

G. FAVILLI

Direttore dell'Istituto di Patologia Generale dell'Università di Bologna

## L'inserimento del pensiero e del metodo della Fisica nell'attuale momento della evoluzione della Biologia e della Medicina

Chi voglia rivolgere attenzione ai rapporti fra la Fisica e la Medicina deve anzitutto stabilirne la natura, quindi considerare l'evoluzione che essi hanno subito e dovranno ulteriormente subire. Proviamoci ad esaminarli, tali rapporti, premettendo che essendo la Medicina un complesso di discipline biologiche o comunque strettamente connesse alla Biologia, gioverà che tale esame riguardi le relazioni fra la Fisica e l'insieme di tali discipline separatamente considerate.

Non c'è dubbio che in passato i medici e i biologi si sono serviti della Fisica praticamente soltanto nella misura nella quale tale scienza metteva delle tecniche a loro disposizione: gli esempi sono così ovvii (microscopio, elettricità, strumenti vari di misura) che è superfluo riferirli. Un rapporto, dunque, che si esprime prevalentemente in termini di una utenza autonoma, da parte di medici e biologi, di metodi e tecniche proprie della Fisica. Tuttavia un tale tipo di rapporto oggi non è più valido: non soltanto perché l'evoluzione dei rapporti fra le scienze in genere, e in particolare fra le scienze medico-biologiche e la Fisica, non consente subordinazioni e prestazioni a livello meramente tecnico, imponendo invece una intima partecipazione sia a livello concettuale che a livello tecnico ed organizzativo; ma anche perché il complicarsi dei metodi e delle tecniche elaborate dalla Fisica non ne consente più la materiale autonoma appropriazione da parte dei medici e dei biologi. Una utenza di tecniche e di metodi fisici che dovrebbe, caso mai, essere guidata e condivisa se i rapporti fossero destinati a rimanere sempre quali sono stati finora e non urgesse, invece, la collaborazione nel pieno significato dell'espressione.

La Fisica pertanto, considerata finora come dispensatrice di mezzi per l'approfondimento delle conoscenze nel campo della Biologia e della Medicina e come tale troppo spesso presentata e trattata nell'insegnamento, oggi acquista ben maggiore dignità e merita ben altra valutazione. Si pensi da un lato alla crescente importanza che giustamente si attribuisce allo studio dei problemi fisici relativi alla sostanza vivente; dall'altro al delinearsi di un nuovo rapporto fra la Fisica e la Medicina, a livello delle cliniche e degli ospedali, in conseguenza tanto delle disponibilità tecniche grandemente accresciute, in continua evoluzione e sempre meno accessibili ad una appropriazione puramente strumentale da parte del medico, quanto del configurarsi di forme morbose — le malattie da radiazioni — la cui indagine patogenetica, lungi dall'essere compiuta e la cui prevenzione, destinate nell'era nucleare ad assumere sempre maggiore importanza, non potranno essere sviluppate senza l'intima cooperazione, a parità di compiti e di responsabilità, fra il fisico, il patologo e il clinico.

Per comprendere lo stato attuale dei rapporti fra la Fisica e le Scienze biologiche è forse opportuno un richiamo storico al loro rispettivo sviluppo. Sia la Fisica moderna che la Biologia moderna hanno una comune radice: il metodo sperimentale. In ambedue i casi l'affermarsi della pura osservazione dei fenomeni naturali e del loro ordinamento razionale non è avvenuto senza lotte e senza difficoltà: pregiudizi da superare, per quanto più evidenti e più duri nel caso della Biologia, non sono certo mancati nel caso della Fisica, ma una volta superati l'accettazione del metodo sperimentale è stata il punto di partenza dello sviluppo di ambedue. E di ambedue lo sviluppo è stato indipendente, cioè senza interferenze che non fossero, come ho detto, puramente strumentali: ciò è avvenuto per ragioni assai chiare, consistenti essenzialmente nel fatto che la Fisica ha potuto, dato il suo stesso oggetto, impostare la sua problematica in un senso fin da principio rigorosamente quantitativo, mentre la Biologia assai più tardi, oggi cioè e soltanto per certi particolari problemi, è giunta a questo punto. Se ciò è avvenuto non si deve ad errori e incertezze nella accettazione del metodo sperimentale da parte dei biologi, ma piuttosto al fatto che questi si sono sempre trovati ad affrontare problemi di grande complessità: quando l'analisi di questi ne ha reso possibile la scomposizione e la semplificazione, allora tali problemi sono diventati aggredibili dal fisico. A questo punto è avvenuta la confluenza della Fisica nella Biologia: la Biofisica è il risultato di tale confluenza, che sta avvenendo ai nostri giorni.

Ciò premesso, conviene esaminare il carattere che vanno assumendo i rapporti fra la Fisica e le scienze medico-biologi-

che e fra la Fisica e la Medicina pratica: essi possono configurarsi da due punti di vista distinti, uno attinente alla ricerca pura e quindi solo indirettamente legato alla Medicina pratica, l'altro attinente esclusivamente a questa ultima.

#### **Fisica e ricerca scientifica medico-biologica**

Lo studio dei problemi fisici relativi alla sostanza vivente, al quale si dedicano con crescente interesse schiere numerose di ricercatori costituisce quel ramo delle scienze naturali che si chiama Biofisica; se, tuttavia, pare semplice a prima vista delimitarne gli scopi e di conseguenza le esigenze metodologiche, una analisi più approfondita mette in evidenza difficoltà, incertezze, equivoci. Definire la Biofisica corrisponde, a me sembra, più ad esigenze pratiche che non a necessità dottrinali: al più si può dire che è sua caratteristica la formulazione di problemi biologici in termini fisici, e non l'impiego di particolari strumenti, anche al più elementare dei quali non si può negare l'attributo di fisico. La Biofisica si sta definendo da sé, in forza del processo del suo sviluppo; è anzi possibile che la sua fisionomia muti ed evolva col tempo, ed è pertanto inutile cercare definizioni precise ed immutabili. Se si vuole giungere ad una definizione per scopi pratici che rispecchi le condizioni attuali in cui questa si configura, è forse sufficiente formulare una casistica, includendo nella Biofisica tutti i problemi che nel campo della Biologia sono stati talmente semplificati da poter essere sperimentalmente manipolati con lo spirito e nell'ambito dei metodi della Fisica. La formulazione di tale casistica sarà influenzata, naturalmente, da criteri soggettivi; essa inoltre varierà col tempo poiché aumenterà il numero dei problemi biologici divenuti maturi per un'analisi in termini fisici.

E' ovvio intanto che i problemi della conduzione dell'impulso nella fibra nervosa, della elettrofisiologia muscolare e cardiaca, della capacità che certe specie di pesci hanno di produrre scariche elettriche, sono puri problemi di Biofisica che nascono a livello cellulare e che sono legati alla permeabilità della membrana agli ioni. Problemi di Biofisica vicini o che si confondono ai precedenti sono quelli che considerano la trasformazione, a livello degli organi di senso, della energia luminosa o meccanica in variazioni elettriche le quali generando impulsi nervosi trasmettono informazioni. Siamo fin qui entro i limiti della Biofisica fisiologica, che alcuni considerano come Biofisica classica. Fa parte della Biofisica matematica o teorica la Neurofisiologia integrativa, che fa dell'organismo multicellulare un individuo, non un semplice ammasso

di cellule: il problema biofisico, come avverte il Moruzzi (1) si concreta in questo caso nei rapporti con la Cibernetica e con tutti i tentativi dei fisici di creare modelli delle più alte funzioni nervose (memoria, riconoscimento delle immagini, apprendimento). E' vero che questo genere di studi è stato prevalentemente sviluppato dai fisici e dai matematici molto spesso indipendentemente dalla Biologia, e ciò è legittimo; i problemi così impostati diventeranno biofisici quando i dati raccolti strumentalmente, o i modelli matematici che simulino i processi biologici, saranno tali da poter essere tradotti in esperimenti di Neurofisiologia o di Psicologia sperimentale.

Il perfezionarsi delle tecniche e lo sviluppo di tecniche nuove, col rendere possibile al biologo di scomporre la cellula nelle sue componenti morfologiche e chimiche ha permesso di porre dei problemi fisici a livello subcellulare e molecolare — o più precisamente macromolecolare — che costituiscono la nuova ramificazione della Biofisica: la Biofisica molecolare, la quale, anzi, è al momento presente in rigoglioso sviluppo sì da essere considerata da molti, anche in vista delle fondamentali acquisizioni che ha già fornito alla Biologia, come la parte in cui sono concentrati i problemi che formano la vera essenza della Biofisica.

La Biofisica molecolare, chiamata anche Biologia molecolare, per quanto concerne l'aspetto tecnico e strumentale, si avvale prevalentemente della spettrografia di diffrazione dei raggi X, delle cui grandi possibilità uno splendido esempio è offerto dalle ricerche di Perutz, le quali hanno rilevato che la reazione della emoglobina con l'ossigeno è accompagnata da sensibili modificazioni strutturali della sua molecola; della ultracentrifugazione; della elettroforesi; della diffusione della luce (light scattering); della spettrografia nell'infrarosso onde ottenere dati sui livelli energetici degli elettroni della molecola; della microscopia elettronica, che permette la visualizzazione delle più grandi macromolecole, e che promette ulteriori approfondimenti se, come è probabile, il potere di risoluzione del microscopio elettronico arriverà oltre il limite attuale di 10 Å. Dagli sviluppi della Biofisica — o Biologia — molecolare mediante l'uso di queste o di altre tecniche hanno tratto vantaggio, come ognuno sa, particolarmente la Genetica, la Biochimica e la Virologia; è forse utile a questo punto avvertire che essa in certo modo confina o addirittura si identifica con tali scienze o almeno con parti di esse, e che spesso si considerano come problemi di Biofisica molecolare problemi comuni ad essa ed alla Biochimica o addirittura alla

---

(1) *Moruzzi Gius.*, Comunicazione personale.

Chimica organica, ande conviene intendere la Biofisica molecolare come la disciplina che studia i fenomeni biologici al livello delle molecole, descrivendone ed interpretandone i vari aspetti ed avvalendosi a tale scopo sia della Fisica che della Chimica. Molti problemi considerati di Biofisica molecolare sono in realtà problemi di Biochimica-fisica, e così forse sarebbe più opportuno denominare tale ramo della Biofisica; ma non è il caso di darsi da fare nel tentativo di chiarire queste incertezze, inevitabili del resto a livello delle zone di confine fra qualsiasi sistema di discipline ed un altro, poiché si rischierebbe di trasformare in sterile disquisizione accademica ciò che è chiaramente definito solo dalla essenziale esigenza della impostazione di base, che è quella di studiare i fenomeni biologici al livello molecolare con procedimenti propri della Fisica e della Chimica. Il Rich <sup>(2)</sup> divide il campo in cui opera la Biofisica molecolare in quattro parti che riguardano, rispettivamente: la struttura e la funzione delle molecole; la conversione e il trasporto della energia (in particolare, il meccanismo della fotosintesi e della trasformazione della energia chimica in energia meccanica al livello dei muscoli); la conversione e il trasporto della materia per il che si richiede la conoscenza del meccanismo dell'attività degli enzimi e dei processi ancora ignoti che regolano il passaggio di certi ioni o di specifiche molecole in una direzione ma non nella opposta a livello della cosiddetta membrana cellulare e delle membrane a livello delle strutture subcellulari (ad esempio la membrana dei mitocondri); ed infine il trasporto della informazione nei sistemi complessi (ad esempio il meccanismo del passaggio di un impulso a livello delle sinapsi della rete nervosa), oppure a livello molecolare come avviene nel caso della sintesi di determinate molecole proteiche regolata nella cellula dagli acidi nucleici che trasmettono dalla cellula madre la informazione genetica e sono pertanto il substrato del cosiddetto codice genetico.

Da questa suddivisione proposta dal Rich, indubbiamente comprensiva di tutti gli aspetti più stimolanti ed attuali della Biofisica molecolare, balzano evidenti le commistioni e le interferenze con la formulazione della casistica per la definizione della Biofisica presentata pocanzi e per vari motivi avente quasi carattere di ufficialità; balza evidente tuttavia anche l'unità dei concetti informativi e degli scopi che si propone la Biofisica, e questo è quello che conta e che fa apparire superfluo l'esercizio per una precisa delimitazione del terreno della indagine.

---

<sup>(2)</sup> Rich A., Voce: Biofisica Molecolare in: « Enciclopedia della Scienza e della Tecnica », Mondadori, vol. 2, pag. 362.

Oltre a commistioni ed interferenze derivanti da valutazioni soggettive, nuovi orizzonti e nuovi orientamenti, resi possibili dall'arricchirsi della problematica, sono da prevedersi: sono anzi già in atto.

Nella introduzione ad un suo libro intitolato « *Biologia submolecolare* » Albert Szent-Györgyi <sup>(3)</sup> traccia il panorama ed i compiti che egli assegna a questo modo di accostamento ai problemi fondamentali della *Biologia* e della *Patologia*. « Cominciai — egli dice — con la *Istologia*, ma insoddisfatto delle informazioni che la *morfologia cellulare* mi poteva dare dei fenomeni vitali mi volsi alla *Fisiologia*; ma la trovai troppo complessa e quindi mi detti alla *Farmacologia*: qui almeno una delle componenti, il farmaco, era di natura semplice. Ma la situazione era ancora troppo complicata, e provai perciò la *Batteriologia*; i batteri però sono troppo complessi e così discesi a livello molecolare, e presi a studiare *Chimica* e *Chimica fisica*. Forte di questa esperienza intrapresi lo studio del muscolo: dopo vent'anni di lavoro giunsi alla conclusione che per comprendere il muscolo bisogna discendere a livello degli elettroni, le cui leggi sono governate dalla *meccanica ondulatoria* ». Chi scrive così è un grande biologo il cui nome è legato a importanti scoperte; l'evoluzione della sua personalità scientifica presentata in forma paradossale rileva la insoddisfazione di chi si rivolga alle scienze biologiche tradizionali per trovare la spiegazione dei fenomeni vitali fondamentali, e l'ansia di percorrere nuove vie: di chi si appresti anzi a percorrerne una, la *Biologia submolecolare*, della quale tuttavia non si nasconde le difficoltà. Prosegue egli infatti: « potranno i biologi permettersi di essere allontanati da questa dimensione elettronica per il fatto di non avere essi dimestichezza con la *Meccanica quantistica*? La *Biologia* e la *Mecchanica quantistica* sono scienze che richiedono completa dedizione intellettuale e una intera vita: almeno per ora occorre una specie di ibridazione . . . . la collaborazione fra il biologo e il fisico, lo sviluppo di un linguaggio comune; . . . . che il biologo sia capace di individuare problemi per il fisico e di comprendere il significato delle sue risposte, e che il fisico stia dalla sua parte piuttosto che diventare un biologo di seconda classe ». Nasce dunque, nella mente del Szent-Györgyi, la *Biologia submolecolare*: e perché ora questa nuova dimensione dopo la serie di trionfi e l'aureola di gloria della *Biochimica tradizionale*, che è studio di molecole d'interesse biologico? « Perché — egli spiega — mentre la *Biochimica* fa continui progressi nei campi nei quali ha già mietuto allori,

---

<sup>(3)</sup> *Szent-Györgyi A.*, Introduction to a Submolecular Biology; Academic Press, New York, 1960.

essa non fa progressi nel risolvere i problemi fondamentali della vita: il problema del meccanismo della fosforilazione ossidativa, che è l'evento centrale del metabolismo in quanto l'energia degli alimenti si trasforma in energia utilizzabile dalla macchina cellulare; il problema della trasformazione di tale energia nelle varie forme di lavoro cellulare, meccanico, osmotico, elettrico; il problema del coordinamento delle funzioni dell'organismo ad opera degli ormoni, poiché se la Biochimica ha rivelato che cosa essi sono non ha rivelato che cosa essi fanno, ossia come agiscono non a livello fisiologico sibbene come agiscono a livello molecolare affinché un effetto fisiologico possa determinarsi ». Ciò è la conseguenza del fatto che la Biochimica risolve problemi di struttura o di cambiamenti di struttura che avvengono per effetto di semplici reazioni, ma non si può risolvere i problemi della funzione di sistemi molecolari complessi quando il risultato non è una sostanza ma un lavoro; e ciò è accaduto finché la Biochimica non si è spinta, come la Chimica, fino alla dimensione submolecolare nella quale forse è la chiave per svelare il segreto delle più fini funzioni biologiche. Ancora una volta, dunque, la Biologia deve fare appello alla Fisica se vuole avanzare: la Fisica — come la Matematica — è indispensabile allo sviluppo di una Biologia submolecolare e questa con la Biofisica molecolare — o macromolecolare — formerà una singola unità dal cui sviluppo sembra oggi dipendere per la massima parte la comprensione di fenomeni vitali, al quale scopo la Biologia, la Morfologia, la Fisiologia, la Biochimica tradizionali si sono rivelate insufficienti.

Ultima ramificazione della Biofisica — anche se non è forse appropriato parlare di parentela diretta — è la Bionica, nata ufficialmente da un congresso tenutosi nel 1960 a Dayton, negli Stati Uniti, cui fecero seguito altri due congressi nel 1961 e nel 1963 <sup>(4)</sup>. La Bionica ha per oggetto di indagine la dinamica delle influenze di reciproche popolazioni, siano esse costituite da molecole, o da cellule, o da individui. La Bionica, che per quanto riguarda i suoi fondamenti è parte della Cibernetica, considera tale dinamica da un punto di vista formale, servendosi della moderna teoria della informazione: essa cerca di accertare se i dati acquisiti con l'analisi di sistemi biologici possano essere utilizzati nell'elaborazione di sistemi artificiali di informazione, donde l'interesse che suscita anche per le sue implicazioni pratiche.

I campi più studiati sono quelli dell'attività sensoriale-nervosa, e delle informazioni legate al codice genetico.

---

(4) Bionics; Science, 1963, 140, 1419.

La Bionica considera le attività del sistema nervoso in base a modelli di trasmissione di informazioni elaborati dalla Cibernetica ed esemplificati da macchine elettroniche di varia complessità. Segnali, come un fotone che colpisce la retina o un'onda sonora che giunge all'orecchio, si propagano nel sistema nervoso come onde di depolarizzazione, rese possibili dall'aumento improvviso della permeabilità agli ioni, la diversa concentrazione dei quali ai due lati delle membrane cellulari mantiene in assenza di stimoli un determinato potenziale. Alla Bionica non interessa l'aspetto fisico-chimico del meccanismo della trasmissione, del quale si occupa la Biofisica molecolare: interessa lo studio del sistema nervoso come un sistema di trasmissione, di selezione e di interazione di segnali a livelli di crescente complessità. Alcuni metodi ed alcuni risultati sono applicabili a tutti i sistemi biologici di autocontrollo (azione degli ormoni, autoregolazione della moltiplicazione cellulare, ecc.): la Bionica pertanto non limita il proprio campo allo studio dei meccanismi di raccolta e di trasmissione di segnali provenienti dall'esterno ma lo estende alla indagine dei meccanismi del mantenimento continuo dell'equilibrio interno, cioè l'omeostasi.

Per quanto concerne le informazioni legate al codice genetico la Bionica, avvalendosi come fondamento teorico della analogia stabilita da Wiener <sup>(5)</sup> e da Shannon <sup>(6)</sup> tra « quantità di organizzazione » o « contenuto di organizzazione » di un sistema e il concetto termodinamico di entropia negativa, si propone di elaborare metodi generali capaci di misurare l'entropia negativa di sistemi biologici come macromolecole, organi intracellulari, cellule, organismi e società. Ecco che si hanno già ricerche relative al possibile contenuto di informazioni nel DNA, che prescindono da considerazioni di struttura molecolare (successione di basi, ecc.) e si basano su considerazioni termodinamico-cibernetiche <sup>(7)</sup>. Ecco che la linea perseguita dalla Bionica, che non ha radici comuni con la Biofisica molecolare, finisce col congiungersi a questa nello studio dei substrati implicati, e permette di operare una scelta preliminare fra varie ipotesi biologiche, come quando esclude che la risposta anticorpale possa esplicarsi su base genetica o che esistano « specificazioni » di singoli neuroni <sup>(8)</sup>.

Con la Bionica siamo agli albori di una nuova scienza ora coltivata da ricercatori estremamente specializzati provvisti di

---

<sup>(5)</sup> *Wiener N.*, *Cybernetics*; Technical Press of MIT, and J. Wiley and Sons, New York, 1948.

<sup>(6)</sup> *Shannon C.*, *Bell System Techn. J.*, 1948, 27, 379, 623.

<sup>(7)</sup> *Rothstein J.*, *Rif. in Science*, 1963, 140, 1419.

<sup>(8)</sup> *Bremermann II. J.*, *Rif. in Science*, 1963, 140, 1420.



una particolarissima preparazione fisica, matematica, biologica; una nuova scienza connessa alla Fisiologia ed alla Biochimica-fisica, di cui sono appena tracciati i lineamenti: della quale tuttavia già si intravede il contributo determinante che potrà dare alla soluzione di fondamentali problemi biologici.

Parlando di Biofisica viene naturale domandarsi chi debba fare la Biofisica. Questa domanda tuttavia sarebbe pertinente ed utile se della Biofisica fosse stata data una definizione assoluta. Più rispondente forse alla realtà è una definizione tautologica: è biofisico chi si occupa di Biofisica nello spirito e nei limiti che ho cercato di tracciare, cioè chi nell'ambito della Biologia si pone un problema che possa essere impostato ed affrontato in termini fisici. Non si devono stabilire legami od esclusioni con determinate formazioni di base, e farà della Biofisica il fisico che abbia acquisito mente biologica oppure il biologo che abbia acquisito mente fisica: ciò che è essenziale fissare è che i problemi che sono nel fuoco dell'attenzione del biofisico sono e rimangono problemi biologici. Piuttosto è da porsi il problema della selezione e del reclutamento dei ricercatori cui affidare lo sviluppo della Biofisica, ed a questo proposito non si può, allo stato attuale delle cose, non essere scettici. Non sembra che si possa fare affidamento sui laureati della Facoltà di Medicina, nè sui laureati in Fisica: occorrerà probabilmente rivolgersi alla Facoltà di Scienze biologiche quando questa sia stata trasformata da una coraggiosa riforma: anzi addirittura rifondata su una base alla cui elaborazione non partecipino soltanto i naturalisti ma anche i cultori delle varie scienze biologiche ora operanti nella Facoltà di Medicina, nonché beninteso i fisici e i chimici.

#### **Fisica e Medicina pratica: il fisico medico**

Le numerose prestazioni che la medicina applicata richiede al fisico di continuo e con ritmo crescente, fra le quali quelle per la protezione dalle radiazioni, per le applicazioni dei radioisotopi, per le apparecchiature elettrofisiologiche sono soltanto le più recenti, hanno reso attuale un problema che da alcuni medici e da alcuni radiologi in particolare è stato da tempo avvertito: il problema dell'inserimento del fisico nelle cliniche e negli ospedali, per svolgervi un'attività che è già ormai chiaramente delineata in una nuova individualità: quella del fisico medico. Bisogna stabilire come dovrà essere questo fisico medico, come praticamente si inserirà nell'attività delle cliniche e degli ospedali, come dovrà essere attuata la sua preparazione: occorre però premettere che la sua partecipazione all'attività medica non può intendersi in senso di

una prestazione puramente strumentale, sibbene andrà realizzata su un piano pratico di dignità e di competenza, come condizione necessaria per la realizzazione di una efficiente collaborazione.

Affinché la presenza del fisico nell'ambito delle cliniche, che hanno prevalentemente funzione didattica e di ricerca, e nell'ambito degli ospedali, non si limiti ad essere un avvenimento puramente formale, non venga registrata come una specie di inclusione meccanica di un nuovo elemento nell'ingranaggio di istituzioni di giorno in giorno più complicate, saranno necessarie modificazioni nella loro struttura e nella loro organizzazione, che le renda più moderne e più rispondenti a compiti sempre più precisi e raffinati. Sarebbe fuori luogo toccare in questa sede il problema della trasformazione, anzi dell'aggiornamento delle strutture medico-sanitarie nel nostro Paese: ma non posso sottrarmi alla tentazione di sottolineare quanto sarebbe opportuna nella Facoltà di Medicina la istituzione dei dipartimenti, in sostituzione dei vecchi, rigidi, isolati Istituti siano essi biologici o clinici. La Commissione Parlamentare per la riforma della scuola nella relazione elaborata lo scorso anno ha proposto il dipartimento come la forma più adatta entro la quale programmare efficacemente l'ordine didattico e delle attività di ricerca, ambedue svolgentisi ora in maniera disarticolata e del tutto autonoma: ecco come in una siffatta organizzazione il fisico medico potrebbe sviluppare col massimo vantaggio la sua attività, in un reparto che funzionasse in piena collaborazione coi vari reparti di cui si componga, ad esempio, un dipartimento di Medicina.

Il problema dell'inserimento del fisico medico nelle cliniche e negli ospedali sorge, ovviamente, dalla presenza della Fisica nel campo della Medicina con compiti che non si identificano affatto soltanto in prestazioni tecniche: è la Fisica che, come abbiamo visto essere accaduto per la Biologia, sta integrando la Medicina con un apporto che finisce col condizionarne lo sviluppo stesso, col conferirle un nuovo volto, con l'accelerarne il processo della trasformazione in una vera scienza largamente contribuendo a toglierle gradatamente i residui di un pericoloso empirismo. Il campo in cui il fisico medico sarà chiamato a svolgere la sua attività è vasto ed in continua espansione: mi limiterò a tracciare una breve casistica.

Il primo consistente accostamento del fisico alla Medicina pratica è avvenuto con la scoperta dei raggi X, che ha offerto al medico un sussidio insostituibile; ma la sporadica consulenza per la manovra o il perfezionamento di un'apparecchiatura radiologica si è gradatamente trasformata in una sempre più stretta collaborazione. Per lo studio della protezione dalle

radiazioni di qualunque natura esse siano e della dosimetria la partecipazione del fisico accanto al radiologo è indispensabile: la misura delle dosi terapeutiche, il miglioramento delle tecniche diagnostiche mirante ad una riduzione delle dosi sono questioni che dopo le recenti ed ormai precise segnalazioni circa i rischi derivanti dalla esposizione dell'organismo alla irradiazione rendono una tale collaborazione necessaria. Sempre nell'ambito della dosimetria la presenza del fisico sarà indispensabile in tutte le occasioni in cui l'uomo si espone alle radiazioni: occasioni che con l'aumento delle applicazioni dell'energia nucleare e degli isotopi radioattivi per scopi industriali rendono indispensabile la presenza del fisico a fianco dell'igienista e del medico del lavoro. Anche il medico si avvale sempre più dei radioisotopi per scopi scientifici, diagnostici e terapeutici: a proposito di quest'ultima applicazione serve ad esempio la perfusione di tumori con radioisotopi in dosi elevate, la cui determinazione è mansione del fisico. Ad esso va pure affidata la utilizzazione di complicate e costose apparecchiature quali il « Total body counter », che non possono essere create per un singolo reparto o istituto, devono svolgere invece prestazioni con personale proprio per intere Facoltà o dipartimenti o complessi ospitalieri: ciò anche, in particolare, per la corretta elaborazione dei dati.

Questi sono gli aspetti salienti e più noti dell'attività del fisico nell'ambito della medicina; per altri il suo impegno consiste nello sviluppo e nel perfezionamento dei mezzi che fanno parte ormai da tempo dell'armamentario medico, come le apparecchiature per la elettrocardiografia e la neurofisiologia; ma un maggiore impegno ed una più stretta collaborazione vengono quotidianamente richiesti. Egli dovrà progettare apparecchi fondati su principi fisici di cui appare utile l'applicazione alla medicina e alla chirurgia: il « Laser » ad esempio, l'utilizzazione degli ultrasuoni nella pratica diagnostica, nonché i trasduttori per la trasmissione a distanza di dati fisiologici, già impiegati per studiare lo sforzo degli atleti durante l'allenamento e il comportamento di funzioni varie degli astronauti durante il volo. Tutto ciò senza dire dell'impiego delle macchine calcolatrici, la cui utilizzazione a scopi diagnostici è già in atto; il cui uso però deve rispondere ai criteri di un servizio centralizzato affidato a personale specializzato. Lo sviluppo della Fisica medica dipenderà dalla misura in cui si svilupperà lo spirito di cooperazione fra il medico e il fisico, e sarà tanto più rapido e proficuo quanto più pronta sarà la percezione da parte del medico del beneficio che la sua opera trarrà dall'avvicinamento alla fisica. Un esempio è forse utile per dimostrare le molteplici possibilità di questo auspicato avvicinamento.

In un articolo pubblicato su « Science » nel maggio dello scorso anno è descritta una tecnica termografica fondata sulla utilizzazione dei raggi infrarossi per misurazioni della temperatura del corpo umano a scopi diagnostici <sup>(9)</sup>: non si tratta certo dell'ultima novità, ma solo della realizzazione di una apparecchiatura molto perfezionata e della precisa valutazione delle possibilità della sua utilizzazione. Il metodo si fonda sul fatto ben noto che ogni oggetto avente temperatura al di sopra dello zero assoluto emette raggi infrarossi che possono essere registrati convertendo la radiazione raccolta da uno specchio in un segnale elettrico che opportunamente amplificato serve a modulare l'intensità di una sorgente di raggi luminosi i quali giungono su un film in una camera fotografica. Il grado di annerimento della emulsione fotografica rende possibile una perfetta valutazione quantitativa della emissione di raggi infrarossi: a più intensa emissione, ossia ad oggetto più caldo, corrisponde una immagine più bianca. Realizzato l'apparato per la registrazione furono stabilite le caratteristiche della emissione di raggi infrarossi dal corpo umano: la cute si comporta nei riguardi di tali radiazioni comprese fra 13 e 15  $\mu$  come un « corpo nero » quasi perfetto, dotato cioè del massimo potere di emissione e minimo di assorbimento, indipendentemente dalla pigmentazione, la quale invece determina grandi differenze nell'assorbimento di radiazioni di lunghezza d'onda inferiore a 2  $\mu$ . Per evitare effetti spuri il detector termico (o thermistor) è connesso con una lente al germanio, che è totalmente opaca alle radiazioni fino a 1,8  $\mu$  e perfettamente trasparente per quelle fino a 15  $\mu$ : pertanto i termogrammi del corpo umano fatti con radiazioni comprese entro questa parte dello spettro sono in realtà accurate « mappe termiche » della cute. Poiché la temperatura reale della cute è in funzione del metabolismo, delle condizioni circolatorie superficiali e dei visceri, e di un certo numero di fattori esterni (evaporazione, convezione, ecc.) è chiaro che se questi ultimi sono mantenuti costanti il termogramma della superficie cutanea esprimerà con molta precisione il valore della temperatura (per il cui accertamento esistono pochissimi metodi accurati) in rapporto ai soli fattori corporei: ciò è di notevole interesse medico poiché in sostanza le variazioni della temperatura cutanea sono l'espressione di variazioni nella formazione o nella distribuzione locale del calore corporeo: questa ultima in funzione delle condizioni circolatorie tanto superficiali quanto profonde, relative cioè ai vari visceri. La termografia totale del corpo acquista pertanto valore diagnostico per le malattie

---

<sup>(9)</sup> Barnes R. B., Thermography of the human body; Science, 1963, 140, 870.

dell'apparato vascolare, per l'accertamento di lesioni viscerali di sospetta natura infiammatoria e per svariate altre condizioni patologiche.

Se un razionale sviluppo della medicina nei suoi aspetti applicativi comporta, come ho cercato di mettere in evidenza, una concreta partecipazione della Fisica, tale partecipazione non può avvenire senza il diretto intervento del fisico: di un fisico, tuttavia, che abbia acquisito quella particolare competenza che consenta di qualificarlo con la denominazione di fisico medico. Si tratta di vedere ora come si può ottenere una tale qualificazione. La via da seguire pare essere una sola: quella della istituzione di opportuni corsi post-laurea. E' evidente che tali corsi non possono svolgersi esclusivamente nell'ambito degli istituti di Fisica, ma prevalentemente negli istituti e nelle cliniche che fanno parte della Facoltà di Medicina; ma il problema si complica quando si consideri che nella attuale organizzazione delle Università italiane i corsi post-laurea si identificano nelle scuole di specializzazione le quali non hanno personale insegnante proprio — questo essendo lo stesso che svolge compiti didattici e di ricerca nell'ambito degli istituti delle varie Facoltà — e sulla capacità delle quali a fornire una reale qualificazione post-laurea molti dubbi sono stati sollevati. Adeguare le scuole di specializzazione attualmente esistenti alle nuove esigenze significherebbe fare ciò che è già stato fatto nei paesi ove l'evoluzione delle strutture universitarie resa necessaria dai loro accresciuti compiti è stata più pronta: significherebbe cioè la creazione di scuole post-laurea, la cui organizzazione trova probabilmente il massimo ostacolo nella difficoltà a superare schemi ormai non più corrispondenti alla mirabile espansione della scienza, che impone il parallelo espandersi delle strutture ove la scienza si fa, si insegna, si applica; nella difficoltà a superare interessi e privilegi e a rendersi conto che l'adattarsi e il favorire oggi il rinnovamento di ciò che ieri rispondeva a determinate necessità non è rinuncia ma segno di saggezza e di vitalità. Ma sarebbe prematuro e fuori luogo addentrarsi ora in una analisi dei provvedimenti per la formazione del fisico medico: per il momento, in attesa di misure che non potranno non far seguito ad un approfondito esame della situazione universitaria per quanto concerne gli insegnamenti post-laurea occorrerà preparare il fisico medico utilizzando lo strumento esistente, e cioè la scuola di specializzazione il cui rendimento dipenderà esclusivamente dallo spirito d'iniziativa e dal livello del personale insegnante. Se non si riuscirà a creare un fisico medico che, oltre alla piena conoscenza degli aspetti della Fisica che possono avere riferimento alla medicina e alla disponibilità per tradurli in pratica, sappia suscitare intorno a sè interessi, con-

centrare attività di gruppi, promuovere connessioni finora inesistenti non sarà raggiunto lo scopo della sua presenza nel mondo della Medicina, che non può essere limitata ad una prestazione di servizio tecnico.

#### **L'insegnamento della Fisica nelle Facoltà di Medicina alla luce delle nuove esigenze**

Se al riconoscimento della opportunità di una più attiva presenza del fisico a fianco del medico corrisponderà la creazione della figura del fisico medico occorre, anzi è indispensabile, che indipendentemente da ciò nel curriculum degli studi per la laurea in medicina l'insegnamento della Fisica sia fatto in modo da dare al futuro medico la visione di ciò che egli può chiedere alla Fisica e di come dovranno svolgersi i rapporti fra la Fisica e l'attività alla quale si dedicherà in seguito. Tuttavia questa impostazione parte dalla perdurante abitudine a considerare le « materie » — intese come categorie didattiche — come qualcosa che è permanente e immutabile: il che è erroneo. Le « materie » nelle quali è diviso l'insegnamento per giungere alla laurea non reggono più entro i loro confini tradizionali, e c'è da chiedersi se non abbiamo già di fronte a noi il problema di dimensionarle e distribuirle con criteri nuovi almeno per quanto concerne ciò che si insegna nel primo e nel secondo anno della Facoltà di Medicina. Questo interrogativo merita molto probabilmente una rapida risposta per quanto riguarda la Fisica: ma poiché non si può porre il carro davanti ai buoi bisogna cercare, in attesa di auspicabilissimi ridimensionamenti e ridistribuzioni, la maniera più opportuna di insegnare questa materia entro il quadro dell'attuale ordinamento didattico della Facoltà di Medicina, già gravemente sofferente da un lato per la necessità di tenere i programmi aggiornati e sviluppati proporzionalmente allo sviluppo delle singole discipline, il cui numero aumenta; dall'altro per la necessità di non appesantire i programmi stessi. Occorrerà anzitutto aiutare lo studente, che spesso è portato a considerare la Fisica — insieme alla Biologia e alla Chimica — non già nel suo valore propedeutico fondamentale ma piuttosto come un complemento culturale più o meno superfluo, a rendersi consapevole del valore dell'apporto metodologico che lo studio di questa materia gli offre per tutta la sua successiva esperienza di studente e di medico; occorrerà poi orientarne decisamente l'insegnamento verso quegli aspetti che hanno maggiore riferimento ai successivi insegnamenti di materie propriamente mediche. A questo punto non è possibile esimersi dal considerare i nuovi compiti che la scoperta dell'energia atomica ha imposto al medico, ed ai quali egli non

potrà pienamente adempiere senza una adeguata preparazione e senza la collaborazione del fisico.

La Medicina nell'era atomica non può ignorare che un importante capitolo della patologia — gli effetti delle radiazioni sull'organismo — aperto con la scoperta dei raggi X spazia ora su ben più vasto orizzonte: le conoscenze sul meccanismo patogenetico delle lesioni prodotte dalle radiazioni sono scarse ed imprecise, col progredire delle applicazioni dell'energia atomica per scopi tecnici ed industriali il rischio derivante dalla esposizione alle radiazioni è destinato ad aumentare, le ricerche dirette a risolvere i problemi della protezione debbono pertanto essere intensificate. Tutto ciò, insieme alla utilizzazione dei radioisotopi a scopo diagnostico o terapeutico, costituisce quell'insieme di attività che va sotto la denominazione molto impropria ma purtroppo ormai entrata nell'uso comune, di Medicina nucleare. Come avviare il futuro medico alla Medicina nucleare, entro quali limiti fornirgli le necessarie nozioni di Fisica e presentargli i fondamentali aspetti della Radiobiologia e dei fenomeni morbosi provocati dalle radiazioni? Il problema è di tale rilievo che l'Organizzazione Mondiale della Sanità ritenne opportuno già nel gennaio 1958 riunire un apposito Comitato di esperti allo scopo di « ricercare i mezzi e i metodi per introdurre nel corso degli studi per la laurea in Medicina l'insegnamento delle teorie e delle applicazioni mediche delle radiazioni ionizzanti in una maniera più comprensiva e coordinata che non in passato » in vista del « largo ambito dei problemi medici e paramedici che possono essere considerati come appartenenti alla Medicina delle radiazioni ». Dalla relazione elaborata da tale Comitato <sup>(10)</sup> traspare chiara da un lato la constatazione che le poche notizie fornite oggi agli studenti sugli effetti patogeni delle radiazioni ionizzanti non sono più sufficienti per il medico dell'era atomica; dall'altro la preoccupazione di inserire nuovi insegnamenti o di ampliare quelli già esistenti in un curriculum di studi già molto pesante quale è quello attuale. Le indicazioni che l'analisi compiuta dal Comitato suggerisce possono riassumersi così:

a) nell'insegnamento della Fisica agli studenti di medicina dovrà essere rivolta maggiore attenzione ai fenomeni elettrici e alla fisica delle radiazioni;

b) mentre l'esperienza pratica, indispensabile nell'insegnamento di qualsiasi parte delle scienze naturali, era facile a realizzarsi nell'ambito e col personale dei laboratori universitari

---

<sup>(10)</sup> Introduction of Radiation Medicine into the undergraduate medical curriculum; World Health Organization, Technical Report Series, N. 155, Ginevra, 1958.

tradizionali, tale esperienza a livello della fisica delle radiazioni comporta problemi di organizzazione e di equipaggiamento di assai difficile realizzazione finché persisterà la presente situazione nella struttura dei laboratori di fisica, nei rapporti fra tali laboratori e le Facoltà di Medicina, nei riguardi del personale disponibile per tale tipo di attività didattica;

c) i fatti fondamentali concernenti le interazioni dei vari tipi di radiazioni ionizzanti con la materia vivente, l'analisi dei quali è essenziale per una esatta comprensione dei problemi relativi alla « dose » dovranno essere illustrati dal fisico in stretta collaborazione con il biologo, il genetista, il chimico, il biochimico.

Dopo tali premesse il Comitato ha indicato molto opportunamente i temi che dovrebbero essere sviluppati nel corso di Fisica durante il periodo preclinico degli studi e nei vari corsi successivi.

Nel corso di Fisica:

a) natura delle radiazioni e loro rapporti con la struttura della materia;

b) effetti fisici, chimici, biologici delle radiazioni;

c) strumenti per la rilevazione e la misura delle radiazioni;

d) sorgenti naturali delle radiazioni;

e) sorgenti artificiali delle radiazioni (strumenti emittenti, isotopi radioattivi);

f) proprietà chimiche di alcuni elementi aventi importanti isotopi radioattivi (germanio, rubidio, stronzio, cesio);

g) principali applicazioni delle radiazioni in Biologia e in Medicina;

h) i pericoli derivanti dalle radiazioni: la protezione.

Nei vari corsi preclinici e clinici lo studente deve essere informato sugli effetti patologici delle radiazioni: alterazioni dei tessuti, possibili conseguenze dell'irradiazione locale prolungata, dell'irradiazione totale e dell'« avvelenamento » con radioelementi come lo stronzio 90; sugli effetti genetici; sugli aspetti clinici dell'esposizione ad altissime dosi di radiazioni per esplosioni nucleari o per accidenti nel funzionamento dei reattori nucleari; sugli aspetti clinici e radiologici del crescente impiego dell'irradiazione con raggi X e con radioisotopi, al fine di richiamare l'attenzione sull'aumento dei rischi derivanti dall'applicazione inappropriata di tali mezzi diagnostici e terapeutici specialmente nei ragazzi, nei giovani, nelle gestanti. Nella relazione si accenna ripetutamente alla necessità che tali insegnamenti, dei quali il peso preponderante sarà sopportato dal radiologo, si svolgano in forma integrata, risultino cioè



dalla stretta cooperazione dei docenti di quelle discipline, siano esse biologiche o cliniche, che abbiano riferimento con la Medicina nucleare.

Ho cercato di prendere in esame i vari aspetti sotto i quali si presentano e dovrebbero svilupparsi i rapporti fra la Fisica e la Biologia e la Medicina. Un'ultima considerazione. La Fisica, come rileva il Feynman <sup>(11)</sup>, è oggi l'equivalente di ciò che si usò chiamare Filosofia naturale, dalla quale sono nate le scienze moderne: se pertanto consideriamo la Fisica come la scienza fondamentale dalla quale tutte le altre traggono origine ed alimento, ispirandosi ai principi che essa scopre e al metodo che essa persegue, l'avvicinarsi del medico ad essa non può non renderlo più sensibile alla esigenza di una impostazione rigorosamente scientifica dei suoi problemi. Non soltanto dall'apporto di cognizioni, di strumenti, di tecniche, ma anche dall'apporto metodologico offertogli dalla Fisica egli trarrà vantaggio accelerando il cammino che la Medicina già compie a ritmo veloce per diventare sempre meno arte e sempre più scienza.

Questa considerazione si ispira al pensiero, certamente velato di leggera ironia ma non per questo meno preciso e meno attuale, espresso da Claude Bernard nella sua « Introduzione alla Medicina sperimentale ». Nell'affermare che la Medicina sperimentale, che è sinonimo di Medicina scientifica, può essere creata soltanto diffondendo sempre più lo spirito scientifico tra i medici, egli concludeva dicendo che questa era anche la convinzione di Laplace, matematico e geometra, autore della « Esposizione del Sistema del Mondo »: Laplace infatti, a chi gli aveva domandato come mai, non essendo la Medicina una scienza egli aveva proposto di ammettere i medici nella Académie des Sciences, rispose: per portare i medici fra gli uomini di scienza.

Anche il medico, se vuol essere veramente uomo di scienza, ai canoni rigorosi della scienza deve sottomettersi e sentirsi figlio della Fisica madre e maestra di tutte le scienze: seguire l'esempio di Francesco Redi naturalista medico e poeta, che scrisse: « Ogni giorno più mi vado confermando nel mio proposito di non voler dar fede nelle cose naturali se non a quello che con gli occhi miei vedo e se dall'iterata e reiterata esperienza non mi venga confermato: imperocché sempre più m'accorgo che difficilissima cosa è lo spiare la verità ». Dal fisico, dalle sue macchine sempre più complicate, dal suo pensiero, dal suo modo di lavorare anche il medico ha da imparare, per meglio compiere quella difficilissima cosa che è lo spiare la verità dell'uomo malato.

---

(11) Feynman R. P., Lectures on Physics; Addison-Wesley, London, 1963.

**(PAGINA VUOTA NEL TESTO ORIGINALE)**

**Argomento precedente**



**Indice**

**Argomento successivo**

