

HOW TO DO

Caratterizzazione di un apparato RX

Rolando Milani*

(*Libero professionista, Esperto di radioprotezione, Esperto in Fisica Medica)

L'emissione di un tubo RX è strettamente correlata: alla differenza di potenziale applicata al tubo RX, alla densità elettronica dell'anodo (cioè alla quantità di elettroni del materiale di cui è fatto) e alla filtrazione, oltre che alla potenza dell'alimentatore. Tutti gli apparecchi radiologici di una stessa classe presentano le stesse caratteristiche di emissione e appartengono, di conseguenza, alle famiglie i cui *output factors* (nota 1) sono dello stesso ordine.

I mammografi, ad esempio, che hanno filtri e anodi in Rodio, Molibdeno, ecc..., formano gruppi di famiglie di un certo tipo molto simili tra loro. I trocografi, troco-stratigrafici, ecc... avendo anodo prevalentemente in tungsteno, filtrazione 2,5 mmAl, formano un'altra famiglia, e così via, mentre è evidente che gli apparati RX industriali appartengano a una famiglia a sé stante, così come gli apparecchi per Roentgen Terapia.

Dato che il nostro scopo è quello di essere pratici entriamo subito nel campo operativo con un caso reale. (Alla teoria penseremo poi).

- 1- Mettiamo un multimetro (quello che usiamo per i controlli di qualità, per intenderci) sotto il fascio diretto di un tubo RX (trocografo) alla distanza sorgente dosimetro [*dist*] di 1m;
- 2- impostiamo una tensione variabile da un valore minimo a un valore massimo con un determinato valore di carico (mAs) costante durante le prove.
- 3- Scattiamo, variando i kV dal valore minimo al massimo e annotiamo la dose (mGy) rilevata ogni volta dallo strumento.

Effettuando una doppia normalizzazione dei dati acquisiti, cioè: dividendo i mGy per i kV misurati e i mAs impostati otteniamo la Tabella .1: (nota 2)

kV impostati	mAs	kV misurati	mGy/s	mGy/mAs/kV
102	6	104,0	5,958	0,009548077
90	6	91,5	4,649	0,008468124
81	6	81,2	3,455	0,007091544
70	6	70,1	2,330	0,005539705
60	6	61,2	1,489	0,004055011

Tabella 1 valori doppio normalizzati

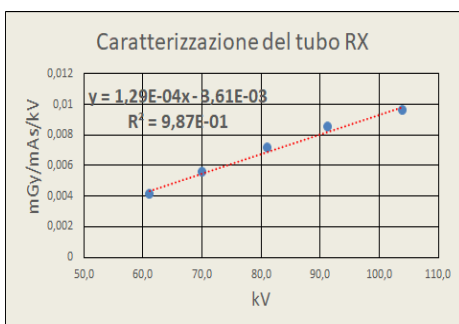


Figura 1 Retta di emissione. Doppio normalizzazione in funzione dei kV

Rappresentando graficamente i risultati ottenuti, dalle colonne III e V della tabella 1, otteniamo la **Retta di Emissione Specifica (R.E.S.)** (Figura.1) la cui equazione esprime la dose doppio normalizzata in funzione dei kV ovvero:

$$D(mGy/mAs/kV) = f(kV) = a \cdot kV + b \quad (1) \quad [mGy/J]$$

Come noto i parametri che individuano una retta sono il coefficiente angolare (**a**) e l'intercetta (**b**) che, nel nostro caso, caratterizzano proprio l'*output* del tubo RX cioè la Retta di Emissione Specifica. Nel caso in esame gli **Output Factors** (O.F.) sono:

$$a = 1,29E-04$$
$$b = -3,61E-8$$

Il primo rappresenta la rapidità con cui aumenta la quantità di fotoni emessa per unità di tensione di accelerazione e unità di corrente, mentre il secondo rappresenta l'offset.

In definitiva: **Un apparato RX è caratterizzato dai suoi O.F. .**

¹ **Output factors:** parametri a corredo dell'equazione che fornisce la dose emessa da una sorgente RX

² Si fa notare che il prodotto $A \cdot t \cdot V = J$, quindi il rapporto $mGy / (mA \cdot s \cdot kV)$ esprime la quantità di dose emessa per ogni Joule di energia fornita

Una volta noti **a** e **b**, applicando il processo inverso alla doppio normalizzazione, è possibile ottenere l'equazione di output, ovvero l'equazione che fornisce la dose emessa in funzione della tensione e della corrente applicati.

$$D=(a*kV+b)*kV*mA*t*1/dist^2 \quad (2)$$

Applicando la (2) al caso in esame e confrontando i dati sperimentali con i dati calcolati otteniamo la Tabella 2 dalla quale notiamo che lo scarto massimo tra dati calcolati e dati misurati è inferiore al 10% a riprova della bontà del metodo.

kv	mAs	mGy/s sper	mGy/s calc	err%
102	6	5,84E+00	5,958	-1,96%
90	6	4,32E+00	4,649	-7,62%
80	6	3,22E+00	3,455	-7,27%
70	6	2,28E+00	2,33	-2,35%
60	6	1,49E+00	1,489	-0,15%

Tabella 2 confronto tra dati sperimentali e dati calcolati

Se mettiamo a confronto diversi apparati RX possiamo vedere come si comportano le varie famiglie e vedere la differenza di resa (fotoni emessi per unità di energia fornita)

a	8,00E-06	5,10E-06	8,46E-06	1,14E-05
b	-8,08E-05	4,06E-04	-1,22E-04	-7,53E-05
kV	tradiz G1	tradiz	trdiz G1	H Ffreq
100	0,07188	0,091648	0,072405	0,106554
90	0,0575	0,077893	0,057547	0,085631
80	0,04471	0,065158	0,044382	0,066989
70	0,03352	0,053443	0,032909	0,05063
60	0,02394	0,042748	0,023129	0,036552
50	0,01595	0,033073	0,015042	0,024756
40	0,00956	0,024418	0,008648	0,015241
30	0,00477	0,016784	0,003947	0,008008
20	0,00158	0,010169	0,000938	0,003057

Tabella 3 - Dose emessa da quattro diversi apparati RX (mGy/mAs) Si noti il coefficiente angolare dell'apparato H Freq

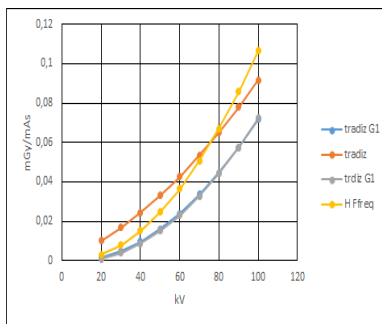


Figura 2 - rappresentazione grafica dell'emissione di quattro sorgenti RX

Nella Tab.3 sono stati calcolati gli output factors di quattro apparati RX di cui uno tradizionale a onda raddrizzata (*tradiz*); uno, tradizionale, il cui controllo è stato ripetuto a un anno di distanza (*tradiz G1*), mentre l'ultimo apparato (*H Ffreq*) è un digitale diretto di alta frequenza.

È interessante notare il coefficiente angolare della

R.E.S. dell'apparato alta frequenza (*H Ffreq*) ($1,14 \times 10^{-5}$) rispetto a quello tradizionale (*tradiz*) ($5,1 \times 10^{-6}$). Il primo è nettamente superiore agli altri. Si noti anche l'andamento dell'emissione dopo gli 80 kV.

I mammografi

Nel caso dei mammografi la caratterizzazione mette in luce in maniera marcata tutte quelle caratteristiche che contraddistinguono il generatore che, in definitiva, è il cuore del complesso radiogeno.

Nella rappresentazione, i dati di output della sorgente, cioè i mGy/mAs/kV possono essere visti non solo come $mGy=f(kV)$ a mAs costanti, ma anche come $mGy=f(mAs)$ a kV costanti, così da mettere in luce altre caratteristiche interessanti.

Procedura raccolta dati

Nell'esempio si sono tenuti i kV costanti, la tensione è stata fatta variare da 26 kV a 30 kV e la corrente da 10 a 100 mAs.

kv imp	mAs imp	mGy	kV
26	10	1,26747	26,5574
26	32	4,03367	26,4752
26	50	6,29196	26,5114
26	100	12,567	26,4836
27	10	1,42756	27,6086
27	32	4,54218	27,6112
27	50	7,09114	27,6575
27	100	14,1646	27,6505
28	10	1,58378	28,5995
28	32	5,05053	28,7449
28	50	7,88529	28,7045
28	100	15,7833	28,7632
30	10	1,93102	30,9073
30	32	6,14683	30,9283
30	50	9,59078	30,9894
30	100	19,1652	30,9383

Tabella 4- tabella di acquisizione dati dosimetrici

Impostando il valore minimo di tensione (26 kV) si acquisiscono i dati dosimetrici facendo variare i mAs da 10 a 100. Poi si aumentano i kV di uno step e si acquisiscono i dati dosimetrici facendo nuovamente variare i mAs da 10 a 100. Si ripete la procedura fino al massimo valore dei kv che abbiamo scelto ottenendo i dati riportati in Tabella 4. (come si vedrà in seguito è inutile effettuare un campionamento più serrato.)

Dopo questa prima fase di acquisizione, ottenuta in maniera automatica con un multimetro in grado scaricare direttamente su un foglio Excel ogni acquisizione, si procede a riordinare i dati dosimetrici per kV Variabili e mAs costanti (Tab.5), e ad effettuare la doppia normalizzazione dividendo ogni valore di dose

kv	mGy/mAs/kV	a=	b=
26	0,004874885	0,0003886	
27	0,005287259	-0,0052198	
28	0,005656357		10 mAs
30	0,006436733		
26	0,004848161	0,0003873	
27	0,005257153	-0,0052107	
28	0,005636752		32 mAs
30	0,006402948		
26	0,004839969	0,0003868	
27	0,005252696	-0,0052049	
28	0,00563235		50 mAs
30	0,006393853		
26	0,004833462	0,0003874	
27	0,005246148	-0,0052248	
28	0,005636893		100 mAs
30	0,0063884		

Tabella 5- mGy/mAs/kV in funzione dei kv per valori di carico da 10 a 100 mAs e corrispondenti output factors **a** e **b** che caratterizzano le rette di emissione specifica

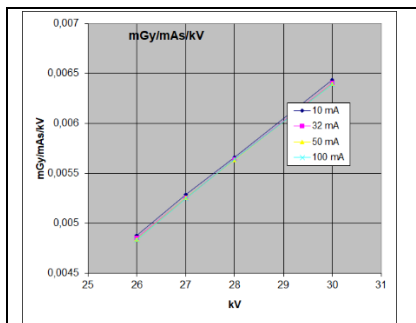


Figura 3 – Rette di Emissione Specifica ottenute dai dati di Tabella. 5 per un mammografo digitale diretto. Si noti come re R.E.F. si sovrappongono variando i mAs da 10 a 100

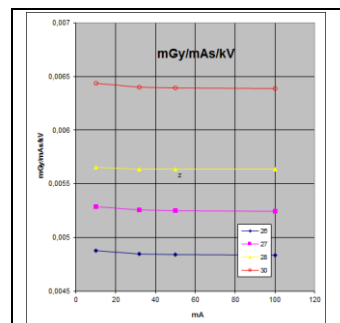


Figura 4 - Rappresentazione dell'energia richiesta (mGy/mAs/kV in funzione dei mAs. Lineare la risposta del generatore per qualsiasi valore di corrente

ottenuto per i rispettivi valori di kV e mAs.

Nella Tab.5, per ogni serie di mAs si è provveduto a calcolare gli O.F. con una interpolazione lineare ottenendo i coefficienti **a** e **b** delle rette a mAs costanti.

$$a = \left(\sum_1^n (x - y) - n * x_{med} * y_{med} \right) / \left(\sum_1^n x^2 - n * (x_{med})^2 \right)$$

$$b = (y_{med} - a * x_{med})$$

Dove: X=kV; Y=mGy/mAs/kV; n=numero di campionamenti

Nei mammografi dotati di un buon generatore, le R.E.S. ottenute variando la corrente da un minimo di 10 a un massimo di 100, sono pressoché sovrapposte. La coincidenza delle R.E.S. (Figura 3) sta ad indicare che il generatore fornisce tutta l'energia richiesta anche sotto carico. Nel caso di una flessione del generatore si sarebbe visto un distanziamento della R.E.S. dei 100 mAs rispetto alle altre o una flessione della retta 100 mAs nel tratto 29-30 kV, nella parte cioè ad alta richiesta di energia.

Se rappresentiamo l'andamento dell'energia richiesta in funzione dei mAs (Figura 4) vediamo una buona linearità di risposta a riprova di quanto detto sopra, infatti la dose erogata ad una determinata tensione risulta praticamente lineare al variare dei mAs.

Confronto tra famiglie di sorgenti

Se confrontiamo due sorgenti RX tradizionali, come ad esempio un telecomandato e un trocografo con due mammografi, (dopo avere normalizzato la loro emissione alla distanza di 1m), risulta evidente la netta appartenenza a famiglie differenti.

Si sottolinea, a tale proposito, che le curve di entrambe le coppie sono state rappresentate su scala logaritmica per poterle confrontare, quindi la differenza è veramente macroscopica. Il divario tra le curve dei due mammografi è dovuto al fatto che sono stati messi a confronto un apparecchio di fascia media con uno di fascia alta.

Conclusione

Come abbiamo visto la caratterizzazione di un complesso Radiogeno è un'operazione relativamente semplice da mettere in pratica e in grado di fornire tramite due parametri (gli O.F.) tutto quello che contradd-

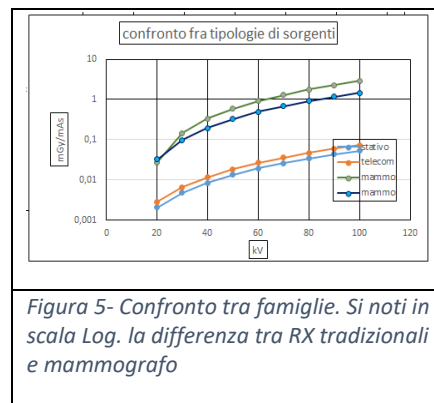


Figura 5- Confronto tra famiglie. Si noti in scala Log. la differenza tra RX tradizionali e mammografo

distingue un apparecchio da un altro. Se gli O.F. si mantengono inalterati nel tempo significa che il complesso RX mantiene la sua efficienza. Se la R.E.S. ad alto carico presenta una flessione significa che il generatore non riesce a sopperire alla richiesta di energia, quindi il confronto tra due sorgenti diventa un'operazione di confronto delle R.E.S ovvero degli O.F. sulla base del confronto dei generatori che, in fin dei conti sono il cuore del sistema radiogeno. Data la semplicità di esecuzione e l'automaticità di raccolta dati utilizzando un multimetro il cui output accede automaticamente ad un foglio Excel, la caratterizzazione di una apparato RX potrebbe costituire un valido supporto al controllo della qualità di una sorgente, sia come prova di collaudo in fase di accettazione, sia come prova di mantenimento o di costanza.

Bibliografia:

- R. Milani. (Notiziario di radioprotezione dell'esperto qualificato) 74/75 maggio-dicembre 2006 anno XXVI – n.2-3 (Valutazione del coefficiente di resa di un complesso radiogeno per diagnostica)

(Per eventuali contatti rolando.milani@cssmilani.it Cell: 3355364775)