



AZIENDA CON SISTEMA  
DI GESTIONE QUALITÀ  
CERTIFICATO DA DNV GL  
= ISO 9001 =

# RELAZIONE TECNICA

## DOSIMETRIA FILM BADGE

Caratteristiche tecniche  
Garanzie di qualità  
Affidabilità del servizio



Il Laboratorio X-Gammaguard ha regolarmente comunicato all'ISPRA (ex APAT/ANPA) lo svolgimento dell'attività di servizio di dosimetria, ai sensi dell'art.76 del D.Lgs. 230/95 e s.m.i.

Rev	Data	Oggetto	Redatto e verificato Resp. del Laboratorio	Approvato La Titolare
10	13/05/2015	Calibrazione densitometri	Gianluca Troiano	Laura Pini



## Indice

Caratteristiche fisiche e geometriche	4
Sistema di filtri	5
Identificazione e tracciabilità del dosimetro	6
Sterilizzabilità del dosimetro	7
Elemento rivelatore	7
Minima dose rivelabile	8
Accuratezza e precisione	8
Incertezza del sistema di analisi	8
Linearità in dose	9
Linearità in energia	9
Sensibilità	10
Algoritmo di Calcolo	10
Intervallo di rilevabilità	10
Affidabilità del sistema di analisi	11
Grandezze operative	11
Taratura	12
Irradiazioni interne	12
Calibrazione Densitometri	13
Schema a blocchi del servizio di dosimetria	26
Contatti	27

## Introduzione

Il nostro dosimetro a Film-Badge per la rivelazione di Raggi X, Gamma e Beta consente un'efficace dosimetria sia individuale che ambientale.

L'astuccio è stato progettato e realizzato nel 2001 da X-Gammaguard ed è tuttora l'ultimo uscito sul mercato italiano ed il più innovativo.

Sfrutta un numero di filtri superiore rispetto a quanto previsto dalla maggior parte dei badge presenti sul mercato e si contraddistingue per il suo design dalle linee morbide.

La pellicola dosimetrica è protetta da possibili fonti di luce.

Esposizione per tempi prolungati a fonti di calore superiori a 40°C possono alterare l'emulsione presente al suo interno e rendere inaffidabile il dosimetro.



## Caratteristiche fisiche e geometriche dell'astuccio

Dimensioni: 50 mm X 75 mm

Peso: 24 gr. (senza elemento rivelatore e supporto di fissaggio)



FILM BADGE Personale con clip

FILM BADGE Personale con spilla

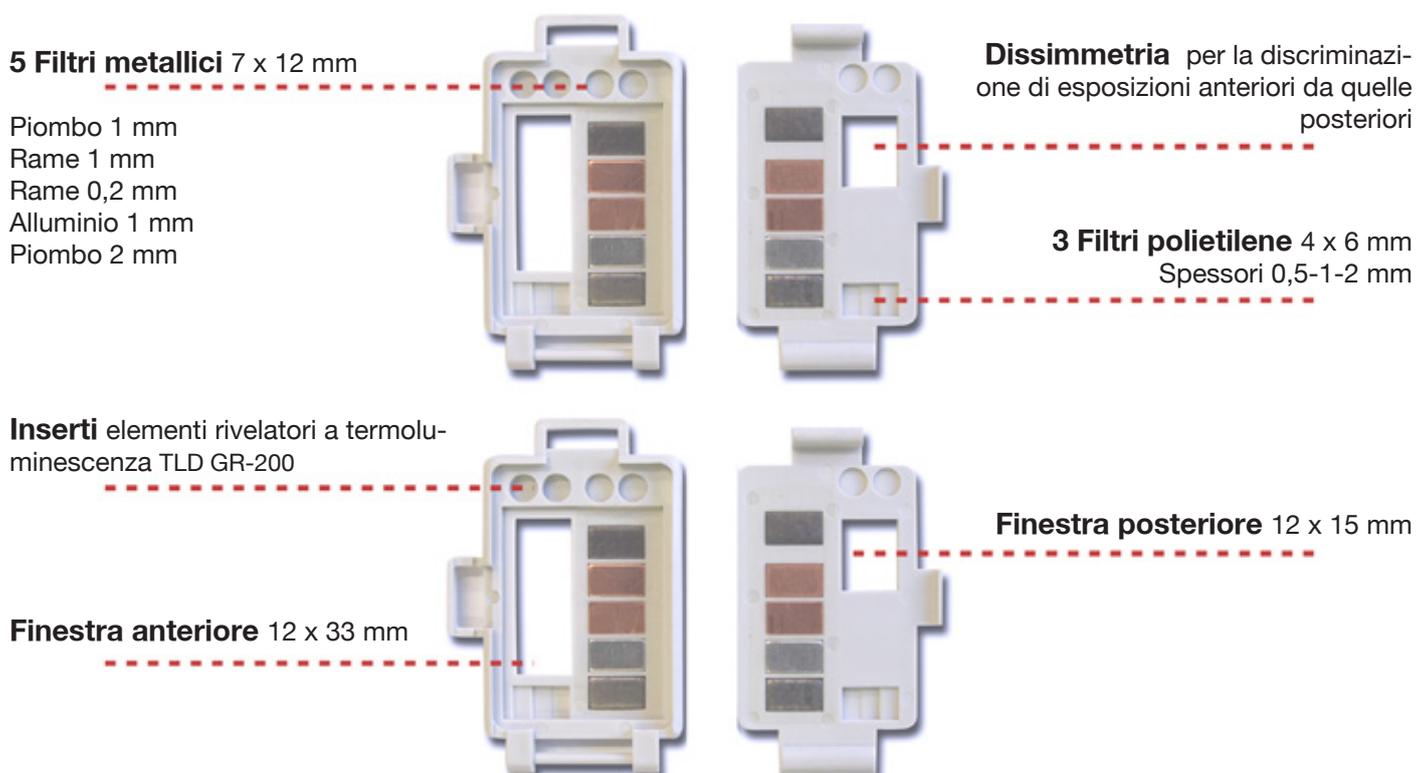
FILM BADGE Ambientale

Per i dosimetri ambientali sono disponibili appositi contenitori che consentono una facile applicazione dei dosimetri alle pareti e la sostituzione dei dosimetri in modo comodo e veloce.

## Sistema di filtri per la discriminazione spettrale della radiazione incidente

Le aree utili che possono essere sottoposte ad analisi densitometrica e morfologica per diafanoscopia sono in totale 9. Le aree corrispondenti alla finestra ed ai filtri metallici sono idonee alla deconvoluzione delle curve di annerimento per radiazioni X, Gamma e Beta.

Le aree corrispondenti ai filtri di polietilene sono idonee alla deconvoluzione delle curve di annerimento per radiazione Beta. L'astuccio sfrutta un numero di filtri superiore rispetto a quanto previsto dalla maggior parte dei dosimetri in commercio, ed in particolare sono presenti filtri ad elevato potere di attenuazione (2 mm di Pb) per consentire una migliore efficacia nella rivelazione di fasci ad energia medio-elevata.



La precisione nella determinazione delle componenti spettrali dipende dalla capacità del sistema di filtraggio di discriminare le diverse qualità energetiche dei fasci incidenti. In pratica le componenti energetiche sono individuate attraverso il calcolo dei rapporti delle densità ottiche misurate sotto i diversi filtri, attraverso un algoritmo di calcolo.

Per questo motivo X-Gammaguard ha deciso di adottare un astuccio con 5 filtri metallici (che consente l'analisi spettrale basandosi su 10 rapporti distinti), a differenza dei 3 filtri normalmente presenti (che consentono l'analisi spettrale basandosi su soli 3 rapporti). L'algoritmo di calcolo utilizzato consente l'individuazione di **due componenti energetiche** principali del fascio incidente e la stima dell'energia efficace media. La determinazione delle componenti energetiche avviene mediante una simulazione sulle possibili esposizioni che hanno determinato quella combinazione di annerimenti e la scelta della situazione più probabile mediante la tecnica dei minimi quadrati.

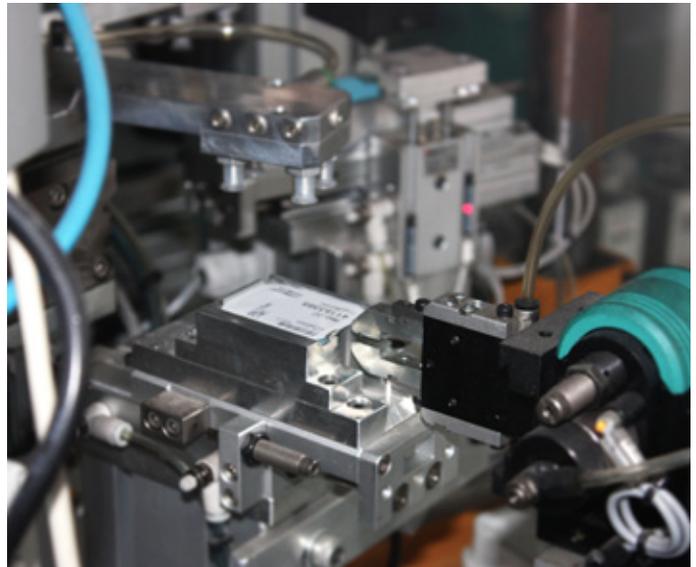
Nell'astuccio è possibile inserire fino a 2 elementi rivelatori a termoluminescenza di tipo GR200A (LiF:Mg,Cu,P). Il doppio rivelatore consente di aumentare la sensibilità del dosimetro alle alte energie, conservando i vantaggi del sistema a film (conservazione dell'informazione e identificazione del tipo di irraggiamento).

## Identificazione e tracciabilità del dosimetro e univocità di attribuzione delle dosi

Ad ogni dosimetro è associata una matricola di 8 cifre che identifica in maniera univoca la persona a cui il dosimetro è assegnato (o la posizione nel caso di mappature ambientali) ed il periodo di esposizione di riferimento.

Suddetto codice, marcato in maniera indelebile sulle pellicole, è visibile anche dopo il loro sviluppo e analisi. L'etichetta, visibile dalla finestra del dosimetro, riporta le seguenti informazioni:

- Nome e Cognome del lavoratore esposto
- Codice a barre identificativo e numero di matricola
- Mese (periodo) di utilizzo
- Codice del reparto di assegnazione
- Parte controllata
- Tipo di radiazione
- Posizione (p.e. "SOPRA" e "SOTTO" camice)



L'identificazione univoca del dosimetro a film è garantita da:

- marcatura del dosimetro prima del suo invio al cliente (alcuni laboratori effettuano la marcatura al ritorno dei dosimetri, con il rischio di errori o di impossibilità di identificazione in caso di etichetta rovinata)
- marcatura automatica della pellicola tramite lettura del codice a barre presente sull'etichetta già applicata (garanzia della corrispondenza tra matricola marcata e matricola presente sull'etichetta; nel caso di applicazione manuale dell'etichetta sulla pellicola già marcata tale corrispondenza non può essere garantita a causa dell'errore umano).

È possibile stampare sull'etichetta un Vs. codice interno e, compatibilmente con lo spazio a disposizione, ulteriori informazioni che riteniate necessarie. Il codice a barre racchiude tutte le informazioni sopra citate.

L'impiego di pistola laser per la lettura dei codici a barre consente di controllare rapidamente i dosimetri al loro rientro in laboratorio, di eseguire una stampa dei dosimetri non pervenuti, di quelli pervenuti in ritardo o in anticipo (vengono eseguiti confronti con le informazioni inviate dal Cliente, che viene informato in caso di incoerenza), e permette la continua tracciabilità del dosimetro.

Il sistema di etichettatura prevede l'utilizzo di 4 colorazioni differenti (bianco, giallo, azzurro, verde), in modo da distinguere i diversi periodi di utilizzo e le frequenze di cambio dei dosimetri (modalità che consente ai singoli esposti di verificare che indossino il dosimetro corrispondente al giusto periodo di assegnazione, ed in caso di errore di provvedere a cambi tempestivi).

Le etichette sono in PVC stampate con la tecnica del trasferimento termico, che rende indelebili le informazioni anche nel caso in cui l'etichetta dovesse bagnarsi.

## Sterilizzabilità del dosimetro

Il dosimetro può essere immerso in acqua o in altro liquido, in quanto la pellicola dosimetrica è protetta da un involucro di plastica termosigillata, impermeabile e decontaminabile tramite liquido.

I metodi con i quali è possibile sterilizzare questo tipo di dosimetro sono:

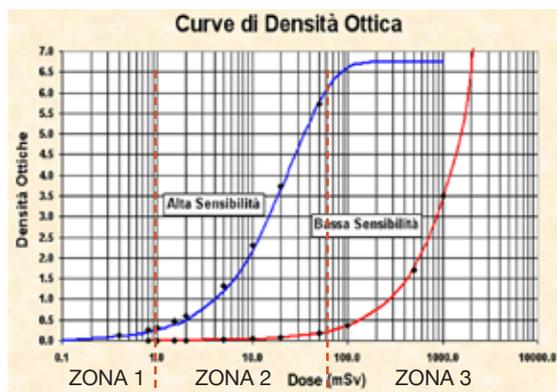
- Ossido/Biossido di etilene, con qualsiasi protocollo, a temperatura non superiore a 60°.
- Perossido di idrogeno (p.e. sistema STERRAD® 100/NX), a temperatura non superiore a 60° (tempo di processamento libero).
- Acido peracetico (p.e. sistema STERIS® 20), a temperatura non superiore a 60° (tempo di processamento libero).
- A freddo con qualsiasi preparato o soluzione normalmente impiegata per la disinfezione e la detersione in campo sanitario e ospedaliero (in quanto non aggressivi o corrosivi nei confronti dei materiali plastici), quali ad esempio le soluzioni alcoliche di Clorexidina digluconato, soluzioni acquose di Gluteraldeide e Benzalcolonio cloruro, soluzioni con tensioattivi anionici e tensioattivi non ionici, soluzioni con Sodio Perborato.

## Elemento rivelatore

AGFA Personal Monitoring con DOPPIA PELLICOLA a differente emulsione.

- Risposta indipendente dal Rateo di Dose.
- Conservazione dell'informazione dosimetrica per molti anni dopo lo sviluppo (X-Gammaguard garantisce la conservazione delle pellicole per 30 anni).
- Possibilità di ripetere più volte l'analisi densitometrica.
- Individuazione delle due principali componenti energetiche del fascio incidente.
- Informazioni aggiuntive sul tipo di esposizione mediante analisi morfologica (esp. statica, esp. statica prevalente, irradiazione obliqua, irradiazione frontale, irradiazione posteriore, pellicola parzialmente schermata, campo disuniforme, doppia esposizione, ...).

Si riporta di seguito un esempio di curve di risposta delle pellicole dosimetriche, esposte ad un fascio gamma di 1.250 keV (Sorgente di Co-60):



- |         |   |
|---------|---|
| ZONA 1: | Basse dosi<br>Annerimento della pellicola AS<br>Analisi di 6 densità ottiche                                  |
| ZONA 2: | Dosi medie<br>Annerimento delle pellicole AS E BS<br>Analisi di 12 densità ottiche                            |
| ZONA 3: | Alte dosi<br>Saturazione della pellicola AS<br>Annerimento della pellicola BS<br>Analisi di 6 densità ottiche |

La discriminazione del fondo ambientale avviene mediante la sottrazione della densità ottica ricavata sul dosimetro TEST.

I densitometri da noi utilizzati garantiscono letture di densità ottica superiori al valore di 6,0 DO, e consentono pertanto la copertura su un ampio range, anche per le densità ottiche sotto i filtri di minor capacità attenuante della radiazione incidente. La riproducibilità dell'output di lettura è molto alta con valori che si scostano entro il 3 %.



## Minima dose rivelabile

Per la determinazione del “Limite Minimo Rivelabile” sono stati considerati i seguenti articoli scientifici:

- “Determining the Lower Limit of Detection for Personnel Dosimetry Systems” P. L. Robertson and D. Carlson - Health Physics Vol. 62, NO. 1, pages 2-9 - Jan. 1992
- Atti del Convegno Anpeq-Lombardia del 13 Giugno 2003

DMR-Dose Minima Rilevabile: livello di esposizione fornita per cui, entro un intervallo di confidenza di  $(1 - \beta)$ , il risultato della misura dovrebbe essere considerato utile. Questo valore è quello che si deve identificare come “Limite Minimo Rivelabile” quando espresso in unità di dose equivalente. Viene considerato un intervallo di confidenza del 95%.

Energia efficace	< 37 KeV	65 KeV	104 KeV	1250 KeV	
Dose Minima Rilevabile DMR	5 microSv	10 microSv	20 microSv	40 microSv	Hp(10)
	5 microSv	10 microSv	25 microSv	40 microSv	Hp(0,07)
	5 microSv	10 microSv	20 microSv	40 microSv	Hp*(10)

Per energie maggiori di 1 MeV la DMR aumenta al crescere dell'energia fino a valori di circa 100 microSv per fasci X fino a 15 MeV

## Accuratezza e precisione

Sulla base degli esiti dell'ultima prova di affidabilità eseguita presso il Centro di Taratura ENEA di Bologna, si possono desumere i valori di accuratezza, ricavati applicando le seguenti formule:

$$\text{Accuratezza} = \frac{\text{Media dosi certificate}}{\text{Dose Centro Taratura}}$$

$$\text{Precisione} = \frac{|D_1 - D_2|}{\text{Dose Centro Taratura}} (\%)$$

Dove D1 e D2 sono, rispettivamente, i valori di dose massimo e minimo certificati per ogni gruppo di dosimetri irraggiati contemporaneamente.

Energia - Angolo inc.	37 KeV 0°	48 KeV 0°	48 KeV 40°	118 KeV 40°	Cs-137 0°	Co-60 0°
Accuratezza	0,97	1,04	0,89	1,22	1,15	1,17
Precisione	3,7%	4,0%	8,0%	5,0%	6,0%	2,7%

## Incertezza del sistema di analisi

L'incertezza del sistema di analisi è stata valutata considerando i seguenti riferimenti bibliografici:

- NCRP REPORT n° 158 - Uncertainties in the measurement and dosimetry of external radiation;
- Journal of the ICRU Vol 6 n°2 - Report 76 - Measurement quality assurance for ionizing radiation dosimetry.

L'incertezza di misura è dichiarata come incertezza estesa (K=2) espressa come due volte lo scarto tipo corrispondente, nel caso di distribuzione normale, ad un intervallo di confidenza di circa il 95%.

L'incertezza estesa è inferiore al 30% per valori di dose compresi tra la DMR (Dose Minima Rilevabile) ed 1 mSv. L'incertezza estesa è inferiore al 20% per valori di dose superiori ad 1 mSv.

Tali valori di incertezza sono stati confermati nell'ultima prova di affidabilità eseguita presso il Centro di Taratura ENEA di Bologna, nella quale è stata dichiarata la conformità del nostro sistema di analisi alla norma ISO 17043, che tiene conto dei valori di incertezza dichiarati.

## Linearità in dose

La pellicola dosimetrica ha una risposta non lineare in termini di rapporto tra la densità ottica letta (output dello strumento di analisi) e valore di dose corrispondente.

Si vedano, per esempio le curve di risposta delle pellicole dosimetriche, esposte ad un fascio gamma di 1.250 keV (Sorgente di Co-60):



L'algoritmo di calcolo, pertanto, tiene conto della funzione di risposta non lineare dell'elemento rivelatore, ed applica il corretto coefficiente di taratura in funzione delle densità ottiche misurate.

Lo studio della linearità di risposta nel range di rivelabilità delle dosi può essere pertanto determinato dalla correlazione tra le seguenti variabili:

- Dose efficace reale assorbita da dosimetro (Deff)
- Dose indicata dall'algoritmo di calcolo utilizzato

L'indice di correlazione di Pearson  $\rho_{xy}$  tra le suddette variabili esprime la relazione di linearità tra esse e, in caso di correlazione positiva, può assumere valori compresi tra 0 ed 1. Tanto più tale indice si avvicina al valore 1, tanto più la correlazione tra le due variabili è di tipo lineare.

Energia KeV	19,7	37,3	45	57,4	79	102	122	137	147	208	662	1250
$\rho_{xy}$	0,9322	0,9474	0,9652	0,9748	0,9630	0,9365	0,9215	0,9174	0,9145	0,9202	0,9554	0,9628

## Linearità in energia

La pellicola dosimetrica ha una risposta fortemente non lineare in termini energia. Per questo motivo l'impiego di un numero elevato di filtri metallici consente un appiattimento della risposta (l'algoritmo di calcolo tiene conto dei rapporti tra le densità ottiche lette sotto i 5 filtri metallici e sotto finestra, per un totale di 10 parametri distinti utili a determinare l'energia efficace media e le due componenti energetiche principali della radiazione incidente).

In termini assoluti, considerando l'intervallo determinato dalla massima sovrastima e della massima sottostima della risposta del dosimetro a film-badge alle varia energie, la risposta del dosimetro nel range delle energie rilevabili è entro il  $\pm 18 \%$  rispetto al valore medio.

## Sensibilità

La sensibilità  $s$  del dosimetro, intesa come rapporto tra la variazione del valore misurato  $R$  (in questo caso le densità ottiche sotto i filtri metallici e sotto finestra) e la variazione del valore reale  $E$  della grandezza considerata (in questo caso espressa in milliSv) è riportata nella seguente tabella, in funzione dell'energia della radiazione incidente. Sono stati indicati i valori di sensibilità di entrambe le pellicole dosimetriche (alta sensibilità AS e bassa sensibilità BS) sotto i diversi filtri:

Energia KeV	Sensibilità AS						Sensibilità BS					
	F	1 Al	0,2 Cu	1 Cu	1 Pb	2 Pb	F	1 Al	0,2 Cu	1 Cu	1 Pb	2 Pb
<b>19,7</b>	8,2239	2,258	0,1644	0,0303	0,0473	0,0413	0,0661	0,0302	0,0019	0,0007	0,0009	0,0008
<b>37,3</b>	6,684	4,9184	1,8285	0,27	0,2596	0,2562	0,1118	0,0811	0,0298	0,0046	0,0045	0,0043
<b>45</b>	7,2218	5,7795	2,9963	0,5606	0,3887	0,3682	0,0904	0,0815	0,0455	0,0082	0,0097	0,0092
<b>57,4</b>	5,7817	4,9797	3,0562	1,0391	0,4502	0,3995	0,1194	0,0999	0,0665	0,0154	0,0062	0,0063
<b>79</b>	4,0789	3,8259	2,7947	1,4917	0,5760	0,4578	0,0665	0,0615	0,0466	0,0237	0,0102	0,0089
<b>102</b>	2,8223	2,6447	2,1233	1,2301	0,4277	0,3324	0,0447	0,0403	0,0307	0,0152	0,0060	0,0048
<b>122</b>	1,9308	1,8567	1,5164	0,9609	0,4139	0,2662	0,0310	0,0286	0,0226	0,0125	0,0055	0,0041
<b>137</b>	1,2964	1,2598	1,0919	0,8617	0,3742	0,2454	0,0180	0,0173	0,0146	0,0103	0,0045	0,0032
<b>147</b>	1,4554	1,4151	1,2298	0,8743	0,3536	0,2390	0,0208	0,0196	0,0160	0,0101	0,0046	0,0034
<b>208</b>	0,541	0,5329	0,4882	0,4001	0,2540	0,1641	0,0090	0,0085	0,0074	0,0064	0,0039	0,0030
<b>662</b>	0,2848	0,2858	0,2754	0,2603	0,3072	0,2810	0,0038	0,0038	0,0034	0,0031	0,0040	0,0033
<b>1250</b>	0,2526	0,3342	0,3156	0,3119	0,3452	0,3277	0,0029	0,0036	0,0035	0,0035	0,0042	0,0037

## Algoritmo di Calcolo

L'algoritmo di calcolo tiene conto della non linearità di risposta del rivelatore, sia in termini di dose che in termini di energia.

L'algoritmo effettua prima un'analisi spettrale basandosi sui rapporti tra le densità ottiche sotto i diversi filtri metallici e sotto l'area corrispondente alla finestra.

Attraverso il confronto con i valori di riferimento (ricavati dall'irraggiamento dei campioni di riferimento presso centri LAT) e con il metodo dei minimi quadrati, individua le due componenti spettrali principali della radiazione incidente ed il loro peso relativo.

La dose viene calcolata considerando le curve di taratura delle energie individuate considerando le densità ottiche in funzione del peso relativo delle due componenti.

## Intervallo di rivelabilità

La comunicazione di dose ZERO ha semplicemente significato di nessun aumento significativo delle letture di fondo e quindi di valore di dose inferiore al limite minimo di rivelabilità.

E' possibile definire una soglia di dose minima certificata concordata con l'Esperto Qualificato.

L'intervallo di rivelabilità è compreso tra la DMR ed 1 Sv.

Il range energetico di rivelabilità è compreso tra 10 KeV e 20 MeV.

## Affidabilità del sistema di analisi

Il laboratorio X-Gammaguard si sottopone con periodicità almeno triennale a prove di interconfronto. La prova può essere schematizzata come sotto riportato:

X-GAMMAGUARD	PASSAGGIO	CENTRO DI INTERCONFRONTO
Preparazione di un set di dosimetri CARD-TLD da inviare al centro che ha organizzato la prova di affidabilità.	→	Irraggiamento dei dosimetri a qualità di fascio e livelli di dose differenti.
Analisi dei dosimetri esposti.	←	Invio dei dosimetri esposti al laboratorio di analisi dosimetrica (senza comunicare i valori di dose a cui i dosimetri sono stati irraggiati).
Comunicazione degli esiti delle analisi dosimetriche al centro di interconfronto.	→	Confronto tra le dosi comunicate dal laboratorio di dosimetria con quelle effettivamente determinate dall'irraggiamento dei dosimetri e calcolo degli errori relativi.
Verifica dell'affidabilità del sistema di analisi, utilizzando come criterio di accettazione quello definito dalla norma ISO 14146 (par.7), lo stesso considerato dall'ENEA-EDP nelle prove di interconfronto.	←	Invio di un certificato di affidabilità con l'indicazione delle dosi corrette, delle dosi comunicate dal laboratorio di dosimetria e dell'errore relativo.

### CRITERIO DI ACCETTABILITA' (ISO 14146 par.7)

$$0,7 \left( 1 - \frac{2X_0}{X_0 - X_a} \right) \leq \frac{X_v}{X_a} \leq 1,5 \left( 1 + \frac{X_0}{2X_0 + X_a} \right)$$

$X_0$  = Dose Minima  $X_v$  = Dose Valutata  $X_a$  = Dose Attesa

Nelle ultime prove alla quale X-Gammaguard si è sottoposta sono stati rilasciati i seguenti certificati:

1) Prot. ENEA/2014/14854/IRP-DOS del 04/02/2014 rilasciato dal Centro di Taratura ENEA

nel quale è stata dichiarata la conformità dei risultati ottenuti da X-Gammaguard sia alla norma ISO 14146 che alla norma ISO 17043.

2) Eurados-2014-S49 del 21/12/2014 rilasciato da EURADOS

con risultati conformi alla norma ISO 14146.

## Grandezze operative

X-Gammaguard certifica le dosi individuali assorbite dal personale esposto al rischio da Radiazioni Ionizzanti e le dosi ambientali come da tabella sotto riportata.

Posizione dosimetro	Grandezza operativa	Unità di misura
Corpo intero	Hp(10)/Hp(0,07)	microSievert (μSv) o milliSievert (mSv)
Estremità	Hp(0,07)	microSievert (μSv) o milliSievert (mSv)
Cristallino	Hp(3)	microSievert (μSv) o milliSievert (mSv)
Ambientali	H*(10)	microSievert (μSv) o milliSievert (mSv)

## Taratura Fasci X e Gamma

La taratura del sistema di analisi è effettuata mediante irraggiamenti a dose nota, direttamente in termini di grandezza operativa Hp(10), Hp(0,07) e H\*(10), presso Centri di Taratura e Centri LAT (Laboratorio Accreditato di Taratura, ex SIT) di 224 dosimetri a Film per il corpo intero e ambientali, secondo i punti indicati nelle successive tabelle:

### Dosimetri a Film Badge personali 208 Dosimetri esposti su fantoccio Slab

FASCIO ISO 4037	ENERGIA MEDIA (keV)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
H-30	19,7	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	10	20	50	100
H-60	37,3	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	10	30		
W-60	45	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	7,5	10		
H-100	57,4	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	10	20	50	100
W-110	79	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	7,5	10		
H-200	102	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	10	30	70		
H-250	122	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	10	20	50	100
W-200	137	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	10	20		
H-280	146	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	7,5	10	20	50
W-300	208	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	5,0	7,5	10		
CS-137	662	0,50	0,75	1,0	2,0	5,0	10				
Co-60	1250	0,50	1,0	2,0	5,0	7,5	10	20	50	100	250

### Dosimetri a Film Badge ambientali 16 Dosimetri esposti in aria libera

FASCIO ISO 4037	ENERGIA MEDIA (keV)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Co-60	1250	0,50	1,0	3,0	5,0	10	50	100	250

Le dosi indicate nelle tabelle sono espresse in mSv. La taratura viene ripetuta con frequenza almeno triennale. L'ultima taratura del sistema di analisi è stata eseguita presso il Centro di Taratura ENEA di Bologna, che ha rilasciato i seguenti certificati:

- Rapporto di prova n° 02G13 del 11/06/2013
- Certificato di Taratura LAT n° 031/2013 del 11/06/2013
- Certificato di Taratura LAT n° 035/2013 del 11/06/2013

## Taratura - Irradiazioni interne

X-Gammaguard possiede un proprio "Bunker di taratura" completo di Sorgenti X e Gamma, per l'effettuazione tempestiva di tutte le curve di taratura di riferimento (controllo della stabilità del processo):

SORGENTE	CARATTERISTICHE	Rateo di dose ad 1 metro
Cs-137	A = 1,8 GBq	0,166 mSv/h
Co-60	A = 700 GBq	230 mSv/h
Tube RX	Tmax = 200 kV	225 mSv/h (E = 45 keV)



In ogni sviluppo sono inseriti 20 dosimetri a film irraggiati a dose nota (le esposizioni sono realizzate giornalmente all'interno del nostro Bunker di Taratura con valori di dose compresi tra 0,2 mSv e 20 mSv). Questo consente di inserire all'interno dell'algoritmo di calcolo delle dosi, due fattori di calibrazione che tengono conto delle reali condizioni di sviluppo delle pellicole.

## Calibrazione densitometri

Un aspetto fondamentale per l'analisi dei dosimetri a film è l'impiego dei densitometri.

X-Gammaguard impiega due densitometri da banco marca X-Rite modello 361T in grado di leggere densità ottiche superiori a 6.0 DO.

Con frequenza almeno biennale i densitometri sono calibrati presso un laboratorio qualificato e specializzato.

La prova è eseguita secondo la norma internazionale ASTM 1079-2010 utilizzando un campione di prima linea emesso dal NIST.

A seguito della calibrazione viene rilasciata una strip densitometrica i cui valori sono riferibili al densitometro calibrato, per le verifiche di costanza.

Inoltre il laboratorio è in possesso di una strip calibrata riferibile ad un campione primario emesso dal NIST.

Per ogni densitometro viene eseguita giornalmente una verifica secondo la norma internazionale ASTM 1079-2010 utilizzando la strip densitometrica rilasciata assieme alla calibrazione dello strumento.

Nel caso in cui la prova fallisca, viene eseguita la calibrazione dello strumento con l'impiego della strip calibrata riferibile al campione primario e successivamente viene eseguita nuovamente la verifica di calibrazione con la stessa strip densitometrica.

Una volta al mese, per ciascun densitometro, viene eseguita la prova di calibrazione utilizzando la strip densitometrica riferibile al campione primario del NIST.

Si riportano di seguito gli ultimi certificati rilasciati.



# SE.LAB srl

Il service in radiografia tradizionale e digitale

## RESOCONTO DI VERIFICA DENSITOMETRO VERIFICATION DENSITOMETER TEST REPORT

Pag. 1 di 3

RAPPORTO DI PROVA **150501**  
*Test report*

RICHIEDENTE **XGAMMAGUARD**  
*Customer*

DATA **12/05/2015**  
*Date*

---

SCOPO DELLA PROVA **Verifica Strumentazione PND**  
*Scope of work*

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE **X-Rite 361TX s/n 12627**  
*Item identification*

DATA DI ENTRATA  
*Date of entry*

---

IL PRESENTE RAPPORTO E' COSTITUITO DAI SEGUENTI RESOCONTI DI PROVA:  
*This report includes the following test*

PROVA / *Test*  
**(\*) Verifica Densitometro**

PROCEDURA / *Test Procedure*  
**ASTM E 1079-2010**

*(\*) Prova non accreditata Sinal*

---

I RISULTATI CONTENUTI NEL PRESENTE RAPPORTO SI RIFERISCONO ESCLUSIVAMENTE AGLI OGGETTI PROVATI  
*The test result relate only to item tested*  
Se non altrimenti specificato la scelta del campione in prova è a cura del cliente. Per l'estrazione delle provette valgono i criteri del MQ LAB al punto 5.7. Le incertezze di misura dichiarate sono espresse con intervallo di confidenza del 95% e fattore di copertura 2

DATA **12.05.2015**  
*Date*

RVD 077M132 REV.0

24.07.2007



# SE.LAB srl

Il service in radiografia tradizionale e digitale

## RESOCONTO DI VERIFICA DENSITOMETRO VERIFICATION DENSITOMETER REPORT

RAPPORTO DI PROVA **150501**  
Test report

Pag.:2 di 3

Cliente/Customer: **XGAMMAGUARD**

Apparecchiatura/Device: Densitometro Model: **X-Rite 361TX** Matr./Serial nr.: **12627**

Campioni di I linea/Primary standards:  
Striscia densitometrica / Step Tablet

Matr./S.n.: Type SRM 1001 - 0901069

Campioni di II linea/Secondary standards:

N.A

Norma - Procedura/Standard - Procedure: **ASTM E 1079-2010**

Misurazioni/Measurements:

Step	Densità	Densità misurata	Scostamento $\pm 0,05$
1	0,146	0,11	0,03
2	0,416	0,38	0,03
3	0,622	0,59	0,03
4	0,865	0,83	0,03
5	1,095	1,06	0,03
6	1,342	1,31	0,03
7	1,595	1,58	0,01
8	1,906	1,88	0,02
9	2,205	2,19	0,01
10	2,483	2,47	0,01
11	2,737	2,73	0,00
12	2,981	2,97	0,01
13	3,225	3,20	0,02
14	3,439	3,42	0,01
15	3,731	3,71	0,02
16	3,969	3,95	0,01
17	4,181	4,18	0,00

Esito/Result: Conforme a Norma/Procedura applicata/Complies to applied Standard/Procedure

Note/Remarks: Effettuata calibrazione/Execute calibration

RVD 077M132 REV.0

24.07.2007

SEDE LEGALE: VIA MONTE ROSA, 81/A 20862 ARCORE (MB) - SEDE OPERATIVA: VIA MONTE ROSA, 81/A 20862 ARCORE  
Tel. +39 039.6882449 - Fax. +39 039.6882457 - selabservice@gmail.com  
REA MB - 1895230 P.IVA-C.F. 08601750964



# SE.LAB srl

Il service in radiografia tradizionale e digitale

## STRISCIA DENSITOMETRICA SECONDARIA SECONDARY STEP WEDGE FILM

RAPPORTO DI PROVA 150501  
Test report

Pag.: 3 di 3

Cliente/Customer: XGAMMAGUARD

Strumenti utilizzati/Used Devices:

X-Rite 361TX s/n 12627

### SECONDARY TRANSMISSION DENSITY STEP WEDGE FILM

Step n° 0	=	densità	0,13
Step n° 1	=	densità	1,27
Step n° 2	=	densità	1,63
Step n° 3	=	densità	2,02
Step n° 4	=	densità	2,33
Step n° 5	=	densità	2,64
Step n° 6	=	densità	2,97
Step n° 7	=	densità	3,27
Step n° 8	=	densità	3,55
Step n° 9	=	densità	3,81
Step n° 10	=	densità	4,08

Note/Remarks: La lettura della densità del Secondary Transmission Density Step Wedge film è stata effettuata sul densitometro X-Rite 361TX s/n 12627 subito dopo la sua verifica tramite campione di I linea Step Tablet SRM 1001 Matr. 0901069. La validità del Secondary Transmission Density Step Wedge è di 12 mesi

DATA EMISSIONE CERTIFICATO 13/05/15

TECNICO di LABORATORIO  
Laboratory responsible  
Sig. Ampusi Giorgio

RVD 077M132 REV.0

RESPONSABILE di LABORATORIO  
Laboratory responsible  
Sig. Colnaghi Davide

24.07.2007

SEDE LEGALE: VIA MONTE ROSA, 81/A 20862 ARCORE (MB) - SEDE OPERATIVA: VIA MONTE ROSA, 81/A 20862 ARCORE  
Tel. +39 039.6882449 - Fax. +39 039.6882457 - selabservice@gmail.com

039 688 2449 - 039 688 2457 - selabservice@gmail.com



# SE.LAB srl

Il service in radiografia tradizionale e digitale

## RESOCONTO DI VERIFICA DENSITOMETRO VERIFICATION DENSITOMETER TEST REPORT

Pag. 1 di 3

RAPPORTO DI PROVA **150502**  
*Test report*

RICHIEDENTE **XGAMMAGUARD**  
*Customer*

DATA **12/05/2015**  
*Date*

---

SCOPO DELLA PROVA **Verifica Strumentazione PND**  
*Scope of work*

IDENTIFICAZIONE DEL CAMPIONE **X-Rite 361TX s/n 12628**  
*Item identification*

DATA DI ENTRATA  
*Date of entry*

---

IL PRESENTE RAPPORTO E' COSTITUITO DAI SEGUENTI RESOCONTI DI PROVA:  
*This report includes the following test*

PROVA / Test  
**(\*) Verifica Densitometro**

PROCEDURA / Test Procedure  
**ASTM E 1079-2010**

*(\*) Prova non accreditata Sinal*

---

I RISULTATI CONTENUTI NEL PRESENTE RAPPORTO SI RIFERISCONO ESCLUSIVAMENTE AGLI OGGETTI PROVATI  
*The test result relate only to item tested*  
Se non altrimenti specificato la scelta del campione in prova è a cura del cliente. Per l'estrazione delle provette valgono i criteri del MQ LAB al punto 5.7. Le incertezze di misura dichiarate sono espresse con intervallo di confidenza del 95% e fattore di copertura 2

DATA **12.05.2015**  
*Date*

RVD 077M132 REV.0

24.07.2007

SEDE LEGALE: VIA MONTE ROSA , 81/A 20862 ARCORE (MB) - SEDE OPERATIVA: VIA MONTE ROSA , 81/A 20862 ARCORE  
Tel. +39 039.6882449 - Fax. +39 039.6882457 - selabservice@gmail.com  
REA MB - 1895230 P.IVA-C.F. 08601750964



# SE.LAB srl

Il service in radiografia tradizionale e digitale

## RESOCONTO DI VERIFICA DENSITOMETRO VERIFICATION DENSITOMETER REPORT

RAPPORTO DI PROVA **150502**  
Test report

Pag.:2 di 3

Cliente/Customer: **XGAMMAGUARD**

Apparecchiatura/Device: Densitometro Model: **X-Rite 361TX** Matr./Serial nr.: **12628**

Campioni di I linea/Primary standards:  
Striscia densitometrica / Step Tablet

Matr./S.n.: Type SRM 1001 - 0901069

Campioni di II linea/Secondary standards:

N.A

Norma - Procedura/Standard - Procedure: **ASTM E 1079-2010**

Misurazioni/Measurements:

Step	Densità	Densità misurata	Scostamento $\pm 0,05$
1	0,146	0,11	0,03
2	0,416	0,40	0,01
3	0,622	0,60	0,02
4	0,865	0,85	0,01
5	1,095	1,09	0,00
6	1,342	1,32	0,02
7	1,595	1,58	0,01
8	1,906	1,90	0,00
9	2,205	2,19	0,01
10	2,483	2,48	0,00
11	2,737	2,72	0,01
12	2,981	2,98	0,00
13	3,225	3,21	0,01
14	3,439	3,43	0,00
15	3,731	3,72	0,01
16	3,969	3,95	0,01
17	4,181	4,18	0,00

Esito/Result: Conforme a Norma/Procedura applicata/Complies to applied Standard/Procedure

Note/Remarks: Effettuata calibrazione/Execute calibration

RVD 077M132 REV.0

24.07.2007

SEDE LEGALE: VIA MONTE ROSA , 81/A 20862 ARCORE (MB) - SEDE OPERATIVA: VIA MONTE ROSA , 81/A 20862 ARCORE  
Tel.+39 039.6882449 - Fax.+39 039.6882457 - selabservice@gmail.com  
REA MB - 1895230 P.IVA-C.F. 08601750964



# SE.LAB srl

Il service in radiografia tradizionale e digitale

## STRISCIA DENSITOMETRICA SECONDARIA SECONDARY STEP WEDGE FILM

RAPPORTO DI PROVA 150502  
Test report

Pag.: 3 di 3

Cliente/Customer: XGAMMAGUARD

Strumenti utilizzati/Used Devices:

X-Rite 361TX s/n 12628

### SECONDARY TRANSMISSION DENSITY STEP WEDGE FILM

Step n° 0	=	densità	0,16
Step n° 1	=	densità	1,28
Step n° 2	=	densità	1,65
Step n° 3	=	densità	2,02
Step n° 4	=	densità	2,34
Step n° 5	=	densità	2,65
Step n° 6	=	densità	2,98
Step n° 7	=	densità	3,28
Step n° 8	=	densità	3,56
Step n° 9	=	densità	3,82
Step n° 10	=	densità	4,08

Note/Remarks: La lettura della densità del Secondary Transmission Density Step Wedge film è stata effettuata sul densitometro X-Rite 361TX s/n 12628 subito dopo la sua verifica tramite campione di I linea Step Tablet SRM 1001 Matr. 0901069. La validità del Secondary Transmission Density Step Wedge è di 12 mesi

DATA EMISSIONE CERTIFICATO 13/05/15

TECNICO di LABORATORIO  
Laboratory responsible  
Sig. Ampusi Giorgio

RESPONSABILE di LABORATORIO  
Laboratory responsible  
Sig. Colnaghi Davide

RVD 077M132 REV.0

24.07.2007

<b>TRANSMISSION DENSITY STEPWEDGE FILM</b>  SMART NDT S.r.l.	SERIAL No.	150144
	S.R.M. I.D.	0901094
	DATE	05.03.2015

### CALIBRATION CERTIFICATE

- a) **Unambiguous Identification**  
The serial number is marked in indelible ink on the stepwedge. The same number appears on this certificate.
- b) **Measurement Standard and calibration Status**  
The measurement standard used is a National Bureau of Standards & Technology, Standard Reference Material 1001. Its serial number is shown at "S.R.M. I.D." above. IE possesses a second NIST Tablet which is used to monitor the stability of the working master.
- c) **Traceability**  
The certificate accompanying the NIST Tablet states that measurements leading to certification were made by the NIST Optical Technology Division.
- d) **Method of Calibration**  
A densitometer (Equipment No. 201) was adjusted for zero and gain. Once stabilised, the accuracy of the instrument was checked against the Standard Reference Material. The displayed density readings were within +/- 0,01D of the nominal density values. The Transmission Density Stepwedge Film was measured using the pre-adjusted densitometer. The measurement density of each step is shown below. The process was performed in accordance with IE Work Instruction MWI-04, a Controlled Document forming part of the Company's Quality system.
- e) **Statement of Compliance**  
This item complies with the requirements of ASME SE-1079, ASTM E 1079-05 and as specified in ASME/V, Article T262.
- f) **Calibration Results**  
The results are given below.
- g) **Uncertainty of Measurement**  
+/- 0,02D when compared against the Standard Reference Material
- h) **Environmental Conditions**  
Not relevant.
- i) **Date of Calibration**  
As shown above at "Date"
- j) **Signature**  
The signature of the person under whose authority this certificate is issued is shown at "Approved by" Below.
- k) **Issuing Organisation**  
IE
- l) **Validity**  
The Stepwedge Film is valid for twelve months from the date of calibration.

Step No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
DENSITY	0.17	0.36	0.64	1.02	1.41	1.63	1.79	1.95	2.21	2.71	3.25	3.65	4.07	4.54

Calibrated by

*S. Thompson*  
S THOMPSON

Approved by

*M. Palmer*  
AUTHORISED SIGNATORY





UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE  
National Institute of Standards and Technology  
Gaithersburg, Maryland 20899-

## REPORT OF CALIBRATION

38100C Diffuse Transmittance

for

One X-Ray Step Tablet

Issued to:

IE-NDT Ltd  
Attn.: Ms. Stephanie Palmer  
Unit C Heath Farm  
Swerford  
Chipping Norton, OX7 4BN  
UNITED KINGDOM

(See your Purchase Order No. 5301, dated May 12, 2011)

### 1. Description of Calibration Item

The item that has been calibrated is a double emulsion X-ray film step tablet 25.4 cm (10 in) long by 3.5 cm (1.375 in) wide with 17 steps 1.3 cm (0.5 in) wide perpendicular to the long edge of the film and with transmission densities ranging from less than 0.200 to greater than 4.000. The step tablet contains an inscribed serial number 0901094. The step tablet film was produced by Stouffer Industries Incorporated, Mishawaka, Indiana.\*

### 2. Description of Calibration

The transmission density of each step of the tablet was measured using the NIST Reference Diffuse Transmittance facility (RDT) which is described in reference 1. The instrument and measurements conform to the conditions specified for ISO Standard Diffuse Visual Transmission Density,  $D_T(90^\circ \text{ Opal}; S_H: \leq 10^\circ; V_T)$  in references 2 and 3.

The RDT consists of an illumination system, a film transport system, and a detector system. The illuminator provides diffuse illumination to the film step tablet with the recommended spectral flux distribution. The illumination system consists of a lamp, a filter, a shutter and an opal. The shutter assembly blocks all light from reaching the opal assembly, allowing a background, dark signals, to be taken. The film transport system

\* Certain commercial equipment, instruments, or materials are identified in this certificate in order to specify adequately the experimental procedure. Such identification does not imply recommendation or endorsement by the National Institute of Standards and Technology, nor does it imply that the materials or equipment identified are necessarily the best available for the purpose.

Calibration Date: March 6, 2012  
NIST Test No.: 685/281788-12-R

Page 1 of 5

**NIST**

**REPORT OF CALIBRATION**  
38100C Diffuse Transmittance  
IE-NDT Ltd

Serial No.: 0901094

transports a standard film from the film tray to the flash opal, positions the film above the flash opal in order to measure the transmission density on each step of the film and then transports the film to the film tray on the opposite side of the instrument. The flash opal is the aperture of the detector system. The detector system detects the efflux from the acceptance cone and focuses the radiant flux onto a silicon diode. The system consists of a silicon photodiode, a photoptic filter, a collecting lens, a collimating lens, a focusing lens, a temperature controller, an amplifier, and a voltmeter. The room temperature during the measurement was 22° C, the ambient photometer temperature was 25° C, and the relative humidity during the measurement was 18 %.

The transmission density,  $D_T$ , is calculated from the ratios of the signal and the gain. A set of five signal readings are averaged and the dark signals at each gain setting are subtracted from those signals at that gain setting to yield the net of the signals. For each step on the film, the transmission density is calculated by

$$D_T = \text{Log}_{10} \left( \frac{S_j \cdot G_r}{S_r \cdot G_j} \right)$$

where  $S_j$  is the signal with no sample,  $S_r$  is the transmitted signal,  $G_r$  is the amplifier gain for the transmitted signal, and  $G_j$  is the amplifier gain for the signal with no sample signal.

### 3. Results of Calibration

The calibrated transmission densities of the step tablet are listed in Table 1. Measurements were made on a 3 mm diameter circle at the center of each step, and apply only to that area. When measured, the side of the tablet with the serial number was in contact with the opal diffuser of the instrument. The expanded uncertainty ( $k = 2$ ) of the reported transmission density is 0.004. Table 2 lists the summary of the uncertainty budget of this calibration. The uncertainty associated with the measured values is discussed thoroughly in reference 1. Refer to reference 4 for the NIST policy on statement of uncertainties.

The optical densities of this step tablet may change with time. To minimize such changes, the step tablet film should be stored in a cool, dry place where it will not be exposed to light or other radiant energy or to chemical fumes, or to dust in the air. Scratches, abrasion marks, or foreign matter on the film can change the density. Fingerprints are a common source of contamination. Fingerprints on the film surfaces can be avoided by handling the step tablet only by the edges and by wearing clean cloth gloves. Any attempt to clean a film step tablet, other than to remove dust with a soft camel-hair brush, is not recommended as it is likely to alter the calibrated values. Calibration will be nullified if the step tablet is damaged or contaminated. The laboratory shall have the necessary intermediate check standards and internal quality system to maintain confidence in the calibration status of their primary standard. When the step tablet is handled properly as indicated above, the calibration value may remain within the stated uncertainties for at least three years from the date of calibration.

Calibration Date: March 6, 2012  
NIST Test No.: 685/281788-12-R

Page 2 of 5

**REPORT OF CALIBRATION**  
38100C Diffuse Transmittance  
IE-NDT Ltd

Serial No.: 0901094

Table 1. Transmission densities of an x-ray step tablet, serial number 0901094.

Step Number	Transmission Density
1	0.145
2	0.416
3	0.633
4	0.886
5	1.109
6	1.352
7	1.577
8	1.866
9	2.101
10	2.355
11	2.628
12	2.866
13	3.103
14	3.316
15	3.612
16	3.845
17	4.071

Calibration Date: March 6, 2012  
NIST Test No.: 685/281788-12-R

Page 3 of 5

**REPORT OF CALIBRATION**  
38100C Diffuse Transmittance  
IE-NDT Ltd

Serial No.: 0901094

#### 4. General Information

- 1) The only preparation for measurement was the removal of dust with either an air bulb or a camel hair brush.
- 2) The values listed in Table 1 correspond only to the 3 mm diameter circle at the center of each step.
- 3) This calibration report may not be reproduced except in full without the written consent of this laboratory.

Prepared by:



Maria E. Nadal  
Sensor Science Division  
Physical Measurement Laboratory  
(301) 975-4632

Approved by:



Yoshihiro Ohno  
For the Director,  
National Institute of  
Standards and Technology  
(301) 975-2321

#### 5. References

- [1] Early, E.A.; O'Brian, T.R.; Saunders, R.D.; Parr, A.C.; *Standard Reference Materials: Film Step Tablet Standards of Diffuse Visual Transmission Density – SRM 1001 and SRM 1008*; Natl. Inst. Stand. Technol. Spec. Publ. 260-135, U.S. Government Printing Office: Washington, DC (1998).
- [2] ISO 5-2: 2001, *Photography – Density Measurements – Part 2: Geometric Conditions for Transmission Density*; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland (2001).
- [3] ISO 5-3: 1995, *Photography – Density Measurements – Part 3: Spectral Conditions*; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland (1995).
- [4] Taylor, B.N.; Kuyatt, C.E.; *Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*; NIST Technical Note 1297, U.S. Government Printing Office: Washington, DC (1994).

Calibration Date: March 6, 2012  
NIST Test No.: 685/281788-12-R

Page 4 of 5

**REPORT OF CALIBRATION**  
 38100C Diffuse Transmittance  
 IE-NDT Ltd

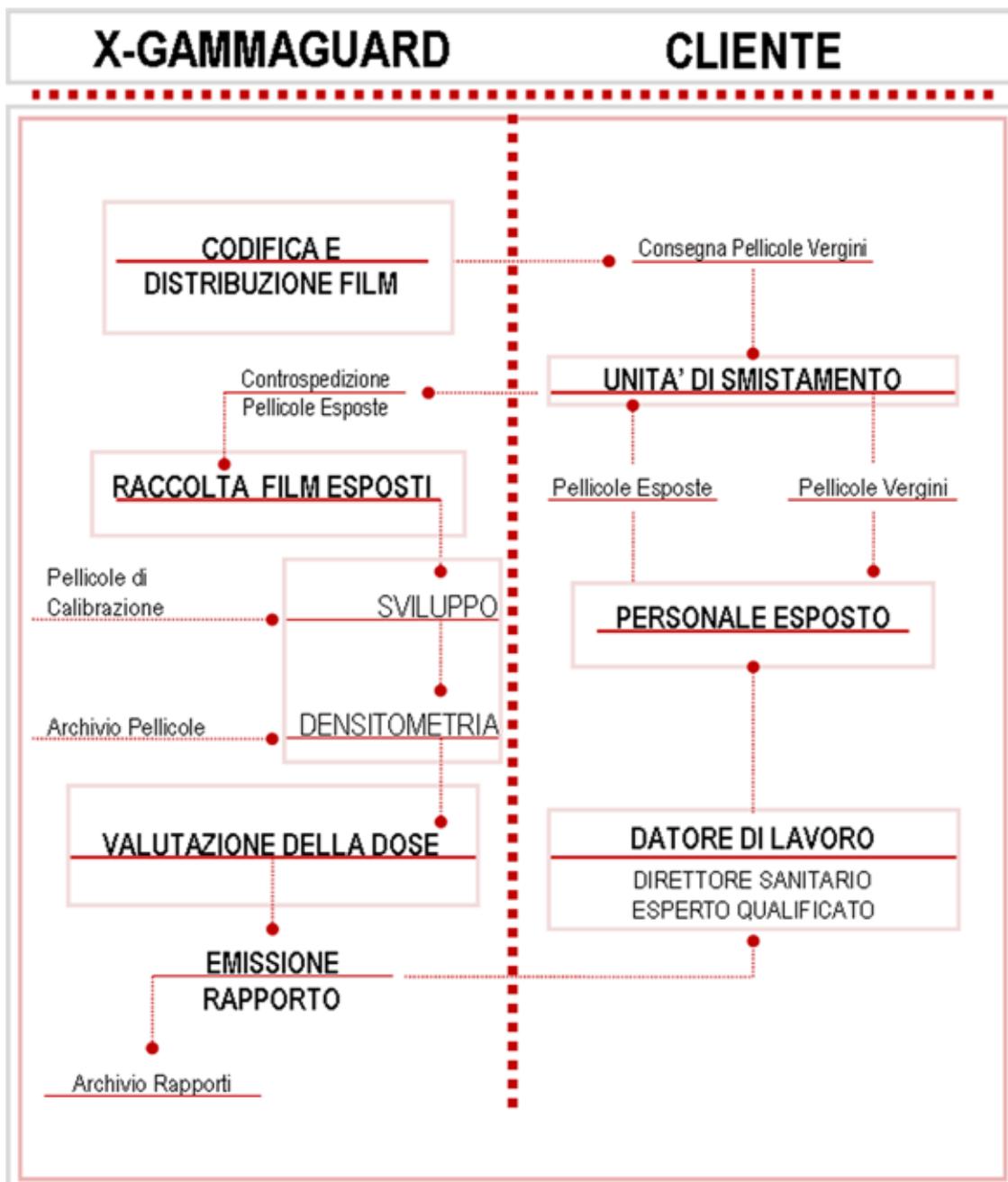
Serial No.: 0901094

Table 2. Uncertainty contributions and expanded uncertainty ( $k = 2$ ) of the transmission density for an x-ray step tablet, serial number 0901094.

Source of uncertainty*	Type	Uncertainty contribution in Transmission Density
Source Stability	A	0.001
Signal Noise	A	0.001
Amplifier Gain	A	0.000
Detector Linearity	A	0.001
Step non-uniformity	A	0.001
Spectral Product	B	0.000
Combined Standard Uncertainty, $u_c$		0.002
Expanded Uncertainty $U(k = 2)$		0.004

\* Other sources of uncertainty including voltmeter accuracy, diffusion coefficient, and opal reflectance were determined insignificant.

## Schema a blocchi del servizio di dosimetria a film





**Servizio per la Dosimetria dal 1977**

## **X-Gammaguard di Laura Pini**

Via Gorizia, 40  
21047 Saronno (VA)  
Tel. ++39 02 96702029  
Fax ++39 02 9625945

[www.xgammaguard.it](http://www.xgammaguard.it)  
E-mail: [dosimetria@xgammaguard.it](mailto:dosimetria@xgammaguard.it)  
P.e.c.: [xgammaguard@pec.it](mailto:xgammaguard@pec.it)

Il nostro personale è a Vostra disposizione dal Lunedì  
al Venerdì nei seguenti orari: 8:30 - 12:30 e 13:30 -  
17:30

Il presente documento ha carattere di riservatezza, in quanto contiene segreti tecnici che costituiscono il know-how aziendale relativamente all'erogazione del servizio di dosimetria. La divulgazione dello stesso consentirebbe alle ditte concorrenti di giovare delle specifiche conoscenze possedute dallo scrivente e di conseguire un indebito vantaggio commerciale. Ai sensi dell' Art. XIII comma 5 del dlgs. n°163/2006 è negata la divulgazione a terzi, salvo dietro autorizzazione scritta da parte dello scrivente laboratorio X-Gammaguard.

X-GAMMAGUARD Via Gorizia, 40 – 21047 Saronno (VA) – Tel. +39 02.96.70.20.29 – Fax +39 02.96.25.945  
e-mail [dosimetria@xgammaguard.it](mailto:dosimetria@xgammaguard.it) – p.e.c. [xgammaguard@pec.it](mailto:xgammaguard@pec.it) – <http://www.xgammaguard.it>  
R.E.A. C.C.I.A.A. VA 142421 – C.F. PNI LRA 46P47 I441K – P. IVA 00267650122