

TECHNICAL REPORT

EchoCardioNorm 1.0

*Piattaforma Web per i Valori di Riferimento
Ecocardiografici*



Piattaforma Web	https://echocardionorm.altervista.org/
Tipo di documento	Technical Report – Valutazione della piattaforma e del Servizio
Lingua del report	Italiano
Autori	M. Paterni ⁽¹⁾ , , M. Cantinotti ⁽²⁾ , P. Marchese ⁽²⁾ – (¹) IFC CNR, (²)Fondazione Toscana Gabriele Monasterio
Data del report	Aprile 2026
Scopo del report	Analisi tecnica, funzionale e di contenuto

Indice dei Contenuti

1. Sintesi del report
 2. Introduzione e Contesto
 3. Architettura del Sito Web
 4. Analisi dei Moduli Funzionali
 - 4.1 Home Page e Disclaimer
 - 4.2 Modulo Z-score Pediatrico (Dimensionale e Funzionale)
 - 4.3 Modulo Dimensionale Pediatrico
 - 4.4 Modulo Funzionale Pediatrico
 - 4.5 Modulo Pediatric Strain
 - 4.6 Modulo Funzione Diastolica Pediatrica
 - 4.7 Modulo Z-score Fetale
 - 4.8 Modulo Dimensionale Adulto
 - 4.9 Modulo Funzionale Adulto
 - 4.10 Pagina About
 5. Fondamenti Scientifici e Clinici
 - 5.1 Z-score: definizione e calcolo
 - 5.2 Calcolo della BSA
 - 5.3 Parametri Ecocardiografici Coperti
 - 5.4 Stratificazione per Popolazione
 6. Aspetti Tecnici dell'Implementazione
 7. User Experience e Design dell'Interfaccia
 8. Sicurezza, Privacy e Limitazioni d'Uso
 9. Valutazione Critica e Punti di Forza
 10. Conclusioni
- Appendice A – Glossario Tecnico
- Appendice B – Fonti Scientifiche di Riferimento

1. Sintesi del report

EchoCardioNorm è una piattaforma web ospitata su Altervista (echocardionorm.altervista.org) e costituisce uno strumento gratuito, interamente client-side, per la consultazione rapida e strutturata dei valori di riferimento ecocardiografici in tutte le fasce d'età.

La piattaforma è articolata in dieci pagine HTML funzionali, ciascuna corrispondente a un modulo specializzato. I moduli coprono le popolazioni fetale, pediatrica e adulta, con calcolo automatico degli Z-score, distribuzione per percentili, stratificazione per sesso, etnia ed età, e accesso alle fonti bibliografiche originali tramite un sistema di riferimento integrato.

Dal punto di vista tecnico, l'applicazione è interamente sviluppata in HTML5, CSS3 e JavaScript, senza dipendenze da framework esterni o backend server. Tutte le elaborazioni matematiche avvengono nel browser dell'utente, garantendo funzionamento offline (file locali) e assenza di trasmissione di dati sensibili.

Il report che segue analizza in modo dettagliato ciascun componente del sito: l'architettura generale, i moduli funzionali, i fondamenti scientifici, l'implementazione tecnica, la user experience e le limitazioni dichiarate dagli autori stessi.

Messaggio chiave

EchoCardioNorm non è uno strumento clinico. È una risorsa didattica e di ricerca che consente a studenti di medicina, specializzandi, ricercatori e cardiologi di accedere rapidamente ai valori di riferimento ecocardiografici tratti dalla letteratura scientifica più aggiornata, con calcoli automatici eseguiti direttamente nel browser.

“La scienza non consiste soltanto nel conoscere, ma anche nel comunicare ciò che si è conosciuto.” Primo Levi

2. Introduzione e Contesto

2.1 Il ruolo dell'ecocardiografia in cardiologia

L'ecocardiografia rappresenta oggi il principale strumento di imaging cardiovascolare non invasivo. Basata sugli ultrasuoni, consente la valutazione anatomica e funzionale del cuore in tempo reale, senza esposizione a radiazioni ionizzanti. Viene impiegata in ambito clinico per la valutazione morfologica delle camere cardiache, lo studio della funzione sistolica e diastolica, l'analisi del flusso valvolare mediante Doppler (pulsato, continuo e color), la stima delle pressioni intracardiache e la diagnosi di cardiopatie congenite, acquisite e strutturali.

A differenza di altri esami strumentali, l'ecocardiografia richiede un confronto costante con valori di riferimento specifici per popolazione, età, sesso, etnia e superficie corporea (BSA). La letteratura scientifica ha prodotto negli ultimi decenni un ampio corpus di tabelle normative, spesso derivate da studi multicentrici internazionali. Tuttavia, accedere rapidamente a questi riferimenti durante l'attività formativa o di ricerca può essere complesso, richiedendo la consultazione di molteplici pubblicazioni.

2.2 Il problema dei valori di riferimento in pediatria

In ambito pediatrico la questione è ancora più critica. Le strutture cardiache crescono proporzionalmente alla superficie corporea, rendendo inutilizzabili i valori assoluti per il confronto inter-individuale. Lo Z-score – definito come il numero di deviazioni standard dalla media attesa per la BSA del soggetto – rappresenta la metrica di scelta per esprimere le misurazioni ecocardiografiche in età pediatrica. Calcolare correttamente uno Z-score richiede conoscere la formula matematica specifica per ogni parametro, la fonte bibliografica di riferimento, la formula di calcolo della BSA scelta dall'autore, e il metodo di normalizzazione dei dati.

Diversi centri e autori utilizzano formule diverse (es. Haycock vs. DuBois per la BSA) e studi di riferimento distinti (Cantinotti, Pettersen, Lopez, ecc.), generando possibili discrepanze nei risultati. EchoCardioNorm affronta questo problema centralizzando le formule e consentendo all'utente di selezionare la fonte bibliografica preferita per ciascun parametro.

2.3 Contesto istituzionale e autoriale

Il sito è opera di tre autori afferenti a istituzioni scientifiche di rilievo nazionale:

- **Massimiliano Cantinotti** – Fondazione CNR-Regione Toscana G. Monasterio, Massa e Pisa. Autore di numerose pubblicazioni sui valori di riferimento ecocardiografici in età pediatrica, con contributi alle linee guida internazionali.
- **Marco Paterni** – Istituto di Fisiologia Clinica del CNR. Esperto di informatica medica e sviluppo di strumenti per l'analisi dei dati biomedici.
- **Pietro Marchese** – Fondazione CNR-Regione Toscana G. Monasterio, Massa e Pisa. Esperto in ecocardiografia pediatrica e fetale.

La combinazione di competenze clinico-cardiologiche e informatiche tra gli autori si riflette nella qualità tecnica e scientifica del prodotto realizzato.

3. Architettura del Sito Web

3.1 Struttura generale

EchoCardioNorm è strutturato come un'applicazione web composta da file HTML/CSS/JavaScript autonomi, senza backend server, database o chiamate API esterne. Ogni pagina è una singola unità auto-contenuta che include: struttura HTML semantica, stili CSS inline o embedded nell'intestazione, logica JavaScript per il calcolo e la presentazione dei risultati.

L'hosting su Altrivista (servizio italiano di hosting gratuito) implica che non vi sia un server applicativo dedicato: il browser dell'utente scarica i file ed esegue tutti i calcoli localmente. Questo approccio elimina la latenza del server, garantisce la privacy dei dati dell'utente e consente l'utilizzo offline previa download dei file.

3.2 Mappa delle pagine

File HTML	Titolo/Funzione	Popolazione / Tipo di dati
index.html	Home – Navigazione principale	Tutte le popolazioni
about.html	About – Autori e scopo	Informazioni generali
pediatric_zscores.html	Z-score Pediatrico (combinato)	Pediatrica – Dim. + Funz.
pediatric_dimensional.html	Dimensionale Pediatrico	Pediatrica – Parametri dimensionali
pediatric_functional.html	Funzionale Pediatrico	Pediatrica – Parametri funzionali
pediatric_strain.html	Strain Pediatrico	Pediatrica – STE/GLS/strain
pediatric_diastolic_function.html	Funzione Diastolica Pediatrica	Pediatrica – Doppler/TDI diastolico
fetalzscores.html	Z-score Fetale	Fetale – Lunghezza femore/EG/DBP
adultdimensional.html	Dimensionale Adulto	Adulta – Parametri dimensionali 2D/3D
adultfunctional.html	Funzionale Adulto	Adulta – Parametri funzionali Doppler/TDI

3.3 Tecnologie utilizzate

Il sito utilizza esclusivamente tecnologie web standard, senza framework o librerie esterne:

- **HTML5** – Struttura semantica delle pagine, uso di <dialog> nativo per i popup di riferimento bibliografico.
- **CSS3** – Design system coerente definito tramite CSS custom properties (variabili CSS). Layout responsive con CSS Grid e Flexbox. Tema scuro (dark mode nativa).
- **JavaScript ES2020+** – Tutta la logica applicativa è implementata in JavaScript vanilla senza dipendenze. Include parsing di formule matematiche, calcolo di Z-score, gestione dello stato dell'interfaccia, filtri di ricerca in tempo reale.

- **LocalStorage API** – Utilizzata esclusivamente per memorizzare l'accettazione del disclaimer (flag booleano), senza archiviazione di dati clinici.

3.4 Design system e tema visivo

L'intera applicazione adotta un tema visivo scuro e coerente, definito attraverso variabili CSS dichiarate a livello di `:root`. La palette colori comprende:

Variabile CSS	Valore Hex	Utilizzo
--bg	#0b0f14	Sfondo principale (quasi nero blu)
--card	#111826	Sfondo card/componenti
--accent	#7dd3fc	Colore evidenziazione, titoli sezioni, link
--text	#e8eef6	Testo principale (bianco-azzurro)
--muted	#91a4b7	Testo secondario, didascalie, note
--line	#243244	Bordi, separatori
--bad	#fb7185	Z-score fuori range (rosso-rosa)
--ok	#a7f3d0	Valori normali, strain (verde menta)

Questa scelta cromatica è stata scelta per ridurre l'affaticamento visivo durante sessioni di utilizzo prolungato, tipiche del contesto accademico e di studio.

3.5 Responsività e compatibilità

Tutte le pagine includono media queries CSS per adattare il layout a dispositivi mobili (breakpoint principale a 860px). Su schermi stretti, le griglie multi-colonna si collassano in layout a colonna singola, e alcune colonne secondarie (come la fonte bibliografica) vengono riposizionate. L'header è sticky (posizione fissa in cima durante lo scroll), facilitando la consultazione su display di piccole dimensioni.

4. Analisi dei Moduli Funzionali

4.1 Home Page (index.html) e Meccanismo di Disclaimer

La home page è la prima schermata che l'utente incontra al caricamento del sito. Prima ancora di mostrare qualsiasi contenuto funzionale, il sistema verifica se l'utente ha già accettato il disclaimer nelle sessioni precedenti, consultando il flag 'echocardionorm_disclaimer_accepted' nel localStorage del browser.

In assenza del flag (primo accesso o browser in modalità privata), viene visualizzato un overlay modale a schermo intero con testo del disclaimer e due pulsanti: 'YES' (accetta e accede ai contenuti) e 'NO' (nega l'accesso e visualizza una schermata di accesso negato). Solo dopo l'accettazione vengono mostrati i moduli di navigazione. Questo meccanismo è conforme alle buone pratiche per strumenti ad uso educativo in ambito medico.

La home page presenta due sezioni principali di navigazione: la sezione Pediatric (5 card: Pediatric Diastolic Function, Pediatric Dimensional, Pediatric Functional, Pediatric Strain, Fetal Z-Scores) e la sezione Adults (2 card: Adult Functional, Adult Dimensional), più un link alla pagina About. Ciascuna card include un'icona SVG a tema cardiologico, il titolo del modulo e una breve descrizione. Le card sono interattive (hover con effetto elevazione), collegate alle rispettive pagine tramite link HTML.

4.2 Modulo Z-score Pediatrico Combinato (pediatric_zscores.html)

Questo modulo è il cuore della sezione pediatrica. Si tratta di un calcolatore unificato che gestisce sia i parametri dimensionali sia i parametri funzionali in un'unica interfaccia, navigabile tramite due tab ('Dimensional' e 'Functional').

Input richiesti

- Peso del paziente (kg) – campo numerico con passo 0.01
- Altezza del paziente (cm) – campo numerico con passo 0.1

Il sistema calcola automaticamente la BSA con due formule in parallelo: Haycock e DuBois, mostrando entrambi i risultati in campi di sola lettura.

Funzionamento del calcolo

Per ogni parametro ecocardiografico nella tabella, l'utente inserisce il valore misurato. Il sistema calcola istantaneamente lo Z-score applicando la formula specifica di quella fonte bibliografica, normalizzata per la BSA del paziente. I risultati vengono visualizzati con codifica cromatica: verde per valori nell'intervallo normale, rosso per Z-score con valore assoluto ≥ 2 .

Fonti bibliografiche multiple

Per molti parametri sono disponibili più fonti bibliografiche alternative, selezionabili tramite menu a discesa riga per riga. Questa caratteristica è fondamentale: consente al professionista di confrontare lo stesso valore misurato con le normative di riferimento di autori diversi, riflettendo la variabilità metodologica presente in letteratura.

Funzionalità aggiuntive

- Barra di ricerca in tempo reale: filtra i parametri per nome mentre si digita, con contatore dei risultati visibili
- Pulsante 'Reset examples': ripristina valori di esempio predefiniti (es. neonato da 3 kg, 50 cm)
- Pulsante 'Clear values': azzeramento completo di tutti i campi di misurazione
- Box 'Quick interpretation': interpretazione rapida degli Z-score calcolati

4.3 Modulo Dimensionale Pediatrico (pediatric_dimensional.html)

Questo modulo è concettualmente analogo alla tab 'Dimensional' del modulo combinato, ma costituisce una pagina separata con funzionalità aggiuntive, tra cui un pulsante 'Ref' per ciascun parametro che apre un dialog nativo HTML con la citazione bibliografica completa della fonte selezionata.

I parametri dimensionali coprono le principali strutture cardiache misurabili con ecocardiografia 2D e M-mode: ventricolo sinistro (diametro telediastolico e telesistolico, spessori parietali), ventricolo destro, atri (sinistro e destro), radice aortica, aorta ascendente, valvola polmonare, arteria polmonare, tronco polmonare e rami, vena cava, e strutture correlate. Per ciascun parametro, la colonna sorgente mostra l'autore/studio di riferimento o offre un dropdown per la selezione multipla.

4.4 Modulo Funzionale Pediatrico (pediatric_functional.html)

Questo modulo gestisce i parametri funzionali in età pediatrica, che includono le velocità di flusso trans-valvolare (aortico, polmonare, mitralico, tricuspideale) misurate con Doppler pulsato e continuo, i gradienti di pressione, la gittata cardiaca (CO), l'indice di gittata cardiaca (CI), e i parametri di myocardial work derivati dallo Speckle Tracking Echocardiography (STE): Global Work Index (GWI), Global Constructive Work (GCW), Global Wasted Work (GWW), Global Work Efficiency (GWE).

L'inclusione dei parametri di myocardial work rappresenta un elemento di avanguardia, riflettendo la progressiva integrazione di questi indici nella pratica clinica pediatrica. I parametri di myocardial work vengono calcolati tramite la combinazione dello strain longitudinale globale (GLS) con la stima non invasiva della pressione arteriosa, consentendo una valutazione più precisa della funzione miocardica rispetto alla sola FE.

4.5 Modulo Pediatric Strain (pediatric_strain.html)

Il modulo di strain pediatrico è il più articolato dell'intera piattaforma per complessità tecnica e copertura scientifica. Gestisce i parametri di deformazione miocardica (strain) derivati dall'analisi Speckle Tracking Echocardiography (STE), suddivisi per struttura anatomica (ventricolo sinistro, ventricolo destro, atri).

Parametri coperti

- Global Longitudinal Strain (GLS) del ventricolo sinistro
- Global Radial Strain e Global Circumferential Strain del ventricolo sinistro
- Free Wall Strain del ventricolo destro
- Strain atriale sinistro e destro (reservoir, conduit, contractile)

Stratificazione per vendor

Un elemento distintivo di questo modulo è la stratificazione per vendor ecografico. I valori di strain variano in modo significativo a seconda del software di analisi utilizzato (GE, Philips, Siemens, Tomtec, ecc.), rendendo indispensabile la contestualizzazione dei risultati rispetto alla piattaforma di acquisizione. EchoCardioNorm implementa questa stratificazione con un menu a discesa per la selezione del vendor, separato dalla selezione della fonte bibliografica.

Funzionalità di esportazione

Il modulo strain include funzioni di esportazione CSV e stampa ottimizzata (con CSS @media print che nasconde elementi non necessari e adatta il layout per la stampa su carta).

4.6 Modulo Funzione Diastolica Pediatrica (pediatric_diastolic_function.html)

Questo modulo è dedicato alla valutazione della funzione diastolica in età pediatrica, un ambito spesso trascurato rispetto alla funzione sistolica ma di grande rilevanza clinica, in particolare nelle cardiomiopatie, nelle malattie reumatologiche con coinvolgimento cardiaco e nei pazienti oncologici sottoposti a chemioterapia cardiotossica.

Approccio statistico: percentili

A differenza degli altri moduli pediatrici che utilizzano gli Z-score, questo modulo presenta i valori di riferimento sotto forma di distribuzione percentilare (1°, 5°, 10°, 25°, 50°, 75°, 90°, 95°, 99° percentile) per ciascun parametro. Questo approccio è spesso preferito in letteratura per i parametri Doppler e TDI diastolici, dove la distribuzione dei dati non è sempre normalmente distribuita.

Parametri inclusi

- Parametri Doppler transmitralici: velocità E, velocità A, rapporto E/A, tempo di decelerazione (DT)
- Parametri Tissue Doppler Imaging (TDI): velocità e' settale, e' laterale, a' settale, a' laterale
- Rapporti derivati: E/e' settale, E/e' laterale, E/e' medio
- Flusso venoso polmonare e parametri correlati
- Parametri Doppler trans-tricuspidali per la valutazione diastolica del ventricolo destro

I filtri disponibili includono: età (anni), sesso, e parametri di biometria. Il modulo mostra automaticamente la distribuzione percentilare per l'età e il sesso selezionati, con indicazione visiva della collocazione percentilare del valore inserito.

4.7 Modulo Z-score Fetale (fetalzscores.html)

Il modulo fetale è dedicato al calcolo degli Z-score per l'ecocardiografia fetale, un ambito specialistico che richiede normative di riferimento distinte da quelle pediatriche postnatali. In epoca fetale, le strutture cardiache vengono normalizzate non per la BSA (non misurabile in modo standard), ma per altre misure biometriche fetali derivate dall'ecografia ostetrica.

Input specifici per l'ecocardiografia fetale

- Lunghezza del femore (FL, cm) – surrogato dell'età gestazionale reale
- Età gestazionale (GA, settimane) – calcolata dall'ecografia ostetrica
- Diametro biparietale (BPD, cm) – misura cefalometrica

Il sistema consente di inserire una o più di queste variabili e calcola gli Z-score per i parametri per i quali è disponibile la formula normalizzata rispetto alla variabile inserita.

Parametri fetali coperti

I parametri includono le strutture cardiache fetali misurabili all'ecocardiografia di II livello: radice aortica (AoR), aorta ascendente, istmo aortico, dotto arterioso, tronco polmonare (MPA), rami polmonari (RPA, LPA), valvola mitrale e tricuspide (anulus), giunzione atrioventricolare, vena cava inferiore e superiore, vene polmonari. Sono disponibili formule di diversi autori (es. Lee, Schneider, Cantinotti stesso) selezionabili per riga.

4.8 Modulo Dimensionale Adulto (adultdimensional.html)

Il modulo dimensionale per la popolazione adulta si distingue dagli analoghi pediatrici per un approccio radicalmente diverso: invece degli Z-score (ottimali per la crescita pediatrica), fornisce i range di normalità (media, limite inferiore e superiore) stratificati per sesso, etnia e fascia d'età, come definiti dalle principali linee guida internazionali (ASE 2015, BSE, EAE/ESC, WASE).

Variabili di stratificazione

- Sesso (Male/Female)
- Etnia (ad esempio: Caucasica, Africana/Afroamericana, Asiatica, Ispanica, e altre in base alla fonte selezionata)
- Età (anni) – per la selezione automatica della fascia d'età appropriata
- Peso (kg) e Altezza (cm) – per il calcolo automatico della BSA e l'assegnazione al quartile di BSA

Sistema di selezione delle fonti

Per ciascun parametro, è disponibile un selettore di fonte bibliografica indipendente. Il sistema recupera il valore corretto per il sesso, l'etnia e l'età selezionati dalla fonte scelta. Quando una fonte fornisce dati per fasce d'età, il sistema seleziona automaticamente la fascia più specifica compatibile con l'età inserita. Quando una fonte fornisce dati per quartili di BSA, viene utilizzato il quartile calcolato dalla BSA del paziente.

KPI di sintesi

Un pannello con tre metriche di sintesi mostra: BSA calcolata (m^2), Quartile di BSA assegnato (Q1–Q4), Numero di righe mostrate (dopo applicazione dei filtri di ricerca).

Dialog di riferimento bibliografico

Ogni riga include un pulsante 'Ref' che apre un dialog nativo HTML con il testo completo della citazione bibliografica, inclusi autori, titolo della rivista, anno, volume e pagine, più un pulsante 'Copy' per copiare la citazione negli appunti.

4.9 Modulo Funzionale Adulto (adultfunctional.html)

Il modulo funzionale adulto segue la stessa architettura del modulo dimensionale adulto, applicandola ai parametri funzionali. Le variabili di stratificazione sono sesso, etnia ed età (senza peso/altezza, non necessarie per i parametri funzionali non indicizzati per BSA).

Parametri funzionali coperti

I parametri inclusi riguardano la valutazione della funzione diastolica con Doppler trasmitralico e tricuspidalico (velocità E, A, DT), il Tissue Doppler Imaging (velocità e', a', s' settale e laterale), i rapporti derivati (E/A, E/e'), la funzione sistolica (FE con Metodo di Simpson biplanare), i parametri di gittata cardiaca e volume sistolico, e le stime della pressione polmonare (RVSP tramite rigurgito tricuspidalico).

Come per il modulo dimensionale adulto, ogni riga è dotata di selettore di fonte e pulsante di riferimento bibliografico. Il filtro di ricerca in tempo reale permette di localizzare rapidamente il parametro di interesse.

4.10 Pagina About (about.html)

La pagina About fornisce una descrizione sintetica ma completa dello scopo della piattaforma, organizzata in sezioni tematiche: Purpose (scopo della piattaforma con lista puntata dei contenuti per popolazione), Utility (descrizione della vocazione pratica del tool), Educational Use (dichiarazione esplicita del solo uso educativo e non clinico), Authors (affiliazioni complete dei tre autori).

La pagina è corredata dal disclaimer standard ripetuto nel footer, rendendo esplicita la posizione degli autori riguardo alle limitazioni di responsabilità.

5. Fondamenti Scientifici e Clinici

5.1 Z-score: definizione, significato e calcolo

Lo Z-score (o deviazione standard score) è una misura statistica che esprime quanto un valore osservato si discosta dalla media della popolazione di riferimento, in unità di deviazioni standard. In ecocardiografia pediatrica, viene utilizzato per normalizzare le misurazioni cardiache rispetto alla taglia del paziente.

La formula generale è: $Z = (X_{\text{osservato}} - \mu_{\text{BSA}}) / \sigma_{\text{BSA}}$, dove $X_{\text{osservato}}$ è il valore misurato, μ_{BSA} è la media predetta dalla formula di regressione per la BSA del paziente, e σ_{BSA} è la deviazione standard residua (spesso anch'essa funzione della BSA).

Nella pratica clinica e nelle linee guida, un valore con $|Z| \geq 2$ viene generalmente considerato fuori dal range di normalità (equivalente al 2.3° o 97.7° percentile di una distribuzione normale), mentre soglie di $|Z| \geq 2.5$ o ≥ 3 vengono utilizzate per definire dilatazione o ipoplasia severa. EchoCardioNorm adotta la soglia $|Z| \geq 2$ come default per il feedback visivo, evidenziando in rosso i parametri che la superano.

5.2 Calcolo della BSA (Body Surface Area)

La superficie corporea (BSA) è il parametro di normalizzazione di riferimento in ecocardiografia pediatrica. EchoCardioNorm implementa due formule di calcolo della BSA, visualizzate entrambe in parallelo nei moduli pediatrici:

Formula	Equazione	Note
Haycock (1978)	$0.024265 \times H^{0.3964} \times W^{0.5378}$	Raccomandata da molti studi pediatrici europei (Cantinotti, ecc.)
DuBois & DuBois (1916)	$0.007184 \times H^{0.725} \times W^{0.425}$	Formula storica, ampiamente usata in studi americani (Pettersen, ecc.)

H = altezza in cm; W = peso in kg. La disponibilità di entrambe le formule evita errori di categoria nella selezione della fonte bibliografica: ogni studio deve essere abbinato alla formula di BSA utilizzata dagli autori originali.

5.3 Parametri Ecocardiografici Coperti

La piattaforma copre un'ampia gamma di parametri ecocardiografici, raggruppabili nelle seguenti categorie:

Parametri dimensionali

- Ventricolo sinistro: diametro telediastolico (LVEDD) e telesistolico (LVESD), spessore del setto interventricolare (IVS) e della parete posteriore (LVPW) in diastole e sistole
- Ventricolo destro: dimensioni trasversali a livello basale, medio e longitudinale (RVD1, RVD2, RVD3)
- Atri: diametro anteroposteriore dell'atrio sinistro (LA), area e volume atriale
- Strutture vascolari: anulus aortico, seni di Valsalva, giunzione sinotubulare, aorta ascendente, arco aortico, istmo aortico; anulus polmonare, tronco polmonare, rami polmonari
- Strutture atrioventricolari: anulus mitralico e tricuspidalico

- Spessore pericardio (quando rilevante)

Parametri funzionali sistolici

- Frazione di eiezione del ventricolo sinistro (FE/LVEF) – metodo di Simpson biplanare, mono-planare, Teicholz
- Frazione di accorciamento (FS)
- Volume sistolico (SV) e indice di volume sistolico
- Gittata cardiaca (CO) e indice cardiaco (CI)
- TAPSE (Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion) – funzione sistolica del ventricolo destro
- FAC (Fractional Area Change) del ventricolo destro
- Myocardial Performance Index (MPI/Tei index) ventricolare sinistro e destro

Parametri funzionali diastolici

- Velocità di flusso transmitralico E e A, rapporto E/A, tempo di decelerazione (DT)
- Velocità di flusso trans-tricuspidalico E e A
- Tissue Doppler Imaging (TDI): e' settale, e' laterale, a' settale, a' laterale, s' settale, s' laterale
- Rapporti E/e' (indici di pressione di riempimento del ventricolo sinistro)
- Flusso venoso polmonare

Parametri di strain (STE)

- Global Longitudinal Strain (GLS) – ventricolo sinistro
- Global Radial Strain (GRS) e Global Circumferential Strain (GCS) – ventricolo sinistro
- Free Wall Strain del ventricolo destro
- Strain atriale sinistro (reservoir, conduit, contractile)
- Strain atriale destro
- Myocardial Work Index (GWI, GCW, GWW, GWE)

Parametri fetali

- Dimensioni delle strutture cardiache fetali normalizzate per FL, GA, BPD
- Strutture vascolari fetali: aorta, arteria polmonare, dotto arterioso, vena cava

5.4 Stratificazione per popolazione

Una caratteristica scientificamente rilevante della piattaforma è la stratificazione dei valori di riferimento per le variabili demografiche che influenzano i parametri ecocardiografici:

Popolazione pediatrica

- Normalizzazione per BSA (con formula selezionabile Haycock/DuBois)
- Stratificazione per sesso in alcuni parametri strain
- Stratificazione per vendor ecografico per i parametri di strain

Popolazione adulta

- Stratificazione per sesso: le dimensioni cardiache differiscono significativamente tra maschi e femmine, anche dopo indicizzazione per BSA

- Stratificazione per etnia: le recenti linee guida (WASE 2020, ASE 2015) riconoscono differenze nei valori di riferimento tra popolazioni caucasiche, africane/afroamericane, asiatiche e ispanico-latinoamericane
- Stratificazione per fascia d'età: i parametri funzionali (in particolare quelli diastolici) cambiano significativamente con l'età
- Indicizzazione per BSA per i parametri volumetrici

Questa stratificazione multilivello riflette lo stato dell'arte della letteratura ecocardiografica internazionale e rappresenta uno dei punti di forza della piattaforma rispetto a strumenti più semplici.

6. Aspetti Tecnici dell'Implementazione

6.1 Architettura client-side e calcoli nel browser

La scelta di un'architettura interamente client-side (senza backend) ha implicazioni tecniche e operative rilevanti. Tutti i dati (formule, tabelle di riferimento, citazioni bibliografiche) sono codificati come strutture JavaScript nei file HTML stessi. I calcoli degli Z-score vengono eseguiti tramite funzioni matematiche JavaScript, che implementano le formule di regressione polinomiale o logaritmica descritte nei paper originali. Il codice sorgente mostra l'uso di espressioni matematiche come: $z = (\text{Math.log}(x) - (a + b * \text{Math.log}(bsa))) / \text{sigma}$, dove i coefficienti a, b e sigma sono tabulati per ciascun parametro e ciascuna fonte bibliografica.

6.2 Gestione delle formule matematiche

Ogni formula di calcolo dello Z-score è implementata come una funzione JavaScript anonima (closure) che riceve come argomenti il valore misurato (x), la BSA calcolata con Haycock (bsaH), la BSA calcolata con DuBois (bsaD), il peso (w) e l'altezza (h). Le formule sono precompilate all'avvio della pagina in una struttura Map, indicizzata per ID parametro e indice della variante (fonte bibliografica).

Per i moduli adulto, le formule non sono equazioni di regressione continue, ma tabelle di valori discreti (mean, LLN, ULN) indicizzate per sesso, etnia, fascia d'età e quartile di BSA. Il motore di lookup identifica il valore corretto combinando le variabili di input con un algoritmo di selezione che privilegia la corrispondenza più specifica disponibile.

6.3 Sistema di riferimento bibliografico integrato

Nei moduli dimensionale adulto, funzionale adulto, fetale e dimensionale pediatrico, ogni riga della tabella include un pulsante 'Ref' che apre un dialog HTML nativo (<dialog> element) con la citazione bibliografica completa della fonte selezionata. La citazione include: autori, titolo dell'articolo, rivista, anno, volume, numero di pagine, e a volte DOI. Il pulsante 'Copy' nel dialog permette di copiare la citazione negli appunti tramite l'API Clipboard (navigator.clipboard.writeText).

6.4 Filtro di ricerca in tempo reale

Tutti i moduli includono un campo di ricerca che filtra le righe della tabella in tempo reale mentre l'utente digita. L'algoritmo di filtraggio confronta il testo inserito (in minuscolo) con il nome del parametro e la categoria di appartenenza. Le righe non corrispondenti vengono nascoste via CSS (display:none), con aggiornamento del contatore dei risultati visibili.

6.5 Gestione della responsività

Il layout di tutte le pagine è costruito con CSS Grid, che si adatta automaticamente alle dimensioni dello schermo tramite media queries. Su mobile (< 860px), le griglie a 3 colonne dell'header si riducono a colonna singola, la colonna della fonte bibliografica si sposta sotto il nome del parametro, e il display complessivo rimane usabile. L'header sticky garantisce che i controlli principali (peso, altezza, sesso, etnia) rimangano visibili anche durante lo scroll della tabella.

6.6 Funzione di stampa e esportazione

Il modulo pediatric_strain implementa CSS @media print dedicato, che nasconde header, pannelli di controllo, pulsanti e note, lasciando visibile solo la tabella dati in formato adatto

alla stampa su carta. Lo stesso modulo include funzionalità di esportazione in formato CSV tramite generazione dinamica di un file blob JavaScript e download automatico.

6.7 Restrizione di utilizzo locale (adultdimensional, adultfunctional)

I moduli dimensionale adulto e funzionale adulto includono una verifica JavaScript all'avvio che controlla se la pagina viene servita da un server web pubblico o da un file locale. Se la pagina viene aperta da file locale (protocollo file://, host localhost o 127.0.0.1), viene visualizzato un messaggio di errore che reindirizza l'utente al sito web ufficiale. Questo meccanismo garantisce che le versioni più aggiornate dei dati siano sempre quelle del sito ufficiale, prevenendo l'uso di versioni obsolete scaricate localmente.

7. User Experience e Design dell'Interfaccia

7.1 Principi di design adottati

Il design di EchoCardioNorm segue principi di sobrietà, efficienza e leggibilità, coerenti con il contesto d'uso (studio, ricerca, formazione medica). Le scelte principali includono il tema scuro (dark mode) con palette cromatica fredda che riduce l'affaticamento visivo in sessioni prolungate, la tipografia sans-serif di sistema (ui-sans-serif, system-ui) per la massima leggibilità e la compatibilità cross-platform senza font esterni, il layout a griglia con separazione netta tra pannello di controllo (input) e pannello dei risultati (tabella), e la gerarchia visiva basata su dimensione del testo, peso (bold) e colore (accent blu per titoli, muted grigio per testo secondario).

7.2 Feedback visivo e interattività

L'interfaccia fornisce feedback visivo immediato per ogni interazione: i campi di input cambiano colore del bordo e mostrano un halo luminoso al focus, i risultati dello Z-score vengono evidenziati in verde (normale) o rosso (fuori range) in tempo reale senza necessità di conferma, le card della home page si sollevano di 2px all'hover con transizione animata, i menu dropdown e i pulsanti reagiscono al hover con cambio del colore del bordo, le barre di ricerca filtrano istantaneamente la tabella mentre si digita.

7.3 Accessibilità

Il codice HTML include alcuni attributi di accessibilità: `role='tablist'` e `aria-label` sulla navigazione a tab del modulo pediatrico combinato, label associate agli input tramite attributo `for` corrispondente all'id dell'input, uso semantico di `<header>`, `<dialog>`, `<table>` con elementi semantici appropriati. Non è presente però un sistema completo di accessibilità WCAG 2.1 (es. mancano skip-links e alcune ARIA descriptions nei moduli più complessi).

7.4 Usabilità nella pratica

Dal punto di vista dell'usabilità pratica, il flusso di utilizzo per un utente tipico (es. specializzando in cardiologia pediatrica) segue questa sequenza: accesso al sito e accettazione del disclaimer (operazione una-tantum grazie a `localStorage`), selezione del modulo appropriato dalla home page, inserimento dei dati antropometrici del paziente (peso, altezza), inserimento dei valori misurati all'ecocardiografia, lettura immediata degli Z-score con feedback cromatico, eventuale selezione di una fonte bibliografica alternativa per confronto, consultazione della citazione bibliografica tramite il pulsante 'Ref'.

8. Sicurezza, Privacy e Limitazioni d'Uso

8.1 Privacy e gestione dei dati

EchoCardioNorm non raccoglie, trasmette né archivia alcun dato personale o clinico. Tutti i calcoli avvengono esclusivamente nel browser dell'utente. L'unica informazione salvata è il flag di accettazione del disclaimer nel localStorage del browser (chiave: 'echocardionorm_disclaimer_accepted', valore: 'yes'), che non contiene dati sensibili. Non sono presenti cookie di tracciamento, pixel di analisi, o chiamate a servizi di terze parti.

L'hosting su Altrivista (piattaforma italiana) implica l'applicazione delle normative europee sulla privacy (GDPR), ma data l'assenza di raccolta dati, il profilo di rischio per la privacy degli utenti è minimo.

8.2 Disclaimer e responsabilità

Il sito riporta in modo esplicito e ripetuto (home page, overlay iniziale, pagina About, footer di ogni pagina) il seguente disclaimer: 'This application is intended for educational purposes only. The authors assume no responsibility for any consequences arising from the use of the information or calculations provided by this tool.'

Questo disclaimer è clinicamente e legalmente rilevante: i valori di riferimento ecocardiografici variano tra popolazioni, laboratori ed ecografi; le formule implementate sono quelle pubblicate, ma possono contenere errori di trascrizione; l'interpretazione dei risultati richiede competenza clinica specifica; nessun strumento automatizzato può sostituire il giudizio clinico del cardiologo.

8.3 Limitazioni tecniche

- **Assenza di validazione degli input:** il sistema non verifica se i valori inseriti siano clinicamente plausibili (es. peso di 500 kg o altezza di 2 cm verrebbero elaborati senza avvisi).
- **Dipendenza da JavaScript:** l'applicazione non funziona con JavaScript disabilitato.
- **Compatibilità browser:** l'uso di <dialog> nativo e delle CSS custom properties richiede browser moderni (Chrome 94+, Firefox 98+, Safari 15.4+). Browser obsoleti potrebbero mostrare anomalie grafiche o funzionali.
- **Moduli adulto in locale:** la verifica di host impedisce l'uso offline dei moduli adultdimensional e adultfunctional.
- **Assenza di aggiornamento automatico:** le tabelle dei valori di riferimento sono statiche; nuove pubblicazioni non vengono integrate automaticamente.

8.4 Limitazioni scientifiche

- **Variabilità inter-studio:** i valori di riferimento presenti nella letteratura mostrano variabilità significativa tra studi, legata a differenze metodologiche, demografiche e strumentali. EchoCardioNorm non risolve questa variabilità, ma la rende navigabile.
- **Generalizzabilità:** i valori di riferimento sono derivati da popolazioni specifiche e potrebbero non essere applicabili a popolazioni con caratteristiche diverse.
- **Aggiornamento:** le linee guida ecocardiografiche vengono periodicamente aggiornate; non è chiaro con quale frequenza il sito venga aggiornato.

9. Valutazione Critica e Punti di Forza

9.1 Punti di forza

- **Completezza:** la piattaforma copre l'intero ciclo di vita cardiologico (feto, pediatrico, adulto) con una gamma di parametri tra le più ampie disponibili in un unico strumento web gratuito.
- **Autorevolezza scientifica:** gli autori sono ricercatori afferenti a istituzioni accademiche e cliniche di primo piano nel panorama italiano ed europeo della cardiologia pediatrica.
- **Multi-fonte:** la possibilità di selezionare la fonte bibliografica per ciascun parametro è una caratteristica rara e preziosa, che consente il confronto metodologico e la coerenza con la letteratura utilizzata nel proprio contesto clinico-formativo.
- **Tecnologia moderna:** l'implementazione in HTML5/CSS3/JS, senza dipendenze esterne, garantisce leggerezza, velocità, privacy e funzionamento offline.
- **Design professionale:** il tema visivo scuro, coerente e ottimizzato per sessioni prolungate, si distingue favorevolmente rispetto ad altri strumenti analoghi disponibili in rete.
- **Gratuità:** il servizio è completamente gratuito e senza registrazione.
- **Parametri avanzati:** l'inclusione di parametri di strain (STE) e myocardial work posiziona EchoCardioNorm all'avanguardia rispetto agli strumenti di riferimento tradizionali.

9.2 Aree di miglioramento

- **Documentazione interna:** l'applicazione non include una guida utente integrata che spieghi come interpretare i risultati o come scegliere tra le diverse fonti bibliografiche.
- **Validazione degli input:** l'assenza di controlli di plausibilità potrebbe generare risultati errati senza che l'utente se ne accorga.
- **Accessibilità (WCAG):** il tema scuro ad alto contrasto è positivo, ma mancano alcune caratteristiche di accessibilità formale.
- **Multilingua:** il sito è in inglese. Un'interfaccia in italiano aumenterebbe l'accessibilità per il target principale (operatori sanitari italiani).
- **Aggiornamento dei dati:** non è disponibile un changelog o una data di ultimo aggiornamento dei dati scientifici.
- **Interoperabilità:** non sono presenti API o formati di esportazione standardizzati (es. FHIR) per l'integrazione con sistemi informativi ospedalieri.

10. Conclusioni

EchoCardioNorm si configura come uno strumento educativo e di ricerca di alta qualità nel panorama degli strumenti web per la cardiologia. La piattaforma risponde a un bisogno reale e diffuso nella comunità cardiologica: disporre di un accesso rapido, gratuito e scientificamente fondato ai valori di riferimento ecocardiografici per tutte le fasce d'età.

La qualità scientifica è garantita dall'affiliazione degli autori a istituzioni di ricerca di primo piano e dalla copertura bibliografica che include le principali linee guida internazionali (ASE, ESC/EAE, WASE, BSE) e studi di riferimento specifici per la popolazione pediatrica italiana ed europea.

Dal punto di vista tecnico, la scelta di un'architettura interamente client-side, priva di backend e dipendenze esterne, è una soluzione elegante che garantisce performance, privacy e portabilità. L'implementazione in JavaScript, pur richiedendo maggiore codice rispetto all'uso di framework, elimina il rischio di obsolescenza dipendente da librerie di terze parti.

L'interfaccia utente è progettata con attenzione alla leggibilità e all'efficienza, con un design system coerente, feedback visivo immediato e responsività mobile. La funzionalità di ricerca in tempo reale e la possibilità di selezionare la fonte bibliografica per ciascun parametro rendono il tool flessibile e adattabile a diversi contesti formativi e di ricerca.

Le limitazioni principali – assenza di validazione degli input, mancanza di aggiornamento automatico, disclaimer sull'uso non clinico – sono caratteristiche consapevoli degli autori, dichiarate esplicitamente, e non ne compromettono il valore educativo.

In sintesi, EchoCardioNorm rappresenta un contributo significativo alla formazione in cardiologia e merita attenzione e utilizzo da parte di studenti di medicina, specializzandi, ricercatori e cardiologi interessati all'ecocardiografia come disciplina scientifica. Il sito è raccomandato come risorsa didattica complementare ai testi tradizionali e ai corsi di formazione specialistici.

Appendice A – Glossario Tecnico

Termine / Acronimo	Definizione
BSA	Body Surface Area – Superficie corporea, calcolata da peso e altezza; parametro di normalizzazione in pediatria.
Z-score	Numero di deviazioni standard dalla media attesa per la BSA del paziente. $ Z \geq 2$ è generalmente fuori norma.
STE	Speckle Tracking Echocardiography – Tecnica di analisi dell'immagine ecografica che traccia i 'speckle' acustici frame per frame per quantificare la deformazione miocardica.
GLS	Global Longitudinal Strain – Deformazione miocardica longitudinale globale del ventricolo sinistro; valore normale circa $-20\% \pm 2\%$.
GRS/GCS	Global Radial/Circumferential Strain – Deformazione radiale e circonferenziale del ventricolo sinistro.
TDI	Tissue Doppler Imaging – Tecnica Doppler che misura le velocità del miocardio (non del sangue). e' , a' , s' sono le velocità miocardiche.
LVEF	Left Ventricular Ejection Fraction – Frazione di eiezione del ventricolo sinistro. Range normale: 50–70%.
TAPSE	Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion – Escursione sistolica dell'anulus tricuspidalico; indice funzione sistolica VD.
FAC	Fractional Area Change – Variazione percentuale dell'area del ventricolo destro tra diastole e sistole.
CO/CI	Cardiac Output/Cardiac Index – Gittata cardiaca e indice di gittata cardiaca (normalizzato per BSA).
GW/GCW	Global Work Index / Global Constructive Work – Indici di myocardial work derivati dalla combinazione di GLS e pressione arteriosa.
GWW/GWE	Global Wasted Work / Global Work Efficiency – Indici di efficienza e spreco del lavoro miocardico.
MPI/Tei	Myocardial Performance Index (o Tei index) – Rapporto tra tempi di contrazione/rilassamento isovolumetrico e tempo di eiezione; misura la funzione globale (sistolica + diastolica).
FL	Femur Length – Lunghezza del femore fetale; usata come surrogato dell'età gestazionale nelle formule di normalizzazione fetale.
GA	Gestational Age – Età gestazionale in settimane.
BPD	Biparietal Diameter – Diametro biparietale fetale; misura cefalometrica fetale.
ASE	American Society of Echocardiography – Principale società scientifica americana di ecocardiografia.
ESC/EAE	European Society of Cardiology / European Association of Echocardiography – Equivalente europeo.
WASE	World Alliance of Societies of Echocardiography – Alleanza mondiale delle società di ecocardiografia.

Termine / Acronimo	Definizione
SIECVI	Società Italiana di Ecocardiografia e CardioVascular Imaging – Società scientifica italiana.
LLN/ULN	Lower/Upper Limit of Normality – Limite inferiore e superiore della normalità.

Appendice B – Principali Fonti Scientifiche di Riferimento

Le seguenti pubblicazioni costituiscono il nucleo bibliografico delle linee guida e degli studi di riferimento implementati in EchoCardioNorm:

Linee guida internazionali – Popolazione adulta

- Lang RM et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. J Am Soc Echocardiogr. 2015;28(1):1-39.
- Devereux RB et al. Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: comparison to necropsy findings. Am J Cardiol. 1986;57(6):450-8.
- Mitchell C et al. Guidelines for Performing a Comprehensive Transthoracic Echocardiographic Examination in Adults: Recommendations from the American Society of Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr. 2019;32(1):1-64.
- Nagueh SF et al. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography. J Am Soc Echocardiogr. 2016;29(4):277-314.
- Rudski LG et al. Guidelines for the Echocardiographic Assessment of the Right Heart in Adults. J Am Soc Echocardiogr. 2010;23(7):685-713.
- Addetia K et al. WASE Normal Values. J Am Soc Echocardiogr. 2020.

Valori di riferimento pediatrici

- Cantinotti M et al. Reference ranges for two-dimensional echocardiography in children. J Am Soc Echocardiogr. 2008.
- Cantinotti M et al. Comprehensive reference ranges for right heart echocardiographic measurements in children. Circ Cardiovasc Imaging. 2010.
- Pettersen MD et al. Regression equations for calculation of z scores of cardiac structures in a large cohort of healthy infants, children, and adolescents: an echocardiographic study. J Am Soc Echocardiogr. 2008;21(8):922-934.
- Lopez L et al. Recommendations for Quantification Methods During the Performance of a Pediatric Echocardiogram. J Am Soc Echocardiogr. 2010;23(5):465-495.
- Haycock GB et al. Geometric method for measuring body surface area. J Pediatr. 1978;93(1):62-66.
- DuBois D & DuBois EF. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Arch Intern Med. 1916;17:863-871.

Strain e Myocardial Work

- Marwick TH et al. Recommendations on the Use of Echocardiography in Adult Hypertension: A Report from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. J Am Soc Echocardiogr. 2015.
- Mor-Avi V et al. Current and Evolving Echocardiographic Techniques for the Quantitative Evaluation of Cardiac Mechanics: ASE/EAE Consensus Statement. J Am Soc Echocardiogr. 2011;24(3):277-313.
- Russell K et al. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure-strain loop area: a non-invasive index of myocardial work. Eur Heart J. 2012;33(6):724-733.

Ecocardiografia fetale

- Lee W et al. Fetal echocardiography: a practical guide. Ultrasound Obstet Gynecol. 2008.
- Schneider C et al. Cardiac dimensions in premature and term neonates. Pediatr Cardiol. 2005.