

1222 · 2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO di MEDICINA - DIMED

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN "TECNICHE DI RADIOLOGIA MEDICA,
PER IMMAGINI E RADIOTERAPIA"

Sede di Treviso

Presidente: Prof. Roberto Stramare

Tesi di Laurea:

COVID-19 SOSPETTO O CONFERMATO:

PERCORSO DIAGNOSTICO IN RADIOLOGIA CONVENZIONALE

Relatore: Dott. Stefano Doratiotto

Correlatore: Dott. Davide Cazziola

Laureando: Stefano Cazzin

Anno Accademico 2021-2022

Indice

Abstract	3
1. Introduzione	5
2. SARS-CoV-2	7
2.1 Diffusione e trasmissione	7
2.2 Diagnosi e presentazione clinica	9
2.3 Prognosi e follow-up	10
2.4 Reperti più frequenti in ambito radiologico	11
3. Le tecniche di imaging nello studio di COVID-19	15
3.1 Ecografia transtoracica	15
3.2 Radiografia al torace	19
3.3 HRCT	25
4. Accesso ospedaliero e confronto tra diversi presidi	31
5. Materiali e metodi	39
5.1 Apparecchiatura e strumenti utilizzati	39
5.2 Esecuzione dell'esame e dati raccolti	40
6. Risultati	45
7. Discussione	49
8. Conclusioni	51
9. Sitografia	53
10. Bibliografia	55

Abstract

La pandemia COVID-19 ha portato enormi difficoltà nei distretti sanitari di tutto il mondo, che si sono trovati impreparati nell'affrontare una problematica di questo genere. Gli ospedali hanno dovuto gestire questa emergenza mediante l'utilizzo delle medesime risorse umane e materiali, facendosi carico delle moli di lavoro derivanti sia dalla crisi sanitaria e sia dalla routine di lavoro precedente alla pandemia stessa. Tra le conseguenze più complesse e maggiormente frequenti dell'infezione è presente la polmonite, che porta spesso alla necessità di uno studio diretto sullo stato polmonare mediante esami radiografici o di tomografia computerizzata. Questi esami radiologici hanno gravato ulteriormente sui distretti e sulle unità radiologiche, in cui, per ogni esame, i diversi operatori dovevano seguire procedure specifiche volte ad evitare nuovi contagi. Il tempo richiesto da tali procedure ha portato alla ricerca di alcune soluzioni che potessero adoperare al meglio le risorse disponibili. A tale scopo, sono stati costruiti percorsi diagnostici alternativi per coloro che eseguivano l'accesso all'ospedale a causa di una prestazione COVID-associata. In questa tesi viene effettuata un'analisi in merito a questi iter specifici, in modo particolare quello predisposto all'interno dell'Ospedale Ca' Foncello di Treviso. Lo studio è stato svolto mediante analisi diretta su una popolazione di pazienti ambulatoriali che hanno richiesto questa nuova procedura, in quanto affetti dall'infezione e preoccupati sul loro stato di salute a causa della conseguente sintomatologia. L'indagine ha quindi permesso una valutazione finale in merito all'utilità di percorsi diagnostici secondari, esaminandone l'efficacia.

1. Introduzione

Il 31 dicembre 2019, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) veniva allertata dalla Commissione di Sanità Pubblica della Provincia di Hubei, China, riguardo alcuni casi di polmonite severa, ad eziologia sconosciuta, caratterizzata da sintomi quali febbre, malessere, tosse secca, dispnea ed insufficienza respiratoria, verificatisi nell'area urbana di Wuhan. Un nuovo coronavirus, il SARS-CoV-2 (sindrome respiratoria acuta da coronavirus 2), veniva identificato quale responsabile dell'infezione polmonare, oggi denominata COVID-19 (coronavirus disease 2019). Da allora si è verificata una crescita esponenziale di contagi, che ha coinvolto dapprima i paesi limitrofi, quali Giappone e Corea del Sud, fino ad interessare paesi extra-continentali, con i primi casi documentati in Europa, Stati Uniti e Africa tra gennaio e febbraio 2020. Il 30 gennaio 2020 l'OMS dichiarava l'epidemia un'emergenza globale. Il 21 febbraio 2020 esplodeva l'epidemia in Italia, il 10 marzo veniva dichiarata la pandemia. Attualmente le fonti principali di infezione sono le persone stesse infette da SARS-CoV-2. Anche i soggetti portatori asintomatici possono diventare fonte di diffusione. La trasmissione avviene per aerosol tramite "droplets", ma anche se la trasmissione diretta e indiretta sono poco importanti vanno tenute in conto.

Una diagnosi precoce dei soggetti portatori del virus è uno dei punti chiave nel cercare di contenere la diffusione, la morbilità e la mortalità della pandemia.

In un contesto di sintomatologia aspecifica e di quadri clinici estremamente variabili come gravità e progressione, il contributo dell'imaging integrato può essere determinante non solo per la diagnosi di polmonite, ma anche per il monitoraggio della terapia e per ottenere informazioni prognostiche. Il parametro discriminante per cui un paziente con sospetto COVID-19 viene ricoverato in ospedale o rimandato a domicilio è la presenza di insufficienza respiratoria, legata al processo polmonare eventualmente in atto (insufficienza respiratoria anche subclinica visto l'andamento rapidamente progressivo della patologia). Il dato funzionale è facilmente ottenibile con la misurazione della saturazione (procedura semplice, rapida e che non necessita dell'accesso del paziente a percorsi ospedalieri con rischi di contagi ulteriori).

Gli operatori sanitari svolgono un ruolo rilevante nel ridurre la diffusione del virus utilizzando dispositivi di protezione individuale (DPI), sia per proteggere se stessi, sia i pazienti.

Pertanto, dovrebbe essere predisposta una sala di imaging isolata e dedicata agli accertamenti o ai follow-up di pazienti sospetti o accertati di COVID-19 e le diverse aree di lavoro devono essere rigorosamente separate, stabilendo un percorso dedicato per l'esecuzione delle indagini radiologiche.

Scopo della tesi è quello di analizzare la validità del percorso diagnostico utilizzato in Radiologia Convenzionale per pazienti COVID-19 presso la Radiologia Diagnostica ed Interventistica dell'Ospedale Ca Foncello di Treviso.

2. SARS-CoV-2

2.1 Diffusione e trasmissione

Alla fine dell'anno 2019, nella città di Wuhan, in Cina, si sono verificati diversi casi di polmoniti, anche molto gravi, causati da un agente patogeno allora sconosciuto, in quanto non ancora riconosciuto a livello globale. Si è cercato di comprendere questa eziologia incerta, che stava ormai interessando anche il resto del mondo. Nel dicembre dello stesso anno è stato confermato il primo caso di persona affetta da SARS-CoV-2, nome abbreviato dopo poco tempo in COVID-19, acronimo di Coronavirus Disease 2019. La malattia è stata successivamente riconosciuta come pandemica dalla Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) nel marzo del 2020.

Alla fine di aprile già oltre 3 milioni di persone nel mondo risultavano contagiate dal virus, per un totale di oltre 200 mila vittime. Ad oggi, questo numero è cresciuto vertiginosamente, fino al raggiungimento di 560 milioni di persone infette, con un totale di oltre 6 milioni di decessi. Ciò è avvenuto anche a causa del fatto che non si conoscevano bene le conseguenze dell'infezione, rendendo ancora più difficile determinare la prognosi dei pazienti, o dei possibili trattamenti applicabili.

Continuando gli studi sul virus si è visto che questo viene propagato principalmente per aerosol mediante i "Droplets", ovvero delle vere e proprie goccioline di saliva o muco emesse durante uno starnuto, un colpo di tosse o anche parlando normalmente. Questa trasmissione "Diretta" può avvenire molto facilmente ad una distanza tra due individui inferiore o uguale a un metro e risulta molto meno probabile a due metri circa. Vi è anche un'altra possibile modalità di contagio, definibile come "Indiretta", derivante dal contatto tra una persona sana e queste goccioline presenti, ad esempio, in superfici di scrivanie o altri oggetti, che possono successivamente essere portate a livello delle mucose di occhi, naso o bocca e causando l'infezione.

Tutte queste informazioni sono diventate molto più chiare dopo un periodo di latenza relativamente breve ma comunque non sufficiente a contenere quest'escalation. Le prime risposte per arrestare la propagazione del virus sono arrivate quando quest'ultima si era già diffusa globalmente in modo molto incisivo e dannoso.

Nel tentativo di limitare il più possibile il diffondersi del COVID-19, la prima risposta emanata da grandissima parte di tutte le nazioni è stata l'obbligo di utilizzo di mascherine chirurgiche,

strumenti molto semplici ma davvero efficaci nel bloccare i droplets emessi dalla persona che la indossava. Inoltre, è diventata usanza più comune quella di lavarsi o igienizzarsi frequentemente le mani. Un'ultima scelta attuata da molteplici nazioni è stata quella di procedere all'identificazione diretta degli individui che presentano una conferma di infezione in corso, isolandolo in casa, col fine di contenere al massimo ulteriori trasmissioni secondarie da parte dello stesso.

Allo stesso modo, durante i periodi in cui i contagi hanno raggiunto picchi più rilevanti, moltissime attività di settori differenti hanno dovuto cessare temporaneamente la loro mansione, anche per periodi dalla durata di diversi mesi, al fine di evitare la vicinanza tra le persone che vi lavoravano. Questa azione, intrapresa a livello globale nei paesi maggiormente sviluppati, ha contribuito dal punto di vista del carico ospedaliero, portando enormi benefici. Tuttavia, si sono presentati danni collaterali gravi a tutti i settori economici, in modo particolare, parte delle piccole imprese, sono state costrette a chiudere definitivamente la loro attività, poiché incapaci di poter riprendersi da questo onere fiscale, che ancora oggi risulta essere molto pesante per alcuni.

Particolare attenzione è da porre sul nostro paese, in Italia, infatti, è stata adottata anche una soluzione più dura: il coprifuoco serale, applicato nei momenti in cui si necessitava di limitare al massimo la diffusione del virus. Quest'ultimo è stato scelto per evitare che le persone, uscendo di sera, si incontrassero in gruppi per svagarsi, inasprendo ancora di più una situazione già drammatica. Questa scelta è stata aspramente criticata da parte della popolazione italiana che, oltre alla paura del COVID-19 in sé, ha dovuto rinunciare ai più semplici contatti umani, gravando ulteriormente sulla fragilità emotiva che, ormai, coinvolgeva un po' tutti.

2.2 Diagnosi e presentazione clinica

È di fondamentale importanza riconoscere la malattia quanto prima, sia col fine di contenere ulteriori contagi sia per agire quanto prima nell'assistenza del malato. In tal senso, hanno assunto un ruolo chiave i tamponi oro- e naso-faringei, che si basano sulla rilevazione di acidi nucleici virali provenienti da campioni di diverse tipologie, quali: feci, sangue e basse vie respiratorie. Quelli che presentano maggiore accuratezza e possibilità d'utilizzo si servono delle basse vie respiratorie per raccoglierne e analizzarne l'espettorato. Questo "gold standard" per la diagnosi, è gravato da molteplici falsi negativi nelle prime fasi di contrazione del virus, nel caso specifico necessiterebbe una ripetizione del test successivamente alle 72 h dall'esposizione a rischio, col fine di confermare l'assenza di malattia.

Sulla base delle attuali indagini epidemiologiche disponibili, il periodo di incubazione dura da 1 a 14 giorni, usualmente da 3 a 7 giorni.

La presentazione clinica è molto diversificata, principalmente costituita da febbre, tosse secca e astenia. È poco comune un'associazione con rinorrea, mialgia, diarrea, faringodinia o sensazioni di ostruzione nasale. Vi sono anche sintomatologie neurologiche, tra cui anosmia e disgeusia molto comunemente, con confusione mentale nei casi di marcate riduzioni dei livelli di ossigeno nel sangue. Nelle situazioni leggermente più complesse, a circa da 1 settimana dal contagio, possono iniziare a manifestarsi stati di dispnea o aggravamenti di ipossiemia.

In pazienti critici è verosimile una rapida progressione a sindrome da distress respiratorio acuto (ARDS), shock settico, deficit coagulativi, acidosi metabolica di complicata correzione e, infine, insufficienza multiorgano. Tra i deficit coagulativi secondari all'infezione, è importante citare l'embolia polmonare, che verrà ripresa nel capitolo relativo ai risultati all'interno di questo stesso studio. Infine, se pur raramente, si possono avere implicazioni in ambito cardiologico.

È importante tenere in considerazione che il virus presenta numerose varianti, in cui ciascuna può dare luogo a quadri clinici più o meno diversi da un'altra.

Per quanto riguarda le piccole età, in una parte di neonati e bambini può delinearsi una sintomatologia più atipica, costituita da problematiche gastrointestinali quale vomito o diarrea, fino alla sonnolenza, all'ipersonnia e alla tachipnea.

Di seguito è rappresentato un grafico che mette in evidenza segni e sintomi maggiormente rappresentati:

(a) Frequency of symptoms seen at admission amongst COVID-19 patients. Bars are annotated with a fraction representing the number of patients presenting with this symptom over the number of patients for whom presence or absence of this symptom was recorded.

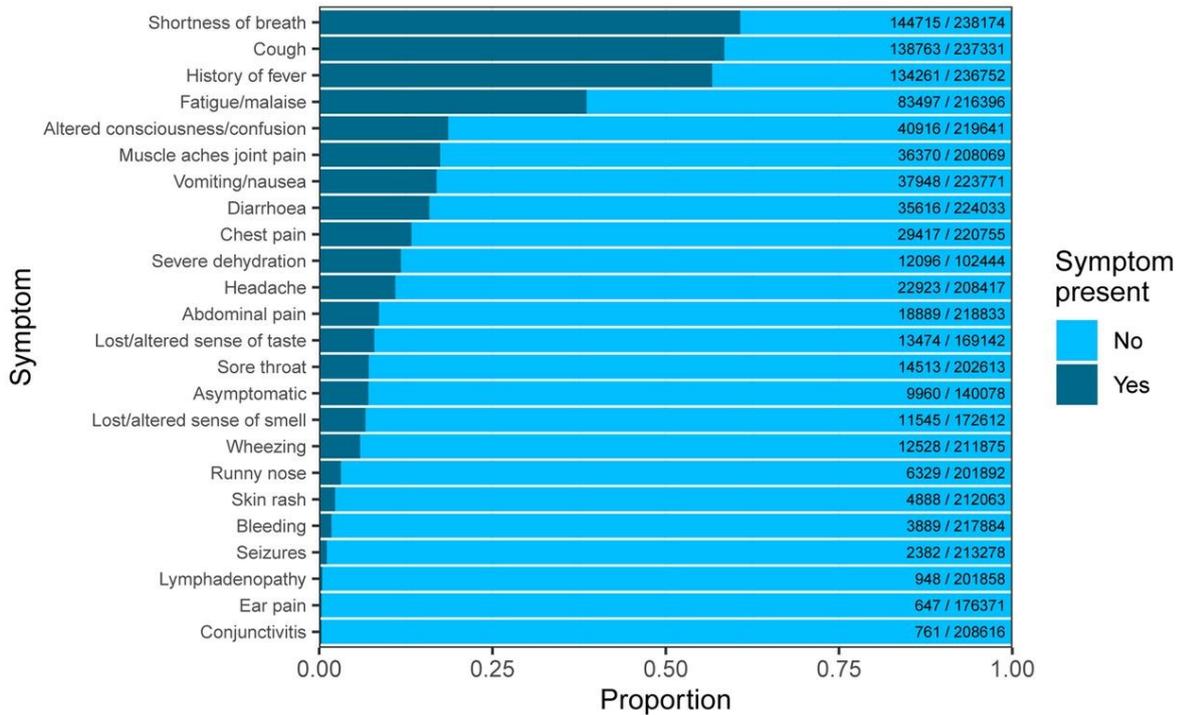


Figura 1. (Baillie, J. K., Baruch, J., Beane, A., et al. (2022). ISARIC COVID-19 Clinical Data Report issued: 15 December 2021. medRxiv, 2020-07)

2.3 Prognosi e follow-up

Sono presenti molteplici fattori che vanno a incidere sulla nostra capacità di stabilire con sicurezza e precisione la prognosi dei contagi e dell'infezione da COVID-19. Tra questo vi sono: l'epidemiologia in continua evoluzione, la disparità dei contesti sociosanitari in cui questa si manifesta e dai bias di selezione che derivano dalla maggiore o minore intensità diagnostica sulla popolazione in esame.

Riprendendo le modalità di presentazione del virus riportate nel paragrafo precedente e prendendo in considerazione i dati presenti nel rapporto dell'OMS ^[1], l'80% dei casi sviluppa una forma lieve o moderata, il 13.8% una forma severa (Frequenza respiratoria superiore a 30/minuto, Saturazione O₂ < 30%, Pressione parziale arteriosa O₂/Frazione inspirata O₂ <300, infiltrati polmonari con interessamento > 50% del parenchima dopo 48 ore dall'esordio dei

¹ Report OMS: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>

sintomi), il 6,1% è definito come critico (shock settico, insufficienza multiorgano). Per quanto riguarda la popolazione che resta asintomatica per tutto il periodo di positività, inizialmente si riteneva una percentuale trascurabile, ipotesi successivamente scartata con una stima al 17.9% circa.

Tra i fattori prognostici più importanti, quello che spicca sopra a tutti è quello relativo all'età. I soggetti inferiori ai 19 anni risultano essere i meno frequentemente colpiti (2.4% secondo la casistica OMS), e di coloro che comunque si ammalano, le forme severe e i quadri clinici più critici sono davvero rari (rispettivamente 2.5% e 0.2%). La situazione si ribalta notevolmente dopo i 60 anni di età, in cui il rischio di sviluppare una forma severa aumenta in modo considerevole.

Un altro elemento significativo è costituito dalle comorbidità, in modo particolare si segnalano l'ipertensione arteriosa, il diabete mellito, la broncopneumopatia cronico ostruttiva, patologie cardiovascolari e patologie neoplastiche in atto. Inoltre, uno studio cinese di tipo osservazionale ha seguito pazienti infettati da Sars-Cov-2 che presentavo diagnosi di polmonite, evidenziando come fattore di rischio ulteriore il fumo di sigaretta, in modo caratteristico durante il periodo di follow-up, per circa il 27% di loro.

Vi sono dei predittori utili ad una previsione della progressione e della mortalità di malattia, tra cui il livello di temperatura corporea agli esordi dell'infezione, il grado di insufficienza respiratoria, bassi livelli di albumina, aumento degli indici di infiammazione e i livelli di D-Dimero.

Secondo l'analisi dell'OMS, il tasso di mortalità grezzo è pari al 3.8%, tuttavia questo valore è fortemente influenzato da molteplici fattori, tra cui: localizzazione geografica, periodo di infezione (Osservando i tassi di mortalità tra mesi diversi dell'anno, si è visto come questi siano eterogenei), strutture sanitarie disponibili, esperienza e capacità degli operatori.

2.4 Reperti più frequenti in ambito radiologico

Dato un contesto così poco uniforme circa i quadri riconducibili al COVID-19, risulta essenziale il contributo dato dall'imaging, determinante per le diagnosi di polmoniti da SARS-CoV-2, per l'ottenimento di informazioni prognostiche, per il monitoraggio della gravità di malattia e dell'efficacia terapeutica.

È importante sottolineare, quindi, come la radiologia abbia assunto un ruolo fondamentale nel definire lo stato clinico dei molteplici affetti. Questo include sia metodiche relativamente più

recenti come la Tomografia Computerizzata e sia la Radiologia Tradizionale. Dal momento che viene offeso principalmente l'apparato respiratorio, a livello internazionale, l'utilizzo delle radiazioni ionizzanti come metodica principe ha permesso una prima indagine per tutti i pazienti che presentavano una situazione di salute incerta, o che dovevano essere tenuti sotto osservazione per verosimili aggravamenti di malattia.

La manifestazione clinica più rilevante dell'infezione è la polmonite interstiziale. L'interstizio è il minimo intervallo che separa la componente alveolare da quella capillare e la sua integrità è, quindi, essenziale per una corretta ossigenazione del sangue. Questa tipologia di polmonite è caratterizzata da una raccolta edematosa e/o dell'infiltrato infiammatorio cellulare all'interno di questi stessi spazi, causandone una compromissione funzionale. È solo nelle situazioni più critiche che vengono interessati anche gli spazi cavi degli alveoli, in particolare mediante un loro diretto riempimento. In questo frangente si delineano due possibilità radiologiche: il "ground glass" o a vetro smerigliato e il consolidamento, il primo consiste in un riempimento parziale o subtotale, il secondo in uno totale.

Altri reperti riconoscibili sono rappresentati da un ispessimento settale, bronchiectasie, versamenti pleurici, linfadenopatie e, più raramente, cavitazioni.

È da tenere in considerazione come la polmonite interstiziale non sia conseguenza unica e specifica del COVID-19, è per questo che risulta impossibile definire la positività di un paziente mediamente il solo quadro di imaging. Inoltre, quest'ultima è costituita da un insieme di caratteristiche sovrapponibili a ulteriori polmoniti o manifestazioni interstiziali.

Di seguito sono rappresentate due radiografie al torace che mostrano reperti tipici da malattia SARS-CoV-2.



Figura 2. Radiografia al torace rappresentativa di polmonite da SARS-CoV-2, manifestata, in questo caso, come opacità alveolari e lineari. Il radiogramma, eseguito in proiezione antero-posteriore, mostra opacità alveolari multifocali e opacità interstiziali lineari in entrambi i polmoni. (Ippolito, D., Maino, C., Pecorelli, A., et al. (2020). *Chest X-ray features of SARS-CoV-2 in the emergency department: a multicenter experience from northern Italian hospitals. Respiratory medicine, 170, 106036.*)

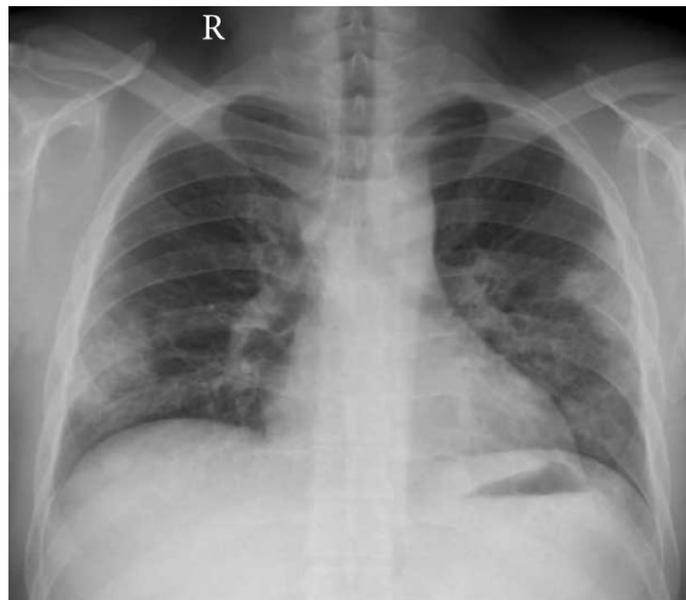


Figura 3. Aree focali con opacità a vetro smerigliato, consolidamento alle regioni periferiche del lobo medio e inferiore di entrambi i polmoni con ispessimento interstiziale reticolare al lobo inferiore e medio sinistro. (Abougazia, A., Alnuaimi, A., Mahran, A., et al. (2021). *Chest X-Ray Findings in COVID-19 Patients Presenting to Primary Care during the Peak of the First Wave of the Pandemic in Qatar: Their Association with Clinical and Laboratory Findings. Pulmonary medicine, 2021.*)

3. Le tecniche di imaging nello studio di COVID-19

3.1 Ecografia transtoracica

L'ecografia è una metodica di imaging che utilizza onde acustiche ad elevata frequenza col fine di caratterizzare i tessuti posti in esame. All'interno dell'imaging medico, l'utilità e la flessibilità di questa metodica sono ciò che la contraddistingue, permettendo una caratterizzazione aggiuntiva o unica dei tessuti rispetto a modalità differenti come la radiografia tradizionale o la tomografia computerizzata.

I principi su cui si basa derivano dalle proprietà della fisica acustica, tra cui la compressione/rarefazione, la riflessione, l'impedenza, col fine di localizzare e caratterizzare i diversi tipi di tessuto. La frequenza delle onde sonore utilizzate negli ultrasuoni a fine medico si trova nell'intervallo dei milioni di cicli al secondo, ovvero dei megahertz, abbreviati in MHz e non udibili all'uomo. Al contrario, le frequenze che possono essere udite dall'essere umano si aggirano a 20 mila cicli al secondo circa (20 kHz).

Il funzionamento fisico dell'ecografia è dato dalla presenza di un trasduttore a ultrasuoni, che invia un impulso a ultrasuoni all'interno dei tessuti, ricevendone successivamente degli echi di risposta, che vengono ricevuti, elaborati e riportati a immagine. Gli echi contengono informazioni sia spaziali che di contrasto. Un'analogia nel funzionamento di questa metodica è data dal sonar utilizzato nelle applicazioni nautiche, la differenza sta nella accuratezza e nella precisione data dall'ecografia medica, così sofisticata da formare un'immagine vera e propria, in una scala di grigi e bidimensionale, oltre che essere in continuo aggiornamento grazie alla ricezione costante di nuovi echi.

Alcuni echi di ritorno possono portare con sé informazioni aggiuntive dai tessuti da cui provengono oltre alla semplice immagine bidimensionale in scala di grigi. Un esempio è l'ecografia Doppler, che sfrutta l'omonimo effetto per rilevare spostamenti nelle frequenze degli echi provenienti dallo stesso distretto e determinare se il tessuto si sta allontanando o avvicinando dal trasduttore stesso. L'effetto Doppler è un fenomeno fisico che consiste in un apparente cambiamento di frequenza/lunghezza d'onda percepita da un osservatore, in questo caso il trasduttore, ed emessa da una sorgente in movimento. Questo fenomeno risulta molto prezioso quando si necessita una valutazione di strutture come vasi sanguigni o cuore (ecocardiografia).

Nell'ambito della medicina respiratoria, l'ecografia transtoracica è una modalità di imaging ben consolidata, tuttavia spesso sottovalutata e dunque meno utilizzata rispetto alle sue effettive capacità e possibilità. Come indagine a sé, questa può essere eseguita mediante un sistema ecografico semplice, di tipo bidimensionale, in scala di grigi o attraverso modalità più sofisticate come l'M-mode e il color-doppler, anche se raramente impiegate in quanto effettivamente valide e utili per un range di patologie alquanto limitato. La tipologia di sonde adoperate dipende dalla profondità in cui si trovano le strutture anatomiche da porre in valutazione e dalla risoluzione che necessito per un loro corretto studio. In particolare, vengono utilizzate due tipologie principali di sonde, una a basse frequenze (tra 2 e 5 MHz), con una forma curvilinea, e una a frequenze più elevate (tra 5 e 10 MHz), a forma lineare. La prima permette di analizzare le strutture sia superficiali che profonde, a costo di una risoluzione non così elevata. La seconda, al contrario, consente di valutare al meglio le strutture superficiali, avendo a disposizione parametri risolutivi molto maggiori; tuttavia, la capacità penetrativa delle onde acustiche si riduce notevolmente, non permettendo una valutazione più profonda.

Analizzando il contesto clinico dato dalla polmonite tipica da del SARS-CoV-2, si possono individuare diversi vantaggi considerevoli, tra i quali: maggiore facilità nella disinfezione della strumentazione adoperata, possibilità d'esecuzione dell'esame con il paziente in barella e quindi senza necessità di spostarlo dalla stessa o dalla stanza in cui si trova, minore contatto del paziente con altre apparecchiature o operatori sanitari. Tutto ciò permette di ridurre le possibilità che il virus diffonda ulteriormente; tuttavia, restano essenziali le accortezze utili ad evitare il contagio col personale, ovvero l'utilizzo di mascherine adeguate e attenzione durante i processi di vestizione e vestizione. Lo svantaggio deriva dalla pericolosa esposizione nella quale si trova il medico esecutore dell'ecografia, il quale resta a contatto stretto con il paziente per diverso tempo e che quindi presenta rischi più elevati di contagio, soprattutto nel caso in cui le procedure per evitare l'infezione non vengano eseguite con la meticolosità dovuta.

Dal punto di vista più tecnico, è fondamentale un'indagine approfondita al fine di incrementare significativamente la sensibilità dell'ecografia, adoperando una finestra antero-posteriore e visualizzando il polmone in un approccio a 12 segmenti: ogni polmone viene diviso, sulla base delle linee ascellari anteriori e posteriori, in 3 aree differenti: anteriore, posteriore e laterale. Al fine di ottenere immagini a risoluzione più elevata, è opportuno l'impiego di una sonda lineare a frequenze maggiori per lo studio della linea pleurica, costituita dai due foglietti pleurici parietale e viscerale intimamente addossati. Questa è individuata nell'ecogramma come la prima linea a direzione orizzontale e con uno spessore compreso tra 1 e 2 mm, in base alla sonda

che viene effettivamente utilizzata durante la scansione. Sono quindi valutati due parametri fondamentali: la linea pleurica stessa e il cosiddetto “Sliding”, ovvero la capacità di scorrimento tra i due foglietti pleurici. In caso di stati patologici, la linea può presentare ispessimenti, irregolarità o interruzioni, portando ad evoluzioni peggiorative in cui lo sliding si riduca notevolmente o si assenti, come accade nella presenza di pneumotorace.

Se presenti, vi sono ulteriori aspetti essenziali che devono essere individuati e distinti correttamente durante l’esame, in modo particolare il consolidamento polmonare e il versamento pleurico.

Il consolidamento polmonare viene a verificarsi quando il quantitativo di scambi gassosi all’interno del polmone, o di una sua parte, comincia a ridursi in modo severo o critico mediante una sostituzione diretta dell’aria presente nell’alveolo con essudato cellulare o cellule flogistiche. L’utilizzo dell’ultrasuono permette di penetrare all’interno del parenchima e di ottenere informazioni da questo processo patologico, che, nelle forme più severe, può anche presentarsi come un consolidamento con pattern eco-strutturale simile a quello epatico. Data questa forte somiglianza tra parenchima epatico e polmonare, ci si può riferire a tale fenomeno con il termine di “Epatizzazione polmonare”.

L’altro processo patologico individuato dall’ecografia è il versamento pleurico, ovvero l’accumulo di liquido tra le due membrane che rivestono i polmoni. Gli ultrasuoni permettono, in questo caso specifico, una diagnosi con livelli di sensibilità e specificità molto elevati, definendo questa tipologia di esame come “gold standard” per il suo scopo. Consente, infatti, una valutazione dal punto di vista volumetrico e di ecogenicità, determinando la tipologia di sostanza liquida che costituisce il versamento stesso, che può essere trasudato (derivante dal plasma mediante un processo di ultrafiltrazione) o essudato corpuscolato (formato da una parte liquida plasmatica e una corpuscolata con cellule infiammatorie).

Nell’indagine toracica, è fondamentale riconoscere correttamente la presenza di due artefatti, che tuttavia permettono di definire lo stato del tessuto che si sta osservando durante l’esame stesso, motivo per cui si può parlare di “Artefatto diagnostico”. In particolare, si possono individuare le “Linee A” e le “Linee B”. Le linee A sono tipicamente visibili in un polmone sano, sono artefatti generati a livello dell’interfaccia aria-pleura, che porta alla generazione di un riverbero a multiple riflessioni, che si mostra attraverso linee iperecogene a direzione orizzontale e parallele alla linea pleurica stessa. Le linee B, invece, sono comunemente note anche come linee “A coda di cometa” a causa del loro aspetto caratteristico. Sono artefatti che

permettono di definire il coinvolgimento interstiziale da parte del processo patologico. La loro presentazione è costituita da linee che dipartono dalla linea pleurica fino al raggiungimento delle regioni più profonde, inoltre presentano un andamento perpendicolare alle linee A. Se presenti, possono coprire le linee A stesse, marcando ancora di più la diminuzione del tessuto sano non affetto da processi patologici. Diversi fattori permettono di indicizzare il livello di interessamento dell'interstizio, tra cui: il quantitativo delle linee B, la vicinanza tra loro e il grado di coalescenza.

Oltre all'ecografia come esame a sé, questa metodica rivela un'ottima correlazione rispetto ai risultati individuati dalla TC nello stesso distretto anatomico, consentendo una vera e propria associazione tra la gravità di malattia in un dato momento e la sua presentazione nelle due tecniche. L'immagine che segue permette un'osservazione della correlazione tra queste due metodiche:

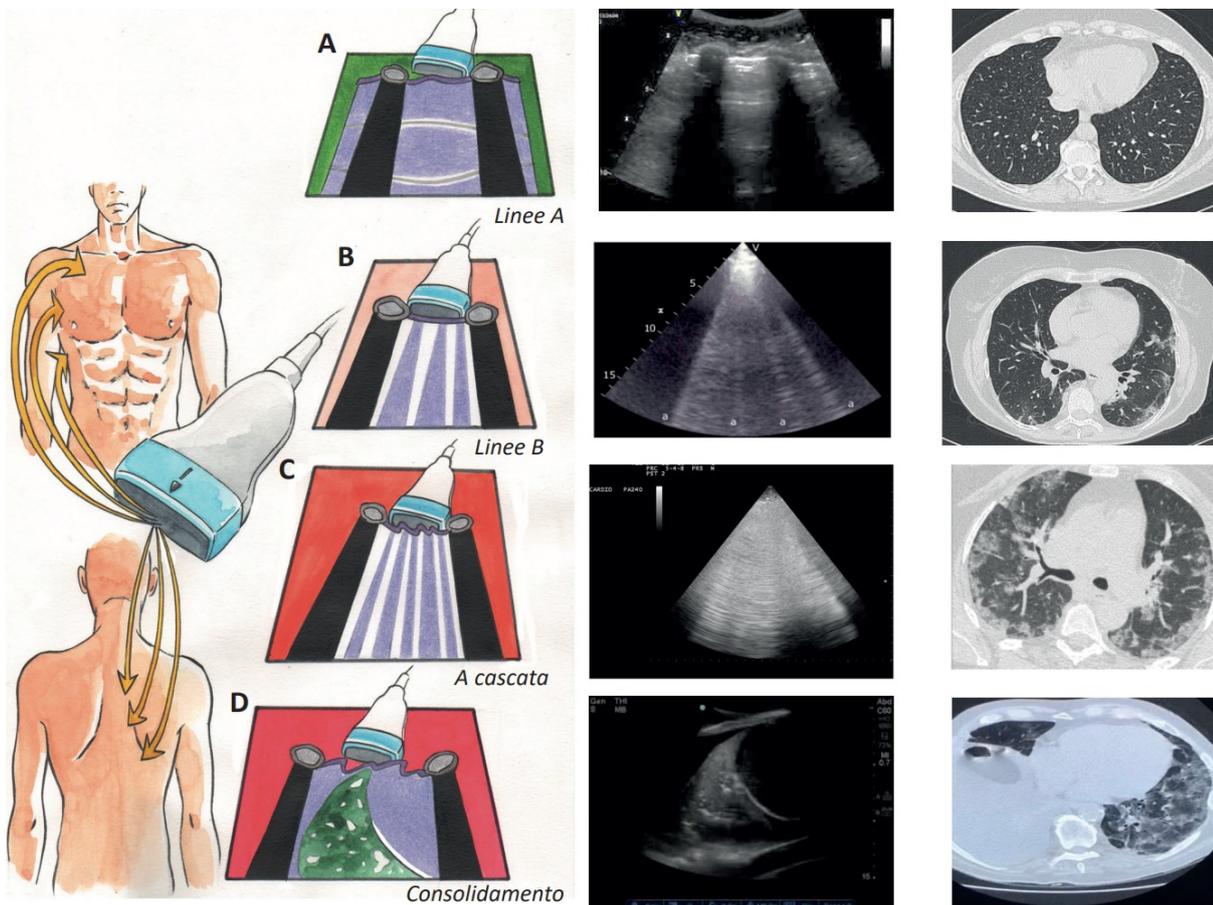


Figura 4. Tecniche di imaging nelle diverse fasi di polmonite SARS-CoV-2. (Illustrazione di Germano Massenzio). **A:** Quadro normale alla TC, con linee A fisiologiche individuate dall'ecografia polmonare. **B:** Presenza di aree subpleuriche iperdense a vetro smerigliato alla TC, in particolare a livello dei campi posteriori ed inferiori, correlate in ecografia con alternanza tra linee B patologiche e linee A fisiologiche. **C:** Bilateralmente opacità a vetro smerigliato in TC, correlate in ecografia mediante linee B fortemente

coalescenti, tali da formare il tipico segno “A cascata” **D**: Diffusi consolidamenti periferici subpleurici bilaterali in TC ed ecografia, con presenza caratteristica di broncogramma aereo ed epatizzazione polmonare, possibile evoluzione in ARDS. (*D’Andrea, A., Di Giannuario, G., Marrazzo, G., et al. (2020). L’imaging integrato nel percorso del paziente con COVID-19: Dalla diagnosi, al monitoraggio clinico, alla prognosi. G. Ital. Cardiol, 21, 345-353.*)

Un’ultima considerazione da fare in merito all’esame ecografico riguarda l’associazione tra i reperti individuati nell’esame e il momento effettivo d’esecuzione rispetto a quando la persona è stata contagiata dal virus. Si può notare come, durante la fase precedente alla comparsa dei sintomi, all’interno dell’indagine TC vengano presentate poche aree di iperdensità con un pattern a vetro smerigliato, interessando maggiormente i livelli inferiori e posteriori dei campi polmonari stessi. La correlazione con l’ecografia viene individuata mediante l’associazione tra questo pattern e la presenza di alternanza tra le linee B e le linee A normali. In entrambi gli esami, resta comune la ridotta mobilità diaframmatica, presente già agli esordi di malattia.

Entro una settimana dalla comparsa sintomatologica, nell’indagine TC permangono queste opacità già individuabili precedentemente. Rispetto all’esordio, può essere notata una più elevata confluenza di queste iperdensità, da cui permane l’associazione con l’indagine ecografica mediante le linee a coda di cometa che, essendo maggiormente coalescenti, tenderanno a formare i tipici segni a cascata. In questa fase, oltre alla perdita di mobilità diaframmatica, si può constatare una maggiore rugosità della linea pleurica.

Tra la prima e la seconda settimana, sia TC che ecografia permettono di individuare consolidamenti bilaterali subpleurici nelle regioni periferiche, con aumento della densità delle linee B.

Infine, ponendo sotto osservazione le casistiche più critiche e severe, si può notare un progressivo aumento del volume polmonare consolidato. In questo frangente, l’eco-color-Doppler non vede alcun colore a livello dei consolidamenti, con possibile evoluzione ulteriore in sindrome da distress respiratorio acuto. Attraverso un loro studio maggiormente approfondito, possono essere individuate strutture ramificate iperecogene, visualizzate in TC come broncogrammi aerei, definendo tale consolidamento a “Bronchi pervi”.

3.2 Radiografia al torace

La radiografia tradizionale è una metodica di imaging che utilizza radiazioni ionizzanti X per la produzione di immagini medicali, diagnostiche e bidimensionali. I raggi X, o raggi Roentgen,

sono una forma di radiazione elettromagnetica ionizzante prodotta, in ambito medico, da un tubo radiogeno. Lo spettro elettromagnetico costituisce l'insieme di tutte le frequenze possibili della radiazione elettromagnetica, all'interno di questo spettro sono presenti le onde radio, le radiazioni infrarosse, la luce visibile, gli ultravioletti, i raggi X, i raggi gamma e i raggi cosmici. Una determinata tipologia di radiazione elettromagnetica viene definita sulla base della sua lunghezza d'onda o della sua frequenza, parametri che sono l'uno l'inverso dell'altro. In particolare, la lunghezza d'onda viene rappresentata con il simbolo dell'alfabeto greco " λ ", mentre la frequenza con il simbolo " ν ".

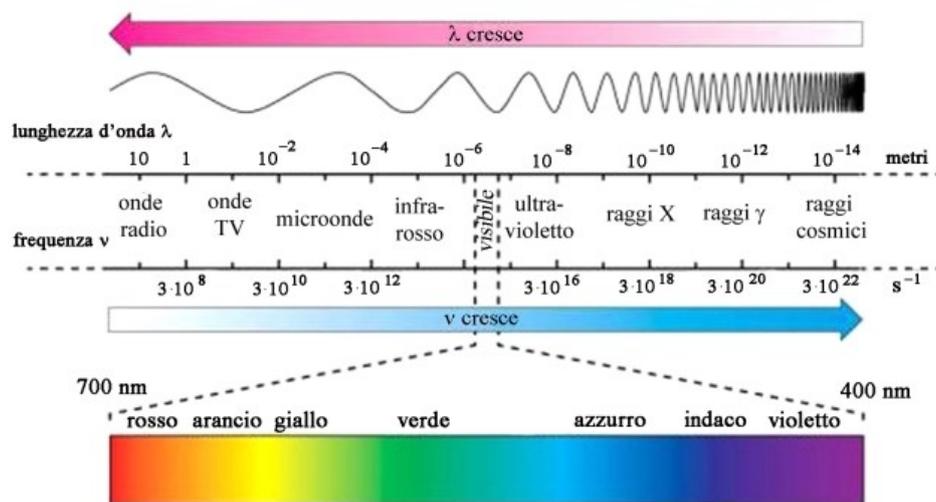


Figura 5. Rappresentazione dello spettro con piccolo focus per l'intervallo che comprende la luce visibile dall'uomo [2]

L'energia della radiazione dipende dalla sua lunghezza d'onda o frequenza, quando questa raggiunge almeno 10 eV (unità di misura per indicare l'energia della radiazione, uguale a circa 125 nm di lunghezza d'onda) può essere definita ionizzante, motivo per cui i raggi ultravioletti vengono convenzionalmente considerati come non ionizzanti, ma che in piccolissima parte possono causare tale fenomeno. Quindi, per la gran parte dello spettro, rientrano come ionizzanti i raggi X e le radiazioni gamma, che risultano le forme più comuni di radiazioni ionizzanti indirette.

La ionizzazione è il fenomeno che consiste nella rimozione di elettroni dagli orbitali atomici, portando l'atomo a caricarsi positivamente. La ionizzazione può essere causata da particelle di tipologia differente, permettendo una distinzione tra ionizzazione diretta e indiretta, sulla base della particella incidente stessa. La ionizzazione indiretta è causata da particelle non cariche,

² Spettro elettromagnetico: <https://medicinaonline.co/2019/12/05/i-colori-esistono-come-fa-locchio-umano-a-distinguerli-lo-spettro-visibile/>

come raggi X, raggi gamma e molto raramente anche raggi ultravioletti. La ionizzazione diretta è causata invece da particelle cariche elettricamente, come particelle alfa e beta^{+/-}. Il danno biomolecolare dato dalla ionizzazione è dato dalla dissipazione energetica all'interno del tessuto organico da parte della particella incidente, di qualunque tipologia questa faccia parte.

La radiazione X, impiegata normalmente per le indagini appunto radiologiche, è prodotta mediante l'utilizzo di un tubo radiogeno, che impiega un'alta tensione al fine di accelerare gli elettroni che vengono prodotti dal catodo. Questi elettroni interagiscono con l'anodo secondo fenomeni specifici, causandone una ionizzazione e generando i raggi X. I due fenomeni distinti che portano alla generazione dei raggi X sono la radiazione di Bremsstrahlung e la radiazione caratteristica.

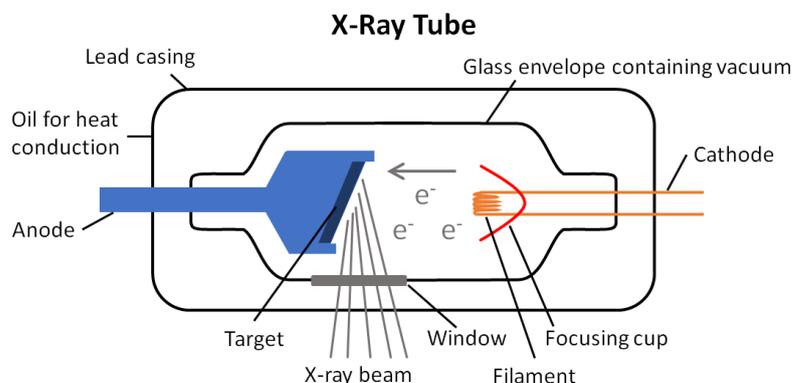


Figura 6. Schema delle componenti elementari presenti all'interno di un tubo radiogeno comune^[3].

La radiazione Bremsstrahlung si verifica quando un elettrone, carico negativamente, si avvicina al nucleo di un atomo, carico positivamente dalla presenza dei protoni. La differenza di carica provoca un'accelerazione negativa all'elettrone incidente, generando un raggio X che compensa la perdita energetica della particella. Circa l'80% della radiazione X appartenente al fascio viene generata attraverso questo fenomeno.

La radiazione caratteristica si realizza mediante collisione diretta tra l'elettrone incidente e un elettrone appartenente agli orbitali più interni di un atomo. Quando si verifica questa collisione, entrambi gli elettroni vengono espulsi dall'atomo, lasciando un vuoto all'interno dell'orbitale. Al fine di riempire questo vuoto, un elettrone degli orbitali più esterni, che possiede più energia, è costretto a spostarsi più internamente, disperdendo l'energia in eccesso mediante l'emissione di un fotone X.

³ Schema tubo radiogeno: <https://sites.google.com/site/frcrphysicsnotes/production-of-x-rays>

Tra gli esami radiologici più comuni, la radiografia al torace presenta un ruolo fondamentale. È spesso utilizzato tra i primi esami nel caso in cui si pensi a problematiche cardiache o polmonari, oltre che essere impiegato in casi particolari e specifici come per controlli pre/post-operatori. Nello specifico, la sintomatologia che il più delle volte richiede l'esecuzione di una radiografia al torace include difficoltà respiratorie, tosse molto forte o persistente, dolore toracico, trauma toracico e febbre persistente. A partire da questa tipologia di esame e attraverso la lettura del radiogramma, si procede ad una ricerca dei possibili fattori causanti, valutando:

1. Condizioni generali del polmone: Ricerca di formazioni neoplastiche, infezioni, raccolte gassose all'interno dello spazio polmonare o collassi polmonari. Ricerca di condizioni croniche come enfisemi di diversa natura, fibrosi cistica o complicazioni legate a queste problematiche.
2. Problematiche cardiache con correlazione polmonare: La radiografia al torace può mostrare correlazione tra problematiche cardiache che ricadono successivamente al polmone. In caso di scompenso cardiaco, uno dei primi segni che permette una sua individuazione è la raccolta di liquido all'interno dei polmoni, ovvero l'edema polmonare. Questo fenomeno è dovuto ad un'incapacità del cuore di far tornare il sangue dal circolo polmonare, aumentando così la pressione idrostatica a livello capillare dei polmoni, che cominciano a riempirsi di liquido. Nell'insufficienza cardiaca, essendo di fatto una problematica cronica, questa condizione si verifica più lentamente nel tempo, nello scompenso cardiaco, essendo acuto, la presentazione radiologica è più immediata e definitiva.
3. Ombra cardiaca: La silhouette cardiaca è di grandissima importanza, una valutazione della sua grandezza e della sua forma può indicare scompenso cardiaco, presenza di fluidi attorno al cuore o particolari condizioni patologiche riguardanti le valvole cardiache.
4. Vasi sanguigni di calibro maggiore: All'interno della radiografia si delineano i contorni dei vasi di calibro maggiore, tra cui l'aorta, le arterie polmonari e le relative vene, che possono mostrare aneurismi, problematiche cardiache congenite o altre problematiche vaso-specifiche che potrebbero richiedere esami più approfonditi per una loro migliore valutazione.

Nello studio dell'infezione da SARS-CoV-2, la radiografia al torace gioca un ruolo molto rilevante; tuttavia, è altrettanto importante definire in cosa eccelle e in cosa pecca tale metodica per lo studio di un paziente affetto.

La radiografia al torace, infatti, non presenta spiccata sensibilità per lo studio dell'interessamento polmonare nelle prime fasi di malattia. Tuttavia, se si pensa alla differenza dosimetrica tra una semplice radiografia al torace e un'indagine TC, risultano molto più evidenti i lati positivi di un compromesso tra le due metodiche, soprattutto per quei pazienti che non hanno necessità di eseguire uno studio così approfondito come quello offerto dalla tomografia computerizzata ma che comunque necessitano un monitoraggio continuo sulla loro situazione.

Inoltre, è da tenere in considerazione che, nell'indagine standard eseguita giornalmente, questo esame è costituito da due proiezioni eseguite a paziente collaborante, quindi in ortostatismo e in apnea inspiratoria. La doppia proiezione permette una valutazione ortogonale per una localizzazione corretta delle opacità eventualmente presenti. Inoltre, in questo caso specifico, potrebbe rivelarsi molto utile anche per determinare l'estensione dorso-ventrale dell'opacità o del consolidamento stesso. Nel caso dei pazienti COVID maggiormente colpiti dall'infezione, risulta impossibile l'esecuzione di entrambe le proiezioni secondo i criteri definiti dalla letteratura, eseguendo quindi un'unica proiezione a letto del paziente. In questo frangente viene utilizzata una strumentazione di tipo portatile, che già da sola non offre tutte le possibilità date dall'apparecchiatura standard, causando qualità d'immagine generalmente inferiore rispetto a quest'ultima. Sarà il tecnico di radiologia ad assicurarsi di aver eseguito un esame diagnostico al meglio delle possibilità di cui dispone. È da sottolineare che la mancanza di un'indagine radiologica ottimale contribuisce negativamente sulla sensibilità che l'esame stesso può avere.

Il radiogramma toracico risulta molto rilevante, quasi come metodica di screening, per tutti i pazienti le cui condizioni fisiche rendono molto complicato l'accesso alla diagnostica TC e il loro posizionamento sul lettino porta-paziente. La progressione della malattia oltre le prime fasi, in cui appunto la radiografia non riesce ad avere una sensibilità così elevata, permette di individuare la presenza di opacità alveolari all'interno del campo polmonare, e quindi una prima definizione del coinvolgimento parenchimale. Successivamente a questo primo studio, è fondamentale decidere correttamente se queste opacità possono essere controllate mediante ulteriori esami radiologici semplici piuttosto che mediante l'utilizzo della tomografia computerizzata per un'analisi più approfondita. Questa decisione si dimostra molto importante, soprattutto nei pazienti più giovani, a causa delle differenze dosimetriche così elevate, motivo

per il quale un esame prescritto senza un'adeguata valutazione potrebbe risultare non in linea con il principio di giustificazione stabilito dalla Commissione Internazionale di Radioprotezione.

Con il progredire della malattia, oltre alle opacità alveolari, possono successivamente formarsi opacità interstiziali o ispessimenti/reticolazioni settali. Queste opacità potrebbero confluire tra loro, al punto da associarsi a consolidamenti, che potrebbero aggiungersi alle semplici opacità a vetro smerigliato. Questi consolidamenti vengono descritti come aree ad opacizzazione ben definita, tali da oscurare i vasi sottostanti. Nei casi più critici potrebbero presentarsi consolidazioni multiple e apparire delle raccolte di fluidi a livello pleurico, anche se raramente. Non è da escludere un coinvolgimento così importante tale da raggiungere l'ARDS, e quindi una compromissione degli scambi gassosi essenziali ad assicurare una saturazione d'ossigeno sufficiente alla persona, oltre che un aumento dei livelli di anidride carbonica nel sangue.

Infine, risulta essenziale definire in maniera corretta la tipologia di lesione visualizzata a livello polmonare: le diagnosi differenziali date da un aspetto a vetro smerigliato, una consolidazione o un'opacità di forma lineare sono infatti molteplici. Possono essere dovute, ad esempio, da: una polmonite COVID-19 e non (altri virus, batteriche, miceliche ...), aspirazione di un corpo estraneo, edema polmonare, cancro, altre malattie di tipo infiammatorio come la polmonite eosinofila (aumento del numero dei granulociti eosinofili nei polmoni e, di solito, nel sangue), vasculite (come la granulomatosi di Wegener, che causa un'inflammazione delle pareti arteriose di medio/piccolo calibro, delle venule e della componente capillare, portando a necrosi e granulomi) o emorragia.

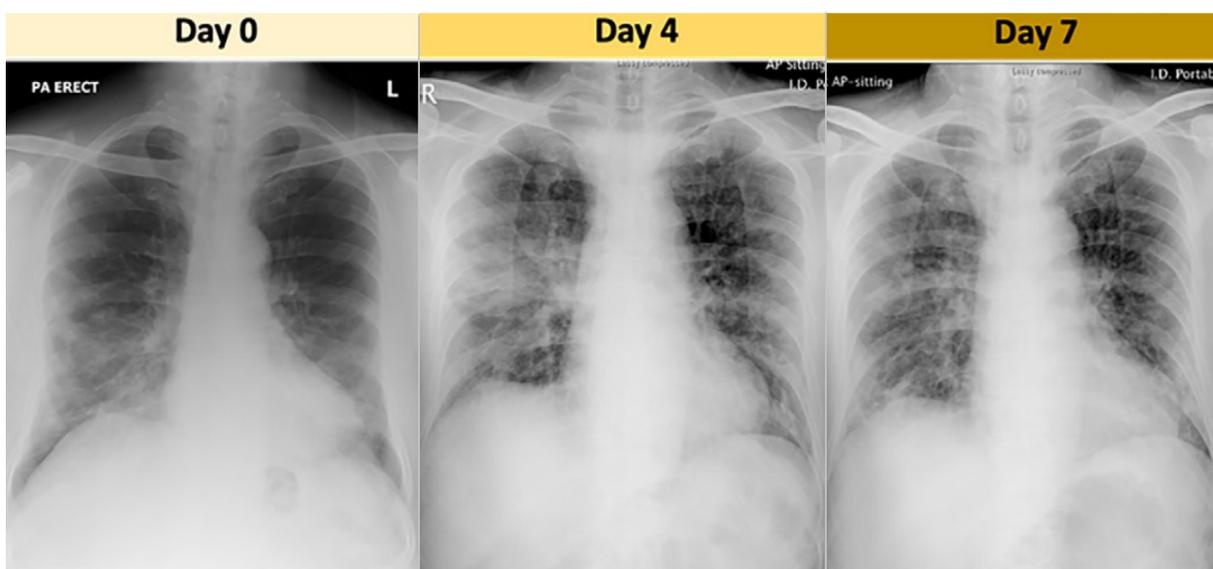


Figura 8. Radiografie al torace di un paziente di sesso maschile abitante nella città di Wuhan, in Cina. Questi tre radiogrammi sono stati selezionati dalle radiografie di controllo giornaliero che questo paziente eseguiva per monitorare la sua salute. Si può notare come le consolidazioni presenti nelle regioni inferiori del giorno 0 siano rimaste presenti nel giorno 4, con un maggiore interessamento di tipo consolidativo nella regione media peri-ilare e periferica. Quest'ultima, già dal giorno 7, risulta migliorata notevolmente a livello del lobo medio, ma con un interessamento più ampio bilateralmente. (Ng, M. Y., Lee, E. Y., Yang, J., et al. (2020). *Imaging profile of the COVID-19 infection: radiologic findings and literature review. Radiology: Cardiothoracic Imaging*, 2(1).)

3.3 HRCT

La tomografia computerizzata è una tecnica di imaging che si avvale delle radiazioni ionizzanti X per la produzione di immagini sezionali di un corpo. Lo scanner TC è costituito da due componenti fondamentali: uno dedicato alla produzione di raggi x mediante un tubo radiogeno, secondo i principi spiegati al capitolo precedente, e uno dedicato alla loro rivelazione attraverso un numero variabile di detettori posti in serie. Questi due elementi, posti uno a 180° rispetto all'altro, ruotano in sincronia e vanno a costituire ciò che prende il nome di “Complesso tubo-detettore”.

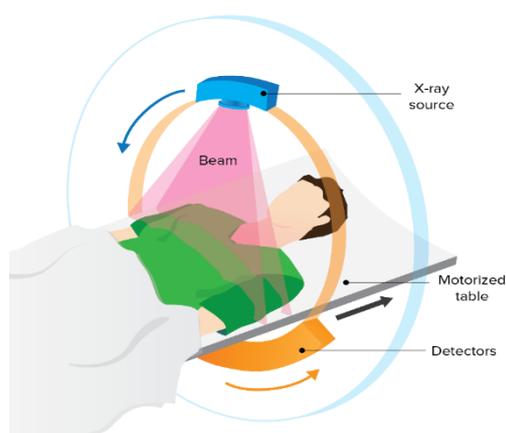


Figura 9. Rappresentazione semplificata del funzionamento di uno scanner TC e delle sue componenti interne. Si possono individuare il lettino porta paziente, il tubo radiogeno fonte del fascio radiante e il complesso di detettori sul lato opposto. Il complesso tubo-detettori ruota quindi in sincronia all'interno del gantry e attorno al paziente al fine di acquisire le immagini TC. ^[4]

Un altro elemento fondamentale è dato dal lettino porta-paziente, che si muove in direzione longitudinale rispetto al piano di rotazione del gantry. Le versioni iniziali della TC, di prima generazione, consentivano solo un'acquisizione di tipo sequenziale, in cui ogni singola acquisizione era divisa in più parti, con una pausa di erogazione tra un volume e il successivo data dal tempo di riposizionamento del lettino. Questo portava ad un aumento considerevole delle tempistiche necessarie all'esecuzione di ogni singolo esame. Con il progresso tecnologico, si è passati alla possibilità di eseguire un'acquisizione a spirale, in cui il lettino porta-paziente

⁴ Componenti scanner TC: <https://www.lecturio.com/concepts/computed-tomography-ct/>

può continuare a muoversi durante l'erogazione dei raggi X, diminuendo enormemente le tempistiche necessarie.

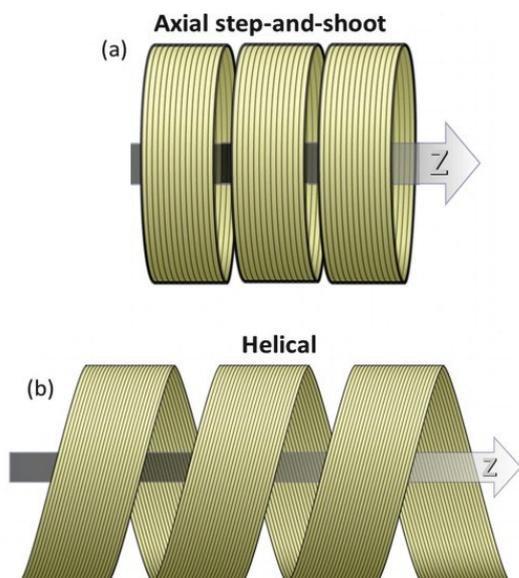


Figura 10. La freccia “Z” permette di individuare il movimento del lettino porta-paziente. La prima generazione TC consentiva un’acquisizione di tipo sequenziale **(a)**. Dalla generazione successiva, grazie alla presenza di hardware più sofisticati, si definirono per la prima volta i movimenti a spirale **(b)**. Per alcuni esami viene tuttora preferita un’acquisizione di tipo “Step-and-shoot”, comunque selezionabile dalle successive generazioni di TC. (Samei, E., Pelc, B. J. (2020). *Computed Tomography*. Springer.)

Il lato più complesso che sta alla base del funzionamento di questa tecnica è dato dai suoi sistemi di rielaborazione. Mediante l’acquisizione a spirale il sistema riceve moltissimi dati ma ad angolazioni totalmente diverse l’una dall’altra, causando una ripercussione diretta sulle informazioni a disposizione, che presenteranno una coerenza limitata tra loro. Rispetto alla metodica sequenziale, infatti, si hanno delle acquisizioni dinamiche, in cui l’apparecchiatura deve associare l’immagine al movimento che effettua il lettino porta-paziente. Questa prima rielaborazione è condotta da degli algoritmi complessi che prendono il nome di “Algoritmi Iterativi” e mettono a disposizione i dati grezzi, utilizzati per successive rielaborazioni o riformattazioni. Avere discrepanze all’interno dei dati grezzi significa avere, oltre che errori puramente geometrici nella visualizzazione spaziale dei tessuti, anche delle discrepanze sui loro coefficienti di attenuazione, ovvero quanti raggi X questi tessuti hanno assorbito.

Dal punto di vista di immagine, è importante tenere in considerazione che, rispetto alla radiologia tradizionale, la TC non gestisce pixel ma elabora la loro controparte tridimensionale, i voxel. In riferimento ai dati grezzi, ogni voxel possiede un determinato coefficiente di attenuazione che viene associato ad una scala di valori numerici che prende il nome di Scala Hounsfield. All’interno di questa scala, inventata da Godfrey Hounsfield, ogni voxel avrà un valore ben preciso di Unità Hounsfield (HU), posto in riferimento ai valori appartenenti alle quattro tipologie di tessuto che principalmente costituiscono il nostro organismo, nell’ordine: Aria = -1000 HU, Grasso = -60/-120 HU, Acqua = 0 HU e Osso = +1000 HU.

Per lo studio del paziente COVID-19, viene eseguita una particolare tipologia di esame denominato HRCT, ovvero TC ad alta risoluzione. Questa tecnica permette di indagare in modo eccellente il torace e nello specifico i polmoni, mediante l'acquisizione di fette sottili che vengono successivamente elaborate con algoritmi di ricostruzione ad alta frequenza spaziale. Questa tecnica permette di ottenere dettagli polmonari molto elevati, fino alla visualizzazione dell'esagono formato dal lobulo secondario, ideale per la valutazione di malattie polmonari con interessamento interstiziale e diffuso. Tra le indicazioni principali per l'utilizzo di tale tecnica sono presenti: malattie polmonari interstiziali, malattie polmonari cistiche, malattie delle piccole vie aeree, micronoduli polmonari e bronchiectasie. Può essere impiegata per definire l'estensione della malattia, monitorare la risposta di trattamenti terapeutici di diversa tipologia o selezionare siti di biopsia in contesti specifici. Eccelle quindi nel visualizzare le piccole strutture polmonari e rilevare sottili cambiamenti dati dalla malattia stessa, di difficile valutazione con la controparte di TC del torace standard.

I protocolli tecnici fondamentali per un'indagine HRCT di tipo volumetrico sono:

- **Spessore di fetta:** 0,625-1,25 mm
- **Tempo di scansione:** 0,5-1 secondo
- **kV:** 120
- **mA:** 100-200
- **Collimazione:** 1,5-3 mm
- **Dimensione matrice:** 768 x 768 o la più grande disponibile
- **Campo visivo:** 35 cm
- **Algoritmo di ricostruzione:** Alta frequenza spaziale
- **Finestra:** W: 1700 L: -600
- **Posizione del paziente:** Supino (di routine)
- **Livello di inspirazione:** Apnea inspiratoria, raramente apnea espiratoria

Questo protocollo TC è spesso impiegato nelle scansioni di follow-up di pazienti noti o più giovani, in questi casi è opportuno cercare di ridurre il più possibile la dose erogata al prezzo di una qualità d'immagine leggermente inferiore ma comunque diagnostica al suo scopo. Nello specifico si potrebbero ridurre i mA utilizzati ad un massimo di circa 40 mA per un paziente comune.

L'HRCT, è il gold standard per lo studio di interstiziopatie e presenta un'elevata sensibilità diagnostica anche nelle prime fasi dei processi infettivi che coinvolgono un determinato paziente. Nonostante questa spiccata sensibilità, è importante sottolineare che il quadro che

viene a delinearsi a seguito di questo esame non è così specifico per la polmonite COVID-19: è infatti molto somigliante a infezioni polmonari di diversa tipologia, quali ad esempio da virus A/H1N1, citomegalovirus, streptococco, altri SARS o MERS e altri germi non comuni che possono comunque portare alla polmonite, come la *Clamidia trachomatis* (Clamidia) o i microplasmii.

In questo esame sono comunemente osservate diverse aree presentanti pattern a vetro smerigliato, con associazione ad aree di consolidazione distribuite a chiazze, in modo particolare nella regione subpleurica o periferica, con maggiore interessamento posteriore e dei lobi inferiori. Un ulteriore pattern frequentemente individuato è il “Crazy paving”, costituito da una sovrapposizione tra il pattern a vetro smerigliato e ad alterazioni ad aspetto reticolare inter ed intralobulari. Raramente si può individuare la presenza di singole consolidazioni, riconosciute mediante il “reversed halo sign”, caratterizzato da un’opacità centrale con pattern a vetro smerigliato, e circondata da un consolidamento più denso dello spazio aereo, con una forma ad anello o a mezzaluna, sulla base di quanto questo sia effettivamente completo. Inoltre, possono essere individuate linfadenopatie, calcificazioni, cavitazioni o versamenti pleurici, anche se più raramente.

Per i pazienti che presentano un interessamento parenchimale rilevante, l’indagine TC deve essere eseguita anche nei periodi successivi, col fine di valutare come la malattia sta progredendo e di quanto effettivamente si stia aggravando. Data una fase iniziale che presenta opacità generalmente focali, è possibile che in qualche giorno queste avanzino, coinvolgendo sempre di più il parenchima dei molteplici segmenti polmonari, con un aumento sia quantitativo, ovvero quanto parenchima è effettivamente coinvolto, e sia qualitativo, vale a dire il passaggio dalla semplice opacità a vetro smerigliato alla più complessa consolidazione parenchimale. Quest’ultima è infatti una conseguenza caratteristica del SARS-CoV-2 in quanto presenta la capacità di infiltrarsi autonomamente fino alle regioni più periferiche dell’albero bronchiale, in cui può consolidare e determinare una polmonite virale primaria. Questa peculiarità risulta molto importante e da tenere in considerazione dal momento che molte altre polmoniti di origine virale necessitano una sovrapposizione ad infezioni batteriche per causare delle effettive consolidazioni. È questa fase intermedia, rispetto a quella iniziale o finale, in cui la TC permette di eccellere, in quanto consente una valutazione dello stato di diffusione parenchimale della malattia, consentendo di comprendere con che rapidità agire con i trattamenti terapeutici disponibili e quanto si può essere aggressivi nel loro utilizzo, dando così grandissima importanza a questa metodica, in quanto il suo esito impatta a tutto tondo nella gestione

successiva del paziente. Ad esempio, può essere utile per valutare se gli addensamenti polmonari sono aumentati in modo critico tale da necessitare un'intubazione immediata. Al contrario, è da considerare che se lo scopo ultimo dell'indagine è vedere solamente che il paziente sta peggiorando senza alcuna azione conseguente possibile, allora l'esame è da considerare inutile e quindi evitabile, impedendo così plausibili contagi ulteriori durante i trasporti tra i corridoi o i reparti del presidio.

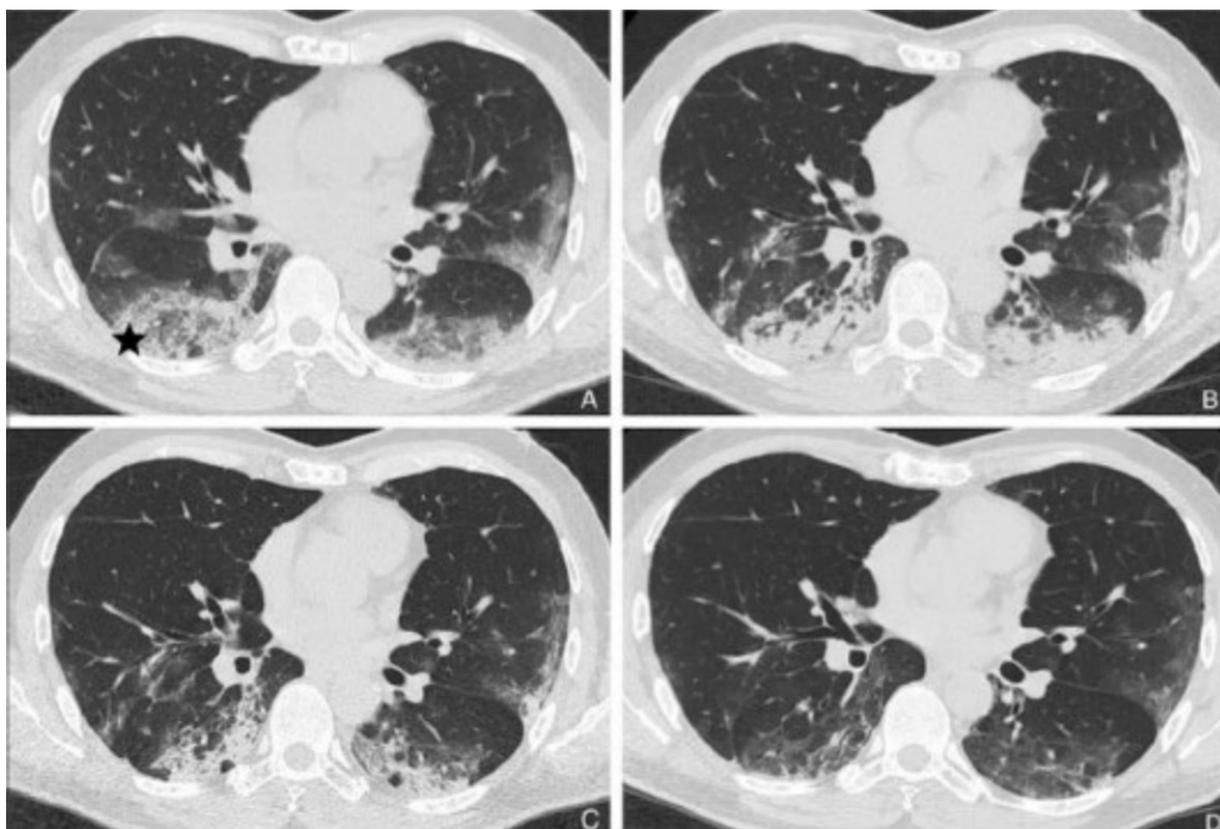


Figura 11. Sezioni assiali di un HRCT del distretto toracico, in particolare a livello dei segmenti apicali dei lobi inferiori. L'immagine **A** (eseguita al giorno 0 dalla positività al tampone) mostra il tipico reversed halo sign, visibile sulla destra della stella di colore nero. Sono inoltre visibili pattern a vetro smerigliato nelle regioni periferiche di entrambi i polmoni. L'immagine **B** (giorno 11) mostra un peggioramento della malattia, con una parziale evoluzione dei pattern a vetro smerigliato in consolidazioni. L'immagine **C** (giorno 18) dimostra l'inizio di un riassorbimento delle consolidazioni individuate in precedenza, con la comparsa di broncogramma aereo a livello delle regioni bronchiali che ancora presentano consolidazione. L'immagine **D** (giorno 30) mostra un riassorbimento sempre maggiore delle regioni che presentavano consolidazione, con residui di pattern a vetro smerigliato delle regioni precedentemente coinvolte. (Rea, G. (2020). *The many faces of covid-19: organizing pneumonia (OP) pattern HRCT features. Translational Medicine@ UniSa, 23(4), 2.*)

4. Accesso ospedaliero e confronto tra diversi presidi

Ogni struttura sanitaria è organizzata sulla base di un determinato flusso di lavoro, il suo budget e le sue risorse vengono allocate in base alle necessità che si vengono a presentare abitualmente nell'arco dell'anno, con margini di errore dati da una variabilità in ogni caso pronosticabile. La spiccata capacità di trasmissione del COVID-19 ha portato ad un ribaltamento di questa stabilità, arrecando molte problematiche ai presidi ospedalieri di tutto il mondo, indipendentemente da quanto questi fossero avanzati dal punto di vista tecnologico o strutturale.

Lo stato così equilibrato presente nei distretti sanitari è stato fortemente alterato in un tempo decisamente troppo limitato, rendendo molto complessa la presa in carico delle persone che più lo necessitavano, tanto da non riuscire a garantire cure minime a tutti. Numeri di contagio così elevati, anche tra gli operatori sanitari stessi, hanno portato al collasso di molteplici distretti, che hanno comunque dovuto occuparsi del trattamento di tutte queste persone, in particolare quelle più gravi, con un quantitativo di risorse utilizzabili decisamente non sufficienti.

Nel periodo precedente alla diffusione del virus, ogni ospedale era organizzato mediante molteplici percorsi definiti, che le persone dovevano seguire per poter accedere alle aree di loro interesse. Nello specifico, analizzando la situazione presente all'interno di un dipartimento di radiologia qualsiasi, i pazienti potevano provenire dal pronto soccorso, e quindi aver effettuato un accesso in una situazione di urgenza/emergenza, oppure aver effettuato una prenotazione mediante richiesta esterna con il medico di medicina generale. In entrambi i casi, per loro era sufficiente accedere a tale dipartimento seguendo le indicazioni fornite dal presidio stesso.

Con la prima comparsa delle infezioni anche all'interno della nostra nazione, è stato reso molto chiaro che questi percorsi, esistenti ormai da diversi anni, risultassero ora totalmente inadeguati e insufficienti a mantenere una condizione di tale portata sotto controllo. Nonostante si fosse a conoscenza di ciò, le capacità di un ospedale di organizzare iter alternativi o secondari non sono immediate, perché è necessario ridefinirli al meglio, sempre in modo efficiente al fine di evitare la presentazione di problematiche successive, siano queste nuovamente organizzative o relative al COVID stesso. Questi periodi di transizione sono stati brevi, ma comunque da tenere in considerazione dal momento che presentavano un potenziale di rischio molto elevato, vista la capacità del virus di diffondersi facilmente e velocemente. In questi primi momenti di instabilità, di conseguenza, le persone continuavano a seguire i percorsi standard, sia i pazienti effettivamente sani, sia coloro che presentavano sintomatologia riconducibile al COVID, aiutando in questo modo il virus a diffondersi ulteriormente.

Se una persona infetta segue questi percorsi standard, questo si avvale normalmente i corridoi come regione di transito e sosta nelle sale d'attesa utilizzate da tutti, compresi i non infetti. All'interno di questi stessi corridoi potevano transitare barelle, pazienti anziani o in generale persone molto deboli e fragili che dovevano evitare un'esposizione a un virus ancora così poco conosciuto. In questi casi, la presenza anche di un solo paziente positivo era potenzialmente in grado di contagiare pazienti esterni, pazienti interni, operatori sanitari dell'unità di radiologia o operatori sanitari di altri reparti. Il contagio di un esterno avrebbe possibilmente portato ad una ripetizione della situazione appena descritta, mentre un contagio dell'operatore sanitario avrebbe messo a rischio altri operatori sanitari, e quindi l'effettiva funzionalità di altri reparti o unità in caso di effettivo contagio.

Oltre ai potenziali danni derivanti da ulteriori contagi, sono da analizzare anche le diverse fasi che precedono e seguono l'esame radiologico di un paziente positivo. All'interno di una diagnostica che sta aspettando di ricevere un paziente COVID, è necessaria una preparazione che richiede diverso tempo: innanzitutto è presente un processo di vestizione del personale presente all'interno della diagnostica, il quale deve indossare degli indumenti temporanei specifici che permettano di evitare il contatto diretto del virus con gli indumenti d'impiego standard. Tali indumenti comprendono camici, calzari, cuffie, mascherine FFP2, maschera di plastica e guanti. In aggiunta, è richiesto l'utilizzo di teli di plastica per ricoprire la strumentazione necessaria all'esecuzione dell'esame, come le consolle operative, il lettino porta paziente, la pompa per il mezzo di contrasto ed eventuali armadietti che resteranno vicini al paziente. Per quanto riguarda invece la fase successiva dell'esame, è necessario eseguire una sanificazione completa della diagnostica, delle superfici possibilmente contaminate e della consolle impiegata mediante l'utilizzo di disinfettanti e detergenti appositi come l'isopropanolo >70%, l'etanolo >70% o clorexidrina 0,5% in 70% di etanolo, col fine di evitare il contatto dei pazienti successivi con il virus. Infine, una volta eliminata all'interno della diagnostica ogni possibile fonte di contagio, può seguire il processo di svestizione, in cui il personale rimuove gli indumenti temporanei appena utilizzati, smaltendoli in sacchetti specifici dedicati alla gestione di rifiuti contagiosi. Questo processo viene ripetuto per ogni positivo che accede in una qualsiasi diagnostica. Nel caso in cui il paziente non sia in grado di muoversi autonomamente, saranno gli operatori sociosanitari ad occuparsi del trasporto del paziente all'interno dell'ospedale, motivo per cui anche loro dovranno seguire un processo di vestizione e svestizione adeguato.

Tutti questi procedimenti richiedono molte risorse e molto tempo, portando ad un rallentamento enorme anche per l'esecuzione degli esami più rapidi e semplici. Una prima conseguenza ben chiara a tutta la nostra nazione è certamente l'allungamento dei tempi delle liste d'attesa, che ancora oggi devono essere recuperate totalmente, nonostante la ricerca dei diversi reparti di recuperare questa situazione. Inoltre, è da considerare che tutte le indagini specifiche per lo studio polmonare di pazienti COVID sono indagini aggiuntive allo standard quotidiano, portando ad un aumento generalizzato della mole di lavoro. Inoltre, mentre gli operatori sanitari devono lavorare più duramente per far fronte a tutti questi contrattempi, vi è sempre la possibilità di un contagio tra loro stessi, portando ad un aggravamento ulteriore della situazione già fortemente precaria.

È stata quindi resa necessaria l'attuazione di una o più procedure che permettessero, se pur in parte, di ridurre i rischi di questa condizione sempre più instabile. La prima soluzione che ha permesso di raggiungere questo scopo è stata la programmazione di percorsi alternativi. Ciò consiste in una netta separazione tra i pazienti COVID e non COVID, evitando potenziali rischi di contagio di coloro effettivamente sani. Sono quindi state utilizzate al meglio le risorse disponibili dei diversi presidi, in modo particolare le loro stesse infrastrutture, riservando corridoi, diagnostiche o anche sedi più esterne. Chiaramente tutte le fasi di preparazione e di pulizia per ogni esame sono state mantenute invariate, richiedendo comunque del tempo. In alcuni presidi sono state ricercate delle diagnostiche o delle apparecchiature specifiche da dedicare all'esecuzione di esami per pazienti COVID positivi, permettendo di aumentare al massimo la sequenzialità dei compiti di ogni operatore e velocizzando di conseguenza il tempo d'esecuzione del singolo studio. L'obiettivo finale è stato, ed è tuttora, quello di cercare di riportare l'ospedale alle sue routine giornaliere, in modo tale da velocizzare i tempi di attesa, recuperare le liste d'attesa, utilizzare meno risorse e mantenere sotto controllo i contagi tra i pazienti e gli operatori.

Le misure adottate tra i diversi presidi ospedalieri sono molto simili tra loro, in modo particolare quelle più generali, come appunto la netta distinzione tra i percorsi fisici per pazienti positivi o negativi. Seguirà quindi un breve confronto circa le nuove procedure adottate all'interno di alcune unità o dipartimenti di radiologia, in base alle proprie disponibilità strutturali e materiali, per affrontare la situazione nel modo più efficiente possibile. Si potrà notare come, anche in questo caso, ci sia un'unica linea logica che lega le quattro unità in risposta al COVID.

Nell'Unità Operativa Complessa di Radiologia del Grande Ospedale Metropolitano Bianchi Melacrino Morelli ^[5] (RC) la maggior parte delle apparecchiature disponibili viene utilizzata per i pazienti politraumatizzati provenienti dal pronto soccorso o con patologie cardio o neurochirurgiche, candidati al trattamento di stroke o pazienti con sintomatologia acuta e COVID-19 negativi. Rientrano in questa categoria inoltre: i pazienti ambulatoriali esterni con richiesta dal medico di medicina generale e i pazienti che necessitano di prestazioni oncologiche propedeutiche a trattamenti chemio-radioterapici non differibili, che accederanno comunque con tampone negativo, in assenza di febbre, tosse o sintomatologia respiratoria correlabile al virus. Le apparecchiature utilizzabili in questa categoria di pazienti sono:

- 2 apparecchi telecomandati (digitale indiretto)
- Tavolo telecomandato (digitale diretto)
- Apparecchio portatile digitale
- Multi-slice CT (64 strati)
- Risonanza Magnetica (1,5 T)

La seconda parte di apparecchiature disponibili è stata totalmente dedicata a uso COVID, sia per caso sospetto sia per caso confermato. Si possono quindi individuare:

- Apparecchio telecomandato per esami di radiologia tradizionale
- Multi-slice CT (64 strati)
- Apparecchio portatile digitale diretto dedicato ai pazienti della sala rossa PS
- 2 Apparecchi portatili dedicati al reparto di malattie infettive e di terapia intensiva

L'apparecchio portatile in sala rossa del PS viene utilizzato per i pazienti che presentano insufficienza respiratoria di grado medio-elevato, tuttavia non tale da ricorrere ad un ricovero in rianimazione e con condizioni cliniche sufficienti per evitare un rinvio al centro COVID-19.

Osservando il protocollo adottato dal Policlinico Universitario di Tor Vergata* (RM), invece, si può notare come venga predisposto un percorso apposito per tutti i pazienti che effettuano un accesso al pronto soccorso e presentano un dubbio circa l'effettiva positività al virus: sulla base di una valutazione clinico-radiologica, per ogni paziente di questo tipo vengono a delinearsi tre possibilità, a cui ognuna segue percorsi diversi. Queste tre possibilità dipendono dalla tipologia

⁵ U. O. C. di Radiologia del Grande Ospedale Metropolitano Bianchi Melacrino Morelli: <https://gomrc.it/files/simonecarullo/PDTA/pdta%20perc%20di%20diagn%20per%20immag%20nei%20pz%20covid-19.pdf>

* Bibliografia 8.: Cisbani, E., Dini, V., Grande, S., et al. (2020). Stato dell'arte sull'impiego della diagnostica per immagini per COVID-19. Versione del 7 luglio 2020.

di pattern individuato dalla precedente valutazione, che permette di definire la possibile positività del paziente. Una valutazione clinico-radiologica che presenta un pattern atipico porta una dimissione a domicilio del paziente, il quale resta in isolamento ed auto-osservazione per i successivi 14 giorni. Nella situazione opposta, ovvero in presenza di un pattern probabile, il paziente viene direttamente ricoverato nel reparto COVID-19.

La circostanza più complessa si presenta se il pattern è possibilmente riconducibile all'infezione, in questo caso il paziente dovrà eseguire un tampone e/o un test sierologico. Se uno dei due dà esito positivo, il soggetto viene ricoverato nel reparto COVID-19, altrimenti dovrà eseguire un secondo tampone, il quale lo conduce nuovamente al reparto COVID-19 se positivo o ad ulteriori implementazioni diagnostiche se negativo. Tra le implementazioni diagnostiche aggiuntive abbiamo l'interessamento di un team multidisciplinare costituito dal medico del pronto soccorso, l'infettivologo, lo pneumologo e il radiologo. Il team decide se ricoverarlo nel reparto COVID o permettere una prosecuzione del suo percorso clinico diagnostico sulla base delle necessità che hanno giustificato il suo accesso in pronto soccorso, con possibilità di ricovero in reparti specialistici con mascherina chirurgica o in isolamento se sotto indicazione del team multidisciplinare stesso.

Un protocollo simile è stato adottato anche dall'Istituto Clinico Humanitas di Rozzano* (MI), in cui è stata effettuata una separazione netta tra i reparti: sono stati istituiti un secondo pronto soccorso, con reparti e unità di terapia intensiva dedicati ai soli pazienti COVID, i quali venivano seguiti da personale medico e paramedico specifico dedicato a loro. L'apparecchiatura TC situata all'interno del pronto soccorso originale è stata destinata ad utilizzo esclusivo di questi, in modo tale da aumentare l'efficienza nell'esecuzione degli studi e della preparazione/pulizia della diagnostica. In aggiunta, sono state fornite apparecchiature portatili di radiologia tradizionale e di ecografia a ciascuna unità di terapia intensiva e reparto COVID-19.

Tutti i pazienti non COVID ammessi al pronto soccorso accedevano direttamente al Dipartimento di Radiologia, seguendo un percorso totalmente separato dai pazienti positivi. Le apparecchiature TC e raggi X utilizzate erano diversi da quelli sopraccitati, contribuendo nuovamente alla riduzione delle possibilità di trasmissione all'interno dell'ospedale e permettendo di sottrarsi alle procedure di sanificazione delle diagnostiche.

* Bibliografia 18.: Politi, L. S., & Balzarini, L. (2020). The radiology department during the COVID-19 pandemic: a challenging, radical change. *European radiology*, 30(7), 3600-3602.

Infine, è importante dire che è stato istituito un doppio triage per l'accesso all'interno dell'ospedale da parte di tutti i pazienti ambulatoriali: il primo controllo, che includeva anche il personale sanitario stesso, veniva eseguito all'ingresso dell'ospedale e il secondo all'ingresso del Dipartimento di Radiologia. Venivano quindi controllate le temperature corporee e forniti brevi questionari per un'anamnesi recente sul paziente, ricercando sintomatologie riconducibili all'infezione come febbre e tosse, oltre che contatti nei giorni precedenti con soggetti positivi al virus. Nonostante il doppio triage, è stato notato come una media di 2,2 pazienti al giorno risultasse negativo a entrambi i controlli pur presentando positività a reperti radiologici TC tipici della polmonite COVID. A seguito della presenza di questi specifici casi, è stato necessario ricorrere all'organizzazione di sanificazioni straordinarie della diagnostica che, eseguite nei 30 minuti successivi, potessero ripristinare il prima possibile il normale decorso degli esami di routine.

Anche all'interno dell'Ospedale Ca' Foncello di Treviso è stata cercata una soluzione che potesse gestire in modo lineare ed efficace la situazione, regolamentando l'utilizzo delle risorse sanitarie al meglio delle possibilità, al fine di alleggerire la pressione all'interno del presidio stesso, senza venire meno alle necessità del singolo per superare l'infezione.

A partire dall'anno 2020, è stato quindi stabilito un protocollo che potesse gestire al meglio questa situazione. In particolare, tutti i pazienti che devono accedere all'interno dell'ospedale non devono presentare febbre, motivo per cui viene misurata ad ogni ingresso. Da un punto di vista prettamente radiologico, è stata introdotta una sede specifica per l'esecuzione di radiografie al torace per tutti i pazienti positivi o che presentano sintomatologia riconducibile al COVID. La gestione di ogni esame all'interno di questa sede è stata affidata a due operatori sanitari in collaborazione l'uno con l'altro: un tecnico di radiologia e un infermiere o eventualmente un operatore socio sanitario. Il primo si occupa dell'esecuzione dell'esame radiografico in sé, il secondo della rilevazione della saturazione di ossigeno del paziente. È comunque importante considerare che i due sono in stretta collaborazione al fine di garantire una gestione dei pazienti al meglio delle possibilità, in modo particolare coloro che presentano comorbidità piuttosto importanti e che potrebbero per questa ragione risultare poco collaboranti.

L'indagine radiologica risulta essenziale in questi pazienti dal momento che, come visto nel capitolo precedente, permette di effettuare una prima valutazione sul loro stato polmonare e quindi effettuare una stima sulla capacità del singolo di respirare sufficientemente. Ciononostante, è da tenere in considerazione l'effetto che tale reperto sta apportando al sistema

respiratorio del singolo individuo: è necessario dover analizzare se il microcircolo polmonare sta continuando ad ossigenare il sangue del paziente in modo inalterato o comunque sufficiente. In questo frangente, è la saturazione dell'ossigeno a definire il percorso successivo che seguirà la persona. Nello specifico, se dovesse risultare superiore o uguale al 92% il paziente potrà tornare a domicilio, in caso contrario dovrà essere sottoposto ad una visita con il medico delle malattie infettive, il quale deciderà se può in ogni caso tornare a casa o se necessita del ricovero nel reparto di malattie infettive. È importante considerare che una saturazione inferiore al 92% indica uno stato d'ossigenazione molto ridotto e da tenere sotto osservazione, motivo per cui questi pazienti verrebbero comunque tenuti sotto controllo a domicilio per possibili aggravamenti della situazione. Nel caso in cui questa situazione dovesse verificarsi, sarebbe comunque l'ospedale a prendersi carico di queste persone, che verrebbero ricoverate in reparto.

Ultimo fattore da tenere in considerazione riguarda i soggetti richiedenti questa tipologia di indagine: i pazienti ambulatoriali che necessitano questo esame presentano uno stato di malattia non eccessivamente grave, motivo per cui ne fanno richiesta mediante il medico di medicina generale. Coloro che seguono questo percorso alternativo, generalmente, possono comunque venire ricoverati ma è difficile che effettuino accesso ad una terapia intensiva a seguito del ricovero stesso. I pazienti che si trovano ad affrontare le conseguenze più critiche seguono comunque un accesso diretto dal pronto soccorso, perché si trovano già in situazioni gravi che richiedono un ricovero immediato, anche in terapia intensiva.

5. Materiali e metodi

5.1 Apparecchiatura e strumenti utilizzati

I dati necessari allo studio sono stati raccolti mediante l'utilizzo degli strumenti software RIS e Talete, entrambi necessari per seguire a pieno il percorso che ogni paziente ha seguito all'interno dell'Ospedale, fino alla sua dimissione.

In particolare, il RIS è stato utile alla raccolta delle informazioni provenienti dall'esame eseguito all'interno dell'ospedale, in particolare del referto della radiografia al torace e della saturazione.

Talete ha permesso, invece, di seguire a pieno il percorso del paziente, nello specifico se questo è stato visitato dal medico delle malattie infettive, se è stato ricoverato e, nel caso, quando è stato dimesso.

È stata utilizzata una struttura distaccata dall' U.O.C. di Radiologia dell'Ospedale, rendendo di fatto impossibile l'utilizzo di apparecchiature fisse per l'esecuzione di questi esami. Di conseguenza, è stato necessario l'impiego di apparecchiature portatili per effettuare tutti gli studi radiografici. Quest'ultima sede si trova in Via Scarpa all'interno dell'Ospedale di Treviso "Ca' Foncello", facente parte dell'ULSS2 – Marca Trevigiana.

L'apparecchiatura utilizzata è la CARESTREAM DRX-Revolution, che fa uso di un detettore a radiografia diretta, ovvero il detettore DRX Plus 3543, il quale si avvale di uno scintillatore al gadolinio (Ossisolfuro di Gadolinio), ideato per un imaging radiografico generico. Questo piano sensibile resta in comunicazione con l'apparato principale mediante tecnologia wireless, risultando molto veloce nella risposta e comodo nell'utilizzo. Il corpo principale è costituito da un generatore da 32 kW, con un tubo radiogeno che presenta una doppia macchia focale in erogazione. La presenza di una griglia anti-diffusione richiede un aumento dei parametri dosimetrici erogati, portando allo stesso modo una maggiore dose al paziente. Dal momento che le immagini generate senza l'utilizzo di una griglia presentavano una qualità comunque sufficiente al loro scopo, è stato deciso di non ricorrere ad alcun tipo di griglia, evitando quindi di irradiare il paziente più del necessario.

5.2 Esecuzione dell'esame e dati raccolti

L'esame viene effettuato allo stesso modo per ogni paziente, indipendentemente dal suo grado di deambulazione. Come tecnica di imaging è stata prevalentemente utilizzata un'unica proiezione in Antero-Posteriore, in cui, una volta effettuato l'accesso all'interno della diagnostica, il paziente viene disteso in posizione supina sull'apposito lettino, posizionando successivamente il detettore DR a livello del torace. Il tubo radiogeno viene quindi posto in direzione del detettore, con fascio verticale perpendicolare a quest'ultimo, in modo da evitare deformità radiologiche da un fascio obliquo e con centratura di 3 cm cranialmente al processo xifoideo. Infine, per garantire la compressione di entrambi i campi polmonari all'interno di un unico radiogramma, si utilizza come riferimento la proiezione luminosa delle spalle sul detettore stesso, permettendo quindi di avere un'idea sul risultato di un'erogazione in quel dato momento. Non avendo a disposizione camere AEC, i parametri espositivi impiegati vengono impostati manualmente, in particolare per un paziente con massa corporea standard vengono erogati 85kV e 5 mAs.

I criteri di correttezza includono una rappresentazione completa di entrambi i campi polmonari, comprendendo apici e seni costo-frenici. Il paziente deve mantenere l'apnea inspiratoria durante l'erogazione, al meglio delle proprie condizioni cliniche. Completa simmetria tra i due emitoraci e proiezione delle articolazioni sterno-claveari sotto gli apici polmonari stessi.

Oltre all'indagine radiologica è stata misurata la saturazione, che doveva essere segnalata all'interno dell'esame radiologico, il quale veniva inviato a PACS e infine vidimato.

A questo punto, il medico radiologo incaricato era responsabile della refertazione delle immagini ricevute dal PACS e di definire lo step successivo del malato, a partire dalla saturazione segnalata e del coinvolgimento polmonare da parte dell'infezione. Il paziente poteva quindi essere rinviato a domicilio oppure inviato ad una visita con il medico delle malattie infettive. Quest'ultimo era a sua volta responsabile, sulla base dello stato del paziente, di rinviarlo a domicilio, e tenerlo in ogni caso sotto osservazione, o ricoverarlo in un'unità COVID dedicata. È in questo frangente che i software RIS e Talete hanno permesso di distinguere quale di queste possibilità il paziente avesse effettivamente intrapreso: all'interno del referto radiologico il medico radiologo ha segnalato l'eventuale necessità di effettuare una visita con il medico delle malattie infettive, mentre la presenza di una lettera di dimissione ha permesso di capire se il paziente è stato ricoverato o meno.

In sintesi, i dati raccolti riguardano: Referto radiografico, saturazione, rinvio a domicilio, visita con il medico delle malattie infettive, rinvio a domicilio successivo alla visita e il ricovero.

Lo studio eseguito è di tipo retrospettivo, ponendo sotto analisi gli esami provenienti dall'inizio del mese di novembre del 2020 fino alla fine del 2021, per un totale di 541 esami. I pazienti facenti parte dello studio sono stati selezionati indipendentemente da sesso, età, etnia, patologie pregresse o comorbidità, lasciando spazio ad una popolazione eterogenea, per un totale di 535 individui differenti. La differenza presente tra il numero di pazienti coinvolti e il numero di esami eseguiti è dipendente dal fatto che alcuni pazienti sono stati posti sotto questa stessa indagine per più volte in circostanze diverse, motivo per il quale i loro esami verranno considerati separatamente l'uno dall'altro. Di seguito sono rappresentate alcune tabelle che permettono una suddivisione della popolazione in studio.

La prima suddivisione riguarda il sesso della popolazione coinvolta, categorizzata sulla base dell'anno d'esecuzione:

	2020	2021	Totale
M	119	204	323
F	83	129	212
Totale	202	333	535

Le 535 persone coinvolte nello studio sono suddivisibili nell'anno d'esecuzione, in particolare nel 2020 sono state inserite 202 persone, mentre nel 2021 un totale di 333. È chiaro che il numero totale di esami sia aumentato tra un anno e l'altro; tuttavia, è necessario effettuare diverse considerazioni al riguardo: nel 2020 il numero di esami raccolti riguarda soltanto il mese di novembre e il mese di dicembre, mentre il 2021 è stato valutato per tutta la sua durata. Ciò significa che, valutando il rapporto tra numero di esami effettuati e il periodo totale in cui questi sono stati eseguiti, risulta il 2020 quello effettivamente più concentrato. Le motivazioni che possono spiegare tale fenomeno sono ipotizzabili: per la fine del 2020 i livelli di contagio in Italia erano ancora molto elevati, in modo particolare tra Veneto, Lombardia e Piemonte⁶ e la campagna vaccinale sarebbe iniziata per fine dicembre, rendendo il virus ancora molto temuto, in particolare per i soggetti più fragili. Nell'anno successivo la campagna era già

⁶ Bollettino novembre: https://www.epicentro.iss.it/coronavirus/bollettino/Bollettino-sorveglianza-integrata-COVID-19_25-novembre-2020.pdf

iniziata, diminuendo anche il timore verso l'infezione stessa e portando le persone a vivere una situazione di contagio in modo più razionale.

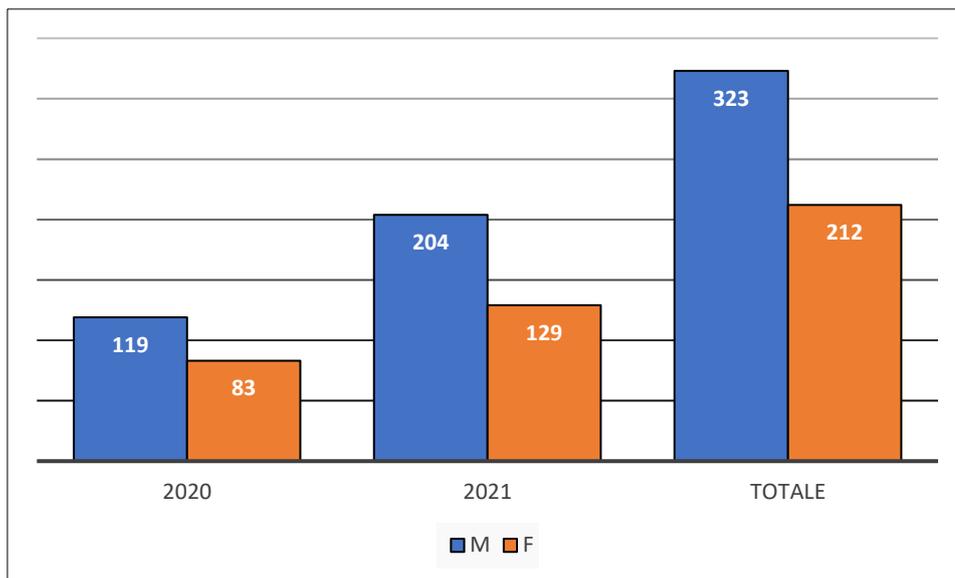


Grafico 1. Il grafico permette di notare come tra i due mesi del 2020 e tutto l'arco del 2021 non vi siano eccessive differenze numeriche. Inoltre, è evidente un maggiore coinvolgimento della popolazione maschile rispetto a quella femminile per entrambi gli anni.

Un'ulteriore analisi in merito alla popolazione coinvolta all'interno dello studio riguarda l'età, in quanto già nel corso delle prime analisi relative al virus è stato evidenziato come questa sia un fattore importante in merito alla possibilità di avere conseguenze significative durante il corso dell'infezione. Nella seguente tabella tale fenomeno risulta evidente grazie ad una semplice suddivisione della popolazione per fasce d'età:

	2020	2021	Totale
10 – 19	1	1	2
20 – 29	8	7	15
30 – 39	11	18	29
40 – 49	31	51	82
50 – 59	58	100	158
60 – 69	45	64	109
70 – 79	36	63	99
80 – 89	13	27	40
90 – 99	1	2	3

Il contenuto della tabella è stato rappresentato in un grafico che rende molto più semplice il confronto tra le fasce d'età identificate:

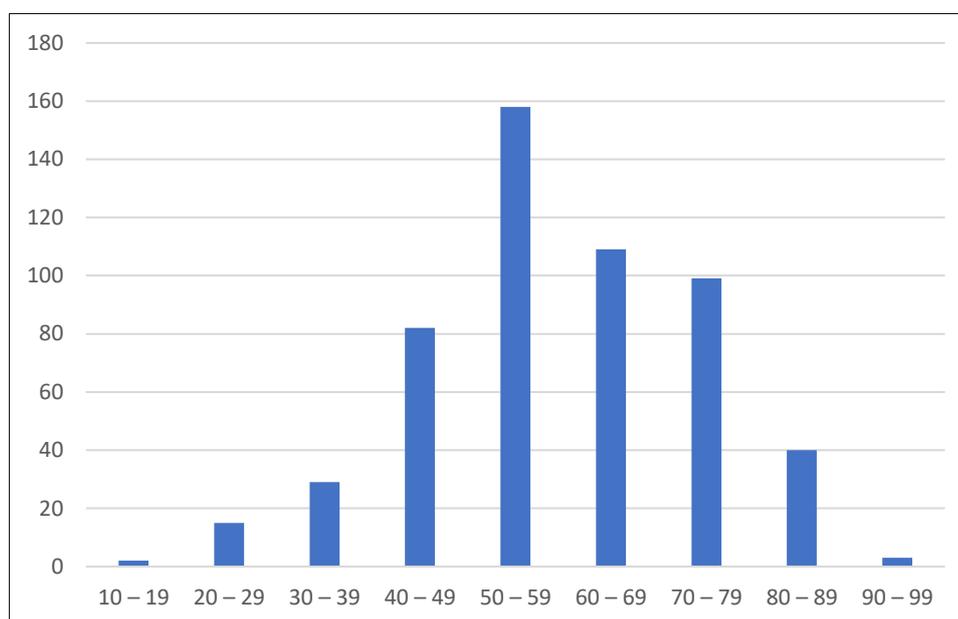


Grafico 2. La popolazione richiedente questa tipologia di esame presenta intervalli d'età alquanto eterogenei; tuttavia, è spiccato il coinvolgimento della fascia d'età compresa tra i 40 e i 79 anni.

Un limite da considerare è che i dati raccolti all'interno di questo studio non sono rapportati alla popolazione totale all'interno dell'ULSS2, di conseguenza non è possibile ottenere valori percentuali che dimostrano effettivamente quali sono le fasce d'età maggiormente colpite.

Come dichiarato nel capitolo precedente, il primo parametro da tenere in considerazione è la saturazione d'ossigeno nel sangue, che risulta un fattore chiave che va a suddividere la popolazione oggetto di studio tra situazioni relativamente stabili ad alcuni casi verosimilmente critici. I livelli di saturazione di riferimento per una persona sana sono compresi tra 95 e 100 punti percentuali, che in caso di patologie polmonari, come appunto delle polmoniti, possono essere soggetti ad una diminuzione. Di seguito è rappresentata una tabella che riassume i livelli di saturazione di tutti gli esami presi in considerazione dallo studio. Per diversi pazienti non è stato possibile raccogliere i valori di saturazione, poiché non segnalati all'interno del RIS. Ne consegue che su 541 record totali, non sono stati inseriti un totale di 41 esami (7,6% del totale).

	2020	2021	Totale	Percentuale
<92%	21	55	76	14,0%
≥92%	154	270	424	78,4%
Assente	29	12	41	7,6%

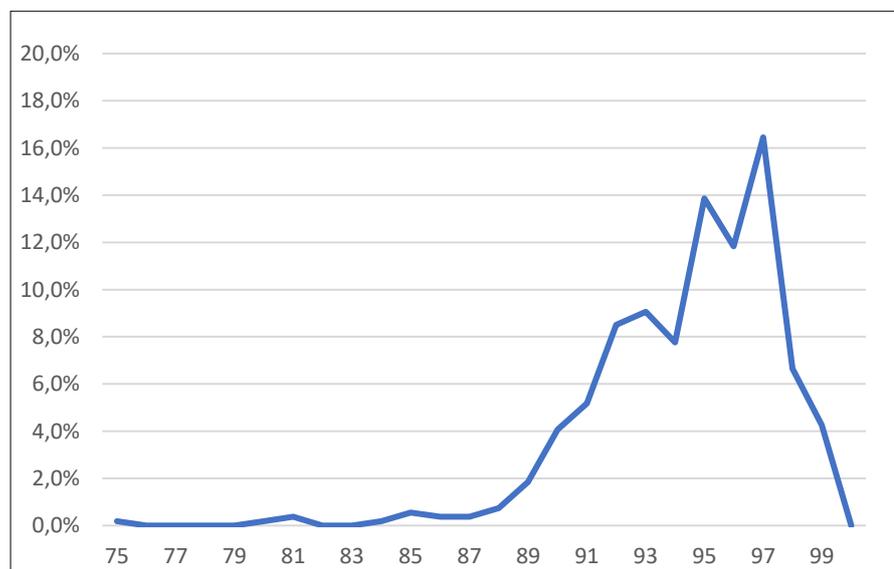


Grafico 3. Il grafico mette in relazione la saturazione d'ossigeno nel sangue con la percentuale di pazienti che presenta tale saturazione. Si può notare che la maggior parte degli esami include livelli superiori al 92% e, più in generale, livelli compresi tra i valori di riferimento di una persona sana. In particolare, di questi 500 esami analizzati, 424 presentano un valore superiore al valore limite, mentre 76 si trovavano in una situazione di rischio già al momento stesso dell'esame.

6. Risultati

A partire dal valore di saturazione d'ossigeno e dello stato polmonare, è stato definito il successivo iter diagnostico del paziente. Il medico radiologo refertante, sulla base di queste informazioni, ha definito il singolo paziente come positivo o negativo, ovvero se questo avrebbe continuato il suo percorso all'interno dell'ospedale o se avrebbe potuto rientrare a domicilio per essere seguito nuovamente dal proprio medico di medicina generale. È da sottolineare che è possibile, per i pazienti, rendere non consultabili i referti, le lettere di trasferimento, le lettere di dimissione o, in generale, tutta la documentazione sanitaria a loro intestata all'interno del software Talete: nel seguente studio, un totale di 2 persone hanno intrapreso questa scelta, motivo per il quale, rispetto ai 541 esami eseguiti, non saranno considerati questi 2 esami. Schematicamente:

	2020	2021	Totale	Percentuale
Negativi	159	241	400	74,2%
Positivi	45	94	139	25,8%

Tabella 1. Si può notare che i pazienti che risultano positivi a questo esame sono in un numero ridotto rispetto al totale, in particolare sono circa il 25,8% di 539 esami compresi nello studio. Il numero di pazienti rinviiati a domicilio (400) è coerente con il numero di pazienti che presentavano saturazione $\geq 92\%$ (424), con una differenza totale per entrambi gli anni pari a 24. È quindi corretto ipotizzare che questa differenza sia causata dallo stato polmonare del paziente al momento dell'esecuzione del radiogramma, che ha portato il medico radiologo a scegliere un percorso più sicuro per il paziente stesso.

Come dichiarato precedentemente, coloro che risultano positivi a quest'esame continuano il proprio iter mediante una visita con il medico delle malattie infettive, il quale diventa nuovo responsabile sul loro percorso all'interno dell'Ospedale.

Dipendentemente dall'esito della visita effettuata, si procede al rinvio a domicilio del paziente o, eventualmente, al suo ricovero ospedaliero. Risulta importante distinguere quali pazienti hanno seguito un percorso rispetto ad un altro, in modo tale da poter valutare anche l'efficienza che ha introdotto questa stessa procedura nella gestione di un paziente COVID positivo. Esaminando in modo più approfondito il percorso seguito da tutti i soggetti, è possibile individuare tre possibilità differenti, schematicamente rappresentabili nella seguente tabella:

	2020	2021	Totale	Percentuale
Rinvio a domicilio	159	241	400	74,2%
Visita e rinvio a domicilio	22	33	55	10,2%
Visita e ricovero	23	61	84	15,6%

Tabella 2. Dei 139 pazienti inviati al medico delle malattie infettive, 55 sono stati inviati al proprio domicilio, in modo tale da riprendere la presa in cura da parte del medico di medicina generale. I restanti 84 sono stati presi in cura da parte dell’Ospedale e quindi ricoverati.

Prendendo in considerazione i soli pazienti positivi, è possibile effettuare un rapporto tra i pazienti rinviati a domicilio e quelli ricoverati rispetto al totale. Eseguendo questo calcolo si ottiene una differenza più chiara sul quantitativo di soggetti che hanno dovuto intraprendere un percorso rispetto all’altro. Il numero di pazienti visitati e rinviati a domicilio è pari a 55 su 139, ovvero il 39.6% di tutti i pazienti visitati dal medico delle malattie infettive. Seguendo lo stesso calcolo per il percorso di ricovero, avremo invece 84 pazienti ricoverati su 139, pari al 60.4% del totale.

In questo frangente è importante osservare che la maggior parte di coloro che risultano positivi all’esame radiologico e di saturimetria seguono più spesso un percorso di cura all’interno dell’Ospedale rispetto al rinvio a domicilio, e quindi alla ripresa delle cure da parte del medico di medicina generale.

Il ricovero ospedaliero porta o ad una gestione del paziente all’interno di un reparto, come ad esempio pneumologia o malattie infettive, oppure in terapia intensiva, ovvero un’unità specializzata nella salvaguardia della sua vita, che si trova ormai in una situazione critica. In quest’ultimo caso il soggetto presenta una compromissione molto grave delle sue capacità respiratorie, necessitando quindi di ausili esterni per restare in vita.

Per quanto riguarda la popolazione oggetto di studio, degli 84 pazienti ricoverati non tutti sono stati introdotti all’interno dell’unità di rianimazione ma solo una piccola parte. È da ricordare che, mentre nel 2020 sono stati presi in considerazione solo i mesi di novembre e dicembre, nel 2021 rientrano invece tutti gli esami eseguiti nel corso dell’anno.

	2020	2021	Totale	Percentuale
Reparto	20	60	80	95,2%
Rianimazione	3	1	4	4,8%

Tabella 3. Si può notare che i pazienti ricoverati siano, in proporzione, un quantitativo maggiore nel 2020 (23) rispetto al 2021 (61). La stessa affermazione vale per quanti sono stati presi successivamente in cura da parte del reparto di rianimazione, rispettivamente 3 pazienti e 1 solo paziente. È possibile ipotizzare che sia stata la campagna vaccinale anti-COVID ad alleggerire il carico ospedaliero grazie ad una riduzione delle probabilità di manifestare sintomatologie più gravi in ambito respiratorio.

Una volta ricoverati, oltre a seguire percorsi di cura seguendo protocolli specifici, venivano anche tenuti sotto controllo in merito a problematiche secondarie causate dal COVID stesso, che potevano risultare altrettanto incisive sulla salute. In particolare, è necessario prestare attenzione ai deficit coagulativi, in grado di condurre a fenomeni di trombosi venosa profonda o di trombo-embolia polmonare, e quindi aggravare ulteriormente quadri possibilmente già compromessi. Per questo motivo, durante il periodo di ricovero, vengono tenuti sotto controllo i livelli di D-dimero, un prodotto di degradazione della fibrina. Nel caso in cui questo valore sia eccessivamente alto, è opportuno eseguire esami specifici nella ricerca di una causa, tra cui ecocolordoppler degli arti inferiori per la trombosi venosa profonda e un'angio-TC al torace per la ricerca di una embolia polmonare.

In totale, sono state eseguite 18 angio-TC per sospetto di TEP tra il 2020 e il 2021. La tabella che segue indica l'esito di questi esami successivamente alla refertazione da parte del medico radiologo.

	2020	2021	Totale	Percentuale
TEP	1	2	3	16,7%
Non TEP	5	10	15	83,3%

Tabella 4. La gran parte delle angio-TC di controllo non hanno avuto un riscontro positivo; tuttavia, è importante tenere in considerazione che questa tipologia di esame era in ogni caso giustificata: un rialzo elevato di prodotti di degradazione della fibrina è un indice da non ignorare, soprattutto in caso di possibili conseguenze così importanti.

Infine, per un numero esiguo di pazienti sono state richieste altre tipologie di esami radiologici, per un totale di cinque persone. A due di questi sono state eseguite delle radiografie al torace per un controllo panoramico sull'interessamento polmonare da parte della polmonite COVID. Ad un altro soggetto, invece, è stata raccomandata una TC ad alta risoluzione al torace da

eseguirsi post negativizzazione a causa di un riscontro di una lesione di dubbia natura a seguito dell'angio-TC eseguita per aumento sospetto delle concentrazioni di D-dimero. Un'ecografia dell'addome superiore è stata prescritta ad un altro paziente a seguito della visualizzazione, tra le immagini dell'angio-TC, di una lesione del parenchima epatico di 17 mm a livello del IV segmento.

7. Discussione

L'aumento costante dei contagi ha portato alla necessità di gestire al meglio i beni che ogni Ospedale aveva a disposizione, con l'obiettivo di assorbire l'impatto che il virus stava recando alle strutture con la sua diffusione.

In questa fase di instabilità comune, si è ricercata una gestione quanto più efficiente possibile delle proprie risorse umane, materiali, economiche e strutturali, in quanto decisamente insufficienti rispetto alle effettive necessità. In senso generale, la soluzione era quella di creare iter separati per i pazienti COVID, permettendo al personale di organizzarsi al meglio per tutte le procedure di contenimento del virus durante il loro percorso di cura.

Per quanto riguarda l'ambito radiologico, sono state attuate soluzioni affini tra loro per garantire l'esecuzione delle prestazioni radiologiche in sicurezza. Infatti, come trattato nel capitolo relativo al confronto sull'accesso ospedaliero in era COVID, le scelte adottate sono molto simili tra loro: oltre all'U.O.C. dell'Ospedale Ca' Foncello, anche altri distretti hanno adottato una separazione totale delle apparecchiature tra i pazienti positivi e negativi. Nonostante questa scelta comune, alcune differenze sostanziali possono essere descritte.

L'Ospedale Bianchi-Melacrino-Morelli ha effettuato una distinzione molto marcata delle apparecchiature radiologiche, prestando particolare attenzione ad alcuni casi limite come i pazienti oncologici non differibili senza un tampone negativo. Per i pazienti che risultano positivi ad esami radiologici alla sala rossa del pronto soccorso, non sono stati indetti percorsi veri e propri, portando quindi ad un'organizzazione efficiente nel contenimento del contagio ma difficoltosa nella presa in cura di coloro che lo necessitavano al momento dell'esame. Coloro che potevano seguire un accesso al centro COVID-19 erano infatti solo i soggetti più critici.

Al Policlinico Universitario di Tor Vergata è stato adottato un percorso clinico-radiologico specifico, che doveva essere seguito per tutti coloro che effettuano un accesso al pronto soccorso e presentano un dubbio circa l'effettiva positività al virus. L'esito di questo esame avrebbe quindi portato il paziente a seguire iter differenti, garantendo una buona organizzazione del Policlinico tramite un inserimento della persona in percorsi chiari sulla base della sua situazione.

L'Istituto Humanitas ha scelto, invece, un approccio mediante doppio triage, uno all'accesso al pronto soccorso e il secondo all'accesso al Dipartimento di Radiologia, in modo tale da

identificare al meglio i possibili pazienti positivi. Nonostante il doppio triage, uno studio successivo ha individuato che 2,2 persone al giorno che eseguivano un accesso al pronto soccorso, presentavano poi positività a reperti radiologici correlabili all'infezione. Per questo motivo sono state rese necessarie delle sanificazioni straordinarie delle apparecchiature, con una perdita di almeno mezz'ora per ogni persona sospetta. Considerando la media di pazienti che accedono normalmente all'interno di un pronto soccorso, è evidente che una gestione di questo tipo consente un'ampia distinzione tra i sospetti e i negativi; tuttavia, l'accesso di soggetti potenzialmente positivi alle diagnostiche non-COVID può portare ad un rallentamento notevole della routine radiologica.

All'interno dell'Ospedale Ca' Foncello è stata adottata una procedura simile al Policlinico Tor Vergata, creando una serie di percorsi chiari e ben definiti. Nello specifico, per i pazienti è stato garantito un accesso in regime di urgenza dal pronto soccorso e un accesso ambulatoriale per coloro che non erano certi sul loro effettivo stato di salute. Successivamente, la stretta collaborazione tra i reparti di rianimazione, delle malattie infettive e di pneumologia, nella gestione di tutti coloro che presentavano una situazione a rischio, ha permesso un'assistenza diretta a tutti i soggetti che più lo necessitavano. Inoltre, la presenza di un accesso alternativo per i pazienti con uno stato di salute dubbio ha permesso di evitare che parte di loro effettuasse, nel breve periodo successivo, un accesso in emergenza dal pronto soccorso, richiedendo a quel punto un percorso di cura più tempestivo con rischi molto più elevati per la loro salute. Alla luce delle evidenze fornite dai risultati dello studio effettuato, è possibile affermare che all'interno dell'Ospedale è stata definita una solida organizzazione, se pure con qualche possibile difficoltà d'esecuzione, che ha raggiunto a pieno lo scopo per cui è stata creata.

8. Conclusioni

L'infezione da SARS-CoV-2 determina una sintomatologia respiratoria vasta, anche molto grave, che ha causato danni diretti alla popolazione di tutto il mondo, in modo particolare alle persone più deboli o fragili. Ha portato con sé criticità molto importanti anche negli ospedali, che si sono trovati impreparati nell'affrontare una situazione così complessa in un tempo così ristretto. Per quanto riguarda ciò che è successo in Italia, tra i danni collaterali da considerare è presente un rallentamento delle funzionalità di base delle strutture sanitarie, che si sta ripercuotendo tuttora sulla popolazione tramite lunghe liste d'attesa per l'esecuzione degli esami più semplici, tra cui quelli radiologici. È stata necessaria l'applicazione di soluzioni radicali per consentire una ripresa dei flussi di lavoro, nello specifico sono state impiegate risorse umane e materiali in modo differente, mediante una separazione tra i soggetti sospetti, o contagiati, e i soggetti sani. Questa nuova gestione è stata attuata attraverso nuovi percorsi semplici, chiari e sicuri per entrambe le parti.

L'obiettivo ultimo di tali percorsi è quello di trovare un equilibrio che possa permettere alla struttura di prendersi cura di tutte le persone, senza ripercussioni né in un caso né nell'altro. Per questo motivo è necessario un iter diagnostico che le distingua al meglio, garantendo successivamente una forte collaborazione tra le unità ospedaliere incaricate della loro gestione, assicurando il meglio delle cure a chi più ne ha bisogno. Il pregio migliore che ogni struttura dovrebbe avere è un'ottima organizzazione, che è stata raggiunta da ogni struttura sanitaria analizzata tramite delle misure specifiche adottate al meglio delle proprie disponibilità, conducendo a risultati decisamente positivi e giovando direttamente sulle funzionalità delle strutture stesse.

9. Sitografia

1. Report OMS: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf>
2. Spettro Elettromagnetico: <https://medicinaonline.co/2019/12/05/i-colori-esistono-come-fa-locchio-umano-a-distinguerli-lo-spettro-visibile>
3. Schema tubo radiogeno: <https://sites.google.com/site/frcrphysicsnotes/production-of-x-rays>
4. Componenti scanner TC: <https://www.lecturio.com/concepts/computed-tomography-ct/>
5. U. O. C. di Radiologia del Grande Ospedale Metropolitano Bianchi Melacrino Morelli: <https://www.gomrc.it/files/simonecarullo/PDTA/pdta%20perc%20di%20diagn%20per%200immag%20nei%20pz%20covid-19.pdf>
6. Bollettino novembre: https://www.epicentro.iss.it/coronavirus/bollettino/Bollettino-sorveglianza-integrata-COVID-19_25-novembre-2020.pdf

10. Bibliografia

1. D'Andrea, A., Di Giannuario, G., Marrazzo, G., et al. (2020). L'imaging integrato nel percorso del paziente con COVID-19: Dalla diagnosi, al monitoraggio clinico, alla prognosi. *G. Ital. Cardiol*, 21, 345-353.
2. Gatti, M., Calandri, M., Barba, M., et al. (2020). Baseline chest X-ray in coronavirus disease 19 (COVID-19) patients: association with clinical and laboratory data. *La radiologia medica*, 125(12), 1271-1279.
3. Ippolito, D., Maino, C., Pecorelli, A., et al. (2020). Chest X-ray features of SARS-CoV-2 in the emergency department: a multicenter experience from northern Italian hospitals. *Respiratory medicine*, 170, 106036.
4. Toussie, D., Voutsinas, N., Finkelstein, et al. (2020). Clinical and chest radiography features determine patient outcomes in young and middle-aged adults with COVID-19. *Radiology*, 297(1), E197.
5. Kerpel, A., Apter, S., Nissan, N., et al. (2020). Diagnostic and prognostic value of chest radiographs for COVID-19 at presentation. *Western Journal of Emergency Medicine*, 21(5), 1067.
6. Xu, X., Yu, C., Qu, J., et al. (2020). Imaging and clinical features of patients with 2019 novel coronavirus SARS-CoV-2. *European journal of nuclear medicine and molecular imaging*, 47(5), 1275-1280.
7. Ng, M. Y., Lee, E. Y., Yang, J., et al. (2020). Imaging profile of the COVID-19 infection: radiologic findings and literature review. *Radiology: Cardiothoracic Imaging*, 2(1).
8. Cisbani, E., Dini, V., Grande, S., et al. (2020). Stato dell'arte sull'impiego della diagnostica per immagini per COVID-19. Versione del 7 luglio 2020.
9. Cleverley, J., Piper, J., Jones, M. M. (2020). The role of chest radiography in confirming covid-19 pneumonia. *bmj*, 370.
10. Yang, W., Sirajuddin, A., Zhang, X., et al. (2020). The role of imaging in 2019 novel coronavirus pneumonia (COVID-19). *European radiology*, 30(9), 4874-4882.
11. Rousan, L. A., Elobeid, E., Karrar, M., et al. (2020). Chest x-ray findings and temporal lung changes in patients with COVID-19 pneumonia. *BMC Pulmonary Medicine*, 20(1), 1-9.
12. Abougazia, A., Alnuaimi, A., Mahran, A., et al. (2021). Chest X-Ray Findings in COVID-19 Patients Presenting to Primary Care during the Peak of the First Wave of the Pandemic in Qatar: Their Association with Clinical and Laboratory Findings. *Pulmonary medicine*, 2021.

13. Baillie, J. K., Baruch, J., Beane, A., et al. (2022). ISARIC COVID-19 Clinical Data Report issued: 15 December 2021. *medRxiv*, 2020-07
14. Von Groote-Bidlingmaier, F., Koegelenberg, C. F. (2012). A practical guide to transthoracic ultrasound.
15. Rea, G. (2020). The many faces of covid-19: organizing pneumonia (OP) pattern HRCT features. *Translational Medicine@ UniSa*, 23(4), 2.
16. Samei, E., Pelc, B. J. (2020). *Computed Tomography*. Springer.
17. Antonucci, W., Fiorito, E., Di Feo, D., et al. (2020). Raccomandazioni nella gestione degli esami radiologici in pazienti infettivi. *Pandemia da COVID-19*.
18. Politi, L. S., & Balzarini, L. (2020). The radiology department during the COVID-19 pandemic: a challenging, radical change. *European radiology*, 30(7), 3600-3602.
19. Riyahi, S., Dev, H., Behzadi, A., et al. (2021). Pulmonary embolism in hospitalized patients with COVID-19: a multicenter study. *Radiology*, 301(3), E426.

Ringraziamenti

Il seguente spazio lo dedico a coloro che mi hanno supportato nella fase più importante del mio percorso accademico.

Ci tengo innanzitutto a ringraziare il mio relatore, il dott. Doratiotto, che mi ha seguito con grande disponibilità in questo percorso, fornendomi spunti, suggerimenti e migliorie utili alla realizzazione dell'elaborato.

Ringrazio il mio correlatore, il dott. Cazziola, persona molto affabile che mi ha aiutato in modo particolare nelle prime fasi dell'intero lavoro.

Un grazie a mia mamma, a mio papà e a mio fratello per avermi fatto diventare chi sono ora.

Grazie alla mia fidanzata che, insieme alla mia famiglia, mi ha sempre sostenuto, supportarmi durante questi anni davvero impegnativi.

Grazie

