

L'APPARECCHIO RADIOLOGICO MOBILE TIPO FERRERO DI CAVALLERLEONE ESPOSTO AL MUSEO STORICO ITALIANO DELLA GUERRA DI ROVERETO.

Versione riveduta ed adattata di un articolo pubblicato sugli Annali del Museo Storico Italiano della Guerra (n.12/13 – 2004/2005, pp.177,196)

A cura di M. Reggio

PREMESSA

Sebbene non sia consueto in un articolo di carattere tecnico-scientifico, ritengo utile iniziare questo lavoro con una premessa di carattere personale. Molti anni fa, quando ero ancora studente di liceo, avevo ammirato questo apparecchio radiologico in una vetrina allestita appositamente presso il Museo Storico Italiano della Guerra di Rovereto, ed ero rimasto colpito dalla sua rara integrità e dalla completezza dei suoi accessori. Sull'onda di quel ricordo, molto più recentemente, forte della mia qualifica di Fisico Sanitario, ho chiesto al curatore del Museo di poterlo esaminare da vicino, con l'intenzione di studiarne e descriverne il funzionamento. Con grande piacere ho avuto la piena disponibilità ad accedere all'apparecchio in un giorno di chiusura del Museo, per poterlo fotografare da vicino, avendo persino la collaborazione di un tecnico del Museo stesso, e l'autorizzazione a smontarne alcune componenti per poterlo meglio analizzare in tutti i dettagli. Con altrettanto grande sorpresa ed interesse mi sono reso conto che in quel momento le mie nozioni in materia di apparecchi radiologici non erano in grado di chiarirmi numerosi aspetti del suo funzionamento. Di qui la necessità di uno studio approfondito sulle apparecchiature radiologiche di quell'epoca, e il desiderio di documentare i risultati delle mie ricerche; le immagini ed alcune note storiche, raccolte in una presentazione su CD, fungeranno poi da spunto per la realizzazione del Museo virtuale dell'AIFM su internet.

INTRODUZIONE

Questo impianto radiologico può ben definirsi raro, se non unico, sia per la particolarità del progetto, studiato per consentirne il trasporto a dorso di mulo, sia per la quasi

totale integrità dei numerosi elementi che lo compongono e dei relativi accessori a corredo. Tutti gli elementi, compresa la camera oscura, costituita da una tenda militare internamente rivestita da un telo nero a tenuta di luce, sono riponibili in bell'ordine in sei casse di legno appositamente costruite, ciascuna dotata di un corrispondente elenco di inventario incollato sul coperchio. Su ciascuna etichetta la scritta: "Emilio Balzarini, Milano ... Fabbrica di Apparecchi Elettro - Medico - Chirurgici ... APPARECCHIO RADIOGRAFICO PORTATILE tipo FERRERO DI CAVALLERLEONE ADOTTATO DAL REGIO ESERCITO ITALIANO".

Una caratteristica particolare di questo impianto è che tutti i componenti di cui sia nota l'origine (e non c'è motivo di credere che ciò non valga per ogni altro singolo elemento), compresi i prodotti di consumo, lastre radiografiche e sostanze chimiche, sono di produzione italiana. In particolare, sia la ditta Balzarini che la Cappelli, produttrice delle lastre radiografiche, erano di Milano. Oggi questi marchi sono scomparsi e praticamente sconosciuti, ma in quell'epoca erano noti anche a livello europeo per la qualità dei loro prodotti. Il tubo radiologico è privo di qualsiasi contrassegno o numero identificativo, ma supponendo che sia anch'esso di produzione italiana, potrebbe essere stato fabbricato o dalle Officine Galileo o forse anche da una ditta minore, la Cavallo di Torino, che risulta presente al primo congresso della Società Italiana di Radiologia Medica (SIRM), tenutosi a Milano nel 1913⁽¹⁾, in qualità di fabbricante di tubi radiologici.

Probabilmente proprio grazie al suo meticoloso progetto costruttivo, questo apparecchio radiologico è giunto fino ai giorni nostri

praticamente completo dei suoi accessori e in ottimo stato di conservazione, magari pronto ad essere rimesso in funzione.

ALLE ORIGINI DELLA RADIOLOGIA MILITARE

Per ricordare l'evolversi tumultuoso dei fatti che seguirono la scoperta dei raggi X, vale la pena di ricostruire una cronologia minima degli eventi che si succedettero in quel tempo.

Il giorno 8 di novembre del 1895, Wilhelm Conrad Röntgen, mentre sta conducendo ricerche sulla fisica delle scariche elettriche nei gas, utilizzando un tubo a gas residuo di Crookes, scopre gli effetti sorprendenti e misteriosi di un nuovo tipo di raggi, che egli chiamerà "X" dal tipico nome dell'incognita in matematica. Dopo una serie di prove e di indagini, Röntgen si renderà conto non solo di aver effettuato una scoperta affascinante, ma intuirà subito la sua enorme potenzialità in ambito medico. Farà infatti la prima presentazione ufficiale della sua scoperta il 28 dicembre 1895 con un rapporto preliminare al presidente della Società di Fisica Medica di Wurzburg (presso la cui Università aveva una cattedra per l'insegnamento della Fisica) allegando alla relazione la ormai storica radiografia della mano di sua moglie Bertha. Il giorno di capodanno 1896 invierà una relazione scritta anche all'estero, a numerosi colleghi. Il 5 gennaio la notizia della scoperta, oltrepassati i confini della Germania e dell'ambito accademico, esce su un giornale di Vienna, il "*Neue Freie Presse*". Di qui, tramite il telegrafo, la notizia rimbalza in tutto il mondo creando enorme scalpore ed entusiasmo anche tra la stampa più popolare, pur con qualche segno di diffidenza e scetticismo. Quando uscirà la prima pubblicazione ufficiale di Röntgen sul nuovo tipo di raggi, il 28 gennaio 1896, il mondo intero è già pervaso da una febbre frenetica sui possibili impieghi di questo nuovo tipo di raggi, in grado di rendere "trasparenti" le strutture interne del corpo umano intatto, e di rivelare oggetti nascosti alla vista, situati all'interno di corpi opachi. Alcune radiografie conservate presso il Museo della Storia della Fisica dell'Università di Padova portano la data "16-18 gennaio 1896" e sono addirittura firmate col nome dell'autore, Giuseppe Vicentini, a testimonianza della meraviglia suscitata dalla nuova scoperta e della consapevolezza che si stava aprendo una nuova era scientifica. La

velocità con cui in tutto il mondo si sperimentano e si applicano i nuovi raggi testimonia che la tecnologia per produrli era ampiamente disponibile nei laboratori di Fisica di tutto il mondo di allora.

Come è noto, per la sua scoperta Röntgen riceverà nel 1901 il primo premio Nobel per la Fisica, ma forse non si sottolinea mai abbastanza che egli non sfrutterà mai la sua invenzione sul piano economico, né la proteggerà con alcuna forma di brevetto, con la convinzione che essa fosse patrimonio della intera umanità.

Naturalmente le potenzialità dei raggi X non sfuggirono all'ambiente militare Prussiano, che cominciò subito a studiarne le possibili applicazioni. Tuttavia è formalmente riconosciuto che noi italiani fummo i primi ad utilizzare esami radiologici in ambito militare⁽²⁾⁽³⁾. Il 1 marzo 1896, durante la guerra in Abissinia, le truppe italiane subirono ad Adua una disastrosa sconfitta, ed i feriti che potevano essere trasportati furono inviati per mare all'Ospedale Militare di Napoli. Nel mese di maggio, a soli sei mesi dalla scoperta dei raggi X, il tenente colonnello medico Giuseppe Alvaro, dell'Ospedale Militare, coadiuvato dal chirurgo De Gaetano, eseguì alcune radiografie su due militari feriti nel corso della battaglia di Adua, riuscendo a localizzare ed a rimuovere con successo alcuni proiettili che non era stato possibile individuare in alcun altro modo. Alvaro non si limitò ad effettuare le radiografie: ne fece oggetto di un resoconto che pubblicò su una rivista medica militare⁽⁴⁾ fornendo una prospettiva profetica sulle possibilità della radiologia nell'individuare la posizione di corpi estranei nei tessuti del corpo umano e nell'esame di fratture o di altre malattie delle ossa.

Nella primavera del 1897 nei Balcani scoppiò una guerra che vide i Turchi contrapporsi ai Greci. Le grandi potenze europee si schierarono: la Germania a favore della Turchia, l'Inghilterra, la Russia e la Francia a favore della Grecia. Tutti gli alleati si premurarono di fornire ai belligeranti, oltre ad altri tipi di supporto, anche i più moderni mezzi sanitari. La Croce Rossa Germanica fornì un apparecchio radiologico all'Ospedale militare di Costantinopoli, mentre tra i mezzi forniti dalla Croce Rossa Inglese vi fu anche un apparecchio radiologico appositamente concepito per uso campale.

Per la prima volta un apparecchio radiologico poteva essere utilizzato lontano dalle strutture fisse ospedaliere in prossimità delle prime linee, pronto ad intervenire su feriti che non potevano essere trasportati o non era opportuno allontanare⁽³⁾⁽⁵⁾. Il problema della alimentazione elettrica, a quel tempo non ancora facilmente disponibile, fu superato mediante l'impiego di due batterie di accumulatori: mentre una era in uso al fronte, l'altra veniva ricaricata a bordo della nave HMS Rodney, alla fonda in un porto vicino.

La necessità di disporre di alimentazione elettrica costituiva una pesante limitazione alla mobilità degli apparecchi sul campo di battaglia, e i generatori elettrostatici, come i generatori di Wimshurst, che sarebbero stati autosufficienti e che in effetti furono utilizzati per produrre raggi X anche presso ambulatori medici in strutture pubbliche e private⁽⁹⁾, erano troppo ingombranti e delicati per essere trasportati, o anche semplicemente utilizzati in situazioni critiche.

Una particolare soluzione fu escogitata dal Chirurgo-Maggiore John C. Battersby durante la cosiddetta "Guerra del Fiume"⁽³⁾. Nel 1898 una armata composta essenzialmente da soldati egiziani, ma al seguito di ufficiali inglesi ed equipaggiati con armi moderne, fu inviata dal Cairo per liberare il Sudan dall'aggressione di un gruppo fondamentalista islamico, i Mahdisti, che per dieci anni avevano imperversato in quel territorio. Tra gli equipaggiamenti inviati da Londra al seguito di quella spedizione, vi fu anche un apparecchio a raggi X. Questo fu anche il primo esempio di apparecchio radiologico militare mobile ufficialmente pagato ed adottato dall'Esercito inglese⁽³⁾. Con quell'apparecchio, collocato ad Abadieh, in una capanna di fango essiccato posta sulle rive del Nilo, Battersby esaminò una sessantina di feriti⁽⁶⁾. Forte di una precedente esperienza negativa, a causa dei problemi incontrati dalle truppe inglesi in una campagna ai confini dell'Afghanistan (messe in grosse difficoltà dalla necessità di mantenere in funzione i pesanti accumulatori in dotazione) Battersby utilizzò una bicicletta collegata ad una dinamo per ricaricare le batterie del suo apparecchio. All'azionamento della dinamo provvedevano due militari pedalando sulla bicicletta per parecchie ore, alternandosi continuamente tra loro; non potevano infatti resistere a pedalare per più di mezz'ora a causa del

clima torrido, con temperature che oscillavano tra 40 e 50 °C all'ombra.

Sempre nel 1898, l'Esercito degli Stati Uniti d'America utilizzerà per la prima volta gli apparecchi radiologici durante la guerra Ispano-Americana, attrezzando almeno tre navi con apparecchi radiologici. Questi in realtà non troveranno grande impiego, poiché la causa principale di inabilità tra i soldati fu la febbre tifoide, più che le ferite in battaglia. Nonostante ciò, a causa di esposizioni prolungate e ripetute ai raggi X, due soldati subirono pesanti ustioni da raggi. Probabilmente questo è il primo caso di incidente radiologico riferito e documentato iconograficamente in ambito militare⁽²⁾. Nel 1896, per ottenere una radiografia della mano con il tubo radiologico a 20cm di distanza, occorrevano fino a quaranta minuti di esposizione⁽⁷⁾; le cose in seguito miglioreranno rapidamente, ma la durata della esposizione per una radiografia del tronco resterà sempre nell'ambito di numerosi minuti. Se poi si considera che lo spettro di emissione, sia per la tensione operativa, certamente non molto elevata, sia per le modalità di generazione dei raggi X nei tubi radiologici dell'epoca, sia per la totale assenza di filtrazioni aggiuntive, era sicuramente ricco dei dannosissimi "raggi molli", non ci si deve meravigliare che le ustioni da raggi fossero alquanto frequenti.

L'utilità militare degli apparecchi radiologici era comunque ormai indiscussa, e sin dagli inizi della prima guerra mondiale tutti gli eserciti in campo erano già dotati di numerosi impianti radiologici, sia fissi, presso gli ospedali militari, sia mobili, da dislocare accanto alle linee di combattimento.

Una particolare menzione va riservata a Maria Sklodowska Curie, premio Nobel per la Fisica nel 1903 e per la chimica nel 1911: ufficialmente nominata "direttore del Servizio Radiologico della Croce Rossa Francese", agli inizi della prima guerra mondiale creò un servizio radiologico militare innovativo. Realizzò numerose unità radiologiche autotrasportate, note come "petites Curie", che trovarono un primo impiego nel corso della battaglia della Marna. La produzione dell'alimentazione elettrica necessaria veniva assicurata mediante gruppi elettrogeni installati sulle vetture o per mezzo di dinamo appoggiate a terra e tenute in movimento dal motore stesso della macchina. Consapevole dei

pericoli legati all'uso di raggi X da parte di persone non preparate, Maria Curie, oltre a studiare particolari dispositivi di protezione in piombo, nel 1914 istituì presso il suo Istituto del Radium delle scuole specifiche per il personale di assistenza ai medici radiologi, rivolgendo appelli anche alle giovani appartenenti alla migliore società francese. Coraggiosamente coadiuvata dalla figlia Irene, allora appena diciottenne (futuro premio Nobel per la chimica, che riceverà nel 1935), Maria Curie non disdegnò di recarsi tra i feriti in prima linea, prendendo la patente di guida e ponendosi personalmente al volante delle sue "petites Curie". Solo nel corso degli ultimi due anni di guerra furono eseguite più di un milione di radiografie⁽⁸⁾, senza contare le numerose riduzioni di fratture eseguite in scopia⁽⁹⁾ ed altri esami radioscopici non documentati.

L'APPARECCHIO RADIOLOGICO MOBILE TIPO FERRERO DI CAVALLERLEONE

In analogia con le esperienze francesi, americane, e di altre nazioni, nel 1915, all'inizio della Grande Guerra, entrano in servizio anche le prime automobili radiologiche militari italiane, ideate da Felice Perussia: una per la Croce Rossa Italiana, ed una per il Regio Esercito. Entrambi questi veicoli furono costruiti dalla Balzarini. Ambulanze di questo tipo operarono nelle zone di guerra del Trentino e sull'Isonzo, guidate direttamente dai medici radiologi. Uno di questi, il capitano medico Lorenzo Coleschi, uno dei fondatori della SIRM, aveva messo a punto nel 1912 un sistema di ricerca dei proiettili ritenuti⁽¹⁾.

L'apparecchio radiologico mobile della Balzarini tipo Ferrero di Cavallerleone (fig. 1), specificatamente destinato al trasporto a dorso di mulo (forse in dotazione dell'esercito italia-



fig. 1: **Vista d'insieme**

Da destra a sinistra sono visibili i seguenti elementi principali: a) Cassa con dinamo a manovella; b) rocchetto di Ruhmkorff (sopra la cassa su cavalletto); c) tubo radiologico (montato su un'asta fissata su treppiede); d) limitatore di Frisoni (su cavalletto in legno); e) criptoscopio a soffietto (ai piedi della barella in primo piano).

no fin dal 1904) fu largamente impegnato sul fronte libico nel 1911 e nella guerra balcanica del 1912. In particolare in quest'ultima vicenda questo apparecchio suscitò vasta eco ed ammirazione: con esso infatti furono eseguite centinaia di radiografie non solo su soldati italiani, ma anche su militari inviati dagli ospedali della Croce Rossa austriaca, francese, russa e montenegrina⁽¹⁾.

Allo scoppio della Grande Guerra sorse un acceso dibattito sulla preferenza da accordare o agli impianti radiologici mobili autotrasportati, del tipo "petites Curie", o a quelli tipo "Ferrero di Cavallerleone", trasportabili anche a dorso di mulo. Tuttavia l'eccellente esperienza maturata con l'uso di quest'ultimo tipo di apparecchi durante la guerra dei balcani del 1912, unita ad altre considerazioni, come le possibili difficoltà che avrebbero potuto crearsi in caso di intasamento o danneggiamento delle vie di comunicazione, la difficoltà di reperire con prontezza pezzi di ricambio in caso di avaria delle autovetture, la necessità di raggiungere luoghi non accessibili ai mezzi rotabili, avevano sconsigliato di abbandonarne l'impiego. In conclusione, fu deciso di costruire alcune unità di ambulanze radiologiche ma fu anche mantenuto l'uso di questa apparecchiatura trasportabile su animali da soma⁽¹⁾.

In maniera succinta, ma abbastanza efficace, la locandina del Museo di Rovereto la presenta così ai visitatori:

“L’attrezzatura qui esposta trovò impiego nelle immediate retrovie delle linee di combattimento italiane durante la guerra 1915-1918.

Essa fu costruita in più esemplari dalla ditta Balzarini di Milano e si articola, secondo i suggerimenti dell’epoca, in 6 casse da Soma previste per essere trasportate con due muli.

Una dinamo azionata a braccia ed un rotore a mercurio alimentano un rocchetto di trasformazione che a sua volta eroga la tensione necessaria per l’alimentazione di un tubo per raggi X a gas residuo privo di protezione anti-raggi X.

Il tubo radiogeno può essere fissato col suo braccio di supporto su uno stativo a tre piedi o direttamente posizionato da milite che lo regge su apposita asta.

Un crioscopio a soffietto consente l’esame radioscopico del ferito in piena luce.

Il sistema prevede una cassa protetta da piombo per la conservazione delle lastre radiografiche e delle carte sensibili in dotazione.

In un’altra apposita cassa troviamo il necessario per lo sviluppo e l’illuminazione (a candela) della camera oscura, costituita da una tenda oscurata.

Come si è detto, la ditta Balzarini (Amministrazione: piazza S. Nazaro n.15; Stabilimento: via Carità n.18, C° Lodi, Milano) realizzò questo impianto appositamente per impiego militare. A quell’epoca la ditta Balzarini era alquanto rinomata non solo nell’ambito delle apparecchiature elettromedicali, ma anche nel campo più vasto degli strumenti per ricerca scientifica, come testimoniano varie apparecchiature conservate in diversi musei universitari. Per esempio il rocchetto di Ruhmkorff conservato nel Museo del Dipartimento di Fisica dell’Università “La Sapienza di Roma”, fu utilizzato per le sue ricerche da Orso Mario Corbino, l’ispiratore della Scuola di via Panisperna, fucina delle più grandi menti della Fisica Italiana e mondiale del secolo appena scorso, come Enrico Fermi ed Ettore Majorana. Proprio sullo studio delle proprietà e delle applicazioni del rocchetto, o bobina d’induzione di Ruhmkorff, Corbino pubblicherà numerosi lavori scientifici. Un altro esemplare di rocchetto della ditta Balzarini si trova presso il “Laboratorio di Fisica e Museo degli strumenti scientifici” dell’Università di Urbino. La stes-

sa ditta fu anche fornitrice delle bobine di Ruhmkorff impiegate in impianti per telegrafia senza fili adottati dalla R. Marina Militare Italiana. Un esemplare di questi rocchetti si trova presso il Museo Tecnico Navale della Marina Militare di La Spezia.

IL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA

Nel delineare gli albori degli impieghi militari della radiologia da campo sono chiaramente emersi i limiti imposti alla mobilità di queste apparecchiature, limiti legati soprattutto alla difficoltà di reperire l’energia elettrica necessaria al loro funzionamento. La totale dipendenza dalle batterie di alimentazione e la necessità di una loro continua ricarica creava spesso grossi problemi, e non di rado si doveva far ricorso ad una buona dose di ingegno per superare le difficoltà. Nel corso della guerra contro i Boeri (1899-1902), il luogotenente F. Bruce, che si era trovato accanto a Battersby durante la “guerra del fiume”, aveva in dotazione un apparecchio come quello che Battersby aveva utilizzato ad Abadieh, completo di dinamo ma senza bicicletta. Durante l’assedio della città di Ladysmith da parte delle truppe Boere, le batterie di alimentazione dell’apparecchio radiologico di Bruce si erano scaricate e l’impianto radiologico era inutilizzabile. Il luogotenente si rivolse allora ad un mugnaio che gestiva un mulino per il grano, situato accanto alla sala raggi improvvisata all’interno del municipio della città: collegando una grossa dinamo al mulino, che era in funzione 24 ore su 24, ottenne non solo l’energia per ricaricare le batterie di accumulatori, ma anche l’illuminazione elettrica notturna per la sala operatoria⁽²⁾.

Naturalmente non sempre si può disporre di un mulino nelle vicinanze, e così si cercarono altre soluzioni. Pur restando in uso per qualche tempo, l’idea di Battersby, con la dinamo azionata da una bicicletta non ebbe molto seguito, e già nel corso della guerra Anglo-Boera gli impianti radiologici saranno alla fine dotati di dinamo azionate da piccoli motori da motocicletta, mentre durante la guerra Russo-Giapponese in Manciuria, nel 1905, faranno la comparsa apparecchi radiologici alimentati per mezzo di dinamo azionate a mano⁽¹⁰⁾.

Quest’ultima sarà anche la soluzione adottata dalla ditta Balzarini per il suo appa-

recchio portatile (fig.2), che utilizzava in questo modo una fonte di energia sempre “a portata di mano”, “autotrasportabile”, che raramente dava problemi, e che in ogni caso era facilmente sostituibile: la forza delle braccia di un soldato. Tutte proprietà che mancavano al più sofisticato dei motori a scoppio.



fig. n.2: Il gruppo generatore dell'alta tensione

A destra la componente a bassa tensione, costituita dalla dinamo a manovella e dal ruttore; a sinistra il rocchetto di Ruhmkorff (il trasformatore per l'alta tensione).

L'idea della dinamo azionata a braccia può forse sembrare ingenua, ma in realtà abbiamo visto come abbia impiegato un certo tempo a farsi strada. Anche la realizzazione potrebbe sembrare semplice, ma tuttavia fu attuata ottimizzando tutte le risorse tecniche, dalle più semplici alle più complesse a quel tempo disponibili: a partire dalle grandi manovelle, adatte ad essere azionate con due mani, e con un braccio di leva abbastanza lungo da fornire il massimo di coppia di forze senza intralciare i movimenti. La rotazione veniva trasmessa alla dinamo con un doppio sistema di ingranaggi e di catene che ne moltiplicava la velocità di rotazione per aumentarne la tensione prodotta; quest'ultima veniva stabilizzata con un pesante volano che aveva una funzione analoga a quella oggi svolta dagli attuali stabilizzatori di corrente. La stabilizzazione della rotazione era resa necessaria anche dal fatto che in questo impianto non erano utilizzate le pesanti ed ingombranti batterie di accumulatori, che forniscono una tensione costante (almeno finché gli accumulatori sono carichi...): la fonte primaria di energia elettrica era costituita unicamente dalla dinamo, il cui rendimento dipendeva appunto dalla velocità di rotazione. È possibile poi che questa dinamo fosse stata appositamente progettata per questo impianto: la disposizione delle spazzole (o carboni) a “V” è infatti inconsueta, e richiede un rotore specificatamente congegnato: non è da escludere che con questa particolare soluzione si voles-

se facilitare la sostituzione delle spazzole, accessibili dal lato ribaltabile della cassa che contiene la dinamo. Altrettanto inconsueta è la modalità di fissaggio dei carboni, che sono assicurati mediante viti in posizione decentrata rispetto ad un asse attorno al quale ruotavano, spinti da una leva tesa da una molla, man mano che si consumavano; vagamente, per dare un'idea, come il braccio di un giradischi.

Direttamente collegata a questa dinamo era disponibile una lampada elettrica con impugnatura in legno, sicuramente destinata ad illuminare il campo operatorio, nel caso in cui si dovessero eseguire esami radiologici su feriti in scarse condizioni di illuminazione naturale, ma forse anche in caso di una eventuale urgenza chirurgica notturna.

Alla dinamo, a sottolinearne l'importanza e il ruolo primario, era stata riservata la cassa n.1, al cui interno trovano alloggio, oltre alla lampada di cui sopra, anche altri due componenti: un interruttore a mercurio, o ruttore, e un piccolo serbatoio metallico con petrolio. Il ruttore, si presenta come un piccolo cilindro metallico con un albero azionato da pulegge collegate mediante cinghie all'asse della dinamo.

Il ruttore era un componente fondamentale di questi impianti di alimentazione: la tensione fornita sia dalle batterie di accumulatori sia dalla dinamo era di tipo continuo, e non superava l'ordine di circa un centinaio di Volt, ovviamente insufficienti per la produzione di raggi

X. Per ottenere le indispensabili tensioni elevate, a partire da sorgenti elettriche a bassa tensione, era in uso già da tempo un dispositivo diffusissimo presso i laboratori di Fisica: il rocchetto o bobina di Ruhmkorff, (fig.3) dal nome del suo inventore che lo aveva brevettato a Parigi nel 1851.

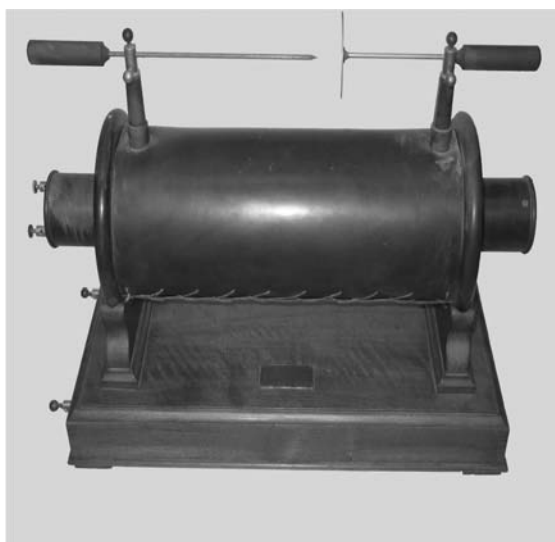


fig. n.3: **Il rocchetto (o bobina) di Ruhmkorff**
 Nel basamento è racchiuso il condensatore di Fizeau; il rocchetto vero e proprio il cilindro soprastante. Sopra il rocchetto è collocato lo spinterometro a punta e piatto, con la funzione di controllare il funzionamento del rocchetto e di fornire una indicazione sull'alta tensione prodotta.

Il rocchetto di Ruhmkorff, come i suoi diretti discendenti, i trasformatori elettrici, non può funzionare con tensioni continue e richiede tensioni variabili, di tipo pulsante o alternato: ai nostri giorni la corrente alternata è disponibile dovunque, ma a quel tempo le fonti di energia elettrica maggiormente disponibili erano di tipo continuo. Furono pertanto escogitati vari dispositivi, per trasformare ad andamento pulsante o alternato la tensione continua disponibile.

La struttura di un rocchetto di Ruhmkorff si può distinguere in tre componenti principali:

- a) Il nucleo, costituito da un fascio cilindrico di fili di ferro dolce verniciati singolarmente con vernici isolanti per impedire le note dispersioni di energia dovute alle "correnti parassite".
- n) L'avvolgimento primario, avvolto attorno al nucleo.

c) L'avvolgimento secondario, costituito da un numero molto elevato di spire di filo di rame sottilissimo ed isolato, lungo anche diverse decine di chilometri, avvolte attorno all'avvolgimento primario.

Il rapporto tra il numero di spire dell'avvolgimento secondario e quello dell'avvolgimento primario è ovviamente una costante fissata al momento della costruzione del rocchetto, le cui dimensioni naturalmente saranno tanto maggiori quanto maggiore sarà il rapporto di trasformazione, ma la velocità della variazione del campo magnetico nel rocchetto, da cui dipende la f.e.m. indotta nel secondario, dipende dalle caratteristiche del ruttore.

Molti sforzi furono pertanto concentrati sulla realizzazione di ruttori in grado di produrre correnti pulsanti con frequenza sempre maggiore e con velocità di interruzione sempre più rapida. Le soluzioni proposte in quel tempo furono numerosissime e più o meno complicate.

Il ruttore adottato nel nostro caso era di tipo "Campostano"⁽¹¹⁾. La G. Campostano era una fabbrica di apparati elettrici con sede a Milano (via Cesare Cantù n.2), che produceva anche piccoli rocchetti di Ruhmkorff, uno dei quali, risalente al 1915, si trova al Museo del Dipartimento di Fisica - CNR - dell'Università di Catania.

Questo ruttore tipo "Campostano" (fig.4) è composto essenzialmente da due elettrodi posti in un contenitore cilindrico, in fondo al quale viene deposto un certo volume di mercurio: il primo di questi elettrodi è una semplice asta metallica lunga abbastanza da avere un'estremità immersa nel mercurio, il secondo è costituito da una specie di elica a due pale in rotazione su un piano verticale, posta ad una altezza tale che solo in alcune posizioni le pale si immergono nel mercurio depositato sul fondo. L'insieme assume una forma molto simile a quella di un piccolo motore fuoribordo, il cui movimento è assicurato da una serie di cinghie e pulegge collegate all'albero del rotore della dinamo. Il dispositivo, interposto tra la dinamo e il rocchetto di Ruhmkorff, è quindi un interruttore, che con il movimento delle palette rotanti apre e chiude il circuito attraverso il mercurio in cui è immerso l'elettrodo fisso, fornendo al rocchetto la necessaria alimentazione pulsante.

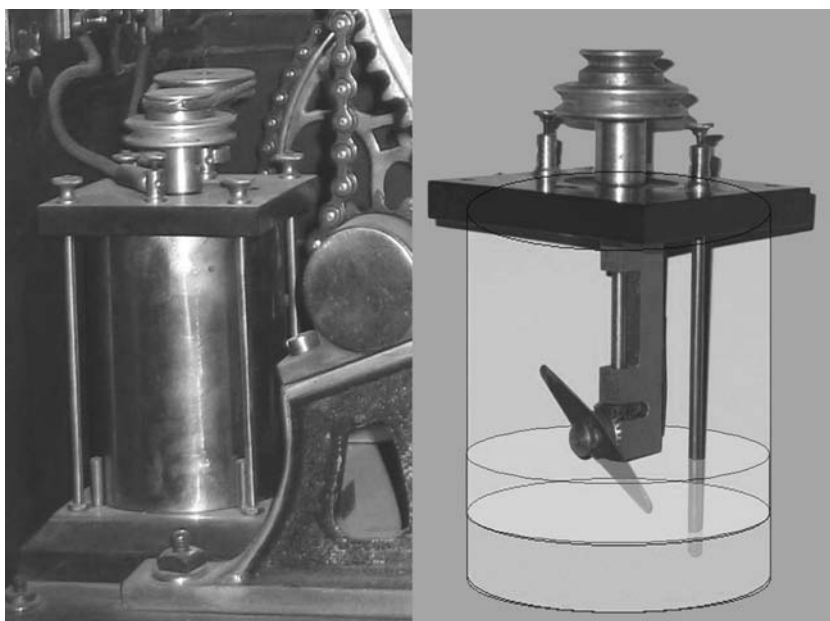


fig. n.4: Il ruttore
 tipo Campostano

A destra una vista dell'interno, con il contatto a lama rotante; in alto le due pulegge per il collegamento alla dinamo, subito sotto si trovano i due contatti esterni. Nel disegno, in basso, è raffigurato il mercurio (nello strato inferiore), con sopra lo strato di petrolio (V. spiegazioni nel testo).

La rapida e frequente interruzione di corrente origina però effetti secondari indesiderati: a causa di fenomeni elettromagnetici di auto-induzione si generano forti scariche elettriche tra le estremità delle palette rotanti e la superficie del mercurio. Queste scariche diminuiscono l'efficienza del rocchetto, sia diminuendo la velocità di interruzione della corrente, sia causando una rapida ossidazione della superficie del mercurio stesso, riducendo così la qualità del contatto tra le palette e il mercurio.

Un rimedio a questo inconveniente fu l'aggiunta di uno spesso strato isolante di alcool o di petrolio sopra la superficie del mercurio: in questo modo si assicurava ad un tempo la pulizia degli elettrodi e del mercurio, e si smorzava altresì rapidamente l'insorgere di scariche dovute alle extra-correnti. Questo spiega la presenza di un piccolo serbatoio di petrolio posto accanto al ruttore all'interno della cassa n.1

Sempre con lo scopo di ridurre al minimo la durata delle extra-correnti di apertura e chiusura, nel 1853 Hippolyte Fizeau aveva introdotto l'impiego di un condensatore elettrico da collegare ai capi del ruttore. Quasi subito il condensatore assunse la forma di una serie di rettangoli di stagnola, separati da un materiale isolante, costituito da seta o carta impregnate di cera o da sottili cristalli di mica. I fogli metallici di ordine pari sono collegati tra loro e così pure i fogli di ordine dispari: i fogli metallici costituiscono in que-

sto modo le armature di un condensatore a superfici piane e parallele, la cui efficacia nella riduzione delle scariche elettriche ai contatti del ruttore è tanto maggiore quanto maggiore è la sua capacità. Siccome quest'ultima è direttamente proporzionale alla superficie complessiva delle armature (e inversamente proporzionale allo spessore del materiale isolante, oltre a dipendere dalla natura di quest'ultimo), il condensatore venne ad assumere dimensioni tali da trovare naturale, e pratica, collocazione nel basamento del rocchetto di Ruhmkorff. Qui si trova effettivamente anche nel nostro caso: dopo aver aperto il basamento, si è potuto constatare che il condensatore è stato abbastanza recentemente restaurato; una etichetta al suo interno porta la scritta "revisionato da Osvaldo Pezzi nel 1982".

All'uscita dell'alta tensione, quindi ai capi del secondario, fissato sulla sommità del rocchetto e diretto lungo il suo asse, si trova un altro particolare componente, necessario a completare il sistema di alimentazione elettrica: lo spinterometro. Esso è costituito da due aste cilindriche coassiali fissate su supporti scorrevoli che consentono di variare la distanza tra le estremità affacciate; un'asta ha l'estremità appuntita e l'altra dotata di un piattello circolare posto ortogonalmente ad una certa distanza di fronte alla punta dell'altro elettrodo. Questo dispositivo realizza sostanzialmente il duplice scopo di verificare il funzionamento del rocchetto e di misurare

l'alta tensione prodotta. Quando infatti si alimenta il rocchetto attivando il processo di produzione dell'alta tensione, se la distanza tra gli elettrodi dello spinterometro lo consente, tra la punta e il piattello si produce una vistosa scarica elettrica. In base alla distanza massima alla quale si innesca la scarica elettrica si può valutare (sia pure grossolanamente) il valore dell'alta tensione generata dal rocchetto. Non essendo allora disponibili altri dispositivi che unissero uguali caratteristiche di semplicità e robustezza, era consuetudine esprimere la "potenza" di un rocchetto di Ruhmkorff in funzione della lunghezza delle scariche elettriche che esso poteva produrre tra le estremità di uno spinterometro. Come è riportato nell'etichetta all'interno della cassa n.2, che lo conteneva, questo rocchetto era in grado di produrre scariche lunghe 35cm. Una prestazione, per l'epoca, di tutto rispetto: il rocchetto di Ruhmkorff utilizzato nella guerra greco-turca del 1897 produceva scariche lunghe "solo" circa 25cm, e tuttavia già per l'avvolgimento del secondario di quel rocchetto furono richiesti ben oltre 20km di filo di rame⁽³⁾. Quella che allora veniva spesso, ma impropriamente, chiamata misura della "potenza" era quindi in realtà una misura indiretta dell'alta tensione: indicativamente si può supporre che la tensione massima prodotta nel nostro caso fosse di circa 40.000 Volt⁽¹²⁾.

IL TUBO DI CROOKES

Negli impianti radiologici attuali, la produzione dei raggi X avviene impiegando esclusivamente tubi radiologici di tipo Coolidge, ad effetto termoionico: pur inventati già nel 1913, tardarono alcuni anni ad affermarsi.

All'epoca in cui Röntgen fece la sua scoperta, erano invece molto diffusi nei laboratori di Fisica i tubi di Crookes (inventati dal fisico inglese sir William Crookes nel 1870) che venivano utilizzati in numerose ricerche riguardanti le scariche elettriche nei gas rarefatti (fig.5). Molte attuali conoscenze fisiche sono fortemente debitorie nei confronti di quelle ricerche: oltre a portare alla scoperta dei raggi X, molte cose che oggi conosciamo sulle proprietà degli atomi e della materia le dobbiamo ai numerosi esperimenti compiuti con i tubi di Crookes, o con dispositivi molto simili.

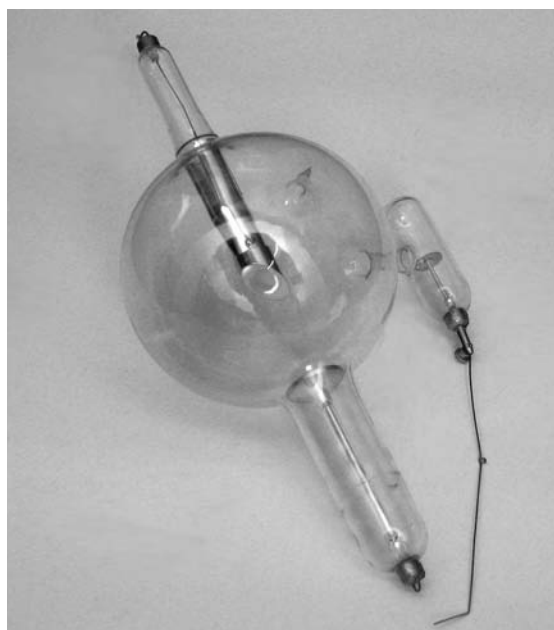


fig. n.5: Il tubo radiogeno a gas residuo tipo Crookes

In basso il catodo a coppa focalizzatrice, tipo focus, in alto l'anodo in rame con inserita la placchetta bersaglio ad alto numero atomico (platino o tungsteno). Sulla destra è visibile l'ampolla accessoria per la regolazione della pressione del gas residuo, con la relativa caratteristica astina "a baffo" per l'innesco della scarica esterna al tubo.

Nella prima forma, quella che Röntgen utilizzò in quel famoso mese di novembre 1895, il tubo di Crookes era costituito da una ampolla di vetro con la forma di una grossa pera. La pressione del gas residuo al suo interno era dell'ordine del millesimo di torr (quindi, per quanto bassa, mille volte superiore a quella presente negli attuali tubi di Coolidge); sul lato più stretto, quello del "picciolo" per intendersi, si trovava il catodo, mentre sul lato opposto, su un fianco, a 90 gradi, era collocato l'anodo). Sottoponendo gli elettrodi a differenze di potenziale di qualche decina di migliaia di Volt, all'interno del tubo si generavano vari fenomeni luminosi, che variavano al mutare della pressione residua e della tensione applicata. Questi fenomeni erano alquanto appariscenti e affascinarono i Fisici di quell'epoca, che, ben inteso, non si limitavano però alla loro semplice osservazione, ma se ne servivano per compiere numerosi studi ed esperimenti.

In questo primissimo tipo di tubo, l'elevata differenza di potenziale applicata tra anodo e catodo, sfruttando iniziali ionizzazioni prodotte dalla radiazione cosmica (allora non conosciuta), accelerava gli elettroni così liberati, provocando la ionizzazione a cascata del gas residuo, con i conseguenti fenomeni di fluorescenza, generando all'interno del tubo una tipica scarica elettrica che rendeva il gas conduttore di elettricità. Nell'urto degli elettroni accelerati contro le pareti del tubo, dal lato dell'anodo, si producevano i raggi X di frenamento.

I tubi di Crookes impiegati per produrre raggi X subirono nel tempo molteplici evoluzioni, tra queste possiamo citare quelle più importanti, che troviamo anche nel tubo di Crookes utilizzato nell'impianto radiologico militare di Rovereto:

- a) Ampolla di forma sferica (adottata ben presto, fin dai primi tempi della storia dei raggi X).
- b) Catodo in alluminio a coppa concava, tipo "focus" per focalizzare gli elettroni sull'anodo migliorando le condizioni geometriche di emissione dei raggi X. Proposto dal Fisico Herbert Jackson nel 1986 per i tubi a raggi X, era già stato adottato dal 1879 (quindi ancora prima della scoperta dei raggi X) dallo stesso Crookes che lo aveva realizzato con questa stessa forma, ma per altri tipi di ricerche.
- c) Anodo ad alto numero atomico, sotto forma di una placchetta di platino o di tungsteno inserita su un supporto cilindrico in rame per disperdere meglio il calore sviluppato in conseguenza degli urti degli elettroni e per aumentare l'efficienza di produzione dei raggi X. In un primo tempo fu adottato il platino, successivamente sostituito dal meno costoso tungsteno.

Merita un discorso a parte un particolare accessorio presente su questo tubo e costituito da una ampollina cilindrica in vetro ricavata su un lato del tubo stesso (fig.5) e in comunicazione con esso. In questa ampollina è ben visibile un elettrodo cilindrico, con asse parallelo all'asse del tubo, che sorregge su un piano ortogonale due piccoli dischi di mica, il cristallo naturale sfaldabile in fogli e dotato di grandi proprietà di isolamento elettrico e di resistenza termica. All'altra estremità di questo elettrodo, all'esterno dell'ampolla, è collegata una caratteristica astina

metallica con una punta all'estremo libero posta ad una distanza regolabile dal contatto esterno del catodo. Questo dispositivo costituisce uno dei tanti artifici escogitati a quel tempo per regolare automaticamente la pressione del gas all'interno del tubo.

Con l'uso, infatti, la pressione del gas all'interno del tubo di Crookes può diminuire in maniera sensibile. In conseguenza di ciò, essendo più rari gli atomi di gas disponibili, gli elettroni accelerati dal campo elettrico producono meno ionizzazioni secondarie e raggiungono velocità più elevate al momento dell'impatto con l'anodo. Il risultato finale è che si producono fotoni X ad energia più elevata, ma in quantità molto minore: per produrre immagini radiografiche leggibili si deve aumentare eccessivamente il tempo di esposizione, ma, in ogni caso, nell'immagine finale le strutture anatomiche diverse presentano tra loro un minore contrasto, rendendo più difficile distinguerle. Alla fine il tubo diviene inutilizzabile.

Per ovviare a questo inconveniente furono escogitati numerosi sistemi: in alcuni casi, come nel nostro, l'intervento era automatico, in altri occorreva l'intervento dell'operatore. Il momento di intervenire era dedotto dalle condizioni di fluorescenza del gas all'interno del tubo, e questo probabilmente è il motivo principale che impediva di racchiudere il tubo stesso in un involucro schermato, pur essendo già noti i pericolosissimi effetti delle radiazioni X sugli organismi viventi.

Il ruolo delle diverse componenti del regolatore automatico della pressione nel nostro caso può essere sintetizzato nelle seguenti fasi:

- a) Il gas all'interno del tubo diventa sempre più rarefatto, l'efficienza di produzione dei raggi X diminuisce e la resistenza al passaggio della corrente elettrica aumenta.
- b) Tra il catodo e l'asta mobile del regolatore si innesca una scarica elettrica: la corrente passa attraverso l'elettrodo dell'ampolla esterna, provocando il surriscaldamento dei dischi di mica.
- c) I dischi di mica sono impregnati di sostanze chimiche (p. es. carbonato di potassio), che, per effetto del calore, liberano gas all'interno dell'ampolla ripristinando la pressione all'interno del tubo.
- d) La corrente elettrica riprende il suo corso, riattivando la scarica nel gas tra catodo ed

anodo e ricreando le condizioni richieste per il corretto funzionamento del tubo.

Il momento dell'innesco del fenomeno dipende dalla distanza tra la punta mobile del regolatore e il punto di collegamento dell'alta tensione al catodo: in questo modo l'operatore può variare a sua discrezione la pressione interna al tubo registrando l'efficienza di produzione dei raggi X, ma anche e soprattutto la loro energia e capacità di penetrazione.

L'osservazione dei fenomeni di fluorescenza che si manifestavano all'interno del tubo rappresentava pertanto una preziosa ed insostituibile fonte di informazioni per l'operatore⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹³⁾. Se infatti il tubo non emetteva nessuna fluorescenza, ma al suo esterno si manifestavano numerose scariche elettriche, ciò significava che il vuoto nel tubo era troppo spinto perché potesse emettere raggi. Viceversa se all'interno del tubo si osservava una debole fluorescenza luminosa estesa a tutta l'ampolla ciò significava che la pressione era salita troppo, probabilmente a causa di qualche fessurazione sulle pareti di vetro: anche in questo caso non si producevano raggi e probabilmente il tubo era inutilizzabile. Il tubo stava invece funzionando correttamente quando la fluorescenza interessava la metà dell'ampolla da cui usciva il fascio di raggi X. Dalla intensità della fluorescenza si poteva individuare la condizione di pressione maggiore o minore, per cui, intervenendo sulla posizione dell'asta del regolatore automatico di pressione, si potevano ottenere raggi più o meno penetranti, a seconda delle necessità. Qualsiasi tipo di involucro che avesse occultato la vista del tubo avrebbe quindi ostacolato la possibilità di controllare le sue condizioni di funzionamento.

Nonostante la comparsa dei tubi di Coolidge, dotati di superiori caratteristiche di stabilità ed efficienza, i tubi di Crookes continueranno a rimanere in uso per qualche decennio ancora, e le due modalità di produzione dei raggi X si troveranno a convivere per qualche tempo nella pratica radiologica⁽¹⁴⁾.

I PRINCIPALI ACCESSORI

Röntgen scoprì i raggi X solo grazie alla loro capacità di eccitare la fluorescenza su uno schermo di platinocianuro di bario. Un altro modo per visualizzare l'effetto dei raggi X, sempre scoperto da Röntgen, consisteva nell'impiego di emulsioni fotografiche, sotto

forma di carte o di lastre in vetro ricoperte di sostanze fotosensibili, sulle quali era già noto l'effetto della luce visibile e che erano già largamente impiegate in fotografia.

Il grande problema della radioscopia diretta, in uso fino a pochi anni fa, era la sua scarsa efficienza luminosa: in fluoroscopia, come era chiamata, era necessario operare in stanze buie ed occorreva adattare la vista a condizioni di illuminazione scarsissima se non nulla, prima di poter condurre l'esame radiologico.

Una soluzione per consentire la visione delle immagini fluoroscopiche in piena luce fu proposta, già nelle prime settimane dalla scoperta dei raggi X, da un Fisico, il prof. Enrico Salvioni di Perugia⁽¹⁵⁾. L'invenzione di Salvioni consisteva in un tronco di cono a tenuta di luce; la base maggiore del cono era costituita da cartone opaco con uno strato fluorescente di platinocianuro di bario rivolto verso l'interno. Avvicinando gli occhi alla base minore, aperta, era possibile visualizzare le immagini prodotte dai raggi X sullo schermo fluorescente. Con questo dispositivo, chiamato da Salvioni "Crioscopio", si potevano visualizzare le immagini radiologiche in tempo reale, indipendentemente dalle condizioni di illuminazione ambientale.

Si impadronirà rapidamente dell'invenzione, chiamandola skiascopio e attribuendosene il merito, Thomas Alva Edison, che la perfezionerà, sostituendo il tronco di cono con il tronco di piramide e sostituendo il platinocianuro di bario con il Calciotungstato, migliorandone l'efficienza luminosa. Con il nome di fluoroscopio e con forme solo leggermente diverse, per esempio impiegando un soffietto sul tipo di quelli allora in uso per le normali macchine fotografiche, verrà utilizzato in fluoroscopia diretta fino alla seconda metà del 1900.

Da alcuni decenni questa tecnica è stata proibita a causa dei gravi rischi a cui esponeva l'operatore, nonostante che negli ultimi tempi dietro lo schermo fluorescente venissero posti pesanti vetri al piombo, dotati di una buona efficacia schermante.

Il fluoroscopio a soffietto in dotazione all'apparecchio radiologico del Museo di Rovereto (fig. 6) è privo di protezioni, ma questo non vuol dire che non ci fosse una sia pur primitiva conoscenza dei pericoli per l'osservatore.

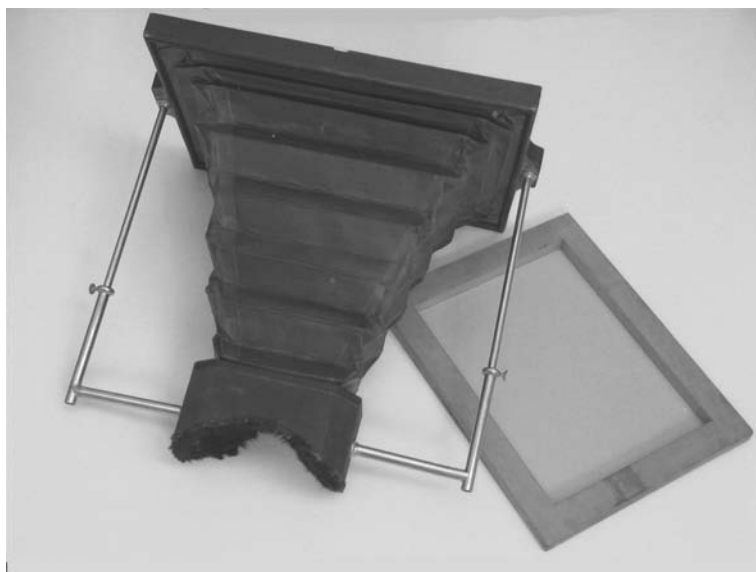


fig. n.6: Il criptoscopio di Salvioni

La cornice rettangolare, a destra, fa da supporto ad uno schermo in cartone ricoperto di materiale fluorescente. Lo schermo, che viene collocato sul fondo della struttura a soffietto a sinistra della figura, consentiva di osservare la debole luminosità di fluorescenza prodotta dai raggi X anche in condizioni di forte luce ambientale.

In effetti tra il materiale inserito nell'elenco della cassa n.3 sono indicati "1 paia di occhiali anti X" e "1 grembiante anti X". Poiché questi occhiali non risultano più tra gli oggetti in dotazione, possiamo solo supporre, come risulta da altre immagini di occhiali anti-X di questo periodo, che avessero l'aspetto dei vecchi occhiali da motociclista, con le protezioni opache laterali in funzione di paraluce; le lenti erano probabilmente spesse e pesanti, a causa dell'alto contenuto in piombo del vetro; alcuni esemplari, sempre di quest'epoca, erano dotati di lenti color verde scuro, in altri le lenti erano di color ambra; probabilmente si tentava in questo modo di aumentare il contrasto delle immagini di colore verde prodotte sullo schermo fluorescente. Il piccolo grembiule anti-X invece c'è ancora, anche se le lamine di piombo inserite in quattro tasche cucite nella tela grezza sono state recentemente sostituite da assicelle di balsa, per puro scopo espositivo, poiché le lamine originali si sono totalmente ossidate e corrose. Queste erano quindi le uniche protezioni a disposizione degli operatori, che utilizzavano spesso l'esame radioscopico non solo per la visione diretta di organi e corpi estranei da estrarre chirurgicamente, ma anche per individuare il posizionamento migliore della lastra prima dell'esecuzione di una radiografia.

A proposito di corpi estranei, tra gli oggetti riportati nell'elenco della cassa n.3 compare anche una elettrocalamita, la cui funzione era probabilmente quella di facilitare l'estrazione di schegge e frammenti di ferro dai corpi dei feriti sfruttando l'energia elettrica resa disponibile dalla dinamo.

Si è poi avuta una conferma indiretta di questa ipotesi, poiché presso il Museo Belga della Radiologia (www.radiolo-

[gy-museum.be](http://www.museum.be)) si trova un esemplare di elettromagnete, datato 1920 appositamente costruito per la rimozione di schegge e proiettili ferromagnetici dopo l'osservazione e l'individuazione fluoroscopica. Questo esemplare è piuttosto grosso ed ingombrante, più adatto all'uso in sala operatoria che sul campo di battaglia; resta comunque chiarito che il procedimento era in uso in quel tempo ed era abbinato alla fluoroscopia.

Nell'inventario della cassa n. 4 è elencato "1 limitatore di Frisoni munito di anelli di gomma per fissare il tubo Röntgen" (fig. 7).

Questo oggetto è costituito da una scatola cubica in legno aperta sul retro, abbastanza grande da contenere il bulbo del tubo radiogeno, con due aperture sui lati per consentire il passaggio dei colli del tubo; internamente la scatola è rivestita da una lamina di piombo e sul lato anteriore presenta un collimatore a incastri telescopici, così strutturato per consentire di ridurre lo spazio occupato nella cassa durante il trasporto; per lo stesso motivo le pareti della scatola sono incernierate e ripiegabili. Alcuni dettagli si riveleranno utili per comprendere la funzione di questo "limitatore", che oggi chiameremmo "collimatore". Due pomelli laterali avevano evidentemente la funzione di fissare il tubo al collimatore mediante gli anelli in gomma citati nell'elenco incollato sul coperchio della cassa n.4; il collimatore telescopico è mantenuto aperto da quattro aste rigide ad incastro, come se dovesse essere sottopo-

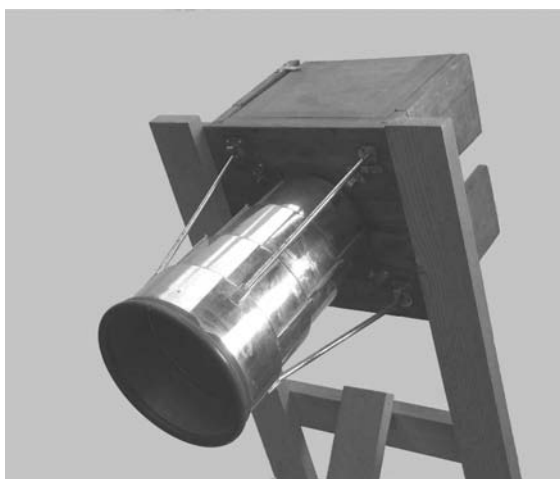


fig. n.7: Il limitatore di Frisoni

Al suo interno poteva essere fissato il tubo radiogeno mediante anelli in gomma. Questo dispositivo, parzialmente schermato con lamine di piombo, aveva il duplice scopo di limitare il campo di radiazioni dirette e diffuse, e di venire usato come compressore per immobilizzare le parti molli del corpo (addome) riducendone contemporaneamente lo spessore.

sto ad una pressione, e la sua estremità è rivestita da un materiale isolante e arrotondato come se dovesse arrivare a contatto del paziente e proteggerlo anche da eventuali correnti elettriche disperse. Non si è trovata in letteratura alcuna traccia del “limitatore di Frisoni”, ma leggendo un trattato di diagnostica radiologica di quell’epoca⁽¹⁶⁾ è stato possibile individuarne la funzione. Scrive infatti M. Ponzio: “Il cilindro compressore limitatore di Albers Schönberg risponde molto bene ai suoi diversi scopi di immobilizzare la parte da radiografare, di comprimere i tessuti irradiati e di diminuire il loro spessore” ... “In genere i cilindri compressor hanno il loro bordo inferiore rivestito di un cerchio di sostanza isolante ...” L’impiego di questo compressore limitatore di Heinrich Ernst Albers-Schönberg, che lo aveva proposto nel 1904, e che possiamo senz’altro identificare con il nostro limitatore di Frisoni, aveva quindi molteplici scopi, soprattutto (ma non solo) nell’ambito della radiologia dell’addome:

- a) Limita la presenza di radiazione diffusa, sia racchiudendo il tubo radiogeno in un involucro schermato (almeno su cinque lati, lasciando sempre una parte del tubo visibile), sia limitando le dimensioni del

fascio di raggi X mediante il cono telescopico.

- b) Tramite la compressione riduce la mobilità di organi interni. La applicazione tipica è quella dell’addome, dove la mobilità interna dei visceri può rendere difficile ottenere una buona immagine radiografica, soprattutto quando sono richiesti tempi lunghi di esposizione.
- c) Riduce lo spessore del materiale attraversato per migliorare la trasmissione dei raggi X sul dispositivo di visualizzazione, consentendo anche di ridurre la dose di radiazioni al paziente.

La tecnica della compressione è in uso ancora oggi, particolarmente in mammografia, dove è obbligatoria.

Nella cassa n.3, collocate in un apposito alloggiamento realizzato nel coperchio, si trovano anche le cassette porta-lastre. Le lastre radiografiche in vetro sono ovviamente molto fragili, e, per posizionarle in relativa sicurezza, magari sotto il corpo di un ferito, era necessario inserirle in strutture più rigide e più robuste. Questo scopo era (ed è) svolto dalle cassette porta-lastre: quelle in dotazione di questo apparecchio sono costituite da una custodia di cartone nero rigido, probabilmente rinforzata sul retro da una base di legno, dotata quasi sicuramente (l’ipotesi è stata fatta valutando il peso delle cassette) di una schermatura di piombo, con lo scopo di ridurre fenomeni di retrodiffusione. In questa custodia si inserisce una busta di cartone nero a tenuta di luce in cui si è precedentemente inserita la lastra sensibile, probabilmente ancora avvolta nel suo involucro di carta nera opaca in cui è confezionata; con un ultimo tappo di cartone, ovviamente nero, si chiude il lato e la fessura in cui si è inserita la lastra.

LA CAMERA OSCURA E I MATERIALI DI CONSUMO

La camera oscura si compone di una piccola tenda di tela grezza che si sovrappone ad una tenda di panno nero, a tenuta di luce. Il tutto è sorretto da una intelaiatura di tubi di acciaio, come è descritto nell’elenco degli oggetti contenuti nella cassa n.4. La attenzione prestata dal progettista di questo impianto anche ai minimi dettagli è testimoniata dalla presenza di una bandierina rossa, rigorosamente elencata, sicuramente destinata ad

essere issata sulla tenda durante le operazioni di sviluppo delle lastre per impedire che inavvertitamente qualcuno accedesse alla camera oscura facendo filtrare la luce e rovinando così le preziose lastre radiografiche non ancora completamente trattate. In una cassa a parte, la n.6, si trova tutto il necessario per la lavorazione delle lastre:

- a) Tubetti e compresse di “Chinol” per lo sviluppo.
- b) Un grande flacone in vetro contenente iposolfito per il fissaggio.
- c) Due grandi flaconi in vetro con incise a smeriglio le scritte “SVILUPPO” e “FIS-SAGGIO” in cui preparare e conservare per il tempo necessario le rispettive soluzioni. Semplici etichette, al posto delle scritte incise, avrebbero potuto cancellarsi o scollarsi, creando possibili pericolose confusioni tra i liquidi, con il rischio di danneggiare irreparabilmente le radiografie.
- d) Due bacinelle in cartone impermeabilizzato (infrangibili, leggere, ... non dimentichiamo che la plastica non esisteva ancora) in cui versare i liquidi e immergere le lastre per il trattamento.

Tra gli altri accessori in elenco si notano:

- 1) 4 candele steariche, 2) una lanterna con vetro rosso e due piccoli vetri rossi di ricambio.

Era noto anche allora che certe lunghezze d'onda, nella gamma del colore rosso, impressionavano poco o nulla le emulsioni delle lastre: ed ecco spiegato il ruolo della lanterna col vetro rosso e le candele steariche. Su un lato del vetro rosso, che si inserisce in un incastro a slitta ricavato in una delle quattro pareti della lanterna, è incollata una specie di garza, che aveva probabilmente un duplice scopo: quello di diffondere la luce della candela (“ammorbidendo” le ombre prodotte dalla sua fiamma) e quello di irrobustire la struttura del vetro, proteggendolo e rendendolo meno sensibile ad eventuali urti accidentali. La candela però ha bisogno di ossigeno e di circolazione d'aria, e le normali fessure avrebbero lasciato filtrare la luce; ecco quindi la soluzione: un piccolo comignolo da cui esce l'aria calda passando attraverso una specie di labirinto, a tenuta di luce, con le pareti annerite col nerofumo. Un artificio simile lascia entrare l'aria dal fondo e quattro minuscoli piedini tengono sollevata la

lanterna dal piano di appoggio per consentire la circolazione dell'aria esterna verso l'interno.

Uno spazio a parte è riservato per il materiale radiografico: numerose lastre in vetro e carte fotografiche di varie dimensioni sono conservate nella cassa n.5, una cassa speciale, internamente rivestita di piombo per proteggere il materiale in deposito dall'influenza dell'uso dell'apparecchio radiologico, che non poteva essere collocato ed impiegato troppo lontano da tutto l'insieme.

Le lastre, di produzione italiana, della ditta M. Cappelli di Milano (via Friuli n.31, “Grand Prix – Internazionale, Milano 1906, Dresden 1909, Torino 1911”), sono molto ben confezionate in robuste scatole di cartone. Ogni lastra, protetta dalla luce da un involucro in carta nera, è accompagnata da una busta arancione “robustissima” per la conservazione dopo lo sviluppo. Sulla busta sono stampati degli spazi per la registrazione delle informazioni e per l'archiviazione. Sulla scatola sono indicate le informazioni essenziali per la conservazione e il trattamento delle lastre, di cui si sconsigliava l'uso “... oltre i tre mesi dalla data di spedizione”. Ulteriori etichette applicate in un secondo tempo avvertono di non esporre a luce troppo intensa le lastre anche se avvolte nella loro carta nera, in quanto “... data l'impossibilità di avere la carta nera priva di piccoli fori ...” “... potrebbe accadere talvolta di riscontrare sul negativo dei punti neri in corrispondenza dei fori sulla carta”. In realtà un inconveniente simile si presenta anche con le pellicole odierne, anche se è tenuto più sotto controllo: non è da escludere che i piccoli punti neri osservati non fossero dovuti a fori sulla carta, bensì a piccole scariche elettrostatiche generate al momento di aprire l'involucro in condizioni atmosferiche di umidità relativa particolarmente bassa.

Nel 1930 la ditta Cappelli si unirà alla Ferrania, dando origine al marchio “Fabbriche riunite Cappelli e Ferrania”, ma già nel 1923 la pubblicità della Ferrania invitava i medici radiologi ad adoperare le lastre “X” della casa M. Cappelli, in grado di garantire “massima profondità nei dettagli”(1).

Un particolare, ricordato nel volume di Eisemberg(2), ma non spiegato, riguarda una curiosa conseguenza dell'invasione del Belgio da parte della Germania agli inizi della

Grande Guerra. Prima di allora, le lastre in vetro che fungevano da supporto per le gelatine fotosensibili, provenivano nella quasi totalità dal Belgio, che le esportava in tutto il mondo. L'invasione di questo paese rese impossibile l'approvvigionamento di lastre in vetro di qualità, mettendo in crisi la produzione radiografica. Dopo alcune ricerche, su un sito dedicato alla storia del vetro, ho trovato la spiegazione: il motivo di questa esclusività risiedeva in un brevetto realizzato nel 1905 da un belga di nome Fourcault, che aveva escogitato una procedura innovativa ed economicamente vantaggiosa per la produzione di lastre di vetro a superfici piane e parallele particolarmente precise ed uniformi, universalmente apprezzate ed esportate. Con l'invasione del Belgio la produzione cessò, e le industrie del settore orientarono le loro ricerche su supporti più accessibili e meno fragili, con l'accentuazione dell'impiego di carte sensibili o di supporti su film; tuttavia, prima che si avvii il tramonto delle lastre in vetro nell'impiego radiografico, si dovrà attendere il 1918, quando la Kodak immetterà sul mercato il proprio film a doppia emulsione, destinato ad imporsi universalmente.

CONSIDERAZIONI FINALI

L'analisi della struttura di questo esemplare di apparecchio radiologico mobile militare della prima guerra mondiale ci consente non solo di percorrere a ritroso nel tempo alcune tappe fondamentali della storia della fisica e della radiologia medica, ma anche di ritrovare una testimonianza della capacità dell'uomo di mettere ingegnosamente a frutto le conoscenze tecnologiche del momento. Per quanto alcune soluzioni adottate possano forse oggi sembrare ingenue, non va dimenticato che esse furono il frutto di un utilizzo ottimale delle risorse allora disponibili, considerando tra l'altro la particolare condizione di guerra in cui furono adottate.

Per quanto oggi la tecnologia radiologica sia estremamente evoluta e sofisticata, con l'impiego sempre più diffuso di sensori digitali, con sempre più complesse elaborazioni computerizzate delle immagini, questo apparecchio radiologico, ormai antico, può ancora insegnarci qualcosa; se non altro ad apprezzare quanto studio e quanto lavoro di ingegno si sono succeduti in questi 110 anni trascorsi dalla scoperta di Röntgen ai giorni

nostri.

Nel 1896 il tenente colonnello Giuseppe Alvaro annunciava al mondo di essere riuscito, utilizzando i nuovi raggi dalle proprietà misteriose, a rintracciare dei proiettili nel corpo di due militari, feriti in Abissinia tre mesi prima e successivamente trasportati all'Ospedale Militare di Napoli. Nel 1991, in occasione della guerra del Golfo, per i feriti al fronte erano disponibili alcuni TAC, installati a bordo di camion e situati presso ospedali da campo allestiti in Arabia Saudita; altri due erano a bordo di navi ospedale. Il radiologo che osservava le immagini radiologiche nel momento stesso in cui venivano prodotte, in alcuni casi si trovava altrove: riceveva le immagini via satellite, e via satellite trasmetteva la diagnosi.

Anche se oggi tutto questo è normale routine e queste notizie non fanno più molto scalpore, può valere la pena di soffermarci ad osservare il nostro passato, magari per sorprenderci ancora del cammino percorso e per rivolgere un pensiero di ammirazione e di gratitudine per quanti hanno costruito la strada del nostro attuale livello di sviluppo scientifico e tecnologico.

NOTA: Una descrizione completa e dettagliata di questo apparecchio radiologico si trova sul sito del Museo virtuale dell'AIFM: <http://museo.fisicamedica.org>

BIBLIOGRAFIA

- (1) Cardinale A. E., "Immagini e segni dell'uomo. Storia della Radiologia Italiana", Idelson - Gnocchi; 1995
- (2) Eisemberg R. L., "Radiology. An Illustrated History", Mosby-Year Book; 1992
- (3) Burrows E.H., "Pioneers and early years, a History of British Radiology", Colophon Limited; 1986
- (4) Alvaro G., "I vantaggi pratici della scoperta di Röntgen in chirurgia", *Giornale medico del regio esercito*, 44, 385-394; 1896
- (5) Ramoutsaki Ioanna A. et al., "Birth of Battlefield Radiology: Greco Turkish War of 1897", *Radiographics*, 21, 263-266; 2001
- (6) Battersby J. C., "The Roentgen rays in military surgery", *British Medical Journal*, 1, 112-114; 1899
- (7) Van Tiggelen R., "The beginning of Radiology in Belgium", *JBR-BTR*, 78:280-302; 1995
- (8) Bordry M. et al., "Les rayons X sortent de l'anonymat", *Comprendre & Agir, Journal de l'Istitut Curie*, n.21; 1992

- (9) Curie M., "La Radiologie et la Guerre", Éditions Félix Lacan; 1921
- (10) Mould R.F., "A Century of X-rays and Radioactivity in Medicine", Institute of Physics Publishing, London; 1993
- (11) Murani O., "Fisica", Milano; 1927
- (12) U. Forti, "Fisica per i Licei Scientifici", vol. III, Firenze; 1957
- (13) Mould R.F., "The early history of x-ray diagnosis with emphasis on the contribution of physics 1895-1915", *Phys. Med. Biol.*, 40, 1741-1787; 1995
- (14) Busi A., "Tecnica e Diagnostica Radiologica nelle Malattie Chirurgiche", Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino; 1933
- (15) Salvioni E., *Investigations on Röntgen Rays. Nature*, 53, 424-425; 1896.
- (16) M. Ponzio, "Trattato di Diagnostica Radiologica", S.I.R.M., Ferrara; 1924

Esperienze degli ospedali lombardi a confronto nella radioterapia del distretto toracico

Milano – IRCCS San Raffaele, 10 dicembre 2008

RECENSIONE (a cura di Raffaella Cambria - Istituto Europeo di Oncologia)

Questo corso, organizzato dal GRUPPO REGIONALE LOMBARDO nell'ambito della nostra associazione, AIFM, fa parte di una serie di incontri monotematici riguardanti i trattamenti radioterapici, la diagnostica e le radiazioni non ionizzanti. Altri incontri verranno organizzati il prossimo anno e riguarderanno la medicina nucleare. Un pomeriggio molto intenso di aggiornamento ha permesso di sviscerare lo stato dell'arte dei trattamenti relativi ai tumori del distretto toracico e la parte prettamente tecnica è stata affiancata da quella clinica e radiobiologica.

Nella parte clinica la dott.ssa Di Muzio, ha fatto un'ampia panoramica delle neoplasie del distretto toracico. Ha illustrato il ruolo della diagnostica con TC-PET (con il marcatore ^{18}F -FDG) nella stadiazione e nel disegno del volume bersaglio per la radioterapia, nonché nella valutazione dell'efficacia del trattamento. Ha descritto le proprietà radiobiologiche del NSCLC commentando i frazionamenti utilizzati e quelli suggeriti dalla radiobiologia di questi tumori.

La dott.ssa Mangili ha introdotto estensivamente le capacità specifiche dell'apparecchiatura per tomoterapia. Ha poi parlato delle tecniche utilizzate per i trattamenti del distretto toracico con la tomoterapia elicoidale.

Il dott. Iori ha fatto un excursus sulle apparecchiature per la radioterapia con intensità modulata ad arco (IMAT): funzionamento, pianificazione (inversa e diretta) e verifica dosimetrica della pianificazione. In particolare ha illustrato le modalità di utilizzo e di implementazio-

ne dei sistemi portali per la verifica della dosimetria pianificata per ogni singolo paziente.

Le tecniche e lo stato dell'arte dei trattamenti con Cyberknife sono stati illustrati dal dott. Cavedon.

Un'approfondita spiegazione ci è servita per apprendere le capacità di *tracking* del sistema Cyberknife e la possibilità di impiegare serie temporali di immagini CT nella fase di pianificazione.

La radioterapia stereotassica extracranica con acceleratore lineare è stata illustrata dalla dott.ssa Garibaldi. In particolare ci sono state spiegate le tecniche di irradiazione *deep inspiration breath hold* mediante l'utilizzo di un sistema optoelettronico e la preparazione del piano di cura per l'applicazione di questa tecnica.

Infine, il dott. Calandrino ha trattato un tema di grande attualità nella radioterapia: il rischio di induzione di secondi tumori. L'introduzione di nuove tecniche di radioterapia, infatti, permette di conformare meglio la dose al bersaglio e consente l'ipofrazionamento, tuttavia tali vantaggi hanno come rovescio della medaglia, quello di un incremento del volume di tessuto sano irradiato alle dosi basse. Ciò ha imposto il dover affrontare la problematica degli effetti radiobiologici indotti dalle basse dosi sui tessuti sani.

Dulcis in fundo, mi sento di ringraziare gli organizzatori, principalmente per il livello culturale del corso ma anche che per il conforto del tè e caffè caldi a supporto di questa gelida giornata di pioggia e neve!