



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE MEDICHE E CHIRURGICHE (DIMEC)

CORSO DI LAUREA IN

TECNICHE DI RADIOLOGIA MEDICA, PER IMMAGINI E RADIOTERAPIA

IL RUOLO DEL TSRM DOSIMETRISTA NELLA PIANIFICAZIONE DEL TRATTAMENTO RADIOTERAPICO: REALTÀ NAZIONALI ED EUROPEE

Tesi di laurea in Contouring Planning E Dosimetria in Radioterapia

Relatrice

Prof.ssa Elisa Gilli

Presentata da

Irene Nardi

Sessione I, Ottobre 2025

Anno Accademico 2024/2025

INDICE

Introduzione	1
Capitolo 1: Riferimenti teorici	3
1.1 Origini della dosimetria in radioterapia.....	3
1.2 Il piano di trattamento.....	10
1.3 Controlli di qualità.....	14
Capitolo 2: Riferimenti bibliografici	16
2.1 Evoluzione della figura del dosimetrista.....	16
2.1.1 <i>L'Evoluzione del ruolo del TSRM in radioterapia</i>	<i>16</i>
2.1.2 <i>Ruolo e attività del TSRM in fisica sanitaria – la normativa di riferimento</i>	<i>17</i>
2.1.3 <i>Conoscenze necessarie e formazione del TSRM in fisica sanitaria</i>	<i>20</i>
Capitolo 3: Contesto di riferimento	22
3.1 Esperienza presso l'unità operativa di fisica sanitaria di radioterapia dell'Ospedale Bellaria.....	22
3.2 Esperienza presso l'unità operativa di fisica sanitaria di protonterapia di Trento	25
3.3 Esperienza presso l'unità di fisica sanitaria di radioterapia dell'Haukeland University Hospital di Bergen	27
Capitolo 4: Materiali e metodi	31
4.1 Strategia di ricerca.....	31
4.1.1 <i>Ricerca bibliografica su banche dati.....</i>	<i>31</i>
4.1.2 <i>Articoli selezionati e strutturazione della survey</i>	<i>33</i>
4.2 Descrizione del campione	40
4.3 Metodologia della survey	42
Capitolo 5: Presentazione dei risultati.....	43
Capitolo 6: Discussione.....	59
6.1 Interpretazione dei risultati	59
6.2 Confronto con la letteratura.....	61
6.2.1 <i>Il contesto britannico.....</i>	<i>61</i>
6.2.2 <i>Il contesto statunitense.....</i>	<i>62</i>
6.2.3 <i>Il contesto europeo</i>	<i>63</i>

6.2.4 <i>L'Italia nel confronto internazionale</i>	63
6.3 Riflessione critica	64
6.4 Implicazioni pratiche e teoriche	65
6.5 Prospettive future	65
Capitolo 7: Conclusioni	67
Bibliografia	69
Sitografia	71
Allegati	73
Allegato 1: <i>Survey</i> somministrata	74
Allegato 2: Risposte raccolte con la <i>survey</i>	79
Ringraziamenti	85

Introduzione

Negli ultimi anni, l'ambito della radioterapia oncologica ha conosciuto una rapida evoluzione, guidata dall'innovazione tecnologica, dal progresso delle conoscenze cliniche e dall'aumento della complessità nella gestione dei trattamenti. Inoltre, le modalità della pianificazione del piano di trattamento, le competenze necessarie per restare al passo con le nuove tecnologie e algoritmi, e il workflow delle unità di radioterapia subiscono modifiche frequenti. Data la mancanza di sistematicità, i compiti specifici legati alla pianificazione del piano di trattamento non sono attribuiti in modo uniforme nelle diverse unità operative: nel rispetto delle linee guida, ogni unità si è sviluppata e specializzata autonomamente.

Queste premesse spiegano perché le attività del tecnico di radioterapia legate alla dosimetria in Italia si presentino ancora in maniera disomogenea. Ad oggi, infatti, solo alcune realtà ospedaliere hanno integrato i tecnici dosimetristi nelle unità operative di radioterapia, a seguito di una preparazione adeguata e specializzata. La scelta di affrontare tale cambiamento dipende dalle risorse disponibili e dalle scelte organizzative locali.

A fronte di un incremento costante dei casi di tumori, e del conseguente aumento del carico di lavoro all'interno dei reparti di radioterapia, è prevedibile che la domanda di personale tecnico specializzato – e nel particolare di questa tesi, di dosimetristi – sia destinata a crescere. La necessità di assicurare trattamenti sempre più personalizzati ed efficaci richiederà, probabilmente, una maggiore presenza di tecnici all'interno delle equipe dosimetriche, con una formazione mirata e un riconoscimento professionale più definito.

Questa tesi, di tipo empirico-osservazionale, si propone di indagare la figura del tecnico di radioterapia con funzioni di dosimetrista nel contesto italiano, analizzando il suo impiego attuale, le modalità organizzative adottate nei diversi centri e le prospettive di sviluppo professionale. A tal fine, verranno esaminate alcune realtà cliniche rappresentative del contesto metropolitano e del territorio nazionale, con l'obiettivo di mettere in luce modelli diversi, criticità e opportunità di crescita. In parallelo, il confronto verrà esteso al di fuori dei confini nazionali, nello specifico alla

Norvegia, per valutare se, e in che termini, la figura del tecnico dosimetrista è consolidata, dotata di un'identità professionale autonoma e supportata da percorsi formativi dedicati. Il confronto internazionale potrà offrire spunti utili per una riflessione costruttiva sul futuro del ruolo di tecnico di radioterapia nella dosimetria.

La presente tesi non necessita del parere del CE.

Capitolo 1: Riferimenti teorici

1.1 Origini della dosimetria in radioterapia

Le origini della radioterapia, e conseguentemente della dosimetria, possono essere fatte risalire a dopo il 1895, anno in cui Wilhelm Conrad Röntgen scoprì i raggi X e ne dimostrò l'utilità in ambito diagnostico attraverso la produzione delle prime immagini radiografiche.

Il primo esperimento radioterapico per il trattamento di un tumore avvenne nel 1896 a Savoy, in Francia. Il fisico Victor Despeignes trattò un uomo di 52 anni che presentava verosimilmente un linfoma gastrico. Irradiò il tumore con i raggi X in due sedute giornaliere, eseguendo contestualmente il primo frazionamento di dose. Il trattamento ridusse il volume del tumore, ma il paziente oncologico morì dopo 22 giorni dal trattamento. Despeignes descrisse il suo esperimento in due articoli pubblicati sul *Lyon Médical*.

La prima applicazione clinica radioterapica considerata efficace avvenne nel 1897 in Germania, quando Eduard L. Schiff trattò con successo un paziente affetto da lupus eritematoso¹.

A partire da questo momento in poi iniziò la ricerca in ambito radioterapico, che prosegue ancora oggi a oltre un secolo di distanza. Furono osservati fin da subito effetti collaterali derivanti dall'esposizione ai raggi X, come ad esempio dermatite, ustioni cutanee e perdita di capelli, ma nei primissimi anni di sperimentazione non ne fu compresa immediatamente la vera portata, in particolare il rischio di cancerogenesi.

Nonostante la mancanza di consapevolezza delle ripercussioni fisiche a lungo termine legate a questa pratica, fu proprio in virtù degli effetti collaterali osservabili già dalle prime sedute, che le indagini dosimetriche iniziarono a svilupparsi quasi contestualmente alla radioterapia stessa. Già all'inizio del Novecento si studiavano e si comprendevano alcuni degli effetti fisiopatologici indotti dalle radiazioni, come la comparsa di eritemi e la maggiore efficacia nel colpire le cellule a rapida

¹ Dimitrios Kardamakis, Sarah Baatout, Michel Bourguignon, Nicolas Foray, e Yehoshua Socol, *History of Radiation Biology*, in *Radiology Textbook*, a cura di Sarah Baatout (Cham: Springer, 2023), 14.

proliferazione². Il primo articolo sulla dosimetria in radioterapia fu scritto nel 1906 dal medico Ennion G. Williams, intitolato *The Regulation and Measurement of the Therapeutic Dose of the Roentgen Ray*. In questo lavoro veniva evidenziata l'importanza di misurare con precisione la dose di radiazioni somministrata durante il trattamento, ponendo le basi per la dosimetria clinica.

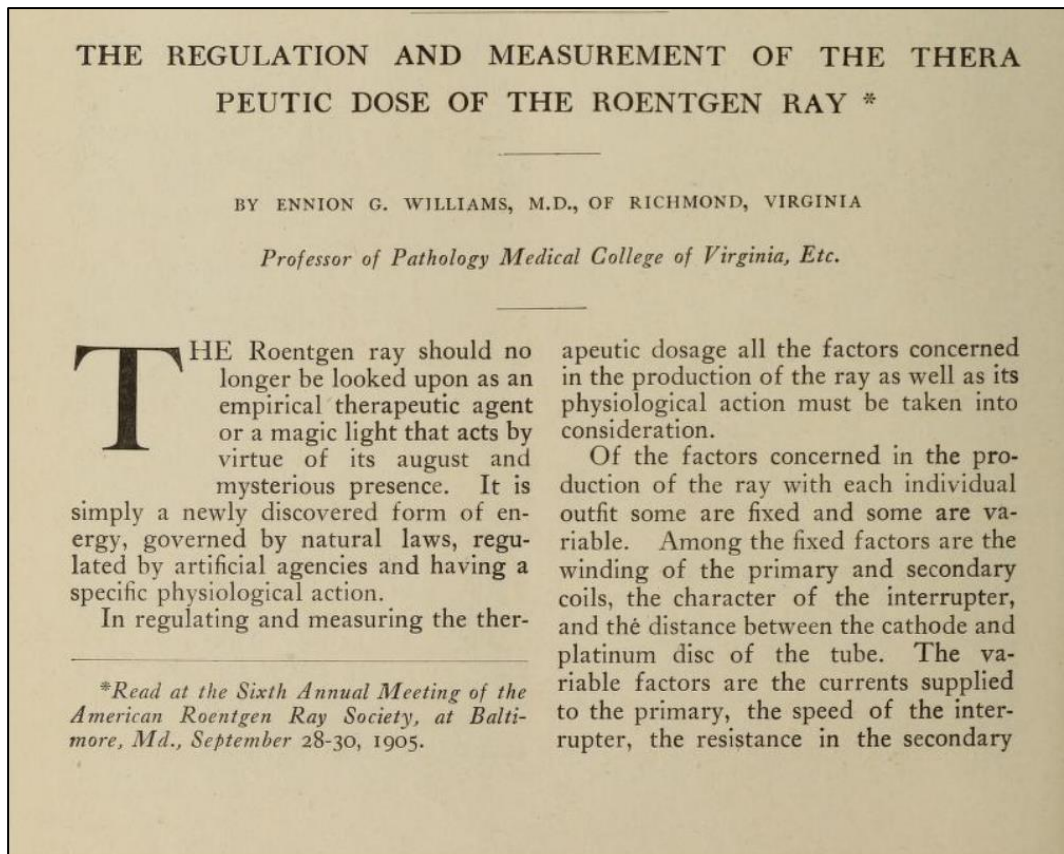


Figura 1. Frontespizio dell'articolo *The Regulation and Measurement of the Therapeutic Dose of the Roentgen Ray* di E. G. Williams, pubblicato negli *Archives of Physiological Therapy* (1905). Fonte: *Archives of Physiological Therapy*, vol. 3 (1906), p. 71

² Ennion G. Williams, *The Regulation and Measurement of the Therapeutic Dose of the Roentgen Ray* (Boston: Richard G. Badger, 1906), vol. 3, Francis A. Countway Library of Medicine.

life, they now act as foreign bodies and disintegrate bringing about phagocytosis infiltration of round cells and proliferation of the endothelium of the blood vessels and the consequent interference with the circulation which causes a degeneration of the muscles and connective tissue.

Although the physiological efficiency may not conform entirely to the law of varying inversely as the square of the distance it is the nearest guide we have at present to direct us in regulating the time and distance properly and in establishing a technic by means of which deep growths can best be affected without destroying the overlying tissues. As a rule the more superficial the effect desired the closer should the tube be placed to the surface.

It is very important that the operator should know the dose that will produce an erythema. It is only by this knowledge that he can intelligently treat any case.

By experience I have found that about ninety minutes is required to produce an erythema on a surface ten inches from a tube of medium penetration, a spark-gap of four inches equivalent to the resistance in the secondary circuit, and the milliammeter reading three-quarters of a milliamperere.

With this knowledge and the law of the inverse squares I have constructed a table published in *Medical News*, N. Y., March, 1904, to show the safety limits at various distances. The safety limits are about 30% less than the number of minutes required to produce a decided erythema. The table also shows the relative intensities at different distances so that if a number of exposures are given at different distances they can be reduced to the equivalent of a common distance and the total number of minutes then added.

We thus readily see how the law of the inverse squares helps us in regulating the duration of the exposures and the

distance of the tube from the surface.

Distance.	Relative Intensity.	Safety Limits.
2	1	1,000
4	1/4	25.00
6	1/9	6.25
8	1/16	2.77
10	1/25	1.56
12	1/36	1.00
14	1/49	.69
16	1/64	.51
18	1/81	.39
20	1/100	.30
		.25
		250.0

Upon it is based the technic of attempting to reach deep growths.

The difficulty in reaching them has been the danger of injuring the superficial tissues before the deep growths are affected. Now we know it is not necessary to bring about a necrotic inflammation to destroy a cancer. If we can have the rays penetrate the tissues with moderate uniformity we can then hope to destroy the deep growths. The closer the part is to the tube the greater is the difference in the effect upon the skin and the part beneath. For instance, suppose we have a growth four inches from the surface and the surface four inches from the anode: According to our table the effect on the skin would be represented by .250 and that on the growth .062, or a difference of .188. Of course this does not take into consideration the loss of intensity or quality due to penetrating the tissues. If the surface of the skin be placed at eight inches the growth will be at twelve; the relative effects will be .062 and .027, or a difference of .035. With the skin at sixteen inches

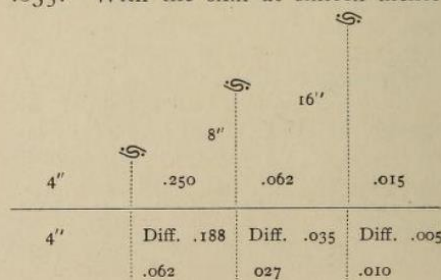


Figura 2. Estratto dall'articolo di E. G. Williams (1905), con tabella delle distanze del tubo radiogeno e dei relativi limiti di sicurezza della dose. Fonte: *Archives of Physiological Therapy*, vol. 3 (1906), p. 72

Fino agli anni '20, tutti i trattamenti radioterapici erano destinati a patologie superficiali, poiché il tubo di Crookes (1869-75) permetteva la generazione di radiazioni poco penetranti. Con la messa a punto del tubo di Coolidge (1913) e la messa in commercio del primo anodo rotante nel 1929, il Rotalix, prodotto dall'azienda olandese Philips, fu

possibile iniziare a generare radiazioni più penetranti, capaci di agire su tumori localizzati più in profondità. La prima serie di trattamenti oncologici radioterapici fu eseguita negli anni '30 presso il Curie Institute a Parigi. La cosiddetta “scuola francese” del Curie Institute, guidata da Henri Coutard, Claudius Regaud e Juan A. del Regado, fu fra le prime a riconoscere che ogni tumore ha una diversa radiosensibilità in base alla sua istologia e promosse il regime di iper-frazionamento per conservare i tessuti sani circostanti al tumore. Henri Coutard iniziò a sottoporre i suoi pazienti oncologici a cicli di trattamento di radioterapia frazionata prolungata per diverse settimane.

Il primo macchinario interamente dedicato alla radioterapia fu installato all'Huntington Memorial Hospital di Boston nel 1937: Robert van de Graff progettò nel 1929 il primo generatore elettrostatico, che erogava fino a 1MV.

Nel 1954 Kia Chi Tsien, fisico presso il Memorial Hospital di New York e professore assistente di fisica radiologica presso la Temple University School of Medicine and Hospital di Philadelphia³, pubblicò l'articolo *The Application of Automatic Computing Machines to Radiation Treatment Planning* sul *British Journal of Radiology*. Nel suo articolo, il professor Tsien propose l'impiego di macchine calcolatrici automatiche per superare le difficoltà, specialmente legate alla tempistica, di calcolo delle dosi in radioterapia per ogni singolo paziente, soprattutto nei trattamenti complessi a più campi e con tecniche rotazionali. Il sistema che ideò permetteva il calcolo e la tabulazione automatica dei dati dosimetrici, indipendentemente dalla posizione e dal numero dei campi irradianti, aprendo di fatto la strada ai futuri TPS, che verranno menzionati più approfonditamente in seguito. Inoltre, dal 1967, il *Memorial Hospital* compì un ulteriore passo avanti: J. G. Holt, S. Balter, A. Baker, J. S. Laughlin, e R. F. Phillips del dipartimento di fisica medica svilupparono un servizio di calcolo della distribuzione di dose utilizzabile a distanza anche da altre strutture, che potevano inviare i dati e ricevere i risultati attraverso normali linee telefoniche. Questo sistema rappresenta uno dei primi esempi di servizio di pianificazione del trattamento radioterapico a distanza.

³ Koo, V. K. Wellington, *Patricia Koo Tsien and Kia Chi Tsien papers*, Columbia University Libraries – Columbia University, consultato il 5 agosto 2025, <https://clio.columbia.edu/catalog/17690239>

Queste difficoltà iniziarono a ridursi grazie al RAD 8, il primo sistema per la pianificazione del trattamento radioterapico commercializzato su larga scala, lanciato a partire dal 1968 dalla Digital Equipment Corporation.

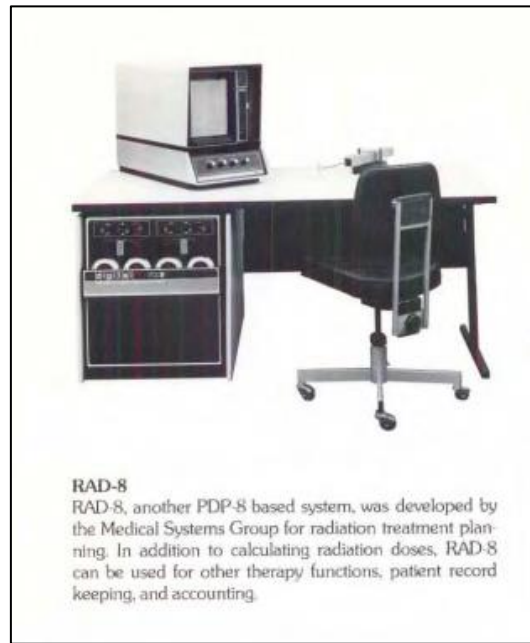


Figura 4. Immagine tratta da *Digital Equipment Corporation – Nineteen Fifty Seven to the Present* (Digital Equipment Corporation, Maynard, Massachusetts, ©1972–1978). Fonte: *Computer History Museum*.

Due anni dopo, il dottore in fisica J. Van de Geijn, dell'H. Joannes de Deo Hospital, L'Aia, Paesi Bassi, sviluppò Extdøs, programma informatico dedicato alla pianificazione tridimensionale della radioterapia a fasci esterni. Il programma simulava le distribuzioni di dose assorbita dai tessuti. Fu progettato per supportare la pianificazione sia per i trattamenti a campi statici che ad arco, con opzioni per vari filtri come i filtri a cuneo e i blocchi di sagomatura del fascio.

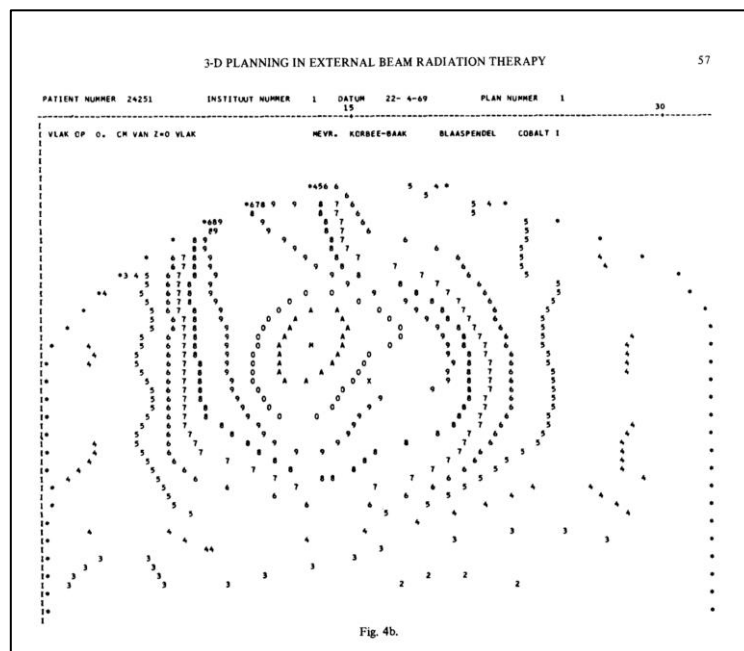


Figura 5. Esempio di distribuzione isodose generata dal programma EXTDØS per la pianificazione 3D in radioterapia a fasci esterni.

Un'ulteriore e definitiva svolta si ebbe nel 1972, quando Godfrey Hounsfield introdusse la tomografia computerizzata (TC), tecnologia che rese possibile una pianificazione tridimensionale dei trattamenti. Per il suo contributo, Hounsfield ricevette nel 1979 il Premio Nobel per la Medicina. Negli anni successivi, la diffusione della TC portò allo sviluppo di numerosi sistemi di pianificazione tridimensionale interni agli ospedali, basati su immagini tomografiche, segnando così l'inizio dell'era moderna della radioterapia.

1.2 Il piano di trattamento

La radioterapia ha come obiettivo principale quello di erogare la dose al target minimizzando il più possibile il danno ai tessuti sani circostanti. L'efficacia di questo trattamento dipende da un processo complesso e adattato al singolo paziente, che coinvolge un team multidisciplinare e si articola in fasi sequenziali: la visita e la prescrizione, l'impostazione del trattamento (planning) e l'esecuzione del trattamento stesso, con il successivo follow-up.

Di queste fasi, il planning dosimetrico è una fase cruciale che utilizza tecnologie avanzate per garantire l'efficacia terapeutica. Lo scopo primario del piano di trattamento è valutare e ottimizzare la distribuzione della dose all'interno del distretto corporeo da irradiare, assicurandosi che la dose al volume bersaglio sia conforme alla prescrizione clinica e che la dose agli organi a rischio (OAR) rispetti i *constraints* di tolleranza relativi ad ogni specifico organo. Questo processo di elaborazione viene eseguito su potenti *workstation* chiamate *Treatment Planning Systems* (TPS), in grado di gestire immagini multimodali – TC, RM (Risonanza Magnetica), PET-TC (Tomografia a Emissione di Positroni associata a Tomografia Computerizzata) – ed efficaci algoritmi dedicati al calcolo della distribuzione di dose, tutto questo grazie alle potenti CPU - *Central Processing Unit*.

Per la pianificazione dei trattamenti, i tecnici di radiologia medica dosimetristi operano seguendo i protocolli di prescrizione redatti dai medici radioterapisti, nei quali vengono riportati i dati anagrafici del paziente, la diagnosi, la dose prescritta, le strutture contornate, le priorità per la pianificazione, i *constraints* per gli OAR primari e secondari e gli obiettivi relativi al target. Devono inoltre essere considerati i parametri fisici specifici della tecnica impiegata: per la protonterapia, ad esempio, vanno considerati lo *stopping power* relativo e le incertezze sul range, fattori che devono essere gestiti con grande precisione al fine di evitare sottodosaggi o sovradosaggi.

Il processo di planning dosimetrico si articola in 5 fasi principali:

1. L'acquisizione delle immagini e il loro relativo trasferimento al TPS - TC di centratura: questa fase serve a definire il *set-up*, ovvero il posizionamento del paziente e la selezione degli specifici immobilizzatori, e ad acquisire i dati anatomici necessari per individuare i volumi bersaglio e gli organi a rischio (OAR). La TC di centratura si differenzia dalla TC diagnostica per due principali caratteristiche: un lettino rigido e piano simile a quello dei LINAC e un *gantry* di diametro maggiore (70-75 cm) per includere i sistemi di immobilizzazione e garantire la riproducibilità del posizionamento. Durante questa fase viene identificato un isocentro provvisorio, un punto di allineamento iniziale che potrà o meno coincidere con l'isocentro definitivo di trattamento. Le immagini acquisite vengono trasferite al TPS per l'elaborazione.

2. Contornazione dei Volumi (*Contouring*), una delle fasi più delicate di tutto il processo di pianificazione del trattamento: consiste nella delineazione dei volumi di interesse (VOI) su tutte le immagini acquisite dalla TC di centratura, utilizzando software dedicati. La precisione del *contouring* è fondamentale per garantire una stima corretta di dose da irradiare. I concetti di volumi target e OAR sono stati codificati e standardizzati dall'ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements) attraverso una serie di Reports (ICRU 50, 62, 83). I volumi che vengono definiti nella fase di *contouring* sono:
 - GTV (*Gross Tumor Volume*): ovvero il volume macroscopico della malattia, visibile o palpabile direttamente o con tecniche di *imaging*.
 - CTV (*Clinical Target Volume*): comprende il GTV più un margine per la diffusione subclinica microscopica della malattia, che deve essere trattato per raggiungere lo scopo di eradicazione completa della malattia.
 - PTV (*Planning Target Volume*): concetto geometrico che aggiunge un margine al CTV, composto da *Internal Margin* per i movimenti d'organo e *Set-up Margin* per gli errori di posizionamento, e serve a garantire che

la dose prescritta sia effettivamente erogata, tenendo conto delle incertezze geometriche.

- ITV (*Internal Target Volume*): comprende il CTV più il margine interno (*Internal Margin*), considerando le variazioni di posizione, forma e dimensioni del CTV60.
 - OAR (*Organs At Risk*): sono gli organi o i tessuti sani la cui radiosensibilità va presa in considerazione quando si impostano i campi di trattamento. Il Report ICRU 62 ha introdotto il concetto di PRV (*Planning Organ At Risk Volume*), che aggiunge un margine all'OAR per considerare possibili movimenti o errori di set-up. Gli organi a rischio possono essere "in serie", dove la distruzione di una subunità altera tutta la funzionalità dell'organo, o "in parallelo", dove la funzionalità è alterata solo se un certo numero di subunità è distrutto.
3. Inserimento di fasci con compensatori, se necessari: questa fase si occupa dell'elaborazione del piano di trattamento per ottenere una distribuzione di dose ottimale, in cui la dose al target sia conforme alla prescrizione e quella agli OAR rispetti i limiti di tolleranza (*constraints*). Viene definito l'isocentro di trattamento (definitivo), il punto effettivo rispetto al quale verrà pianificato ed erogato il piano, idealmente posto nel baricentro del tumore per garantire che esso si trovi sempre al centro della rotazione della macchina.

La pianificazione può usare la tecnica SSD (*Source to Surface Distance*) non isocentrica, per lesioni superficiali, oppure la tecnica SAD (*Source to Axis Distance*) per trattamenti isocentrici, che sono più precisi e utilizzati per tumori più profondi. L'ottimizzazione della distribuzione di dose può richiedere l'uso di modificatori del fascio, come collimatori per sagomare il campo; filtri, già inseriti nelle testate nei LINAC più moderni; schermature personalizzate e il Multi-Leaf Collimator (MLC), composto da lamelle motorizzate in tungsteno che conformano il fascio. Inoltre, i bolus, materiali tessuto-equivalenti, possono essere applicati sulla cute del paziente per superficializzare la dose e compensare irregolarità della superficie da trattare.

Da qui, l'elaborazione del piano può seguire due approcci:

- *Forward Planning* (pianificazione diretta): tipicamente utilizzata nella radioterapia conformazionale 3D (3D-CRT). Il fisico sanitario, o il dosimetrista, tramite un processo iterativo (*trial and error*), seleziona manualmente il numero, l'ampiezza, l'energia e la direzione dei fasci, nonché l'eventuale uso di filtri o compensatori. L'obiettivo è conformare la dose al tumore massimizzando il risparmio degli organi sani. La qualità del piano dipende dall'esperienza dell'operatore.

- *Inverse Planning* (pianificazione inversa): Questo approccio è prevalente nelle tecniche più avanzate come l'*Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) e la *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT). Partendo da una distribuzione di dose ideale (un DVH ideale), il TPS calcola automaticamente i parametri ottimali del trattamento, come le traiettorie e le modulazioni delle lamelle del collimatore multi-lamellare (MLC); questo permette una conformazione più precisa del fascio radiante. In questo caso, i dosimetristi definiscono le funzioni di costo, assegnando a ciascuna di esse un parametro di importanza, cosicché l'algoritmo implementato nel TPS possa calcolare i pesi tra *constraints* e obiettivi. Le funzioni impostate come *constraints* hanno sempre priorità rispetto a quelle impostate come obiettivi; queste ultime, invece, possono essere ponderate con pesi diversi per differenziare le priorità cliniche.

Il pianificatore deve ottimizzare il più possibile la distribuzione di dose, e può farlo con la modalità SFO (*Single Field Optimization*) o la modalità MFO (*Multi Field Optimization*): la prima prevede che la dose sia equidistribuita per ogni direzione di trattamento; la seconda permette di impostare campi di trattamento con dose disomogenea. In quest'ultimo caso, lo stesso grado di omogeneità della dose destinata al target si ottiene grazie alla somma di tutte le direzioni di trattamento; ciò consente di ottenere una migliore conformazione della dose, ma rispetto alla SFO rimane meno robusta, è, cioè, più sensibile alle incertezze e variazioni durante il trattamento.

4. Valutazione della Distribuzione di Dose (DVH - Istogramma Dose-Volume): è uno strumento fondamentale per quantificare il volume di un organo/tessuto che riceve una determinata dose e viene creato dal TPS stesso. Permette di valutare e confrontare la distribuzione di dose – ovvero la copertura – dei target e la protezione delle strutture critiche (OAR). Esistono DVH differenziali, dove vengono espresse le variazioni di dose all'interno del volume che si considera, e DVH cumulativi, che mostrano i volumi che ricevono almeno una determinata dose espressa in percentuale. Questi ultimi sono i più utilizzati.

5. Trasferimento dei dati alle macchine di trattamento (LINAC): questa è la fase conclusiva del processo di pianificazione. Una volta che il piano di trattamento è stato elaborato, ottimizzato e approvato, i dati vengono trasferiti dal TPS alle macchine di trattamento.

Tale trasferimento è gestito da complessi software chiamati sistemi *Record & Verify* (R&V). I sistemi R&V sono applicazioni di rete che controllano il flusso di dati e immagini tra le diverse *workstation* e il LINAC, comunicando tramite lo standard DICOM RT.

I sistemi R&V supportano diverse funzioni, tra cui la gestione dell'anagrafica del paziente, la programmazione degli appuntamenti, l'impostazione e l'erogazione del trattamento, l'acquisizione e l'archiviazione delle immagini, il controllo dei dati dosimetrici (dose totale e per frazione), la gestione del TPS e il controllo dei trattamenti.

1.3 Controlli di qualità

Nel reparto di radioterapia, i TSRM dosimetristi hanno un ruolo fondamentale anche nei controlli di qualità (CQ, in inglese QA – *Quality Assurance*), che garantiscono la sicurezza e l'accuratezza dei trattamenti erogati. I CQ, svolti giornalmente, settimanalmente, mensilmente e annualmente, comprendono procedure di verifica periodica sulle apparecchiature, come il controllo della dose erogata, la calibrazione dei fasci, la calibrazione della *matrix*, il *couch positioning* e la corretta corrispondenza tra il piano di trattamento e l'esecuzione clinica: vengono effettuati test dosimetrici per

validare la corrispondenza tra la dose pianificata e quella effettivamente erogata, detti CQ pazienti, dove vengono utilizzati fantocci che simulano le caratteristiche dei tessuti biologici. Questa prassi permette di garantire che la dose calcolata dal TPS sia coerente con quella realmente erogata. Il TSRM dosimetrista collabora con il fisico medico per monitorare la costanza delle prestazioni dei sistemi di pianificazione e delle unità di trattamento, contribuendo così a ridurre il rischio di errori e a mantenere standard elevati di qualità e sicurezza per i pazienti.

Capitolo 2: Riferimenti bibliografici

2.1 Evoluzione della figura del dosimetrista

2.1.1 L'Evoluzione del ruolo del TSRM in radioterapia

La professione del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica (TSRM) ha subito un'evoluzione rispetto alle sue origini, passando da un ruolo prevalentemente esecutivo a quello di professionista sanitario con crescenti competenze e responsabilità, in tutte le discipline, compresa quella di radioterapia e della sua relativa fisica sanitaria. Questa trasformazione è avvenuta grazie all'avanzamento tecnologico, che ha portato alla necessità di avere figure professionali sempre più competenti e autonome. Di conseguenza, si è rivelata necessaria la formulazione delle normative di riferimento che ne regolamentassero e conformassero i ruoli, le funzioni e le responsabilità professionali, le competenze specifiche degli aspetti pratici delle procedure medico-radiologiche e i percorsi formativi adeguati, inclusa la formazione universitaria e l'aggiornamento professionale continuo. Tali normative hanno anche disciplinato l'istituzione degli ordini e degli albi professionali, al fine di assicurare un elevato standard di qualità e sicurezza nell'impiego delle radiazioni ionizzanti.

Di fatto, la figura del TSRM viene definita come “una figura sanitaria dell'area tecnico-diagnostica che opera, in autonomia professionale, nell'esecuzione di procedure tecniche diagnostiche e terapeutiche”⁴ secondo quanto stabilito dalla Legge 251/2000 e dalla Legge 43/2006. Nello specifico ambito inerente alla fisica sanitaria, e in particolare in radioterapia, il TSRM si colloca come professionista che integra le sue conoscenze di radioprotezione, fisica delle radiazioni e garanzia di qualità con le competenze tecniche acquisite durante il triennio universitario, lavorando in stretta collaborazione con lo specialista in fisica medica e il medico oncologo radioterapista.

In particolare, il Decreto Legislativo n. 101 del 31 luglio 2020 (DLgs 101/2020) ha aggiornato il quadro normativo in materia di protezione contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti. Questo decreto recepisce la precedente direttiva 2013/59/Euratom, che pone l'accento sulla necessità di garantire la qualità delle prestazioni e la

⁴ Federazione Nazionale Collegi Professionali Tecnici Sanitari di Radiologia Medica, *Codice deontologico del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica*, 2004.

radioprotezione dei pazienti e degli operatori, con un'attenzione specifica ai ruoli e alle responsabilità delle diverse figure professionali.

Nel contesto specifico della radioterapia oncologica, la complessità delle prestazioni e l'approccio multidisciplinare necessario per poter erogare tali prestazioni, indicano la necessità di avere alla base una squadra ben organizzata, dove il medico oncologo radioterapista, lo specialista in fisica medica (fisico medico) e il TSRM operano in stretta collaborazione. Diventa quindi indispensabile che la figura del TSRM possieda conoscenze e competenze specifiche di dosimetria e, in aggiunta, di pianificazione del trattamento, contribuendo attivamente alla gestione del percorso terapeutico del paziente.

2.1.2 Ruolo e attività del TSRM in fisica sanitaria – la normativa di riferimento

Secondo il D.Lgs. 101/2020, “lo specialista in fisica medica detiene la responsabilità esclusiva della misurazione e valutazione delle dosi assorbite dai pazienti nelle esposizioni radiologiche a fine medico, nonché della scelta della strumentazione e dei controlli di qualità sulle attrezzature medico-radiologiche”⁵. Le sue attività comprendono la pianificazione fisico-dosimetrica nei trattamenti radioterapeutici basata sulle prescrizioni del medico specialista e la garanzia delle necessarie verifiche dosimetriche.

Tuttavia, il medesimo decreto stabilisce che l'esercente deve assicurare che altri professionisti sanitari possano partecipare agli aspetti pratici delle procedure medico-radiologiche in modo graduale, in base al loro livello di formazione e alle cognizioni acquisite [art. 159, comma 14].

Difatti, come esplicitato all'interno del rapporto ISTISAN 02/20, alla sezione “3.3. TSRM operante in radioterapia”, le attività che possono essere affidate al TSRM dell'unità operativa radioterapica e della sua relativa fisica sanitaria, includono:

⁵ Decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101, Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, Titolo XIII – Esposizioni mediche, art. 160, in Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 201, 12 agosto 2020, Suppl. ord. n. 29.

- la partecipazione alla programmazione e organizzazione del lavoro e all'elaborazione di progetti nell'ambito della struttura in cui opera nel rispetto delle proprie competenze;
- la programmazione e gestione dell'erogazione delle prestazioni di sua competenza in collaborazione diretta con il medico radioterapista e con l'esperto in fisica medica secondo protocolli preventivamente definiti;
- l'esecuzione e coordinamento di tutte le operazioni necessarie ad iniziare il piano di trattamento secondo le indicazioni del medico radioterapista e dell'esperto in fisica medica, provvedendo in particolare all'acquisizione dei dati relativi al posizionamento del singolo paziente e delle immagini per la determinazione dei volumi e per lo studio della disposizione dei fasci;
- la collaborazione alla determinazione della distribuzione di dose che viene congiuntamente approvata dal medico oncologo radioterapista e dall'esperto in fisica medica;
- la preparazione dei dispositivi ausiliari da applicare per il trattamento quali i mezzi di immobilizzazione del paziente, le schermature e i compensatori personalizzati, ecc.;
- il controllo della centratura e dei dispositivi di schermatura e di immobilizzazione al simulatore;
- l'erogazione del trattamento radioterapico secondo le indicazioni contenute nella cartella di trattamento e responsabilità della loro corretta applicazione;
- la registrazione dei dati di ogni singolo trattamento e tutte le eventuali modifiche secondo modalità definite;
- la garanzia dell'efficienza sulla strumentazione dosimetrica in dotazione al Servizio di fisica sanitaria e utilizzata in radioterapia, con i relativi accessori, secondo il programma di CQ stabilito dall'esperto in fisica medica; controllo di efficienza degli impianti a lui affidati e conseguente predisposizione all'uso; la partecipazione diretta all'espletamento del programma di CQ delle unità di trattamento e di simulazione e dei relativi sistemi accessori, effettuando misure

dosimetriche di uso corrente e la rilevazione degli altri parametri geometrici secondo procedure definite su indicazione dell'esperto in fisica medica;

– la collaborazione con l'esperto in fisica medica alla verifica del funzionamento delle apparecchiature dopo ogni intervento di manutenzione e di riparazione;

– la cura dell'archiviazione e dell'aggiornamento della documentazione prodotta nell'espletamento della propria attività e degli strumenti e dei materiali di consumo direttamente utilizzati;

– nei reparti nei quali si svolge attività di brachiterapia, la cura di: allestimento dei preparati radioattivi; recupero e immagazzinamento delle sorgenti; esecuzione delle operazioni di controllo delle eventuali contaminazioni; esecuzione delle operazioni di decontaminazione degli oggetti e degli ambienti; tenuta e aggiornamento del registro di carico e scarico del materiale radioattivo del reparto;

– la collaborazione alla formazione del personale di supporto, concorrendo direttamente alle attività di aggiornamento, ricerca e didattica in relazione al proprio profilo professionale;

– l'espletazione di ogni altra operazione tecnica concordata con il medico oncologo radioterapista.

Un aspetto particolarmente rilevante e in crescita nel ruolo del TSRM è la pianificazione del trattamento in radioterapia. In molti centri questa attività è di pertinenza esclusiva dello specialista in fisica medica, in altri il TSRM affianca attivamente questa attività. Il documento *Management della erogazione delle prestazioni in Radioterapia* pubblicato su *Quotidiano Sanità*, descrive il TSRM in Fisica Sanitaria come colui che "coadiuva il Fisico medico, con la sua supervisione e responsabilità, nell'impostazione, elaborazione e verifica del piano di trattamento dosimetrico".

Il TSRM, quindi, secondo le norme vigenti in Italia, può collaborare alla determinazione della distribuzione di dose, che dovrà comunque sempre essere approvata dal medico oncologo radioterapista e dallo specialista in fisica medica. Affinché tutto questo sia

possibile, è dunque necessario che il TSRM segua uno specifico percorso formativo accompagnato da esperienza pratica.

2.1.3 Conoscenze necessarie e formazione del TSRM in fisica sanitaria

In risposta alla normativa di riferimento, per poter operare efficacemente all'interno di un'unità operativa di fisica sanitaria e partecipare alla pianificazione del trattamento, il TSRM necessita di un solido bagaglio di conoscenze, sia teoriche che pratiche.

Secondo l'esperienza virtuosa della fisica sanitaria dell'Istituto Oncologico Veneto, queste conoscenze devono comprendere: "anatomia e anatomia radiologica; fisica di base sull'interazione radiazione-materia; componenti principali e funzionamento di un acceleratore lineare e di una TC, aspetti teorici e pratici della radioterapia; principali patologie trattate con la radioterapia e loro caratteristiche, elementi di base dei sistemi di pianificazione del trattamento (TPS) e del calcolo della dose."⁶

A queste si affianca la necessità di sviluppare conoscenze pratiche. Si rivela dunque di fondamentale importanza l'attività di tirocinio da svolgersi presso le unità di radioterapia e fisica sanitaria, dedicando il giusto tempo a tutte le fasi che accompagnano il paziente nel percorso terapeutico, "dal primo accesso del paziente, al centramento, alla pianificazione fino all'erogazione del piano di trattamento"⁷. Inoltre, durante la pratica, è necessario apprendere le competenze per eseguire i controlli di qualità di un acceleratore lineare, attività fondamentale nella fisica sanitaria.

La quasi totalità delle conoscenze teoriche necessarie al TSRM per partecipare in maniera significativa alle attività della Fisica Sanitaria in radioterapia, e specificamente alla pianificazione del trattamento, sono già presenti all'interno dei piani didattici proposti dalle università italiane.

È da notare, però, che nella maggior parte dei corsi di laurea triennale in Tecniche di Radiologia Medica la formazione sulla pianificazione del trattamento non è

⁶ Da "Ruolo del TSRM Dosimetrista nel processo di pianificazione del trattamento", Dr. Marco Andrea Rossato, TSRM UOC Fisica Sanitaria Istituto Oncologico Veneto, 2022

⁷ Da "Ruolo del TSRM Dosimetrista nel processo di pianificazione del trattamento", Dr. Marco Andrea Rossato, TSRM UOC Fisica Sanitaria Istituto Oncologico Veneto, 2022

approfondita, e andrebbe rafforzata, specialmente nella parte pratica di tirocinio. Se la partecipazione dei TSRM nelle unità di fisica sanitaria dovesse aumentare o rendersi necessaria, si potrebbe valutare l'integrazione nell'attuale offerta formativa universitaria di un modulo dedicato ai TPS da personale formato sul campo.

Difatti, il D.Lgs. 101/2020, all'Art. 162, comma 1, suggerisce alle università di inserire adeguate attività didattiche in materia di radioprotezione del paziente nell'esposizione medica nei corsi di laurea di medicina e chirurgia, odontoiatria, tecniche di radiologia medica per immagini e radioterapia; e, di interesse per questa tesi, anche alla formazione continua in materia di radioprotezione, che è un obbligo per i professionisti sanitari [1, art. 162, comma 2]. Inoltre, il Codice Deontologico invita i TSRM formati sul campo a insegnare agli studenti universitari.

Questi aspetti legislativi confermano come la formazione universitaria e l'aggiornamento continuo costituiscano pilastri fondamentali per garantire la qualità e la sicurezza delle pratiche professionali. In tale quadro, l'integrazione di moduli specifici e di un tirocinio mirato appaiono come un'opportunità per la crescita della disciplina e per la tutela del paziente.

Capitolo 3: Contesto di riferimento

Per indagare le realtà dei tecnici dosimetristi a livello territoriale, nazionale ed europeo è stato intrapreso un percorso di tirocinio articolato su diverse sedi, ognuna caratterizzata da contesti operativi organizzati in maniera differente: presso l'Ospedale Bellaria di Bologna (dal 3 al 13 giugno 2025) è stata condotta un'esperienza formativa curriculare, che ha permesso di osservare da vicino le dinamiche tipiche della realtà metropolitana di riferimento; al Centro di Protonterapia di Trento (dal 18 al 29 agosto 2025), invece, è stato svolto un tirocinio extracurriculare, intrapreso specificamente come approfondimento a supporto della presente tesi; l'esperienza presso l'Haukeland University Hospital di Bergen, Norvegia (dal 17 febbraio al 21 marzo 2025), realizzata nell'ambito del programma Erasmus, ha infine offerto l'opportunità di confrontarsi con un modello internazionale, arricchendo il percorso con una prospettiva europea.

3.1 Esperienza presso l'unità operativa di fisica sanitaria di radioterapia dell'Ospedale Bellaria

Il reparto di Radioterapia dell'Ospedale Bellaria di Bologna, parte dell'Azienda USL di Bologna, è dotato di due LINAC, utilizzati per l'erogazione di trattamenti conformazionali tridimensionali (3D-CRT), a intensità modulata (IMRT) e ad arco modulato (VMAT), e di un sistema robotico CyberKnife S7, destinato ai trattamenti stereotassici di elevata precisione sia intracranici, sia extracranici. Questa dotazione tecnologica consente al reparto di gestire un ampio ventaglio di indicazioni cliniche, combinando tecniche consolidate e metodiche avanzate di radioterapia guidata dalle immagini (IGRT).

All'interno della struttura, nell'unità operativa della fisica sanitaria di radioterapia, operano quattro TSRM con funzioni di dosimetristi, che rivestono un ruolo essenziale sotto il profilo tecnico e organizzativo. Le loro attività si articolano principalmente in due aree: i controlli di qualità (CQ) delle apparecchiature e la pianificazione dosimetrica dei trattamenti.

In particolare, i TSRM dosimetristi si occupano della pianificazione dei trattamenti dei pazienti oncologici sottoposti a tecnica VMAT. Attraverso l'utilizzo del TPS Monaco 6,

definiscono e ottimizzano i parametri del piano di cura: contornano il corpo del paziente, posizionano l'isocentro, impostano i campi di trattamento e, quando necessario, posizionano eventuali filtri (*wedge*) per modulare la distribuzione della dose. Questa fase richiede un'elevata precisione e una costante attenzione al dettaglio, al fine di garantire la massima efficacia terapeutica con il minor impatto possibile sui tessuti sani circostanti.

Il lavoro dei dosimetristi si svolge in stretta collaborazione con i fisici sanitari, responsabili della verifica e validazione dei piani, e con i medici radioterapisti, che stabiliscono gli obiettivi clinici del trattamento. Tale sinergia multidisciplinare è fondamentale per trasformare le indicazioni cliniche in un piano terapeutico tecnicamente realizzabile, sicuro ed efficace.



Figura 6. Cyberknife S7.

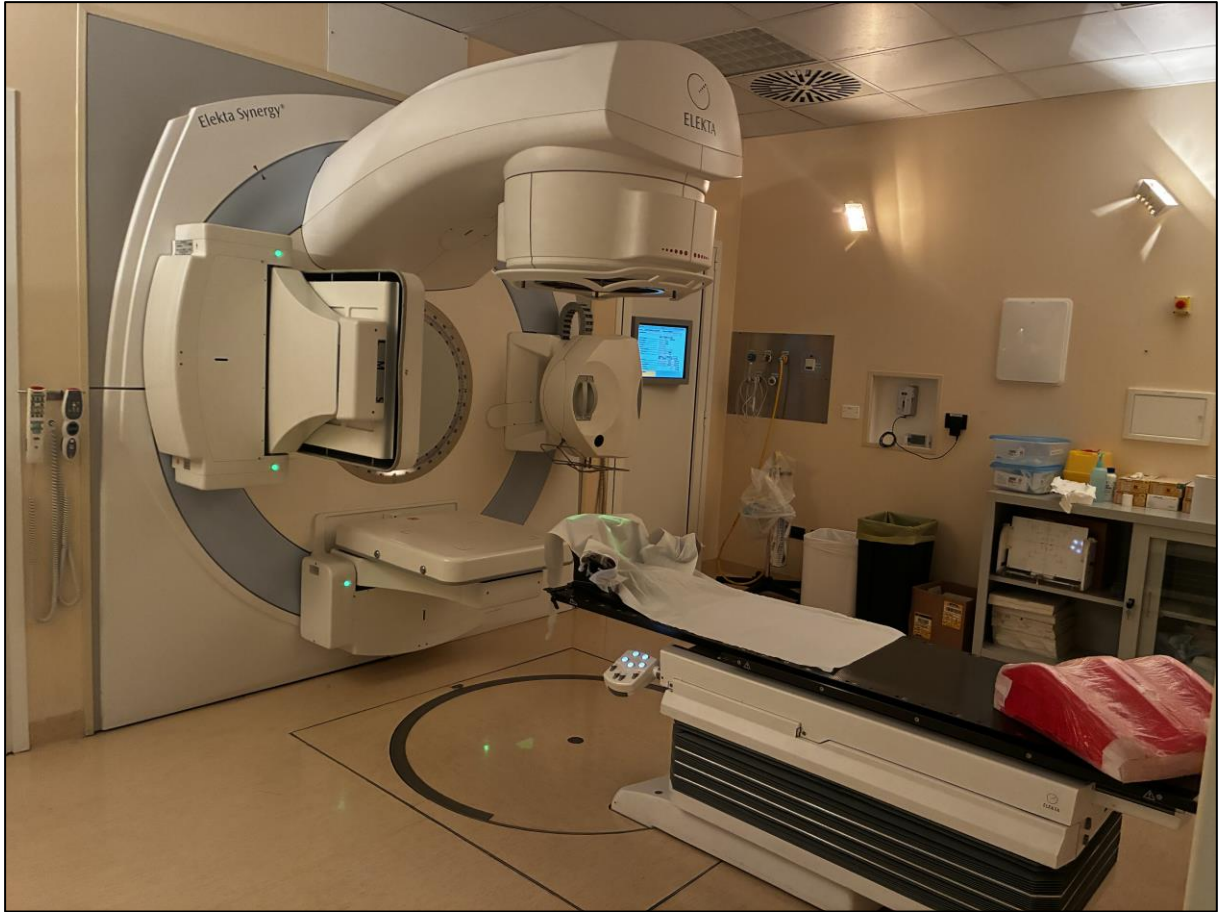


Figura 7. LINAC Elekta Synergy.

3.2 Esperienza presso l'unità operativa di fisica sanitaria di protonterapia di Trento

Il Centro di Protonterapia di Trento, inaugurato nel 2014 e gestito dall'Azienda Provinciale per i Servizi Sanitari (APSS), rappresenta l'unica struttura pubblica in Italia interamente dedicata alla radioterapia con protoni. La struttura è dotata di un ciclotrone in grado di generare protoni ad alte energie, che vanno dai 70 ai 230 MeV. Questo range di valori permette di raggiungere tessuti a diverse profondità. I protoni generati dal ciclotrone vengono poi convogliati verso due sale di trattamento con *gantry* rotante a 360°. I *gantry* – due presso il centro – erogano il trattamento tramite il sistema di scanning a fascio *pencil-beam*, che permette di modellare con estrema precisione la distribuzione della dose attraverso il principio fisico del picco di Bragg, e che concentra quindi l'energia nel volume bersaglio minimizzando l'irradiazione dei tessuti sani circostanti.

La protonterapia viene utilizzata principalmente nelle neoplasie del distretto cranio-facciale e di tumori localizzati in prossimità di organi critici come cervello, midollo spinale e tronco encefalico. In queste regioni anatomiche risparmiare gli OAR circostanti e avere alte dosi mirate è essenziale. Ad esempio, uno dei tumori più trattati presso il centro di protonterapia di Trento è il medulloblastoma, un tumore maligno del sistema nervoso centrale, di origine embrionale che origina dal cervelletto, di comune sviluppo in età pediatrica. Il *gold standard* per il trattamento del medulloblastoma è proprio la protonterapia. In questa categoria di pazienti, ove possibile, si predilige l'utilizzo della protonterapia, perché permette una maggiore preservazione dei tessuti sani; tale priorità è data dalla lunga aspettativa di vita e dalle reazioni avverse che caratterizzano questa fascia demografica, rispetto alla popolazione adulta. I tessuti in crescita, infatti, sono composti da cellule in proliferazione, che sono più radiosensibili; ciò comporta un rischio di danni permanenti più alto rispetto al rischio che affronta un paziente adulto o geriatrico.

La gestione clinica e tecnica del centro di Trento si basa sulla collaborazione tra medici radioterapisti, fisici medici, tecnici sanitari di radiologia medica operativi al *gantry* e tecnici sanitari di radiologia medica con funzione di dosimetristi, i quali si occupano dei controlli di qualità e della pianificazione dei trattamenti in collaborazione con i radioterapisti e i fisici medici. Anche presso questo centro i TSRM impiegati come

dosimetristi, con diversi livelli di esperienza, sono quattro e sono parte integrante della unità operativa, in particolare per la pianificazione dei trattamenti, dove viene utilizzato RayStation come TPS, e del CQ pazienti.

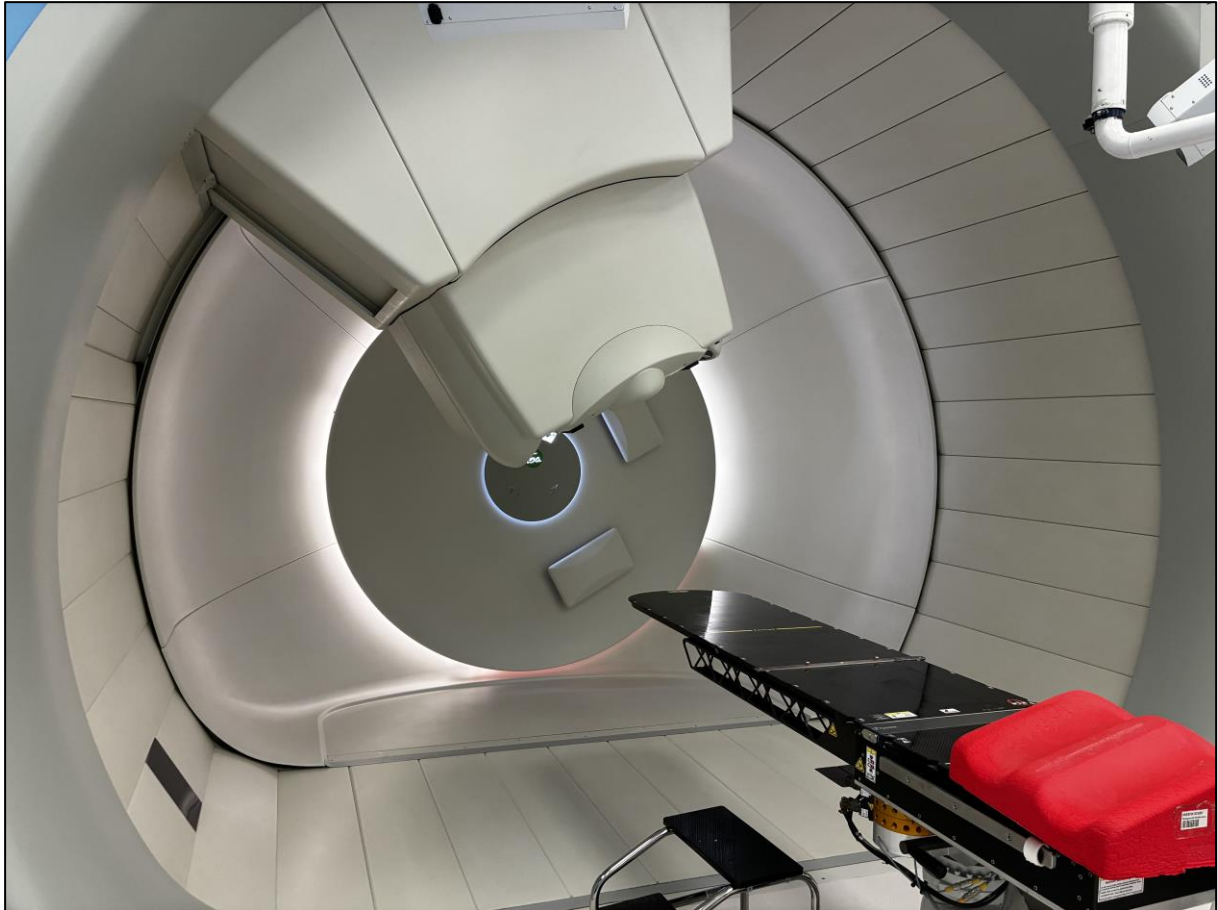


Figura 8. Gantry Protonterapia.



Figura 9. Sala trattamento Protonterapia.

3.3 Esperienza presso l'unità di fisica sanitaria di radioterapia dell'Haukeland University Hospital di Bergen

L'unità di radioterapia dell'Haukeland University Hospital di Bergen, in Norvegia, serve l'intera regione del Vestlandet e, per poter garantire l'accesso a tutti i pazienti che si devono sottoporre a trattamento radioterapico, data la normativa norvegese che prevede l'erogazione delle terapie radianti esclusivamente da parte di strutture pubbliche, è dotata di un'ampia capacità tecnologica. Il reparto dispone di sette acceleratori lineari Varian TrueBeam e di un Varian Ethos Adaptive, introdotto nel 2021, che consente la ripianificazione del trattamento ad ogni seduta grazie alla tecnologia di adattamento online del *contouring*. A partire da maggio 2025, l'ospedale ha aperto anche una delle prime due unità di protonterapia della Norvegia, situata ai piedi del monte Ulriken e attivata contemporaneamente a quella di Oslo.

Per poter esercitare in radioterapia, in Norvegia è obbligatorio frequentare un anno supplementare di formazione presso l'Università di Oslo, ovvero un master dedicato ad approfondire fisica, dosimetria, fisiologia e patologia. A questa preparazione accademica si aggiunge un percorso pratico costante, che include corsi di aggiornamento, simulazioni su emulatori, training dedicati e formazione continua, indispensabile per mantenere elevata la qualità del lavoro clinico.

Presso l'Haukeland University Hospital ci sono due gruppi di tecnici di radioterapia (in norvegese si utilizza il termine *radioterapeut* per indicare il tecnico di radiologia che lavora nell'unità operativa di radioterapia) che partecipano alla pianificazione del trattamento.

Un gruppo è composto da quattro tecnici che lavorano con Ethos, il cui ruolo può essere definito "ibrido": formalmente sono formati sull'utilizzo del sistema Ethos e sono tecnici di radioterapia che erogano il trattamento radioterapico – gestiscono quindi il posizionamento del paziente, l'acquisizione delle immagini kV-CBCT (*Cone Beam Computed Tomography*, Tomografia Computerizzata a Fascio Conico) e somministrazione del trattamento –, ma si occupano anche della riprogrammazione quotidiana del piano di trattamento tramite il software integrato. Questo approccio consente un adattamento del piano di trattamento in tempo reale, in base alla situazione giornaliera del paziente, con un controllo accurato delle variazioni anatomiche e la possibilità di ridurre la dose agli organi a rischio.

Il sistema Adaptive integra algoritmi di intelligenza artificiale in grado di proporre un primo *contouring* automatico di GTV, CTV, PTV e OAR, che deve essere poi corretto manualmente dagli operatori. A supporto della qualità del piano, interviene il software esterno Mobius, che verifica la coerenza della distribuzione di dose con i parametri prescritti. Le sedute si articolano in due CBCT: la prima dedicata alla pianificazione del giorno e la seconda al controllo della stabilità anatomica prima dell'erogazione, con la supervisione periodica di oncologi e fisici durante le prime frazioni. Questa modalità di lavoro richiede rapidità, precisione e un'eccellente conoscenza anatomica TC.

L'altro gruppo è formato da tecnici con funzione di dosimetristi, composto da dieci membri, e si dedica invece alla pianificazione di tutti gli altri trattamenti radioterapici, collaborando con fisici medici e oncologi radioterapisti alla preparazione dei piani dosimetrici. In particolare, essi contribuiscono alla delineazione degli organi a rischio

(OAR), alla verifica dei vincoli dosimetrici e all'ottimizzazione dei piani. Ogni tecnico dosimetrista è specializzato sulla pianificazione di uno specifico organo, anche se possiede le capacità per pianificare trattamenti per tutti gli organi. Tutti e dieci lavorano in un unico ambiente comune, scelta che favorisce il confronto durante l'elaborazione del piano, prima che venga sottoposto alla revisione finale del fisico e del medico. Il *workflow* dell'unità è già collaudato da anni, il che permette di affrontare in maniera efficiente l'ingente carico di lavoro.



Figura 10. *Ethos Adaptive.*



Figura 11. Ripianificazione giornaliera col sistema Adaptive, immagini anatomiche volutamente offuscate.

Capitolo 4: Materiali e metodi

L'obiettivo della presente tesi è quello di approfondire e analizzare il ruolo dei tecnici di radiologia medica in qualità di dosimetristi all'interno delle unità di radioterapia nel contesto italiano, con particolare interesse alla loro partecipazione nella pianificazione dei trattamenti radioterapici. La pianificazione richiede competenze in diverse discipline (fisica, anatomia, dosimetria) e la capacità di dialogo tra i diversi professionisti coinvolti.

In Italia, tuttavia, il quadro normativo e operativo che definisce in maniera chiara le competenze e le responsabilità dei tecnici di radiologia in questo ambito appare ancora poco delineato. Mancano infatti linee guida consolidate che ne regolino l'attività in maniera uniforme su tutto il territorio nazionale. Ciò determina una certa eterogeneità nelle pratiche adottate dalle singole strutture. Non bisogna però dare per scontato che il panorama internazionale abbia una situazione diversa, intesa come più omogenea e strutturata: la revisione della letteratura internazionale ha evidenziato come il numero di contributi realmente pertinenti sia estremamente ridotto, segnalando dunque una carenza di riferimenti anche su scala globale. Da qui la necessità di strutturare una *survey* allo scopo di indagare realtà che rispecchiassero esempi del contesto metropolitano, italiano ed internazionale.

4.1 Strategia di ricerca

4.1.1 Ricerca bibliografica su banche dati

La ricerca bibliografica su questo argomento è stata condotta utilizzando come banca dati PubMed, specializzata nella letteratura biomedica, e ProQuest, un aggregatore di risorse accademiche accessibile tramite il Sistema Bibliotecario di Ateneo AlmaRE dell'Alma Mater Studiorum – Università di Bologna. Le stringhe di ricerca utilizzate, riportate anche nella sottostante tabella (Tabella 1), sono state “dosimetrist”, “survey”, “questionnaire”, “radiotherapist”, “radiographer”, “treatment planning”, “planning” e “contouring”. Inizialmente, l'intervallo temporale di riferimento considerato è stato limitato agli ultimi dieci anni, dal 2015 al 2025; tuttavia, poiché i risultati ottenuti si sono rivelati piuttosto esigui, si è deciso di estendere la ricerca a partire dal 2010, per

verificare se questa variazione dei parametri potesse portare a un numero maggiore di studi utili. Tale ampliamento non ha portato ad ulteriori contributi significativi, dal momento che gli articoli effettivamente congruenti con gli obiettivi di questa tesi si sono rivelati soltanto due, entrambi pubblicati negli ultimi cinque anni. Questa operazione ha comunque permesso di confermare che il tema rimane scarsamente indagato.

Un'ulteriore difficoltà è emersa in relazione all'impiego del termine *radiographer*. La prima ricerca effettuata con questa parola chiave – radiographer AND treatment AND planning –, senza l'uso del virgolettato, ha restituito un numero estremamente elevato di risultati (5757), gran parte dei quali non pertinenti, poiché la chiave di ricerca inglobava anche contributi più generici – radiography e radiographic –. Per questa ragione si è scelto di affinare la strategia di ricerca, utilizzando il termine “radiographer” con l'uso del virgolettato, usando così il metodo di ricerca per corrispondenza esatta che ha portato a un numero di risultati estremamente inferiore (49) per la stessa ricerca “radiographer” AND treatment AND planning.

Inoltre, nella ricerca bibliografica in lingua inglese, il termine “*radiotherapist*” viene utilizzato per indicare il tecnico di radiologia che lavora in radioterapia, mentre in italiano “radioterapista” si riferisce al medico specialista in radioterapia oncologica. Questa differenza terminologica può generare ambiguità e va tenuta presente nell'analisi della letteratura.

In definitiva, l'analisi è stata condotta facendo riferimento esclusivamente a PubMed, poiché gli articoli individuati su ProQuest risultavano essere gli stessi già reperiti nella prima banca dati.

Banche dati	PubMed, ProQuest (tramite AlmaRE – Università di Bologna)
Parole chiave	“dosimetrist”, “survey”, “questionnaire”, “radiotherapist”, “radiographer”, “treatment planning”, “planning”, “contouring”,
Limitazioni	lingua italiana o inglese; ultimi 10 anni, estesi a 15 anni (2010-2025)

Tabella 1. Ricerca iniziale.

	Chiave di ricerca	Risultati
1	dosimetrist AND survey	48
2	dosimetrist AND questionnaire	20
3	radiotherapist AND planning	146
4	radiotherapist AND treatment AND planning	40
5	radiographer AND treatment AND planning	5757
6	radiographer AND treatment AND planning	49
7	radiotherapist AND contouring	14
8	radiotherapist AND survey	49
9	radiotherapist AND questionnaire	45
10	radiographer AND radiotherapy AND survey	39
11	radiographer AND radiotherapy AND planning AND survey	5

Tabella 2. Chiavi di ricerca e relativi risultati.

4.1.2 Articoli selezionati e strutturazione della survey

Tra gli articoli che sono stati individuati, quelli ritenuti più rilevanti per la costruzione della *survey* somministrata alle unità operative sono stati due: *Radiation Therapy Staffing and Workplace Survey 2022* (American Society of Radiologic Technologists (ASTR), 2022), rinvenuto sul sito internet dell'ASTR stesso, e *A national survey of the radiotherapy dosimetrist workforce in the UK* (Blackler et al., 2022).

Il paper *A national survey of the radiotherapy dosimetrist workforce in the UK* (2022) analizza a livello nazionale la figura del dosimetrista in radioterapia nel Regno Unito. Attraverso un questionario online, distribuito tra dicembre 2020 e febbraio 2021, sono state raccolte 223 risposte che hanno permesso di delineare i diversi percorsi formativi, i titoli professionali utilizzati e il grado di registrazione ufficiale dei dosimetristi.

Il report *Radiation Therapy Staffing and Workplace Survey 2022*, condotto dall'American Society of Radiologic Technologists (ASRT), analizza la situazione occupazionale e organizzativa nei reparti di radioterapia degli Stati Uniti. Il sondaggio è stato inviato a oltre 14.000 professionisti e ha raccolto 629 risposte. L'obiettivo era quello di misurare i livelli di personale, le posizioni vacanti e le caratteristiche strutturali delle strutture, così da individuare tendenze e criticità.

I due questionari risultavano pensati specificamente per i rispettivi contesti nazionali (Stati Uniti e Regno Unito) e non del tutto adeguati a descrivere la realtà italiana ed europea. Si è deciso, quindi, di utilizzare entrambi come punto di partenza: si è proceduto a una loro rielaborazione critica, mantenendo alcuni item fedeli alla fonte, modificandone altri e introducendone di nuovi, così da ottenere un questionario più adatto al contesto di riferimento di questa ricerca.

Dalla *survey* inglese sono stati estrapolati i seguenti item: “What training route did you initially follow?” [Quale percorso formativo hai seguito inizialmente?], dove la risposta è stata lasciata aperta (domanda 2; Tabella 3; Allegato 1.), sostituendo così le opzioni del questionario originale, che si riferivano allo specifico contesto inglese; “What is your current job description title?” [Qual è la tua attuale qualifica lavorativa?]; “What registers, professional bodies or organisations are you currently a member of?” [A quali registri, enti professionali o organizzazioni appartieni attualmente?], anche in questo caso le opzioni di risposta (domanda 6; Tabella 3; Allegato 1.) sono state sostituite con l’opzione di risposta aperta, per le stesse motivazioni della domanda 2; “If you could change your job title, what title would you prefer to use?” [Se potessi cambiare il tuo titolo professionale, quale preferiresti usare?]; “If you wish to change your job title, why do you?” [Se desideri cambiare il tuo titolo professionale, perché?]; “What tasks do you do in your job? Rate the percentage time spent” [Quali attività svolgi nel tuo lavoro? Indica la percentuale di tempo dedicata], domanda che è stata suddivisa in due nel questionario definitivo: “What tasks do you do in your job?” [Quali attività svolgi nel tuo lavoro?] e “How much time do you spend on each task?” [Quanto tempo dedichi a ciascuna attività?]; “If you would like refresher sessions, what topics would you like to see?” [Se desideri sessioni di aggiornamento, su quali argomenti ti piacerebbe concentrarti?].

Dalla *survey* statunitense sono stati selezionati i seguenti item: “Which of the following services does your facility provide?” [Quali dei seguenti servizi offre la tua struttura?]; “On average, how many patients are treated daily at your facility?” [In media, quanti pazienti vengono trattati quotidianamente nella tua struttura?]; “How many linear accelerators are used in your facility?” [Quanti acceleratori lineari sono utilizzati nella tua struttura?]. Nella rielaborazione, è stata invece modificata in “How many gantries are used in your facility?” [Quanti gantry sono utilizzati nella tua struttura?]. Questa scelta deriva dal fatto che in radioterapia con fotoni vi è una corrispondenza diretta tra

numero di acceleratori lineari e numero di gantry (1 LINAC = 1 gantry), mentre nei centri di protonterapia la configurazione è differente, in quanto un singolo ciclotrone funge da sorgente comune per il fascio di protoni, che viene poi distribuito attraverso linee di trasporto del fascio (*beamlines*) a più stanze di trattamento, ciascuna dotata del proprio gantry. Considerati i centri selezionati, si è preferito rilevare il numero di gantry, poiché visto come un indicatore più rappresentativo della capacità clinica complessiva di ciascun centro; “How many full-time equivalent medical dosimetrists are budgeted in your department?” [Quanti dosimetristi equivalenti a tempo pieno sono previsti nel tuo reparto?].

Per avere informazioni più complete, si è deciso di aggiungere quattro item aggiuntivi: “How long have you been working in dosimetry planning?” [Da quanto tempo lavori nella pianificazione dosimetrica?]; “What TPS does your facility use?” [Quale TPS utilizza la tua struttura?]; “Do you take part in the OAR contouring process?” [Prendi parte al processo di contornamento degli OAR?]; “Do you use auto-contouring softwares for the OAR contouring?” [Utilizzi software di contornamento automatico per gli OAR?].

Nel complesso, il questionario elaborato per la presente ricerca comprende sedici domande: dodici a risposta chiusa — di cui sette con un’unica opzione (domande 1, 3, 4, 9, 14, 15 e 16; Tabella 3 e allegato 1), due a risposta multipla (domande 7 e 13; Tabella 3, Allegato 1.), due con scelta sì/no (domande 10 e 11; Tabella 3, Allegato 1.) e una con scala percentuale Likert (domanda 8; Tabella 3, Allegato 1.).

Inoltre, per riuscire a comprendere meglio le differenze tra i tre centri, è stato chiesto a ciascun partecipante di scrivere il centro di provenienza a fine *survey*.

Question	Response
<p>1. How long have you been working in dosimetry planning?</p> <p>(Da quanto tempo lavori nella pianificazione dosimetrica?)</p>	<p>Less than 1 year / 1–2 years / 2–5 years / 5–10 years / 10+ years</p> <p>(Meno di 1 anno / 1-2 anni / 2-5 anni / 5-10 anni / Più di 10 anni)</p>

<p>2. What training route did you initially follow?</p> <p>(Quale percorso formativo hai seguito inizialmente?)</p>	<p>Open-ended response</p> <p>(Risposta aperta)</p>
<p>3. What is your current job description title?</p> <p>(Qual è la tua attuale qualifica lavorativa?)</p>	<p>Radiographer / Therapeutic Radiographer / Clinical Technologist / Healthcare Science Practitioner / Dosimetrist / Other</p> <p>(Tecnico di Radiologia / Tecnico di Radioterapia / Tecnico Sanitario Specializzato in Fisica Medica / Professionista delle Scienze Sanitarie / Dosimetrista / Altro)</p>
<p>4. If you could change your job title, what title would you prefer to use?</p> <p>(Se potessi cambiare il tuo titolo professionale, quale preferiresti usare?)</p>	<p>Radiographer / Therapeutic Radiographer / Clinical Technologist / Healthcare Scientist Practitioner / Dosimetrist / Happy with current title / Other</p> <p>(Tecnico di Radiologia / Tecnico di Radioterapia / Tecnico Sanitario Specializzato in Fisica Medica / Professionista delle Scienze Sanitarie / Dosimetrista / Soddisfatto del titolo attuale / Altro)</p>
<p>5. If you wish to change your job title, why do you?</p> <p>(Se desideri cambiare il tuo titolo professionale, perché?)</p>	<p>Open-ended response</p> <p>(Risposta aperta)</p>
<p>6. What registers, professional bodies or organisations are you currently a member of?</p> <p>(A quali registri, enti professionali o organizzazioni appartieni attualmente?)</p>	<p>Open-ended response</p> <p>(Risposta aperta)</p>

<p>7. What tasks do you do in your job?</p> <p>(Quali attività svolgi nel tuo lavoro?)</p>	<p>Treatment planning / Machine QA / Mould Room / Patient specific QA / In vivo dosimetry / Brachytherapy / Specialist Planning (SRS - Stereotactic Radiosurgery / SABR - Stereotactic Ablative Body Radiotherapy / Proton)</p> <p>(Pianificazione del trattamento / Controllo qualità delle apparecchiature (Machine QA) / Mould Room - sala per la creazione di sistemi di immobilizzazione specifici per ogni paziente / Controllo qualità specifico per il paziente / Dosimetria in vivo / Brachiterapia / Pianificazioni specialistiche (SRS - Radiochirurgia Stereotassica / SABR - Radioterapia Corporea Stereotassica Ablativa / Protoni)</p>
<p>8. How much time do you spend on each task?</p> <p>(Quanto tempo dedichi a ciascuna mansione?)</p>	<p>0% / 25% / 50% / 75% / 100%</p>
<p>9. What TPS does your facility use?</p> <p>(Quale TPS utilizza la tua struttura?)</p>	<p>Pinnacle / Evolution / Monaco (Elekta) / Eclipse (Varian) / RayStation (RaySearch) / Other</p>
<p>10. Do you take part in the OAR contouring process?</p> <p>(Prendi parte al processo di contornamento degli OAR?)</p>	<p>Yes / No</p> <p>(Sì / No)</p>
<p>11. Do you use auto-contouring softwares for the OAR contouring?</p> <p>(Utilizzi software di contornamento automatico per gli OAR?)</p>	<p>Yes / No</p> <p>(Sì / No)</p>

<p>12. If you would like refresher sessions, what topics would you like to see?</p> <p>(Se desideri sessioni di aggiornamento, su quali argomenti ti piacerebbe concentrarti?)</p>	<p>Open-ended response</p> <p>(Risposta aperta)</p>
<p>13. Which of the following services does your facility provide?</p> <p>(Quali dei seguenti servizi offre la tua struttura?)</p>	<p>IMRT / CT-Simulation / CBCT / 3D / Portal Imaging / VMAT / SBRT - Stereotactic Body Radiotherapy / SRS / Fiducial Localization / HDR brachytherapy / Gated delivery / Chemotherapy / Tumor Registry / SGRT / Diagnostic Services / Real-time motion tracking / Surgery / Research / PET-CT / LDR brachytherapy / Total skin/electron / PET / Pediatric RT / TBI / MR localization / IORT / DART / Ultrasound localization / Proton therapy / Hyperthermia</p> <p>(Radioterapia a intensità modulata (IMRT) / CT di centratura / Cone-beam CT (CBCT) / 3D / Immagini Portali / Terapia ad arco modulato volumetrico (VMAT) / Radioterapia Stereotassica del Corpo / Radiochirurgia stereotassica / Localizzazione con fiduciali (marker) / Brachiterapia ad alto dosaggio / Erogazione con gating / Chemioterapia / Registro dei tumori / Tracking di Superficie - SGRT - Surface Guided Radiation Therapy / Servizi diagnostici / Tracciamento del movimento in tempo reale / Chirurgia / Ricerca / PET-CT / Brachiterapia a basso dosaggio / Irradiazione totale della pelle/elettroni / PET / Radioterapia pediatrica / Irradiazione totale del corpo / Localizzazione con risonanza magnetica (RM) / Radioterapia Intraoperatoria (IORT) / Radioterapia adattativa dinamica (DART) / Localizzazione ecografica / Protonterapia / Ipertermia</p>

<p>14. On average, how many patients are treated daily at your facility?</p> <p>(In media, quanti pazienti vengono trattati quotidianamente nella tua struttura?)</p>	<p>1–10 / 11–20 / 21–30 / 31–40 / 41–50 / 51–60 / 61–70 / 71–80 / 81–90 / 91–100 / 100+</p>
<p>15. How many linear accelerators are used in your facility?</p> <p>(Quanti acceleratori lineari sono utilizzati nella tua struttura?)</p>	<p>1 / 2 / 3 / 4 / More than 5</p> <p>(1 / 2 / 3 / 4 / Più di 5)</p>
<p>16. How many full-time equivalent medical dosimetrists are budgeted in your department?</p> <p>(Quanti dosimetristi equivalenti a tempo pieno sono previsti nel tuo reparto?)</p>	<p>1 / 2 / 3–6 / More than 6</p> <p>(1 / 2 / 3-6 / Più di 6)</p>

Tabella 3. *Survey somministrata.*

Come indicato nel capitolo 3, l'osservazione ha riguardato tre centri in ambito nazionale e internazionale: l'Ospedale Bellaria di Bologna, il Centro di Protonterapia di Trento e l'Haukeland University Hospital di Bergen, in Norvegia, con tirocini specifici in ciascuna sede.

In queste tre sedi, accomunate dal coinvolgimento attivo dei tecnici di radiologia medica nella pianificazione dei trattamenti, è stato successivamente somministrato il questionario definitivo (Tabella 3. sovrastante e Allegato 1.). La raccolta dei dati è avvenuta in forma anonima, attraverso la piattaforma Microsoft Forms, scelta per garantire la massima facilità di accesso, data la distanza geografica tra le strutture coinvolte. L'integrazione tra le esperienze di tirocinio e la somministrazione del questionario ha consentito di sviluppare un'analisi comparativa, resa possibile dall'osservazione diretta delle dinamiche operative e dal contatto quotidiano con i

professionisti. In tal modo, è stato possibile raccogliere informazioni significative, non solo sul grado di partecipazione dei tecnici di radiologia al processo di pianificazione dosimetrica, ma anche sulle modalità organizzative che caratterizzano i diversi contesti istituzionali.

In aggiunta, durante il periodo di tirocinio, vista la carenza di riferimenti bibliografici disponibili, si è ritenuto utile affiancare alla *survey* strutturata anche un approccio più esplorativo. In particolare, accanto alle domande di natura prettamente tecnica previste dal questionario, sono stati posti agli operatori dei quesiti aperti, con l'obiettivo di raccogliere impressioni personali ed elementi qualitativi altrimenti non rilevabili. Tra questi, ad esempio: "What do you think about the radiographer/radiotherapist working as a dosimetrist?" [Cosa pensi della figura di radiografo/radioterapista come dosimetrista?] e "Do you think there are any downsides about the radiographer/radiotherapist working in the dosimetry department?" [Pensi che ci siano dei lati negativi legati all'integrazione del radiografo/radioterapista nei reparti di dosimetria?].

Le risposte fornite dai professionisti nelle diverse unità operative hanno permesso di cogliere punti di vista, perplessità e aspettative: rappresentano un contributo importante per la comprensione di ciascuna unità operativa, elemento che ha agevolato la stesura dei tre paragrafi del capitolo 3. L'integrazione dei dati prettamente più tecnici con osservazioni qualitative ha reso possibile delineare un quadro più completo.

4.2 Descrizione del campione

Il campione che ha preso parte allo studio proviene da tre differenti contesti ospedalieri scelti, come già precedentemente spiegato, allo scopo di avere un esempio metropolitano, uno nazionale ed uno internazionale: l'Ospedale Bellaria di Bologna, il Centro di Protonterapia di Trento e l'Haukeland University Hospital di Bergen, in Norvegia. La *survey* è stata somministrata a un numero complessivamente ridotto di professionisti tecnici di radiologia, in quanto i centri di riferimento presentano di per sé organici contenuti nelle figure coinvolte nella pianificazione. A Bologna, così come a Trento, hanno partecipato tutti i 4 professionisti attivi (4/4), mentre presso l'Haukeland University Hospital hanno aderito 3 professionisti su 10 (Tabella 4., sottostante). Il

campione complessivo è dunque costituito da undici tecnici di radiologia nel ruolo di dosimetristi.

Sede	Totale dosimetristi per sede	Dosimetristi rispondenti per sede	Percentuale dei rispondenti per sede
Ospedale Bellaria, Bologna	4	4	100%
Centro di Protonterapia, Trento	4	4	100%
Haukeland Univ. Hospital, Norvegia	10	3	30%

Tabella 4. Campione selezionato per la somministrazione della survey.

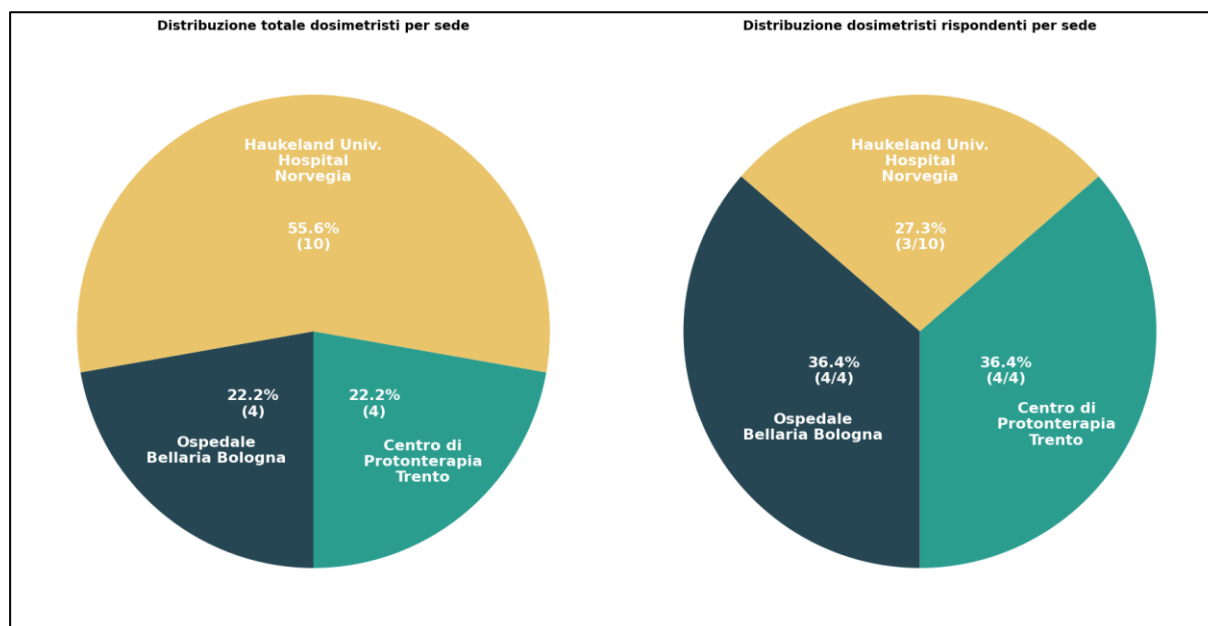


Figura 12. Sinistra: totale dosimetristi presenti nelle diverse sedi; destra: totale dosimetristi rispondenti per sede. Grafico generato con Google Colab.

Come rilevato dalla *survey*, gli anni di esperienza nella pianificazione dosimetrica dei rispondenti mostrano una composizione diversificata: il gruppo include infatti sia professionisti con una carriera ancora agli inizi, sia figure con una consolidata esperienza decennale, passando per fasce intermedie di attività. Questa varietà

contribuisce a restituire un quadro più articolato delle competenze maturate e delle diverse prospettive presenti nei tre contesti considerati.

4.3 Metodologia della survey

La rilevazione dei dati è stata condotta in forma anonima attraverso una *survey* online realizzata con la piattaforma Microsoft Forms scelta, come già precedentemente spiegato, per garantire la massima facilità di accesso data la distanza geografica tra le strutture coinvolte.

A livello linguistico, il questionario è stato predisposto in inglese per mantenere coerenza con la letteratura scientifica di riferimento e per consentire la partecipazione di rispondenti internazionali. Per garantire la piena comprensione degli *item* e coinvolgere quante più persone possibile, è stata messa a disposizione dei rispondenti madrelingua italiani, allegata al questionario, una traduzione degli *item*.

Per quanto riguarda la struttura, invece, come già spiegato nel paragrafo 4.1.2, il questionario presenta un totale di sedici domande: dodici a risposta chiusa — di cui sette con un'unica opzione (domande 1, 3, 4, 9, 14, 15 e 16; Tabella 3. e Allegato 1), due a risposta multipla (domande 7 e 13; Tabella 3., Allegato 1.), due con scelta sì/no (domande 10 e 11; Tabella 3., Allegato 1.) e una con scala percentuale Likert (domanda 8; Tabella 3., Allegato 1.).

La *survey* è rimasta accessibile per un periodo di circa sei settimane, dal 21 luglio 2025 al 5 settembre 2025, durante il quale i partecipanti hanno avuto la possibilità di completare il questionario senza vincoli temporali, contribuendo così ad una raccolta dati ampia e diversificata.

Capitolo 5: Presentazione dei risultati

Tutti i dati inerenti ai risultati della *survey* sottoposta ai TSRM dosimetristi dei tre centri sopracitati sono stati raccolti nell'Allegato 2.

Di seguito vengono riportati nel dettaglio i risultati raccolti per ciascun quesito.

Domanda 1. *How long have you been working in dosimetry planning?*

Alla domanda “Da quanto tempo lavori nella pianificazione dosimetrica?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. I dati, riportati nella figura sottostante (Figura 6), mostrano una distribuzione bilanciata tra professionisti con livelli di esperienza differenti: un rispondente dichiara un’esperienza inferiore a un anno, due rispondenti riportano un’esperienza compresa tra 2 e 5 anni, quattro rispondenti si collocano nella fascia 5–10 anni, mentre altri quattro dichiarano di avere oltre 10 anni di attività nel settore.

Questa varietà di risposte, comune a tutti e tre i centri, consente di cogliere la prospettiva di professionisti con diversi profili di esperienza, offrendo così una visione ampia delle diverse fasi di sviluppo della carriera nel campo della pianificazione dosimetrica.

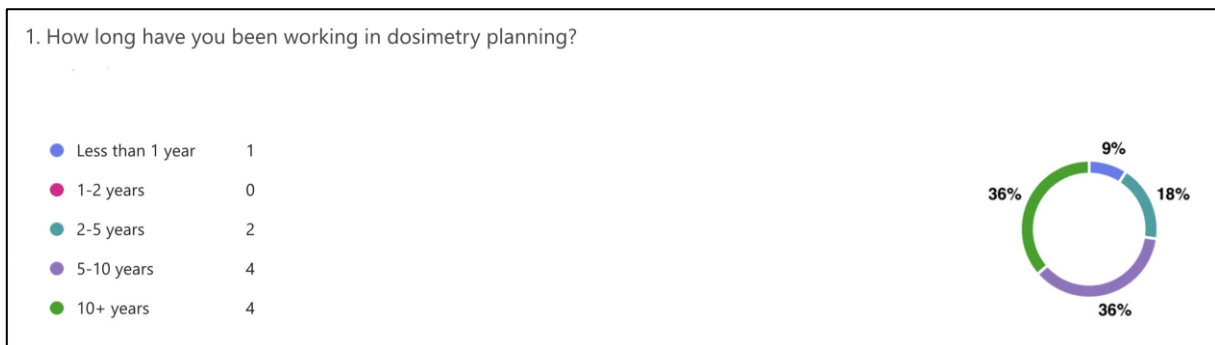


Figura 13. Risposte alla domanda 1: “How long have you been working in dosimetry planning?”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Domanda 2. *What training route did you initially follow?*

Alla domanda aperta “Quale percorso formativo hai seguito inizialmente?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. Tutti i rispondenti provengono da un corso di laurea triennale in Radiography o Tecniche di Radiologia Medica. Dal campione norvegese emerge l'integrazione di un anno di specializzazione post-laurea in Radioterapia; i partecipanti degli altri centri hanno indicato un anno di addestramento specifico, spesso nella forma di affiancamento a colleghi più esperti, per acquisire le competenze necessarie per la pianificazione dei trattamenti.

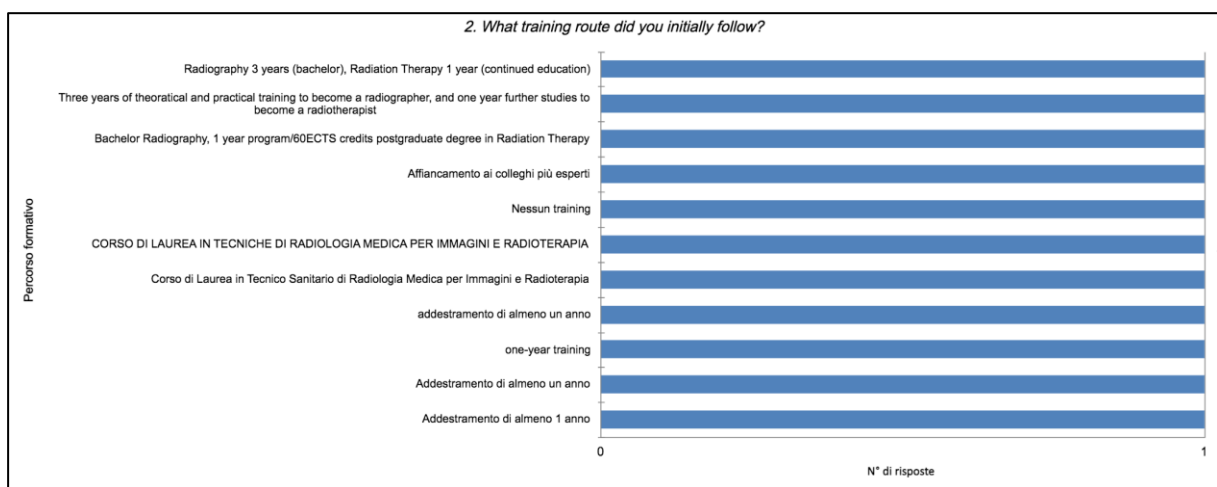


Figura 14. Risposte alla domanda 2: “*What training route did you initially follow?*”. Grafico generato con Excel⁸.

⁸ Per le domande aperte si è scelto di riportare i risultati con Excel, dato che il grafico di tipo *word cloud* generato automaticamente da Microsoft Form è di difficile interpretazione.

Domanda 3. *What is your current job description title?*

Alla domanda “Qual è la tua attuale qualifica lavorativa?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. Le risposte si distribuiscono come segue: sei “Radiographer” [Tecnico di radiologia], quattro “Dosimetrist” [Dosimetrista] e un “Therapeutic Radiographer” [Tecnico di radioterapia].

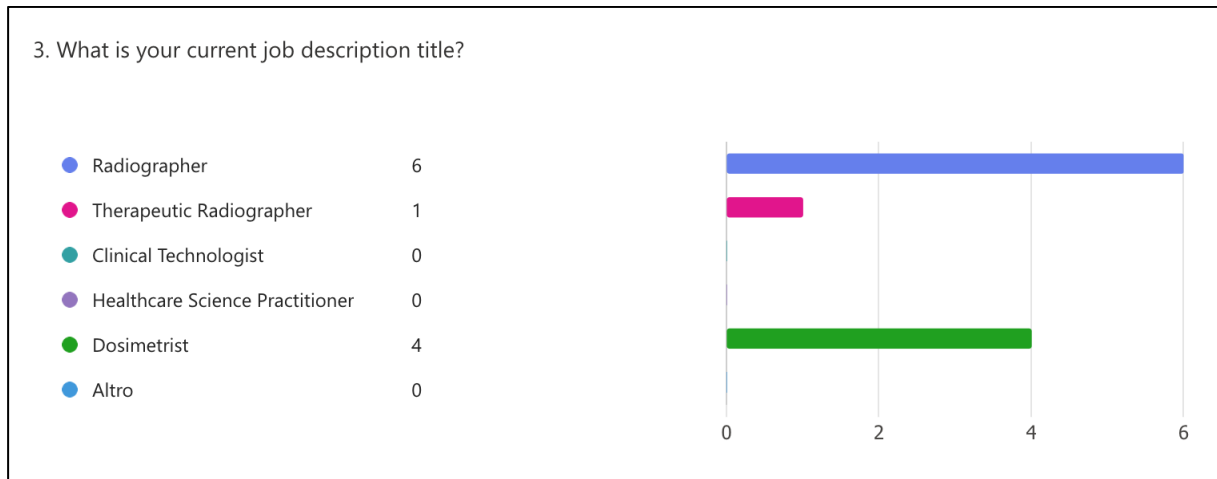


Figura 15. Risposte alla domanda 3: “What is your current job description title?”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Domanda 4. *If you could change your job title, what title would you prefer to use?*

Alla domanda “Se potessi cambiare il tuo titolo professionale, quale preferiresti usare?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. Tra questi, cinque hanno dichiarato di essere soddisfatti del titolo attuale, quattro hanno indicato la denominazione “Dosimetrist” [Dosimetrista] come la più adatta, un partecipante ha scelto la “Radiographer”, e un partecipante ha scelto “altro”, indicando “a title that included engineer” [un titolo che includa ingegnere].

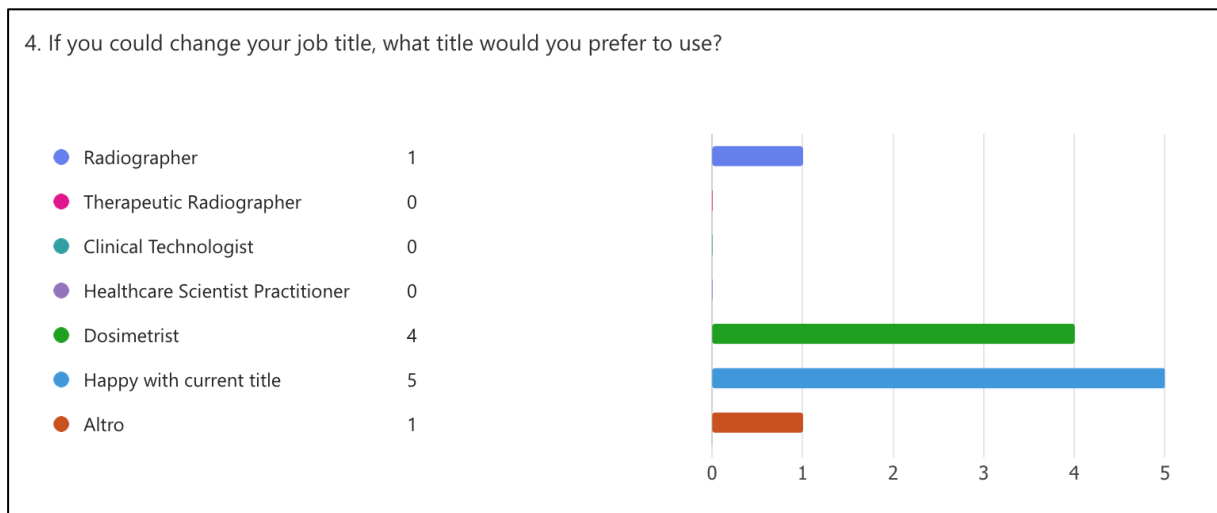


Figura 16. Risposte alla domanda 4: “If you could change your job title, what title would you prefer to use?”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Domanda 5. *If you wish to change your job title, why do you?*

Alla domanda aperta “Se desideri cambiare il tuo titolo professionale, perché?” hanno risposto 4 partecipanti su 11. Le motivazioni addotte evidenziano in particolar modo la percezione che il titolo attuale non descriva pienamente le attività svolte. Alcuni professionisti sottolineano di svolgere mansioni di natura altamente specializzata che non trovano riscontro nel titolo formale.

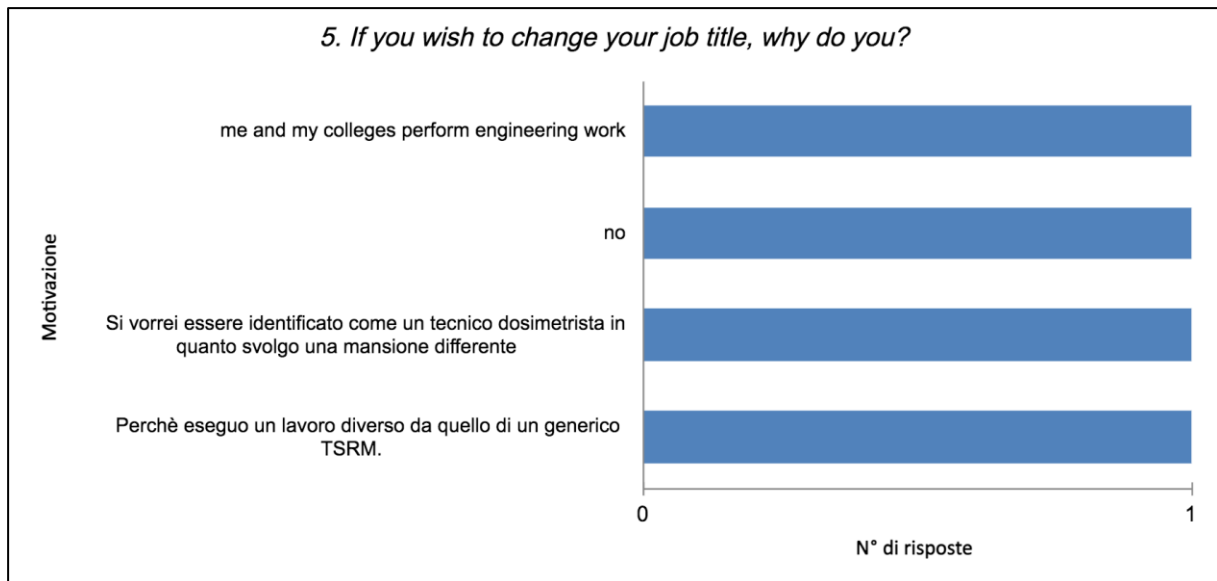


Figura 17. Risposte alla domanda 5: “If you wish to change your job title, why do you?”. Grafico generato con Excel.

Domanda 6. *What registers, professional bodies or organisations are you currently a member of?*

Alla domanda “A quali registri, enti professionali o organizzazioni appartieni attualmente?” hanno risposto 9 partecipanti su 11. In Italia, la totalità dei rispondenti fa riferimento all’Ordine dei TSRM e delle professioni sanitarie tecniche, mentre i partecipanti norvegesi hanno citato l’*Helsepersonellregisteret* (registro nazionale della salute) e il *Norwegian Radiographers’ Union*.



Figura 18. Risposte alla domanda 6: “*What registers, professional bodies or organisations are you currently a member of?*”. Grafico generato con Excel.

Domanda 7. *What tasks do you do in your job?*

Alla domanda “Quali attività svolgi nel tuo lavoro”, dove è possibile selezionare più di un’opzione, hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. Le attività riportate sono “Treatment Planning” [Pianificazione del trattamento] (9 rispondenti); “Specialist Planning (SRS/SABR/Proton)” [Pianificazioni specialistiche], (7 rispondenti); “Machine QA” (8 rispondenti); “Patient specific QA” [Controllo qualità specifico per il paziente] (7 rispondenti).

Non sono state invece riportate attività in aree come brachiterapia, dosimetria in vivo o *Mould room*.

I dati mettono in risalto come la pianificazione dei trattamenti rappresenti il nucleo principale delle mansioni quotidiane, a cui si affiancano controlli di qualità mirati alle apparecchiature e alle procedure specifiche del paziente.

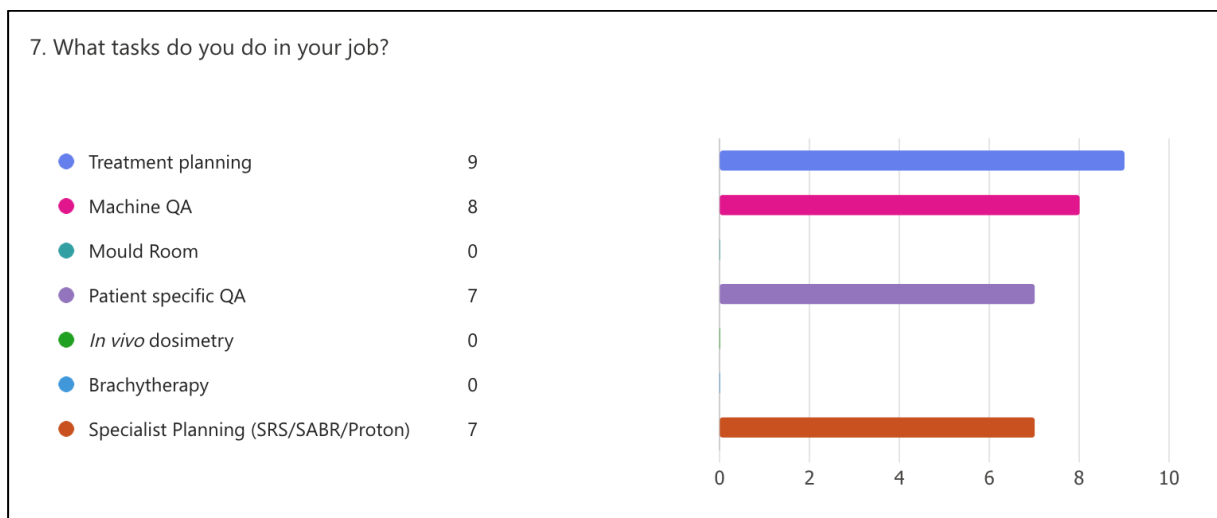


Figura 19. Risposte alla domanda 7: “*What tasks do you do in your job?*”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Domanda 8. *How much time do you spend on each task?*

Alla domanda “Quanto tempo dedichi a ciascuna attività?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. Le attività maggiormente rappresentate risultano essere *Treatment planning* [pianificazione del trattamento], *Machine QA* [controllo qualità delle apparecchiature] e *Patient-specific QA* [controllo qualità specifico per il paziente], ciascuna indicata da 8 rispondenti, con un tempo medio dedicato pari al 27%. Sette partecipanti hanno inoltre dichiarato di svolgere *Specialist planning* [Pianificazioni specialistiche (SRS/SABR/Protoni)], cui è stato attribuito in media il 18% del tempo lavorativo.

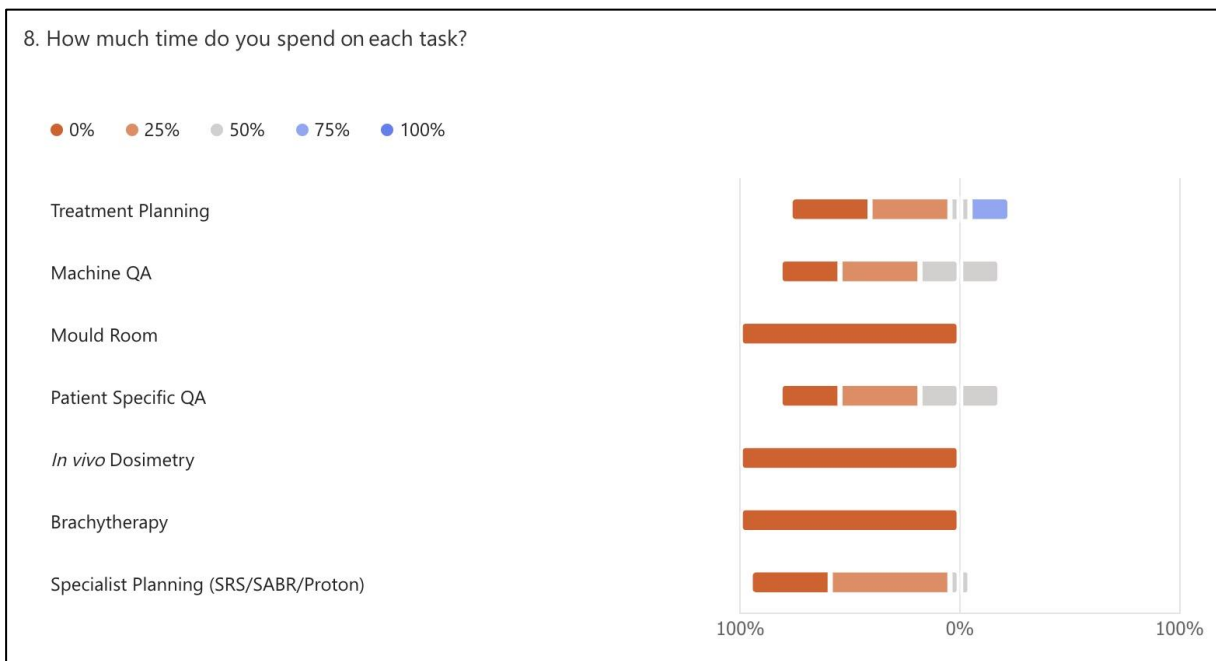


Figura 20. Risposte alla domanda 8: “How much time do you spend on each task?”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Domanda 9. *What TPS does your facility use?*

Alla domanda “Quale TPS utilizza la tua struttura?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. Quattro hanno selezionato Monaco (Elekta), quattro RayStation (RaySearch), uno ha selezionato Eclipse (Varian). Due rispondenti hanno selezionato l’opzione “altro”, indicando rispettivamente “Eclipse (for photons) and RayStation (for protons)” e “Eclipse, RayStation, ETM (Ethos Treatment Management)”.



Figura 21. Risposte alla domanda 9: “What TPS does your facility use?”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Domanda 10. *Do you take part in the OAR contouring process?*

Alla domanda “Prendi parte al processo di contornamento degli OAR?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. Solo tre degli undici intervistati prendono parte alla contornazione degli OAR.

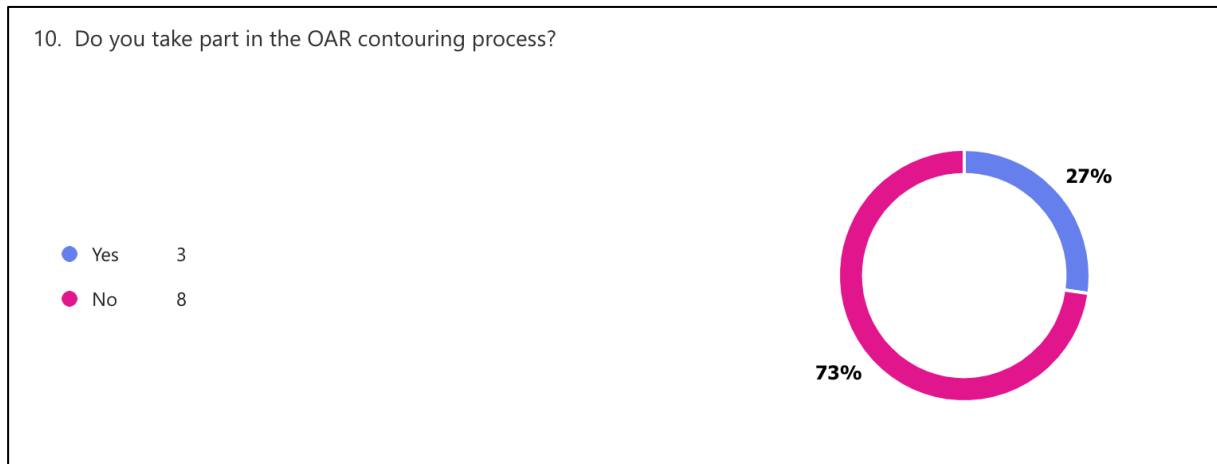


Figura 22. Risposte alla domanda 10: “Do you take part in the OAR contouring process?”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Domanda 11. *Do you use auto-contouring softwares for the OAR contouring?*

Alla domanda “Utilizzi software di contornamento automatico per gli OAR?” tutti e tre i partecipanti che prendono parte alla contornazione degli OAR utilizzano anche software di *auto-contouring*.

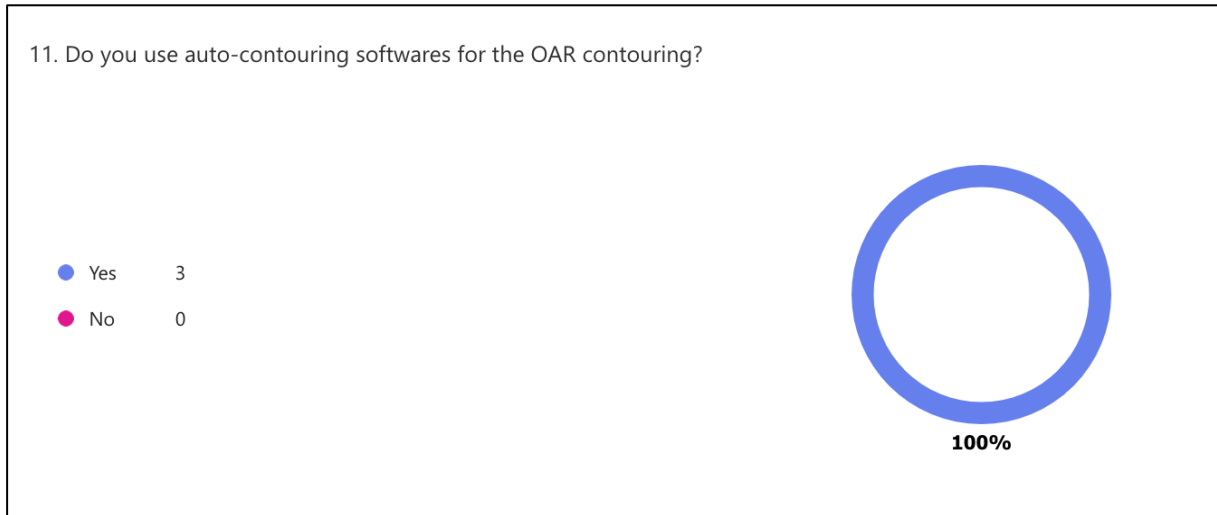


Figura 23. Risposte alla domanda 11: “Do you use auto-contouring softwares for the OAR contouring?”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Domanda 12. *If you would like refresher sessions, what topics would you like to see?*

Alla domanda “Se desideri sessioni di aggiornamento, su quali argomenti ti piacerebbe concentrarti?” hanno risposto 9 partecipanti su 11. Le richieste si concentrano principalmente su VMAT (3 rispondenti) e sulla pianificazione del trattamento (*Treatment planning*, 3 rispondenti). Sono stati inoltre indicati, con frequenze inferiori, *Patient-specific QA* (1 rispondente), fisica medica (1), biologia delle radiazioni (1), aggiornamenti generali di anatomia (1), SRS (*Stereotactic Radiosurgery*, Radiocirurgia Stereotassica) (1) e contouring addominale (1). Alcuni partecipanti hanno segnalato più di un argomento nella stessa risposta.

Il dato qualitativo evidenzia un forte interesse verso una formazione continua di tipo specialistico, mirata a consolidare competenze avanzate e a mantenere aggiornate le conoscenze teoriche di base.

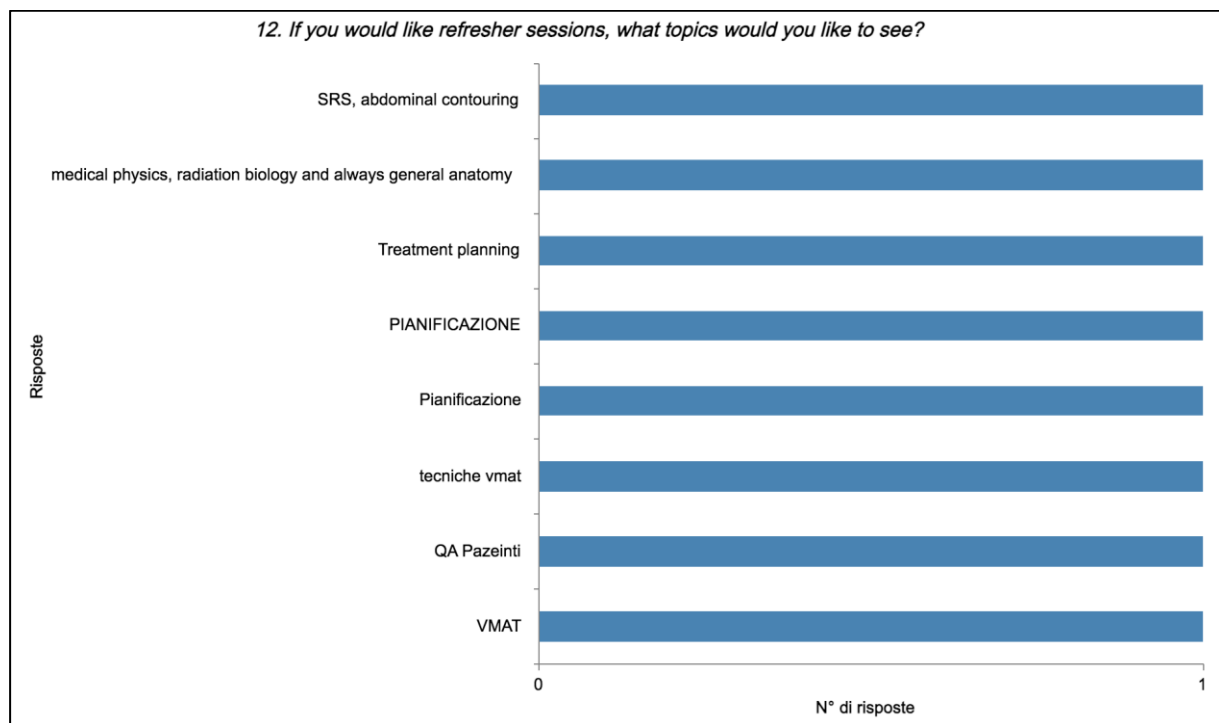


Figura 24. Risposte alla domanda 12 “*If you would like refresher sessions, what topics would you like to see?*”. Grafico generato con Excel.

Domanda 13. Which of the following services does your facility provide?

Alla domanda “Quali dei seguenti servizi offre la tua struttura?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. La totalità segnala la disponibilità di CT/simulation e Cone-beam CT (CBCT), a cui si affiancano varie tecniche come VMAT (9 rispondenti), Proton Therapy (7 rispondenti), IMRT (5 rispondenti) e Stereotactic Body Radiation Therapy - Radioterapia Stereotassica del Corpo (SBRT) (7 rispondenti). Pochi rispondenti riportano l'utilizzo di brachiterapia ad alto (3 rispondenti) o basso (2 rispondenti) rateo. Alcuni numeri riportati non combaciano con il numero di rispondenti per centro, ciò è probabilmente dovuto all'elevato numero di opzioni di risposta rispetto alle altre domande e da alcune opzioni simili ma con varianti (es. High-dose rate Brachytherapy e Low-dose rate Brachytherapy). Nonostante queste imprecisioni, le risposte permettono di avere un'idea generale delle tecnologie e dei trattamenti offerti dai centri: i dati raccolti mostrano che le strutture coinvolte dispongano di un'offerta tecnologica avanzata e diversificata, con una particolare concentrazione sulle tecniche di radioterapia conformazionale e sulla protonterapia.

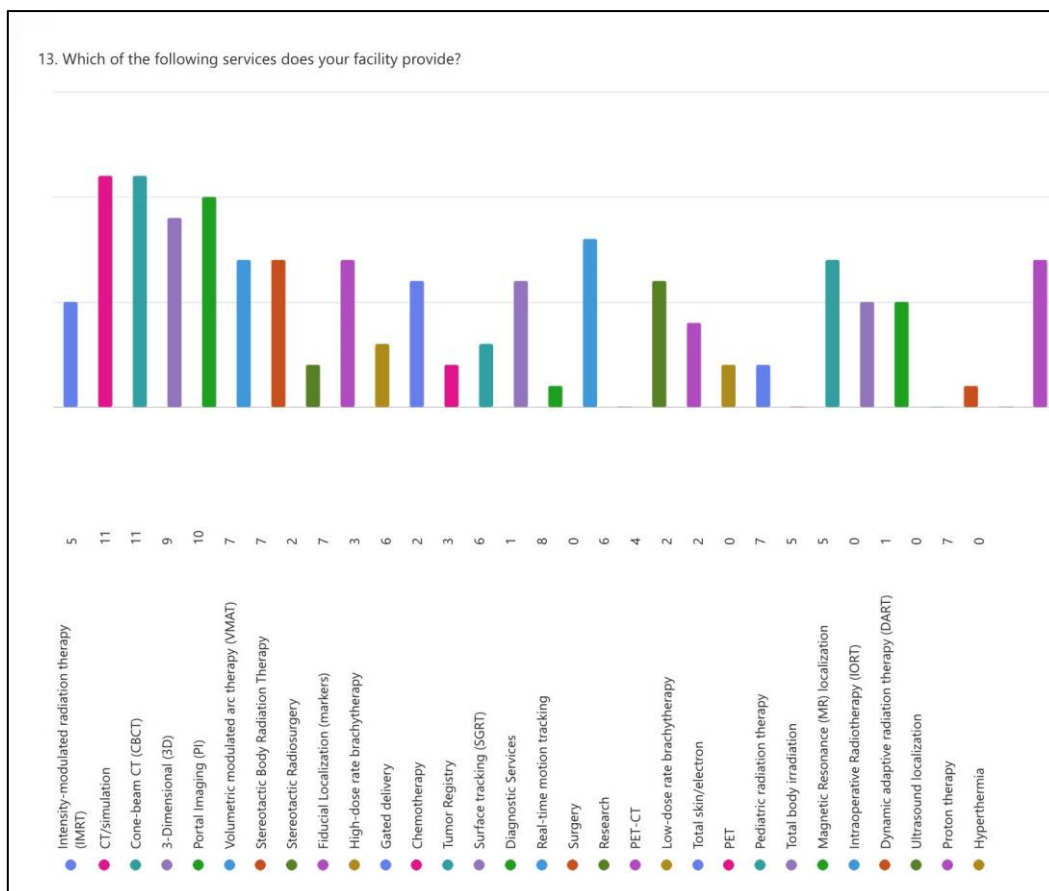


Figura 25. Risposte alla domanda 13: “Which of the following services does your facility provide?”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Domanda 14. *On average, how many patients are treated daily at your facility?*

Alla domanda “In media, quanti pazienti vengono trattati quotidianamente nella tua struttura?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. Le risposte si distribuiscono in tre fasce principali: quattro rispondenti indicano 31–40 pazienti al giorno, altri quattro rispondenti riportano un volume tra 81 e 90 pazienti, mentre i restanti tre rispondenti segnalano un carico superiore a 100 pazienti giornalieri.

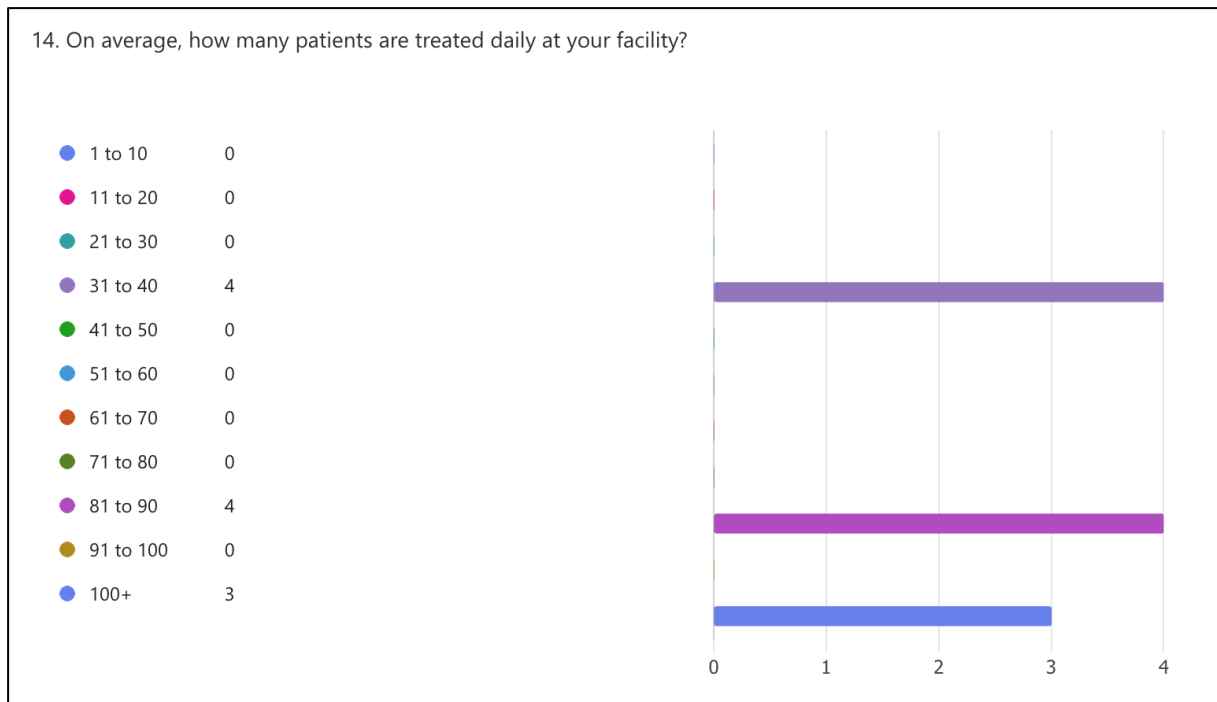


Figura 26. *Risposte alla domanda 14: “On average, how many patients are treated daily at your facility?”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.*

Domanda 15. *How many gantries are used in your facility?*

Alla domanda “Quanti gantry sono utilizzati nella tua struttura?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. Le strutture risultano così distribuite: quattro rispondenti dichiarano l’utilizzo di due gantry, quattro rispondenti indicano l’utilizzo di tre gantry, mentre tre rispondenti riportano di avere a disposizione più di cinque gantry.

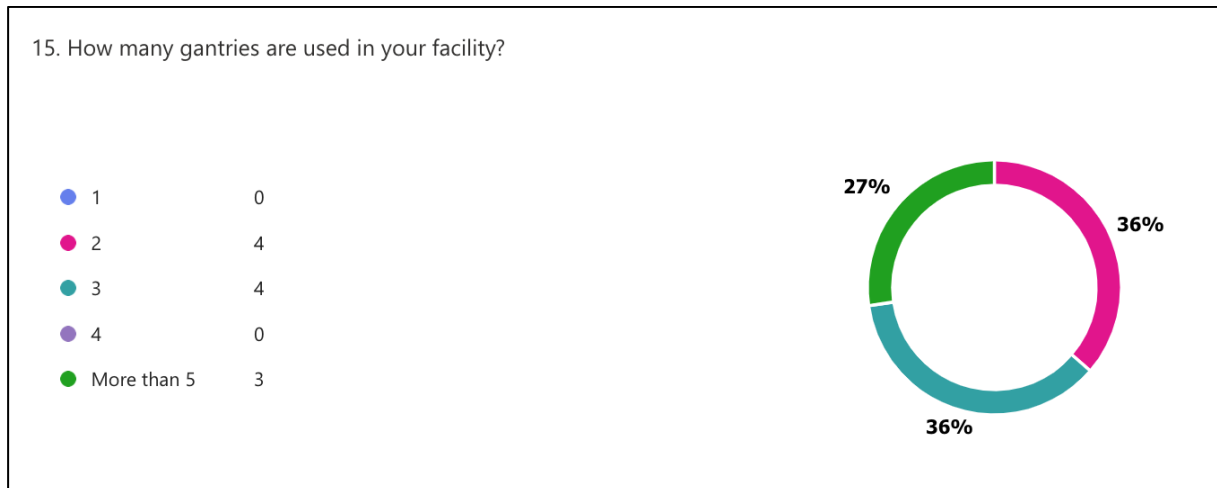


Figura 27. Risposte alla domanda 15 “How many gantries are used in your facilities?”. Grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Domanda 16. *How many full-time equivalent medical dosimetrists are budgeted in your department?*

Alla domanda “Quanti dosimetristi equivalenti a tempo pieno sono previsti nel tuo reparto?” hanno risposto tutti gli 11 partecipanti. Quattro dei rispondenti segnalano la presenza di 3–6 dosimetristi equivalenti a tempo pieno, mentre i restanti sette rispondenti indicano di disporre di oltre 6 professionisti.

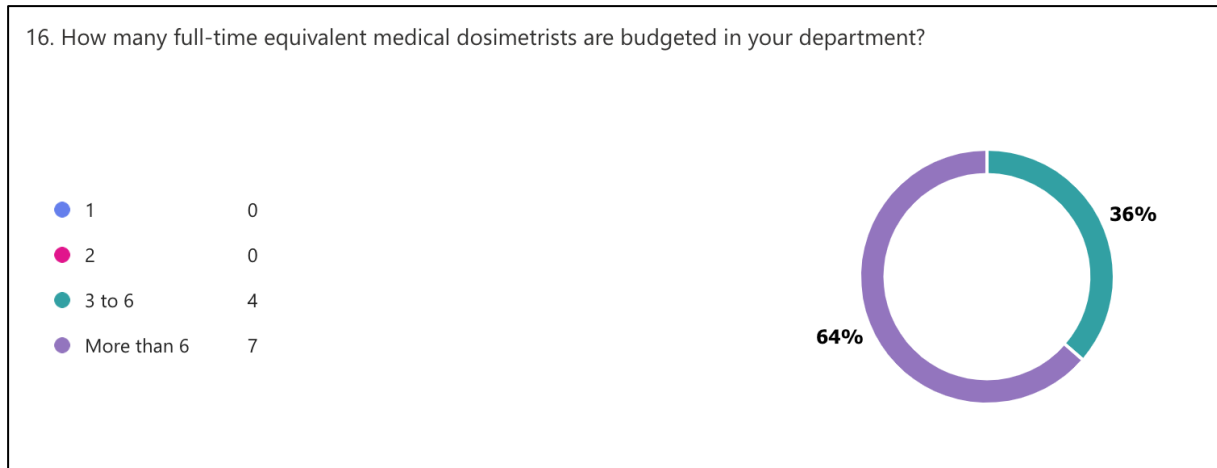


Figura 28. Risposte alla domanda 16: “How many full-time equivalent dosimetrists are budgeted in your department?”, grafico generato automaticamente da Microsoft Form.

Capitolo 6: Discussione

6.1 Interpretazione dei risultati

I dati raccolti dalla *survey* somministrata ai tre centri evidenziano come, nel contesto italiano, il ruolo del TSRM con funzioni di dosimetrista presenti ancora una marcata eterogeneità, in linea con quanto ipotizzato prima dell'indagine. Tutti i centri esaminati hanno come prerogativa quella di integrare i TSRM nelle fasi di pianificazione del trattamento, riconoscendone le competenze tecnico-cliniche e valorizzandone la capacità di interfacciarsi con medici radioterapisti e fisici sanitari, a differenza della maggioranza dei centri italiani, dove le attività relative alla pianificazione non prevedono un coinvolgimento del TSRM. Questo divario potrebbe rispecchiare differenze in termini di risorse disponibili, organizzazione interna e sensibilità gestionale, oltre alla presenza o meno di percorsi formativi mirati.

Quest'ultimo aspetto, ovvero la necessità di percorsi formativi e di aggiornamento continuo, emerge come un elemento di particolare rilevanza anche nei tre centri oggetto dell'indagine, inclusi quelli caratterizzati da un livello organizzativo più avanzato: le risposte fornite alla domanda 12 della *survey* ("Se desideri sessioni di aggiornamento, su quali argomenti ti piacerebbe concentrarti?") sottolineano come la formazione continua rappresenti un requisito imprescindibile per sostenere la crescita professionale e l'evoluzione delle competenze.

Dunque, un primo elemento interpretativo riguarda la mancanza di una standardizzazione a livello nazionale. Il coinvolgimento del TSRM nella responsabilità della pianificazione del trattamento, infatti, non è regolato in maniera uniforme, ma lasciato a discrezione delle singole strutture. Questa variabilità comporta conseguenze sia sul piano professionale, sia su quello organizzativo. Dal punto di vista dei TSRM ciò si traduce in un percorso di crescita non omogeneo, con possibilità di carriera e di riconoscimento diverse a seconda del centro di appartenenza, come emerso dalle risposte raccolte. Dal punto di vista delle unità di radioterapia, invece, una maggiore uniformità potrebbe impattare sulle modalità di pianificazione e sui tempi, rendendoli ancora più efficaci e favorendo il confronto e la condivisione di buone pratiche tra i diversi professionisti coinvolti.

Dall'analisi dei dati raccolti relativi alla distribuzione dei compiti dei TSRM dosimetristi dei tre centri, emerge che la pianificazione dei trattamenti rappresenta il nucleo principale delle attività quotidiane, a cui si affiancano quelle di controllo qualità incentrate sulle apparecchiature e sulle procedure specifiche di erogazione di dose al paziente. È osservabile anche nella scelta delle apparecchiature una certa diversità tra le strutture. A seconda delle risorse disponibili, infatti, ogni centro adotta un particolare sistema di pianificazione del trattamento (Monaco, Eclipse o RayStation), combinandolo con tecniche erogate (IMRT, VMAT, SBRT e protonterapia) di diverso livello.

Questi dati mostrano come le strutture coinvolte dispongano in generale di un'offerta tecnologica avanzata e diversificata, con una particolare attenzione alle tecniche di radioterapia conformazionale (tutti e tre i centri) e alla protonterapia (presente presso il centro di Protonterapia di Trento e presso l'Haukeland University Hospital di Bergen). Ciò può portare a pensare che il TSRM dosimetrista con conoscenze approfondite di pianificazione del trattamento si sia reso necessario a supporto dei medici radioterapisti e dei fisici medici nei centri laddove le tecnologie disponibili molto avanzate, che richiedono competenze specialistiche e un aggiornamento costante, necessitano di un team numeroso formato da personale multidisciplinare.

Dall'analisi complessiva dei dati si evince quindi un quadro organizzativo non uniforme delle unità di fisica sanitaria del reparto di radioterapia a livello nazionale dato principalmente dalla mancanza di criteri condivisi, formalizzati e, in particolare — per quanto attiene allo specifico oggetto di questa tesi — alla definizione, al riconoscimento e all'integrazione strutturata della figura del TSRM-dosimetrista con funzioni di pianificazione dei trattamenti. L'esperienza di altri paesi e degli esempi italiani riportati in cui tale integrazione invece è già consolidata, dimostra come essa non solo sia possibile, ma auspicabile, poiché associata a una maggiore specializzazione delle competenze, a una più efficiente allocazione dei carichi di lavoro tra fisici sanitari e TSRM, a una possibile riduzione dei tempi di avvio dei trattamenti, nonché a percorsi formativi e di carriera più chiari, con conseguente aumento della soddisfazione professionale. Promuovere un modello in cui le competenze siano distribuite e valorizzate in maniera sinergica potrebbe rappresentare un passo decisivo per migliorare ulteriormente l'efficienza delle unità operative.

6.2 Confronto con la letteratura

Il confronto con la letteratura internazionale selezionata all'inizio della ricerca, ovvero i due articoli *Radiation Therapy Staffing and Workplace Survey 2022* (American Society of Radiologic Technologists, 2022) e *A national survey of the radiotherapy dosimetrist workforce in the UK* (Blackler et al., 2022), consente di inquadrare i risultati della *survey* in un contesto più ampio, evidenziando somiglianze e differenze che ne facilitino l'interpretazione critica. La figura del dosimetrista in ogni Paese, infatti, si colloca all'interno di scenari organizzativi e legislativi particolari, che condizionano profondamente la formazione, le attività e le prospettive di carriera.

6.2.1 Il contesto britannico

Nel Regno Unito, la figura del dosimetrista è stata indagata in modo sistematico da Blackler et al. (2022), attraverso una *survey* nazionale che ha raccolto 223 risposte. I risultati hanno mostrato come il 57% dei professionisti dedichi oltre il 70% del tempo alla pianificazione del trattamento.

Dal punto di vista formativo, i dosimetristi britannici possono provenire da due percorsi: la laurea in Tecniche di Radioterapia (*Therapeutic Radiography*) oppure la formazione come *Clinical Technologist*, un percorso universitario specifico del Regno Unito, che forma tecnici sanitari specializzati in fisica medica. I *Therapeutic Radiographers* devono obbligatoriamente essere registrati presso l'HCPC (Health and Care Professions Council) per poter esercitare la professione, mentre i *Clinical Technologists* non ne hanno l'obbligo; possono tuttavia aderire al registro volontario dei *Clinical Technologists*, accreditato dal Professional Standards Authority, organismo indipendente che vigila sulla qualità degli enti regolatori.

Nel contesto britannico, quindi, per il ruolo del dosimetrista non esiste una regolamentazione unica e vincolante, bensì un sistema composito che garantisce comunque un buon grado di formalizzazione delle funzioni di dosimetria, pur con elementi di eterogeneità.

Sia in Italia che nel Regno Unito non esistono corsi universitari dedicati alla dosimetria; tuttavia, nelle università britanniche ci sono moduli di insegnamento specifici alla dosimetria in radioterapia e alla pianificazione del trattamento radioterapico. Nel

contesto britannico, quindi, la professione risulta più diffusa e meglio inquadrata, poiché si sviluppa come specializzazione di percorsi accademici ufficiali e regolamentati (*Therapeutic Radiography e Clinical Technology*), mentre in Italia la formazione rimane affidata a *training* interni e non trova un riconoscimento istituzionale.

Quasi un terzo degli intervistati ha dichiarato, inoltre, di non partecipare ad alcun programma di *Continuing Professional Development* (CPD).

6.2.2 Il contesto statunitense

Negli Stati Uniti, la professione di dosimetrista appare ancora più strutturata. La professione è supportata da due enti di riferimento: l'American Association of Medical Dosimetrists (AAMD), che rappresenta l'associazione professionale di riferimento, e il Medical Dosimetrist Certification Board (MDCB), che rilascia una certificazione nazionale. Sebbene questa certificazione non sia obbligatoria, essa costituisce lo standard più diffuso e richiesto dai datori di lavoro.

Dal punto di vista occupazionale, l'*ASRT Radiation Therapy Staffing and Workplace Survey 2022* ha rilevato un tasso di posti vacanti per dosimetristi pari all'11,4%, in aumento rispetto al 9,6% registrato nel 2020. Questo dato sottolinea come la domanda di dosimetristi stia crescendo, anche in relazione all'espansione di servizi avanzati come IMRT, VMAT, Protonterapia e SRS, che richiedono competenze specifiche in pianificazione.

Rispetto all'Italia, la differenza principale si individua nella definizione del percorso formativo: negli USA esistono programmi universitari dedicati e una certificazione nazionale che, sebbene non obbligatoria, è fortemente raccomandata e riconosciuta dai datori di lavoro. Al contrario, in Italia manca un percorso accademico formalizzato e la formazione è per lo più "*on the job*", con rischio di disomogeneità nella qualità dell'apprendimento. È importante precisare, però, che negli Stati Uniti il titolo di "dosimetrista" non è regolamentato da un albo professionale statale, ma si è consolidato come professione distinta grazie al riconoscimento da parte delle associazioni e al valore della certificazione MDCB.

6.2.3 Il contesto europeo

A livello europeo, il quadro risulta variegato. Il progetto HERO (Health Economics in Radiation Oncology), promosso da ESTRO, ha mostrato una notevole frammentazione nel riconoscimento della figura del dosimetrista. In molti Paesi, infatti, questa professione non esiste formalmente e le attività di pianificazione sono affidate a RTT (*Radiation Therapy Technologists*), fisici medici o, in alcuni casi, infermieri.

Tale diversità è il riflesso di sistemi educativi e organizzativi differenti, così come di quadri legislativi nazionali non uniformi. Alcuni Stati hanno avviato percorsi di formalizzazione del ruolo, mentre altri mantengono modelli basati su una suddivisione delle mansioni tra più professionisti, senza una figura specifica di dosimetrista.

Anche in Italia, come già affrontato, la figura non è ancora regolamentata: il TSRM-dosimetrista opera in alcune realtà, ma senza una cornice nazionale condivisa. Di conseguenza, vi sono centri con alta specializzazione e forte integrazione del TSRM nei compiti di pianificazione e altri in cui queste funzioni sono demandate quasi esclusivamente ai fisici medici.

6.2.4 L'Italia nel confronto internazionale

Collocando i dati italiani all'interno di un tale contesto, ne emerge una posizione intermedia. Se, da un lato, l'Italia condivide con molti Paesi europei l'assenza di un riconoscimento ufficiale della figura del dosimetrista, dall'altro la presenza di TSRM che già svolgono attività di pianificazione è presente sul territorio nazionale.

La principale criticità resta la mancanza di un percorso formativo specifico e riconosciuto su tutto il territorio, di un albo o registro professionale dedicato e di standard condivisi per lo sviluppo professionale continuo.

Le differenze rispetto a Regno Unito e Stati Uniti, tuttavia, non devono essere interpretate esclusivamente come un ritardo. Esse riflettono piuttosto modelli organizzativi a sé stanti: il sistema sanitario italiano, caratterizzato da una forte componente pubblica e da una gestione regionale, ha seguito percorsi autonomi nello sviluppo delle competenze. La sfida per il futuro sarà quindi quella di definire un quadro formativo e normativo che sappia valorizzare le esperienze già esistenti, promuovere

una progressiva armonizzazione degli standard e consolidare la figura del TSRM-dosimetrista anche a livello istituzionale.

6.3 Riflessione critica

La metodologia della raccolta dei dati, realizzata attraverso la *survey* riportata nel paragrafo 4.1.2 (Tabella 3. Allegato 1.), presenta alcune fragilità.

Il primo limite evidente concerne la dimensione del campione. La *survey* italiana è stata proposta a un ristretto numero di professionisti e, conseguentemente, le risposte non sono sufficienti a rappresentare l'intero panorama nazionale. Questa caratteristica riduce la possibilità di generalizzare i risultati e di trarre conclusioni definitive sulle tendenze in atto nei diversi contesti clinici. Inoltre, il numero limitato di partecipanti impedisce di effettuare analisi statistiche più raffinate, come il confronto tra tipologie di struttura, tecnologie disponibili, macroaree geografiche, e così via.

Un secondo aspetto riguarda la validità dello strumento di rilevazione. Il questionario impiegato, pur costruito sulla base della letteratura e di esperienze internazionali, non è validato né a livello nazionale, né internazionale. Ciò significa che non può essere considerato uno strumento standard di misurazione, limitando la possibilità di confronti diretti con i dati raccolti in altri Paesi.

Un ulteriore limite è rappresentato dal *bias* di selezione. La *survey* è stata proposta solamente a centri dove è già stato avviato, con successo, l'inserimento dei TSRM nelle attività di pianificazione dei trattamenti. Ciò comporta il rischio di sottostimare le difficoltà ancora presenti in contesti con caratteristiche, opportunità e risorse differenti.

Va inoltre considerata la disomogeneità organizzativa del sistema sanitario italiano. Le disuguaglianze rilevate tra l'organizzazione delle diverse regioni, così come tra grandi centri urbani e ospedali periferici, possono essere attribuite a disparità strutturali preesistenti, così come a un approccio consapevolmente diverso alla figura del dosimetrista.

Nonostante i limiti evidenziati, i risultati hanno comunque permesso di delineare un'iniziale analisi del ruolo del TSRM dosimetrista che partecipa alla pianificazione del

trattamento radioterapico, auspicabilmente fornendo spunti di riflessione e una base da cui partire per future analisi e comparazioni di altri centri.

6.4 Implicazioni pratiche e teoriche

In linea con l'obiettivo della tesi, i dati suggeriscono che un maggiore coinvolgimento strutturato dei TSRM nelle attività di dosimetria e pianificazione potrebbe generare benefici concreti. Una distribuzione più equilibrata delle attività consentirebbe di alleggerire il carico di lavoro dei fisici sanitari, migliorando l'efficienza complessiva dei reparti e, nei centri caratterizzati da un elevato afflusso di pazienti, riducendo eventuali tempi di attesa per l'avvio dei trattamenti radioterapici. Questo cambiamento rappresenterebbe un grande vantaggio nella lotta oncologica, dove tempistiche celeri sono essenziali per una terapia efficace.

Sul piano teorico, la presente ricerca contribuisce a definire un quadro preliminare del ruolo del TSRM-dosimetrista in Italia, colmando una lacuna nella letteratura nazionale. Essa apre il dibattito sulla necessità di percorsi formativi specifici, in linea con i modelli consolidati del Regno Unito e della Norvegia, e stimola una riflessione sulla natura multidisciplinare della moderna radioterapia.

Il riconoscimento formale della figura avrebbe inoltre importanti risvolti dal punto di vista professionale: chiarire competenze e responsabilità significherebbe offrire un percorso di carriera più definito e motivante, con effetti positivi anche sulla soddisfazione lavorativa e sulla *retention* del personale sanitario.

6.5 Prospettive future

Tenendo conto del vuoto bibliografico riscontrato all'inizio della ricerca per la presente tesi, l'auspicio è quello di veder realizzare *survey* nazionali multicentriche di più ampia portata, coordinate da società scientifiche o enti istituzionali, per ottenere dati rappresentativi e comparabili nel tempo. Un simile percorso permetterebbe di consolidare una base di conoscenze utile a orientare linee guida professionali e scelte organizzative, riducendo la disomogeneità oggi presente tra i diversi centri.

In tale prospettiva, il lavoro qui presentato può costituire uno spunto per ulteriori approfondimenti, anche sotto forma di future tesi di ricerca, finalizzate a convalidare lo strumento di indagine elaborato e a testarne l'applicabilità su campioni più ampi e diversificati. L'affidabilità e la replicabilità di un questionario strutturato, infatti, rappresentano condizioni indispensabili per produrre dati comparabili tra centri, e quindi per supportare la definizione di standard condivisi a livello nazionale e internazionale.

Capitolo 7: Conclusioni

Il presente lavoro ha indagato, con un approccio esplorativo, l'integrazione del TSRM con funzioni di dosimetrista all'interno di unità operative di radioterapia, con particolare attenzione al suo coinvolgimento nella pianificazione dei trattamenti radioterapici. La cornice teorico-storica e normativa ha mostrato come l'evoluzione tecnologica abbia progressivamente ampliato lo spettro di competenze richieste, senza però condurre — nel contesto italiano — a una piena omogeneità organizzativa tra le strutture, né a una definizione condivisa del ruolo operativo del TSRM in fisica sanitaria. Su questo sfondo si collocano le tre esperienze considerate (Bologna, con l'Ospedale Bellaria, Trento, con il Centro di Protonterapia, Bergen, con L'Ospedale universitario Haukeland), scelte proprio in quanto esempi dove i TSRM hanno competenze di pianificazione dei trattamenti, e per cogliere varianti organizzative e tecnologiche significative in un confronto metropolitano-nazionale-internazionale.

I risultati della *survey*, somministrata a undici professionisti distribuiti nei tre centri, confermano un quadro non uniforme: la pianificazione dei trattamenti e i compiti di QA su apparecchiature costituisce il nucleo comune delle attività; si osserva inoltre una pluralità di tecniche erogate (IMRT, VMAT, SBRT, protonterapia), che indicano quindi workflow specifici per ciascun contesto.

Sul piano metodologico, lo studio ha volutamente adottato strumenti agili (questionario in lingua inglese somministrato online, domande standardizzate e rielaborate da fonti internazionali) per garantire comparabilità e includere un caso estero. La dimensione del campione ridotta, pur rappresentando un limite, ha consentito di ottenere una fotografia affidabile dei tre contesti osservati e di affinare una griglia di rilevazione replicabile su scala più ampia. In prospettiva, la ricerca potrà essere estesa mediante campagne di raccolta dati coordinate, così da consolidare riferimenti nazionali condivisi su ruoli, competenze, dotazioni tecnologiche e indicatori di esito.

Alla luce di quanto emerso, appare auspicabile promuovere una cornice nazionale di standard per l'impiego del TSRM-dosimetrista in pianificazione dei trattamenti radioterapici, capace di valorizzare competenze già presenti e, al contempo, di rendere confrontabili i processi tra centri senza snaturarne le specificità tecnologiche. In questo senso, è fondamentale specificare che il coinvolgimento del TSRM nella pianificazione

dei trattamenti deve configurarsi in un'ottica di collaborazione interprofessionale con fisici e medici radioterapisti, ponendosi come un'integrazione di competenze finalizzata a migliorare la qualità e l'efficienza dei trattamenti.

È ugualmente importante dare continuità a iniziative di ricerca applicata che misurino l'impatto del coinvolgimento dei TSRM su indicatori oggettivi (tempi di elaborazione, accuratezza dosimetrica, rispetto dei vincoli clinici, *outcome* clinici), e soggettivi (soddisfazione professionale).

Un ulteriore elemento di rilievo riguarda la formazione accademica e professionale: l'introduzione di percorsi universitari o master dedicati alla pianificazione dei trattamenti e alla dosimetria rappresenterebbe un passo decisivo verso la piena professionalizzazione del ruolo. Integrare moduli di dosimetria avanzata nei corsi di laurea e attivare programmi di formazione continua consentirebbe di colmare il divario con i Paesi in cui la figura è già riconosciuta e normata. In questo senso, i risultati di *survey* standardizzate possono concorrere alla progettazione di tali moduli, costruiti sulle esigenze rilevate, e andrebbero corroborati da studi capaci di valutare l'impatto del coinvolgimento dei TSRM sulla qualità, sugli *outcome* clinici e sulla soddisfazione professionale. Parallelamente, la valorizzazione di collaborazioni internazionali e di progetti di cooperazione transnazionale appare fondamentale per accelerare il trasferimento di buone pratiche e favorire la convergenza su linee guida condivise, in un contesto tecnologico in continua evoluzione.

In definitiva, questo lavoro rappresenta un primo passo in tale direzione e potrà costituire la base per future ricerche o tesi di approfondimento volte a convalidare lo strumento di indagine proposto e a verificarne l'applicabilità su scala più ampia.

Bibliografia

1. AIRO, AIFM, SNR, & FNCTSRM. (2019). *Management della erogazione delle prestazioni in Radioterapia oncologica*. Quotidiano Sanità. <https://www.quotidianosanita.it/allegati/allegato6414502.pdf>
2. American Society of Radiologic Technologists (ASRT). (2022). *Radiation Therapy Staffing and Workplace Survey 2022*. https://www.asrt.org/docs/default-source/research/staffing-surveys/radiation-therapy-staffing-and-workplace-survey-2022.pdf?sfvrsn=121fbbd0_4
3. Balducci, M., Valentini, V., & Trodella, L. (Eds.). (2013). *Elementi di radioterapia oncologica: Manuale per tecnici sanitari di radiologia medica*. Roma: Società Editrice Universo.
4. Baatout, S. (Ed.). (2023). *History of Radiation Biology*. In D. Kardamakis, S. Baatout, M. Bourguignon, N. Foray, & Y. Socol (Eds.), *Radiology Textbook*. Cham: Springer.
5. Blackler, N., Bradley, K. E., Kelly, C., Murphy, S., Cross, C., & Kirby, M. (2022). A national survey of the radiotherapy dosimetrist workforce in the UK. *Clinical Oncology*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36063424/>
6. Decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101. (2020). *Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, Titolo XIII – Esposizioni mediche, art. 160*. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, n. 201, 12 agosto 2020, Suppl. ord. n. 29.
7. Doi, K., Morita, K., Sakuma, S., & Takahashi, M. (2011). Shinji Takahashi, M.D. (1912–1985): Pioneer in early development toward CT and IMRT. *Radiological Physics and Technology*. Japanese Society of Radiological Technology & Japan Society of Medical Physics. <https://doi.org/10.1007/s12194-011-0131-4>
8. Federazione Nazionale Collegi Professionali Tecnici Sanitari di Radiologia Medica. (2004). *Codice deontologico del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica*.
9. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). (1993). *Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy (Report 50)*. Bethesda, MD: ICRU.

10. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). (1999). *Prescribing, recording, and reporting photon beam therapy (Supplement to ICRU Report 50, Report 62)*. Bethesda, MD: ICRU.
11. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). (2010). *Prescribing, recording, and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT) (Report 83)*. Bethesda, MD: ICRU.
12. Istituto Superiore di Sanità (ISS). (2002). *Rapporto ISTISAN 02/20*.
13. Legge 251/2000. (2000). *Disciplina delle professioni sanitarie infermieristiche, tecniche, della riabilitazione, della prevenzione nonché della professione ostetrica. Gazzetta Ufficiale*.
14. Legge 43/2006. (2006). *Disposizioni in materia di professioni sanitarie infermieristiche, ostetriche, riabilitative, tecnico-sanitarie e della prevenzione. Gazzetta Ufficiale*.
15. Rossato, M. A. (2022). *Ruolo del TSRM Dosimetrista nel processo di pianificazione del trattamento*. TSRM UOC Fisica Sanitaria, Istituto Oncologico Veneto.
16. Tsien, K. C. (1954). The application of automatic computing machines to radiation treatment planning. *British Journal of Radiology*, 68(814). <https://doi.org/10.1259/0007-1285-68-814-H157>
17. Van de Geijn, J. (1970). A computer program for 3-D planning in external beam radiation therapy, EXTDOS. *Computer Programs in Biomedicine*, 1, 47–57.
18. Van de Graaff, R. J., Compton, K. T., & Van Atta, L. C. (1933). The electrostatic production of high voltage for nuclear investigations. *Physical Review*, 43, 149–157. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.43.149>
19. Webster, J. H. D. (1934). The protracted-fractional X-ray method (Coutard) in the treatment of cancer of the larynx. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 27(7), 897–908. <https://doi.org/10.1177/003591573402700721>
20. Williams, E. G. (1906). *The regulation and measurement of the therapeutic dose of the Roentgen ray* (Vol. 3, Francis A. Countway Library of Medicine). Boston: Richard G. Badger.

Sitografia

1. Archives of Physiological Therapy. (1906). The regulation and measurement of the therapeutic dose of the Roentgen ray (Vol. 3, pp. 71–72). *Internet Archive*. <https://archive.org/details/archivesofphysio31906bost>
2. Columbia University Libraries. (2025). *Koo, V. K. Wellington, Patricia Koo Tsien and Kia Chi Tsien papers*. Columbia University. <https://clio.columbia.edu/catalog/17690239>
Ultimo accesso: 5 agosto 2025
3. CyberKnife. (s.d.). *CyberKnife technology*. <https://cyberknife.com/cyberknife-technology/>
Ultimo accesso: 1 agosto 2025
4. Digital Equipment Corporation. (1972–1978). *Digital Equipment Corporation – Nineteen Fifty Seven to the Present*. Computer History Museum. <https://archive.computerhistory.org/resources/access/text/2018/08/102740407-05-01-acc.pdf>
Ultimo accesso: 6 agosto 2025
5. Lewinsen, K. (2022). *Reducing bowel toxicity for rectal cancer with CBCT-based online adaptive radiotherapy* [Master's thesis, University of Bergen]. BORA. https://bora.uib.no/bora-xmlui/bitstream/handle/11250/3000783/MT_KarolineLewinsen.pdf?sequence=1&isAllowed=y
6. OAPEN Library. (s.d.). *Radiobiology Textbook*. OAPEN. <https://library.oapen.org>
7. Oslo Metropolitan University. (s.d.). *Stråleterapi*. <https://www.oslomet.no/studier/hv/evu-hv/straleterapi>
Ultimo accesso: 10 maggio 2025
8. Philips Company Archives. (2025). *Metalix and Rotalix: Pioneering innovations in X-ray technology*. Philips Museum. <https://www.philips.nl/en/a-w/philips-museum/stories/metalix-rotalix.html>
Ultimo accesso: 10 agosto 2025
9. Protonterapia Trento. (s.d.). *Protonterapia Provincia di Trento*. <https://protonterapia.provincia.tn.it/>
Ultimo accesso: 30 agosto 2025

10. PubMed. (2023). *[Article ID: 37149399]*.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37149399/>
11. Varian. (s.d.). *Ethos adaptive therapy*.
<https://www.varian.com/products/adaptive-therapy/ethos>
Ultimo accesso: 10 maggio 2025
12. Virtual Museum of Medical Physics. (2025). *Treatment planning and the development of modern external beam radiotherapy*. History Committee of the American Association of Physicists in Medicine.
<https://museum.aapm.org/exhibit/13-treatment-planning-and-the-development-of-modern-external-beam-radiotherapy/>
Ultimo accesso: 6 agosto 2025

Allegati

- **Allegato 1:** *Survey* somministrata
- **Allegato 2:** Risposte raccolte con la *survey*

Allegato 1: Survey somministrata

1. How long have you been working in dosimetry planning?

- Less than 1 year
- 1-2 years
- 2-5 years
- 5-10 years
- 10+ years

2. What training route did you initially follow?

- Radiographer
- Therapeutic Radiographer
- Clinical Technologist
- Healthcare Science Practitioner
- Dosimetrist
- Other

3. What is your current job description title?

- Radiographer
- Therapeutic Radiographer
- Clinical Technologist
- Healthcare Scientist Practitioner
- Dosimetrist
- Happy with current title
- Other

4. If you could change your job title, what title would you prefer to use?

- Open-ended response

5. If you wish to change your job title, why do you?

- Open-ended response

6. What registers, professional bodies or organisations are you currently a member of?

- Open-ended response

7. What tasks do you do in your job?

- Treatment planning
- Machine QA
- Mould Room
- Patient specific QA
- In vivo dosimetry
- Brachytherapy
- Specialist Planning (SRS/SABR/Proton)

8. How much time do you spend on each task?

	0%	25%	50%	75%	100%
Treatment planning					
Machine QA					
Mould Room					
Patient specific QA					
In vivo dosimetry					
Brachytherapy					
Specialist Planning (SRS/SABR/Proton)					

9. What TPS does your facility use?

- Pinnacle Evolution
- Monaco (Elekta)
- Eclipse (Varian)
- RayStation (RaySearch)
- Other

10. Do you take part in the OAR contouring process?

- Yes
- No

11. Do you use auto-contouring softwares for the OAR contouring?

- Yes
- No

12. If you would like refresher sessions, what topics would you like to see?

- Open-ended question

13. Which of the following services does your facility provide?

- Intensity-modulated radiation therapy (IMRT)
- CT/simulation
- Cone-beam CT (CBCT)
- 3-Dimensional (3D)
- Portal Imaging (PI)
- Volumetric modulated arc therapy (VMAT)
- Stereotactic Body Radiation Therapy
- Stereotactic Radiosurgery
- Fiducial Localization (markers)
- High-dose rate brachytherapy
- Gated delivery
- Chemotherapy
- Tumor Registry
- Surface tracking (SGRT)
- Diagnostic Services
- Real-time motion tracking
- Surgery
- Research
- PET-CT
- Low-dose rate brachytherapy
- Total skin/electron
- PET
- Pediatric radiation therapy
- Total body irradiation
- Magnetic Resonance (MR) localization
- Intraoperative Radiotherapy (IORT)
- Dynamic adaptive radiation therapy (DART)
- Ultrasound localization
- Proton therapy
- Hyperthermia

14. On average, how many patients are treated daily at your facility?

- 1 to 10
- 11 to 20
- 21 to 30
- 31 to 40
- 41 to 50
- 51 to 60
- 61 to 70
- 71 to 80
- 81 to 90
- 91 to 100
- 100+

15. How many gantries are used in your facility?

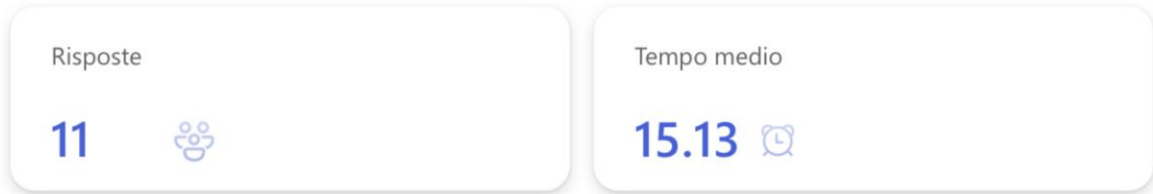
- 1
- 2
- 3 to 6
- More than 6

16. How many full-time equivalent medical dosimetrists are budgeted in your department?

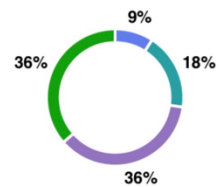
- 1
- 2
- 3 to 6
- More than 6

Allegato 2: Risposte raccolte con la survey

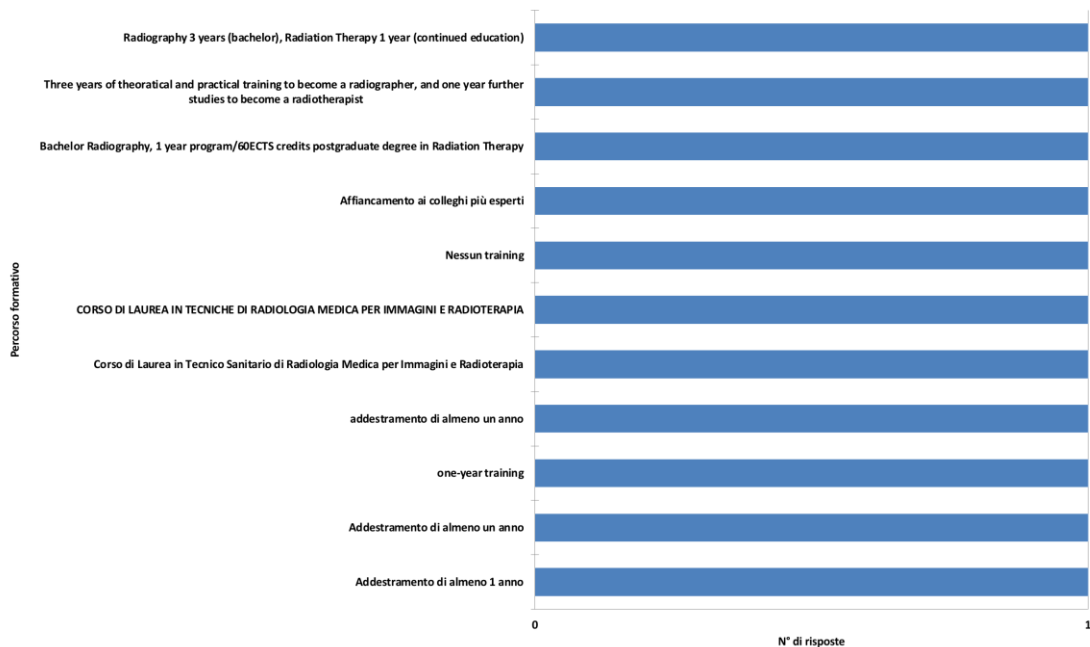
Panoramica delle risposte



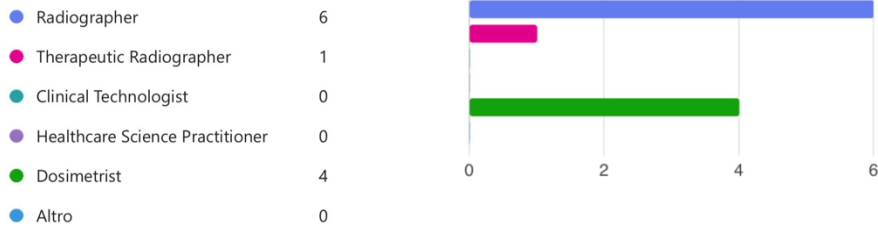
1. How long have you been working in dosimetry planning?



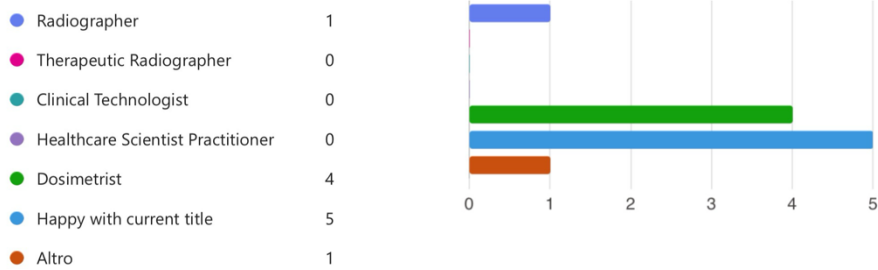
2. What training route did you initially follow?



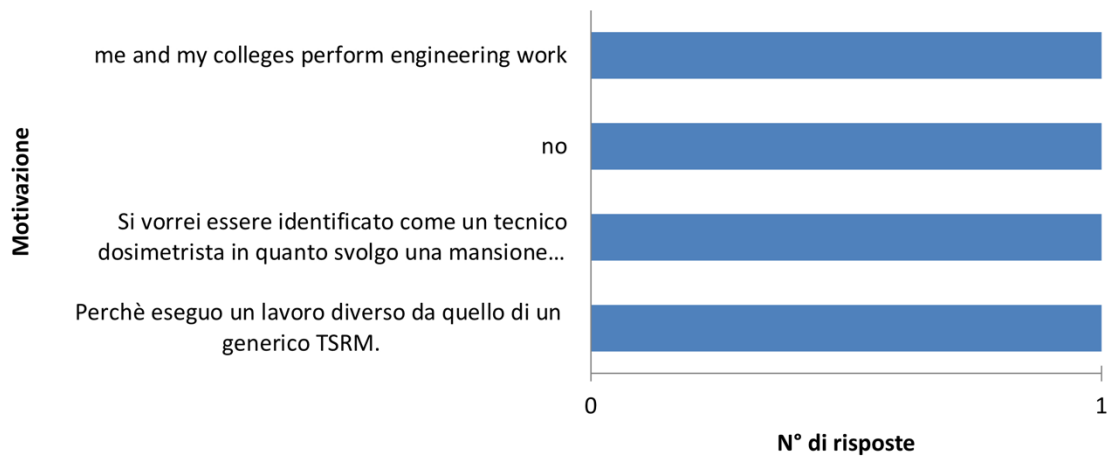
3. What is your current job description title?



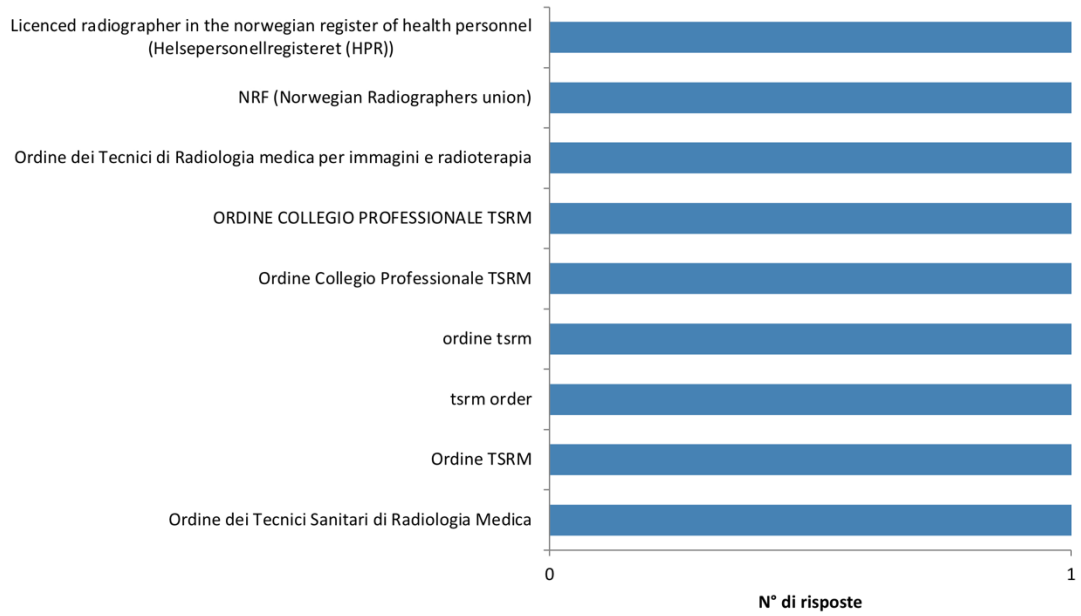
4. If you could change your job title, what title would you prefer to use?



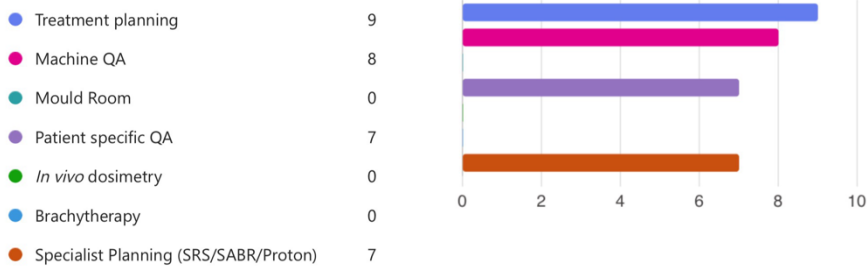
5. If you wish to change your job title, why do you?



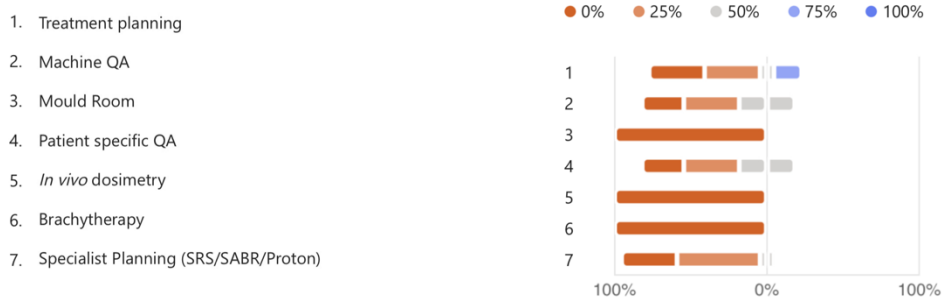
6. What registers, professional bodies or organisations are you currently a member of?



7. What tasks do you do in your job?

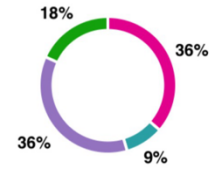


8. How much time do you spend on each task?



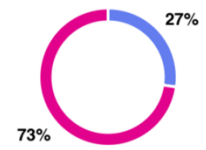
9. What TPS does your facility use?

● Pinnacle Evolution	0
● Monaco (Elekta)	4
● Eclipse (Varian)	1
● RayStation (RaySearch)	4
● Altro	2



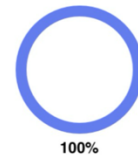
10. Do you take part in the OAR contouring process?

● Yes	3
● No	8

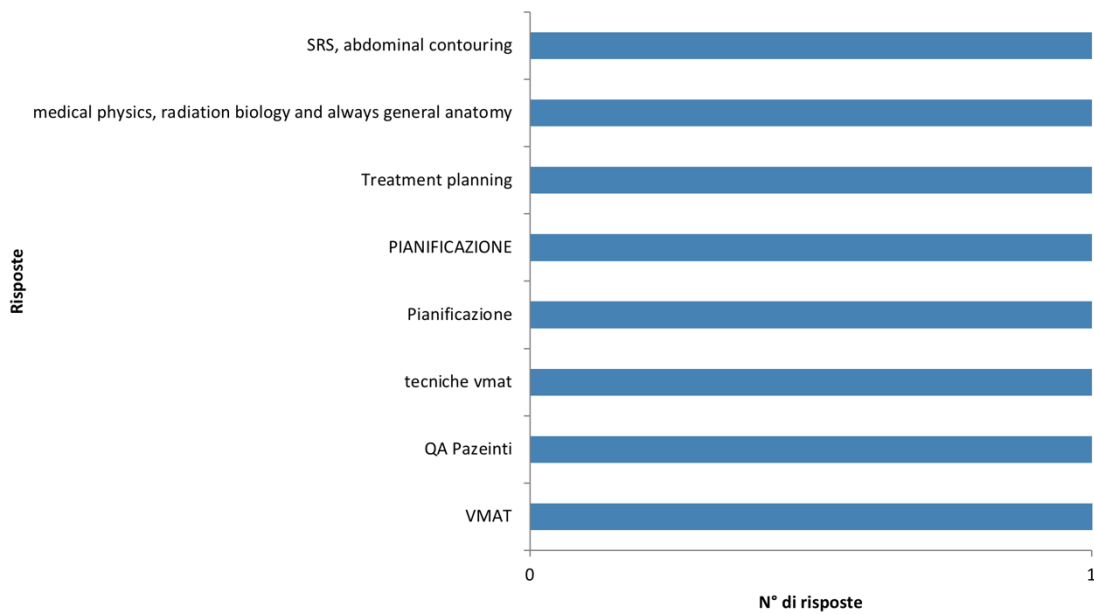


11. Do you use auto-contouring softwares for the OAR contouring?

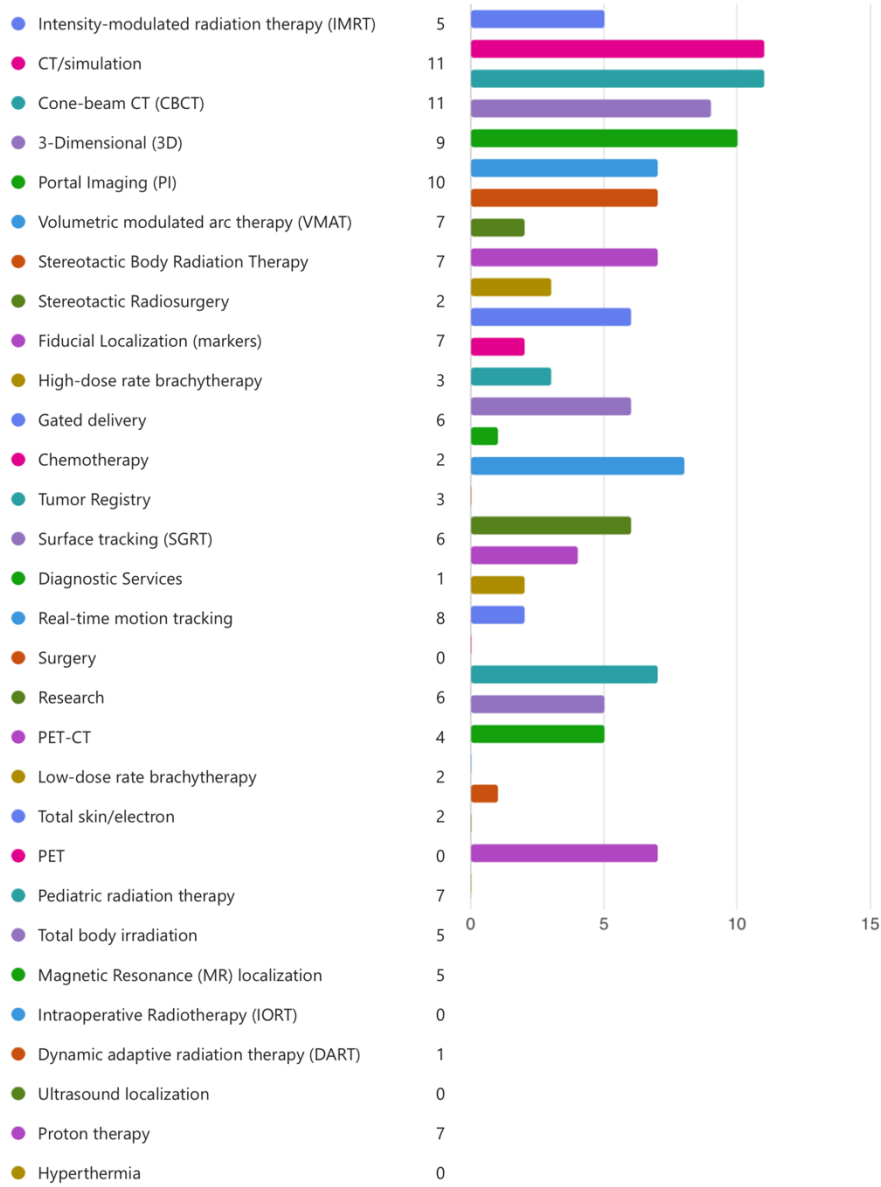
● Yes	3
● No	0



12. If you would like refresher sessions, what topics would you like to see?

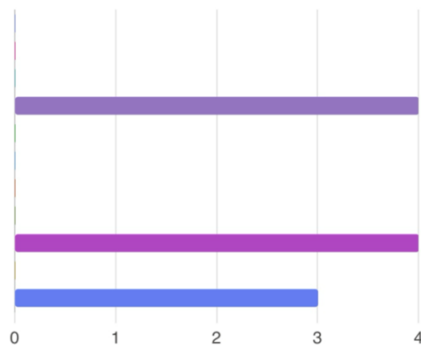


13. Which of the following services does your facility provide?



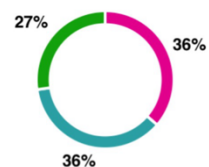
14. On average, how many patients are treated daily at your facility?

1 to 10	0
11 to 20	0
21 to 30	0
31 to 40	4
41 to 50	0
51 to 60	0
61 to 70	0
71 to 80	0
81 to 90	4
91 to 100	0
100+	3



15. How many gantries are used in your facility?

1	0
2	4
3	4
4	0
More than 5	3



16. How many full-time equivalent medical dosimetrists are budgeted in your department?

1	0
2	0
3 to 6	4
More than 6	7



Ringraziamenti

Saluto e ringrazio Letizia, che dopo la mia relatrice sarà la prima a leggere questa pagina. Grazie per avermi trascinato alla fine di questo percorso. Ti abbraccio stretta, come sempre.

Ringrazio di cuore la mia relatrice, Elisa Gilli, che mi ha sostenuta in tutti i modi possibili, andando ben oltre il ruolo e mostrando una passione e una comprensione che mi hanno toccata.

Saluto tutte le persone con cui ho stretto una profonda amicizia durante questo percorso, sia a Bologna, che in Norvegia. Ti penso sempre, Rina.

Un ringraziamento al Corso di Laurea che mi ha regalato un sacco di occasioni ed esperienze.

Ringrazio il team di TSRM dosimetriste dell'Ospedale Bellaria, il team di TSRM dosimetristi del Centro di Protonterapia di Trento, il team di dosimetristi dell'Haukeland University Hospital di Bergen (grazie per tutto l'aiuto, Aurora). Vorrei poter fare il nome di tutti ma non manterrei l'anonimato richiesto dalla *survey*. Ringrazio il team norvegese di stråleterapeut di Ethos (Geir, Jannicke, Jostein, Linda). Grazie a tutti per avermi regalato le vostre esperienze e il vostro tempo.

Ringrazio il gruppo IDRA: Enrico, Maddalena, Martina. Siete la mia famiglia adottiva, mi fate sempre sentire al sicuro.

Ringrazio Tiziano, che durante il secondo anno di università, con la forza dell'affetto, ha camminato dalla stazione di Castelbolognese fino a Lugo di Romagna per venirmi a trovare quando ne avevo più bisogno durante uno sciopero dei treni, e mi è stato vicino sempre.

Ringrazio i miei amici di infanzia Milena e Vito, che mi accompagnano da quando ne ho memoria.

Abbraccio e ringrazio le mie care amiche Lea e Valentina.

Un pensiero per Jupi e Totò, luci dei miei occhi.

Ringrazio e abbraccio forte-forte la mia famiglia, Donatella ed Erika.

L'amore è il cuore di tutte le cose, e io sono piena d'amore grazie a tutti voi.