



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY  
UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION



INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS  
34100 TRIESTE (ITALY) - P.O. B. 506 - MIRAMARE - STRADA COSTIERA 11 - TELEPHONE: 2340-1  
CABLE: CENTRATOM - TELEX 460892 - I

SMR.300/54

College on Medical Physics  
(10 October - 4 November 1988)

Dark-room Techniques

C. GAZZOLA  
3 M Italia, SpA, Ferrania, Savona, Italy

\*\* These notes are intended for internal distribution only

## DARK ROOM TECHNIQUES

1. Introduction
2. Film/Screen Systems . highlights  
on: Characteristics and  
Evaluation Parameters
3. Optimized Darkroom Techniques
4. QA Program for X Ray Processors

Dr. Carlo GAZZOLA  
Q.A. Manager

3M Italia S.p.A.

17016 Ferrania (SV.)  
ITALY

phone :  
39-19-5225059  
FAX :  
39-19-5223409

## DARKROOM TECHNIQUES

2

### " DARKROOM "

it is going to be an "obsolete" world,  
because of the growing diffusion of  
the Daylight Systems.

slides ① ②

### Nevertheless,

we are going to talk about Darkroom  
techniques for a number of good reasons:

- the new "Daylight techniques" still requires  
the knowledge of all the subjects involved
- the "dirty" darkroom is less and less  
popular, when compared to the modern  
highly sophisticated electronic techniques,  
but it is still necessary
- the absolute number of "conventional"  
diagnosys is still growing in the world  
at a rate close to 10% per year.

Film/Screen Systems

Highlights on Characteristics & Evolution Parameters

X-ray exposure	slide: 3
Screens :	
structure	4
emission spectra	5
Efficiency	6
X-ray absorption	7
Performance comparison	8
Particle size comparison	9-10-11
Durability	12-13
Films	
structure	14
spectral sensitization	15
Cross-over effect	16-17

The QUALITY Chain

1. SPARE PARTS STOCK	slide 1
temperature	2
humidity	}
radiations	
chemical pollution	
mechanical shocks	
"first in - first out"	
2. (FILM-SCREEN SYSTEM)	3
3. FOCAL SPOT	4-5-6-7
4. CASSETTES	8-9-10-11
5. SAFELIGHTS	12
wrong filters	13
too strong bulbs	}
wrong distance	
too many sources	
white light pollution	
warning lights	
latensification	14
6. PROCESSING CHEMICALS	15-16
7. VIEWERS	17
reference data	18
thumb rule	19
dazzling effect	20

# QA Program for X ray Processors

## Introduction

The photographic process is an amplification process with an incredibly large magnification factor.

This is obtained through three very critical steps:

1. during the MAKING of the emulsion
2. during the EXPOSURE of the film
3. during the PROCESSING of the film.

The PROCESSING is the only critical step fully controlled by the end-user.

This is why we should some attention to the CHEMICAL PROCESSING

# QA Program for X-ray Processors

Introduction	slide: 1
Processing Phases	2
Developer (action on grain)	3
Fixer	4
Wash - Dry	5
Parameters (time-temp. replenishment)	6
Effects on: Min. Density	7
Speed	8
Contrast	9
QA Program	10
Characteristic Curve	11
Chemical Parameters	12
Alternatives: a) Test Film	13
b) Sensitometer	14
} Exp. Samples	15-16
CONTROL CHARTS	17
Diagnosys	18-19
Conclusions.	20

## Conclusions

A QA Program for X-ray Processor is mandatory for a correct use of any automatic processor. Any choice can be valid but the program should be implemented.

## IMPORTANT NOTE

The light exposure realized with the commercially available SENSITOMETERS are suitable for QA purposes

BUT

MUST NOT be used to compare different films among them !!!

HIGHLIGHTS ON THE EVALUATION

OF THE SCREEN-FILM SYSTEMS

USED IN MEDICAL RADIOLOGY

A RADIOGRAPHIC SCREEN-FILM SYSTEM

IS A GOOD SYSTEM IF

- \* IT REQUIRES A LOW EXPOSURE
- \* IT GIVES GOOD QUALITY IMAGES

SENSITOMETRY

IS USED TO DEFINE THE "SPEED" OF THE SYSTEM AND OTHER IMPORTANT PARAMETERS LIKE CONTRAST - LATITUDE - MAX DENSITY AND SO ON.

IMAGE QUALITY

IS USED TO DEFINE PROPERTIES LIKE DETAIL DEFINITION, NOISE AND OTHERS. THROUGH IT, IT IS POSSIBLE TO FORESEE THE PRACTICAL IMAGE QUALITY OF THE SYSTEM.

- 1 - VARIATION OF FOCUS-FILM DISTANCE
- 2 - VARIATION OF EXPOSURE TIME
- 3 - VARIATION OF RADIATION INTENSITY

1 - FOCUS-FILM DISTANCE

FROM A PHYSICAL POINT OF VIEW THIS IS THE SIMPLEST METHODS, EXPOSURES BEING CALCULATED WITH THE INVERSE - SQUARE LAW

IT IS USED FOR PRIMARY AND LABORATORY WORK

IT HAS BASICALLY TWO LIMITATIONS:

- IT IS TIME CONSUMING WITH STRONG WEARING OF THE X-RAY GENERATOR
- IT DOESN'T REPRODUCE PRACTICAL EXPOSURE CONDITIONS AS PER GEOMETRY AND DIFFUSE RADIATION.

NEVERTHELESS IT IS THE METHOD PROPOSED BY GERMAN AND EUROPEAN STANDARDS. (DIN 6867 - IEC)

## 2 - EXPOSURE TIME SCALE

EXTREMELY SIMPLE METHOD

EXPOSURE = INTENSITY X TIME (mA X SEC)

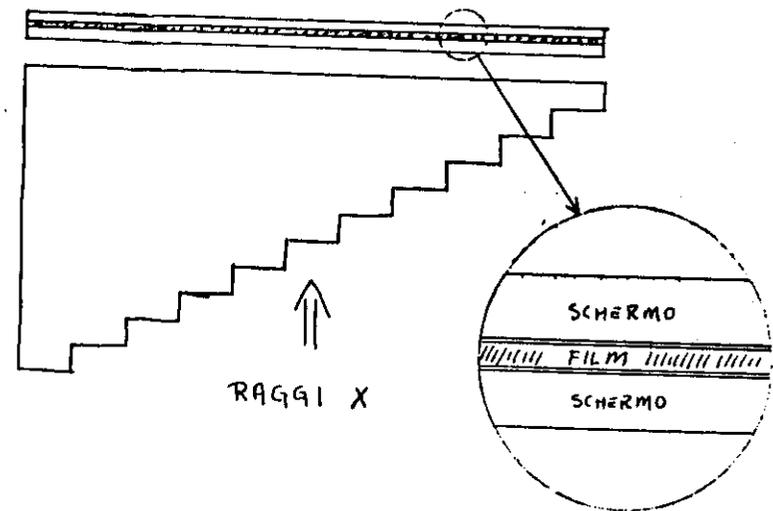
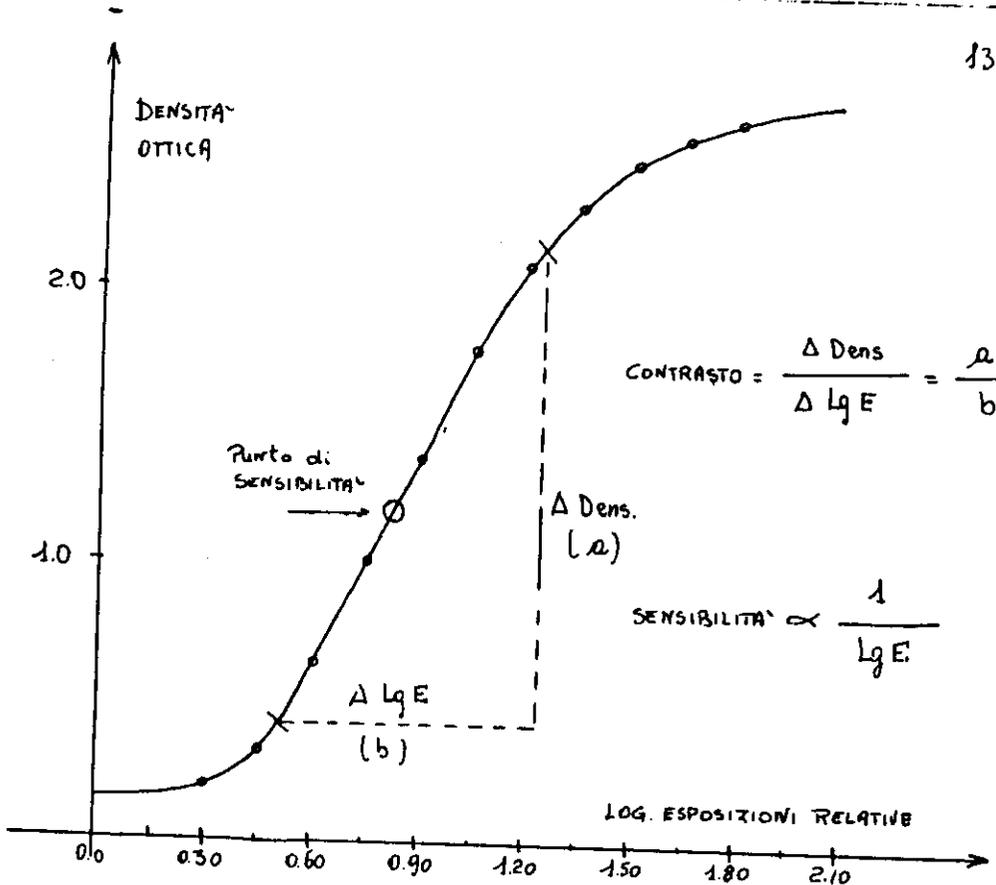
BECAUSE OF THE RECIPROCITY LAW FAILURE, AFFECTING ALL EXPOSURES OBTAINED WITH LIGHT (PHOSPHOR SCREENS) THIS METHOD IS NOT USEFUL IN MEDICAL RADIOGRAPHY.

IT IS VERY MUCH USED IN INDUSTRIAL RADIOGRAPHY.

3 - INTENSITY SCALE

THE INCIDENT BEAM IS MODULATED BY A SPECIAL ALUMINUM WEDGE IN PLACE OF THE PATIENT. IN THIS WAY THE GEOMETRY AND THE DIFFUSE RADIATION OF THE PRACTICALS CAN BE ACCURATELY REPRODUCED.

GENERALLY THE ALUMINUM WEDGE IS STEPPED AND THREE STEPS CORRESPOND TO THE H.V.L. (HALF VALUE LAYER) OF THE BEAM USED IN THE MIDDLE REGION OF THE WEDGE.



THIS LOOKS VERY SIMPLE, BUT IT ISN'T.

THE ATTENUATED BEAM HAS A DIFFERENT ENERGY SPECTRUM COMPARED TO THE INPUT BEAM BECAUSE OF THE HIGHER ABSORPTION OF THE "SOFT" PART OF THE X-RAY BEAM.

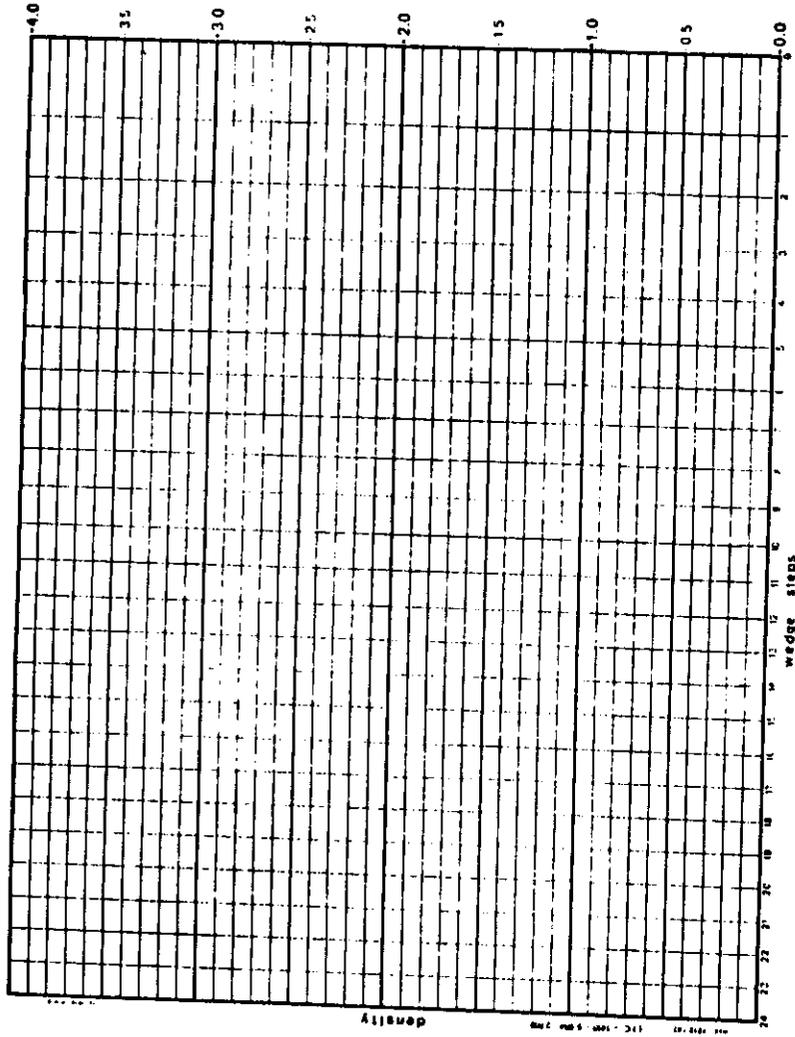
IN COMPARISON TO VISIBLE LIGHT ATTENUATION WE CAN SAY THAT FOR X-RAY BEAMS IT IS NOT POSSIBLE TO HAVE A "NEUTRAL" SCALE.

TO COMPENSATE FOR THE "HARDENING" OF THE BEAM EACH STEP SHOULD BE SLIGHTLY THICKER THAN THE PREVIOUS ONE BUT THE QUANTITY OF THIS INCREMENT IS VERY DIFFICULT TO CALCULATE.

THE SIMPLEST WAY TO GET A RESULT IS THE EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE H.V.L. IN THE SPECIAL CONDITION OF USE.

A TYPICAL EXAMPLE OF RESULTS IS SHOWN: (SEE EXAMPLE)

THE UNIT ON THE  $\log E$  AXIS IS VARIABLE : IT IS 10 MM IN THE CENTRAL PART; BECOMES 6 - 7 MM ON THE LEFT AND 22 - 24 MM ON THE RIGHT.



filing no .....  
 date .....  
 film .....  
 brand .....  
 type .....  
 em .....  
 mesh .....  
 exp date .....  
 exposure .....  
 kv .....  
 ma .....  
 mas .....  
 dist .....  
 processing .....  
 proc .....  
 dev .....  
 time % .....  
 fog 0 .....  
 speed .....  
 contrast .....  
 max density .....

ONE DISVANTAGE

USING THIS TYPE OF REPRESENTATION A RIGOROUS CORRESPONDANCE OF THE REFERENCES ON THE WEDGE AND ON THE PAPER IS REQUIRED.

ONE ADVANTAGE

ON THE OTHER HAND THE SAME REPRESENTATION IS SUFFICIENTLY ACCURATE FOR ANY BEAM ENERGY USED IN MEDICAL APPLICATIONS (40 - 150 KV).

"SENSITOMETRY" IS ALSO POSSIBLE USING :

- \* CONTINUOUS ALUMINUM WEDGES  
  
WITH A SPECIAL PROFILE DIRECTLY COMING FROM PREVIOUS EXPERIENCE IT IS POSSIBLE TO USE A REPRESENTATION WITH A LINEAR LOG<sub>e</sub> SCALE.

- \* SIMULATED EXPOSURES TO LIGHT  
  
IN FACT THE X-RAY FILM IS EXPOSED BY THE LIGHT FROM THE SCREENS AND THIS LIGHT CAN BE SIMULATED AT LEAST FOR QUALITY CONTROL PURPOSES.

THE FOLLOWING

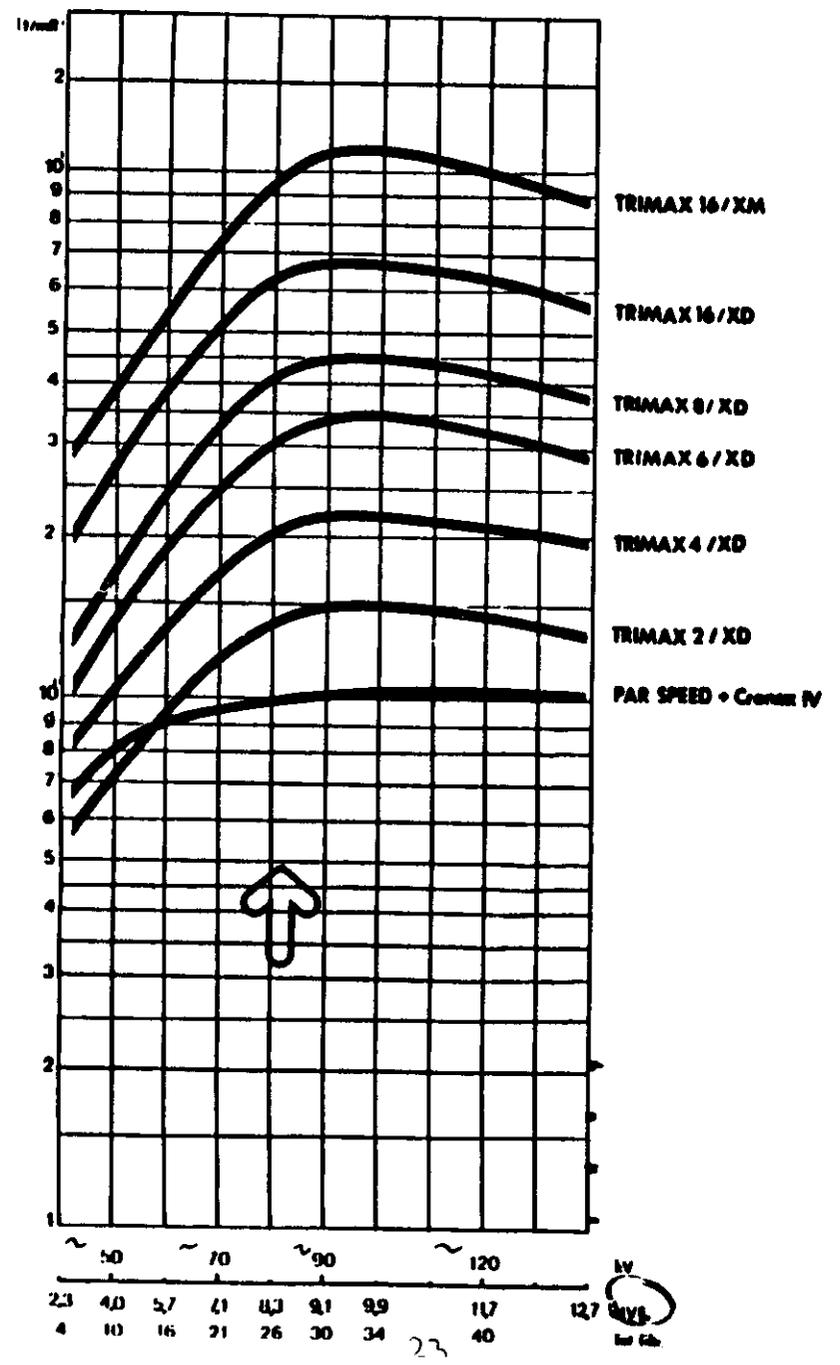
SPEED VS. ENERGY CURVES

HAVE BEEN OBTAINED WITH THE INVERSE SQUARE LAW

NOTE :

- \* SPEED VALUES ARE REPORTED ON AN ABSOLUTE SCALE ( $mR^{-1}$ )
- \* SPEED IS STRONGLY DEPENDENT ON THE ENERGY OF THE BEAM
- \* BEAM ENERGY IS PRIMARILY DEFINED BY THE HVL; THE INDICATED KV IS ONLY APPROXIMATE

**SPEED VS. ENERGY**



**At 90 kV**

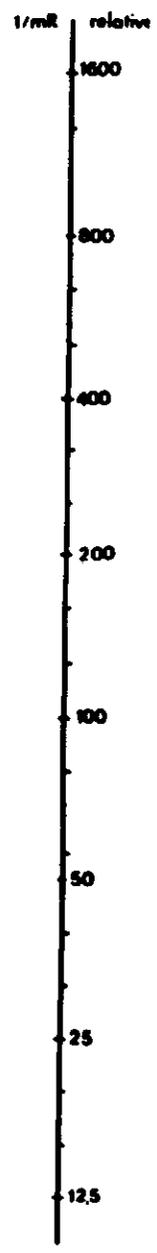


IMAGE QUALITY

THE MAIN ELEMENTS THAT PARTECIPATE TO CREATE A RADIOGRAPHIC IMAGE ARE:

- X-RAY BEAM (FOCUS, GEOMETRY, ENERGY,....)
- CHARACTERISTICS OF THE OBJECT
- X-RAY RADIATION TO LIGHT CONVERSION (SCREENS)
- SCREEN-FILM CONTACT (CASSETTE)
- CROSSOVER LIGHT (FILM)
- PROCESSING
- CHARACTERISTIC CURVE SHAPE
- VIEWING CONDITIONS

EACH OF THEM HAS AN IMPORTANT INFLUENCE ON THE QUALITY OF THE FINAL IMAGE.

*Sh. to Sharp Edge  
0 - 117 Curves*

THE MOST FAMILIAR REPRODUCTION SYSTEM IS PROBABLY OUR HI-FI  
AUDIO SYSTEM SO WE ARE VERY ACCOSTUMED TO WORDS LIKE

DISTORTION

BANDPASS

NOISE

WE CAN APPLY THE SAME CONCEPTS TO THE INFORMATION CHAIN  
LEADING TO A RADIOGRAPHIC IMAGE.

THREE DIFFERENT OBJECTS ARE USED TO MEASURE  
MTF CURVES :

1 - SHARP EDGE

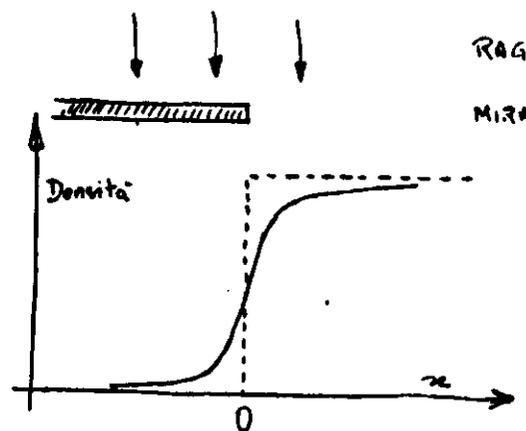
2 - SLIT

3 - SQUARE TEST PATTERN

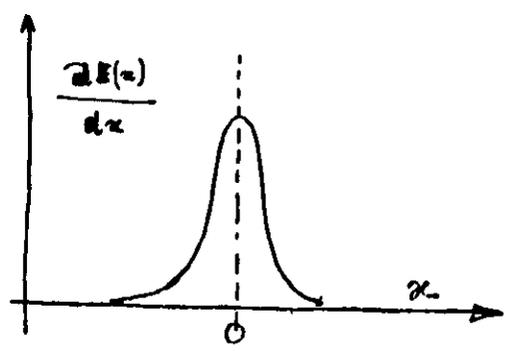
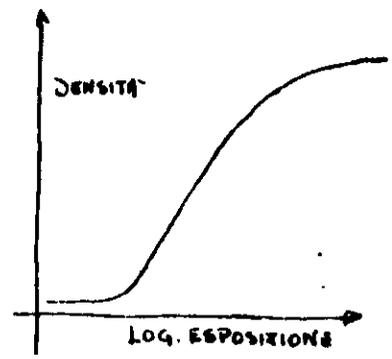
THE THIRD BEING THE MOST WIDELY USED.

RAGGI X

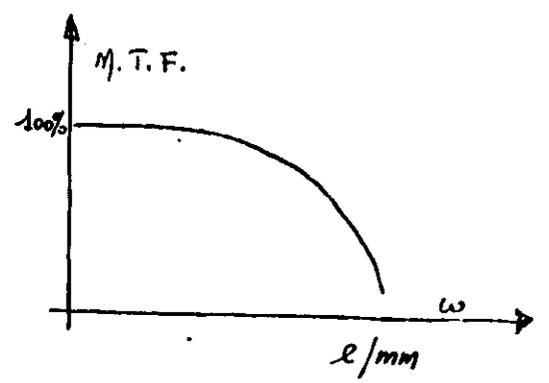
MIRA DI PIOMBO (50 μm)



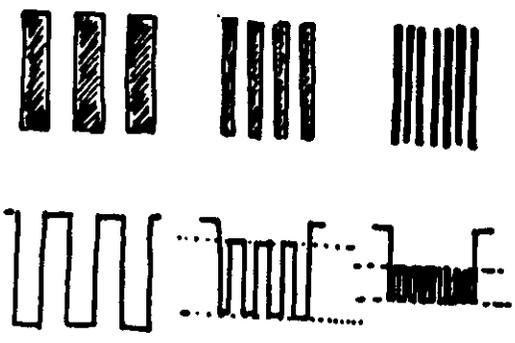
CURVA SENSITOMETRICA



LINE SPREAD FUNCTION



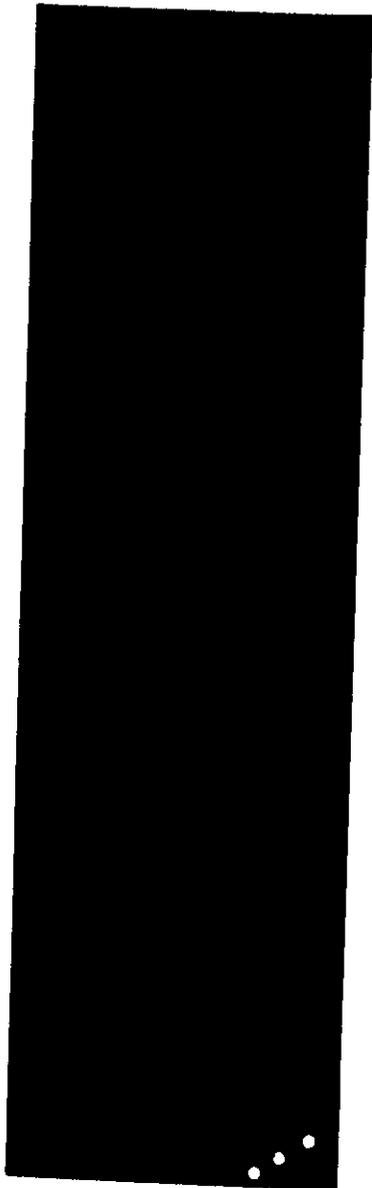
MODULATION TRANSFER FUNCTION



$$M_1 = \frac{X_{MAX} - X_{MIN}}{X_{MAX} + X_{MIN}}$$

$$M_0 = \frac{I_{MAX} - I_{MIN}}{I_{MAX} + I_{MIN}}$$

THE RATIO OF THE OUTPUT SIGNAL (ON THE FILM) TO THE INPUT SIGNAL (CONSTANT) IS THE MTF OF THE SYSTEM.



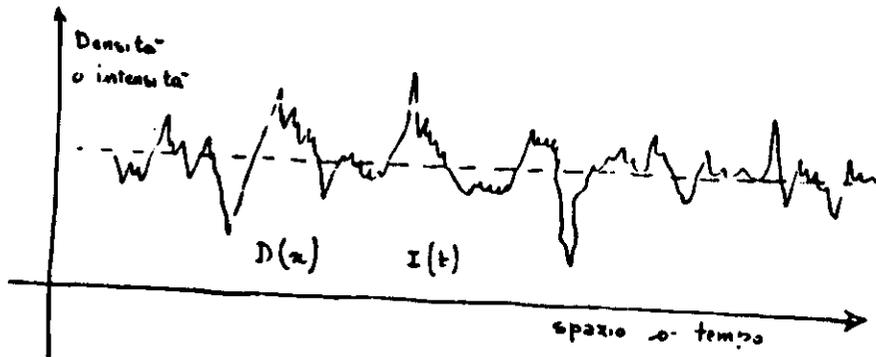
## NOISE

MAIN SOURCES OF NOISE AFFECTING THE QUALITY OF THE RADIOGRAPH ARE:

QUANTUM FLUCTUATIONS  
SCREEN STRUCTURE  
FILM GRAININESS  
CROSSOVER LIGHT

THE NOISE IS MEASURED THROUGH:

THE R.M.S. GRANULARITY  
THE NOISE SPECTRUM (WIENER)



AS AN EXAMPLE THE NOISE SPECTRUM OF A SCREEN FILM SYSTEM CAN BE DIVIDED IN THREE MAIN REGIONS:

THE R.M.S. GRANULARITY IS THE ROOT MEAN SQUARE OF THE DENSITY VARIATIONS CALCULATED FROM THE DENSITIES OVER ALL THE FREQUENCY RANGE.

THE NOISE SPECTRUM (WIENER SPECTRUM) IS THE FOURIER TRANSFORM OF THE FUNCTION  $I(x)$ . THIS FUNCTION  $\mathcal{P}(\omega)$  GIVES THE NOISE AS A FUNCTION OF THE FREQUENCY.

	$\lambda < 0.3 \text{ mm}$	FILM GRAININESS
0.3 <	$\lambda < 3.0 \text{ mm}$	SCREEN STRUCTURE
3.0 <	$\lambda$	UNEVEN EXPOSURE AND/OR DEVELOPMENT

TITOLO: Ottimizzazione dei fattori di Camera Oscura.  
Controllo dei procedimenti di sviluppo.

AUTORE: C. GAZZOLA  
3M ITALIA RICERCHE - FERRANIA.

La QUALITA' intesa non come ARTE ma come EFFICIENZA e' ormai un concetto familiare. Il concetto giunge nelle nostre case attraverso la Pubblicita' dei piu' disparati prodotti; assicurare la Qualita' e' diventato un mestiere conosciuto e richiesto. Per questo cercheremo di entrare in qualche dettaglio di un Programma di Quality Assurance in Radiodiagnostica specializzato in Senologia, descrivendo quali sono gli STRUMENTI necessari e quali le FASI OPERATIVE, anziche' parlare di cosa e' un programma di QA.

I punti di intervento del nostro programma di Q.A. riguardano tutti gli anelli della CATENA che porta al risultato finale, cioe' l'immagine radiografica:

- \* magazzino scorte
  - \* sistemi schermo/pellicola
    - \* apparecchi radiogeni
      - \* macchia focale
        - \* cassette
          - \* tecnica di ripresa
            - \* griglie
              - \* camera oscura
                - \* luci sicurezza
                  - \* prodotti chimici
                    - \* trattamento
                      - \* negativi scopi

Nella prima parte parleremo dell'ottimizzazione delle procedure di Camera Oscura in generale, mentre nella seconda parte tratteremo con certo dettaglio il controllo del procedimento di sviluppo.

parte prima

#### 1) MAGAZZINO SCORTE

Il materiale fotografico e' per sua natura un materiale "sensibile" a molti agenti ambientali. Tuttavia condizioni ottimali di conservazione e rotazione si possono ottenere con relativa facilità. I soli strumenti necessari sono un termometro, un igrometro e... la pazienza di eseguire la verifica in ogni stagione dell'anno se non vi e' un sistema automatico di controllo.

Le caratteristiche da analizzare sono:

- \* TEMPERATURA ( 18° / 23° C )
- \* UMIDITA' ( 40 / 65 % U.R. )
- \* RADIAZIONI
- \* INQUINAMENTI CHIMICI
- \* SOLLECITAZIONI MECCANICHE
- \* ROTAZIONE DELLE RISERVE

TEMPERATURA ( 18° / 23° C )

In tutte le reazioni chimiche la temperatura accelera significativamente il processo. In termini molto generali, si usa dire che ogni ca. 5°C di aumento di temperatura si ha un raddoppio della velocita' di reazione.

In particolare per i materiali fotografici si puo' dire che:

temperature di -18/-20°C bloccano il processo di invecchiamento;

temperature fino a ca. +4°C rallentano significativamente il processo;

per temperature fino a 20/23°C si ha un processo di invecchiamento "normale", sul quale vengono calcolate le date di scadenza;

per temperature superiori si ha un significativo accorciamento della vita utile ( aumento velo, abbassamento contrasto e densita' massima).

UMIDITA' ( 40 / 65 % U. R. )

Il materiale sensibile e' generalmente fornito in imballi protettivi; tuttavia ambienti troppo secchi sono favorevoli alla formazione di cariche elettrostatiche, mentre ambienti umidi accelerano l'invecchiamento.

## RADIAZIONI

La pellicola mammografica puo' essere velata da isotopi radioattivi. Le pellicole dovranno essere quindi tenute separate da materiali che producono radiazioni, tra cui soluzioni di bario e cobalto.

## INQUINAMENTI CHIMICI

Tutte le pellicole fotografiche sono assai sensibili agli agenti chimici presenti anche in traccia. Evitare quindi l'immagazzinamento insieme alle confezioni di sviluppo e fissaggio sia liquido che in polvere. Altri agenti chimici inquinanti sono il biossido di zolfo, l'ammoniaca ed i solventi organici.

## SOLLECITAZIONI MECCANICHE

Vedremo che il processo di enorme amplificazione che costituisce la formazione dell'immagine fotografica si basa sulla creazione di "equilibri critici" nelle fasi di

- fabbricazione dell'emulsione
- esposizione
- sviluppo

Quindi anche nella pellicola vergine i granuli sono in una situazione instabile e possono divenire sviluppabili o meno non solo per azione di un fotone luminoso, ma anche per cessione di energia sotto altre forme, per esempio meccanica.

Forti pressioni, cadute, maltrattamenti sulle singole pellicole possono provocare variazioni di densita' a macchia che disturbano il radiogramma finale.

Una sistemazione corretta prevede la conservazione delle scatole in verticale; si evita cosi' la pressione sulle pellicole con facile reperimento e movimentazione.

## ROTAZIONE DELLE SCORTE

Ultimo ma forse piu' importante punto. Una buona organizzazione di magazzino permette di utilizzare sempre il materiale fresco. Su tutti i materiali radiografici e' indicata la data di scadenza. E' opportuno verificare che venga effettivamente attuata la rotazione delle scorte: first in - first out, come dicono gli americani.

## 2) SISTEMI SCHERMO-PELLICOLA

La scelta del sistema di registrazione e' una fase determinante nel processo di formazione dell'immagine. In questo contesto ci riferiremo esclusivamente ai sistemi fotografici che sono, al giorno d'oggi, rappresentati prevalentemente da schermi alle Terre Rare in singolo, accoppiati a pellicole monofaccia. Tale soluzione e' relativamente recente. La tavola che segue mostra l'interessante avvicinarsi dei sistemi di registrazione in mammografia:

|      |                                   |                   |
|------|-----------------------------------|-------------------|
| 1950 | Pellicole per esposizione diretta |                   |
| 1971 | Xeroradiografia                   |                   |
| 1972 | Du Pont LO-DOSE                   | CaWO <sub>4</sub> |
| 1976 | 3M TRIMAX M                       | Terre Rare        |
|      | Du Pont LO-DOSE 2                 | Terre Rare        |
|      | Kodak Min-R                       | Terre Rare        |
|      | A.G. MR 50/MR 3                   | Terre Rare        |
| 1977 | Ionografia                        |                   |
| 1980 | 3M TRIMAX MS                      | Terre Rare        |
|      | Kodak MinR/Ortho M                | Terre Rare        |
|      | Du Pont 2/MRF 31                  | Terre Rare        |

I nuovi sistemi di registrazione hanno portato ad una progressiva e rilevante riduzione della dose senza deterioramento della qualita' dell'immagine. Cio' e' dovuto in parte alle superiori qualita' dei sistemi sviluppati, in parte al fatto che il sistema di registrazione non costituisce "l'anello debole" della catena di formazione dell'immagine. Solo lavori recenti hanno portato allo sviluppo di generatori dedicati, con accorgimenti quali: elevata compressione della mammella, aumento della distanza fuoco-pelle, possibilita' di uso di griglie e della tecnica di ingrandimento.

Dal punto di vista piu' specifico del controllo della Camera Oscura, gli schermi per mammografia, realizzati con tecnologie raffinate, spesso contenenti coloranti per migliorare la qualita' di immagine, richiedono una scrupolosa cura nella pulizia, l'uso dello SCREEN CLEANER suggerito dal fabbricante e contenente un antistatico per prevenire il deposito di polvere, assai dannosa soprattutto in mammografia.

## 3) Apparecchi radiogeni - MACCHIA FOCALE

L'argomento verra' trattato, nell'ambito del corso, da

oratori piu' qualificati nel campo. Ci limitiamo qui a sottolineare l'importanza in mammografia di una PICCOLA macchia focale e della conoscenza delle sue dimensioni reali. In tabella un confronto tra dimensioni nominali e misurate per diverse unita' mammografiche (da A. G. Haus - 1982).

| generatore    | dimensioni fuoco |           | distanza<br>fuoco-pelle |
|---------------|------------------|-----------|-------------------------|
|               | nominali         | misurate  |                         |
| a             | 0.6 mm           | 0.75x1.0  | 28 cm                   |
| b             | 0.6              | 0.75x1.0  | 60                      |
| c             | 0.6              | 0.9 x1.3  | 50                      |
| d             | 0.4              | 0.5 x0.6  | 50                      |
| e             | 0.6              | 0.65x0.7  | 45                      |
| f             | 1.0              | 1.44x1.45 | 59                      |
|               | 2.0              | 2.5 x2.9  | 59                      |
| g             | 0.45             | 0.7 x0.85 | 44                      |
| Ingrandimento | 0.09             | 0.12x0.14 | 21                      |

Le dimensioni del fuoco possono essere misurate con sufficiente approssimazione con una RESOLUTION STAR PATTERN o piu'esattamente con una PINHOLE CAMERA con cui vengono molto chiaramente evidenziate non solo le dimensioni, ma anche la forma del fuoco, rendendo piu' facile la diagnosi di eventuale usura e/o difettosita'.

#### 4) CASSETTE

In generale, la cassetta deve garantire:

- buon contatto schermo-pellicola
- buona tenuta di luce.

In mammografia sono indispensabili altre due caratteristiche:

- assorbimento molto basso della radiazione
- dimensioni esterne ridotte per non "rubare" immagine.

Entrambe le soluzioni presenti sul mercato e cioe' busta in polietilene nero con accessori per sottovuoto e cassetta in plastica, sono adeguate ed entrambe debbono essere verificate ogni 6 mesi circa.

La tenuta di luce puo' essere verificata in entrambi i casi con esposizione di alcuni minuti alla luce di un negativo-scopio, esponendo tutte le parti della cassetta regolarmente caricata. Il contatto schermo-pellicola e' garantito dalla presenza del vuoto nel caso delle buste, mentre deve essere verificato con apposita griglia nel caso di cassette di tipo convenzionale.

#### 5) Camera Oscura e LUCI DI SICUREZZA

Come ha rilevato una recentissima (Agosto '83) analisi della U.S. Food & Drug Administration su circa 900 camere oscure negli Stati Uniti: "...uno dei piu' comuni ma anche evitabili problemi nelle diagnostiche radiologiche e' il velo da luce che puo' degradare la qualita' dell'immagine fino al punto di dover ripetere l'esame".

Le cause che generano velo in una camera oscura sono:

- \* Uso di filtri di sicurezza non corretti. Attualmente, con la larga diffusione degli schermi alle Terre Rare Verde Emittenti, e' necessario attrezzare le camere oscure con filtri universali rosso arancio tipo 3M X-610 o Kodak GBX. I vecchi filtri arancio (o W-68) possono velare le moderne pellicole ortocromatiche.
- \* Lampada troppo forte. Normalmente consigliata una lampada al tungsteno da 15W. Potenze superiori, oltre a velare la pellicola, generano eccessivo calore, abbreviando la vita dei filtri. Uno studio personale ha messo in evidenza l'eccellente qualita' delle nuove lampade Philips PL-7 che migliorano visibilita' e sicurezza con consumi e temperature ridotte.
- \* Distanza dalla luce di sicurezza troppo bassa. Normalmente non meno di 120-150 cm.
- \* Troppi punti luce.
- \* Infiltrazioni di luce bianca, visibili ad occhio solo dopo una permanenza di almeno 15 minuti nell'oscurita'.
- \* Lampade spia di attrezzature varie non opportunamente schermate.

La prova si effettua lasciando per 1, 2 e 4 minuti, nei punti ritenuti critici della camera oscura, una pellicola precedentemente esposta con una scala sensitometrica. Il massimo incremento di densita', causato da 2 minuti di permanenza in camera oscura non dovrebbe superare 0.02-0.03 D.O.

#### 6) PRODOTTI CHIMICI PER TRATTAMENTO

Come gia' detto, i prodotti chimici per il trattamento debbono essere conservati in luogo separato dal magazzino pellicole. Verificare all'arrivo e prima dell'uso l'integrita' delle confezioni, la mancanza di perdite, di ossidazione nella parte B dello sviluppo concentrato, di cristallizzazioni (parte A sviluppo) ed infine di solforizzazione nella parte A del fissaggio. Usualmente non sono indicate date di scadenza sulle confezioni; tuttavia e' raccomandabile effettuare una accurata rotazione delle riserve, eventualmente aiutandosi con il numero della partita, che viene sempre indicato.

#### 6) NEGATIVOSCOPI

E' assai importante l'omogeneita' e la corretta emis-

sione di luce da parte degli illuminatori.  
Usuali dati di riferimento sono:

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| intensita' raccomandata        | 500 lux    |
| luce ambiente                  | ca. 35 lux |
| rapporto illuminatore/ambiente | 10:1       |
| temperatura di colore          | daylight   |

Le misure di intensita' luminosa possono essere eseguite con un luxmetro, ma anche con un comune esposimetro di macchina fotografica. Basta infatti impostare la sensibilita' su ISO 64 ed il diaframma su f:8. L'inverso del tempo di esposizione e' allora l'intensita' luminosa espressa in lux.

#### PARTE SECONDA - TRATTAMENTO CHIMICO

Il trattamento chimico della pellicola radiografica e' costituito dalle fasi di: sviluppo, fissaggio, lavaggio ed essiccamento.

Lo sviluppo e' la fase durante la quale l'immagine viene rivelata, cioe' diventa visibile ma non ancora stabile; l'azione dello sviluppo deve essere controllata e selettiva. Il controllo si ottiene manovrando parametri fisici esterni quali tempo, temperatura ed agitazione. La selettivita', cioe' lo sviluppo dei soli granuli esposti, si ottiene chimicamente mediante l'aggiunta di sostanze ritardanti e di antivelli, che impediscono lo sviluppo dei granuli non esposti e quindi la formazione di velo sull'immagine.

Il fissaggio ha lo scopo di rimuovere dall'emulsione i cristalli di alogenuro d'argento non esposti che, essendo opachi e ancora sensibili alla luce, darebbero, con la loro presenza, un'immagine non trasparente e che lentamente si annerisce nel tempo anche nelle zone non esposte, per effetto della separazione diretta di argento per azione fotolitica.

Il lavaggio elimina dall'emulsione ogni traccia del sale complesso garantendo una buona conservazione dell'immagine.

L'essiccamento e' favorito dall'indurimento presente nel bagno di fissaggio e dall'assenza di sali solubili e quindi igroscopici nell'emulsione.

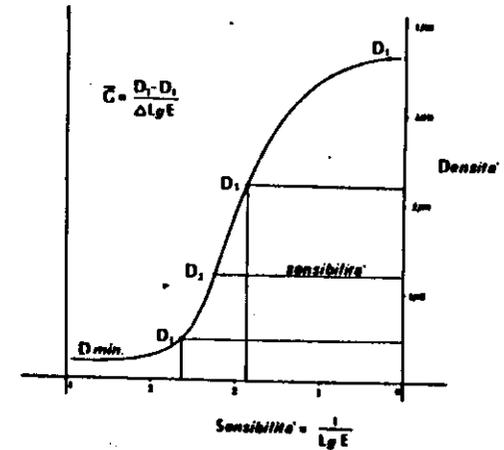
Le reazioni di sviluppo e di fissaggio, come ogni altra reazione chimica, sono influenzate dal tempo (durata) e dalla temperatura a cui esse avvengono. L'aumento di tempo e temperatura accelera non solo le reazioni chimiche, ma anche il rigonfiamento dell'emulsione con conseguente piu' veloce scambio osmotico.

Altri fattori fondamentali che influiscono sulla variabilita' del trattamento sono: l'agitazione, che in una sviluppatrice a ciclo rapido dipende dall'efficienza delle pompe e dalla pulizia dei filtri e l'esaurimento dei bagni,

che si contrasta in certa misura con una opportuna integrazione.

#### SENSITOMETRIA

La Fig.1 rappresenta la curva sensitometrica di un tipico materiale radiografico: in ordinate si riportano le densita' ottiche (D.O.), in ascisse il logaritmo dell'esposizione.



I valori delle D.O. ricoprono completamente il range necessario per ottenere una radiografia. Le cinque densita' indicate e cioe' D<sub>min</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> permettono di identificare i quattro parametri caratteristici di una curva sensitometrica, ognuno dei quali e' variamente influenzato dalle condizioni del trattamento.

A livello sperimentale e' stato eseguito il controllo sensitometrico e chimico di diverse sviluppatrici di normale uso, per correlare le variazioni sensitometriche ai risultati dell'analisi chimica dei bagni.

I risultati sono stati riportati su carta di controllo quotidianamente per quanto riguarda i parametri sensitometrici; settimanalmente (piu' tutte le volte che la sensitometria ha denunciato qualche parametro fuori standard) e' stata effettuata l'analisi chimica di numerosi parametri.

Le conclusioni principali sono:

a) Per quanto riguarda lo sviluppo, vi e' una perfetta correlazione tra i risultati sensitometrici e quelli dell'analisi chimica. Tuttavia solo con l'analisi chimica e' talvolta possibile chiarire le cause di alcune anomalie.

b) I risultati di analisi semiquantitative effettuate con le varie "cartine" e "test" reperibili sul mercato danno indicazioni qualitativamente corrette ma in genere meno precise di quelle ottenibili con una normale sensitometria.

c) Per quanto riguarda fissaggio e lavaggio il provino sensitometrico non è in grado di rilevare anomalie ancora limitate ma che comunque compromettono la conservazione nel tempo dell'immagine radiografica.

#### PROGRAMMA DI QUALITY ASSURANCE

Da quanto detto in precedenza risulta che il controllo sensitometrico delle caratteristiche sensitometriche, nonché la verifica di alcuni parametri fisico-meccanici, permettono di tenere sotto controllo le condizioni del trattamento.

Per quanto riguarda le caratteristiche sensitometriche è necessario disporre di materiali esposti in modo ben definito e ripetibile. Ciò si può ottenere utilizzando provini pre-esposti, forniti dagli stessi produttori di pellicola radiografica, oppure disponendo di un sensitometro idoneo e cioè in grado di emettere una quantità di luce assolutamente ripetibile e con la distribuzione spettrale caratteristica del tipo di schermo di rinforzo che si usa.

È necessario evidenziare a questo punto che in nessun modo è possibile utilizzare, per un regolare controllo del trattamento, scale sensitometriche ottenute con esposizione a raggi X, in quanto anche le migliori apparecchiature radiogene non consentono la necessaria ripetibilità. Con un sensitometro fabbricato per questo uso specifico si ottengono esposizioni come quella mostrata nella Fig.2.



Date \_\_\_\_\_ Time \_\_\_\_\_ Proc.No. \_\_\_\_\_  
 Def. \_\_\_\_\_ D<sub>3</sub> \_\_\_\_\_ Dev. 1,2,3,4 \_\_\_\_\_  
 D<sub>4</sub> \_\_\_\_\_ D<sub>1</sub> \_\_\_\_\_ Repl. Dev. \_\_\_\_\_ F<sub>11</sub> \_\_\_\_\_  
 D<sub>2</sub> \_\_\_\_\_ D<sub>2</sub>-D<sub>1</sub> \_\_\_\_\_

In questo caso sono riprodotti solo cinque valori di densità che abbiamo visto in precedenza essere sufficienti a caratterizzare una curva sensitometrica.

Due parole di confronto tra i due metodi citati per ottenere i test sensitometrici.

L'acquisto di provini pre-esposti è certamente il modo più semplice e al riparo da ogni possibile sorgente di errore. L'uso dello speciale sensitometro ha invece il vantaggio di utilizzare per il controllo la stessa pellicola usata in diagnostica.

I provini sensitometrici, comunque realizzati, devono

essere trattati in sviluppatrice preferibilmente al mattino, prima di iniziare il normale lavoro, ma anche dopo che la sviluppatrice ha raggiunto le condizioni di esercizio e dopo che sono state passate le pellicole di pulizia, parte a luce rossa e parte a luce bianca.

Una volta sviluppati, i provini devono essere letti nei punti indicati e le densità (o la differenza D<sub>3</sub>-D<sub>1</sub> nel caso del contrasto) riportate su carte di controllo. I valori di partenza, da trascrivere a cura dell'operatore per ogni caratteristica sulla sinistra del grafico, sono quelli ottenuti dalla media di due/quattro provini, trattati quando la sviluppatrice è sicuramente in standard perché è stata controllata e perché le soluzioni in vasca e gli integratori sono freschi e stabilizzati.

Una fase delicata del programma di QA nel trattamento è l'interpretazione delle carte di controllo. Anche senza approfondire la trattazione teorica non sarà difficile comprendere le relazioni tra diagnosi e causa esposte nella Fig. 3.

Talvolta lo stesso effetto sensitometrico può essere addebitato a cause diverse; in tal caso la spiegazione richiede l'ausilio dell'analisi chimica.

Alcune regole pratiche sono facili da ricordare:

- trattare pellicole completamente esposte (cioè a luce bianca) "stanca" rapidamente lo sviluppo;
- trattare pellicole non esposte (a luce rossa) "rigenera" efficacemente lo sviluppo, purché l'integratore contenuto nelle vasche sia fresco;
- azioni più energiche sono: l'inserimento dell'integratore, senza passaggio di pellicole ed infine la sostituzione di parte o tutta la soluzione in vasca.

In ogni caso va tenuto ben presente che l'integrazione deve essere fatta con soluzioni non ossidate. Uno sviluppo integratore ossidato, e quindi scuro, deve essere scaricato senza esitazione e la nuova soluzione deve essere preparata in una vasca ben pulita.

L'attenzione si è fin qui concentrata principalmente sui problemi dello sviluppo e ciò è comprensibile. Tuttavia anche le fasi successive di fissaggio, lavaggio ed essiccamento hanno una fondamentale importanza specie per la conservazione dell'immagine finale.

L'esperienza ha mostrato che in questo campo la pratica più redditizia è una regolare verifica dei parametri fisico-meccanici quali: temperature, velocità, valore d'integrazione, flusso dell'acqua di lavaggio, che devono essere conformi a quanto stabilito dal fabbricante. D'ausilio, in questo caso, può essere il test del tiosolfato residuo che dà indicazioni sufficientemente precise.

In conclusione abbiamo visto che un programma di Quality Assurance e' un modo nuovo di fare cose usuali rendendo sistematiche quelle operazioni che comunque devono essere fatte. Ne consegue un prodotto finale certamente migliore, una piu' elevata costanza di qualita' ed una riduzione dell'esposizione alle radiazioni per il personale e per il paziente.

Abbiamo visto che gli strumenti necessari sono assai semplici e disponibili sul mercato, come piuttosto semplici sono le fasi operative e cioe':

- presa di coscienza del problema
- scelta del materiale
- qualificazione del personale addetto.

In particolare poi abbiamo nella fase del trattamento chimico un anello potenzialmente debole nella catena che conduce ad una corretta immagine radiografica.

Quindi un programma di Quality Assurance, finalizzato al trattamento chimico della pellicola radiografica, contribuisce a buon diritto, al raggiungimento degli obiettivi generali e cioe':

- il miglioramento della qualita'
- la riduzione dell'esposizione alle radiazioni
- la riduzioni dei costi.

|              | DIAGNOSI SENSITOMETRICA |       |      | POSSIBILI CAUSE                                    | M. S. |       | Integ |
|--------------|-------------------------|-------|------|--|-------|-------|-------|
|              | Basso                   | Norm. | Alta |  | Self. | Brav. |       |
| VELO         |                         |       | •    | CHINICI FRESCI                                     |       |       |       |
| SENSIBILITA' |                         |       | •    | ALTA TEMPERATURA                                   |       |       |       |
| CONTRASTO    |                         |       | •    | VELOCITA' DI TRASPORTO LENTA<br>SOPRA INTEGRAZIONE | ALTO  | BASSO |       |
| VELO         |                         |       | •    | SVILUPPO INQUINATO                                 |       |       |       |
| SENSIBILITA' |                         | •     |      | ALTO QMS   |       |       |       |
| CONTRASTO    | •                       |       |      |  |       |       |       |
| VELO         | •                       | •     |      | BASSA INTEGRAZIONE                                 | BASSO | ALTO  |       |
| SENSIBILITA' | •                       |       |      | INTEGRATORE OSSIDATO                               |       |       | BASSO |
| CONTRASTO    | •                       |       |      | BASSA TEMPERATURA                                  |       |       |       |
| VELO         |                         |       | •    | SVILUPPO INQUINATO                                 |       |       |       |
| SENSIBILITA' |                         | •     |      | CHINICI FRESCI                                     |       |       |       |
| CONTRASTO    |                         | •     |      | ALTA TEMPERATURA                                   |       |       |       |
| VELO         |                         | •     |      | "WORKING SOLUTION" OSSIDATA                        | BASSO |       |       |
| SENSIBILITA' |                         | •     |      | INTEGRATORE OSSIDATO                               |       |       | BASSO |
| CONTRASTO    | •                       |       |      | BASSA TEMPERATURA                                  |       |       |       |

SCHEMI DI RINFORZO ALLE TERRE RARE  
PRINCIPI FISICI E VANTAGGI OPERATIVI

S. Pesce

3M Italia SpA - Lab. Ricerche - 17016 Ferrania (Savona)

PRINCIPI FISICI

L'efficienza globale di conversione dei raggi X in luce per una coppia di schermi di rinforzo può essere rappresentata dalla formula :

$$E = E_A \times E_C \times E_T \quad (1)$$

dove  $E_A$  rappresenta l'assorbimento dei raggi X,  $E_C$  l'efficienza intrinseca di conversione tipica del fosforo utilizzato ed  $E_T$  l'efficienza di trasmissione dello strato per la luce in esso generata.

Sulla base di questi parametri porteremo avanti un confronto tra il  $Gd_2O_2S:Tb$  impiegato negli schermi Trimax ed il  $CaWO_4$  sale fluorescente utilizzato dalle origini della radiografia medica.

La figura 1 rappresenta il coefficiente lineare di attenuazione in funzione dell'energia dei raggi X incidenti per i due composti menzionati. (2)

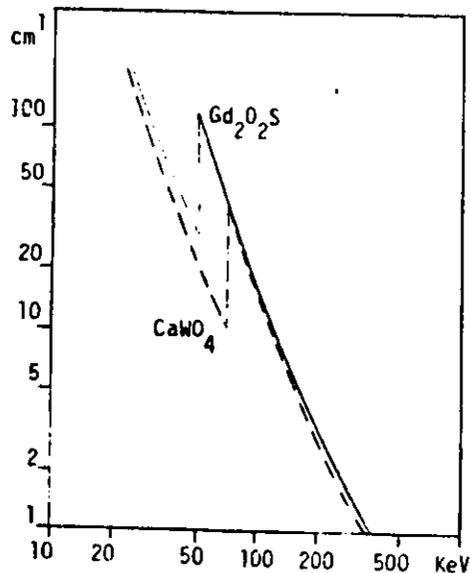


Fig. 1 - Coefficienti di attenuazione

Nel campo delle energie utilizzate in radiologia medica l'ossisolfuro di gadolinio presenta un assorbimento dei raggi X notevolmente superiore a quello del tungstato di calcio.

Nella pratica questa differenza tra i coefficienti di attenuazione si traduce nei valori di assorbimento percentuale, ottenuti ad 80 kV, per i diversi schermi riportati in Tab. 1.

I valori dell'efficienza intrinseca misurata da diversi autori sono riportati in Tab. 2.

Qualunque siano i valori considerati si può concludere che il  $Gd_2O_2S:Tb$  presenta una efficienza intrinseca notevolmente superiore a quella del  $CaWO_4$

| Schermo     | Fosforo       | Assorbimento % a 80 kV |
|-------------|---------------|------------------------|
| Media Sens. | $CaWO_4$      | 23                     |
| Alta Sens.  | $CaWO_4$      | 40                     |
| Trimax 2    | $Gd_2O_2S:Tb$ | 26                     |
| Trimax 16   | $Gd_2O_2S:Tb$ | 59                     |

Tab. 1 - Assorbimento percentuale di schermi di rinforzo commerciali.

| Fosforo       | Effic. % | Eccitaz.       | Autori             |
|---------------|----------|----------------|--------------------|
| $Gd_2O_2S:Tb$ | 18       | raggi catodici | Bukanan (2)        |
| $Gd_2O_2S:Tb$ | 15       | raggi X        | Ludwig-Prener (3)  |
| $CaWO_4$      | 3,5      | raggi catodici | Bril-Klasens (4)   |
| $CaWO_4$      | 5        | raggi X        | Coltman et al. (5) |

Tab. 2 - Efficienza intrinseca di conversione

L'efficienza di trasmissione per una coppia di schermi di rinforzo è stata calcolata mediante un programma al computer da noi formulato, utilizzando la teoria di Kubelka - Munk (6). Detta teoria definisce ed utilizza i coefficienti S di scattering e K di assorbimento per descrivere il comportamento ottico totale di un qualsiasi strato diffondente.

La determinazione sperimentale di questi coefficienti per i due materiali in questione, è stata effettuata secondo la metodologia di B.P. Calowell (7) che utilizza i valori di trasmittanza di due strati dello stesso materiale aventi spessori uno doppio dell'altro.

I valori riportati in Tab. 3 rappresentano quindi per le lunghezze d'onda più significative, come percentuale di quella generata, la luce emergente dagli strati stessi.

| $\text{CaWO}_4$ |          | $\text{Gd}_2\text{O}_3$ |          |
|-----------------|----------|-------------------------|----------|
| (A°)            | Trasm. % | (A°)                    | Trasm. % |
| 4000            | 89       | 4180                    | 74.6     |
| 4200            | 84.5     | 4890                    | 88.5     |
| 4400            | 93.5     | 5460                    | 85.6     |

Tab. 3 - Efficienza di trasmissione

Utilizzando la formula fondamentale ed i valori dei parametri precedentemente menzionati è possibile calcolare, in prima approssimazione, l'efficienza globale di conversione di una coppia di schermi di rinforzo.

La Tab. 4 riporta i risultati per una coppia di schermi rapidi al  $\text{CaWO}_4$  e gli schermi T 16 per le lunghezze d'onda corrispondenti al massimo di emissione e per una radiazione X incidente di 80 kV.

| Schermo   | Fosforo                           | (A°) | E %      |
|-----------|-----------------------------------|------|----------|
| Trimax 16 | $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Tb}$ | 5460 | 7.6 - 9  |
| F A S T   | $\text{CaWO}_4$                   | 4200 | 1.2 - 17 |

Tab. 4 - Efficienza totale di conversione

È opportuno tenere presente che la più alta efficienza del GOS è stata ottenuta con fosfori aventi granuli notevolmente più piccoli di quelli del  $\text{CaWO}_4$ .

Lo spettro dell'ossisolfuro di gadolinio presenta righe molto intense nel verde e quindi al fine di utilizzare in pieno l'efficienza occorre impiegare pellicole sensibili anche in tale regione dello spettro.

Le figure 2 e 3 rappresentano gli spettri di emissione dei due tipi di schermi sotto la stessa esposizione ai raggi X e la sensibilità spettrale delle relative pellicole.

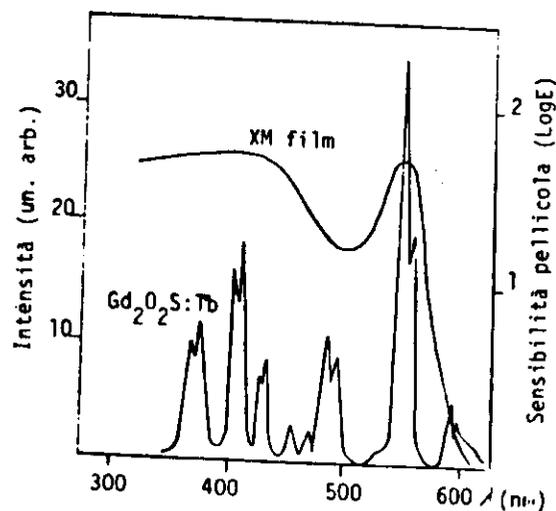


Fig. 2 - Spettro di emissione sensibilità pellicola

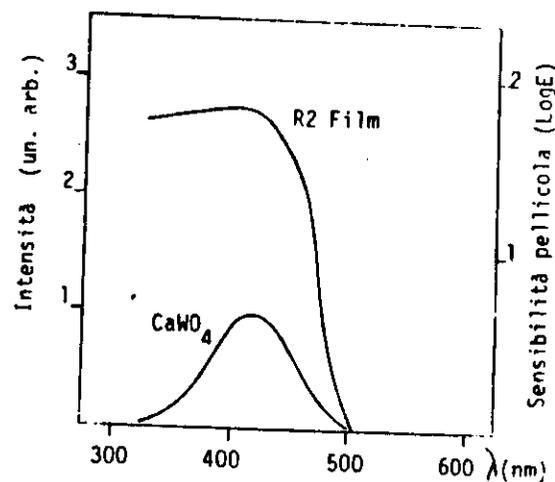


Fig. 3 - Spettro di emissione sensibilità pellicola

## RISULTATI RADIOGRAFICI

La più alta efficienza di conversione degli schermi T 16 si traduce in una drastica riduzione dei fattori di esposizione impiegati nella pratica radiologica.

In Tab. 5 sono riportati i rapporti di esposizione per diversi accoppiamenti schermo-pellicola per alcuni valori di kV con riferimento alla combinazione schermi T 16 più pellicola XM.

Naturalmente questa riduzione dei fattori di esposizione si traduce in una drastica riduzione della dose somministrata al paziente per singolo esame radiologico.

Non scendiamo nei dettagli in quanto sull'argomento dose esistono numerosi ed esaurienti lavori pubblicati in letteratura.

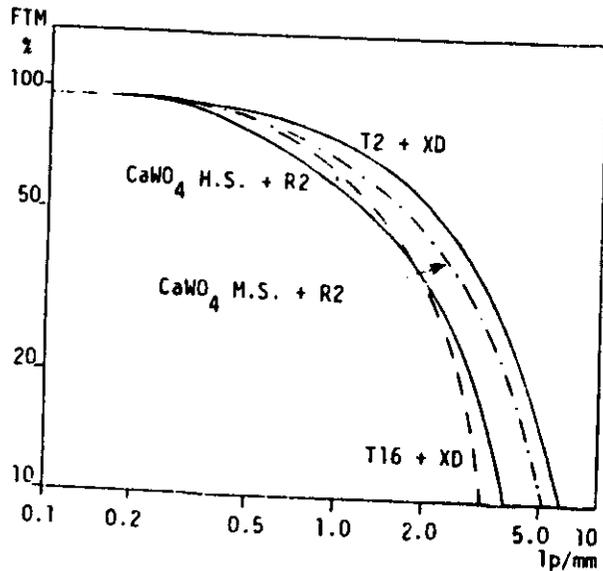
Accanto alla sensibilità occorre naturalmente tenere presente la qualità dell'immagine radiografica.

A tale proposito le figure 4 e 5 riportano le curve di FTM e di granularità (spettro di Wiener) per le combinazioni prese in esame.

| Schermo Pellicola           | 60 kV | 80 kV | 100 kV |
|-----------------------------|-------|-------|--------|
| CaWO <sub>4</sub> - MS + R2 | 10    | 16    | 16     |
| Trimax 2 + XD               | 10    | 12    | 12     |
| CaWO <sub>4</sub> - HS + R2 | 4     | 6     | 6      |
| Trimax 16 + XD              | 2     | 2     | 2      |
| Trimax 16 + XM              | 1     | 1     | 1      |

Tab. 5 - Fattori di esposizione per combinazioni schermo - pellicola commerciali.

Fig. 4 - Curve di F.T.M.



Dai fattori di esposizione e dalle curve citate possiamo concludere che il Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>S offre rispetto al CaWO<sub>4</sub> una sensibilità molto superiore accompagnata da una qualità d'immagine equivalente o migliore.

Quest'ultima è conseguenza delle piccole dimensioni e della forma regolare dei granuli di fosforo che permettono di ottenere

alte densità di fosforo nello strato, contenendo quindi lo spessore dello stesso, evitando agglomerati che deteriorerebbero la granularità di struttura.

## VANTAGGI

La riduzione dei fattori di esposizione, oltre a portare una drastica riduzione della dose al paziente, può essere utilizzata per ottimizzare la tecnica di esposizione al fine di ottenere ulteriori miglioramenti della qualità d'immagine dal radiogramma.

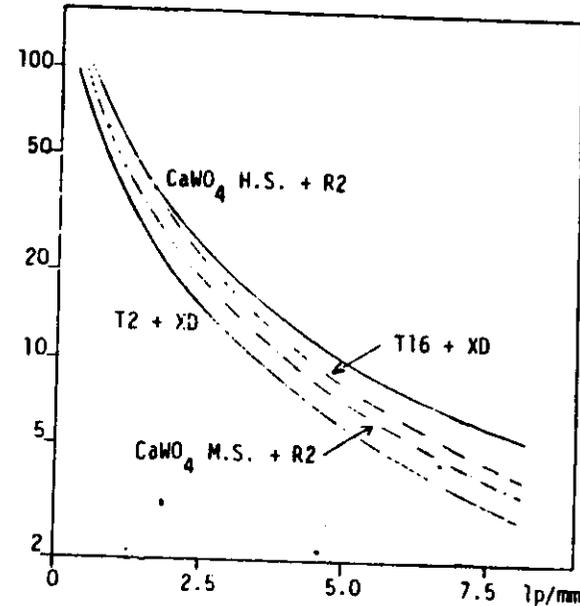


Fig. 5 - Spettro di Wiener

A tal fine è possibile utilizzare fuochi più fini o maggior distanza fuoco pelle per migliorare la sfocatura geometrica.

A titolo di esempio si ricorda che una riduzione dell'esposizione di un fattore 4 permette di passare da un fuoco di 0,3 mm ad uno di 0,15 mm, o, in alternativa, di raddoppiare la DFP ottenendo una riduzione proporzionale della penombra geometrica e quindi un miglioramento della definizione.

Un altro importante fattore che influisce sulla qualità d'immagine è la sfocatura di movimento proporzionale al tempo di esposizione.

Usando le combinazioni Trimax ad alta sensibilità il tempo di esposizione può essere drasticamente ridotto, per esempio a pochi millisecondi in angiografia coronarica (8), eliminando praticamente la sfocatura di movimento.

Ultimo importante fattore che influenza la qualità d'immagine del radiogramma è la radiazione diffusa dal paziente.

E' stato dimostrato da Castle<sup>(9)</sup> che la degradazione dell'immagine dovuta alla radiazione diffusa è minore per gli schermi all'ossisolfuro di gadolinio di quanto non sia in quelli al CaWO<sub>4</sub>. Questo effetto è dovuto al minor assorbimento della radiazione di energia inferiore allo spigolo K di assorbimento del fosforo.

riduzione dei fattori di esposizione comporta inoltre benefici che si ripercuotono sulle apparecchiature radiologiche.

Grazie alla minor energia richiesta per singola esposizione le apparecchiature, lavorando in condizioni di minor carico elettrico, necessitano di ridotta manutenzione, ed avranno una vita più lunga.

Ricordiamo che riducendo di un fattore due il carico al tubo radiogeno si quadruplica la vita del tubo stesso.

Inoltre si possono impiegare più proficuamente apparecchi di bassa potenza.

#### CONCLUSIONE

In definitiva possiamo affermare che l'introduzione in radiologia degli schermi alle terre rare ha offerto al radiologo numerosi vantaggi che possono essere utilizzati in funzione delle specifiche problematiche.

La drastica riduzione delle esposizioni conduce sia ad una sensibile riduzione della dose alla popolazione sia ad un ulteriore miglioramento della qualità d'immagine del radiogramma, conciliando due esperienze per molti versi ritenute finora antitetiche.

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) G.W. Ludwig, J. Electrochem. Soc. 118, 1152 (1972)
- (2) R.A. Buchanan, IEEE Trans Nucl. Sci. 19, 81, (1972)
- (3) G.W. Ludwig, J.S. Prener, IEEE Trans. Nucl. Sci. 19, 3 (1972)
- (4) A. Bril, H.A. Klasens, Philips Research Report 7, 401 (1972)
- (5) J.W. Coltman, E.G. Ebbinghausen and W. Altar  
J. Appl. Phys. 18, 530 (1947)
- (6) G.P. Kubelka, J.O.S.A. 38, 448 (1948)
- (7) B.P. Caldwell, J.O.S.A. 58, 755 (1968)
- (8) M. Wiljasalo et al., Ann. of Clinical Research 7, 374 (1975)
- (9) J.W. Castle, Radiology 122, 805 (1977)

ASSOCIAZIONE ITALIANA DI PROTEZIONE CONTRO LE RADIAZIONI

S. PESCE

## SCHERMI DI RINFORZO ALLE TERRE RARE: PRINCIPI FISICI E VANTAGGI OPERATIVI

*Estratto da*

A T T I  
del  
XXI CONGRESSO NAZIONALE

Palermo, 16-19 Ottobre 1979

