



UNIMORE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA

**Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia
Facoltà di Medicina e Chirurgia**

**Corso di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia
Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Materno-Infantili e
dell'Adulto**

MEDICINA D'EMERGENZA-URGENZA

**L'UTILIZZO DELL'ECOGRAFIA POINT OF
CARE (POCUS) NELLA GESTIONE DEL
PAZIENTE IN ARRESTO CARDIACO NEL
SETTING DI PRONTO SOCCORSO**

RELATORE:

PROF. Luca Roncucci

CORRELATORI:

DOTT. Francesco Luppi

DOTT. Pietro Dall'olio

DOTT.SSA Luisa Iannuzziello

TESI DI LAUREA DI:

Alessandro Maggi

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	5
1.1	L'ARRESTO CARDIACO.....	5
1.1.1	Definizione ed Epidemiologia	5
1.1.2	Eziologia.....	6
1.1.3	Il Modello Utstein.....	11
1.1.4	I Principi delle Linee Guida ERC 2025	12
1.1.5	Basic Life Support (BLS) e Advanced Life Support (ALS).....	14
1.1.6	Predittori di Sopravvivenza e Prognosi dell'Arresto Cardiac.....	17
1.1.7	Pulseless Electrical Activity (PEA).....	20
1.2	POINT OF CARE ULTRASOUND (POCUS).....	29
1.2.1	Lo Stato dell'Arte: Benefici e Limiti.....	29
1.2.2	I Principali Protocolli Ecografici per l'Arresto Cardiac.....	31
1.3	CONTROLLO DEL POLSO (PULSE CHECK).....	40
1.3.1	Pulse Check Manuale.....	40
1.3.2	Pulse check ecografico o POCUS Pulse Check: Panoramica.....	41
1.4	ARRESTO CARDIACO IN PRONTO SOCCORSO	47
2	OBIETTIVI DELLO STUDIO	49
3	MATERIALI E METODI.....	50
3.1	RACCOLTA DATI	50
3.2	ANALISI STATISTICA.....	51
4	RISULTATI	52
4.1	POPOLAZIONE, RITMI D'ESORDIO ED EZIOLOGIE	52
4.2	DATI ANAMNESTICI	55
4.3	UTILIZZO DELLA POCUS	56
4.4	CORRELAZIONE CON ROSC	58
5	DISCUSSIONE.....	61
5.1	POCUS E ARRESTO CARDIACO	62
5.2	ROSC.....	64
5.3	LIMITI DELLO STUDIO.....	66
6	CONCLUSIONI.....	68
7	BIBLIOGRAFIA	69

1 INTRODUZIONE

1.1 L'ARRESTO CARDIACO

1.1.1 Definizione ed Epidemiologia

L'arresto cardiaco è definito come l'improvvisa cessazione di attività cardiaca con conseguente collasso emodinamico e assenza di perfusione degli organi nobili. Si distingue in IHCA (In-Hospital Cardiac Arrest), quando avviene all'interno dell'ospedale, e OHCA (Out-of-Hospital Cardiac Arrest), quando si verifica al di fuori dell'ospedale, sul territorio¹.

L'arresto cardiaco è una delle principali cause di morte a livello mondiale ¹. Sia per quanto riguarda gli IHCA sia per quanto riguarda gli OHCA, esistono delle differenze nell'incidenza e negli esiti tra i vari Paesi Europei, legate a molteplici fattori¹:

- caratteristiche della popolazione, ad esempio età, stato socio-economico, comorbidità;
- l'organizzazione dei sistemi di servizi medici di emergenza (SME);
- variazioni geografiche;
- trattamenti forniti dal SME, come la qualità della rianimazione cardiopolmonare (RCP), la decisione su quando iniziare o interrompere la rianimazione, le cure post-rianimatorie;
- variabilità nelle pratiche di raccolta dei dati.

Le linee guida ERC 2025 riportano che l'incidenza annuale di OHCA in Europa sia 55 per 100.000 abitanti (range 17/100.000 - 104/100.000), con un'età media di $67,2 \pm 17,3$ anni e una prevalenza del sesso maschile, colpito nel 65% dei casi¹. Nel 20% degli OHCA (range 11,4%-36,8%) è presente inizialmente un ritmo defibrillabile (fibrillazione ventricolare (FV) o tachicardia ventricolare (TV) senza polso)¹. Il tasso di RCP eseguita da astanti è del 58%, con significative variazioni regionali (dal 13% all'82%); questa percentuale si spiega per la presenza di alcuni fattori che ostacolano la RCP da parte degli astanti, quali: la mancanza di conoscenze, l'età avanzata, un basso status socioeconomico e livello di istruzione, l'appartenenza a una minoranza etnica o linguistica¹.

L'uso di un defibrillatore automatico esterno (DAE) prima dell'arrivo dei servizi di emergenza varia dal 2,6% al 59% nei diversi Paesi Europei¹.

Le linee guida ERC 2025 specificano, inoltre, che fino nel 25% dei casi di OHCA in soggetti di età inferiore ai 50 anni è possibile identificare una variante patogena o probabilmente patogena, clinicamente rilevante, in uno dei geni potenzialmente correlati alla causa dell'arresto cardiaco improvviso¹.

Per quanto riguarda gli IHCA, l'incidenza annuale europea è compresa tra 1,5 e 2,8 per 1000 ricoveri ospedalieri, con un'età compresa tra 67 e 75 anni. Nuovamente, il sesso maschile è quello più colpito, con una variabilità compresa tra il 60% e il 69%¹. Similmente a quanto riportato per gli OHCA, anche negli IHCA solamente il 20% dei casi presenta un ritmo iniziale defibrillabile².

1.1.2 Eziologia

Il modello Utstein, elaborato all'inizio degli anni '90, distingueva l'eziologia dell'arresto cardiaco secondo un criterio dicotomico: cardiaca e non cardiaca³. Si sottolineava come, all'interno della prima categoria, fosse meno rilevante distinguere tra cause trombotiche ed elettrofisiologiche, quanto più fosse rilevante escludere le cause non cardiache, quali la sindrome della morte improvvisa del lattante, il sovradosaggio di farmaci, il suicidio, l'annegamento, l'ipossia, il dissanguamento, gli eventi cerebrovascolari (ad esempio ictus ed emorragia subaracnoidea) e i traumi³.

Uno studio più recente (Chen N. et al., 2018) riprende il modello Utstein, entrando maggiormente nel dettaglio delle singole cause⁴:

- Eziologie cardiache: sono la sindrome coronarica acuta, cardiopatie strutturali non ischemiche (aritmia secondaria a cardiomiopatia, insufficienza cardiaca destra e sinistra, valvulopatie, tamponamento pericardico acuto) e le cardiopatie non strutturali (sindrome del QT lungo, sindrome del QT corto, sindrome da pre-eccitazione ventricolare, sindrome di Brugada).
- Eziologie non cardiache: sono l'embolia polmonare, insufficienza respiratoria acuta, ostruzione delle vie aeree, pneumotorace iperteso, intossicazione da farmaci e droghe, alterazioni metaboliche (ipoglicemia, diselettrolitemie come

iperkaliemia e ipomagnesemia), shock distributivo, emorragia non traumatica, trauma, ipotermia.

- Altro: cause multiple o non note.

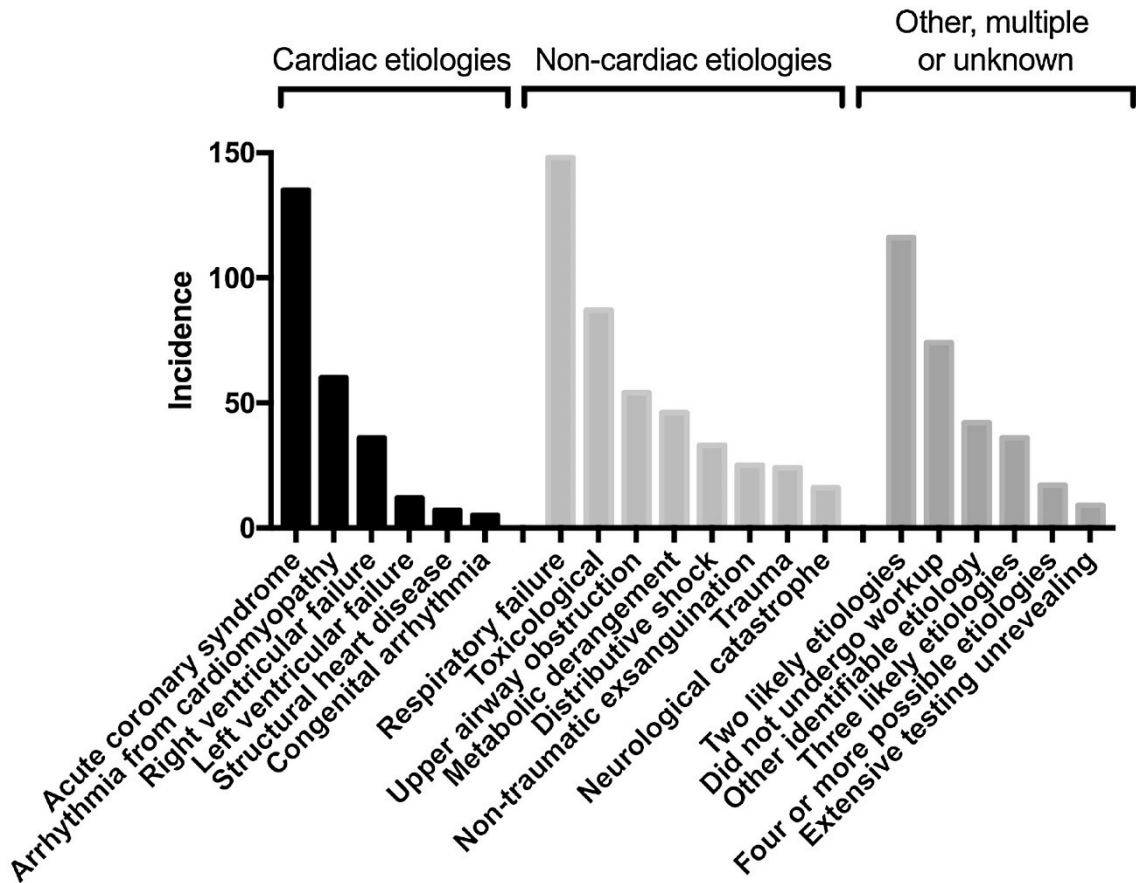


Figura 1. Eziologie dell'arresto cardiaco, suddivise in "cardiache", "non cardiache" e "altre, multiple o sconosciute". Chen N et al., Resuscitation, 2018-06.

Le eziologie dell'IHCA si discostano spesso da quelle osservate in ambito extraospedaliero, riflettendo le diverse condizioni cliniche dei pazienti ricoverati rispetto a quelli presenti sul territorio. L'IHCA, infatti, si verifica frequentemente in soggetti affetti da patologie acute concomitanti, e le cause possono variare in base al contesto assistenziale, che può essere un reparto di degenza a medio/bassa intensità di cure, un'area critica/ad alta intensità di cure o la sala operatoria⁵. Le cause cardiache rappresentano le più frequenti, con una prevalenza stimata intorno al 50–60%, seguite dall'insufficienza respiratoria, stimata nel 15-40% dei casi². Nello specifico, tra le cause più comuni figurano l'ipossia (26%), la sindrome coronarica acuta (18%), le aritmie (15%),

l'ipovolemia (15%), le infezioni (14%) e l'insufficienza cardiaca (13%); di più raro riscontro, invece, sono squilibri elettrolitici, tamponamento cardiaco, embolia polmonare, patologie neurologiche, intossicazioni e pneumotorace⁵. Per quanto concerne il ritmo d'esordio, in ambito intraospedaliero predominano le forme non defibrillabili, ovvero attività elettrica senza polso (PEA) e asistolia, che rappresentano il 69,8% dei casi; i ritmi defibrillabili si riscontrano, invece, approssimativamente nel 21,7% dei casi⁵.

Relativamente agli OHCA, anche in tal caso nella maggior parte dei casi l'evento è innescato da una causa cardiaca primaria, spesso espressione clinica di una patologia cardiaca sottostante misdiagnosticata⁶. L'identificazione precisa della causa risulta complessa in quanto quasi la totalità dei pazienti deceduti in ambito extraospedaliero non viene sottoposta ad un approfondimento diagnostico completo, per ovvie ragioni logistiche e per la mancanza di strumenti adeguati. La malattia coronarica (trombi coronarici, rottura o instabilità di placca) è il fattore predominante, responsabile di morte cardiaca improvvisa fino nell'80% dei casi, con maggiore frequenza negli uomini e con l'avanzare dell'età⁶. Nelle fasce di età più giovani, compresi bambini e atleti, prevalgono condizioni quali cardiopatie congenite, cardiopatie strutturali, aritmie primitive e miocarditi⁶. Per quanto riguarda il ritmo d'esordio, in ambito extraospedaliero solo nel 20% dei casi (range 11%–37%) si ha un ritmo defibrillabile⁷.

Le linee guida ERC 2025 evidenziano l'importanza di identificare tempestivamente le cause potenzialmente reversibili dell'arresto cardiaco⁸, in quanto la compromissione d'organo conseguente al collasso cardio-circolatorio risulta, almeno in parte, correlata all'eziologia sottostante e il trattamento, sia durante la fase rianimatoria sia nella fase post-arresto, una volta ottenuto il ritorno della circolazione spontanea (ROSC), dovrebbe essere rivolto proprio alla risoluzione della stessa². Per memorizzare più facilmente tali cause, soprattutto nell'ambito della gestione di un arresto cardiaco, contraddistinto da un elevato livello di stress psicologico, emotivo e fisico, è stato elaborato il noto schema delle “4I e 4T”⁸. Le “4I”, o “4H” in lingua inglese, sono:

- Ipossia
- Ipovolemia
- Ipo/Iperkaliemia e altri disordini elettrolitici
- Ipo/Ipertermia

Le “4T” sono:

- Trombosi (embolia polmonare e trombosi coronarica)
- Tamponamento cardiaco
- pneumotorace iperteso
- agenti Tossici

Questo approccio, tuttavia, presenta un importante limite intrinseco, ovvero non include tutte le possibili cause di arresto cardiaco, per esempio aritmie, infezioni e insufficienza cardiaca che, nel complesso rappresentano oltre il 40% delle cause di IHCA⁵. La sepsi, per esempio, è responsabile del 13-27% degli IHCA e il meccanismo che conduce all’arresto è multifattoriale, dato dalla combinazione di collasso circolatorio, insufficienza respiratoria, insufficienza renale e alterazioni metaboliche².

Un’alternativa allo storico schema delle “4I e 4T” è stata proposta da Djarv e Kloeck (2023)⁹, che sostanzialmente integra l’approccio a “zig-zag” in 10 step di Kloeck (1995)¹⁰ con la valutazione ABCD e l’utilizzo della POCUS (Figura 2).

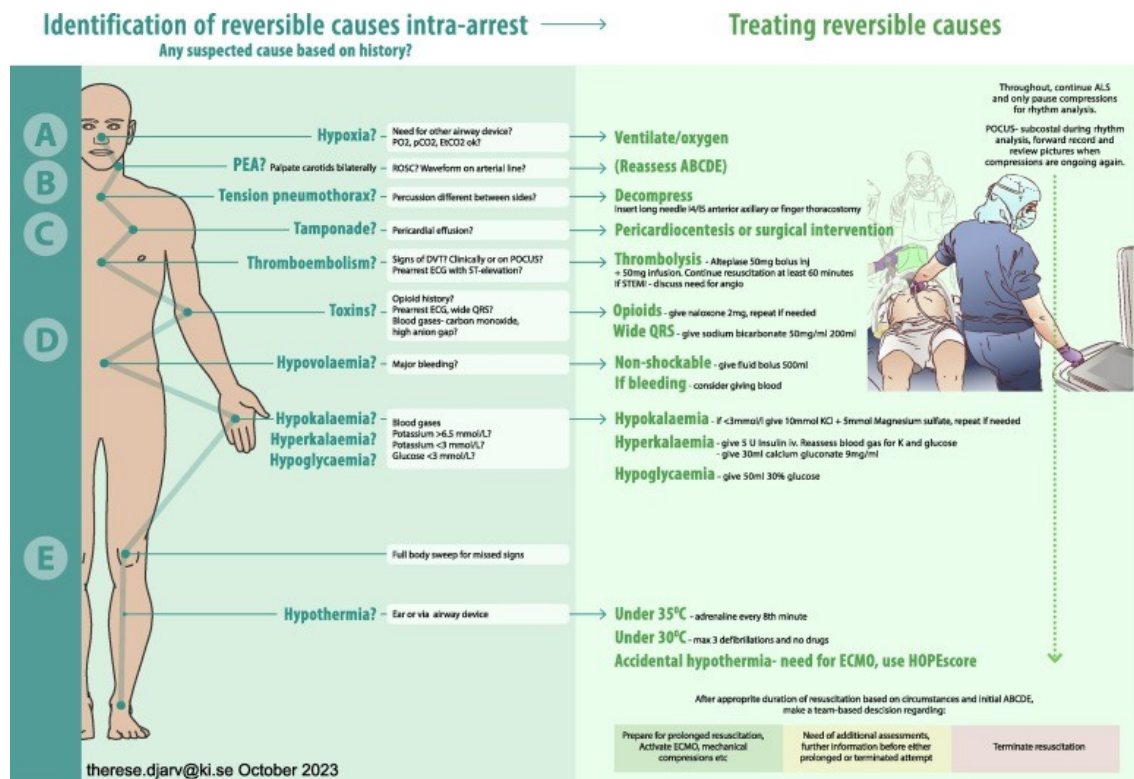


Figura 2. Un metodo pratico per l’identificazione delle cause reversibili durante l’arresto, integrando l’approccio ABCDE. Djarv T, Kloeck W. Resuscitation, 2023-12.

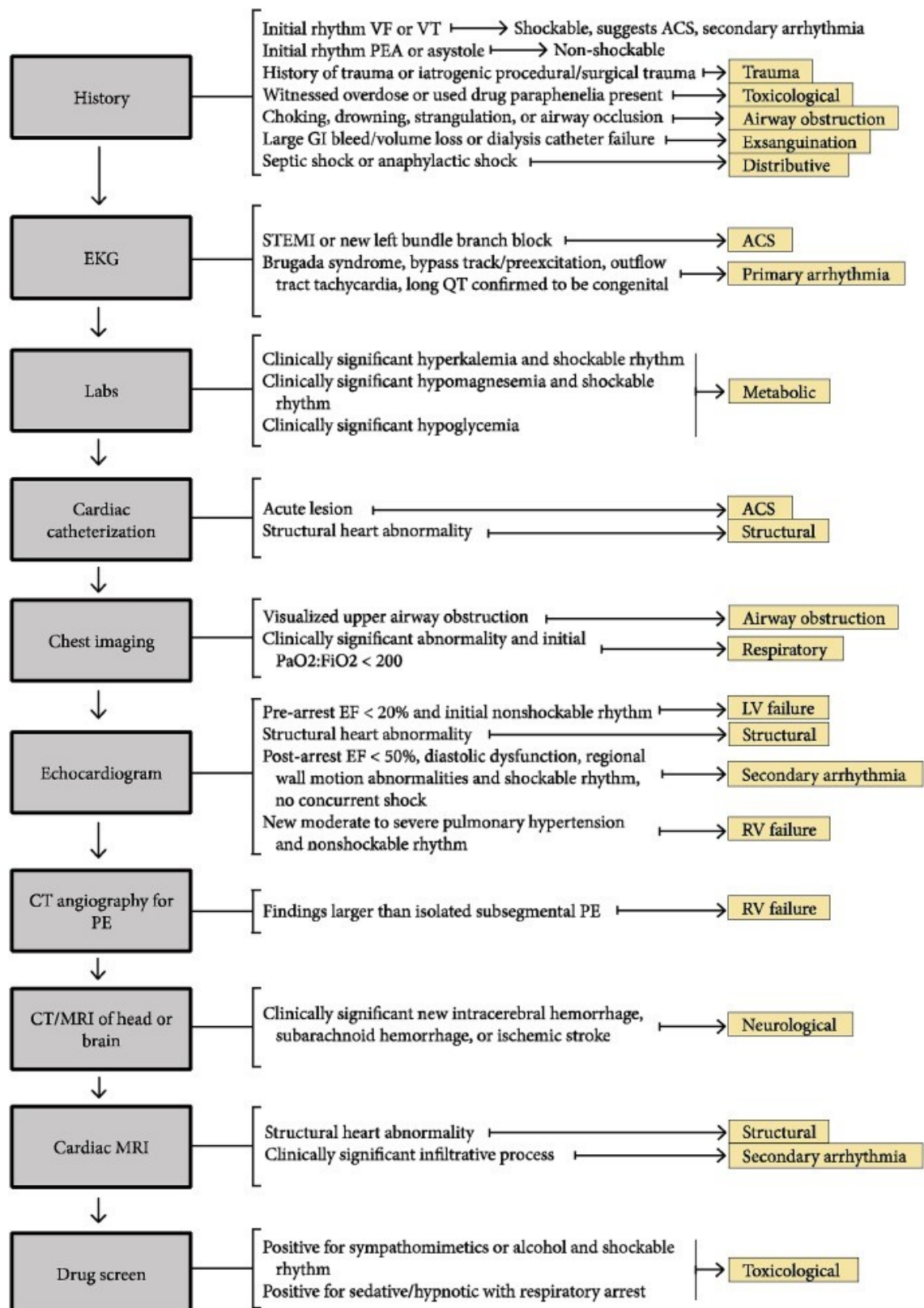


Figura 3. Flowchart per la diagnosi eziologica di arresto cardiaco. Chen Net al., Resuscitation, 2018-06.

1.1.3 Il Modello Utstein

Il modello Utstein, o “Utstein style”, rappresenta un insieme di linee guida condivise per la raccolta dei dati relativi al tema dell’arresto cardiaco, nato da un consensus internazionale nel 1990 con l’obiettivo di uniformare terminologia e definizioni, migliorare la comprensione e favorire ricerca e qualità dell’assistenza per la rianimazione extraospedaliera (OHCA) e, dal 1997, anche per quella intraospedaliera (IHCA)¹¹. Negli anni successivi, l’ILCOR (International Liaison Committee on Resuscitation), organismo internazionale che coordina le raccomandazioni scientifiche sulla RCP a livello globale e riunisce i principali enti che si occupano di rianimazione, tra cui l’European Resuscitation Council (ERC) e l’American Heart Association (AHA), ha svolto periodici riaggiornamenti del modello Utstein, confermando la necessità di mantenere distinti i sistemi di raccolta dati per l’OHCA e per l’IHCA, alla luce delle importanti differenze tra le due tipologie¹². Nelle seguenti immagini (*Figura 4 e Figura 5*) vengono illustrati i vari domini del modello Utstein, differenti per l’OHCA e per l’IHCA, ciascuno dei quali è costituito da elementi centrali (“core”) ed elementi supplementari (“supplementary”)^{12,13}. Essi offrono un metodo standardizzato per analizzare tutto il percorso dell’arresto cardiaco, dal riconoscimento iniziale fino agli esiti finali, permettendo confronti affidabili tra studi, ospedali e sistemi SME.

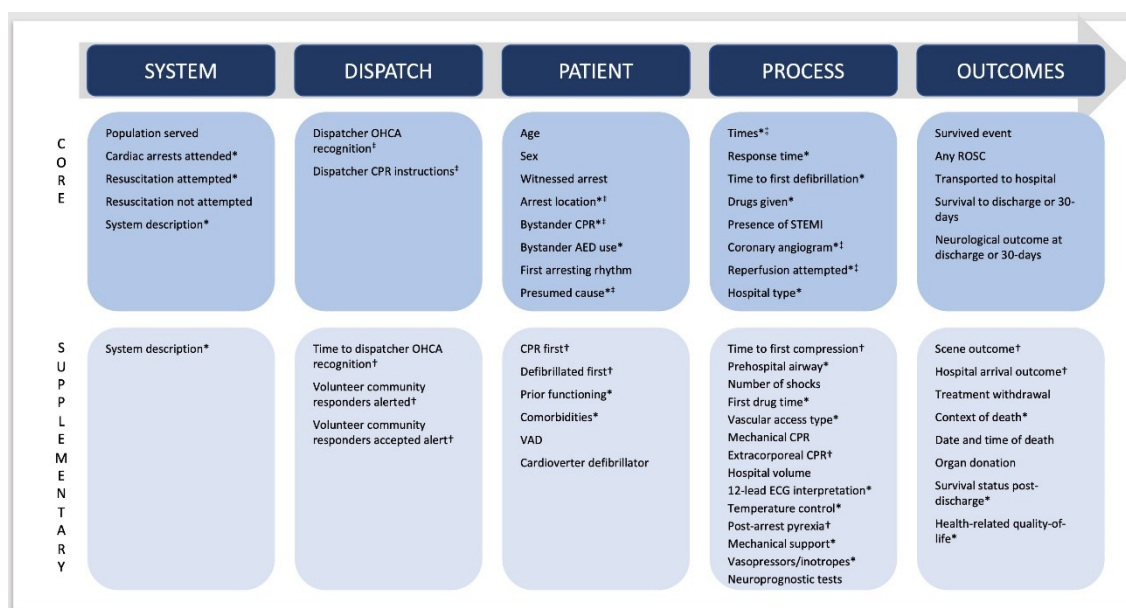


Figura 4. Linee guida per OHCA: elementi fondamentali e supplementari per ciascun dominio nel modello Utstein 2024. Bray J E et al., Circulation 2024-07.

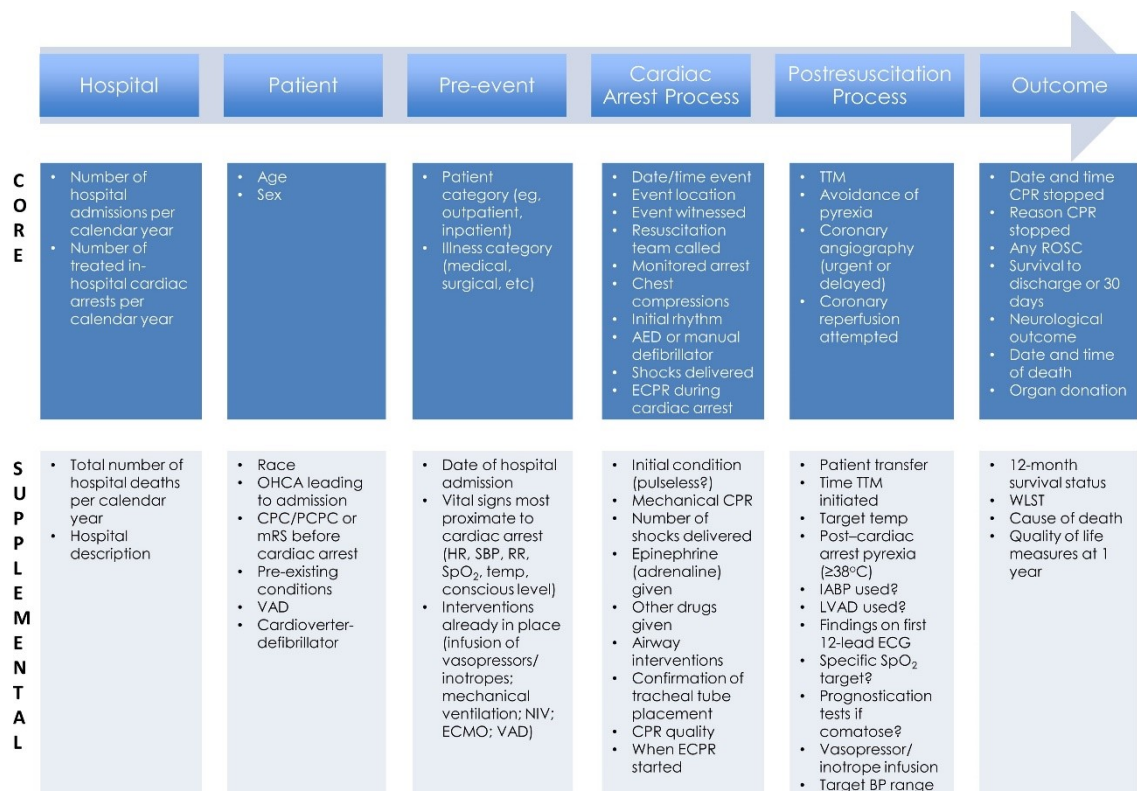


Figura 5. Linee guida per IHCA: elementi fondamentali e supplementari per ciascun dominio nel modello Utstein 2019. Nolan J P et al., Resuscitation 2019-11.

1.1.4 I Principi delle Linee Guida ERC 2025

Nel 2025 l'European Resuscitation Council (ERC) ha pubblicato la versione aggiornata delle linee guida sulla RCP, riguardanti sia il BLS (basic life support) sia l'ALS (advanced life support)¹⁴. L'obiettivo principale della RCP è il raggiungimento, quanto prima possibile, del ROSC, il ritorno della circolazione spontanea, in modo tale da garantire la perfusione degli organi nobili, primi fra tutti l'encefalo e il cuore stesso. Questo è possibile sostituendo temporaneamente la funzione di pompa del cuore tramite un massaggio cardiaco esterno efficace, ripristinando la corretta attività elettrica cardiaca attraverso la defibrillazione e sostenendo la funzione circolatoria tramite l'impiego di farmaci quali antiaritmici, vasopressori e inotropi. In un contesto di ALS, però, è richiesto un passaggio in più, imprescindibile per il conseguimento di tali obiettivi: si tratta dell'individuazione e del trattamento delle cause reversibili dell'arresto cardiaco, al fine di intervenire sul "primum movens" e risolvere così il collasso circolatorio da esso causato e sostenuto¹⁵.

In particolare, il focus sull'individuazione delle cause viene posto in presenza dei ritmi non defibrillabili, quindi PEA e asistolia, dato che i ritmi defibrillabili hanno già azioni specifiche nell'algoritmo (defibrillazione e somministrazione di amiodarone o lidocaina).

A fronte, però, di un'elevata strutturazione, codificazione e standardizzazione dei protocolli e algoritmi di esecuzione della RCP, altre componenti della gestione ottimale, quali appunto l'esecuzione simultanea di indagini mirate all'identificazione delle possibili cause reversibili e la somministrazione di trattamenti specifici in base all'eziologia individuata, risultano meno strutturate e meno uniformemente applicate¹⁶. Pertanto, ciò che si applica nella pratica clinica è una combinazione di elementi anamnestici, rilevazione delle circostanze dell'arresto cardiaco, riscontri clinici, emogasanalisi ed esame ecografico¹⁶.

L'ERC propone un preciso algoritmo per standardizzare l'approccio e la gestione del paziente in arresto cardiaco, articolandolo in quattro anelli che costituiscono la cosiddetta "Catena della Sopravvivenza"¹⁷. Ciascun anello evidenzia l'interconnessione delle azioni necessarie da intraprendere, sottolineando l'importanza di una risposta tempestiva per ottimizzare le possibilità di sopravvivenza¹⁷. Tali anelli sono:

1. riconoscimento precoce e richiesta di aiuto;
2. RCP precoce e defibrillazione precoce;
3. ALS precoce con cure post-rianimazione standardizzate;
4. sopravvivenza e riabilitazione.

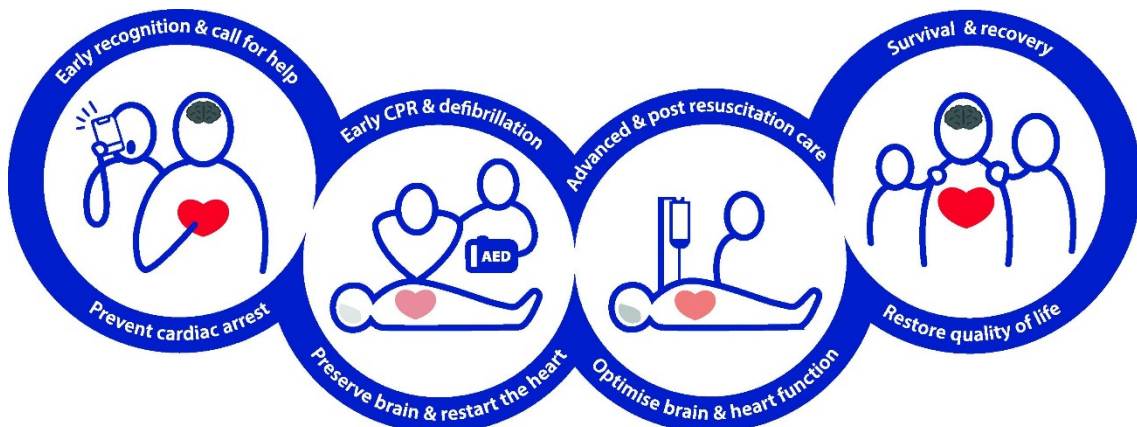


Figura 6. La Catena della Sopravvivenza. Linee Guida ERC 2025, System Saving Lives.

1.1.5 Basic Life Support (BLS) e Advanced Life Support (ALS)

Il termine BLS indica l'avvio della catena della sopravvivenza, l'esecuzione precoce di compressioni toraciche di alta qualità, una ventilazione efficace e l'utilizzo tempestivo del defibrillatore automatico esterno (DAE)¹⁸. Qualsiasi intervento rianimatorio che vada oltre il BLS rientra in quello che viene identificato con il termine ALS, declinato diversamente a seconda che sia applicato all'ambito neonatale, pediatrico o dell'adulto. Di fronte ad una persona "unresponsive", il BLS prevede l'applicazione di tre passaggi¹⁸:

1. Controlla: la sicurezza dell'ambiente, lo stato di coscienza, la presenza di un respiro lento e faticoso o agonico (gasping).
2. Chiama: i servizi di emergenza.
3. Inizia RCP: massaggio cardiaco esterno efficace, DAE non appena disponibile.

L'obiettivo di questo algoritmo è quello di vicariare la funzione di pompa cardiaca, riducendo il tempo di "no flow", fino all'arrivo dei sistemi di emergenza.

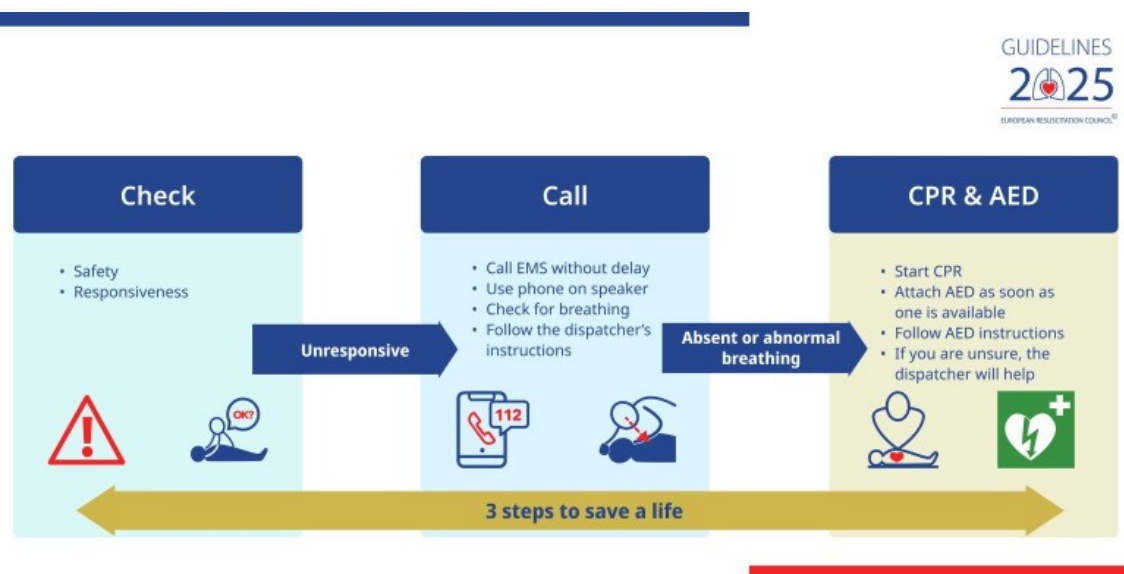


Figura 7. I tre passaggi del BLS. Linee Guida ERC 2025, Adult Basic Life Support.

L'ALS, invece, comprende un insieme di interventi specialistici che si affiancano e si integrano al supporto di base (BLS) e all'impiego del defibrillatore automatico esterno (DAE)¹⁵. È importante specificare che la gestione avanzata non si sostituisce alle manovre di base, che dunque non vengono interrotte, ma si sovrappone ad esse per tutta la durata della gestione dell'arresto cardiaco.

Dopo il riconoscimento dell'arresto cardio-respiratorio, entrambi gli algoritmi prevedono l'avvio immediato della RCP con le 30 compressioni toraciche alternate a 2 ventilazioni (rapporto 30:2)¹⁵. Non appena disponibile, il monitoraggio elettrocardiografico consente di identificare il ritmo cardiaco iniziale, distinguendo tra ritmi defibrillabili (TV senza polso e FV) e ritmi non defibrillabili (asistolia e PEA)¹⁵.

In presenza di un ritmo defibrillabile, il trattamento prioritario è la defibrillazione precoce mediante shock elettrico (150-200 J)¹⁵. Nelle ultime linee guida è indicata la defibrillazione immediata di FV di qualsiasi ampiezza, anche quella a maglie fini¹⁵.

Nei ritmi non defibrillabili, invece, si procede tempestivamente con la terapia farmacologica di supporto emodinamico, in particolare con Adrenalina 1 mg in bolo¹⁵.

Ogni due minuti è prevista una rivalutazione del ritmo e della presenza di polso¹⁵; in assenza di ripresa della circolazione, si riprende rapidamente l'RCP e si torna al bivio tra ritmo defibrillabile e non defibrillabile, ripercorrendo così l'algoritmo.

Nei casi di tachicardia ventricolare senza polso o fibrillazione ventricolare persistenti oltre la terza scarica, si verifica il corretto posizionamento antero-laterale delle placche e bisogna considerare la modifica del vettore di defibrillazione utilizzando una posizione alternativa delle piastre (ad esempio antero-posteriore); inoltre, alla defibrillazione si associa la somministrazione di amiodarone 300 mg EV oppure lidocaina 100 mg EV, insieme ad adrenalina 1 mg¹⁵. Se sono necessarie ulteriori scariche, dopo la quinta si somministra una dose aggiuntiva ridotta (amiodarone 150 mg EV o lidocaina 50 mg EV)¹⁵. Sempre per i ritmi defibrillabili refrattari, è stata proposta la defibrillazione sequenziale doppia (DSD), consistente nell'utilizzo combinato di placche in posizione antero-laterale e antero-posteriore, con scariche erogate in rapida successione; tuttavia, data la poca praticità, l'ERC non ne raccomanda l'uso routinario¹⁵.

Indipendentemente dal ritmo iniziale, l'adrenalina viene ripetuta ogni 3–5 minuti fino all'ottenimento del ROSC o alla sospensione delle manovre¹⁵.

Oltre alle manovre di supporto cardiocircolatorio, è fondamentale la gestione delle vie aeree al fine di garantire un'adeguata ossigenazione e ventilazione, iniziando dalle tecniche di base fino a quelle più avanzate¹⁵. Dopo il posizionamento di un presidio sopraglottico o un tubo endotracheale, non è più necessario interrompere il massaggio

cardiaco per eseguire le ventilazioni, per cui le compressioni toraciche diventano continue e la ventilazione viene effettuata senza interruzioni con una frequenza di circa 10 atti al minuto (una ogni 6 secondi)¹⁵.

Come riportato precedentemente, durante l'esecuzione dell'algoritmo ALS un passaggio fondamentale e mandatorio è la ricerca delle cause reversibili che hanno condotto all'arresto cardiaco, ricorrendo alla tecnica mnemonica delle "4I e 4T" e avvalendosi di tutti i possibili strumenti a disposizione per la loro individuazione¹⁵.

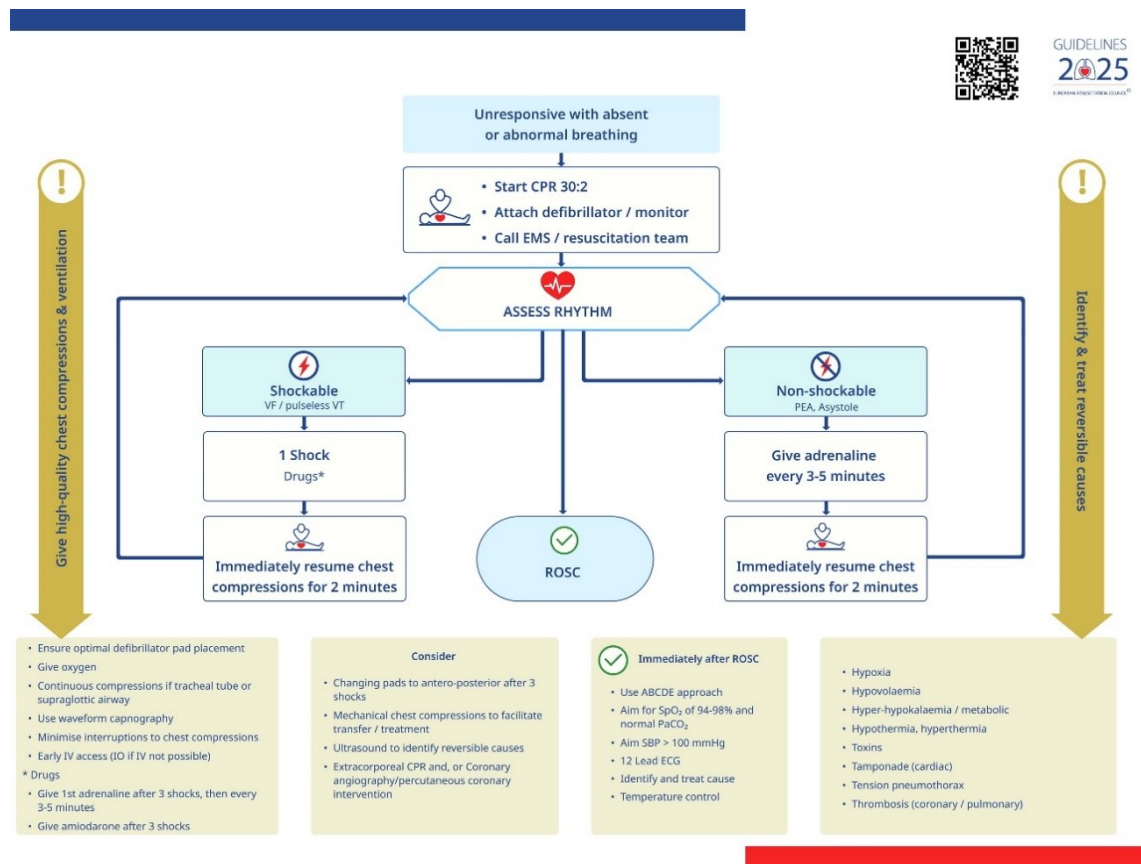


Figura 8. Algoritmo ALS. Linee Guida ERC 2025, Adult Advanced Life Support

1.1.6 Predittori di Sopravvivenza e Prognosi dell'Arresto Cardiaco

Diversi studi riportano una notevole variazione regionale nella morbilità e nella mortalità dopo un OHCA. Lo studio di Myat et al. (2018) individua i fattori che influenzano le probabilità di sopravvivenza con esito neurologico favorevole, pur riconoscendo che gli effetti di molti altri predittori rimangono ancora poco chiari⁶. In generale, i predittori di sopravvivenza dopo OHCA possono essere classificati in fattori relativi al paziente, all'evento, al sistema e alla terapia⁶. In particolare, quelli con forte correlazione con la sopravvivenza sono⁶:

- tra i fattori legati al paziente, l'età, l'etnia, comorbidità e lo stato socioeconomico;
- tra i fattori relativi all'evento, la presenza di un testimone, RCP da parte di astanti, il tipo di ritmo cardiaco e la presenza di respiro agonico;
- tra i fattori relativi al sistema, il tempo per iniziare la RCP, il tempo per iniziare la defibrillazione, l'interazione tra RCP e defibrillazione e RCP telefonicamente assistita.

EuReCa-THREE (2025) è stato, fino ad ora, il più grande studio prospettico europeo in materia di OHCA, includendo 28 Paesi Europei, con l'obiettivo di migliorare la raccolta dei dati per aumentare la qualità delle cure e la sopravvivenza¹⁹. Dai dati è emerso che, dei 47.000 OHCA registrati, la RCP è stata avviata o proseguita da parte dei SME in 32.033 casi (68%), con un tasso di ROSC del 31,1% e una sopravvivenza alla dimissione ospedaliera del 7,5%, in leggero calo rispetto al precedente studio EuReCa-TWO (8%)⁷. In quest'ultimo, inoltre, veniva specificato che il ROSC si verificava nel 58% dei pazienti con ritmo iniziale defibrillabile, contro il 26% nei ritmi non defibrillabili, e la sopravvivenza alla dimissione era rispettivamente del 24% e del 3%⁷.

Per il confronto e per la standardizzazione dei sistemi in termini di sopravvivenza, le linee guida internazionali indicano di utilizzare il gruppo comparatore Utstein, ovvero OHCA testimoniato da un astante con ritmo iniziale defibrillabile documentato¹.

Gli OHCA si verificano prevalentemente al domicilio (circa il 70%) e più raramente in luoghi pubblici o strutture assistenziali, dove sarebbe più probabile un intervento tempestivo; inoltre, circa la metà degli eventi non è testimoniata²⁰. Questo comporta un ritardo nell'inizio della rianimazione cardiopolmonare, con conseguente prolungamento

del tempo di assenza di flusso, aggravamento del danno ipossico e aumento della mortalità²⁰.

In sintesi, la sopravvivenza globale dopo OHCA rimane bassa, ma i principali studi concordano nell'individuare i fattori predittivi positivi di sopravvivenza nell'OHCA essenzialmente nella: testimonianza da parte di astanti dell'arresto cardiaco, RCP eseguita da astanti con ventilazioni, presenza di un ritmo iniziale defibrillabile, una rapida risposta degli SME, eziologia diversa da quella medica o traumatica (ad esempio annegamento, elettrocuzione, asfissia, overdose da farmaci), evento avvenuto in luogo pubblico¹⁹. I fattori geografici-organizzativi sono quelli che rendono difficile la riduzione dei tempi di intervento, evidenziando la necessità di potenziare e riorganizzare i servizi di emergenza¹⁹.

Relativamente all'IHCA, Penketh e Nolan (2022) distinguono i fattori prognostici associati alla sopravvivenza in²¹:

- Fattori pre-arresto, generalmente associati a minore sopravvivenza, come sesso maschile, età avanzata (≥ 70 anni), presenza di tumore attivo e malattia renale. Altro elemento molto importante è la fragilità, definita come una ridotta riserva fisiologica e una maggiore vulnerabilità a esiti avversi in risposta a stress fisiologici, derivanti dall'accumulo di deficit legati all'età e alle malattie; questa è associata a una minore probabilità di ROSC, una maggiore mortalità e una più frequente necessità di assistenza a lungo termine. I fattori pre-arresto sono tutti non modificabili.
- Fattori intra-arresto, alcuni associati a maggiore sopravvivenza come evento testimoniato e arresto in ambienti monitorati, altri associati a una minore sopravvivenza come durata della rianimazione maggiore di 15 minuti e intubazione durante l'arresto, anche se i dati al riguardo non permettono di giungere a conclusioni definitive.

La probabilità di ottenere il ROSC in ambito di IHCA varia tra il 36% e il 54%, mentre la sopravvivenza a 30 giorni o alla dimissione ospedaliera si colloca tra il 15% e il 34%, maggiore rispetto ai pazienti vittime di OHCA². La sopravvivenza a un anno dopo IHCA, in assenza di danno cerebrale ipossico-ischemico o di necessità di assistenza continuativa, è maggiore nei soggetti più giovani, in presenza di ritmo iniziale defibrillabile e nei casi

in cui la defibrillazione venga eseguita precocemente²¹. È stato inoltre osservato che la morte cerebrale post-arresto si verifica più frequentemente nei pazienti con OHCA rispetto a quelli con IHCA²: in ambiente intraospedaliero, infatti, l'immediato intervento di personale sanitario consente una più rapida attivazione delle manovre rianimatorie, riducendo i tempi di "no flow" e migliorando la probabilità di un esito neurologico favorevole (21%) rispetto a quanto avviene sul territorio (8%)²⁰.

Da questi dati si evince che il contesto in cui si verifica l'arresto cardiaco è determinante nell'influenzare i due fattori chiave strettamente correlati all'outcome: il ritmo d'esordio e la durata del periodo di "no flow", ovvero assenza di flusso ematico.

L'esito dopo arresto cardiaco è storicamente molto sfavorevole; di fronte a questa situazione, negli anni sono state intraprese molte misure volte a ridurre la mortalità e a migliorare gli esiti: dall'introduzione della modulazione terapeutica della temperatura, alla prevenzione aggressiva del danno cerebrale secondario fino all'ottimizzazione dell'accesso al supporto cardiovascolare avanzato²⁰. La mortalità dopo arresto cardiaco è spesso conseguenza della sospensione delle terapie di sostegno vitale, basata sulla percezione che un recupero neurologico non sia possibile: ciò mette in evidenza l'importanza di fornire stime accurate sulla prognosi neurologica durante la definizione degli obiettivi di cura²⁰. Secondo quanto emerge dallo studio di Henson et al. (2021), sono urgentemente necessari sistemi avanzati di supporto decisionale in grado di integrare dati clinici, di imaging, biomarcatori e dati neurofisiologici, traducendoli in previsioni affidabili dell'esito neurologico²⁰.

Nella pratica clinica, gli strumenti tradizionali di valutazione dell'esito neurologico globale al momento della dimissione ospedaliera sono due score, il Cerebral Performance Category (CPC) e la Scala di Ranking modificata (mRS); tuttavia, risultano essere limitati in quanto non analizzano in modo dettagliato funzioni cognitive specifiche, come la memoria, l'attenzione e le funzioni esecutive, e non distinguono efficacemente tra deficit lievi e deficit moderati²². Infatti, oltre ai sopravvissuti che presentano sequele gravi (deficit fisici e cognitivi a lungo termine), esiste una non trascurabile porzione di pazienti che manifesta ancora a un anno dall'evento depressione, ansia, affaticamento, difficoltà di reintegrazione sociale, mancato ritorno al lavoro, disturbo da stress post-traumatico,

compromissione della memoria a breve termine, deficit della mobilità o incapacità di svolgere le attività della vita quotidiana, anche in assenza di deficit cognitivi evidenti²².

La mRS, originariamente sviluppata per pazienti con ictus e lesioni cerebrali, utilizza una scala di disabilità a 7 punti, dove 0 indica assenza di sintomi e 6 indica il decesso¹². La CPC, invece, è una scala a 5 categorie, con punteggio da 1 a 5, in cui 1 corrisponde a una buona funzionalità cerebrale e 5 rappresenta la morte cerebrale¹². Le linee guida internazionali considerano, sia per l'IHCA sia per l'OHCA, come esiti favorevoli punteggi CPC di 1-2 e mRS di 0-3^{12,13}.

Per superare i limiti intrinseci a queste scale valutative, è stata sviluppata la CPC-Extended (CPC-E), che valuta 10 domini più specifici, i quali includono umore, fatica, attività quotidiane complesse e capacità di tornare al lavoro, permettendo così sia di identificare i bisogni riabilitativi del paziente sia di monitorarne il recupero nel tempo²².

1.1.7 Pulseless Electrical Activity (PEA)

I due ritmi d'esordio definiti "non defibrillabili" sono l'asistolia e la PEA. Quest'ultima, precedentemente nota come dissociazione elettromeccanica, si verifica in pazienti che presentano un'attività elettrica cardiaca organizzata in assenza di un polso palpabile²³, quindi in assenza di un flusso ematico sufficiente a mantenere lo stato di coscienza e una perfusione tissutale adeguata²⁴. Si tratta, in sostanza, di un qualsiasi ritmo cardiaco elettrocardiografico che non è accompagnato da circolo spontaneo, ad esclusione delle tachiaritmie ventricolari (FV, TV senza polso), dell'asistolia e di quel caratteristico pattern agonico di complessi QRS lenti e molto larghi osservati al termine di un arresto cardiaco prolungato²⁴. I pattern elettrocardiografici comunemente associati alla PEA sono quindi molto variabili e l'attività elettrica può presentarsi con frequenze e ritmi che, in altre condizioni, sarebbero compatibili con la presenza di circolo²⁴.



Figura 9. Attività elettrica senza polso: esempio 1. Il ritmo di arresto, in questo caso, è una tachicardia sinusale con una frequenza ventricolare di circa 160 bpm, con complessi QRS di durata normale e intervalli QT normali. Metha e Brady, *The American Journal of Emergency Medicine*, 2012-01.



Figura 10. Attività elettrica senza polso: esempio 2. Il ritmo d'arresto iniziale, in questo caso, è una fibrillazione ventricolare fine (A). Dopo l'erogazione del primo shock, si è instaurato un ritmo idioventricolare con risposta ventricolare ampia e lenta; l'assenza di polso conferma la PEA (B). La mancata risposta alle manovre rianimatorie dopo oltre trenta minuti di assenza di polso, con il progressivo allargamento e la progressiva diradazione dei complessi QRS, ha portato alla sospensione della rianimazione (C). Metha e Brady, *The American Journal of Emergency Medicine*, 2012-01.

Le evidenze degli ultimi decenni suggeriscono che l'incidenza della PEA è in aumento, mentre la comparsa di TV senza polso e di FV è in diminuzione; in particolare, la PEA è arrivata a rappresentare almeno il 35-40% di tutti gli arresti cardiaci²⁵. A questo preoccupante aumento della PEA si aggiunge il fatto che gli arresti in PEA sono associati a una prognosi sfavorevole, infatti il tasso di sopravvivenza è del 2,4%, rispetto al 40% correlato ai ritmi defibrillabili²⁵. La riduzione della frequenza di TV/FV e il relativo, o assoluto, aumento dei ritmi non defibrillabili come ritmi d'esordio possono essere attribuiti a molteplici elementi, tra cui fattori ambientali, clinici, farmacologici o legati alle strategie di intervento. Negli arresti in luoghi pubblici, probabilmente per il fatto che vengono gestiti più tempestivamente, l'incidenza di TV e FV non risulta essere significativamente calata rispetto al passato; al contrario, gli arresti domestici o in strutture assistenziali riguardano più spesso pazienti anziani, con gravi comorbidità o con ritardi nel riconoscimento e nell'intervento iniziale²⁴. La riduzione di TV e FV può inoltre essere legata all'aumento dell'impiego dei defibrillatori impiantabili in pazienti con disfunzione sistolica, e all'impiego crescente di terapie farmacologiche aggressive per lo scompenso cardiaco, in particolare i beta-bloccanti, i quali, sopprimendo le tachiaritmie ventricolari, potrebbero favorire un aumento degli arresti in PEA e asistolia²⁴.

Si analizzano ora possibili meccanismi fisiopatologici alla base della PEA, nonostante la sua comprensione sia limitata dalla mancanza di modelli sperimentali clinicamente rilevanti²⁴. Studi autoptici indicano che circa il 50% dei casi sia dovuto a un evento cardiaco primario; inoltre, circa un terzo dei pazienti con PEA che vengono rianimati è sottoposto a intervento di rivascolarizzazione coronarica percutanea per occlusione coronarica acuta e STEMI, suggerendo che la PEA possa rappresentare un iniziale evento aritmico innescato dall'ischemia²⁴. L'occlusione coronarica acuta provoca una perdita improvvisa della forza contrattile, in quanto vengono improvvisamente alterati i meccanismi di regolazione del calcio intracellulare, fondamentale per la contrazione dei cardiomiociti; questo spiega perché gli agenti inotropi, in particolare i β -agonisti, rappresentino il trattamento principale della PEA, dal momento che aumentano l'ingresso e la disponibilità di calcio nelle cellule miocardiche²⁴. A questi elementi si aggiungono anche le conseguenze metaboliche provocate dall'ischemia stessa²⁴. L'asfissia, il modello sperimentale tradizionale per indurre PEA, in realtà non ne rappresenta una causa frequente²⁴. La PEA può verificarsi ogni qual volta si generi una risposta inadeguata o inappropriata dell'organismo a uno stress molto intenso sul sistema cardiovascolare, come nel caso una massiccia attivazione del sistema immunitario innato, con conseguente depressione acuta della funzione cardiaca e dissociazione della sincronizzazione elettromeccanica²⁴. L'attivazione dell'immunità innata, inoltre, produce citochine, tra cui "cardiochine", che, una volta in circolo, possono determinare una marcata vasodilatazione e un disaccoppiamento ventricolo-arterioso, dunque il presupposto per lo sviluppo di aritmie²⁴. Sono necessarie ulteriori ricerche per valutare il ruolo della modulazione immunitaria, infiammatoria e ormonale nel contesto di comorbidità come il diabete mellito, lo scompenso cardiaco e altri stati proinfiammatori²⁴.

Il successo nel trattamento della PEA dipende principalmente da una RCP di alta qualità, un compito spesso difficile nei minuti iniziali e concitati della rianimazione, e dalla rapida individuazione di eventuali cause reversibili sottostanti, nonché da una diagnosi corretta e precoce²³. Studi ormai datati individuavano nell'ECG uno strumento importante, insieme all'anamnesi e all'esame obiettivo, nell'identificazione delle potenziali cause reversibili di PEA, al fine di orientare il corretto percorso terapeutico e di prevedere la probabilità di sopravvivenza²³. Attualmente, la nuova frontiera per approcciarsi a tutti questi aspetti sta diventando l'ecocardiografia point-of-care (POCUS), strumento

caratterizzato da una maggiore sensibilità e dalla possibilità di realizzare uno studio diagnostico e prognostico più approfondito sul paziente.

Nell'ambito dell'attività elettrica senza polso, i primi studi che coinvolgevano l'utilizzo della POCUS nell'arresto cardiaco hanno, infatti, messo in luce nuovi scenari nei quali, nonostante la prima apparenza diagnostica fosse quella di un arresto cardiaco con disaccoppiamento elettromeccanico, si documentava, in realtà, la presenza di movimenti contrattili miocardici potenzialmente capaci di generare un flusso. Da uno studio svolto nell'ambito degli OHCA (Breitkreutz et al., 2010), è emerso che ben il 75% dei ritmi inizialmente identificati come PEA presentavano, alla valutazione ecografica, un'attività cardiaca sottostante²⁶. Si iniziavano a delineare così due condizioni, entrambe associate all'attività elettrica senza polso, ma con sostanziali differenze²³:

- la PEA vera e propria, intesa come assenza di attività cardiaca all'ecocardiografia bedside;
- la pseudo-PEA, in cui vi erano contrazioni miocardiche documentate ecograficamente, ma non sufficienti a produrre un polso palpabile.

Sebbene questa definizione di pseudo-PEA fosse ancora molto operativa e poco precisa, si trattava della prima segnalazione di una condizione di nuovo riscontro²⁷. Lo studio REASON (2017) ha permesso di definire con più precisione l'elemento "contrattilità miocardica" sulla base della stima visiva ecografica: per attività cardiaca organizzata si intende il movimento del miocardio con variazione delle dimensioni della cavità ventricolare associato al movimento sincronizzato della parete ventricolare, a differenza dell'attività cardiaca non organizzata che si definisce, invece, come un movimento agonico del miocardio senza variazione dimensionale delle camere ventricolari²⁸. In questa definizione non vengono presi in considerazione i movimenti valvolari, che non sono in alcun modo specifici di contrazione, ma possono essere suscettibili al flusso generato dalla RCP, dalle insufflazioni polmonari o dai "flush" di farmaci endovenosi²⁸.

Lo studio più recente di Rabjohns et al. (2020) definisce la pseudo-PEA come una condizione che si verifica quando è presente attività elettrica cardiaca, è assente un polso palpabile e si riscontra almeno una tra le seguenti condizioni: presenza di contrazioni miocardiche documentate all'ecocardiogramma (transtoracico (TTE)) o transesofageo (TOE)), oppure evidenza di flusso ematico nell'arteria carotidea dimostrata tramite

ecografia Doppler²⁷. Proprio grazie all'utilizzo crescente dell'ecografia, recentemente il lessico è stato riaggiornato²⁹:

- la PEA vera e propria è stata denominata PRES (Pulseless with a Rhythm with Echocardiographic Standstill, ovvero assenza di polso con ritmo e arresto ecocardiografico);
- la pseudo-PEA è stata più denominata PREM (Pulseless with a Rhythm with Echocardiographic Motion, ovvero assenza di polso con ritmo e movimento cardiaco ecocardiografico).

In conclusione, il concetto più attuale di PEA è quello di un continuum di quadri di presentazione in cui si può spaziare da una situazione estrema di attività elettrica senza attività meccanica (la vera e propria dissociazione elettromeccanica o PEA vera o PRES) a un'altra situazione in cui si ha un'attività elettromeccanica accompagnata da un'ipotensione così profonda da non rendere percepibile alcun polso, di fatto un profondo stato di shock emodinamico che però non si può definire ancora arresto cardiaco (pseudo-PEA o PREM)^{28,29}.

L'importanza di questa distinzione risiede nel fatto che, seppur da un punto di vista emodinamico e funzionale le due situazioni siano sostanzialmente equivalenti ad uno stato di circolo insufficiente, dal punto di vista fisiopatologico e, di conseguenza, terapeutico, presentano in realtà differenze significative. Tuttavia, la mancanza di una definizione univoca del concetto di pseudo-PEA in letteratura e la mancanza di linee guida che siano ampiamente accettate per la diagnosi e il trattamento di tale condizione hanno un notevole impatto nella pratica clinica²⁷. Poiché la PEA è di frequente riscontro nella rianimazione dell'arresto cardiaco, e poiché negli ultimi due decenni si è assistito a un aumento della sua incidenza, molti dei casi che vengono classificati come PEA vera potrebbero in realtà trattarsi di pseudo-PEA, con severe ripercussioni sulle strategie terapeutiche adottate²⁷.

Da un punto di vista fisiopatologico, ciò che si verifica nella pseudo-PEA è la compromissione, ad opera di un evento significativo, della capacità del sistema cardiovascolare di garantire la perfusione tissutale; questo comporta l'instaurarsi di uno stato di shock cardiogeno che non riesce a mantenere adeguatamente la pressione di

perfusione dei tessuti, con conseguente impossibilità di rilevare il polso arterioso²⁷. Nonostante siano presenti delle contrazioni cardiache visibili ecograficamente, la circolazione nell'organismo è insufficiente a causa della ridotta funzione miocardica²⁷. Ad avvalorare questa teoria è il fatto che i casi di pseudo-PEA risultino frequentemente associati ad uno stato di profonda ipovolemia secondaria a emorragia oppure ad un'ostruzione al flusso anterogrado secondaria a embolia polmonare, pneumotorace iperteso o tamponamento cardiaco²⁷. Anche tachiaritmie, stati ipocontrattili con scarso tono vascolare come lo shock anafilattico avanzato e lo shock settico, infarti miocardici e asfissia possono contribuire alla patogenesi della pseudo-PEA²⁷. È fondamentale identificare e trattare immediatamente le cause sottostanti che hanno condotto alla pseudo-PEA, dal momento che questa può evolvere rapidamente in PEA vera e propria²⁷.

La letteratura evidenzia come le due condizioni, PREM e PRES, abbiano una differente evoluzione in termini prognostici. Lo studio di Flato et al. (2015) ha mostrato che la probabilità di ROSC nei pazienti con PREM era significativamente superiore a quella dei pazienti con PRES o asistolia; inoltre, nonostante il raggiungimento del ROSC, nessuno dei pazienti con PRES è sopravvissuto alla dimissione ospedaliera, mentre i tassi di sopravvivenza alla dimissione e a 180 giorni dei pazienti con PREM sono risultati rispettivamente di 22,2% e 14,8%, peraltro con esiti neurologici eccellenti in quasi tutti i casi³⁰. Secondo la metanalisi di Wu et al. del 2018, un paziente con PREM presenta una probabilità di ottenere il ROSC 4,35 volte superiore rispetto a un paziente con PRES²⁵.

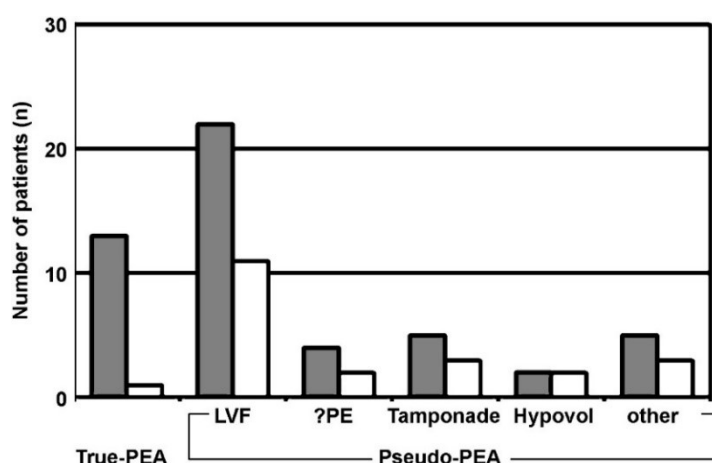


Figura 11. Correlazione tra la diagnosi ecocardiografica di arresto cardiaco e la sopravvivenza all'ammissione ospedaliera. Sulle ascisse sono riportate le diagnosi, mentre sulle ordinate il numero di pazienti. Le colonne grigie indicano il numero totale di pazienti per ciascuna categoria diagnostica, mentre le colonne bianche rappresentano il numero di pazienti sopravvissuti fino al ricovero. Dal grafico emerge come la sopravvivenza dei pazienti con PEA vera sia inferiore rispetto a quelli con pseudo PEA. Breitkreutz R. et al., Resuscitation, 2010-11.

Un contributo di rilievo nella gestione dell'arresto cardiaco in PREM o pseudo-PEA è stato dato dallo studio di Prosen et al. (2010), che si potrebbe definire pioneristico in quanto, per la prima volta, si prendeva in considerazione l'utilizzo di farmaci differenti da quelli tradizionalmente indicati dai protocolli standard ACLS dell'ERC³¹. L'impiego sistematico dell'ecocardiografia in questa casistica si dimostrava un fattore dirimente per la successiva strategia decisionale: lo strumento consentiva di distinguere i quadri di PRES da quelli di PREM, e di identificare contestualmente eventuali cause reversibili di arresto³¹. L'algoritmo di Prosen prevedeva, esclusivamente per i pazienti in PREM, la somministrazione di 20 UI di vasopressina, seguita da una pausa di 15 secondi nella quale si sospendeva il massaggio cardiaco esterno e si valutava manualmente la presenza del polso centrale³¹. Tale scelta si fondava sull'evidenza che le compressioni toraciche asincrone determinassero un aumento della pressione intratoracica media, con ostacolo meccanico alla diastole e conseguente riduzione della gittata cardiaca³².

Uno studio condotto su modelli suini in pseudo-PEA (Paradis et al., 2012), infatti, ha permesso di evidenziare come la sincronizzazione diastolica delle compressioni toraciche si associasse ad un aumento della pressione atriale destra, a una riduzione della pressione aortica e a una ridotta pressione di perfusione coronarica³³. Al contrario, si è visto che la sincronizzazione sistolica correlava a una maggior pressione aortica, a una diminuzione della pressione atriale destra durante il rilasciamento diastolico e a un incremento della pressione di perfusione coronarica, risultato della combinazione dei due effetti precedenti³³.

Nonostante l'esiguità del campione, i dati di Prosen et al. hanno permesso di trarre conclusioni molto promettenti in quanto hanno evidenziato un maggior tasso di ROSC all'interno del gruppo oggetto di studio, nonché un incremento della sopravvivenza alla dimissione e un migliore esito neurologico³¹. Inoltre, veniva confermata l'efficacia della vasopressina rispetto ai regimi standard basati su adrenalina e noradrenalina, per la sua capacità di ottimizzare la perfusione coronarica e cerebrale grazie a una spiccata azione vasocostrittrice a livello arteriolare³¹.

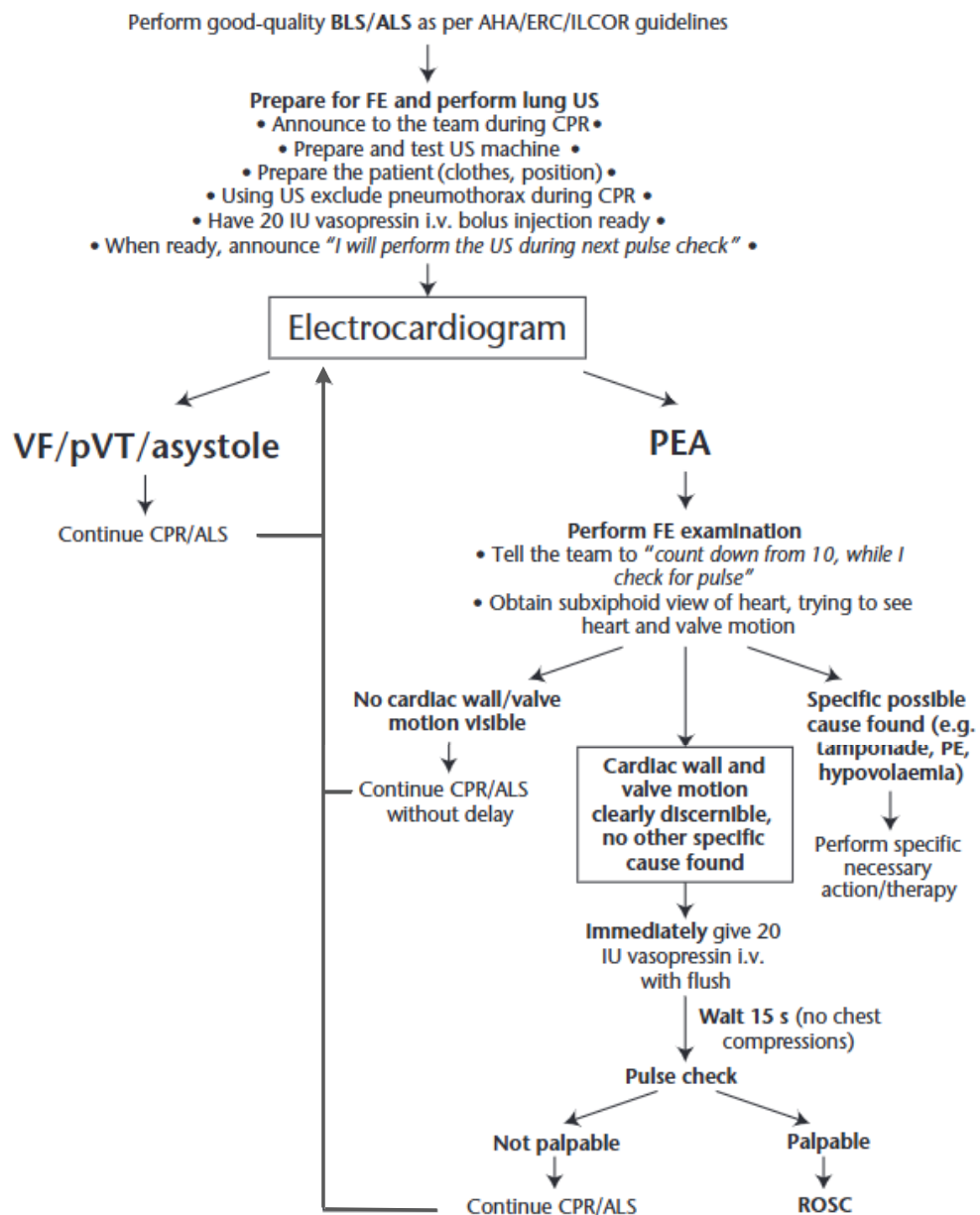


Figura 12. Rappresentazione schematica di un protocollo modificato per la valutazione ecocardiografica focalizzata (FE) durante la rianimazione, nel contesto di OHCA. Prosen G. et al., The Journal of International Medical Research, 2010-06.

Questo studio innovativo ha aperto la strada a numerosi altri lavori, tra cui uno più recente e di maggiori dimensioni è il già citato studio REASON (2017). Partendo da una coorte di 225 pazienti in PEA, valutati ecograficamente per distinguere coloro che, sebbene dichiarati in arresto cardiaco, presentavano un'attività cardiaca organizzata da coloro che, invece, mostravano un'attività cardiaca disorganizzata, il gruppo con PREM sottoposto a trattamento standard (protocolli ACLS) ha dimostrato tassi di ROSC e di sopravvivenza

al ricovero ospedaliero rispettivamente del 54,7% e del 37,7%, migliori rispetto a quelli relativi al gruppo con PRES (rispettivamente 37,2% e 17,9%)²⁸. Nei pazienti con attività organizzata trattati con infusioni adrenergiche EV, gli esiti ancora una volta si sono dimostrati migliori: il ROSC veniva raggiunto nel 90,9% dei casi, la sopravvivenza al ricovero nel 45,5% e la sopravvivenza alla dimissione nel 4,5%; al contrario, nei pazienti con attività disorganizzata tali infusioni non miglioravano significativamente la sopravvivenza (ROSC 47,1%, ricovero e dimissione 0%)²⁸. Dai dati, inoltre, è emerso che nei pazienti con attività organizzata l'uso di agenti adrenergici EV aumentava di 8,2 volte la probabilità di ROSC, mentre nei pazienti con attività disorganizzata il beneficio era minimo o assente²⁸.

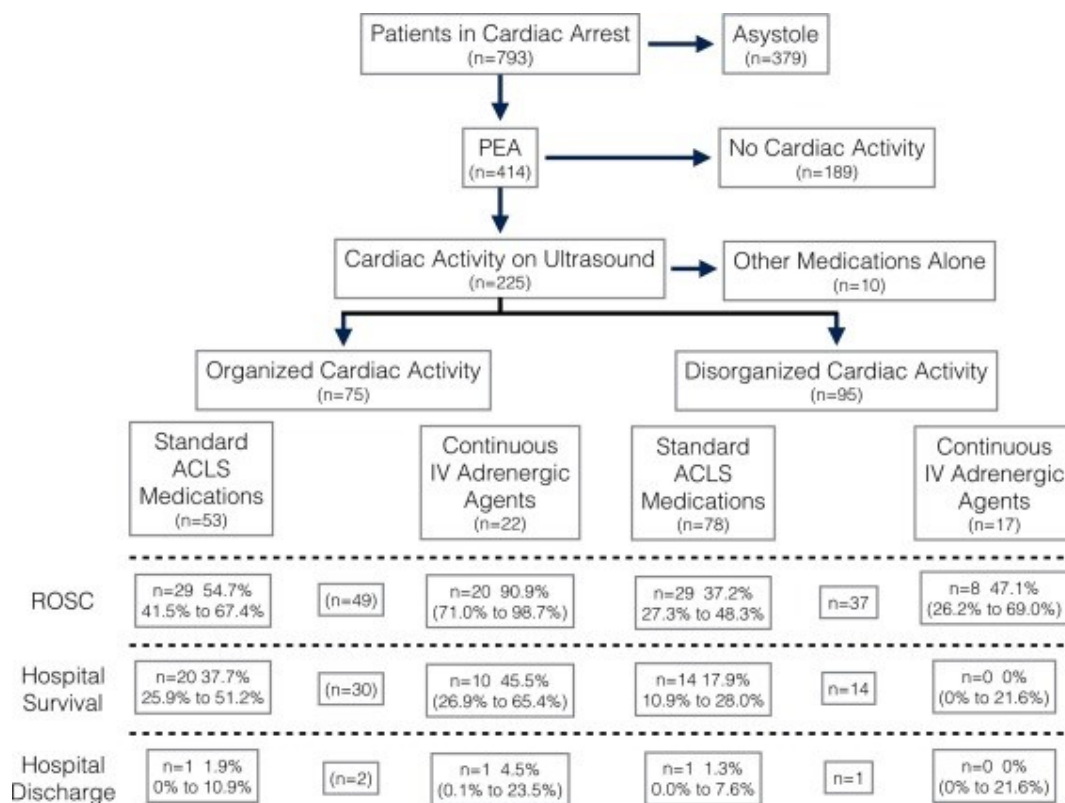


Figura 13. ROSC, sopravvivenza al ricovero e sopravvivenza alla dimissione nei pazienti in PEA con attività cardiaca organizzata e non organizzata, sottoposti a trattamento ALS standard o ad infusione continua di agenti adrenergici. Gaspari R. et al., *A REASON Study, Resuscitation*, 2017-11.

Riprendendo Rabjohns et al. (2020), il trattamento della pseudo-PEA non consiste nella rigida applicazione di protocollo standardizzati, ma richiede un intervento terapeutico mirato e specifico per il singolo paziente, da affiancare alla rianimazione in modo da ottimizzare e massimizzare le probabilità di sopravvivenza²⁷.

1.2 POINT OF CARE ULTRASOUND (POCUS)

1.2.1 Lo Stato dell'Arte: Benefici e Limiti

L'ecografia point-of-care (POCUS) è una metodica diagnostica avanzata eseguita direttamente al letto del paziente da parte del medico, che ne interpreta in tempo reale i risultati³⁴. Consente un rapido ed efficace inquadramento iniziale del paziente, con un approccio mirato all'analisi dell'organo o dell'apparato verosimilmente responsabile del quadro clinico³⁴. Ampiamente diffusa soprattutto in medicina d'urgenza, i suoi utilizzi spaziano dall'individuazione di problematiche addominali, per citarne alcune l'appendicite acuta, l'idronefrosi e l'aneurisma dell'aorta addominale, all'applicazione in ambito cardiopolmonare e vascolare, ad esempio per la disfunzione ventricolare sinistra, il versamento pericardico e la trombosi venosa profonda (TVP), fino all'ambito dei traumi³⁴. Tra i principali vantaggi vi sono economicità, riduzione dei tempi diagnostici e dei tempi di degenza ospedaliera, aspetti che giustificano la significativa crescita a cui questa metodica è andata incontro a livello globale³⁴.

Nel contesto dell'arresto cardiaco, le possibilità diagnostiche immediatamente disponibili per il clinico risultano intrinsecamente limitate, soprattutto per la necessità di prendere decisioni rapide in condizioni di estrema criticità. Nell'identificazione della possibile causa scatenante, oltre ai dati anamnestici ottenuti dagli astanti, ai segni clinici e ai test point-of-care (POCT), ovvero i primi rapidi elementi laboratoristici forniti ad esempio da un'emogasanalisi, un notevole contributo è dato dall'ecografia. Il POCT consente di identificare eventuali alterazioni metaboliche, come ipoglicemia, acidosi o alterazioni elettrolitiche, tuttavia i tempi richiesti per ottenere i risultati ne riducono significativamente l'utilità nella gestione in tempo reale della rianimazione. In questo scenario, le applicazioni dell'ecografia bedside mirano a ottimizzare gli esiti della RCP, facilitando attività cruciali quali diagnosi precoce e intervento mirato, identificazione delle cause reversibili di arresto cardiaco, monitoraggio e orientamento della rianimazione avanzata³⁵. Evidenze di due decenni fa (Breitkreutz R. et al., 2007) suggerivano già che la POCUS potesse permettere di rilevare il ritorno subclinico del ROSC, ovvero della gittata cardiaca³⁶. Una metanalisi del 2017 ha mostrato una sensibilità e una specificità della POCUS nella previsione del ROSC rispettivamente del

95% e del 80%, valori lievemente superiori rispetto a una precedente metanalisi del 2012 (sensibilità 91% e specificità 80%); per quanto concerne la sopravvivenza al ricovero ospedaliero, la sensibilità risultava invece inferiore (90%)^{37,38}.

Esistono chiaramente anche dei limiti intrinseci alla POCUS. Tra i principali il fatto che si tratti di una metodica operatore-dipendente, ovvero caratterizzata da una variabilità interpretativa legata al livello di addestramento dell'operatore³⁹. Nello specifico, durante l'arresto cardiaco le principali differenze di interpretazione tra gli operatori sono state individuate⁴⁰:

- nei casi di bradicardia profonda, accompagnata da contrazioni miocardiche appena accennate;
- in presenza di movimenti valvolari ("fluttering"), che possono essere causati dalla ventilazione meccanica o dalle debolissime contrazioni miocardiche, insufficienti a generare una gittata cardiaca;
- in caso di dilatazione isolata del ventricolo destro, spesso erroneamente interpretata come segno univoco di embolia polmonare massiva. Spesso, in realtà, si tratta di un fenomeno che si verifica pochi minuti dopo l'arresto cardiaco a causa dello spostamento del sangue dal circolo sistemico verso il cuore destro, secondo i gradienti pressori.

Alcuni studi, inoltre, evidenziavano che l'utilizzo dell'ecografia potesse prolungare le pause durante la RCP, aumentando i tempi di "no flow" e impattando negativamente sui tassi di ROSC e sopravvivenza^{41,42}.

In considerazione di tutti questi aspetti, le principali associazioni in materia di rianimazione, tra cui ILCOR, AHA e ERC, riconoscono il crescente utilizzo della POCUS nel setting emergenziale e ne contemplano l'utilizzo come strumento di supporto per l'identificazione delle cause reversibili, come il tamponamento cardiaco, lo pneumotorace iperteso, l'embolia polmonare, l'infarto del miocardio, la dissezione aortica e l'ipovolemia¹⁵. Tuttavia, le linee guida ERC del 2025 ne disciplinano l'impiego ponendo alcune raccomandazioni¹⁵:

- solo operatori esperti dovrebbero utilizzare la POCUS in corso di arresto cardiaco;

- la POCUS non deve causare interruzioni aggiuntive o prolungate delle compressioni toraciche. A tal fine è raccomandato l'utilizzo della finestra transtoracica sotto-xifoidea, posizionando la sonda appena prima delle pause programmate per l'analisi del ritmo;
- la POCUS non deve essere utilizzata per valutare la contrattilità miocardica come unico criterio per interrompere la RCP.

Le linee guida propongono anche altre strategie operative per ridurre ulteriormente i tempi di “no flow”, ad esempio la pre-identificazione della finestra ottimale durante la RCP, la registrazione di brevi filmati ecografici (inferiori a 10 secondi) durante le pause per la valutazione del ritmo, da poter visualizzare e interpretare durante i successivi cicli di compressioni, oppure, ancora, l'impiego dell'ecocardiografia transesofagea (TOE): secondo quanto riportato dall'ERC, in mani esperte consentirebbe una migliore visualizzazione cardiaca, potrebbe migliorare il posizionamento delle mani per le compressioni toraciche e, di conseguenza, l'efficacia della compressione ventricolare sinistra, con possibile associazione a un aumento del ROSC¹⁵. Tuttavia, il suo utilizzo richiede attrezzature dedicate e competenze specifiche, e le evidenze disponibili in merito a questa metodica sono ancora limitate¹⁵.

Negli anni si è assistito allo sviluppo di vari protocolli con l'obiettivo di integrare la POCUS all'ALS in modo sicuro. Nonostante il suo crescente utilizzo, specificamente all'interno di un approccio sistematico che mira a ridurre i rischi e ottimizzare l'efficienza, ancora oggi la POCUS non rientra ufficialmente nelle linee guida come strumento integrante i principali algoritmi dell'arresto cardiaco. Attualmente viene quindi considerata, essenzialmente, come un complemento diagnostico e prognostico³⁹.

1.2.2 I Principali Protocolli Ecografici per l'Arresto Cardiaco

Nel 2007 Breitkreutz et al. hanno elaborato il protocollo FEER (Focused Echocardiographic Evaluation in Resuscitation), un lavoro pionieristico che ha introdotto un algoritmo articolato in dieci passaggi, suddivisi in quattro fasi, da svolgere simultaneamente alla RCP al fine di ridurre i tempi di “no flow”³⁶.

Tali steps si possono sintetizzare in³⁶:

1. inizio della RCP di alta qualità, preparazione e ottimizzazione delle condizioni per l'esecuzione della POCUS, individuazione del "timekeeper";
2. rapida acquisizione delle immagini, mediante finestra sotto-xifoidea, durante una breve pausa delle manovre al termine del ciclo in corso (10 secondi, contati alla rovescia dal "timekeeper" mentre palpa il polso carotideo);
3. analisi delle immagini in parallelo alla ripresa delle manovre rianimatorie;
4. comunicazione chiara dei reperti ecografici al team, con conseguente orientamento delle decisioni cliniche.

In uno studio prospettico osservazionale, condotto in ambito pre-ospedaliero su una corte di 230 pazienti sottoposti ad ALS, di cui 204 sottoposti a FEEL (Focused Echocardiographic Evaluation in Life Support), gli stessi autori hanno dimostrato che i reperti ecocardiografici hanno permesso di modificare la gestione clinica nel 78% dei casi²⁶.

I primi protocolli ecografici, come il FEER, erano incentrati quasi esclusivamente sulla sola valutazione cardiaca, in particolare sull'identificazione di eventuali alterazioni della contrattilità miocardica. Con il progressivo affermarsi della POCUS, si è sviluppato un approccio più ampio e integrato, con protocolli che hanno esteso l'indagine ecografica ad altri distretti anatomici, come polmoni, vena cava inferiore (VCI) e cavità addominale, al fine di individuare cause potenzialmente reversibili di arresto cardiaco e orientare in modo più selettivo le strategie terapeutiche. Il protocollo C.A.U.S.E. (Cardiac Arrest Ultra-Sound Exam), ad esempio, è un approccio ecografico sviluppato nel 2008 da Hernandez et al., che introduce l'utilizzo di due principali proiezioni toraciche: la visualizzazione a quattro camere del cuore e del pericardio e visualizzazioni anteromediali bilaterali dei polmoni e della pleura, ottenute, nello specifico, a livello del secondo spazio intercostale sulla linea emiclaveare⁴³. Tra le varie finestre per la visualizzazione a quattro camere del cuore (sotto-xifoidea, parasternale o apicale), utile in quanto permette di riconoscere rapidamente condizioni quali ipovolemia, embolia polmonare massiva e tamponamento cardiaco, la finestra sotto-xifoidea è preferibile perché consente di esaminare il cuore senza interrompere le compressioni toraciche⁴³. Dopo l'avvio della RCP, l'algoritmo prevede la distinzione degli arresti in aritmogeni (FV

o TV) e non aritmogeni: i primi vengono trattati con cardioversione elettrica, mentre ai secondi viene applicato il protocollo C.A.U.S.E. per individuare le cause potenzialmente reversibili⁴³. Lo studio cardiaco è prioritario in quanto consente di discriminare le tre condizioni critiche precedentemente citate con una sola scansione; se il risultato non è conclusivo, si procede con le proiezioni polmonari (30 secondi per lato) per escludere lo pneumotorace⁴³. In assenza di reperti significativi, si considerano altre cause di arresto cardiaco, come alterazioni metaboliche o elettrolitiche, ipotermia severa, massivo infarto del miocardio, sostanze tossiche o farmaci⁴³.

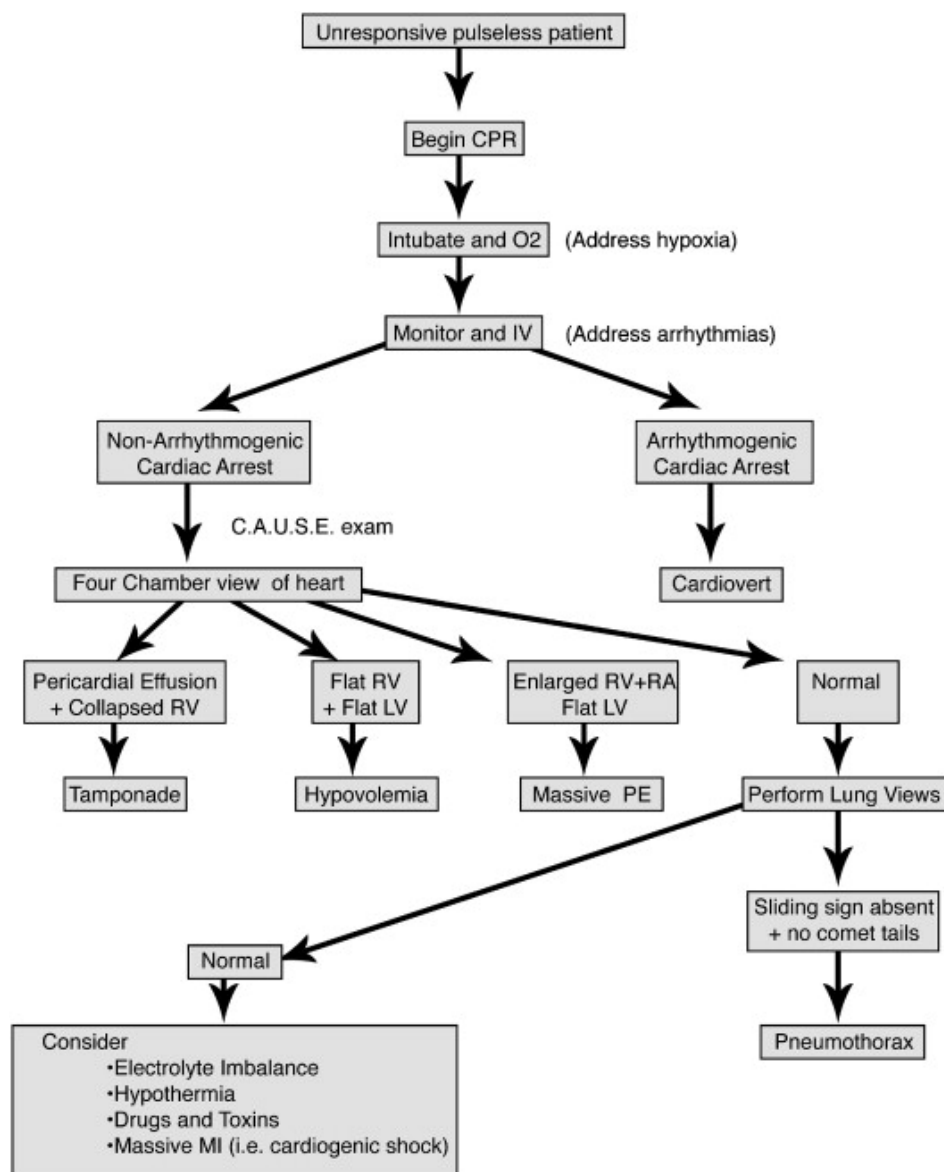


Figura 14. Flowchart per l'utilizzo del protocollo C.A.U.S.E. nei pazienti con arresto cardiaco. Hernandez C. et al., Resuscitation, 2008-02.

L'ipovolemia può essere identificata ecograficamente osservando le cavità ventricolari collassate in proiezione sotto-xifoidea o in asse lungo parasternale, oppure misurando il volume telediastolico del ventricolo sinistro in asse corto parasternale⁴³. Anche il diametro della VCI correla con lo stato volémico del paziente e con la pressione in ventricolo destro: una VCI collassata o con diametro inferiore a 5 mm suggerisce grave ipovolemia e richiede una rapida espansione volémica; al contrario, una VCI dilatata (diametro maggiore di 20 mm) è più compatibile con scompenso cardiaco congestizio da deficit di pompa, tamponamento cardiaco, embolia polmonare massiva o con l'arresto cardiaco stesso; chiaramente, per fare diagnosi differenziale, è importante integrare i reperti ecografici con il quadro clinico⁴³. L'embolia polmonare massiva, invece, si manifesta tipicamente con una dilatazione del ventricolo destro e conseguente assottigliamento del ventricolo sinistro, ipocinesia della parete libera del ventricolo destro e ipercinesia dell'apice⁴³. Infine, lo pneumotorace iperteso si caratterizza per l'assenza del classico "sliding" pleurico tra pleura viscerale e parietale, valutata antero-medialmente in corrispondenza del secondo spazio intercostale sulla linea emiclaveare⁴³.

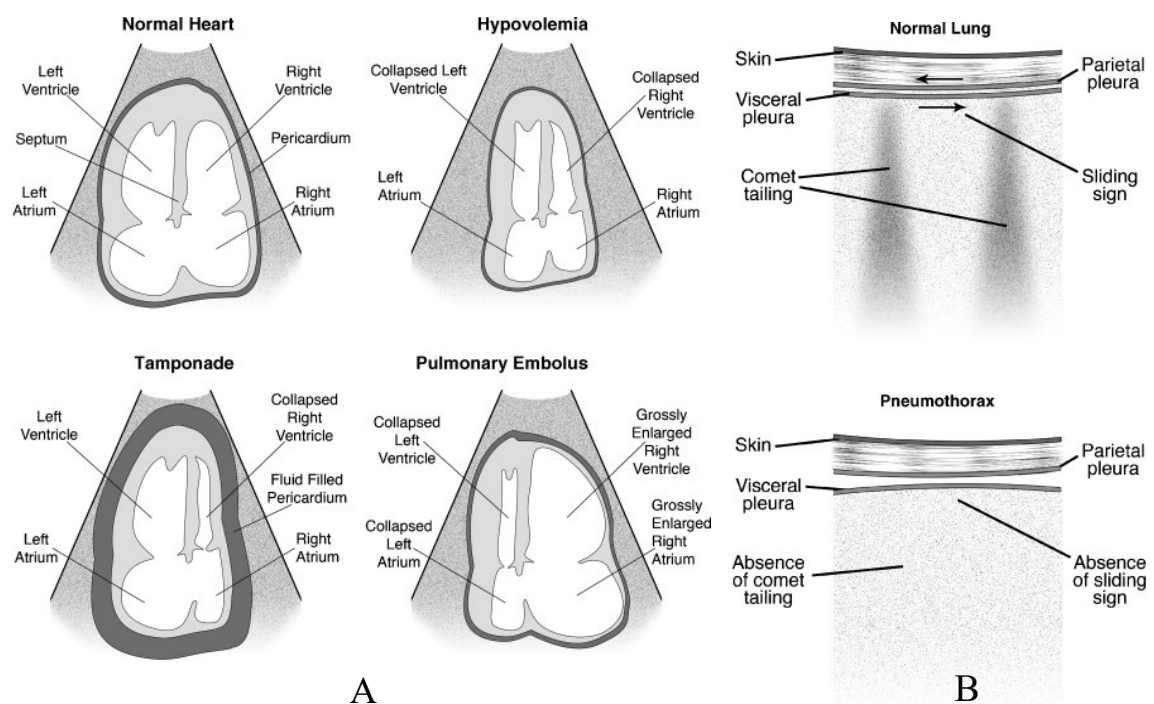


Figura 15. Confronto fra: A) le dimensioni delle camere cardiache, in proiezione apicale, nel tamponamento cardiaco, nell'embolia polmonare e nell'ipovolemia rispetto a un cuore normale; B) i reperti ecografici osservati nello pneumotorace iperteso rispetto a un polmone normale. Hernandez C. et al., Resuscitation, 2008-02.

Successivamente è stato proposto un altro modello, il protocollo PEA (2010), che sfrutta un acronimo per ricordarne sia gli ambiti di applicazione, ovvero l'arresto cardiaco in PEA, sia la sequenza delle scansioni ecografiche⁴⁴:

1. scansione Polmonare, per identificare pneumotorace, versamento pleurico e per distinguere polmone “umido” e polmone “asciutto”;
2. scansione Epigastrica, per valutare versamento pericardico, volumi e cinesia dei ventricoli, riempimento della VCI;
3. scansione Addominale e altre scansioni, per escludere aneurisma e dissezione aortica, versamento peritoneale, occlusione o perforazione intestinale, TVP.

Lo studio, inoltre, suggerisce come integrare e interpretare i reperti ecografici rilevati dalle diverse scansioni, al fine di giungere ad una diagnosi probabilistica quanto più accurata possibile e orientare il successivo processo decisionale. Ad esempio⁴⁴:

- L'assenza completa di movimento cardiaco all'ecografia, in presenza di attività elettrica al monitor, indica una vera PEA, condizione prognosticamente molto sfavorevole e che può implicare l'interruzione delle manovre rianimatorie.
- Una ridotta contrattilità miocardica globale o segmentaria può indicare un'insufficienza del miocardico dovuta a sindrome coronarica acuta, specialmente se associata a sindrome interstizio-alveolare, versamento pleurico, VCI collassata e presenza di ipercinesia compensatoria delle aree cardiache non coinvolte dall'evento ischemico.
- Un ventricolo sinistro ipertrofico con VCI dilatata e polmone “umido” orienta, invece, verso insufficienza cardiaca diastolica.
- Il riscontro di ventricoli piccoli, ridotto volume telediastolico del ventricolo sinistro, VCI collassata e polmone “asciutto” è indicativo di ipovolemia, suggerendo la necessità di una rapida espansione volemica. L'ecografia deve poi ricercare eventuali fonti emorragiche o raccolte fluide come emoperitoneo ed emotorace.
- Ancora, la presenza di versamento pericardico, VCI dilatata e polmone “asciutto” orienta verso il tamponamento cardiaco, con necessità di svolgere in urgenza una pericardiocentesi eco-guidata o un trattamento cardiocirurgico. L'emopericardio può essere proprio il primo segno di una dissezione o rottura aortica.

- La dilatazione del ventricolo destro e una VCI piena suggeriscono una condizione di ipertensione polmonare, probabilmente determinata da embolia polmonare. L'altro elemento che può venire in supporto è la ricerca ecografica di TVP agli arti inferiori.
- Infine, il riscontro di un cuore piccolo e ipercinetico, con VCI dilatata e soprattutto assenza dello “sliding” pleurico fa pensare allo pneumotorace iperteso, che richiede un'urgente decompressione mediante ago e successivo drenaggio toracico.

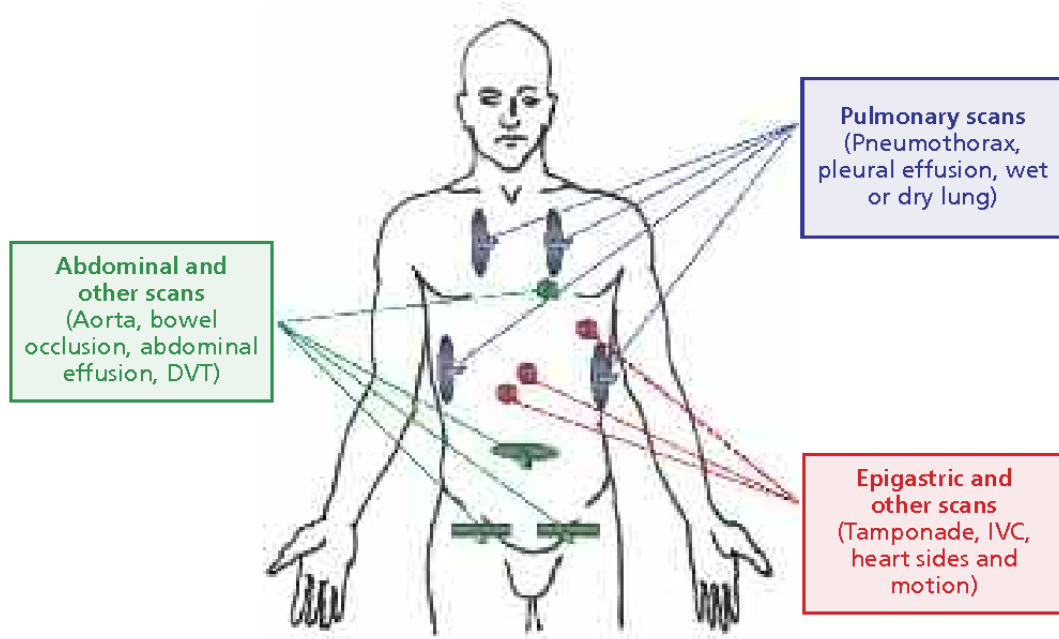


Figura 16. Schematizzazione del protocollo PEA, in cui è mostrata la sequenza delle 3 scansioni ecografiche: polmonare, epigastrica, addominale, altre. Testa A. et al., European Review for Medical and Pharmacological Sciences, 2010-02.

Protocolli come il PEA o il SESAME (Sequential Emergency Scanning Assessing Mechanism Or Origin of Shock of Indistinct Cause), simile al precedente, possono essere applicati in tutte quelle condizioni di emergenza tempo-dipendenti come lo shock grave, l'arresto cardiaco, il trauma maggiore e le condizioni di peri-arresto^{44,45}.

Un lavoro più recente è quello che ha portato all'elaborazione del Cardiac Arrest Sonographic Assessment (CASA) Exam. Esso si basa sull'esecuzione di tre valutazioni ecografiche, ciascuna della durata inferiore a 10 secondi, svolte durante le pause di controllo del polso⁴⁶. Anche in tal caso, l'obiettivo è l'identificazione precoce delle cause

reversibili di PEA riducendo al minimo le interruzioni della RCP⁴⁶. Proprio per tale ragione, la finestra sotto-xifoidea è raccomandata perché può essere ottenuta anche in corso di compressioni toraciche⁴⁶. L'algoritmo prevede, come accennato, le tre fasi elencate di seguito⁴⁶.

1. Ricerca di tamponamento cardiaco. Questo rappresenta una causa di arresto cardiaco nel 4-15% dei casi ed è associato a una prognosi migliore (sopravvivenza alla dimissione del 15.4%) rispetto ad altre forme di PEA (1.3%), soprattutto se trattato rapidamente. L'ecografia permette di evidenziare versamento pericardico e segni di tamponamento, come il collasso diastolico del ventricolo destro.
2. Ricerca di embolia polmonare, responsabile del 4-7,6% degli arresti cardiaci e di una sopravvivenza alla dimissione del 6,7%.
3. Valutazione dell'attività cardiaca, la cui assenza è associata a una prognosi estremamente sfavorevole, con una probabilità di sopravvivenza del 0,0-0,6%. Se è presente attività cardiaca, occorre rivalutare polso, pressione arteriosa e considerare l'infusione continua di vasopressori; in assenza di attività cardiaca, invece, occorre valutare la prosecuzione o meno della rianimazione prendendo in considerazione altri fattori prognostici negativi, come un basso end-tidal CO₂ (ETCO₂), una RCP prolungata o un arresto non testimoniato.

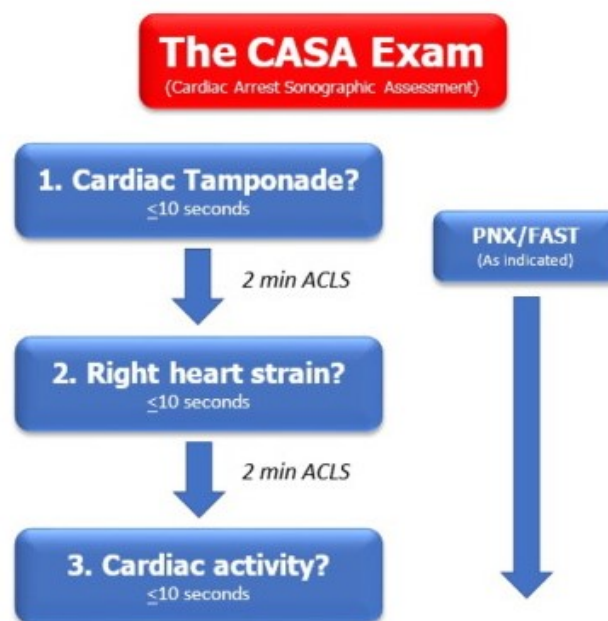


Figura 17. Schematizzazione dell'algoritmo CASA Exam. Gardner et al., *The American Journal of Emergency Medicine*, 2018-04.

In aggiunta ai tre step principali, CASA Exam include la possibilità di eseguire una eFAST (extended Focused Assessment with Sonography for Trauma) volta alla ricerca di altre cause trattabili come pneumotorace iperteso, liquido libero endoaddominale, rottura di aneurisma dell'aorta addominale, gravidanza ectopica⁴⁶. La valutazione della VCI è stata volutamente esclusa dal protocollo poiché nei pazienti in arresto cardiaco ci si aspetta, nella maggior parte dei casi, che risulti dilatata a causa sia della somministrazione empirica di fluidi per via endovenosa sia della marcata riduzione del flusso ematico anterogrado⁴⁶.

Per concludere la panoramica sui vari protocolli ecografici impiegati nell'arresto cardiaco, il protocollo SHoC (Sonography in Hypotension and Cardiac Arrest), pubblicato nel 2017, rappresenta uno dei modelli più completi, strutturati e supportati da evidenze cliniche. Esso si colloca all'interno di un ampio progetto, costituito da 3 studi sequenziali, che ha preso il via con la raccolta di dati sull'incidenza delle principali patologie riscontrate alla POCUS nel setting di emergenza-urgenza, per arrivare all'elaborazione formale di un nuovo modello gerarchico finalizzato all'integrazione sicura ed efficace della POCUS all'ACLS, e conclusosi con la verifica dell'impatto clinico del protocollo stesso in termini di durata della rianimazione, frequenza degli interventi, tasso di ROSC, sopravvivenza al ricovero e a alla dimissione ospedaliera⁴⁷⁻⁴⁹. Il protocollo si basa sulla valutazione delle "4 F", ossia Fluid (presenza di versamento pericardico, pleurico o peritoneale), Form (forma e dimensioni delle camere cardiache), Function (funzione e contrattilità cardiaca), Filling (stato volêmico), mediante 3 visualizzazioni, definite "core", "supplementary" e "additional", differenti a seconda che ci si trovi di fronte a un paziente in ipovolemia o in arresto cardiaco⁴⁸. Nel caso specifico dell'arresto cardiaco⁴⁸:

- le scansioni "core" sono limitate alle finestre cardiache e devono essere eseguite esclusivamente durante le pause previste per il controllo del ritmo, evitando di prolungare le interruzioni delle compressioni toraciche; le finestre preferite, per questo motivo, sono ancora una volta quella sotto-xifoidea e, eventualmente, l'asse lungo parasternale;
- le scansioni "supplementary" comprendono l'ecografia polmonare e la valutazione della VCI;

- scansioni “additional” includono la conferma del corretto posizionamento del tubo endotracheale, la ricerca di TVP agli arti inferiori e l’identificazione di possibili fonti di sanguinamento.

Gli autori specificano che tali protocolli non debbano rappresentare dei rigidi modelli operativi, quanto piuttosto un consensus sulla priorità delle scansioni da eseguire nei pazienti critici, sulla base della probabilità di identificare la patologia sottostante e del potenziale impatto nella gestione clinica del paziente⁴⁸.

SHoC Ultrasound Protocol - Cardiac Arrest

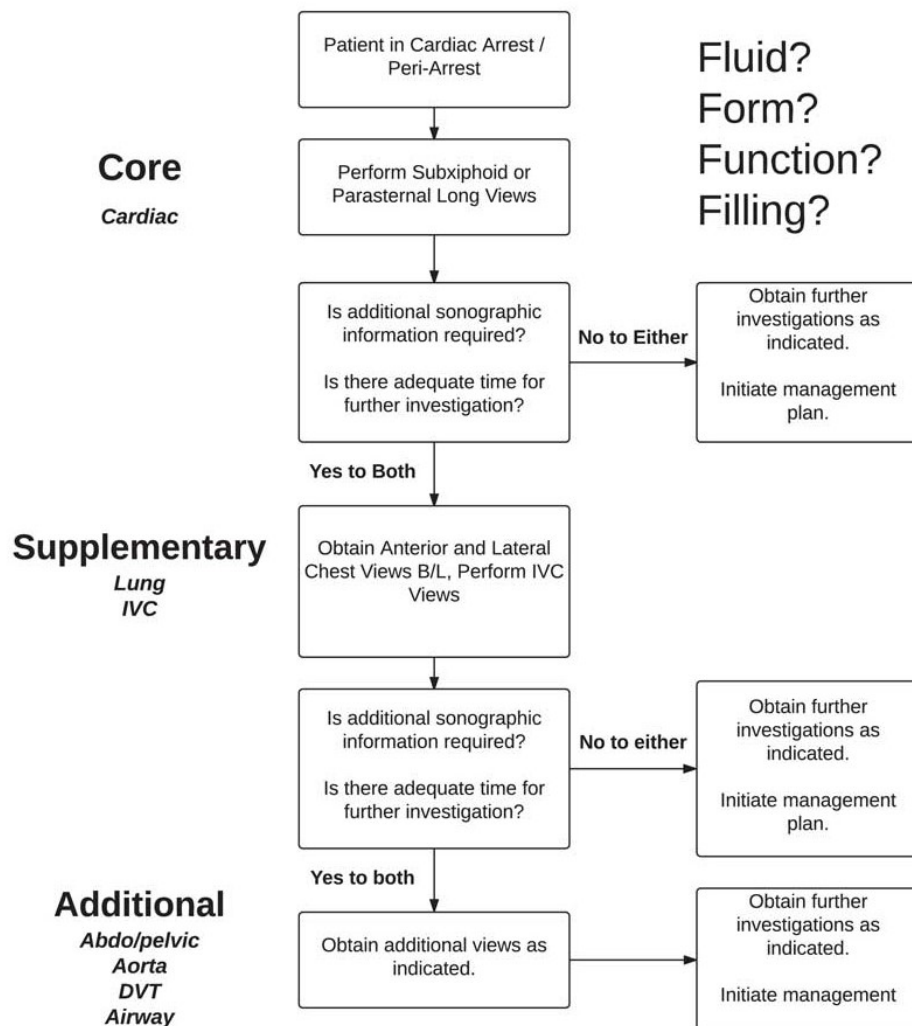


Figura 18. Schematizzazione del protocollo SHoC per l’arresto cardiaco. Atkinson P. et al., CJEM, 2017-11

Alla luce di tutti questi elementi, si evince che il ruolo della POCUS nella rianimazione durante l'arresto cardiaco resta molto dibattuto, in quanto mancante di univocità, standardizzazione e ampia accettazione, ma continua a essere in evoluzione.

1.3 CONTROLLO DEL POLSO (PULSE CHECK)

1.3.1 Pulse Check Manuale

All'interno dei protocolli ALS, il controllo manuale del polso costituisce, attualmente, lo standard nella valutazione del ROSC⁵⁰. Numerosi studi degli ultimi decenni, tuttavia, hanno dimostrato che tale metodo è spesso poco affidabile e richiede frequentemente più dei 10 secondi raccomandati, non solo tra i laici ma anche tra i professionisti sanitari^{51,52}.

L'incertezza nella sua rilevazione, infatti, può determinare ritardi nell'inizio delle compressioni toraciche, può erroneamente portare a non eseguire compressioni che sarebbero necessarie o, al contrario, a eseguire compressioni inutili e somministrare vasopressori inappropriatamente, a causa del mancato riconoscimento del ROSC⁵¹.

Le condizioni cliniche in cui la palpazione manuale del polso può risultare maggiormente inaffidabile sono: ridotta gittata cardiaca, valvulopatie, condizioni ipovolemiche e redistributive, alterazioni vascolari, tamponamento cardiaco, embolia polmonare, pneumotorace iperteso⁵³. Anche l'habitus del paziente e l'inesperienza dell'operatore sono aspetti rilevanti⁵⁴.

Lo studio prospettico di Cohen et al. (2022) ha dimostrato che la palpazione manuale è caratterizzata da una bassa accuratezza complessiva (54%) e una sensibilità particolarmente ridotta anche a pressioni arteriose sistoliche (PAS) teoricamente palpabili: dal 47,4% per $PAS \geq 60$ mmHg fino al 61,5% per $PAS \geq 100$ mmHg⁵⁴.

In considerazione di ciò, le più recenti linee guida, sia ERC sia AHA, hanno revisionato la definizione pratica e operativa di arresto cardiaco¹⁸. In particolare, secondo le linee guida ERC 2025 il riconoscimento dell'arresto cardiaco si basa sulla presenza di un soggetto non responsivo e che non respira normalmente¹⁸. Sebbene questi segni possano essere presenti anche in altre emergenze mediche gravi, essi rappresentano comunque criteri altamente sensibili per il riconoscimento precoce dell'arresto cardiaco, e il rischio

di iniziare precocemente le manovre di RCP in un paziente che non sia realmente in arresto cardiaco è minimo rispetto alle gravi conseguenze derivanti da un ritardo nell'avvio della RCP nei pazienti effettivamente colpiti da arresto cardiaco¹⁸. Quello che però è rilevante in questa definizione è che la ricerca del polso non rappresenta più l'elemento centrale nella decisione iniziale di avviare la RCP, come indicato nelle precedenti linee guida, ma assumono maggior rilevanza il riconoscimento tempestivo della perdita di coscienza e del pattern respiratorio agonico o assente¹⁸.

1.3.2 Pulse check ecografico o POCUS Pulse Check: Panoramica

Le evidenze scientifiche stanno progressivamente mettendo in discussione l'utilità del controllo manuale del polso durante la RCP; di contro, negli ultimi anni molti studi si sono concentrati sull'analisi della POCUS come strumento per il Pulse Check, riuscendo a dimostrare una migliore accuratezza⁵⁰. Durante la RCP, la POCUS può essere utilizzata sostanzialmente in due modalità: come ecocardiografia oppure andando a studiare grandi vasi come arteria carotide o femorale⁵⁵. Lo studio di Sanchez et al. (2020) ha evidenziato alcuni limiti dell'ecocardiografia: la presenza di movimento delle pareti cardiache non sempre corrisponde a una gittata cardiaca efficace, e il suo utilizzo durante l'arresto cardiaco può prolungare le interruzioni delle compressioni toraciche⁵⁵. Al contrario, è stato dimostrato che il movimento pulsatile in un vaso distante dal cuore è un indicatore della presenza di un effettivo flusso sanguigno nella circolazione sistemica⁵⁵.

Nel 2019 un lavoro di Badra et al. ha rilevato che i professionisti sanitari non impiegano più tempo a identificare il polso carotideo con la POCUS rispetto alla palpazione manuale, dimostrando quindi la non inferiorità del POCUS Pulse Check rispetto al Pulse Check manuale⁵¹. In tale studio, il controllo ecografico del polso richiedeva in media 4,2 secondi; alcuni operatori, invece, usando la palpazione manuale, impiegavano oltre 20 secondi⁵¹. È stato visto, inoltre, che anche operatori senza esperienza avanzata in ecografia, dopo un breve training di 15 minuti, sono stati in grado di identificare il polso carotideo più rapidamente e con maggiore affidabilità rispetto alla palpazione⁵¹. In particolare, dai dati di Sanchez et al. la sensibilità complessiva degli operatori nell'identificazione della presenza di polso si attesta attorno al 91%, con una variabilità

che va dal 96% nei pazienti con valori maggiori di PAS al 83% nei pazienti con valori inferiori di PAS, come in situazioni di bassa portata o di PEA⁵⁵.

Nello stesso anno è stata descritta una nuova tecnica basata sulla semplice compressione, mediante sonda ecografica, dell'arteria carotide o femorale per individuare la presenza o l'assenza del polso, soprattutto nei casi in cui la palpazione manuale risultava incerta o errata: tale tecnica ha preso il nome di POCUS-CAC (Point of Care UltraSound - Carotid Artery Compression)^{56,57}. Essa, sostanzialmente, trova le sue radici in evidenze basate su studi biomeccanici, i quali hanno dimostrato che la parete arteriosa non collassa in presenza di una fisiologica pressione ematica; motivo per cui, sotto la pressione della sonda ecografica, mentre la vena giugulare collassa facilmente, la carotide mantiene la propria struttura se il polso è presente⁵⁷. Nelle situazioni di arresto cardiaco, anche con compressioni toraciche eseguite correttamente, viene generato solo il 20-40% della normale gittata cardiaca, dunque gli autori hanno ipotizzato che durante la RCP la carotide potesse essere compressa con la sonda ecografica similmente alla vena giugulare interna⁵⁷.

In generale, si preferisce studiare la carotide per la sua posizione anatomica superficiale e per la sua facile individuazione, nonché per il fatto di essere meno condizionata da fattori quali l'obesità^{55,56}. È indicata una sonda lineare ad alta frequenza per la sua maggiore risoluzione; tuttavia, nei pazienti obesi, durante la valutazione dell'arteria femorale possono essere impiegate anche sonde convex o phased array⁵⁶. La sonda ecografica deve essere posizionata trasversalmente al vaso che si vuole analizzare, con l'indicatore rivolto verso il lato sinistro dell'operatore: in questa posizione, l'arteria appare come un cerchio nero⁵⁶ (*Figura 20* e *Figura 21*). Si può apprezzare la carotide medialmente rispetto alla vena giugulare interna, mentre l'arteria femorale comune si trova, di solito, lateralmente rispetto alla vena femorale comune⁵⁶. Una lieve compressione dell'arteria con la sonda permette di osservare se il vaso collassa o se sono presenti pulsazioni visibili⁵⁶.

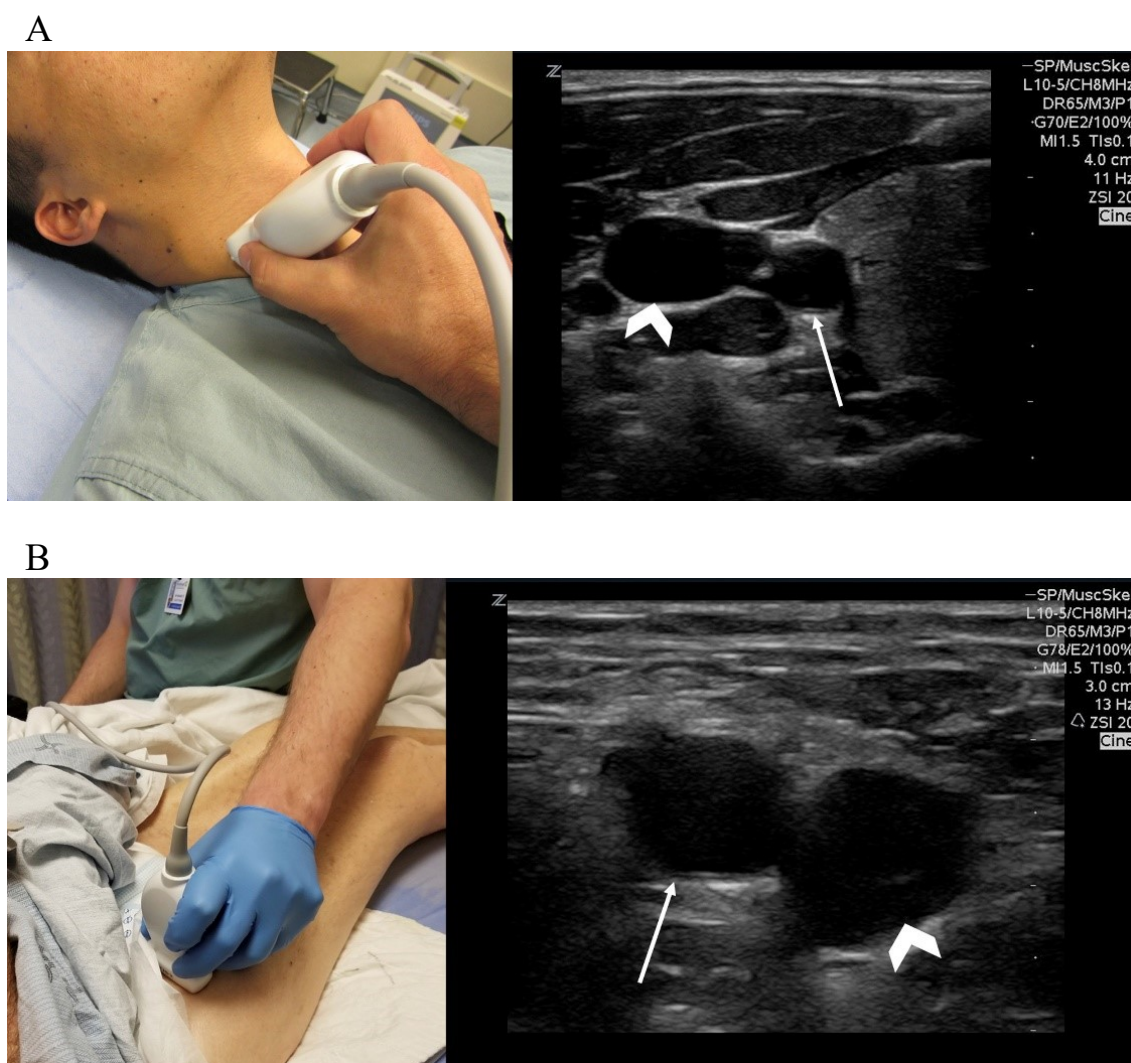


Figura 19. A: Posizionamento della sonda per l'arteria carotide. La sonda viene posizionata con orientamento trasversale rispetto al vaso, lateralmente alla cartilagine tiroidea, con l'indicatore rivolto verso il lato sinistro dell'operatore. La carotide (freccia) è solitamente situata medialmente rispetto alla vena giugulare interna (punta). **B: Posizionamento della sonda per l'arteria femorale.** La sonda viene posizionata con orientamento trasversale rispetto al vaso, a livello della piega inguinale, con l'indicatore rivolto verso il lato sinistro dell'operatore. L'arteria femorale comune (freccia) è solitamente situata lateralmente rispetto alla vena femorale comune (punta). Simard et al., *The Journal of Emergency Medicine*, 2019-06.

La POCUS-CAC può essere eseguita rapidamente durante le pause della RCP, in ambito pre-ospedaliero grazie all'utilizzo degli ecografi portatili, e si è dimostrata particolarmente utile nei casi di pseudo-PEA, in cui i pazienti, per via dello stato di profondo shock, possono beneficiare di trattamenti mirati con vasopressori a basse dosi in infusione o farmaci inotropi^{54,56}. Peraltro, sono stati descritti casi nei quali, mentre il polso non è stato rilevato manualmente entro i primi 10 secondi, l'ecografia carotidea

aveva rapidamente identificato arterie pulsanti e non comprimibili anche con pressioni arteriose molto basse (23–63 mmHg), suggerendone il potenziale impiego nei pazienti ipotesi⁵⁷.

Gli autori di questo lavoro innovativo hanno segnalato, inoltre, alcuni casi di ROSC dove la carotide era pulsante, ma il vaso collassava ugualmente sotto la compressione della sonda ecografica: ciò si è verificato soprattutto in condizioni di profonda ipovolemia o bassissima pressione arteriosa⁵⁷. Per questo motivo, è raccomandato valutare non solo la comprimibilità dell'arteria, ma anche la sua pulsatilità⁵⁷.

Infine, ci sono evidenze che la POCUS-CAC abbia previsto il ROSC in corso di compressioni toraciche: la carotide smetteva di collassare sotto la sonda mentre la vena continuava a collassare, e il ROSC veniva confermato al controllo successivo⁵⁷. Questi elementi suggeriscono che la POCUS-CAC potrebbe permettere decisioni terapeutiche più rapide durante la RCP, sebbene restino aperte numerose domande riguardo l'accuratezza e l'applicabilità su larga scala⁵⁰.



Figura 20. Valutazione del ROSC mediante POCUS-CAC in un paziente in arresto cardiaco. A: Aspetto ecografico prima della compressione della carotide con la sonda: si apprezzano il muscolo sternocleidomastoideo (SCM), la vena giugulare interna (IJV) e l'arteria carotide (CA) pervie. B: Aspetto ecografico durante la compressione con la sonda in corso di arresto cardiaco: si nota che sia IJV sia CA appaiono collassate C: Aspetto ecografico durante la compressione con la sonda in presenza di ROSC: si nota che solo IJV è collassata, mentre CA rimane pervia. Kang et al, Resuscitation, 2022-06.

Una metodica più complessa è l'utilizzo dell'ecografia Doppler arteriosa. Essa consiste nell'attivazione della funzione ecocolordoppler pulsata, una volta identificata l'arteria femorale, con l'indicatore posizionato al centro dell'arteria in sezione trasversale, in modo tale da visualizzare il tracciato arterioso e misurare il picco dell'onda meglio campionata, ovvero la velocità sistolica di picco (PSV)⁵⁴. Il Doppler arterioso ha mostrato, in numerosi studi, un'elevata accuratezza nel rilevare il flusso pulsatile durante l'arresto cardiaco; in particolare, l'assenza di segnale Doppler identifica con elevata

specificità i pazienti senza polso, indicando potenzialmente la necessità di proseguire la RCP o considerare l'interruzione della rianimazione⁵⁴. Tuttavia, il semplice rilevamento di un'onda Doppler può essere troppo sensibile, poiché può portare a individuare anche flussi molto deboli, quando la pressione ematica è ancora inadeguata per il rilevamento manuale del polso, inducendo a interrompere prematuramente le compressioni toraciche quando, invece, risulterebbero efficaci⁵⁴.

Ragion per cui Cohen et al. (2022) hanno valutato la PSV al Doppler confrontandola con la PAS femorale, e hanno così messo in evidenza una forte correlazione tra le due: una $PSV \geq 20$ cm/s identificava in modo più accurato una $PAS \geq 60$ mmHg rispetto alla palpazione manuale, con sensibilità e specificità significativamente superiori⁵⁴. In tale lavoro, l'ecocolordoppler pulsato ha permesso di distinguere 3 stati emodinamici, "no doppler flow" ($PVS = 0$ cm/s), "low doppler flow" ($PVS > 0$ e < 20 cm/s) e "high doppler flow" ($PVS \geq 20$ cm/s), correlati in maniera molto forte a delle categorie pressorie, rispettivamente "no pulse" ($PAS = 0$ mmHg), "inadequate pulse" ($PAS > 0$ e < 60 mmHg), "adequate pulse" ($PAS \geq 60$ mmHg)⁵⁴.

La correlazione tra PAS e PSV all'ecografia Doppler è stata poi valutata rispetto alla correlazione tra PAS e livello di $ETCO_2$ ⁵⁸. L' $ETCO_2$ è la pressione parziale di anidride carbonica misurata al termine dell'espiazione, si tratta di un parametro che riflette la perfusione tissutale, la gittata cardiaca, il flusso ematico polmonare e la ventilazione¹⁵. Per questo motivo, le più recenti linee guida ne riconoscono le numerose applicazioni durante la RCP¹⁵:

- Valutazione del corretto posizionamento del tubo tracheale.
- Monitoraggio della qualità della RCP: è noto che i valori di $ETCO_2$ siano proporzionali alla profondità delle compressioni toraciche e consentano di misurare la frequenza ventilatoria, aiutando i soccorritori a evitare ipo/iperventilazione.
- Identificazione del ROSC: valori di $ETCO_2 > 20-25$ mmHg e incrementi maggiori di 10-20 mmHg sono stati associati al ROSC⁵⁸, anche se non è stato identificato un incremento specifico e costante che possa essere utilizzato come criterio diagnostico certo. La capnografia durante la rianimazione potrebbe quindi aiutare

a evitare compressioni toraciche non necessarie o la somministrazione potenzialmente dannosa di adrenalina in un paziente che ha già ottenuto il ROSC.

- Prognosi della RCP: valori più bassi di ETCO_2 durante la RCP sono associati a una minore probabilità di ritorno del ROSC, anche se non possono essere utilizzati isolatamente per prevedere con certezza il ROSC o la sopravvivenza.

Nonostante queste molteplici potenzialità, esistono molti fattori che possono limitare l'accuratezza di tale parametro durante l'arresto cardiaco, come la ventilazione, l'aspirazione, lo stesso flusso ematico polmonare, la temperatura corporea, patologie polmonari, la durata totale dell'arresto cardiaco e farmaci come adrenalina e bicarbonato⁵⁸.

Un recente studio, infatti, ha messo in evidenza che la PSV misurata con ecografia Doppler durante il Pulse Check è maggiormente correlata con la PAS rispetto all' ETCO_2 ⁵⁸. In particolare, una $\text{PSV} \geq 20$ cm/sec si è dimostrata più accurata rispetto alle soglie di ETCO_2 di 20-25 mmHg nell'identificare un ROSC associato a $\text{PAS} \geq 60$ mmHg⁵⁸. L'accuratezza dell' ETCO_2 nel rilevare il ROSC è risultata modesta (58-59%), suggerendo che circa il 41% dei pazienti con $\text{PAS} \geq 60$ mmHg potrebbe non essere riconosciuto come in ROSC basandosi esclusivamente sulla capnografia⁵⁸.

Inoltre, tra i pazienti con discrepanza tra ETCO_2 e PAS, il 40% presentava patologie respiratorie sottostanti, come BPCO, asma, polmonite, ARDS, edema polmonare, ipertensione polmonare, neoplasia polmonare; in molti di questi casi, nonostante ETCO_2 fosse inferiore a 20 mmHg, la PSV risultava superiore a 20 cm/sec, confermando una perfusione adeguata⁵⁸.

1.4 ARRESTO CARDIACO IN PRONTO SOCCORSO

Dal 2023, presso il Pronto Soccorso (PS) dell’Arcispedale Santa Maria Nuova di Reggio Emilia (ASMN), è stato sviluppato un protocollo per la gestione dell’arresto cardiocircolatorio (ACC). Sebbene non sia ancora stato formalizzato come istruzione operativa, il protocollo è ampiamente adottato dal personale medico. Nella proposta, l’equipe che gestisce l’arresto cardiaco è composta da 9 figure, coordinate e armonizzate dal Medico d’Emergenza-Urgenza, ovvero il team leader. Tali figure sono: compressors (1 e 2), rescue breather o airway manager, airway assistant, monitor/defibrillator operator, sonographer, IV and drugs, timekeeper e team leader. Il sonographer, colui che è dedicato all’esecuzione della POCUS durante le manovre rianimatorie, è incaricato di acquisire la finestra cardiaca sottocostale senza interrompere le compressioni toraciche, seguendo i seguenti passaggi:

1. identificazione della finestra ecografica prima della pausa per il controllo del ritmo;
2. chiedere ai compressors di sospendere il massaggio cardiaco, solo dopo aver posizionato la sonda ecografica e aver ottimizzato la qualità delle immagini;
3. registrazione di un videoclip di 10 secondi, contando alla rovescia ad alta voce;
4. revisione delle immagini durante il successivo ciclo di compressioni insieme al team leader.

Le finestre polmonari vengono valutate contestualmente alle ventilazioni, senza interferire con il massaggio cardiaco esterno. Per quanto riguarda il Pulse Check ecografico, attualmente non è presente un protocollo aziendale né un’istruzione operativa specifica; il suo utilizzo è quindi a discrezione dei singoli operatori.

Si può notare come in questo modello operativo si integrino elementi derivati sia dal protocollo FEER sia dal CASA exam, includendo la possibilità di utilizzare l’eFAST durante la gestione del paziente.

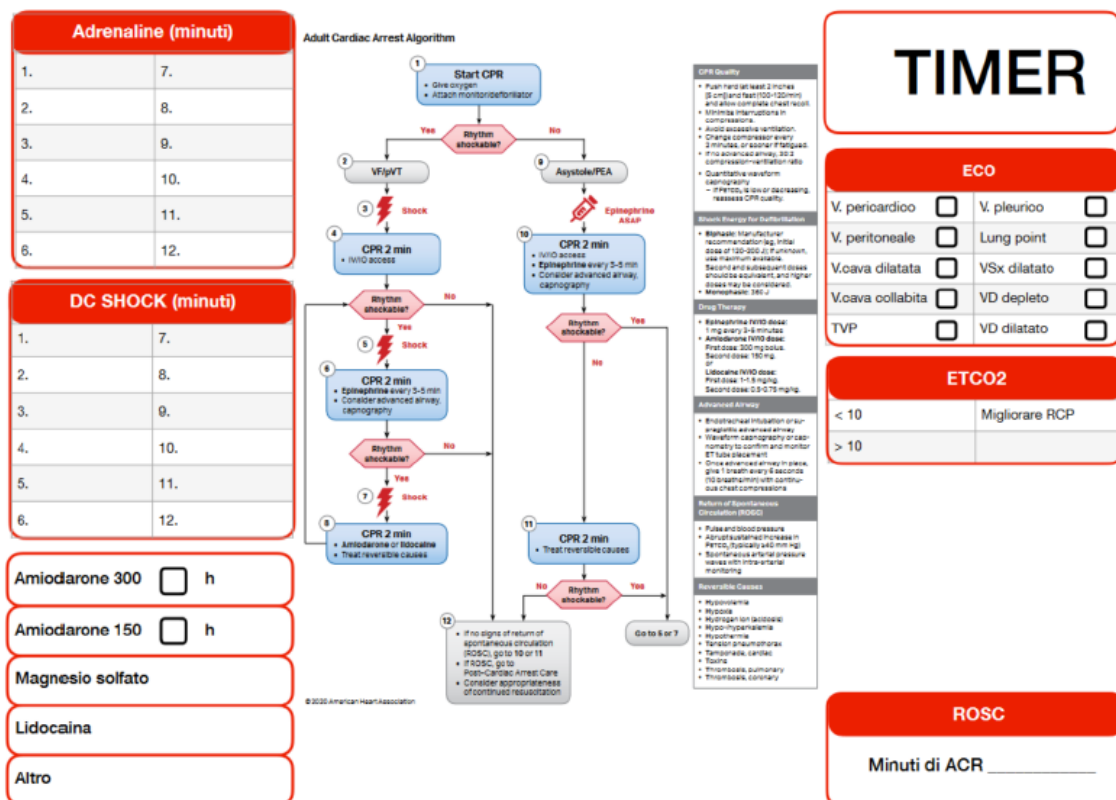


Figura 21. Protocollo gestionale dell'arresto cardiocircolatorio Presso il Pronto Soccorso dell'ASMN di Reggio Emilia.

2 OBIETTIVI DELLO STUDIO

Lo scopo principale dello studio è analizzare l'attuale impiego della POCUS nella gestione dei pazienti che accedono al Pronto Soccorso dell'ASMN di Reggio Emilia in arresto cardiaco o che lo sviluppano durante la permanenza in reparto, con particolare attenzione al ruolo della POCUS nell'identificazione delle cause reversibili e al conseguente impatto prognostico.

Gli obiettivi secondari sono:

- Analizzare l'impatto dell'utilizzo della POCUS sull'outcome della rianimazione cardiopolmonare, inteso come ottenimento del ROSC.
- Identificare, attraverso l'utilizzo della POCUS, l'incidenza di:
 - PREM e PRES.
 - Cause reversibili dell'ACC.
 - ROSC non riconosciuto tramite controllo manuale del polso centrale.
- Verificare il tasso di utilizzo della POCUS per:
 - Eseguire il controllo ecografico della presenza di polso centrale.
 - Valutare quando sospendere o proseguire la RCP.

3 MATERIALI E METODI

Il tipo di studio effettuato ha carattere retrospettivo, osservazionale, monocentrico e descrittivo. Il centro è rappresentato dal Dipartimento di Emergenza-Urgenza dell'Azienda USL di Reggio Emilia, in particolare dalla Struttura di Pronto Soccorso. Il periodo di studio è compreso tra Settembre 2022 e Settembre 2025.

Sono stati presi in esame tutti i pazienti dimessi dal PS dell'ASMN con diagnosi di ACC o con ROSC. Sono stati inclusi nello studio pazienti con età maggiore di 18 anni vittime di arresto cardiaco, secondario a qualsiasi causa, gestiti attivamente con protocolli di rianimazione nel PS. Sono stati inclusi, quindi, sia i pazienti con ACC avvenuto dentro i locali del PS (IHCA), sia quelli avvenuti all'esterno ma giunti con protocolli di rianimazione in corso e proseguiti in PS (OHCA). I criteri di esclusione sono stati:

- 1) età minore di 18 anni;
- 2) pazienti non sottoposti a RCP per età avanzata e/o gravi comorbidità;
- 3) pazienti vittima di arresto cardiaco secondario a patologia evolutiva non passibile di trattamento.

Lo studio, denominato "CURE (Cardiac arrest Ultrasound Rapid Evaluation) - L'utilizzo dell'ecografia point-of-care (PoCUS) nella gestione del paziente in arresto cardiaco nel setting di Pronto Soccorso", ha ottenuto l'approvazione del Comitato Etico pertinente, AVEN (riferimento: 528/2025/OSS/AUSLRECURE).

3.1 RACCOLTA DATI

I dati sono stati estrapolati dalle cartelle cliniche dei software del PS dell'ASMN (Aurora e First Aid) e dalle schede di intervento dell'emergenza territoriale. Sono stati presi in esame i pazienti dimessi con codice ICD-9 che descriveva lo stato di arresto: Arresto Cardio-Circolatorio (ACC), Arresto Cardio-Respiratorio (ACR), Shock Cardiogeno, Insufficienza Cardiaca Acuta, "Disturbi del Ritmo Cardiaco - Arresto Cardiaco".

Sono stati registrati dati inerenti all'anamnesi patologica remota, patologica prossima e farmacologica, anche servendosi del fascicolo personale di ogni paziente (Datawarehouse-DWH). Nello specifico, sono stati registrati i dati riguardo la dinamica

iniziale dell'evento, interventi e terapie farmacologiche somministrate sia nella eventuale fase pre-ospedaliera, quando presente, sia nella fase intraospedaliera oggetto di studio, con particolare attenzione all'utilizzo dell'ecografia nelle diverse fasi del protocollo di gestione dell'ACC da parte dell'equipe del PS.

3.2 ANALISI STATISTICA

Le variabili categoriche sono state descritte come frequenze assolute e percentuali, mentre le variabili continue sono state descritte come media e deviazione standard oppure come mediana e intervallo interquartile, in base alla loro distribuzione (Test di Shapiro-Wilk). Per il confronto tra variabili categoriche (utilizzo della POCUS in relazione all'ottenimento del ROSC), è stato utilizzato il Test del Chi-Quadro (χ^2) di Pearson. Lo studio è stato poi completato eseguendo una valutazione completa delle principali variabili con potenziale impatto sull'outcome della rianimazione (ottenimento del ROSC). Per le variabili continue (età, Low Flow) il test utilizzato è la U di Mann-Whitney, per le variabili binarie (sesso, comorbidità, ritmo iniziale, utilizzo dell'ecografia) il test utilizzato è il Chi-Quadro o il Test Esatto di Fisher (per i numeri molto piccoli). Una volta individuata la variabile maggiormente influente, ne è stata disegnata la curva ROC con relativa AUC, infine ne è stato individuato il cut-off clinico mediante il calcolo dell'Indice di Youden.

Successivamente è stata condotta una regressione logistica binaria prendendo le principali variabili suggerite dal modello di Utstein per lo studio degli arresti cardiaci, includendo come variabili indipendenti i principali fattori confondenti (età, sesso, ritmo iniziale, luogo dell'arresto, durata della RCP, dati anamnestici).

I risultati sono stati riportati come Odds Ratio (OR) con intervalli di confidenza al 95% (IC 95%). Un valore di $p < 0,05$ viene considerato statisticamente significativo.

I dati raccolti sono stati analizzati utilizzando il software statistico SPSS v.24 e servendosi anche dell'ausilio dell'AI.

4 RISULTATI

4.1 POPOLAZIONE, RITMI D'ESORDIO ED EZIOLOGIE

Da Settembre 2022 a Settembre 2025 sono stati dimessi 594 casi di ACC. Di questi, 487 sono stati esclusi perché non sottoposti a RCP per età avanzata e/o gravi comorbidità, o perché vittima di arresto cardiaco secondario a patologia evolutiva non passibile di trattamento. Sono stati esclusi, inoltre, 2 pazienti per età < 18 anni e 24 pazienti con OHCA su cui non sono stati proseguiti i protocolli di rianimazione nei locali del PS. In definitiva, sono stati inclusi nello studio 81 pazienti.

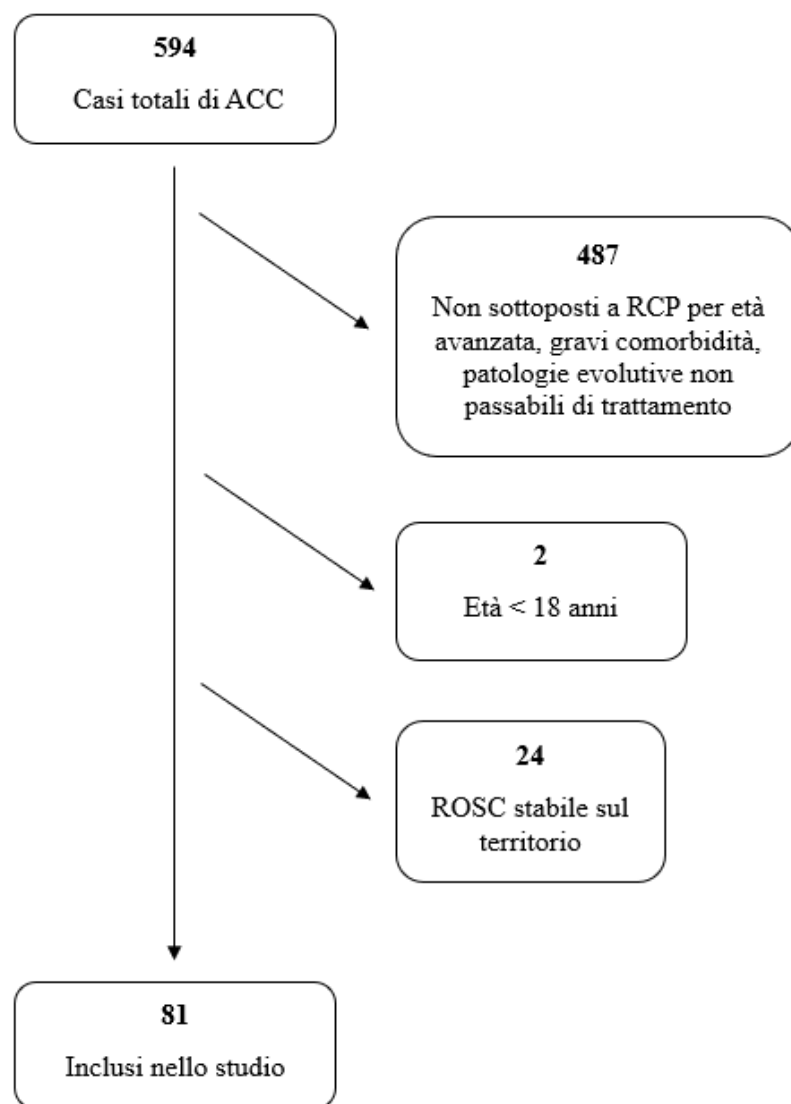


Figura 22. Selezione dei pazienti.

Nella popolazione presa in esame, gli OHCA sono stati il 35,8% (N=29), mentre gli IHCA il 64,2% (N=52). Il tasso complessivo di ROSC, frutto delle manovre rianimatorie, è stato del 30,9%, (N=25); nello specifico, il ROSC è stato ottenuto in 7 pazienti del gruppo OHCA (24,1%) e in 18 pazienti del gruppo IHCA (34,6%). In 9 casi di OHCA (11,1%) è stato ottenuto il ROSC sul territorio, ma si è verificato un ulteriore ACC all'interno dei locali del PS con conseguente gestione attiva; i restanti casi di OHCA (N=20) sono giunti in PS con il massaggio cardiaco esterno in corso senza aver mai ottenuto ROSC sul territorio. Il Test Esatto di Fisher ha evidenziato che la differenza osservata nei tassi di ROSC tra OHCA e IHCA non raggiunge la significatività statistica ($p = 0,43$).

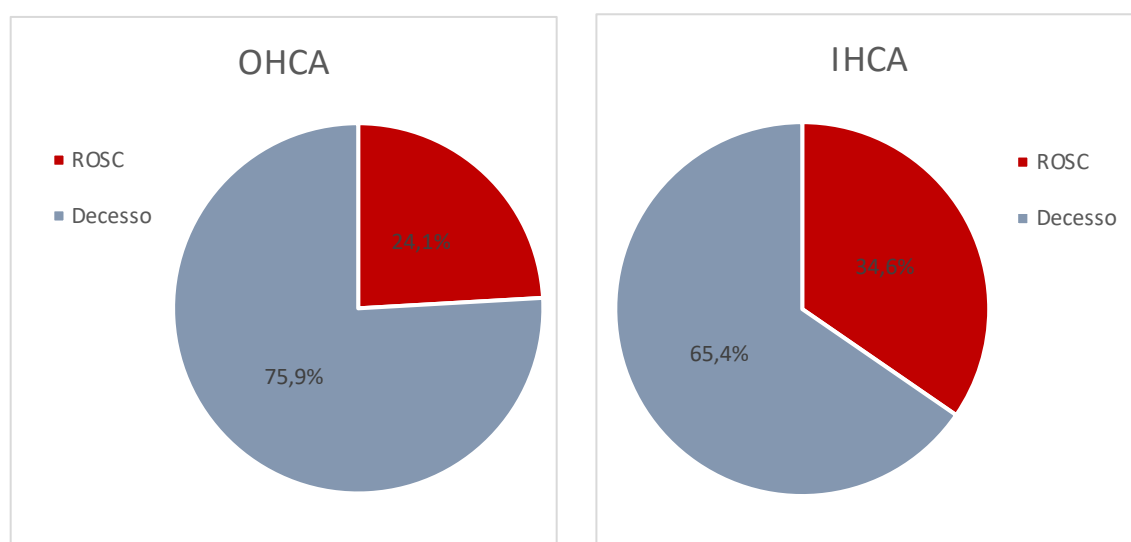


Figura 23. Tasso di ROSC negli OHCA e negli IHCA.

Il tempo di Low Flow presenta una distribuzione non normale, con una mediana di 16,0 minuti (IQR 4,0 - 28,5) e una media di $19,9 \pm 20,2$ minuti. Anche in tal caso, esiste una differenza non statisticamente significativa nel tempo di Low Flow tra IHCA e OHCA ($p=0,21$): i pazienti con OHCA hanno mostrato un tempo medio di Low Flow pari a $32,5 \pm 18,7$ minuti e una mediana di 33,5 minuti (IQR 28 - 50,75), mentre nei pazienti con IHCA il tempo medio di Low Flow è risultato di $16,1 \pm 16,3$ minuti e la mediana di 14 minuti (IQR 4,5 - 20).

Riguardo ai ritmi d'esordio, si evince che quelli non defibrillabili siano la maggioranza (PEA 45,7% (N= 37) e asistolia 14,8% (N=12)), mentre FV e TV complessivamente rappresentano il 18,5% dei casi (rispettivamente 13,6% (N=11) e 4,9% (N=4)). Si segnala

che in 17 casi il ritmo d'esordio non è stato indicato nelle cartelle cliniche compilate dagli operatori, per cui non risulta noto.

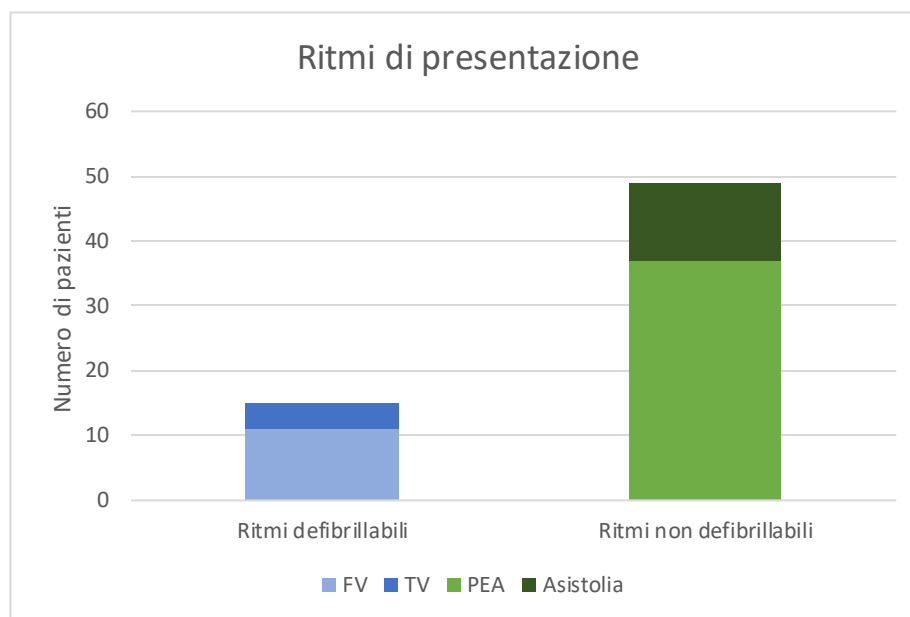


Figura 24. Ritmi di presentazione distribuiti per prevalenza.

Le eziologie più frequentemente riscontrate o sospettate, sulla base della compilazione delle cartelle cliniche, sono state: ipossia (21,0%), ipovolemia (19,8%), aritmie (14,8%) e sindrome coronarica acuta (6,2%).

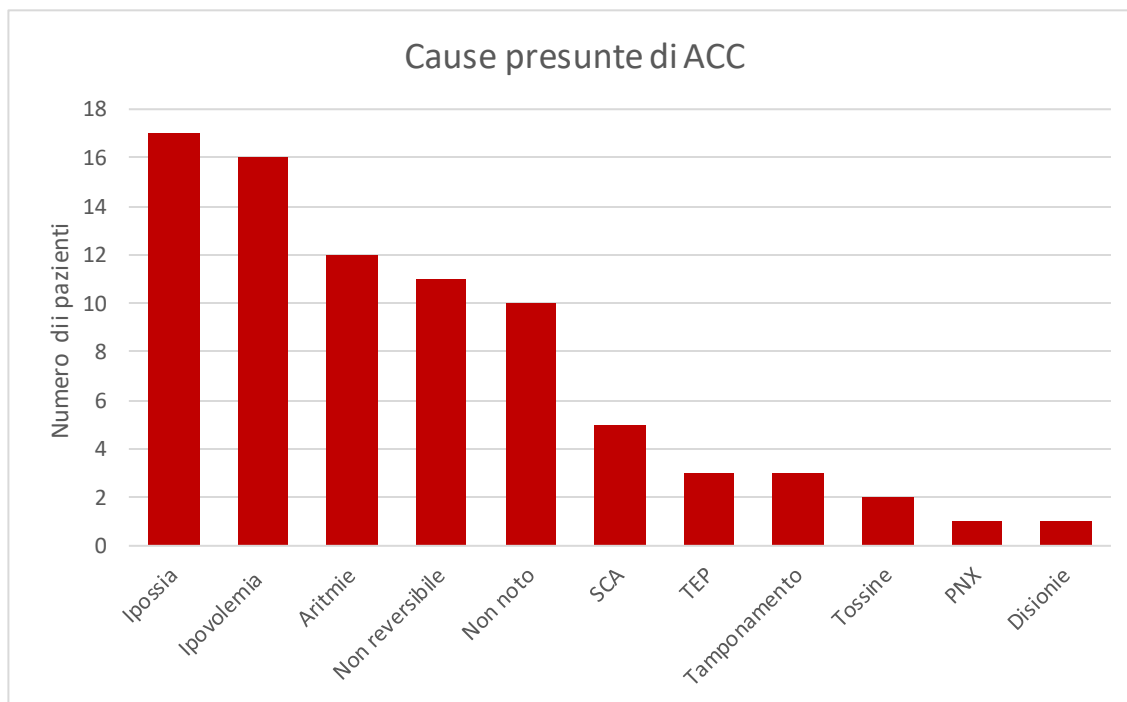


Figura 25. Cause presunte di ACC distribuite per prevalenza.

4.2 DATI ANAMNESTICI

La popolazione compresa nello studio presenta un'età media di $74,4 \pm 13,9$ anni, con prevalenza del sesso maschile (56,8%, N=46); le femmine sono 35 (43,2%).

Per quanto riguarda le comorbidità, le patologie cardiovascolari e metaboliche sono quelle con la maggior prevalenza: l'ipertensione è presente circa nel 60% dei casi, il diabete nel 21% e l'insufficienza renale cronica approssimativamente nel 16%. Non è trascurabile, inoltre, la quota di pazienti con fragilità di base: il 17,3% presenta demenza e il 13,6% è affetto da patologie oncologiche.

Patologia	N°	%
Ipertensione	48	59,3
Altra cardiopatia (es. Scompenso, Valvulopatie, etc.)	20	24,7
Coronaropatia (Cardiopatia ischemica pregressa)	18	22,2
Diabete Mellito	17	21,0
Demenza / Decadimento cognitivo	14	17,3
Insufficienza renale cronica	13	16
Neoplasia	11	13,6
BPCO	10	12,3
Altre patologie respiratorie (es. Insufficienza respiratoria cronica)	6	7,4
Stroke pregresso	6	7,4
Obesità	5	6,2
OSAS	3	3,7
Asma	1	1,2

4.3 UTILIZZO DELLA POCUS

L'analisi dell'utilizzo dell'ecografia si è concentrata su due aspetti fondamentali:

1. La ricerca delle cause reversibili di ACC.
2. Il Pulse Check ecografico.

La POCUS, durante l'arresto cardiaco, è stata impiegata complessivamente in 41 pazienti (50,6%); nello specifico, la ricerca delle cause è stata eseguita in 36 casi (44,4%), mentre il POCUS Pulse Check in 10 casi (12,3%).

L'utilizzo è avvenuto principalmente nei locali del PS (34 casi, 92%). Nei 29 casi di OHCA, l'ecografia è stata eseguita sul territorio in 5 occasioni (12,5%) e ripetuta in PS in 2 casi. In un solo paziente è stato effettuato il POCUS Pulse Check senza la ricerca delle cause reversibili di ACC, poiché la rilevazione ecografica del polso ha permesso di interrompere la RCP a favore di trattamenti mirati.

In 26 casi su 36 (72,2%), l'ecografia non ha individuato una causa risolvibile; in tale gruppo di pazienti, l'analisi della cartella clinica di PS ha individuato come probabili cause di ACC principalmente l'ipossia (32%) e aritmie (21,8%). In 10 casi (27,8%), invece, l'ecografia ha permesso di individuare una causa reversibile, e in 8 di questi (80%) è stato intrapreso un trattamento specifico, ad esempio pericardiocentesi, somministrazione endovenosa di fluidi, trombolisi, etc.

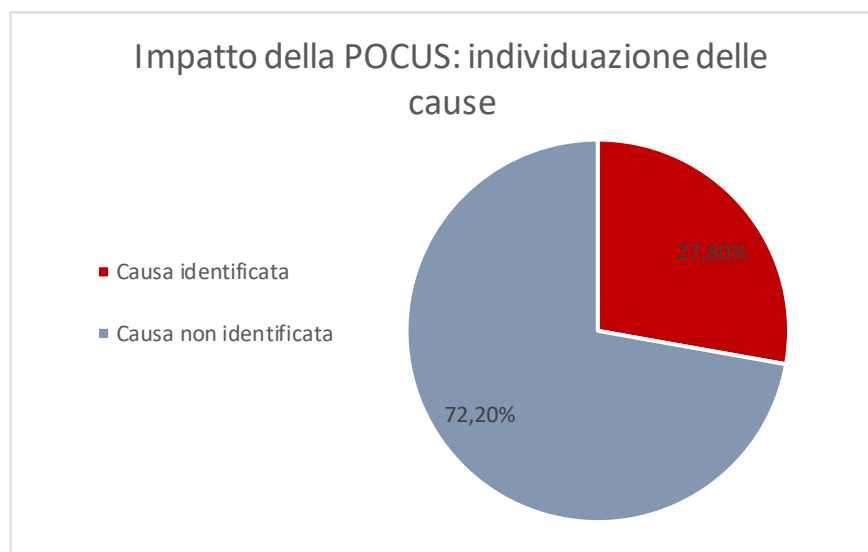


Figura 26. Tasso di individuazione di cause reversibili di ACC mediante utilizzo della POCUS.

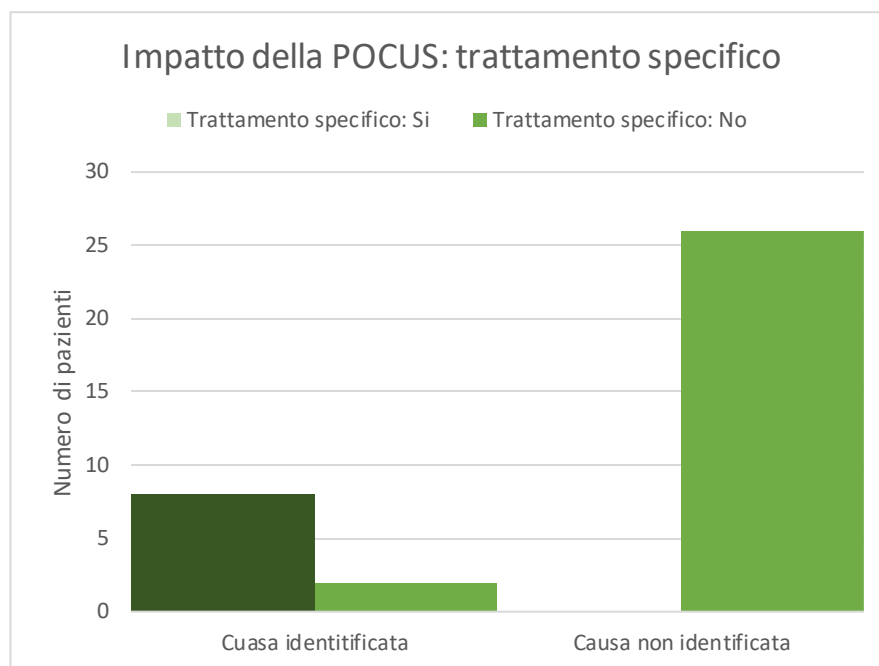


Figura 27. Impatto della POCUS nella decisione di iniziare un trattamento specifico, confrontando i casi in cui è stata identificata una causa reversibile dell'ACC e i casi in cui non è stata identificata.

L'ecografia per il Pulse Check è stata utilizzata complessivamente in 10 pazienti (12,3%), confermando l'assenza di polso in 7 casi. Nei 3 pazienti in cui è stata rilevata ecograficamente la presenza di polso, sono state sospese immediatamente le manovre rianimatorie a favore di trattamenti specifici.

L'efficacia diagnostica della POCUS è stata testata in due modi:

1. valutazione della correlazione tra l'identificazione di una causa reversibile e l'inizio di un trattamento specifico;
2. ricerca di una correlazione statisticamente significativa tra la sola individuazione ecografica della causa e il raggiungimento del ROSC.

Nel primo caso, è stata rilevata una forte associazione statistica ($p < 0,0001$); nel secondo caso, invece, non è stato raggiunto un risultato statisticamente significativo ($p=1,0$), dimostrando che il tasso di ROSC nei pazienti con causa identificata (20%, 2 su 10) non differisce statisticamente da quelli in cui la ricerca della causa è risultata negativa (28%, 7 su 25), secondo il Test Esatto di Fischer (data l'esiguità del campione). Inoltre, in base al Test del Chi Quadro, il tasso di ROSC non presenta differenze statisticamente significative tra chi viene sottoposto a ricerca di cause mediante l'utilizzo della POCUS e chi non ne viene sottoposto ($OR=0,7$, $p=0,435$).

4.4 CORRELAZIONE CON ROSC

Dallo svolgimento di analisi univariate e multivariate volte a cercare quali variabili indipendenti fossero associate alla sopravvivenza immediata, ovvero il raggiungimento del ROSC, il tempo di Low Flow (misura indiretta della durata del massaggio cardiaco esterno) è stato individuato come l'unico predittore indipendente statisticamente significativo ($p=0,001$). I pazienti che hanno ottenuto il ROSC presentavano un tempo di Low Flow significativamente inferiore (media $8,9 \pm 9,2$ minuti) rispetto ai pazienti che non hanno ottenuto il ROSC (media $25,3 \pm 19,9$ minuti); tale differenza, statisticamente significativa, è stata poi confermata dalla U di Mann–Whitney ($p = 0,0003$).

Si può affermare, pertanto, che il tempo di Low Flow abbia una buona capacità discriminante ($AUC > 0,75$) e una forte capacità di predire il ROSC: minore è il tempo, maggiore è la probabilità di successo. L'Odds Ratio per il tempo di Low Flow è risultato pari a 0,921 per minuto (IC 95%: 0,876 - 0,969): ciò significa che per ogni minuto in più di Low Flow, la probabilità di ottenere un ROSC diminuisce approssimativamente dell'8% ($1 - 0,921 = 0,079$). Inoltre, si è cercato di individuare un cut-off temporale per discriminare in modo ottimale tra chi è andato incontro a ROSC e chi no (Indice di Youden 0,52), e tale valore è risultato di 10 minuti (sensibilità 76,0%, specificità 76%): superare il cut-off riduce del 90% ($OR > 0,10$) la probabilità di sopravvivenza, indipendentemente da altre variabili come l'età o il ritmo d'esordio.

Sebbene i pazienti che hanno ottenuto il ROSC tendano ad essere più giovani rispetto a quelli che non hanno ottenuto il ROSC (rispettivamente 71,3 anni e 75,8 anni), la differenza di età tra i due gruppi non è risultata statisticamente significativa né all'analisi univariata ($p=0,098$) né all'analisi multivariata (OR pari a 0,955 per anno, $p=0,058$). I risultati suggeriscono, al più, un possibile ruolo concausale negativo dell'età sulla sopravvivenza. A differenza della variabile precedentemente descritta, l'età ha una capacità discriminante scarsa-moderata ($AUC > 0,60$, ma lontana da valori elevati). Si può concludere che, sebbene i pazienti più giovani abbiano tendenzialmente outcome migliori, l'età da sola non è un predittore sufficientemente accurato per stabilire il raggiungimento del ROSC o meno.

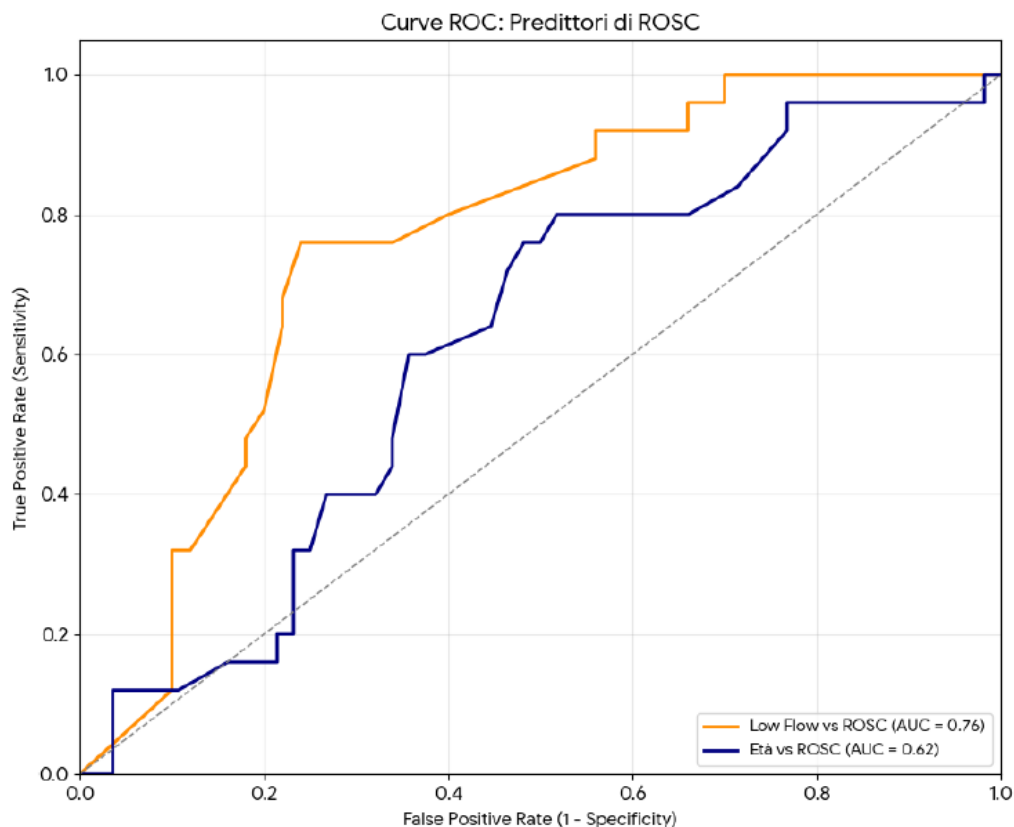


Figura 28. Curva ROC: confronto fra sensibilità e specificità del tempo di Low Flow e dell'età nella predizione del ROSC.

Studiando l'eventuale correlazione tra l'utilizzo della POCUS e il tasso di Low-Flow, è emerso che l'ecografia viene eseguita maggiormente nei casi di rianimazione prolungata, motivo per il quale non permette di ridurre il tempo di Low Flow.

Per evidenziare meglio il ruolo della POCUS nell'identificazione dell'eventuale causa reversibile di ACC, sono state svolte nuovamente le analisi escludendo i pazienti che presentavano un ritmo defibrillabile (FV e TV senza polso) e concentrandosi solo sui 66 casi con PEA, asistolia o ritmo d'esordio non noto, ma comunque diverso da FV o TV senza polso. È emerso, a questo punto, che l'identificazione della causa mediante POCUS, in questo specifico sottogruppo di pazienti, correla significativamente con l'inizio di un trattamento specifico ($p < 0,001$), ma non direttamente con il tasso di ROSC ($p=0,1$), che rimane simile (28,8%, 19 casi su 66). Il tempo di Low Flow si conferma, ancora una volta, come fattore statisticamente correlato alla previsione del ROSC, con un OR pari a 0,920 per minuto ($p=0,0043$) e un tempo medio di Low Flow nel gruppo "ROSC" di 10,1 minuti (mentre nel gruppo "No ROSC" è risultato di 25,2 minuti). Oltre ad esso, però, anche l'età è risultata essere un fattore statisticamente significativo, con

p=0,027: i pazienti che ottengono il ROSC, infatti, sono significativamente più giovani, con un'età media di $71,6 \pm 10,2$ anni, rispetto ai deceduti, che presentano, invece, un'età media di $77,1 \pm 13,7$ anni.

Altre variabili come sesso, comorbidità varie e lo stesso utilizzo della POCUS non hanno mostrato differenze significative nell'analisi univariata o multivariata in alcun gruppo.

Variabile	P-value	OR
Low Flow (minuti)	0,0003	0,92
Asistolia	0,055	0,15
Età	0,098	0,98
Demenza	0,206	0,32
POCUS (ricerca della causa)	0,435	0,60
Neoplasia	0,438	2,08
OHCA	0,467	0,60
Ipertensione	0,520	0,65
Sesso (maschile)	0,527	1,54
TV	0,583	2,35
Obesità	0,642	1,54
Stroke	0,660	0,43
Arresto testimoniato	0,697	0,72
Altra cardiopatia	0,707	0,68
IHCA	0,707	1,46
POCUS Pulse Check	0,711	0,54
FV	0,731	1,33
PEA	0,969	1,14
Causa identificata alla POCUS	1,000	0,64
Diabete	1,000	0,92
IRC	1,000	0,99
Coronaropatia	1,000	1,16
BPCO	1,000	0,95

5 DISCUSSIONE

Dallo studio emerge che l'arresto cardiaco rappresenta una condizione rispetto alla quale il medico d'emergenza-urgenza si confronta con elevata frequenza. I dati raccolti evidenziano, infatti, che nel triennio considerato (Settembre 2022 - Settembre 2025), presso il PS dell'ASMN di Reggio Emilia, sono stati gestiti circa 600 pazienti con arresto cardiaco. Nella maggior parte dei casi (81,9%) non è stata intrapresa la RCP a causa dell'età avanzata, della presenza di gravi comorbidità o di un arresto cardiaco correlato a patologia evolutiva non passabile di trattamento. Escludendo i pazienti in età pediatrica e quelli vittime di OHCA che hanno ottenuto un ROSC stabile sul territorio, sono stati sottoposti a trattamento attivo, complessivamente, 81 casi, corrispondenti a una media di 2,25 pazienti al mese. Non si può escludere che tali dati rappresentino una sottostima del reale numero di arresti cardiaci, poiché l'estrazione dei casi dalle cartelle cliniche si è basata esclusivamente sulla codifica ICD alla dimissione.

La popolazione analizzata presenta una prevalenza maschile (56,8%) e un'età media di $74,4 \pm 13,9$ anni, leggermente superiore a quanto riportato dalle più recenti linee guida ERC sia per quanto concerne gli IHCA sia per quanto riguarda gli OHCA¹.

Circa un terzo dei pazienti è giunto in PS in corso di manovre rianimatorie; in questi casi, tutti riconducibili a OHCA, il tempo di Low Flow è risultato significativamente più elevato rispetto ai casi di IHCA. Pur non raggiungendo la significatività statistica, infatti, la differenza osservata risulta rilevante: 32,5 minuti è il tempo medio di Low Flow per i casi di OHCA, mentre 16,1 minuti è il tempo medio di Low Flow per i casi di IHCA. A supporto di ciò, il tasso di ROSC nei casi di OHCA (24,1%) risulta evidentemente inferiore rispetto ai casi di IHCA (34,6%). Tali dati sono in linea con quelli relativi alla sopravvivenza al momento del ricovero ospedaliero riportati in letteratura per il contesto europeo^{2,19}.

Nel complesso, neanche un terzo dei casi presentava un ritmo iniziale defibrillabile. Analizzando distintamente le sottopopolazioni di OHCA e di IHCA, la frequenza di FV o TV senza polso risulta essere rispettivamente del 20,7% e del 17,3%, dati anch'essi omogenei rispetto alle evidenze epidemiologiche internazionali^{1,2}. I ritmi non defibrillabili, dunque, sono quelli di più frequente riscontro, e quelli in la POCUS

potrebbe affermarsi come strumento determinante nel definire la corretta gestione di tali pazienti e orientare in modo mirato e specifico le scelte terapeutiche.

Le eziologie più frequentemente riscontrate sono state l'ipossia e l'ipovolemia, seguite dalle aritmie e dalle condizioni irreversibili. Più raramente, invece, sono stati identificati casi riconducibili a tamponamento cardiaco, embolia polmonare o pneumotorace iperteso, che complessivamente hanno costituito solo una quota limitata degli eventi osservati.

5.1 POCUS E ARRESTO CARDIACO

Dai dati raccolti e dalle analisi effettuate, emerge che il tasso di utilizzo della POCUS durante l'arresto cardiaco nel setting di Pronto Soccorso dell'ASMN sia del 50,6%. Per quanto riguarda il motivo dell'utilizzo dell'ecografia, lo studio evidenzia come questo sia volto prevalentemente all'identificazione delle cause reversibili di arresto cardiaco. Nello specifico, la ricerca di eziologie reversibili mediante ecografia è stata eseguita in 36 pazienti (44,4%), permettendo di diagnosticare ipovolemia in 5 casi, tamponamento cardiaco in 3 casi ed embolia polmonare in 2 casi. L'esame ecografico è stato altresì impiegato nei pazienti in cui la causa presunta di arresto cardiaco si è successivamente rivelata essere ipossia (N=8), aritmia primaria (N=7) oppure altre condizioni non reversibili (N=3) come, ad esempio, un grave trauma cranico. Tali quadri risultano generalmente identificabili attraverso un esame clinico accurato e l'interpretazione dell'ECG, senza la necessità di ricorrere alla POCUS.

Anche in letteratura scientifica, l'utilizzo dell'ecografia durante l'arresto cardiaco viene proposto principalmente come strumento diagnostico per l'identificazione di cause potenzialmente reversibili come, appunto, ipovolemia severa, pneumotorace iperteso, tamponamento cardiaco ed embolia polmonare^{35,43,46}. Tale supporto, suggeriscono le evidenze, può risultare particolarmente rilevante in presenza di ritmi non defibrillabili, quindi PEA e asistolia, i quali sono tipicamente contrassegnati da una prognosi intrinsecamente peggiore, dal momento che per i ritmi defibrillabili i protocolli internazionali prevedono già azioni specifiche e altamente standardizzate, quali defibrillazione e somministrazione di farmaci antiaritmici⁴⁴.

È importante sottolineare che i dati del presente studio mettono in luce una certa variabilità nei criteri di selezione dei pazienti sottoposti a valutazione ecografica. Durante il periodo di osservazione, infatti, non era ancora in vigore un protocollo standardizzato per l'impiego della POCUS nell'arresto cardiaco e il suo utilizzo era quindi a discrezione del singolo operatore, sulla base delle esperienze personali e del contesto clinico specifico. Si nota che, nella popolazione analizzata, il 28,3% dei casi di arresto cardiaco (N=23) era attribuibile a cause potenzialmente reversibili e identificabili mediante POCUS, verosimilmente suscettibili, quindi, a un trattamento immediato. In particolare, l'ipovolemia figurava tra le condizioni più frequenti (19,8%), mentre una quota più contenuta di pazienti presentava eziologie riconducibili a forme di shock ostruttivo (8,6%). Di questi 23 casi, tuttavia, 11 non sono stati sottoposti a valutazione ecografica durante l'arresto cardiaco. È, pertanto, plausibile ipotizzare che l'adozione condivisa di procedure codificate e standardizzate per l'impiego della POCUS possa favorire una più appropriata identificazione e selezione dei pazienti candidabili a valutazione ecografica, contribuendo sia a ridurre il ricorso a esami non necessari sia a limitare il rischio di mancato riconoscimento di condizioni potenzialmente reversibili e tempestivamente trattabili.

Sebbene in letteratura sia nota da tempo la distinzione tra la vera dissociazione elettromeccanica (PEA propriamente detta o PRES) e quadri caratterizzati da attività elettromeccanica accompagnata da un'ipotensione così profonda da non rendere percepibile alcun polso (pseudo-PEA o PREM), gli attuali algoritmi per la gestione avanzata del paziente in arresto cardiaco proposti dalle linee guida internazionali (ERC, AHA, ILCOR per citarne alcune) non ne fanno menzione e non la riconoscono. Potrebbe risultare, dunque, determinante differenziare queste due forme di PEA attraverso il Pulse Check ecografico, così da poter adottare strategie terapeutiche più appropriate a seconda dei casi.

In base a quanto emerso dal presente studio, la percentuale di utilizzo dell'ecografia per la ricerca del polso risulta essere nettamente inferiore all'utilizzo della stessa per la ricerca delle cause reversibili di arresto cardiaco. Nonostante l'esiguità della popolazione analizzata, però, l'identificazione del polso ecografico ha mostrato un alto impatto nel processo decisionale e nella seguente gestione del paziente, portando perfino a modificare

l'approccio da una rianimazione standard (ALS) a un trattamento mirato per severa instabilità emodinamica o shock.

Infine, è emerso che l'impiego della POCUS durante l'arresto cardiaco sia risultato particolarmente limitato nel contesto pre-ospedaliero, documentato soltanto nel 12,5% dei casi di OHCA. Questa evidenza si spiega per vie delle caratteristiche intrinseche del setting extraospedaliero, tradizionalmente contraddistinto da una minore disponibilità di risorse e da numerose criticità operative che possono condizionare sia l'esecuzione sia l'interpretazione dell'esame ecografico. Tra i principali fattori limitanti si annoverano problematiche di natura logistica e ambientale, quali condizioni di illuminazione non adeguate, spazi operativi ristretti e non ottimali per il corretto posizionamento dell'ecografo, limitata disponibilità di personale non direttamente coinvolto nelle manovre rianimatorie avanzate; sostanzialmente, tutti elementi che possono contribuire a ridurre l'applicabilità della metodica nel contesto dell'emergenza territoriale. Nel contesto europeo, mancano dati precisi riguardanti la diffusione e l'utilizzo dell'ecografia da parte dei SME territoriali.

5.2 ROSC

Da una recente metanalisi (Cheng et al., 2023) emerge che, nel contesto degli OHCA, le variabili maggiormente associate al ROSC sono età, sesso, ritmo iniziale, eziologia dell'arresto (fattori intrinseci), arresto testimoniato, luogo dell'evento, tempistiche di soccorso, durata delle manovre avanzate e terapia farmacologica (fattori estrinseci)⁵⁹. Per quanto riguarda gli IHCA, oltre a età, sesso e ritmo cardiaco iniziale, le altre variabili maggiormente associate al ROSC sono il motivo del ricovero, la durata della degenza e il luogo/reparto dell'arresto⁵⁹.

Nella popolazione oggetto di studio, il tempo di Low Flow si è configurato come l'unico predittore negativo indipendente di ROSC, evidenziando un Odds Ratio pari a 0,92 per ogni minuto aggiuntivo. Non sono emerse ulteriori correlazioni statisticamente significative, nonostante le variabili precedentemente descritte siano state incluse nell'analisi statistica. L'età media dei pazienti che hanno ottenuto il ROSC è risultata inferiore rispetto a quella dei soggetti deceduti (71,3 contro 75,8 anni); tuttavia, tale

differenza ha assunto unicamente valore descrittivo, senza raggiungere la significatività statistica. Anche la ricerca di cause reversibili mediante POCUS non ha evidenziato un'associazione statisticamente significativa con l'ottenimento del ROSC (OR=0,60 e $p=0,435$), così come l'identificazione ecografica di una causa reversibile non è risultata correlata a un miglioramento della sopravvivenza (OR=0,64 e $p=1,0$).

Tale criticità, ovvero il fatto che l'ecografia, elemento fondamentale per identificare la causa e orientare verso un trattamento mirato, non si è dimostrata essere sufficiente, da sola, a modificare statisticamente l'esito finale (raggiungimento del ROSC) rispetto alla gestione standard, potrebbe risiedere nel fatto che la reversibilità della causa dipenda, il più delle volte, dalla severità del quadro clinico sottostante, ed è verosimile che i pazienti che necessitano degli specifici interventi suggeriti dalla valutazione ecografica partano, in realtà, da una condizione di maggior gravità clinica, tale da rendere difficile il recupero del circolo nonostante la terapia corretta. Inoltre, non in tutti i casi l'identificazione di una causa potenzialmente reversibile grazie alla POCUS si è tradotta nell'attuazione immediata di una terapia mirata: in due episodi, infatti, non risulta documentata la somministrazione di alcun trattamento specifico. In un caso di arresto cardiaco sostenuto da grave ipovolemia, non si può escludere che la terapia infusionale con cristalloidi sia stata effettivamente somministrata, ma non adeguatamente riportata nella documentazione clinica. Nel secondo caso, la POCUS ha evidenziato un tamponamento cardiaco, presumibilmente secondario a rottura aortica, per il quale non è stata eseguita pericardiocentesi. Non è stato possibile ricostruire le motivazioni di tale astensione terapeutica, che potrebbe essere attribuibile a diversi fattori tra cui la valutazione della futilità del trattamento o una prognosi neurologica ritenuta infausta, dettata da tempi di rianimazione prolungati.

L'analisi dell'eventuale correlazione tra l'impiego dell'ecografia e la riduzione del tempo di Low Flow ha evidenziato, poi, come l'esame ecografico venga prevalentemente eseguito nei casi di rianimazione prolungata, non associandosi, pertanto, a una riduzione significativa della durata del Low Flow. Tale assenza di correlazione potrebbe essere attribuita alla mancanza di una precisa collocazione della POCUS all'interno dell'algoritmo ALS, come dimostra il fatto che questa venga frequentemente effettuata nelle fasi avanzate della rianimazione, spesso eccedendo il cut-off dei 10 minuti oltre il quale le probabilità di sopravvivenza si riducono drasticamente.

Le analisi sono state successivamente ripetute escludendo i pazienti con ritmo iniziale defibrillabile, al fine di selezionare potenzialmente una popolazione con una maggior indicazione all'impiego dell'indagine ecografica. In tale sottogruppo, il tempo di Low Flow si è confermato predittore negativo indipendente di ROSC e, in più, i pazienti che lo hanno ottenuto presentavano un'età significativamente inferiore ($71,6 \pm 10,2$ anni) rispetto ai soggetti deceduti ($77,1 \pm 13,7$ anni). Anche in questa analisi, tuttavia, non sono emerse correlazioni statisticamente significative tra l'utilizzo della POCUS e il raggiungimento del ROSC, né in relazione alla ricerca di cause reversibili né nei casi in cui l'esame ecografico ha guidato un trattamento attivo.

5.3 LIMITI DELLO STUDIO

Lo studio presenta alcuni limiti che devono essere considerati nell'interpretazione dei risultati. Non è possibile escludere che i dati raccolti siano una sottostima del numero reale di arresti cardiaci, poiché l'estrazione dei casi dalle cartelle cliniche si è basata esclusivamente sulla codifica ICD alla dimissione. Un ulteriore limite rilevante è rappresentato dalla compilazione disomogenea della documentazione clinica: la qualità e la completezza delle cartelle sono piuttosto variabili, talvolta con mancanza o incompletezza dei dati, in particolar modo per quanto riguarda i dettagli sull'esecuzione della POCUS, le finestre esplorate e l'interpretazione dei reperti. Ciò può ridurre l'accuratezza della valutazione dell'utilizzo dell'ecografia e degli esiti prognostici.

La natura retrospettiva del disegno di studio, inoltre, non consente di stabilire relazioni causali tra l'utilizzo della POCUS durante l'arresto cardiaco e gli outcome clinici osservati. In particolare, non è possibile determinare con certezza il reale impatto prognostico dell'identificazione ecografica di una causa reversibile sul raggiungimento del ROSC, così come non è possibile distinguere l'effetto dell'ecografia in sé da quello delle decisioni cliniche conseguenti o già messe in atto al momento della sua esecuzione.

L'eterogeneità con cui è stata effettuata l'ecografia in assenza di un protocollo standardizzato introduce anche un potenziale bias di indicazione, in quanto è possibile che la POCUS sia stata utilizzata più frequentemente in pazienti con caratteristiche cliniche specifiche o in cui vi fosse un maggiore sospetto pre-test di causa reversibile.

Tale variabilità limita la possibilità di confrontare in modo uniforme i pazienti sottoposti e non sottoposti a POCUS, rendendo complessa l'interpretazione dell'associazione tra utilizzo dell'ecografia, interventi terapeutici mirati e outcome clinici. Inoltre, l'assenza di una standardizzazione temporale nell'esecuzione della POCUS rispetto ai cicli di rianimazione potrebbe aver influenzato sia la qualità delle immagini sia l'impatto sulle manovre rianimatorie. È possibile, infatti, che in alcuni casi l'ecografia sia stata eseguita tardivamente, soprattutto in presenza di scarsa risposta alle manovre rianimatorie, determinando un potenziale ritardo nell'avvio di trattamenti mirati.

Infine, l'analisi degli outcome si è focalizzata sul ROSC immediato, che non consente di trarre conclusioni sulla sopravvivenza a lungo termine o sull'outcome neurologico.

Nonostante questi limiti, il presente studio offre una reale rappresentazione di ciò che si svolge nella pratica clinica, relativamente all'impiego della POCUS nella gestione dell'arresto cardiaco in Pronto Soccorso. I risultati ottenuti sottolineano l'importanza di un utilizzo più puntuale e consapevole dell'ecografia, preferibilmente integrato all'interno di protocolli standardizzati e condivisi, e potrebbero altresì costituire uno stimolo per lo sviluppo di futuri studi prospettici sull'argomento.

6 CONCLUSIONI

Questo studio evidenzia come la POCUS rappresenti uno strumento diffuso e integrato nella gestione dell'arresto cardiaco in Pronto Soccorso, sebbene il suo impiego risulti ancora privo di una reale standardizzazione temporale e operativa. L'ecografia si è dimostrata utile nell'identificazione di cause potenzialmente reversibili e, in casi selezionati, il Pulse Check ecografico ha consentito il riconoscimento precoce di ROSC instabile, contribuendo a orientare il processo decisionale verso approcci terapeutici più mirati, piuttosto che nella direzione della prosecuzione delle manovre rianimatorie standard.

Tuttavia, nel campione analizzato, tali potenzialità diagnostiche non si sono associate a un miglioramento significativo degli outcome immediati, mentre il tempo di Low Flow si è confermato il principale fattore prognostico negativo, coerentemente con i dati riportati in letteratura. L'interpretazione dei risultati deve inoltre tenere conto delle limitazioni metodologiche dello studio, che non consentono di definire con precisione e certezza l'effettivo impatto prognostico della POCUS nel contesto dell'arresto cardiaco.

Alla luce di tali considerazioni, l'auspicio per il futuro è lo sviluppo di studi prospettici, condotti nei dipartimenti di emergenza-urgenza, che siano basati su un'integrazione strutturata dell'ecografia nei protocolli di gestione avanzata dell'arresto cardiaco. La definizione di criteri condivisi per il corretto utilizzo e per i corretti tempi di esecuzione della POCUS, non solo nella ricerca delle cause reversibili, ma anche nel Pulse Check, potrebbe permettere di chiarire con maggior accuratezza il suo potenziale contributo nella distinzione di PREM e PRES, nel riconoscimento precoce del ROSC e nel miglioramento degli outcome clinici.

7 BIBLIOGRAFIA

1. Baldi E, Wnent J, Caputo ML, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2025 Epidemiology in Resuscitation. *Resuscitation*. 2025;215:110733. doi:10.1016/j.resuscitation.2025.110733
2. Andersen LW, Holmberg MJ, Berg KM, Donnino MW, Granfeldt A. In-Hospital Cardiac Arrest. *JAMA*. 2019;321(12):1200-1210. doi:10.1001/jama.2019.1696
3. Recommended guidelines for uniform reporting of data from out-of-hospital cardiac arrest: the Utstein Style. A statement for health professionals from a task force of the American Heart Association, the European Resuscitation Council, the Heart and Stroke Foundation of Canada, and the Australian Resuscitation Council. doi:10.1161/01.CIR.84.2.960
4. Chen N, Callaway CW, Guyette FX, et al. Arrest etiology among patients resuscitated from cardiac arrest. *Resuscitation*. 2018;130:33-40. doi:10.1016/j.resuscitation.2018.06.024
5. Allencherril J, Lee PYK, Khan K, Loya A, Pally A. Etiologies of In-hospital cardiac arrest: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2022;175:88-95. doi:10.1016/j.resuscitation.2022.03.005
6. Myat A, Song KJ, Rea T. Out-of-hospital cardiac arrest: current concepts. *The Lancet*. 2018;391(10124):970-979. doi:10.1016/S0140-6736(18)30472-0
7. Gräsner JT, Wnent J, Herlitz J, et al. Survival after out-of-hospital cardiac arrest in Europe - Results of the EuReCa TWO study. *Resuscitation*. 2020;148:218-226. doi:10.1016/j.resuscitation.2019.12.042
8. Lott C, Karageorgos V, Abelairas-Gomez C, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2025 Special Circumstances in Resuscitation. *Resuscitation*. 2025;215:110753. doi:10.1016/j.resuscitation.2025.110753
9. Djärv T, Kloeck W. Reversible causes: After three decades with 4H4Ts, might we be ready for the generic ABCDE approach? *Resuscitation*. 2023;193. doi:10.1016/j.resuscitation.2023.110019
10. Kloeck WGJ. A practical approach to the aetiology of pulseless electrical activity. A simple 10-step training mnemonic. *Resuscitation*. 1995;30(2):157-159. doi:10.1016/0300-9572(95)99840-7
11. Otto Q, Nolan JP, Chamberlain DA, Cummins RO, Soar J. Utstein Style for emergency care - the first 30 years. *Resuscitation*. 2021;163:16-25. doi:10.1016/j.resuscitation.2021.03.022
12. Cardiac Arrest and Cardiopulmonary Resuscitation Outcome Reports: Update of the Utstein Resuscitation Registry Templates for Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *Circulation*. <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0000000000000144>

13. Nolan JP, Berg RA, Andersen LW, et al. Cardiac Arrest and Cardiopulmonary Resuscitation Outcome Reports: Update of the Utstein Resuscitation Registry Template for In-Hospital Cardiac Arrest: A Consensus Report From a Task Force of the International Liaison Committee on Resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council, Australian and New Zealand Council on Resuscitation, Heart and Stroke Foundation of Canada, InterAmerican Heart Foundation, Resuscitation Council of Southern Africa, Resuscitation Council of Asia). *Resuscitation*. 2019;144:166-177. doi:10.1016/j.resuscitation.2019.08.021
14. Greif R, Lauridsen KG, Djärv T, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2025 Executive Summary. *Resuscitation*. 2025;215:110770. doi:10.1016/j.resuscitation.2025.110770
15. Soar J, Böttiger BW, Carli P, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation*. 2021;161:115-151. doi:10.1016/j.resuscitation.2021.02.010
16. Lindau Liljekvist L, Millberg M, Djärv T, Dryver E. [Management of patients in cardiac arrest in the emergency department]. *Lakartidningen*. 2025;122:23160.
17. Semeraro F, Schnaubelt S, Olasveengen TM, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2025 System Saving Lives. *Resuscitation*. 2025;215:110821. doi:10.1016/j.resuscitation.2025.110821
18. Smyth MA, Van Goor S, Hansen CM, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2025 Adult Basic Life Support. *Resuscitation*. 2025;215:110771. doi:10.1016/j.resuscitation.2025.110771
19. Gräsner JT, Wnent J, Lefering R, et al. European registry of cardiac arrest study THREE (EuReCa- THREE) – EMS response time influence on outcome in Europe. *Resuscitation*. 2025;0(0). doi:10.1016/j.resuscitation.2025.110704
20. Henson T, Rawanduzy C, Salazar M, et al. Outcome and prognostication after cardiac arrest. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2022;1508(1):23-34. doi:10.1111/nyas.14699
21. Penketh J, Nolan JP. In-hospital cardiac arrest: the state of the art. *Crit Care*. 2022;26:376. doi:10.1186/s13054-022-04247-y
22. Flickinger KL, Jaramillo S, Repine MJ, et al. One-year outcomes in individual domains of the cerebral performance category extended. *Resuscitation Plus*. 2021;8:100184. doi:10.1016/j.resplu.2021.100184
23. Mehta C, Brady W. Pulseless electrical activity in cardiac arrest: electrocardiographic presentations and management considerations based on the electrocardiogram. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2012;30(1):236-239. doi:10.1016/j.ajem.2010.08.017
24. Pulseless Electric Activity. *Circulation*.
<https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIRCULATIONAHA.113.004490>

25. Wu C, Zheng Z, Jiang L, et al. The predictive value of bedside ultrasound to restore spontaneous circulation in patients with pulseless electrical activity: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018;13(1):e0191636. doi:10.1371/journal.pone.0191636
26. Breitzkreutz R, Price S, Steiger HV, et al. Focused echocardiographic evaluation in life support and peri-resuscitation of emergency patients: A prospective trial. *Resuscitation*. 2010;81(11):1527-1533. doi:10.1016/j.resuscitation.2010.07.013
27. Rabjohns J, Quan T, Boniface K, Pourmand A. Pseudo-pulseless electrical activity in the emergency department, an evidence based approach. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2020;38(2):371-375. doi:10.1016/j.ajem.2019.158503
28. Gaspari R, Weekes A, Adhikari S, et al. A retrospective study of pulseless electrical activity, bedside ultrasound identifies interventions during resuscitation associated with improved survival to hospital admission. A REASON Study. *Resuscitation*. 2017;120:103-107. doi:10.1016/j.resuscitation.2017.09.008
29. Helman A. Ep 131 PEA Arrest, PseudoPEA and PREM – With Simard and Weingart. *Emergency Medicine Cases*. October 22, 2019. <https://emergencymedicinecases.com/pea-arrest-pseudopea-prem/>
30. Flato UAP, Paiva EF, Carballo MT, Buehler AM, Marco R, Timerman A. Echocardiography for prognostication during the resuscitation of intensive care unit patients with non-shockable rhythm cardiac arrest. *Resuscitation*. 2015;92:1-6. doi:10.1016/j.resuscitation.2015.03.024
31. Impact of Modified Treatment in Echocardiographically Confirmed Pseudo-Pulseless Electrical Activity in Out-of-Hospital Cardiac Arrest Patients with Constant End-Tidal Carbon Dioxide Pressure during Compression Pauses. doi:10.1177/147323001003800428
32. Hogan TS. External cardiac compression may be harmful in some scenarios of pulseless electrical activity. *Med Hypotheses*. 2012;79(4):445-447. doi:10.1016/j.mehy.2012.06.018
33. Paradis NA, Halperin HR, Zviman M, Barash D, Quan W, Freeman G. Coronary perfusion pressure during external chest compression in pseudo-EMD, comparison of systolic versus diastolic synchronization. *Resuscitation*. 2012;83(10):1287-1291. doi:10.1016/j.resuscitation.2012.02.016
34. Hashim A, Tahir MJ, Ullah I, Asghar MS, Siddiqi H, Yousaf Z. The utility of point of care ultrasonography (POCUS). *Ann Med Surg (Lond)*. 2021;71:102982. doi:10.1016/j.amsu.2021.102982
35. Magon F, Longhitano Y, Savioli G, et al. Point-of-Care Ultrasound (POCUS) in Adult Cardiac Arrest: Clinical Review. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(4):434. doi:10.3390/diagnostics14040434

36. Breitkreutz R, Walcher F, Seeger FH. Focused echocardiographic evaluation in resuscitation management: Concept of an advanced life support-conformed algorithm. *Critical Care Medicine*. 2007;35(5):S150. doi:10.1097/01.CCM.0000260626.23848.FC
37. Tsou PY, Kurbedin J, Chen YS, et al. Accuracy of point-of-care focused echocardiography in predicting outcome of resuscitation in cardiac arrest patients: A systematic review and meta-analysis. *Resuscitation*. 2017;114:92-99. doi:10.1016/j.resuscitation.2017.02.021
38. Blyth L, Atkinson P, Gadd K, Lang E. Bedside Focused Echocardiography as Predictor of Survival in Cardiac Arrest Patients: A Systematic Review. *Academic Emergency Medicine*. 2012;19(10):1119-1126. doi:10.1111/j.1553-2712.2012.01456.x
39. Reynolds JC, Del Rios M. Point-of-care cardiac ultrasound during cardiac arrest: a reliable tool for termination of resuscitation? *Curr Opin Crit Care*. 2020;26(6):603-611. doi:10.1097/MCC.0000000000000766
40. Reynolds JC, Issa MS, Nicholson TC, et al. Prognostication with point-of-care echocardiography during cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation*. 2020;152:56-68. doi:10.1016/j.resuscitation.2020.05.004
41. Veld MAH in 't, Allison MG, Bostick DS, et al. Ultrasound use during cardiopulmonary resuscitation is associated with delays in chest compressions. *Resuscitation*. 2017;119:95-98. doi:10.1016/j.resuscitation.2017.07.021
42. Point-of-care ultrasound use in patients with cardiac arrest is associated prolonged cardiopulmonary resuscitation pauses: A prospective cohort study - *Resuscitation*. [https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572\(17\)30747-5/abstract](https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572(17)30747-5/abstract)
43. Hernandez C, Shuler K, Hannan H, Sonyika C, Likourezos A, Marshall J. C.A.U.S.E.: Cardiac arrest ultra-sound exam—A better approach to managing patients in primary non-arrhythmogenic cardiac arrest. *Resuscitation*. 2008;76(2):198-206. doi:10.1016/j.resuscitation.2007.06.033
44. Testa A, Cibinel GA, Portale G, et al. The proposal of an integrated ultrasonographic approach into the ALS algorithm for cardiac arrest: the PEA protocol.
45. How can the use of lung ultrasound in cardiac arrest make ultrasound a holistic discipline. The example of the SESAME-protocol. <https://www.medultrason.ro/how-can-the-use-of-lung-ultrasound-in-cardiac-arrest-make-ultrasound-a-holistic-discipline-the-example-of-the-sesame-protocol/>
46. Gardner KF, Clattenburg EJ, Wroe P, Singh A, Mantuani D, Nagdev A. The Cardiac Arrest Sonographic Assessment (CASA) exam – A standardized approach to the use of ultrasound in PEA. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2018;36(4):729-731. doi:10.1016/j.ajem.2017.08.052

47. Milne J, Atkinson P, Lewis D, et al. Sonography in Hypotension and Cardiac Arrest (SHoC): Rates of Abnormal Findings in Undifferentiated Hypotension and During Cardiac Arrest as a Basis for Consensus on a Hierarchical Point of Care Ultrasound Protocol. *Cureus*. Published online April 8, 2016. doi:10.7759/cureus.564
48. Atkinson P, Bowra J, Milne J, et al. International Federation for Emergency Medicine Consensus Statement: Sonography in hypotension and cardiac arrest (SHoC): An international consensus on the use of point of care ultrasound for undifferentiated hypotension and during cardiac arrest. *CJEM*. 2017;19(06):459-470. doi:10.1017/cem.2016.394
49. Atkinson PR, Beckett N, French J, Banerjee A, Fraser J, Lewis D. Does Point-of-care Ultrasound Use Impact Resuscitation Length, Rates of Intervention, and Clinical Outcomes During Cardiac Arrest? A Study from the Sonography in Hypotension and Cardiac Arrest in the Emergency Department (SHoC-ED) Investigators. *Cureus*. 11(4):e4456. doi:10.7759/cureus.4456
50. Rolston DM. Time is running out for manual pulse checks as ultrasound races past. *Resuscitation*. 2022;179:59-60. doi:10.1016/j.resuscitation.2022.07.031
51. Badra K, Coutin A, Simard R, Pinto R, Lee JS, Chenkin J. The POCUS pulse check: A randomized controlled crossover study comparing pulse detection by palpation versus by point-of-care ultrasound. *Resuscitation*. 2019;139:17-23. doi:10.1016/j.resuscitation.2019.03.009
52. Eberle B, Dick WF, Schneider T, Wisser G, Doetsch S, Tzanova I. Checking the carotid pulse check: diagnostic accuracy of first responders in patients with and without a pulse. *Resuscitation*. 1996;33(2):107-116. doi:10.1016/s0300-9572(96)01016-7
53. Comparison of manual pulse palpation, cardiac ultrasonography and Doppler ultrasonography to check the pulse in cardiopulmonary arrest patients - *Resuscitation*. [https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572\(18\)30903-1/fulltext](https://www.resuscitationjournal.com/article/S0300-9572(18)30903-1/fulltext)
54. Cohen AL, Li T, Becker LB, et al. Femoral artery Doppler ultrasound is more accurate than manual palpation for pulse detection in cardiac arrest. *Resuscitation*. 2022;173:156-165. doi:10.1016/j.resuscitation.2022.01.030
55. Sanchez S, Miller M, Asha S. Assessing the validity of two-dimensional carotid ultrasound to detect the presence and absence of a pulse. *Resuscitation*. 2020;157:67-73. doi:10.1016/j.resuscitation.2020.10.002
56. The POCUS Pulse Check: A Case Series on a Novel Method for Determining the Presence of a Pulse Using Point-of-Care Ultrasound - *Journal of Emergency Medicine*. [https://www.jem-journal.com/article/S0736-4679\(19\)30100-3/fulltext](https://www.jem-journal.com/article/S0736-4679(19)30100-3/fulltext)
57. Kang SY, Jo IJ, Lee G, et al. Point-of-care ultrasound compression of the carotid artery for pulse determination in cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*. 2022;179:206-213. doi:10.1016/j.resuscitation.2022.06.025

58. Haddad G, Margius D, Cohen AL, et al. Doppler ultrasound peak systolic velocity versus end tidal carbon dioxide during pulse checks in cardiac arrest. *Resuscitation*. 2023;183. doi:10.1016/j.resuscitation.2023.109695
59. Cheng P, Yang P, Zhang H, Wang H. Prediction Models for Return of Spontaneous Circulation in Patients with Cardiac Arrest: A Systematic Review and Critical Appraisal. *Emerg Med Int*. 2023;2023:6780941. doi:10.1155/2023/6780941

RINGRAZIAMENTI

“Il sapere aiuta, ma da solo è inutile. Se non usi insieme alla testa anche il cuore e l’anima, non aiuterai mai nessuno.” Un ringraziamento a tutte le persone che, lungo il cammino, mi hanno lasciato questo insegnamento, e a chi mia ha accompagnato e sostenuto in questi anni, nei momenti spensierati e in quelli più complicati. Un pensiero a due persone che, pur non essendo qui, mi hanno ispirato con il loro esempio.