

## **INDICE:**

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
1.1 Definizione di intelligenza artificiale.....	2
1.2 Storia dell'intelligenza artificiale.....	3
1.3 Storia dell'AI in Radiologia.....	7
1.4 Ambiti di applicazione dell'AI nel flusso di lavoro radiologico...10	
1.5 Ottimizzazione del flusso di lavoro in Radiologia.....	17
1.6 Un nuovo software: myExam Companion.....	22
1.7 Un nuovo metodo di formazione: l'utilizzo dei simulatori.....	28
<b>2. OBIETTIVI.....</b>	<b>37</b>
<b>3. MATERIALI E METODI.....</b>	<b>38</b>
<b>4. DISCUSSIONE E RISULTATI.....</b>	<b>43</b>
<b>5. CONCLUSIONI.....</b>	<b>54</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>56</b>
<b>7. RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>58</b>

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 DEFINIZIONE DI INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Nei Dipartimenti di Diagnostica per Immagini, di recente, sono state implementate numerose applicazioni che prevedono l'impiego dell'intelligenza Artificiale (AI) allo scopo di coadiuvare l'operatore al raggiungimento di un miglior risultato diagnostico a beneficio del paziente. Questi strumenti hanno il potenziale per migliorare la qualità e la sicurezza, ottimizzare il flusso di lavoro, aumentare l'efficienza e aumentare la soddisfazione del paziente.

L'intelligenza artificiale (AI) può essere definita come lo sviluppo di sistemi informatici che elaborano dati allo scopo di simulare ragionamenti di tipo umano, ovvero algoritmi che non solo analizzano ma imparano dall'esperienza: “l'intelligenza artificiale è una disciplina appartenente all'informatica che studia i fondamenti teorici, le metodologie e le tecniche che consentono la progettazione di sistemi hardware e sistemi di programmi software capaci di fornire all'elaboratore elettronico prestazioni che, a un osservatore comune, sembrerebbero essere di pertinenza esclusiva dell'intelligenza umana” (Workflow Applications of Artificial Intelligence in Radiology and an Overview of Available Tools, Neena Kapoor, MDa American College of Radiology). Il software tradizionale può superare computazionalmente le prestazioni degli esseri umani per determinate attività, ma le sue prestazioni non miglioreranno con l'esposizione ai dati o all'esperienza. Più semplicemente, il software tradizionale non impara. L'apprendimento automatico (Machine Learning) è una branca dell'intelligenza artificiale che, contrariamente al software tradizionale, risolve i problemi con algoritmi che si adattano con l'esperienza. Ciò consente la creazione di potenti strumenti basati sull'esposizione dell'algoritmo e sull'apprendimento da diversi scenari di interesse per risolvere problemi complessi e abilitare la modellazione predittiva.

L'uso dell'Intelligenza Artificiale per l'ottimizzazione, il miglioramento o l'esecuzione di attività diagnostiche mediche ha suscitato interesse nella letteratura medica (Artificial intelligence in diagnostic imaging: impact on the radiography profession Maryann Hardy, PhD British Institute of Radiology). L'AI sta rivoluzionando il settore della diagnostica per immagini, migliorando la capacità dei Radiologi di diagnosticare e trattare le condizioni mediche in modo più accurato ed efficiente. Tuttavia, è importante sottolineare che l'utilizzo dell'AI in campo medico richiede una rigorosa validazione e supervisione da parte degli esperti per garantire la sicurezza e l'efficacia dei risultati ottenuti come quella, descritta in questo elaborato, dell'ottimizzazione del workflow.

## **1.2 STORIA DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE**

La nascita dell'Intelligenza Artificiale si fa comunemente risalire al 1955 quando per la prima volta è stato usato il termine "Intelligenza Artificiale" da parte di un gruppo di ricercatori statunitensi capitanati da John McCarthy, ma già nel 1943 e nel 1950 ci sono state importanti pubblicazioni su sistemi e macchine intelligenti da parte di Warren McCulloch e Walter Pitts nel 1943, e da parte di Alan Turing nel 1950. Nel 1943 Warren McCulloch (neurofisiologo) e Walter Pitts (matematico) pubblicarono un articolo sulla rivista "Bulletin of Mathematical Biophysics" dal titolo "A logical Calculus of the ideas immanent in nervous activity" in cui mostravano come un semplice sistema di neuroni artificiali potesse essere in grado di eseguire delle funzioni logiche basilari. Almeno in teoria, questo sistema poteva imparare nello stesso modo in cui impariamo noi: usando l'esperienza ed eseguendo quei tentativi ed errori che rafforzano o indeboliscono le connessioni tra neuroni. Nel 1950 Alan Mathison Turing, scrisse un articolo sulla rivista Mind dal titolo "Computing machinery and intelligence", in cui si domandava se una macchina avrebbe mai potuto

pensare. Su questo articolo si basa buona parte dei successivi studi sull'intelligenza artificiale. Nell'articolo Turing sostiene che per rispondere alla domanda dovrebbe riuscire a definire i termini "macchina" e "pensiero".

Di fronte al problema di definire il pensiero, Turing ricorre ad un metodo operativo, conosciuto come "test di Turing" o "imitation game", sostenendo che, se dopo un certo tempo non si riesce a distinguere la macchina dagli esseri umani, diremo che la macchina è intelligente. Ancora oggi il Test di Turing viene utilizzato per distinguere un'intelligenza umana da un'intelligenza artificiale (L'intelligenza artificiale per lo sviluppo sostenibile, E. Girardi luglio 2021).

Il nome intelligenza artificiale viene usato per la prima volta nel 1956 nella conferenza di Dartmouth, alla quale hanno partecipato John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon, Ray Solomonoff, Oliver Selfridge, Trenchard More, Arthur Samuel, Allen Newell e Herbert Simon, che sono oggi considerati i padri dell'intelligenza artificiale.

Fin dai suoi albori l'Intelligenza Artificiale ha mostrato momenti di grande entusiasmo seguiti da forti delusioni. La prima epoca di entusiasmo risale al 1960 ed è rappresentata dall'utilizzo di reti neurali. A seguire, negli anni '70 e '80 l'entusiasmo riguarda i sistemi esperti e nascono la programmazione logica e la fuzzy logic, due nuovi paradigmi dell'IA. Oggi stiamo vivendo la fase di ritrovato entusiasmo per le reti neurali, scoperte negli anni '60 ma utilizzabili pienamente solo negli ultimi anni grazie all'evoluzione della potenza di calcolo e alla disponibilità di big data.

Negli anni '60 Frank Rosenblatt (psicologo statunitense) realizzò il Perceptron, una macchina basata sui principi descritti da McCulloch e Pitts nel 1943. in grado di apprendere da esempi a riconoscere delle forme (caratteri, figure geometriche, ecc.). La delusione arriva velocemente, ad opera di due importanti ricercatori nel campo dell'IA (Marvin Minsky e Seymour Papert) che in un libro

dall'omonimo titolo (Perceptron) dimostrano che il modello che sta alla base della macchina non è in grado di effettuare alcuni semplici calcoli: ad esempio non è in grado di imparare una funzione logica semplice come la XOR (disgiunzione esclusiva). Quasi tutta la ricerca sulle reti neurali viene abbandonata.

Negli anni '70 assistiamo ad una nuova epoca di entusiasmo per un altro paradigma dell'IA costituito dalla programmazione logica, ed al PROLOG (PROgramming in LOGic) che diventa il paradigma di riferimento per la comunità scientifica per la ricerca e lo sviluppo di nuove macchine intelligenti. Il Giappone riconosce le potenzialità di questi strumenti e nel 1982 il Ministero per il Commercio Internazionale e l'Industria dedica importanti investimenti per lo sviluppo di un Calcolatore della quinta generazione (in inglese FGCS, Fifth Generation Computer Systems), un'innovativa architettura di supercomputer basata su calcolo parallelo e capacità logiche. L'obiettivo era di costruire una macchina capace di contenere l'intera conoscenza umana e in grado di rispondere a qualsiasi domanda gli venisse posta. L'FGCS non ebbe successo, ma dopo quasi 40 anni Open AI, l'organizzazione di ricerca multipartner statunitense, ha rilasciato un sistema di elaborazione del linguaggio naturale GPT-35 (Generative Pre-trained Transformer 3) che utilizzando le reti neurali riesce a risolvere alcuni dei problemi indirizzati dal progetto giapponese. La programmazione logica viene tuttora utilizzata in diverse applicazioni industriali quali pianificazione e ottimizzazione delle risorse scarse ed è incorporata all'interno di numerosi programmi che vengono usati quotidianamente, come ad esempio i correttori ortografici, piccoli sistemi esperti, sistemi di raccomandazione.

A metà degli anni '80 un gruppo di lavoro del MIT (Parallel Distributed Processing Group) trova un modo di addestrare e far funzionare reti di neuroni artificiali multistrato. Questa invenzione permette di superare i limiti evidenziati

da Minsky e Papert negli anni '60 e rende possibile l'utilizzo di questo paradigma in moltissime applicazioni pratiche. Tuttavia, il paradigma richiede un gran numero di esempi per addestrare la rete e capacità di calcolo nella fase di addestramento. Fino ai primi anni del 2000 la ricerca e le applicazioni delle reti stentano a decollare. Dal 2015 in poi l'interesse per le reti neurali artificiali risorge in modo prepotente con un nuovo hype soprattutto grazie a nuovi traguardi nelle capacità di calcolo, dovute in gran parte alla disponibilità di processori paralleli a buon mercato, nati per la computer graphics e un enorme numero di esempi utilizzabili per l'addestramento delle reti e ricavabili dal web. Questa è l'epoca in cui ci troviamo oggi.



Figura 1: Storia dell'intelligenza artificiale

### 1.3 STORIA DELL'AI IN RADIOLOGIA

L'idea di utilizzare l'intelligenza artificiale nell'imaging risale agli anni '60. Dopo i successi dei computer in altri rami della scienza e dell'industria, i ricercatori hanno tentato di sfruttare la loro “unicità e capacità indispensabile di trattenere un gran numero di fatti e di accettare un programma esatto e dettagliato di istruzioni che descrivono come relazionare questi fatti al fine di fornire una risposta statisticamente ponderata” (The past, present and future role of artificial intelligence in imaging, Mohammad Ihsan Fazal 2018, Brighton and Sussex Medical School, United Kingdom).

Nel 1967, Winsberg e altri ricercatori crearono un dispositivo in grado di rilevare cambiamenti nelle densità ottiche delle pellicole mammografiche e aree di evidenza con rettangoli ombreggiati per indicare le differenze tra il seno sinistro e quello destro (Detection of radiographic abnormalities in mammograms by means of optical scanning and computer analysis, F. Winsberg, Radiology 1967). Allo stesso modo, Lodwick e altri ricercatori hanno tentato di creare sistemi informatici in grado di produrre diagnosi in modo semi-automatico ma la potenza di calcolo dei sistemi informatici era troppo bassa per poterlo fare (Automated radiographic diagnosis via feature extraction and classification of cardiac size and shape descriptors, Lodwick IEEE Trans. Biomed. Eng. BME 19, 1972).

Negli anni '80 si è verificato un cambiamento: il superamento dei limiti della potenza di calcolo ha portato allo sviluppo di sistemi volti a supportare i radiologi piuttosto che a sostituirli e, successivamente, sono state proposte una serie di tecniche diverse, tra cui il ragionamento basato su regole e basato su casi, le reti bayesiane e l'ipertesto. Tuttavia, la tecnica di gran lunga più efficace e di successo, nonché quella utilizzata dalla maggior parte degli attuali sistemi di intelligenza artificiale in radiologia, è la rete neurale artificiale (ANN).

Questi sistemi informatici sono basati su funzione del cervello umano. Comprendono reti di processi informatici altamente interconnessi che assumono il ruolo di neuroni, eseguendo calcoli paralleli per l'elaborazione dei dati, uniti tra loro da connessioni ponderate. La base di conoscenza del sistema codifica la ponderazione di ciascuna connessione e ciascun "neurone" utilizza questa ponderazione, informata dal ragionamento matematico, per decidere se attivare altri "neuroni" lungo la linea.

Le ANN possono essere "addestrate" attraverso l'apprendimento supervisionato, che prevede il confronto delle aspettative dall'output effettivo. Tuttavia, possono anche apprendere attraverso l'apprendimento non supervisionato, in base al quale il sistema regola la ponderazione delle sue connessioni utilizzando osservazioni e correlazioni con i dati di input. L'uso più comune dei sistemi ANN nell'imaging è all'interno dei programmi CAD (Computer Aided Detection) basati sull'intelligenza artificiale. Si tratta di un'implementazione software dell'intelligenza artificiale che analizza le immagini ed evidenzia le aree problematiche, prima di richiedere un'ulteriore ispezione da parte del radiologo.

Il CAD basato sull'intelligenza artificiale viene utilizzato abitualmente nei programmi di screening del cancro al seno.

Negli USA fornisce un secondo parere alla lettura iniziale delle mammografie da parte del radiologo e quindi, a differenza della diagnosi computerizzata automatizzata, è progettato per aumentare le prestazioni del medico nell'individuazione di lesioni sospette, piuttosto che sostituire il radiologo (Computer-aided diagnosis in medical imaging: historical review, current status and future potential, K. Doi, Comput. Med. Imaging Graph. 31, 2007).

Con l'aumento della potenza di calcolo dei sistemi informatici questo tipo di diagnosi viene applicata anche alle scansioni di Tomografia Computerizzata per



la diagnosi precoce di tumore al polmone nel progetto “Rete Italiana Screening Polmonare”, il quale ha avuto inizio nel 2022 in diversi centri italiani.

Con un’innovazione tecnologica sempre maggiore dai primi anni del 2000 ad oggi si sono sviluppati principalmente due metodi di intelligenza artificiale nell’ambito radiologico, soprattutto nel campo oncologico: il primo metodo si basa su caratteristiche ingegnerizzate estratte dalle regioni di interesse sulla base delle conoscenze degli esperti. Esempi di queste applicazioni nella caratterizzazione del cancro includono volume, forma, consistenza, intensità e posizione del tumore. Le funzionalità più robuste vengono selezionate e inserite nei classificatori di machine learning; il secondo metodo utilizza il deep learning e non richiede l’annotazione della regione, anzi, la localizzazione è solitamente sufficiente. Comprende diversi livelli in cui l'estrazione delle caratteristiche, la selezione e la classificazione finale vengono eseguite simultaneamente durante l'addestramento. Man mano che gli strati apprendono caratteristiche di livello sempre più elevato, gli strati precedenti potrebbero apprendere forme astratte come linee e ombre, mentre altri strati più profondi potrebbero apprendere interi organi o oggetti (Artificial intelligence in radiology, Ahmed Hosny, 2018, Macmillan Publishers Limited, part of Springer Nature).

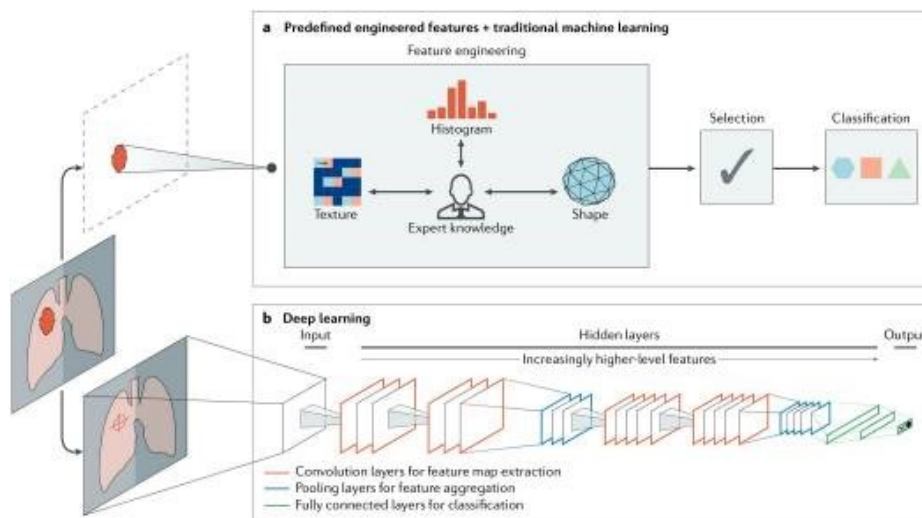


Figura 2: metodi attuali di AI in Radiologia

## **1.4 AMBITI DI APPLICAZIONE DELL'AI NEL FLUSSO DI LAVORO RADIOLOGICO**

La traduzione di workflow è letteralmente “flusso di lavoro”. In altri termini, un workflow è un processo scandito da diversi compiti in successione, che partono da un input iniziale e accompagnano, passo dopo passo, verso un risultato prestabilito. Il tutto razionalizzando l'uso del tempo e delle risorse interne e ottimizzando le prestazioni. A passare da uno step all'altro del percorso possono essere semplici documenti, nozioni o compiti da svolgere in successione, per arrivare a un traguardo condiviso. Le diverse attività del workflow aggiungono di volta in volta valore al processo, fino a portarlo al completamento di un obiettivo anche piuttosto complesso. La gestione di un flusso di lavoro può essere manuale oppure automatizzata, quando a prendersi carico del suo corretto svolgimento è un sistema di workflow e non una persona fisica. Nel 2023 tutte le radiologie hanno digitalizzato i processi, rendendo i flussi di lavoro delle attività sempre più automatizzate. La trasformazione digitale delle procedure interne può coinvolgere la condivisione documentale, lo scambio di informazioni o la produzione di decisioni, contribuendo a ridurre ulteriormente costi, tempi e possibili errori grazie a piattaforme tecnologiche capaci di digitalizzare ogni fase di un flusso di lavoro, dall'acquisizione dei dati, alla loro condivisione, fino al passaggio di task da un utente all'altro a causa dell'enorme mole di dati che viene creata con l'acquisizione e la rielaborazione delle immagini radiologiche.

Modellizzare il flusso di lavoro in radiologia, quindi schematizzare e sintetizzare il mondo reale con tutte le sue sfaccettature e varianti non è compito semplice: un notevole sforzo in questo senso è stato compiuto nell'ambito dell'iniziativa IHE (Integrating the Healthcare Enterprise, <http://www.ihe.net>), che propone un dettagliato modello rappresentato nella seguente figura.

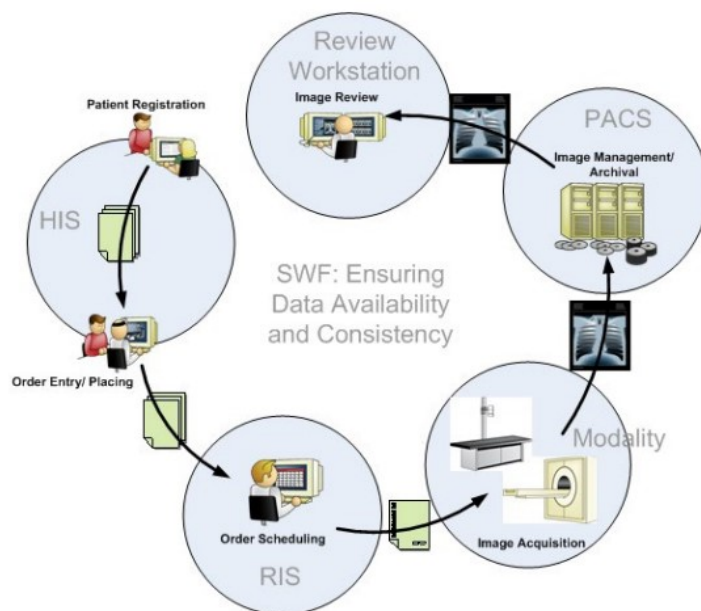


Figura 3: flusso di lavoro radiologico

All'interno di questo modello, sono individuati vari attori, cioè i principali anelli della catena integrata che porta dalla richiesta del medico fino all'esecuzione degli esami diagnostici e alla produzione del referto. Il flusso di lavoro ha inizio con l'ingresso del paziente nella struttura sanitaria e la sua successiva registrazione, che avviene tramite un sistema o attore genericamente definibile come ADT, Admission Discharge Transfer (sistema di ammissione e anagrafica). Successivamente viene richiesta una prestazione (o "Ordine") per il paziente, p.es. una TC addominale, tramite un sistema a livello di ospedale o inter-ospedale detto Order Placer (sistema di emissione ordini) e corrispondente grosso modo ad un CUP nella realtà italiana (Centro Unico di Prenotazione). A questo punto l'esame viene schedato (ovvero prenotato) sulla base delle disponibilità esistenti, tramite un sistema informatico, detto DSS, Department System Scheduler (sistema di prenotazione di reparto) o più comunemente RIS, Radiology Information System (sistema informativo di radiologia). Alla data prefissata, l'esame viene eseguito su un'apparecchiatura specifica detta

genericamente diagnostica o modalità (p.es. un apparecchio TAC). I risultati in termini di immagini diagnostiche prodotte vengono poi inviati ad un archivio di immagini, detto Image Manager (sistema di gestione immagini) o PACS, Picture Archiving and Communication System (sistema di archiviazione e comunicazione immagini). A questo punto il radiologo dovrà recuperare le immagini diagnostiche prodotte a fronte di una richiesta iniziale e produrre un referto, che sarà archiviato e consegnato al paziente. La refertazione avviene su una stazione di refertazione detta comunemente Review Station.

La modellizzazione del flusso di lavoro si basa su dati variabili, questo permette di analizzare nel dettaglio i flussi e le loro variazioni. Ci sono dati in output, i quali possono fornire informazioni cruciali in merito ai processi e alle loro caratteristiche, ad esempio tempo di attesa per un esame, tempi di utilizzo del RIS/PACS, queste informazioni se adeguatamente elaborate possono essere la chiave dell'ottimizzazione dei processi. Variando infatti la struttura del modello si ottengono risultati differenti, ragion per cui è possibile strutturare il reparto in modo tale da evitare le problematiche che si evidenziano dall'analisi dei dati.

Nota la struttura del reparto, ovvero la localizzazione dei punti di interesse: accettazione, modalità, sale di refertazione, flusso di dati e attività diagnostica è possibile analizzare gli eventi generando un modello di eventi discreti con la rappresentazione presente in figura (figura 4).

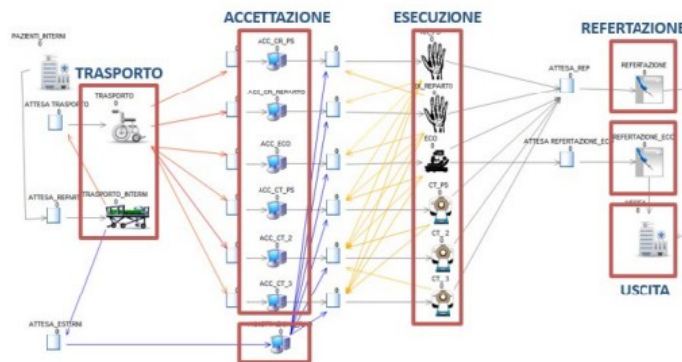


Figura 4: modellizzazione flusso di lavoro

Nonostante l'enfasi dell'intelligenza artificiale rispetto all'interpretazione delle immagini mediche, ci sono molte aree in cui ha un impatto diretto partendo dalla valutazione pre-esame fino alla rielaborazione delle immagini, ma anche durante la refertazione medica in cui supporta tutto il flusso di lavoro radiologico.

Un ruolo chiave è quello di interagire direttamente con i pazienti prima, durante e dopo la loro procedura di imaging. Parte di questa interazione è controllare l'identificazione e le indicazioni per l'esame richiesto, nonché informare il paziente sulla procedura da intraprendere. Sebbene sia improbabile che la comunicazione umana diretta tra paziente e operatore sanitario venga sostituita dalle tecnologie di intelligenza artificiale, è possibile che i sistemi di intelligenza artificiale assistano nel vaglio automatizzato dei rinvii e nel controllo del senso delle indicazioni cliniche e delle corrispondenti modalità e tecniche di imaging da impiegare, nonché nella verifica delle registrazioni di identificazione dei pazienti tramite l'interazione con la cartella clinica elettronica. La potenziale capacità dell'intelligenza artificiale di accedere, assimilare e sintetizzare conoscenze e dati da una gamma di portali di dati dei pazienti aumenta ulteriormente l'efficienza. Tuttavia, la supervisione e la diligenza umana sono necessarie per garantire che i dati delle cartelle cliniche elettroniche del paziente non siano danneggiati e che le decisioni dell'AI siano coerenti.

In tutte le modalità, i tecnici di radiologia sono responsabili di garantire il posizionamento accurato del paziente prima dell'acquisizione dell'immagine mentre l'infermiere la disponibilità dell'accesso venoso per l'iniezione di contrasto, se necessario. Durante gli studi TC e RM, la posizione del paziente all'interno del gantry viene analizzata tramite le viste scout (topogramma) e successivamente viene eseguita la pianificazione della sezione/volume o della sequenza. Un posizionamento impreciso del paziente (non isocentrico) può comportare una qualità dell'immagine ridotta e, per la TC, un aumento della dose

al paziente. La ricerca suggerisce che il posizionamento isocentrico e l'analisi dell'immagine scout nella TC, insieme ai calcoli del piano RM e del volume, sono aree che possono essere automatizzate dai sistemi di intelligenza artificiale. Esiste anche il potenziale per ottimizzare il volume del contrasto e le velocità di iniezione in base ai parametri del paziente utilizzando sistemi intelligenti (Artificial intelligence in radiology Ahmed Hosny, 2018 Macmillan Publishers Limited, part of Springer Nature). Nel contesto della pianificazione del trattamento in radioterapia, i sistemi di deep learning possono anche essere utilizzati per pianificare le regioni di trattamento mediante l'autosegmentazione dei tumori e l'individualizzazione della dose da erogare a vantaggio della cura del paziente e potenzialmente riducendo gli esiti terapeutici non desiderati.

La selezione del protocollo di imaging corretto in base al paziente, al quesito diagnostico e alla regione da studiare è un'importante responsabilità del radiologo, ma l'evidenza suggerisce che la scelta e l'applicazione del protocollo non sono coerenti all'interno o tra i siti ospedalieri o le modalità di imaging. Di conseguenza la selezione del protocollo potrebbe essere automatizzabile. Esiste anche un insieme di metodi di riduzione della dose guidati dall'AI per mammografia, TC e tomografia a emissione di positroni/TC, così come la riduzione del tempo delle sequenze in RM fornendo opportunità per un'acquisizione delle immagini più rapida e una maggiore produttività. È importante sottolineare che le opportunità per l'aumento dell'acquisizione di immagini AI si estendono agli ultrasuoni in cui la qualità dell'esame è stata per lungo tempo considerata dipendente dall'operatore, piuttosto che dalla tecnologia. Gli strumenti automatizzati di posizionamento e misurazione degli ultrasuoni AI consentiranno inoltre agli ecografisti di fornire rapporti di valutazione degli ultrasuoni di alta qualità con tassi di errore inferiori tramite misurazioni automatizzate guidate dall'AI e maggiore qualità dell'immagine.

L'automazione della post-elaborazione di TC, RM e studi di medicina nucleare è una realtà esistente già da molti anni, riducendo il tempo complessivo dell'esame e ottimizzando le immagini dell'esame stesso. I sistemi di intelligenza artificiale più recenti possono eseguire questi compiti a velocità ancora maggiori rispetto ai sistemi tradizionali, consentendo potenzialmente la super-risoluzione dell'immagine e l'immediata segmentazione automatizzata degli organi di interesse. Le prime ricerche dimostrano anche la creazione di un'immagine TC da una scansione MRI o viceversa, ovviando completamente alla necessità di una seconda procedura di imaging (Artificial intelligence in radiology Ahmed Hosny, 2018 Macmillan Publishers Limited, part of Springer Nature). In radioterapia esiste anche la possibilità di segmentazione automatizzata degli organi derivante da immagini fuse TC-RM con maggiore precisione verso il bersaglio rispetto alle precedenti tecniche, riducendo ulteriormente il rischio di danni collaterali agli organi sani.

L'uso dell'intelligenza artificiale non si ferma qui ma prosegue aiutando i radiologi nell'interpretare le immagini, questo è uno dei campi più sviluppati e stimolanti. Esistono alcune potenziali applicazioni che aiutano i radiologi nella valutazione e segnalazione dell'età ossea pediatrica, nel rilevamento delle lesioni negli screening mammografici o nel rilevamento delle lesioni negli screening polmonari in TC; un'altra applicazione è il rilevamento delle fratture negli esami radiografici eseguiti in pronto soccorso o nel rilevare lesioni e segni di sanguinamento negli esami TC senza mezzo di contrasto dell'encefalo, il tutto per velocizzare la refertazione in un'area critica come l'area della medicina d'urgenza.

In alcuni studi è stato dimostrato che un algoritmo basato su regole potrebbe raggiungere una precisione dall'81% al 100% a seconda della specifica entità patologica per identificare con precisione le raccomandazioni di follow up scritte nei referti radiologici (Artificial intelligence in diagnostic imaging: impact on

the radiography profession Maryann Hardy, PhD British Institute of Radiology). Inoltre, alcuni software esistenti sul mercato, in base ai reperti segnalati nei referti, creano delle notifiche di allerta in quei pazienti ricoverati in cui ci sono risultati critici meritevoli di ulteriore follow-up con altri metodi diagnostici.

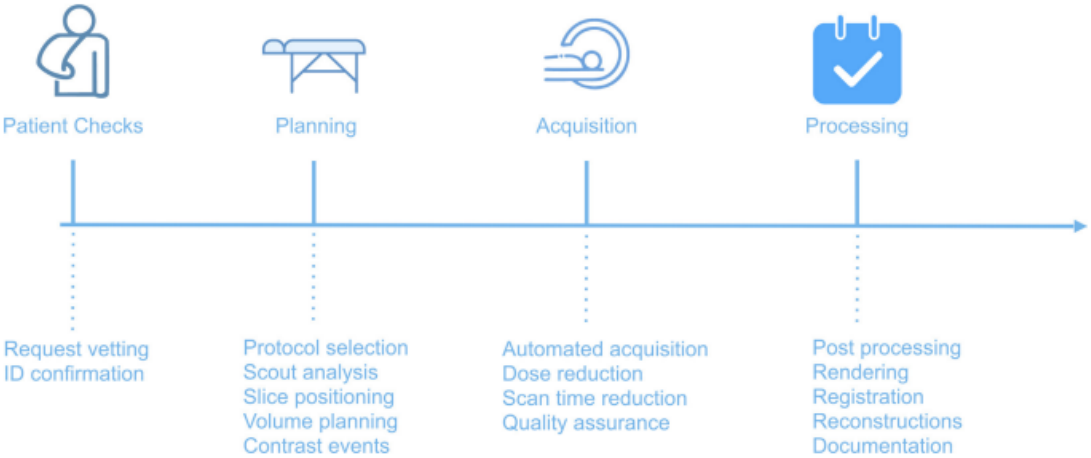


Figura 5: impatto dell'AI nel workflow radiologico



## 1.5 OTTIMIZZAZIONE DEL FLUSSO DI LAVORO IN RADIOLOGIA

La Radiologia è la disciplina medica che più di ogni altra ha vissuto e sta vivendo una continua evoluzione tecnologica. Non esiste patologia che non abbia bisogno di un corretto inquadramento diagnostico mediante esami radiologici.

La necessità di ottenere diagnosi sempre più precoci tali da poter mettere in atto trattamenti mirati e meno invasivi ha determinato un incremento significativo del numero degli esami radiologici eseguiti. Negli ultimi 20 anni, negli USA, si è passati da circa 3 milioni a 63 milioni di esami TC eseguiti ogni anno.

La digitalizzazione del settore sanitario comporta una rivoluzione sia sul fronte della gestione di aziende ospedaliere e cliniche che su quello del percorso terapeutico e dell'impatto sul paziente. La vera leva per attuare un cambiamento volto all'innovazione di processi e metodologie è rappresentata dall'utilizzo strategico dei dati, un patrimonio informativo in grado di guidare la governance delle strutture in maniera oculata e virtuosa. In quest'ottica, la pandemia ha rappresentato un punto di non ritorno, il momento in cui oggettivamente vi è stata una presa di coscienza a livello diffuso sui vantaggi dell'innovazione in tale ambito (Accurate and efficient pulmonary CT imaging workflow for COVID-19 patients by the combination of intelligent guided robot and automatic positioning technology Yadong Gang\_2021 Published by Elsevier B.V. on behalf of Chinese Medical Association).

La digitalizzazione può rendere concreto l'obiettivo di porre al centro di ogni processo il benessere del paziente, grazie all'uso strategico dei dati e dispositivi tecnologici. Adottare nelle aziende sanitarie un approccio volto a valorizzare il paziente, è la chiave per raggiungere anche nuovi livelli di efficienza. Puntando infatti a questo modello virtuoso, con il sostegno di una governance ospedaliera guidata dai dati, si possono ottenere:

- Maggiore soddisfazione e meno stress per il paziente: la corretta gestione dei flussi documentali e la condivisione dei dati sono necessarie per evitare per esempio che le persone debbano sostenere lunghe attese in vista di un esame o che si possano creare disguidi burocratici in accettazione, passi importanti per rendere l'esperienza in ospedale meno impattante;
- Percorsi terapeutici più snelli ed efficaci: i dati, resi disponibili attraverso metodi di condivisione innovativi, flussi documentali avanzati o tramite strumenti avanzati come soluzioni di intelligenza artificiale, supportano i medici nel formulare le diagnosi favorendo l'appropriatezza prescrittiva;
- Gestione dei pazienti da remoto: grazie alle soluzioni di telemedicina e ai dispositivi digitali e-health si possono effettuare le visite e un efficiente monitoraggio dei parametri del paziente anche a distanza, consentendo alla persona di rimanere a casa e di recarsi in ospedale solo per gli esami, una risorsa importante in caso di follow-up, per esempio;
- Più efficienza nell'organizzazione dell'azienda sanitaria: i dati aiutano ospedali e cliniche a capire su quali aspetti della propria attività è meglio investire, a capire il livello di soddisfazione dei pazienti e a rinnovare la propria offerta. In generale, a intraprendere percorsi decisionali fruttuosi;
- Ridefinizione del flusso di lavoro per i professionisti: una presa di consapevolezza rilevante dettata anche dall'esperienza della pandemia di coronavirus, periodo in cui la digitalizzazione dei processi ha subito un'accelerazione dovuta alla necessità di garantire la continuità operativa delle proprie attività a distanza e in sicurezza.

Quando si parla di ottimizzazione in Radiologia tutti fanno riferimento al 'principio di ottimizzazione', il quale stabilisce che, se giustificata, l'esposizione della popolazione deve essere mantenuta la più bassa ragionevolmente ottenibile (principio ALARA = As Low As Reasonably

Achievable) tenendo anche conto di fattori economici e sociali, quindi si riferisce alla pratica di ottimizzare l'uso delle radiazioni ionizzanti nell'ambito medico, in particolare nella diagnostica per immagini, al fine di massimizzare i benefici clinici per il paziente mentre si minimizza l'esposizione alle radiazioni e gli effetti collaterali negativi.

L'obiettivo principale dell'ottimizzazione in radiologia è raggiungere una diagnosi accurata utilizzando la quantità minima di radiazioni necessaria. Ciò implica la selezione adeguata delle tecniche di imaging, la regolazione dei parametri di esposizione e l'utilizzo di dispositivi di protezione radiologica quando necessario. L'ottimizzazione tiene conto di vari fattori, tra cui:

1. Tipo di Paziente: l'età, il sesso, la dimensione corporea e la condizione clinica del paziente influenzano la scelta dei parametri di esposizione.
2. Tipo di Esame: diverse procedure di imaging richiedono diverse quantità di radiazioni. Ad esempio, una radiografia toracica richiede meno radiazioni rispetto a una tomografia computerizzata (TC).
3. Diagnosi Richiesta: a seconda della situazione clinica, potrebbe essere necessario un livello maggiore di dettaglio, il che potrebbe richiedere un maggior uso di radiazioni.
4. Tecnologia Disponibile: i sistemi di imaging moderni sono progettati per ridurre la dose di radiazioni senza compromettere la qualità dell'immagine.
5. Protocolli Clinici: sono sviluppati protocolli standardizzati per ciascun tipo di esame, indicando i parametri di esposizione ottimali.
6. Formazione del Personale: gli operatori radiologici devono essere adeguatamente formati per utilizzare le apparecchiature in modo efficace e ottimizzato.

7. Monitoraggio e Controllo: è importante monitorare regolarmente le dosi di radiazioni utilizzate nei vari esami e assicurarsi che siano allineate con le linee guida.

L'ottimizzazione in radiologia si basa sull'equilibrio tra la necessità di informazioni diagnostiche accurate e l'esposizione del paziente alle radiazioni ionizzanti. La pratica responsabile dell'ottimizzazione contribuisce a garantire che i pazienti ricevano cure di alta qualità e sicurezza nel campo della diagnostica per immagini.

In questo studio invece non viene posta l'attenzione sul principio di ottimizzazione ma sull'ottimizzazione del flusso di lavoro in radiologia; in tutti i campi è importante ma, in particolare modo, nell'imaging diagnostico della radiologia perché potrebbe avere impatti significativi sulla qualità dell'assistenza sanitaria, sull'efficienza operativa e sulla soddisfazione dei pazienti.

Ci sono diverse motivazioni per cui ottimizzare il workflow radiologico:

- **Tempo diagnostico più breve:** un flusso di lavoro ben ottimizzato può ridurre i tempi necessari per eseguire e interpretare le immagini radiologiche, consentendo una diagnosi più rapida. Questo è particolarmente importante nei casi di emergenza o quando è necessario un trattamento tempestivo.
- **Migliore gestione delle risorse:** un flusso di lavoro ottimizzato può aiutare ad assegnare in modo efficiente le risorse, come attrezzature e personale, per garantire che siano utilizzate al meglio e che non vi siano ritardi dovuti a sovraccarico o sottoutilizzo.
- **Riduzione degli errori:** un flusso di lavoro ben strutturato può contribuire a ridurre gli errori di interpretazione o di esecuzione delle immagini radiologiche. Questo è fondamentale per garantire che le diagnosi siano accurate e affidabili.

- **Integrazione delle tecnologie:** ottimizzando il flusso di lavoro, è possibile integrare in modo più efficiente le tecnologie avanzate, come l'intelligenza artificiale (AI) e l'apprendimento automatico, per assistere i tecnici di radiologia durante l'acquisizione delle immagini, i radiologi nella diagnosi e nell'analisi delle immagini.
- **Migliore comunicazione:** un flusso di lavoro ottimizzato può migliorare la comunicazione tra i diversi membri dell'équipe sanitaria, tra cui radiologi, tecnici di radiologia, medici curanti, medici specialisti, medici di pronto soccorso e pazienti. Questo contribuisce a una migliore comprensione delle esigenze del paziente e delle indicazioni cliniche per un corretto indirizzamento alla metodica diagnostica più opportuna.
- **Accesso più rapido alle immagini:** un flusso di lavoro efficiente può garantire che le immagini radiologiche siano accessibili in modo rapido e sicuro ai professionisti autorizzati, migliorando la collaborazione e facilitando la condivisione delle informazioni cliniche.
- **Riduzione dei ritardi:** un flusso di lavoro ben pianificato può ridurre i ritardi dovuti a passaggi amministrativi, approvazioni o errori procedurali, garantendo che i pazienti ricevano le cure di cui hanno bisogno nel minor tempo possibile quindi evitando doppie esposizioni inutili ai pazienti e riducendo anche le liste di attesa.
- **Miglioramento dell'esperienza del paziente:** un flusso di lavoro ottimizzato può ridurre i tempi di attesa e rendere l'esperienza complessiva del paziente più piacevole. Pazienti soddisfatti sono più propensi a seguire le indicazioni mediche e a continuare a cercare cure presso la stessa struttura sanitaria.

## **1.6 UN NUOVO SOFTWARE: myExam Companion**

L'intelligenza artificiale rappresenta una promessa significativa per la radiologia e sta già iniziando a rivoluzionare l'assistenza sanitaria in molti modi. Dal colmare il divario tra le esigenze di dati sempre crescenti ed estremamente complessi ed il numero di radiologi, alla semplificazione dell'interpretazione dei dati attraverso sofisticati algoritmi di intelligenza artificiale e quindi al miglioramento del processo diagnostico. L'intelligenza artificiale è uno strumento prezioso che, se combinato con l'esperienza umana di radiologi e medici, offre un vasto potenziale al settore sanitario.

In medicina, l'intelligenza artificiale è talvolta percepita come un nuovo dispositivo medico ma in realtà non lo è. L'intelligenza artificiale è una tecnologia abilitante che consente di riprogettare e migliorare l'assistenza medica lungo tutto il percorso assistenziale del paziente, dalla prevenzione all'assistenza post-terapia.

Le applicazioni basate sull'intelligenza artificiale hanno il potenziale per migliorare ogni fase del flusso di lavoro dell'imaging, come riportato nella figura successiva:

- Order/Schedule (Ordine/Programma): connessione di pazienti e medici basata sull'intelligenza artificiale;
- Preparation and Acquisition (Preparazione e Acquisizione): posizionamento del paziente accurato e standardizzato basato sull'intelligenza artificiale e pianificazione degli esami;
- Postprocessing/Quantification (Postelaborazione/Quantificazione): punteggio automatico delle lesioni basato sull'intelligenza artificiale, misurazioni automatiche;

- Interpretation/Report Generation (Interpretazione/Generazione di report): evidenziazione, caratterizzazione e quantificazione automatiche di anatomie e anomalie basate sull'intelligenza artificiale.

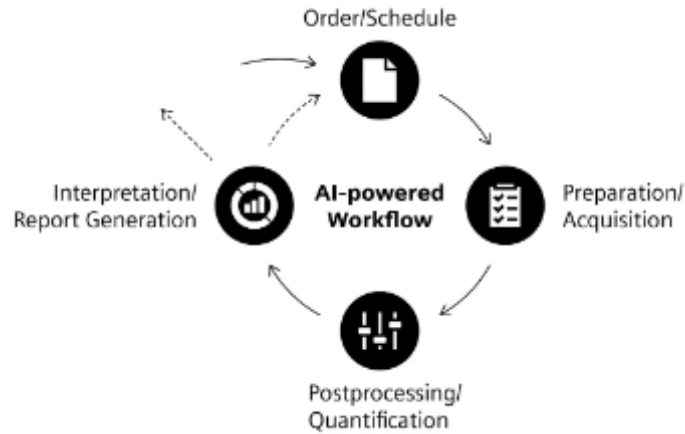


Figura 6: flusso di lavoro basato sull'intelligenza artificiale

Con l'aiuto dell'intelligenza artificiale siamo in grado di ottenere dati più accurati, importanti per la diagnosi successiva. Un ottimo esempio per questo è il software **myExam Companion** (© Siemens Healthineers, 2022), il quale ottimizza l'intera procedura TC sfruttando tutto il potenziale di diverse tecnologie: FAST, CARE & GO.

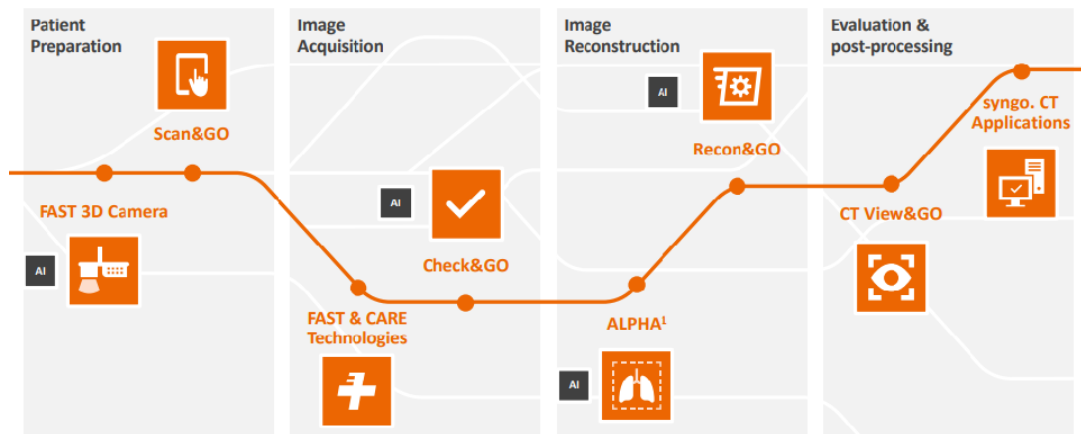


Figura 7: flusso di lavoro basato su "myExam Companion"

Questa tecnologia si compone di due modalità principali: **myExam Compass** e **myExam Cockpit**. La prima è una modalità utente per il funzionamento dei protocolli TC:

- Durante il flusso di lavoro viene richiesto di rispondere a domande relative all'esame;
- Valori specifici vengono recuperati dal RIS/HIS;
- Se necessario, myExam Compass recupera misurazioni come la frequenza cardiaca dal modulo ECG collegato allo scanner TC.

La seconda è una modalità utilizzata, in base alla licenza base o avanzata, per:

- Modificare i parametri delle strategie di scansione preimpostate;
- Aggiungere strategie di scansione completamente nuove;
- Creare nuovi schemi decisionali;
- Creare nuove domande da utilizzare all'interno degli schemi decisionali.

In base alla tecnologia hardware disponibile può creare un flusso di lavoro flessibile con funzionamento sincronizzato tra tablet e console operativa, concetto di usabilità semplificato basato sulla logica visiva per un funzionamento semplice e senza interruzioni, tutte le informazioni rilevanti a colpo d'occhio supportato dalla codifica a colori e dalle informazioni relative al tempo (dose, parametri di scansione e ricostruzione, contrasto e tempo, istruzioni per il respiro).

Per la preparazione del paziente il software presenta una registrazione flessibile grazie all'accesso della lista di lavoro presente sul RIS dal tablet o dall'area di lavoro di acquisizione (AWP); per la selezione del protocollo di scansione presenta algoritmi di autoapprendimento per soddisfare l'indicazione clinica con selezione del protocollo in base alle selezioni precedenti del RIS e un'area di ricerca simile a Google basata sulle varie indicazioni cliniche.



Per il posizionamento del paziente c'è la possibilità del posizionamento standard basato sull'intelligenza artificiale grazie alla FAST 3D Camera, tramite una telecamera posizionata a soffitto: cattura la forma, il posizionamento e l'altezza del paziente in tre dimensioni; utilizzando la misurazione a infrarossi, riconosce anche il contorno del corpo, il che è particolarmente utile quando, ad esempio, i pazienti indossano abiti spessi. La nuova soluzione “zero-click” sui Touch Panel esegue simultaneamente tre algoritmi unici per supportare un posizionamento accurato e riproducibile:

- Le regioni del corpo in direzione z,
- la direzione del paziente – “testa prima oppure piedi prima” così come “prono o supino”,
- l'altezza del lettino e lo spessore del paziente.

A questo punto agiscono tre applicazioni per il posizionamento del paziente:

- FAST Isocentering, fornisce la corretta posizione dell'isocentro, consentendo la giusta modulazione della dose e immagini coerenti;
- Gamma FAST, supporta la scansione della regione corporea corretta senza troncamento allineando la posizione anatomica identificata automaticamente con il protocollo;
- Direzione FAST: aiuta a salvaguardare la giusta direzione di scansione, che è fondamentale quando si sposta il tavolo con pazienti infusi.

Successivamente si passa all'acquisizione delle scansioni in cui agisce in tutta la procedura myExam Compass grazie a personalizzazione basata sui dati del paziente in tempo reale e sull'input dell'utente, parametri di scansione e ricostruzione adattati all'ambiente di lavoro (ad esempio protocollo iMAR se presente metallo nel topogramma per ridurre artefatti da indurimento del fascio), semplifica le procedure avanzate come la TC coronarica che automatizza le attività e riduce i passaggi manuali. C'è pianificazione automatica degli organi

con modulazione della dose ottimale per diverse regioni, Check&GO aiuta gli utenti con rilevamento automatico degli oggetti metallici nel topogramma, controllo di qualità del contrasto dell'immagine in base all'indice di rumore da inserire; Fast ROI (regione di interesse) per le acquisizioni con mezzo di contrasto con rilevamento automatico di aorta e arterie polmonari.

In seguito per le ricostruzioni delle immagini agisce il software RECON&GO che semplifica le attività di ricostruzione: visualizza facilmente l'impostazione della finestra o l'orientamento della ricostruzione, combina più finestre o orientamenti nella stessa ricostruzione.

Passando sul software di ricostruzione specifico syngo.Via ci sono numerosi dataset preimpostati:

- “Spine & Rib Unfolding”, supporta i radiologi nell'identificazione di fratture e metastasi grazie alla linearizzazione della colonna e delle coste.
- “Bone & table removal”, ricostruzioni 3D e MIP grazie a rimozione automatica di ossa e tavolo.
- “Inline Brain Hemorrhage”, supporto automatizzato per il triage di emergenza di sospetta emorragia intracranica.
- “Skull Unfolding”, supporta il radiologo per ridurre le patologie mancanti per le fratture del cranio ed ematomi superficiali.
- “ASPECT Score”, confronto topografico quantitativo di entrambi gli emisferi nel valutare i cambiamenti ischemici precoci rispetto alla TC senza mezzo di contrasto.
- “Inline CPR ranges”, velocizza le ricostruzioni in vasi curvilinei come aorta, arterie iliache e coronarie.
- “Inline Calcium Scoring”, punteggio equivalente di Agatston, massa e volume semiautomatico del calcio presente nelle coronarie.
- “Heart & Coronary Isolation”, ricostruzioni 3D e MIP del cuore e dell'albero coronarico.

- “Lung CAD”, strumento di secondo lettore per il rilevamento dei noduli polmonari.
- “Dual Energy Results & Spectral Post-Processing”, creazione automatica dei risultati per tutte le applicazioni con acquisizione a doppia energia.

Per la valutazione e post-elaborazione entra in gioco l'applicazione CT View&GO dove si possono personalizzare gli strumenti preferiti dagli operatori in base al tipo di esame effettuato come: strumenti base (quantificazione del ROI, della distanza, dell'angolo e dell'intervallo HU), riprese e stampa (foglio di pellicola virtuale interattivo con formati di pellicola personalizzabili), rimozione osso e strumenti vascolari (definire i vasi e quantificarne la lunghezza, il diametro e l'area), visione endoscopica (navigazione endoluminale con sincronizzazione MPR per colon o vie aeree), Osteo (valutazione della densità minerale ossea della colonna lombare), visualizzazione del trauma (layout automatici in base alla regione anatomica), Neuro DSA (visualizzazione automatica con rimozione osso dei tronchi sovraortici).

Inoltre, ci si può connettere in remoto allo scanner TC senza interrompere il flusso di lavoro clinico per garantire impostazioni di protocollo standardizzate; con l'applicazione myExam Cockpit si possono progettare gli schemi decisionali in base alle variabili del paziente o alle domande interattive rivolte all'operatore, per attivare myExam Compass.

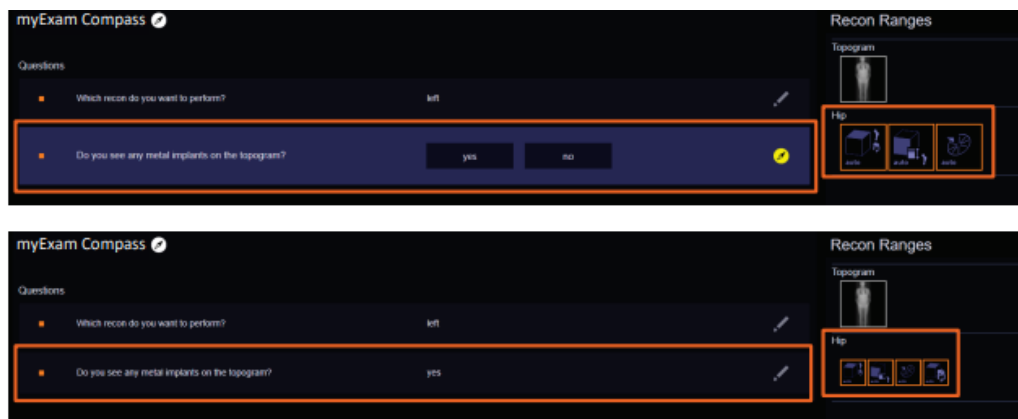


Figura 8: esempio di funzionamento myExam Companion

## **1.7 UN NUOVO METODO DI FORMAZIONE: L'UTILIZZO DEI SIMULATORI**

I simulatori sono ambienti virtuali di apprendimento che ci fanno sperimentare in modo diretto ma protetto operazioni e comportamenti che ci sono richiesti sul lavoro e che dobbiamo imparare. La simulazione e i simulatori giocano un ruolo significativo in una vasta gamma di settori e applicazioni, offrendo diverse utilità e vantaggi grazie al proprio contesto virtuale. Alcuni dei principali utilizzi e vantaggi sono:

- 1) **Formazione e Addestramento:** i simulatori forniscono un ambiente sicuro e controllato per addestrare e formare persone in diversi settori, come l'aviazione, la medicina, l'industria militare, la guida e altro ancora. Consentono agli operatori di acquisire esperienza e competenze senza il rischio associato all'addestramento sul campo.
- 2) **Ottimizzazione dei Processi:** le simulazioni consentono di testare e ottimizzare i processi senza doverli implementare nella realtà. Ad esempio, le simulazioni possono essere utilizzate per ottimizzare i flussi di traffico, i processi di produzione o le operazioni logistiche, contribuendo a ridurre i costi e aumentare l'efficienza.
- 3) **Progettazione e Sviluppo di Prodotti:** i simulatori possono essere utilizzati durante la fase di progettazione e sviluppo dei prodotti, consentendo ai progettisti di testare diverse varianti, materiali e configurazioni in un ambiente virtuale prima della produzione fisica. Ciò riduce i costi e il tempo necessario per sviluppare un prodotto funzionante.
- 4) **Pianificazione e Gestione delle Risorse:** le simulazioni possono essere utilizzate per pianificare e gestire in modo efficiente le risorse, come il personale, le attrezzature e il tempo. Ad esempio, in un ospedale, una

simulazione può aiutare a pianificare il numero ottimale di letti e personale necessario in diverse situazioni, come epidemie o situazioni di emergenza.

- 5) **Previsione e Analisi:** i simulatori possono essere utilizzati per prevedere il comportamento dei sistemi complessi in base a vari scenari. Ad esempio, possono essere utilizzati per prevedere il rendimento finanziario di un investimento o l'andamento del traffico in una città, aiutando a prendere decisioni informate.
- 6) **Ricerca e Sperimentazione:** i simulatori forniscono un ambiente controllato per condurre esperimenti e studi, specialmente in campi in cui i test reali potrebbero essere costosi, pericolosi o eticamente problematici. Ad esempio, nella ricerca scientifica, i simulatori possono aiutare a studiare fenomeni complessi o teorie non facilmente riproducibili in laboratorio.
- 7) **Apprendimento Interattivo:** i simulatori possono essere utilizzati nell'ambito dell'istruzione come strumenti didattici interattivi. Forniscono un modo coinvolgente per insegnare concetti complessi attraverso l'esperienza pratica virtuale.
- 8) **Sviluppo e Test di Software:** i simulatori vengono spesso utilizzati per il testing e lo sviluppo di software, specialmente in applicazioni complesse come sistemi operativi, reti e giochi. Consentono agli sviluppatori di identificare e risolvere problemi prima del rilascio.

La logica dei simulatori è molto simile a un videogioco perché ti inserisce in un contesto d'azione concreto in cui bisogna prendere delle decisioni ed è un modello che funziona perché agisci, decidi e impari in base alle azioni eseguite quindi si mette in pratica ciò che è stato studiato nella teoria e non si dimentica più perché si impara dalla propria esperienza.

Di conseguenza si stanno moltiplicando gli strumenti che permettono di apprendere in ambienti che simulano il contesto reale in cui si dovrà agire: sono proprio i simulatori.

Durante la Prima Guerra Mondiale, furono sviluppati i primi simulatori per addestrare i piloti di aerei. Questi simulatori, principalmente meccanici, consentivano ai piloti di acquisire esperienza in un ambiente controllato senza il rischio associato al volo reale. Durante la Seconda Guerra Mondiale, la tecnologia si evolse ulteriormente per simulare condizioni di volo più realistiche. (Journal of Simulation, November 2017, Volume 4, edited by Christine Currie, John Fowler, Loo Hay Lee)

Con l'avvento dell'informatica, gli anni '50 e '60 videro l'evoluzione dei simulatori verso la digitalizzazione. I computer divennero in grado di eseguire calcoli complessi necessari per simulare sistemi più realistici. Iniziarono a emergere simulatori digitali, come il "Simulatore di linea di trasmissione" (Line Transmission Simulator) di Douglas T. Ross.

Negli anni '70 e '80, la simulazione divenne sempre più utilizzata nella ricerca e nello sviluppo, specialmente nell'industria e nell'ingegneria. I simulatori venivano impiegati per testare nuovi design di prodotti, processi industriali e configurazioni di impianti.

Negli anni '80, di seguito all'intuizione di un anestesista-pilota americano, David Gaba, la simulazione, quale modalità di apprendimento, è stata testata ed introdotta in ambito sanitario.

Gli anni '90 segnarono l'espansione dei simulatori in diversi settori, inclusi l'addestramento medico, l'addestramento alla guida, l'addestramento militare e l'addestramento al volo. I simulatori offrivano ambienti sempre più realistici e immersivi, migliorando l'efficacia dell'addestramento. (The History of Simulation and Its Impact on the Future, Michelle Aebersold, Febbraio 2016, Advanced Critical Care)

Verso la fine degli anni '90 e all'inizio degli anni 2000, la tecnologia della realtà virtuale (VR) ha introdotto una nuova dimensione nell'esperienza di simulazione. La VR ha permesso una maggiore interazione, portando a simulatori altamente realistici e coinvolgenti.

Negli anni 2000, l'intelligenza artificiale (IA) ha iniziato a essere integrata nei simulatori, permettendo la simulazione di comportamenti più complessi e adattabili. Gli algoritmi di IA hanno reso possibile la simulazione di scenari dinamici e la personalizzazione dell'esperienza utente.

Da allora, i simulatori hanno continuato a evolversi con l'innovazione tecnologica, consentendo esperienze sempre più realistiche, formative ed educative in una vasta gamma di settori.

In Italia la simulazione in Sanità è utilizzata da più di venti anni con le prime esperienze a bassa fedeltà risalenti agli anni 90. Alcune società scientifiche italiane di simulazione medica operano attualmente in ambito nazionale e internazionale. Recentemente il Ministero della Salute ha istituito un tavolo tecnico per promuovere l'uso della simulazione in ambito sanitario attraverso l'implementazione di iniziative formative e di ricerca. (Linee di indirizzo sullo sviluppo della simulazione in sanità in Italia, luglio 2022, Ministero della Salute)

In radiologia, programmi di formazione basati sulla simulazione sono stati utilizzati in tutte le aree di sottospecialità per lo sviluppo delle competenze procedurali, molti dei quali focalizzati sulle tecniche interventistiche guidate dagli ultrasuoni come nel campo pediatrico, formazione interventistica trasversale sulla procedura percutanea guidata da immagini, formazione interventistica vascolare, neuroradiologia, medicina nucleare e radiologia toracica; la simulazione è sempre più utilizzata nella formazione delle abilità non interpretative in radiologia, compresa la gestione delle reazioni di contrasto, della professionalità e delle abilità interpersonali e di

comunicazione. La formazione simulata di abilità non interpretative è importante poiché comprende molte competenze ora valutate, tra cui l'assistenza incentrata sul paziente con un'enfasi sulla qualità e sulla sicurezza, nonché istruzione, formazione e credenziali basate sulle competenze e sui traguardi fondamentali. (Conventional Medical Education and the History of Simulation in Radiology, Alison L. Chetlen, Academic Radiology, ottobre 2015)

Durante gli anni '70 e '80, la simulazione in radiologia era principalmente basata su modelli fisici. Si faceva uso di manichini e modelli anatomici per simulare l'acquisizione di immagini radiologiche attraverso raggi X. Questa metodologia è stata particolarmente utile per l'addestramento degli operatori alle procedure radiologiche di base.

Con l'avvento della grafica computerizzata e delle tecnologie informatiche più avanzate, la simulazione in radiologia ha iniziato a spostarsi verso l'ambiente virtuale. I primi simulatori virtuali hanno consentito agli operatori di simulare l'acquisizione di immagini radiologiche in un ambiente tridimensionale, fornendo una rappresentazione più accurata delle anatomie umane.

Negli anni 2000, la simulazione in radiologia ha beneficiato notevolmente dell'introduzione della realtà virtuale (VR) e della realtà aumentata (AR). Queste tecnologie hanno permesso la creazione di simulatori altamente immersivi che simulano procedure diagnostiche e interventistiche complesse, come angiografie, biopsie guidate e chirurgia virtuale.

A partire dai primi anni 2000, la simulazione in radiologia ha sfruttato ampiamente le tecnologie 3D per la modellazione e la simulazione di strutture anatomiche complesse. Gli operatori possono esplorare virtualmente l'anatomia tridimensionale, simulare procedure diagnostiche e interventi, e migliorare le proprie competenze tecniche.



Negli ultimi anni, l'integrazione dell'intelligenza artificiale nella simulazione radiologica è diventata una realtà. L'IA può essere utilizzata per migliorare la fedeltà e l'interattività dei simulatori, rendendo le simulazioni più realistiche e personalizzate.

Per i professionisti sanitari, la formazione continua è fondamentale per rimanere al passo con le tecniche e la tecnologia. Bisogna essere in grado di sfruttare tutto il potenziale delle apparecchiature mediche: bloccare un dispositivo medico per scopi formativi, invece, comporta una riduzione del numero dei pazienti e dei rimborsi combinati con costi elevati dovuti alla mancanza di attrezzature e disponibilità del personale.

Vengono forniti, in molti casi, corsi di formazione virtuali che utilizzano la simulazione basata su cloud in un ambiente di apprendimento per una formazione pratica e sicura che non interrompa l'utilizzo dell'attrezzatura clinica.

Un esempio di simulatore è lo **SmartSimulator** (© Siemens Healthcare GmbH, 2020), progettato per fornire una formazione simulata basata sull'esperienza con i dispositivi medici di Siemens Healthineers utilizzando una soluzione basata su cloud su un personal computer. SmartSimulator offre un'esperienza pratica e migliora l'efficienza della scansione attraverso la formazione virtuale. Ogni sessione è guidata da un formatore applicativo esperto di Siemens Healthineers, che guida i partecipanti attraverso i flussi di lavoro utilizzando sistemi virtuali.

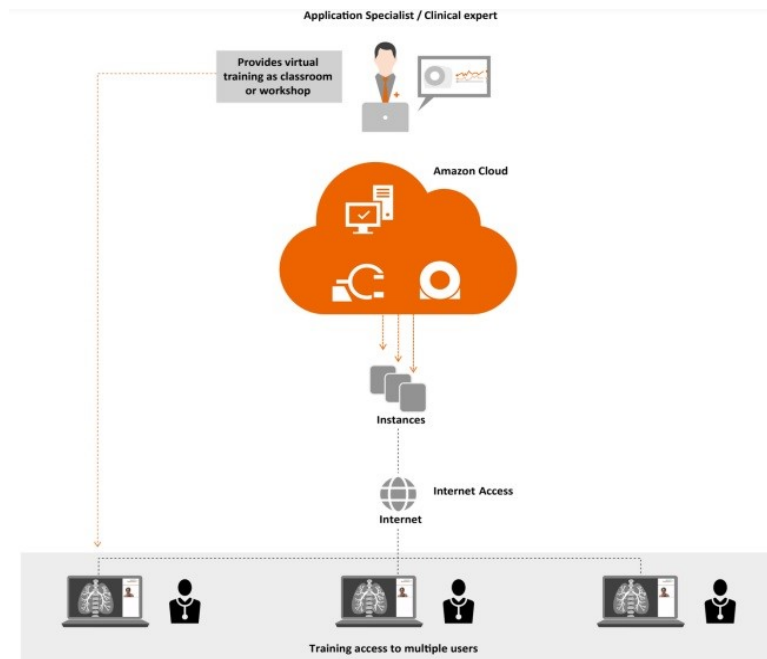


Figura 9: formazione con SmartSimulator

Ci sono varie opzioni di abbonamenti, in base alla formazione da attuare e in base alle macchine diagnostiche per radiologia convenzionale, tomografie computerizzate, risonanze magnetiche e software di ricostruzione.

Dopo aver avviato una simulazione all'interno dell'interfaccia grafica sono presenti Display ConTobo (Control Box) e Display Simulator mostrati nelle seguenti figure.



Figura 10: Display ConTobo

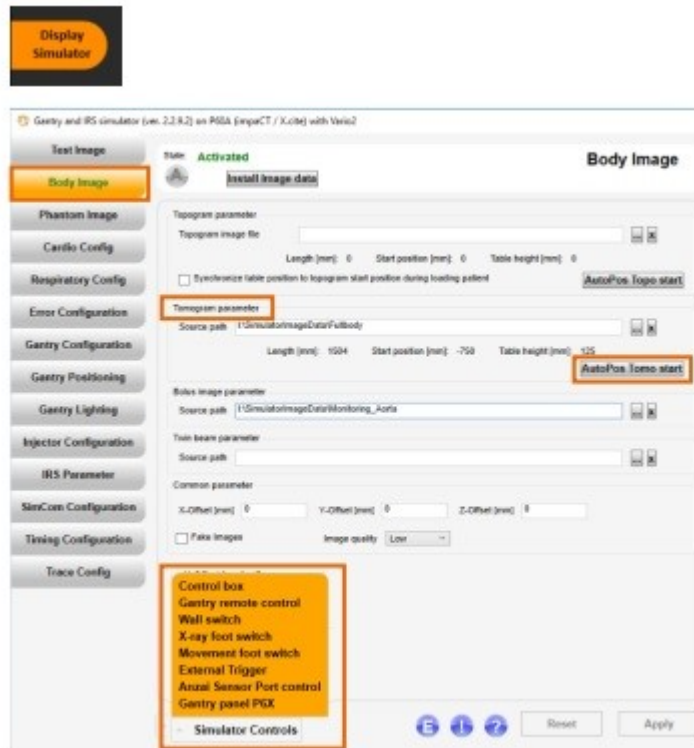


Figura 11: Display Simulator

Alcuni strumenti presenti nel Control Box utili nelle sessioni pratiche sono:

- RunSomaris INIT, riavviare Somaris in caso di problemi software. Prende circa tre minuti per riavviare l'interfaccia utente del software syngo.
- Simulator, riapre la finestra del simulatore.
- Add New Patients, crea automaticamente pazienti da esaminare.
- Scan and Go, avvio dell'interfaccia utente del tablet.

All'interno del Display Simulator sono presenti i controlli del simulatore dove è possibile aprirli in qualsiasi momento: scatola di controllo, controllo remoto, interruttore a muro, interruttore a pedale ed altri.

Sono presenti numerose aree, tra cui la Body Image area dove si inserisce il modo in cui centrare automaticamente il paziente in base all'esame da eseguire con lo scanogramma; è presente la Cardio Configuration per poter inserire la Curva Ecg diversa negli esami cardiosincronizzati; è presente l'Injector Configuration per poter abilitare l'uso dell'iniettore negli esami con mezzo di contrasto.

È presente anche l'opzione syngo CT per fare post-processing in esami già eseguiti, creando tutto il flusso di lavoro di una vera e propria TC. (Manual User Description SOMATOM go. Routine Scan Workflow on Console Workbook, © Siemens Healthcare GmbH, 2022)



Figura 12: immagine syngo CT

## **2. OBIETTIVI**

In questa tesi sono stati individuati tre obiettivi diversi:

- 1) Analisi critica dei software di Intelligenza Artificiale commercializzati per la Radiologia;
- 2) Estrapolazione dei software di Intelligenza Artificiale utili al flusso di lavoro;
- 3) Valutazione di un software di Intelligenza Artificiale ‘in house’ con sistema di simulazione per testare eventuali benefici nella formazione degli studenti del corso di laurea in “Tecniche di Radiologia Medica per Immagini e Radioterapia” dell’Università Politecnica delle Marche e nella pratica clinica dell’Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche.

### 3. MATERIALI E METODI

Per raggiungere il primo obiettivo sono stati analizzati i software di 24 ditte differenti: Deepc, AzMed, OrtHAnc, Annalise.Ai, Shukun, Median, Oxipit, CoreLine, QaelumNV, Smart Reporting GmbH, Vuno, Gleamer, Aidence, Mirion Medical Company, United Imaging Intelligence, ClariPi, Mediaire GmbH, SubTle Medical, MediMaps Group, qure.AI, Image Biopsy Lab, Quantib BV (GE), Neo Q, Siemens Healthineers; tutti questi software sono stati presi dalla banca dati della Società Europea di Radiologia ed inseriti in una tabella (presente nei risultati), contenente per ogni software:

- Nome del software;
- Ditta produttrice;
- Caratteristiche principali.

Per raggiungere il secondo obiettivo, collegato a quello precedente, sono state analizzate le caratteristiche principali di ogni software delle ditte sopra riportate in base alla loro azione sul flusso di lavoro in Radiologia:

- Programmazione del paziente;
- Preparazione del paziente;
- Acquisizione immagini;
- Rielaborazione immagini;
- Refertazione e generazione report;
- Utilizzo in tutto il flusso di lavoro.

È stata creata una tabella riassuntiva nel capitolo dei risultati dove vengono contrassegnati i software in base al loro utilizzo in Radiologia.

Per raggiungere il terzo obiettivo dello studio, collegato ai precedenti, è stato individuato un software di intelligenza artificiale affine agli scanner diagnostici presenti e futuri dell'Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche avente disponibilità a costo zero. Successivamente sono stati individuati quattro

studenti del secondo anno del corso di laurea “Tecniche di Radiologia Medica per Immagini e Radioterapia” dell’Università Politecnica delle Marche, i quali hanno effettuato in giornate diverse, nel corso del mese di settembre dell’anno corrente, simulazioni tramite il mio computer personale sul software di simulazione SmartSimulator Somatom go.Top syngo CT Va 40 (© Siemens Healthcare GmbH 2022) che riproduce il funzionamento di questo tomografo con al suo interno il software di intelligenza artificiale myExam Companion, valutandone fattibilità, riproducibilità ed efficacia in termini di qualità degli esami ottenuti e riduzione dei tempi. A tale scopo è stato utilizzato come termine di paragone l’utilizzo di operatori esperti, aventi minimo cinque anni di esperienza e sono stati individuati quattro Tecnici di Radiologia Medica che fanno parte del gruppo Tc Pronto Soccorso dell’Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche.

Prima di procedere con le sedute di simulazione, a tutti i partecipanti è stato inviato tramite mail, qualche giorno prima, il manuale d’uso della versione “SOMATOM go. Routine Scan Workflow on Console (VA20/30)” in modo da prendere confidenza con l’interfaccia grafica e di imparare le funzioni principali del software, descritte in precedenza.

Durante le simulazioni, dopo l’avvio del software, i tecnici esperti in TC hanno svolto due esami: un Angio Tc dell’aorta toracica e una Tc Torace-Addome multifase con mezzo di contrasto, due degli esami che si svolgono con più frequenza all’interno dell’Azienda Ospedaliera Universitaria delle Marche, su un’ipotetica paziente di sesso femminile con età 65 anni, altezza 170 cm e peso 65 kg.

Per l’esame Angio Tc dell’aorta toracica è stato utilizzato il protocollo suggerito dal simulatore nominato ‘Thorax CTA’, il quale prevede:

- Topogramma;
- Pre-monitoraggio;

- Monitoraggio;
- Acquisizione Angio Tc con relative ricostruzioni.

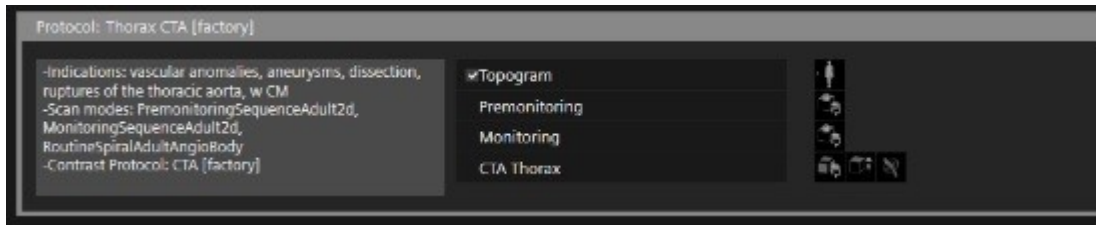


Figura 13: Protocollo di acquisizione Angio Tc Aorta Toracica

Per l'esame Tc Torace-Addome multifase con mezzo di contrasto è stato utilizzato il protocollo suggerito dal simulatore nominato 'Thorax and Abdomen Multi Phase', il quale prevede:

- Topogramma;
- Pre-monitoraggio;
- Monitoraggio;
- Fase Arteriosa;
- Fase Venosa.

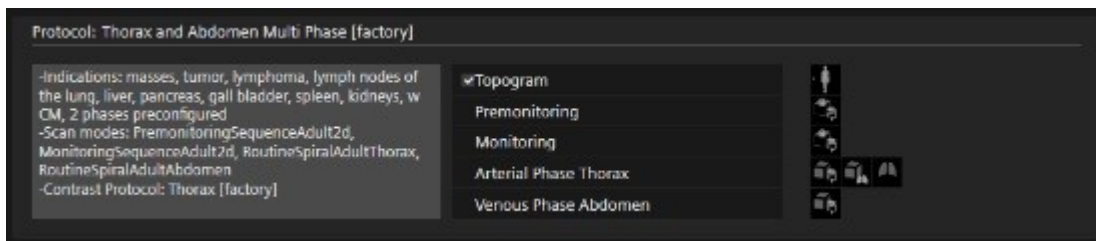
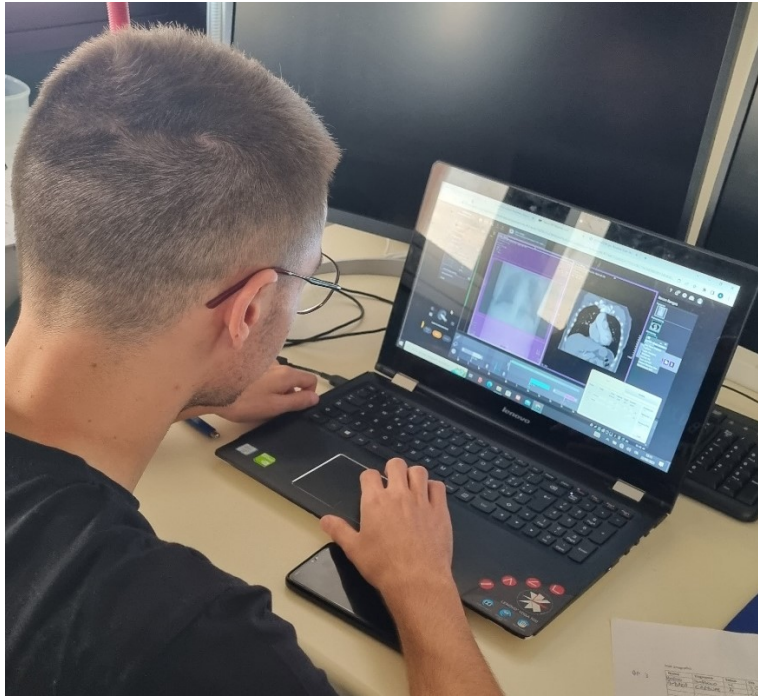


Figura 14: Protocollo acquisizione Tc Torace-Addome multifase

Come si può notare dalle figure 13 e 14 nel simulatore utilizzato con myExam Companion ogni protocollo riporta le indicazioni in modo da aiutare nella scelta stessa del protocollo.

Gli studenti del secondo anno del corso hanno acquisito la stessa tipologia di esami con la stessa tipologia di paziente ripetendo ogni esame tre volte.





*Figura 15: Acquisizione studente del corso di laurea*

Per la raccolta dei dati sono state create due tabelle, una contenente i dati anagrafici, mentre l'altra contenente i dati relativi all'esperienza col simulatore.

Nella tabella contenente i dati anagrafici sono riportati:

- Nome;
- Cognome;
- Sesso;
- Età;
- Esperienza in Tc.

<b>Nome</b>	<b>Cognome</b>	<b>Sesso</b>	<b>Età</b>	<b>Esperienza in TC</b>

*Tabella 1: dati anagrafici partecipanti*

Nella tabella contenente i dati della simulazione sono riportati:

- Tempo (in minuti);
- Dose (Dlp: mGy\*cm);
- Qualità immagine (misurata qualitativamente con una scala da 1 a 5).

<b>Tempo</b>	<b>Dose</b>	<b>Qualità immagine</b>

*Tabella 2: dati della simulazione*

#### 4. DISCUSSIONE E RISULTATI

Nella prima fase, dalla banca dati della Società Europea di Radiologia abbiamo trovato 37 software di intelligenza artificiale già commercializzati, riassunti nella seguente tabella con nome, ditta produttrice e caratteristiche principali.

<b>Nome Software</b>	<b>Ditta produttrice</b>	<b>Caratteristiche</b>
DeepcOS	Deepc	Worklist per refertazione rx con alert nella patologia
Rayvolve	AzMed	Rileva e classifica automaticamente i raggi X con anomalie, in modo da poter assegnare priorità nella pila di esami da interpretare
Osimis	OrthAnc	Varie soluzioni in base alle patologie che aiutano nella refertazione dei radiologi
Annalise Enterprise CTB	Annalise.Ai	Intelligenza artificiale all'avanguardia per il supporto decisionale per studi TC cranici senza contrasto.
DigitalDocPlatform	Shukun	Riduzione tempo post processing e refertazione grazie a interpretazione semi-automatica
IBiopsy	Median	Interagisce nel flusso di lavoro per eventuale biopsia o no, riducendo procedure non necessarie e spesa sanitaria
Chestlink	Oxipit	Identifica rx senza anomalie e produce referti paziente finalizzati senza alcun intervento da parte del radiologo
Avview	CoreLine	In base all'esame aiuta il radiologo nella

		refertazione con varie soluzioni
Qaelum	QaelumNV	Fondamentale per ridurre scansioni Tc inutili, dose e contrasti ma anche per efficienza in RM
Smart Reporting	Smart Reporting GmbH	Consente di completare e correggere un report altamente qualitativo e strutturato in modo rapido e senza alcuno sforzo aggiuntivo
Vuno	Vuno	Varie soluzioni per encefalo rm, rx, rx toraci, tc torace nella rilevazione di anomalie
BoneView e ChestView	Gleamer	Rilevazione e refertazione semiautomatica in rx ossei e toraci
Veye	Aidence	Integrazione nel flusso di lavoro con analisi dei noduli polmonari in Tc consegnata direttamente al Pacs
Capintec	Mirion Medical Company	Miglioramento dell'efficienza e della sicurezza in ogni fase dell'assistenza in Medicina Nucleare
Delta, Vision, ePhase, CardioCapture, IR profondo	United Imaging Intelligence	Integrazione flusso di lavoro Tc: riduzione dose, identificazione posizione all'isocentro, correzione artefatti movimento cardiaco, ricostruzione iterativa con deep learning
ClariCt.AI	ClariPi	Integrazione flusso di lavoro Tc tramite processo di denoising delle immagini
MediAire	Mediaire GmbH	Strumenti basati sull'intelligenza artificiale nella diagnostica MRI. Ciò consente di ottenere una

		valutazione più accurata e obiettiva ancora più velocemente.
SubTle Mri and Pet	SubTle Medical	Riduce il rumore per l'acquisizione di tutto il corpo e riduce la durata delle scansioni; in Pet utilizza il denoising
Tbs Osteo	MediMaps Group	Questa avanzata applicazione software di imaging per densitometri ossei (DXA) calcola un Trabecular Bone Score (TBS), che fornisce informazioni cliniche aggiuntive estremamente utili sulla microarchitettura dell'osso. TBS Osteo aiuta a catturare un ulteriore ~ 30% di pazienti a rischio di frattura* (già presente nella nostra Moc)
qXR, qER, qCT, qVH, qMSK, qTraccia, qRemoto	quire.AI	Ottimizza flusso di lavoro nei radiogrammi, ultrasuoni, muscolo-scheletrica, Tc Torace ed Encefalo
IB Lab Zoo	Image Biopsy Lab	nuova piattaforma software muscoloscheletrica modulare (MSK) supportata dall'intelligenza artificiale per l'analisi standardizzata, obiettiva e automatizzata delle immagini mediche. I moduli di questa piattaforma MSK identificano ed estraggono i parametri chiave della malattia che sono fondamentali per la prevenzione e il trattamento di varie

		condizioni correlate a MSK.
Quantib Prostate, Quantib ND, Quantib Brain	Quantib BV, GE	Segmentazione automatica di prostata ed encefalo con rilevazione di anomalie negli esami Rm
RadioReport	Neo Q	RadioReport utilizza moduli completi anziché modelli. Poiché ogni modulo copre un'intera gamma di indicazioni, è possibile riportare la regione studiata in modo olistico; contribuisce alla produzione accelerata di referti radiologici soprattutto nel campo muscolo-scheletrico; è integrato in tutti i più comuni sistemi Ris-Pacs con ottimizzazione flusso di lavoro
myExam Companion	Siemens Healthineers	Agisce su tutto il flusso di lavoro: nel programma tramite connessione paziente-medico, nella preparazione tramite centraggio automatico con camera 3D, nell'acquisizione tramite varie tecnologie, nella post-elaborazione tramite ricostruzioni automatizzate, nella refertazione tramite quantificazione automatica delle lesioni e generazione di report.

*Tabella 3: software di intelligenza artificiale*

Nella seconda fase dalla banca dati abbiamo diviso i software in base alle loro caratteristiche di cui 1 agisce sulla programmazione, 2 agiscono sull'acquisizione delle immagini, 12 agiscono sulle rielaborazioni post-

processing, 15 agiscono sulla refertazione, 3 agiscono sul report, 15 agiscono su tutto il flusso di lavoro (programmazione del paziente, preparazione del paziente, acquisizione immagini, rielaborazione immagini, refertazione e generazione report, utilizzo in tutto il flusso di lavoro) e sono riportati nella seguente tabella.

<b>Programmazione</b>	DeepcOS
<b>Acquisizione</b>	ClariCt.AI, SubTle Mri and Pet
<b>Rielaborazione</b>	Annalise Enterprise CTB, DigitalDocPlatform, Vuno, Veye, ClariCt.AI, MediAIre, SubTle Mri and Pet, Tbs Osteo, IB Lab Zoo, Quantib Prostate, Quantib ND, Quantib Brain
<b>Refertazione</b>	DeepcOS, Rayvolve, Osimis, Annalise Enterprise CTB, DigitalDocPlatform, Chestlink, Aview, Smart Reporting, Vuno, BoneView, ChestView, MediAIre, Tbs Osteo, IB Lab Zoo, RadioReport,
<b>Report</b>	Chestlink, Smart Reporting, RadioReport
<b>Intero flusso di lavoro</b>	IBiopsy, Qaelum, Capintec, Delta, Vision, ePhase, CardioCapture, IR profondo, qXR, qER, qCT, qVH, qMSK, qTraccia, qRemoto, myExam Companion

*Tabella 4: software divisi in base alle loro caratteristiche*

Da questi software è stato scelto il software myExam Companion che risponde alle caratteristiche di affinità delle diagnostiche presenti e future dell'Azienda

Ospedaliero Universitaria delle Marche con il simulatore SmartSimulator in dotazione sul mio personal computer con una prova di 15 ore gratuita.

Nella terza fase i dati 'Nome' e 'Cognome' di ogni partecipante sono stati anonimizzati per il rispetto della privacy, vengono identificati sia per gli studenti che per i tecnici:

- Operatore 1;
- Operatore 2;
- Operatore 3;
- Operatore 4.

Sono stati riportati i dati anagrafici anonimizzati dei tecnici di radiologia che hanno partecipato alle simulazioni sul programma Microsoft Excel nella seguente tabella in cui ci sono tre tecnici di sesso maschile, una di sesso femminile, un'età che varia dai 39 ai 54 anni, un'esperienza in tomografia computerizzata che varia dai 6 ai 23 anni.

Dati anagrafici			
<b>Operatore</b>	<b>Sesso</b>	<b>Età (anni)</b>	<b>Esperienza in TC (anni)</b>
Operatore 1	M	48	15
Operatore 2	F	39	16
Operatore 3	M	54	23
Operatore 4	M	43	6

*Tabella 5: dati anagrafici tecnici di radiologia*

E' stata creata una tabella che riporta tutti i dati della simulazione dei tecnici riguardo l'acquisizione dell'esame Angio Tc Aorta Toracica il cui tempo, misurato in minuti tramite cronometro, varia da 8.04 minuti a 9.18 minuti; la dose calcolata tramite il prodotto dose-lunghezza (DLP) misurato in mGy\*cm,



è una misura dell'emissione/esposizione alle radiazioni del tubo TC, correlato all'indice di dose CT del volume (CTDIvol) ma tiene conto della lunghezza della radiazione emessa lungo l'asse z (l'asse lungo del paziente) visibile sul Dose Report alla fine della scansione che varia da 23 mGy\*cm a 26.4 mGy\*cm; la qualità dell'immagine calcolata qualitativamente a occhio con una scala variabile da 1 a 5, i cui dati variano da 4 a 5.

Angio TC Aorta Toracica			
Operatore	Tempo	Dose	Qualità immagine
Operatore 1	8.04	26.4	5
Operatore 2	8.22	25.2	5
Operatore 3	9.13	25.4	4
Operatore 4	9.18	23	4

*Tabella 6: acquisizione dati simulazione Angio Tc Aorta Toracica dei tecnici*

Successivamente è stata creata la tabella che riporta tutti i dati della simulazione dei tecnici riguardo l'acquisizione dell'esame Tc Torace-Addome multifase con mezzo di contrasto il cui tempo varia da 8.56 minuti a 9.38 minuti, la dose misurata in DLP varia da 673 mGy\*cm a 690 mGy\*cm ed una qualità dell'immagine che si attesta in tutti gli esami a 4.

Tc Torace-Addome multifase			
Operatore	Tempo	Dose	Qualità immagine
Operatore 1	9.03	686	4
Operatore 2	8.56	673	4
Operatore 3	9.27	690	4
Operatore 4	9.38	675	4

*Tabella 7: acquisizione dati simulazione dell'esame Tc Torace-Addome multifase dei tecnici*

In seguito, sono stati riportati i dati anagrafici anonimizzati degli studenti del secondo anno del corso di laurea triennale “Tecniche di Radiologia Medica per Immagini e Radioterapia” dell’Università Politecnica delle Marche che hanno partecipato alle simulazioni sul programma Microsoft Excel nella seguente tabella in cui ci sono due studenti di sesso maschile e due studentesse di sesso femminile, tutti hanno un’età di 20 anni, un’esperienza di tirocinio in Tc che varia dalle 3 settimane alle 4 settimane perché nel corso del primo anno si esegue solo un periodo di tirocinio in Tc in base all’organizzazione dell’università.

Dati anagrafici			
Operatore	Sesso	Età (anni)	Esperienza in TC (tirocinio)
Operatore 1	F	20	4 settimane
Operatore 2	F	20	4 settimane
Operatore 3	M	20	3 settimane
Operatore 4	M	20	3 settimane

*Tabella 8: dati anagrafici studenti*

Dopo aver acquisito per tre volte l’esame Angio Tc Aorta Toracica e per tre volte l’esame Tc Torace-Addome multifase con mezzo di contrasto sono state create, per ogni operatore, due tabelle distinte contenenti i dati delle due tipologie d’esame.

Per l’operatore 1 viene riportata di seguito la tabella riassuntiva per la tipologia d’esame Angio Tc Aorta Toracica con un tempo che varia da 10.14 minuti a 9.40 minuti, la dose che varia da 23.3 mGy\*cm a 24.4 mGy\*cm, una qualità dell’immagine che varia da 3 a 4.

Angio TC Aorta Toracica		
Tempo (minuti)	Dose (Dlp: mGy*cm)	Qualità immagine (scala 1-5)
10.14	23.3	3
9.59	24.4	3
9.40	24.1	4

Tabella 9: dati simulazione operatore 1 studente per esame Angio Tc Aorta Toracica

Per l'operatore 1 viene riportata di seguito la tabella riassuntiva per la tipologia d'esame Tc Torace-Addome multifase con mezzo di contrasto con un tempo che varia da 9.57 minuti a 8.59 minuti, la dose che varia da 611 mGy\*cm a 620 mGy\*cm, una qualità dell'immagine che varia da 3 a 4.

Tc Torace-Addome multifase		
Tempo (minuti)	Dose (Dlp: mGy*cm)	Qualità immagine (scala 1-5)
9.57	611	3
9.45	620	3
8.59	617	4

Tabella 10: dati simulazione operatore 1 studente per esame Tc Torace-Addome multifase

Per l'operatore 2 viene riportata di seguito la tabella riassuntiva per la tipologia d'esame Angio Tc Aorta Toracica con un tempo che varia da 9.44 minuti a 9.22 minuti, la dose che varia da 25.8 mGy\*cm a 24.5 mGy\*cm, una qualità dell'immagine che varia da 3 a 4.

Angio TC Aorta Toracica		
Tempo (minuti)	Dose (Dlp: mGy*cm)	Qualità immagine (scala 1-5)
9.44	25.8	3
9.37	25.2	3
9.22	24.5	4

Tabella 11: dati simulazione operatore 2 studente per esame Angio Tc Aorta Toracica

Per l'operatore 2 viene riportata di seguito la tabella riassuntiva per la tipologia d'esame Tc Torace-Addome multifase con mezzo di contrasto con un tempo che varia da 9.43 minuti a 9.02 minuti, la dose che varia da 623 mGy\*cm a 614 mGy\*cm, una qualità dell'immagine che varia da 3 a 4.

Tc Torace-Addome multifase		
<b>Tempo (minuti)</b>	<b>Dose (Dlp: mGy*cm)</b>	<b>Qualità immagine (scala 1-5)</b>
9.43	623	3
9.22	617	3
9.02	614	4

*Tabella 12: dati simulazione operatore 2 studente per esame Tc Torace-Addome multifase*

Per l'operatore 3 viene riportata di seguito la tabella riassuntiva per la tipologia d'esame Angio Tc Aorta Toracica con un tempo che varia da 9.51 minuti a 8.40 minuti, la dose che varia da 26.2 mGy\*cm a 23.4 mGy\*cm, una qualità dell'immagine che varia da 3 a 4.

Angio TC Aorta Toracica		
<b>Tempo (minuti)</b>	<b>Dose (Dlp: mGy*cm)</b>	<b>Qualità immagine (scala 1-5)</b>
9.51	26.2	4
9.27	25.4	4
8.40	23.4	5

*Tabella 13: dati simulazione operatore 3 studente per esame Angio Tc Aorta Toracica*

Per l'operatore 3 viene riportata di seguito la tabella riassuntiva per la tipologia d'esame Tc Torace Addome multifase con mezzo di contrasto con un tempo che varia da 10.05 minuti a 9.04 minuti, la dose che varia da 671 mGy\*cm a 649 mGy\*cm, una qualità dell'immagine che varia da 3 a 4.

Tc Torace-Addome multifase		
Tempo (minuti)	Dose (Dlp: mGy*cm)	Qualità immagine (scala 1-5)
10.05	657	3
9.46	671	4
9.04	649	4

*Tabella 14: dati simulazione operatore 3 studente per esame Tc Torace-Addome multifase*

Per l'operatore 4 viene riportata di seguito la tabella riassuntiva per la tipologia d'esame Angio Tc Aorta Toracica con un tempo che varia da 9.39 minuti a 8.43 minuti, la dose che varia da 27.8 mGy\*cm a 23.9 mGy\*cm, una qualità dell'immagine che si attesta sempre a 4.

Angio TC Aorta Toracica		
Tempo (minuti)	Dose (Dlp: mGy*cm)	Qualità immagine (scala 1-5)
9.39	25.2	4
9.18	27.8	4
8.43	23.9	4

*Tabella 15: dati simulazione operatore 4 studente per esame Angio Tc Aorta Toracica*

Per l'operatore 4 viene riportata di seguito la tabella riassuntiva per la tipologia d'esame Tc Torace-Addome multifase con mezzo di contrasto con un tempo che varia da 9.56 minuti a 9.02 minuti, la dose che varia da 767 mGy\*cm a 740 mGy\*cm, una qualità dell'immagine che varia da 3 a 4.

Tc Torace-Addome multifase		
Tempo (minuti)	Dose (Dlp: mGy*cm)	Qualità immagine (scala 1-5)
9.56	767	3
9.48	751	4
9.02	740	4

*Tabella 16: dati simulazione operatore 4 studente per esame Tc-Torace Addome multifase*

## 5. CONCLUSIONI

Negli ultimi anni c'è stata un'enorme crescita ed implementazione dei sistemi di intelligenza artificiale in ambito sanitario, in particolare numerose soluzioni per tutto l'ambito radiologico, il quale storicamente è stato sempre l'ambito investito da più innovazioni tecnologiche in Medicina. Questi software, in base alle esigenze aziendali e di mercato, possono essere utilizzati per ottimizzare tutto il flusso di lavoro radiologico o solo qualche processo in particolare come può essere quello della rielaborazione delle immagini o un aiuto nell'ambito della refertazione da parte del Medico Radiologo, in cui attualmente si concentrano la maggior parte delle soluzioni di intelligenza artificiale in radiologia.

Va ricordato che questi software non sono prodotti che mirano la sostituzione del tecnico di radiologia o del radiologo, i quali risultano i veri attori del workflow radiologico ma hanno l'obiettivo di coadiuvare le loro azioni e rendere più veloce, più efficace tutto il flusso di lavoro all'interno della radiologia stessa, a partire dalla programmazione degli esami e preparazione dei pazienti fino ad arrivare all'aiuto nell'ambito della refertazione e nella generazione di report.

Tra questi software è risultata molto interessante la simulazione con SmartSimulator da parte di tecnici esperti e studenti del corso di laurea triennale perché in letteratura non sono presenti studi che riproducono l'esperienza di simulazione di tutto il flusso di lavoro di una diagnostica di tomografia computerizzata attraverso simulatori; quindi, in futuro, si potrebbe ampliare l'esperienza partendo dall'analisi di questo studio.

Il software si è dimostrato:

- fattibile, perché nessuno dei partecipanti ha dimostrato particolari difficoltà nel suo utilizzo;

- riproducibile, perché utilizzando più volte il software la qualità dell'immagine, la dose e la tempistica prodotta dagli studenti si è avvicinata a quella dei tecnici più esperti;
- efficace, perché la qualità degli esami è andata sempre crescendo in concomitanza con la riduzione del tempo diagnostico per effettuare l'esame.

Inoltre, il simulatore presenta altri vantaggi, tra cui la possibilità di formazione "in vitro" del personale tecnico e degli studenti in modo da non rallentare il flusso di lavoro clinico del Dipartimento di Radiologia con più sicurezza per il paziente; possibilità di simulare esami programmati per cercare la soluzione più efficace in termini di qualità e tempistiche; focalizzarsi sull'obiettivo da sempre più ricercato in radiologia che è quello della diagnosi nel minor tempo possibile e con minor dose di radiazioni attraverso una formazione più accurata.

Esso presenta anche alcuni svantaggi, tra cui il risultato iconografico che non rispecchia sempre il risultato prefissato dall'operatore e il fatto che si potrebbe discostare da alcune realtà operative presenti nell'ambito radiologico; per questa motivazione resta fondamentale la formazione classica nell'ambito universitario e nel corso del tirocinio per gli studenti e la formazione pratica nell'ambito clinico per i tecnici di radiologia.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- 1) Workflow Applications of Artificial Intelligence in Radiology and an Overview of Available Tools Neena Kapoor, MDa, Ronilda Lacson, MD, PhDb, Ramin Khorasani, MD, MPH 2020 American College of Radiology.
- 2) Artificial intelligence in diagnostic imaging: impact on the radiography profession Maryann Hardy, PhD, MSc, BSc (Hons), DCR(R) and Hugh Harvey, MBBS BSc (Hons) FRCR MD(Res) British Institute of Radiology.
- 3) L'intelligenza artificiale per lo sviluppo sostenibile, E. Girardi luglio 2021.
- 4) The past, present, and future role of artificial intelligence in imaging, Mohammad Ihsan Fazal 2018, Brighton and Sussex Medical School, United Kingdom.
- 5) Detection of radiographic abnormalities in mammograms by means of optical scanning and computer analysis, F. Winsberg, 1967, Radiology.
- 6) Automated radiographic diagnosis via feature extraction and classification of cardiac size and shape descriptors, Lodwick IEEE Trans. Biomed. Eng. BME 19, 1972.
- 7) Computer-aided diagnosis in medical imaging: historical review, current status and future potential, K. Doi, Comput. Med. Imaging Graph. 31, 2007
- 8) Artificial intelligence in radiology Ahmed Hosny, Chintan Parmar, John Quackenbush, Lawrence H. Schwartz and Hugo J. W. L. Aerts 2018 Macmillan Publishers Limited, part of Springer Nature.
- 9) Integrating the Healthcare Enterprise (IHE) <http://www.ihe.net>.



- 10) Artificial intelligence in diagnostic imaging: impact on the radiography profession Maryann Hardy, PhD British Institute of Radiology
- 11) Accurate and efficient pulmonary CT imaging workflow for COVID-19 patients by the combination of intelligent guided robot and automatic positioning technology Yadong Gang, Xiongfeng Chen, Hanlun Wang, Jianying Li, Ying Guo, Bin Wen, Jinxiang Hu, Haibo Xu, and Xinghuan Wang 2021 Published by Elsevier B.V. on behalf of Chinese Medical Association.
- 12) Manuale d'uso "myExam Companion" (© Siemens Healthineers, 2022).
- 13) Journal of Simulation, November 2017, Volume 4, edited by Christine Currie, John Fowler, Loo Hay Lee.
- 14) The History of Simulation and Its Impact on the Future, Michelle Aebersold, Febbraio 2016, Advanced Critical Care.
- 15) Linee di indirizzo sullo sviluppo della simulazione in sanità in Italia, luglio 2022, Ministero della Salute.
- 16) Conventional Medical Education and the History of Simulation in Radiology, Alison L. Chetlen, Academic Radiology, ottobre 2015.
- 17) Manual User Description SOMATOM go. Routine Scan Workflow on Console Workbook, © Siemens Healthcare GmbH, 2022.
- 18) European Society of Radiology (myesr.org).

## 7. RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questa tesi voglio ringraziare tutte quelle persone che hanno contribuito a questo mio percorso di crescita personale.

In primis voglio ringraziare la Professoressa Chiara Floridi che ha accettato subito con grande entusiasmo di essere la mia relatrice nonostante i suoi numerosi impegni e mi ha accompagnato durante questo studio, ma anche il Dottor Luigi La Riccia, il quale è stato prima mio tutor di Tc durante il corso di laurea triennale e ora mi ha dato numerosi consigli per migliorare l'elaborato.

Voglio ringraziare i miei tutor di tirocinio e le Sod della Clinica di Neurologia e della Medicina di Laboratorio dell'Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche perché mi hanno insegnato molte cose nel corso di questi due anni.

Voglio ringraziare i miei colleghi e gli studenti che hanno partecipato allo studio, i quali si sono mostrati subito disponibili ed entusiasti

Voglio ringraziare gli specialist Manuel, Luca e Marco che mi hanno introdotto nel campo dell'intelligenza artificiale e della simulazione.

Voglio ringraziare i miei genitori e mia sorella perché loro ci sono sempre, anche da lontano, al loro costante sostegno ed ai loro insegnamenti senza i quali oggi non sarei ciò che sono.

Voglio ringraziare Diletta perché ormai da più di un anno a questa parte mi supporta ma soprattutto mi 'sopporta' tutti giorni ed è sempre al mio fianco.

Voglio ringraziare tutte quelle nuove persone che ho conosciuto durante questi due anni, in particolare Angela, Elisa, Lorenzo, Giorgia, Marta e Sara con cui ho condiviso gran parte di questo percorso.

Voglio ringraziare i miei amici che ci sono da sempre perché loro sono i miei complici e spero che ci siano sempre per condividere insieme i nostri momenti di gioia.

Inoltre, voglio ringraziare una persona che purtroppo non c'è più: mio nonno, il quale sarà sempre la mia guida durante tutta la mia vita.

Ad meliora et maiora semper!