfugga precocemente ad un accertamento clinico e radiologico che permetta una cura sollecita con guarigione perfetta o quasi.

Altra deformità che tende a scomparire è il torcicollo miogeno, conseguente a parti distocici con strappo dello sternocleidomastoideo: ciò è dovuto alla migliore assistenza al parto, che avviene ormai quasi sempre in Ospedale, ed inoltre al frequente ricorso al taglio cesareo.

Lo stesso vale per i traumi e le paralisi ostetriche, un tempo molto più frequenti.

Per quanto concerne l'artrosi, attualmente vi sono fattori che ne hanno ridotta la frequenza o la gravità: mi riferisco ad una

diminuizione delle sollecitazioni articolari per merito della meccanizzazione. Pensate alle usure cui erano sottoposte le articolazioni di braccianti agricoli, facchini, operai in genere, rispetto a quanto accade ora!

Un fattore che però ha portato ad un aumento dei casi di artrosi è il prolungamento della vita media: quanti sono ora i vecchi che presentano artrosi dell'anca o delle ginocchia, associata o meno ad osteoporosi?

Il trattamento chirurgico dell'artrosi è forse quello che ha avuto la maggiore evoluzione: da molti anni ormai si eseguono sostituzioni di articolazioni con artroprotesi che permettono di riacquistare il movimento completo o quasi di quel segmento scheletrico. Unico loro difetto è la durata nel tempo, poiché l'organismo non sopporta a lungo corpi estranei, quali metalli, cementi acrilici, coppe di plastica o di ceramica.

In tutto il mondo vi è un fiorire di ricerche per mettere a punto materiali sempre più sofisticati che non vengano respinti dai tessuti umani. Ad ogni modo attualmente in media una protesi d'anca o di ginocchio ha una durata di dieci, dodici anni, e salvo necessità particolari, viene applicata in soggetti anziani che abbiano una aspettativa media di vita pressoché corrispondente. La copertura antibiotica, la disponibilità di sangue da trasfondere, i progressi della Anestesiologia, permettono ora di eseguire anche interventi impegnativi in pazienti avanti con gli anni.

A questo fine concorrono anche i migliori sussidi diagnostici a nostra disposizione, quali per esempio gli apparecchi radiologici abbinati ad un televisore (intensificatore di brillantezza) che consentono un intervento più rapido e più preciso.

In questi ultimi anni i progressi nell'elettronica ci hanno messo a disposizione delle apparecchiature diagnostiche impensabili: la Tomografia assiale computerizzata (Tac) che facilita, specie nel campo della chirurgia vertebrale e delle neoplasie dello scheletro, la diagnosi di sede e di invasione dei tessuti.

Alla T.A.C. si è recentemente aggiunta la Risonanza Magnetica (M.R.I.) che dà immagini precise e chiare di sezioni del corpo umano, sfruttando le modificazioni di orientamento degli atomi componenti i tessuti, indotte da un potente campo magnetico; un computer capta questi segnali e tramite mappe numeriche rapportate ad una scala dei grigi, dà immagini anatomiche utilissime per fini diagnostici.

Da questo rapido e per forza di cose sintetico excursus nella

evoluzione della chirurgia ortopedica in questi ultimi quarant'anni, si possono trarre delle considerazioni. La prima e più importante è la constatazione che la chirurgia, mentre da un lato si è affermata ed ampliata per merito dei progressi tecnici, ha perduto contemporaneamente vasti campi di attività per i successi delle ricerche biologiche che hanno messo a disposizione vaccini, antibiotici, chemioterapici atti a vincere sul nascere o ad impedire addirittura l'insorgenza di varie malattie.

Sotto questo angolo visuale si è costretti a concludere che la chirurgia è un atto cui siamo costretti per ripiego quando non si possano evitare in altri modi le lesioni patologiche. Questo vale anche per gli altri tipi di chirurgia: quanti stomaci in meno vengono resecati da quando vi sono farmaci che possono curare l'ulcera gastrica?

Altra constatazione: in Ortopedia sono variati i parametri dell'età dei pazienti, nel senso che è diminuita la patologia dei giovani. Attualmente le corsie di Ortopedia sono frequentate in maggioranza da anziani, affetti da forme artrosiche e da osteoporosi senile con tutte le sue conseguenze (fratture vertebrali, del collo femorale). Ciò è dovuto, come abbiamo già accennato, al prolungamento della vita media, che ora si aggira sui 70 anni.

Che previsioni possiamo fare per il futuro prossimo?

Certamente nel campo diagnostico vi saranno ulteriori progressi, legati alla rapida evoluzione dell'elettronica. Si pensi che gli apparecchi per la T.A.C. sono già alla 5^a generazione: vale a dire che quelli della prima, in pochi anni, sono già obsoleti, sorpassati!

I progressi della immunologia già permettono di trapiantare organi da un paziente all'altro; come si trapiantano cuori o reni si potranno trapiantare probabilmente arti.

Ma la prevenzione delle malattie, sia per controlli più frequenti ed ampli, sia per i sempre migliori presidi igienici, sia infine per i progressi della biologia, saranno i fattori che più influiranno sulle discipline chirurgiche, compresa l'ortopedica.

SANTE ALBERGHI

Già dell'Università di Lecce

L'APERTURA DELLA SCIENZA IN TEILHARD DE CHARDIN

Con particolare riferimento al vol. *Il fenomeno umano* di Teilhard de Chardin ci preme chiarire, anche se brevemente, il rapporto stabilito da questo Autore, geologo e paleontologo per specializzazione scientifica, coi principi fondamentali della fede cattolica.

Il gesuita francese, intanto, si distingue per aver concepito l'evoluzionismo in *concordia discors* col naturalismo deterministico, introducendo nella conduzione scientifica il carattere della continuità-discontinuità, dovuta, quest'ultima, alla pluralità, unità ed energia insite già nella *materia elementare*, che nasconde in sé i germi vitali, potenzialmente dotati di una forza progressiva di « complessificazione », intuibile se si passa dall'esterno all'interno delle cose stesse. Sta a dimostrarlo la scoperta delle sostanze radio attive a spiegazione della profonda trasformazione producentesi nella massa dei corpi modificata dalla velocità e dalle radiazioni emanate. Cosicché « la vita presuppone inevitabilmente, a perdita d'occhio, prima della sua apparizione, una certa pre-vita » (*op. cit.*, ediz. Il Saggiatore, 1973, p. 64). Perciò « anche nei confronti della fisica, l'idea di una materia assolutamente priva di un qualsiasi elemento spirituale (vale a dire un puro *transiente*) rappresenta soltanto una prima grossolana approssimazione della nostra esperienza » (*ibid.*). La scienza integralmente intesa non può quindi ignorare il problema del collegamento tra le due energie, del corpo e dell'anima, onde sfuggire a un dualismo di fondo; a cominciare dalla « primavera della Terra », una misteriosa energia interna provoca il passaggio dal chimismo minerale al chimismo organico, e ogni grado di trasformazione si deve intendere già come « oscuramente primordiale » (v. p. 84). Va accolta pertanto l'attribuzione di una forza *radiale* oltre che

tangenziale, per la quale scaturisce in fine la vita che ha inizio con la cellula. Si procede dunque per *metamorfosi*, che hanno per altro lontane radici negli stadi precedenti, nell'involucro primordiale, appunto.

Nell'universo in movimento si accentua del pari e conseguentemente la ramificazione (« l'albero della vita ») in un processo additivo e proliferante, in una causalità orientata: « Il *philum* (o fascio vivente) è nato » (p. 146); esso cresce « senza esaurire la branca sulla quale è nato, si espande al di sopra di essa » (p. 146) nell'equilibrio generale della biosfera. Passando alla branca dei vertebrati nel *ventaglio* in cui si esprimono le forme di vita l'evoluzione acquista sempre più evidentemente un senso orientativo. « E nel cuore della vita, per spiegare la sua progressione, (si dispone) la molla di una salita di coscienza » (p. 195). La vita è un'ascesa di coscienza e, nel processo che precede l'*ominizzazione*, quando il Terziario sta per concludersi, entrano in scena i Primati, nei quali « l'evoluzione, trascurando e quindi mantenendo plastico tutto il resto, ha lavorato direttamente al cervello » (p. 211).

Al centro dei mammiferi si accende quindi « un punto di incandescenza, la fiamma del pensiero. Si compie così il *salto* nella *riflessione*, propria dell'uomo-persona, non dell'animale, con immense conseguenze in questa nuova sfera. Ammesso che ogni specie di istinto tende a diventare *intelligenza*, va precisato tuttavia che solo « sulla linea umana... l'operazione è pienamente riuscita » (p. 221). Ancora discontinuità nella continuità. « Nel mondo diventato umano... è sempre la stessa ramificazione che si prolunga e opera secondo lo stesso meccanismo di prima. Con la differenza che, quale conseguenza della quantità di energia interiore liberata dalla riflessione, l'operazione tende ad emergere dagli organi materiali per formularsi *anche*, o meglio, *soprattutto*, sotto forma di spirito » (p. 133). Entra ora in campo la psicologia a suffragare più perspicuamente la mutazione e sublimazione nell'evoluzione, il progresso nella *Noosfera*.

Siamo ormai di fronte a « un movimento il cui cerchio, superando infinitamente le scienze naturali, ha successivamente raggiunto e invaso, attorno a loro, la chimica, la fisica, la sociologia, e persino la matematica e la storia delle religioni » (p. 291). Nel progresso dell'*ominizzazione* va seguito di poi il fenomeno sociale, sempre più spinto, « culmine e non attenuazione, del fenomeno biologico » (p. 298). Raggiunto il livello del pensiero la vita esige di salire, con salto radiale, sempre più in alto, a una

supervita, attraverso un processo di superamento dell'individualità isolata e di effetti *di unione* con gli altri. « L'esito del mondo, la porta dell'avvenire... non si aprono per qualche privilegiato, e per un solo popolo eletto... (ma) sotto la spinta di *tutti noi collegati insieme...* » (p. 328); suscitando in ciascuno l'esigenza di rispondere al problema superscientifico di dare un valore super-spaziale e super-temporale ai vari elementi raggruppati in un tutto organizzato e armonizzato. Traguardo di pensiero che sta *davanti a noi*, in un nuovo campo di espansione psichica: « La pace nella conquista, il lavoro nella gioia ci aspettano al di là di ogni impero opposto ad altri imperi, in una totalizzazione interna del mondo su se stesso, nell'edificazione unanime di uno *spirito della terra* » (p. 340). Che l'evoluzione sia pertanto un'ascesa della coscienza implica che essa, in quanto tale, debba « culminare in una coscienza suprema » (p. 347), quella di un accentramento e convergenza illuminante dell'essere su se stesso, il punto *Omega*. La vita si umanizza, l'uomo si ultraumanizza: il processo è *saltuario*, ma prestabilito e irreversibile; ed è caratterizzato dalla non dissociazione dell'*Ego* col *Tutto*, cioè, dalla intrinseca potenza di sintesi nell'organizzazione: l'universale e il personale crescono insieme. La sparizione dell'*Ego* nell'universale, nell'anonimizzazione dell'*avere* annullerebbe le maggiori affermazioni della coscienza.

A questa unità non dissolvente si eleva e porta l'amore, un amore universale, come risonanza del Tutto, « nota essenziale della pura poesia e della pura religione » (p. 358). Il collettivo e antipersonalistico è in-amabile, non ci conduce verso un *Qualcuno*. È impossibile amare un essere anonimo. Nel confluire secondo la linea (iper-personale) dei loro centri i *grani di coscienza* accentuano la profondità e l'incomunicabilità del loro ego; più essi diventano, tutti insieme, l'Altro, più ognuno diventa se stesso. « Come potrebbe essere diversamente se penetrano in Omega? (Dato che Omega) non può essere che un centro distinto irradiante nel cuore di un sistema di centri » (pp. 352-53). Siamo ormai ben oltre la naturalità normalizzata nell'*esprit de géométrie*.

Dotata così la materia di un'interiorità, immaginata una energetica dello spirito, concepita in senso opposto all'entropia una monogenesi ascendente, attribuito un senso, una freccia e dei punti critici all'evoluzione, facendo sì che, alla fine, tutte le cose si ripieghino in Qualcuno preesistente e trascendente, sono ormai definiti i tratti principali che, secondo Teilhard de Chardin, si pongono in coincidenza con il Credo cristiano e con l'*Incarna-*

zione redentrice, in cui « il Cristo si ammantava organicamente nella maestà della sua creazione » (p. 403).

Procediamo ora a qualche riflessione di base.

In tema di ricorsi storico-filosofici c'è chi riscontra in questo fare del Cristo redentore una forza cosmica, un rinnovamento, in chiave più moderna ed epistemologica, dell'eresia gnostica.

Altri critici prendono in esame, a titolo di confronto, prospettive spiritualistiche più immuni da ambiguità o da compromessi con supposte derivazioni scientifiche: ad es. accolgono le obiezioni mosse da Blondel, rafforzate da riferimenti a commentatori autorevoli, quali Duméry, De Lubac, Gilson..., Rosmini, Lazzarini, Battaglia... In un suo libro, appunto, su *Blondel e Teilhard de Chardin* (Zanichelli, Bologna, 1966) Franco Polato riporta da Blondel l'ammonimento a evitare di supporre che il disegno primordiale e principale del Creatore e del Redentore sia quello « de résoudre une sorte de difficulté physicieste, un problème d'ingénieur ou de biologiste... et quoiqu'en effet tout se tient corporellement, le domaine spirituel est, en fait pour l'ontogénie des âmes, au-dessus des curiosités scientifiques, parfois même en réaction contre ce millénarisme renouvelé qui glorifie à l'extrême, come una révélation de la destinée humaine, *cet avenir de la Science* et cette vue d'un déterminisme éthico-naturaliste » (p. 96).

Qual'è dunque la difficoltà di primo piano sollevata in accordo con la linea ortodossa sanzionata dal Magistero della Chiesa? Questa: che nella sistematica teilhardiana risulta innanzi tutto equivoca e compromessa la soprannaturalità e personalità di Dio, anche per quanto riguarda la creazione dell'anima umana. La coscienza riflessa germina, qui, nel processo di continuità-discontinuità rispetto ai gradi precedenti dell'evoluzione. Il salto *qualitativo*, quindi, non è tale in senso assoluto: la creazione va attribuita a un atto iniziale che genera un mondo compatto che poi fa da sé, realizzando le proprie possibilità, fino al ritorno consapevole all'atto primo, e punto Omega.

Ci si imbatte così, preliminarmente, in un difetto logico, per cui si pretende di ricavare la vita dello spirito da premesse che non possono includere, neppure *in nuce*, i principi e valori universali, immutabili, intuiti *in interiore homine*, ma inderivabili dalla fenomenicità, finitezza e opacità della manifestazioni naturali. Perciò il rimando all'Origine trascendente non può essere prospettato *in continuità*, sia pure gratificata di una creatività immanente. Le intuizioni e i concetti speculativi che connotano inconfondibilmente ed esclusivamente, anche se incoate e latenti, ma comunque

potenziali, la costituzione dell'*homo sapiens*; i concomitanti eroismi morali e i voli della fantasia nel bello e nel sublime, testimoniano di un distacco originario della valenza spirituale nella sintesi medesima, o *compositio* di anima e corpo, in relazione al principio creazionistico.

A ribadire l'equivocità della conciliazione auspicata da Teilhard de Chardin valga ancora il passo seguente: « Gli Spiritualisti hanno ragione nel difendere una certa trascendenza dell'uomo sul resto della natura. E neppure hanno torto i materialisti quando sostengono che l'uomo è soltanto un termine nuovo nella serie delle forme animali » (pp. 223-24, *op. cit.*).

Quando pure si ripeta con Mach che la storia ha fatto tutto e può cambiare tutto, applicando tale giudizio alla conoscenza scientifica (che non si lega a forme immutabili né rientra in una rigida impalcatura logica), da parte degli stessi neoempiristi, si infrangono gli schemi della necessità naturale, ma non si tratta della libertà propriamente umana. Ci scopriamo, in tal senso, soggetti a una insondabilità che ci sottomette, ci sorpassa e ci fa apparire simili a granelli di polvere sperduti senza perché nell'immensità astrale, nell'universo fisico, ove per poco « il cor non si spaura ».

L'uomo sa e può, invece, rivendicare la sua radicale libertà e consistenza essenziale accedendo metafisicamente all'intelligenza dell'essere che di riflesso lo rende partecipe dell'Essere infinito, in Sé e per Sé sussistente: per cui egli si costituisce e manifesta in quella integralità che sola gli compete fra gli enti; in quanto lo rende « capace » di attingere l'infinito, di intendere, amare, perseguire i valori improntati di infinità oltre il contingente. Anche Kant assegnava soltanto all'uomo questa prerogativa, a proposito della coscienza morale.

I reperibili « semi di immortalità » (nel profondo di noi stessi, non agitato dalle onde superficiali) offrono motivi plausibili e razionali al fondamento fideistico, ad evitare che, malgrado la stanchezza per le lotte esistenziali, ci si volga poi indietro *de-menti* e *sconsolati* (insufficientemente compensati dal misterioso rapimento poetico) al cospetto del *Nulla*.

Poiché nessuna risposta adeguata e salvifica sul « chi sono e perché » potrà mai sorreggere colui che, negando la dimensione metafisica e la duplice, sintetica natura della persona umana, la riduca ancora a meno di un *Teil-mensch*.

GIUSEPPE BERTONI

BREVE NOTA SULLA VEXATA QUAESTIO DEL LUOGO
NATALE DI EVANGELISTA TORRICELLI

Di recente è entrata a far parte della biblioteca della « Torricelliana », attraverso un acquisto fatto in antiquariato, un'opera del gesuita Daniello Bartoli, il quale, ragionando intorno al principio su cui si fonda l'esperienza dell'*argento vivo*, fa doverosa ed encomiastica menzione di Vangellista [*sic*] Torricelli (1). L'immissione del volume, di piccolo formato, nella biblioteca della Società mi ha offerto l'occasione di riflettere sul dibattuto problema del luogo di nascita dell'inventore del principio fisico che portò alla costruzione del barometro ed alla sua utilizzazione pratica. Il Bartoli senza ombra di incertezza dichiara esplicitamente che Faenza è *patria* del Torricelli, così come Firenze gli fu *scuola e Teatro*. Orbene, la data di pubblicazione del libro (1677) dista trenta anni giusti da quella della morte del Torricelli (1647) e quindi è ben anteriore al momento in cui Giovan Battista Clemente Nelli in un *Elogio* di Torricelli inserito in una *Serie di*

(1) D. Bartoli, *La/ Tensione/ e la/ Pressione/ Disputanti/ Qual di loro sostenga/ L'Argentovivo/ Ne' Cannelli/ Dopo fattone il Vuoto./ Discorso/ del P./ D.B./ Della Compagnia di Giesu./*, In Bologna, M.DC.LXXVII./ Per Gioseffo Longhi, p. 32: « [...] il primo trouatore di questa oggidì tanto celebrata isperienza, essere stato *Vangellista Torricelli*: onor di Faenza che gli fù Patria, e di Firenze, che gli fu scuola e Teatro ». Vangellista è l'antroponimo volgare corrente, derivato direttamente dal termine 'Vangelo', contrapposto alla forma dotta Evangelista. Torricelli firmava anche con la prima forma le lettere in volgare. Cf., ad esempio, la lettera del 27 gennaio 1646 pubblicata da A. Procissi in « Torricelliana », 4 (1953), p. 10 e s. e quelle riprodotte nel volume IV delle *Opere*, Faenza 1944, pp. 210-212. L'affermazione del Bartoli non era sfuggita a Giovanni Ghinassi, benemerito studioso del Torricelli, in *Lettere fin qui inedite di E.T. precedute dalla vita di lui scritta da G.G. con note e documenti*, Faenza, dalla Tipografia di Pietro Conti, 1864, p. X. L'opera del Bartoli uscì nello stesso 1677 pure a Roma e in seconda edizione a Venezia, Appresso Gio: Francesco Valvasente nel 1678, sempre in 12° (vd. G. Mazzucchelli, *Gli scrittori d'Italia* [...], II, 1, In Brescia, presso a Gianbatista Bossini, 1758, p. 439. Fu riprodotta successivamente nelle *Opere* stampate a Torino, 1825-56 e a Firenze, 1829-37.



EVANGELISTA DI^{LO} GASPERO TORRICELLI^{NO}
 DI PIANCALDOLI CASTEL DELLA ROMAGNA FIOREN.
 INVENTORE DEL BAROMETRO, E
 DELLA MISURA DELLA CICLOIDE.
 N.^o a XV. OBr. MDCVIII. M.^o a XXV. OBr. MDCXXXVII



*Al merito singolare del Nobil Uomo
 il Sig.^{re} Cavaliere Carlo Cerbini Buonaccorsi.
 Copiato da un Quadro in Tela oppa. T. M.^o Sig.^{re} Gio. Battista Nelli.
 Giandom. Traballero del. Firenze. Allegretti inc. 1672.*

ritratti d'uomini illustri toscani [...] e pubblicato a Firenze nel 1770 (vd. oltre a n. 6), affermò in una nota di credere Torricelli nato in Piancaldoli sulla fede, tra l'altro, di una lettera di Benedetto Castelli inviata da Roma a Galileo il 19 gennaio 1632 (2).

(2) La lettera è pubblicata, oltreché nel vol. 9 della prima edizione delle *Opere* di Galileo a p. 273, nel vol. XIV della ristampa (Firenze 1935), p. 360 e s.; in essa il Castelli scrive di godere spesso la compagnia « di un Sig.re Evangelista Torricelli da Imola ». Il Ghinassi nel libro citato nella nota precedente giudica la sentenza del Castelli « fallace e contraddittoria ». Dopo il Nelli furono avanzate altre

Il Bartoli, che era nato proprio nello stesso anno del Torricelli (1608), ci è testimone che, quando ebbe luogo la pubblicazione dello scritto sopra menzionato, non era messa in discussione la faentinità del Torricelli. È vero che l'attribuire una patria, considerata come residenza stabile di una famiglia, non esclude che casualmente il luogo di nascita di un membro di essa possa non coincidere con quello della residenza stessa. Quindi il Torricelli, pur essendo, quanto a ceppo familiare, un pretto faentino, potrebbe aver visto la luce in una località diversa, come tante volte è accaduto, e accade tuttora, allorché la madre preferisce, o è costretta per impreviste circostanze, a mettere al mondo la propria creatura in un paese diverso dal proprio. A recidere il nodo della controversia offrirebbe una soluzione incontrovertibile la presenza di un registro o di una fede battesimale. Ma, ahimé, nei registri battesimali del Duomo di Faenza — ove, come è noto, venivano battezzati fino al secondo decennio di questo secolo i nati della città (nelle campagne serviva per tale rito il fonte battesimale delle pievi) — non vi è nessuna traccia del battesimo di Torricelli e neppure in quelli delle pievi circostanti. È dunque giocoforza dedurre da questa assenza che ad Evangelista è stato somministrato tale sacramento in una località diversa dalla città di Faenza.

Indirettamente si ha notizia dell'esistenza di una fede di battesimo dal carteggio intercorso tra Lodovico Serenai, giureconsulto e Cancelliere dell'Opera del Duomo, grande amico ed esecutore testamentario di Torricelli, e Carlo e Francesco (3), fratelli di Evangelista. Infatti il Serenai con lettera del 7 dicembre 1647 aveva chiesto a Francesco « l'anno, mese e giorno e ora che nacque » il sig. Vangelista e il documento attestante questi dati, e Carlo nella lettera di risposta, scritta di sua mano il 14 dicembre successivo, ma controfirmata da Francesco, dichiara « havemo la fede del suo batesimo », attestante la nascita di Evangelista il 15 ottobre 1608 (4), ma non precisa da quale chiesa

congetture sul luogo di nascita di Torricelli: Tossignano, Modigliana, Brisighella. Vd. ivi a pp. X e L-LII. Nelle notizie manoscritte raccolte dal Nelli e contenute nei Mss. Galileiani, Discepoli, t. XXI, cc. 1-4, che sono riprodotte nel cit. IV vol. delle *Opere di Torricelli*, pp. 30-32, egli si dichiara addirittura certo che il Nostro « nacque nella Diocesi di Imola nel castello e villaggio di Piancaldoli di temporale Giurisdizione del Fiorentino ».

(3) Francesco lavorava a Roma in qualità di « drappaiolo di S. Santità in Trastevere nel vicolo dirimpetto a S. Margherita ». Cf. G. Rossini, *La famiglia di Evangelista Torricelli*, in « Convegno di Studi Torricelliani (19-20 ottobre 1958) », Faenza, F.lli Lega, p. 145.

(4) Vd. *Lettere e documenti riguardanti Evangelista Torricelli* a cura di Mons. Giuseppe Rossini, Faenza, F.lli Lega, 1956, pp. 26 e 35.

abbia ritirato il documento o da chi altri l'abbia ottenuto (in realtà quest'ultimo dato non era oggetto della richiesta, ma il Serenai aveva semplicemente domandato da dove risultavano gli elementi cronologici e in questo caso la fonte era la stessa fede di battesimo). È un fatto però che il documento si trovava a Roma presso i fratelli. Che il battesimo dunque fosse stato celebrato a Roma? Mons. Giuseppe Rossini ne aveva avanzato l'ipotesi ed a questo fine intraprese ricerche presso il Vicariato di Roma (5), che allora si trovava all'*Arco delle Campane* accanto alla Basilica di S. Pietro. Io stesso ho ripetuto tale ricerca nella nuova sede del Vicariato presso S. Giovanni Laterano (Piazza S. Gio. Laterano, 6), ma nei registri battesimali della parrocchia di Trastevere, dove abitavano i Torricelli, non appare il nome di Evangelista.

La lacuna documentaria ha favorito quindi le varie congetture, più o meno fantastiche, che sono state avanzate in proposito. Il Nelli sopra ricordato lo dichiara nativo di Piancaldoli, come già si è detto, e sulla base di questa affermazione i Piancaldolesi hanno murato una vistosa epigrafe che proclama Torricelli nato nel loro paese, provocando una vivace polemica, ove l'amor di campanile ha avuto pieno sopravvento (6). Con Piancaldoli sono

(5) Cf. G. Rossini, *La famiglia di E.T.*, cit., p. 148 e P. Zama, *Ricerche e studi di Mons. Giuseppe Rossini su Evangelista Torricelli*, in « Studi faentini in memoria di Mons. Giuseppe Rossini », Faenza, F.lli Lega, 1966, p. 47.

(6) Sulla tormentata questione del luogo di nascita di Torricelli si rimanda di nuovo a G. Ghinassi, o. e ll. citt. ed a G. Rossini, *La famiglia di E.T.*, cit., pp. 133-149. Circa la polemica Piancaldolese si veda in particolare Luigi Tenca, *Dove nacque Evangelista Torricelli*, in « La Nazione Italiana » di Firenze, 22 apr. 1955, p. 4 (il Tenca riprese l'argomento in « Periodico di Matematiche », Bologna, apr. 1956, pp. 109-112) e P. Zama, *Torricelli e il luogo natale*, in « Torricelliana », 6 (1956), p. 27 e s. Al riguardo trascivo qui la pungente lettera che il prof. Zama, allora Segretario della « Società Torricelliana », indirizzò al Tenca il 28 dic. 1955, conservata nell'archivio della Società stessa, *Corrispondenza a. 1955*, prot. n. 789:

« Stim.mo Professore, [...] la « trovata » Piancaldolese ha il suo autore nel prof. Carlo Piersanti nativo di Piancaldoli, il quale — mi fu detto — è persona stimabile. Ed io non debbo dubitarne, pur dovendo aggiungere la certezza che si tratti di un fenomeno campanilistico.

Non ci è stato possibile sapere quale argomento o argomenti egli abbia messo innanzi per provare che Torricelli è nato colà. E ritengo che il silenzio dello studioso (oratore in quella giornata di inaugurazione della lapide) non sia dovuto a modestia. Suppongo che la grande prova probatoria consista nella esistenza di un quadro raffigurante Torricelli, che oltre all'effigie porta la nota « nato a Piancaldoli ». Questo quadro è stato riprodotto in cartolina ed ha fatto le spese della cerimonia e fa ora il giro di... propaganda.

Il quadro poi che non è certamente un documento, venne eseguito per commissione di G.B. Nelli che è il vero autore del falso; ossia è colui che ha inventato la nascita di T. a Piancaldoli [...].

Si tratta dunque di una gratuita affermazione, che contrasta con innumerevoli altre e che trova appoggio in un evidente proposito di imbrogliare il prossimo.

Del resto Ella può trovare indicazioni nel noto volume del nostro Giovanni Ghi-

entrate in lizza Imola, Tossignano, Modigliana, Brisighella e Marradi, senza peraltro che alcun documento probante abbia avvalorato tali appropriazioni.

In definitiva, accertata la faentinità della famiglia Torricelli (7) e quindi dello stesso Evangelista, ammessa la casualità della nascita di questi in un luogo diverso da Faenza (8) e constatato

nassi « Vita di E.T. » [più esattamente: *Lettere fin qui inedite di Evangelista Torricelli precedute dalla vita di lui*].

Quando avemmo notizia della lapide piancaldolese, scrivemmo alla Deputazione di Storia Patria perché ci informasse sui motivi che l'avevano condotta ad approvare quell'avvenimento. Nessuna risposta. Scrissi allora al presidente prof. Rodolico (che io conosco di persona) una lettera personale: nessuna risposta. Scrissi personalmente al dott. Camerani segretario della Deput. (mio amico) e rispose che nulla risultava al protocollo di cose riguardanti Piancaldoli!

Ed allora abbandonai il palcoscenico di questa farsa.

Ora ho inviato al Sindaco di Firenzuola il nostro Bollettino [6, 1955, p. 45 e s.] segnando la parte che riguarda l'epigrafe e l'articolo Suo. Fino a questo momento, silenzio.

Vedremo, La terrò informato.

Gradisca frattanto i più distinti saluti ».

Si veda qui riprodotta a p. 74 la tav. n. 3 delle *Note iconografiche su Evangelista Torricelli* di G. Vassura e A. Calzi, Faenza, agosto 1908, Stabilimento Tipo-Lit. Cav. G. Montanari Amministratore dell'Orfanotrofio Maschi. Il quadro in tela con tutta probabilità apparteneva alla collezione di V. Viviani; cf. *ivi*, p. 7 e la nota relativa. Dopo un certo lasso di tempo una lettera di replica del prof. Carlo Piersanti, preside del Liceo classico « E. Q. Visconti » di Roma, alle argomentazioni di Tenca e di Zama fu pubblicata nel « Giornale del Mattino », 7 febr. 1957 (in realtà il « Giornale » attribui la paternità della lettera al Sindaco di Firenzuola Giordano Puccetti, ma nel successivo n. del 15 febr. il quotidiano rettificò l'attribuzione). A proposito del suddetto quadro, A[ntonio]. Z[annoni], in *Lettera ad un'amico* [sic], In Faenza pel Benedetti, lettera datata da Faenza « 1. Febbraio 1775 », osserva (p. 10 e s.) che secondo l'Abate Giovanni Benedetto Mittarelli, *De Literatura Faventinorum*, Venetiis M.DCCCLXXV., Apud Modestium Fentium, col. 173, era « opinio communis » che Torricelli fosse nato « in Piancaldulo », ma aggiunge subito che « fino all'anno 1767 in cui uscì in Firenze il di lui ritratto inciso in rame insieme con quelli dei dotti Toscani » il nostro scienziato, che egli giudica « uno dei più benemeriti Ristoratori della Filosofia », risultava faentino (in realtà reca la data del 1770, già più sopra indicata, il terzo volume dei quattro in f.º massimo della monumentale *Serie* citata: *Serie di ritratti d'uomini illustri Toscani/con/ gli Elogj istorici/dei medesimi/Volume Terzo/pubblicato sotto il patrocinio/di Sua Altezza Reale/Il Serenissimo/Gran-Duca di Toscana/ec.ec.ec.*, Firenze MDCCLXX. Appresso Giuseppe Allegrini). Il ritratto del Torricelli si trova appunto in detto terzo volume ed è contrassegnato nell'Indice con il n. XXXVI (le pagine non sono numerate). Esso è accompagnato da un Elogio identico a quello apparso a Lucca nel 1774: *Elogj degli uomini illustri Toscani*, Tom. III, pp. CCCXXX-CCCXXXVII e sottoscritto con la sigla M.L., corrispondente al dott. Marco Lastri (Pievano della Pieve di S. Gio. Batista, e S. Lorenzo a Signa), come spiegano tanto l'editore dei *Ritratti* quanto quello degli *Elogj*. Il ritratto del Torricelli, disegnato da Giuliano Trabalesi (Firenze 1727-1812; cf. *Dizionario Enciclopedico Bolaffi dei pittori e degli incisori italiani*, XI, Torino 1976, p. 142) e inciso da Francesco Allegrini (Firenze 1729-dopo il 1773, fratello di Giuseppe e Pietro Allegrini, tipografi-editori; cf. *Diz. cit.*, *ibid.*, I, 1972, p. 88), è datato 1762. Lo Zannoni (p. 11) informa anche che d. Paolo Berti, arciprete di Piancaldoli, in una lettera a lui indirizzata il 10 luglio 1774 assicurava che nei suoi libri battesimali non esisteva nel 1608 né prima né dopo alcun « Giovanni Evangelista ». Don Berti (vd. *ivi*) replicò poi le ricerche su richiesta del Nelli.

(7) G. Rossini, *La famiglia di E.T.*, cit., pp. 133-149.

(8) Su tale casualità insiste anche Girolamo Ferri in una lettera a Giovanni Bian-

che al tempo del Bartoli era opinione accettata e diffusa che la *patria* di Torricelli fosse Faenza, è da considerare futile e ozioso vaneggiare dietro ipotesi non suffragate da documentazione certa, fino a quando un'altra fortunosa casualità non ci rivelerà dove Evangelista ricevette il battesimo.

chi (*Janus Plancus*) del 1 dic. 1770, pubblicata in «Studi Faentini in memoria di Mons. G. Rossini», cit., p. 253 e s. da Bruno Nediani, il quale a pp. 245-249 riassume in limpida sintesi «le contrastanti tesi sul luogo di nascita del T.». Il Ferri, citando Cic., *De leg.*, II, 5, asseriva che «il nascere in un paese non costituisce Patria, ove in tal Patria non siansi i genitori portati per farvi stanza e v'abbiano domicilio». Cicerone nel passo citato fa distinzione fra patria naturale (*loci*) e patria giuridica, civile (*iuris*). Il Ferri, a sostegno della casualità della nascita di Torricelli lontano da Faenza, osserva «che il nascere in un luogo dove il Padre stanzia straniero, come Bernardo Tasso a Sorrento non fa Patria».

PIETRO MALPEZZI

GIUSEPPE UGONIA E LE SUE LITOGRAFIE

Sono trascorsi tanti e tanti anni, ma il ricordo di quella grande aula, imbiancata a calce, all'ultimo piano dell'edificio delle Scuole Elementari di Brisighella, è vivo, in me, come se fosse ieri.

Si staglia nitida, nella mia mente, la figura del « Maestro »: quei suoi grandi occhi azzurri, quel suo gesto così spontaneo e, a volte, affettuoso, quel tono, dolce e deciso nello stesso tempo, della sua voce.

Non posso dire se questa sia un'impressione solo mia oppure comune a tutte le persone mature, ma ripensando alla mia lontana infanzia provo la sensazione di avere vissuto tanto, forse più di quanto non segni la mia anagrafe. A volte mi pare di avvertire che il ricordo della Brisighella della mia fanciullezza abbia radici secolari.

Quell'Uomo che ha lasciato in me una così profonda impressione è Giuseppe Ugonia (1881-1944) che, dal 1909 fino alla morte, ha insegnato nella Scuola Comunale d'Arte e Mestieri di Brisighella. Rivedo, quasi come in sogno, nei primi banchi di quell'aula, artigiani del ferro, del legno, della pietra serena, tutti attenti alle spiegazioni del Maestro.

Allora non capivo cosa venissero a « fare » a Scuola persone più anziane di me. L'ho compreso anni dopo quando mi sono reso conto come l'insegnamento del Maestro rappresentasse un preciso criterio di qualificazione del loro lavoro di ogni giorno. Non capivo neanche come quei giovani riuscissero a colloquiare spontaneamente con Lui, come si dialoga col Padre, con persona esperta e sicura, su cui fare affidamento.

Fuori da quell'aula rivedevo Ugonia, in giro per il paese, quasi sempre in compagnia di due persone: il M.o Opelio Bettini (1884-1955) che ha educato generazioni di brisighellesi ed

il primario dell'Ospedale « San Bernardo », il Prof. Alfredo Pettenati (1886-1944), che ha esercitato la sua missione di medico con tanta generosità e bontà da essere ricordato, ancora oggi da molte persone, specie anziane.

A volte, a questo « trio », si aggiungeva un giovane Sacerdote, allora Cappellano dell'Ospedale civile, in seguito Parroco di Casale Pistrino, poi Arciprete di Bagnacavallo: Mons. Giuseppe Cornacchia (1908-1981), da tutti chiamato familiarmente « Don Pippo ».

Le circostanze della vita, poi, mi hanno permesso di avvicinare la Signora Elena, la Consorte dell'artista; è per suo merito se sono venuto ad una conoscenza più approfondita e più completa « dell'Uomo Ugonia ».

La figura di « Fafina » (così lo chiamavano i suoi amici), mi è sembrata ancora più degna di essere ricordata come luminoso esempio di bontà e di umiltà. Ho letto così, con grande interesse, quel carteggio Ugonia-Sapori e davanti ai miei occhi si è aperto il mondo della Brisighella e della Romagna di allora. In questi scritti traspare l'animo genuino e sensibile di Ugonia, qui si trova la ragione precisa e la risposta al « perché » Ugonia, nonostante l'offerta di qualificate cattedre, non abbia mai voluto abbandonare la sua terra.

« ...Come posso io parlare di 'Fafina', io che l'ho amato, io che sono stato amato da Lui, io che ho visto la sua grandezza, che ho pesato l'incommensurabile dono che portava nel cuore e nella fantasia, io che ho visto nel segno minuto e nell'apparenza cauto, limitato, delle sue litografie a colori quella incandescente e rara intimità comunicativa che parlava alle cose... », così si esprimeva, nel lontano 1961, Francesco Sapori (1890-1964) nel ricordare a Faenza l'amico scomparso. Quelle lettere di Ugonia a Sapori mi hanno, quindi, permesso di conoscere, direi più intimamente e profondamente, l'animo del Maestro. In certe sue spontanee espressioni ho, direi, scoperto un Ugonia nuovo, un Ugonia che trascorre la vita semplicemente, che si appaga di piccole cose, che vive in quel paese dei tre colli, vitale per la sua arte. Certi problemi sociali, certi riferimenti interpretativi di carattere storico e folcloristico, certi ricordi di persone che avrebbero potuto fare tanto per Brisighella ed i brisighellesi..., la salvezza paesaggistica del luogo, la spontaneità dei suoi abitanti, sono al centro di questo interessante carteggio con Sapori. Quanto materiale prezioso, in nostro possesso, oltre ad una « magna pars », forse irrecuperabile! Intendo ricordare le



Fig. 1. Autoritratto.

lettere di Ugonia a Spallicci, esule a Milano, la corrispondenza con Bruno da Osimo, col padre di Delio Cantimori, con Luciano De Nardis e con altri qualificati uomini della cultura romagnola, tutto è andato perduto irrimediabilmente.

Quegli scritti ci avrebbero presentato una Romagna grande, forse ancora tutta da scoprire, da mettere in luce: da Delio Cantimori a Ugonia, da Serra a Rambelli, da Spallicci a Saporì, da Bruno da Osimo a Francesco Nonni, da Pietro Melandri e Riccardo Gatti a Gaetano Ballardini e a Giuseppe Liverani.

Dalla lettura del carteggio « Ugonia-Saporì » emerge anche, lo devo sottolineare, il carattere, non certo facile, dell'Artista. I suoi rapporti « in loco » con dirigenti locali, autorità civili e religiose, con uomini di una certa levatura sociale, non sono dei più facili. Ugonia non esita ad esprimere sempre il suo pensiero, non è uomo di compromessi, è estraneo a certe consorterie. La sua generosità è conosciuta da tutti. Giunge al punto di regalare al povero « venditore di giornali » del paese una sua tiratura di litografia. Potrà vendere quelle opere e guadagnare quel tanto per « tirare avanti ». Di questi episodi di bontà ne ho sentito raccontare a non finire. Ma vicino all'Uomo mi preme evidenziare anche « l'intellettuale Ugonia », non è l'intellettuale che si estranea, che si chiude nella sua « torre d'avorio », ma è l'Uomo di cultura che vive anche le necessità, i dolori, della « povera gente », con cui dialoga e cerca in tutti i modi di essere di aiuto. Ugonia tenderà, negli anni 1929-1930, un'interpretazione originale della « cultura popolare », punterà deciso verso i problemi della ruralizzazione e soprattutto della riscoperta della dimenticata montagna, in vista di un suo rilancio. « Fafina » comprenderà quanto il governo centrale, statico e privo di iniziative, sia sordo alle voci della nostra periferia. Troppo limitate sono le possibilità, per questa gente della montagna, di vivere, di realizzare una più degna vita quotidiana.

Il bracciantato vive giornate di fame. I « ronchi » (1) restano per la gran parte di questi lavoratori, una specie di difesa, di sopravvivenza, per procurarsi almeno un pane quotidiano. Quante lotte, quante miserie, quanti sacrifici, ricordano quei terreni calanchivi oltre il colle del Monticino, nei così detti « Rio Chié » e « Rio della Baldina »!

Ecco, allora, la positiva posizione di Ugonia nei confronti

(1) Ronco: terreno posto in un avvallamento stretto e profondo, prodotto dall'erosione delle acque sui terreni argillosi.

della classe politica dominante quando si decide finalmente di intraprendere i lavori di « imbrigliatura » dei nostri monti. Questo vuole dire lavoro, meno miserie e « Fafina » si presta, s'interessa, aiuta il più possibile e in tutti i modi.

È in questo periodo che, dopo alterne vicende ed incomprendimenti di ogni genere, il Maestro riesce a pubblicare quattro numeri della rivista locale di « cultura popolare » intitolata « Brisighella » (2), in cui, attraverso sue litografie, viene messa in positiva evidenza l'azione intrapresa dalla « Bonifica Bacini Montani ». Finalmente in « alto » hanno compreso la necessità di aiutare la « montagna ». L'umanità di Ugonia si manifesta, quindi, in questo suo sentimento di valori sociali, storici, ambientali, particolari, che vivono la loro esistenza nella dimensione dell'universale, in virtù della sua opera d'arte, della cui particolare peculiarità poetica e tecnica, presento, con il qualificato aiuto della Prof. Velda Raccagni, una sintetica descrizione. Così si esprime la Prof. Raccagni: « Lo strumento della sua espressione, così particolare (la litografia) che Ugonia ha usato nelle sue opere è stato fonte primaria del mio interesse per la sua arte. Attraverso lo studio di questa tecnica sono riuscita a capire meglio sia la personalità dell'Artista che la possibilità di una lettura più approfondita. Dai testi ho imparato che la litografia fu inventata dal tedesco Senefelder nel 1798. Egli, per caso, scrisse con la matita grassa le note della spesa e vi pose sopra una pietra perché il foglietto non volasse via. La pietra assorbì il grasso e l'inchiostro di cui era formata la matita ed Egli s'accorse che si poteva « riprodurre ». Questa pietra per litografia si trova anche in Italia, ma la migliore è quella di Solenhofen in Germania, specie quella azzurra. All'inizio questa tecnica fu usata come riproduzione di quadri, ma divenne in seguito arte incisoria e grafica (vedi, per esempio, le « affiches » di Toulouse Lautrec). La litografia può essere eseguita a pastello, a penna, incisa, a colori. Il procedimento è molto complesso, almeno un tempo lo era. Ugonia si atteneva a questa tecnica: su una pietra granita con acqua e sabbia eseguiva la

(2) « Brisighella ». Rassegna di attività e cronaca locale. A cura della Sezione dell'Istituto Fascista di cultura. Direttore responsabile: Dott. Giannetto Laghi. Tip. Volturno Valgimigli - Brisighella.

N. 1 gennaio	1929	A. VII	pagg. 24
N. 2 aprile	1929	A. VII	pagg. 48
N. 3 agosto	1929	A. VII	pagg. 72
N. 4 ottobre	1930	A. VIII	pagg. 14.



Fig. 2. Sera di Festa.

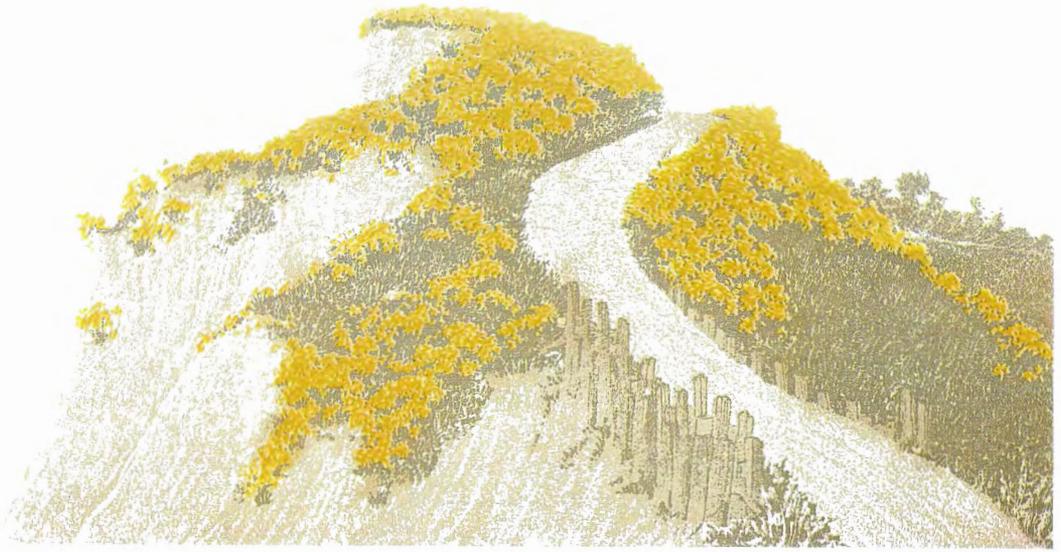


Fig. 3. Ginestre.

matrice con tutto il disegno che veniva riprodotto su tante pietre quanti erano i colori scomposti (è importante sapere prima ciò che si vuole ottenere) perché sovrapponendo un colore all'altro si hanno velature più chiare e meno chiare. Per disegnare sulla pietra usava la matita grassa, fatta di sego di bue, nero fumo, trementina ed altri materiali. A lavoro finito il disegno veniva fissato con gomma arabica ed acido nitrico. Questo momento, nel gergo tecnico, viene definito « preparazione ».

Procedeva poi ad un « lavaggio » con acqua ragia e litofina, sostanza rara a trovarsi oggi, perché sostituita con materie più pratiche. A questo punto « caricava » (in gergo) con il colore o l'inchiostro grasso il disegno e questo diventava corpo unico con la pietra. Il colore lo stendeva con un rullo di cuoio e la pietra doveva rimanere sempre impregnata d'acqua, perché essendo il colore grasso l'acqua lo respinge, mentre il disegno lo assorbe. Per la stampa a colori usava carta buona, leggermente assorbente e asciutta, perché bagnandola si correva il pericolo che questa carta potesse « crescere » un poco o calare, compromettendo così la giusta sovrapposizione del colore. Stampava a mano, con il torchio, in numero limitato di copie, calibrando perfettamente tutti i colori ».

Lo spazio impedisce un'ampia trattazione ed un commento adeguato a tutta la produzione litografica dell'Artista.

Nella non facile scelta iniziamo dall'« Autoritratto » (Fig. 1) del 1921 (cm. 22,7×27,6). L'opera, in 20 esemplari, si trova tra l'altro al British Museum di Londra, agli Uffizi di Firenze (Gabinetto delle stampe) e presso collezioni private. L'« Autoritratto » suscitò favorevole impressione di illustri critici d'arte, primo fra tutti Ugo Ojetti, che già aveva avuto modo di apprezzare e segnalare in scritti qualificati l'opera dell'Artista.

Passiamo quindi a parlare della litografia « Sera di Festa », più conosciuta, perché resa nota dall'emissione, da parte del Ministero delle Poste e delle Comunicazioni, di un francobollo commemorativo nella serie « Patrimonio Artistico e Culturale italiano », nel 1981, centenario della nascita di Ugonia. Questa litografia è stata donata al Papa, in occasione della sua visita privata a Brisighella. L'opera, tirata a mano in quaranta esemplari, del 1930, misura cm. 18×24 circa. Si trova al British Museum a Londra, agli Uffizi (Gabinetto delle stampe) a Firenze, a Faenza (Pinacoteca), infine nel Museo Ugonia a Brisighella (Fig. 2).

È la vigilia della Festa, un notturno dove emerge, tra gli al-

beri, una facciata illuminata. Per rappresentare la luce Ugonia si avvale di svariatissimi accorgimenti, creando effetti di trasparenze e di sfumature, sfruttando soprattutto composizioni e combinazioni cromatiche. Il taglio compositivo è in diagonale e la leggera dinamicità dei contorni della vegetazione fa scivolare l'attenzione su di una sacca di luce (ottenuta con la sovrapposizione di due gialli) e la facciata della Chiesa, con le sue punte, risalta e contrasta con le linee verticali scure dei cipressi che, eleganti come canne d'organo, l'esaltano.

Proseguiamo con la litografia « Le Ginestre », opera questa acquistata fin dal 1916, dal Gabinetto delle stampe della Galleria degli Uffizi di Firenze, su segnalazioni di Ugo Ogetti. L'opera, piccola nelle sue dimensioni, circa cm. 12×23, è tirata a mano, in dodici esemplari. La minuta trascrizione del particolare che Ugonia coglie sempre nella natura come suggerimento di nuovi motivi, è come pretesto per esprimere un concetto di sublimazione, che emerge in questa composizione, che è delicatissima nella sua imponenza.

Il giallo preziosissimo è in registro assoluto col verde spento e con la calda tonalità grigia. Il bianco dello sfondo diventa sorgente di luce e completa questo accordo, dandoci un senso di di grande spazialità che sembra oltrepassare i limiti dello stesso formato dell'opera (Fig. 3).

Una visione di leggero misticismo, invece, ci è offerta dall'Ave Maria, del 1915, tirata in dodici esemplari (cm. 16,7×23,6 circa). Anche qui l'impianto è simmetrico, dosato, equilibrato. L'ambiente, una cucina romagnola povera, ma piena di particolari, accennati, sussurrati.

Le linee: semplici, orizzontali, verticali, mai banali. I colori pochissimi, raffinatissimi, come grigi caldi, qualche tocco giallo, protagonista assoluta la luce, ma non la luce naturale che entra dalle finestre, ma quella luminosità intensa, tipica in Ugonia, magnetica, e nello stesso tempo promotrice della figura dell'Angelo e, in tono più delicato, della Vergine. Ed è con quest'opera che Ugonia ci dà la chiave principale e rivelatrice del suo sentimento poetico (Fig. 4).

Luna Nuova (litografia del 1921, cm. 15,5×15,3, esemplari 15): scena dell'aratura che assurge ad una atmosfera religiosa di lavoro, di operosità della nostra gente. Quella schiena curva, quell'andare di buoi in lontananza sembra predire un sentimento di speranza, un rito quasi di buon augurio, di felicità (Fig. 5). Le ultime due opere figurano al Gabinetto Nazio-

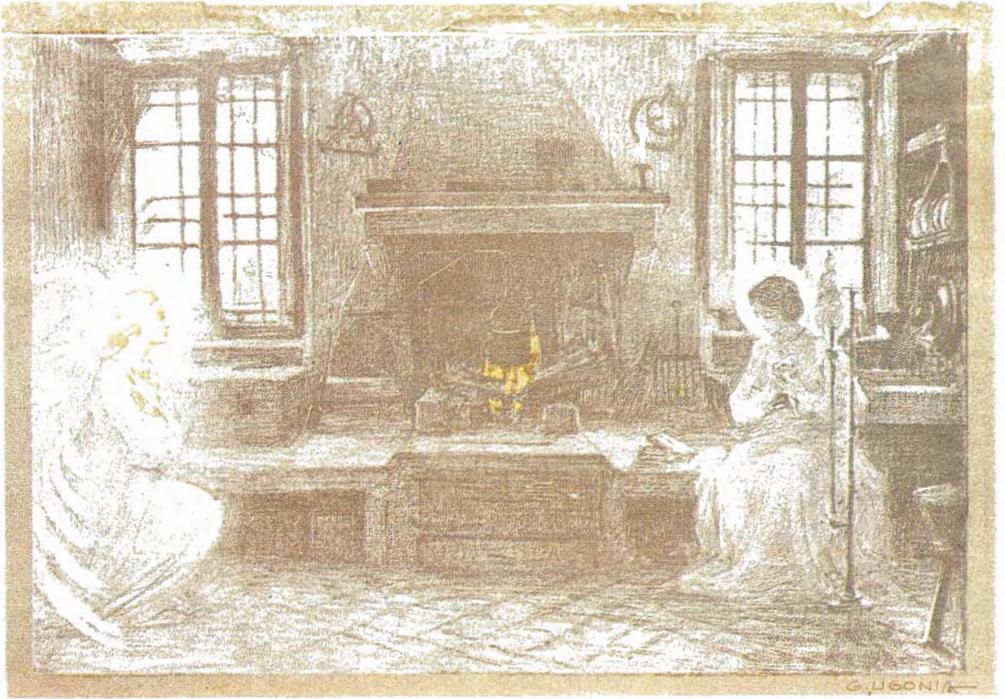
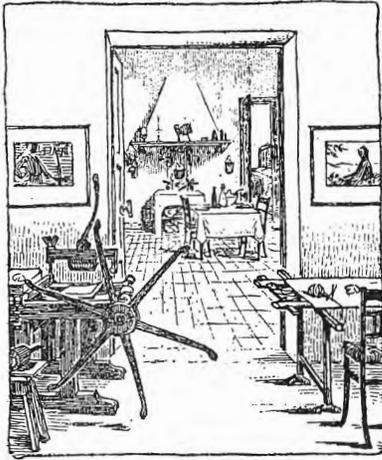


Fig. 4. Ave Maria.



Fig. 5. Luna nuova.



GIUSEPPE UGONIA
ELENA MIGNINI
BRISIGHELLA, 4 FEBBRAIO 1922

Fig. 6.



GIUSEPPE
UGONIA
RICORDA
GLI AMICI
ED INVIA
SALUTI E
AUGURI
BRISIGHELLA
FESTE NATALIZIE 1923-

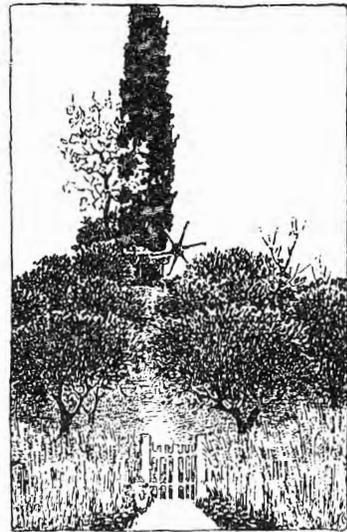
Fig. 7.



GIUSEPPE UGONIA
BRISIGHELLA-FESTE NATALIZIE 1924

Fig. 8.

EX LIBRIS



GIUSEPPE UGONIA

Fig. 9.

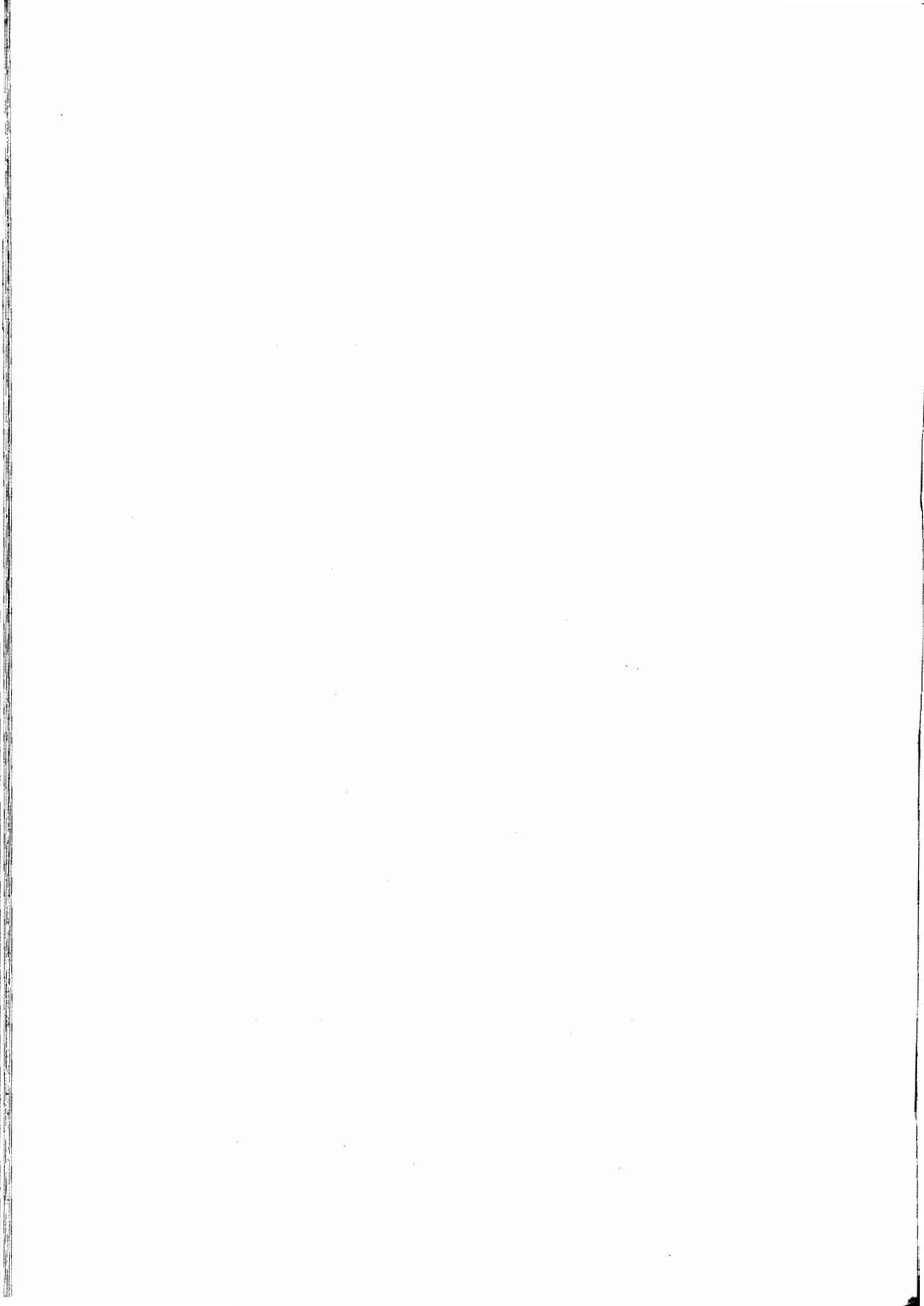
nale delle Stampe di Roma, al Gabinetto Disegni e Stampe degli Uffizi di Firenze e in collezioni private.

I biglietti (graziose e piccole incisioni), spesso, eseguiti con la tecnica della litografia incisa o a penna: la pietra, in questo caso, doveva essere molto liscia e compatta e l'Artista la trattava con acido ossalico poi le faceva subire un trattamento con nero fumo, acqua e gomma arabica. Incideva il disegno a rovescio, con segni netti e decisi.

Sui segni incisi poi, col dito, passava olio d'oliva, impregnandoli, dopo di che toglieva il nero fumo, bagnava la pietra ed inchiostrava con il tampone. Stampava a mano, con carta leggermente umida, con quel torchio che, così spesso, appare nei suoi « ex libris ». Nei disegni di « ex libris » la fantasia onirica spazia sulle tracce (come dice Federica di Castro, nel catalogo che illustra la retrospettiva delle opere di Ugonia al Gabinetto Nazionale delle stampe di Roma, nel dicembre del 1981) di Felicien Rops o di Alberto Martini, intenta a costruire simboli che si vanificano nel momento della loro materializzazione grafica.

I tantissimi cartoncini d'invito a feste, banchetti, matrimoni, biglietti d'auguri, per nascite, cresime, comunioni, per particolari feste dell'anno (Natale, 25 Marzo, ecc...) annunci mortuari, dal vago sapore « liberty », raccontano la vita quotidiana della Brisighella del tempo.

Queste piccole incisioni rappresentano una riflessione divertita o dolente, ma in ogni caso irresistibile, sulle vicende della vita, giorno dopo giorno, ora per ora, stagione per stagione, anno per anno (Figg. 6-7-8-9).



VALERIA RIGHINI

ELEMENTI PER LA STORIA DI *FAVENTIA*
FRA IL IV E IL VI SEC. D.C.

La vita della *Faventia* romana copre un arco di più secoli, dalle origini nel II sec. a.C. ad una fase finale che possiamo identificare non con il 476 d.C. — data assunta convenzionalmente per la fine dell'Impero romano d'Occidente — bensì con la metà circa del VI sec. d.C., cioè con il periodo della guerra gotica anche se, nella ripartizione convenzionale adottata dagli storici, tale periodo è considerato come fase iniziale dell'Alto-medioevo.

La storia di *Faventia* romana si dispiega quindi lungo un arco cronologico di circa sette secoli. La storia della città dovrebbe pertanto essere differenziata, all'interno di questo lungo periodo, per fasi cronologiche successive.

Una città infatti, ora come allora, non è mai un organismo statico, bensì dinamico, con continue trasformazioni — più o meno cospicue nei vari periodi ed in rapporto a molteplici fattori — con sopravvivenze e con demolizioni, con nuove costruzioni e con conservazione di alcune di quelle esistenti, specie se monumentali. Come sarebbe assurdo pensare che la Faenza del Seicento fosse uguale a quella dell'Ottocento o che la Faenza odierna sia identica a quella del Settecento, altrettanto assurdo sarebbe pensare ad una *Faventia* romana sempre uguale per tutta la sua storia. Identificare le fasi di successione rappresenta pertanto il problema principale per chi voglia tentare di ricostruire, in modo scientificamente corretto, la storia della città.

Di quali fonti d'informazione disponiamo? Le fonti letterarie sono scarse e, se da un lato forniscono qualche elemento relativo alla storia ed all'economia della città, d'altro lato pressoché nulla ci dicono riguardo al suo assetto urbanistico. Le fonti epigrafiche sono altrettanto scarse e nella quasi totalità si tratta di iscrizioni

funerarie, dato che non è venuta in luce alcuna iscrizione riferibile a monumenti pubblici. Alla scarsità di fonti letterarie ed epigrafiche fa però riscontro una buona documentazione archeologica, più abbondante per certi periodi e meno per altri, ma comunque nel complesso cospicua.

Scopo di questo lavoro è pertanto quello di esaminare, attraverso la documentazione che possediamo al momento attuale, una fase della vita della città, la fase finale dall'inizio del IV sec. d.C. alla metà del VI sec. d.C. Per chiarezza di esposizione si ritiene opportuno procedere schematicamente nell'analisi degli elementi di documentazione, collocandoli in sequenza cronologica.

IV SEC. D.C.

MOSAICO DI VIA PESCHERIA (fig. 1)

Rinvenuto nel 1886, attualmente è conservato nella Pinacoteca Civica. Il mosaico presenta una decorazione geometrica policroma a colori tenui, con un motivo di ottagoni alternati a croci greche. Trova confronto nel mosaico del criptoportico del Palazzo di Diocleziano a Spalato ed è quindi databile fra gli ultimi anni del III sec. d.C. ed i primi anni del IV sec. d.C. (1).

VEESCOVO *Constantius I*, 313 D.C.

Al Sinodo dei Vescovi, tenuto in Roma il 2 ottobre del 313 d.C., nell'elenco dei vescovi convenuti compare un *Constantius a Faventia* (2). È il primo vescovo di Faenza di cui si conservi memoria. Se però la comunità cristiana di Faenza all'inizio del IV sec. d.C. aveva già un Vescovo, è evidente che essa doveva

(1) M. Bollini, *Per la storia urbana di Faenza. I mosaici romani*, « Studi Faentini in memoria di mons. Giuseppe Rossini », Faenza 1966, pp. 125-163, part. pp. 157-158, n. 33 e fig. 17 (= Bollini, *Mosaici*); V. Righini Cantelli, *Un Museo Archeologico per Faenza. Repertorio e progetto*, Bologna 1980 (Istituto per i Beni Artistici Culturali Naturali della Regione Emilia-Romagna, Documenti 11), p. 109, RC 41 (= Righini, *Museo*).

(2) Optati Milevitani, *Hist. Donatistarum*, I (Mansi, *Conc. Coll.*, II, col. 437): *Ad urbem Romam ventum est... Convenerunt in domum Faustae in Laterano, Constantino ter et Licinio ter consulibus, sexto nonas Octobris, die sexta feria. Cum consedisent Miltiades episcopus urbis Romae, et... Constantius a Faventia... his decem et novem consedentibus episcopis causa Donati et Caeciliani in medium missa est.*

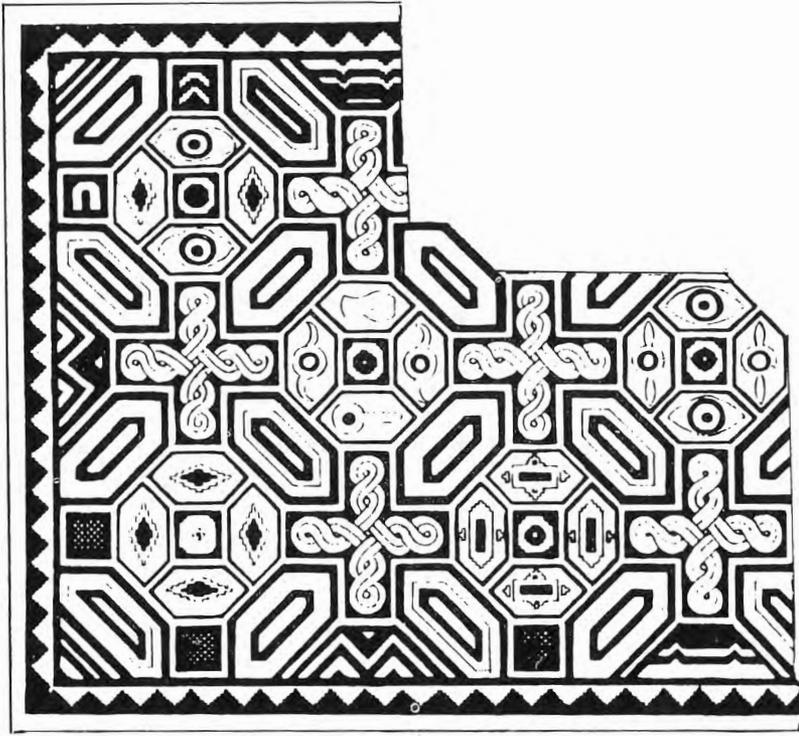


Fig. 1. Faenza, via Pescheria, ricostruzione grafica del mosaico (da BOLLINI, *Mosaici*, fig. 17).

essere cospicua ed organizzata e non di recente formazione (3). In età costantiniana i soli centri diocesani documentati nella regione sono Ravenna, Rimini e Faenza, cui si aggiungono — nella seconda metà del IV sec. d.C. — Imola, (Claterna), Bologna, Modena, Parma e Piacenza (4).

VESCOVO *Constantius II*, 379 d.C.

Una lettera di S. Ambrogio, datata al 379 d.C., è indirizzata ad un Vescovo Costanzo, di cui non è specificata la sede, con la raccomandazione di visitare spesso la chiesa di *Forum Cornelii* e

(3) F. Lanzoni, *Cronotassi dei vescovi di Faenza*, Faenza 1918, pp. 16-21 (= Lanzoni, *Cronotassi*); Id., *Le Diocesi d'Italia, dalle origini al principio del sec. VII*, Faenza 1927, p. 770 (= Lanzoni, *Diocesi*).

(4) Id., *Le origini delle Diocesi antiche d'Italia*, Roma 1923, p. 579 (= Lanzoni, *Origini Diocesi*).

di prendersene cura. Tale lettera ha dato origine a dotte dispute per quanto riguarda l'identificazione della sede di questo Vescovo Costanzo, essendo state proposte Claterna, Voghenza e Faenza. Dato però che la sede di questo Vescovo doveva essere quella più vicina ad Imola, sembra ormai assodato che si tratti del Vescovo di Faenza, che sarebbe quindi un *Constantius II* (5).

SOGGIORNO DI S. AMBROGIO A FAENZA, 393 D.C.

Nel 393 d.C. S. Ambrogio compì un viaggio in Emilia e soggiornò a Bologna e, per molti giorni, a Faenza, da dove ripartì diretto verso la Toscana (6).

V SEC. D.C.

MOSAICI DI VIA DOGANA (figg. 2-5)

Fra il 1971 ed il 1972 è stato effettuato lo scavo di via Dogana, che ha posto in luce il più importante complesso di mosaici di Faenza romana. Si sono rinvenuti cinque mosaici, contigui fra loro, e sono stati identificati altri pavimenti di tipo più modesto, composti di elementi fittili e di cocciopesto.

Il mosaico A è decorato con un fitto motivo a stuoia in bianco e nero, circondato da una fascia perimetrale con motivo di treccia allentata policroma.

Il mosaico B, molto lacunoso, presenta una decorazione più complessa costituita da ottagoni, ottenuti con una fascia decorata a treccia, che si compenetrano tra loro in modo da formare un quadrato centrale, attorno al quale si dispongono quattro losanghe ad esagono schiacciato; entro ad ogni spazio risultante si trovano motivi decorativi di vario tipo, come figure di uccelli, il nodo salomonico, le palmette, le rosette multiformi, il *kantharos*.

(5) Ambros., *Ep.*, II, 27; Lanzoni, *Cronotassi*, pp. 21-24; Lanzoni, *Origini Diocesi*, pp. 431-434; Lanzoni, *Diocesi*, pp. 770-772; G. Lucchesi, *Le Cattedrali di Faenza prima del Mille*, « *Scritti minori* », Faenza 1983 (Società Torricelliana di Scienze e Lettere), pp. 221-236, part. p. 222 (= Lucchesi, *Cattedrali*); Id., *Cenni storici su la città e Diocesi [di Faenza]*, *ibid.*, pp. 280-282, part. p. 280; Id., *La Diocesi di Faenza*, *ibid.*, pp. 283-291, part. p. 285 (= Lucchesi, *Diocesi*).

(6) Paulin., *Vita Ambros.*, 37: *Hoc ubi cognovit Ambrosius, derelicta civitate Mediolanensi, ad quam ille [Eugenius] festinato veniebat, ad Bononiensem civitatem migravit, atque inde Faventiam usque perrexit ubi, cum aliquantis degeret diebus, invitatus a Florentinis, in Tusciam usque descendit.*

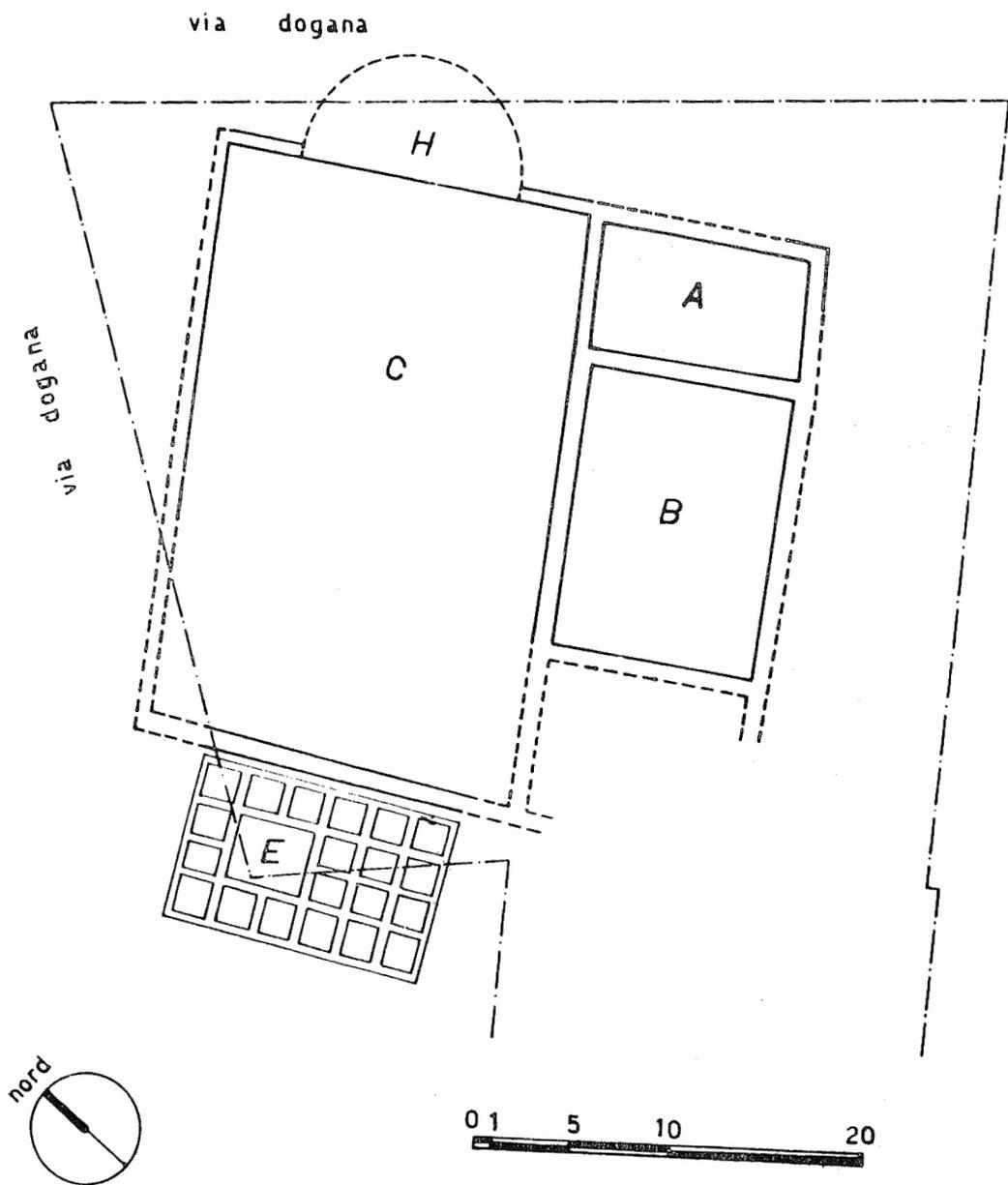


Fig. 2. Faenza, via Dogana, pianta schematica dello scavo (da GENTILI, *Mosaici*, fig. 7).

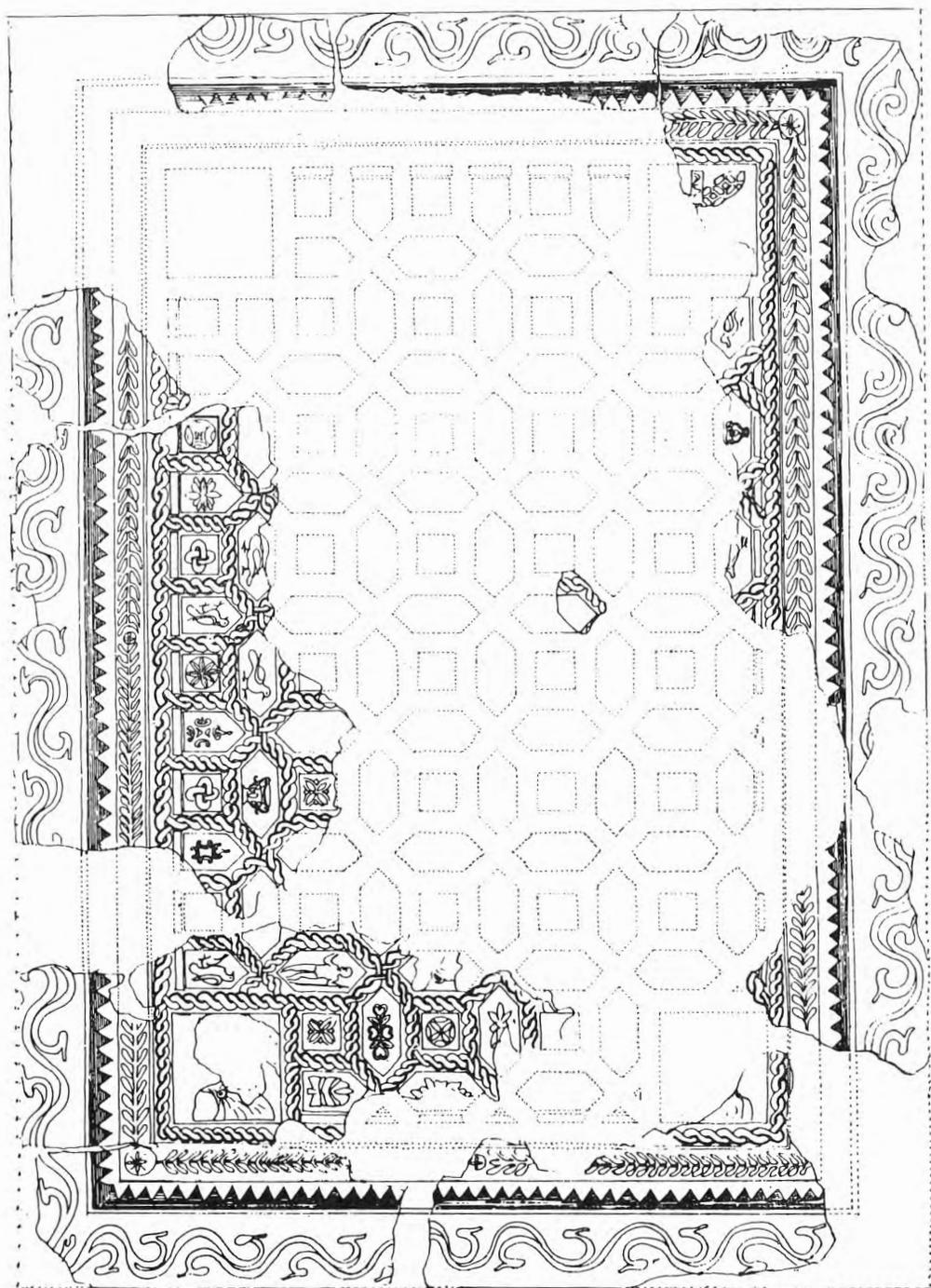


Fig. 3. Faenza, via Dogana, ricostruzione grafica del mosaico B (da GENTILI, *Mosaici*, fig. 10).

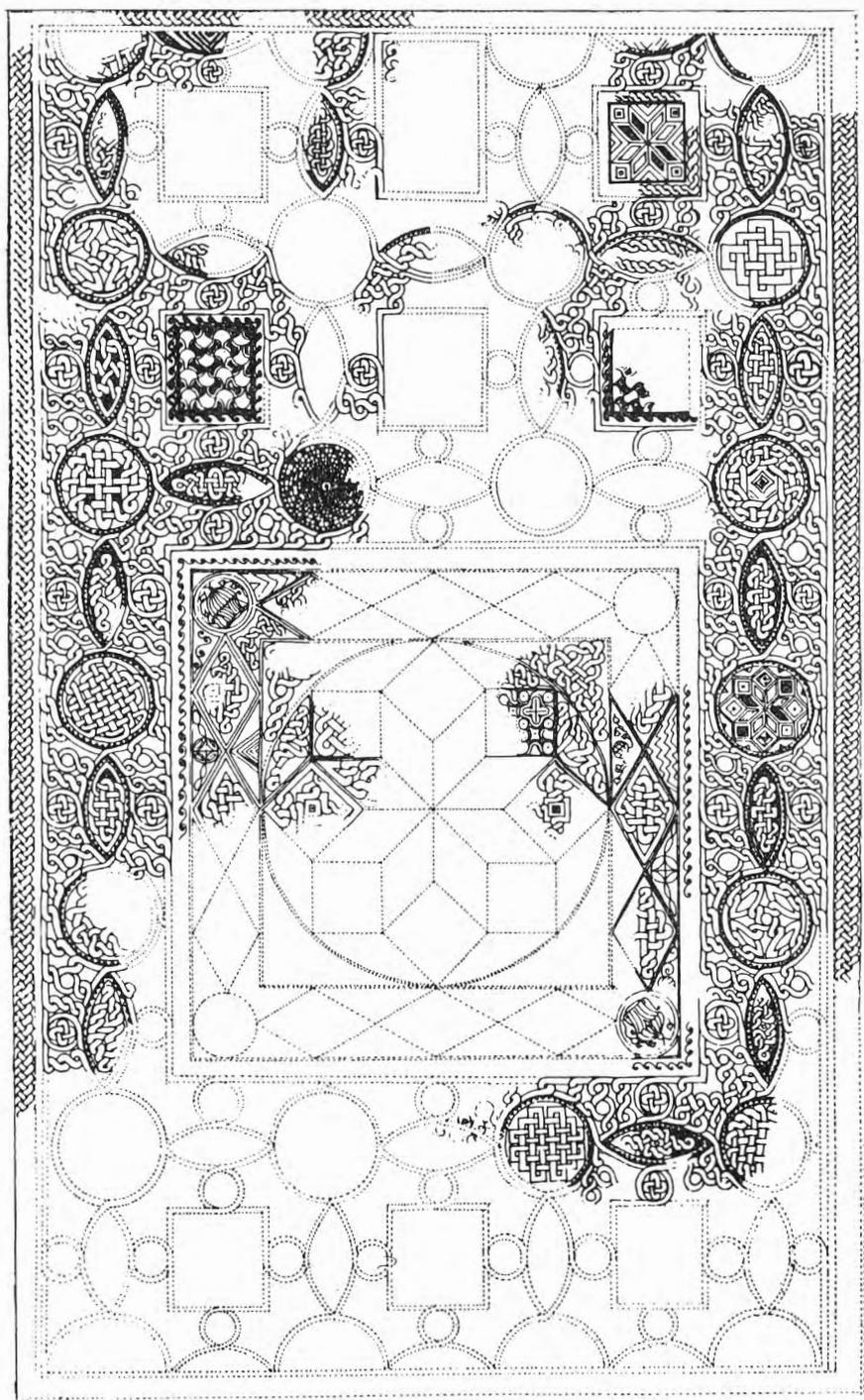


Fig. 4. Faenza, via Dogana, ricostruzione grafica del mosaico C (da GENTILI, *Mosaici*, fig. 12).

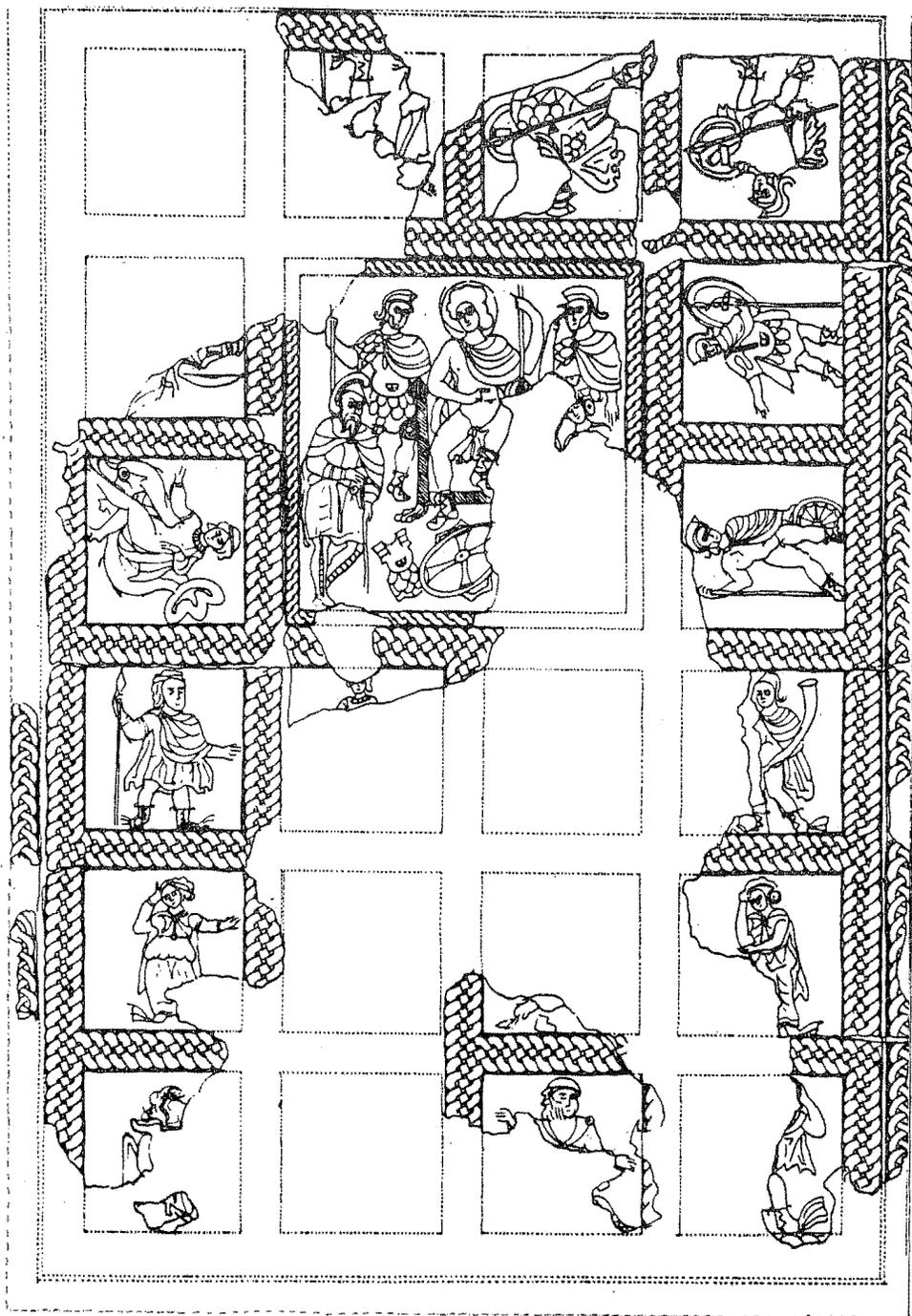


Fig. 5. Faenza, via Dogana, ricostruzione grafica del mosaico E (da GENTILI, *Mosaici*, fig. 17).

Ancora più complesso e serrato l'apparato decorativo del mosaico C, che pavimentava un grande salone (all'atto del rinvenimento misurava m. 9,10×m. 15 ca., ma era incompleto); la decorazione è costituita da un grande emblema centrale di forma quadrata contenente un cerchio, all'interno del quale campeggia una grande stella ad otto punte; la restante superficie del pavimento è decorata con un motivo di cerchi alternati ad ellissi, disposti attorno a quadrati centrali, e ciascuno di tali elementi contiene un motivo ornamentale diverso, sempre però geometrico, come stelle ad otto punte, pelte alternate, girandola e intrecci a stuoia di tipi diversi. Il salone pavimentato con il mosaico C terminava, sul lato di nord-est rivolto verso il Vescovado, con una grande abside semicircolare ugualmente pavimentata a mosaico (mosaico H), che presenta un motivo decorativo ad ottagoni compenetrantisi; lo schema decorativo è quello già riscontrato nel mosaico B, ma reso in modo diverso; nel mosaico B infatti gli ottagoni sono delineati da una fascia a treccia mentre nel mosaico H essi sono delineati da una semplice linea nera su fondo bianco e gli spazi risultanti, cioè il quadratino centrale e gli esagoni schiacciati attorno ad esso, non contengono alcun elemento decorativo.

Un altro ambiente, ugualmente pavimentato a mosaico, si trovava antistante al grande salone e si ritiene che fungesse da vestibolo. Mentre tutti i precedenti sono decorati con motivi geometrici, quest'ultimo (mosaico E) è decorato completamente con figure umane. La decorazione è regolarmente scompartita in un grande emblema centrale di forma quadrata (m. 1,80 di lato), attorno al quale si dispongono delle formelle più piccole, quadrate, disposte su varie file e delineate da una fascia a treccia multipla. Nell'emblema centrale è raffigurata una scena di apoteosi imperiale: una figura maschile ignuda, con i capelli biondi e il capo nimbatto, siede sul trono tenendo nella mano sinistra lo scettro; ai suoi lati sono due figure di guardie imperiali; altre due figure si trovano ritte davanti al trono e lateralmente ad esso: a sinistra un personaggio maschile barbuto, con elmo del tipo a berretto frigio e indossante una tunica e brache attillate secondo la foggia barbara; a destra una figura femminile quasi completamente lacunosa, di cui resta solo parte della testa. Nelle formelle più piccole sono raffigurate figure femminili e figure maschili sia in abiti civili sia in abiti militari. La scena dell'emblema centrale è stata interpretata come scena di apoteosi imperiale: la figura in trono sarebbe la raffigurazione dell'Augusto

d'Occidente, l'imperatore Onorio, in quella del personaggio barbuto si potrebbe riconoscere Stilicone, capo dell'esercito e suocero dell'imperatore e nella figura femminile o l'imperatrice Maria o Serena, madre di lei e moglie di Stilicone. Le figure presenti nelle formelle minori rappresenterebbero quindi personaggi della corte imperiale, dame di corte e capi militari; fra di esse c'è una sola eccezione, nella formella a sinistra dell'emblema, in cui è raffigurata una figura femminile ignuda seduta su un delfino, che potrebbe essere interpretata come una raffigurazione simbolica dell'ambiente marino.

Il mosaico E è databile, sulla base di considerazioni storiche oltre che tecnico-stilistiche, entro i primi vent'anni del V sec. d.C. A questo proposito è opportuno tener presente che nel 402 d.C., la capitale dell'Impero romano d'Occidente era stata trasferita da Milano a Ravenna e le figurazioni del mosaico si riferiscono appunto alla corte imperiale ed all'imperatore Onorio. Gli altri mosaici del complesso si datano tra l'inizio e la metà del V sec. d.C. Ci troviamo senza dubbio di fronte ad un edificio particolarmente ricco e lussuoso, stante l'apparato musivo, che potrebbe identificarsi o con un edificio pubblico o con la residenza di un dignitario della corte imperiale di Ravenna o forse con l'uno e l'altro aspetto contemporaneamente (7).

EDIFICIO PALEOCRISTIANO (fig. 6)

Nel 1961, in via Barilotto 15, nell'area dell'ex chiesa di S. Terenzio, è venuto in luce un pavimento musivo che, in base alle caratteristiche sotto descritte, può essere con sicurezza identificato come paleocristiano (8). Purtroppo si è avuta notizia del rinvenimento a lavori avanzati, per cui è stato possibile reperire solo qualche elemento sporadico e mancano notizie riguardo al pavimento nella sua globalità. È stato visto un lacerto musivo decorato a motivi geometrici costituiti da un semicerchio con decorazione a scacchiera radiale, da un quadrato con decorazione a pulce contrapposte, da triangoli e da rombi che si dipartono con disposizione a raggiera dal semicerchio. Nel pavimento erano in-

(7) Righini, *Mosai*, pp. 95-99, RC 15; C.V. Gentili, *Mosaii augustei e tardo-romani scoperti negli ultimi anni a Fano*, *ibid.*, pp. 419-485, *pass.*, pp. 427-479 e figg. 7-19 e — Gentili, *Mosaii*.

(8) P. Monri, *Fano. Tracce di un edificio paleocristiano*, «Not. Scavi», s. 8, XV (1961), pp. 18-21; Righini, *Mosai*, pp. 94-95, RC 15.



Fig. 6. Faenza, via Basilotta, riquadro con iscrizione musiva dal pavimento paleocristiano (da SUSINI, *Pavimento musivo*, fig. 1).

scritti dei riquadri contenenti iscrizioni, ugualmente musive. È stato possibile recuperare uno di tali riquadri, che reca l'iscrizione *Amandia/nus et Revo/cata, Amanti/us et Animu/la f(ecerunt) p(edes) (centumviginti)*. Di altro riquadro simile si conserva il testo *Bonifalrus la/nuaris et Iovi/nus c(um) s(uis) / f(ecerunt) p(edes) (triginta quinque)* (9).

Il pavimento è stato datato dal Susini e dalla Bollini fra la fine del IV e l'inizio del V sec. d.C. (10), mentre il Bovini (11) lo considera riferibile probabilmente al V sec. d.C.

I pavimenti musivi paleocristiani con iscrizioni di offerenti sono particolarmente ben documentati ad Aquilcia e a Grado.

(9) G. Susini, *Pavimento musivo con iscrizione di un edificio paleocristiano faentino*, *ibid.*, pp. 21-23 (— Susini, *Pavimento musivo*); Bollini, *Mosaici*, pp. 160-162, nn. 38-43 e figg. 19-23.

(10) Cfr. nota precedente.

(11) G. Bovini, *Arte paleocristiana e paleobizantina*, « *Storia dell'Emilia e Romagna* », Inola 1973, pp. 277-298, part. p. 289 (— Bovini, *Arte paleocristiana*).

dove si contano oltre centotrenta di tali iscrizioni, distribuite fra quattro edifici di culto di Aquileia e tre di Grado (12).

Nell'Emilia-Romagna sono noti altri due casi, rispettivamente a Rimini e a Parma. Il primo, conservato solo attraverso la tradizione manoscritta, presenta l'iscrizione *Mauricius et Valentina / cum suis fecerunt p(edes) (centum quinquaginta)* (13). Il secondo, rinvenuto nel 1955, reca l'iscrizione *Clarus et Decentius fec(erunt) ped(es) (ducentos)* (14).

L'edificio paleocristiano di Faenza è stato identificato dal Lucchesi (15) con l'antica chiesa di S. Croce; lo stesso studioso ritiene inoltre che essa fosse provvista di Battistero, da identificare in una chiesetta a pianta centrale, adiacente alla chiesa stessa, che nel Medioevo venne trasformata in cappella e appellata S. Giovanni Rotondo (16).

MOSAICI DI VIA UGOLINO D'AZZO UBALDINI

Nel corso di lavori di ristrutturazione condotti fra il 1977 e il 1978 nell'edificio dell'Istituto Righi, in via Ugolino d'Azzo Ubaldini, è venuto in luce un complesso di mosaici.

Il mosaico A presenta una decorazione policroma costituita da nastri ad andamento sinuoso, che si intrecciano con onde ampie in alto e strette in basso, determinando degli spazi a squame, all'interno dei quali campeggiano dei fiori stilizzati.

Il mosaico B è molto semplice: sul fondo grigio uniforme spiccano delle linee bianche parallele ed oblique, che formano un reticolato di losanghe.

Il mosaico C era del tipo ripartito in formelle quadrate; si è recuperata solo la prima fila settentrionale di esse, ciascuna delle quali contiene un diverso motivo decorativo (rosone, zig-zag seghettato, disegno a scacchiera, motivo scalare).

I mosaici D ed E sono stati visti in sezione nelle pareti dello scavo.

Il mosaico F, di cui è venuto in luce solo un angolo, è decora-

(12) S. Panciera, *Osservazioni sulle iscrizioni musive paleocristiane di Aquileia e di Grado*, « *Mosaici in Aquileia e nell'Alto Adriatico* » (Antichità Altoadriatiche, VIII), Udine 1975, pp. 217-233.

(13) *CIL*, XI, 551; Susini, *Pavimento musivo*, p. 23; Bovini, *Arte paleocristiana*, p. 289.

(14) *Ibid.*, p. 290; G. Monaco, *I mosaici di Piazza del Duomo*, « Aurea Parma », XLI (1957), pp. 149-159 e tavv. 1-2.

(15) Lucchesi, *Cattedrali*, pp. 223-230.

(16) *Ibid.*, pp. 230-235.

to con un cerchio angolare, contenente un nodo di Salomone, fiancheggiato da due ellissi decorate all'interno con un rosone allungato, costituito da due calici contrapposti; lo schema generale è quello del mosaico C di via Dogana.

Il mosaico G — di cui, come nel caso precedente, si è recuperato solo un angolo — presenta una decorazione costituita da motivi fitomorfi stilizzati, con cespi di acanto e festoni ricurvi (17).

I mosaici dell'Istituto Righi sono stati datati dal Gentili « non prima della seconda metà del sec. IV d.C. » (18). Poiché però i motivi decorativi che essi presentano — ed in particolare la stretta analogia di schema decorativo fra il mosaico F ed il mosaico C di via Dogana — sono comuni anche nel V sec. d.C., per ragioni storiche si ritiene preferibile una datazione nei primi decenni del V sec. d.C. Rispetto a tale cronologia fa eccezione solo il mosaico B, probabilmente posteriore di qualche secolo.

GIURISDIZIONE ECCLESIASTICA DI RAVENNA

Nel IV sec. d.C. gran parte della regione *Aemilia*, compresa Faenza, dipendeva dalla giurisdizione ecclesiastica di Milano. Nella prima metà del V sec., prima del 431, al tempo di S. Pier Crisologo, Ravenna acquista la dignità metropolitana e Faenza — insieme con Forlì, Bologna e Modena — passa dalla giurisdizione ecclesiastica di Milano a quella di Ravenna (19).

VEESCOVO *Iustus*, 465 D.C.

La pertinenza o meno di tale vescovo a Faenza è controversa. Tra i vescovi che partecipano al Sinodo romano del 18 novembre 465 compare un *Iustus faventinus* (20). Il Lanzoni però ritiene che la lezione *faventinus* sia da considerare una corruzione del testo in luogo di *faberinus* o *faverinus* o *falerinus* (21) e che pertanto il vescovo *Iustus* non sia da attribuire a Faenza. Il

(17) Righini, *Museo*, pp. 146-148, RC 130; Gentili, *Mosaici*, pp. 481-485.

(18) *Ibid.*, p. 485.

(19) Lanzoni, *Cronotassi*, p. 25; Id., *Diocesi*, p. 751; Lucchesi, *Diocesi*, p. 286.

(20) Mansi, *Conc. Coll.*, VII, col. 959: *Flavio Basilisco et Herminerico viris clarissimis consulibus, sub die decimo quarto Kalendarum decembrium, residente viro venerabili Hilaro papa in Basilica Sanctae Mariae, et... Iusto Faventino.*

(21) Lanzoni, *Cronotassi*, p. 26; Id., *Diocesi*, p. 773.

Rossini (22) ed il Lucchesi (23) invece accettano la lezione *faventinus* ed annoverano *Iustus* fra i più antichi vescovi faentini.

GUERRA TRA ODOACRE E TEODERICO, 489 D.C.

Nel corso della guerra tra Odoacre e Teoderico, il *magister militum Tufa* si ferma presso Faenza e consegna ad Odoacre alcuni *comites* di Teoderico, che vengono gettati in catene e portati prigionieri a Ravenna (24).

VI SEC. D.C.

TEODERICO, RECUPERO DI MATERIALE EDILIZIO, 523-526 D.C.

In una lettera riportata da Cassiodoro nella *Variae* (25) Teoderico ordina al console Anastasio di far trasportare da Faenza a Ravenna del materiale da costruzione di recupero.

La prassi della riutilizzazione di materiale edilizio è corrente in età gota. È noto infatti che Teoderico fece trasportare a Ravenna da Roma (26) e da altre località (27) del materiale, forse

(22) *Veterum Scriptorum Testimonia*, in Appendice a *Magistri Tolosani Chronicon Faventinum*, a cura di G. Rossini, Bologna 1939, p. 185.

(23) Lucchesi, *Diocesi*, p. 286.

(24) Anonimo Valesiano, *Theodericana*, par. 11 (RR.II.SS., t. XXIV, p. IV, a cura di R. Cessi, Città di Castello, 1913): *Eo anno missus est Tufa magister militum a Theoderico contra Odoacrem Ravennam. Veniens Faventiam Tufa obsedit Odoacrem cum exercitu, cum quo directus fuerat, et exiit Odoacar de Ravenna et venit Faventiam et Tufa tradidit Odoacri comites patricii Theoderici et missi sunt in ferrum et adducti Ravennam.*

(25) Cass., *Variae*, V, 8 (*Anastasio Consulari Theodericus Rex*, a. 523-526): *... Atque ideo ad Faventinam civitatem civilem executionem te praecipimus destinare, ut sine cuiusquam concussionem vel damno quadrati ad Ravennatensem urbem ex nostra iussione debeantur, quatenus et nostro desiderio gratulemur impleto et querulis vociferandi amputetur occasio* (M.G.H., A.A., t. XII, a cura di Th. Mommsen, Berolini 1894).

(26) *Ibid.*, III, 10, 2 (*Festo V · I · Patricio Theodericus Rex*, a. 507-511): *... Atque ideo magnitudini tuae praesenti ammonitione declaramus, ut marmora, quae de domo Pinciana constat esse deposita, ad Ravennatensem urbem per catabolenses vestra ordinatione dirigantur. Subvectum vero direximus de praesenti, ne aut mora nostris ordinationibus proveniret aut laborantes aliqua detrimenta sentirent.*

(27) *Ibid.*, III, 9, 2-3 (*Possessoribus Defensoribus et Curialibus Estunis Constitentibus Theodericus Rex*, a. 507-511): *... In municipio itaque vestro sine usu iacere comperimus columnas et lapides vetustatis invidia demolitos: et quia indecore iacentia servare nil proficit, ad ornatum debent surgere redivivum quam dolorem monstrare ex memoria praecedentium saeculorum. Atque ideo praesenti auctoritate decernimus, ut, si vera fides est suggerentium nec aliquid publico nunc ornatui probatur accomodum, supra memoratas platonias vel columnas ad Ravennatensem civitatem contradat modis omnibus debeandas: ut conlapsis metallis oblitterata facies reddatur iterum de arte pulcherrima et quae situ fuerat obscura, antiqui nitoris possint recipere qualitatem.*

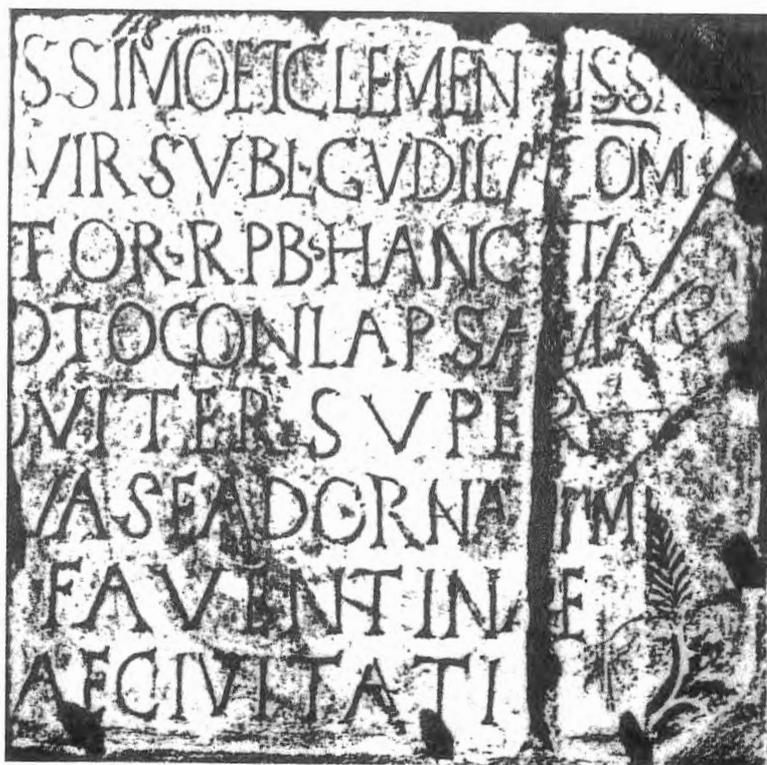


Fig. 7. Ravenna, Museo Arcivescovile, iscrizione del *comes Gudila* (da ROSSINI, *Iscrizioni*, fig. 58).

ornamentale, per riutilizzarlo negli edifici che andava costruendo nella sua capitale.

IL *comes Gudila* (fig. 7)

Un'iscrizione conservata a Ravenna ricorda che, durante il regno di Teoderico, il *comes Gudila*, *curator rei publicae*, fece rialzare nella *Curia* di Faenza una statua, caduta a causa di un terremoto (28).

(28) CIL, XI, 268: [salvo ...] *issimo et clementiss[imo] / Rege Theoderico] vir sub[limis] Gudila com[es] / ... [et cura]tor r[ei] p[ub]lica[e] hanc sta[tuam] ter[rae] m[oto] conlapsam / [statuit n]oviter super / [marmorea] vase [= base] ad orna[tum] / [Ecclesiae o Curiae] Faventinae / [ex dono propr]iae civitati[s]; G. Rossini, *Le antiche iscrizioni romane di Faenza e dei «Faventini»*, Faenza 1938, pp. 134-135 e fig. 58 (= Rossini, *Iscrizioni*).*

ATALARICO, 527

Nel 527 d.C. Atalarico incarica *Dumerit Saio* e *Florentianus* di comporre dei dissidi fra Goti e Romani nel territorio faentino (29).

MOSAICO DI PIAZZA MARTIRI PER LA LIBERTÀ

Nel 1980, nel corso di lavori di riedificazione dell'edificio sito in piazza Martiri per la Libertà nn. 21-23, è venuto in luce un pavimento musivo. La decorazione del campo è costituita da grandi cerchi che, intersecandosi, formano delle ellissi e dei quadrati a lati ricurvi, con motivi decorativi vari all'interno.

Il mosaico presenta nel centro un grande emblema quadrangolare suddiviso, in senso orizzontale, in due riquadri: nella parte superiore sono raffigurati due pavoni disposti in schema araldico ai lati di un *kantharos*, nella parte inferiore una scena di caccia con due cani che inseguono un capriolo e una lepre, spingendoli verso una rete. Il mosaico è tuttora in corso di studio. Per esso era stata proposta una possibile datazione al IV sec. d.C. in fase avanzata, mentre sembra che sia databile in età teodericiana (30).

ELEMENTI GENERICAMENTE TARDO-ANTICHI

Altri elementi archeologici sono genericamente databili in età tardoantica, ma mancano i dati per poterne definire con più esattezza la cronologia, che resta quindi genericamente compresa fra il IV ed il VI sec. d.C.

(29) Cass., *Variae*, VIII, 27 (*Dumerit Saioni et Florentiano viro devoto Comitiano Athalaricus Rex*, c.a. 527): *Severitas publica sicut ab innocentibus vacat, ita necesse est, ut in sceleratis operam suae districtiois impendat, quia non semper unum merentur iudicium diversa merita personarum. Morbi ipsi dissimilibus sucis sanantur herbarum: aliis cibi, aliis ferrum optatam revocat sospitatem et pro qualitate passionis praeceptum merentur artificis. Et ideo devotio vestra per Faventinum territorium incunctanter excurrat et, si quos Gothorum atque Romanorum in direptionibus possessorum se miscuisse repperit, secundum facti aestimationem et damnis affligantur et poenis, quia gravius plectendi sunt qui nec ammonitionibus iustis nec iniitiis principis oboediendum esse crediderunt, quando maior ambitus est novis dominis velle servire, ut commendati bonis iniitiis reliquam vitam securitatis munere perfruantur.*

(30) Righini, *Museo*, pp. 148-149, RC 41². Il mosaico è in corso di studio da parte della dott.ssa M.G. Maioli della Soprintendenza Archeologica, che ne prevede la pubblicazione nel Bollettino d'Arte.

PONT'ARCO

I resti del ponte non sono visibili dall'esterno, poiché sono inglobati nelle strutture di una casa colonica riedificata dopo l'ultima guerra. L'edificio si trova a breve distanza dalla riva destra del fiume Lamone, in linea d'aria di fronte al rettilineo di via Batticuccolo. La datazione della struttura in età tardoantica si basa sulla tecnica costruttiva rilevabile da quanto ne resta. Sono tuttora visibili gli attacchi di due fornic, fra i quali sussiste un potente muro inclinato, che sembra in funzione di diga (31).

GRUPPO DI PAVIMENTI IN VIA NAVIGLIO

Nel 1939, in via Naviglio n. 6, approfondendo il piano di una cantina, furono visti alcuni pavimenti romani, due dei quali costituiti da lastre di marmo di vario tipo e da elementi architettonici reimpiegati; si trattava evidentemente di pavimenti creati con materiale di recupero. Il terzo pavimento era di mosaico, decorato con pesci variopinti e con utilizzazione di tessere di pasta vitrea; esso avanzava sotto via Naviglio e non se ne conserva neanche un campione.

Sia l'utilizzazione di materiale di recupero sia la presenza di tessere di pasta vitrea inducono a ritenere che si tratti di pavimenti tardoantichi (32).

MOSAICO DELLA BIBLIOTECA COMUNALE

Rinvenuto nel 1969 nel cortile meridionale della Biblioteca Comunale, il mosaico policromo presenta una decorazione geometrica costituita da cerchi e semicerchi, all'interno dei quali campeggiano dei motivi fitomorfi stilizzati.

Il mosaico non è stato analizzato scientificamente e pertanto la cronologia resta generica in età tardoantica, ma potrebbe anche essere anteriore al IV sec. d.C. (33).

(31) *Ibid.*, p. 171, RT 35.

(32) *Ibid.*, p. 145, RC 128.

(33) *Ibid.*, pp. 111-112, RC 49.

MOSAICO DI VIA BARBAVARA

Rinvenuto nel 1971 al n. 5 di via Barbavara, nel corso di lavori di ristrutturazione dell'edificio, il mosaico policromo presenta una decorazione ripartita in riquadri, all'interno dei quali sono dei rombi con volute su ogni vertice.

Il mosaico non è stato analizzato scientificamente; le caratteristiche tecnico-stilistiche ed il fatto che esso è stato chiaramente creato con tessere di recupero, fanno propendere per una datazione piuttosto tarda (34).

* * *

Per quanto riguarda il IV sec. d.C., il quadro generale relativo a Faenza appare piuttosto scarso di elementi.

Dal punto di vista archeologico compare solo il mosaico di via Pescheria che però, essendo isolato, non fornisce alcuna informazione relativa all'edificio in cui era inserito.

L'elemento emergente per la vita di Faenza nel IV sec. appare quello della presenza di una comunità cristiana numerosa e organizzata, tanto da avere un Vescovo già all'inizio del secolo, in età costantiniana, quando i Vescovi in Italia non dovevano essere molto numerosi, dato che al Sinodo romano del 313 sono presenti diciannove Vescovi e *Costantius a Faventia* è uno di essi.

Archeologicamente molto più ricco si presenta invece il quadro relativo alla prima metà del V sec. d.C. Il complesso di mosaici di via Dogana — appartenenti sicuramente ad un edificio di grande prestigio, anche se mancano gli elementi per definirne con esattezza le funzionalità — il mosaico paleocristiano di via Barilotto, indicativo della presenza di una basilica paleocristiana, ed il complesso di mosaici di via Ugolino d'Azzo Ubaldini, sono chiari indici di una ripresa edilizia, e di alto livello, nei primi decenni del V sec. d.C. Tale ripresa si inserisce in un quadro storico ben preciso.

Nel 402 d.C. infatti si verifica il trasferimento della capitale dell'Impero romano d'Occidente da Milano a Ravenna. La presenza dell'Imperatore e della sua corte — che doveva essere numericamente consistente — ed ovviamente anche di truppe militari al seguito, devono aver portato come conseguenza una fase di rivitalizzazione generale non solo a Ravenna ma anche nell'immediato retroterra, quindi anche a Faenza. Come era avvenuto

(34) *Ibid.*, pp. 124-125, RC 74.

alcuni secoli prima, in età augustea, quando la creazione del porto militare a Classe e lo stanziamento in esso della flotta imperiale avevano dato un forte impulso all'economia dell'*interland* ravennate, altrettanto deve essersi verificato all'inizio del V sec. come conseguenza del trasferimento della corte imperiale.

Un aspetto che non è mai stato posto sufficientemente in evidenza, e che invece appare molto interessante, è costituito dalla stretta vicinanza fra il ricco palazzo di via Dogana e la basilica paleocristiana, eretta nelle immediate adiacenze. I due edifici sono infatti pressoché contemporanei e sorgono a poche decine di metri l'uno dall'altro. Possiamo avanzare un'ipotesi di connessione fra di essi? Forse non avremo mai gli elementi per dare una risposta concreta a tale quesito. Gli unici dati certi sono la concomitanza cronologica e la vicinanza topografica. L'ipotesi di una possibile connessione fra di essi è però suggestiva e comporta altre ipotesi consequenziali.

Il palazzo di via Dogana è indubbiamente un edificio di grande prestigio, non solo per la ricchezza dei pavimenti musivi ma anche per la scena di apoteosi imperiale raffigurata nell'emblema del mosaico E. Sarebbe improbabile pensare alla raffigurazione dell'imperatore in trono inserita in un qualsiasi edificio privato, per quanto lussuoso. Per il palazzo di via Dogana è stata avanzata l'ipotesi, verosimile, che potesse trattarsi della residenza di un dignitario della corte imperiale (35).

La presenza residenziale di un dignitario di corte a Faenza, unita al fatto che prima del 431 d.C. Ravenna aveva acquisito la dignità metropolitana e Faenza era passata sotto la giurisdizione ecclesiastica di Ravenna, potrebbero essere stati i fattori d'impulso per l'erezione della basilica paleocristiana? Avremmo forse potuto avere degli elementi più precisi se malauguratamente il mosaico pavimentale della basilica non fosse stato irrimediabilmente sepolto sotto ad una gettata di cemento, lasciandoci solo il riquadro con l'iscrizione di offerenti. Quest'ultimo elemento però, unico superstite, ci fornisce almeno l'informazione che il pavimento musivo della basilica era stato creato col concorso finanziario di alcuni fedeli. Forse anche il dignitario di corte residente nel palazzo di via Dogana ha contribuito all'erezione della basilica paleocristiana.

All'inizio del VI sec. d.C. la situazione appare mutata. L'ordinanza di Teoderico diretta al console Anastasio, relativa al tra-

(35) Gentili, *Mosaici*, pp. 475-476.

sferimento di materiale edilizio di recupero da Faenza a Ravenna, induce a ritenere che Faenza dovesse presentare degli edifici in rovina, utilizzabili come cave di materiale di recupero. Quali possono essere state le cause di una simile situazione? La seconda metà del V sec. d.C. era stata caratterizzata da problemi politici e da torbidi militari, che avevano portato alla caduta dell'Impero romano d'Occidente nel 476 d.C. ed all'instaurarsi in Italia dei regni barbarici di Odoacre prima e di Teoderico poi. Non abbiamo però notizia di episodi particolari relativi a Faenza, quali assedi o battaglie, tali da giustificare una decadenza edilizia della città; l'episodio della sosta del *magister militum* Tufa presso Faenza non appare, almeno da quanto dicono le fonti, tale da aver arrecato danno alla città.

Le cause della decadenza edilizia vanno quindi ricercate in altri settori, oltre che in una generale situazione di instabilità politico-militare e conseguentemente anche economica. L'ipotesi più ovvia, che sorge immediata, è che possano essersi verificate delle catastrofi naturali tanto violente da aver arrecato danni gravi agli edifici faentini. Archeologicamente però non si è mai riscontrata, nel centro storico, alcuna traccia di depositi alluvionali sicuramente riferibili ad età tardoantica; non possiamo quindi pensare ad alluvioni devastatrici. Resta quindi solo l'ipotesi che le cause delle distruzioni vadano ricercate nei terremoti. Si ha infatti notizia di due gravissimi terremoti verificatisi nella seconda metà del V sec. d.C., l'uno nel 466 o 467 l'altro nel 492 (36); entrambi questi terremoti sono riferiti a Ravenna, ma essendo essi stati particolarmente violenti è possibile che anche Faenza ne abbia risentito.

I mosaici di via Dogana, dell'edificio paleocristiano e di via Ugolino d'Azzo Ubaldini presentavano tutti, all'atto del rinvenimento, chiare tracce di incendio. In nessuno dei tre casi è stato però possibile definire, almeno approssimativamente, l'epoca della distruzione dell'edificio; l'unico dato sicuro è che essi sono stati distrutti da incendi, ma non sappiamo quando questi si siano verificati. A questo proposito si possono ipotizzare tre possibilità. La prima è che la distruzione dei tre edifici si sia verificata nella seconda metà del V sec., a causa di incendi conseguenti ai terremoti sopra menzionati. La seconda ipotesi è che Faenza abbia subito danni, verso la metà del VI sec., nel corso della

(36) M. Baratta, *I terremoti d'Italia*, Torino 1901, p. 11.

guerra gotica; le fonti però non menzionano episodi relativi alla città tanto gravi da aver comportato delle distruzioni urbane violente (37). La terza possibilità è che gli edifici tardoantichi siano sopravvissuti fino alla metà dell'VIII sec. d.C. e siano periti nel grande incendio, che distrusse tutta la città, ad opera di Liutprando nel 740 d.C., subito dopo all'eccidio di Faentini da lui operato nel sabato santo di quell'anno (38).

Quale di queste tre ipotesi corrisponda alla realtà forse non potremo mai saperlo. Resta comunque assodato che all'epoca di Teoderico Faenza aveva già sicuramente subito dei gravi danni a causa di uno o più terremoti, come è attestato dall'iscrizione del *comes Gudila*, nella quale si ricorda come il *comes* stesso fece rialzare nella *Curia* di Faenza una statua caduta a causa di un terremoto, che potrebbe forse essere identificato con quello verificatosi nel 492 d.C. Resta inoltre assodato che, ugualmente in epoca teodericiana, nella città dovevano essere presenti degli edifici in rovina, se era possibile trarne materiale di recupero da trasportare a Ravenna.

Di contro a questo desolante quadro di distruzione sta però forse anche un elemento di costruzione. Se il mosaico rinvenuto nel 1980 in piazza Martiri per la Libertà si rivelerà, dopo che sarà stato oggetto di analisi scientifica, come effettivamente databile in età teodericiana, avremo in esso una prova di attività edilizia in Faenza nell'età di Teoderico o comunque in età gota; con esso potrebbe quindi essere presente anche a Faenza una traccia di quell'attività edilizia che, come è noto, rappresenta uno degli aspetti più caratterizzanti del regno di Teoderico (39). Anche questo mosaico presentava, all'atto del rinvenimento, vistose chiazze provocate da incendio.

Dalla documentazione di età gota si ricavano infine degli elementi di tipo politico-amministrativo. Il *comes Gudila* è infatti definito *curator rei publicae*; egli ricopre quindi una carica amministrativa ben precisa nella città di Faenza e si tratta dell'unico

(37) Nel corso della guerra gotica Faenza è menzionata dalle fonti per la vittoria di Totila sui duci bizantini nel 542 d.C. (Procop., *Bell. Gothicum*, III, 3) e per avere un presidio bizantino nel 552 d.C. (Agathiae Scholastici, *De bello Gothico*, I, 15-18). Cfr. A. Carile, *Il « Bellum Gothicum » dall'Isonzo a Ravenna*, « Antichità Altoadriatiche », XIII, Udine 1978, pp. 147-193, part. pp. 158, 170.

(38) *Magistri Tolosani Chronicon Faventinum* (cit. alla nota 22), pp. 6-9.

(39) V. Righini, *Felix Roma - Felix Ravenna. I bolli laterizi di Teoderico e l'attività edilizia teodericiana in Ravenna*, « Corsi di Cultura sull'Arte Ravennate e Bizantina », XXXIII (1986), pp. 371-398.

caso di un *comes* goto con tale carica documentato nell'ambito della regione.

Nel 527 Atalarico incarica il *saio* (40) *Dumerit* e il romano *Florentianus* di comporre dei dissidi fra Goti e Romani nel territorio faentino. Tale episodio documenta pertanto la presenza di Goti stanziati nel territorio di Faenza. Teoderico infatti, seguendo la prassi già applicata da Odoacre, aveva provveduto alla requisizione di un terzo delle terre di proprietà dei *possessores* romani, distribuendole ai suoi Goti, che ne divengono a loro volta *possessores*, e ciò si era verificato particolarmente nell'Italia settentrionale e lungo la dorsale appenninica fino al Sannio (41); evidentemente anche i *possessores* romani del territorio faentino avevano subito tale requisizione con conseguente attribuzione delle terre loro requisite a nuovi *possessores* goti.

(40) I *saiones* erano speciali elementi goti, che dipendevano direttamente dal sovrano, da cui potevano essere incaricati di compiti diversi. E. Stein, *Histoire du Bas-Empire*, Paris-Bruges 1959 (rist. anast. Amsterdam 1968), vol. II, pp. 122-123; G. Tabacco, *La storia politica e sociale. Dal tramonto dell'Impero alle prime formazioni di stati regionali*, «Storia d'Italia», vol. II¹, Torino 1974, pp. 5-274, part. p. 33.

(41) *Ibid.*, p. 33; A.H.M. Jones, *The Later Roman Empire, 284-602*, Oxford 1964, vol. I, pp. 248-253.

MARIO TABANELLI

ALCUNI TEMPI NELLA VITA DI CARLO MALATESTA
SIGNORE DI RIMINI

INTRODUZIONE

Di tutti i componenti la famiglia dei Malatesti, uno di essi, Carlo, figlio di Galeotto il Grande, riveste caratteri ed aspetti del tutto particolari che lo differenziano dagli altri. Egli non è solo un combattente ed un uomo d'arme, non sempre fortunato. Più che con questo attributo, noi potremmo chiamarlo un profondo ed acuto uomo politico. C'è un dissidio da appianare fra i componenti della sua stirpe? Carlo è presente; e con la fine opera di mediatore raggiunge quasi di regola lo scopo. C'è da domare una rivolta? Carlo non si sottrae ai suoi doveri di combattente. C'è uno stato di disordine e di dissesto, come nel ducato di Milano? Carlo è chiamato a sanare molte delle sue piaghe e dopo una certa permanenza ivi, lascia la città in migliori condizioni e consegna al suo duca una serie di saggi ammaestramenti, che potrebbero servire anche oggi, per il reggimento di uno Stato moderno. E questa è appena una delle parti importanti della sua vita. Il fratello Pandolfo è occupato nel dominio di Brescia e di Bergamo in Lombardia? Sarà Carlo a sostituirlo, durante tutto questo periodo, nella amministrazione dei suoi possedimenti romagnoli e marchigiani. Sarà costruttore di rocche, quali quella di Maiolo, di Talamello, di san Giorgio di Cervia. Come combattente, se pur non sempre fortunato, ma sempre rispettato dal nemico, sarà presente in molte battaglie; domerà rivolte, pacificherà genti, assicurerà spesso il dominio ai Malatesti, senza giungere ai gravi metodi, i quali caratterizzarono molti di loro, fra cui il padre Galeotto e più tardi il nipote Sigismondo. Vigilerà attentamente per mantenere alte le conquiste della sua casata e si manterrà sempre in buona armonia con i vari Pontefici, che non mancheranno di concedergli ter-

ritori e vicariati per i servizi loro resi. Questi, in breve, furono i principali pregi di Carlo ed alcuni fra i più importanti atti della sua attivissima e feconda vita. Se pur ci fosse concesso di esprimere su lui un giudizio ed un paragone, non potremmo fare a meno di confrontarlo, come altri fecero, con i principali e più celebri uomini dell'antica Roma.

A lui spetta indubbiamente il merito di aver tenuto alto il nome di Malatesti con purezza d'animo e con grande spiritualità d'intenti, senza aver mai compiuto alcun eccesso. E di questo gli deve essere dato onorevolmente atto.

PRIMI ANNI E GIOVINEZZA DI CARLO

Carlo Malatesta, figlio di Galeotto e di Gentile da Varano, nasce in Rimini nel 1368. In questa seconda metà del secolo XIV, la casa dei Malatesti ha raggiunto il massimo del suo splendore e della maggiore espansione territoriale nella Romagna, nelle Marche, nell'Umbria. Carlo compare sulla scena del mondo in un momento felice per i suoi. Ha come esempio il padre Galeotto, il quale per capacità politica e per azioni di guerra è uno dei più celebri e più stimati personaggi d'Italia. Ha ereditato dai suoi antenati la costanza, la forza d'animo ed un acuto senso politico, che faranno di lui un uomo di primo piano, in un difficile e complesso panorama; dati questi che inevitabilmente lo favoriranno nella sua non sempre facile missione.

Con questi presupposti egli inizia il suo cammino. Poco ci è rimasto che ricordi i suoi anni giovanili; certamente sarà stato educato da buoni precettori e maestri, i quali non avranno mancato di insegnargli la lingua e la storia dei latini e le imprese dei grandi di Roma. Né gli sarà mancata una educazione militare, quale si conveniva a ciascuno dei componenti della famiglia ed un insegnamento di corretto vivere. Come in precedenza, fino dal 1200, i suoi antenati, Carlo abitava nel palazzo riminese detto il Gattolo di santa Colomba che prendeva nome dalla vicina cattedrale e che più tardi verrà chiamato « Gattolo dei Malatesti »; era questa una sede principesca dotata di numerose sale, fra cui una verde, di terrazze, di un « solario » e di un ricco giardino. E questa dimora resterà tale fino a quando nel 1437 Sigismondo Pandolfo inizierà la costruzione del suo castello « dopo aver demolito gli antichi palazzi e le abitazioni dei suoi passati, salvo il

palazzo maggiore » (1).

Nel 1385, alla scomparsa del padre Galeotto in Cesena, si addivene alla divisione dei territori fra i diversi fratelli. A Carlo è assegnato Rimini « con molte appartenenze » (2); a Pandolfo III Fano, Mondavio e Mondolfo; ad Andrea (detto Malatesta) Cesena, Fossombrone e Roncofreddo; a Galeotto Belfiore Cervia, Meldola, Sansepolcro, Sestino e Montefiore. E quando Meldola è assediata dalle milizie tedesche di Giovanni Duzo e di Averardo, assoldate da Taddeo Pepoli, signore di Bologna, Galeotto Belfiore chiede aiuto ai fratelli Carlo e Pandolfo III, che intervengono, sbaragliano e fanno prigionieri gli stessi comandanti. Carlo ha diciassette anni e, maggiore dei tre fratelli, si trova ad avere sulle spalle la responsabilità dell'intera famiglia e di un grande dominio ed è messo presto alla prova nell'anno dopo, 1386, quando il castello di sant'Arcangelo si ribellerà alla Signoria dei Malatesti. Carlo si dimostra pari alle circostanze: insieme al fratello Pandolfo III, che conta appena 16 anni, non ha un attimo di indugio e si precipita con gli armati riminesi nel castello conteso. Promotori della rivolta sono alcuni dei componenti di una delle principali famiglie del luogo: Lorenzo, Paolo e Gaspare dei Balacchi. Questi saranno rapidamente sopraffatti: Gaspare e Lorenzo saranno presi e faranno una ben meritata fine. Paolo riuscirà a fuggire. Dopo un breve intervallo, per intercessione della Santa Sede, sant'Arcangelo tornerà nelle mani dei Malatesti. Questa vittoria esalterà tanto Carlo, sì che, per ricordarlo alla posterità, in un anno successivo, farà erigere in quel castello « una grossa torre, la più grande che fosse in Italia. Il nipote Sigismondo vedendo che questa serviva più per squisita bellezza ed a pompa, che per fortezza, la farà sminuire ed abbassare assaissimo... guastando così la più bella e magnifica torre che fosse in Italia » (3).

Nell'autunno del 1386, Carlo si reca a Mantova per sposare Elisabetta Gonzaga, sorella del marchese. In quella occasione vennero depositati a Venezia 20.000 ducati quale dote della sposa (Sanudo). Giovanni di Pedrino scrive che: « la sposa era piccola, assai brutta, quantunque di 17 anni ». Elisabetta fu una sposa esemplare e fu sempre vicina al marito in ogni circostanza. Nel-

(1) B. Branchi, *Cronaca riminese* fino al 1474.

(2) *Cronaca Malatestiana*, RIS, II XV 2, Zanichelli ed., Bologna 1922.

(3) C. Clementini, *Raccolto storico della fondazione di Rimini e della vita dei Malatesti*, Simbeni ed., Rimini 1617.

l'anno 1387, insieme al fratello Pandolfo III, Carlo entra a far parte degli amici di Gian Galeazzo Visconti: per tale ragione rifiuta il passaggio nelle sue terre al capitano di ventura bretone, Bernardone de Serres, che doveva, da Fabriano a Gubbio, recarsi in soccorso di Verona, nemica del Visconti; questo condottiero chiedeva passo e vettovaglia.

Nello stesso anno lo stesso Carlo, con molte genti d'arme, accompagna il pontefice Urbano VI da Lucca a Perugia; è nominato gonfaloniere della Santa Sede e Rettore di Romagna. Nella primavera del 1388 (Franceschini) (4) o del 1389 (Zama) (5), Carlo gode della fiducia del Visconti, il quale lo nomina comandante dell'esercito che si appresta a combattere i Carraresi, signori di Padova.

Questa guerra non si farà, poiché si addivene ad un accordo; ed il Visconti si servirà ancora della diplomazia di Carlo nell'ottobre 1389 quando lo invierà a Pisa, presso il signore della città, il Gambacorti, per concludere una lega che, oltre Milano, comprenda diverse altre signorie italiane quali Mantova, Genova, Lucca, Siena, Firenze, Faenza e Forlì.

Nasce un figlio primogenito a Gian Galeazzo Visconti a Pavia, (alcuni danno il 1388, altri il 1389), Giovanni Maria, e Carlo, che è uno dei primi a congratularsene, è invitato alla cerimonia del battesimo; ed in tale occasione ordina che « in tutte le terre del riminese si faccia allegrezza ». Nell'anno 1390 Carlo è confermato alla carica di gonfaloniere della Santa Sede; nel 1391 gli è prorogato il vicariato di Rimini; ed ancor più tardi il pontefice Bonifacio IX gli concederà il feudo del castello di Roccacontrada, ora Arcevia, con il titolo di « rettore e riformatore della città ». Nel 1391 la banda di Giovanni da Barbiano infesta il territorio di Rimini; Carlo la affronta e la disperde; i vinti si rifugeranno a san Marino (altri affermano che il Barbiano fu fatto prigioniero e venne rilasciato a seguito di un pagamento di 5.000 ducati) (6). Il Malatesta si impadronì anche di alcuni stendardi, i quali furono trionfalmente portati a Rimini ed esposti nel tempio di san Giorgio (7).

Nello stesso anno avviene un grave dissidio fra i Malatesti ed

(4) G. Franceschini, *I Malatesta*, Dall'Oglio ed., Milano 1973.

(5) P. Zama, *I Malatesti*, Lega ed., Faenza 1956.

(6) C. Ghirardacci, *Historia di Bologna*, 141, RIS, II XXXVIII 1, Zanichelli ed., Bologna 1933.

(7) C. Clementini, l.c.

il Montefeltro; sarà il pontefice Bonifacio IX nell'anno successivo a comporre la vertenza.

Nel 1392 nasce a Galeazzo Maria Visconti un secondo figlio, Filippo Maria.

Nell'anno 1393 gli Ordelaffi di Forlì si accordano con i fuoriusciti di Bertinoro per occupare il loro castello, ma saranno respinti. Un nuovo tentativo ad opera di Pino Ordelaffi riuscirà vano. Carlo Malatesta, a sua volta, si scontrerà presso Busecchio, con Cecco e Pino e li costringerà a ritirarsi in Forlì. In quel momento nel 1394 il pontefice Bonifacio IX, trovandosi a corto di danaro, decide di vendere il castello di Bertinoro. Nella compera intervengono gli Ordelaffi, i quali inviano la cifra di 22.000 fiorini a Roma. Non ostante il pontefice avesse ordinato ad Antonio Tomacelli, castellano di Bertinoro, di consegnare il luogo agli Ordelaffi, questi, a causa delle ingiurie da essi ricevute, riuscì a persuadere Carlo Malatesta di far pervenire anch'esso a Roma la somma richiesta. Carlo non esitò ed il primo contratto con gli Ordelaffi venne annullato. Ai Malatesti, cioè a Carlo e Galeotto Belfiore, fu ceduto Bertinoro; più tardi subentreranno Andrea e Pandolfo III. La decisione fu bene accolta a Bertinoro, ove sul colle furono accesi fuochi di gioia per festeggiare l'evento. Più tardi, gli Ordelaffi si rappacificheranno coi Malatesti.

Nel 1395 Galeotto Belfiore, fratello di Carlo, va sposo ad Anna, figlia di Antonio da Montefeltro. Carlo si compiace di questo matrimonio che avrebbe dovuto segnare un più completo accordo fra le due famiglie. Convennero a Rimini, in quella occasione, tutti i nobili della regione, fra cui Pino Ordelaffi.

Nel 1397 Gian Galeazzo Visconti è in lotta contro il marchese di Mantova; uno dei suoi capitani, Francesco dal Verme, passa il Po e si avvicina a quella città. Francesco Gonzaga domanda aiuti; vi giungono Carlo Malatesta da Rimini e Andrea Malatesta da Cesena. Carlo è comandante supremo della Lega ed il 28 agosto, sostenuto dal cognato Gonzaga, presso Governolo, riporterà una brillante vittoria sulle forze del Visconti, sconfiggendo Ugolotto Biancardo (altri dicono Jacopo dal Verme). Torna a Mantova trionfante a capo delle truppe vincitrici e si attende una grande accoglienza; invece nota che gli abitanti della città celebrano, portando fiori, la festa degli Idi di ottobre, data della nascita di Virgilio, come riferito dal mantovano Prendi l'Acqua. Irato, fa gettare la statua, eretta dal podestà bresciano Loderingo Martinengo, che si trovava in una edicola del palazzo del podestà, nel fiume Mincio. Questo fatto avrà grande riso-

nanza e disapprovazione presso i letterati del tempo.

Da Bologna Pier Paolo Vergerio così scriveva a Lodovico Alidosi, signore di Imola: « Carlo Malatesta, principe di fama per retaggio degli avi e per lo splendore delle sue gesta, mentre presso Mantova, faceva guerra in qualità di capitano, abbatté la statua che in quella città sorgeva in onore di Virgilio, cosa indegna ed indegnissima per simile uomo; poiché né le lodi né la memoria di Virgilio potranno essere cancellate mai » (8).

Anche Astorgio Manfredi, signore di Faenza, invita Coluccio Salutati a prendere le difese di Virgilio. Altro giudizio negativo su questo fatto venne espresso dal Pontano: « come puoi fidarti di Carlo Malatesti, il quale, come appreso, offeso dalla gloria di Virgilio, ordinò che fosse abbattuta da alcuni soldati la sua statua e venisse gettata nel fiume? ».

Ma Carlo non era nuovo ad avversare le costumanze pagane, ritenendole lesive della religione cristiana.

Già verso il 1390 (Zama dà il 1397) aveva proibito ai contadini di Rimini e di Gradara (Fleetwood) di « fare lumi a marzo » emanando il seguente editto: « poiché non è lecito ai cristiani osservare le superstizioni e le calende dei pagani, essendo questa una idolatria a dispiacere del nostro signore, si ordina che ogni persona si guardi da illuminare marzo o qualche altro idolo. Il contravventore sarà messo in prigione e lì starà per lo spazio di un anno ». Con lo stesso bando si proibiva di bestemmiare Dio, la Vergine e i Santi (9).

Alla fine dell'anno 1399, Carlo indossa la tunica bianca del penitente e, seguito dalla sposa e da un folto corteo di uomini (8.000 uomini e 5.000 donne), si reca in pellegrinaggio da Rimini a Fano. Ciò sta a provare la sua grande fede religiosa.

La fiducia del pontefice Bonifacio IX in Carlo doveva essere molto elevata, poiché nel 1399 confermò a lui i vicariati di Rimini, Cervia, Collinello, Polenta, Mondolfo, Corinaldo e Mondavio. E per di più lo investì per 5 anni del governo di Osimo, Montelupone, Castelfidardo, Montefano, Filottrano e di altri territori.

Nel 1400 è presente al giubileo in Roma. Il pontefice gli concede la onorificenza della rosa d'oro. Così descrisse il fatto un informatore del Visconti: « il signor Carlo ebbe dal Papa la

(8) Pier Paolo Vergerio, *Epistole*, RIS, XVI, Milano 1930.

(9) G. Bagli, *Bandi Malatestiani*, A.M.R., III 76, 1884-85.

rosa d'oro; ed erano qui molti nobilissimi uomini e signori, che a contarli sarebbe lungo » (10).

Nei primi anni del 1400, Carlo farà coniare in Rimini una moneta simile al quattrino bolognese; da un lato vi figurava una croce con un sole ad otto raggi e la scritta: K(AROLUS) D(O-MINUS) ARIMINI; dall'altro la figura di san Giuliano, mezzo ignudo, con la palma del martirio e la leggenda: S. Julianus. E il Battaglini ancora ricorda che « Carlo amava distinguersi con la sola lettera K, iniziale del suo nome latino; il che si può osservare nelle monete e nel suo sigillo, nonché nei boccali di ceramica (11). Sono ancora da considerare quali suoi simboli la croce raggiata a guisa di stella, il fiore a 6 foglie ed ancora la lettera K, che compare nel soffitto del monastero dei frati olivetani alla Scolca.

Nel 1401 Carlo ottiene, sempre dal pontefice Bonifacio IX, alcuni privilegi su Borgo san Sepolcro. Egli è preferito ad altri « però che era fama per il Papa, credere a lui più che ad un'altra persona ». Nel 1401 (Franceschini: 1402) Gian Galeazzo Visconti muove verso Bologna, governata da Giovanni Bentivoglio; Carlo tenta di evitare il conflitto e si reca a Roma per invocare l'aiuto del Pontefice; ma non riesce nel suo intento. Lo scontro definitivo avverrà a Casalecchio di Reno il 26 giugno 1402. Fra i comandanti Viscontei vi è Alberico da Barbiano, insieme a Carlo e ad Andrea Malatesta. Dalla parte opposta milita Muzio Attendolo Sforza. I Viscontei saranno vincitori, Muzio Attendolo Sforza verrà fatto prigioniero dal Barbiano, ma poi sarà liberato. Il Visconti entrerà in Bologna, la popolazione si ribellerà al Bentivoglio il quale verrà ucciso sulla piazza della città. Di questo fatto d'arme dà notizia anche la Cronaca Malatestiana indugiando in alcuni particolari: « nel 1402, il 29 giugno (altri dicono il 26 giugno (Ady) (12) il capitano Berardone che aveva con sé tutta la Compagnia della Rosa ed era capitano della Lega fiorentina, fu sconfitto e rotto a Casalecchio... i capitani che lo ruppero furono: Carlo, Pandolfo e il Malatesta di Cesena, Giacomo Dal Verme, Alberico da Barbiano e Facino Cane. Coloro che

(10) L'informatore era Pasquino da Siena, (*Epistolario* di Coluccio Salutati, III 232, Roma 1896).

(11) F.G. Battaglini, *Memorie storiche di Rimini e dei suoi signori*, Ghigi ed., Rimini 1976.

(12) C. Ady, *I Bentivoglio*, Dall'Oglio ed., Milano 1967. La Ady aggiunge che « il Bentivoglio si batté bene; ebbe due cavalli uccisi sotto ed ammazzò 8 uomini prima di essere catturato; poi alla fine della battaglia si trovò prigioniero; e tre giorni dopo il suo corpo giaceva davanti all'altare della chiesa di san Giacomo ».

scamparono si ridussero a Bologna. Pandolfo rimase a governare la città e Giovanni Bentivoglio fu tagliato a pezzi ».

Gian Galeazzo Visconti uscirà dalla scena del mondo nel settembre 1402 nel suo castello di Marignano (Melegnano). Gli succederà il minore Giovanni Maria, con un Consiglio di reggenza, poiché la sola madre, Caterina, non è atta a governare. Del Consiglio faranno parte Carlo, Andrea e Pandolfo III Malatesta, che già godevano la fiducia del duca.

Pandolfo andò a Milano e vi rimase solo fino all'aprile 1404, quando la vedova Caterina gli diede in pegno la città di Brescia, come premio del servizio prestato al Visconti « per le paghe a lui dovute obbligandosi a restituirla quando egli avesse raggiunto il saldo di ogni suo avere ».

Pandolfo poco dopo aggiungerà al possesso di Brescia quello di Bergamo, creando in Lombardia una signoria della casa Malatestiana che durerà fino al 1421, quando Filippo Maria Visconti, per mezzo del Carmagnola, ridiverrà padrone di queste due città.

CARLO MALATESTA A MILANO

A Caterina, vedova di Gian Galeazzo, che era stata nominata amministratrice e che era scomparsa nell'ottobre del 1404, era successo il figlio Giovanni Maria, giovanissimo.

All'inizio del 1405 (Franceschini) Carlo Malatesta è chiamato a Milano da Giovanni Maria Visconti con la carica di governatore del ducato, per migliorare lo Stato (il Cognasso dà il 1406).

Il ducato non era tranquillo. Giunto a Milano, Carlo tentò di mettere un po' d'ordine: nel 1407 propose il versamento di una tassa di tre fiorini; vietò di imporre prestiti o mutui, senza il permesso del duca; istituì un monte di pietà in cui i mutuari avrebbero ricevuto l'8%; deliberò un consiglio di 72 cittadini nominati dal duca, che sostituirono il Consiglio generale dei 900 per porre freno agli amministratori (1408); persuase il duca Giovanni Maria di prendere moglie e gli propose la nipote Antonia, figlia del fratello Andrea Malatesta di Cesena. Il Giulini dà una versione del matrimonio diversa da quella della Cronaca Malatestiana (che afferma che il matrimonio avvenne per procura): « giunse la sposa a Milano col padre il 1° luglio 1408 a 12 ore; e nello stesso giorno fu introdotta in città per la porta romana ed accompagnata fino alla Chiesa Maggiore, dove alle ore 21, fu

celebrato il matrimonio » (13).

Carlo vietò l'uscita della gente da Milano senza una adeguata licenza; con questo provvedimento erano colpiti coloro che si recavano clandestinamente in altri paesi, per sottrarsi alle tasse (23 marzo 1408); i debitori morosi erano autorizzati a rimpatriare. Dopo essersi trattenuto per alcuni anni, il Malatesta abbandonò Milano nell'agosto 1408, lasciando alcuni consigli al duca Giovanni Maria: « prima di tutto e dopo tutto io sono d'avviso che il Re dei Re ed il Signore dei Signori che ha ogni potere in cielo e in terra, dovrebbe essere venerato ed amato. Non si deve permettere niente sconsideratamente, ma mantenere le promesse in modo inviolabile. Eleggere un consiglio, che sia fedele né permettere ad altri di interferire nello Stato. A nessuno dei servi del signore sia permesso seguire editti diversi dagli Statuti cittadini. Gli uffici non siano venduti, avere funzionari imparziali; se colpevoli siano puniti con la morte, non ostante le preghiere di misericordia. I potenti non siano esentati dalle tasse; i soldati mercenari siano pagati tempestivamente. Amare i sudditi, aver diligenza nell'attendere al governo; i ribelli siano puniti in modo esemplare; astenersi dal fare guerre ed atti crudeli; imporre tributi solo ai cittadini che li possono sopportare; astenersi da discordie ed inimicizie col fratello. Vietare ai cittadini di costruire fortezze; distruggere le fortezze, meno quelle assolutamente necessarie allo Stato. Se non si seguiranno tali norme, sarà più facile far volare un asino, che non conservare uno Stato ».

Carlo lasciò a Milano il fratello Andrea di Cesena perché continuasse a consigliare il duca « non come duca ma come pazzo »; ma Andrea non resistette a lungo e forse nella primavera del 1409 ritornò a Cesena (14).

Carlo fu ancora a Milano nel novembre 1408 per prendere alcune misure per la custodia del castello di Porta Giovia, residenza del duca (fece mettere delle bombarde); tornò in Romagna nei primi mesi del 1409 dopo avere tentato di assicurare una vita abbastanza sopportabile alla città ed al ducato.

Giovanni Maria Visconti fu assassinato il 16 maggio 1412, mentre si recava ad ascoltare la messa nella chiesa di san Gottardo; aveva appena 24 anni. Le Cronache Malatestiane scrivono che « per la mala vita che teneva fu ucciso dai suoi camerieri;

(13) G. Giuliani, *Memorie spettanti alla storia di Milano*, VI 123, Milano 1857.

(14) G. Franceschini, *I Malatesta*, I, c.

sì che lo Stato tutto andò in fracasso » (15). Non era stato un buon principe; un cronista bergamasco scrive che « faceva ammazzare la gente dai suoi cani » non ostante Carlo Malatesta lo avesse consigliato « di non punire i suoi nemici con le mani, poiché non è bello ». La di lui vedova Antonia fu accolta benevolmente dalla moglie di Filippo Maria, Beatrice di Tenda. E dal duca fu tenuta in quel conto che ella meritava. Un atto di grazia conferma la appartenenza a quella dignità: il 13 febbraio 1413, Antonia Malatesta duchessa di Milano, commossa per le misere condizioni di Giovanni da Lomazzo, povero fornaio, gli concede « per sostegno suo e dei suoi figli, di poter vendere pane di mistura al prezzo stabilito » (16).

LETTERE DI CARLO MALATESTA

Sono state rinvenute nell'Archivio Storico di Osimo dallo Zonghi nel 1881 ed assommano ad 89. In gran parte sono dirette ad Antonio De Civolis di Tridento (Trento) vicario dei Malatesti in Osimo. Questi era entrato in quella carica nel 1410. Era uomo adibito a missioni molto delicate, nel quale Carlo riponeva una grande fiducia. Le lettere trattano di definizioni di confini, di ordini militari, di richieste di notizie, di spese per la manutenzione dei luoghi, di rapporti con le città vicine, di distribuzione di grani, di gravami fiscali. Insomma di tutto quanto comportava l'amministrazione di un territorio. Le lettere furono scritte da Carlo in un periodo fra il 1410 ed il 1420 (17).

Riportiamo alcune di tali lettere: « Carlo, da Montefiore il 12 agosto 1410 al capitano Martino da Faenza (18): amico ca-

(15) P.J. Jones, *The Malatesta and the Papal State*, Cambridge, University Press, 1974.

(16) L. Gaddi, *Storia della legislazione mercantile lombarda*, « Arch. Stor. Lombardo », XX (1893), 10, 618.

(17) L. Maraschini, *Lettere di Carlo Malatesta*, Quercetti ed., Osimo 1902.

(18) Martino Bernabucci da Faenza, che era stato uno dei più fedeli capitani di Pandolfo III, farà più tardi una triste fine; la troviamo ricordata in Giovanni di Pedrino: « il 18 maggio 1417 fu preso Martino da Faenza, capitano di messer Pandolfo; il quale lo fé pigliare il signor Carlo e dopo pochi giorni gli fece tagliare la testa in Rimini » (Giovanni di Pedrino, *Cronica del suo tempo*, I Rubr. 28, 55, Biblioteca Vaticana, Roma 1929).

Gli *Annales Forolivienses* lo dicono invece giustiziato a Fano (*Annales Forolivienses*, l.c., 85v). E la Cronaca Malatestiana: « nel 1417 fu preso in Rimini Martino da Faenza, il quale aveva una valente e grande Compagnia e specie la sua famiglia che era una cosa meravigliosa. In breve fu condotto nella città di Fano e finì la sua vita il 20 maggio » (*Cronaca Malatestiana*, l.c., 150v).

rissimo, il comune di Osimo, si lamenta che le vostre brigate hanno levato da quel terreno circa 100 some di grano e di biade e le hanno ridotte nel terreno di Ancona; ed ogni giorno vanno in quel terreno e rubano biade, panni e ferramenta e tutto ciò che trovano. Mi meraviglio molto di questo... non posso fare a meno di preoccuparmene, né so perché mi facciate guerra. E se ciò è fatto per vostra conoscenza e per vostra intenzione, cioè di fare rubare, me ne avviate. E se non è per vostra intenzione, provvediate che questi modi non si verificino per l'avvenire. Avvisandovi per certo che non è mia intenzione sopportare che i miei siano derubati e che non faccia quello che posso per la loro difesa ».

Ad Antonio de Civolis il 15 settembre 1411: « mando circa 100 cavalli dei miei a stare a Santa Maria in Cassiano: a me piacerebbe che tutti potessero stare lì e così scrivo al podestà; per ciò voglio che provvediate al loro alloggiamento; se ciò non è possibile per tutti, mettete quelli che restano ad alloggiare altrove il più vicino possibile e provvedete che abbiano delle vettovalie ad un prezzo conveniente e la paglia senza danari ».

Il 20 settembre 1411 ad Antonio de Civolis: « vi mando questi miei compagni che stiano allo Staffolo; voglio che li riceviate e che diate loro le stanze sufficienti, che sono 70 cavalli; e fateli trattare bene per le vettovalie e per le altre cose... e così come hanno avuto sempre qua voglio che abbiano la paglia a requisizione ».

Ancora per quanto riguarda le sue truppe, sempre ad Antonio de Civolis, il 18 ottobre 1411: « è contento che Benotto, uno dei suoi capitani che si trova a Jesi, possa trarre dai castelli d'intorno il miglior mercato per grano, vino e biade, sufficienti per lui, i suoi famigli ed i cavalli ».

Il 6 gennaio 1412, Carlo invita il vicario di Osimo a fornire

Il Tonduzzi: « Carlo non si sa per quale sdegno o sospetto concepito contro Martino, mostrandosi poco ricordevole dei beni ricevuti da lui nella impresa di Brescia, e della presente prontezza ancora dimostrata in portargli soccorso verso Braccio, lo fece carcerare in Rimini, e condotto a Fano lo fece decapitare, senza che se ne sapesse il demerito » (G.C. Tonduzzi, *Historia di Faenza*, III, 471, Zarafagli ed., Faenza 1675).

Il Clementini in difesa di Carlo scrive: « che Martino aveva macchinato per togliere Rimini ai Malatesti ».

Di questo atto la Serenissima restò grandemente adontata. Martino Bernabucci aveva servito la Repubblica veneta come capitano generale nelle guerre contro l'Ungheria ed era stato onorato della cittadinanza veneziana insieme ai suoi figli e discendenti dal doge Francesco Foscari. Il Biondo scrive che « con le sue eroiche azioni aveva illustrato sè stesso, la famiglia e la patria ».

vettovaglie alle brigate del conte Galeotto Malatesta, per alcuni giorni, poiché appena avrà denaro sovvenirà la Comunità. Si trattava di Galeotto conte di Ghiaggiolo?

Carlo aveva speso molto per le sue spese militari ed aveva un credito verso la Santa Sede, che ammontava nel 1412 a 16.000 fiorini. Per riparare a questo debito il pontefice Gregorio XII nel 1414 gli concederà alcuni beni del Monastero di santa Maria di Cesena, di san Nicolò di Osimo e di alcune altre Corporazioni religiose. Nello stesso anno 1414, come generale della Santa Sede, Carlo difenderà Osimo dai suoi nemici, Braccio da Montone e Ludovico Migliorati.

Ancora ad Antonio de Civolis, da Verucchio, il 4 novembre 1412: « mi ricordo che quando andai a Venezia, ordinai che voi aveste la scritta sulle tasse della Marca... per tanto mandatemi la rata delle tasse che sono da pagare in quei luoghi come sono contenuti nella scritta. Ed anche se potessimo avere più chiaramente la verità dei luoghi della Marca che pagano le tasse e quanto paga per ciascuno. Mandatemelo subito e voglio che mi mandiate le rate di quella terra che regge mio fratello Pandolfo nella Marca; che se voi non le avete, informatevi subito e scriveremelo ».

A Galeotto Malatesta conte di Ghiaggiolo (nov. 1413): « caro parente mediante la grazia del nostro Signore, abbiamo ordinato che nostro figlio (tale lo considerava) Galeotto, faccia le sue nozze nel novembre prossimo e che uno dei miei, con il detto Galeotto e, con coloro che più ci pare, debbano essere a Camerino a prendere la sposa il 15 del detto mese, affinché siano a Rimini il 23. Per ciò vi avvisiamo affinché possiate prepararvi ... noi vi avviseremo del colore che dovrete vestire e sarete avvisato del giorno che dovrete venire ed avvisate se venite e con quanta brigata ».

Carlo amava molto questo suo nipote, figlio del fratello Andrea. Egli farà fare in Rimini una magnifica festa, quando questi andrà sposo a Nicola di Varano da Camerino nello stesso novembre 1413. La felicità di Galeotto non durò a lungo. Egli scomparve solo un anno dopo il matrimonio a 17 o 18 anni nell'ottobre 1414 (19).

(19) P. Zama, *I Malatesti*, Lega ed., Faenza 1956.

VENEZIA E GLI UNGARI

Nel dicembre 1411 scoppia la guerra fra Venezia e l'imperatore Sigismondo. Il 20 gennaio 1412 (il Franceschini dà il 10 maggio) la Serenissima nomina Carlo Malatesta comandante del suo esercito. Durante la sua assenza la di lui moglie Isabetta d'accordo con il fratello di Carlo, Pandolfo III, reggerà il governo di Rimini (abbiamo trovato nel Maraschini, sue lettere che vanno dal maggio 1411 all'agosto 1412).

La Cronaca Malatestiana del Broglio dà una estesa relazione di quanto avvenne; però sbaglia nella data dell'anno: le azioni belliche avvennero nel 1412 (Zama) e non nel 1411, e nel giorno del mese: fu il 9 agosto (Zama) e non il 24, come asseriscono la Cronaca Malatestiana e lo Jones.

Riportiamo per esteso quanto è scritto in questa: « questo signore la Signoria di Venezia mandò contro gli Ungari, i quali erano venuti nel Friuli, molto potenti, dove giunto il signor Carlo in un luogo detto La Motta che è nel Friuli, si accampò col suo esercito. Avvertito un capitano degli Ungari della sua venuta che si chiamava messer Albrico, cavaliere valoroso e di grande animo, subito radunò tutte le sue genti ed essendo informato dove alloggiava il signor Carlo, si mise a cavalcare tutta una notte con tutti i suoi, in modo che giunse nel campo del signor Carlo, proprio nel tempo che le sentinelle ne erano ritornate; e per detta ragione il capitano degli Ungari assaltò il campo che lo trovò sprovvisto in modo che lo mise tutto a fracasso. Avendo compreso il signor Carlo che i suoi erano stati rotti, ristrettosi con alcuni suoi di casa, fece subito testa, senza paura. Gli Ungari che si erano dati alla ruberia del campo e similmente i Boemi che erano con loro che andavano tutti sparpagliati perché vedevano questo signore con fiera animosità nel suo alloggiamento, né lo molestavano, poiché erano impauriti. Considerato che ebbe il caso, Carlo si mosse ferocemente con quelli che aveva raccolti e andò ad assalire gli Ungari, in modo che cominciò a impaurirli fino a che li mise in rotta e riprese con tutta la sua animosità, tutto il campo e ruppe messer Albrico e riguadagnò tutti i suoi avendo salvato un suo cameriere chiamato Giovanni di Benzo e furono presi molti Ungari e Boemi, e fra le altre cose il signor Carlo ebbe le loro bandiere e rimase vittorioso, onde per la detta vittoria la Signoria di Venezia gli fece grandissimo onore ». Durante questa battaglia Carlo riportò tre ferite, in seguito alle quali dovette abbandonare il campo e fu sostituito dal fratello Pandolfo.

In precedenza la Cronaca Malatestiana (20) aveva riportato più in breve il resoconto di questa battaglia, aggiungendo che 1.400 Ungari erano stati uccisi e riferendosi all'anno 1411. Il 28 agosto 1412 Pandolfo diede notizie di questa vittoria ed invitò i suoi sudditi ad accendere falò di gioia. Nel 1413 Venezia firmò con gli Ungari un patto di tregua per 5 anni (che non fu poi rispettato). Fece dono a Pandolfo di una casa sul Canal Grande e gli offrì il titolo di duca di Creta che questi rifiutò.

Nell'agosto del 1414 lo stesso Carlo subirà una sconfitta ad opera degli Ungari. Ne dà notizia Giovanni di Pedrino: « alla fine del mese di agosto il signor Carlo fu rotto dagli Ungari, essendo capitano della Signoria di Venezia » (21).

E gli Annales Forolivienses: « il giorno 1 di agosto Carlo Malatesta, capitano delle genti d'arme veneziane, fu rotto e posto in fuga con grande strage » (22).

IL CONCILIO DI COSTANZA

Nel marzo 1409 si era tenuto un Concilio a Pisa. Si deliberò la deposizione dei Papi Benedetto XIII e Gregorio XII che non fu da loro accettata. Carlo, essendo stato presente, aveva portato molte testimonianze contro il cardinale Cossa (23); ma il suo tentativo era stato vano. Nel giugno si procedette alla nomina quale pontefice dell'arcivescovo di Milano, che prese il nome di Alessandro V. Il cardinale Cossa, suo Legato, lo persuase a portare la sede pontificia a Bologna. Il papa scomparve nel 1410 (secondo alcuni sembra per veleno) e lo stesso Cossa si autonominò sommo pontefice con il nome di Giovanni XXIII. « Alla

(20) *Cronaca Malatestiana*, l.c., 159r.

(21) Giovanni di Pedrino, l.c., I, Rubr. 10, 49.

(22) *Annales Forolivienses*, l.c., 85.

(23) Il Cossa era di animo malvagio; sembra che facesse avvelenare papa Alessandro V; fece morire in Bologna 400 uomini dabbene. Levò Faenza ad Astorgio Manfredi che poi fece decapitare nel novembre 1405.

La fine di Astorgio Manfredi è descritta nei suoi particolari nella Cronaca Malatestiana: « Astorgio si era ridotto a Brisighella, quando papa Giovanni di mala natura, non contento di avergli tolto Faenza, voleva averlo in mano. Finse di essere ammalato e scrisse ad Astorgio, pregandolo di volerlo perdonare perché gli aveva tolta la città di Faenza e lo pregava di andare da lui, che gliela voleva restituire; gli mandò un salvacondotto. Astorgio vi credette e andò dal papa a Faenza. Giuntovi il papa gli domandò perché non vi era andato prima. Astorgio rispose: "Santo padre, il sospetto non si può amare"; a che il papa: "ora vi caveremo tale sospetto; a mala pena ti abbiamo potuto avere in tal modo" e comandò che gli fosse tagliata la testa, chi dice nella piazza, chi sulle scale del palazzo. E ciò avvenne il 16 novembre 1405 ».

morte del detto papa, fatto che fu il concistoro, avendo sollevati alcuni dalla sua volontà, prese il manto papale se lo mise addosso, dicendo: papa sono io, vorrò vedere chi me lo vorrà contraddire. I suoi amici si levarono gridando: santo padre, santo padre! gli altri per paura della sua crudeltà, acconsentirono, dubitando del suo seguito di genti d'arme » (24).

Carlo Malatesta era favorevole grandemente al pontefice Gregorio XII, tanto che nel 1411, da Rimini, aveva inviato al suo vicario di Osimo, Antonio de Civolis, la seguente lettera: « voglio che voi, a mio nome, scriviate a tutti quei luoghi che non obbediscono alla Chiesa ed al nostro papa Gregorio che si vogliono ridurre a detta obbedienza; che se non si vorranno ridurre siano avvisati che, da parte mia sarà fatto loro ogni cosa che ne saranno malcontenti. Ed avuta risposta avvisate i miei condottieri di gente d'armi, di tutti quei luoghi che vedrete che non si vogliono ridurre all'obbedienza del nostro signore; ed io avviserò tutti i miei condottieri predetti che voi gli scriviate che non vogliono obbedire ».

La situazione si fece difficile, tanto che papa Gregorio nel dicembre 1413, la vigilia di Natale, su una barca arrivò a porto Cesenatico, proveniente da Gaeta (25). Carlo andò a riceverlo; lo condusse a Rimini e lo alloggiò in vescovado.

Verso il 1414 il trono della Santa Sede è occupato da tre pontefici, tra loro in contrasto: papa Benedetto XIII, che risiedeva in Avignone, a detta di Giovanni di Pedrino: « uomo antico e valente molto »; papa Gregorio XII che abitava in Rimini, territorio dei Malatesti; papa Giovanni XXIII, considerato dai fiorentini il vero papa, cioè il cardinale Cossa chiamato anche Boldrino.

In tale confusione Carlo sollecitò un nuovo Concilio che si terrà a Costanza nel 1414 e che avrà inizio nel novembre nel giorno di tutti i Santi. Lo stesso Carlo raggiunse Costanza il 15 giugno 1415 ed ebbe in quella riunione una parte importante; poiché portò la rinuncia al seggio della Santa Sede del pontefice Gregorio XII. Infatti egli « entrò in quella città con un ricevimento degno di un ambasciatore. Vi erano al suo seguito molti nobili, una cavalcata di 24 muli bardati ed oltre 250 cavalli » (26). Così la Cronaca Malatestiana: « nel 1415 fu tenuto il

(24) *Cronaca Malatestiana*, 153v, 23, Ghigi ed., Rimini 1982.

(25) *Annales Forolivienses*, l.c., 84.

(26) G. Franceschini, *I Malatesta*, Dall'Oglio ed., Milano 1970.

Concilio alla città di Costanza, terra del duca d'Austria. Carlo Malatesta andò al detto Concilio, in nome del papa Gregorio che in quel tempo abitava a Rimini. Al detto Concilio vi andò anche papa Giovanni XXIII, il quale richiesto e compreso, poi che fu giunto, il suo caso grave, si levò di partito e così fuggì da Costanza ».

Il 4 luglio 1415 il re Sigismondo presiedette la riunione; Carlo fu invitato, secondo quanto si dice, a salire sul seggio papale. Si discusse a lungo; e la decisione definitiva fu presa solo nel 1417, fra la festa di Ognissanti e quella di san Martino, quando venne nominato, vero pontefice, il cardinale di Bologna Oddo Colonna, con il nome di Martino V.

Giovanni di Pedrino racconta che, allo scopo di propiziarsi i convenuti, Giovanni XXIII (il Cossa) era venuto a Costanza « con una bella compagnia e fu molto largo e grande e fece grandi doni a tutti i cardinali e grandi baroni, credendo di essere confermato vero papa; ma come piacque alla divina provvidenza, fu creato papa Martino, e vedendo questo, papa Giovanni voleva fuggire; fu preso ed imprigionato in una fortezza della Baviera e lì restò per forza. (Notizie queste, che contrastano con quelle della Cronaca Malatestiana sopra citata) (27).

Scrivono il Tonduzzi nella *Historia di Faenza*: « nel Concilio di Costanza si maneggiava con gran premura la causa dei tre pontefici per togliere lo scisma così pernicioso e lo scandalo che per tanti anni teneva in travaglio la Chiesa Romana; erano già citati tutti e tre i papi a comparire nel Concilio. Ma solo Giovanni XXIII vi andò personalmente, perché contro di lui furono provati alcuni capitoli rilevanti, e temendo di sé, fuggì occultamente e per diligenza usata dai padri, venne ritrovato e carcerato e fu deposto dal grado pontificio. Gregorio non vi andò ma vi inviò Carlo Malatesta, suo mandatario, con piena facoltà di rinunciare di deporre le chiavi di san Pietro nelle mani dei Padri del Concilio; restò solo Benedetto XIII, ostinato nel suo errore, non ostante i Padri proseguissero i negoziati per l'elezione del nuovo ed universale pontefice. In questo mentre il Malatesta eseguito il suo mandato, senza aspettare la fine del Concilio che durò tre anni, ritornò con alcuni vescovi in Italia » (28).

Giovanni XXIII morto nel 1919 fu sepolto nel Battistero di san Giovanni di Firenze, ove è raffigurato giacente, in un'opera

(27) Giovanni di Pedrino, l.c., I, Rubr. 49, 64.

(28) G.C. Tonduzzi, *Historia di Faenza*, l.c., p. 69.

del Donatello, cui contribuì anche Michelozzo. Egli, privato nel Concilio di Costanza della carica pontificale, era ritornato cardinale diacono, ad opera di Martino V, suo successore. Nell'epigrafe è scritto fra l'altro: « Johannes quondam papa » il che non piacque a Martino V, per l'ambiguità del senso che « poteva crederlo scomparso non cardinale, bensì papa » (29).

Il viaggio del nuovo pontefice verso Roma si prolungò per molto tempo. Il 4 aprile 1418 è ancora in Costanza. Partito da questa città il 16 maggio, solo il 3 settembre è a Ginevra; per Torino (23 settembre), Vercelli, Novara, Vigevano, giunge a Pavia il 5 ottobre; si porta a Milano il 12 ottobre 1418; entra nel territorio bresciano soggetto ai Malatesti il 18 o il 19 ottobre. A Chiari gli verranno incontro Pandolfo III e Carlo; ivi si fermerà qualche ora, per celebrare una messa in Santa Maria Maggiore e concedere indulgenze a chiunque, visitando la Chiesa, offra contributi per il suo restauro. In serata, si porta a Brescia. Esiste una discordanza sulla data di papa Martino a Chiari: il Rota, riportandosi alla lapide posta in Santa Maria, dà il 20 ottobre; mentre la maggior parte degli autori pone l'arrivo a Brescia il 18 o 19 ottobre 1418. Raggiunta Brescia, si trattiene fino al 25 ottobre e forse dimora nel palazzo del Broletto; di là si porta a Mantova in compagnia di Pandolfo III ove resterà per tre mesi (nov. dic. 1418, genn. 1419). Nel settembre, disporrà d'accordo con il Visconti, che Pandolfo resti signore di Brescia e di Bergamo fino alla sua scomparsa per poi restituire queste due città al Visconti. Passa per Ferrara « onorato oltre misura ». Poi per Ravenna, ove dimora una notte senza voler vedere quel signore (Obizzo da Polenta) « come fosse un giudeo ». Prosegue per Forlì, che raggiunge il 18 febbraio 1419. Parte poi il 21 per Firenze, ove giunge il 26 febbraio e si trattiene per più di un anno; riceve il cardinale Cossa, liberato dalla prigionia per intercessione di Cosimo de' Medici e gli consegna il cappello cardinalizio di Tuscolo. Ivi resta fino al 9 settembre 1420, quando parte alla volta di Viterbo; il 28 giunge nei pressi di Roma ed il 30 fa il suo ingresso in città per la porta del Popolo « e gli fu fatto grandissimo onore » (30).

(29) Del Migliore, *Firenze città nobilissima*, 96, Tip. Stella, Firenze 1648.

(30) L. Crivelli, *Della vita e delle imprese di Sforza*, RIS, XIX, ed. Palatina, Milano 1729.

CARLO E LA BATTAGLIA DI PERUGIA

Nella primavera del 1415 Braccio da Montone si era spinto fino nel territorio forlivese, prendendo uomini e merci che aveva venduto sul mercato di Faenza. Si era poi portato a Castel Bolognese, che considerava sua sede. Indi aveva raggiunto il castello di Sadurano, mettendolo a sacco. Nel giugno correva il territorio di Cesena e raggiungeva Porto Cesenatico. Visto il pericolo, Pandolfo III si precipita in Romagna con 3.000 uomini. Il 24 settembre è a Rimini; ristabilisce rapidamente la situazione a Cesena; riprende Osimo, Civitanova, Fermo.

Carlo è molto allarmato per questo stato di cose e, temendo per l'attività di Braccio, accoglie l'invito dei perugini e corre con le sue milizie in aiuto della città, minacciata da quel condottiero. Ma il 16 luglio 1416, fra Perugia ed Assisi, sarà battuto e cadrà prigioniero insieme al nipote Galeazzo Malatesta di Pesaro. Perugia resterà in mano a Braccio.

Giovanni di Pedrino ci racconta come ciò avvenne: « il giorno 10 luglio dell'anno 1416 non finito il giorno 10, essendo i raggi del sole vittoriosi, scaldando più la terra che nessuno possa in questa stagione, come fortuna volle, essendo il signor Carlo Malatesta con bellissima, grande compagnia per entrare in Perugia, nell'andata incontrò l'impedimento di Braccio e non volendo schivarlo, prese con lui battaglia fra Urbino e Perugia. Avendo più gente assai di Braccio, Carlo fu rotto e preso. Fu preso con lui Ceccolino, Galeazzo Malatesta di Pesaro e molti valenti uomini... e per la mancanza del bere molti si gettarono nel fiume e molti morirono per quello » (31).

Anche la Cronaca Malatestiana riferisce che « la battaglia fu asprissima e crudele, con morte di più gente e durò dalla terza ora fino al passato vespero. Alla fine l'illustrissimo signor Carlo fu rotto e sconfitto e mai si volle arrendere a qualcuno se non al capitano Tartaglia, ricevendo più ferite e rimase suo prigioniero, lui e Ceccolino, il signor Galeazzo di Pesaro » (32).

Riportiamo una pagina tratta dal Trease nella quale è descritta estesamente questa battaglia: « la battaglia si combatté il 15 luglio 1416 in un luogo vicino al Tevere, ove la strada per Assisi attraversava il fiume su un ponte che rimase attivo fino al 1944, quando i tedeschi lo fecero saltare durante la loro ritirata... il

(31) Giovanni di Pedrino, l.c., I, Rubr. 21, 53.

(32) *Cronaca Malatestiana*, l.c.

punto preciso dove Braccio si scontrò con il Malatesta è fra sant'Egidio ed il fiume... la lotta continuò per ben 7 ore; Braccio aveva previsto che gli uomini sarebbero stati assetati; per ciò aveva fatto accumulare molte brocche di acqua dietro la linea... i malatestiani torturati dalla sete, in mancanza di un simile mezzo di sollievo organizzato, cominciarono a staccarsi dal combattimento e dirigersi lentamente verso la sponda del fiume. Accortosi del disordine crescente delle schiere, Braccio ordinò una carica generale e ciò fu la fine. Carlo Malatesta e suo nipote Galeazzo caddero prigionieri insieme a centinaia dei suoi soldati assetati. Era strano notare che i più umili soldati di Braccio, spingevano davanti a loro i prigionieri, come mandrie di bestiame. Questa battaglia convinse i perugini della inutilità di resistere. Si affrettarono a mandare messaggeri all'accampamento di Braccio per offrirgli la signoria » (33).

Le trattative per il riscatto di Carlo furono laboriose. Per primi si interposero i fiorentini che inviarono ambasciatori a Braccio; questi domandava 100.000 fiorini d'oro per la liberazione di Carlo e 30.000 per quella di Galeazzo. La cifra era esorbitante; la moglie di Carlo, Elisabetta Gonzaga, era in possesso di soli 20.000 ducati, ma Braccio rifiutò. Intervenne allora Venezia, Braccio ridusse la domanda a 60.000 fiorini per Carlo e 20.000 per Galeazzo (gli *Annales Forolivienses* parlano di ducati). Martino da Faenza, comandante di un gruppo di veneziani, si offre di liberare Carlo « a forza d'armi ». Ma invece prevale il principio del pagamento di una taglia.

Carlo, che era stato ferito durante il combattimento, verrà liberato nel marzo 1417. Di questo fatto abbiamo due testimonianze: una nella Cronaca Malatestiana, l'altra in Giovanni di Pedrino. Nella prima è scritto: « l'illustrissimo conte Carlo si riscosse di prigione ed il capitano Tartaglia (che faceva parte della milizia di Braccio) gli donò un nobile corsiero che era uno dei maggiori che si trovassero in quel tempo, chiamato Riale e donogli tutti i suoi cani e un padiglione e il suo stendardo; e a dì 10 aprile del detto anno e del detto millesimo giunse ad Urbino ».

E Giovanni di Pedrino: « nel 1417 (marzo) come fu voluto da Colui le cui grazie vennero sempre in tale stagione, il signor Carlo Malatesta tornò in Rimini, liberato dalle mani di Braccio, il quale l'aveva prigioniero ». La moglie Elisabetta Gonzaga

(33) Trease, *The condottieri, soldiers of fortune*, Tomes Hudson, Londra 1970.

ed il nipote Galeotto Roberto gli erano andati incontro a riceverlo ».

Di ritorno a Rimini nell'anno 1417, Carlo si preoccupò della situazione di quel porto; questo era interrato, né era più adatto a sopperire ai bisogni della città. Egli ne decise l'ampliamento nel novembre dopo una cerimonia religiosa, con canti e processioni; fece benedire e porre la prima pietra iniziando i lavori. Ad essa presero parte anche Antonia figlia di Andrea Malatesta, Elisabetta moglie di Carlo e Cleofe Malatesta di Pesaro. Il nuovo porto riminese poté così gareggiare con i migliori dell'Adriatico e promuovere scambi con i vicini Pesaro, Fano, Senigallia, Ancona e con i più lontani della Puglia e della Dalmazia. Sarà capace di 60 mercantili, oltre i pescherecci.

Carlo si curò anche di potenziare l'arte della lana che era già in atto nella città da qualche secolo, invitando a venire ad operare nella bambagia e nel tingere artigiani di luoghi vicini. Lasciò la libertà a chiunque di fabbricare e vendere pane. Favorì il trasporto del vino in Dalmazia e Schiavonia; ed il Clementini riporta una frase di Balacco dei Balacchi: « in vita di Carlo Malatesta, Rimini rendeva all'anno 44.000 scudi d'oro, aveva 5 borghi, faceva 4 o 5.000 anime e teneva al suo servizio 30 o 40 navi da mercanzia ». Inoltre, egli riattò la cerchia delle mura; alla sua epoca Rimini contava molti nobili edifici, 40 chiese, 20 ospedali.

CARLO A CESENA

Il 21 settembre 1416 (Franceschini e Zama), altri danno la data del 1417, scompariva in Cesena il signore Andrea Malatesta figlio di Galeotto e fratello di Carlo. Era stato a lungo infermo, si dice, per l'uso eccessivo di acque purgative. Aveva 44 anni; rimasero di lui due figlie. Antonia che nel 1408 era andata sposa al duca di Milano Giovanni Maria Visconti e Laura detta Parisina. Quest'ultima venne accolta in Rimini nella casa dello zio Carlo; qui ella vivrà fino a quando nel 1418 sarà domandata sposa da Nicolò III d'Este, duca di Ferrara, molto più attempato di lei. Quello che avvenne in seguito ed il suo dramma, è conosciuto da tutti. La Signoria della città passò ai di lui fratelli Carlo e Pandolfo III, i quali si fecero premura di restaurare la cinta delle mura e la rocca. Sembra che Carlo nel 1420 avesse costruito il castello di san Giorgio a scopo di caccia. (Secondo altri fu

Pandolfo III). Alla scomparsa di Pandolfo III nel 1427, il possesso di Cesena restò solo a Carlo. Cesena si era ripresa bene dalla strage dei bretoni del 1377. Era divenuta una città popolosa e con gente dedita all'agricoltura ed ai fiorenti commerci. Aveva visto sorgere un periodo di pace, dopo le molte lotte che l'avevano turbata. Fino dall'epoca di Galeotto, erano stati istituiti premi in danaro per coloro che venivano ivi ad abitare, disposti ad avviare attività economiche. Carlo governò con rigore e rettitudine, sì da rendersi bene accetto a tutti gli abitanti. In quell'epoca la sede ufficiale dei Malatesti era il palazzo del governatore, costruito dall'Albornoz fra gli anni 1359 e 1362. L'edificio era sorto accanto al vecchio palazzo del Comune; aveva, sulla facciata e sulle ali, 16 finestre bifore. All'interno era dotato di una loggia, di una grande torre, di una cappella dipinta e di un « solario » con colonne. In questo palazzo aveva dimorato Galeotto, il quale sulla facciata aveva fatto porre lo stemma dei Malatesti; quivi era stato accolto da Andrea nel 1410 il pontefice Alessandro V. E questa resterà la dimora dei Malatesti. Più tardi Domenico Malatesta Novello « lo amplierà e lo decorerà con marmi, stucchi e dorature alla foggia dei tempi » (Sassi).

Alla di lui vedova Violante di Montefeltro sarà concesso di abitarlo. Ivi non resterà a lungo, poiché si ritirerà nel convento del Corpo di Cristo in Ferrara, col nome di suor Serafina. Ed ancora oggi sono visibili sulla piazza gli avanzi di detto palazzo e parte della facciata. Originariamente era isolato, mentre ora si trova inglobato nell'edificio del Comune (34).

CARLO MALATESTA ALLA BATTAGLIA DI ZAGONARA

Zagonara era un castello con rocca, situato a metà strada fra Barbiano e Lugo a due Km. da questa seconda località. Era stato possesso di Alberico da Barbiano nel 1371. Più tardi appartenne ai suoi successori, fra cui un altro Alberico. Di questo castello, oggi, non resta più alcuna traccia; solo qualche piccolo rialzo di terreno ricoperto da un tappeto di erba verde, con intorno alcune piante di medio fusto, che illeggiadriscono il paesaggio, indica il luogo ove era posto. Fu qui che il 28 luglio 1424 avvenne la famosa battaglia nella quale Carlo Malatesta, che co-

(34) G. Conti, *Gli edifici pubblici a Cesena nel 400*, « Studi Romagnoli », XXX (1979), p. 127. G. Sassi, *Cronaca della città di Cesena*, ms. Biblioteca Comunale di Cesena. A. Zavatti, *Il palazzo Albornoziano di Cesena*, Bettini ed., Cesena 1936.

mandava i fiorentini, fu sconfitto dai Viscontei, diretti da Angelo della Pergola. Secondo il Rosetti, in quella occasione il castello fu distrutto né più risorse (35). Secondo altri fu demolito solo più tardi dai faentini nel 1453 (36).

Di questa battaglia noi abbiamo testimonianze in Giovanni di Pedrino, in Niccolò Machiavelli e negli *Annales Forolivienses*. Così scrisse il primo (37): « il 26 luglio partirono dal Ronco, tutte le genti fiorentine ed i Malatesti con i signori capitani ed andarono tutte le genti verso Zagonara, per dare soccorso al conte Alberico di Cunio che era assediato « a patti ». Il 27 del detto mese giunsero e si attendarono sul terreno del detto castello non troppo lontano dalle brigate del duca di Milano; ed ognuno si attese a guardare ». « Il 28 luglio, avendo Carlo fatto le squadre presso le brigate del duca di Milano, cominciando da ogni parte di loro a darsi le botte ed a rompere ora l'una squadra, ora l'altra, essendo le genti di Carlo più numerose, questi credette di avere la vittoria; ed il fatto d'arme durò dalla ora terza fino alle 20. Ed essendo intervenuta in quell'ora nel paese una grande pioggia, che offendeva gli alloggiamenti del signor Carlo, tanto che furono rotti come se fosse stata una moltitudine di animali. E bene mostrò valore il signor Carlo che se la metà dei suoi avesse così fatto, l'altra parte sarebbe stata rotta. Furono persi gli stendardi e ogni cosa e Carlo fu preso; ed il signor Pandolfo, suo fratello, fuggì verso Ravenna. A ciò si aggiunga che Angelo della Pergola aveva fatto rompere gli argini del fiume Senio vicino a Maiano, sì che le acque inondarono i dintorni del castello assediato ». « Lodovico degli Obizzi fu morto; e Orso da Monterotondo fu trovato morto in un fosso; che cadde con l'elmetto in testa e non avendo soccorso, affogò. Fornarino, Carlo di monte Abbodo, conte di Cusercoli, Giovanni Mostarda e Taliano Ardizzone da Carrara, furono presi ed accompagnati a Forlì, a Lugo e ad Imola; molti contadini e persone uscirono dal loro paese e trovarono cavalli, armi e robe assai e ognuno che andava a piedi, tornava a cavallo. E quelli che erano stati portati prigionieri a Forlì e vi erano 250 da taglia, dovevano stare nudi in prigione l'uno addosso all'altro, per il gran caldo ». « L'ultimo giorno di luglio, partirono da Lugo alcune brigate che portarono a Milano dal duca, il signor Carlo ».

(35) E. Rosetti, *La Romagna*, Hoepli ed., Milano 1894, p. 186.

(36) AA.VV., *Rocche e castelli di Romagna*, I, 372, Alfa ed., Bologna 1970.

(37) Giovanni di Pedrino, l.c., Rubr. 80, 81, 82, 83, pp. 85-86-87-88.

Ed il Machiavelli (38): « i fiorentini venuti allo scontro furono rotti, non tanto dalla virtù degli avversari, quanto dalla malignità del tempo; poiché avendo i nostri camminato parecchie ore tra il fango altissimo e con l'acqua indosso, trovarono i nemici freschi, i quali facilmente li poterono vincere. Non di meno in tanta rotta celebrata in tutta Italia, non morì altro che Ludovico degli Obizzi, insieme con altri due suoi, i quali caduti da cavallo, affogarono nel fango ».

Alla loro volta gli *Annales Forolivienses* (39) attribuiscono la vittoria dei visconti « non solo alla grandezza dell'esercito del duca, ma anche alla pioggia che pioveva dal cielo in faccia agli avversari; dei quali fu fatta una miseranda strage; infranto e posto in fuga l'intero esercito, preso Carlo ed inviato al duca di Milano ».

Questa vittoria aprì al duca di Milano tutte le vie che portavano in Toscana e nelle Marche.

Una notevole differenza esiste fra le notizie riportate da Giovanni di Pedrino e quelle del Machiavelli. Mentre il primo asserisce che « i fiorentini il 27 luglio (cioè un giorno prima della battaglia) si attendarono sul terreno del detto castello non troppo lontano dalle brigate del duca ed ognuno si mise a guardare » il secondo scrive che i fiorentini « avevano camminato parecchie ore nel fango altissimo e con l'acqua addosso e trovarono i nemici freschi, i quali facilmente li poterono vincere ». Il percorso fra il Ronco (vicino a Forlì) e Zagonara (presso Lugo) è notevole; a ciò si aggiunga lo straripamento del fiume Senio con la relativa inondazione del territorio, che avrebbe potuto ostacolare la marcia dei fiorentini, ed inoltre la violenta pioggia successiva.

Il Bonoli (40) afferma che Carlo, giunto prigioniero a Milano, fu gentilmente ricevuto dal duca Filippo Maria Visconti, il quale « quantunque fosse uomo vendicativo ed implacabile, niente di meno compassionando l'infortunio se lo dimostrò soltanto piacevole che dopo essersi dimostrato affettuoso, donò la libertà a Carlo » (41).

Quando Carlo fu trasportato come prigioniero a Milano alla

(38) N. Machiavelli, *Historie fiorentine*, LIV, cap. VI, Rizzoli ed., Milano 1938, p. 235.

(39) *Annales Forolivienses*, l.c., 87.

(40) G. Bonoli, *Storia di Lugo*, I, VIII, 79, Archi ed., Faenza 1732.

(41) G. Bonoli, *Storia di Lugo*, I, VIII, 79, l.c.

mercé di Filippo Maria Visconti (42), non si attendeva una grande accoglienza. Lo aveva conosciuto nel 1408, ancora giovane, a 16 anni, durante il suo soggiorno milanese, ma non ne aveva riportata una buona impressione. Lo sapeva di carattere duro ed assai difficile da trattare; comunque queste sue prime vedute furono smentite dai fatti.

Carlo fu condotto da Filippo Maria Visconti nella sua residenza estiva di Abbiate ed invitato a partite di caccia. « Fu trattato splendidamente, riempito di regali e più tardi lasciato libero con ordine al commissario di Romagna, di restituirgli tutti i luoghi suoi occupati dalle truppe locali » (43).

GLI ULTIMI ANNI DI CARLO

Tornerà a Rimini il 22 o 25 gennaio 1425. « Fatto più amico del duca che dei fiorentini; aveva con sé una innumerevole quantità di cani portati dalla Lombardia »; ma, prima di lasciare Milano, Carlo firmò con il Visconti un patto con il quale, insieme

(42) Filippo Maria Visconti era il secondogenito di Galeazzo Maria della tanto tormentata casa di Milano. Se potessimo definirlo con un termine moderno, lo considereremmo uno psicopatico. Pier Candido Decembrio, suo segretario, ce ne ha lasciato un profilo assai efficace; figlio di cugini, era stato malaticcio fino dai primi anni della sua vita; viveva nel terrore di essere avvelenato; non toccava cibo, se prima non fosse stato assaggiato da altri; il buio lo atterrava; dormiva in una stanza con molte candele accese e vegliato da armati; sapeva poco di lingua latina, ma apprezzava i sonetti del Petrarca; leggeva molti romanzi cavallereschi e libri di storia; aveva la passione per cavalcare, andare a caccia con una grande quantità di cani e con falconi; era molto trascurato nell'acconciatura; difficilmente riceveva personaggi anche autorevoli; dava poche feste; durante le stagioni fredde se ne stava senza fuoco a finestre aperte, provocando senza alcun riguardo le proteste di coloro che gli erano vicini; era diffidente e sapeva fingere.

Nel 1412 a soli 20 anni era divenuto duca di Milano dopo l'assassinio del fratello Giovanni Maria, e, quando poteva, evitava di abitare in città, preferendo le dimore nei castelli di Pavia, Vigevano e Abbiategrasso. Con il passare degli anni, era diventato obeso e geloso; si da tenere ferocemente chiusa nel castello di Abbiategrasso la sua favorita Agnese del Majno che gli aveva dato una figlia: Bianca Maria. Pur non avendo esplosioni di collera, era assai difficile a riconciliarsi. Curò poco la edilizia di Milano, che alla sua epoca, aveva mura diroccate e cadenti. Si diede invece da fare per la costruzione del suo duomo, per la quale elargì sussidi ed esenzioni di tasse. Il sentimento religioso lo aveva portato ad interessarsi più degli edifici ecclesiastici, che non di quelli civili. Giunse ad affermare che « un'opera sì lodevole quale era il duomo, di cui non esisteva ai suoi giorni nulla di più bello, non doveva restare incompiuta ». E nel 1418, di passaggio per Milano il pontefice Martino V, a sua richiesta ne consacrò l'altare maggiore e vi celebrò la prima messa alla presenza di molti fedeli. Era superstizioso; si interessò molto nel 1432 di una contadina che asseriva di aver veduto la Madonna. Volle da lei conoscere come ciò fosse avvenuto e donò molto danaro per costruire una chiesa a Caravaggio. Favorì lo Studio di Pavia; ma in questo volle nominare direttamente gli insegnanti e fissarne lo stipendio. Non amava la guerra, che preferiva far fare ai suoi condottieri; non dimostrava riconoscenza verso alcuno » (P.C. Decembrio, *Opuscula historica*, RIS, XXI).

(43) G. Giulini, *Storia di Milano*, I.c.

al fratello Pandolfo si obbligava « di fare guerra e pace ad ogni richiesta del duca con qualsiasi, ed a ciò si obbligavano i sudditi degli stessi Malatesti » (44).

Il 15 febbraio 1425, un commissario visconteo si recò a Rimini per accordarsi sulla restituzione a Carlo dei territori occupati.

Il 2 marzo Astorre da Faenza, podestà di Rimini, andrà pure a Milano. Ed a Milano ancora si recherà Pandolfo III il 10 marzo 1425, per concludere col duca i patti segnati dal fratello; vi rimase un mese e mezzo. Questo episodio restò a lungo impresso nella mente di Carlo e valse a dimostrargli che talora era più facile e possibile trattare con un nemico, che non con certi amici. (In questa circostanza il Visconti si era dimostrato veramente leale).

Nell'ottobre 1427 scompariva in Fano il fratello di Carlo, Pandolfo III; era stato questi un alto personaggio, signore di Brescia e di Bergamo per la durata di circa un ventennio, aveva lasciato in queste due città una impronta personale e moderna nella amministrazione e nella cosa pubblica che fu mantenuta nel periodo successivo durante il dominio veneziano. I di lui figli, che dovevano succedergli nel dominio, erano ancora in tenera età: Galeotto Roberto, il maggiore, contava appena 16 anni, Sigismondo 10, Domenico Novello 9.

Carlo si sentì in dovere di tutelare gli interessi di questi minorenni, e prese su di sé tutta la responsabilità. Anzitutto riuscì a fare sposare il nipote Galeotto Roberto a Margherita figlia del duca di Ferrara, Nicolò d'Este, nel 1427, alla quale come dote furono assegnate dal fratello Leonello la Torre del Gualdo e la terra di Poggio Berni, che erano state dote di Parisina Malatesta.

La situazione del possesso malatestiano era tutt'altro che semplice; già nel 1425 subito dopo liberato dalla prigionia, Carlo si era recato a Roma, ove il pontefice Martino V l'aveva invitato per una rappacificazione col duca d'Urbino. Si addivenne ad un accordo con la rinuncia di Carlo alle terre del Montefeltro (45). Tornò poi a Rimini nel 1428. Così Giovanni di Pedrino: « nel 1428 il 3 febbraio, festa di san Biagio, il signor Carlo Malatesta partì da Rimini per andare a Roma da papa Martino che l'aveva richiesto; portò con sé 300 cavalli bene a punto, vi rimase più

(44) A. Volta, *Note di Bartolomeo Morone sulla storia politica del suo tempo*, « Arch. Stor. Lombardo », XXXI (1904), II, 377.

(45) Archivio Vaticano, Roma, Bolla del 14 luglio 1425.

giorni e tornò a casa assai onorato » (46).

Le pratiche furono lunghe anche per l'opposizione dei Malatesti di Pesaro, i quali accampavano diritti sul territorio riminese, ma con la sua consueta abilità egli riuscì nell'intento; ed oltre ad ottenere, dietro un determinato compenso, la legittimazione dei tre fratelli, gli fu possibile avere per loro la conferma nella successione del vicariato di Rimini, Cesena, Fano e Fossombrone; mentre Cervia, san Sepolcro, Osimo, Senigallia ed altri castelli minori, dovevano essere restituiti alla Santa Sede. (Il Battaglioni ed il Tonini non trovarono documenti che confermassero tale restituzione). Inoltre i fratelli dovevano saldare le quote insolute del censo. Non possedendo danaro i Malatesti si rivolsero al duca di Ferrara, Nicolò d'Este, suocero di Galeotto Roberto. La cifra da versare, cui parteciparono anche le città sottomesse, fu di 15.000 ducati che vennero ottenuti per mezzo di due mercanti fiorentini con la garanzia di Nicolò d'Este.

Dopo questo ultimo nobile atto, la vita di Carlo non durò più a lungo; egli scomparve nel castello di Longiano a 61 anni il 14 settembre 1429. Troviamo su questo evento notizie particolareggiate in Giovanni di Pedrino: « il 14 settembre 1429, passato il vespro, morì il signor Carlo Malatesta a Longiano. Era stato infermo di febbre quartana per circa due mesi; e per la moria che vi era a Rimini, egli stava nel detto luogo. Fu nella detta sera e di notte portato a Rimini, con moltissimi doppiieri e seppellito fra gli altri membri della sua famiglia senza fare altro grande ufficio. Il 10 ottobre fu fatto l'ufficio con grande ordine » (47).

La sua generosità non si era smentita neppure negli ultimi giorni. Aveva disposto fra le sue ultime volontà la vendita di una casa, per istituire, con i danari ricavati, una biblioteca per studenti poveri. Sarà il nipote Galeotto Roberto a porre in atto questo suo desiderio; ed ancora nel 1490 un altro Galeotto, lontano congiunto e tutore di Pandolfo IV governatore di Rimini, « amplierà l'istituzione e darà a questa una sede più conveniente ».

(46) Giovanni di Pedrino, l.c., I, Rubr., 389, p. 417.

(47) Idem, l.c., I, Rubr., 389, p. 127.

LODI A CARLO

Numerosi furono gli scrittori che lodarono Carlo Malatesta. Sant'Antonino vescovo di Firenze così scriveva nel *Chronicon*: « Carlo Malatesta fu un principe di quella famiglia; a questi nulla mi sembra se non una lode eccellente... bellissimo di corpo e prodigo di esperienza e di immensa grandezza d'animo. Egualmente di egregia liberalità e religione; e, il che è raro ritrovare nei signori, espertissimo negli studi di lettere, non molto fortunato in guerra ». Il Loschi: « unico esempio ai mortali che l'inclita casa dei Malatesti generò » (48). Ed il Bruni all'amico Nicolò Nicoli: « tu sai bene come io sia divenuto assai restio e diffidente nel lodare i nostri contemporanei; ma nella città di Rimini mi sono imbattuto in un uomo eccezionale; un uomo di quella antica stirpe primigenia, di cui si è persa la specie; e tutte le volte che lo vedo, mi par di vedere un Marco Marcello o un Furio Camillo, uomini che furono capitani invincibili in guerra e nello stesso tempo mitissimi in pace ed osservanti delle leggi; politico e capitano valente non è men grande nelle opere di pace... a mio giudizio eccelle tanto in letteratura e dottrina, quanto coloro che in tutte le età si dedicarono agli studi; a ciò si aggiungano la modestia, la mansuetudine, la integrità » (49).

E Poggio Bracciolini: « fu Carlo un uomo egregio tanto in guerra quanto nelle arti della pace e da confrontare, a mio giudizio, con gli antichi antenati; erano in lui una grande autorità, molte virtù, ottimi costumi, una certa gravità. Assai dedito agli studi delle lettere, desideroso di discutere con uomini d'ingegno. Mancò di fortuna in guerra, la qualcosa per prima è richiesta dai condottieri ». Carlo inoltre proibì con un bando di bestemmiare la Vergine e i Santi. Aveva anche composto versi su vari argomenti. Di lui ci rimane solo un sonetto; questo farebbe parte di una raccolta conservata nella biblioteca Vaticana, di cui Campana ci ha dato notizia. Flavio Biondo lo considera: « rilevante per lettere, costumi, autorità ». Carlo si era dedicato a visite di luoghi santi in pellegrinaggi; così aveva visitato il sacro volto di Lucca. Nel 1399 era penitente nella Compagnia dei Bianchi « devotissimo ed amatore di Dio » (Clementini). Preso dal terrore per la fine del mondo, nel 1399 si era fatto promotore di

(48) G. Mazzatinti, *Inventari dei manoscritti delle biblioteche d'Italia*, IV, 192, Forlì 1894.

(49) L. Bruni, *Epistolarum libri octo*, Petrus Enricus ed., Basilea 1535.

processioni. Ed il Broglio nella Cronaca Malatestiana: « Carlo al suo tempo fè mirabili fatti; ei fu della sua persona un'arca di scienza, signore cattolico, giusto e clemente; nel mestiere dell'arme, senza alcuna paura ». Gambino d'Arezzo in una canzone per la illustre casa dei Malatesti, tesseva l'elogio in particolare di Carlo. L'autore, Anonimo, nella *Regalis historia dè Malatestis*, dedica la sua opera a Carlo « la cui gloria eguaglia quella degli stessi celesti ».

D'altronde si può dire che in un certo periodo Carlo fosse il moderatore della politica italiana, poiché dopo la scomparsa di Gian Galeazzo Visconti, quando i duchi di Milano vollero aprire trattative di pace con Firenze, ricorsero alla sua mediazione.

Ebbe in pregio le belle arti. Nel 1400 ricevette in Rimini, il giovane Lorenzo Ghiberti, al quale fece dipingere una camera: una pittura giovanile sua. Scrive infatti il Vasari: « aggiuntesi alcune discordie civili ed altri travagli della città (di Firenze) gli fu forza partirsi ed andarsi in compagnia di un altro pittore in Romagna, dove in Arimini dipinsero al signor Pandolfo Malatesta (il committente di questa pittura fu Carlo) che da loro con piena diligenza finito e con soddisfazione di quel signore che ancora giovanetto si diletta assai delle cose del disegno » (50). Ma poco si fermò a Rimini il Ghiberti, poiché dovette recarsi a Firenze per il concorso delle porte di quel Battistero.

(50) G. Vasari, *Vita di Lorenzo Ghiberti*, II, 331, Salani ed., Firenze 1963.

CARICHE SOCIALI ED ELENCO DEI SOCI NELL'ANNO 1986 *

CONSIGLIO DIRETTIVO

Prof. Armelino VISANI, *presidente*; prof. Bruno NEDIANI, *vicepresidente*; prof. Giuseppe BERTONI, *direttore della Biblioteca e conservatore del « Museo Torricelliano »*; prof. Bice MONTUSCHI SIMBOLI, *segretario*; dott. Luigi PIAZZA, *tesoriere*; prof. Antonio FERLINI, *consigliere*; dott. Vittorio GHINASSI, *rappresentante del Comune di Faenza*; dott. Anna GENTILINI, *rappresentante della Biblioteca Comunale*; dott. Carlo DE TARANTO, *rappresentante del Ministero per i Beni Culturali e Ambientali*.

SOCI BENEMERITI

BANCA POPOLARE di Faenza; MONTE DI CREDITO E CASSA DI RISPARMIO di Faenza; rag. Domenico BENINI (1896-1948); dott. Antonio MENDOGNI; prof. Pietro MONTUSCHI (1874-1959); mons. dott. Giuseppe ROSSINI (1877-1963); dott. ing. Giuseppe VASSURA (1866-1949).

SOCI RESIDENTI

Classe 1^a: *Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali*

Prof. Mario ANCARANI; prof. Giovanni BAZZOCCHI; prof. Carlo CASTELLARI; prof. Tonito EMILIANI; prof. Francesco EMILIANI ZAULI NALDI; prof. Antonio FERLINI; prof. Silvano MAZZONI; prof. ing. Gianluca MEDRI; prof. Bruno MONESI; prof. Luigi PAGANELLI; dott. Pietro VINCENZINI; prof. Armelino VISANI.

Classe 2^a: *Scienze Morali e Storiche*

Prof. Sante ALBERGHI; prof. Giovanni CATTANI; prof. Leonida COSTA; dott. arch. Ennio GOLFIERI; mons. prof. Gian Domenico GORDINI; prof. Luigi LOTTI; prof. Bice MONTUSCHI SIMBOLI; prof. Bruno NEDIANI; dott. Luigi PIAZZA; m^o Ino SAVINI; can. arch. Antonio SAVIOLI.

* Aggiornati alla data della consegna del materiale in tipografia.

Classe 3^a: *Lettere*

Prof. Giuseppe BERTONI; prof. Claudio MARABINI; prof. Alessandro MONTEVECCHI; prof. Giovanni PINI; prof. Valeria RIGHINI.

SOCI CORRISPONDENTI

Prof. Pietro ALBONETTI, Granarolo; prof. Gian Gualberto ARCHI, Firenze; prof. Gino ARRIGHI, Lucca; prof. Natale BARNABÈ, Legnano; dott. Domenico BERARDI, Russi; dott. Gilberto BERNABEI, Roma; prof. Aldo BERSELLI, Bologna; dott. Pietro BERTINI, Alfonsine; prof. Roberto BULTOT, Lovanio; prof. Lorenzo CALDO, Roma; prof. Augusto CAMPANA, Roma; avv. Michele CIFARELLI, Roma; prof. Tullio DERENZINI, Pisa; dott. Alteo DOLCINI, Faenza; prof. Andrea EMILIANI, Bologna; m^o Libero ERCOLANI, Ravenna; prof. Tebaldo FABBRI, Forlì; prof. Gina FASOLI, Bologna; prof. Luigi FIRPO, Torino; prof. Umberto FOSCHI, Castiglione di Cervia; prof. Romolo FRANCESCONI, Bologna; don Francesco FUSCHINI, Ravenna; prof. Lucio GAMBI, Firenze; prof. Eugenio GARIN, Firenze; dott. ing. Giorgio GELLINI, Faenza; dott. Domenico GIOVANNELLI, Rimini; avv. Natale GRAZIANI, Montecatini; prof. Paolo GRAZIOSI, Firenze; ecc. mons. Franco GUALDRINI, Terni; prof. Luigi HEILMANN, Bologna; ecc. mons. Pio LAGHI, Washington; prof. Francesco LIVERANI, Modena; prof. Cesare MALTONI, Bologna; prof. Fausto MANCINI, Imola; prof. Guido MANSUELLI, Bologna; c.te dott. Giovanni MANZONI, S. Lorenzo di Lugo; can. dott. Mino MARTELLI, Imola; c.te dott. Gian Ludovico MASETTI ZANNINI, Roma; dott. Gino MATTARELLI, Roma; prof. Nevio MATTEINI, Rimini; prof. Nicola MATTEUCCI, Bologna; dott. Giovanna MENDOGNI ZAMA, Bologna; prof. Silvestro MONDINI, Ancona; avv. Luigi MONTANARI, Ravenna; prof. Emilia MORELLI, Roma; prof. Franco PACINI, Firenze; amm. prof. Giuseppe PEZZI, Roma; prof. Giuseppe PLESSI, Bologna; dott. ing. Vittorio POLVERIGIANI, Faenza; prof. Angiolo PROCISSI, Firenze; prof. Eugenio RAGNI, Roma; dott. Armando RAVAGLIOLI, Roma; prof. Gino RAVAIOLI, Rimini; prof. Kurt REINDEL, Ratisbona; prof. Vasco RONCHI, Firenze; prof. Aldo SACCO, Forlì; prof. Arles SANTORO, Firenze; ecc. mons. Achille SILVESTRINI, Città del Vaticano; prof. Bruno SILVESTRINI, Roma; prof. Vittorio SILVESTRINI, Napoli; prof. Francesco SISINNI, Roma; prof. Giovanni SPADOLINI, Firenze; prof. Franco STROCCHI, Pisa; prof. Giancarlo SUSINI, Bologna; prof. Mario TABANELLI, Chiari; prof. Sebastiano TIMPANARO, Firenze; prof. Ugo VALDRÈ, Bologna; prof. Augusto VASINA, Bologna; dott. ing. Antonio VEGGIANI, Mercato Saraceno; dott. Floriano VENTURI, Faenza; prof. Sergio ZANGHERI, Padova.

SOCIETÀ TORRICELLIANA DI SCIENZE E LETTERE

FAENZA

Fondata nel 1947. Presidenti: mons. dott. Giuseppe Rossini, dal 1948; prof. dott. Pietro Montuschi, dal 1954; dott. prof. Piero Zama, dal 1960; prof. dott. Armelino Visani, dal 1982.

PUBBLICAZIONI DISPONIBILI

Opere di E. Torricelli, vol. IV, a cura di G. Vassura, formato cm 17,5x25, Lega, Faenza 1944, pagine 348

« Torricelliana », nel III centenario della scoperta del barometro, 2 volumi formato cm 24x34,5, Unione Tipografica, Faenza 1945-1946

— 1944, pagine 80; — 1945, pagine 96

Nel III centenario della morte di E. Torricelli, formato cm 17,5x25, Società Tipografica Faentina, Faenza 1948, pagine 32

Lettere e documenti riguardanti E. Torricelli, a cura di mons. G. Rossini, formato cm 17,5x25, Lega, Faenza 1956, pagine VIII-180

« Torricelliana », bollettino annuale della Società, formato cm 17x24,5, raccolta completa dal 1949 al 1985

Il Codice di Lottieri della Tosa, a cura di d. G. Lucchesi, f.to cm 17x24, Lega, Faenza 1979, pagine 224, pubblicato a spese della Banca Popolare di Faenza

Omaggio a Francesco Lanzoni nel cinquantenario della morte (bollettino n. 30), 1980, pagine 128

L'Opera poetica di Giovanni Chiapparini, conferenze di T. Fabbri e di P. Zama, formato cm 17x24, Lega, Faenza 1982, pagine 56

Lamberto Caffarelli, *Prose e poesie inedite*, a cura di G. Cattani, formato cm 17x24, Lega, Faenza 1982, pagine 124

Il nostro ambiente e la cultura, a cura di G. Cattani (supplemento al bollettino n. 32), formato cm 21x30, 1982, n. 1 pagine 36, n. 2 pagine 24

Scritti minori di Giovanni Lucchesi, formato cm 17x24, 1983, pagine 350

Atti dei convegni di studi

Volumi formato cm 17,5x25.

E. Torricelli nel 350° anniversario della nascita, 1958, pagine 200

Dionigi Strocchi nel II centenario della nascita, 1962, pagine 232

Antonio Morri nel I centenario della morte, 1969, pagine 108

Lodovico Zuccolo nel IV centenario della nascita, 1969, pagine 132

S. Pier Damiani nel IX centenario della morte, 1972, pagine 144

L'ambiente geofisico e l'uomo, 1974, pagine 136

La vita faentina nella vita italiana fra il 1947 e il 1977 (bollettino n. 28), 1978, pagine 256

Giornata di studio in onore di mons. dott. Giovanni Lucchesi, 1984, pagine 112.

Giornata di studio in onore di Luigi Dal Pane Storico, 1985, pagine 118