

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

**Risultati dell'interconfronto dosimetrico pilota
dell'Istituto Superiore di Sanità
per trattamenti radioterapici
con fasci esterni di fotoni**

A cura di
Cinzia De Angelis, Paola Fattibene e Sandro Onori

Dipartimento di Tecnologie e Salute

ISSN 1123-3117

Rapporti ISTISAN

05/34

Istituto Superiore di Sanità

Risultati dell'interconfronto dosimetrico pilota dell'Istituto Superiore di Sanità per trattamenti radioterapici con fasci esterni di fotoni.

A cura di Cinzia De Angelis, Paola Fattibene e Sandro Onori
2005, iii, 20 p. Rapporti ISTISAN 05/34

Nel presente rapporto sono presentati i risultati dell'interconfronto pilota per fasci esterni organizzato nell'ambito del progetto dell'ISS "Miglioramento Continuo di Qualità in Radioterapia". All'interconfronto hanno partecipato 16 Centri di radioterapia operanti sul territorio nazionale. Lo scopo dell'interconfronto era di valutare la differenza fra la dose dichiarata da ciascun Centro e quella misurata con un opportuno sistema dosimetrico di trasferimento, sia in condizioni di riferimento, in un fantoccio ad acqua, che durante l'irraggiamento di un fantoccio antropomorfo in un trattamento simulato del tumore del retto. Il Laboratorio di Fisica (attualmente confluito nel Dipartimento di Tecnologie e Salute) dell'ISS ha avuto il ruolo di coordinamento ed ha effettuato la valutazione della dose con il sistema dosimetrico di trasferimento prescelto (dosimetri ad alanina e a termoluminescenza). Nel presente rapporto, dopo una breve descrizione dell'interconfronto e delle dosimetrie utilizzate, sono analizzate in dettaglio le varie componenti di incertezza che intervengono nel processo di misura, al fine di individuare i livelli di tolleranza per le varie situazioni che sono state oggetto di verifica sperimentale. Infine, sono presentati e discussi i risultati ottenuti.

Parole chiave: Interconfronti dosimetrici, Radioterapia, Fotoni

Istituto Superiore di Sanità

Results of the Istituto Superiore di Sanità pilot dosimetry intercomparison for external photon beam treatments.

Edited by Cinzia De Angelis, Paola Fattibene and Sandro Onori
2005, iii, 20 p. Rapporti ISTISAN 05/34 (in Italian)

In this report the results of the pilot dosimetry intercomparison for external beams performed in the framework of the Istituto Superiore di Sanità (ISS, Italian National Institute of Health) project "Continuous Quality Improvement in Radiotherapy" are presented. 16 Italian Radiotherapy Centres participated. The aim of the intercomparison was to evaluate the difference between the stated dose and the dose measured with transfer dosimeters in reference conditions in a water phantom and during a simulated treatment of rectum cancer in an anthropomorphic phantom. Alanine and TLD were used as transfer dosimeters. The Laboratory of Physics (now Department of Technology and Health) of the ISS was the co-ordinating Centre and evaluated the delivered dose. In this report, after a short description of the intercomparison and the selected transfer dosimetry system, the various uncertainty components of the dose delivery and measurement are discussed with the goal of establishing remedial levels. The results of the intercomparison are then presented and discussed.

Key words: Dosimetry intercomparison, Radiotherapy, Photons

Si ringraziano Alma Paoluzi e Tiziana Talucci per la preziosa opera a supporto delle attività degli interconfronti.

Per informazioni su questo documento scrivere a: sandro.onori@iss.it.

Il rapporto è accessibile online dal sito di questo Istituto: www.iss.it.

Presidente dell'Istituto Superiore di Sanità e Direttore responsabile: *Enrico Garaci*
Registro della Stampa - Tribunale di Roma n. 131/88 del 1° marzo 1988

Redazione: *Paola De Castro, Sara Modigliani e Sandra Salinetti*
La responsabilità dei dati scientifici e tecnici è dei singoli autori.

© Istituto Superiore di Sanità 2005

Hanno partecipato alla stesura del Rapporto:

Luisa Begnozzi

Servizio di Fisica Sanitaria UOC, Ospedale S. Giovanni Calibita Fatebenefratelli, Roma

Antonio Bonini

Servizio di Radioterapia, Ospedale San Raffaele, Milano

Arcangelo Calicchia

Dipartimento di Tecnologie e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Numa Cellini

Divisione di Radioterapia, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma

Vanessa De Coste

Dipartimento di Tecnologie e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Cinzia De Angelis

Dipartimento di Tecnologie e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Paola Fattibene

Dipartimento di Tecnologie e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Sveva Grande

Dipartimento di Tecnologie e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Antonio Guerra

Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti, ENEA-Casaccia, Roma

Riccardo Maurizi Enrici

Istituto di Radiologia, Università "La Sapienza", Roma

Sandro Onori

Dipartimento di Tecnologie e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Erminio Petetti

Dipartimento di Tecnologie e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Angelo Piermattei

Istituto di Fisica, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma

Vincenzo Valentini

Divisione di Radioterapia, Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma

INDICE

Introduzione	1
Metodiche di indagine e analisi dei dati	3
Interconfronti e dosimetri di trasferimento	3
Informazioni su impianti, attrezzature e metodiche dosimetriche dei Centri partecipanti	5
Analisi dei risultati e criteri per la valutazione delle incertezze.....	7
Risultati	13
Irraggiamento in condizioni di riferimento	13
Irraggiamento in condizioni di trattamento.....	14
Risultati alanina (dose all'isocentro).....	14
Risultati TLD (distribuzioni di dose relative in fantoccio antropomorfo).....	16
Conclusioni	19
Bibliografia	20

INTRODUZIONE

L'attuale legislazione italiana (1), che recepisce la direttiva europea sulla radioprotezione del paziente (2), introduce il nuovo importante concetto di “*audit clinici*”, non limitati ai controlli di qualità per le strumentazioni, ma che comprendano anche le attività relative ai pazienti (diagnosi, indicazione e scelta del trattamento, esecuzione del trattamento, follow-up, ecc.).

L'Istituto Superiore di Sanità (ISS) si occupa da molti anni delle problematiche relative alla radioprotezione del paziente, in particolare nella radioterapia. In questo ambito di intervento, all'interno del Gruppo di studio costituito dall'ISS sul tema “Assicurazione di Qualità in Radioterapia (AQR)”, di cui fanno parte studiosi indicati dalle associazioni dei radioterapisti oncologi, dei fisici medici e dei tecnici di radioterapia, cioè proprio di quelle figure professionali principalmente coinvolte nel trattamento radioterapico, è stata espressa la necessità di organizzare, a livello nazionale, interconfronti dosimetrici con il coordinamento e la gestione dell'ISS. È stato infatti riconosciuto come gli interconfronti dosimetrici, insieme alle verifiche esterne della dosimetria e del funzionamento delle apparecchiature, siano molto efficaci nell'evidenziare la presenza di errori sistematici e nel servire da stimolo per un miglioramento del processo radioterapico.

Nell'ottica di fornire un aiuto concreto all'attuazione di programmi AQR sul territorio, è stato proposto ed approvato nell'aprile 1999 (divenuto operativo nel dicembre dello stesso anno) il Progetto di Ricerca dell'ISS relativo all'art. 12 del DL.vo 509/1992 modificato dall'art. 14 del DL.vo 517/1993 “Miglioramento continuo di qualità in radioterapia: Sviluppo di metodologie e loro applicazione sul territorio nazionale” (nel seguito denominato progetto MCQR)¹. Il progetto era suddiviso in quattro obiettivi, di cui uno relativo ad un programma pilota di interconfronti dosimetrici gestiti dall'ISS. L'obiettivo ultimo era quello di individuare e sperimentare, su un numero ristretto di Centri di radioterapia (al progetto hanno partecipato 16 Centri), una metodica di interconfronti dosimetrici da implementare a livello nazionale. Il compito di elaborare una proposta di interconfronti è stato affidato ad un Comitato² nel cui ambito confluissero le diverse competenze coinvolte nel processo radioterapico. Il Comitato, dopo una serie di riunioni e verifiche sperimentali, ha proposto due diversi interconfronti: uno per valutare la differenza fra la dose dichiarata da ciascun Centro e quella misurata con un opportuno sistema dosimetrico di trasferimento in condizioni di riferimento in un fantoccio ad acqua, e l'altro durante l'irraggiamento di un fantoccio antropomorfo in un trattamento simulato del tumore del retto.

L'attività relativa agli interconfronti organizzati dall'ISS è stata suddivisa in quattro fasi principali.

¹ Responsabile del progetto è stata Vincenza Viti dell'ex Laboratorio di Fisica dell'ISS. Maggiori informazioni sul progetto stesso possono essere trovate in (3). In seguito ai positivi risultati di questo primo progetto è stato proposto ed approvato nel dicembre 2002 un nuovo Progetto “Indicatori di qualità in radioterapia”, nel cui ambito è stata prevista l'estensione dell'interconfronto pilota ad altri 22 Centri. Questa seconda fase dell'interconfronto è terminata nell'ottobre del 2005.

² Il Comitato risulta così composto: Luisa Begnozzi (Ospedale S. Giovanni Calibita, Roma), Antonio Bonini (Ospedale San Raffaele, Milano), Numa Cellini (Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma), Antonio Guerra (Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti, ENEA, Roma), Riccardo Maurizi Enrici (Università La Sapienza, Roma), Sandro Onori (ISS, coordinatore), Angelo Piermattei (Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma), Vincenzo Valentini (Università Cattolica del Sacro Cuore, Roma).

- *Prima fase*
Dopo aver definito gli interconfronti da effettuare e le metodiche da utilizzare, i sistemi dosimetrici prescelti – dosimetri ad alanina e a termoluminescenza (*ThermoLuminescent Dosimeters*, TLD) – sono stati messi a punto in ISS e sono stati tarati presso l’Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell’Ente per le Nuove Tecnologie, l’Energia e l’Ambiente (INMRI-ENEA).
- *Seconda fase*
Si è proceduto ad un interconfronto bilaterale dei valori di dose assorbita determinati con i sistemi dosimetrici utilizzati presso l’ISS (per l’alanina) e l’Institute Goustone Roussy (IGR) di Villejuif, Francia (per i TLD) costituenti, rispettivamente, i laboratori di riferimento per il presente interconfronto nazionale e per l’interconfronto internazionale organizzato nell’ambito del progetto europeo EQUAL (*European QUALity assurance network for radiotherapy*) dall’ESTRO (*project of European Society for Therapeutic radiology and Oncology*) (4). Lo scopo di questa verifica è stato quello di fornire una indicazione addizionale a quei Centri che avevano già preso parte al progetto EQUAL, mostrando la equivalenza, entro le rispettive incertezze di misura, dei due laboratori di riferimento, per ciò che riguarda la loro riferibilità ai campioni nazionali e internazionali (5). L’accuratezza e la riproducibilità nella misura di dose assorbita con alanina e TLD è, inoltre, stata verificata con una serie di irraggiamenti periodici effettuati presso l’INMRI-ENEA per tutta la durata dell’interconfronto. L’attività delle prime due fasi è stata riassunta in un Rapporto ISTISAN (6).
- *Terza fase*
Esecuzione degli *audit* (verifiche sperimentali mediante irraggiamento dei dosimetri di trasferimento) presso i 16 Centri di radioterapia partecipanti nel periodo giugno 2001-luglio 2002.
- *Quarta fase*
Analisi ed elaborazione dei risultati da parte dell’ISS e dell’INMRI-ENEA.

Il presente rapporto è finalizzato alla presentazione dei risultati ottenuti.

METODICHE DI INDAGINE E ANALISI DEI DATI

Interconfronti e dosimetri di trasferimento

Ogni Centro di radioterapia doveva partecipare a due distinti interconfronti. Il primo era volto alla verifica della dose erogata in condizioni di riferimento (Figura 1), vale a dire in fantoccio ad acqua, ad una profondità di 10 cm, ad una distanza di 100 cm fra sorgente e dosimetro (*Source Detector Distance*, SDD) (o, in modo equivalente, fra sorgente e superficie dell'acqua (*Source Surface Distance*, SSD) e con un fascio di dimensioni 10 cm x 10 cm. L'irraggiamento doveva avvenire con fasci di fotoni con energia nominale, a scelta del Centro, compresa fra 6 MV e 18 MV. In questo primo interconfronto come dosimetri di trasferimento sono stati utilizzati i dosimetri ad alanina di produzione ISS.

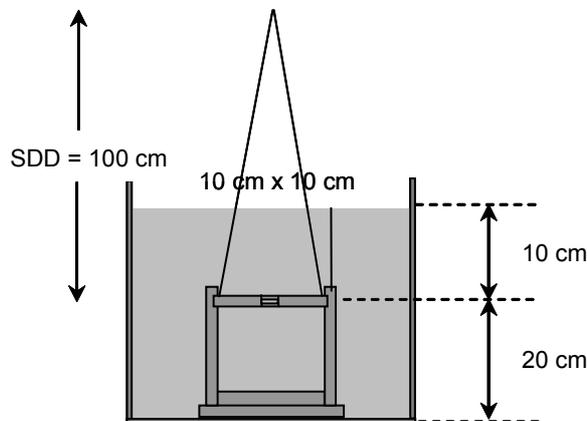


Figura 1. Schema della disposizione sperimentale che realizza una delle due possibili condizioni di riferimento: irraggiamento con SDD = a 100 cm

Nel secondo interconfronto ogni Centro doveva simulare il trattamento di una neoplasia rettale su fantoccio antropomorfo (Figura 2). A questo scopo è stato utilizzato il fantoccio antropomorfo Rando-Alderson dell'ISS opportunamente modificato per permettere l'alloggiamento dei dosimetri di trasferimento. Ad ogni Centro è stato richiesto di effettuare tutte le fasi che portano al reale trattamento di un paziente, e cioè l'esecuzione delle sezioni tomografiche di simulazione, la pianificazione e l'esecuzione del trattamento stesso. Per l'irraggiamento è stata scelta la tecnica statica isocentrica con quattro campi contrapposti che è mostrata schematicamente in Figura 3. In Figura 4 sono mostrate le tre sezioni del fantoccio antropomorfo in cui sono alloggiati i dosimetri. Il punto 3 nella sezione 32 corrisponde all'isocentro.



Figura 2. Fantoccio antropomorfo in fase di trattamento

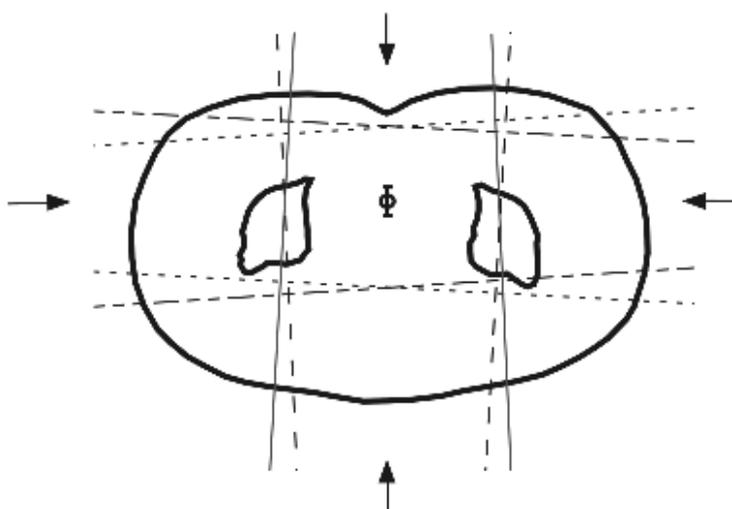
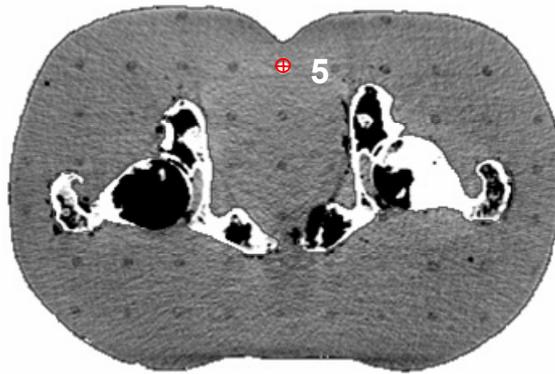


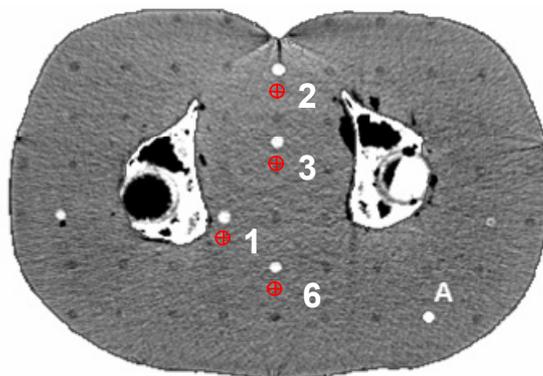
Figura 3. Schema della tecnica statica isocentrica con quattro campi contrapposti utilizzata per la simulazione del trattamento del retto (Φ = isocentro)

È stato richiesto di effettuare l'irraggiamento con due diversi dosimetri di trasferimento, alanina e TLD-100. Nel primo irraggiamento doveva essere irradiata la sola alanina posta nella posizione 3 (corrispondente all'isocentro) ad una dose di 10 Gy. Nel secondo irraggiamento si dovevano inserire i TLD nelle sei posizioni mostrate in Figura 4 con una prescrizione di dose all'isocentro di 1 Gy. I primi cinque punti sono interni al volume da trattare, mentre il sesto è esterno a tale volume ed è in corrispondenza della vescica. In ogni punto di misura sono stati posti 4 dosimetri a termoluminescenza. L'alanina fornisce il valore di dose di riferimento all'isocentro, mentre i TLD vengono utilizzati per misurare la distribuzione di dose nei sei punti di misura scelti.

Sezione 33



Sezione 32



Sezione 30



Figura 4. Sezioni del fantoccio antropomorfo Alderson Rando utilizzato per l'interconfronto in condizioni di trattamento e posizione dei 6 punti di misura

Informazioni su impianti, attrezzature e metodiche dosimetriche dei Centri partecipanti

Agli interconfronti hanno partecipato i 16 Centri coinvolti nel progetto MCQR dell'ISS.

In Tabella 1 sono riassunti alcuni dati relativi all'impianto di irraggiamento e al sistema per i piani di trattamento (*Treatment Planning System*, TPS) utilizzati da ciascun Centro, così come dichiarato dai Centri nel Questionario (i Centri sono riportati in ordine decrescente del valore dell'energia nominale del fascio utilizzato per l'interconfronto). 11 Centri su 16 hanno utilizzato fasci caratterizzati da un valore del $TPR_{20/10}$ (*Tissue Phantom Ratio* a 20 cm e 10 cm di profondità per il campo 10 cm x 10 cm a $SDD = 100$ cm) maggiore di 0,7, con ratei compresi fra 1 Gy/min e 3 Gy/min. Vi è invece una grande varietà nei TPS utilizzati, anche se 9 Centri hanno utilizzato il sistema PLATO in versioni diverse. 13 Centri risultano inoltre aver partecipato anche al programma ESTRO-EQUAL.

Tabella 1. Informazioni generali sugli impianti e le attrezzature utilizzati dai Centri partecipanti

Energia (MV)*	Acceleratore (anno di installazione)	$TPR_{20/10}$	EQUAL	Set-up	TPS	Passo TC (mm)
18	Clinac 2100CV (1998)	0,775	2000	SSD	RENDER PLAN 3.5	5,00
18	Saturne 43 GE (1992)	0,77	1998	SSD	PLATO 2.3.3	2,00
18	Clinac 2100CV (1998)	0,78	1998	SSD	PLATO 2.3.3	2,00
15	Linac SL25/18 E (1989)	0,765	2001	SSD	PLATO 2.5.2	3,80
15	Linac SL18 E (1994)	0,758	2000	SSD	PLATO RTS 1.8	4,30
15	Varian 2100 C/D (1995)	0,762	2001	SSD	PLATO RTS 1.8.1	8,00
15	Saturno 41 GE (1998)	0,775	No	SSD	PLATO 2.1	4,00
15	Saturno 41 GE (1998)	0,765	2001	SSD	PLATO 2.3.3	7,50
15	Clinac 2300 C/D V (1996)	0,77	No	SSD	CADPLAN 6.2.7	5,00
15	Linac SLI 18 E (1997)	0,749	2001	SDD	PLATO 3.2	5,00
10	Saturne 43 V (1994)	0,739	No	SDD	PLATO 2.3.3	3,90
6	Elekta Precise (1999)	0,685	1999	SDD	CMS FOCUS 3.1	2,00
6	Clinac V 6/100 (1988)	0,67	1998	SDD	CADPLAN 3.1	5,00
6	SL75/5 Elekta (1993)	0,685	2001	SDD	TARGET 2.0 /3.1	ND
6	Linac SL/75 E (1998)	0,649	2002	SSD	ND	ND
5	Orion 5 V (1997)	0,626	2000	SSD	RENDER PLAN 3	3,48

Energia: valore del potenziale nominale di accelerazione del fascio di elettroni utilizzato per l'interconfronto.

$TPR_{20/10}$: valore del $TPR_{20/10}$ riportato dal Centro.

EQUAL: partecipazione del Centro ad EQUAL (nel caso di partecipazione viene indicato l'anno).

Set-up: irraggiamenti con SSD uguale a 100 cm oppure con SDD uguale a 100 cm.

TPS: Sistema di Piani di Trattamento utilizzato dal Centro.

Passo TC: spessore della scansione tomografica utilizzato dal Centro nella scansione TC nel trattamento simulato del retto.

ND: L'informazione non è stata fornita dal Centro.

In Tabella 2 sono riassunti alcuni dati sulle metodiche dosimetriche e gli strumenti di misura utilizzati da ciascun Centro. L'ordine in cui sono riportati i Centri in Tabella 2 corrisponde a quello di Tabella 1.

Come si vede dalla Tabella 2, ben 14 Centri su 16 hanno utilizzato camere tarate in termini di kerma in aria (K_{air} , fattore di taratura $N_{D,air}$) e solamente 2 in termini di dose in acqua (D_w , fattore di taratura $N_{D,w}$). Fra i primi, 10 Centri hanno utilizzato un fattore di taratura determinato presso l'INMRI-ENEA o presso Centri secondari appartenenti al Servizio Italiano di Taratura (SIT), e perciò hanno effettuato misurazioni di dose assorbita riferibili al campione italiano di kerma in aria. Si può rilevare anche una elevata omogeneità nel protocollo utilizzato, in quanto 13 Centri hanno utilizzato il protocollo IAEA 277 (7).

Tabella 2. Informazioni sulle metodiche dosimetriche e i rivelatori utilizzati presso i Centri partecipanti

Camera a ionizzazione (anno di acquisto)	Lab. taratura (anno)	Grandezza protocollo (anno)	
Farmer FC65-G (2000)	Wellhofer Dosimetrie Lab. (2000)	K _{air}	IAEA 277 (1987) (7)
NE 2505/3A (1988)	ENEA SIT Bologna (2001)	K _{air}	IAEA 277 (1987) (7)
NE 2571 (1992)	EURATOM SIT Ispra (2000)	K _{air}	IAEA 277 (1987) (7)
PTW M23332 (1987)	ENEA SIT Bologna (2001)	K _{air}	IAEA 277 (1987) (7)
PTW 31003 Flex 0.3 cm ³	ENEA SIT Bologna (2000)	K _{air}	IAEA 277 (1987) (7)
PTW 31002 Flexible (1999)	ADCL KBS Ass. Nashville (USA), (2001)	D _w	IAEA 398 (2000) (8)
NE 2571 (1992)	Comecer SIT 65/R Castelbolognese (2000)	K _{air}	AIFB (1988) (9)
PTW Farmer type (1999)	PTW Freiburg (Germania) (1998)	K _{air}	IAEA 277 (1987) (7)
Capintec PR06 C	ENEA INMRI (1993)	K _{air}	AAPM TG 21 (1983) (10)
Exradin A12 (2001)	ADCL Wisconsin (USA) (2001)	D _w	AAPM TG 51 (1999) (11)
ESC/87 (1993)	ENEA INMRI (1998)	K _{air}	AIFB (1988) (9)
NE 2571A (1996)	ENEA INMRI (1998)	K _{air}	IAEA 277 (1987) (7)
NE 2571	ENEA SIT Bologna (1999-2001)	K _{air}	IAEA 277 (1987) (7) modificato
NE 2581 (1992)	ENEA SIT Bologna (2001)	K _{air}	IAEA 277 (1987) (7)
Capintec PR06 C (1997)	Capintec Lab. Pittsburg (USA)	K _{air}	AIFB (1988) (9)
PTW Farmer type 30001 #1384	PTW Freiburg (Germania) (1998)	K _{air}	IAEA 277 (1987) (7)

Camera a ionizzazione: camera a ionizzazione utilizzata dal Centro per la misurazione di D_w in condizioni di riferimento e anno di acquisto, se disponibile.

Lab. Taratura: laboratorio presso il quale il Centro ha effettuato la taratura e anno della taratura, se disponibile.

Grandezza: grandezza in termini della quale è espresso il coefficiente di taratura della camera, $N_{D,air}$ o $N_{D,w}$, fornito dal laboratorio presso il quale è stata effettuata la taratura.

Protocollo: protocollo di dosimetria utilizzato ed anno di pubblicazione.

Analisi dei risultati e criteri per la valutazione delle incertezze

Per quanto riguarda l'alanina, i risultati sono espressi in termini del rapporto D_{ala}/D_{Centro} dove D_{ala} è la dose misurata con il dosimetro di trasferimento ad alanina e D_{Centro} è la dose dichiarata dal Centro, moltiplicata per alcuni fattori di correzione che sono stati applicati, in fase di analisi dei dati, ai valori di misura forniti dai dosimetri di trasferimento irraggiati dai Centri. L'applicazione di questi fattori di correzione ha avuto lo scopo di normalizzare i risultati ad un'unica condizione sperimentale, individuata come la condizione sperimentale ottimale.³

³ Per la normalizzazione dei risultati, sono stati applicati tre fattori di correzione. Un fattore è stato applicato ai risultati di misure di dose assorbita in acqua riferibili al campione della grandezza kerma in aria, per riportare il risultato a quello che si sarebbe ottenuto se le camere fossero state tarate in termini di D_w . Il fattore è dato dal rapporto $(D_w, N_{D,w})/(D_w, N_{D,air})$, ottenuto per una camera rappresentativa della tipologia di camere utilizzate nei Centri, dove $D_w, N_{D,w}$ è la dose ottenuta a partire da un coefficiente di taratura della camera in termini di dose assorbita in acqua, $N_{D,w}$, e $D_w, N_{D,air}$ è la dose ottenuta a partire da un coefficiente di taratura in termini di kerma in aria, $N_{D,air}$. Questo fattore è stato applicato dal

Questa condizione sperimentale è quella che prevede una taratura delle camere a ionizzazione dei Centri in termini di dose assorbita in acqua, D_w , rispetto al campione italiano di D_w , ed una misurazione di D_w presso l'utente utilizzando il protocollo di dosimetria IAEA 398 dell'*International Atomic Energy Agency* (8). I risultati così normalizzati diventano compatibili tra loro e con tutti gli altri risultati che saranno prodotti nei prossimi interconfronti previsti, e possono entrare a far parte di una base di dati tra loro omogenei.

Poiché non è stata esplicitamente richiesta ai Centri la valutazione della incertezza sulla dose impartita ai dosimetri di trasferimento, l'incertezza sul rapporto D_{ala}/D_{Centro} è stata stimata sulla base delle valutazioni delle componenti delle fonti di incertezza, riportate nel protocollo internazionale di dosimetria IAEA 398, combinate con le componenti di alcune fonti di incertezza specifiche delle condizioni sperimentali realizzate per l'interconfronto.

La procedura di esecuzione dell'interconfronto è stata schematizzata nelle seguenti cinque fasi, ipotizzando, per ciascuna fase, delle condizioni sperimentali tipiche:

- a) operazioni di taratura dei dosimetri di trasferimento, per confronto con il campione primario di D_w ;
- b) operazioni di taratura del dosimetro del Centro, per confronto con un campione secondario di K_{air} o di D_w ;
- c) irraggiamento dei dosimetri di trasferimento presso il Centro;
- d) calcolo della dose con il sistema per piani di trattamento presso il Centro (solo per il trattamento simulato del retto);
- e) analisi e normalizzazione dei dati.

La stima delle varie fonti di incertezza sul rapporto D_{ala}/D_{Centro} (1σ , in per cento) per l'irraggiamento in condizioni di riferimento sono riportate nella Tabella 3.

Ciascuna delle diverse componenti dell'incertezza sui valori riportati nelle Tabelle è stata stimata come scarto tipo (1σ), sia per la componente valutabile mediante l'analisi statistica di serie di osservazioni (valutazioni di categoria A) sia per la componente valutabile con metodi diversi dall'analisi statistica di serie di osservazioni (valutazioni di categoria B). L'incertezza tipo composta su ciascuno dei valori riportati nelle Tabelle è stata stimata sommando quadraticamente le singole componenti, di categoria A e di categoria B.

L'incertezza tipo composta relativa sul rapporto D_{ala}/D_{Centro} risulta di circa il 2,5% (1σ). A partire da questo valore, i criteri di accettabilità sono stati stabiliti secondo lo schema seguente:

- | | |
|---|---|
| – deviazione ottimale: | $ 1-(D_{ala}/D_{Centro}) \leq 2,5\%$ |
| ovvero: | $ 1-(D_{ala}/D_{Centro}) \leq 1 \sigma$ |
| – deviazione non ottimale, entro la tolleranza: | $2,5\% < 1-(D_{ala}/D_{Centro}) \leq 5\%$ |
| ovvero: | $1 \sigma < 1-(D_{ala}/D_{Centro}) \leq 2 \sigma$ |
| – deviazione non ottimale, fuori tolleranza: | $ 1-(D_{ala}/D_{Centro}) > 5\%$ |
| ovvero: | $ 1-(D_{ala}/D_{Centro}) > 2 \sigma$. |

momento che i dosimetri di trasferimento utilizzati nell'interconfronto, sia l'alanina che i TLD, sono stati tarati in termini di D_w , utilizzando il campione italiano di dose assorbita in acqua. Un'altra correzione è stata applicata per tener conto della differenza tra il valore di dose assorbita in acqua fornito dal campione italiano e quello fornito dal campione della nazione a cui sono riferibili le misure di dose assorbita ottenute con la taratura in dotazione ai Centri partecipanti. Un'altra correzione è stata infine applicata per tener conto delle differenze nel valore di dose assorbita che si ottiene qualora si usi un coefficiente di taratura $N_{D,w}$, ma si utilizzino i parametri fisici e le procedure di protocolli precedenti, basati sul kerma in aria. Va comunque sottolineato che la correzione complessiva applicata per normalizzare i risultati è stata in tutti i casi molto vicina all'unità (entro qualche per mille), e che l'incertezza associata alla normalizzazione dei risultati contribuisce all'incertezza totale in modo trascurabile (cfr. di seguito la Tabella 4).

Tabella 3. Stima dell'incertezza tipo composta relativa u_c sul rapporto (D_{ala}/D_{Centro}) (1σ , in per cento) nell'irraggiamento in condizioni di riferimento (fasi a, b, c, ed e)

Fase	Tipo di quantità fisica o di procedura (fonti dell'incertezza)	u_c (%)
Fase a Taratura del dosimetro di trasferimento (alanina) e misura di D_w mediante il dosimetro di trasferimento	Realizzazione del campione primario di D_w	0,5
	Taratura in D_w dei dosimetri di trasferimento rispetto al campione primario (irraggiamenti a valori di dose prefissati e determinazione della curva di taratura)	0,2
	Determinazione di D_w mediante la curva di taratura di un lotto di dosimetri di trasferimento	0,9
	<i>Incertezza tipo composta nella fase a</i>	1,0
Fase b Coefficiente di taratura del dosimetro del Centro	Taratura in termini di K_{air} ($N_{D,air}$) oppure di D_w ($N_{D,w}$) del campione secondario	0,1
	Stabilità di lungo termine del campione secondario	0,1
	Taratura in $N_{D,air}$ oppure $N_{D,w}$ del dosimetro del Centro rispetto al campione secondario	0,7
	<i>Incertezza tipo composta nella fase b</i>	0,9
Fase c Irraggiamento dei dosimetri di trasferimento presso il Centro	Stabilità di lungo termine del dosimetro del Centro	0,3
	Realizzazione delle condizioni di riferimento con il dosimetro del Centro	0,4
	Lettura del dosimetro M rispetto al monitor o al timer della sorgente di radiazioni	0,6
	Correzione per le quantità di influenza (pressione, temperatura, umidità relativa, ecc.)	0,4
	Parametri fisici di base ($s_{w,air}$, W/e , ecc.)	1,0
	Stabilità di lungo termine del monitor dell'acceleratore (uso delle tabelle di calcolo del Centro, senza far precedere l'irraggiamento da una misura di D_w)	1,5*
	Irraggiamento del dosimetro di trasferimento	0,2
	<i>Incertezza tipo composta nella fase c</i>	2,0
Fase e Analisi e normalizzazione dei dati	Fattore di correzione per la differenza tra il campione italiano e quello della nazione a cui sono riferibili le misure di dose assorbita effettuate dal Centro	0,1
	Fattore di correzione per la grandezza utilizzata per la taratura (K_{air} , D_w)	0,3
	Fattore di correzione per il tipo di protocollo dosimetrico utilizzato	0,2
	<i>Incertezza tipo composta nella fase e</i>	0,4
<i>Incertezza tipo composta su D_{ala}/D_{Centro} (Fasi a + b+ c+ e)</i>		2,4

* La stima della componente della fonte "stabilità di lungo termine del monitor dell'acceleratore" (fase c)) è basata sull'assunzione che, presso i Centri, i dosimetri di trasferimento siano stati irraggiati utilizzando i dati in uso corrente presso il Centro di radioterapia al fine di determinare le unità monitor necessarie per erogare il valore stabilito di dose assorbita. È stato assunto che i dati in uso corrente presso il Centro vengano correntemente modificati solo quando il valore della dose assorbita per unità monitor misurato periodicamente scarti più del $\pm 1,5\%$ (1σ) dai valori in uso (12). Se prima dell'irraggiamento fosse stata effettuata una misura di D_w e questa fosse stata utilizzata come valore di riferimento, questa fonte di incertezza dovrebbe essere eliminata, e in tal caso l'incertezza tipo composta relativa su D_{ala}/D_{Centro} si ridurrebbe a circa il 2%, e di conseguenza l'intervallo di accettabilità si ridurrebbe al 4% circa.

I valori assunti sono compatibili con quelli adottati nell'ambito dei programmi di interconfronto ESTRO-EQUAL (4) e IAEA (13).

Nell'irraggiamento in condizioni di trattamento è stato effettuato l'irraggiamento di dosimetri di trasferimento sia di alanina che TLD. Le fonti e la stima dell'incertezza sul rapporto $D_{\text{ala}}/D_{\text{Centro}}$ (1σ , in per cento) per il dosimetro di trasferimento alanina sono riportate nella Tabella 4.

Tabella 4. Stima dell'incertezza tipo composta relativa u_c sul rapporto $D_{\text{ala}}/D_{\text{Centro}}$ (1σ , in per cento) nell'irraggiamento in condizioni di trattamento per il dosimetro di trasferimento ad alanina (fasi a, b, c, d ed e)

Fase	Tipo di quantità fisica o di procedura (fonti dell'incertezza)	u_c (%)
Fase a Taratura del dosimetro di trasferimento (alanina) e misura di D_w mediante il dosimetro di trasferimento	Realizzazione del campione primario di D_w	0,5
	Taratura in D_w dei dosimetri di trasferimento rispetto al campione primario (irraggiamenti a valori di dose prefissati e determinazione della curva di taratura)	0,2
	Determinazione di D_w mediante la curva di taratura di un lotto di dosimetri di trasferimento	0,9
	Incertezza tipo composta nella fase a	1,0
Fase b Coefficiente di taratura del dosimetro del Centro	Taratura in termini di $K_{\text{air}} (N_{D,\text{air}})$ oppure di $D_w (N_{D,w})$ del campione secondario	0,1
	Stabilità di lungo termine del campione secondario	0,1
	Taratura in $N_{D,\text{air}}$ oppure $N_{D,w}$ del dosimetro del Centro rispetto al campione secondario	0,7
	Incertezza tipo composta nella fase b	0,9
Fase c Irraggiamento dei dosimetri di trasferimento presso il Centro	Stabilità di lungo termine del dosimetro del Centro	0,3
	Realizzazione delle condizioni di riferimento con il dosimetro del Centro	0,4
	Lettura del dosimetro M rispetto al monitor o al timer della sorgente di radiazioni	0,6
	Correzione per le quantità di influenza (pressione, temperatura, umidità relativa, ecc.)	0,4
	Parametri fisici di base ($s_{w,\text{air}}$, W/e , ecc.)	1,0
	Stabilità di lungo termine del monitor dell'acceleratore (uso delle tabelle di calcolo del Centro, senza far precedere l'irraggiamento da una misura di D_w)	1,5
	Irraggiamento del dosimetro di trasferimento	0,2
	Incertezza tipo composta nella fase c	2,0
Fase d Calcolo della dose con il sistema TPS presso il Centro	Algoritmo di calcolo delle curve di isodose e correzione per le disomogeneità	1,5(*)
	Incertezza tipo composta nella fase d	1,5
Fase e Analisi e normalizzazione dei dati	Fattore di correzione per la differenza tra il campione italiano e quello della nazione a cui sono riferibili le misure di dose assorbita effettuate dal Centro	0,1
	Fattore di correzione per la grandezza utilizzata per la taratura (K_{air} , D_w)	0,3
	Fattore di correzione per il tipo di protocollo dosimetrico utilizzato	0,2
	Incertezza tipo composta nella fase e	0,4
Incertezza tipo composta su $D_{\text{ala}}/D_{\text{Centro}}$ (Fasi a) + b) + c) + e)		2,8

* Il valore è tratto dal Report AAPM TG 53 (14)

L'incertezza composta sul rapporto D_{ala}/D_{Centro} è, in questo caso, di circa il 3% (1σ). A partire da questo valore, i criteri di accettabilità sono stati stabiliti secondo uno schema analogo al caso precedente:

- deviazione ottimale: $|1-(D_{ala}/D_{Centro})| \leq 3\%$
ovvero: $|1-(D_{ala}/D_{Centro})| \leq 1 \sigma$
- deviazione non ottimale, entro la tolleranza: $3\% < |1-(D/D_{Centro})| \leq 6\%$
ovvero: $1 \sigma < |1-(D_{ala}/D_{Centro})| \leq 2 \sigma$
- deviazione non ottimale, fuori la tolleranza: $|1-(D_{ala}/D_{Centro})| > 6\%$
ovvero: $|1-(D_{ala}/D_{Centro})| > 2 \sigma$.

Nel caso delle misure effettuate con i TLD, la valutazione dei risultati non è stata effettuata, come nel caso dell'alanina, attraverso il rapporto fra la dose misurata e quella dichiarata dal Centro. Poiché l'alanina fornisce già il valore di dose assoluto all'isocentro, le misure con TLD sono state utilizzate per valutare le distribuzioni di dose relative. In questo caso la media delle letture dei 4 TLD posti nel punto i-esimo è stata convertita in dose assorbita mediante il fattore di taratura fornito dall'INMRI-ENEA. Per ogni punto è stato quindi calcolato il parametro D_{rel} secondo l'espressione:

$$D_{rel} = \frac{\left(\frac{D_{TL_i}}{D_{TL_3}} \right)}{\left(\frac{D_{Centro_i}}{D_{Centro_3}} \right)} \quad [1]$$

dove: D_{TL_i} è la dose misurata mediante dosimetri a termoluminescenza nel punto i-esimo;

D_{TL_3} è la dose misurata mediante dosimetri a termoluminescenza nel punto 3 (isocentro);

D_{Centro_i} è la dose dichiarata dal Centro nel punto i-esimo;

D_{Centro_3} è la dose dichiarata dal Centro nel punto 3 (isocentro).

Il valore del parametro D_{rel} è rappresentativo quindi dell'accordo fra la distribuzione di dose misurata (con normalizzazione al valore della dose misurata all'isocentro) e quella calcolata dal TPS. Eventuali errori sistematici nel valore della dose misurata in condizioni di riferimento non influenzano evidentemente il valore del parametro D_{rel} . Le fonti e le stime dell'incertezza sul parametro D_{rel} (1σ , in per cento) sono riportate nella Tabella 5.

Tabella 5. Stima dell'incertezza tipo composta relativa u_c sul parametro D_{rel} (1σ in per cento)

Fase	Tipo di quantità fisica o di procedura (fonti dell'incertezza)	u_c (%)
Fase c Irraggiamento dei dosimetri di trasferimento presso l'utente	Stabilità di breve termine del monitor dell'acceleratore	0,3
	Riproducibilità a lungo termine TLD nel punto # 3	1,4*
	Riproducibilità a lungo termine TLD nel punto # i	1,4
	Incertezza tipo composta nella fase c	2,0
Fase d Calcolo della dose con il sistema per TPS presso il Centro	Algoritmo di calcolo delle curve di isodose e correzione per le disomogeneità	1,5
	Incertezza tipo composta nella fase d	1,5
Incertezza tipo composta sul parametro D_{rel} (Fasi c) + d)		2,5

* Alle misure effettuate con sistemi a termoluminescenza è stata assegnata una incertezza tipo dell'1,4%, tipica della componente di tipo A di questa fonte.

Come si vede, l'incertezza composta risulta dell'ordine del 2,5% (1σ). Questo valore è stato assunto come valore massimo del livello di deviazione ottimale: $(D_{rel}) \leq \pm 2,5\%$, cioè $(D_{rel}) \leq \pm 1 \sigma$. A partire da questo valore, i criteri di accettabilità sono stati stabiliti secondo uno schema analogo ai casi precedenti:

- deviazione ottimale: $|1-(D_{rel})| \leq 2,5\%$
- deviazione non ottimale, entro la tolleranza: $2,5\% < |1-(D_{rel})| \leq 5\%$
- deviazione non ottimale, fuori tolleranza: $|1-(D_{rel})| > 5\%$

RISULTATI

Irraggiamento in condizioni di riferimento

La Tabella 6 riporta i risultati dell'irraggiamento in condizioni di riferimento. Per rendere non identificabili i Centri, ad ogni Centro è stato associato un numero identificativo che non corrisponde alla sequenza temporale con cui questi hanno partecipato all'interconfronto.

Tabella 6. Irraggiamento in condizioni di riferimento: risultati per i Centri partecipanti

Centro #	D _{dichiarata} (Gy)	D _{Centro} (Gy)	D _{ala} (Gy)	s % (1 σ)	$\Delta\%$	D _{ala} /D _{Centro}
1	9,99	9,98	10,06	0,35	-0,80	1,008
2	10,00	9,99	10,25	0,51	-2,60	1,026
3	10,00	10,02	9,86	0,75	1,57	0,984
4	10,00	10,02	10,16	0,26	-1,40	1,014
5	10,00	10,02	10,31	0,06	-2,89	1,029
6	10,00	9,98	9,76	0,34	2,20	0,978
7	10,00	10,02	10,08	0,69	-0,60	1,006
8	10,00	10,02	10,31	0,58	-2,89	1,029
9	10,07	10,09	10,00	0,08	0,89	0,991
10	8,97	8,96	8,96	0,26	0,00	1,000
11	10,00	9,97	10,24	0,31	-2,20	1,017
12	10,06	10,08	10,16	0,34	-0,79	1,008
13	10,00	10,02	10,24	1,24	-2,20	1,022
14	8,56	8,55	8,59	0,88	-0,35	1,004
15	12,03	12,05	11,98	0,57	0,58	0,994
16	10,00	10,02	10,22	0,94	-2,00	1,020

D_{dichiarata}: dose impartita dichiarata dal Centro. D_{Centro}: D_{dichiarata} * ITf. Dose dichiarata dal Centro, moltiplicata per i fattori di correzione che normalizzano i risultati di tutti i Centri ad un'unica condizione sperimentale (cfr. nota 1). D_{ala}: dose misurata con alanina (il valore riportato è la media dei tre irraggiamenti effettuati da ciascun Centro). s %: scarto tipo percentuale dei tre irraggiamenti effettuati da ciascun Centro (1 σ). $\Delta\%$: differenza percentuale (D_{Centro}-D_{ala})/D_{Centro}.

La Figura 5 mostra i valori del rapporto (D_{ala}/D_{Centro}), riportati nella colonna 7 della Tabella 6.

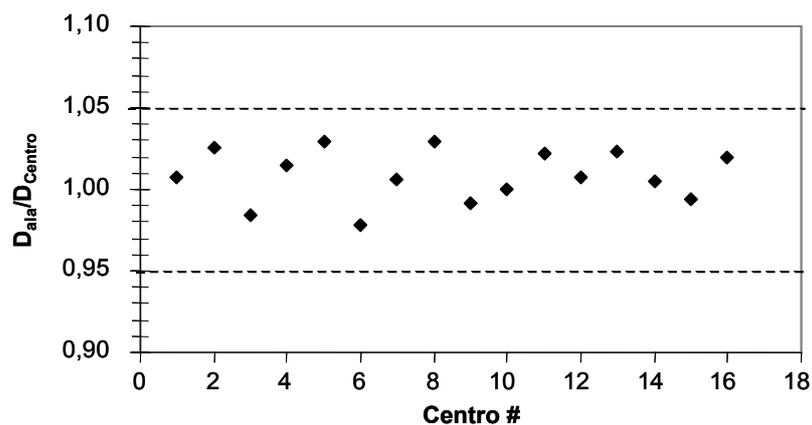


Figura 5. Risultati ottenuti in condizioni di riferimento:
la linea tratteggiata mostra l'intervallo di tolleranza $\pm 5\%$ (2σ)

Per tutti i Centri lo scarto fra dose misurata e dose dichiarata è risultato entro la tolleranza. I valori osservati del rapporto $D_{\text{ala}}/D_{\text{Centro}}$ non sono significativamente diversi da 1, entro l'incertezza di misura, e si può quindi ritenere che non siano stati osservati errori sistematici di rilievo. La media del rapporto $D_{\text{ala}}/D_{\text{Centro}}$ è pari a 1,009 con uno scarto tipo percentuale dell'1,6%. Ciò mostra che l'obiettivo di impartire correttamente la dose stabilita, presente nei programmi di assicurazione di qualità già attivati nei Centri partecipanti, si può considerare raggiunto per tutti i Centri. È interessante osservare che lo scarto tipo percentuale (relativo ai tre irraggiamenti eseguiti in successione, colonna 5) è sempre compatibile con la stima dell'incertezza sulla determinazione di D_w (1,0%) e sulla riproducibilità delle condizioni di irraggiamento (collocazione in posizione dei dosimetri, stabilità del fascio, ecc.) (0,2%) (vedi Tabella 3).

Irraggiamento in condizioni di trattamento

Risultati alanina (dose all'isocentro)

I risultati ottenuti nell'irraggiamento dell'alanina sono mostrati in Tabella 7. Ad ogni Centro è stato associato lo stesso numero identificativo delle condizioni di riferimento (cfr Tabella 6). Nella settima colonna della Tabella 7 è riportato il rapporto fra la dose misurata con alanina e quella dichiarata dal Centro, normalizzata con i fattori correttivi descritti in precedenza per le condizioni di riferimento.

Tabella 7. Condizioni di trattamento: confronto fra dose misurata e dose dichiarata dal Centro, $D_{\text{ala}}/D_{\text{Centro}}$ (irraggiamento di dosimetri ad alanina in condizioni di trattamento simulato)

Centro #	$D_{\text{dichiarata}}$ (Gy)	D_{centro} (Gy)	D_{ala} (Gy)	$\delta/2$ (%)	Δ (%)	$D_{\text{ala}}/D_{\text{centro}}$	$ \Delta_T / \Delta_R $	D_T/D_R	$ \Delta_T - \Delta_R $
1	10,00	9,98	10,06	0,20	-0,80	1,008	>1	1,000	0,00
2	9,99	9,98	10,37	0,20	-3,91	1,039	>1	1,013	1,31
3	10,00	10,02	9,81	0,30	2,10	0,979	>1	0,995	0,53
4	10,00	10,02	10,24	0,20	-2,20	1,022	>1	1,008	0,79
5	10,00	10,02	10,11	0,10	-0,90	1,009	<1	0,981	-2,00
6	10,00	9,98	9,71	0,40	2,71	0,973	>1	0,995	0,50
7	10,00	10,02	10,07	0,30	-0,50	1,005	<1	0,999	-0,10
8	10,00	10,02	10,44	0,40	-4,19	1,042	>1	1,013	1,30
9	10,00	10,02	9,96	0,00	0,60	0,994	<1	1,003	-0,29
10	10,00	9,99	10,16	0,10	-1,70	1,017	>1	1,017	1,70
11	10,00	9,97	10,11	1,10	-0,90	1,014	<1	0,997	-1,30
12	10,06	10,08	10,35	0,30	-2,68	1,027	>1	1,019	1,88
13	10,00	10,02	10,18	0,40	-1,60	1,016	<1	0,994	-0,60
14	10,00	9,98	9,68	0,30	3,01	0,970	>1	0,966	2,66
15	10,00	10,02	10,19	0,30	-1,70	1,017	>1	1,024	1,12
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—

$D_{\text{dichiarata}}$: dose impartita dichiarata dal Centro. $D_{\text{Centro}} = D_{\text{dichiarata}} \times \Pi f$. Dose dichiarata dal Centro, corretta per i fattori correttivi che normalizzano i risultati di tutti i Centri ad un'unica condizione sperimentale. D_{ala} : dose misurata con alanina. Il valore riportato è la media dei due irraggiamenti effettuati da ciascun Centro. $\delta/2\%$: valore assoluto della semidispersione percentuale tra la dose misurata con l'alanina nei 2 irraggiamenti effettuati. $\Delta\%$: differenza percentuale $(D_{\text{Centro}} - D_{\text{ala}})/D_{\text{Centro}}$. $|\Delta_T|/|\Delta_R|$: rapporto tra i valori assoluti delle differenze percentuali, definite come $(D_{\text{Centro}} - D_{\text{ala}})/D_{\text{Centro}}$, dell'irraggiamento effettuato in condizioni di trattamento (T) e di riferimento (R) (rapporto tra i dati di colonna 6 della Tabella 7 e i dati di colonna 6 della Tabella 6). D_T/D_R : rapporto tra la dose misurata con l'alanina e la dose corretta dichiarata dal Centro nell'irraggiamento effettuato in condizioni di trattamento (T) e di riferimento (R) (rapporto tra i dati di colonna 7 della Tab. 7 e i dati di colonna 7 della Tab. 8). $|\Delta_T| - |\Delta_R|$: differenza fra i valori assoluti delle differenze percentuali, definite come $(D_{\text{Centro}} - D_{\text{ala}})/D_{\text{Centro}}$, dell'irraggiamento effettuato in condizioni di trattamento (T) e di riferimento (R) (differenza tra i dati di colonna 6 della Tab. 8 e i dati di colonna 6 della Tabella 6).
Il Centro # 16 non ha partecipato al 2° interconfronto per non disponibilità, al momento, di un TPS idoneo.

Per quasi tutti i Centri (13 su 15) lo scarto fra dose misurata e dose dichiarata è inferiore al 3%, indicando che tutte le deviazioni sono entro la deviazione ottimale. Due soli Centri presentano uno scarto superiore a quello ottimale ma in tolleranza. Anche la dispersione degli scarti è buona, essendo il loro scarto tipo pari a 2,2%, di poco superiore al valore di 1,6% trovato nelle condizioni di riferimento. Questo indica che tutte le fasi della procedura di irraggiamento simulato (TC, TPS, collocazione del fantoccio antropomorfo in posizione, ecc.), con esclusione della dosimetria di riferimento, contribuiscono all'incertezza sulla dose effettivamente impartita per un'entità stimata dell'ordine di 1,5%. In particolare, i valori assoluti della semidispersione della dose misurata con alanina nei due irraggiamenti consecutivi prescritti per le condizioni di riferimento, espressi in per cento, $\delta/2$ %, sono, ad eccezione del Centro # 11, inferiori o circa uguali alla riproducibilità dell'alanina (0,5%), indicando che il valore 0,5% può essere assunto come rappresentativo della riproducibilità del "set-up" (collocazione in posizione dei dosimetri, stabilità del fascio, ecc.) anche per gli irraggiamenti in condizioni di trattamento.

La media $D_{\text{ala}}/D_{\text{Centro}}$ fra tutti i Centri è risultata pari a $1,009 \pm 2,2\%$ (1σ) con uno scarto massimo del 4,19% per il Centro # 8 (lo stesso Centro per il quale è stato osservato lo scarto massimo in condizioni di riferimento).

Il rapporto $D_{\text{ala}}/D_{\text{Centro}}$ risulta non significativamente diverso da 1, entro l'incertezza di misura, e pertanto si può ritenere che non siano stati osservati errori sistematici di rilievo.

L'ottava colonna della Tabella 7 riporta il rapporto dei valori assoluti degli scarti osservati per ciascun Centro nell'irraggiamento effettuato in condizioni di trattamento e di riferimento (rapporto tra i dati di colonna 6 della Tabella 7 e i dati di colonna 6 della Tabella 6). Questo rapporto fornisce un'indicazione di quali Centri abbiano avuto variazioni dello scarto tra la dose misurata con alanina e quella da loro dichiarata, normalizzata con i fattori correttivi, nelle due modalità di irraggiamento. In particolare, Centri che presentano un rapporto maggiore dell'unità in condizioni di trattamento, rispetto a quelle di riferimento, evidenziano un incremento dello scarto della dose nominale impartita rispetto alla dose misurata dall'alanina, come aspettato. Questo andamento si riscontra per la maggior parte dei Centri (11 Centri su 15). Fra i Centri che hanno mostrato un aumento dello scarto (colonna 10 della Tabella 7), nel passare dalle condizioni sperimentali di riferimento a quelle di trattamento, la variazione massima è stata del 2,7 %, riguardante il Centro # 14. Per i Centri per i quali si è invece riscontrato una (non aspettata) diminuzione di tale scarto, la variazione massima è stata del 2 %, riguardante il Centro # 5. Nella colonna 9 della Tabella 7 è riportato il rapporto tra la dose misurata con l'alanina e la dose corretta dichiarata dal Centro nell'irraggiamento effettuato in condizioni di trattamento e di riferimento (rapporto tra i dati di colonna 7 della Tabella 5 e i dati di colonna 7 della Tabella 3). Quanto più questo rapporto è vicino all'unità tanto più lo scostamento dal valore di dose impartita dichiarata dal Centro osservato in condizioni di trattamento conferma quello osservato in condizioni di riferimento, indicando che nell'irraggiamento in condizioni di trattamento la corretta acquisizione delle immagini CT (in termini di numeri CT), gli algoritmi del TPS, il posizionamento, la riproducibilità dell'erogazione dell'acceleratore e le altre grandezze di influenza non giocano un ruolo significativo. Complessivamente i valori del rapporto $D_{\text{ala}}/D_{\text{Centro}}$ misurati, per ogni Centro, in condizioni di riferimento e di trattamento mostrano di essere in correlazione, come evidenziato dal valor medio praticamente unitario (1,001) di D_T/D_R , mentre l'entità dello scarto tipo percentuale (1,5%) mostra che la correlazione è confermata per tutti i Centri.

La Figura 6 mostra in forma grafica i valori del rapporto $D_{\text{ala}}/D_{\text{Centro}}$ riportati in Tabella 7, settima colonna.

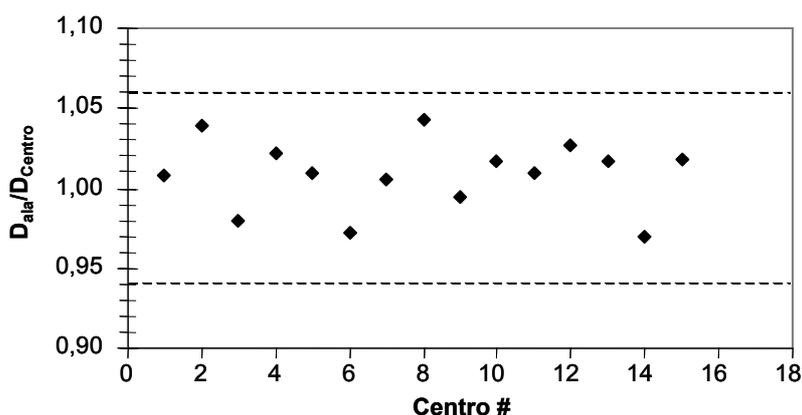


Figura 6. Risultati ottenuti con il dosimetro di trasferimento ad alanina nell'irraggiamento in condizioni di trattamento; la linea tratteggiata mostra l'intervallo di tolleranza $\pm 6\%$ (2σ)

Risultati TLD (distribuzioni di dose relative in fantoccio antropomorfo)

Il valore del parametro D_{rel} è riportato in Tabella 8 per ogni punto di misura e per ogni Centro, insieme allo scarto tipo percentuale delle letture dei 4 TLD per punto di misura. In alcuni casi (evidenziati in grigio nella Tabella 8) sono stati utilizzati 3 dosimetri anziché 4, perché o un dosimetro è risultato danneggiato o si sono riscontrati problemi tecnici durante la lettura.

Per ognuno dei 6 punti di misura (cfr. Figura 4) sono stati calcolati i valori medi dei dati ottenuti dai vari centri e riportati in Tabella 8 insieme allo scarto tipo. Si può notare che, rispetto all'unità, nel punto # 2 i valori risultano prevalentemente minori di 1 (9 centri su 15), mentre per i punti # 5 e # 6 la tendenza è opposta (rispettivamente 9 ed 11 centri su 15). In ogni caso, in base all'esame dei valori medi e dei rispettivi scarti tipo, ed al conseguente calcolo del parametro di significatività (t di Student), risulta che in tutti i casi, le differenze da 1 osservate non sono significative ($p=0,05$). Lo scarto massimo è stato del -9% per il Centro # 9 nel punto # 2. Per il Centro # 10, la misura TL ha fornito un valore di dose del 75% superiore al valore dichiarato. Per questo motivo si è scelto di non includerlo nell'elaborazione dei dati, considerandolo un valore erratico (outlier).

Il valor medio su tutti i Centri di D_{rel} misurato nel punto # 6 è pari a $1,03 \pm 2,9\%$. Anche se il punto di misura 6, posto al di fuori del PTV, nella vescica, appare evidenziare una sovrastima, in realtà il corrispondente parametro t di Student risulta inferiore alla soglia di significatività ($t=1$, contro un valore minimo 1,96 per infiniti gradi di libertà). Nella seconda fase dell'interconfronto, attualmente in svolgimento, sono state richieste ai Centri alcune informazioni aggiuntive riguardanti il TPS utilizzato ed il sistema tomografico in uso presso il Centro, per poter avere elementi ulteriori di analisi nel caso il dato venisse confermato. Per tutti i punti lo scarto tipo dei valori medi su tutti i Centri di D_{rel} rimane dell'ordine del 2,5%, che è il valore stimato dell'incertezza associata alla determinazione sperimentale di D_{rel} con i dosimetri a termoluminescenza.

Tabella 8. Condizioni di trattamento: valori del parametro D_{rel} derivato da misure TL in condizioni di trattamento simulato

Punto di misura #	1		2		3		4		5		6	
Centro #	D_{rel}	sTL%										
1	1,00	1,34	0,99	2,26	1,00	3,17	1,01	2,80	1,04	4,26	1,05	2,64
2	1,00	2,62	0,99	0,91	1,00	1,36	1,03	3,30	1,02	2,18	1,04	0,79
3	0,98	1,20	0,99	1,68	1,00	1,54	1,00	2,45	1,05	1,87	1,04	1,02
4	1,03	1,16	1,00	2,05	1,00	1,91	1,03	1,36	1,03	3,23	1,06	1,70
5	1,04	1,75	0,99	1,15	1,00	2,14	1,00	0,94	1,03	1,05	1,01	2,42
6	1,00	0,97	0,98	2,01	1,00	3,05	1,02	2,13	0,97	3,88	1,06	0,30
7	1,02	3,40	1,00	2,32	1,00	0,82	0,98	1,23	1,06	2,41	1,06	2,73
8	1,02	0,47	0,98	1,36	1,00	2,62	1,01	2,39	0,99	3,49	1,03	0,39
9	0,96	1,93	0,91	0,86	1,00	0,77	0,95	1,65	0,97	1,90	1,01	1,89
10	1,01	1,21	1,00	1,44	1,00	2,94	0,94	2,60	1,03	1,19	(*)	0,87
11	1,02	0,59	0,96	1,84	1,00	1,91	0,97	0,69	1,04	2,23	0,96	2,07
12	0,99	1,23	1,01	1,87	1,00	0,85	1,01	2,56	0,98	1,36	1,03	1,95
13	1,01	2,41	1,00	0,74	1,00	3,46	1,03	1,57	1,00	2,98	0,99	2,58
14	1,00	2,66	0,96	1,74	1,00	0,58	1,04	0,33	0,99	2,59	1,03	0,68
15	1,05	5,47	1,02	1,29	1,00	0,71	1,05	1,41	1,04	3,43	1,00	1,15
16												
Media sui Centri	1,01		0,98		1,00		1,00		1,02		1,03	
s	0,02		0,03		0,00		0,03		0,03		0,03	
s%	2,36		2,66		0,00		3,27		3,08		2,87	

D_{rel} è definita dall'espressione [1]. **sTL%**: scarto tipo percentuale delle letture dei 4 TLD posti in ogni punto di misura. Il Centro # 16 non ha partecipato al 2° interconfronto per non disponibilità, al momento, di un TPS idoneo.

(*) La misura TL ha fornito un valore di dose del 75% superiore al valore dichiarato. Per questo motivo non è stato incluso nella tabella, considerandolo un valore erratico (*outlier*).

Le Figure 7, 8 e 9 mostrano le distribuzioni dei risultati in forma di istogramma (i valori riportati in ascissa indicano l'estremo inferiore della relativa classe).

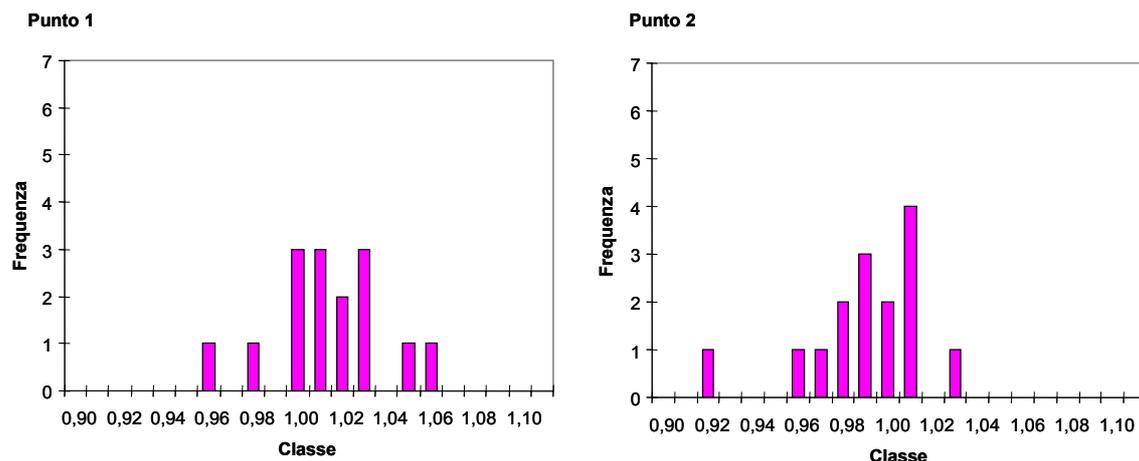


Figura 7. Distribuzione relativa di dose ottenuta con TLD nei punti 1 e 2 del fantoccio antropomorfo in condizioni di trattamento (cfr. Figura 4)

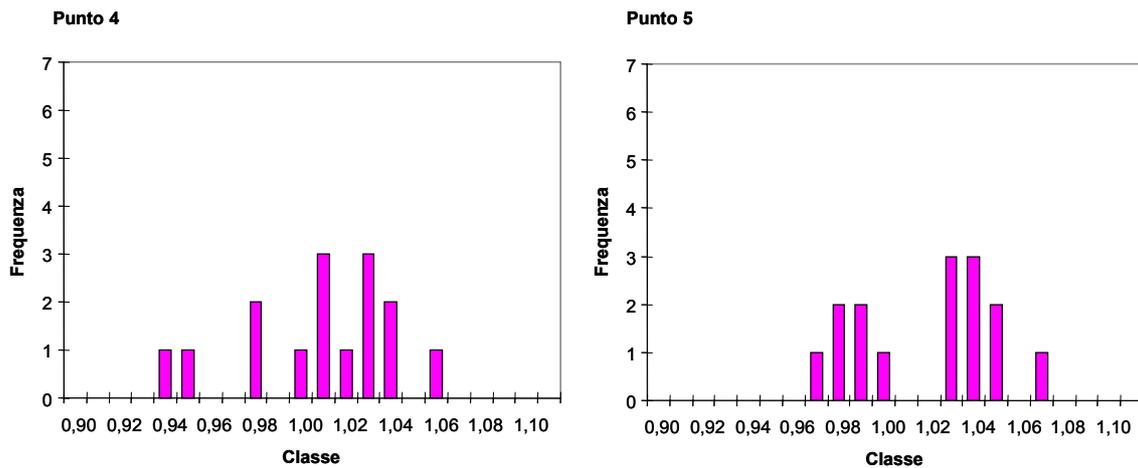


Figura 8. Distribuzione relativa di dose ottenuta con TLD nei punti 4 e 5 del fantoccio antropomorfo in condizioni di trattamento (cfr. Figura 4)

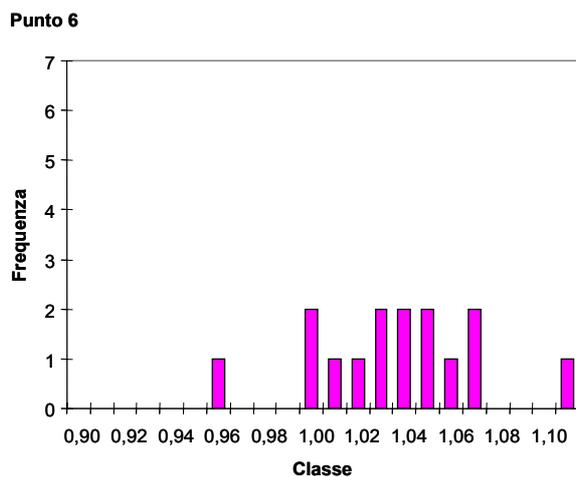


Figura 9. Distribuzione relativa di dose ottenuta con TLD nel punto 6 del fantoccio antropomorfo in condizioni di trattamento (cfr. Figura 4)

CONCLUSIONI

Varie e di diversa natura sono le conclusioni e le indicazioni che possono essere tratte alla fine di questa esperienza pilota. Tra queste:

- Tutti i 16 Centri partecipanti alla fase pilota hanno dimostrato di erogare la dose di progetto entro il livello di tolleranza (in realtà la grande maggioranza dei dati è collocata all'interno dell'intervallo ottimale del 2,5%) sia in condizioni di riferimento che di trattamento, mostrando che l'obiettivo di impartire correttamente la dose stabilita, presente nei programmi di assicurazione di qualità già attivati nei Centri partecipanti, si può considerare raggiunto per tutti i Centri.
- La scelta delle condizioni sperimentali da verificare con il presente interconfronto è stata effettuata nell'ambito di un Comitato, coordinato dall'ISS, in cui sono presenti rappresentanti dei Centri che hanno partecipato all'interconfronto stesso ed appartenenti alle figure professionali coinvolte nel processo radioterapico: radioterapisti oncologi, fisici medici e tecnici di radioterapia. La connotazione multidisciplinare del Comitato ha certamente influenzato la scelta delle condizioni di irraggiamento nelle quali confrontare la dose dichiarata dal Centro e quella misurata con il sistema di trasferimento. È per questo motivo che, oltre alle necessarie condizioni di riferimento, la scelta è caduta sulla verifica di un trattamento simulato. Come conseguenza, ne è derivato il coinvolgimento di tutto lo staff, medico, fisico, tecnico, alla partecipazione dell'interconfronto e non solo della parte di fisica medica, come usualmente accade per gli interconfronti dosimetrici. La partecipazione congiunta delle diverse figure professionali è sicuramente stato un elemento chiave per l'interesse, la partecipazione, in definitiva per il successo, che il presente interconfronto ha registrato.
- Uno degli obiettivi che il progetto pilota si era prefissato era di proporre, sperimentare ed implementare sull'intero territorio nazionale una metodologia per l'esecuzione di interconfronti dosimetrici. In modo dissimile a quanto effettuato a livello internazionale, la scelta del Comitato è stata caratterizzata da due importanti elementi di novità. Il primo, relativo alla verifica in condizioni di trattamento, è stato già analizzato al punto precedente. Il secondo elemento innovativo è relativo alla scelta dell'alanina come dosimetro di trasferimento per la valutazione del valore assoluto di dose erogata dai Centri, al posto dei TLD normalmente utilizzati allo scopo. Questa scelta, motivata dalle favorevoli caratteristiche dell'alanina rispetto ai TLD, si è dimostrata "sul campo" positiva. I due anni di attività legati alla fase pilota, hanno dimostrato una elevata robustezza ed affidabilità del sistema dosimetrico ad alanina gestito dall'ISS.
- I risultati positivi ottenuti nella fase pilota, per quanto riguarda l'intera metodologia degli interconfronti, hanno dimostrato la possibilità e necessità dell'estensione della metodologia stessa ai Centri di radioterapia operanti sul territorio Nazionale. Come conseguenza, è stato proposto ed approvato nel dicembre 2002 il Progetto di Ricerca dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS) relativo all'art. 12 del DL.vo 509/1992 modificato dall'art. 14 del DL.vo 517/1993 "Indicatori di qualità in radioterapia", nel cui ambito è stata prevista l'estensione dell'interconfronto pilota ad altri 22 Centri. Questa seconda fase dell'interconfronto è attualmente in corso e terminerà nell'ottobre del 2005.

BIBLIOGRAFIA

1. Italia. Decreto Legislativo del 26 maggio 2000, n. 187. Suppl. Attuazione della direttiva 97/43/EURATOM in materia di protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse ad esposizioni mediche. *Gazzetta Ufficiale - Serie Generale* n. 157, 7 luglio 2000.
2. EURATOM. Council Directive 97/43/EURATOM of 30 June 1997. On health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466 EURATOM.
3. Viti V. La protezione del paziente in radioterapia. *Notiziario dell'Istituto Superiore di Sanità* 2002;15(4):3-10
4. Ferreira IH, Dutreix A, Bridier A, Chavaudra J, Svensson H. The ESTRO-QUALity assurance network (EQUAL). *Radiot Oncol* 2000;55:273-84.
5. Onori S, De Angelis C, Fattibene P, Bridier A, Ferriera LH (2003). A dosimetry intercomparison between ESTRO-EQUAL and ISS in the framework of a radiotherapy quality assurance programme in Italy. *Physica Medica* 2003;19(3):217-22.
6. Onori S, De Angelis C, Fattibene P. *Interconfronti dosimetrici per fasci esterni di fotoni di alta energia*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2002. (Rapporti ISTISAN 02/15).
7. International Atomic Energy Agency. *Absorbed dose determination in photon and electron beams: an international code of practice*. Vienna: IAEA; 1987 (2nd ed. in 1997). (IAEA Technical Report Series n. 277).
8. International Atomic Energy Agency. *Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water*. Vienna: IAEA; 2000. (IAEA Technical Report Series n. 398).
9. Associazione Italiana di Fisica Biomedica. Protocollo per la dosimetria di base nella radioterapia con fasci di fotoni ed elettroni con Emax fra 1 e 40 MeV. *Notiziario AIFB* 1988;6:2.
10. American Association of Physicists in Medicine, Task Group 21. A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. *Med Phys* 1983;10:741-71.
11. American Association of Physicists in Medicine, Task Group 51. AAPM TG51 Protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams. *Med Phys* 1999;26:1847-70.
12. Gruppo di studio Istituto Superiore di Sanità "Assicurazione di qualità in radioterapia" (Ed.). *Controlli di qualità essenziali in radioterapia con fasci esterni*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 1999. (Rapporti ISTISAN 99/6).
13. Izewska J, Bera P, Vatnitsky S. IAEA/WHO TLD postal dose audit service and high precision measurements for radiotherapy level dosimetry. *Rad Prot Dosim* 2002;10:387-92.
14. American Association of Physicists in Medicine, Task Group 53. Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning. *Med Phys* 1998;25:1773-829.

*La riproduzione parziale o totale dei Rapporti e Congressi ISTISAN
deve essere preventivamente autorizzata.
Le richieste possono essere inviate a: pubblicazioni@iss.it.*

*Stampato da Tipografia Facciotti srl
Vicolo Pian Due Torri 74, 00146 Roma*

Roma, dicembre 2005 (n. 4) 9° Suppl.