



## **Indice**

<b>Introduzione</b>		<b>Pg 1</b>
<b>Capitolo 1</b>	<b>Anatomia del polmone</b>	<b>Pg 2</b>
	1.1 Cenni di patologia carcinoma polmonare	<b>Pg 3</b>
<b>Capitolo 2</b>	<b>Concetto di Screening</b>	<b>Pg 5</b>
	2.1 Programmi di screening per il tumore polmonare in Italia	<b>Pg 6</b>
	2.2 Programmi di screening per il tumore polmonare nel resto del mondo	<b>Pg 8</b>
<b>Capitolo 3</b>	<b>Tomografia Computerizzata</b>	<b>Pg 12</b>
	3.1 Cenni storici	<b>Pg 12</b>
	3.2 Principi fisici	<b>Pg 13</b>
	3.3 Evoluzione e generazioni	<b>Pg 15</b>
	3.4 Componenti	<b>Pg 18</b>
	3.5 Parametri di acquisizione	<b>Pg 22</b>
	3.6 Tecniche di ricostruzione	<b>Pg 24</b>
	3.7 Parametri dosimetrici	<b>Pg 25</b>
<b>Capitolo 4</b>	<b>Low Dose Computed Tomography</b>	<b>Pg 27</b>
<b>Capitolo 5</b>	<b>Cenni di Ultra Low Dose Computed Tomography</b>	<b>Pg 31</b>
<b>Capitolo 6</b>	<b>Ruolo del Tecnico sanitario di Radiologia Medica nello</b>	<b>Pg 33</b>

## **screening del carcinoma**

### **polmonare**

<b>6.1</b>	<b>Anamnesi</b>	<b>Pg 33</b>
<b>6.2</b>	<b>Posizionamento</b>	<b>Pg 34</b>
<b>6.3</b>	<b>Esecuzione</b>	<b>Pg 35</b>
<b>6.4</b>	<b>Relazione</b>	<b>Pg 36</b>
<b>Capitolo 7</b>	<b>Conclusione</b>	<b>Pg 38</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>Pg 39</b>
	<b>Sitografia</b>	<b>Pg 41</b>



## Introduzione

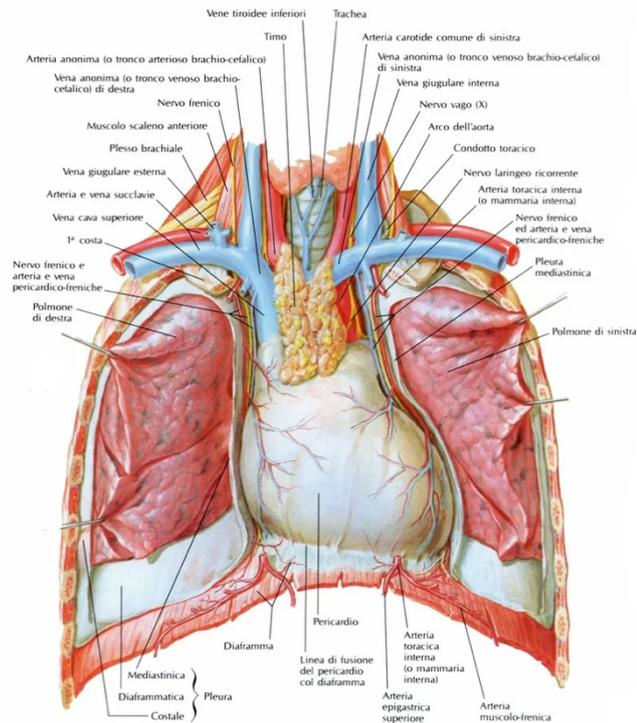
Il carcinoma polmonare è un tumore del polmone che rappresenta la prima causa di morte per patologia oncologica nel mondo, senza distinzione di sesso. La diagnosi tardiva contribuisce in maniera massiccia alla prognosi nefasta di questa condizione patologica e al suo elevato peso nella salute pubblica. Oltre il fardello che il cancro rappresenta per la vita del malato, dei familiari e della cerchia di affetti che li circonda, c'è da considerare l'aspetto economico che, purtroppo, ha sempre più importanza in ogni scelta e in ogni decisione, anche in ambito sanitario. L'indagine Favocensis sui costi sociali dei tumori, pubblicata anche sul Sole 24 Ore nel dicembre 2022, condotta su 1.055 pazienti e 713 caregiver ha calcolato che il costo sociale è stimato a 36,4 miliardi di euro annui, di cui oltre 5,8 miliardi di spese dirette mediche e non mediche (colf, trasporti, spese alberghiere, ecc.) e oltre 30 miliardi di costi indiretti, come la sola perdita dei redditi da lavoro dei malati che pesa per 10,5 miliardi, mentre per i caregiver è di 6,45 miliardi. Nel complesso le ripercussioni della malattia sul lavoro determinano un costo di quasi 17 miliardi. Il costo medio annuo relativo a tutti i pazienti che hanno avuto una diagnosi da almeno cinque anni è di 34.210 euro, con una media di costo per ogni malato oncologico di 17.483 euro.

L'obiettivo di questo elaborato è di esaminare il ruolo e l'efficacia dei programmi sperimentali di screening nella lotta al carcinoma polmonare, con particolare attenzione all'utilizzo delle tecniche di Low Dose Computed Tomography e al ruolo del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica in questo campo.

# Capitolo 1: Anatomia del polmone

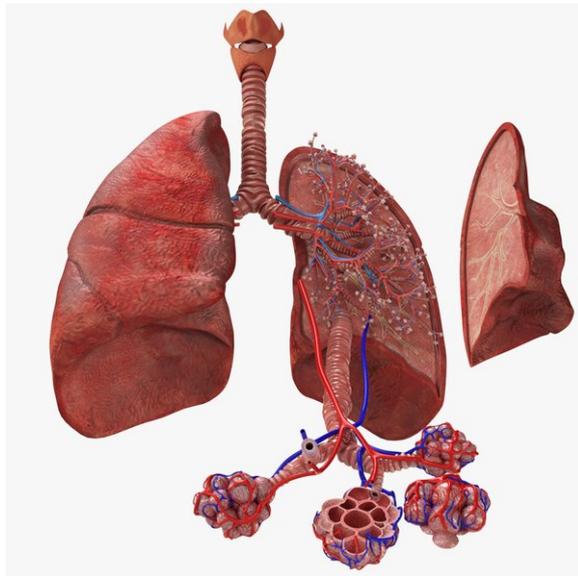
I polmoni occupano i due scompartimenti laterali, destro e sinistro, della cavità toracica. Tra di essi si interpone la cavità del mediastino, che contiene importanti strutture ed organi come il cuore, l'aorta, le vene cave, l'esofago, i grossi bronchi, parte della trachea e il timo, o residui timici nell'adulto.

Ciascun polmone è avvolto dalla pleura viscerale e da quella parietale. I polmoni hanno la forma di un semicono con apice in alto e base sul diaframma, con la faccia piana mediale detta faccia mediastinica, mentre la faccia convessa laterale è rivolta verso le coste. La faccia mediastinica presenta verso la metà della sua altezza una infossatura



ovale chiamata ilo, attraverso la quale passano i bronchi, le arterie bronchiali e le arterie polmonari e ne escono le vene polmonari e i vasi linfatici. L'insieme di queste strutture formano il peduncolo del polmone. I polmoni sono suddivisi in lobi dalle scissure interlobari. Il polmone di destra presenta due scissure, principale e secondaria, che lo dividono in tre lobi, superiore, medio ed inferiore. Il polmone di sinistra ha una sola scissura principale che divide il polmone nel lobo superiore ed inferiore. La struttura polmonare si organizza legandosi alla ramificazione dell'albero bronchiale. La suddivisione dei bronchi divide ciascun lobo in segmenti, lobuli ed acini. Nella parte terminale la parete mostra delle estroflessioni, gli alveoli polmonari, ognuno dei quali è circondato da una rete capillare, Tra alveoli e il sangue circolante nei capillari avviene l'ematosi, cioè

il fenomeno di scambio gassoso. La conoscenza di questi territori ci permette di



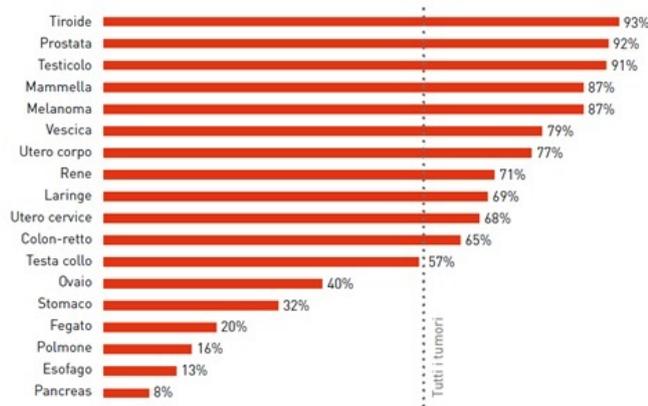
affermare che il polmone è composto da due parti nella sua organizzazione strutturale: la parte intrapolmonare dell'albero bronchiale, che distribuisce l'aria negli alveoli, e il parenchima polmonare, dove avvengono gli scambi gassosi.

### ***1.1 Cenni di patologia del carcinoma polmonare***

Questa neoplasia origina nel tessuto epiteliale del parenchima polmonare e dei bronchi. Principalmente esistono due tipi di carcinoma polmonare: il carcinoma polmonare non a piccole cellule (NSCLC) e il carcinoma polmonare a piccole cellule (SCLC). Il primo è la forma più diffusa anche se meno aggressiva rispetto quella a piccole cellule. I principali fattori di rischio sono rappresentati dal fumo di tabacco (85% dei casi), esposizione a sostanze chimiche (asbesto, arsenico, radon e altre sostanze cancerogene), l'inquinamento atmosferico (esposizione prolungata a polveri sottili) e fattori genetici. In Italia nel 2023 sono stati rilevati circa 44.000 nuovi casi, 30.000 uomini e 14.000 donne.

Rango	Maschi			Femmine		
	Età			Età		
	0-49	50-69	70+	0-49	50-69	70+
1°	Polmone (15%)	Polmone (29%)	Polmone (25%)	Mammella (29%)	Mammella (21%)	Mammella (14%)
2°	Sistema nervoso centrale (11%)	Colon-retto (10%)	Colon-retto (11%)	Polmone (9%)	Polmone (15%)	Colon-retto (13%)
3°	Colon-retto (9%)	Fegato (8%)	Prostata (10%)	Colon-retto (7%)	Colon-retto (10%)	Polmone (10%)
4°	Leucemie (7%)	Pancreas (7%)	Fegato (7%)	Utero totale (6%)	Pancreas (7%)	Pancreas (8%)
5°	Fegato (7%)	Stomaco (6%)	Stomaco (7%)	Sistema nervoso centrale (6%)	Ovaio (7%)	Stomaco (6%)

Nel 2022 sono stati registrate 35.700 decessi per tumore al polmone. Attualmente, nella nostra nazione, le persone a cui hanno diagnosticato questa patologia sono circa 117.800, con un tasso di sopravvivenza a 5 anni diagnosi



del 16% negli uomini e del 23% nelle donne.

La patologia si presenta nella fase iniziale spesso in maniera asintomatica, o senza sintomi rilevanti che spesso passano inosservati al paziente. I

sintomi più evidenti si mostrano solo nella fase più avanzata della malattia, quando la sua pericolosità aumenta in maniera esponenziale. Le strategie terapeutiche hanno subito profonde evoluzioni negli ultimi anni che hanno migliorato le prospettive e la qualità di vita dei pazienti. Incoraggianti, ad esempio, sono i risultati portati dall'introduzione dell'immunoterapia nel percorso terapeutico o la caratterizzazione molecolare della neoplasia che ha portato alla definizione di terapie specializzate per ciascun paziente. Nonostante questi enormi passi in avanti dal punto di vista terapeutico, l'arma migliore nella lotta al carcinoma polmonare, così come nel resto delle neoplasie, resta la diagnosi in fase precoce.

## Capitolo 2: Lo Screening in Italia

Per aumentare le possibilità di una diagnosi nella fase iniziale della malattia e migliorare la tempestività delle cure, svolgono un ruolo fondamentale i programmi di screening oncologico. Generalmente, i programmi di screening sono esami condotti su una fascia di popolazione considerata a rischio per una determinata patologia, orientati ad individuarla nella sua fase iniziale quando non c'è il sospetto della sua presenza. Ad oggi, in Italia, sono offerti gratuitamente alla popolazione gli screening per il tumore del seno (con mammografia), il tumore della cervice uterina (con Pap-test o HPV-DNA test) e il cancro del colon-retto (con esami di ricerca del sangue occulto nelle feci o rettosigmoidoscopia).

	SCREENING MAMMELLA	SCREENING CERVICE UTERINA	SCREENING COLON-RETTO
<b>Prevenzione tumore</b>	Il tumore della mammella è il tumore più frequente nelle donne.  Mortalità in calo, incidenza in lieve, ma costante aumento.	Il tumore del collo dell'utero è il quinto tumore più frequente nelle donne tra 0-49 anni.  Grazie allo screening, incidenza e mortalità in diminuzione.	Il tumore del colon-retto è il secondo tumore più frequente in Italia sia tra gli uomini che le donne e la seconda causa di morte per tumore.
<b>A chi è rivolto</b>	Donne tra 50-69 anni	Donne tra 25-64 anni	Uomini e donne Sangue occulto fecale: 50-69 anni Rettosigmoidoscopia: 58-60 anni
<b>Esame clinico dello screening</b>	Mammografia	Pap-test o HPV-DNA test	Ricerca di sangue occulto nelle feci o rettosigmoidoscopia
<b>Frequenza dell'esame</b>	Ogni 2 anni	Pap-test ogni 3 anni HPV-test ogni 5 anni	Sangue occulto fecale: ogni 2 anni Rettosigmoidoscopia: una volta tra i 58-60 anni

In futuro si potrebbe aggiungere anche lo screening per il tumore del polmone (con T.C. spirale) e del tumore alla prostata (con monitoraggio dell'antigene prostatico specifico). I programmi di screening oncologico fanno parte dei livelli essenziali di assistenza e la loro attività viene monitorata dall'Osservatorio Nazionale Screening e dalla sorveglianza Progressi delle Aziende Sanitarie per la Salute in Italia. L'adesione complessiva al programma mammografico è del 56,2% (Nord 64,7%; Centro 50,2%; Sud e Isole 41,3%). La partecipazione allo screening della cervice uterina è del 39,2% (47,8% al Nord a un 33,4% al Centro e a un 32,6% al Sud e Isole). Un simile andamento si registra per lo screening colon-rettale con l'adesione per i programmi di ricerca del sangue occulto fecale che si attesta al 38,7% (Nord 47,6%; Centro 31,5%; Sud e Isole 23,7%). L'impatto positivo dei programmi di screening sullo stato di salute

della popolazione è proporzionale alla copertura dello screening, cioè alla quota di persone che si sottopongono ai test. Gli esami di screening per carcinoma polmonare sono stati sviluppati e sperimentati negli ultimi anni e i loro rischi e benefici sono ancora oggetto di valutazione. Per questo, in tutto il mondo sia i ministeri della salute sia i sistemi sanitari locali non hanno ancora dato il via a programmi organizzati di screening per carcinoma polmonare, ma solo sperimentali. I dubbi maggiori riguardano l'elevata dose di radiazioni a cui si sarebbe esposti durante l'esecuzione dell'esame T.C. eseguito durante un programma di screening.

## ***2.1 Programmi di screening per il tumore polmonare in Italia***

Attualmente, in Italia, è promosso dall'Istituto Nazionale dei Tumori di Milano, il programma RISP (Rete Italiana Screening Polmonare), un programma multicentrico che ha l'obiettivo di reclutare candidati ad alto rischio per la diagnosi precoce del tumore al polmone attraverso TC torace con protocollo Low Dose.

Il programma coinvolge 18 centri in 15 differenti regioni italiane:

- IRCCS Istituto Nazionale dei tumori - Milano
- Presidio Ospedaliero “Santo Spirito” - Pescara
- IRCCS Centro di Riferimento Oncologia di Basilicata - Potenza
- Azienda Ospedaliera “Pugliese Ciaccio” - Catanzaro
- IRCCS Istituto Nazionale dei Tumori – Fondazione G. Pascale - Napoli
- Azienda Ospedaliera Specialistica dei Colli Monaldi - Napoli
- Azienda Ospedaliera-Universitaria di Parma - Parma
- IRCCS in tecnologie avanzate e modelli assistenziali in oncologia – Reggio Emilia
- IRCCS Istituto Nazionale dei Tumori Regina Elena - Roma
- IRCCS Ospedale Policlinico San Martino – Genova
- ASST Ospedale Papa Giovanni XXIII – Bergamo

- Azienda Ospedaliero-Universitaria Ospedali Riuniti di Ancona – Ancona
- APSS Trento – Trento
- Azienda Ospedaliero-Universitaria San Luigi Gonzaga, Orbassano e Città della Scienza e della Salute di Torino – Torino
- IRCCS Istituto Tumori Giovanni Paolo II – Bari
- Azienda Ospedaliera Cannizzaro – Catania
- Azienda Ospedaliero Universitaria Careggi – Firenze
- IRCCS - Istituto Oncologico Veneto – Padova

Il progetto si propone di arruolare i soggetti attraverso il coinvolgimento dei medici di famiglia che selezioneranno tra i loro assistiti quelli più idonei per lo screening con Low Dose CT torace. Il reclutamento punta a essere svolto anche con altre vie di comunicazione come stampa, social network, radio e televisione.



I requisiti di accesso, su base volontaria, al programma sono:

- Età uguale o superiore ai 55 anni ed inferiore ai 75 anni
- Fumatore, o ex fumatore da meno di 15 anni, con un consumo medio di 20 sigarette al giorno per 30 anni

## ***2.2 Programmi di screening per il tumore polmonare nel resto del mondo***

Nel resto del mondo, così come in Italia, nonostante le differenze dovute alle diverse politiche sanitarie delle Nazioni, c'è la tendenza globale verso la sperimentazione di screening polmonare con Tomografia Computerizzata a Basso Dosaggio (LDCT), la stessa utilizzata anche nel territorio italiano.

I principali programmi sono:

- **Stati Uniti D'America**

La United States Preventive Services Task Force (USPSTF) raccomanda lo screening annuale con Low Dose CT. La raccomandazione è stata dettata dopo i risultati positivi del National Lung Cancer Screening Trial (NLST), che ha portato ad una riduzione della mortalità del 20% per i volontari che si sono sottoposti al programma. Sulla base di questo successo la USPSTF ha ampliato la platea dei soggetti a cui è caldamente consigliato lo screening, estendendo la fascia di età dai 55 agli 80 anni (precedentemente il range si fermava a 77 anni) con un consumo di almeno 20 pacchetti-anno, fumatori o ex fumatori che hanno smesso da meno di 15 anni.

- **Regno Unito**

Nel giugno 2023 il Regno Unito ha annunciato l'avvio del programma nazionale di screening per il cancro del polmone. Il programma è stato sostenuto dalle raccomandazioni della National Screening Committee del Regno Unito (NSC UK) ed è rivolto a persone considerate ad alto rischio, fumatori o ex fumatori tra i 55 e i 74 anni, che saranno invitati a sottoporsi ad una LDCT ogni 24 mesi. Questa decisione segue il successo ottenuto dal NHS England durante la prima fase del programma di screening polmonare che,

su 200.000 scansioni effettuate, a più di 2.000 persone è stato diagnosticato il cancro del polmone e per il 76% in una fase precoce di sviluppo.

- **Olanda e Belgio**

Nel territorio di Olanda e Belgio è stato condotto, dal 2000, il NELSON trial (Nederlands-Leuvens Longkanker Screenings Onderzoek) un grande studio clinico di valutazione dell'efficacia dello screening del tumore polmonare utilizzando LDCT. Lo studio ha coinvolto circa 16 mila persone di età compresa tra 50 e 74 anni, fumatori o ex fumatori da meno di 10 anni e con un consumo di sigarette pari ad almeno 15 pacchetti-anno. I risultati dello studio hanno portato ad una riduzione della mortalità del 24% negli uomini e del 33% nelle donne, risultando un esempio da seguire nella pianificazione e nell'implementazione dei programmi di screening in Europa.

- **Germania e Francia**

In Germania e Francia non hanno ancora programmi di screening nazionali, nonostante i notevoli progressi degli ultimi anni. Tuttavia, sono in sviluppo diversi progetti pilota come lo studio LUSI (Lung Cancer Screening Intervention Trial), in Germania, e lo studio Depi'Lung, in Francia, entrambi rivolti a soggetti fumatori o ex fumatori ed eseguiti con LDCT. I primi risultati sono abbastanza promettenti, tanto da far riconoscere l'utilità di questa tipologia di screening all'autorità sanitaria francese HAS (Haute Autorité de Santé) e alla German Respiratory Society, aprendo ad una possibile raccomandazione futura.

- **Canada**

Diversi progetti sono in sperimentazione, tra i quali il Lung Cancer Screening Pilot for People at High Risk, in Ontario, che stanno

valutando l'efficacia dello screening con LDCT per soggetti ad alto rischio, cioè fumatori o ex fumatori nel range di età 55-74 anni. Si tratta di programmi pilota, non ancora ufficiali a livello nazionale, ma con un forte interesse ed impegno da parte del governo federale.

- **Giappone**

Il Giappone è stato uno dei paesi precursori per lo screening polmonare. Tuttavia, utilizza programmi che sfruttano tecnologie con dosaggio maggiore rispetto al protocollo Low Dose Computed Tomography. Il paese non dispone di un programma nazionale uniforme, ma di un sistema di screening disorganico che ha comunque portato a risultati incoraggianti.

- **Cina**

In Cina, il tumore polmonare è una patologia altamente rilevante sul territorio a causa anche dell'alto livello di inquinamento ambientale e dell'elevato tasso di fumatori tra la popolazione. Non c'è ancora un programma di screening a copertura nazionale, ma queste condizioni sociali ed ambientali che gravano sulla salute pubblica e sul tasso di patologie polmonari stanno spingendo il governo ad estendere i programmi pilota di screening con LDCT in corso.

- **Australia**

L'Australia, attualmente, raccomanda lo screening con LDCT per i fumatori ed ex fumatori considerati ad alto rischio e sono in fase di sperimentazione programmi pilota simili a quelli statunitensi e britannici. Tuttavia, manca un programma diffuso a livello nazionale.

- **Corea del Sud**

Il governo sudcoreano ha investito molto nella prevenzione e nella diagnosi precoce del cancro polmonare, avviando nel 2019 il

programma nazionale, rivolto a persone tra i 54 e i 74 anni con una storia di 30 pacchetti-anno o più, cioè un consumo di un pacchetto al giorno per 30 anni o due pacchetti per 15 anni. I partecipanti vengono sottoposti a screening TC con protocollo Low Dose ogni due anni e i dati preliminari dello studio sono risultati incoraggianti, con un aumento della diagnosi di tumori in stadio precoce e con un conseguente aumento delle possibilità di sopravvivenza.

- **I – ELCAP**

I-ELCAP è un programma sperimentale iniziato nel 1992 ed ancora in corso. Partito, inizialmente, dalla collaborazione tra la Cornell University e la New York University ha superato i confini nazionali includendo attualmente più di ottanta siti nel mondo. Il programma ha coinvolto più di centomila persone e i protocolli LDCT utilizzati sono in continuo aggiornamento. I dati pubblicati nel 2023 hanno stimato una remissione dell'80% per tutti i carcinomi polmonari diagnosticati durante il programma e la stima sale al 92% per i pazienti con malattia al primo e al secondo stadio.

## Capitolo 3: Tomografia Computerizzata

La tecnica diagnostica che rappresenta il gold standard per lo studio delle lesioni polmonari è la Tomografia Computerizzata che riesce a discriminare con precisione lesioni neoplastiche da altre patologie di tipo infiammatorio



e permette anche la valutazione diagnostica dei linfonodi della loggia mediastinica che sono ad alto rischio di coinvolgimento nella patologia tumorale a carico dei polmoni,

apparendo di dimensioni aumentate. La Tomografia Computerizzata è una tecnica radiografica digitalizzata che consente di ottenere sezioni assiali o para-assiali di spessori definiti del corpo umano, consentendo di distinguere le varie strutture in base alla loro densità e producendo immagini caratterizzate da una elevata risoluzione di contrasto.

### 3.1 Cenni storici

La possibilità di ricostruire un oggetto tridimensionale attraverso un numero infinito di proiezioni bidimensionali dell'oggetto stesso è il principio della tomografia computerizzata e fu un'intuizione del matematico austriaco Johan Radon nel 1917. Le applicazioni in ambito medico di questa teoria non furono esplorate fino allo studio dell'influenza della composizione dei tessuti sulla distribuzione della dose nei trattamenti radioterapici da parte del fisico sudafricano Allan Cormack negli anni '50. Dallo studio, il fisico notò che le variazioni della distribuzione di dose potevano essere previste grazie ai coefficienti di attenuazione. Un approccio alternativo fu quello del neurologo statunitense William Henry Oldendorf nel 1961, che

analizzò l'intensità dei raggi gamma, generati dall'isotopo Iodio-131, che attraversavano un oggetto in rotazione utilizzando un detettore a scintillazione. Il transito verso l'applicazione clinica avvenne grazie all'ingegnere inglese Godfrey Hounsfield che sviluppò un primo tomografo sperimentale, nel 1967, capace di eseguire movimenti di traslazione e rotazione, utilizzando una sorgente di Americio<sup>241</sup>. La costruzione dell'Emi Mark 1 nel 1971 a Londra, ad opera dell'ingegnere inglese, avvenne sulla base degli incoraggianti risultati ottenuti nella sperimentazione animale. La decisione di destinarlo alle acquisizioni della sola regione dell'encefalo era strategica, poiché in quest'area i movimenti fisiologici non avrebbero ostacolato l'acquisizione delle immagini, come nel caso della regione toraco-addominale. Il successo dell'EMI Mark 1 permise una transizione rapida dalla ricerca alla commercializzazione, grazie alla collaborazione con General Electric. Nel 1979, Hounsfield e Cormack ricevettero il premio Nobel per la Medicina come massimo riconoscimento per le importanti innovazioni che portarono nel campo diagnostico grazie al loro lavoro.

### **3.2 Principi fisici**

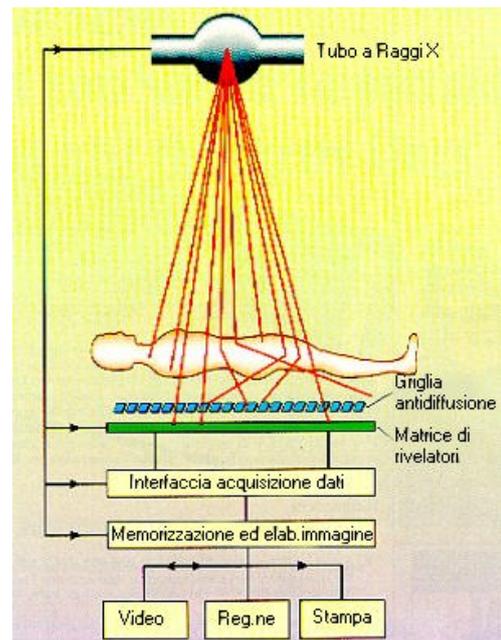
I principi fisici della tomografia computerizzata riguardano la produzione, l'emissione, l'interazione con la materia e il rilevamento dei raggi X. Questi fenomeni ci permettono di raccogliere i dati che verranno poi utilizzati per la ricostruzione e formazione dell'immagine. I raggi X sono radiazioni non corpuscolate indirettamente ionizzanti con lunghezza d'onda compresa approssimativamente tra i 10 nanometri e i 10 picometri. La produzione ed emissione dei raggi X avviene ad opera del tubo radiogeno, all'interno del quale gli elettroni vengono prodotti ed accelerati fino a colpire un target metallico. Da questa collisione si produce la radiazione elettromagnetica X, che viene poi indirizzata verso il paziente. La produzione di questo tipo di

radiazione avviene, nella maggior parte dei casi, attraverso il meccanismo di frenamento o, più raramente, di transizione atomica.

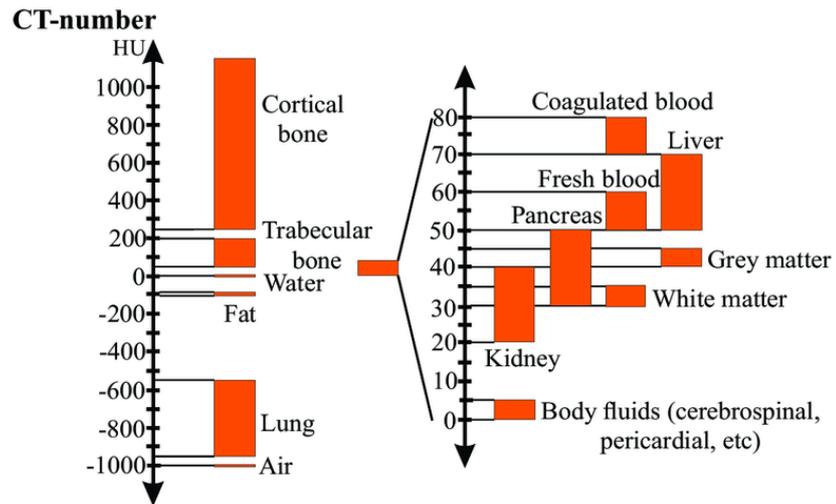
L'interazione dei raggi X con la materia avviene secondo due fenomeni: l'effetto fotoelettrico e l'effetto Compton. L'effetto fotoelettrico si ha quando il fotone a bassa energia interagisce con l'elettrone dell'orbitale, cedendo tutta la sua energia, e determinandone l'espulsione. A questo punto l'elettrone dell'orbitale superiore andrà a colmare il vuoto portandosi sull'orbitale dell'elettrone espulso, con emissione X. L'effetto Compton avviene con radiazioni ad alta energia e, in questo caso, il fotone cede parte della sua energia ad elettroni più esterni, definiti "liberi", e parte continua il suo cammino sotto forma di fotone diffuso. Questi fotoni diffusi possono andare a degradare la qualità dell'immagine e creano problemi legati alla radioprotezione a causa dei raggi X che si portano in direzioni dello spazio casuali dopo l'interazione con il corpo.

I raggi X emergenti vengono rilevati dai detector che ne quantificano l'intensità. I dati, così raccolti, vengono elaborati tramite la ricostruzione tomografica. Questo processo complesso avviene utilizzando la trasformata di Radon che è la funzione matematica che costituisce la base della

ricostruzione. L'immagine finale, bidimensionale o tridimensionale, rappresenta sezioni corporee in cui ogni pixel rappresenta il valore del coefficiente di attenuazione dei raggi X espresso in unità Hounsfield (HU), che è l'unità di misura della radiodensità. La scala dei valori Hounsfield dei tessuti del corpo umano va dal valore minimo di -1000

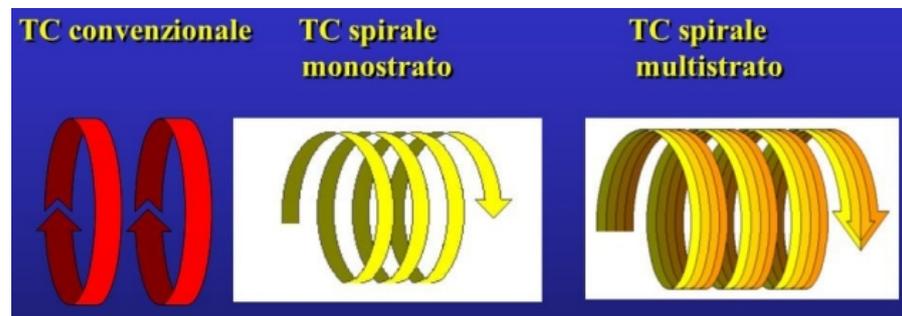


HU (aria) a un massimo di +3000 HU (osso corticale). Il valore 0 corrisponde a quello dell'acqua.



### 3.3 Evoluzione e generazioni

L'evoluzione tecnologica delle apparecchiature TC, in sinergia con lo sviluppo di software dedicati alla ricostruzione dei dati acquisiti sempre più sofisticati, ha permesso il raggiungimento di risultati sorprendenti. Tali progressi hanno determinato una drastica riduzione dei tempi di acquisizione e con le moderne TC spirale è possibile acquisire un intero distretto anatomico in pochi secondi unendo al movimento continuo del complesso tubo radiogeno-detettori, grazie alla tecnologia slip ring, il sincrono avanzamento del lettino porta-paziente.



L'evoluzione tecnologica della Tomografia Computerizzata si può suddividere in quattro generazioni, ognuna delle quali è caratterizzata da una diversa geometria tubo radiogeno-detettori.

- **Prima Generazione**

Era rappresentata da macchine come l'EMI Mark I. Avevano un fascio di raggi X definito pencil beam, poiché la collimazione dava al fascio una forma “a matita”. Il tubo radiogeno era contrapposto ad un paio di detettori che, dopo una traslazione, effettuavano una rotazione di due gradi. I cavi di collegamento non consentivano una rotazione completa per cui, dopo una rotazione di 180 gradi, il tubo doveva ruotare in senso opposto. Ogni singola scansione richiedeva 4/5 minuti e potevano essere studiati solo organi privi di movimento.

- **Seconda Generazione**

La seconda generazione permise per la prima volta l'acquisizione di immagini della regione toraco–addominale. Come nella prima generazione gli scanner effettuavano traslazione e rotazione, ma erano caratterizzati da un fascio di raggi X di 20/30 gradi contrapposto ad un numero variabile di 20/50 detettori. Questa disposizione produceva un fascio a ventaglio “fan beam” con i raggi X che assumevano una direzione divergente. Queste migliori tecniche permisero di ridurre il tempo delle singole scansioni a circa 20 secondi, permettendo acquisizioni in apnea per la prima volta.

- **Terza Generazione**

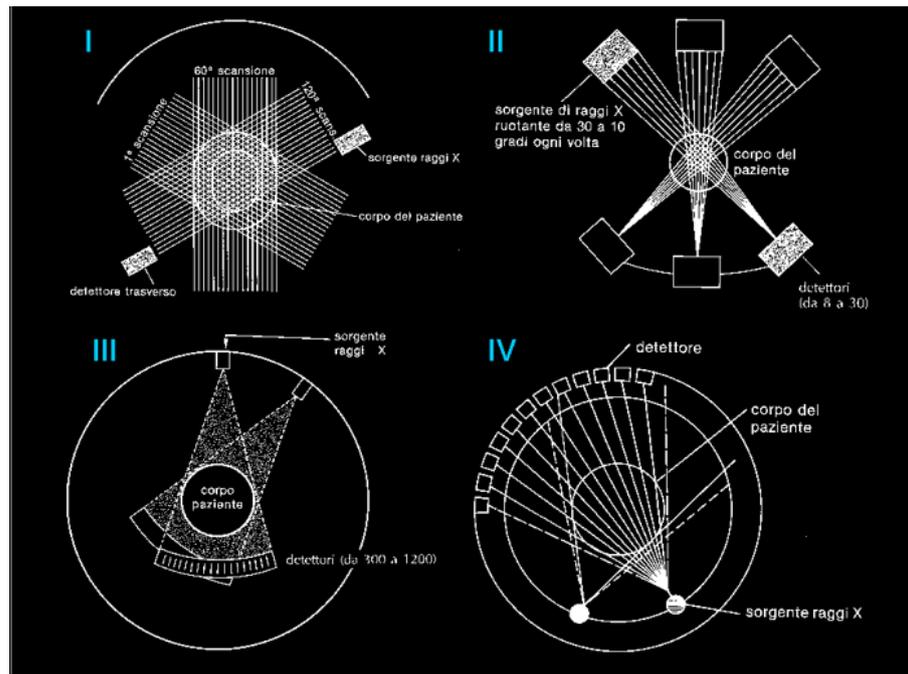
Questa generazione rappresenta il modello su cui si sono sviluppati i moderni apparecchi TC multidetettore.

Questi tomografi sono caratterizzati da tubi radiogeni con un ampio fascio a ventaglio di circa 30/50 gradi, che ruotano continuamente intorno al paziente per 360 gradi, grazie alla tecnologia dei contatti striscianti “slip rings”. Il tubo è contrapposto a un arco di 300/800 rivelatori, consentendo tempi di scansione di 1/3 secondi.

- **Quarta Generazione**

La quarta è, in realtà, un ampliamento della terza generazione ed è costituita da apparecchiature in cui solo il tubo radiogeno ruota intorno a un anello stazionario composto dai 600 ai 4800 detettori.

Le attuali macchine TC più commercializzate sono di terza generazione, il cui rapporto costo/beneficio risulta migliore rispetto alle più moderne macchine di quarta generazione.



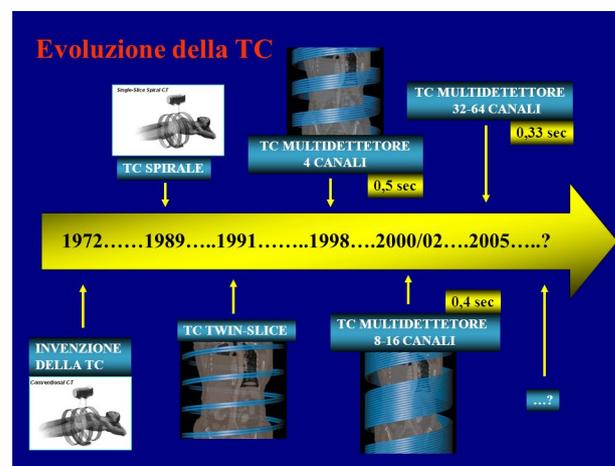
Inoltre, va riferito che negli ultimi anni con l'incessante ricerca si è avuto un velocissimo up-grade grazie alla nascita di due nuovi tipi di apparecchiature di tomografia computerizzata:

- Dual Energy
- Photon-counting.

La prima con l'iniezione di MDC grazie ad una mappatura dello iodio consente di quantificare il suo assorbimento, aspetto importantissimo per caratterizzare i tumori, la perfusione polmonare, i noduli polmonari e la risposta del tumore ai nuovi trattamenti. Inoltre, la TC a doppia energia, acquisendo in un'unica scansione, consente di ottenere immagini virtuali a singola energia e immagini virtuali senza contrasto

iodato o senza calcio, cioè, permette di separare materiali come acido urico o grasso e di elaborare mappe di sovraccarico di ferro epatico.

Per quanto concerne invece la photon-counting utilizza un cristallo semiconduttore del detettore che consente la conversione diretta del segnale generando una carica elettrica anziché luce. Ciascuna delle decine di migliaia di fotoni dei raggi X viene misurata individualmente in una singola proiezione, migliorando l'efficienza del detettore senza compromettere la dose, portando vantaggi come:



- Pixel del detettore più piccoli
- Eliminazione del rumore
- Sensibilità spettrale intrinseca
- Identico contributo di quanta di energia inferiori

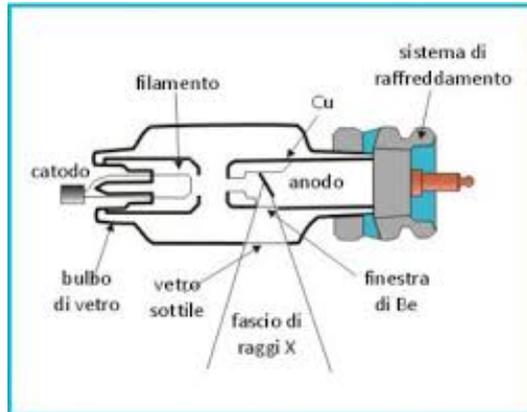
### 3.4 Componenti

Le componenti di uno scanner TC sono parti essenziali per il suo pieno funzionamento ed operatività ed è necessario che siano correttamente integrate tra di loro.

- **Tubo radiogeno**

Il tubo radiogeno utilizzato in TC ha la stessa struttura e funzionamento di quello utilizzato in diagnostica radiologica tradizionale ma possiede una più elevata capacità di dissipazione termica. Il tubo radiogeno è un involucro di vetro in borosilicato o metallo al cui interno viene creato il vuoto spinto tramite pompe.

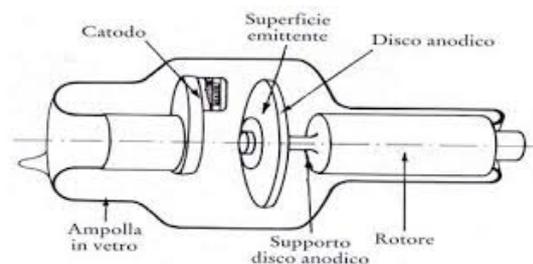
All'interno di questo involucro sono presenti catodo ed anodo, tra i cui viene creata una differenza di potenziale elettrico da un generatore di alta tensione. Il catodo è costituito da due filamenti di



tungsteno alloggiati in una coppa focalizzatrice. L'anodo è un disco di materiale pesante, come molibdeno o tungsteno, collegato a un rotore, che ne permette la rotazione continua, con una

velocità che può arrivare alle diecimila rotazioni al minuto. Il disco presenta un'inclinazione di circa dieci gradi utile per proiettare il fascio di raggi X in maniera ottimale. L'anodo rotante ha sostituito quello fisso nelle macchine moderne poiché permette una dissipazione del calore migliore. L'intera struttura del tubo radiogeno è circondata da una cuffia di piombo per schermare le radiazioni e proteggere l'ambiente esterno. Il funzionamento del tubo inizia con i filamenti di tungsteno del catodo che vengono riscaldati ad alte temperature causando l'emissione di elettroni per effetto termoionico.

Gli elettroni prodotti vengono accelerati verso l'anodo grazie all'elevata differenza di tensione applicata



tra quest'ultimo e il catodo. Quando gli elettroni impattano sull'anodo vengono convertiti in raggi X attraverso il processo di radiazione caratteristica o di frenamento con una resa dell'1% circa, mentre il restante 99% si trasforma in calore. Una volta prodotti, i raggi X a bassa energia, che non concorrono alla formazione dell'immagine ma aumentano la dose erogata, vengono bloccati da

filtri di rame o alluminio, chiamati flat filter, in modo da produrre un fascio il più omogeneo possibile. Recentemente sono stati aggiunti anche i bowtie filter di materiale a basso numero atomico ed elevata densità che servono a ridurre la dose erogata alle zone di minor spessore mantenendo allo stesso tempo, costante il rumore dell'immagine.

- **Collimatori**

Nelle moderne macchine TC, i collimatori sono posti nelle immediate vicinanze del tubo radiogeno, sono fatti di materiale ad elevato peso atomico e la loro apertura/chiusura determina l'ampiezza del fascio. Nei vecchi tomografi a singolo strato erano presenti anche collimatori post-paziente posizionati in prossimità dei detettori ed erano utili per eliminare le radiazioni di scattering. Nelle TC multistrato quest'ultimo tipo di collimazione è assente e la loro funzione è svolta dai setti dei detettori e dalla loro dimensione.

- **Detettori**

I detettori rilevano i fotoni emergenti dal paziente e convertono la loro energia in segnali elettrici che verranno poi utilizzati per formare l'immagine. Le caratteristiche che determinano la qualità di un detettore sono l'efficienza nella rilevazione e conversione dei fotoni, il tempo di risposta in cui il detettore si rende disponibile per una nuova registrazione fotonica dopo aver effettuato la precedente, e la stabilità, cioè la costanza del detettore nel rispondere ad una densità di fotoni che lo raggiunge. Nei tomografi multistrato sono costituiti da materiale allo stato solido (cristallo di scintillazione accoppiato ad un fotomoltiplicatore ed un fotodiodo), hanno forma curvilinea per adattarsi nel modo migliore alla conformazione del fascio e sono separati tra di loro da setti metallici. Nei vecchi modelli di TC erano presenti anche detettori allo stato gassoso con

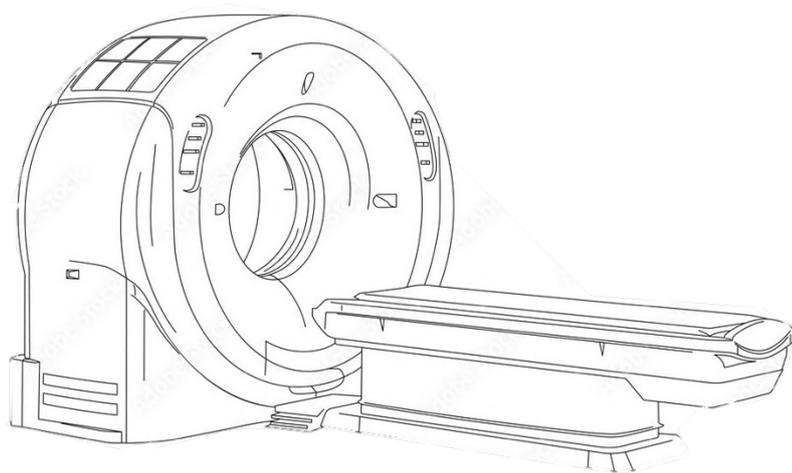
gas Xenon ad alta pressione, completamente estinti a causa della loro scarsa efficienza rispetto a quelli allo stato solido, nonostante fossero più economici e con tempi di risposta e stabilità elevati.

- **Sistema di acquisizione dei dati**

Anche conosciuto con l'acronimo DAS (Data Acquisition System), è il sistema che converte il segnale proveniente dai detettori in analogico. I moderni sistemi sono di tipo ASIC (Application Specific Integrated Circuit) che presentano dimensioni ridotte e una notevole riduzione del rumore che consente la riduzione della dose erogata al paziente. Questo sistema insieme al tubo radiogeno, i detettori, i collimatori e il generatore di alta tensione sono contenuti in una struttura ad anello chiamata Gantry, dove sono presenti anche i laser di centratura in prossimità della bocca di erogazione del tubo radiogeno.

- **Tavolo porta-paziente**

Il tavolo porta-paziente è fatto di fibra di carbonio, materiale molto



resistente e, allo stesso tempo, a basso numero atomico che consente un'attenuazione dei raggi X quasi nulla. Il tavolo deve

poter effettuare movimenti millimetrici, sia sull'asse orizzontale che verticale, e sostenere un carico massimo di circa 200 chili

### **3.5 Parametri di acquisizione**

I parametri di acquisizione incidono sulla qualità dell'immagine, sulla dose erogata al paziente e sulla durata dell'acquisizione.

- **Tensione del tubo**

Viene misurata in Kilovolt (kVp) e definisce l'energia dei raggi X prodotti. L'aumento dei kilovolt della tensione migliora la capacità penetrativa dei raggi nei tessuti ma incrementa anche la dose erogata

- **Corrente del tubo**

Viene misurata in milliampere (mA) e controlla la quantità di raggi X prodotta. Maggiore sarà la quantità di raggi erogata e minore sarà il rumore presente nell'immagine che ne degrada la qualità. All'aumento di milliampere corrisponde anche un aumento della dose emessa al paziente.

- **Tempo di esposizione**

Determina la durata del tempo di emissione delle radiazioni da parte del tubo radiogeno. Viene espresso in secondi (s) e collegato alla corrente del tubo, determinando il parametro mAs che descrive la quantità di radiazioni emessa al secondo nell'acquisizione.

- **Spessore di strato**

Indica lo spessore della fetta del corpo ricostruita in ogni immagine. Uno spessore di strato minore migliora la risoluzione ma aumenta il rumore, al contrario fette più spesse riducono la risoluzione ed il rumore.

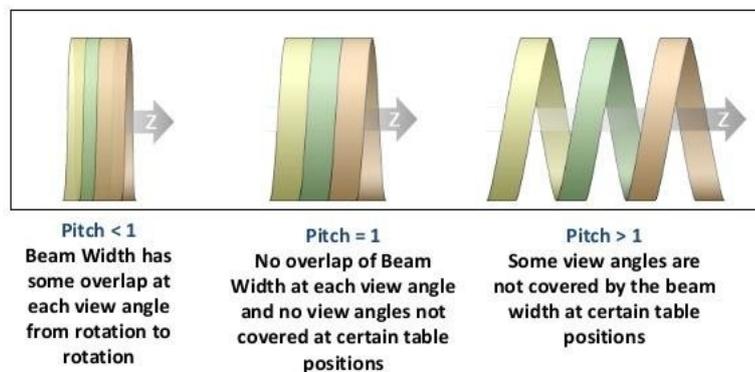
- **Field of View**

Il FOV rappresenta il campo visivo, cioè l'area coperta dalla scansione. L'aumento del FOV comporta una diminuzione della risoluzione è quindi importante adattarlo al quesito diagnostico da valutare.

- **Pitch**

Il pitch è il rapporto tra il movimento del tavolo porta-paziente durante la rotazione del tubo radiogeno e lo spessore di strato. Un pitch inferiore a 1 comporta una sovrapposizione dello spessore di acquisizione sulla stessa regione anatomica con aumento della risoluzione, della dose erogata e del tempo di acquisizione. Un pitch superiore a 1 consente scansioni più rapide ma con una copertura incompleta della regione e minore risoluzione.

## Pitch



- **Matrice**

La matrice è il numero di pixel usati per la ricostruzione dell'immagine. Matrici più grandi hanno una migliore risoluzione con un aumento del tempo di elaborazione dovuto alla richiesta maggiore di dati per la ricostruzione.

- **Finestra di visualizzazione**

Questo parametro è usato per migliorare la visualizzazione di determinati tessuti, variando il livello della finestra e l'ampiezza della finestra. Cambiando il livello andiamo ad scegliere a quale densità vogliamo andare ad impostare il valore 0 della scala di grigi, mentre con l'ampiezza ne controlliamo il range.

### **3.6 Tecniche di ricostruzione**

Le tecniche di ricostruzione permettono di rielaborare l'immagine al fine di migliorarne la rappresentazione, massimizzando le informazioni diagnostiche ottenute dall'esame. Uno dei metodi di ricostruzione dell'immagine più usati è l'algoritmo di retroproiezione filtrata che combina le proiezioni acquisite da diverse angolazioni. Ma, oltre alla retroproiezione filtrata, ci sono diverse tecniche di ricostruzione:

- MPR – Multiplanar Reconstruction: permette la visualizzazione dell'immagine su piani diversi dalla scansione assiale originale.
- Surface Rendering: permette di visualizzare la superficie esterna di strutture anatomiche, realizzandone una rappresentazione 3D. Risulta particolarmente utile in campo chirurgico e ortopedico.
- 3D Volume Rendering: permette la ricostruzione tridimensionale dei dati volumetrici acquisiti, consentendoci di visualizzare le strutture anatomiche nelle tre dimensioni dello spazio.
- MIP – Maximum Intensity Projection: permette la visualizzazione dei soli voxel di maggiore densità evidenziando, in questo modo, alterazioni con queste caratteristiche come, ad esempio, le calcificazioni.
- MinIP – Minimum Intensity Projection: permette la visualizzazione dei voxel a bassa densità, con una tecnica opposta alla MIP. Risulta fondamentale nello studio polmonare per evidenziare zone di ipoattenuazione.
- Slab Rendering: permette la visualizzazione di più strati in una sola immagine consentendo una visione semplificata di strutture

particolarmente estese e riducendo il rumore. Questa tecnica si utilizza con MIP, che combina i voxel di maggiore densità, o con MinIP, che combina i voxel di minore intensità.

Ci sono anche tecniche di ricostruzione avanzate come la Ricostruzione Iterativa, che ripete il processo di ricostruzione dell'immagine al fine di ottenere un progressivo miglioramento qualitativo, e la Ricostruzione Ibrida, che combina diverse ricostruzioni fornendo più informazioni in un'unica immagine. Queste due tecniche permettono un netto risparmio della dose senza compromettere le informazioni diagnostiche dell'immagine e, per questo motivo, sono ampiamente usate nella Low Dose CT.

### **3.7 Parametri dosimetrici**

Sono i parametri per controllare la dose erogata al paziente durante l'esame e ottimizzarla al fine di mantenerla quanto più bassa possibile, assicurando al tempo stesso immagini di buona qualità diagnostica.

Inoltre, come previsto dalla normativa vigente, (DLg. 101/20, recepimento della Direttiva Europea Euratom 59/13) tali informazione va riportata, sul referto in **classe di dose**, così come è stata definita nelle "Linee guida per la Diagnostica per Immagini" approvata dalla Conferenza Stato Regioni nel 2004 e pubblicato in Gazzetta Ufficiale.

- **Computed Tomography Dose Index**

IL CTDI rappresenta la dose media di radiazioni, espressa in milligray (mGy), somministrata a ogni singola fetta durante l'esame, Ci sono diverse tipologie di CTDI: il CTDI<sub>0100m</sub> il CTDI<sub>w</sub> e il CTDI<sub>vol</sub>. Il CTDI<sub>0100</sub> è l'indice di dose misurato lungo l'asse longitudinale di un fantoccio di 10 centimetri. Il CTDI<sub>w</sub> (weighted) è un media dei valori di dose misurati alla periferia e al centro del fantoccio. Il CTDI<sub>vol</sub> (volumetric) è il

rapporto tra CTDI<sub>w</sub> e Pitch e rappresenta la dose effettiva per fetta erogata durante una scansione tomografica spirale.

- **Dose Length Product**

Il DLP è il prodotto tra la dose erogata per fetta e la lunghezza della scansione e riflette la dose totale assorbita dal paziente durante l'intera acquisizione.

- **Dose Efficace**

La dose efficace rappresenta il rischio biologico legato all'esposizione alle radiazioni, ottenuto moltiplicando il DLP al fattore di conversione EFF che varia in base alla regione anatomica esaminata.

- **Size Specific Dose Estimate**

Il SSDE è un parametro che perfeziona la misura della dose assorbita dal paziente inserendo nel calcolo del CTDI<sub>vol</sub> un fattore di correzione basato sul diametro del paziente, permettendo di ricavare un valore più preciso della dose ricevuta dal paziente.

- **Dose Reference Levels**

I DRL sono valori-soglia di monitoraggio della dose somministrata durante gli esami TC. Superare questa soglia indica un sovradosaggio e la necessità di una verifica del protocollo utilizzato e di una sua ottimizzazione.

- **Automatic Dose Modulation**

Sono tecniche che regolano, in modo automatico e in tempo reale, i milliAmpere dell'acquisizione permettendo di ridurre la dose mantenendo una buona qualità dell'immagine.

## Capitolo 4: Low Dose Computed Tomography

Per lo studio dei noduli polmonari è indicata come standard d'esame la tomografia computerizzata ad alta risoluzione (HRCT) che si effettua, di norma, con paziente supino in inspirazione con un'estensione sull'asse Z della scansione che va dagli apici polmonari ai seni costofrenici, 120 kVp, 200 mAs e uno spessore di strato uguale o inferiore a 1,5 mm. La dose efficace con questo tipo di protocollo si attesta tra i 2 e i 4 mSv. Questi livelli di dose non rendono compatibile questo protocollo per un suo utilizzo in un programma di screening.



A questo scopo tornano utili i protocolli di tomografia computerizzata a basso dosaggio, che permettono una significativa riduzione della dose rispetto ai protocolli standard. Il loro utilizzo può essere esteso, oltre allo screening polmonare, anche al monitoraggio frequente di noduli polmonari sospetti. Tuttavia, quando parliamo Low Dose Computed Tomography non esiste un protocollo standard da adottare e, per questo motivo, i valori dei parametri kVp e mAs di acquisizione in ogni programma di screening che utilizza la LDCT variano ma hanno in comune l'obiettivo di scovare anomalie che potrebbero rappresentare un cancro al polmone e che quindi richiederebbero ulteriori esami per valutarne la grandezza, la forma e il rapporto con gli altri organi del torace e, al tempo stesso, ottenere una dose

erogata al paziente quanto più bassa possibile, approssimativamente

<b>Prona</b> L'acquisizione a Paziente prono è indicata nei casi in cui sia necessario distinguere alterazioni interstiziali periferiche da opacità gravitazionali	intorno ai 2 millisievert. I parametri diversi
<b>Acquisizione in espirio</b> È necessaria per identificare l'intrappolamento aereo. È indicata quando viene identificato il pattern a mosaico nella scansione inspiratoria e/o in caso di patologia ostruttiva/sospetta tracheomalacia	ma lo scopo condiviso di questi protocolli ci permettono di
La tecnica sequenziale assiale (e.g., intervalli di 10-20 mm) può essere utilizzata nel paziente pediatrico e per la scansione espiratoria	delineare alcuni elementi chiave

comuni ad ogni protocollo: l'acquisizione in breath-hold per evitare gli artefatti provocati dai movimenti toracici, uno spessore di fetta di 1 mm o poco superiore e un pitch di 1.5 o inferiore. Il CTDI<sub>vol</sub> deve essere inferiore o uguale a 3 mGy. Questo parametro è usato in ambito clinico insieme ad altri parametri dosimetrici, per confrontare protocolli utilizzati in centri diversi, con tomografi differenti e su svariati pazienti come strumento di verifica e di controllo della qualità. Anche se la LDCT può essere acquisita con una tomografia spirale single slice, è consigliato l'utilizzo di scanner multidetettore per avere una visione ottimale dei noduli scovati durante i programmi di screening che si presentano di piccole dimensioni nella maggioranza dei casi. Sono fortemente consigliate le ricostruzioni MPR in sagittale e coronale e le ricostruzioni MIP in assiale. I tomografi di recente costruzione hanno permesso l'utilizzo della Ricostruzione Iterativa che permette, rispetto all'algoritmo di retroproiezione filtrata, una riduzione del rumore a fronte di una risoluzione spaziale inalterata. Lo spessore di fetta ricostruito dovrebbe essere mantenuto sul valore di 1.5 mm o inferiore con un intervallo tra di esse al di sotto del loro spessore in modo da ridurre gli artefatti da volume parziale, ottenere un'analisi volumetrica ottimale e consentire l'utilizzo del Computer Aided Detection (CAD). Quest'ultima tecnologia è stata creata per assistere i clinici nell'interpretazione dell'immagine e ridurre il tasso di falsi negativi, che è il problema più

comune nella diagnosi del cancro polmonare, riconoscendo un pattern con caratteristiche sospette e portandolo all'attenzione del radiologo.

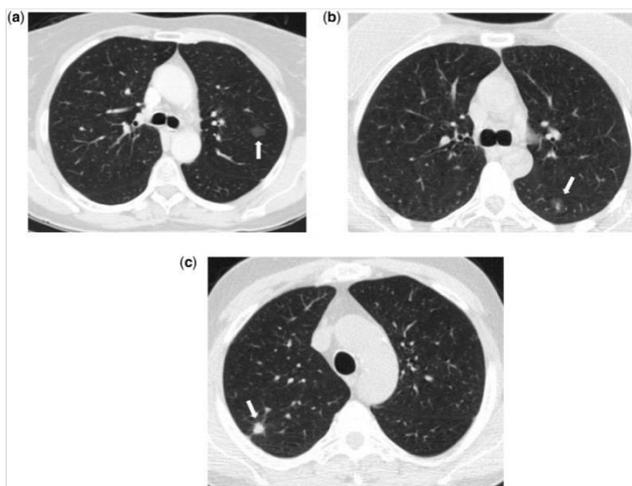
Study	Detectors	Voltage (kVp)	Tube current (mA)	Pitch	Rotation time (s)	Effective dose (mSv)	Slice thickness (mm)	Reconstruction interval (mm)
I-ELCAP	≥4	≤120	≤40	1.5	0.5	1-2	1.25	1.25
NLST	≥4	120-140 <sup>a</sup>	40-80 <sup>a</sup>	NA	NA	1.5	1.0-3.2	1.0-2.5
UKLS	>16	90 (<50 kg)	~ <sup>b</sup>	0.9-	NA	<2	NA	NA
		120 (50-80 kg)		1.1				
		140 (>80 kg)						
NELSON	16	100 (<60 kg)	20	1.5	NA	<2	1	0.7
		120 (60-80 kg)						
		140 (>80 kg)						

NA, not available.

<sup>a</sup>Depending on the CT scanner and the participant's body habitus.

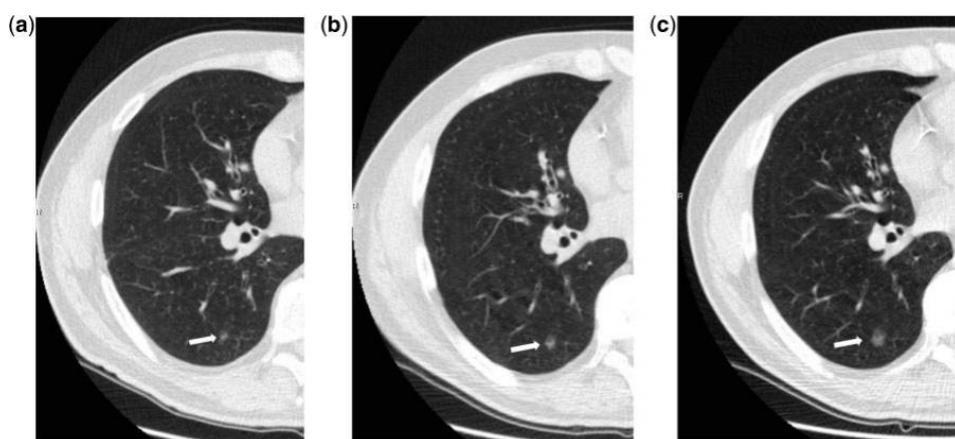
<sup>b</sup>Depending on the CT scanner adjusted to achieve the volume CT dose index given.

La dimensione e la crescita di un nodulo individuato durante lo screening sono i fattori principali che condizionano la successiva gestione del paziente. Comunemente sono considerati negativi le scansioni che mostrano noduli con diametro inferiore ai 4 millimetri o di un volume minore di 50 mm<sup>3</sup>. In questi casi, il paziente sarà sottoposto a scansioni LDCT con una frequenza annuale. Alla presenza di noduli di maggiore dimensione aumenta la possibilità di trovarsi di fronte ad un nodulo di natura maligna (possibilità tra il 6% e il 28% per quelli tra i 5 e i 10 mm, tra il 64% e l'82% per quelli con dimensioni superiori ai 20 mm) e il follow up del paziente prosegue con altri esami diagnostici per approfondire il caso e iniziare tempestivamente la terapia. La comparsa di un nodulo secondario con dimensioni superiori ai 5 mm cambia la gestione del follow up del paziente, abbreviando i tempi di intervallo tra le scansioni a 3/6 mesi per noduli di dimensione tra i 5 e i 10 mm e ogni 1/3 mesi per dimensioni maggiori, oppure procedendo direttamente con una biopsia o un esame di Tomografia ad



Emissione di Positroni.

Lo stesso discorso vale per il tasso di crescita della lesione. Solitamente lesioni a crescita rapida sono di natura maligna e viene valutata con il parametro DT (Doubling time), cioè il tempo in cui il nodulo raddoppia la sua dimensione. Se il DT è meno di 400 giorni si procede o con esami con protocollo LDCT a breve distanza temporale (es. 3 mesi) o con la biopsia o con l'esame PET. Quando il DT è tra i 400 e i 600 giorni il follow up si esegue a 6 mesi, mentre con DT superiore ai 600 giorni si ripete la scansione ad un anno di distanza.



Oltre a eventuali lesioni polmonari, durante la scansione LDCT nello screening per il carcinoma polmonare possiamo ottenere informazioni aggiuntive come patologie cardiovascolari e broncopneumopatia cronica ostruttiva. Uno studio recente ha mostrato che reperti extra-polmonari di natura maligna sono diagnosticati con una frequenza di 1 ogni 200 persone sottoposte allo screening, dimostrando che l'uso della tomografia computerizzata a basso dosaggio non dovrebbe essere limitato al solo studio del parenchima polmonare.

## Capitolo 5: Cenni di Ultra Low Dose Computed Tomography

Uno studio pubblicato sul Polish Journal of Radiology nel novembre 2022, condotto su 124 pazienti, ha confrontato il rumore, la qualità dell'immagine e la dose di radiazioni con ULDCT e Standard HRCT del torace nella diagnosi di patologie polmonari, tra cui i noduli polmonari, utilizzando un tomografo Somatom force di Siemens Healthcare (scanner di terza generazione, Dual-Source e Dual-Energy)

La Dual Energy CT come accennato prima è una tecnica avanzata che utilizza due livelli energetici differenti di raggi X per acquisire immagini con una migliore caratterizzazione dei tessuti.

Parameters of standard and ultra-low-dose computed tomography

Protocol	Standard HRCT thorax	Ultra-low-dose chest CT
Tube voltage	Automated tube voltage selection (reference kV: 120) CARE kV	100 kVp with 0.6-mm tin filter (100 Sn kVp)
Tube current time product	Automated tube current modulation (reference mAs: 122) CARE DOSE 4D	30 mAs
Collimation	192 × 0.6 mm	2 × 192 × 0.6
Gantry rotation time	0.5 seconds	0.25 seconds
Pitch	1.2	Ultra-long pitch (pitch = 3), TurboFlash mode
Data reconstruction	ADMIRE, strength level 3 with high spatial resolution kernel (Br59)	ADMIRE, strength level 3 with high spatial resolution kernel (BI57)
Slice thickness	0.6 mm	3 mm
Slice increment	0.6 mm	3 mm
Field of view	300 mm	300 mm
Pixel matrix	512 × 512	512 × 512

HRCT - high-resolution computed tomography; CT - computed tomography; ADMIRE - advance modelled iterative reconstruction

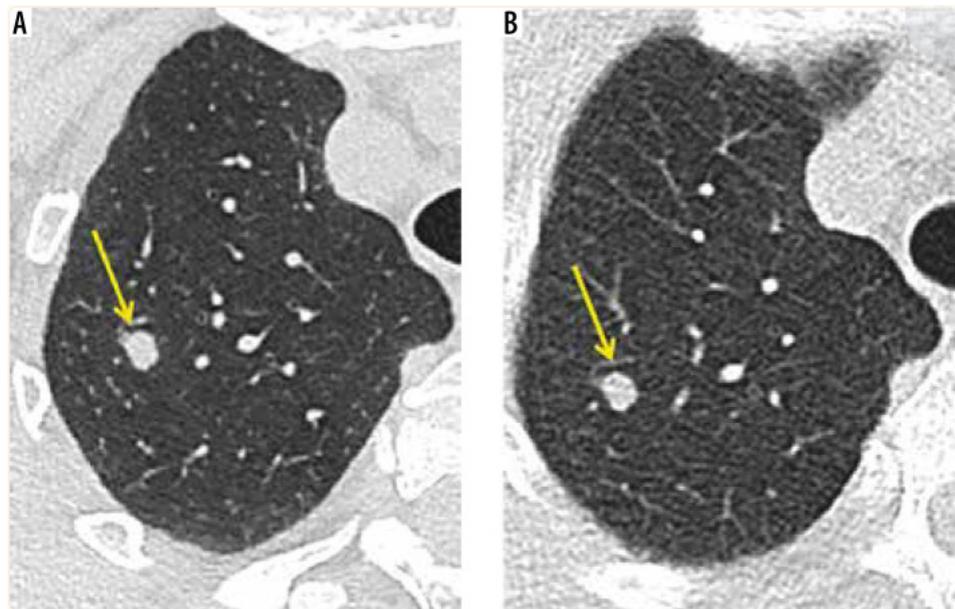
I risultati hanno mostrato un aumento del rumore, quasi raddoppiato, nelle scansioni Ultra Low Dose. I parametri dosimetrici CTDI, DLP e Dose Efficace una significativa riduzione del loro valore.

Comparison of radiation dose parameters between standard and ultra-low-dose computed tomography

	CT dose index volume (mGy)		Dose length product (mGy × cm)		Effective radiation dose (mSv)	
	Standard CT	Ultra-low-dose CT	Standard CT	Ultra-low-dose CT	Standard CT	Ultra-low-dose CT
Mean	7.87	0.10	285.44	3.63	3.99	0.050
Standard deviation	3.06	0	112.54	0.41	1.57	0.005
Mean difference	7.77		281.81		3.94	
t-value	28.25		27.88		27.88	
p-value	< 0.001		< 0.001		< 0.001	

La sensibilità ai noduli polmonari con dimensioni maggiori di 3 mm raggiunge valori superiori al 90%.

Questa combinazione di caratteristiche dei protocolli Ultra Low Dose Computed Tomography mostra segnali incoraggianti per un loro utilizzo



nei programmi di screening e di follow up di pazienti che presentano noduli polmonari solidi ( $> 3$  mm), soprattutto per il valore di Dose Efficace medio di 0,05 mSv quasi comparabile ad una radiografia del torace.

## **Capitolo 6: Ruolo del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica nello screening del carcinoma polmonare**

Dopo aver esplicitato le modalità di acquisizione e aver descritto gli innumerevoli vantaggi che si hanno attraverso il loro utilizzo, questo lavoro porta come uno dei cardini principale la figura del Tecnico di radiologia che attraverso le sue competenze porta all'esecuzione dell'esame. Il Codice Deontologico del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica infatti identifica il TSRM come il professionista sanitario responsabile nei confronti della persona degli atti tecnici e sanitari degli interventi radiologici aventi finalità di prevenzione, diagnosi e terapia. La responsabilità e l'autonomia hanno portato l'evoluzione della prestazione professionale, erogata nel servizio alla persona, da arte ausiliaria a professione sanitaria. Il paziente deve essere posto al centro di tutte le attività sanitarie. Il programma di screening richiede un lavoro multidisciplinare e multiprofessionale che coinvolge una squadra di figure sanitarie differenti che convergono in uno scopo comune e condiviso, nel rispetto dei ruoli. Il TSRM deve possedere competenze tecnico-professionali acquisite dalla formazione universitaria, dall'aggiornamento continuo e dall'esperienza sul campo, ed abilità ed attitudini personali avanzate nella relazione con il paziente e l'ambiente di lavoro che determinano la sua performance. La prestazione del TSRM, nel programma di screening del carcinoma polmonare, si compone di quattro fasi fondamentali: l'anamnesi, il posizionamento, l'esecuzione e la relazione.

### **6.1 Anamnesi**

La compilazione della scheda anamnestica per la partecipazione al programma di screening essendo un atto medico viene effettuata dal medico Radiologo che attraverso domande di seguito riportate (es.

radiografia precedenti del torace, test per la funzionalità polmonare, eventuali esposizioni ad agenti cancerogeni come l'asbesto, patologie pregresse o in atto, eventuali storie di patologie tumorali personali o familiari e storia del fumatore/fumatrice, porta a conoscenza di ulteriori informazioni che serviranno per la refertazione dell'esame. Invece dall'effettuazione della anamnesi la figura del tecnico prende un ruolo fondamentale, se non principale, per la corretta esecuzione dell'esame. Aspetto importante è l'attenzione nell'inserimento dei dati anagrafici del paziente, per evitare gravi scambi di persona. Il TSRM si occuperà anche di spiegare al paziente, in modo chiaro e comprensibile, come si svolgerà l'esame e i comportamenti da seguire per la sua buona riuscita, cercando di entrare in empatia con il paziente in modo che lo stesso non si trovi in situazioni nuove che possano portare agitazione e quindi errori durante l'effettuazione della TC.

## 6.2 Posizionamento

Posizionare il paziente sul lettino TC è compito del TSRM, ma prima di effettuarlo deve assicurarsi che il paziente abbia rimosso qualsiasi



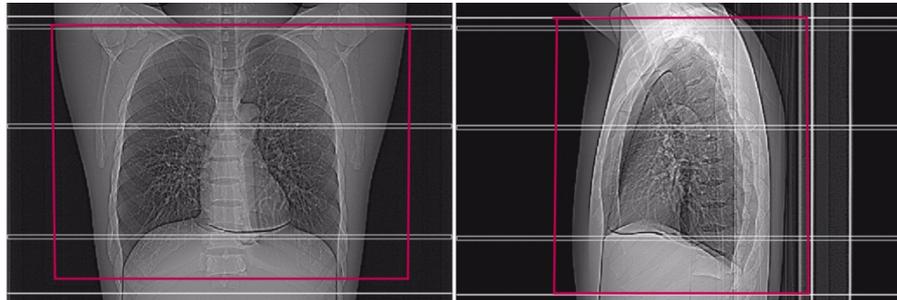
oggetto metallico che potrebbe creare artefatti e degradare l'immagine. Il posizionamento deve essere supino, head first, con le braccia portate al di sopra del

capo e all'indietro. Questa posizione delle braccia assicura la loro estromissione dal campo d'acquisizione, portando alla diminuzione della dose erogata e a scongiurare artefatti da indurimento del fascio. Se al paziente risulta difficile mantenere la posizione possono essere utilizzati cuscini e supporti per garantire maggiore comfort e stabilità. Il centraggio dei laser longitudinale e trasversale deve avvenire al

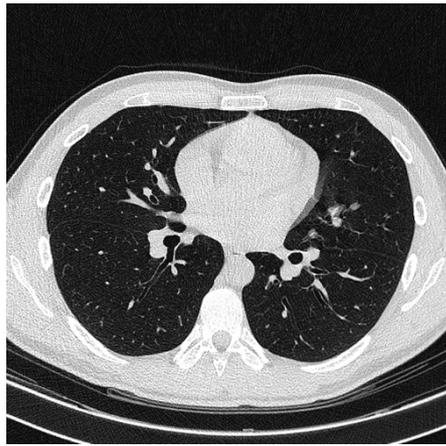
giugulo, mentre il laser del piano coronale deve essere posizionato sulla linea emiascellare.

### 6.3 Esecuzione

Un'esecuzione corretta richiede la produzione di immagini di buona qualità. Il TSRM imposta i parametri seguendo quanto indicato dal protocollo Low Dose utilizzato dal programma di screening del carcinoma polmonare. L'esame inizia con l'acquisizione delle scout view che sono immagini preliminari, una lungo il piano antero-posteriore e una lungo il piano latero-laterale. Queste immagini, acquisite mentre il lettino scorre nel gantry senza rotazione del tubo radiogeno, formano un'immagine bidimensionale e statica, quindi con un'esposizione molto bassa alle radiazioni per il paziente, che servono per la localizzazione dell'area di interesse che verrà sottoposta alla scansione TC vera e propria. L'estensione lungo l'asse Z di questa area d'interesse deve portarsi dagli apici polmonari ai seni costofrenici, mentre lungo l'asse X deve includere tutta la regione toracica nella sua estensione latero-laterale.



Posizionati i pacchetti nelle scout view, si procede alle acquisizioni TC. Il TSRM ha la possibilità di visionare in tempo reale le immagini, verificando il rispetto dei criteri di correttezza (inclusione di entrambi i campi polmonari nella loro totale estensione) e l'assenza di artefatti. Terminata la scansione il paziente potrà lasciare la sala TC, accompagnato dal TSRM che si assicurerà delle sue condizioni e che non ci siano stati problemi durante l'esame.



Il TSRM si occuperà anche delle rielaborazioni delle immagini, per migliorare la visualizzazione di eventuali noduli polmonari, effettuando la ricostruzione multiplanare (MPR), la ricostruzione tridimensionale (Volume Rendering) che permette di valutare la morfologia nodulare

e la Maximum Intensity Projection (MIP) che permette di evidenziare i noduli grazie alla loro maggiore densità.



Infine, le immagini vengono inviate al Medico Radiologo che si occuperà della refertazione. In questo momento, il Radiologo può collaborare con il TSRM chiedendo ulteriori informazioni sullo svolgimento dell'esame da prendere in considerazione.



## 6.4 Relazione

Come riscontrato in tantissimi studi effettuati negli ultimi anni la relazione che il TSRM deve intrattenere con il paziente durante l'esame è un aspetto essenziale per la corretta esecuzione di esso. Infatti l'efficacia dell'esame si basa sulla comunicazione professionale del professionista sanitario e richiede ascolto, approccio funzionale, comunicazione verbale e non verbale,

empatia e rispetto. Queste abilità sono in parte innate nell'individuo, in parte incrementate dall'esperienza e in parte acquisite durante il percorso studi. La fase della relazione si sviluppa durante tutto il tempo dell'esame, dal ricevimento del paziente nella sala TC al suo congedo. Nonostante la relazioni non riguardi l'aspetto tecnico della professione del TSRM ha un enorme peso su di esso e sulla realizzazione di esami di buona qualità, fondamentali per la riuscita del programma di screening per il carcinoma polmonare. Infatti, la relazione instaurata con il paziente consente la creazione della migliore condizione possibile per lo svolgimento dell'esame, sia per il TSRM che per il paziente stesso.

## Capitolo 7: Conclusione

L'elaborato ha voluto analizzare i progressi ottenuti dai programmi sperimentali di screening del carcinoma polmonare con tomografia computerizzata a basso dosaggio nella lotta a questa malattia. Gli incoraggianti risultati conseguiti non sarebbero stati possibili senza lo sviluppo tecnologico della metodica di tomografia computerizzata che ha permesso una continua ottimizzazione dei protocolli Low Dose, che permettono l'identificazione di noduli sospetti in stadi precoci compatibilmente con un livello di dose accettabile. Anche i protocolli Ultra Low Dose Computed Tomography sembrano dare segnali positivi per loro uso per lo studio dei noduli polmonari ma, a causa dello sviluppo ancora in fase precoce e la scarsità di dati in nostro possesso, richiedono ulteriori valutazioni in futuro. In questo processo, il Tecnico Sanitario di Radiologia Medica riveste un ruolo di fondamentale importanza nello svolgimento del programma di screening grazie alle sue competenze tecnico-professionali, in continuo aggiornamento, al pari passo con l'evoluzione tecnologica della materia, che permettono acquisizioni di assoluta qualità diagnostica e la per la sua collaborazione continua con il Medico Radiologo per l'ottimizzazione dei protocolli d'esame. Inoltre, il TSRM sarà la figura professionale con avrà maggiore contatto con il paziente durante l'intera procedura d'esame richiedendo, quindi, anche spiccate doti relazionali ed umane. Tirando le somme, i programmi di screening del carcinoma polmonare procedono a grandi passi verso il superamento della fase di sperimentazione e, in tutte le fasi della sua attuazione e con tutte le figure coinvolte, hanno come scopo la tutela della Salute Pubblica.

## Bibliografia

- I. Vincenzo Mezzogiorno, Antonio Mezzogiorno, “Compendio di anatomia umana”, Piccin 1994;
- II. “I numeri del cancro in Italia 2023”, AIOM, Intermedia Editore;
- III. Dr. Ugo Pastorino, Direttore UOC Chirurgia Toracica, Fondazione IRCCS Istituto Nazionale dei Tumori, “Progetto della Rete Italiana Screening Polmonare”;
- IV. “Reduced Lung-Cancer Mortality with Volume CT Screening in a Randomized Trial”, The New England Journal of Medicine;
- V. Marco Moroni, “La TC: evoluzione ed applicazioni”;
- VI. Nadine Kawel, Burkhardt Seifert, Marcus Luetolf, Thomas Boehm, “Effect of slab thickness on the CT detection of pulmonary nodules: use of sliding thin-slab maximum intensity projection and volume rendering”, PubMedCentral;
- VII. Chiara Pozzessere, Christophe von Garnier e Catherine Beigelman-Aubry, “Radiation Exposure to Low-Dose Computed Tomography for Lung Cancer Screening: Should We Be Concerned?”, PubMed Central;
- VIII. Cristiano Rampinelli, Daniela Origgi, Massimo Bellomi, “Low-dose CT: technique, reading methods and image interpretation”, PubMed Central;
- IX. Takeshi Kubo, Yoshiharu Ohno, Mizuki Nishino, Pei-Jan Lin, Shiva Gautam, Hans-Ulrich Kauczor, Hiroto Hatabu, and iLEAD study group, “Low dose chest CT protocol (50 mAs) as a routine protocol for comprehensive assessment of intrathoracic abnormality”, PubMed Central;
- X. Mannudeep K. Kalra MD, “Low-Dose CT for Lung Cancer Screening”, Journal of the American College of Radiology;
- XI. “La DOSE RADIANTE in Tomografia Computerizzata: materiale formativo a cura dell’Associazione Americana dei Fisici Medici”, traduzione a cura di Marco Ciccone, 2013;

- XII. Ronald A. Castellino, “Computer aided detection (CAD): an overview”, PubMed Central;
- XIII. K. Gobi, Venkatesh Kasi Arunachalam, Rajesh Kumar Varatharajaperumal, Mathew Cherian, Gopinath Periaswamy, S. Rajesh, “The role of ultra-low-dose computed tomography in the detection of pulmonary pathologies: a prospective observational study”, PubMed Central;
- XIV. Codice Deontologico del Tecnico Sanitario di Radiologia Medica, 2004;

## Sitografia

- I. Manuela Perrone, “Tumori: oltre 36,4 miliardi di costi sociali. In cerca di diritti 2,2 milioni di italiani”, <https://favo.it>
- II. “Screening for lung cancer”, <https://cancerresearchuk.org>
- III. “Ci sono persone ad alto rischio che possono beneficiare di esami per la diagnosi precoce del cancro al polmone”, <https://airc.it>
- IV. “I numeri del cancro: le statistiche dell’Onc”, <https://osservatorionazionalecreening.it>
- V. <https://programmarisp.it>
- VI. “Final Recommendation Statement Lung Cancer: Screening”, <https://uspreventiveservicestaskforce.org>
- VII. “New lung cancer screening roll out to detect cancer sooner”, <https://gov.uk>
- VIII. “Radiation Dose”, <https://radiologyinfo.org>
- IX. <https://ielcap.org>

