

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION
INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS
I.C.T.P., P.O. BOX 586, 34100 TRIESTE, ITALY, CABLE: CENTRATOM TRIESTE



H4.SMR/773-30

**College on Medical Physics:
Radiation Protection and Imaging Techniques**

5 - 23 September 1994

Film Screen Combination Analysis

M. de Denaro

**Unita' Sanitaria Locale
Servizio di Fisica Sanitaria
Trieste, Italy**

EFFECTIVE QUALITY OF THE RADIOGRAPHIC SENSITIZED MATERIALS



WHICH FILM-SCREEN COMBINATION ?



FILM SCREEN COMBINATION ANALYSIS

HISTORICAL DEVELOPMENT

1895 - Roentgen discovery of X-rays.

1896 - Edison tested different fluorescent substances and recommended calcium tungstate (CaWO_4) as intensifying screen.

1913 - Cellulose nitrate base coated on one side with the emulsion.

1918 - First film designed for radiographic purpose :
high speed emulsion on both sides of the support.

1924 - Acetate base

1948 - Barium lead sulfate phosphor screen (BaPbSO_4).

1964 - Polyester base.

Early 1970' - Rare-earth phosphors.

1983 - Flat, tabular, silver halide crystals.

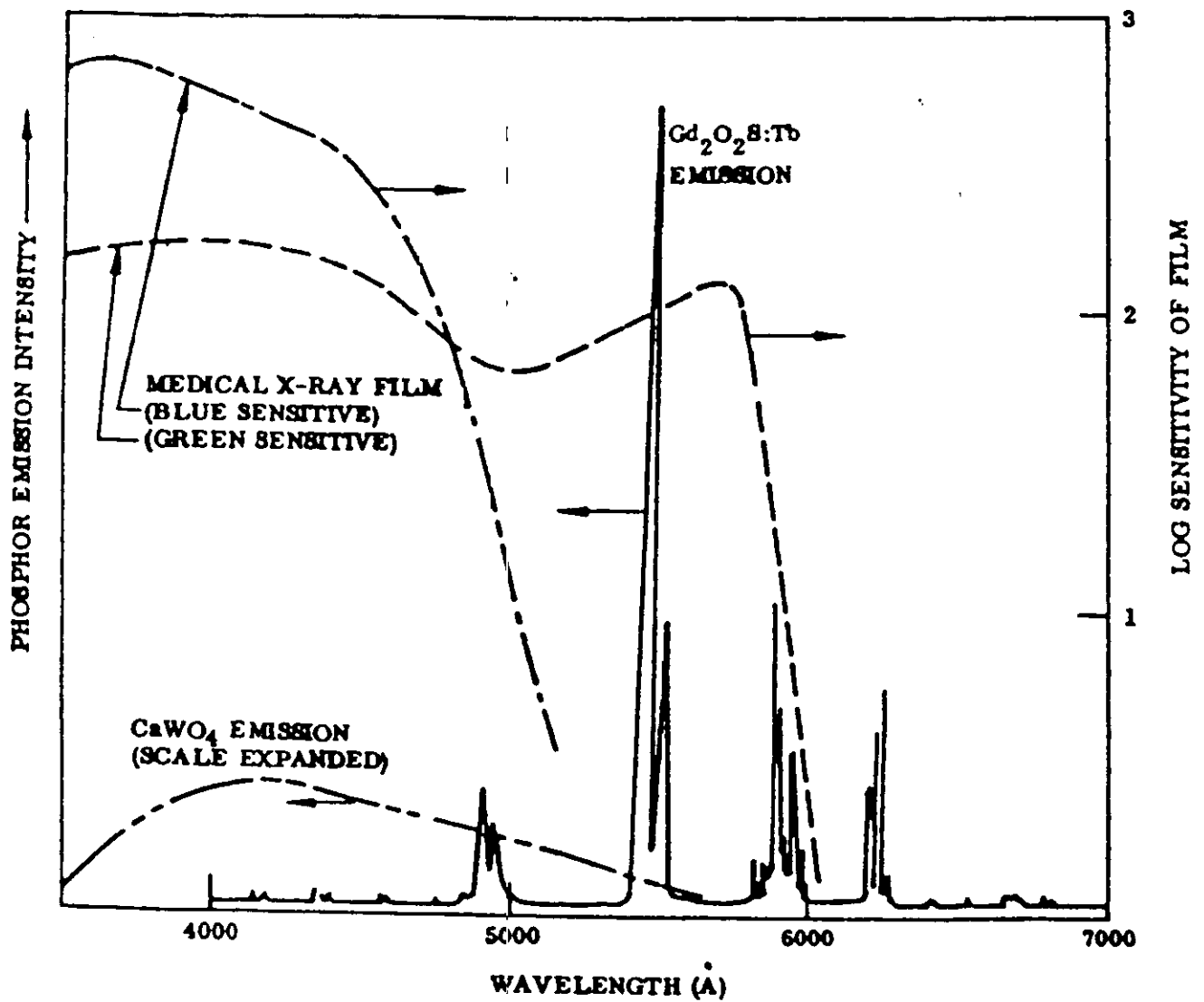
PROGRESS IN THE SCREEN

CONVERSION EFFICENCY

PHOSPHOR	Z	K-edge Energy (keV)	DENSITY g/cc	n %	LIGHT EMISSION SPECTRUM RANGE (nm)
Calcium Tungstate (CaWO_4)	74	69.5	6.06	3.5	340-540
Gadolinium Oxysulfide ($\text{Gd}_2\text{O}_3\text{S:Tb}$)	64	50.2	7.34	15	400-650
Lanthanum Oxysulfide ($\text{La}_2\text{O}_3\text{S:Tb}$)	57	38.9		12	480-650
Yttrium Oxysulfide ($\text{Y}_2\text{O}_3\text{S:Tb}$)	39	17.0		18	370-630
Lanthanum Oxybromide (LaOBr)	57	38.9	6.30	13	360-620
Barium Strontium Sulfate ($\text{BaSO}_4\text{:Eu}$)	56	37.4	4.00	6	330-430
Barium Fluorochloride (BaFCl:Eu)	56	37.4	4.70	13	350-450
Zinc Cadmium Sulfide (Zn,CdS:Ag)	30/48	26.7/9.6	4.43	18	450-650
Cesium Iodide (CsI:Na)	55/53	36/33.2	4.50	10	White
Barium Lead Sulfate (BaPbSO_4)	56	37.4	4.50		300-500

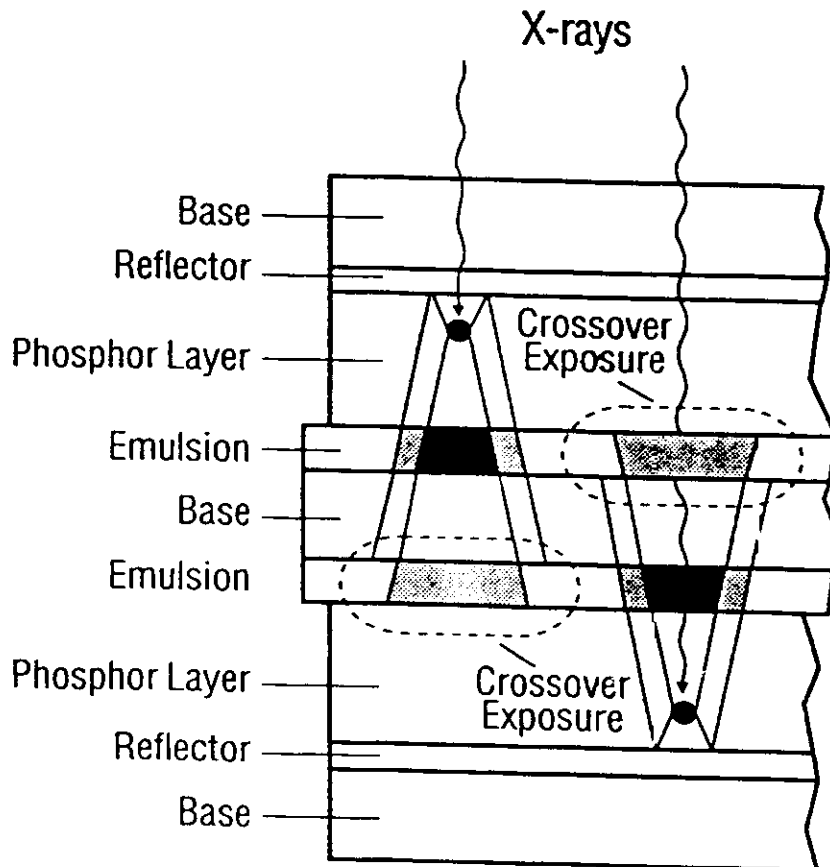
PROGRESS IN THE SCREEN

MATCH BETWEEN SPECTRAL RESPONSE OF THE FILM AND LIGHT EMISSION OF THE SCREEN



PROGRESS IN THE FILM

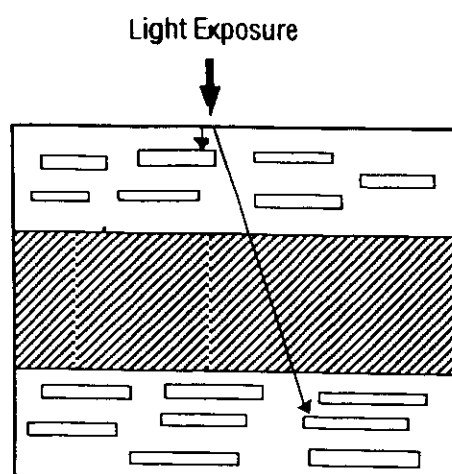
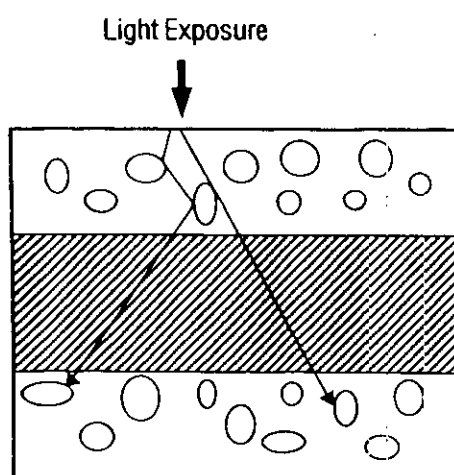
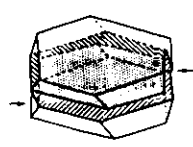
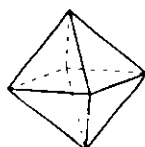
CROSSOVER EFFECT



PROGRESS IN THE FILM

SILVER HALIDE GRAINS

regular 3-dimensional (left) and tabular (right)



FUNDAMENTAL PHYSICAL PARAMETERS WHICH DETERMINE THE QUALITY OF A FILM -SCREEN SYSTEM

*** IMAGE QUALITY**  **Characteristic curve**
Spatial resolution
Noise

*** PATIENT DOSE**  **Sensitivity**

SPECIFIC CLINICAL TASK

EXAMPLES

General purpose ==> medium-high sensitivity

Extremities ==> high resolution

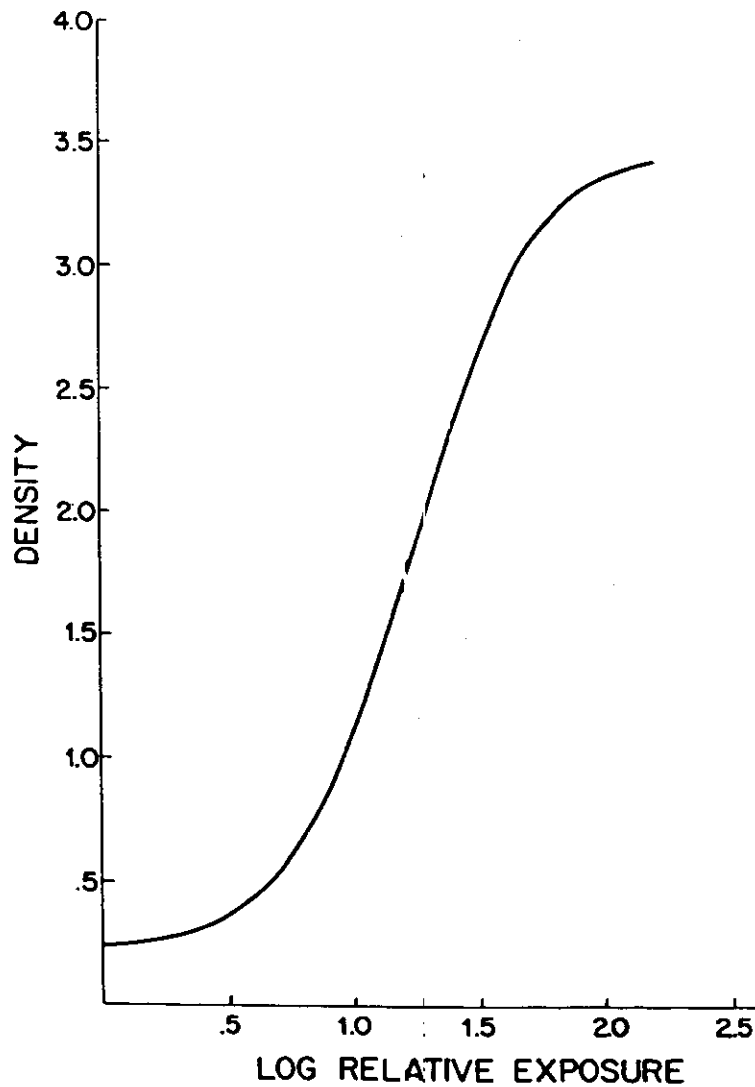
Chest ==> high latitude

Mammography ==> high resolution, low sensitivity

ACCEPTANCE GRID

CLASSES	SENSITIVITY	CONTRAST	FOG
General purpose	350 - 500	2.2 - 3.1	< 0.25
Chest	250 - 500	1.3 - 2.5	< 0.25
Mammography	10 - 30	2.8 - 3.6	< 0.25

CHARACTERISTIC CURVE



CONTRAST = 1° Derivative of characteristic curve

$$\text{GAMMA} = \frac{D_2 - D_1}{\text{Log}E_2 - \text{log}E_1}$$

$$\text{LATITUDE} = E_2 - E_1$$

SPATIAL RESOLUTION

Spatial resolution means the capability of a receptor to reproduce small size, high contrast detail.

If the system is isoplanar and linear



MTF (Modulation Transfer Function)

is the parameter most commonly used to describe the spatial resolution.

It is a monodimensional function which represents the contrast dependence on spatial frequency.

NOISE

QUANTUM NOISE

local statistical variation in the number of x-ray photons

STRUCTURAL NOISE

not uniformity size of grains of the screen and of the film

INTRINSIC NOISE

film granularity

OTHER SOURCES NOISE

manufacturing and developing process

*** INCOMPLETE DESCRIPTION** **standard deviation**

*** DETAILED ANALYSIS** **Wiener spectrum**

SENSITIVITY

The reciprocal of exposure required to obtain an optical density of 1 (above the base plus fog level)

NOTE

It is commonly used the parameter SPEED instead of sensitivity:

$$\text{Sensitivity(mR)} = 128 / \text{Speed}$$

IMAGE QUALITY :

SYNTHESIS OF VARIOUS PHYSICAL CHARACTERISTICS
(non mutually independent)

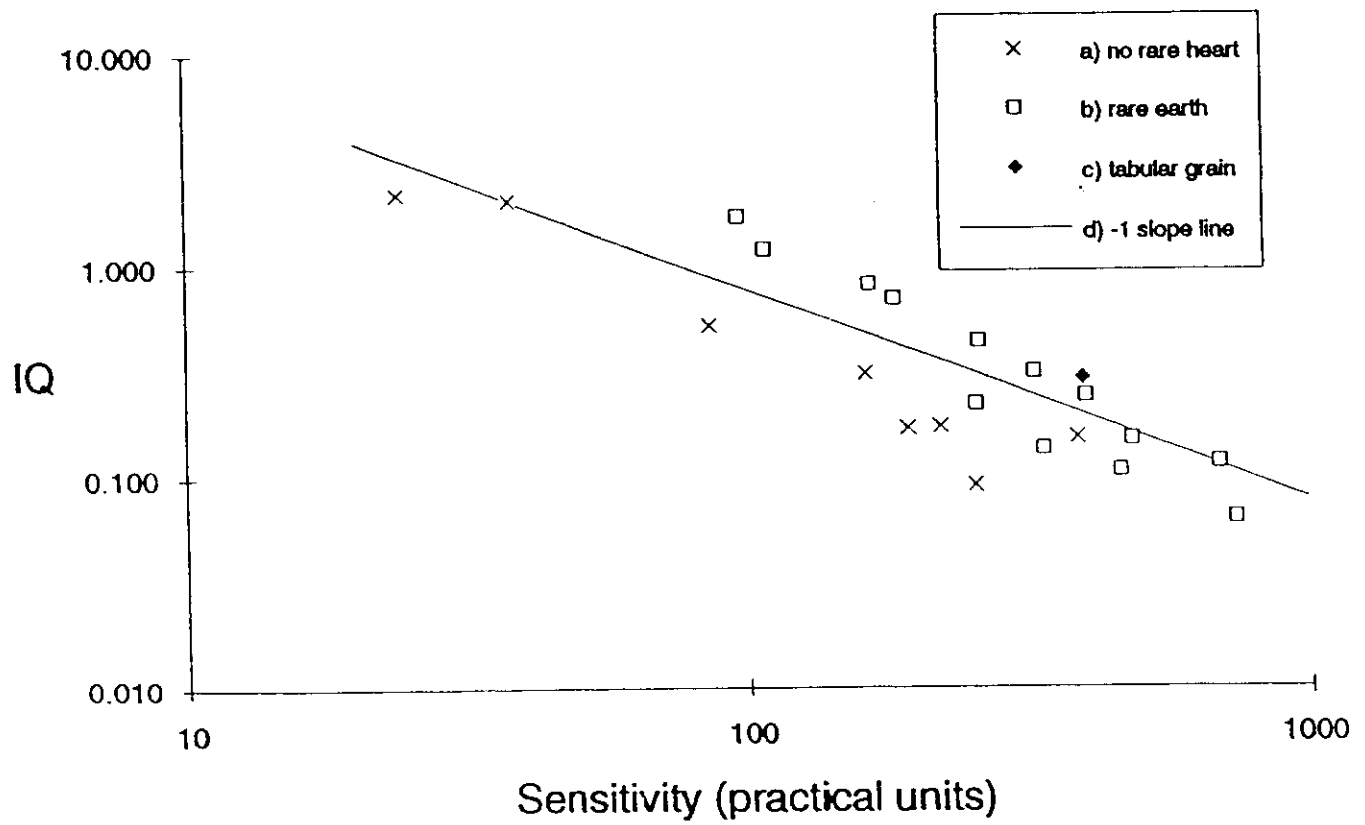


SINGLE QUALITY INDEX

$$IQ = G^2 \frac{M^2(f_0)}{V}$$

Global quality ("the technological level")

$$Q = IQ \cdot S$$



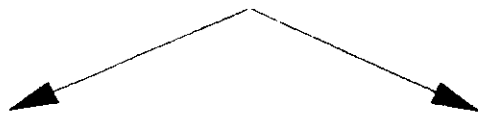
CHARACTERISTIC CURVE

does not depends on light emission spectra of the screen

SHAPE **depends on: Intrinsic propriety of the film**
developing conditions

ABSOLUTE POSITION (sensitivity) **depends on the radlant energy**
absorbed by the film

METHOD FOR OBTAINING THE CURVE



Sensitometer

Direct x-ray exposure

SENSITOMETER



Density	Log relative exposure	Relative exposure
.21	0.0	1.00
.22	0.1	1.26
.23	0.2	1.59
.25	0.3	2.00
.28	0.4	2.51
.31	0.5	3.16
.37	0.6	3.98
.47	0.7	5.02
.59	0.8	6.31
.75	0.9	7.95
.97	1.0	10.0
1.26	1.1	12.6
1.57	1.2	15.9
1.91	1.3	20.0
2.27	1.4	25.1
2.57	1.5	31.6
2.80	1.6	39.8
2.98	1.7	50.2
3.11	1.8	63.1
3.21	1.9	79.5
3.25	2.0	100.0
3.29	2.1	125.9
3.32	2.2	158.5

ADVANTAGE

easy
quick

DISADVANTAGE

useful only to obtain the shape

(QUALITY CONTROL OF DEVELOPING PROCESS)

51

10

12

14

13

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

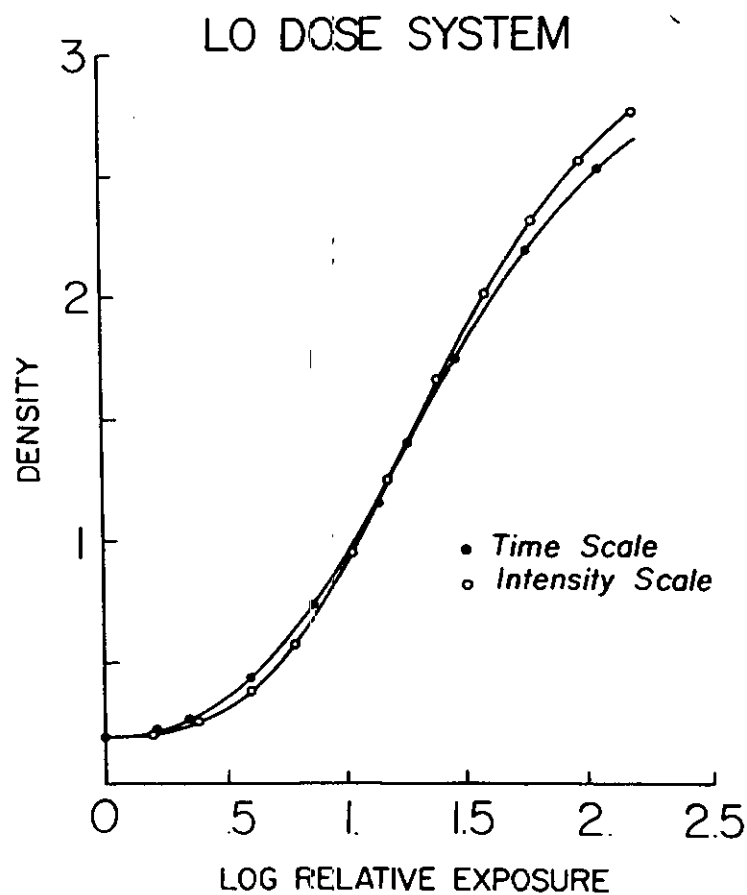
DIRECT X-RAY EXPOSURE

TIMING SCALE

INTENSITY SCALE: - metal step wedge

- bootstrap technique

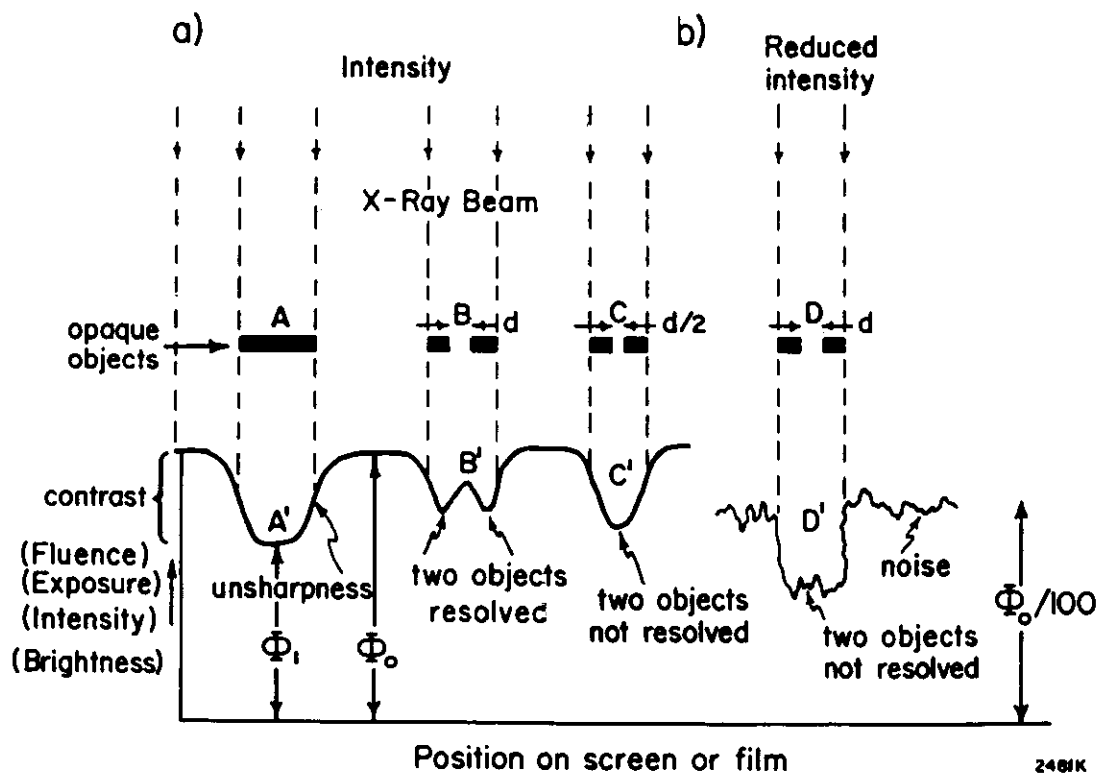
- recording system placed at various distance from the source



SPATIAL RESOLUTION

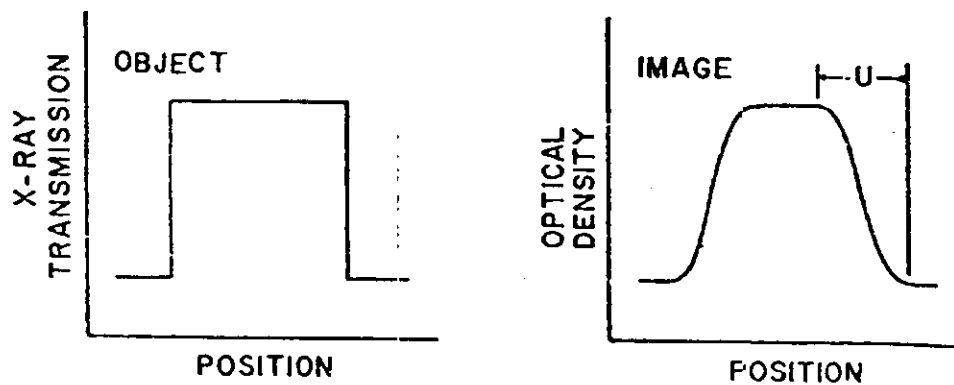
RESOLVING POWER

The ability of a photographic material to maintain in the developed image the separate identity of parallel bars when their relative displacement is small



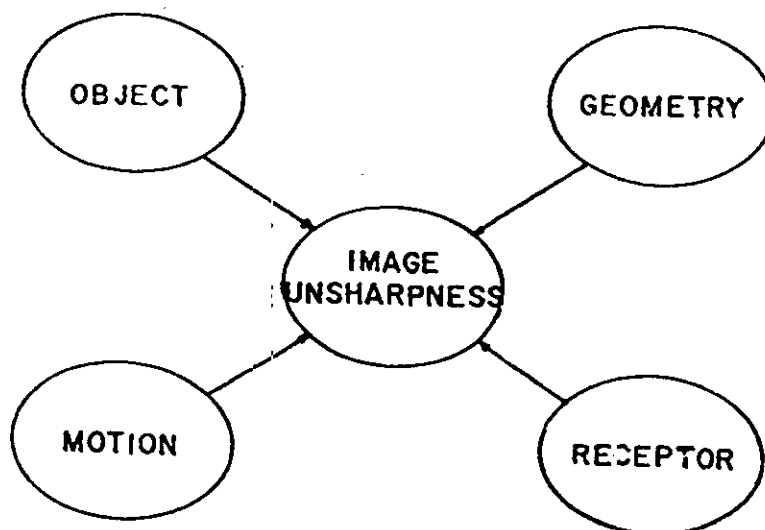
UNSHARPNESS

ONE OBJECT WITH SHARP EDGES PRODUCES AN IMAGE WITH BLURRED EDGE

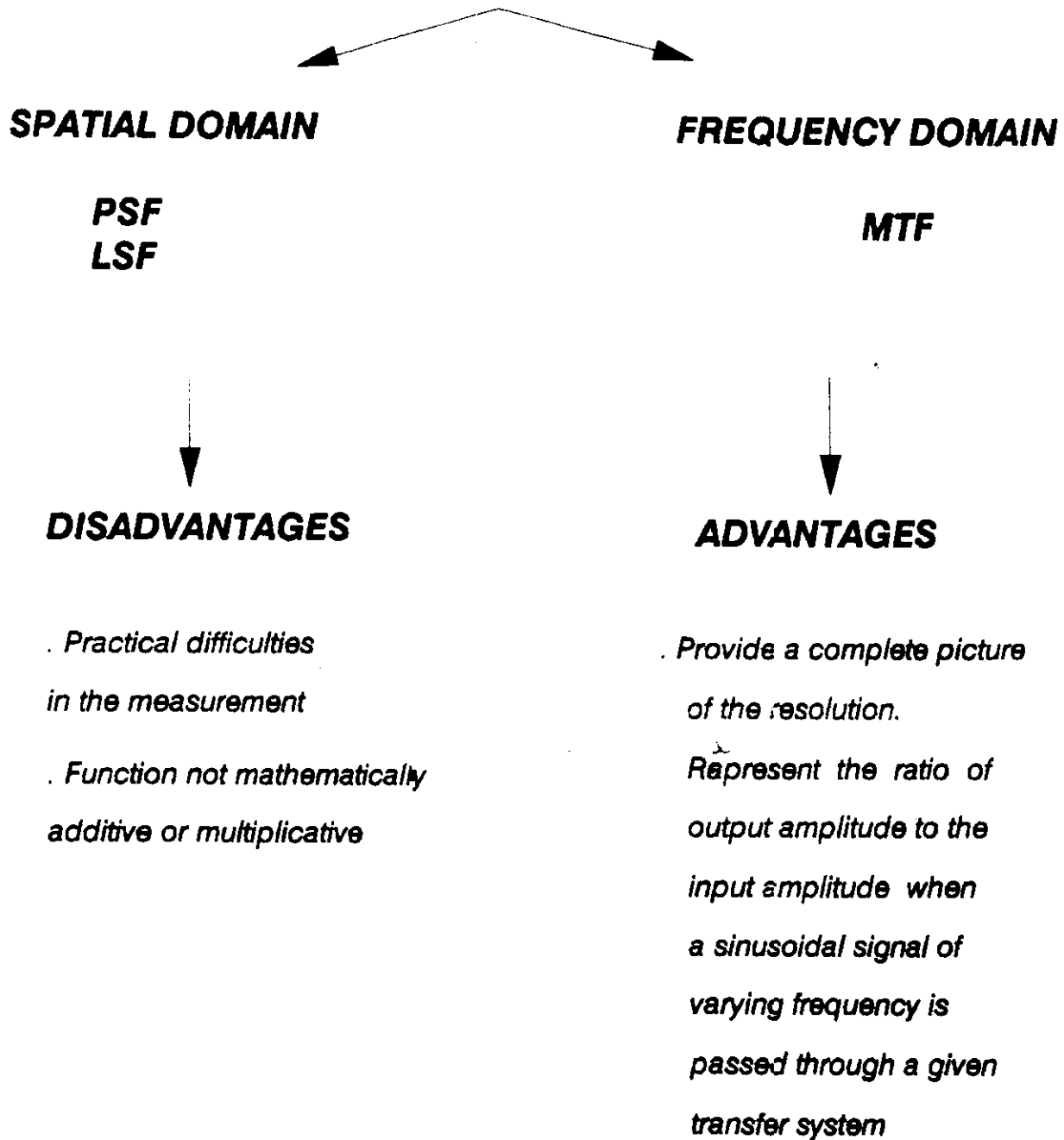


FACTORS AFFECTING UNSHARPNESS :

- SIZE OF THE FOCAL SPOT
- MOTION OF THE OBJECT DURING EXPOSURE
- GEOMETRIC BLURRING
- BLURRING IN THE SCREEN-FILM COMBINATION



MEASUREMENT OF RESOLVING POWER

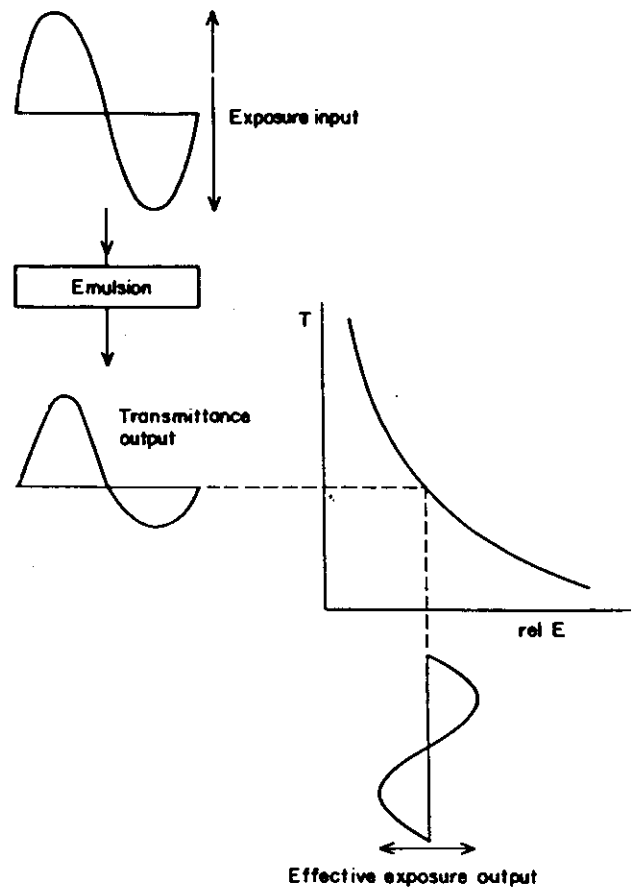


MODULATION TRANSFER FUNCTION (MTF)

MODULATION TRANSFER FACTOR

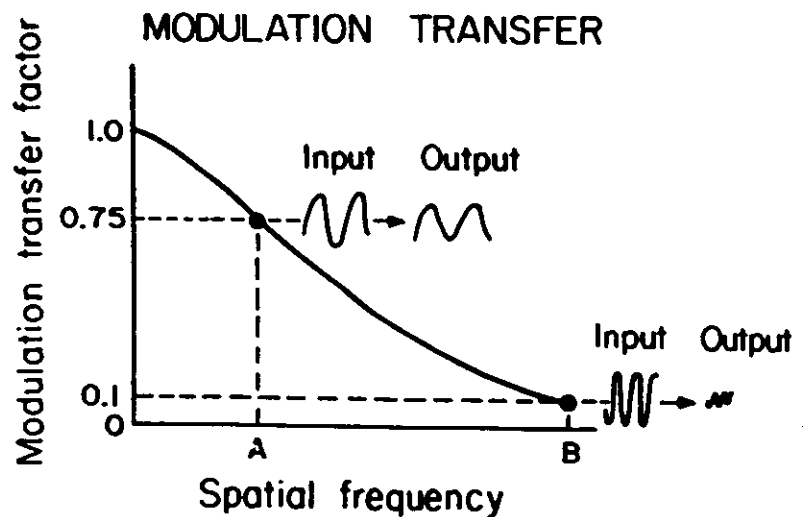
The ratio of the effective exposure modulation to the input exposure modulation

$$MT = \frac{\text{Modulation of Output Signal}}{\text{Modulation of Input Signal}} = \frac{M}{M'}$$

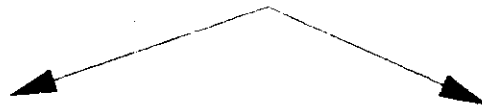


An MTF specifies at each spatial frequency the fraction of input modulation which will be imaged

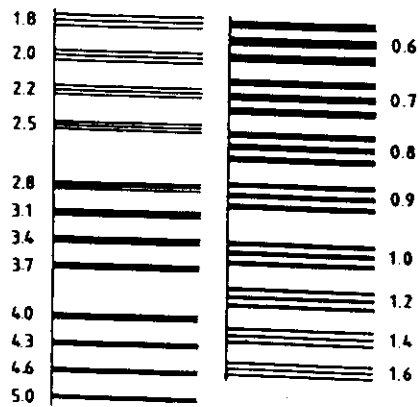
$$MTF(f) = \frac{M(f)}{M(0)}$$



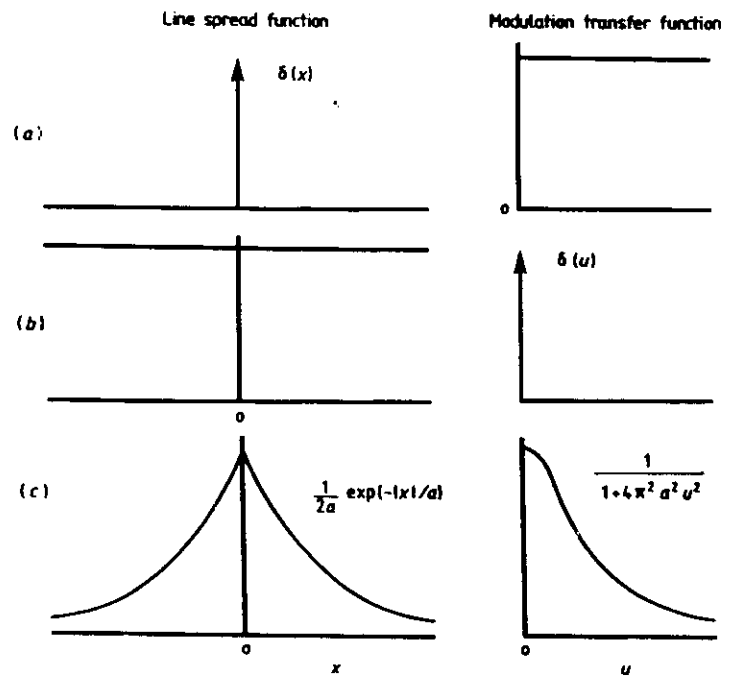
MEASUREMENT OF MTF



DIRECT MEASUREMENT OF PERIODIC PATTERN TEST OBJECT



FOURIER TRANSFORM OF THE MEASURED LSF



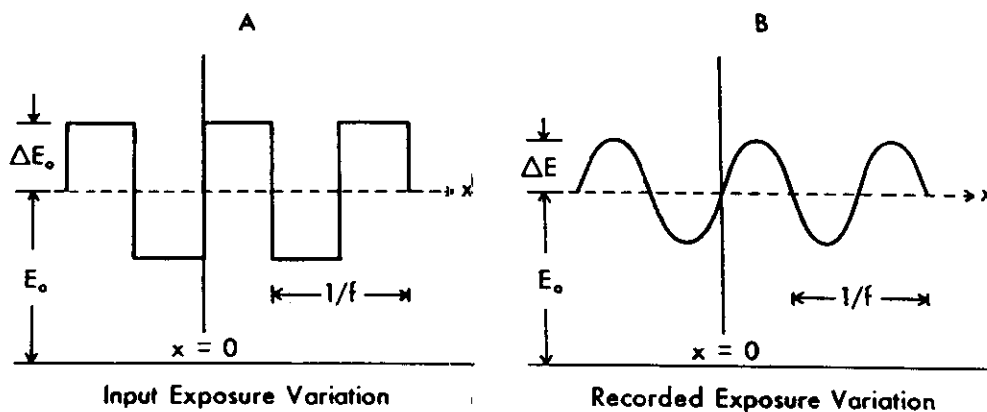
USE OF BAR PATTERN TEST OBJECT

Difficulties to obtain a test object which gives sinusoidal input exposure variation

SQARE-WAVE RESPONSE FUNCTION (SWRF)

Modulation Transfer Factor of a square-wave response

$$S(f) = dE(f) / dE_e$$



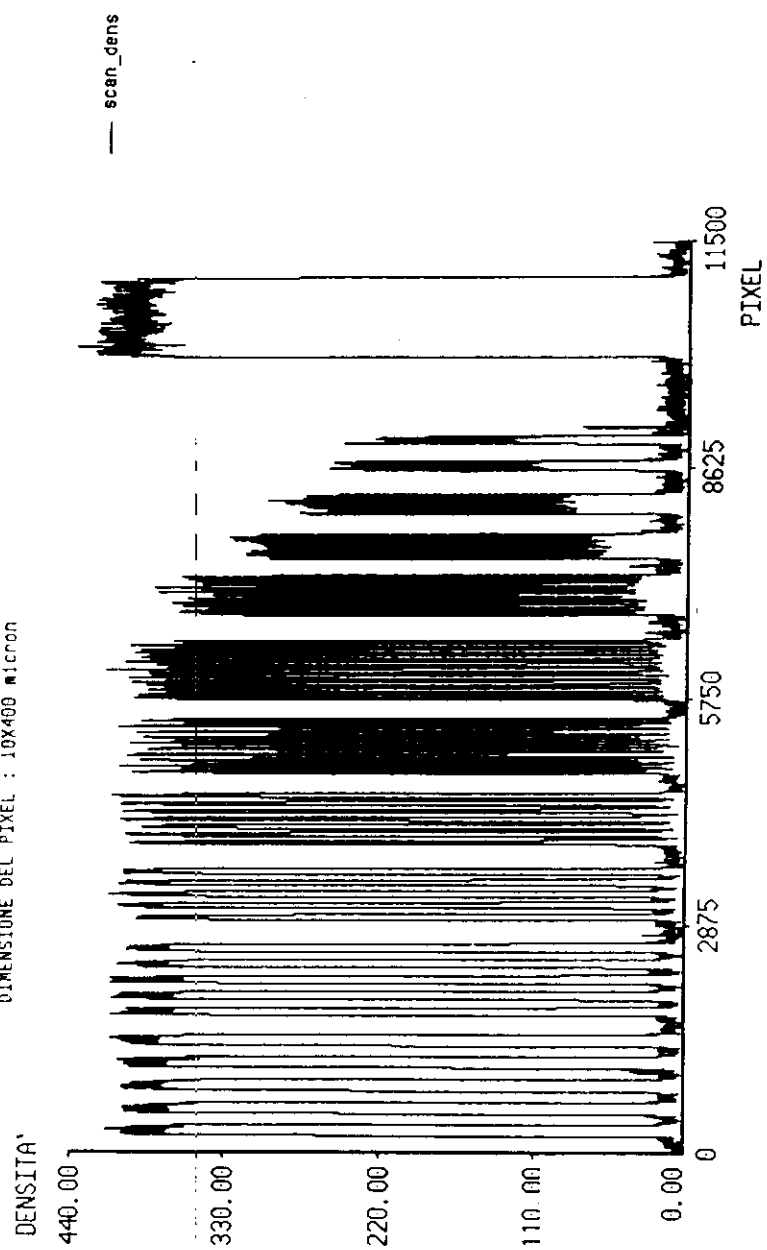
COLTMAN EQUATION

.Gives the mathematical relationships between the SWRF and MTF

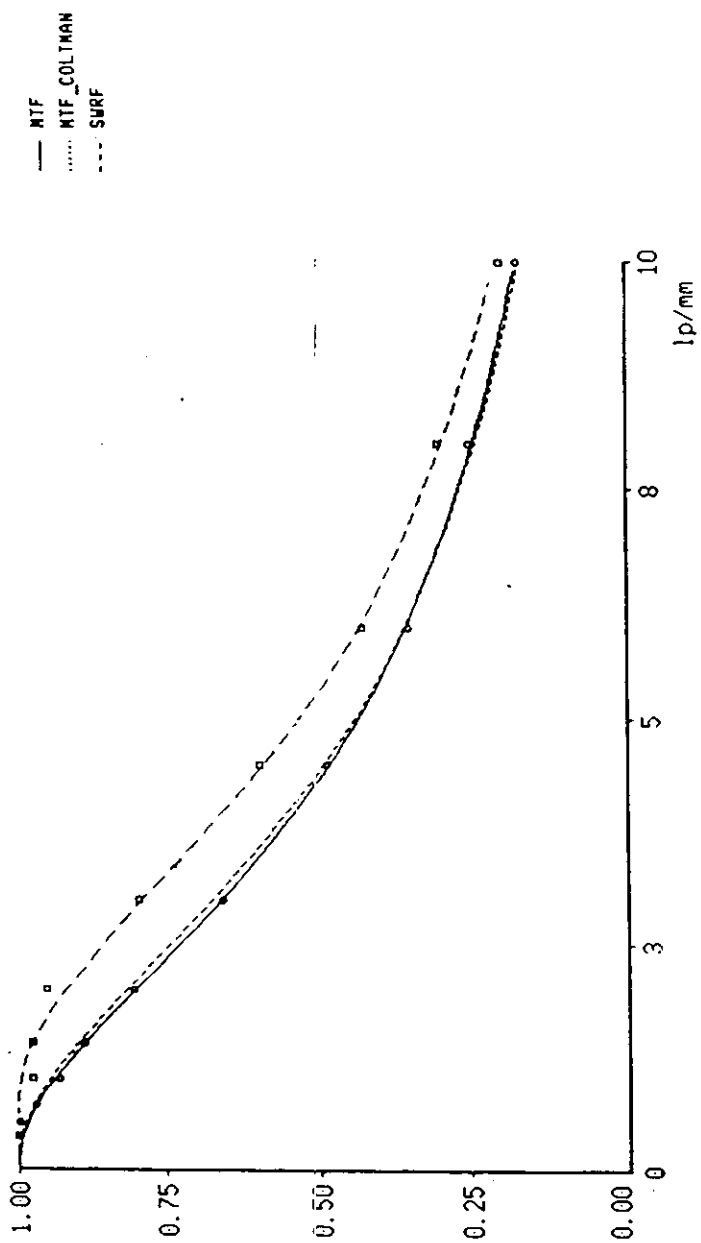
$$MTF(f) = \frac{\pi}{4} \left[S(f) + \frac{S(3 \cdot f)}{3} - \frac{S(5 \cdot f)}{5} + \frac{S(7 \cdot f)}{7} \right. \\ \left. + \frac{S(11 \cdot f)}{11} - \frac{S(13 \cdot f)}{13} - \frac{S(15 \cdot f)}{15} - \frac{S(17 \cdot f)}{17} \right. \\ \left. : + \frac{S(19 \cdot f)}{19} \dots \right].$$

SCANSIONE DELLA MIRA DI FUNCK

DIMENSIONE DEL PIXEL : 10x400 micron



FORMULA DI COLTMAN
(SVILUPPO CON 100 TERMINI)



FOURIER TRANSFORM OF THE LSF

$$MTF(u) = \int_0^{\infty} LSF(x) \cos 2\pi ux \, dx / \int_0^{\infty} LSF(x) \, dx$$

COMPUTATIONAL METHODS

THE SAMPLING THEOREM

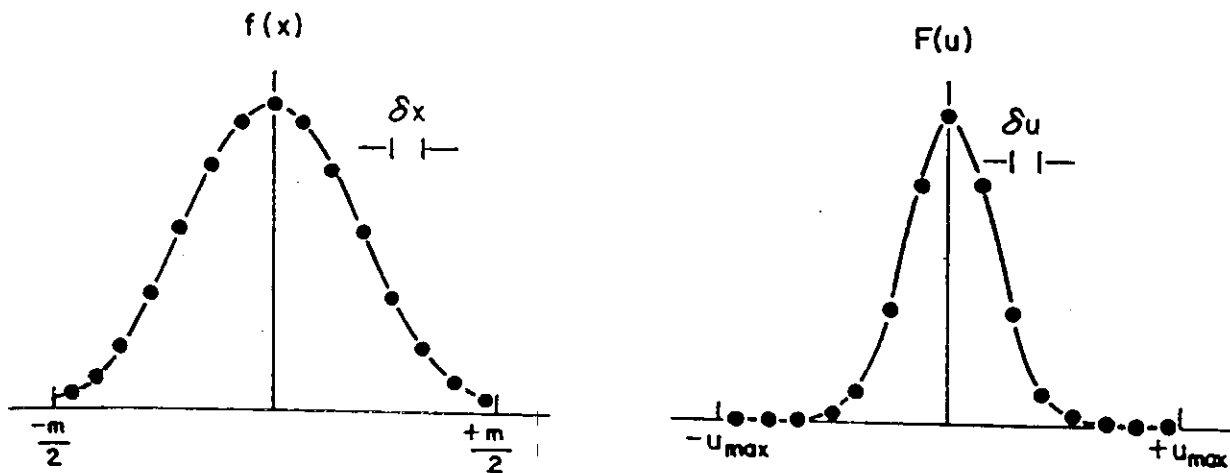
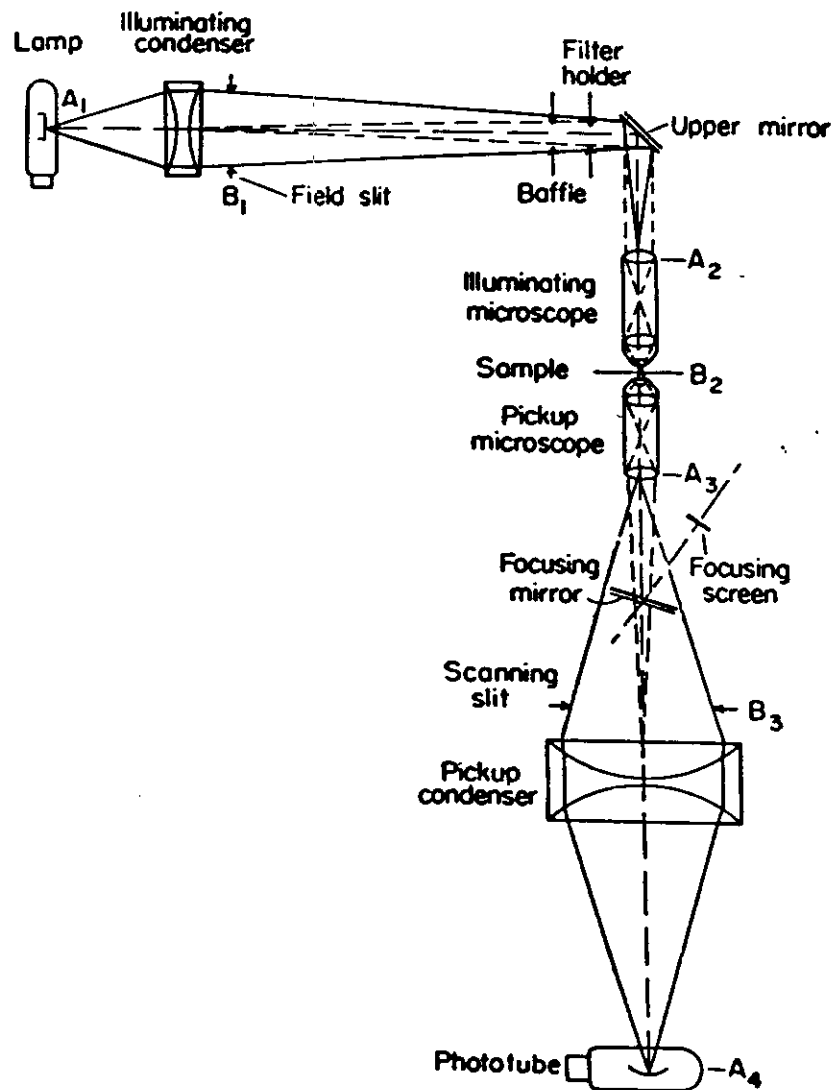


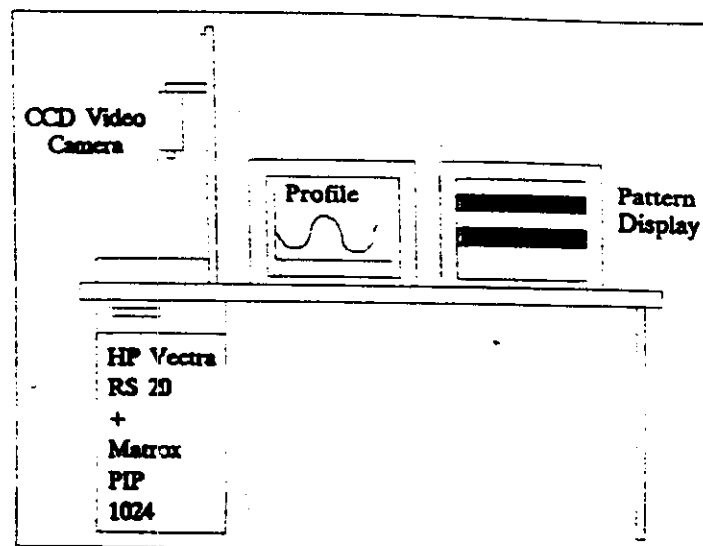
Illustration of the sampling theorem. If $f(x)$ is defined within the range m , then $F(u)$ is fully described by points $\delta u = \frac{1}{m}$ apart. Conversely, if the range of interest of $F(u)$ is $2u_{\max}$, then $f(x)$ may be sampled at intervals not greater than $\delta x = \frac{1}{2u_{\max}}$.

INSTRUMENTATION

MICRODENSITOMETER



TV-CAMERA DIGITIZER



NOISE

The noisy appearance (RADIOGRAPHIC MOTTLE) of a uniformly exposed X-Ray film is due to the spatial variation of the film density

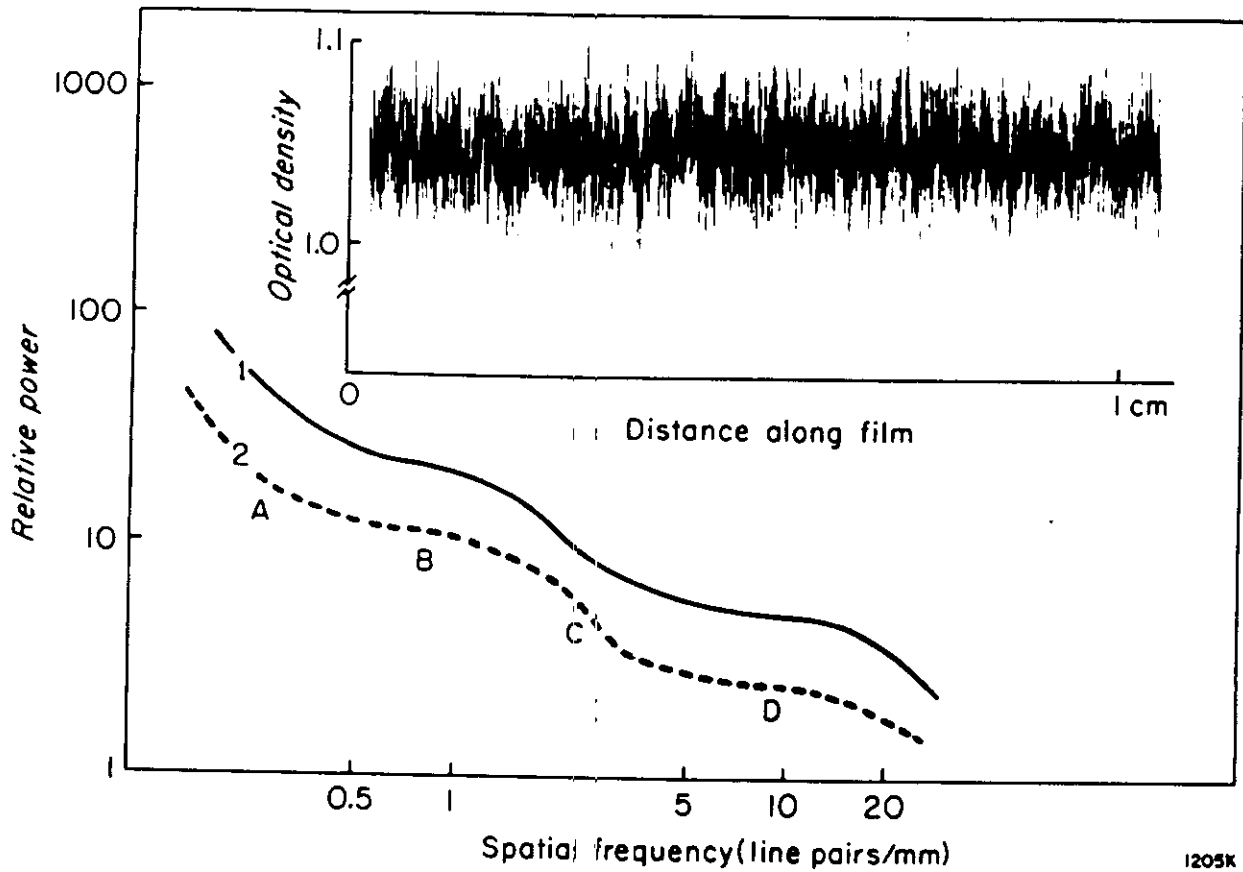
A number of studies have demonstrated that the density D_A as measured with an aperture of area A should follow a Gaussian distribution

MEASURE OF RADIOGRAPHIC NOISE



**AUTOCORRELATION
FUNCTION**

WIENER SPECTRUM



A) Structural noise

B) White noise
(due to quantum mottle)

C) Decrease of MTF

D) White noise
(due to grain structure)

80-100 KV		80-120 KV			
T-MAT G	80 Indicata per la radiografia delle estremità. Alto contrasto, ottima risoluzione.	100 Per radiografia generale e delle estremità. Alto contrasto, altissima risoluzione.	300 Per radiografia generale. Alto contrasto, eccellente risoluzione.	400 Per radiografia generale e pediatrica. Rapidità elevata, alto contrasto, ottima risoluzione, eccellente per una vasta gamma di esami.	600 Indicata sia in radiografia generale sia in radiografia specialistica. Rapidità molto elevata, alto contrasto, ideale per tecniche mirate.
T-MAT L	80 Per la radiografia delle estremità. Ampia latitudine di esposizione, medio contrasto, ottima risoluzione, eccezionale definizione del tessuto osseo, con possibilità di lettura delle aree di tessuti molli.	100 Per radiografia generale e delle estremità. Ampia latitudine di esposizione, medio contrasto, eccellente risoluzione.	300 Per radiografia generale. Ampia latitudine di esposizione, medio contrasto, eccellente risoluzione.	400 Per radiografia generale. Rapidità elevata, ampia latitudine di esposizione, medio contrasto, ottima risoluzione, ideale per un'ampia gamma di esami.	600 Per radiografia generale e specialistica. Altissima rapidità, ampia latitudine di esposizione, medio contrasto, buona risoluzione.
T-MAT C Prodotto di prossima introduzione	—	—	300 Per la radiografia del torace. Ottima risoluzione, ampia latitudine di esposizione che permette di registrare il massimo numero di informazioni dei polmoni e del mediastino.	400 Per la radiografia del torace. Eccezionale risoluzione, latitudine di esposizione più ampia per un'ottima lettura delle aree corrispondenti ai polmoni ed al mediastino, riduzione della dose.	600 Adatta per esami con m.d.c. Il contrasto dell'area prevale sulle forti differenze di densità.
T-MAT H Prodotto di prossima introduzione	—	—	600 Per radiografia generale. Alto contrasto, ottima risoluzione.	800 Rapidità elevata. Indicata per radiografia generale e specialistica inclusa l'angiografia con ingrandimento. Alto contrasto, buona definizione.	1200 Ideale per angiografie con ingrandimento ed altre tecniche particolari. Altissima rapidità, alto contrasto e buona definizione.
ORTHO G	80 Per la radiografia delle estremità. Alto contrasto, eccellente resa dei dettagli.	100 Per radiografia generale e delle estremità. Alto contrasto, eccellente resa dei dettagli.	300 Per radiografia generale. Alto contrasto, ottima resa dei dettagli.	400 Per radiografia generale. Rapidità elevata, alto contrasto, ideale per un'ampia gamma di esami.	600 Rapidità molto elevata. Studiata per impiego in radiografia generale e specialistica.
ORTHO L	80 Per radiografia delle estremità. Ampia latitudine di esposizione, medio contrasto, eccellente resa dei dettagli delle ossa e lettura anche dei tessuti molli.	100 Per radiografia generale e delle estremità. Ampia latitudine di esposizione, medio contrasto.	250 Per radiografia generale. Ampia latitudine, contrasto moderato, eccellente definizione.	400 Per radiografia generale. Rapidità elevata, alto contrasto, ideale per una vasta gamma di esami.	600 Altissima rapidità, per impiego in radiografia generale.
ORTHO C	—	—	250 Per radiografia del torace. Ampia latitudine di esposizione, eccellente definizione sia nell'area dei polmoni che del mediastino.	400 Per radiografia del torace. Ampia latitudine di esposizione. Massimo numero di informazioni nell'area dei polmoni e del mediastino, riduzione della dose.	—
ORTHO H	—	—	500 Per radiografia generale. Contrasto elevato, ottima definizione dei dettagli delle ossa, riduzione dell'effetto cinescopio.	800 Rapidità elevata. Per radiografia generale e specialistica compresa l'angiografia con ingrandimento.	1200 Rapidità massima e contrasto elevato. Per radiografie in cui l'effetto cinescopio e la dose al paziente devono essere ridotti al minimo.
ORTHO M ORTHO MA	Schermo singolo	—	—	—	—
	40 Per mammografia e radiografia ad altissima definizione. Altissimo contrasto, ottima definizione e buona resa delle trabecole ossee.				
MIN-R	20 Per mammografia e radiografia ad alta definizione. Ottima resa dei dettagli, medio contrasto, eccellente visualizzazione dei tessuti molli.	—	—	—	—
NMB	25 Per radiografia ad alta definizione. Medio contrasto, registra anche i più fini dettagli.	—	—	—	—