

RICORDI DI ATTIVITÀ SVOLTE NEL LABORATORIO DI FISICA DELL'ISS

Guido Missoni

Il Laboratorio di Fisica dell'ISS, negli anni in cui fu diretto da Mario Ageno, pur mirando a una rapida crescita delle attività di ricerca in nuove direzioni, non poteva non espandere le capacità tecniche e professionali anche nel settore connesso all'uso in medicina delle radiazioni ionizzanti, compito specifico del precedente Ufficio del Radio. In questo settore il Laboratorio di Fisica aveva la responsabilità di fornire competenze e capacità di intervento a livello nazionale, su richiesta delle autorità sanitarie competenti, consistenti sostanzialmente nella capacità di rilevare, misurare e dare istruzioni per il controllo di tutti i tipi di radiazioni ionizzanti impiegate per usi civili: questo compito istituzionale, affidato al Reparto Raggi X, comportava diverse attività. Prima fra queste fu l'approntamento di una completa attrezzatura dosimetrica, consistente nella costruzione e messa a punto di standard primari, cioè di quegli strumenti che permettono la misura diretta della radiazione ionizzante in accordo con le definizioni delle fondamentali grandezze dosimetriche internazionalmente accettate e che permettono la successiva calibrazione degli apparati impiegati sul campo. Lo standard realizzato nel laboratorio, una camera a ionizzazione ad aria libera, era destinato alla dosimetria di radiazioni elettromagnetiche di energia compresa fra 50 keV e 300 keV, quelle più comunemente impiegate nella diagnostica e terapia medica con raggi X. Costruita su progetto di Mario Chiozzotto, la camera venne sottoposta a una accurata serie di prove, di accertamenti e controlli dei numerosi parametri che influenzano il risultato delle misure, per dare infine il valore misurato della dose che, per uno standard primario, non deve ammettere errori maggiori dello 0,5% (1, 2). La richiesta di rilevazioni e controlli di campi di radiazione, in particolare da apparati a raggi X e apparati conte-

nenti notevoli quantità di sorgenti artificiali di raggi gamma (^{60}Co e ^{137}Cs) per uso medico, così come la distribuzione, la taratura, il controllo di ermeticità di preparati di radio (capsule generalmente di platino-iridio contenenti sali di radio) e il recupero di quelli vecchi, ancora in dotazione di alcuni ospedali, costituivano l'impegno nel settore delle radiazioni ionizzanti cui erano assegnati, di volta in volta, diversi componenti del Laboratorio. Non fu raro imbattersi in studi di radiologia in cui la procedura e le protezioni adottate per ottenere "le lastre" erano tali da impartire massicce e inutili dosi di radiazione ai pazienti e, soprattutto, agli operatori. L'esperienza così raccolta sul campo portò alla stesura di relazioni nelle quali era illustrato il rischio per gli operatori e per la popolazione derivante dall'uso medico degli apparati a raggi X e la necessità di appropriate norme di protezione secondo le raccomandazioni della Commissione Internazionale per le Protezioni Radiologiche (International Commission on Radiological Protection, ICRP) (3, 4).

La necessità di rilevare e controllare radiazioni ionizzanti si presentò anche in numerose altre circostanze, molto diverse da quelle sopra considerate.

Un primo caso si presentò nel 1963 quando, dopo il crollo della sovrastante montagna nell'invaso della diga del Vajont, che a valle distrusse Lavarone e causò migliaia di morti, si rese necessario verificare la possibilità di scaricare senza danni le acque rimaste nell'invaso. Poiché le condotte erano inaccessibili, o distrutte, e tutti gli altri mezzi normalmente impiegati per tracciare il percorso di acque sotterranee, quali i coloranti, non avevano dato risultati, si pensò di impiegare un tracciante radioattivo. Il Laboratorio optò per l'uso di acqua contenente trizio, isotopo radioattivo dell'idrogeno, e si attrezzò con specifici sistemi per la misura della debole attività dei campioni d'acqua, contenenti questo tracciante, che potevano essere raccolti a valle delle immissioni fatte a monte (5).

Questa stessa procedura fu impiegata a Trieste, nel 1965, per cercare di individuare il percorso sotterraneo del fiume Timavo, le cui acque erano essenziali per le necessità idriche della città, ma contestate dalla vicina Jugoslavia.

Un altro caso si ebbe quando, negli anni 1961-1963, si verificò il fenomeno del fall-out radioattivo in conseguenza dei numerosi test di armi nucleari con esplosioni nell'atmosfera, in quanto le ricadute

di pulviscolo radioattivo tramite il cibo, l'acqua e l'aria inalata possono portare la radioattività fino all'uomo. Per avere dati controllati su tale fenomeno fu montato sul tetto dell'ISS un impianto che permetteva di raccogliere su filtri il particolato presente, in quantità misurate di aria atmosferica, a definite condizioni di pressione e temperatura. Con questo dispositivo fu possibile individuare la radioattività, sia beta che gamma, delle particelle di pulviscolo trasportate sia dall'aria che dalla pioggia e individuare i numerosi radionuclidi presenti nel fall-out, anche a notevole distanza di spazio e di tempo dalle esplosioni (6, 7).

Il Laboratorio di Fisica dell'ISS già negli anni 1959-1960 aveva stabilito con il National Bureau of Standards (NBS) degli USA uno scambio di informazioni e prospettive di ricerca in fisica atomica e protezione dalle radiazioni. Il NBS era all'epoca un grande dipartimento tecnico-scientifico, dotato di laboratori attivi in ricerche di varia natura, incaricato fra l'altro di fornire conoscenze e normative in radiologia e fisica delle radiazioni. Questo rapporto era sorto dal fatto che Ugo Fano – illustre fisico italiano emigrato negli USA a causa delle leggi razziali, e al quale si devono brillanti e permanenti contributi alla fisica atomica e molecolare, alla teoria quantistica dei momenti angolari e alla radiobiologia – negli anni 1950-60 era a capo delle attività di fisica teorica del NBS e manteneva personali e costanti contatti scientifici con i suoi colleghi in Italia, in particolare a Roma, con Edoardo Amaldi e Mario Ageno. Per il suo tramite, J.W. Motz, *on leave* per un anno dal NBS, venne invitato a svolgere attività di ricerca nel Laboratorio di Fisica dell'ISS. Egli propose lo studio del processo di interazione di radiazioni di energia relativamente alta, raggi gamma di alcune centinaia di kiloelettronvolt, con gli elettroni fortemente legati in atomi pesanti. Questo processo è sostanzialmente diverso da quello (detto effetto Compton) che avviene quando gli elettroni in atomi leggeri sono legati con energie molto minori di quella della radiazione incidente e l'interazione avviene direttamente, senza coinvolgere il nucleo. Viceversa, nel caso di elettroni degli strati profondi K ed L di atomi come, per esempio, l'oro, la forte energia di legame coinvolge il nucleo nella dinamica con cui si svolge l'interazione con la radiazione e c'è quindi da aspettarsi una diversa dipendenza del processo dai parametri che lo definiscono. Accettata la proposta, fu rapidamente proget-

tato e realizzato un dispositivo che permise un ampio e accurato studio della diffusione di raggi gamma da 660 keV su bersagli di vari elementi (Al, Sn, Au) i cui risultati mostrarono effettivamente le diverse caratteristiche del processo e ne permisero la valutazione quantitativa, cioè il calcolo della sezione d'urto del processo (8). Lo studio del processo continuò per ottenere una più approfondita conoscenza del processo con la misura della diffusione da elettroni K dello zinco e dell'uranio e da quelli dello strato L dell'oro e dell'uranio. Queste ulteriori misure, insieme a quelle di alcuni rendimenti di fluorescenza fatte con lo stesso apparato, furono oggetto della tesi di laurea di Maria Antonietta Di Lazzaro, borsista del Laboratorio di Fisica. Successivamente l'insieme dei dati raccolti fu sottoposto a un'accurata analisi che permise la valutazione di tutti gli altri processi concorrenti con quello studiato e spinse all'elaborazione di un calcolo della sezione d'urto su elettroni legati mai prima effettuato, tenendo conto del campo coulombiano del nucleo e della velocità relativistica degli elettroni. Questo complesso calcolo diede risultati in ottimo accordo con i dati sperimentali, fornendo quindi una visione completa del processo preso in esame (9-12).

In contemporanea con l'inizio della direzione di Ageno del Laboratorio di Fisica venne a compimento una grande realizzazione della fisica italiana: l'elettrosincrotrone, costruito presso i Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) dall'INFN, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Questa macchina poteva accelerare elettroni fino a energie di oltre un miliardo di elettronvolt ed era stata progettata e realizzata per studiare le reazioni nucleari in cui intervengono le "particelle elementari". All'epoca, i LNF erano un centro di prim'ordine per tali ricerche di "alta energia", cui parteciparono anche ricercatori del Laboratorio di Fisica dell'ISS.

Un aspetto caratteristico del funzionamento di macchine acceleratrici come l'elettrosincrotrone risiede nel fatto che gli elettroni accelerati percorrono orbite circolari e perdono energia emettendo radiazione elettromagnetica. Tale radiazione si presenta sotto forma di un fascio molto collimato nella direzione di moto degli elettroni con uno spettro continuo di energie che, nel caso della macchina di Frascati, si estendeva dal visibile fino ai raggi X molli (1,2 keV). Una tale sorgente ha sostanziali punti di vantaggio su tutte le sorgenti convenzionali impiegate per le ricerche di fisica, chimica e biologia.

Tuttavia, la tensione della ricerca nei LNF era polarizzata nella direzione delle alte energie e nessuno si interessava alla “radiazione di sincrotrone”. Ritengo che a risvegliare l’interesse per l’uso di questa nuova sorgente e per le possibili linee di ricerca con essa fattibili fu ancora una volta Ugo Fano, che era stato fra i promotori della ricerca iniziata al NBS con la radiazione di sincrotrone ottenuta con una macchina da 180 MeV che aveva già dato interessanti risultati sui processi di autoionizzazione in elio. La radiazione prodotta dal sincrotrone di Frascati era, all’epoca, certamente quella di massima intensità e ampiezza spettrale disponibile. Naturalmente questa nuova sorgente di radiazioni era solo una attraente potenzialità che doveva essere preliminarmente caratterizzata e resa agibile per future ricerche sulla base di opportune competenze teoriche e sperimentali. Il programma di valorizzazione della radiazione di sincrotrone ai LNF fu affidato al Laboratorio di Fisica dell’ISS, che presentò un primo programma di ricerca esplorativo al “Congressino” dei LNF del febbraio 1962, una riunione che si teneva annualmente in quella sede (13, 14). In quella occasione venne detto fin dall’inizio che il lavoro si sarebbe svolto in collaborazione con i ricercatori del Laboratoire de Chimie-Physique dell’Università di Parigi, diretto da Yvette Chauchois. Questo gruppo francese svolgeva un ampio spettro di ricerche di fisica e chimica con l’impiego di tecniche di spettroscopia, dall’ultravioletto ai raggi X, e poteva quindi offrire molte effettive competenze e attrezzature in questo campo ed era molto motivato all’uso della nuova sorgente di radiazione.

Il programma prevedeva, da prima, l’estrazione di un fascio di radiazione dalla ciambella del sincrotrone, determinandone le caratteristiche di intensità, anche rispetto al livello di fondo, dato che la postazione di lavoro si trovava all’interno delle schermature, rilevando la posizione e dimensione della sorgente dovuta agli elettroni radianti durante il ciclo di accelerazione, la polarizzazione e le tecniche di sincronizzazione e monitoraggio. Seguiva poi un elenco di linee di ricerca in fisica atomica, fisica molecolare, fisica dello stato solido e biofisica che l’impiego del fascio così ottenuto avrebbe reso possibili. Contemporaneamente il gruppo francese si occupava della progettazione e costruzione degli spettrometri necessari per l’analisi del fascio e per l’esecuzione delle misure richieste per le esperienze in progetto.

La collaborazione menzionata nel documento presentato al Congresso era stata definita in un precedente incontro con Yvette Cauchois e i suoi assistenti, Christiane Bonnelle e Pierre Jaeglé, avvenuto a Roma verso la fine del 1961. Nonostante la totale estraneità del programma agli obiettivi propri dei LNF, questo fu accettato e, per l'utilizzo della radiazione di sincrotrone, fu costituito il gruppo "Sanità Luce", accreditato per avere accesso alla macchina e i cui lavori cominciarono all'incirca nel 1962. Fu così che il Laboratorio di Fisica dell'ISS fu attore delle prime sperimentazioni con radiazione di sincrotrone condotte in Europa. Furono montate delle finestre per l'estrazione del fascio, di cui furono eseguite numerose caratterizzazioni e particolarmente emozionante fu la prima ripresa fotografica della sorgente apparente costituita dai pacchetti di elettroni circolanti nella macchina (15). Appena disponibili, furono montati e provati gli spettrometri a cristallo di Yvette Cauchois e a reticolo di Pierre Jaeglé (16). Con i primi furono fatte le misure tendenti a sondare la possibilità di impiego di tali apparecchi con la nuova sorgente (17, 18). Entrambi i risultati mostrarono la fattibilità e la convenienza dell'uso di tali apparecchi con la nuova sorgente. Le ricerche con lo spettrometro a reticolo furono impostate da Jaeglé che poteva giovare, oltre che della sua competenza, anche di quella dei teorici del Laboratoire de Chimie-Physique dell'Università di Parigi (Yvonne Héno e Françoise Combet-Farnoux). Sfruttando la grande intensità del fascio furono eseguite estese misure dei coefficienti di assorbimento di atomi pesanti mettendo in evidenza inattese e grandi variazioni della sezione d'urto di fotoionizzazione nelle loro shell esterne (19, 20). Questi primi risultati furono ottenuti nelle condizioni di lavoro descritte da Pierre Jaeglé nella sua nota storica *The first use of synchrotron radiation in Europe*: "... space available was scarcely more than three cubic meters, separated from the huge synchrotron hall by a large heavy fireproof black plastic sheet that was our soft X rays laboratory. Inside, at 40 °C, our apparatus was so close to the machine that had to be moved during maintenance operation. The only fixed point and the only guarantee that the laboratory could recover its place was the valve at the end of an araldite pipe" (nella frase, il termine "laboratory" voleva indicare la postazione di lavoro con le connesse apparecchiature).

Lo studio dell'assorbimento di raggi X di bassa energia nei livelli atomici esterni in metalli pesanti fu portato avanti, nell'ambito della collaborazione con i ricercatori francesi, anche da due altri ricercatori del Laboratorio di Fisica, Marta Cremonese e Giuseppe (per tutti Beppe) Onori.

Successivamente, furono avviate con ricercatori dell'Università di Roma altre importanti collaborazioni per migliorare l'utilizzazione della radiazione del sincrotrone di Frascati e furono accese nuove linee di ricerca in fisica dello stato solido (23, 24).

Infine, verso la metà degli anni '70 del secolo scorso il sincrotrone di Frascati fu chiuso e smantellato per far posto a un nuovo e più avanzato tipo di macchina acceleratrice (Adone), che fu il prototipo dei grandi anelli di collisione oggi operativi ad energie molto più grandi, per esempio al CERN di Ginevra. Tuttavia, la radiazione di sincrotrone aveva ormai dimostrato la sua grande capacità di sostenere molte linee di ricerca (25) talché, in tutto il mondo, sono stati progettati e sono operanti sincrotroni corredati di tutte le attrezzature necessarie e dedicati unicamente alla produzione e utilizzazione di tale radiazione.

Bibliografia

1. G. Missoni, L. Pugliani. Il funzionamento della camera a ionizzazione ad aria libera dell'Istituto Superiore di Sanità. *Ann Ist Super Sanità* 1966;2:731-752.
2. A.L. Bartoli, G. Missoni. Precision measurement with the free air ionization chamber of the ISS. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1966. (Rapporti dei Laboratori di Fisica 64/30), anche pubblicato su *Acta Imeko* 1964;509-515.
3. G. Missoni. *Criteri generali di sicurezza nella costruzione e installazione di impianti di telecurieterapia (Edizione provvisoria)*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1962. (Rapporti dei Laboratori di Fisica 62/20).
4. G. Missoni. *La protezione dalle radiazioni negli impianti a raggi X per uso medico*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1966. (Rapporti dei Laboratori di Fisica 66/16).
5. *Relazione sulla missione compiuta a Trieste e Belluno in rapporto all'immissione di Tritio nelle acque del bacino del Vajont*. Relazione al Ministero della Sanità n. 5, 31 marzo 1964.
6. G. Missoni. *Rilevazioni e misure sulla contaminazione radioattiva dell'atmosfera eseguite presso la stazione di controllo dell'Istituto Superiore di Sanità, settembre 1961- giugno 1962*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1962. (Rapporti dei Laboratori di Fisica 62/39).

7. G. Missoni. La stazione per il controllo della contaminazione dell'aria dell'ISS. *Ann Ist Super Sanità* 1965;1:387-405.
8. J.W. Motze, G. Missoni. Compton scattering by K-shell electrons. *Phys Rev* 1961;124(5).
9. M.A. Di Lazzaro, G. Missoni. *Coherent and incoherent scattering cross sections of 662 keV gamma-rays on K and L electrons of gold and uranium-I*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1963. (Rapporti dei Laboratori di Fisica 63/7).
10. M.A. Di Lazzaro, G. Missoni. *Coherent and incoherent scattering cross sections of 662 keV gamma-rays on K and L electrons of gold and uranium-II*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1963. (Rapporti dei Laboratori di Fisica 63/8).
11. M.A. Di Lazzaro, G. Missoni. *The spectral distribution of photons scattered by electrons bound in the K shells, I, II e III*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1966. (Rapporti dei Laboratori di Fisica 66/6-8).
12. M.A. Di Lazzaro, G. Missoni. *The L fluorescence yields of gold and uranium*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1965. (Rapporti dei Laboratori di Fisica 65/11).
13. M. Ageno, G. Missoni. Programma di ricerca con la "luce" del sincrotrone di Frascati. In: *Relazioni presentate al Congressino dei Laboratori Nazionali di Frascati* (7-9 febbraio 1962).
14. Rapporto del Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare. Laboratori Nazionali di Frascati (LNF 62/9) (VR-5), p. 33, 7 febbraio 1962 e Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1962. (Rapporti dei Laboratori di Fisica 62/7).
15. G. Missoni, A. Ruggiero. Caratteristiche della radiazione di sincrotrone a 1000 MeV. *Rendiconti dell'Accademia Nazionale del Lincei, Classe Sc. Fis. Mat. e Nat.*, Serie VIII, 1965;38:677-685.
16. Jaeglé, P. Spectrographe à réseau pour l'étude et l'utilisation du rayonnement d'orbite du synchrotron de Frascati dans la région de 20 Å à 500 Å. *Atti dell'Accademia Nazionale del Lincei, Classe Sc. Fis. Mat. e Nat.*, Serie IX, 1966;11:258-259.
17. Y. Cauchois, C. Bonnelle, G. Missoni. Premiers spectres X du rayonnement d'orbite du synchrotron de Frascati. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 1963;257:409-412.
18. Nouvelles observations de spectres X avec le rayonnement d'orbite du synchrotron de Frascati. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 1963;257:1242-1244.
19. P. Jaeglé, G. Missoni. Coefficient d'absorption massique de l'or dans la région de longueur d'onde de 26 a 120 Å. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 262 Série B: 1966;71-74.
20. P. Jaeglé, G. Missoni, P. Dhez. Study of the absorption of ultrasoft X rays by bismuth and lead using the orbit radiation of the Frascati synchrotron. *Phys Rev Lett* 1967;19:57.
21. P. Jaeglé, F. Combet-Farnoux, P. Dhez, M. Cremonese, G. Onori. Experimental and theoretical study of the absorption of ultra-soft X-rays in platinum and tantalum. *Phys Lett A* 1968;26:364.

22. M. Cremonese, G. Onori. Experimental and theoretical study of the absorption of ultra soft X rays in some heavy elements. *Phys Rev* 1969;188:30.
23. A. Balzarotti, M. Piacentini, M. Grandolfo. Measurement of spectral distribution of the Frascati electron synchrotron in the 80÷1200 Å region. *Lettere al Nuovo Cimento Serie I* 1970;3:15-18.
24. A. Balzarotti, A. Bianconi, E. Burattini M. Piacentini. *Instrumental aspect of a synchrotron radiation facility*. Frascati, CNEN/LNF. (Internal report CNEN-LNF-7/32). pp. 25.
25. A. Mottana, A. Marcelli. *Fifty years since the first synchrotron radiation-derived XAFS spectrum*. Frascati; 1963. (Rapporto INFN-13-05/LNF, 16th April 2013).