

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA



Tesi di Dottorato XXXVIII° CICLO

MEDICINA SPERIMENTALE

Valutazione dell'accuratezza dell'ecografia EFAST in Pronto Soccorso nel trauma maggiore. Risultati preliminari da un trauma center regionale.

DIRETTORE

Prof. Stefano Perlini

CANDIDATO

dr. Lorenzo Demitry

Anno Accademico 2022-2023

*“Maximum vivendi impedimentum est exspectatio,
quae pendet ex crastino, perdit hodiernum”*

L.A. Seneca – aprile 65 dC

*Il più grande impedimento del vivere è l’attesa,
la quale dipende dal domani e consuma l’oggi.*

L.A.S. – De Brevitate Vitae

INDICE

<u>ELENCO ABBREVIAZIONI.....</u>	5
<u>I. PREAMBOLO: IL TRAUMA.....</u>	7
1.1 DEFINIZIONI.....	7
1.2 INTRODUZIONE AL POLITRAUMA.....	9
1.3 EPIDEMIOLOGIA DEL TRAUMA.....	12
1.4 MECCANISMI TRAUMATOLOGICI E LESIONI ASSOCIATE.....	14
1. INCIDENTI STRADALI.....	15
2. TRAUMA DA CADUTA DALL'ALTO (FALL FROM HEIGHT - FFH).....	18
3. TRAUMA PENETRANTE.....	19
1.5 FISIOPATOLOGIA DEL TRAUMA.....	21
LO SHOCK EMORRAGICO.....	22
NOZIONI SUL TRATTAMENTO DELLO SHOCK EMORRAGICO.....	37
1.6 IL SIAT E LA RETE TRAUMA IN EMILIA ROMAGNA.....	44
IL REGISTRO TRAUMI.....	45
IL SIAT ROMAGNA.....	46
<u>II. L'ECOGRAFIA NEL TRAUMA.....</u>	49
2.1 PRINCIPI FISICI E CENNI ECOGRAFICI.....	49
2.2 IL RUOLO DELL'ECOGRAFIA NEL TRAUMA.....	53
2.3 L'EFAST IN EMERGENZA-URGENZA.....	56
2.4 ACCURATEZZA DELL'EFAST IN LETTERATURA.....	66
<u>III. STUDIO SPERIMENTALE.....</u>	75
SINOSSI.....	75
3.1 LO SCORING DI GRAVITÀ NEL TRAUMA.....	77
INTRODUZIONE.....	79
MATERIALI E METODI.....	80
POPOLAZIONE.....	80

RISULTATI	82
DESCRIZIONE DELLA POPOLAZIONE	82
VALUTAZIONE DELLO PNEUMOTORACE.....	85
SPAZIO PLEURICO	87
FINESTRA PERICARIDICA.....	89
SPAZIO EPATORENALE	91
SPAZIO SPLENORENALE	92
FINESTRA SOVRAPUBICA	94
ANALISI ULTERIORI	95
DISCUSSIONE	100
ULTERIORI OSSERVAZIONI	105
CONCLUSIONI.....	105
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>108</u>

ELENCO ABBREVIAZIONI

ABCDE: Airway-Breathing-Circulation-Disability-Exposure

AIS Abbreviated Injury Scale

ATLS: Advanced Trauma Life Support

B-Mode: Brightness Mode

BTAI: Blunt Thoracic Aortic Injury

CaO₂: Contenuto Arterioso di Ossigeno

CO: Cardiac Output (Gittata Cardiaca)

D-Mode: Doppler Mode

DALYs:, disability-adjusted life years

DO₂: oxygen delivery (distribuzione dell'ossigeno)

DPL: Lavaggio Diagnostico Peritoneale

E-Fast: Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma

EGA: EmoGasanalisi Arteriosa

FC: Frequenza Cardiaca

GCS: Glasgow Coma Scale

Hb: Emoglobina

ICU: Unità di Terapia Intensiva

IIS: Injury Severity Score

LLY: Life Lost Years

LR: Likelihood Ratio

M-Mode: Motion Mode

NISS: New Injury Severity Score

NPV: Valore Predittivo Negativo

O₂ER: oxygen extraction ratio (Rapporto di estrazione dell'ossigeno)

PAD: Pressione Arteriosa Diastolica

PAS: Pressione Arteriosa Sistolica

POCUS: Point Of Care Ultra Sound (Ecografia Point-Of-Care)

PPV: Valore Predittivo Positivo

PS: Pronto Soccorso

PTBI Polytrauma with Traumatic Brain Injury

RTA: Road Traffic Accidents

SI: Shock Index

SNC: Sistema Nervoso Centrale

TBI Traumatic Brain Injury

TC-TB: Tomografia Computerizzata Total Body

TC: Tomografia Computerizzata

TIC: Coagulopatia Indotta da Trauma

TRISS: Trauma and Injury Severity Score

VO₂: oxygen consumption (Consumo di ossigeno)

ETCO₂: End Tidal CO₂ (CO₂ di fine espirazione)

WHO: World Health Organization (**OMS** – Organizzazione Mondiale della Sanità)

DCR: Damage Control Resuscitation (Rianimazione Controllata dei Danni)

TXA: Acido Tranexamico

VHA: test viscoelastici

I. PREAMBOLO: IL TRAUMA

1.1 DEFINIZIONI

Esiste in letteratura una sostanziale eterogeneità nel modo in cui il *politrauma* è stato definito nei vari studi (Tabella 1). Tale variazione nelle definizioni comporta implicazioni significative per il confronto delle stime epidemiologiche tra le diverse ricerche giacché per politrauma non si intende solo “*paziente con molte lesioni*”.

Tabella 1

Studio	Definizione utilizzata	Soglia ISS	Criteri AIS	Criteri aggiuntivi
AS Seidu et al., 2024	Lesione potenzialmente letale in ≥ 2 regioni anatomiche	≥ 17	Non specificato	Basata sulla "Definizione di Berlino"
Vesta Brauckman et al., 2025	Basata su ISS	>16	Non specificato	Richiesto trattamento in Terapia Intensiva (ICU)
M. Bardenheuer et al., 2000	Non definita esplicitamente	Non specificato	Non specificato	Non specificato
Vijay Kumar Kundal et al., 2017	Coinvolgimento di >2 sistemi d'organo	Non specificato	Non specificato	Non specificato
B. Hardy et al., 2022	Definizione di Newcastle	Non specificato	AIS ≥ 3 in ≥ 2 regioni corporee	Non specificato

Studio	Definizione utilizzata	Soglia ISS	Criteri AIS	Criteri aggiuntivi
T. Georgouli et al., 2011	Basata su ISS	>15	Non specificato	Non specificato
H. Pape et al., 2014	Definizione di Berlino	Non specificato	≥3 punti in ≥2 regioni anatomiche AIS	Più ≥1 di 5 parametri fisiologici
M. Hofman et al., 2019	Basata su ISS	≥16	Usato per la classificazione	Età ≥18 anni
K. Chrysou et al., 2017	Basata su ISS e AIS	≥18	AIS >2 in >1 regione corporea	Trauma toracico chiuso
Mantu Jain et al., 2020	Basata su ISS	>15	Non specificato	Non specificato

Già nel 1990 alcuni autori sollevavano la questione semantica lasciando intendere che la definizione di “*politrauma*” fosse legata alla gravità delle lesioni ed in particolare al pericolo di vita.(1)

Attualmente, in letteratura, non esiste un consenso univoco (2,3), ma le definizioni prevalenti ruotano intorno a quella nata dal consensus della definizione di Berlino.(4,5)

Provando a fare un’analisi della letteratura e delle varie “correnti”, possiamo definire *politrauma* un paziente vittima di trauma che soddisfi il *criterio anatomico* di due lesioni in diversi distretti corporei con un punteggio AIS ≥3 (Abbreviated Injury Score). (4)

A questa categoria, possiamo sommare pazienti che presentano dei *criteri fisiologici*: (6)

- Shock/ipotensione conclamati (PAS < 90 mmHg)
- Acidosi con alto rischio di shock (Base excess \leq -6 mmol/L)
- Grave alterazione del sensorio (GCS \leq 8)
- Coagulopatia (acquisita con INR \geq 1.4 or PTT \geq 40 s)
- Età avanzata (\geq 70 anni)

Un'altra terminologia incontrata spesso nella letteratura è quella di “*Major trauma*”, tradotto in italiano con “*trauma maggiore*” e spesso utilizzato come sinonimo di politrauma. Tale formula però, non deriva dalla definizione di Berlino bensì riflette una tipologia di lesioni associate ad una mortalità elevata che supera il 10-20% di rischio. (7)

Nella nostra discussione useremo tali terminologie in maniera generica, intendendo comunque pazienti traumatizzati che soddisfano i criteri anatomici o fisiologici o statistici in termini di rischio di mortalità.

Avendo chiarito questi concetti, proseguiamo nella trattazione.

1.2 INTRODUZIONE AL POLITRAUMA

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) la patologia traumatica nel mondo è causa di circa 4,4 milioni di decessi l'anno, configurandosi come una priorità assoluta per la salute pubblica globale(8).

In Italia, si stimano circa 7 milioni di accessi annuali in Pronto Soccorso per eventi traumatici. Di questi, circa 2,5 milioni accadono in casa, oltre 850mila sono gli incidenti stradali e circa 430mila quelli sul lavoro. I casi di violenza e autolesione che comportano un accesso in PS sono oltre 100mila. La percentuale di ricovero varia molto a seconda del tipo di incidente. Gli infortuni a più bassa gravità, come quelli a scuola, durante le attività sportive e quelli sul lavoro, presentano percentuali di ricovero più contenute, pari all'1,0%, 2,5% e 2,8%, rispettivamente. Le percentuali di ricovero per

incidente stradale e incidente domestico sono simili fra loro e sono vicine al valore medio osservato per tutti gli incidenti (6,5%), il che porta a stimare in circa 453mila il numero di ricoveri in Italia per incidenti e violenza.(9)

Dominio di prevenzione	%	IC 95%	Tassi (per 100.000)	Stima accessi PS Italia	% ricovero	Stima ricoveri Italia
Incidenti stradali	11,8	11,7-11,8	1.429	855.526	6,6	56.807
Incidenti sul lavoro	6,0	5,9-6,0	725	434.349	2,8	12.161
Incidenti in casa	35,5	35,4-35,6	4.307	2.579.092	6,6	170.220
Incidenti a scuola	1,8	1,7-1,8	213	127.658	1,0	1.277
Incidenti del tempo libero	17,1	17,0-17,2	1.951	1.168.444	5,5	64.264
Incidenti sportivi	4,4	4,4-4,4	536	320.822	2,5	8.021
Violenza	1,3	1,3-1,3	157	93.947	3,3	3.100
Autolesione	0,1	0,1-1,0	11	6.826	20,9	1.427
Altro	22,1	22,0-22,2	2.378	1.424.120	9,5	135.620
Totale	100,0		11.709	7.010.784	6,5	452.897

Fortunatamente, negli ultimi decenni si è assistito a un progressivo decremento della mortalità prevenibile. Tale successo è attribuibile a diversi fattori come l'evoluzione dei modelli organizzativi — vale a dire la creazione di reti trauma integrate con il potenziamento del sistema pre ospedaliero — e

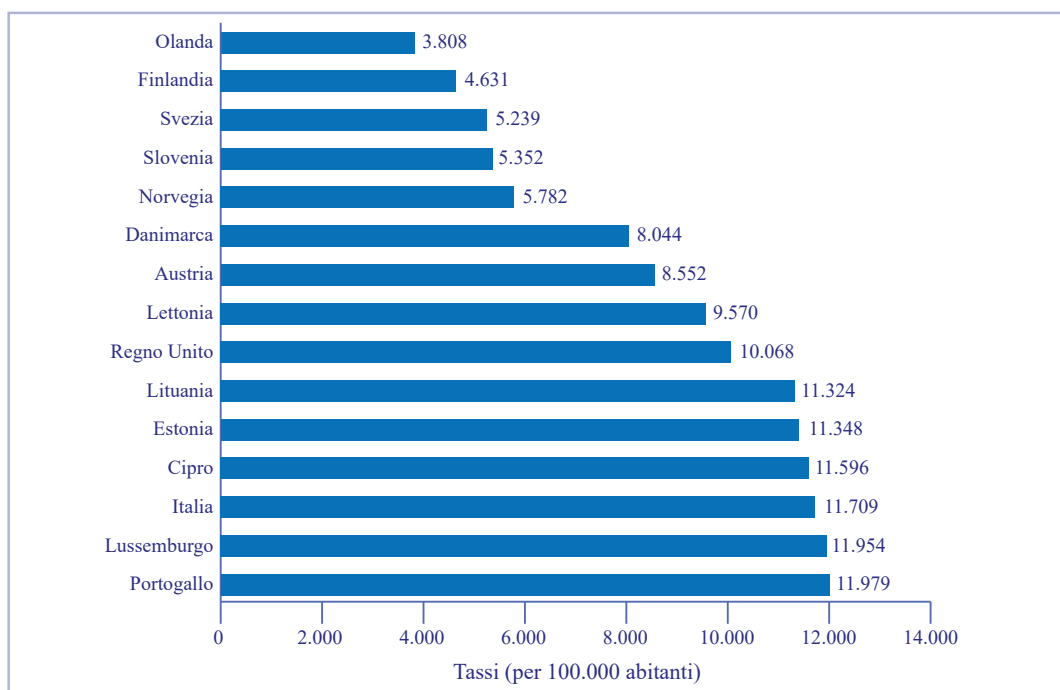


Figura 3 - Tassi di incidenza (per 100.000 abitanti) degli accessi in pronto soccorso nei Paesi europei per tutti i casi di incidenti e violenza. EU-IDB (European Injury Database) (anno 2018)

l'adozione di un approccio clinico sistematico. La standardizzazione della gestione, inizia sul territorio con l'identificazione precoce e la centralizzazione verso l'Hub appropriato, per poi proseguire in ospedale con l'applicazione dei protocolli di gestione avanzata.(10)

A contribuire nell'evoluzione della gestione del paziente traumatizzato, si inserisce l'ecografia portando ad una rivoluzione diagnostica. Nel tempo vi è stato un passaggio storico cruciale: l'abbandono di procedure invasive e lunghe, come il lavaggio peritoneale diagnostico (DPL) o l'isolamento chirurgico di vene periferiche, in favore di tecniche rapide e non invasive. L'*Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma* (eFAST) si è affermata come l'estensione fondamentale dell'esame clinico, specialmente nei pazienti emodinamicamente instabili.(11) Difatti, il paziente instabile necessita di una diagnosi immediata, ma il trasporto in radiologia per una tomografia computerizzata (TC), pur essendo il *gold standard* diagnostico, comporta rischi talvolta inaccettabili in termini di tempo e monitoraggio, oltre a ritardare un'eventuale emostasi chirurgica. (12)

L'eFAST risponde a questa esigenza critica: attraverso un esame *point-of-care* rapido e ripetibile, permette di identificare o escludere in pochi secondi le cause reversibili di shock traumatico (emoperitoneo, tamponamento cardiaco, pneumotorace iperteso ed emotorace massivo), guidando il clinico nel bivio decisionale più importante: sala operatoria immediata o ulteriore diagnostica radiologica. (13)

Alla luce di queste premesse, il presente lavoro di tesi si propone di analizzare l'accuratezza diagnostica dell'eFAST nello specifico sottogruppo dei pazienti in shock da trauma ad alta energia.

Attraverso uno studio multicentrico retrospettivo, si valuteranno sensibilità, specificità e valore predittivo della metodica, con l'obiettivo di confermarne il ruolo strategico nell'ottimizzazione dei percorsi diagnostico-terapeutici del trauma maggiore.

1.3 EPIDEMIOLOGIA DEL TRAUMA

Come già enunciato, il trauma rappresenta oggi una delle sfide più critiche per la salute pubblica globale, configurandosi come una vera e propria emergenza epidemiologica: ancora oggi la prima causa di morte tra i giovani adulti ed in generale nei pazienti al di sotto dei 40 anni è rappresentata dalla patologia traumatica. (14)

Gli incidenti stradali rappresentano la quota preponderante del carico traumatico e la principale causa di mortalità e disabilità grave tra i giovani adulti. (15)

In Italia, secondo le rilevazioni ISTAT del 2024, si sono registrati in un solo anno 173.364 incidenti con lesioni, con un incremento del 4,1% rispetto al periodo precedente. L'analisi delle dinamiche evidenzia come le collisioni tra veicoli rimangono la causa primaria di traumi ad alta energia cinetica con frequente coinvolgimento toraco-addominale, mentre nelle aree urbane si registra un costante aumento di sinistri che coinvolgono utenti vulnerabili (pedoni, ciclisti e utilizzatori di monopattini).

Un dato cruciale riguarda la letalità: sebbene la maggior frequenza di sinistri si registri in ambito urbano, quelli su strade extraurbane presentano un tasso di mortalità nettamente superiore, correlato alla maggiore velocità e all'energia dissipata nell'impatto.

A questo scenario si sommano i traumi derivanti da infortuni sul lavoro, incidenti domestici ed episodi di violenza, delineando un quadro eziologico estremamente eterogeneo.(16)

Tuttavia, l'aumento dell'aspettativa e degli stili di vita sta contribuendo ad un nuovo fenomeno su scala mondiale con l'aumento dell'età media dei pazienti traumatizzati. L'evoluzione demografica sta mutando profondamente il profilo clinico del paziente politraumatizzato infatti si assiste a una progressiva "geriatrizzazione" del trauma: nel 2025 gli over 65 rappresenteranno il 24,7% della popolazione italiana (contro il 19% del 2000) e studi recenti indicano che

la percentuale di pazienti anziani coinvolti in eventi traumatici è quasi raddoppiata nell'ultimo decennio (17). In un registro Australiano i pazienti over 65 sono risultati essere più di un terzo del totale.(18) Nel Regno Unito, il secondo gruppo di pazienti più rappresentato vittime di trauma sono gli over75 (19). La percentuale di pazienti traumatizzati anziani nel National Trauma Database (USA) è aumentata dal 18% (2005) al 30% (2015), così come l'età media dei pazienti traumatizzati è passata da 39 anni (1993) a 51 anni (2013) in un registro dei traumi tedesco (German Trauma Register).(20) In questa categoria di pazienti, anche traumi a bassa energia (come le cadute accidentali a livello del suolo) possono produrre esiti infausti a causa della ridotta riserva fisiologica e della fragilità intrinseca. Le comorbidità (principalmente cardiovascolari, metaboliche e renali) giocano un ruolo prognostico determinante, associandosi a degenze prolungate, tassi di *case-fatality* più elevati e un maggior rischio di invalidità residua (21).

Un altro aspetto da considerare sono le conseguenze della patologia traumatica sul welfare e sulle politiche sociali. Il trauma non si esaurisce nell'evento acuto, ma genera un “burden” economico e sociale imponente. Il Ministero della Salute conferma che il trauma è la principale causa di invalidità permanente tra i giovani (15-34 anni). I costi sanitari diretti per la gestione acuta sono elevati (stimati tra i 17.000 e i 58.000 euro per caso complesso), ma sono i costi indiretti legati alla perdita di produttività e alla riabilitazione a pesare maggiormente.

In Italia, il costo sociale degli incidenti stradali è stimato in oltre 16 miliardi di euro annui (circa l'1% del PIL nazionale). Considerando che un singolo decesso comporta un costo sociale superiore a 1,6 milioni di euro, appare evidente come il trauma non sia solo una sfida clinica, ma una priorità di sostenibilità economica per il benessere collettivo (16) (22).

Sia il fatto che vengano colpiti pazienti in età da lavoro, sia l'aumento dell'età media dei traumatizzati, sono tra i fattori che contribuiscono al calcolo della

disabilità provocata (indice DALYs, disability-adjusted life years) e anni di vita perduta (YLL Years Life Lost) con valori variabili che aumentano nei paesi e nelle aree d'Europa dove i sistemi integrati di risposta al trauma sono meno sviluppati.(8)

1.4 MECCANISMI TRAUMATOLOGICI E LESIONI ASSOCIATE

La comprensione dei meccanismi lesivi rappresenta un elemento essenziale nella valutazione iniziale del paziente traumatizzato, poiché la dinamica dell'evento condiziona in modo prevedibile i pattern lesionali.

La gestione efficace del paziente politraumatizzato richiede non solo una rapida stabilizzazione, ma anche un'acuta capacità diagnostica per identificare lesioni potenzialmente letali che potrebbero non essere immediatamente evidenti. In questo scenario, un approccio diagnostico basato sull'analisi del meccanismo traumatico assume un'importanza strategica fondamentale.

La comprensione delle forze in gioco durante un incidente (impatto frontale, laterale o decelerazione verticale) permette al medico d'emergenza-urgenza e al radiologo di anticipare specifiche lesioni nei vari distretti, collegandolo a informazioni che riguardano il corretto posizionamento dei sistemi di ritenuta (cintura di sicurezza, airbags), posizione all'interno dell'abitacolo (conducente, passeggero anteriore e posteriore), presenza di ostacoli. (23)

Ci concentreremo essenzialmente su tre fenomenologie:

- 1. gli incidenti stradali***
- 2. i traumi da caduta***
- 3. le ferite penetranti***

I principali meccanismi di traumatismo nei paesi occidentali hanno subito un cambiamento sostanziale negli ultimi decenni, anche a causa, come detto precedentemente, della variazione di età della popolazione. Negli anni 90 del secolo scorso i meccanismi legati agli incidenti automobilistici erano i

predominanti (circa 69%) (19) con età media giovanile. A partire dal 2017, nei paesi europei, si è registrato una diminuzione delle lesioni fatali causate da incidenti stradali, ma anche uno spostamento dell'età verso porzioni della popolazione più geriatrica. Uno dei motivi di questo cambiamento risiede nella diversa dinamica, vale a dire è aumentata la quota di pazienti che riporta lesioni gravi per meccanismi più lievi, come le cadute e i traumi a bassa energia, in virtù della diversa risposta fisiologica legata all'età.(24,25)

In sostanza, le analisi stratificate per età dimostrano coerentemente che i pazienti più giovani subiscono prevalentemente traumi ad alta energia, inclusi incidenti con veicoli a motore, mentre i pazienti anziani subiscono cadute a bassa energia, nonostante punteggi di gravità delle lesioni (ISS) paragonabili. Per quanto riguarda la popolazione pediatrica, gli incidenti legati ai veicoli causano il 46% dei casi, sebbene le cadute predominino nei bambini più piccoli mentre le lesioni da veicoli colpiscono i bambini più grandi. (26)

Un dato interessante circa la dinamica del traumatismo maggiore, che probabilmente non sorprenderà un lettore dei nostri giorni riguarda l'epidemiologia delle lesioni violente: le ferite da arma da fuoco 42% sono predominanti in specifici contesti urbani degli Stati Uniti, mentre gli studi europei e canadesi mostrano maggiore prevalenza dei meccanismi contusivi rappresentano l'87% dei casi.(27) (28,29)

1.INCIDENTI STRADALI

Nei traumi da alta energia tipici degli incidenti stradali vi è un elevato rischio di lesioni severe, a causa delle forze di improvvisa decelerazione che generano trazione e stress sulle strutture toraciche e addominali. I due scenari più comuni sono rappresentati dall'impatto frontale e l'impatto laterale.(30)

Impatto Frontale

Durante un impatto frontale i danni organici possono derivare da due meccanismi principali e spesso concomitanti: il contatto diretto con i sistemi

di ritenuta (cinture di sicurezza) e l'urto violento contro i componenti interni dell'abitacolo (volante, parabrezza, cruscotto e pianale).

Lesioni da sistemi di ritenuta

Sebbene l'introduzione delle cinture di sicurezza nel 1988 abbia ridotto drasticamente la mortalità negli incidenti stradali, il loro stesso funzionamento può causare quadri lesivi specifici. Il riscontro clinico del "*seat belt sign*" (ecchimosi cutanea lungo il decorso della cintura) è un segnale d'allarme cruciale: la letteratura identifica in questa traccia esterna un predittore affidabile di lesioni viscerali o spinali, configurando la cosiddetta "*seat belt syndrome*". In particolare, la localizzazione della contusione sopra la spina iliaca antero-superiore aumenta significativamente la probabilità di danni agli organi addominali.

A livello spinale, il meccanismo predominante è la flessione-distrazione: la cintura addominale funge da fulcro, costringendo la colonna a una violenta flessione in avanti. Questo trasferimento di energia può causare la *frattura di Chance*, una lesione instabile che attraversa orizzontalmente il corpo vertebrale alla giunzione toraco-lombare. Il quadro clinico può complicarsi nel "*lap belt complex*", una triade caratterizzata da danno intestinale (perforazione o ematoma), frattura spinale e lesione dell'aorta addominale.(31)

Lesioni da impatto con l'abitacolo

Negli occupanti non protetti, l'energia cinetica proietta il corpo contro il volante e il parabrezza, causando gravi traumi cranio-facciali e lesioni spinali da iperestensione (come la frattura di Hangman su C2).

L'impatto con il cruscotto ("*Dashboard Injury*") porta il ginocchio flesso ad urtare violentemente contro il cruscotto: le forze si trasmettono prossimalmente lungo il femore, portando a due principali tipi di lesione: lussazione posteriore dell'anca (spesso associata a fratture della parete posteriore dell'acetabolo o della testa del femore) e lesioni del ginocchio, (come fratture della rotula o lesioni del legamento crociato posteriore). Nell'impatto con pianale ("*Floorboard Injury*") le forze trasmesse dal pianale

del veicolo al piede possono causare complesse fratture tarsali e metatarsali. Tra queste, sono caratteristiche le fratture-lussazioni dell'articolazione di Lisfranc e le fratture del talo, in particolare del collo per meccanismi di iperdorsiflessione o della cupola per impatti sul piede in flessione plantare.(32)

Impatto Laterale

Gli impatti laterali presentano una mortalità particolarmente elevata a causa della ridotta zona di assorbimento dell'energia tra il veicolo e l'occupante. I passeggeri situati sul lato dell'impatto presentano un rischio di lesioni gravi tre volte superiore rispetto a quelli sul lato opposto. Le lesioni craniche in questo contesto sono dovute al movimento laterale improvviso causato da movimenti a accelerazione-decelerazione, con un tipico meccanismo di colpo e contraccolpo (*coup-contre-coup*). (32)

Le forze di flessione laterale possono provocare fratture delle faccette articolari e dei processi trasversi generando una lesione spinale: in particolare la giunzione cervico-toracica (C7-T1) risulta un punto particolarmente vulnerabile a questo tipo di sollecitazione.(33)

Per quanto riguarda le lesioni toraciche sono comuni le fratture costali multiple ipsilaterali al lato dell'impatto, la rottura del diaframma (più frequente a sinistra) e, dato molto significativo, un'incidenza di rottura traumatica dell'aorta toracica che è doppia rispetto a quella registrata negli impatti frontali.(31)

Nella regione addominale l'impatto diretto del bracciolo della portiera contro il fianco può causare lesioni a organi specifici: la milza in caso di impatto a sinistra, il fegato e il surrene in caso di impatto a destra. Le lesioni pelviche sono frequenti per compressione laterale del bacino, provocando danni al cingolo pelvico.(34)

Una delle conseguenze più temute poiché potenzialmente fatale è la lesione aortica toracica chiusa (*Blunt Thoracic Aortic Injury - BTAI*).

Il sito più frequentemente coinvolto è l'istmo aortico, punto di transizione tra l'arco aortico mobile e l'aorta toracica discendente che è relativamente fissa.

Questa differenza di mobilità genera forze di taglio che possono portare alla rottura della parete vascolare. La BTAI viene classificata in quattro gradi di severità in base alla presenza di lacerazione intimale (I grado), ematoma intramurale (II grado), pseudoaneurisma (III grado), rottura completa (IV grado). (Figura 3) (35)

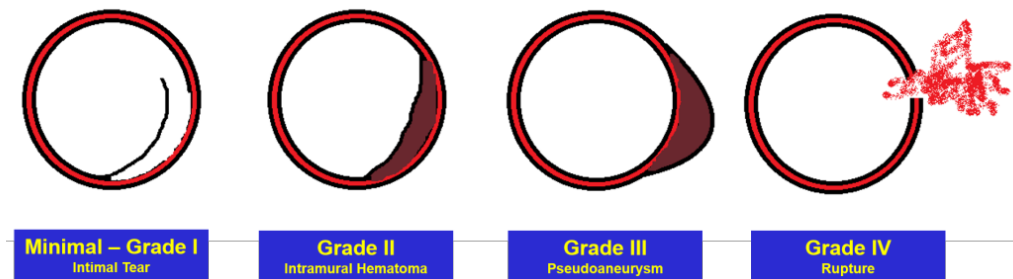


Figure 3. Grade of aortic injuries.

2.TRAUMA DA CADUTA DALL'ALTO (Fall From Height - FFH)

Oltre agli incidenti stradali, un'altra importante causa di trauma contusivo in ambiente urbano è la caduta dall'alto, che presenta meccanismi e predittori di mortalità del tutto peculiari.

Le cadute dall'alto rappresentano una forma distinta di trauma da decelerazione verticale, particolarmente comune nei contesti urbani. L'esito clinico di una caduta è determinato da una combinazione di fattori: l'altezza (il rischio aumenta del 16% per ogni metro di altezza), l'età della vittima, la superficie di impatto e, in modo cruciale, l'intenzionalità dell'evento. L'analisi dei dati evidenzia profonde differenze tra le cadute accidentali ("*fallers*") e i tentativi di suicidio ("*jumpers*"). I "*jumpers*" tendono a cadere da altezze maggiori e presentano una mortalità e una gravità delle lesioni significativamente più elevate, rilevando che il tentativo di suicidio aumenta il rischio di decesso di quasi 3 volte. (36)

L'orientamento del corpo al momento della collisione con il suolo è il fattore determinante nella distribuzione delle forze traumatiche e di conseguenza nella localizzazione e nella tipologia delle lesioni riscontrate. Le evidenze scientifiche distinguono due meccanismi biomeccanici prevalenti: feed-first e la caduta incontrollata.(36)

L'Impatto "Piedi-Avanti" (Feet-First)

Le cadute con intento suicida sono tipicamente caratterizzate da un impatto primario sugli arti inferiori dove la forza di decelerazione verticale viene trasmessa assialmente verso l'alto, attraversando le strutture scheletriche e viscerali del corpo. Tale meccanismo produce una costellazione di lesioni ortopediche devastanti ma porta a un assorbimento di una parte significativa dell'energia cinetica, riducendo la forza d'urto trasmesse al torace e al cranio. In questi casi si possono osservare: fratture bilaterali degli arti inferiori, fratture pelviche complesse e lesioni traumatiche della colonna vertebrale.

La Caduta Incontrollata

Le cadute accidentali, al contrario, sono contraddistinte da una discesa incontrollata e caotica. L' impatto avviene più frequentemente a livello cranio-facciale ("head-first") oppure degli arti superiori indicative di un riflesso protettivo. Il trauma cranico grave è spesso la lesione predominante e la causa principale del decesso, talvolta in presenza di lesioni corporee relativamente minori.(37)

3.TRAUMA PENETRANTE

Il trauma penetrante è il risultato dell'applicazione di una forza meccanica su un'area focale, con conseguente danno tissutale per meccanismi di stiramento e schiacciamento lungo il tramite della penetrazione. La gravità della lesione dipende primariamente dall'organo penetrato e dalla quantità di energia trasferita ai tessuti. Le due principali eziologie di trauma penetrante sono le ferite da arma da fuoco e da arma bianca.(38,39)

Ferite da Arma da Fuoco

Il danno tissutale è direttamente correlato alla cessione di energia cinetica, per questo motivo le lesioni vengono classificate in base alla velocità del proiettile. I proiettili ad alta velocità creano una cavitazione temporanea che porta a un'espansione rapida e successiva contrazione dei tessuti, estendendo il danno ben oltre il percorso del proiettile. La densità del tessuto colpito influenza l'entità del danno: organi densi come il fegato e le ossa assorbono una maggiore quantità di energia e subiscono danni maggiori. Al contrario, organi a bassa densità come il polmone assorbono meno energia.(40)

Ferite da Arma Bianca

Queste sono considerate lesioni a bassa velocità. Il danno è generalmente confinato al percorso dell'oggetto penetrante, senza l'effetto di cavitazione. La gravità dipende da diversi fattori: il punto di ingresso (le ferite localizzate al di sotto della linea dei capezzoli o dell'angolo scapolare inferiore devono sempre essere considerate potenzialmente toraco-addominali), l'organo leso e la forma dell'oggetto.(39–41)

Una regola cardinale nella gestione pre-ospedaliera è di non rimuovere mai un oggetto impalato sulla scena poiché può avere un effetto tampone su strutture vascolari lesionate e la sua rimozione potrebbe scatenare un'emorragia incontrollabile. (42) (43)

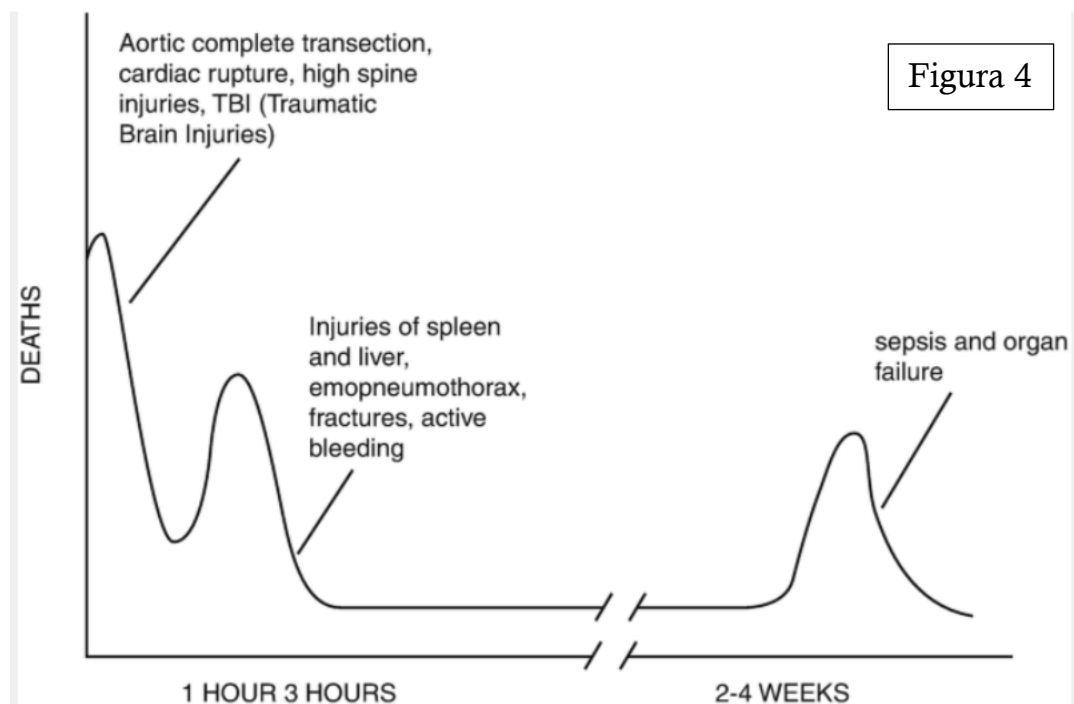
1.5 FISIOPATOLOGIA DEL TRAUMA

Nel seguente paragrafo cercheremo di mettere in ordine la complessa catena patogenetica del trauma, approfondendo la transizione dal danno cellulare e molecolare (disfunzione mitocondriale ed endoteliopatia) al collasso dei sistemi omeostatici sistemici.

Parleremo della cosiddetta "triade letale" (acidosi, ipotermia e coagulopatia) e la sua interazione sinergica nel determinare l'irreversibilità dello shock.

L'emorragia incontrollata rimane la prima causa di morte precoce potenzialmente prevenibile. Una comprensione rigorosa dei meccanismi fisiopatologici sottostanti, con particolare riferimento allo shock emorragico e alla coagulopatia indotta dal trauma (TIC), è indispensabile per ottimizzare le strategie di intervento e migliorare l'outcome dei pazienti.

Inoltre, riguardo alla mortalità per politrauma, un dato oramai cristallizzato dalla letteratura è rappresentato dalla distribuzione temporale della stessa che si configura con andamento trimodale (*distribuzione trimodale*).⁽⁴⁴⁾



Come riportato dal grafico in figura 4, una prima quota di decessi si verifica immediatamente a causa di lesioni maggiori non trattabili; una seconda quota si verifica all'interno delle prime 1-3h ed è dovuta a lesioni potenzialmente trattabile; infine, l'ultima quota è da imputare a complicanze o caratteristiche fisiologiche (comorbidità) dell'infortunato. Risaluta essenziale, dunque, un concetto già emerso nella gestione di altre gravi patologie tempo dipendenti, che è quello di “*golden hour*” del trauma.(45,46)

In questo contesto di ampia variabilità e potenziale evoluzione clinica si inserisce il nucleo centrale del presente lavoro di tesi sul ruolo dell'Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma (eFAST) e delle sue implicazioni nel trattamento tempestivo e mirato del paziente vittima di politrauma.

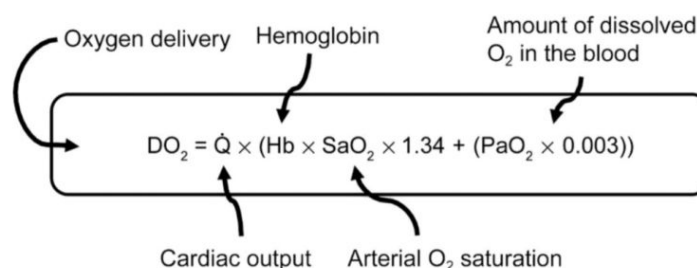
LO SHOCK EMORRAGICO

Circa il 25% delle morti nel politrauma (all injury related deaths) sono dovute ad emorragia incontrollate, mentre sia in contesto civile che militare, il 40-80% delle morti potrebbe essere evitato dal controllo dell'emorragia. (45,47)

Lo shock deriva da un insufficiente apporto di ossigeno, che porta ad acidosi metabolica, infiammazione e coagulopatia. (48)

Il cardine fisiopatologico dello shock risiede nel mismatch critico tra l'apporto sistemico di ossigeno (DO_2) e il suo effettivo consumo a livello tissutale (VO_2).

Il DO_2 è determinato dal prodotto tra la gittata cardiaca (Q) e il contenuto arterioso di ossigeno (CaO_2), quest'ultimo calcolato secondo la formula: $CaO_2 = (Hb \times 1.36 \times SaO_2) + (PaO_2 \times 0.003)$.



In questa equazione, l'emoglobina (Hb), la saturazione arteriosa (SaO_2) e la pressione parziale di ossigeno (PaO_2) rappresentano le variabili cliniche fondamentali. La costante 1.36 indica i mL di O_2 trasportati da ogni grammo di emoglobina mentre 0.003 è il coefficiente di solubilità dell'ossigeno nel plasma. In condizioni fisiologiche, la maggior parte dell'ossigeno (parliamo del 97%) viaggia legato all'emoglobina, mentre solo una frazione minima (3%) risulta disciolta nel plasma.(49)

Nel soggetto normotipo sano, la gittata cardiaca si attesta su valori di 5-6 L/min, garantendo un CaO_2 medio di circa 20.7 mL O_2 /dL nell'uomo e 18.4 mL O_2 /dL nella donna. Nel paziente politraumatizzato, la perdita acuta di emoglobina conseguente all'emorragia riduce drasticamente la capacità di trasporto ematico, compromettendo seriamente il DO_2 .(50)

Un aspetto a volte poco considerato è il comportamento dell'emoglobina a seconda delle condizioni di pH nel rilascio periferico di ossigeno. Ciò è messo in luce dalla curva di dissociazione ossiemoglobinica. Fattori metabolici tipici dello stato di shock spostano la curva in modo opposto (figura 5):

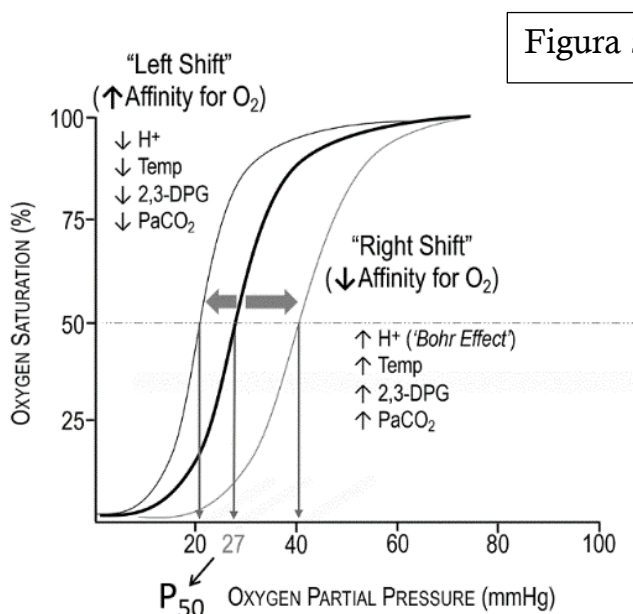


Figura 5

- L'acidosi metabolica (effetto Bohr) sposta la curva verso destra, diminuendo l'affinità dell'emoglobina per l'ossigeno e facilitandone il rilascio ai tessuti sofferenti.
- L'ipotermia, sposta la curva verso sinistra aumentando l'affinità dell'emoglobina e ostacolando la cessione di ossigeno in periferia.(49)

L'utilizzo sistemico di ossigeno (VO_2), pari a circa 250 mL O_2 /min, è la quantità di ossigeno consumata ogni minuto da tutti i processi metabolici dell'organismo. La relazione fisiologica tra VO_2 e DO_2 è espressa dal rapporto di estrazione dell'ossigeno: (49)

$$O_2ER = \frac{VO_2}{DO_2}$$

Questo rapporto rappresenta un fondamentale meccanismo di compenso capace di controbilanciare le riduzioni dell'apporto di ossigeno (DO_2) causate da emorragie acute e dal conseguente calo della gittata cardiaca (CO). Nelle fasi iniziali dello shock, l'organismo tenta di compensare la riduzione del DO_2 incrementando il rapporto di estrazione di ossigeno (O_2ER). In questa fase, definita "*flusso-indipendente*", il VO_2 rimane costante nonostante il calo dell'apporto ematico. Tale meccanismo può mascherare clinicamente uno stato di shock compensato anche a fronte di una perdita ematica superiore al 30% della volemia totale.(49)

Il valore soglia del DO_2 che separa la fase di indipendenza da quella di dipendenza del flusso è denominato DO_2 critico (DO_{2CRIT}). Qualsiasi valore di DO_2 al di sotto del DO_{2CRIT} è associato a una riduzione del VO_2 e a una compromissione dei processi cellulari ossigeno-dipendenti, segnando il passaggio dal metabolismo aerobico a quello anaerobico, identificando, quindi l'insorgenza dell'acidosi lattica e l'inizio dell'accumulo di un debito di ossigeno. (49,51) Il passaggio forzato al metabolismo anaerobico determina un rapido esaurimento delle riserve di adenosina trifosfato (ATP), la cui carenza compromette l'integrità delle pompe ioniche di membrana. In particolare, il deficit energetico inibisce le pompe sodio-potassio e calcio, causando un afflusso incontrollato di ioni e acqua nello spazio intracellulare. Questo squilibrio osmotico evolve rapidamente in edema citotossico, culminando nella lisi e nella necrosi cellulare. La disfunzione mitocondriale e l'attivazione

di ossidasi citosoliche, come NOX2 nei neutrofilo e NOX4 nelle cellule endoteliali, portano a una produzione massiva di specie reattive dell'ossigeno (ROS). I ROS, a loro volta, causano danni estesi attraverso la perossidazione lipidica delle membrane cellulari, l'ossidazione delle proteine e il danno al DNA, perpetuando il circolo vizioso dell'infiammazione.(52)

Valutazione Clinica e Classificazione dello Shock

Lo shock emorragico rappresenta la causa più comune di shock nel paziente traumatizzato e concorre per circa un terzo delle dopo un trauma (53). L'emorragia acuta, sia essa esterna o interna, compromette il volume ematico circolante riducendo drasticamente la perfusione degli organi vitali e portando a ipossia cellulare e disfunzione d'organo.(54) (55)

La rapidità della diagnosi e del trattamento è un fattore determinante per la prognosi del paziente. Il concetto di "*golden hour*" (l'ora d'oro) sottolinea l'esistenza di una finestra temporale critica durante la quale un intervento medico efficace può influire in modo significativo sulla sopravvivenza e sugli esiti a lungo termine. Un ritardo nel controllo dell'emorragia e nella rianimazione volemica può innescare una cascata irreversibile di eventi fisiopatologici, tra cui coagulopatia, ipotermia e acidosi, che peggiorano ulteriormente il quadro clinico.(48) Per affrontare con successo questa emergenza è indispensabile adottare un approccio strutturato che permetta di classificare la gravità dello shock, monitorare i parametri clinici chiave e implementare strategie terapeutiche mirate.(48,56)

Trovare una definizione univoca di shock emorragico traumatico (THS) non è semplice ed in letteratura esiste grande varietà.(57) Per formulare una diagnosi di shock emorragico non basta affidarsi ai soli parametri ma a volte è necessario integrare alcuni fattori fisiologici, strumentali e laboratoristici.(54) (57) (58)Tra questi parametri considerati troviamo:

- Stato di coscienza: le alterazioni dello stato di coscienza, che possono variare da agitazione oppure letargia fino al coma, sono correlate a una riduzione della

perfusione cerebrale. Questi segni sono tipici delle classi di emorragia più avanzate (es. classe III, come indicato nella classificazione) e indicano una situazione di shock magari non ancora esplicitato. (59)

- Frequenza cardiaca: la tachicardia è spesso il primo segno misurabile di shock. Tuttavia, non è un indicatore universalmente affidabile. In pazienti anziani, la risposta cardiaca alla stimolazione catecolaminergica può essere limitata. È necessario adoperare cautela in pazienti anziani o che assumono beta-bloccanti o portatori di pacemaker poiché tali condizioni possono mascherare la tachicardia anche a fronte di una significativa ipovolemia. Allo stesso modo, pazienti giovani che si mostrano solo moderatamente ipotesici possono mascherare una deplezione di volume aumentando la frequenza cardiaca (compensando) e presentandosi, quindi, tachicardici ma non ancora francamente ipotesici.(60)

- Pressione arteriosa e pressione differenziale: come detto, l'ipotensione sistolica talvolta può manifestarsi tardivamente, vale a dire solo dopo che i meccanismi di compenso sono stati sopraffatti. Un indicatore più precoce e sensibile è la riduzione della pressione differenziale (la differenza tra pressione sistolica e diastolica). (50,58)

- Shock Index (SI): si tratta di una semplice equazione matematica basata sul rapporto tra la frequenza cardiaca (HR) e la pressione arteriosa sistolica (SBP); è facile da calcolare in contesti intra ed extra-ospedalieri. I valori normali negli adulti variano da 0,5 a 0,7. È stata proposta una classificazione dello shock ipovolemico basata su questo punteggio (SI < 0,6: assenza di shock; SI 0,6–1: shock lieve; SI 1–1,4: shock moderato; SI ≥ 1,4: shock grave).(58) (61) Le linee guida europee sulla gestione delle emorragie maggiori e della coagulopatia conseguenti a trauma suggeriscono l'utilizzo dello SI per valutare la gravità dello shock ipovolemico. (62)

- Frequenza respiratoria: la tachipnea è un segno precoce di distress respiratorio e inadeguata perfusione tissutale che porta ad acidosi metabolica.

- Monitoraggio ETCO₂: Il monitoraggio continuo della CO₂ di fine espirazione consente di conoscere in tempo reale lo stato metabolico del paziente: abbassamenti di tale valore sono correlati a ridotta perfusione e dunque ridotto metabolismo.(48)
- Monitoraggio Gittata Cardiaca (Cardiac Output – CO): La risposta della gittata cardiaca è il parametro più affidabile per misurare la riserva cardiaca/circolatoria, essendo in relazione diretta con il ritorno venoso. La misurazione continua della CO tramite ecocardiografia transtoracica (TTE) in seguito a un *fluid challenge* (carico di liquidi) nell'arco di 5–10 minuti rappresenta un metodo semplice da utilizzare al letto del paziente. Nella pratica comune viene utilizzata l'osservazione clinica per lo stesso lasso di tempo, misurando la pressione sistolica (SBP) come variabile diretta della CO e correlandola al quadro clinico generale. Se dopo 20–30 minuti la CO, la pressione sistolica o la tachicardia non sono migliorate o non hanno mantenuto la stabilità, si può presumere che la capacità di riserva dell'organismo non sia sufficiente e che quindi il paziente stia evolvendo verso una fase di shock. (63)
- Clearance dei lattati e Base Excess: Si tratta di due valori restituiti dall'emogas analisi effettuata al letto del paziente o in shock room. Secondo alcuni autori un livello di lattati superiore o uguale a 2 è indice di shock.(57) Il deficit di basi (Base Excess) rappresenta un fattore predittivo significativo della necessità trasfusionale nei pazienti con trauma maggiore, risultando persino superiore al lattato sierico. (64) Tuttavia il peggioramento di tale deficit è correlato al volume (e tipologia) di cristalloidi e di sangue somministrati nelle prime 24 ore successive al trauma.(48)
- Diuresi: la produzione oraria di urina è un indicatore della perfusione renale e dello stato volemico generale. Il posizionamento di un catetere vescicale consente un monitoraggio della diuresi. Tuttavia, bisogna considerare che la contrazione della diuresi è un parametro oltremodo tardivo.(48)

Nei manuali ATLS viene suggerita una divisione dello shock emorragico in quattro classi, basandosi su parametri clinici specifici. (tabella 2) (60)

Parameter	Class			
	I	II	III	IV
Blood loss (ml)	<750	750-1500	1500-2000	>2000
Blood loss (%)	<15%	15-30%	30-40%	>40%
Pulse rate (beats/min)	<100	>100	>120	>140
Blood pressure	Normal	Decreased	Decreased	Decreased
Respiratory rate (breaths/min)	14-20	20-30	30-40	>35
Urine output (ml/hour)	>30	20-30	5-15	Negligible
CNS symptoms	Normal	Anxious	Confused	Lethargic

Nelle classi iniziali (I e II) i meccanismi di compenso fisiologico sono ancora in grado di mantenere una perfusione d'organo sufficiente. La classe III rappresenta una fase critica ed è la prima in cui l'ipotensione diventa un segno clinico caratteristico. I pazienti in questa classe presentano segni evidenti di perfusione inadeguata, come tachicardia e tachipnea marcate e alterazioni significative dello stato mentale. La gestione richiede quasi sempre la trasfusione di sangue ed emoderivati e la priorità assoluta diventa l'arresto dell'emorragia, anche tramite intervento chirurgico d'urgenza.

Nella fase IV (shock scompensato) si hanno un'emorragia massiva e grave ipotensione che mettono a rischio imminente la vita del paziente. La perfusione d'organo è gravemente inadeguata richiedendo un intervento immediato e aggressivo con protocolli di trasfusione massiva, spesso somministrati tramite riscaldatori di liquidi e pompe per l'infusione rapida per contrastare l'ipotermia e ripristinare il volume circolante.

(49,60)

Quanto enunciato viene riassunto graficamente dalla figura 9, dove viene espressa la relazione tra le classi di shock e la capacità di trasporto dell'ossigeno (DO_2) ai tessuti.

(60)

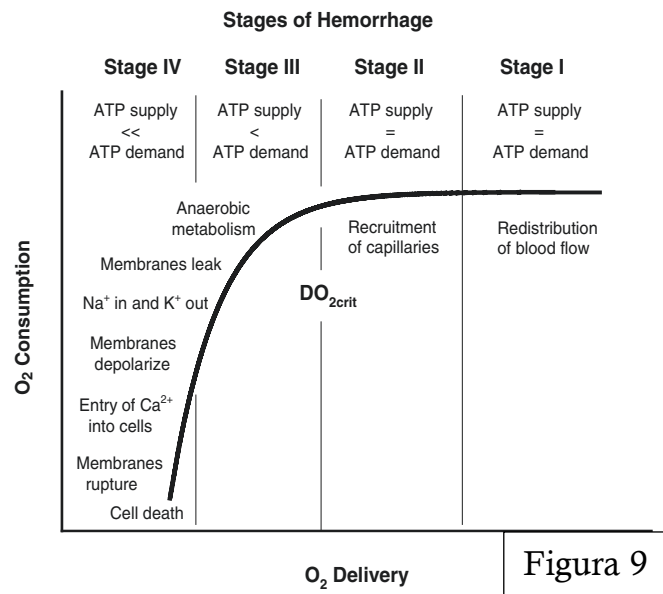


Figura 9

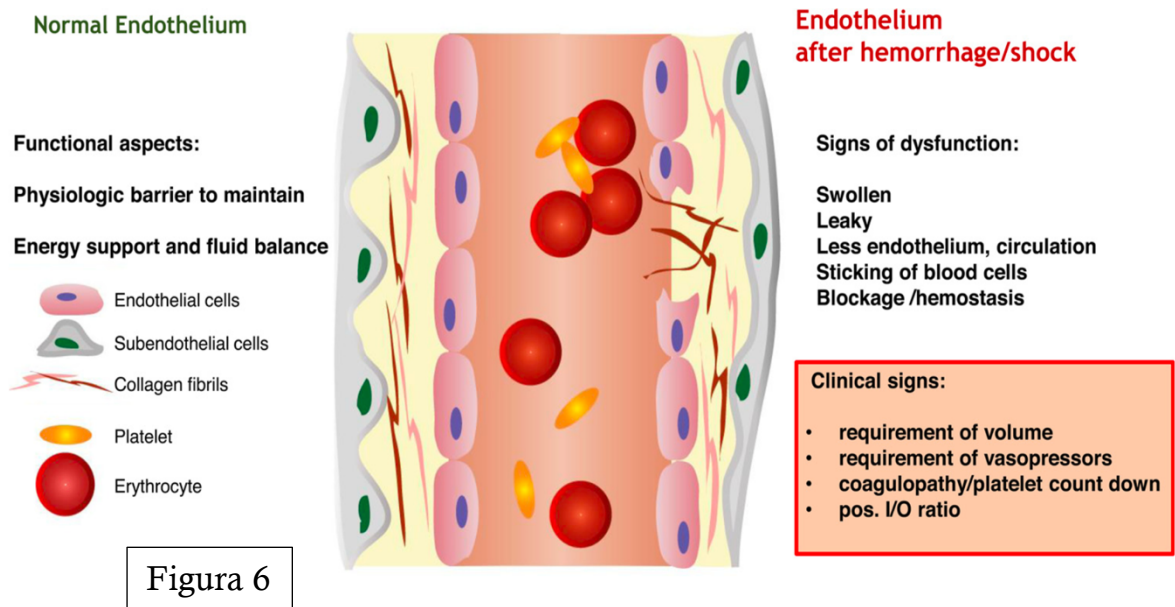
Dall'Insulto Endoteliale alla Disfunzione Multiorgano

Nel caso del politrauma, l'ipoperfusione causata dalla perdita acuta di sangue insieme alla lesione dei tessuti molli, porta all'innescò del sistema immunitario e della cascata coagulativa. Questo, specialmente in presenza di ferite aperte, provoca una risposta infiammatoria la perdita della protezione dell'endotelio.

(23) L'endotelio vascolare agisce come sensore primario e mediatore critico della risposta allo shock. L'ipossia tissutale e lo stress meccanico da ipoperfusione innescano una rapida attivazione endoteliale che si manifesta con il rilascio di mediatori preformati quali la P-selectina e il fattore di von Willebrand. Questo stato di attivazione diffusa contribuisce al disturbo sistemico della funzione microvascolare con aumento della permeabilità.(49)

La compromissione dell'integrità vascolare favorisce la formazione di edema

interstiziale, l'adesione leucocitaria e l'attivazione incontrollata della cascata coagulativa. (figura 6).



Un evento patogenetico centrale in questo contesto è la degradazione del glicocalice endoteliale, un sottile strato ricco di proteoglicani e glicosaminoglicani che riveste la superficie luminale dei vasi.

Dal punto di vista biochimico, il rilascio in circolo del Syndecan-1 (componente strutturale chiave del glicocalice) è oggi riconosciuto come un marcatore altamente specifico di danno endoteliale. Elevati livelli sierici di questa molecola sono direttamente correlati alla gravità del trauma e rappresentano un solido predittore indipendente di mortalità e di sviluppo di complicanze d'organo. (48,49,65)

(SIRS) Systemic inflammatory response syndrome

La Sindrome da Reazione Infiammatoria Sistemica (SIRS) rappresenta una risposta precoce ad una grande varietà di noxae patogene come infezioni, ustioni e trauma. Il tratto distintivo di tale sindrome è l'aumentata permeabilità endoteliale che tipicamente si verifica prima a livello regionale (come a livello polmonare) e poi diventa sistemica. (23)

Lo shock emorragico innesca una risposta infiammatoria caratterizzata da un andamento tipicamente bifasico. La fase iniziale è dominata da uno stato di iper-infiemmazione sistemica, mediata dal rilascio massivo di *Damage-Associated Molecular Patterns* (DAMPs) da parte dei tessuti necrotici. Queste molecole attivano il sistema immunitario innato, scatenando un'esplosione citochinica (*cytokine storm*). A questa ondata infiammatoria segue una fase di profonda immunosoppressione, definita *Sindrome da Risposta Anti-infiammatoria Compensatoria* (CARS). Questo periodo di "paralisi immunitaria" aumenta drasticamente la vulnerabilità del paziente a infezioni secondarie e complicanze tardive. L'esito finale di uno shock emorragico non controllato, alimentato dalla cascata infiammatoria e dall'endoteliopatia, è lo sviluppo della Sindrome da Disfunzione Multiorgano (MODS). Questo processo non rappresenta un evento isolato, ma coinvolge progressivamente e in modo sinergico i principali sistemi vitali: (23,49,52)

- Apparato Respiratorio: il polmone è spesso il primo organo a manifestare segni di disfunzione. Il sequestro di neutrofilo nel microcircolo polmonare e l'attivazione dell'endotelio alveolare determinano un aumento della permeabilità capillare. Questo danno alveolare diffuso può evolvere rapidamente nella Sindrome da Distress Respiratorio Acuto (ARDS), caratterizzata da ipossiemia refrattaria e ridotta compliance polmonare;
- Funzione Epatica: il fegato subisce un duplice insulto. Il danno ipossico diretto (da ipoperfusione) e l'attivazione delle cellule di Kupffer. La compromissione delle funzioni metaboliche e biosintetiche epatiche esacerba l'acidosi lattica e aggrava il deficit dei fattori della coagulazione, alimentando il circolo vizioso della coagulopatia;
- Funzione Renale: l'insufficienza renale acuta nel trauma è il risultato di una complessa interazione tra insulti emodinamici e flogistici. La riduzione della filtrazione glomerulare e il danno tubulare acuto sono

mediati sia dall'ipoperfusione prolungata che dal rilascio di molecole nefrotossiche (come la mioglobina in caso di rhabdomiolisi associata);

- Sistema Nervoso Centrale: l'instabilità emodinamica e la risposta infiammatoria sistemica compromettono l'integrità della barriera emato-encefalica. L'attivazione della microglia e i processi di neuroinfiammazione contribuiscono a un danno cerebrale secondario che si manifesta clinicamente con alterazioni qualitative e quantitative dello stato di coscienza.
- Apparato Digerente: Come meccanismo di compenso emodinamico precoce l'organismo attiva la vasocostrizione splanchnica per preservare gli organi nobili inducendo un'ischemia intestinale relativa. La conseguente disfunzione della barriera mucosa facilita la traslocazione di batteri e tossine nel circolo portale e sistemico, alimentando e amplificando ulteriormente il rilascio di mediatori flogistici.

Coagulopatia Indotta da Trauma (TIC)

Per Coagulopatia trauma indotta (TIC) si intende un funzionamento patologico del processo coagulativo tipicamente indotto dal trauma.(47) La Coagulopatia Indotta da Trauma è una condizione acquisita fatale nel 30-50% dei pazienti con trauma maggiore. (66)

Innanzitutto, bisogna distinguere la TIC endogena dalla coagulopatia iatrogena indotta dalla rianimazione. Quest'ultima è causata dalla diluizione dei fattori della coagulazione in seguito alla somministrazione di cristalloidi o emoderivati non bilanciati. (67)

La patogenesi della TIC è multifattoriale e, come abbiamo detto, viene innescata dall'acidosi conseguente l'ipoperfusione, il danno tissutale e la disfunzione del glicocalice. (48) (49) (52) Inoltre, è stato riconosciuto un ruolo anche nell'eziologia della TIC dalle risposte ormonali innescate dal trauma cranico. (47)

I meccanismi alla base della TIC sono vari e spaziano dalle alterazioni nella formazione del coagulo, della fibrinolisi e, in generale, delle vie di attivazione della cascata coagulativa.(23,49,68)

Attivazione della Proteina C: lo shock e il danno endoteliale promuovono la formazione del complesso trombina-trombomodulina sulla superficie vascolare. Tale complesso attiva la Proteina C, un potente anticoagulante endogeno che degrada i fattori V e VIII della cascata coagulativa, inibendo drasticamente la generazione di trombina e la stabilizzazione del coagulo.

Disfunzione del Fattore di von Willebrand (VWF): il trauma induce il rilascio di multimeri ultra-grandi di VWF (ULVWFs) dall'endotelio attivato. La concomitante riduzione dell'attività dell'enzima ADAMTS13 ne impedisce il corretto clivaggio, favorendo fenomeni di microtrombosi e aggravando l'endoteliopatia.

Ipoibrinogenemia: il fibrinogeno rappresenta il primo fattore della coagulazione a raggiungere livelli critici durante un'emorragia massiva. La sua precoce deplezione compromette sia la polimerizzazione della fibrina che l'aggregazione piastrinica, risultando un marker affidabile di severità del trauma;

Disfunzione Piastrinica: specialmente nei pazienti con trauma cranico (TBI) si osserva frequentemente una disfunzione piastrinica acquisita. Questo difetto è spesso mediato da una *down regulation* dei recettori P2Y12, che rende le piastrine refrattarie all'attivazione da parte dell'ADP e ne inibisce la capacità aggregante.

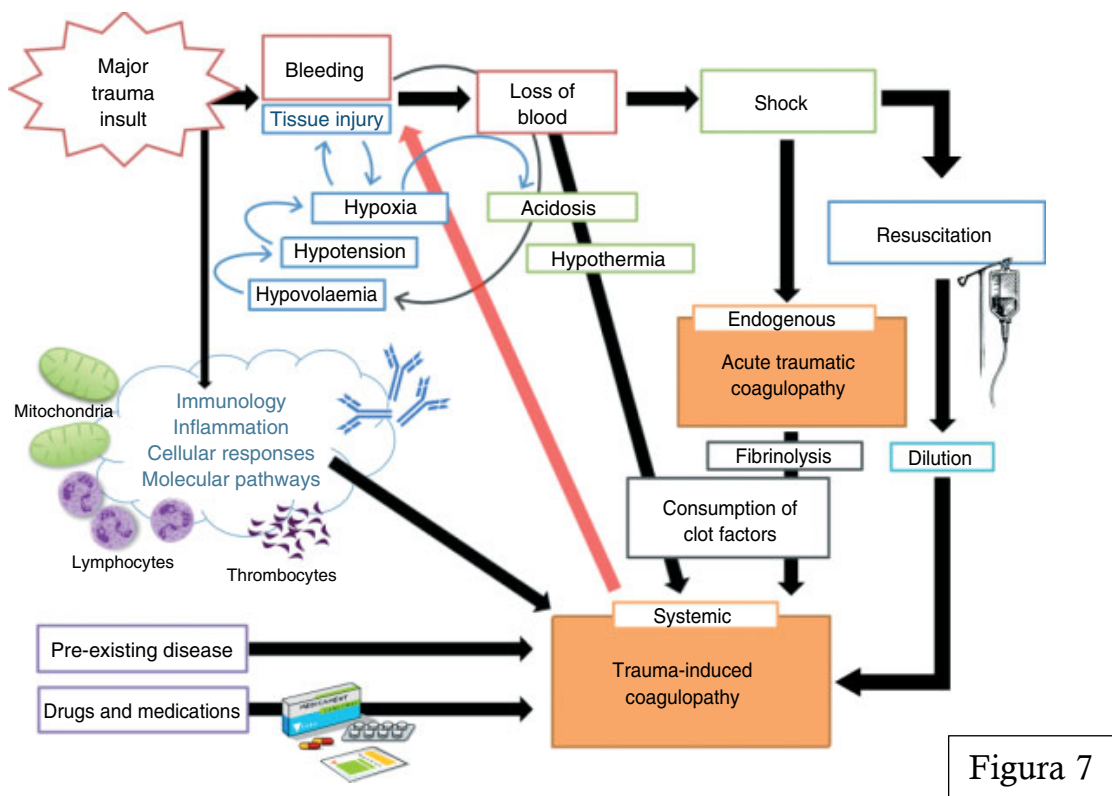
Dall'altra parte, il sistema fibrinolitico, deputato alla lisi del coagulo, subisce una profonda disregolazione che si manifesta con due fenotipi clinici opposti e parimenti pericolosi:

1. Iperfibrinolisi (HF): riscontrata in circa il 18% dei traumi gravi, questa condizione è caratterizzata da un rilascio massivo di attivatore tissutale del plasminogeno (tPA) dall'endotelio ipoperfuso. Quando il tPA supera la capacità inibitoria del suo antagonista naturale (PAI-1) si

innesca una lisi incontrollata dei coaguli formati, esitando in sanguinamenti incoercibili ad altissima mortalità;

2. Fibrinolysis shutdown (FS): questo fenotipo è caratterizzato da uno stato di ipofibrinolisi, significativamente più comune dell'iperfibrinolisi (circa il 46% dei casi). Il massiccio rilascio di PAI-1 derivante principalmente dall'attivazione piastrinica blocca la lisi del coagulo. Sebbene possa sembrare un meccanismo protettivo contro il sanguinamento, lo *shutdown* aumenta drasticamente il rischio di complicanze tromboemboliche macrovascolari e microvascolari, contribuendo in modo decisivo alla disfunzione d'organo.

La figura seguente prova a riassumere tutti i meccanismi fisiopatologici fin qui elencati (Figura 7.) (68)



La Triade e il Diamante Letale

La "triade letale" del trauma descrive un circolo vizioso catastrofico espresso da ipotermia, acidosi e coagulopatia che si condizionano e aggravano

mutuamente portando a un rapido declino del paziente. La comprensione dei suoi meccanismi è il presupposto fondamentale della *Damage Control Resuscitation* (DCR) la cui strategia mira proprio all'interruzione precoce di questo ciclo. (48) (49,69,70)

ACIDOSI

L'acidosi nel trauma è la conseguenza diretta dello shock emorragico. L'ipoperfusione tissutale determina uno shift verso il metabolismo anaerobico con conseguente accumulo di acido lattico. Il lattato sierico e il deficit di basi sono i marker clinici di riferimento e rappresentano indicatori indiretti della gravità dell'ipossia cellulare. Gli effetti dell'acidosi sono sistemici e nefasti e comprendono:

- disfunzione miocardica: riduce la contrattilità cardiaca, peggiorando lo stato emodinamico;
- compromissione della coagulazione: l'acidosi inibisce la fase di generazione di trombina. È stato dimostrato che a un pH di 6,8 l'attività del complesso fattore Xa/Va può ridursi fino al 90%, rendendo la cascata coagulativa virtualmente inefficace.

IPOTERMIA

Definita come una temperatura corporea centrale $< 35^{\circ}\text{C}$ l'ipotermia nel traumatizzato è spesso di origine multifattoriale (esposizione ambientale, infusione di fluidi freddi, alterazione della termoregolazione indotta dallo shock). Il suo impatto sulla sopravvivenza è critico poiché agisce come un catalizzatore della coagulopatia attraverso:

- la riduzione dell'attività enzimatica dei fattori della coagulazione (temperatura-dipendenti);
- l'alterazione della funzione e dell'adesione piastrinica;
- l'inibizione della sintesi e del cross-linking del fibrinogeno.

COAGULOPATIA

Come analizzato precedentemente, rappresenta una condizione endogena precoce innescata dallo shock e da diversi fattori da esso innescati.

(49,69,70)

I componenti della triade agiscono in modo sinergico: l'emorragia causa ipoperfusione che alimenta acidosi e ipotermia. Queste ultime degradano l'efficienza della coagulazione portando a un ulteriore sanguinamento. Questo "effetto negativo additivo" culmina se non interrotto da un intervento tempestivo, nel collasso cardiovascolare irreversibile. (68)

Recentemente il modello trino è stato implementato in letteratura scientifica con l'integrazione di un nuovo elemento potenzialmente significativo: Il CALCIO. La triade letale è stata rinominata "*diamante letale*", inserendo l'ipocalcemia come quarto punto critico. (figura 8) (71)

IPOCALCEMIA

Il calcio ionizzato è infatti un cofattore indispensabile per:

- la cascata coagulativa;
- l'attivazione e l'aggregazione piastrinica;
- la contrattilità miocardica e il tono vasomotorio arterioso.

L'ipocalcemia nel trauma è precoce e spesso aggravata dalla terapia trasfusionale

massiva: il citrato utilizzato come anticoagulante nelle sacche di sangue chela il calcio del ricevente riducendo drasticamente la biodisponibilità. (72)

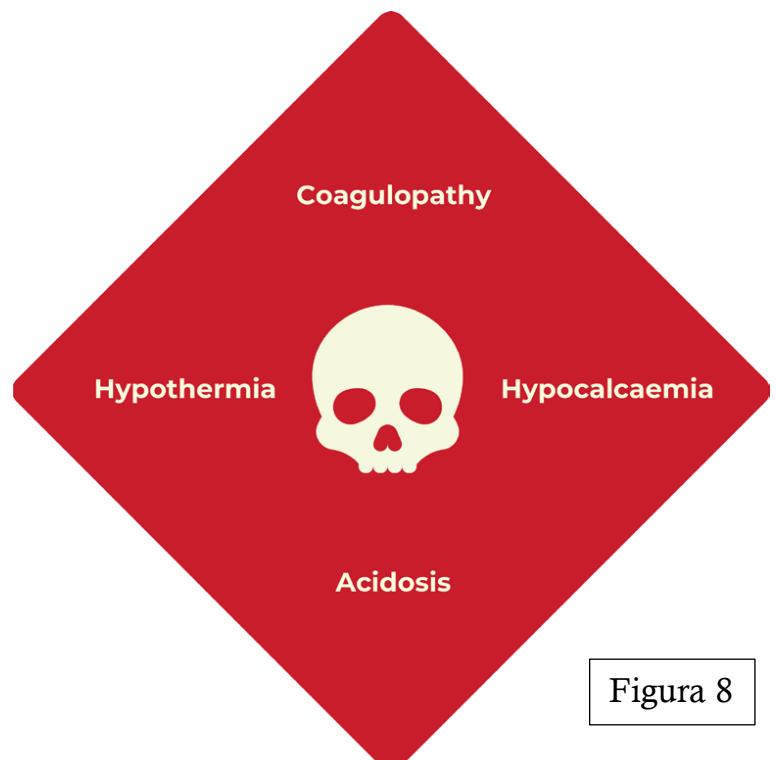


Figura 8

Nonostante la solidità fisiopatologica del ruolo del calcio studi recenti hanno messo in discussione l'effettivo valore prognostico aggiunto del modello a "diamante" rispetto alla triade classica. (73) Secondo un recente studio pubblicato nel 2025 su un database di oltre 2100 pazienti distribuiti in più di dieci anni, mentre acidosi, ipotermia e coagulopatia restano predittori indipendenti di mortalità, l'ipocalcemia perde significatività statistica quando corretta per gli altri fattori. Questo suggerisce che l'ipocalcemia potrebbe essere più un epifenomeno dello shock profondo che un driver indipendente di mortalità. Il modello della triade rimane dunque il riferimento gold standard per la stratificazione del rischio. La ricerca futura dovrà concentrarsi non tanto sulla validazione del "diamante", quanto sulla definizione di protocolli precisi per il *timing* e il dosaggio della supplementazione di calcio, ottimizzando l'emostasi senza incorrere in complicanze iatrogene.(74)

NOZIONI SUL TRATTAMENTO DELLO SHOCK EMORRAGICO

L'approccio strategico al trattamento dello shock emorragico è un argomento complesso e con molteplici aspetti, qui esamineremo alcuni capisaldi. È opportuno ricordare che come molte patologie tempo dipendenti la gestione inizia fin dalle prime fasi e prosegue nel tempo con la gestione delle complicanze, quindi si inizia dal territorio con la fase pre ospedaliera e prosegue con la fase ospedaliera chirurgica e di terapia intensiva. (48) (49)

La **Damage Control Resuscitation (DCR)** è una strategia strutturata, dinamica e adattabile, basata sulla rianimazione emodinamica, emostatica e metabolica, utilizzabile nei pazienti con politrauma grave in qualsiasi contesto (pre-ospedaliero, pronto soccorso, sala di embolizzazione, sala operatoria o sala di rianimazione). La DCR mira a controllare rapidamente il sanguinamento e a prevenire la coagulopatia mantenendo la capacità di

trasporto dell'ossigeno e la perfusione tissutale. Per raggiungere questo obiettivo, vengono somministrati simultaneamente i seguenti livelli di trattamento:

- **Rianimazione emodinamica:** basata su una fluidoterapia restrittiva, ipotensione permissiva e trasfusione massiva.
- **Rianimazione metabolica:** volta a proteggere il paziente da ipotermia, acidosi, coagulopatia e ipocalcemia.
- **Rianimazione emostatica:** associata al controllo simultaneo dell'emorragia per prevenire o invertire la coagulopatia indotta dal trauma (TIC). (75)

Controllo dell'emorragia

Una priorità assoluta è il controllo della fonte del sanguinamento, poiché nessuna rianimazione può avere successo se la perdita ematica continua.(76)(77) Per le emorragie esterne le tecniche di controllo includono:

- Compressione manuale diretta: È la prima manovra da eseguire su una ferita sanguinante.
- Tourniquet: Indicato in caso di sanguinamento profuso da un arto quando la compressione diretta non è efficace e il paziente mostra segni di shock scompensato. Il suo utilizzo comporta il rischio di ischemia distale e deve essere riservato a situazioni critiche.

Rianimazione Emodinamica

Le linee guida raccomandano l'inserimento di due cannule venose periferiche di grosso calibro (almeno 18 gauge nell'adulto). Secondo la legge di Poiseuille, la velocità di infusione è direttamente proporzionale al raggio della cannula e inversamente proporzionale alla sua lunghezza. Per questo motivo, cannule corte e di grosso calibro sono ideali per infondere rapidamente grandi volumi di liquidi. (62)(60) La strategia di reintegro dei volumi deve essere bilanciata e guidata dalla risposta del paziente. Le principali soluzioni infuse sono:

1. Cristalloidi: il trattamento iniziale prevede l'infusione di soluzioni cristalloidi isotoniche (es. Ringer lattato), preferibilmente riscaldate per prevenire l'ipotermia.

2. Sangue ed emoderivati: vi è una crescente evidenza sulla superiorità dei prodotti emoderivati sui cristalloidi nella rianimazione volemica. (78) Inoltre alcuni parametri, come lo shock index all'arrivo, sono predittori di necessità di trasfusioni massive. (61) Una rianimazione bilanciata prevede l'uso non solo di emazie concentrate ma anche di emoderivati come plasma fresco congelato (PFC), piastrine e crioprecipitati per contrastare la coagulopatia.(49) Diverse evidenze sostengono l'emotrasfusione già in contesto pre ospedaliero. (79)

L'evidenza scientifica ha dimostrato che l'infusione di grandi volumi di liquidi causa ipossia, acidosi, ipotermia, coagulopatia, iperfibrinolisi diluizionale e disfunzione multiorgano. (48)

Infine è fondamentale la rivalutazione continua del paziente. La risposta alla terapia infusione deve essere monitorata attentamente per adattare il trattamento e per identificare precocemente la persistenza di un'emorragia, specialmente se occulta. Una scarsa risposta al reintegro volemico o alla DCR deve far sospettare un sanguinamento attivo che richiede un intervento definitivo.

Rianimazione Emostatica e Gestione della Coagulopatia

Il trial PROPPR (*Pragmatic, Randomized Optimal Platelet and Plasma Ratios*) del 2015 ha stabilito l'uso di trasfusioni bilanciate di emocomponenti per la rianimazione dello shock emorragico. Questo studio, che ha coinvolto 12 importanti centri traumatologici statunitensi, ha dimostrato che la rianimazione con emocomponenti trasfusi in un rapporto fisso di 1:1:1 (plasma:piastrine:globuli rossi concentrati) ha ridotto la mortalità per dissanguamento a 24 ore rispetto alla trasfusione di componenti in un rapporto fisso di 1:1:2 (9,6% contro 14,6%).(80)

Lesioni gravi ed emorragia massiva possono indurre una coagulopatia precoce, presente fino al 30% dei pazienti con trauma maggiore al loro arrivo in pronto soccorso. Questa condizione è aggravata dall'ipotermia e dalla diluizione dei fattori della coagulazione dovuta a infusioni massive.(67)

È importante eseguire precocemente esami come PT, PTT e conta piastrinica. Tuttavia, i test viscoelastici (VEA), eseguiti tramite tromboelastografia (TEG) o tromboelastometria rotazionale (ROTEM), della coagulazione fornendo una misura rapida e integrata della formazione e della dissoluzione del coagulo rispetto ai test di coagulazione convenzionali (CCT). Inoltre, i VEA possono rilevare l'iperfibrinolisi o il blocco della fibrinolisi, non individuabili dai CCT, sebbene in alcune occasioni i VEA possano non rilevare la cosiddetta fibrinolisi occulta. Né i VEA né i CCT valutano la complessa influenza dell'endotelio sull'attività emostatica.

Con il progredire della *Damage Control Resuscitation* (DCR), l'esecuzione seriale di test viscoelastici identifica in modo affidabile specifiche coagulopatie e delinea i fenotipi fibrinolitici in un contesto clinico realistico e in modo più tempestivo rispetto ai test convenzionali. Ad esempio, i VEA possono prevedere la necessità specifica di plasma o suggerire invece il crioprecipitato per la coagulopatia indotta da trauma (TIC) ancor prima che il sanguinamento sia clinicamente evidente. Questi test possono anche prevedere la necessità di una trasfusione massiva in modo più precoce e accurato rispetto al giudizio clinico o ai CCT.

Inoltre, anche le piastrine giocano un ruolo non del tutto chiarito. Un sanguinamento maggiore può facilmente “consumare” le piastrine circolanti. La trombocitopenia all'ingresso dopo un trauma è stata correlata a un aumento della mortalità; i tassi di sopravvivenza più elevati si osservano nei pazienti che ricevono il più alto rapporto tra piastrine ed eritrociti durante la trasfusione. (81) "Sebbene la conta piastrinica e l'esito clinico siano correlati, poco si sa dei potenziali meccanismi alla base di questa associazione. La

funzionalità è probabilmente più importante della conta piastrinica assoluta. La funzione piastrinica è, in una certa misura, riflessa dai test emostatici viscoelastici (VHA) come la tromboelastografia (TEG®) e la tromboelastometria rotazionale (ROTEM®). (68)

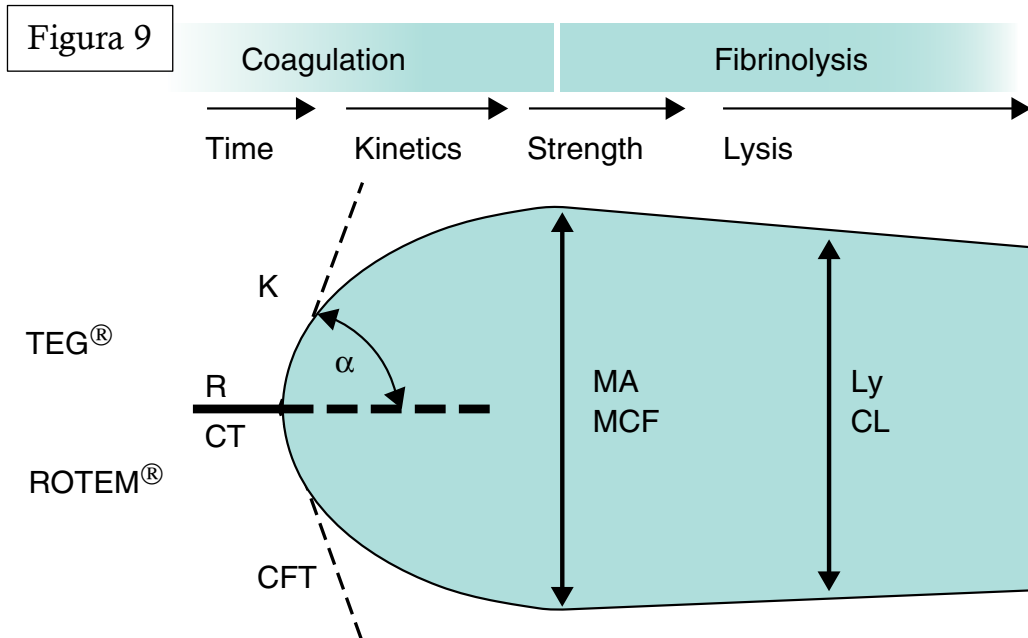
Infine, i livelli di fibrinogeno, la formazione di fibrina e la fibrinolisi indotta dal trauma sono stati elementi centrali nell'indagine sulla coagulopatia traumatica.(49) La fibrinolisi primaria sembra essere fondamentale nella TIC e si manifesta precocemente (meno di 1 ora) dopo il trauma. La fibrinolisi è associata alla necessità di trasfusioni massive, alla coagulopatia e alla morte correlata all'emorragia. Il trauma altera il metabolismo del fibrinogeno in vari modi. Un'emorragia in corso può causare una degradazione accelerata del fibrinogeno. La somministrazione di acido tranexamico (TXA) nelle fasi precoci dal trauma ha dimostrato un miglioramento della sopravvivenza. (82) La perdita di sangue e la diminuzione della temperatura corporea centrale inibiscono la sintesi del fibrinogeno, mentre l'acidosi ne accelera la degradazione.(68)

Alla luce di quanto detto, appare fondamentale nella DCR del paziente politraumatizzato la comprensione e l'uso dei test viscoelastici.

I TEST VISCOELASTICI

I vantaggi dei VHA sono molteplici e includono la valutazione del sistema coagulativo nel sangue intero. L'endpoint è clinicamente rilevante, ovvero la coagulazione nel sangue intero (formazione di fibrina, retrazione del coagulo e fibrinolisi). I risultati sono disponibili rapidamente (in circa 20 minuti) in modo da poter prendere decisioni cliniche fondamentali per il paziente in tempo reale. (68) Il test viscoelastico è particolarmente utile, ad esempio, nel suggerire la possibilità di una coagulopatia dovuta a disfunzione piastrinica in un paziente con trauma cranico e conta piastrinica normale. Inoltre, i VEA

possono identificare fattori complicanti come gli effetti di trattamenti farmacologici preesistenti con anticoagulanti orali diretti (DOAC).



(83)FIGURA 9: "Valutazione della coagulazione tramite tromboelastografia (TEG®). Tracciato schematico che indica le variabili comunemente riportate: tempo di reazione (R)/tempo di coagulazione (CT), tempo di formazione del coagulo (K, CFT), angolo α , ampiezza massima (MA)/massima compattezza del coagulo (MCF) e lisi (Ly)/lisi del coagulo (CL). Gli esempi per la lettura includono la TEG® (parte superiore) e la tromboelastometria rotazionale (ROTEM®) (parte inferiore).

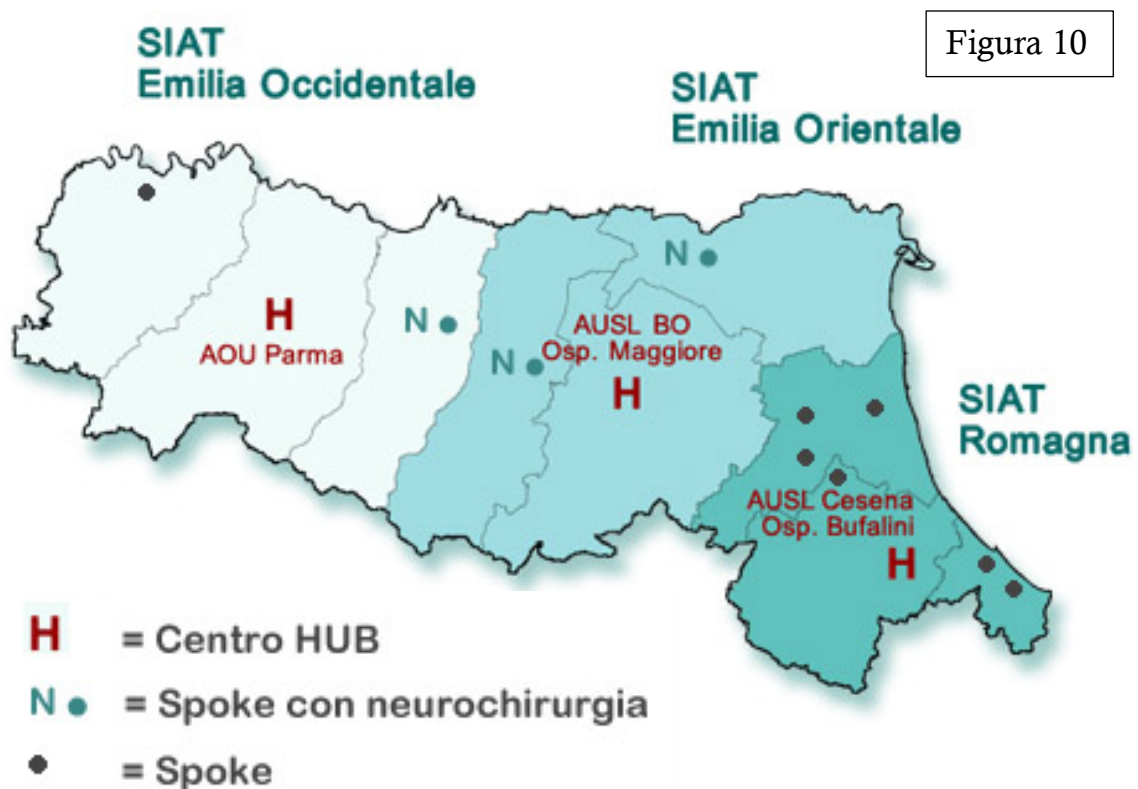
Il TEG®, il ROTEM® e il Sonoclot® Coagulation & Platelet Function Analyzer (Sienco, Arvada, Colorado, USA) sono alcuni esempi di test viscoelastici (VHA) che possono fungere da strumenti diagnostici bedside. La tromboelastografia rapida (tromboelastografia con l'aggiunta di fattore tissutale) rappresenta un'alternativa, insieme a diverse altre modifiche di questa tecnologia. Le tecnologie più ampiamente studiate e utilizzate sono il TEG® e il ROTEM®. Questi strumenti misurano e riproducono il fenomeno della coagulazione in formato grafico e/o numerico (Figura 9). (68)

Bisogna ricordare che i test viscoelastici come la TEG utilizzati per diagnosticare l'iperfibrinolisi possono richiedere fino a 60 minuti prima di ottenere risultati su cui basare la terapia antifibrinolitica con acido tranexamico (TXA). (84) Ritardi nella somministrazione di TXA riducono l'efficacia del farmaco, mentre la somministrazione empirica espone i pazienti senza iperfibrinolisi ai rischi di tromboembolismo venoso (TEV) indotto da TXA e insufficienza d'organo. (85) Ancora più preoccupanti sono i potenziali effetti avversi della somministrazione di TXA a pazienti con blocco della fibrinolisi (FS).(86) Il rilevamento dell'iperfibrinolisi può guidare l'uso selettivo di TXA piuttosto che il trattamento empirico di tutti i pazienti traumatizzati con questo antifibrinolitico potenzialmente pericoloso. Fino a poco tempo fa, i risultati dei VEA dipendevano dall'accuratezza del pipettaggio; questa sfida è stata superata e l'accuratezza è migliorata grazie ai sistemi a cartucce precaricate come TEG 6S e ROTEM Sigma. Attualmente si suggerisce che l'uso dei VEA nella DCR possa migliorare la sopravvivenza e ridurre la trasfusione di emocomponenti.(49)

1.6 IL SIAT E LA RETE TRAUMA IN EMILIA ROMAGNA

Il **SIAT** (Sistema Integrato Assistenza al Trauma) della regione Emilia Romagna è organizzato secondo il modello Hub&Spoke ("mozzo e raggi"): i casi più complessi e a più alto consumo di risorse vengono centralizzati in poli di eccellenza (Hub) in modo da garantire una elevata qualità assistenziale e un utilizzo efficiente delle risorse.

Ogni SIAT ha come riferimento un Centro Traumi (Hub) al quale sono connessi gli ospedali periferici (Spoke). La finalità generale del SIAT è quella di organizzare e coordinare i percorsi di assistenza ai pazienti traumatizzati, per assicurare tempestività e appropriatezza degli interventi in modo omogeneo in tutto il territorio di competenza.



Attualmente, la regione si trova divisa in 3 aree principali (figura 10):

SIAT Emilia Occidentale: HUB AOU PARMA

SIAT Emilia Orientale: HUB Ospedale Maggiore - BOLOGNA

SIAT Romagna: HUB Ospedale M. Bufalini - CESENA

IL REGISTRO TRAUMI

I primi elementi per un sistema di monitoraggio continuo dell'assistenza al trauma, alla base del futuro Registro regionale, sono nati ad opera di un gruppo ristretto di professionisti presso l'Ospedale Maggiore di Bologna.

Nel 1988 un team multispecialistico, coordinato da alcuni medici rianimatori, ha dato inizio a un percorso strutturato ospedaliero per la patologia traumatica. I professionisti del team, sostenuti da una forte motivazione, costituirono un'organizzazione interna, assolutamente volontaria, per migliorare la gestione dei pazienti che arrivavano in ospedale. Nello stesso anno, grazie anche al contatto con esperienze statunitensi, venne creato un registro informatizzato per i pazienti con trauma maggiore ricoverati in terapia intensiva.

Dal 1997, all'esperienza dell'Ospedale Maggiore si unì quella dell'Ospedale Bufalini di Cesena che iniziò a raccogliere, in maniera informatizzata, dati sui pazienti traumatizzati ricoverati in terapia intensiva.

Il 2002 anche l'Ospedale Maggiore di Parma si univa alle due esperienze precedenti, introducendo un proprio registro per i traumi ammessi in rianimazione. La fine del 2006 vede l'inizio ufficiale del Registro regionale, con dati relativi a circa 800 pazienti per anno ricoverati in terapia intensiva per trauma maggiore o trauma complicato.

Il Registro regionale dei traumi gravi è un flusso informativo nel quale confluiscono dati sui pazienti traumatizzati, sui percorsi assistenziali attivati e sugli esiti delle cure.

La valutazione della qualità dell'assistenza è uno degli obiettivi primari del Sistema sanitario regionale (SSR). L'istituzione dei registri è essenziale per la rilevazione e il controllo degli esiti delle funzioni sanitarie organizzate secondo il modello delle reti integrate. Raccogliere, organizzare e condividere le informazioni serve a monitorare e a valutare il funzionamento del sistema regionale integrato di assistenza ai traumi. Una delle potenzialità del registro è la possibilità, attraverso il link con la banca dati delle schede di dimissione

ospedaliera, di ricostruire l'intero percorso di cura del paziente, anche se frammentato in più centri. La disponibilità del database consente inoltre di mettere gli operatori in condizione di imparare dall'esperienza propria e di confrontarsi con quella degli altri centri (benchmarking). Il registro è uno strumento che produce conoscenze utili a un puntuale governo della rete e a orientare l'investimento nell'innovazione, nonché potenziamenti, tecnologici e organizzativi.

IL SIAT ROMAGNA

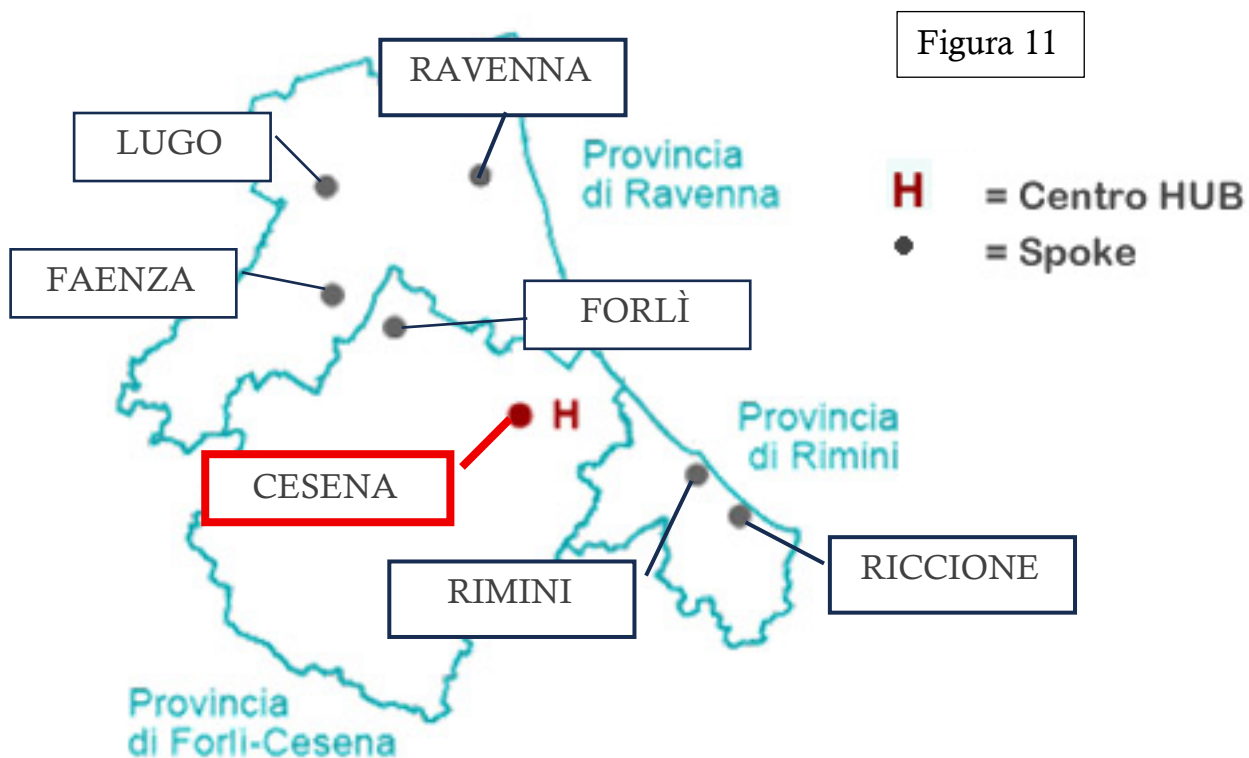
Il SIAT della Romagna, nato nel 2002, si è sviluppato su una rete di area vasta preesistente, creata per la centralizzazione sull'Ospedale Bufalini della patologia di pertinenza neurochirurgica (traumi cranici, lesioni vascolari intracerebrali, ecc.). Dalla fine degli anni '90 esistono protocolli diagnostici e di trattamento condivisi e dal dicembre 1997 è attiva una rete di trasmissione telematica delle immagini per il teleconsulto neurochirurgico.

Presso l'Ospedale Bufalini di Cesena è presente uno dei due centri di riferimento regionale per "grandi ustionati", che ha un bacino di utenza anche extraregionale.

Nel territorio romagnolo erano storicamente attive quattro centrali operative 118 (Cesena, Forlì, Ravenna, Rimini). Dal 2007 è iniziato il processo di unificazione di tutte le centrali operative romagnole che si è concluso nel febbraio 2009 con l'istituzione di una Centrale unica di Area vasta con base a Ravenna (Romagna Soccorso).

Dal 1989 esiste una base di elisoccorso a Ravenna. Dal 2002, secondo un protocollo SIAT, l'eliambulanza effettua centralizzazione primaria sull'Hub di tutti i traumi maggiori.

Il sistema si compone, dunque, di un centro HUB per la patologia traumatica maggiore (Osp. M. Bufalini – Cesena) e di altri centri SPOKE del territorio (figura 11).



Il paziente vittima di trauma maggiore intercettato dal sistema 118 viene valutato sul posto da equipaggi a gestione infermieristica (MSI – Mezzo Soccorso Infermieristico) o medica (MSA – Mezzo Soccorso Avanzato). La rete trauma viene attivata già dal territorio con la telefonata al pronto soccorso e al trauma leader. Se il paziente, per criteri clinici (lesioni riportate evidenziabili) o fisiologici (parametri vitali) o dinamici è elegibile di centralizzazione presso l’hub di Cesena. verrà costituito il trauma team dedicato all’accoglienza del traumatizzato in shock room. (tabella seguente)

PRIORITÀ 1	paziente non grave, stabile	Valutazione in TRIAGE
PRIORITÀ 2	paz mediatamente grave, pot evolutivo	Valutazione in Shock Room medico esperto PS
PRIORITÀ 3	paziente grave, instabile	Valutazione in Shock Room Trauma Team composto da Trauma Leader (Rianimatore esperto) e medico di PS esperto con altri specialisti di riferimento eventuali

II. L'ECOGRAFIA NEL TRAUMA

2.1 PRINCIPI FISICI E CENNI ECOGRAFICI

La comprensione dei principi fisici che regolano la propagazione degli ultrasuoni rappresenta un prerequisito essenziale per l'applicazione clinica dell'ecografia, in particolare per ottimizzare la qualità dell'immagine, interpretarne correttamente il contenuto e integrarne i risultati nella valutazione del paziente.(87)

I principi fisici fondamentali per ottimizzare l'ecografia clinica includono la frequenza, la velocità di propagazione, l'ultrasuono pulsato, l'interazione con i tessuti, l'angolo di incidenza e l'attenuazione. Gli ultrasuoni sono energia meccanica che viaggia attraverso un mezzo sotto forma di onde longitudinali con fasi alternate di alta pressione (compressione) e bassa pressione (rarefazione) con frequenze superiori alla soglia uditiva dell'uomo (>20 kHz). Nell'ecografia clinica i mezzi coinvolti sono aria, acqua, fluidi corporei, tessuti molli, sangue e osso.(88)

L'emissione dell'onda ultrasonora è affidata a cristalli piezoelettrici contenuti nel trasduttore, i quali convertono impulsi elettrici in vibrazioni meccaniche e, inversamente, ricevono onde riflesse traducendole in segnali elettrici processabili.(87) Le onde riflesse dai tessuti, chiamate echi, determinano l'ecogenicità sullo schermo: tessuti densi come l'osso appaiono bianchi (iperecogeni), mentre i fluidi appaiono neri (anecogeni). Se il suono non può attraversare una struttura, come l'osso o l'aria, si genera un'ombra acustica posteriore.(88)

La frequenza, misurata in hertz (Hz), indica il numero di cicli al secondo e determina il compromesso tra risoluzione e penetrazione: frequenze maggiori (da 1 a 20 MHz) migliorano la risoluzione ma riducono la profondità

d'immagine. Le apparecchiature ecografiche mediche operano generalmente in un range compreso tra 2 e 15 MHz. (89)

La velocità di propagazione, mediamente di 1540 m/sec nei tessuti molli, dipende dalla densità e dalla rigidità del mezzo ma non dalla frequenza. L'ampiezza rappresenta la forza dell'onda e la sua potenza è proporzionale al quadrato dell'ampiezza stessa, entrambi parametri regolabili dall'operatore tramite il guadagno (gain). L'intensità è la potenza distribuita su una specifica area, con il picco spaziale che identifica il punto focale del fascio. I decibel (dB) esprimono il rapporto logaritmico tra intensità, seguendo la regola dei 3dB per cui ogni incremento di 3dB richiede il raddoppio della potenza erogata.(90)

L'angolo di incidenza ideale è perpendicolare alla struttura per massimizzare il ritorno degli echi; angoli obliqui riducono luminosità e risoluzione o causano rifrazione se la velocità dell'onda differisce tra due media. Le interfacce lisce agiscono come riflettori speculari, mentre quelle irregolari causano una riflessione diffusa che riduce la qualità d'immagine. Lo *scattering di Rayleigh* si verifica quando gli oggetti, come i globuli rossi, sono più piccoli della lunghezza d'onda, disperdendo il suono in tutte le direzioni.(91)(88)

Poiché gli ultrasuoni non viaggiano nell'aria, è necessario un mezzo di accoppiamento come il gel. L'attenuazione è la riduzione dell'energia del fascio dovuta a rifrazione, scattering e assorbimento (che genera calore) e aumenta proporzionalmente alla frequenza e alla profondità. L'ecografista deve quindi bilanciare frequenza e guadagno per ottenere la migliore visibilità possibile a seconda della profondità della struttura target.(90)

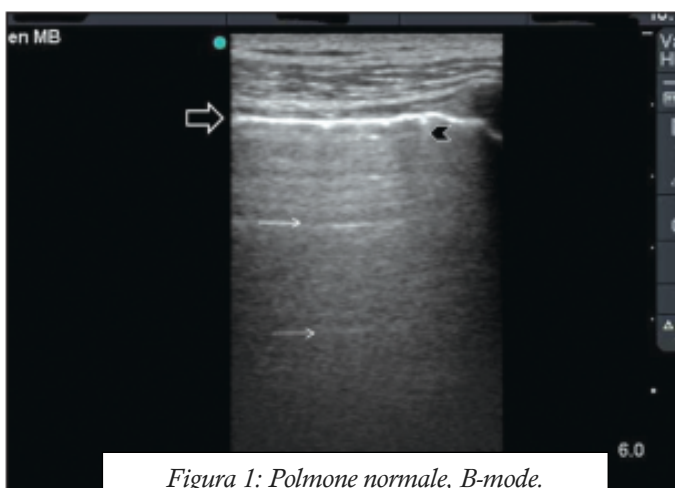
Le principali modalità operative dell'ecografia clinica sono B-mode, M-mode e D-mode.

- B-mode (Brightness Mode): costituisce la modalità di base. Genera una rappresentazione bidimensionale su scala di grigi, basata sull'intensità dell'eco riflesso (figura 1). Strutture anecogene appaiono nere; quelle

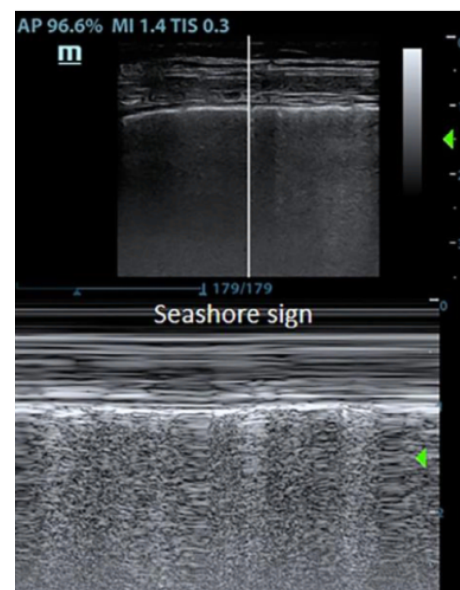
ipoecogene, isoecogene o iperecogene variano dal grigio al bianco in base al grado di riflessione.(89)

- M-mode (Motion Mode): consente di analizzare il movimento dei tessuti lungo una singola linea ecografica nel tempo (figura 2). È utile per visualizzare dinamiche fisiologiche come la cinetica valvolare o il movimento pleurico. (88)
- D-mode (Doppler Mode): sfrutta l'effetto Doppler per valutare la direzione e la velocità del flusso ematico (figura 3). Le varianti includono:
 - Color Doppler, che visualizza i flussi in base alla direzione tramite codifica cromatica;
 - Power Doppler, più sensibile nel rilevare anche flussi lenti, ma privo di informazione direzionale;
 - Spectral Doppler, che fornisce un tracciato grafico della velocità nel tempo.(92)

Queste modalità sono impiegate in funzione del quesito clinico, della sede anatomica e delle caratteristiche tecniche del trasduttore utilizzato.



*Figura 1: Polmone normale, B-mode.
Tratta da "Abu-Zidane FM, 2011"*



*Figura 2: Polmone normale, M-mode.
Tratto da "Inchingolo R, 2024"*

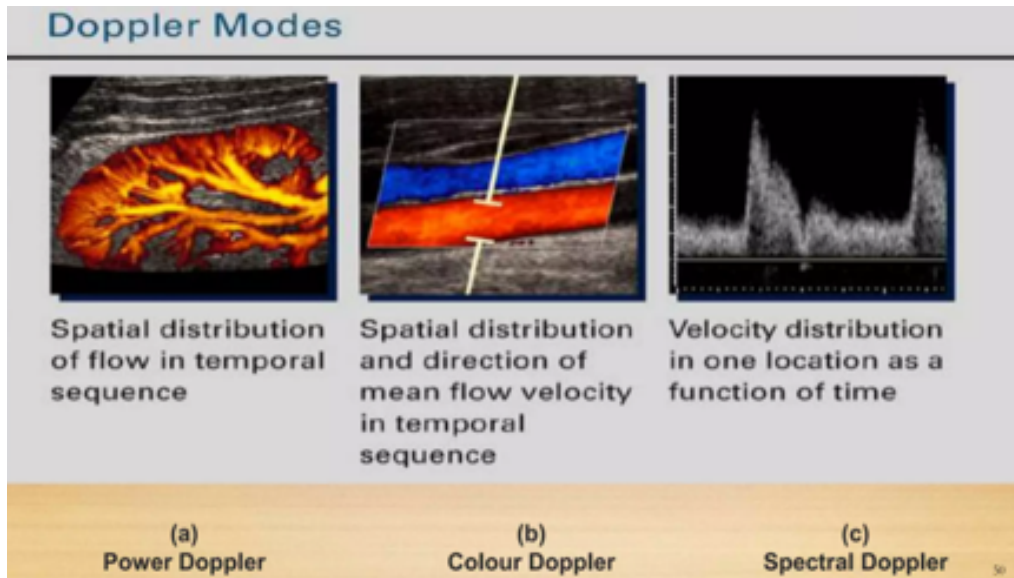


Figura 3: Le diverse modalità Doppler.

Tratto da "Arunangshu C, 2022"

L'ecografo è composto da diversi elementi sinergici: sonda, sistema elettronico, monitor di visualizzazione e dispositivi di registrazione. Il cuore del sistema è il trasduttore, responsabile dell'emissione e ricezione delle onde ultrasonore. (87)

- Sonde:
 - Lineari: alta frequenza (5-10 MHz), bassa penetrazione, elevata risoluzione; indicate per strutture superficiali (vasi, pleura, tessuti molli).
 - Convex (curvilinee): bassa frequenza (2-5 MHz), buona penetrazione; adatte a esami addominali e pelvici.
 - Settoriali: bassa frequenza (1-5 MHz), campo visivo a settore stretto; ideali per l'imaging cardiaco trans-toracico o trans-esofageo.(91)
- Sistema elettronico: elabora e digitalizza il segnale riflesso, regolando parametri come guadagno, profondità, focalizzazione e compensazione del tempo.
- Sistema di visualizzazione: proietta l'immagine in tempo reale su un monitor, permettendo l'interpretazione clinica diretta.

- Sistema di registrazione: consente il salvataggio dell'immagine tramite supporti digitali o cartacei.(87)

2.2 IL RUOLO DELL'ECOGRAFIA NEL TRAUMA

La principale causa di morte nei traumi è lo shock ipovolemico. L'esame obiettivo presenta limitazioni nella rilevazione di emopericardio, emoperitoneo ed emopneumotorace. La tomografia computerizzata (TC) rappresenta il gold standard per la valutazione delle lesioni traumatiche. Tuttavia, la TC non è sempre immediatamente disponibile, è più costosa e può presentare difficoltà logistiche legate al trasporto del paziente, soprattutto in caso di instabilità emodinamica.(93)

In questo scenario, si è affermata l'ecografia come metodica rapida, ripetibile, portatile e non invasiva, finalizzata alla rilevazione di emopericardio, emoperitoneo ed emopneumotorace, secondo una modalità "point-of-care" nota come protocollo FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma). Il protocollo è indicato nei pazienti emodinamicamente instabili con trauma addominale contusivo, trauma penetrante nella regione toraco-addominale e in qualsiasi paziente instabile con causa dell'instabilità non nota. Il protocollo FAST tradizionale prevede l'esame di quattro regioni: pericardio, per identificare tamponamento cardiaco, quadrante addominale superiore destro, quadrante addominale superiore sinistro e pelvi per rilevare emoperitoneo. Il cosiddetto protocollo Extended FAST (eFAST) include anche la valutazione degli spazi pleurici per la rilevazione di emotorace e pneumotorace. Il FAST/e-FAST è progettato per fornire una risposta semplice ("sì" o "no") sulla presenza di sanguinamento. Non ha lo scopo di quantificare l'entità dell'emorragia né di valutare eventuali lesioni d'organo, data la sua limitata accuratezza a questo scopo.(94)

Inoltre, la quantità di sanguinamento e/o l'identificazione di lesioni d'organo non modificano la gestione clinica: i pazienti emodinamicamente instabili con

FAST positivo devono essere portati immediatamente in sala operatoria. La TC va invece considerata nei pazienti emodinamicamente stabili. (95)

Sebbene non vi siano controindicazioni assolute al suo impiego, è importante sottolineare che l'eFAST non deve ritardare l'inizio delle manovre rianimatorie nei pazienti in condizioni critiche. (96) L'estensione della valutazione ecografica al torace che definisce l'eFAST, è stato reso possibile dal fatto che l'ecografia presenti una sensibilità maggiore della radiografia del torace nella diagnosi di pneumotorace, e il "lung point" ne rappresenta un segno altamente specifico.(97) In mani esperte, l'esame può essere completato in meno di cinque minuti e ha dimostrato di ridurre significativamente i tempi per l'intervento chirurgico, la durata della degenza, l'uso della TC e del lavaggio peritoneale diagnostico (DPL). La possibilità di ripetere l'ecografia rappresenta un ulteriore vantaggio. Lo studio prospettico monocentrico ha evidenziato come nei pazienti emodinamicamente stabili con trauma toraco-addominale, l'esecuzione ripetuta dell'eFAST aumenta la sensibilità diagnostica fino al 100%, presentando sempre una specificità elevata del 98,7%.(96) In modo analogo, Lorn H. Blackbourne ha evidenziato come l'impiego di una seconda ecografia a distanza di tempo migliori significativamente la sensibilità nella rilevazione di versamenti intraperitoneali, passando dal 31,1% della prima ecografia al 72,1% della seconda. Anche in questo caso la specificità è rimasta costante al 99,8%, con un incremento dell'accuratezza globale dal 92,1% al 96,7%. (98)

A supporto di questi dati, una metanalisi della letteratura pubblicata sulla Cochrane Library nel 2018 condotta su 34 studi con oltre 8600 pazienti ha confermato l'elevata specificità dell'ecografia point-of-care nel rilevare versamenti toracoaddominali, con una specificità globale pari al 96% e una sensibilità del 74%. La sensibilità risultava particolarmente elevata per il trauma toracico (96%), mentre era inferiore nei traumi addominali (68%), suggerendo l'importanza di una corretta selezione del contesto clinico e dell'integrazione con altre modalità diagnostiche nei pazienti

emodinamicamente stabili. (99) Questi dati rafforzano il ruolo dell'eFAST come strumento diagnostico di primo livello nella valutazione del trauma maggiore, con un utilizzo strategico sia in fase iniziale sia nel monitoraggio evolutivo del paziente politraumatizzato.

Le innovazioni tecnologiche intervenute nei decenni precedenti resero possibile la nascita di due distinti paradigmi nell'applicazione ecografica. Il primo, più diffuso in ambito specialistico, radiologico e cardiologico, prevedeva l'affidamento dell'acquisizione delle immagini a tecnici, trasformando l'ecografia in un esame consultivo, sottratto alla disponibilità diretta del medico curante. In parallelo, si affermò un secondo modello operativo, fondato sull'idea che il clinico dovesse eseguire personalmente l'esame ecografico. In questo contesto, l'indagine veniva frequentemente integrata nell'esame obiettivo, permettendo l'adattamento del protocollo in tempo reale alle necessità del singolo caso. (100) Un ulteriore sviluppo si registrò all'inizio degli anni '80, quando l'introduzione di apparecchiature portatili e facilmente movimentabili consentì a chirurghi e medici d'urgenza di impiegare l'ecografia al letto del paziente critico, in particolare nei contesti di trauma maggiore. L'utilizzo iniziale si focalizzava sull'identificazione rapida delle cause di instabilità emodinamica, sulla guida a manovre invasive e sulla valutazione di dolori toracici, addominali o dorsali non differenziati.

Durante gli anni '90 fu formalizzato il protocollo FAST, pensato per individuare versamenti ematici in cavità peritoneale, pleurica e pericardica in pazienti traumatizzati instabili. Con l'aggiunta della valutazione dello pneumotorace, si giunse alla versione estesa eFAST. La metodica ha progressivamente ampliato le sue indicazioni cliniche, dalle gravidanze extrauterine allo shock indifferenziato, dagli ematomi retroperitoneali alla presenza di aria libera o fratture toraciche. (101)

Il trauma rappresenta una sfida significativa sia dal punto di vista diagnostico che gestionale. Lesioni potenzialmente complesse possono passare inosservate soprattutto se i segni clinici non sono evidenti o ci si ritrova ad operare in

contesti ed ambienti estremi. A causa della possibile presenza di traumi multipli associati e della frequente comparsa di insufficienza respiratoria e instabilità emodinamica, il riconoscimento e la gestione delle lesioni devono avvenire in modo rapido e spesso con un approccio orientato al controllo dei danni, al fine di garantire la sopravvivenza del paziente. (102) Nel paziente traumatizzato, il tempo è un fattore cruciale, la valutazione immediata del paziente traumatizzato direttamente in shock room tramite e-FAST, disponibile in ogni momento, non solo consente di risparmiare tempo, ma può anche salvare vite.(94)

L'impiego dell'ecografia in urgenza è oggi riconosciuto come standard in molti sistemi sanitari e integrato nei percorsi diagnostici e terapeutici anche grazie alla sua rapidità, ripetibilità e assenza di radiazioni ionizzanti.

2.3 L'EFAST IN EMERGENZA-URGENZA

Il protocollo eFAST rappresenta un'estensione evolutiva del tradizionale FAST ed è particolarmente indicato per la valutazione di pazienti politraumatizzati in condizioni emodinamiche instabili. Il suo impiego è previsto al letto del paziente e viene integrato precocemente durante la fase "C" del protocollo di gestione del trauma secondo l'approccio ABCDE dell'ATLS (Airway, Breathing, Circulation, Disability, Exposure), subito dopo la valutazione delle vie aeree e della ventilazione. (103)

L'utilizzo di ecografi portatili consente l'esecuzione dell'esame senza mobilizzare il paziente, riducendo i rischi legati al trasporto e permettendo una diagnosi tempestiva. La procedura si compone della valutazione sequenziale di cinque regioni (figura 4): pericardio, quadrante addominale superiore destro, quadrante addominale superiore sinistro, pelvi e, in estensione rispetto al protocollo FAST, gli spazi pleurici antero-laterali bilaterali.(95) L'intera procedura deve essere completata entro cinque minuti, per garantire un'efficace identificazione di lesioni potenzialmente letali nel paziente instabile.

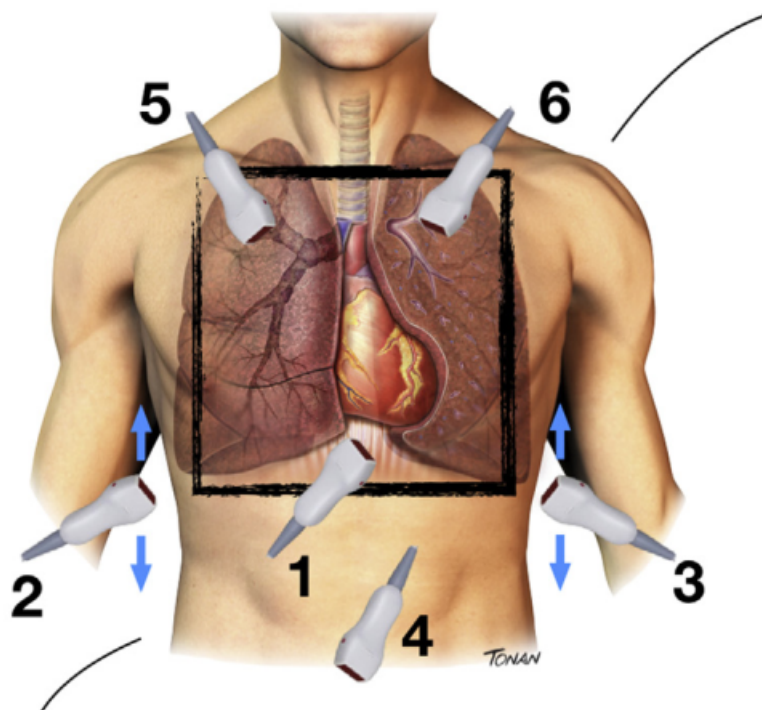


Figura 4 Le finestre del protocollo eFAST

Tratto da "Miglioranza MH, 2020"

Polmone

Nell'ambito del protocollo eFAST, l'indagine ecografica del torace prevede l'ispezione degli spazi pleurici anteriori al fine di escludere un possibile pneumotorace iperteso e per l'emotorace, condizioni che determinano un immediato pericolo per la vita del paziente. Per lo studio delle pleure e

del parenchima polmonare, la sonda viene posizionata sia parallelamente che perpendicolarmente agli spazi intercostali visualizzando l'area tra le coste con il tipico *bat sign*, originato dal rivolgimento della pleura su parenchima e coste. (figura 5). Le finestre ecografiche principali comprendono:

- gli spazi pleurici laterali, linea ascellare anteriore, tra 6° e 9° spazio intercostale,
- e gli spazi pleurici anteriori, linea emiclaveare, tra 2° e 3° spazio intercostale.

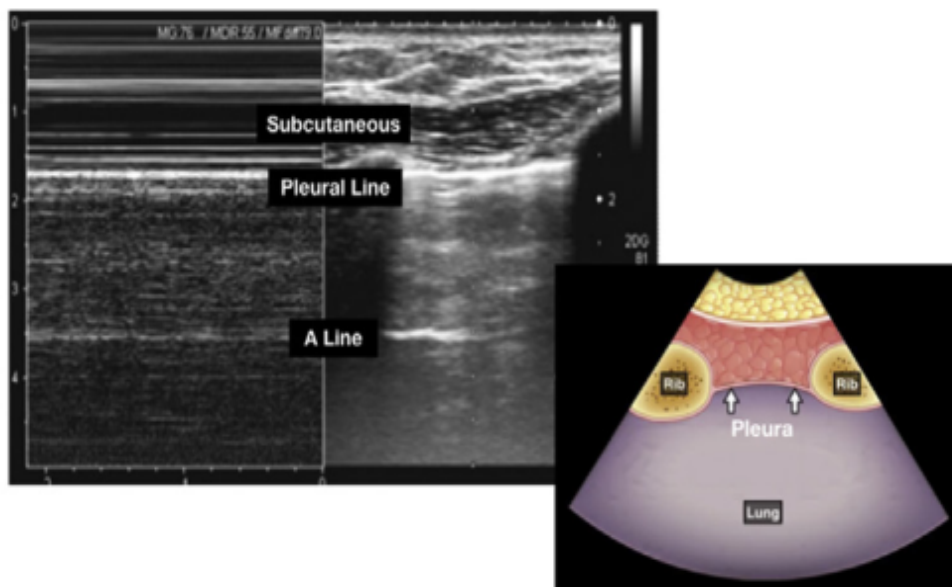
Le immagini ecografiche ottenute si basano sulla riflessione degli ultrasuoni sulla pleura e sulla formazione di artefatti acustici, i quali sono strettamente correlati allo stato del parenchima polmonare e risultano fondamentali per la distinzione tra condizioni fisiologiche e patologiche.(104)

Un polmone normale si caratterizza per:

- la presenza di una linea pleurica iperecogena e continua,

- lo sliding pleurico, ovvero il movimento sincrono dei foglietti pleurici durante gli atti respiratori,
- la presenza di linee A, ossia artefatti orizzontali ripetuti derivanti dal riverbero della linea pleurica,
- il segno della tendina: rappresenta l'espansione del polmone nei recessi costo-frenici durante l'inspirazione.(105)

Figura 5: La finestra toracica anteriore del protocollo eFAST
 Tratto da "Miglioranza MH, 2020"



La diagnosi di **pneumotorace** può risultare complessa in fase acuta, soprattutto se il paziente è supino e la radiografia toracica presenta sensibilità inferiore rispetto l'ecografia. (95) In tale contesto, l'ecografia toracica rappresenta uno strumento rapido e affidabile per il rilevamento della presenza di aria nello spazio pleurico, consentendo interventi tempestivi e riducendo il rischio di complicanze.

In presenza di pneumotorace, l'accumulo di aria tra i foglietti pleurici determina l'abolizione del pleural sliding: l'assenza di movimento della linea pleurica all'inspirazione è un segno ecografico di elevata specificità. Quando si attiva la modalità M-mode, l'assenza di sliding si traduce nella comparsa del segno della

stratosfera o barcode sign, caratterizzato da linee orizzontali statiche dovute all'assenza di movimento.

Il lung point rappresenta la transizione tra la zona di polmone normalmente ventilata e quella collassata per pneumotorace. In tale punto, durante l'inspirazione, si osserva transitoriamente la comparsa dello sliding pleurico, che scompare all'espiazione, determinando un segno dinamico patognomonico. Il lung point ha una specificità del 100% per lo pneumotorace ed è utile anche per valutarne l'estensione: se rilevato in prossimità delle linee parasternali, indica un pneumotorace di piccole dimensioni; se localizzato lateralmente o posteriormente, suggerisce una raccolta d'aria più estesa. (106)

L'ecografia toracica rappresenta una metodica sensibile, sicura e superiore alla radiografia standard nella rilevazione dei versamenti pleurici, soprattutto in fase precoce. La sua capacità di distinguere differenti caratteristiche del fluido pleurico consente di ottenere informazioni qualitative e quantitative utili per la gestione clinica.(104) Il trasudato si presenta ecograficamente come una raccolta anecogena, mentre gli essudati possono contenere echi interni dovuti a detriti cellulari o fibrina. Versamenti ematici o purulenti, come in caso di emotorace o empiema, appaiono corpuscolati/iperecogeni e omogenei, con possibile formazione di setti. (106)

La presenza di versamento può determinare una atelettasia polmonare da compressione, e il parenchima residuo può risultare mobile. In M-mode, tale mobilità si traduce nella comparsa di segni caratteristici:

- il jellyfish sign (segno della medusa), dovuto al movimento respiratorio del polmone che oscilla all'interno del liquido;
- il pulse sign, quando la pulsazione cardiaca si trasmette al polmone collassato.

Il segno della medusa è un reperto dinamico che rappresenta i movimenti fluttuanti del polmone collassato nel versamento: l'aspetto ecografico ricorda una medusa

immersa nel liquido. Tuttavia, può non essere presente se la quantità di fluido è limitata e il polmone conserva la sua espansione. (figura 6) (106)

L'ecografia è in grado di rilevare quantità minime di fluido, anche inferiori ai 20 ml, mentre la radiografia del torace necessita di almeno 200 ml per evidenziare un versamento.

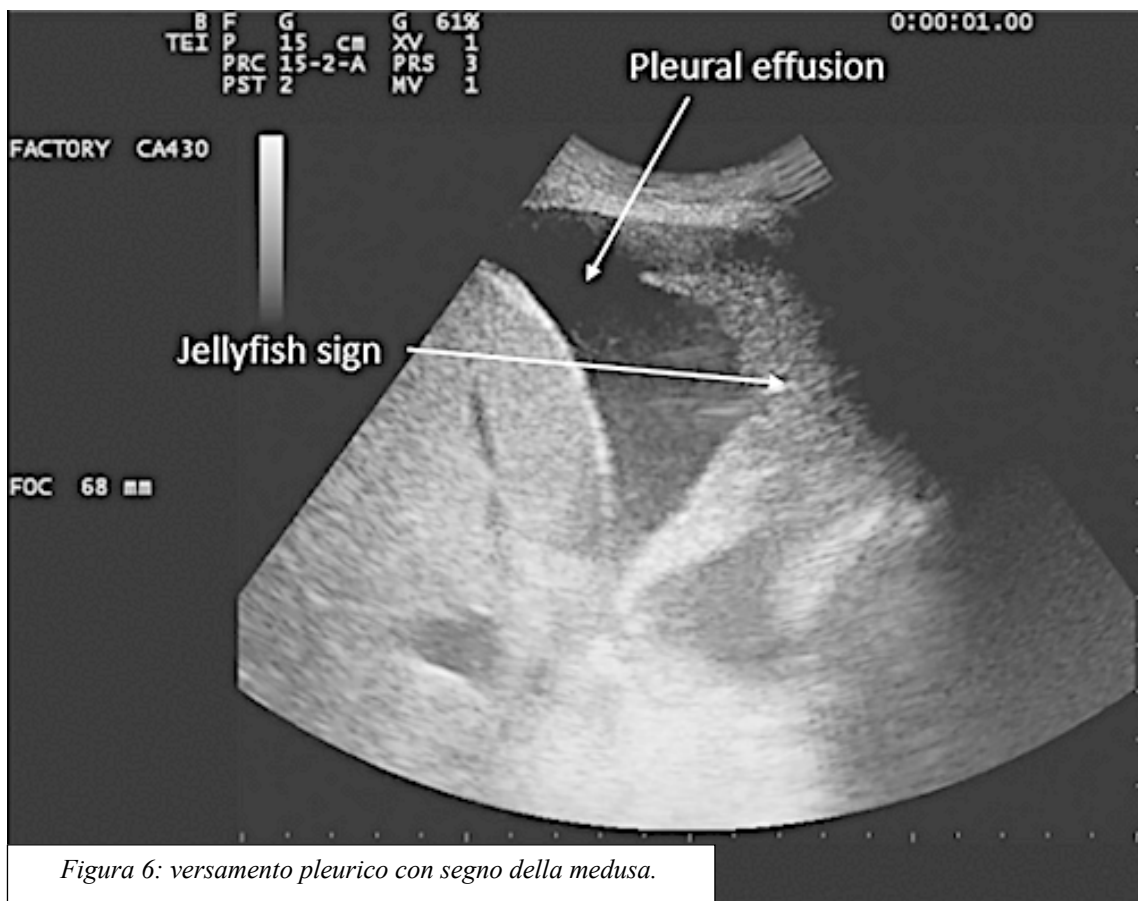


Figura 6: versamento pleurico con segno della medusa.

Visibile diaframma e fegato a sin

Cuore

Nel contesto del protocollo eFAST, la valutazione cardiaca è fondamentale, in quanto l'emopericardio può evolvere rapidamente in tamponamento cardiaco. La compressione del cuore determinata da un accumulo di sangue nel sacco pericardico causa un tamponamento cardiaco, con conseguente ridotto ritorno venoso e ridotta gittata cardiaca. Il tamponamento cardiaco può essere causato da ferite penetranti o, più raramente, da traumi chiusi, che abbiano determinato lesioni del cuore, dei grossi vasi o di quelli epicardici, una condizione potenzialmente fatale che può condurre ad arresto cardiaco. In tale scenario, l'identificazione

tempestiva di versamento pericardico consente un intervento salvavita immediato.(103) Un esame eFAST è considerato negativo se non si osservano segni di versamento oppure se il liquido pericardico è presente in modesta quantità fisiologica (<5 mm). (95)

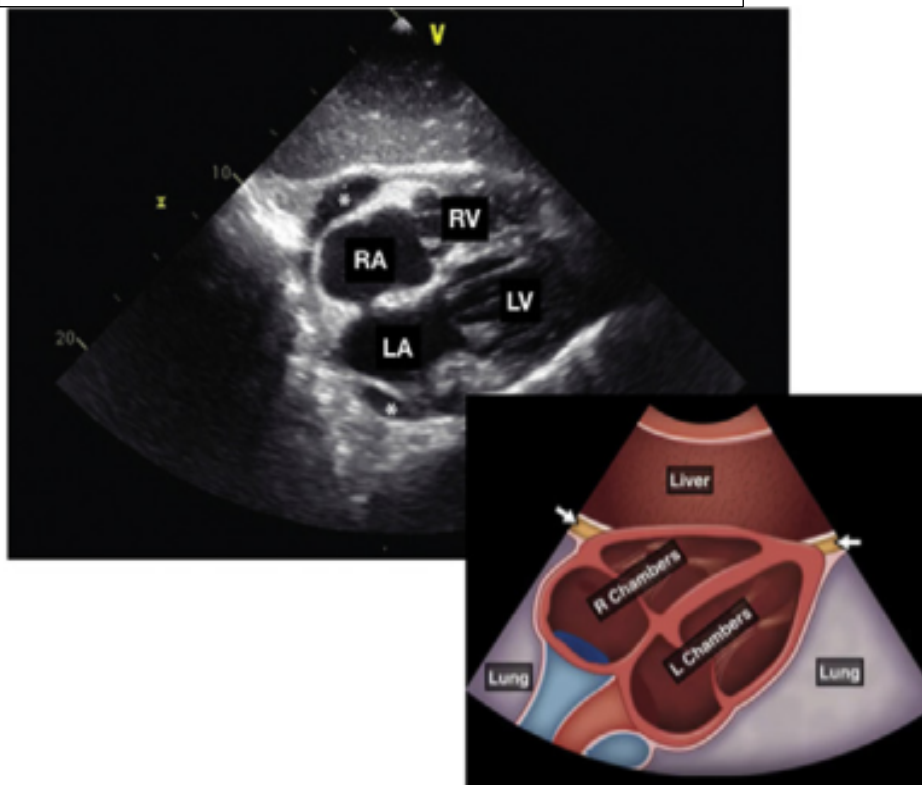
Per capire se è necessario intervenire e stabilizzare il paziente, serve determinare che il versamento pericardico stia deteriorando la cinetica cardiaca e il ritorno venoso. Il sacco pericardico essendo una struttura poco estensibile, soprattutto in acuto, può sviluppare un tamponamento anche in presenza di volumi ematici ridotti, compromettendo il riempimento diastolico e la funzionalità contrattile del cuore. L'eFAST, se condotta da personale esperto, presenta una sensibilità diagnostica del 90–95% per la rilevazione di versamenti pericardici clinicamente significativi.(103)

Per la valutazione ecografica cardiaca, si utilizza generalmente una sonda settoriale a bassa frequenza, posizionata in sede sottocostale con l'asse della sonda parallelo alla cute e puntato cranialmente, leggermente a sinistra dello sterno. Il marker della sonda va orientato verso il lato destro del paziente. Invece il protocollo eFAST prevede l'utilizzo della sonda convex per tutte le finestre. La sonda viene spinta delicatamente in profondità per ottenere una finestra acustica ottimale attraverso il lobo sinistro del fegato. L'immagine ecografica mostrerà in successione, dall'alto verso il basso: fegato, ventricolo destro e ventricolo sinistro. Il ventricolo destro, trovandosi in posizione anteriore, è visualizzato in prossimità del fegato. Le camere atriali si posizionano più caudalmente rispetto ai ventricoli sul monitor. La qualità dell'immagine può essere migliorata regolando la profondità sulla consolle o incoraggiando il paziente a eseguire un respiro profondo, così da avvicinare il cuore alla sonda(92).

Il versamento pericardico appare come una raccolta anecogena che separa l'epicardio dal pericardio parietale. In caso di piccola entità, tende ad accumularsi tra le sezioni destre del cuore e il margine epatico; quando più voluminoso, può circondare tutte le camere cardiache.(107)

Figura 7: La finestra pericardica del protocollo eFAST.

Tratto da “Miglioranza MH, 2020”



Addome

Tra le aree intraperitoneali, la grondaia paracolica destra è di particolare rilievo in quanto più profonda e meno ostacolata da strutture anatomiche rispetto al lato sinistro; ciò favorisce il deflusso gravitazionale del liquido libero, rendendola la prima regione da esplorare nell'addome. L'eFAST consente di identificare tempestivamente la presenza di liquido libero intraperitoneale, segno indiretto ma altamente sospetto di emoperitoneo nei pazienti con trauma addominale contusivo. Il liquido libero appare come una raccolta anecogena tra le anse intestinali in caso di emorragia massiva o in presenza di liquido ascitico. In caso di versamento di dimensioni contenute o in fase iniziale tenderà a raccogliersi principalmente nelle sedi declivi e nei recessi parietocolici. (108)

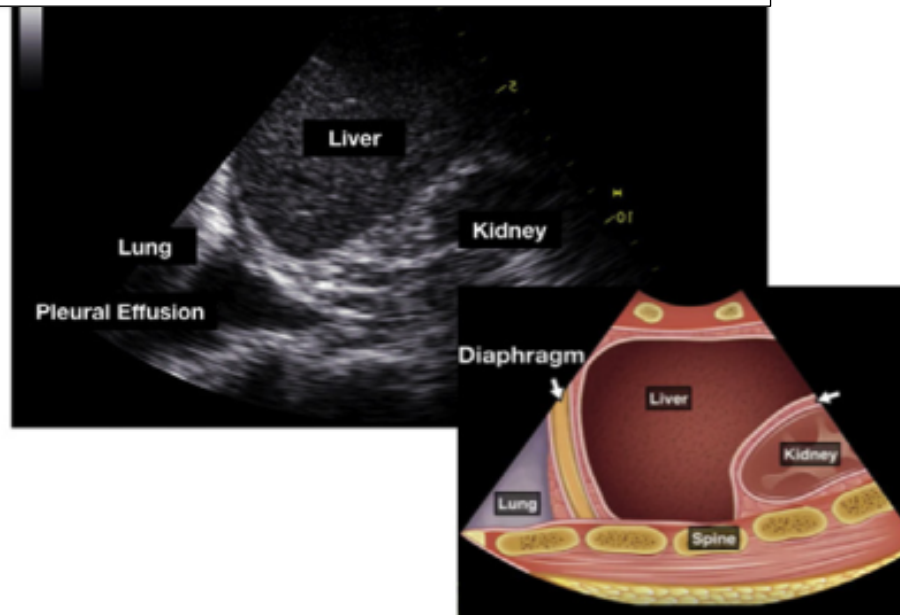
Le sedi principali da valutare durante l'esame sono:

- il quadrante addominale superiore destro, con lo studio dello spazio epatorenale,
- il quadrante addominale superiore sinistro, con lo studio dello spazio spleno-renale,
- la pelvi, con lo studio della regione sovra-pubica.

Nel quadrante superiore destro, la sonda curvilinea viene posizionata nel 10°–11° spazio intercostale, lungo la linea ascellare media, con orientamento craniale. L'interfaccia tra fegato e rene destro, spazio di Morison, rappresenta una delle prime sedi in cui si accumula il sangue, rendendola una regione cruciale da esplorare. Se il rene o il fegato non sono visibili, si deve traslare la sonda in senso cranio-caudale o posteriore per una visualizzazione completa. (figura 8)

Figura 8: La finestra epato-renale del protocollo eFAST.

Tratto da "Miglioranza MH, 2020"

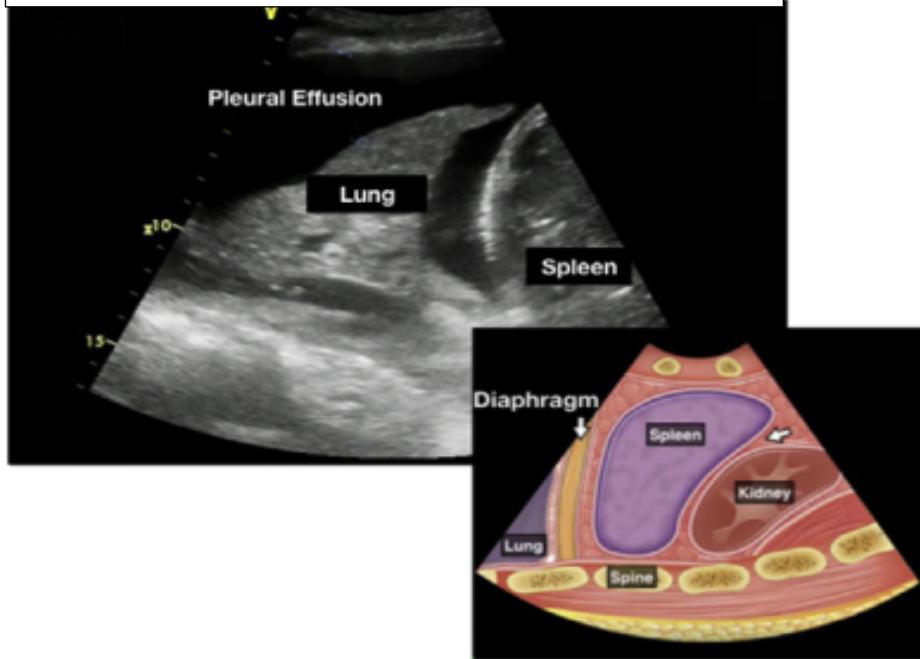


Nel quadrante superiore sinistro, il rene è situato più in alto e posteriormente rispetto al destro, impone un posizionamento della sonda più posteriore (linea ascellare posteriore, 9°–10° spazio intercostale). Le strutture tipicamente osservabili sono: milza in alto, diaframma a sinistra, rene a destra sul monitor. In

questa sede il liquido tende ad accumularsi più facilmente attorno alla milza, specie in presenza di lesioni spleniche. (figura 9). (108)

Figura 9: La finestra spleno-renale del protocollo eFAST.

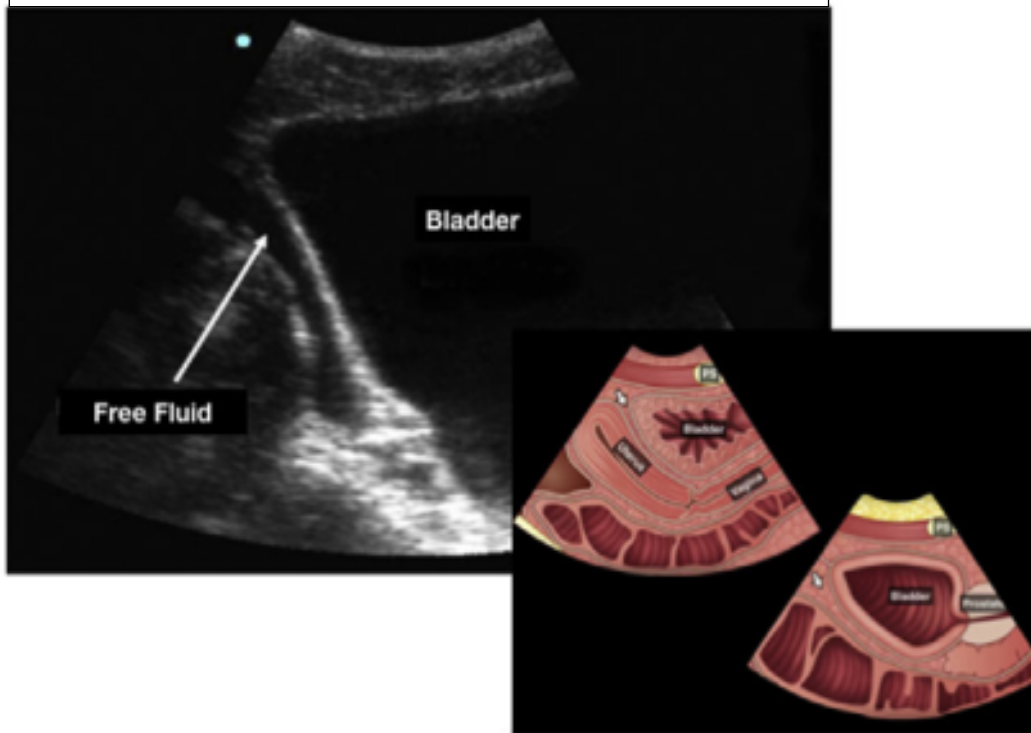
Tratto da "Miglioranza MH, 2020"



La valutazione del versamento pelvico nell'ambito del protocollo eFAST si effettua esplorando la regione sovrapubica, sempre con una sonda curvilinea. L'esame può essere eseguito in due piani: trasversale e sagittale. Per l'acquisizione trasversale, la sonda viene posizionata appena sopra la sinfisi pubica, con il marker orientato verso destra. Successivamente, l'operatore inclina il trasduttore all'interno del bacino, lungo la linea mediana, per esplorare interamente la vescica in senso cranio-caudale. Per l'acquisizione sagittale, la sonda viene ruotata di 90° in senso orario, con il marker diretto verso la testa del paziente, così da ottenere una visione longitudinale della pelvi. (109) In caso di vescica piena questa appare ipoecogena e funge da finestra acustica, migliorando la rilevazione di eventuale fluido libero nello scavo pelvico. Le sedi più comuni di raccolta sono:

- lo spazio retto-vescicale nell' uomo,
- lo spazio retto-uterino, cavo del Douglas, nella donna.

Figura 10: La finestra sovrapubica del protocollo eFAST.



La presenza di una qualsiasi quantità di fluido libero nello spazio retto-vescicale rende positivo l'esame eFAST nei soggetti maschi. Nelle femmine in età fertile, invece, una piccola quantità può essere fisiologica, legata al ciclo mestruale o all'ovulazione. (95) In presenza di trauma addominale, il ritrovamento di liquido libero è da considerare ematico fino a prova contraria, poiché frequentemente associato a rottura di milza o fegato, gli organi maggiormente coinvolti nel trauma contusivo. (110) Un limite dell'eFAST è rappresentato dalla ridotta accuratezza in pazienti obesi. Secondo uno studio prospettico condotto nel 2022, il rischio di falsi negativi aumenta del 5,65% per ogni incremento di 1 kg/m² di BMI, evidenziando come l'adipe sottocutaneo possa interferire con la qualità dell'immagine. (111)

2.4 ACCURATEZZA DELL'EFAST IN LETTERATURA

Numerose pubblicazioni hanno analizzato l'efficacia dell'eFAST nel rilevare precocemente condizioni traumatiche critiche. L'accuratezza diagnostica viene espressa attraverso parametri come sensibilità, specificità, valori predittivi positivo (PPV) e negativo (NPV), che ne determinano la validità clinica. Un test utile, oltre a essere accurato e riproducibile, deve essere facilmente eseguibile, sicuro e accessibile in termini economici e organizzativi. (112)

Una revisione sistematica condotta da Stuart Netherton, pubblicata nel 2019, ha analizzato complessivamente 75 studi per un totale di 24.350 pazienti, con l'obiettivo di valutare l'accuratezza diagnostica dell'eFAST nella gestione del trauma. Gli studi inclusi, pubblicati tra il 1989 e il 2017, sono stati utilizzati per calcolare i valori aggregati di sensibilità e specificità della metodica nei diversi distretti anatomici. La metanalisi si è concentrata su tre condizioni clinicamente rilevanti, pneumotorace, versamento pericardico e versamento libero in addome. Sono stati analizzati articoli sia con pazienti stabili che con pazienti emodinamicamente instabili e sono stati riscontrati valori aggregati di sensibilità e specificità dell'eFAST pari a 74% e 95% nei pazienti instabili, 76% e 98% nei pazienti stabili. Il gold standard di confronto per lo pneumotorace era rappresentato dalla tomografia TC o dalla fuoriuscita di aria al momento dell'inserimento del drenaggio toracico, per il versamento addominale, era costituito da riscontro positivo alla laparotomia, DPL o TC e per l'emopericardio, il riferimento era la TC o i reperti positivi riscontrati durante l'intervento chirurgico. Per la diagnosi di pneumotorace, l'eFAST ha mostrato una sensibilità del 69% e una specificità del 99%. In relazione alla rilevazione di versamento pericardico, la sensibilità si è attestata al 91% e la specificità al 94%. Infine, per l'individuazione di liquido libero intra-addominale, la sensibilità aggregata è risultata del 74%, mentre la specificità ha raggiunto il 98%. Questi risultati confermano che l'eFAST rappresenta uno strumento

diagnostico affidabile per la valutazione rapida di pazienti traumatizzati al letto del paziente, particolarmente efficace nell'identificazione di pneumotorace, emopericardio e raccolte ematiche intra-addominali. (113)

Una revisione sistematica, condotta da Gamberini et al nel 2023, ha focalizzato l'attenzione sull'impiego della FAST in ambito preospedaliero, con particolare riferimento alla rilevazione di emoperitoneo. L'analisi ha incluso 21 studi che hanno arruolato un totale di 5.790 pazienti, evidenziando una sensibilità aggregata del 63% (range 45,4–77,7%) e una specificità del 97% (95,7–97,9%). I risultati hanno messo in luce una bassa sensibilità nel rilevare emorragie intra-addominali, mentre la specificità elevata consente, in caso di test positivo, di confermare con buona affidabilità la presenza di sangue libero. Inoltre, la revisione ha osservato come l'utilizzo della FAST nel pre-ospedaliero riduca significativamente i tempi di diagnosi e di intervento, senza influire negativamente sulla durata del trasporto, risultando particolarmente utile nei pazienti con alta probabilità di emorragia.(114)

Una precedente review condotta da Daniel K. Nishijima ha valutato l'accuratezza di sintomi, segni fisici, esami di laboratorio ed esami strumentali nel riconoscimento di lesioni intra-addominali in pazienti con trauma addominale contusivo. Sono stati inclusi 34 studi: 12 basati su riscontri clinici e 22 su ecografia bedside. I risultati hanno mostrato che la presenza di fluido intraperitoneale o lesioni di organo documentate con ecografia ha un'accuratezza superiore rispetto a qualsiasi dato ottenuto dall'anamnesi o dall'esame obiettivo. Tuttavia, uno studio eFAST negativo non consente di escludere con certezza la presenza di una lesione, sottolineando come la sensibilità non sia sempre ottimale. L'autore conclude che l'ecografia bedside rimane l'approccio più affidabile tra i test disponibili, ma non può essere considerata definitiva in caso di negatività, specialmente nei pazienti stabili. (115)

Uno studio condotto da Cheung Kent Shek e colleghi ha valutato nel 2012 l'accuratezza diagnostica della metodica FAST nei pazienti con trauma

addominale chiuso, in un trauma center di Hong Kong. L'analisi retrospettiva ha incluso 153 pazienti, confrontando i risultati dell'ecografia con la tomografia computerizzata addominale, la laparotomia o l'autopsia. La FAST ha mostrato una sensibilità del 50%, una specificità del 97,3% e un'accuratezza complessiva dell'85%. È stato osservato che il test risultava più sensibile nei pazienti con trauma meno severo e più specifico nei casi più gravi. I risultati hanno portato alla conclusione che, sebbene la FAST sia utile per confermare la presenza di liquido libero, presenta limitazioni nel riconoscere tutti i casi, rendendo necessaria una formazione ecografica avanzata per migliorare le performance diagnostiche. (116)

Uno studio prospettico condotto da K. Inaba e collaboratori nel 2015 ha valutato l'utilità diagnostica dell'ecografia FAST nel predire gli outcome nei pazienti sottoposti a toracotomia resuscitativa dopo trauma. Sono stati analizzati 187 pazienti politraumatizzati, valutando la presenza di movimento cardiaco e di versamento pericardico mediante ecografia. I risultati hanno mostrato che la presenza di attività cardiaca all'ecografia si associava a una probabilità significativamente più alta di sopravvivenza o di donazione d'organo, mentre l'assenza di attività cardiaca era fortemente predittiva di esito infausto. L'ecografia ha raggiunto una sensibilità del 100% e una specificità del 73,7% nel predire l'esito favorevole. Lo studio conclude che l'esame FAST è un valido strumento prognostico nelle situazioni estreme di arresto cardiaco post-traumatico, supportando decisioni rapide sull'opportunità di procedere alla toracotomia.(117)

Una validazione dell'efficacia clinica del FAST nei pazienti traumatizzati è stata fornita da Jeremy M. Hsu e colleghi, attraverso uno studio prospettico condotto in un trauma center australiano di livello I. Sono stati arruolati 410 pazienti affetti da trauma toracico e/o addominale, valutati mediante FAST all'arrivo in pronto soccorso, e successivamente sottoposti a conferma diagnostica tramite TC o laparotomia. L'ecografia FAST ha mostrato una sensibilità del 78%, una specificità del 97%, un valore predittivo positivo del

91% e un valore predittivo negativo del 93%, con un'accuratezza complessiva del 93%. È stato inoltre osservato che gli operatori accreditati in ecografia d'urgenza hanno raggiunto risultati ancora superiori, con una sensibilità dell'80% e una specificità del 100%. I risultati dello studio hanno confermato che la FAST, anche se eseguita da operatori non radiologi, rappresenta uno strumento diagnostico sicuro ed efficace per la rilevazione precoce di fluido libero intraddominale nei pazienti con trauma contusivo. Gli autori sottolineano l'importanza della formazione sistematica del personale medico e suggeriscono l'integrazione del FAST come parte integrante dei protocolli di valutazione primaria nel trauma maggiore. (118)

Uno studio multicentrico osservazionale realizzato da S.M. Kithinji ha confrontato l'efficacia dell'eFAST e della radiografia del torace nella rilevazione dell'emotorace in un campione di 104 pazienti traumatizzati. L'esame ecografico è risultato nettamente più efficace rispetto alla radiografia tradizionale, con una sensibilità del 96,1% contro il 45,1%. Anche l'accuratezza complessiva è risultata superiore per l'eFAST (96,4% vs 49,1%), mentre entrambe le metodiche hanno dimostrato una specificità del 100%. Lo studio evidenzia come l'ecografia toracica debba essere considerata uno strumento di prima linea nella valutazione iniziale di trauma toracico, soprattutto per identificare tempestivamente condizioni come l'emotorace.(119)

Alcuni studi recenti hanno investigato l'accuratezza diagnostica dell'eFAST eseguita da operatori sanitari non specialisti, al fine di valutare l'efficacia della formazione mirata. P. Buaprasert ha condotto uno studio su 47 studenti paramedici senza esperienza pregressa in ecografia. Dopo un programma formativo intensivo composto da 2 ore di lezione frontale e 1 ora di laboratorio pratico, i partecipanti hanno mostrato, nel test post-training, una sensibilità dell'85,7%, una specificità dell'81,6%, un PPV del 91,6% e un NPV del 71%. I risultati indicano che, anche in un contesto simulato, è possibile raggiungere

livelli di competenza paragonabili a quelli di medici con esperienza, grazie a programmi didattici strutturati.(120)

Lo studio prospettico condotto da A.E. Samuel ha valutato l'accuratezza e la riproducibilità dell'eFAST confrontando i risultati ottenuti da medici in formazione e da radiologi. L'indagine ha incluso 150 pazienti adulti politraumatizzati che si sono presentati in pronto soccorso nel corso del 2013, sottoposti sia a eFAST che a tomografia toracoaddominale con mezzo di contrasto. I risultati hanno dimostrato un'elevata concordanza tra le due figure professionali, con sensibilità del 90,4%, specificità del 99,2%, PPV del 95%, NPV del 98,4% e un'accuratezza globale del 98%. L'autore sottolinea che la performance elevata non dipende dalla specializzazione del professionista, purché il training sia adeguato e la procedura venga eseguita con attenzione tecnica. (121)

Un importante contributo alla valutazione dell'efficacia dell'eFAST nei pazienti con trauma stabile è stato fornito da Mumin Murat Yazıcı, attraverso uno studio prospettico osservazionale condotto in un trauma center di I livello. Sono stati arruolati pazienti adulti con trauma toracico e/o addominale chiuso, emodinamicamente stabili, sottoposti ad una prima valutazione mediante eFAST e successivamente rivalutati con un secondo eFAST dopo tre ore, in assenza di deterioramento clinico. I risultati hanno mostrato che l'eFAST iniziale presentava una sensibilità del 50% per la rilevazione di pneumotorace, emotorace ed emoperitoneo, con una specificità superiore al 95%. Tuttavia, ripetendo l'esame a distanza di tempo, la sensibilità complessiva saliva al 66,7%, senza compromettere la specificità, migliorando così significativamente la capacità diagnostica. Lo studio ha sottolineato come, nei pazienti stabili, la ripetizione sistematica dell'eFAST possa incrementare l'accuratezza diagnostica, permettendo di intercettare quadri clinici evolutivi senza ricorrere sistematicamente alla tomografia computerizzata, riducendo così l'esposizione a radiazioni e i costi. Gli autori concludevano raccomandando pertanto l'integrazione del "second look"

eFAST nella gestione dei traumi stabili, quale metodica sicura, economica e ripetibile al letto del paziente. (122)

Lo studio prospettico condotto da Devadoss H. ha confrontato i risultati ottenuti da eFAST con quelli della TC senza mezzo di contrasto, considerata gold standard nella valutazione del trauma toracico contusivo. Sono stati inclusi 110 pazienti nell'arco temporale tra il 2017 e il 2019, suddivisi in gruppi di confronto. L'analisi statistica non ha rilevato differenze significative tra i due gruppi, concludendo che l'eFAST e la TC presentano comparabile performance nella rilevazione di emotorace o pneumotorace. Sensibilità e specificità per il pneumotorace sono risultate del, 100% e 99,1%; per il versamento pleurico del, 88,6% e 97,3%. Lo studio ha sottolineato il valore pratico dell'eFAST come strumento affidabile in fase acuta, quando la TC non è immediatamente disponibile. (123)

Lo studio di Basnet ha analizzato l'accuratezza dell'eFAST nella valutazione di lesioni toraciche e addominali in un contesto di trauma acuto, coinvolgendo un totale di 261 pazienti presso un ospedale di terzo livello in Nepal. L'esame è stato effettuato da operatori di primo soccorso, i cui risultati sono stati confrontati con la tomografia computerizzata con mezzo di contrasto. L'eFAST ha evidenziato una sensibilità del 94,8%, una specificità del 99,5% e un'accuratezza complessiva del 99,4%. L'indagine suggerisce che anche in ambienti con risorse limitate, l'eFAST può essere un valido strumento diagnostico, pur ribadendo la sua dipendenza dall'esperienza dell'operatore.(124)

Un documento di consenso redatto da A.J. Labovitz e colleghi nel 2010, elaborato in collaborazione tra l'American Society of Echocardiography e l'American College of Emergency Physicians, ha delineato le linee guida sull'uso dell'ecografia cardiovascolare nel setting dell'emergenza. Il documento ha sottolineato l'importanza dell'ecografia rapida, compreso il protocollo eFAST, nella valutazione di condizioni critiche come il tamponamento cardiaco, l'emopericardio e lo pneumotorace. Pur non fornendo dati numerici

specifici di sensibilità e specificità, il consensus riconosce l'alta accuratezza diagnostica dell'eFAST nella rilevazione di versamenti pericardici e la sua capacità di guidare tempestivamente decisioni salvavita nei pazienti traumatizzati. Il documento raccomanda l'integrazione dell'ecografia bedside nella formazione standard dei medici d'emergenza, ribadendo il valore dell'approccio rapido e strutturato nella gestione del trauma.(125)

Tuttavia, in alcuni studi, sono state rilevate sensibilità più basse:

Uno studio prospettico condotto da M.T. Miller e collaboratori ha valutato nel 2003 l'efficacia della FAST come unico strumento di screening nei pazienti stabili con trauma addominale. Sono stati analizzati 359 pazienti sottoposti sia a FAST che a TC entro un'ora dall'ingresso. I dati raccolti hanno mostrato una sensibilità del 42%, una specificità del 98% e un'accuratezza globale del 92%. Nonostante l'elevata specificità, il FAST ha mancato la diagnosi di diverse lesioni intra-addominali clinicamente significative, con alcuni pazienti che hanno poi necessitato di laparotomia. I risultati evidenziano che il FAST da solo non è sufficiente nei pazienti stabili e che, in questi casi, è comunque necessario ricorrere alla TC per escludere con certezza le lesioni.(126)

Uno studio prospettico condotto da H. Akoglu presso un centro traumatologico di primo livello ha valutato l'accuratezza dell'eFAST in pazienti adulti politraumatizzati sottoposti a TC toraco-addominale. La popolazione totale era composta da 140 pazienti, di cui 132 valutati per l'addome e 130 per il torace. I risultati hanno rivelato una sensibilità piuttosto bassa, pari al 42,9%, ma una specificità molto elevata, pari al 98,4%. Questo studio ha posto l'accento sui limiti dell'eFAST in fase precoce, in particolare nel rilevare liquidi o lesioni in pazienti clinicamente stabili o nei casi in cui le raccolte ematiche erano di piccola entità o localizzate in aree poco esplorabili ecograficamente. Tali dati rafforzano la necessità di considerare l'eFAST

come strumento integrativo, e non esclusivo, nel percorso diagnostico del paziente traumatizzato. (127)

Lo studio prospettico di B. Natarajan ha incluso un'ampia casistica di 2.130 pazienti con trauma addominale contusivo, sottoposti a valutazione mediante ecografia FAST, con successivo confronto con TC, DPL o laparotomia esplorativa. L'analisi ha riportato una sensibilità del 43%, una specificità del 99%, un PPV del 95%, un NPV del 94% e un'accuratezza del 94,1%. L'autore ha sottolineato che, a fronte di un'ottima specificità e valori predittivi elevati, la sensibilità modesta rende la FAST inaffidabile se usata da sola nei pazienti emodinamicamente stabili. Ne ha quindi suggerito un impiego mirato nei soggetti instabili, per i quali un risultato positivo può giustificare un intervento tempestivo anche senza esami aggiuntivi. (128)

Uno studio multicentrico retrospettivo ha valutato l'accuratezza dell'eFAST eseguita in ambiente preospedaliero da medici dell'elisoccorso su 411 pazienti traumatizzati. I risultati hanno evidenziato una sensibilità del 25% e una specificità del 96% per il liquido intraperitoneale, una sensibilità del 38% e specificità del 96% per lo pneumotorace, una sensibilità del 17% e specificità del 97% per l'emotorace, e infine una sensibilità del 17% e specificità del 100% per il versamento pericardico. Questi dati mostrano che, pur mantenendo un'elevata capacità di conferma in caso di test positivo, la sensibilità rimane marcatamente bassa in ambito preospedaliero, richiedendo prudenza nell'interpretazione dei risultati negativi. (129)

III. STUDIO SPERIMENTALE

SINOSI

Introduzione: L'ecografia eFAST è una metodica ultrasonografica bedside, rapida, non invasiva e facilmente ripetibile. Il suo impiego consente l'identificazione tempestiva di versamenti ematici in sede intraperitoneale, pericardica e pleurica, nonché la rilevazione di pneumotorace, con tempi medi di esecuzione inferiori ai cinque minuti. Sebbene numerosi studi ne abbiano valutato l'accuratezza diagnostica, i risultati riportati in letteratura appaiono eterogenei, riflettendo la variabilità dei contesti clinici, degli operatori coinvolti e degli esiti considerati. In tale scenario, ulteriori analisi condotte in contesti clinici non controllati e su popolazioni eterogenee risultano fondamentali per definire meglio le potenzialità e i limiti applicativi della metodica. Scopo del presente studio è valutare l'accuratezza diagnostica dell'ecografia eFAST nei pazienti con politrauma centralizzati presso il pronto soccorso del trauma center di riferimento.

Materiali e metodi: È stata condotta un'analisi retrospettiva, interrogando il sistema informatico, sui pazienti afferenti al pronto soccorso tra gennaio 2023 e dicembre 2023 per politrauma. I criteri di inclusione prevedevano l'esecuzione di ecografia eFAST in fase acuta, seguita da TC toracoaddominale. Per ciascun paziente è stato confrontato il referto ecografico dell'eFAST eseguita in pronto soccorso con il referto della TC Total Body. La gravità del trauma è stata catalogata secondo calcolo del punteggio AIS di ogni distretto seguito dall'ISS. Sono stati calcolati i principali indicatori di accuratezza diagnostica, sensibilità, specificità, accuratezza, PPV, NPV, LR+ e LR-. per ciascun distretto esplorato. Infine, è stata condotta una regressione binomiale alla ricerca dell'interferenza di altre variabili nel confronto tra le metodiche.

Risultati: Nel periodo considerato sono state analizzate le cartelle cliniche di 356 pazienti, di questi, 209 sono rientrati nello studio. L'esame eFAST, per lo pneumotorace destro e sinistro ha mostrato una sensibilità del 30%; per

l'emotorace destro e sinistro del 30% e 25%; per il distretto pericardico ha evidenziato una sensibilità del 14%; per il versamento epato-renale del 47,7%, mentre per lo spazio spleno-renale e sovra-pubico del 40% e 21% rispettivamente.

La specificità si è mantenuta in un range tra 97% e 100%. L'accuratezza è risultata compresa tra 85% e 95%. Il LR+ è risultato superiore a 10 per tutte le indagini. La regressione logistica binomiale per le covariate di punteggio ISS, età e giorni di degenza ha dimostrato un'associazione positiva tra miglioramento dell'accuratezza diagnostica per l'aumento di gravità del trauma e un peggioramento della stessa all'aumentare dell'età dei pazienti.

Conclusioni: I risultati dello studio confermano che l'ecografia eFAST rappresenta uno strumento diagnostico efficace per rafforzare l'ipotesi clinica in presenza di sintomi o segni di emorragia o pneumotorace. L'elevata specificità riscontrata permette di considerare un risultato positivo come fortemente indicativo di patologia. L'esame diventa molto più accurato in presenza di lesioni gravi, mentre perde sensibilità nei pazienti con lesioni clinicamente non significative o di età avanzata.

3.1 LO SCORING DI GRAVITÀ NEL TRAUMA

Come abbiamo visto, la definizione di politrauma in letteratura presenta una certa variabilità dovuta ai criteri utilizzati e alla continua rivisitazione degli stessi.(130)(131)(6)(1) Oltre ai già citati criteri fisiologici, molto utili sul territorio o in contesti di basse risorse per la loro semplicità ed immediatezza, analizziamo nel dettaglio il sistema di scoring dell'ISS (*Injury Severity Score*) e dell' AIS (*Abbreviated Injury Scale*).

La codifica AIS e i punteggi da essa derivati, come l'Injury Severity Score (ISS) vengono utilizzati per identificare e classificare i pazienti traumatizzati all'interno dei sistemi di emergenza. Possono inoltre essere impiegati come componenti per l'aggiustamento del rischio e il benchmarking, attraverso l'utilizzo di modelli di predizione della mortalità.(132)

L'**AIS** sviluppato negli anni 80 dalla U.S. Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM), assegna un punteggio di gravità da 1 a 6 alla peggiore lesione per distretto corporeo, come riportato nella tabella seguente.(133)

Valore AIS	Valutazione	Descrizione Lesioni (Esempi)	Priorità Clinica (Triage)
1	Lieve	Distorsioni, lievi contusioni, abrasioni.	PRIORITÀ 1: Paziente non grave, stabile.
2	Moderato	Slogature, lacerazioni, contusioni, fratture lievi.	PRIORITÀ 1: Paziente stabile o 2 se evolutivo.
3	Serio, non a rischio di vita	Fratture, gravi contusioni, commozioni cerebrali.	PRIORITÀ 2: Paziente mediamente grave, potenzialmente evolutivo.

Valore AIS	Valutazione	Descrizione Lesioni (Esempi)	Priorità Clinica (Triage)
4	Grave, rischio di vita	Gravi lacerazioni o contusioni, fratture multiple.	PRIORITÀ 3: Paziente grave, instabile.
5	Critico, sopravvivenza incerta	Lesioni complesse e multipli organi interessati.	PRIORITÀ 3: Paziente grave, instabile.
6	Danno massimo, Lesione Letale	Lesioni incompatibili con la vita o non trattabili.	PRIORITÀ 4: Instabilità estrema / Decesso imminente.

I *distretti corporei* interessati sono:

- Testa – Collo e Cervicale
- Faccia e splancocranio
- Torace e Dorso
- Addome, Pelvi e Zona lombare
- Arti e Bacino
- Cute Esterna (ustioni, ferite)

L'ISS viene calcolato come la somma dei quadrati dei tre punteggi AIS più gravi in tre diverse regioni corporee (range 1–75). In caso di un'area con punteggio AIS 6, l'ISS diventa automaticamente 75.(132)(131)(134)

Vi è un gran fermento in letteratura, circa la soglia di ISS da adottare per la definizione di politrauma. Storicamente un politraumatizzato doveva avere un punteggio ISS superiore o uguale a 15. Nel corso degli aggiornamenti AIS (1998 → 2005/2008 → 2015), c'è stato un trend che ha portato ad abbassare la gravità dell'AIS e conseguentemente dell'ISS (o delle sue varianti come il NISS). (135) Questo ha portato a problematiche sia di comparazione che di rimborso delle prestazioni. (136) Tuttavia, alcuni autori hanno notato che in termini di mortalità un ISS > 12 performa quanto uno superiore a 15. (133)

INTRODUZIONE

L'esecuzione dell'ecografia eFAST è una pratica comune nella valutazione iniziale dei pazienti traumatizzati. Tale esame rappresenta una metodica diagnostica essenziale grazie alla sua natura rapida, non invasiva e alla possibilità di essere ripetuta più volte al letto del paziente. La sua efficacia risiede principalmente nella capacità di individuare precocemente versamenti ematici o pneumotorace nel soggetto politraumatizzato. Queste caratteristiche ne rendono l'utilizzo particolarmente vantaggioso all'interno del dipartimento di emergenza-urgenza, motivo per cui l'ecografia è stata integrata alle metodiche radiologiche convenzionali, come la radiografia del torace e la TC. L'eFAST è presente anche nelle linee guida ATLS per la gestione dei pazienti emodinamicamente stabili ed instabili. Per i pazienti stabili la positività dell'esame permette al clinico di temporizzare meglio ulteriori interventi diagnostici o terapeutici. Per i pazienti instabili un'eFAST positiva può indicare la necessità di intervento immediato attraverso il posizionamento di drenaggi toracici o l'invio in sala operatoria per laparotomie diagnostiche. In caso di eFAST negativa, ma in presenza di criteri dinamici o fisiologici, si procede ad inviare il paziente in radiologia per eseguire una TC Total Body. L'uso dell'eFAST è ormai prassi consolidata tra i medici di pronto soccorso e gli specialisti in Medicina d'Emergenza-Urgenza, configurandosi come un'estensione fondamentale dell'esame obiettivo. Tuttavia, bisogna considerare che si tratta di una metodica operatore-dipendente, la cui accuratezza può essere influenzata dall'esperienza di chi la esegue. Su questo presupposto si basa la ricerca in oggetto, che mira ad analizzare l'affidabilità diagnostica dell'eFAST nell'individuare sanguinamenti a livello pericardico, addominale, pelvico e pleurico, oltre alla diagnosi di pneumotorace. Per convalidare i risultati, i dati ecografici sono stati comparati con la TC toraco-addominale (considerata il *gold standard*) e con le diagnosi finali contenute nei referti di pronto soccorso.

Materiali e metodi

Lo studio condotto è uno studio osservazionale retrospettivo monocentrico, svolto presso l'Ospedale Maurizio Bufalini di Cesena, uno dei quattro trauma center riconosciuti a livello regionale in Emilia. Romagna.

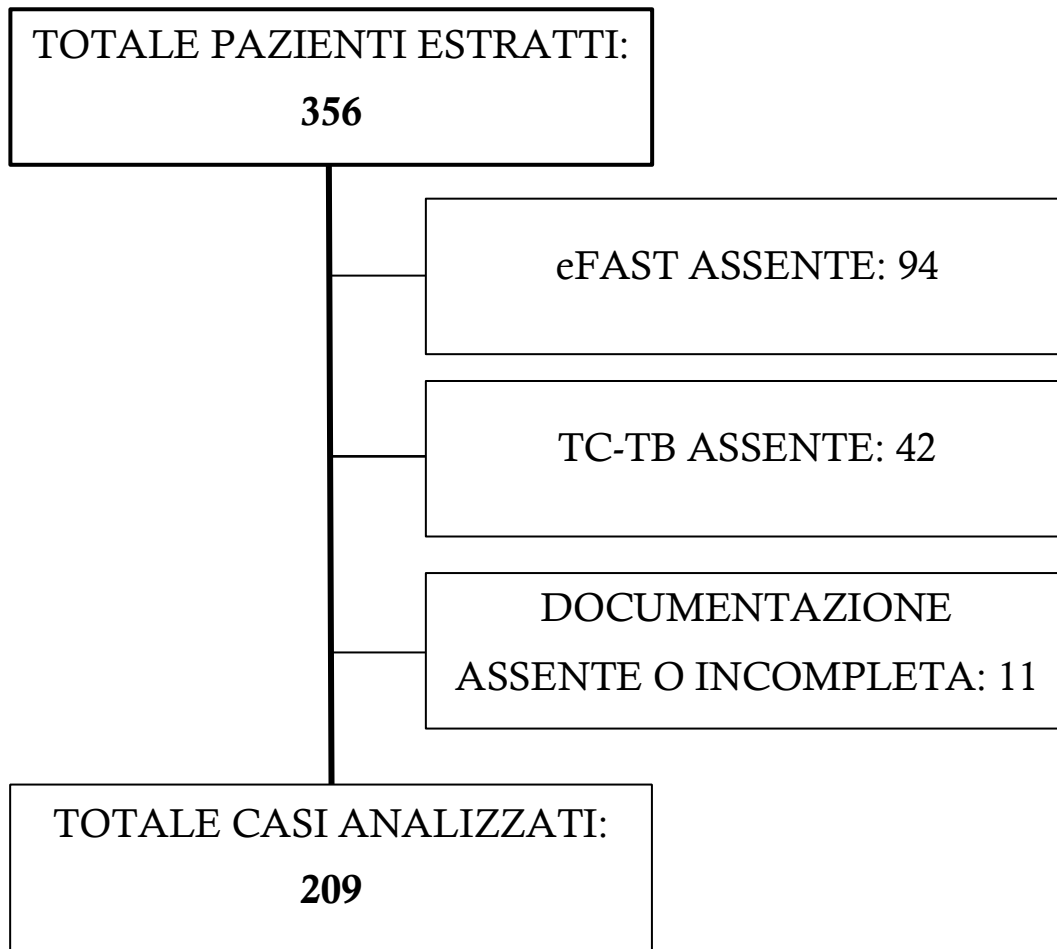
Precisiamo che questi risultati fanno parte di studio più ampio che comprende una revisione retrospettiva su più anni (dal 2023 al 2025) e nella sua articolazione completa, prevederà l'analisi congiunta dei dati provenienti dagli altri HUB regionali del trauma e di altri centri universitario-ospedalieri dell'Emilia Romagna.

I dati qui presentati, dunque, appartengono alla sola casistica Romagnola (popolazione totale di circa 1,2 mln) per l'anno 2023.

Popolazione

Attraverso un'estrazione retrospettiva degli accessi, sono stati inclusi nello studio tutti i pazienti che, nel periodo compreso tra gennaio 2023 e dicembre 2023, hanno fatto accesso al pronto soccorso dell'Ospedale M. Bufalini di Cesena identificati come politrauma. Tali soggetti sono stati sottoposti a valutazione clinica da parte del medico di pronto soccorso titolare della shock room in quel momento. Nei casi ritenuti necessari, è stata eseguita una valutazione ecografica mediante eFAST e successivamente una TC Total Body (encefalo-rachide-toraco-addominale-pelvi) per confermare o escludere le patologie riscontrate. La diagnosi definitiva per ciascun paziente è stata identificata attraverso il referto conclusivo di pronto soccorso e le lesioni riscontrate al momento della dimissione finale

I records dei pazienti per i quali non è stato possibile rinvenire il referto dell'ecografia efast o quello della TCTB oppure i cui dati erano incompleti, sono stati esclusi dall'analisi. Lo schema seguente sintetizza il processo di estrazione.



Tra le circostanze di esclusione principali troviamo, quindi, i casi in cui la eFAST non è stata eseguita o riportata nel verbale di PS oppure è stata eseguita tralasciando i segmenti toracici. In alcune occasioni i pazienti sono stati centralizzati da ospedali SPOKE, per cui non è stato possibile ricostruire l'intera documentazione informatica. Talvolta, non è stato possibile ottenere uno studio TCTB in pronto soccorso: questo si è verificato nei casi di gravità estrema per cui il paziente è andato immediatamente a trattamento chirurgico o combinato oppure nei casi ancora più gravi in cui il paziente è deceduto durante i tentativi di rianimazione e stabilizzazione in shock room.

Le caratteristiche della popolazione in studio sono state descritte utilizzando la mediana e l'intervallo interquartile per le variabili continue, mentre per le variabili categoriche sono stati riportati i valori assoluti accompagnati dalle relative percentuali.

Nel caso di confronto tra gruppi indipendenti, le mediane sono state confrontate mediante test χ^2 per campioni appaiati. Le analisi sono state eseguite utilizzando il software Jamovi e la significatività statistica è stata fissata a valori di $p < 0.05$.

L'analisi dell'accuratezza diagnostica dell'eFAST è stata condotta calcolando i principali parametri statistici: sensibilità, specificità, valore predittivo positivo, valore predittivo negativo e accuratezza globale.

Per stimare l'utilità clinica dell'eFAST nella rilevazione di emorragie e pneumotorace nel contesto del trauma maggiore, si è fatto ricorso al calcolo del Likelihood Ratio. Il LR è stato ottenuto a partire dai valori di sensibilità e specificità, e la sua determinazione ci consente di modificare la probabilità pre-test di una patologia (basata sulla prevalenza della stessa nella popolazione) in una probabilità post-test aggiornata alla luce del risultato dell'esame.

RISULTATI

DESCRIZIONE DELLA POPOLAZIONE

Durante il periodo di osservazione considerato, sono stati retrospettivamente esaminati i dati clinici dei pazienti che hanno fatto accesso al pronto soccorso per politrauma nel 2023. Di questi, 209 soggetti sono risultati eleggibili per l'inclusione nello studio in base ai criteri sopraccitati.

All'interno della coorte selezionata, la distribuzione per genere ha mostrato una prevalenza maschile, con 163 uomini (78%) e 46 donne (22%). L'età dei soggetti inclusi variava dai 7 a 100 anni, con un valore mediano pari a 52 anni. I dati sono riassunti in tabella 1.

Sesso	Num	Mediana Anni	Media anni	Età Minima	Età Massima
Uomini	163 (78%)	52	51	7	95
Donne	46 (22%)	52	47	9	100

Le comorbidità più comuni riscontrate nella popolazione generale sono state, rispettivamente, la cardiopatia ischemica cronica, lo scompenso cardiaco, la bronchite cronica ostruttiva, almeno una neoplasia solida attiva, l'insufficienza renale.

La tipologia di trauma si è rivelata prevalentemente di tipo contusivo o lacerativo-fratturativo. Un solo caso di trauma penetrante è stato registrato nel database. Come detto, la gravità del trauma è stata catalogata tramite punteggio AIS per aerea in modo da calcolare l'ISS. I risultati di tali misurazioni sono stati riportati in tabella 2

La mortalità intraospedaliera è stata documentata in 4 pazienti, pari al 2% della popolazione studiata.

La degenza ospedaliera ha avuto una durata mediana pari a 17 giorni. Tuttavia questo dato presenta un certo grado di variabilità, presumibilmente dovuto anche alle complicanze intraricovero (grafico 1). La distribuzione dei ricoveri è riportata in tabella 3.

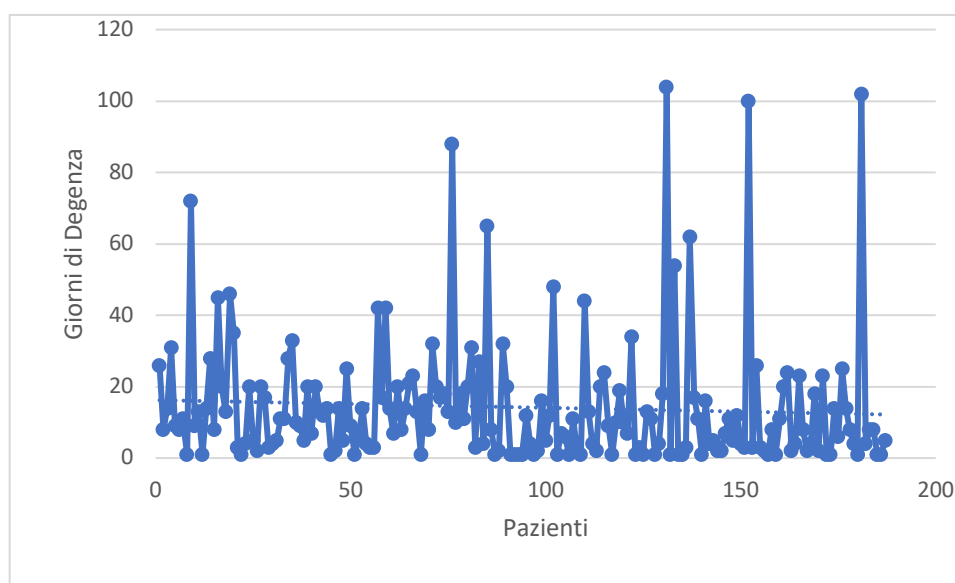


Grafico 1: si noti la distribuzione dei pazienti per giorni di permanenza e si notino alcuni dati outliers

Gravità lesione	Testa Collo	Volto	Torace	Addome	Estremità	Cute Esterna
0 Nessuna	65 31,1%	163 78,0%	84 40,19%	111 53,11%	62 29,67%	164 78,47%
1 Minore	79 37,8%	14 6,7%	13 6,22%	18 8,61%	32 15,31%	43 20,57%
2 Moderata	21 10,05%	20 9,6%	45 21,53%	52 24,88%	57 27,27%	2 0,96%
3 Seria	23 11,0%	12 5,7%	50 23,92%	14 6,70%	42 20,10%	0 0.0 %
4 Severa	18 8,61%	0 0.0 %	15 7,18	12 5,74%	10 4,78%	0 0.0 %
5 Critica	3 1,44%	0 0.0 %	2 0,96%	2 0,96%	6 2,87%	0 0.0 %
6 Fatale	0 0.0 %	0 0.0 %	0 0.0 %	0 0.0 %	0 0.0 %	0 0.0 %

Tabella 2: distribuzione dei punteggi AIS nella popolazione

DIMESSI DOPO OSSERVAZIONE IN PS	MEDICINA D'URGENZA ED AREA SUBINTENSIVA	CHIRURGIA D'URGENZA	TERAPIA INTENSIVA	ALTRO REPARTO O ALTRO OSPEDALE
49 (23,4%)	69 (33%)	7 (3,4%)	58 (227,8%)	26 (12,4%)

Tabella 3: esito dei pazienti valutati in PS

Per quanto riguarda la figura professionale dell'operatore, l'esame eFAST è stato eseguito nel 100% dei casi dal medico di pronto soccorso titolare della shock room.

Precisiamo un dettaglio organizzativo: al momento, l'organigramma della struttura non prevede un medico dedicato alla shock room, ma al momento opportuno, il medico capo turno del pronto soccorso diventa il medico responsabile della sala emergenze. Il ruolo del capoturno del pronto soccorso è un incarico codificato sia a livello di unità operativa sia a livello di direzione ospedaliera e viene affidata a medici specialisti di ampia esperienza. Tuttavia, la formazione ecografica, sebbene comprovata, non è uniformemente certificata e la provenienza specialistica unita alle attitudini professionali di ciascun operatore, all'epoca della misurazione, risultava variabile.

VALUTAZIONE DELLO PNEUMOTORACE

Per quanto riguarda lo pneumotorace i dati sono stati raccolti in maniera separata per pleure destre e sinistra. I risultati ottenuti sono pressochè identici per cui li esporremo in maniera unica.

Tabella 4: report per pneumotorace

		CT Scan		Total
		1	0	
efast	1	10	1	11
	0	24	174	198
Total		34	175	209

Della coorte esaminata l'eFAST ha identificato la presenza di pneumotorace in 10 pazienti (4,8% del totale) mentre la tomografia computerizzata, utilizzata come gold standard, ha documentato la presenza di pneumotorace in 24 pazienti (11,5%). (tabella 4)

L'analisi eseguita tramite test del χ^2 ha dimostrato ha dimostrato una differenza statisticamente significativa tra le due misurazioni (fast e ct) con $p < 0.001$. I valori di performance diagnostica per lo pneumotorace destro mostrano una sensibilità pari al 30%, una specificità del 99,5%, un'accuratezza complessiva del 89,5%, un PPV del 95,4% e un NPV del 88,4%. Il Likelihood Ratio positivo è risultato pari a 51, mentre il LR- si è attestato su 0,70. (tabella 5)

Dal nomogramma di Fagan riportato nella figura 1 si può visualizzare come i valori di LR+ e LR- influenzino la probabilità post test della misurazione nel caso dello pneumotorace.

Tabella 5: Diagnostic Accuracy Pneumotorace

	Result	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Sensitivity	30.1 %	15.10 %	47.48 %
Specificity	99.5 %	96.86 %	99.99 %
Positive Likelihood Ratio	51.471	6.811	388.989
Negative Likelihood Ratio	0.710	0.571	0.882
Prevalence	16.27 %	11.54 %	21.98 %
Positive Predictive Value	95.41 %	56.96 %	98.69 %
Negative Predictive Value	88.43 %	85.37 %	90.01 %
Accuracy	88.04 %	82.85 %	92.11 %

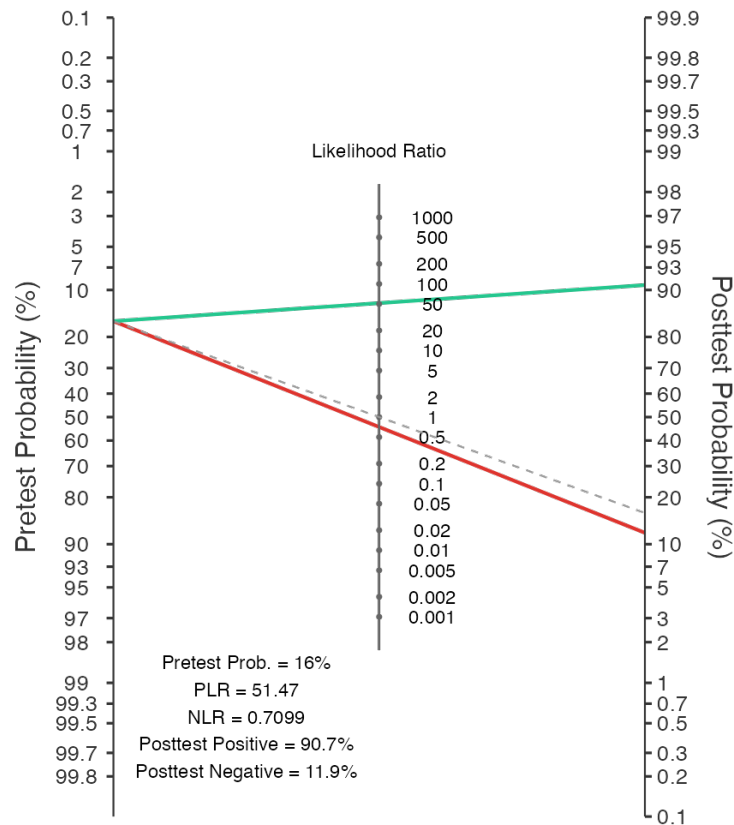


Figura 1: Nomogramma di Fagan per lo pneumotorace

SPAZIO PLEURICO

Anche nel caso della valutazione di versamento pleurico, le misurazioni sono state fatte in maniera separata per i campi di destra e di sinistra, con lievi differenze, motivo per cui ne parleremo in maniera separata.

EMITORACE DESTRO

L'ecografia ha identificato presenza di liquido pleurico in 5 pazienti (2,4%), mentre la tomografia computerizzata ha documentato versamento destro in 13 pazienti (6,2%). I parametri diagnostici ottenuti mostrano una sensibilità del 30,8%, una specificità del 99,5%, un'accuratezza complessiva del 95,2%, un PPV dell'80% e un NPV del 95,6%. Il LR+ è risultato pari a 60,3, mentre il Likelihood Ratio negativo è stato 0,70. (Tabella 6)

Tabella 6. Accuratezza Diagnostica per versamento pleurico destro.

	Result	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Sensitivity	30.77 %	9.09 %	61.43 %
Specificity	99.49 %	97.19 %	99.99 %
Positive Likelihood Ratio	60.308	7.252	501.523
Negative Likelihood Ratio	0.696	0.484	1.000
Prevalence	6.22 %	3.35 %	10.40 %
Positive Predictive Value	80.00 %	32.48 %	97.08 %
Negative Predictive Value	95.59 %	93.78 %	96.89 %
Accuracy	95.22 %	91.38 %	97.68 %

L'analisi eseguita tramite test del χ^2 ha dimostrato ha dimostrato una differenza statisticamente significativa tra le due misurazioni (fast e ct) con $p = 0.011$.

Il nomogramma di Fagan (*figura 2*) indica che l'eFAST positiva consente di aumentare la probabilità post-test al 80%. Al contrario, un risultato negativo riduce la probabilità residua di versamento al 4%

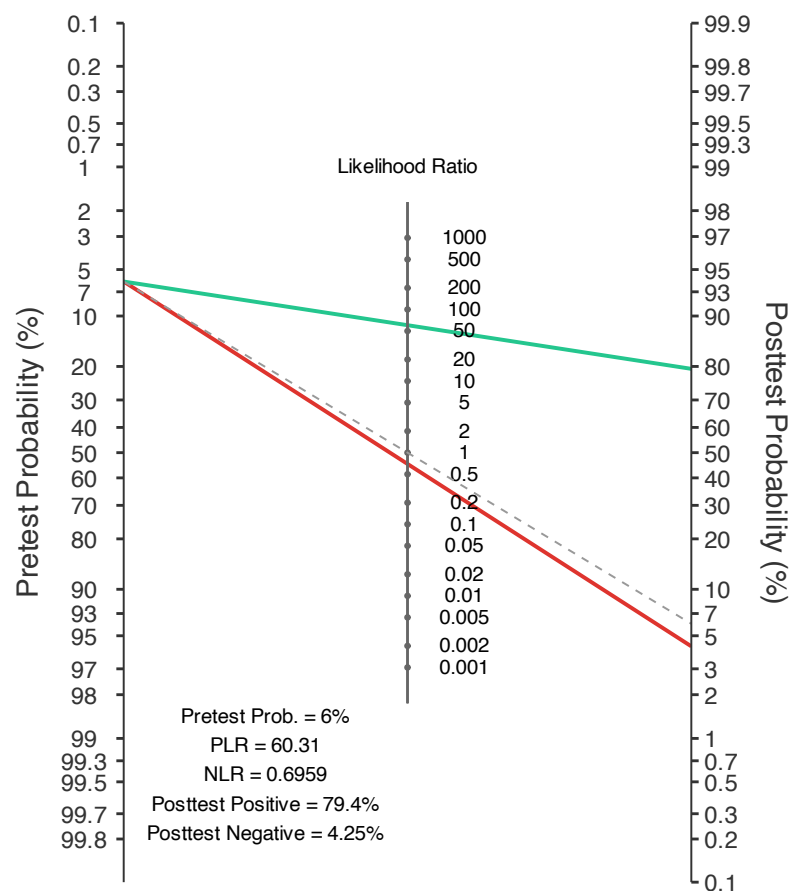


Figura 2: nomogramma di Fagan per il versamento pleurico destro

EMITORACE SINISTRO

Per quanto riguarda il torace sinistro, l'eFAST ha identificato presenza di raccolta fluida in 4 pazienti (1,9%), mentre la TC toracica in 16 pazienti (7,7%).

Dal punto di vista diagnostico, l'eFAST per il versamento sinistro ha mostrato una sensibilità del 25,0%, una specificità del 100%, un'accuratezza del 94,2%, un PPV del 100% e un NPV del 94,2%. Il Likelihood Ratio positivo è risultato incalcolabile, il Likelihood Ratio negativo è stato pari a 0,75. (tabella 7).

L'analisi eseguita tramite test del χ^2 ha dimostrato ha dimostrato una differenza statisticamente significativa tra le due misurazioni (eco e ct) con $p < 0.001$

Tabella 7. Accuratezza Diagnostica per versamento pleurico sinistro.

	Result	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Sensitivity	25.00 %	7.27 %	52.38 %
Specificity	100.00 %	98.11 %	100.00 %
Positive Likelihood Ratio	Inf	NaN	Inf
Negative Likelihood Ratio	0.750	0.565	0.995
Prevalence	7.66 %	4.44 %	12.13 %
Positive Predictive Value	100.00 %	NaN %	100.00 %
Negative Predictive Value	94.15 %	92.38 %	95.52 %
Accuracy	94.26 %	90.19 %	97.00 %

FINESTRA PERICARIDICA

Nella nostra casistica i casi di versamento pericardico individuati con metodica ecografica sono stati 6 (2,9%), mentre quelli confermati dalla TC 7 (3,4%). Tuttavia, i casi non apparivano appaiati, vale a dire che la efast ha individuato 5 casi non confermati dalla TC. (tabella 8.)

Tabella 8: risultati finestra pericardica

Efast peric	CT peric		Totale
	0	1	
0	197	6	203
1	5	1	6
Totale	202	7	209

Da questo sono risultati una sensibilità 14,3% e una specificità 97,5%, accuratezza complessiva 94,7%, valore predittivo positivo 16,7%, e valore predittivo negativo 97%. Il Likelihood Ratio positivo è risultato 5,7 e il Likelihood Ratio negativo tendeva a 0,88. (tabella 9).

Tabella 9. Accuratezza Diagnostica per versamento pericardico.

	Result	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Sensitivity	14.29 %	0.36 %	57.87 %
Specificity	97.51 %	94.29 %	99.19 %
Positive Likelihood Ratio	5.743	0.769	42.88
Negative Likelihood Ratio	0.879	0.649	1.19
Prevalence	3.37 %	1.36 %	6.81 %
Positive Predictive Value	16.67 %	2.61 %	59.89 %
Negative Predictive Value	97.03 %	96.02 %	97.79 %
Accuracy	94.71 %	90.73 %	97.33 %

Il nomogramma di Fagan relativo al versamento pericardico (*figura 3*) raffigura queste relazioni.

L'analisi eseguita tramite test del χ^2 ha dimostrato ha dimostrato una differenza non statisticamente significativa tra le due misurazioni (ecografia e TAC) con $p = 0.763$.

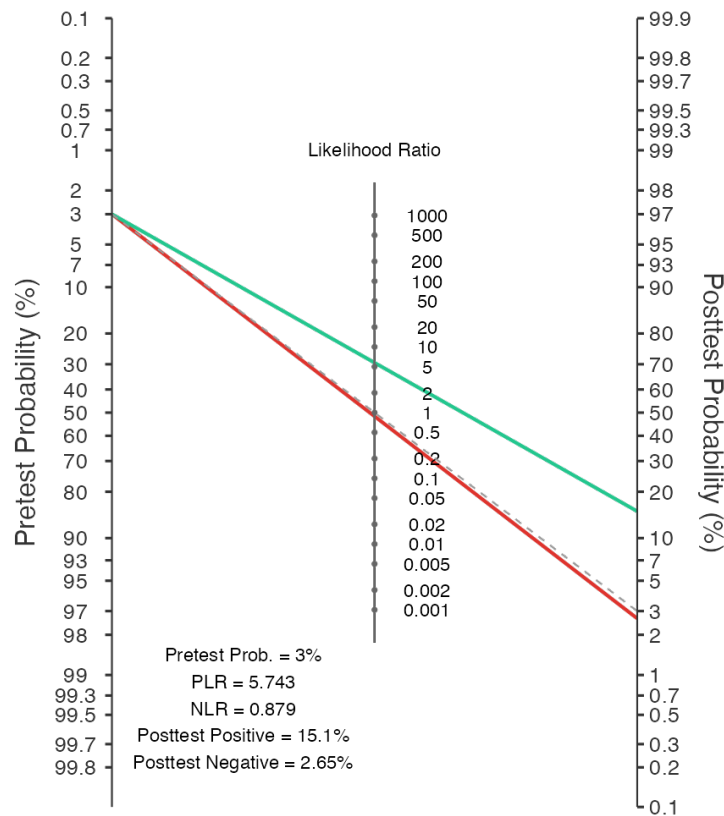


Figura 3: nomogramma di Fagan per il versamento pericardico

SPAZIO EPATORENALE

Proseguendo con la valutazione efast arriviamo al distretto addominale, con particolare attenzione allo spazio epato-renale (di Morison), che, come abbiamo visto, ci consente di identificare la presenza di raccolte ematiche indicative di emoperitoneo.

Nella nostra casistica l'esame eFAST ha evidenziato la presenza di versamento in tale sede in 12 pazienti (5,7%) con 3 falsi

Tabella 10: dati misurazione Morison's pouch

efast	CT		Totale
	0	1	
1	3	9	12
0	187	10	197
Totale	190	19	209

positivi (1,4%), mentre la TC è risultata positiva in 19 pazienti (9,1%). Dall'analisi incrociata tra le due metodiche sono stati identificati 9 veri positivi e 10 falsi negativi. (tabella 10).

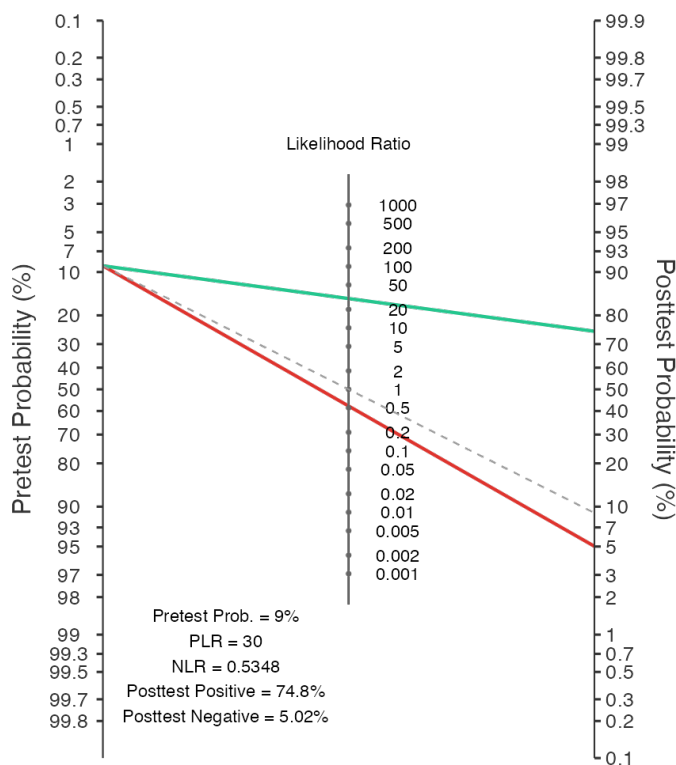
È risultata una sensibilità pari al 47,4%, ma una specificità del 98,4%, un'accuratezza complessiva del 93,8%, PPV del 75% e un valore predittivo negativo del 94,2%. Il Likelihood Ratio positivo è risultato 30, il Negative Likelihood Ratio è risultato pari a 0,54. (tabella 11) (Grafico figura 4).

Tabella 11: Accuratezza diagnostica Morison's pouch

	Result	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Sensitivity	47.37 %	24.45 %	71.14 %
Specificity	98.42 %	95.46 %	99.67 %
Positive Likelihood Ratio	30.000	8.870	101.471
Negative Likelihood Ratio	0.535	0.349	0.820
Prevalence	9.09 %	5.56 %	13.83 %
Positive Predictive Value	75.00 %	47.00 %	91.03 %
Negative Predictive Value	94.92 %	92.43 %	96.63 %
Accuracy	93.78 %	89.60 %	96.65 %

L'analisi eseguita tramite test del χ^2 ha dimostrato ha dimostrato una differenza statisticamente significativa tra le due misurazioni (ecografia e TAC) con $p < 0.001$.

Figura 4: nomogramma di Fagan per il versamento epatorenale



SPAZIO SPLENORENALE

Nella nostra casistica l'ecografia della loggia splenorenale ha evidenziato la presenza di versamento in tale sede in 11 pazienti (5,3%) con 3 falsi positivi (1,4%), mentre la TC è risultata positiva in 20 pazienti (9,6%). (tabella 12).

Tabella 12 spazio splenorenale

efast	CT		Totale
	0	1	
0	186	12	198
1	3	8	11
Totale	189	20	209

È risultata una sensibilità pari al 40%, ma una specificità del 98,4%, un'accuratezza complessiva del 92,8%, PPV del 72,7% e un valore predittivo negativo di 93,9%. Il Likelihood Ratio positivo è risultato 25, il Negative Likelihood Ratio è risultato pari a 0,6. (tabella 13). Il nomogramma

di Fagan relativo è riportato in figura 5.

Tabella 13: Accuratezza diagnostica spazio epatorenale

	Result	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Sensitivity	40.00 %	19.12 %	63.95 %
Specificity	98.41 %	95.43 %	99.67 %
Positive Likelihood Ratio	25.200	7.261	87.456
Negative Likelihood Ratio	0.610	0.426	0.872
Prevalence	9.57 %	5.94 %	14.39 %
Positive Predictive Value	72.73 %	43.45 %	90.25 %
Negative Predictive Value	93.94 %	91.55 %	95.69 %
Accuracy	92.82 %	88.44 %	95.93 %

L'analisi eseguita tramite test del χ^2 ha dimostrato ha dimostrato una differenza statisticamente significativa tra le due misurazioni (ecografia e TAC) con $p = 0.020$.

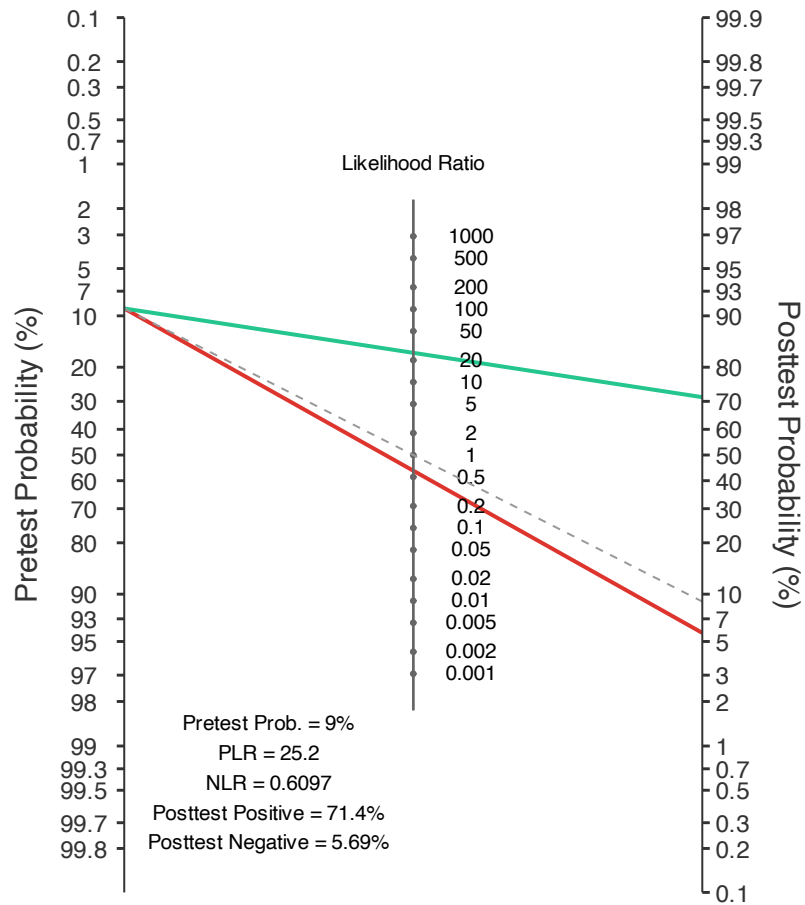


Figura 5: nomogramma di Fagan per il versamento splenorenale

FINESTRA SOVRAPUBICA

Tabella 14: risultati per finestra sovrappubica

fast	CT		Totale
	1	0	
0	30	167	197
1	8	2	10
Totale	38	169	207

L'indagine ecografica eFAST estesa allo spazio pelvico sovra-pubico, è stata eseguita con l'obiettivo di identificare eventuali raccolte fluide nello scavo del Douglas, nella donna, o nello spazio retto-vescicale, nell'uomo.

Tabella 15: Accuratezza diagnostica spazio sovrappubico

	Result	95% Confidence Interval	
		Lower	Upper
Sensitivity	21.05 %	9.55 %	37.32 %
Specificity	98.82 %	95.79 %	99.86 %
Positive Likelihood Ratio	17.789	3.934	80.448
Negative Likelihood Ratio	0.799	0.677	0.942
Prevalence	18.36 %	13.33 %	24.31 %
Positive Predictive Value	80.00 %	46.94 %	94.76 %
Negative Predictive Value	84.77 %	82.52 %	86.78 %
Accuracy	84.54 %	78.88 %	89.18 %

Sono risultati positivi 10 pazienti (4,8%) all'esame eFAST e 38 (18,2%) alla tomografia computerizzata. Dal confronto tra le due metodiche l'ecografia ha identificato 8 veri positivi, 2 falsi positivi e 30 falsi negativi. (tabella 14).

I parametri di accuratezza diagnostica ottenuti per il distretto pelvico mostrano una sensibilità del 21%, una specificità del 98,8%. Il Likelihood Ratio positivo è risultato 17,8, mentre il Likelihood Ratio negativo ha raggiunto 0,8 (tabella 15, Grafico Figura 6 Nomogramma di Fagan)

L'analisi eseguita tramite test del χ^2 ha dimostrato ha dimostrato una differenza statisticamente significativa tra le due misurazioni (ecografia e TAC) con $p < 0.001$.

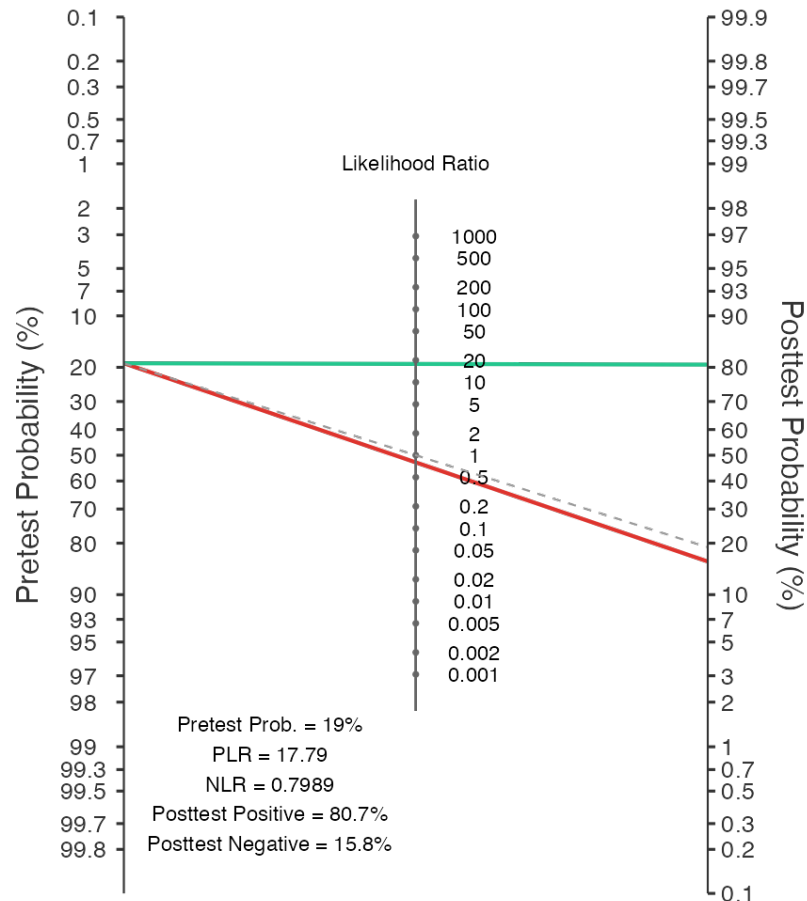


Figura 6: nomogramma di Fagan per il versamento sovrapubico

ANALISI ULTERIORI

Suddividendo poi la popolazione sulla base del punteggio ISS sono state ottenute tre categorie:

- Mild Trauma: ISS < 15
- Moderate Trauma: 16 < ISS < 25
- Severe Trauma: ISS < 25

Sono stati ripetuti i test eseguiti per distretto come illustrato prima. I dati sono risultati tutto sommato sovrapponibili per le popolazioni a basso, moderato e severo punteggio di gravità (tabella 16).

	ISS	N.	SEX	ETÀ MEDIANA
MILD	0 - 15	118 (56,5%)	M (90) F (28)	52
MODERATE	16 - 25	48 (23%)	M (38) F (10)	55,5
SEVERE	> 25	43 (20,6%)	M (35) F (8)	50

Tabella 16: divisione popolazione per ISS

Come ulteriore analisi abbiamo eseguito una regressione logistica binomiale nella popolazione mixata per capire se potessero esserci fattori che hanno influenzato l'esito delle misurazioni ecografiche rispetto a quelle fatte con tomografia. In particolare, tra le variabili analizzate, ci siamo soffermati su:

- ISS totale dei pazienti
- Età dei pazienti
- Giorni di degenza ospedaliera

Nella popolazione generale l'ecografia efast è generalmente discordante con la TCTB (gold standard) in 78 casi su 209 pari al 37,3% del totale.

È stata condotta una regressione logistica binomiale per identificare i fattori associati ai falsi negativi. L'Injury Severity Score (ISS) è risultato significativamente inversamente associato alla probabilità di falso negativo (OR=0.938, 95% CI [0.908-0.968], p<.001). Per ogni punto incrementale dell'ISS, il rischio di falso negativo si riduceva del 10%. (tabella 21)

Predittore	Stima	95% Intervallo di Fiducia		SE	Z	p	Odds-Ratio	95% Intervallo di Fiducia	
		Inferiore	Superiore					Inferiore	Superiore
Intercettare	0.55041	-0.23423	1.3350	0.40033	1.375	0.169	1.734	0.791	3.800
iss	-0.06429	-0.09613	-0.0324	0.01625	-3.957	<.001	0.938	0.908	0.968
età	0.02075	0.00762	0.0339	0.00670	3.096	0.002	1.021	1.008	1.034
degenza gg	-0.00396	-0.02290	0.0150	0.00966	-0.410	0.682	0.996	0.977	1.015

Tabella 21: Analisi di regressione logistica binomiale per le covariate ISS, età e giorni di degenza ospedaliera

L'analisi stratificata per livelli di gravità ha mostrato una sensibilità progressivamente crescente dell'ecografia efast. L'analisi delle medie marginali ha evidenziato un decremento progressivo della probabilità di falso negativo all'aumentare dell'ISS, coerentemente con l'odds ratio osservato (Grafico figura 7).

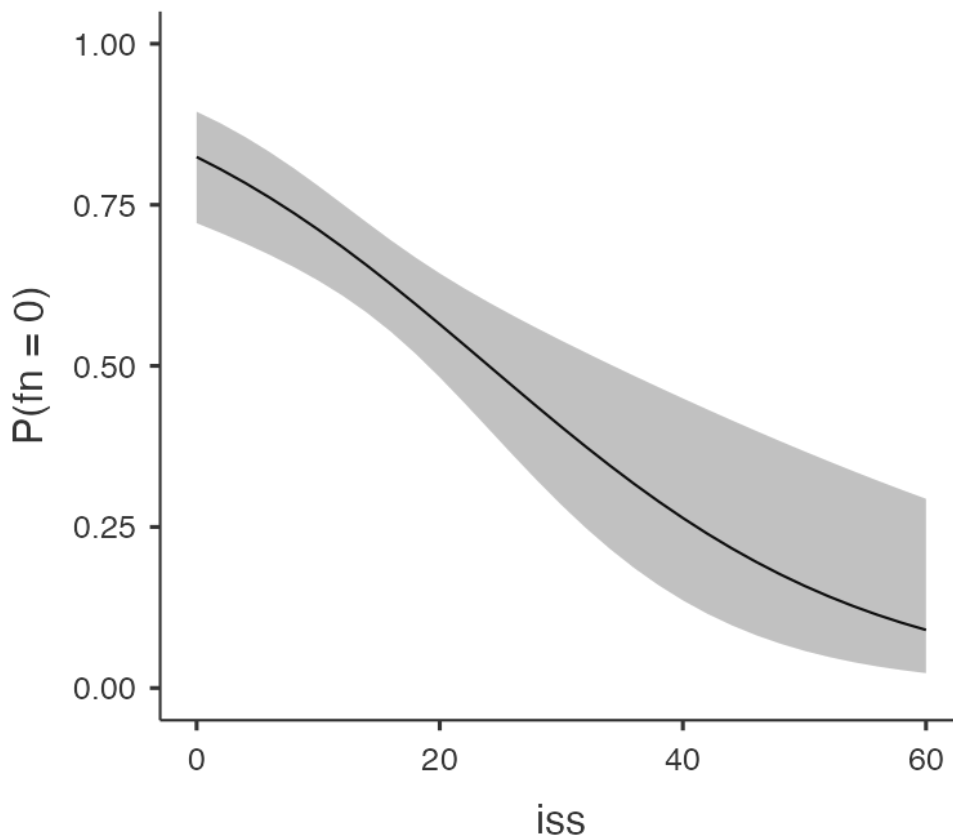


Grafico Figura 7: asse X= punteggio ISS
Asse Y= tasso di Falsi negativi

Un risultato simile è emerso andando a considerare come variabile l'età. L'età avanzata è risultata significativamente associata alla probabilità di falso negativo (OR=1.021, 95% CI [1,008-1,034], p=0.002). Per ogni anno di età in più il rischio di falso negativo aumentava del 2,1%. (tabella 21). L'analisi delle medie marginali ha evidenziato un incremento progressivo della probabilità di falso negativo all'aumentare dell'età, coerentemente con l'odds ratio osservato (Grafico figura 8).

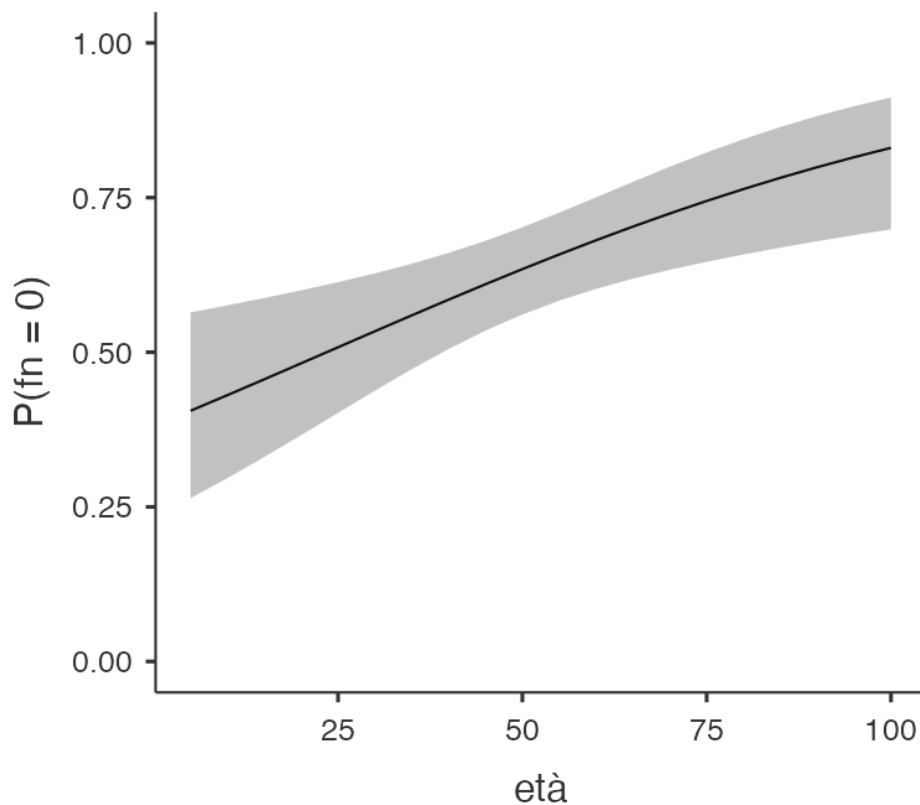


Grafico Figura 8: asse X= età in anni
Asse Y= tasso di Falsi negativi

Al contrario, analizzando i dati per i giorni di degenza non è emerso alcuna associazione significativa (tabella 21) (Grafico figura 9)

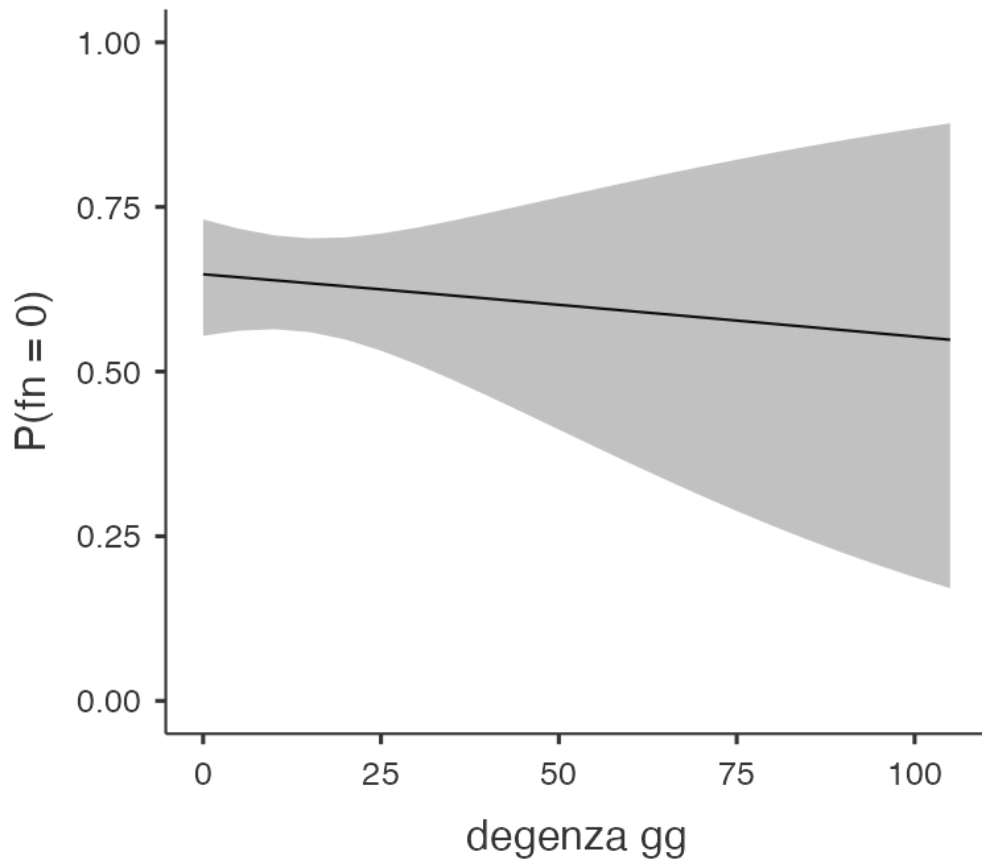


Grafico Figura 9: asse X= giorni di degenza
Asse Y= tasso di Falsi negativi

DISCUSSIONE

Nel presente studio è stata valutata l'accuratezza diagnostica dell'ecografia eFAST, analizzando separatamente i principali distretti anatomici esplorati. Questa metodologia di analisi ha consentito di ottenere una visione dettagliata delle performance della tecnica eFAST nei diversi distretti corporei e di effettuare un confronto puntuale con i dati presenti nella letteratura scientifica.

Nel presente studio, l'eFAST ha mostrato un'elevata accuratezza complessiva nella rilevazione dello pneumotorace, con valori pari al 100% per il polmone destro e al 99,4% per quello sinistro. Nonostante l'ottima accuratezza e la specificità elevata, la sensibilità è risultata più bassa, pari rispettivamente al 30,3% e al 29,4%. Andando a revisionare i referti TC ci siamo accorti come la maggior parte degli pneumotoraci mancanti dall'ecografia abbia avuto dimensioni subcentimetriche con valori oscillanti tra i 3 e gli 8 mm. Questo suggerisce che, pur essendo una metodica affidabile nel confermare l'assenza di pneumotorace, l'eFAST presenta limitazioni nel rilevare piccoli pneumotoraci. Ovviamente, bisogna precisare, che tale categoria di lesioni non rivestono alcuna rilevanza clinica nella gestione in emergenza-urgenza del paziente politraumatizzato, per cui possono essere trascurate.

Relativamente al versamento pleurico, l'eFAST ha confermato un'alta accuratezza diagnostica, risultata pari al 95,1% per il polmone destro e al 94,2% per quello sinistro. La specificità è risultata ottima, 99,5% a destra e 100% a sinistra. Tuttavia, anche in questa sezione è stato registrato un calo per la sensibilità con valori del 30% a destra e del 25% a sinistra (tabelle 6 e 7). Anche qui l'entità dei versamenti TC refertati e mancanti dall'ecografia è risultata in larga parte modesta. Bisogna sottolineare che la sonda ecografica viene utilizzata da un clinico a diretto contatto con un paziente: in tale contesto, il professionista dell'emergenza urgenza è in grado di integrare

informazioni clinico-anamnestiche direttamente con l'esame ecografico e quindi identificare se quel versamento possa essere di origine traumatica o meno. Al contrario, lo specialista radiologo si esprime senza aver valutato direttamente il paziente, ma referta immagini computerizzate integrandole con limitate informazioni cliniche. Questo processo talvolta porta a una fredda descrizione di reperti, che poi possono o meno rientrare nel contesto generale. Per riassumere, come osservato anche per lo pneumotorace, la maggior parte delle alterazioni riscontrate nei falsi negativi erano di scarsa entità e clinicamente non rilevanti.

Nel presente studio, l'accuratezza diagnostica dell'eFAST per l'identificazione del versamento pericardico è risultata discretamente elevata, raggiungendo il 94,7%, a conferma della validità della metodica nel contesto dell'emergenza traumatologica. La specificità è risultata pari al 97,5%, mentre la sensibilità si è fermata solo al 14,3%. Anche in questo caso vale il discorso enunciato precedentemente ovvero che molte condizioni possono portare a presenza di versamento o scollamento dei foglietti pericardici. Chiaramente, non sempre tale dato riveste una qualche significatività nella gestione del paziente da parte del medico di emergenza urgenza, che, impegnato nel rapido inquadramento e stabilizzazione del paziente, tende a scartare informazioni non rilevanti.

Osservando i dati della finestra epato-renale assistiamo a dei buoni valori di sensibilità con una specificità nettamente più alta, un PPV del 75% e un NPV del 94,9% (tabella 18 e figura 5).

Nella finestra spleno-renale, l'accuratezza diagnostica dell'eFAST nella rilevazione di versamento emorragico si è mantenuta su valori elevati, pari al 92,2%. La sensibilità osservata è stata del 40% e la specificità del 98,4% con LR+ di 25 (tabella 12 e grafico figura 4).

Infine, concludendo l'area addominale, sono stati analizzati i dati della finestra sovrapubica. Nella revisione dei referti TCTB tra i falsi negativi ecografici è stata rilevata una certa prevalenza di esami TC positivi per la presenza di ematomi subcentimetrici perivescicali o dello spazio del Retzius (*area virtuale interposta tra parete anteriore vescicale e parete posteriore del pube*). Anche in questo caso è opportuno precisare che questi ematomi subcentimetrici senza segni di spandimento attivo non rivestono particolare rilevanza clinica. Inoltre, l'esame efast in finestra sovrapubica, come detto, si concentra nell'area tra retto e vescica nell'uomo e tra retto e utero nella donna; per questo motivo sia gli ematomi parasinfisari che quelli paravescicali, tecnicamente, non rientrano nelle prerogative dell'indagine giacché l'operatore è concentrato a visualizzare un'altra zona pelvica.

Globalmente, possiamo dire, che la metodica efast ha raggiunto ottimi risultati in termini di specificità ed accuratezza globale, mentre per quanto riguarda la sensibilità, gli esiti osservati sono risultati inferiori rispetto ai dati di letteratura.

A questo proposito, soffermandoci sulla sensibilità, che rappresenta l'indice maggiormente discordante rispetto ad altri studi anche già citati, è importante contestualizzare il dato all'interno delle caratteristiche della popolazione analizzata e della metodologia applicata. Molti lavori che riportano sensibilità più elevate, hanno incluso popolazioni in cui rientravano molti pazienti emodinamicamente instabili (137) (113). Questo ha portato a campioni arricchiti di casi gravi, con una maggiore probabilità di riscontrare pneumotoraci massivi o raccolte fluide significative ovvero lesioni più facilmente individuabili tramite eFAST.

Diversamente, nel nostro studio, i pazienti con ISS >25 rappresentavano solo una parte minoritaria (tabella 16) e questo ha comportato una prevalenza di lesioni di minore entità, spesso caratterizzate da pneumotoraci esili o da

modesti versamenti pleurici e peritoneali, condizioni più difficili da identificare mediante l'ecografia rapida.

Analogamente, studi come quelli di Basnet, e Tso , che riportano sensibilità sensibilmente superiori, sono stati condotti in contesti sperimentali in cui gli operatori coinvolti avevano ricevuto formazione ecografica mirata ai fini dello studio (124)(138). Questo elemento metodologico, sebbene aumenti l'accuratezza degli esami, rende tali risultati meno rappresentativi della pratica clinica quotidiana del pronto soccorso.

Al contrario, studi come quello di H. Akoglu e di B. Natarajan, i quali hanno escluso i soggetti instabili e non prevedevano corsi di formazione specifica per gli operatori, hanno riportato valori di sensibilità molto più simili a quelli ottenuti nel presente lavoro.(94)(128)

È stato inoltre dimostrato che nei pazienti stabili il valore diagnostico dell'eFAST può risultare inferiore rispetto a quanto riportato in scenari misti: la sensibilità globale osservata al primo esame è stata infatti solo del 50%, migliorata al 66,7% ripetendo l'eFAST a distanza di tre ore (122). Questo dato sottolinea come, soprattutto nei pazienti stabili e con lesioni inizialmente sfumate, l'ecografia possa beneficiare della ripetizione temporale per aumentare la propria capacità diagnostica. Nel nostro setting, sappiamo bene che la efast viene eseguita nei primi minuti dall'arrivo del paziente in shock room. Purtroppo però, non è stato possibile collezionare i dati del tempo trascorso dal momento del trauma all'arrivo in sala emergenze.

Infine, è bene sottolineare, che l'ecografia eFast per definizione ha dei tempi di esecuzione stretti e viene spesso eseguita in un contesto non ottimale (condizioni di piena luce, forte stress emotivo, posizioni poco confortevoli per l'operatore). Questi fattori possono influenzare la quota parte di esame dovuta specificatamente all'operatore più che alla metodica.

Va inoltre, considerata la limitata panoramicità dell'ecografia rispetto alla TC, gold standard diagnostico, soprattutto nella valutazione di compartimenti posteriori.

Alla luce di queste considerazioni, abbiamo cercato di capire quali potessero essere i fattori che hanno influenzato le misurazioni nel nostro lavoro e i risultati in contrasto con la letteratura.

L'analisi di regressione logistica binomiale ha considerato come possibili variabili confondenti l'Injury Severity Score (ISS), l'età dei pazienti e i giorni di degenza. L'ISS è risultato inversamente associato alla probabilità di falso negativo ecografico (OR=0.938, 95% CI [0.908-0.968], $p<.001$). Vale a dire che per ogni punto incrementale dell'ISS, il rischio di falso negativo si riduceva del 10% (tabella 21). Questo suggerisce che l'efficacia diagnostica ecografica sia effettivamente significativamente influenzata dall'entità del trauma, limitandone l'affidabilità nei casi di lievi o comunque con lesioni non clinicamente impattanti, mentre conserva la sua affidabilità diagnostica (e quindi decisionale) nei pazienti critici. Questo risultato supporta la bontà delle affermazioni circa la mancata individuazione dell'ecografia di lesioni non clinicamente significative.

Analogamente, l'analisi condotta considerando l'età anagrafica ha messo in luce come l'età avanzata è risultata significativamente associata alla probabilità di falso negativo (OR=1.021, 95% CI [1,008-1,034], $p=0.002$) (tabella 21). Questo può essere imputato al fatto che pazienti geriatrici o con comorbidità abbiano più fattori confondenti che possono limitare la sensibilità dell'ecografia rispetto a pazienti considerati "*fit*".

Come terza variabile, l'analisi combinata con i giorni di degenza non ha dato esiti significativi. Probabilmente ciò è dovuto al fatto che diversi pazienti hanno subito ricoveri molto lunghi il che espone la comparsa di numerose complicanze non prevedibili ma che rappresentano, senza dubbio, ulteriori elementi di confondimento.

ULTERIORI OSSERVAZIONI

Il presente studio presenta tra i punti di forza il fatto che la popolazione analizzata fosse costituita da pazienti giunti al pronto soccorso di un trauma center regionale, garantendo così una distribuzione omogenea per età e sesso, potenzialmente rappresentativa della popolazione generale dei traumatizzati. Tuttavia, lo studio presenta anche alcune limitazioni. La natura monocentrica dell'indagine comporta una potenziale limitazione, visto che i dati riflettono un'unica realtà ospedaliera (per il momento) limitata all'anno 2023. Inoltre, la retrospettività dello studio, limita il controllo su variabili confondenti e sulla standardizzazione dell'esecuzione.

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti da questo studio confermano l'utilità diagnostica dell'ecografia eFAST come strumento complementare nella gestione del paziente con trauma maggiore.

L'analisi per distretto ha mostrato specificità sistematicamente superiori al 95% e valori di Likelihood Ratio positivo ben al di sopra della soglia di 10 in tutti i compartimenti. Questo indica che, in presenza di un quadro clinico sospetto, un riscontro positivo all'eFAST è altamente affidabile e può considerarsi sufficiente per porre diagnosi operativa in regime di emergenza, evitando in alcuni casi l'esecuzione di esami radiologici più invasivi o dispendiosi in termini di tempo.

Nel complesso, i dati di questo studio confermano che l'eFAST mantiene una specificità molto elevata, rendendola una metodica eccellente per confermare il sospetto clinico di raccolte ematiche o pneumotorace. Tuttavia, in pazienti emodinamicamente stabili e in presenza di lesioni minori, la capacità di escludere la patologia risulta ridotta, suggerendo che nei casi dubbi l'ecografia debba essere integrata con esami di imaging più sensibili. Le cause di questa bassa sensibilità possono essere attribuite a diversi fattori: dall'età dei pazienti

coinvolti alla variabilità inter-operatore, alla natura retrospettiva dello studio, fino alla complessità tecnica di alcuni distretti anatomici e alla possibile non collaborazione del paziente.

In sintesi, l'eFAST si conferma uno strumento rapido, sicuro e ad alto valore aggiunto per confermare un sospetto clinico, soprattutto nei pazienti instabili o in condizioni critiche. Tuttavia, non può essere considerato sufficiente per escludere la patologia in caso di negatività, e nei soggetti stabili è opportuno completare l'inquadramento con metodiche di imaging più sensibili, come la tomografia computerizzata. Il suo utilizzo corretto e consapevole, integrato nella valutazione clinica e nei protocolli decisionali, può contribuire a migliorare significativamente l'inquadramento e la gestione iniziale del politrauma in Pronto Soccorso.

BIBLIOGRAFIA

1. Kroupa J. [Definition of «polytrauma» and «polytraumatism»]. Acta Chir Orthop Traumatol Cech. luglio 1990;57(4):347–60. PubMed PMID: 2239047.
2. Balogh ZJ. Polytrauma: It is a disease. Injury. 1 giugno 2022;53(6):1727–9. doi:10.1016/j.injury.2022.05.001
3. Pothmann CEM, Baumann S, Jensen KO, Mica L, Osterhoff G, Simmen HP, et al. Assessment of polytraumatized patients according to the Berlin Definition: Does the addition of physiological data really improve interobserver reliability?
4. Butcher N, Balogh ZJ. The definition of polytrauma: the need for international consensus. Injury. 1 novembre 2009;Current concepts in polytrauma management40:S12–22. doi:10.1016/j.injury.2009.10.032
5. Pape HC, Lefering R, Butcher N, Peitzman A, Leenen L, Marzi I, et al. The definition of polytrauma revisited: An international consensus process and proposal of the new ‘Berlin definition’. J Trauma Acute Care Surg. novembre 2014;77(5):780. doi:10.1097/TA.0000000000000453
6. Driessen MLS, Sturms LM, van Zwet EW, Bloemers FW, ten Duis HJ, Edwards MJR, et al. Evaluation of the Berlin polytrauma definition: A Dutch nationwide observational study. J Trauma Acute Care Surg. aprile 2021;90(4):694. doi:10.1097/TA.00000000000003071
7. Mateo-Sierra O, Boto R, Torre A de la, Montalvo A, Pérez-Díaz D, Rey C. Trends in Etiology and Mortality in Severe Polytrauma Patients with Traumatic Brain Injury: A 25-Year Retrospective Analysis. J Clin Med. gennaio 2025;14(19):6986. doi:10.3390/jcm14196986

8. Halvachizadeh S, Mariani D, Pfeifer R. Impact of trauma on society. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 26 marzo 2025;51(1):155. doi:10.1007/s00068-025-02824-8 PubMed PMID: 40140090.
9. Giustini M, Fondi G, Cedri C, Cedri S, Crenca A. Gli accessi in pronto soccorso per incidenti e violenza in tre Regioni italiane: i dati di sorveglianza dell'European Injury Database (2018).
10. Cioffi SPB, Cimbanassi S, Sammartano F, Chiara O. Trauma systems in Italy: the Lombardy experience. *Emerg Crit Care Med.* dicembre 2024;4(4):183. doi:10.1097/EC9.0000000000000094
11. James D, Pennardt AM. Trauma Care Principles. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citato 5 febbraio 2026]. Disponibile su: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK547757/> PubMed PMID: 31613537.
12. Desai N. Extended focused assessment with sonography in trauma.
13. Akoglu H, Celik OF, Celik A, Ergelen R, Onur O, Denizbasi A. Diagnostic accuracy of the Extended Focused Abdominal Sonography for Trauma (E-FAST) performed by emergency physicians compared to CT.
14. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [Internet]. [citato 4 febbraio 2026]. Disponibile su: <https://pdf.sciencedirectassets.com340>
15. Søreide K. Epidemiology of major trauma.
16. Incidenti stradali in Italia – 2024 [Internet]. [citato 5 febbraio 2026]. Disponibile su: <https://www.istat.it/comunicato-stampa/incidenti-stradali-in-italia-2024/>

17. Epidemiology of Traumatic Injuries at a Single Regional Trauma Center in South Korea: Age-Specific and Temporal Trends (2014–2023) [Internet]. [citato 5 febbraio 2026]. Disponibile su: <https://www.mdpi.com/2227-9032/13/7/773>
18. Dinh MM, Roncal S, Byrne CM, Petchell J. Growing trend in older patients with severe injuries: mortality and mechanisms of injury between 1991 and 2010 at an inner city major trauma centre. *ANZ J Surg.* 2013;83(1–2):65–9. doi:10.1111/j.1445-2197.2012.06180.x
19. Kehoe A, Smith JE, Edwards A, Yates D, Lecky F. The changing face of major trauma in the UK. *Emerg Med J.* 2026.
20. Jiang L, Zheng Z, Zhang M. The incidence of geriatric trauma is increasing and comparison of different scoring tools for the prediction of in-hospital mortality in geriatric trauma patients. *World J Emerg Surg.* 19 ottobre 2020;15(1):59. doi:10.1186/s13017-020-00340-1
21. Glynn R, Edwards F, Wullschleger M, Gardiner B, Laupland KB. Major trauma and comorbidity: a scoping review. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 12 marzo 2025;51(1):133. doi:10.1007/s00068-025-02805-x
22. Soltani T, Robles AJ, Stadel KM, Timmer-Murillo S, Strong BL, Villarreal CL, et al. Unveiling the economic value of equitable care for the traumatically injured: is it cost-effective to decrease trauma disparities? *Trauma Surg Acute Care Open.* 25 giugno 2025;10(Suppl 4). doi:10.1136/tsaco-2024-001470 PubMed PMID: 10.1136/tsaco-2024-001470.
23. Pape HC, Moore EE, McKinley T, Sauaia A. Pathophysiology in patients with polytrauma. *Injury.* 1 luglio 2022;53(7):2400–12. doi:10.1016/j.injury.2022.04.009

24. Ciechanowicz D, Samojłowski N, Kozłowski J, Pakulski C, Żyłuk A. Incidence and etiology of mortality in polytrauma patients: an analysis of material from Multitrauma Centre of the University Teaching Hospital no 1 in Szczecin, over a period of 3 years (2017–2019). *POL PRZEGL CHIR.*
25. de Vries R, Reininga IHF, Pieske O, Lefering R, Moumni ME, Wendt K. Injury mechanisms, patterns and outcomes of older polytrauma patients—An analysis of the Dutch Trauma Registry.
26. Haider AH, Crompton JG, Oyetunji T, Risucci D, DiRusso S, Basdag H, et al. Mechanism of injury predicts case fatality and functional outcomes in pediatric trauma patients: the case for its use in trauma outcomes studies. *J Pediatr Surg.* agosto 2011;46(8):1557–63. doi:10.1016/j.jpedsurg.2011.04.055 PubMed PMID: 21843724.
27. Moriscot A. Firearms-related skeletal muscle trauma: pathophysiology and novel approaches for regeneration. *Npj Regen Med.* 2021.
28. Organization WH. *The Injury Chart Book: A Graphical Overview of the Global Burden of Injuries.* Geneva: World Health Organization; 2002. 83 p.
29. Benhamed A, Batomen B, Boucher V, Yadav K, Mercier É, Isaac CJ, et al. Epidemiology, injury pattern and outcome of older trauma patients: A 15-year study of level-I trauma centers. *PLOS ONE.* 30 gennaio 2023;18(1):e0280345. doi:10.1371/journal.pone.0280345 PubMed PMID: 36716316; PubMed Central PMCID: PMC9886263.
30. Weninger P, Hertz H. Factors influencing the injury pattern and injury severity after high speed motor vehicle accident—A retrospective study. *Resuscitation.* 1 ottobre 2007;75(1):35–41. doi:10.1016/j.resuscitation.2007.03.011

31. Bruna-Rosso C, Ballout N, Arnoux PJ, Ndiaye A, Martin JL, Vernet C. When epidemiological databases inform injury mechanisms: biomechanical analysis of injury associations. *BMC Public Health*. 11 gennaio 2023;23(1):82. doi:10.1186/s12889-022-14889-w
32. Benhamed A, Ndiaye A, Emond M, Lieutaud T, Boucher V, Gossio A, et al. Road traffic accident-related thoracic trauma: Epidemiology, injury pattern, outcome, and impact on mortality—A multicenter observational study. *PLOS ONE*. 6 maggio 2022;17(5):e0268202. doi:10.1371/journal.pone.0268202
33. Narapureddy BR, Asif SM, Dawria A, Nasir N, Ahmed F, Mohieldin A, et al. Study to determine the impact of seatbelt on Maxillofacial bone fractures and associated injuries in road traffic accidents in Saudi Arabia: A 10 years retrospective study. *PLOS ONE*. 25 settembre 2025;20(9):e0330994. doi:10.1371/journal.pone.0330994
34. Fadl SA, Sandstrom CK. Pattern Recognition: A Mechanism-based Approach to Injury Detection after Motor Vehicle Collisions. *RadioGraphics*. maggio 2019;39(3):857–76. doi:10.1148/rg.2019180063
35. Mazzaccaro D, Righini P, Fancoli F, Giannetta M, Modafferi A, Malacrida G, et al. Blunt Thoracic Aortic Injury. *J Clin Med*. gennaio 2023;12(8):2903. doi:10.3390/jcm12082903
36. Casati A, Granieri S, Cimbanassi S, Reitano E, Chiara O. Falls from Height. Analysis of Predictors of Death in a Single-Center Retrospective Study. *J Clin Med*. ottobre 2020;9(10):3175. doi:10.3390/jcm9103175
37. Al-Juhani AA, Aljohani NA, Binshalhoub AA, Desoky RM, Alotaibe RM. Forensic Differentiation of Accidental and Intentional Falls from Height: A Systematic Review of Injury Patterns, Severity Scores, and

Classification Indicators. Saudi J Forensic Med Sci. dicembre 2025;5(1):6.
doi:10.4103/sjfms.sjfms_4_25

38. Kuhajda I, Zarogoulidis K, Kougioumtzi I, Huang H, Li Q, Dryllis G, et al. Penetrating trauma. J Thorac Dis. ottobre 2014;6(Suppl 4). doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2014.08.51
39. Hakkenbrak NAG, Bakkum ER, Zuidema WP, Halm JA, Dorn T, Reijnders UJL, et al. Characteristics of fatal penetrating injury; data from a retrospective cohort study in three urban regions in the Netherlands. Injury. 1 gennaio 2023;54(1):256–60. doi:10.1016/j.injury.2022.08.025
40. Lee JT, Sobieh A, Bonne S, Camacho MA, Glanc P, Holmes JF, et al. ACR Appropriateness Criteria® Penetrating Torso Trauma. J Am Coll Radiol. 1 novembre 2024;ACR Appropriateness Criteria®–November 202421(11, Supplement):S448–63. doi:10.1016/j.jacr.2024.08.014
41. Clarke DL, Quazi MA, Reddy K, Thomson SR. Emergency operation for penetrating thoracic trauma in a metropolitan surgical service in South Africa. J Thorac Cardiovasc Surg. 1 settembre 2011;142(3):563–8. doi:10.1016/j.jtcvs.2011.03.034
42. Kuhajda I, Zarogoulidis K, Kougioumtzi I, Huang H, Li Q, Dryllis G, et al. Penetrating trauma. J Thorac Dis. ottobre 2014;6(Suppl 4):S461–5. doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2014.08.51 PubMed PMID: 25337403; PubMed Central PMCID: PMC4203982.
43. Sander A, Spence RT, McPherson D, Edu S, Nicol A, Navsaria P. A Prospective Audit of 805 Consecutive Patients With Penetrating Abdominal Trauma: Evolving Beyond Injury Mechanism Dictating Management. Ann Surg. febbraio 2022;275(2):e527. doi:10.1097/SLA.0000000000004045
44. Llano L, Barreiro GG. The Polytrauma Patient. In: Slullitel P, Rossi L, Camino-Willhuber G, curatori. Orthopaedics and Trauma: Current

Concepts and Best Practices [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2024 [citato 9 febbraio 2026]. p. 39–48. Disponibile su: https://doi.org/10.1007/978-3-031-30518-4_5 doi:10.1007/978-3-031-30518-4_5

45. Sobrino J, Shafi S. Timing and Causes of Death After Injuries. *Bayl Univ Med Cent Proc.* 1 aprile 2013;26(2):120–3. doi:10.1080/08998280.2013.11928934 PubMed PMID: 23543966.
46. Alsomali OH, Alshammari MA, Altayawi FM, Alonezi AD, Kabi AH, Almutairi AZ, et al. Advances in Polytrauma Management in the Emergency Setting: A Comprehensive Review. *Int J Health Sci.* 2023;7(S1):3450–70. doi:10.53730/ijhs.v7nS1.15133
47. Moore EE, Moore HB, Kornblith LZ, Neal MD, Hoffman M, Mutch NJ, et al. Trauma-induced coagulopathy. *Nat Rev Dis Primer.* 2021;7(1). doi:10.1038/s41572-021-00264-3
48. Ali SM, Faqiri SA, Osman AGE, Othman AA, Almarri AK. Resuscitation Endpoints in Polytrauma Patients: Fixed or Dynamic. *J Acute Care Resusc.* agosto 2024;1(2):31. doi:10.4103/jacresus.jacresus_12_24
49. Fecher A, Stimpson A, Ferrigno L, Pohlman TH. The Pathophysiology and Management of Hemorrhagic Shock in the Polytrauma Patient. *J Clin Med.* gennaio 2021;10(20):4793. doi:10.3390/jcm10204793
50. Kuo K, Palmer L. Pathophysiology of hemorrhagic shock. *J Vet Emerg Crit Care.* 2022;32(S1):22–31. doi:10.1111/vec.13126
51. Leach RM, Treacher DF. The pulmonary physician in critical care • 2: Oxygen delivery and consumption in the critically ill [Internet]. 1 febbraio 2002. doi:10.1136/thorax.57.2.170

52. Meza Monge K, Rosa C, Sublette C, Pratap A, Kovacs EJ, Idrovo JP. Navigating Hemorrhagic Shock: Biomarkers, Therapies, and Challenges in Clinical Care. *Biomedicines*. dicembre 2024;12(12):2864. doi:10.3390/biomedicines12122864
53. Thieme E-Journals - Indian Journal of Neurotrauma / Abstract [Internet]. [citato 10 febbraio 2026]. Disponibile su: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1016/j.ijnt.2012.05.001>
54. Cannon JW. Hemorrhagic Shock. *N Engl J Med*. 25 gennaio 2018;378(4):370–9. doi:10.1056/NEJMra1705649
55. Pfeifer R, Tarkin IS, Rocos B, Pape HC. Patterns of mortality and causes of death in polytrauma patients--has anything changed? *Injury*. settembre 2009;40(9):907–11. doi:10.1016/j.injury.2009.05.006 PubMed PMID: 19540488.
56. Pfeifer R, Tarkin IS, Rocos B, Pape HC. Patterns of mortality and causes of death in polytrauma patients—Has anything changed? *Injury*. 1 settembre 2009;40(9):907–11. doi:10.1016/j.injury.2009.05.006
57. James A, Abback PS, Pasquier P, Ausset S, Duranteau J, Hoffmann C, et al. The conundrum of the definition of haemorrhagic shock: a pragmatic exploration based on a scoping review, experts' survey and a cohort analysis. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 1 dicembre 2022;48(6):4639–49. doi:10.1007/s00068-022-01998-9
58. Carsetti A, Antolini R, Casarotta E, Damiani E, Gasparri F, Marini B, et al. Shock index as predictor of massive transfusion and mortality in patients with trauma: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 5 marzo 2023;27(1):85. doi:10.1186/s13054-023-04386-w
59. Vishwanathan K, Chhajwani S, Gupta A, Vaishya R. Evaluation and management of haemorrhagic shock in polytrauma: Clinical practice

- guidelines. *J Clin Orthop Trauma*. 1 febbraio 2021;13:106–15. doi:10.1016/j.jcot.2020.12.003
60. Gutierrez G, Reines Hd, Wulf-Gutierrez ME. Clinical review: Hemorrhagic shock. *Crit Care*. 2 aprile 2004;8(5):373. doi:10.1186/cc2851
61. Mutschler M, Nienaber U, Münzberg M, Wöfl C, Schoechl H, Paffrath T, et al. The Shock Index revisited - a fast guide to transfusion requirement? A retrospective analysis on 21,853 patients derived from the TraumaRegister DGU. *Crit Care*. 12 agosto 2013;17(4):R172. doi:10.1186/cc12851 PubMed PMID: 23938104; PubMed Central PMCID: PMC4057268.
62. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: sixth edition | Critical Care | Springer Nature Link [Internet]. [citato 5 febbraio 2026]. Disponibile su: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13054-023-04327-7>
63. Bonanno FG. The Need for a Physiological Classification of Hemorrhagic Shock. *J Emerg Trauma Shock*. settembre 2020;13(3):177. doi:10.4103/JETS.JETS_153_19
64. Rutherford EJ, Morris JA, Reed GW, Hall KS. BASE DEFICIT STRATIFIES MORTALITY AND DETERMINES THERAPY. *J Trauma Acute Care Surg*. settembre 1992;33(3):417.
65. Foote CA, Soares RN, Ramirez-Perez FI, Ghiarone T, Aroor A, Manrique-Acevedo C, et al. Endothelial Glycocalyx. *Compr Physiol*. 23 agosto 2022;12(4):3781–811. doi:10.1002/cphy.c210029 PubMed PMID: 35997082; PubMed Central PMCID: PMC10214841.
66. Brohi K, Singh J, Heron M, Coats T. Acute traumatic coagulopathy. *J Trauma*. giugno 2003;54(6):1127–30. doi:10.1097/01.TA.0000069184.82147.06 PubMed PMID: 12813333.

67. Kleinveld DJB, Hamada SR, Sandroni C. Trauma-induced coagulopathy. *Intensive Care Med.* 1 novembre 2022;48(11):1642–5. doi:10.1007/s00134-022-06834-7
68. Thorsen K, Ringdal KG, Strand K, Søreide E, Hagemo J, Søreide K. Clinical and cellular effects of hypothermia, acidosis and coagulopathy in major injury. *Br J Surg.* 1 luglio 2011;98(7):894–907. doi:10.1002/bjs.7497
69. Duque P, Mora L, Levy JH, Schöchl H. Pathophysiological Response to Trauma-Induced Coagulopathy: A Comprehensive Review. *Anesth Analg.* marzo 2020;130(3):654. doi:10.1213/ANE.0000000000004478
70. Cap A, Hunt BJ. The pathogenesis of traumatic coagulopathy. *Anaesthesia.* 2015;70(s1):96-e34. doi:10.1111/anae.12914
71. Hibberd O, Karageorgos S, Ren D, Ranaweera M, Casey S, Solan T, et al. A guide to major haemorrhage management in paediatrics. *Dont Forget Bubbles.* 31 ottobre 2024. doi:10.31440/DFTB.63491
72. Mills JD. Trauma Diamond of Death: Adding Calcium to the Lethal Triad. *J Emerg Nurs.* 1 maggio 2024;50(3):330–5. doi:10.1016/j.jen.2023.12.011
73. Pradeep R, Moshtaghi A, Morgan B, Schmoyer J, Rocca N. Polishing One Edge of the Lethal Diamond - a Study on Incidents of Hypocalcemia in Massive Transfusion Protocol and Its Role in Trauma Patient Outcomes. *Blood.* 2 novembre 2023;65th ASH Annual Meeting Abstracts142:5568. doi:10.1182/blood-2023-180375
74. Dupuy C, Martinez T, Duranteau O, Gauss T, Kapandji N, Pasqueron J, et al. Comparison of the lethal triad and the lethal diamond in severe trauma patients: a multicenter cohort. *World J Emerg Surg.* 7 gennaio 2025;20(1):2. doi:10.1186/s13017-024-00572-5

75. Feinman M, Cotton BA, Haut ER. Optimal fluid resuscitation in trauma: type, timing, and total. *Curr Opin Crit Care*. agosto 2014;20(4):366. doi:10.1097/MCC.000000000000104
76. Vishwanathan K, Chhajwani S, Gupta A, Vaishya R. Evaluation and management of haemorrhagic shock in polytrauma: Clinical practice guidelines. *J Clin Orthop Trauma*. 1 febbraio 2021;13:106–15. doi:10.1016/j.jcot.2020.12.003
77. Carenzo L, Calgaro G, Rehn M, Perkins Z, Qasim ZA, Gamberini L, et al. Contemporary management of traumatic cardiac arrest and peri-arrest states: a narrative review. *J Anesth Analg Crit Care*. 26 settembre 2024;4(1):66. doi:10.1186/s44158-024-00197-9
78. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: sixth edition | Critical Care | Springer Nature Link [Internet]. [citato 5 febbraio 2026]. Disponibile su: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13054-023-04327-7>
79. Zhu CS, Cobb D, Jonas RB, Pokorny D, Rani M, Cotner-Pouncy T, et al. Shock index and pulse pressure as triggers for massive transfusion. *J Trauma Acute Care Surg*. luglio 2019;87(1S):S159. doi:10.1097/TA.0000000000002333
80. Holcomb JB, Tilley BC, Baraniuk S, Fox EE, Wade CE, Podbielski JM, et al. Transfusion of plasma, platelets, and red blood cells in a 1:1:1 vs a 1:1:2 ratio and mortality in patients with severe trauma: the PROPPR randomized clinical trial. *JAMA*. 3 febbraio 2015;313(5):471–82. doi:10.1001/jama.2015.12 PubMed PMID: 25647203; PubMed Central PMCID: PMC4374744.

81. Johansson PI, Ostrowski SR, Secher NH. Management of major blood loss: an update. *Acta Anaesthesiol Scand.* ottobre 2010;54(9):1039–49. doi:10.1111/j.1399-6576.2010.02265.x PubMed PMID: 20626354.
82. Hiippala ST, Myllylä GJ, Vahtera EM. Hemostatic factors and replacement of major blood loss with plasma-poor red cell concentrates. *Anesth Analg.* agosto 1995;81(2):360–5. doi:10.1097/00000539-199508000-00026 PubMed PMID: 7542432.
83. Johansson PI, Stissing T, Bochsén L, Ostrowski SR. Thrombelastography and tromboelastometry in assessing coagulopathy in trauma. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 23 settembre 2009;17(1):45. doi:10.1186/1757-7241-17-45
84. The importance of early treatment with tranexamic acid in bleeding trauma patients: an exploratory analysis of the CRASH-2 randomised controlled trial. *The Lancet.* 26 marzo 2011;377(9771):1096-1101.e2. doi:10.1016/S0140-6736(11)60278-X
85. Myers SP, Kutcher ME, Rosengart MR, Sperry JL, Peitzman AB, Brown JB, et al. Tranexamic acid administration is associated with an increased risk of posttraumatic venous thromboembolism. *J Trauma Acute Care Surg.* gennaio 2019;86(1):20. doi:10.1097/TA.0000000000002061
86. Moore EE, Moore HB, Gonzalez E, Chapman MP, Hansen KC, Sauaia A, et al. Postinjury fibrinolysis shutdown: Rationale for selective tranexamic acid. *J Trauma Acute Care Surg.* giugno 2015;78(6):S65. doi:10.1097/TA.0000000000000634
87. Grogan SP, Mount CA. *Ultrasound Physics and Instrumentation.* In: StatPearls [Internet] [Internet]. StatPearls Publishing; 2023 [citato 11 febbraio 2026]. Disponibile su:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/books/NBK570593/> PubMed
PMID: 34033355.

88. Aldrich JE. Basic physics of ultrasound imaging. *Crit Care Med.* maggio 2007;35(5 Suppl):S131-137. doi:10.1097/01.CCM.0000260624.99430.22 PubMed PMID: 17446771.
89. Abu-Zidan FM, Hefny AF, Corr P. Clinical ultrasound physics. *J Emerg Trauma Shock.* dicembre 2011;4(4):501. doi:10.4103/0974-2700.86646
90. Lawrence JP. Physics and instrumentation of ultrasound. *Crit Care Med.* agosto 2007;35(8 Suppl):S314-322. doi:10.1097/01.CCM.0000270241.33075.60 PubMed PMID: 17667455.
91. Shriki J. Ultrasound physics. *Crit Care Clin.* gennaio 2014;30(1):1–24, v. doi:10.1016/j.ccc.2013.08.004 PubMed PMID: 24295839.
92. Chakraborty A, Ashokka B. *A Practical Guide to Point of Care Ultrasound (POCUS).* Springer Nature; 2022. 202 p.
93. Latteri S, Malaguarnera G, Mannino M, Pesce A, Currò G, Tamburrini S, et al. Ultrasound as point of care in management of polytrauma and its complication. *J Ultrasound.* 1 giugno 2017;20(2):171–7. doi:10.1007/s40477-017-0252-7
94. Akoglu H, Celik OF, Celik A, Ergelen R, Onur O, Denizbasi A. Diagnostic accuracy of the Extended Focused Abdominal Sonography for Trauma (E-FAST) performed by emergency physicians compared to CT. *Am J Emerg Med.* 1 giugno 2018;36(6):1014–7. doi:10.1016/j.ajem.2017.11.019

95. Savoia P, Jayanthi SK, Chammas MC. Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST). *J Med Ultrasound*. giugno 2023;31(2):101. doi:10.4103/jmu.jmu_12_23
96. Bloom BA, Gibbons RC. Focused Assessment With Sonography for Trauma. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citato 12 febbraio 2026]. Disponibile su: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470479/> PubMed PMID: 29261902.
97. Rovida S, Orso D, Naeem S, Vetrugno L, Volpicelli G. Lung ultrasound in blunt chest trauma: A clinical review. *Ultrasound*. 1 febbraio 2022;30(1):72–9. doi:10.1177/1742271X21994604
98. Blackbourne LH, Soffer D, McKenney M, Amortegui J, Schulman CI, Crookes B, et al. Secondary Ultrasound Examination Increases the Sensitivity of the FAST Exam in Blunt Trauma. *J Trauma Acute Care Surg*. novembre 2004;57(5):934. doi:10.1097/01.TA.0000149494.40478.E4
99. Stengel D, Leisterer J, Ferrada P, Ekkernkamp A, Mutze S, Hoenning A. Point-of-care ultrasonography for diagnosing thoracoabdominal injuries in patients with blunt trauma - Stengel, D - 2018 | Cochrane Library [Internet]. [citato 12 febbraio 2026]. Disponibile su: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD012669.pub2/full>
100. Bhatia VP, Gilbert BR. History of Ultrasound. In: Fulgham PF, Gilbert BR, curatori. *Practical Urological Ultrasound* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2021 [citato 12 febbraio 2026]. p. 1–11. Disponibile su: https://doi.org/10.1007/978-3-030-52309-1_1 doi:10.1007/978-3-030-52309-1_1

101. Osterwalder J, Polyzogopoulou E, Hoffmann B. Point-of-Care Ultrasound—History, Current and Evolving Clinical Concepts in Emergency Medicine. *Medicina (Mex)*. dicembre 2023;59(12):2179. doi:10.3390/medicina59122179
102. Miglioranza MH, Proença Tavares Crespo AR. Focused Ultrasound. *JACC Case Rep*. aprile 2020;2(4):565–7. doi:10.1016/j.jaccas.2020.03.004
103. Galvagno SM, Nahmias JT, Young DA. Advanced Trauma Life Support® Update 2019. *Anesthesiol Clin*. 1 marzo 2019;Cutting-Edge Trauma and Emergency Care37(1):13–32. doi:10.1016/j.anclin.2018.09.009
104. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*. aprile 2012;38(4):577–91. doi:10.1007/s00134-012-2513-4 PubMed PMID: 22392031.
105. Demi M, Soldati G. Lung Ultrasound: A Leading Diagnostic Tool. *Diagnostics*. gennaio 2023;13(10):1710. doi:10.3390/diagnostics13101710
106. Inchingolo R, Zanforlin A, Buonsenso D, Perrone T, Torri E, Limoli G, et al. Lung Ultrasound Signs. *J Ultrasound Med*. 2024;43(4):629–41. doi:10.1002/jum.16397
107. Klein AL, Abbara S, Agler DA, Appleton CP, Asher CR, Hoit B, et al. American Society of Echocardiography Clinical Recommendations for Multimodality Cardiovascular Imaging of Patients with Pericardial Disease: Endorsed by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance and Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Am Soc Echocardiogr*. 1 settembre 2013;26(9):965-1012.e15. doi:10.1016/j.echo.2013.06.023

108. Soni NJ, Arntfield R, Kory P. LIC-Point of Care Ultrasound. Elsevier Health Sciences; 2019. 793 p.
109. Rumack CM, Levine D. Diagnostic Ultrasound E-Book. Elsevier Health Sciences; 2023. 2421 p.
110. Soto JA, Anderson SW. Multidetector CT of Blunt Abdominal Trauma. *Radiology*. dicembre 2012;265(3):678–93. doi:10.1148/radiol.12120354
111. Armstrong LR, Rutherford NR, Heidel RE, Smith LM, Butts C. The Effect of BMI on eFAST Accuracy in Trauma by Residents in the Emergency Room. *Am Surg*. 1 luglio 2023;89(7):3238–40. doi:10.1177/00031348231157851
112. Tenny S, Hoffman MR. Prevalence. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citato 15 febbraio 2026]. Disponibile su: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430867/> PubMed PMID: 28613617.
113. Netherton S, Milenkovic V, Taylor M, Davis PJ. Diagnostic accuracy of eFAST in the trauma patient: a systematic review and meta-analysis. *Can J Emerg Med*. novembre 2019;21(6):727–38. doi:10.1017/cem.2019.381
114. Gamberini L, Scquizzato T, Tartaglione M, Chiarini V, Mazzoli CA, Allegri D, et al. Diagnostic accuracy for hemoperitoneum, influence on prehospital times and time-to-definitive treatment of prehospital FAST: A systematic review and individual participant data meta-analysis. *Injury*. 1 giugno 2023;54(6):1421–31. doi:10.1016/j.injury.2023.03.024
115. Nishijima DK, Simel DL, Wisner DH, Holmes JF. Does This Adult Patient Have a Blunt Intra-abdominal Injury? *JAMA*. 11 aprile 2012;307(14):1517–27. doi:10.1001/jama.2012.422

116. Shek CK, Tai WH, Pong LL, Tat Chi T, Gilberto Ka Kit L, Gui-e L. Diagnostic accuracy of Focused Abdominal Sonography for Trauma in blunt abdominal trauma patients in a trauma centre of Hong Kong. *Chin J Traumatol.* 1 ottobre 2012;15(5):273–8. doi:10.3760/cma.j.issn.1008-1275.2012.05.003
117. Roberts DJ, Bobrovitz N, Zygun DA, Ball CG, Kirkpatrick AW, Faris PD, et al. Indications for use of thoracic, abdominal, pelvic, and vascular damage control interventions in trauma patients: A content analysis and expert appropriateness rating study. *J Trauma Acute Care Surg.* ottobre 2015;79(4):568. doi:10.1097/TA.0000000000000821
118. Hsu JM, Joseph AP, Tarlinton LJ, Macken L, Blome S. The accuracy of focused assessment with sonography in trauma (FAST) in blunt trauma patients: Experience of an Australian major trauma service. *Injury.* 1 gennaio 2007;38(1):71–5. doi:10.1016/j.injury.2006.03.004
119. Kithinji SM, Lule H, Acan M, Kyomukama L, Muhumuza J, Kyamanywa P. Efficacy of extended focused assessment with sonography for trauma using a portable handheld device for detecting hemothorax in a low resource setting; a multicenter longitudinal study. *BMC Med Imaging.* 1 dicembre 2022;22:211. doi:10.1186/s12880-022-00942-y PubMed PMID: 36456990; PubMed Central PMCID: PMC9716853.
120. Buaprasert P, Sri-on J, Sukhuntee J, Asawajaroenkul R, Buanhong O, Khiaodee T, et al. <p>Diagnostic Accuracy of Extended Focused Assessment with Sonography for Trauma Performed by Paramedic Students: A Simulation-Based Pilot Study</p>. *Open Access Emerg Med.* 21 giugno 2021;13:249–56. doi:10.2147/OAEM.S311376
121. Samuel AE, Chakrapani A, Moideen F. Accuracy of Extended Focused Assessment with Sonography in Trauma (e-FAST) Performed by Emergency Medicine Residents in a Level One Tertiary Center of India.

Adv J Emerg Med. 3 marzo 2018;2(2):e15. doi:10.22114/ajem.v0i0.69
PubMed PMID: 31172078; PubMed Central PMCID: PMC6549052.

122. Yazıcı MM, Yavaşı Ö, Çelik A, Altuntaş G, Altuntaş M, Bilir Ö, et al. The role of repeated extended FAST in patients with stable blunt thoracoabdominal trauma. Turk J Trauma Emerg Surg. 2 maggio 2023;29(5):553–9. doi:10.14744/tjtes.2022.93529 PubMed PMID: 37145041; PubMed Central PMCID: PMC10277323.
123. Devadoss H, Sharma P, Nair VV, Rehisi SS, Roy N, Rao PP. Diagnostic Accuracy of e-FAST in Stable Blunt Trauma Chest: A Prospective Analysis of 110 Cases at a Tertiary Care Center. Indian J Crit Care Med. 21 giugno 2022;25(10):1167–72. doi:10.5005/jp-journals-10071-23995
124. Basnet S, Shrestha SK, Pradhan A, Shrestha R, Shrestha AP, Sharma G, et al. Diagnostic performance of the extended focused assessment with sonography for trauma (EFAST) patients in a tertiary care hospital of Nepal. Trauma Surg Acute Care Open. 28 luglio 2020;5(1). doi:10.1136/tsaco-2020-000438 PubMed PMID: 10.1136/tsaco-2020-000438.
125. Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M, Goldstein SA, Jones R, Kort S, et al. Focused Cardiac Ultrasound in the Emergent Setting: A Consensus Statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. J Am Soc Echocardiogr. 1 dicembre 2010;23(12):1225–30. doi:10.1016/j.echo.2010.10.005
126. Miller MT, Pasquale MD, Bromberg WJ, Wasser TE, Cox J. Not So Fast. J Trauma Acute Care Surg. gennaio 2003;54(1):52.
127. Akoglu H, Celik OF, Celik A, Ergelen R, Onur O, Denizbasi A. Diagnostic accuracy of the Extended Focused Abdominal Sonography for Trauma (E-FAST) performed by emergency physicians compared to CT.

Am J Emerg Med. 1 giugno 2018;36(6):1014–7.
doi:10.1016/j.ajem.2017.11.019

128. Natarajan B, Gupta PK, Cemaj S, Sorensen M, Hatzoudis GI, Forse RA. FAST scan: Is it worth doing in hemodynamically stable blunt trauma patients? *Surgery*. 1 ottobre 2010;148(4):695–701. doi:10.1016/j.surg.2010.07.032
129. Partyka C, Coggins A, Bliss J, Burns B, Fiorentino M, Goorkiz P, et al. A multicenter evaluation of the accuracy of prehospital eFAST by a physician-staffed helicopter emergency medical service. *Emerg Radiol*. 1 aprile 2022;29(2):299–306. doi:10.1007/s10140-021-02002-4
130. Ringdal KG, Skaga NO, Hestnes M, Steen PA, Røislien J, Rehn M, et al. Abbreviated Injury Scale: Not a reliable basis for summation of injury severity in trauma facilities? *Injury*. 1 maggio 2013;44(5):691–9. doi:10.1016/j.injury.2012.06.032
131. Palmer CS, Gabbe BJ, Cameron PA. Defining major trauma using the 2008 Abbreviated Injury Scale. *Injury*. 1 gennaio 2016;47(1):109–15. doi:10.1016/j.injury.2015.07.003
132. Van Ditschuneir JC, Sewalt CA, Palmer CS, Van Lieshout EMM, Verhofstad MHJ, Den Hartog D, et al. The definition of major trauma using different revisions of the abbreviated injury scale. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 27 maggio 2021;29(1):71. doi:10.1186/s13049-021-00873-7
133. Palmer CS, Gabbe BJ, Cameron PA. Defining major trauma using the 2008 Abbreviated Injury Scale. *Injury*. 1 gennaio 2016;47(1):109–15. doi:10.1016/j.injury.2015.07.003
134. Shi J, Shen J, Caupp S, Wang A, Nuss KE, Kenney B, et al. A new weighted injury severity scoring system: Better predictive power for

pediatric trauma mortality. *J Trauma Acute Care Surg.* agosto 2018;85(2):334. doi:10.1097/TA.0000000000001943

135. Li YH, Yeung JHH, Hung KKC, Lai CY, Leung LY, Cheng CH, et al. Impact of AIS 2015 versus 1998 on injury severity scoring and mortality prediction - single centre retrospective comparison study. *Am J Emerg Med.* 1 ottobre 2022;60:73–7. doi:10.1016/j.ajem.2022.07.050
136. Salottolo K, Settell A, Uribe P, Akin S, Slone DS, O’Neal E, et al. The impact of the AIS 2005 revision on injury severity scores and clinical outcome measures. *Injury.* 1 settembre 2009;40(9):999–1003. doi:10.1016/j.injury.2009.05.013
137. Nishijima DK, Simel DL, Wisner DH, Holmes JF. Does This Adult Patient Have a Blunt Intra-abdominal Injury? *JAMA.* 11 aprile 2012;307(14):1517–27. doi:10.1001/jama.2012.422
138. Tso P, Rodriguez A, Cooper C, Militello P, Mirvis S, Badellino MM, et al. SONOGRAPHY IN BLUNT ABDOMINAL TRAUMA: A PRELIMINARY PROGRESS REPORT. *J Trauma Acute Care Surg.* luglio 1992;33(1):39.