

Formula CMDE 4.1 definitiva – Specifica tecnica canonica (agosto 2025)

Front Matter

Autore: Ivan Carenzi.

ORCID: 0009-0006-0108-7808.

Serie/Corpus: CMDE.

Titolo: Formula CMDE 4.1 definitiva – Specifica tecnica canonica (agosto 2025).

Tipo documento: NORMATIVO (specifica canonica).

Versione documento: agosto 2025.

Data rilascio: 2026-02-28.

Lingua: Italiano.

Stato: CANONICO.

Licenza: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

DOI Zenodo (versione): 10.5281/zenodo.18823163.

Regola di precedenza normativa

Questo documento è la fonte normativa primaria per CMDE 4.1 e prevale su qualunque documento descrittivo in caso di refusi, differenze di notazione o ambiguità tipografiche.

Sintesi operativa

La specifica definisce in forma canonica e univoca la funzione $z(t)$ della CMDE 4.1 su $t > 0$ (t in Gyr), con struttura a tre fasi e raccordo log-Hermite in $y(s) = \ln(1+z)$ e $s = \ln(t/1 \text{ Gyr})$, includendo parametri numerici, vincoli e derivate operative. È normativa per implementazioni, confronti numerici, riproduzione dei risultati e audit indipendente. Non introduce interpretazioni discorsive, né sostituisce documenti descrittivi o quadri metodologici.

Parole chiave

CMDE 4.1, redshift informazionale, metrica cosmologica, specifica canonica, funzione a tre fasi, raccordo log-Hermite, stabilità numerica, derivazione operativa, audit riproducibile, t in Gyr

Come citare

Carenzi, 2025, Formula CMDE 4.1 definitiva – Specifica tecnica canonica (agosto 2025), Versione documento: agosto 2025, Zenodo 10.5281/zenodo.18823163.

Scopo e definizione

La CMDE 4.1 definisce una metrica informazionale del redshift cosmologico tramite una funzione $z(t)$ costruita come trasformazione irreversibile dell'informazione della luce nel tempo cosmico. Il presente documento stabilisce la forma canonica unica di riferimento ("CMDE 4.1 definitiva – agosto 2025") da usare invariata in tutte le pubblicazioni, validazioni e implementazioni numeriche.

Dominio, unità, convenzioni e variabili

Dominio: $t > 0$. Unità: t espresso in Gyr (gigayears). Convenzione operativa: in tutte le formule, quando t è inserito come valore numerico, si intende che tale valore è espresso in Gyr. Variabili e costanti: t è il tempo cosmologico (in Gyr); $z(t)$ è il redshift informazionale; t_0 è la costante di riferimento (in Gyr) associata all'epoca di normalizzazione a redshift nullo, definita semanticamente dalla condizione $z(t_0) = 0$ e mantenuta identica in ogni calcolo e confronto; t_1 e t_2 sono i tempi di transizione tra le fasi; s è la variabile logaritmica adimensionale definita come $s = \ln(t/1 \text{ Gyr})$; $s_1 = \ln(t_1/1 \text{ Gyr})$ e $s_2 = \ln(t_2/1 \text{ Gyr})$; u è la variabile normalizzata di raccordo in $[0,1]$ definita come $u = (s - s_1)/(s_2 - s_1)$; $y(s)$ è la variabile ausiliaria definita come $y(s) = \ln(1 + z)$, usata per costruire il raccordo in modo regolare; $\exp(x)$ indica l'esponenziale naturale e $\ln(x)$ il logaritmo naturale. Se in documenti derivati compare la scrittura $\ln(t)$, essa va intesa come $\ln(t/1 \text{ Gyr})$ sotto la convenzione "t numerico in Gyr".

Definizione completa della funzione $z(t)$

La funzione $z(t)$ è definita a tre fasi con due transizioni t_1 e t_2 e raccordo centrale in variabile logaritmica. La definizione è a tratti come segue. Per $t < t_1$ (fase 1, iperprimordiale): $z(t) = z_1(t)$, con $z_1(t) = t^{9.31}/(1.515e-40) - 1$, intendendo t come valore numerico espresso in Gyr. Per $t_1 \leq t \leq t_2$ (fase 2, raccordo log-Hermite "dolce"): $z(t) = z_2(t)$, con $z_2(t) = \exp(y_2(s)) - 1$, dove $s = \ln(t/1 \text{ Gyr})$ e $y_2(s)$ è l'interpolazione di Hermite cubica in u che raccorda i vincoli (s_1, Y_1, M_1) e (s_2, Y_2, M_2) costruiti in $y(s) = \ln(1 + z)$. Si pone $D = s_2 - s_1$ e $u = (s - s_1)/D$, con u in $[0,1]$ nella fase intermedia. Allora $y_2(s)$ è definita da: $y_2(s) = (2u^3 - 3u^2 + 1)*Y_1 + (u^3 - 2u^2 + u)*D*M_1 + (-2u^3 + 3u^2)*Y_2 + (u^3 - u^2)*D*M_2$. I vincoli canonici sono: $M_1 = +9.31$, $M_2 = -3.2273$, $Y_1 = \ln(1 + z_1(t_1)) = 9.31*\ln(t_1/1 \text{ Gyr}) - \ln(1.515e-40)$, $Y_2 = \ln(1 + z_3(t_2)) = 3.2273*\ln(t_0/t_2)$. Per $t > t_2$ (fase 3, classica razionale): $z(t) = z_3(t)$, con $z_3(t) = (t_0/t)^{3.2273} - 1$. La costante t_0 è una costante di normalizzazione da mantenere identica in ogni implementazione e confronto per garantire coerenza tra pipeline e verifiche; operativamente t_0 deve essere dichiarato numericamente e congelato in pipeline. Si assume operativamente $t_0 > t_2$, così che la condizione $z(t_0) = 0$ ricada nella fase 3 e non introduca ambiguità nella definizione a tratti.

Espressioni intermedie

$$s = \ln(t/1 \text{ Gyr})$$

$$s_1 = \ln(t_1/1 \text{ Gyr})$$

$$s_2 = \ln(t_2/1 \text{ Gyr})$$

$$u = (s - s_1)/(s_2 - s_1)$$

$$y(s) = \ln(1 + z)$$

$$\text{In fase 2: } y(s) = y_2(s) \text{ e } z(t) = \exp(y_2(s)) - 1$$

Vincoli canonici (valori e pendenze in s):

$$Y_1 = \ln(1 + z_1(t_1)) = 9.31*\ln(t_1/1 \text{ Gyr}) - \ln(1.515e-40)$$

$$M_1 = +9.31$$

$$Y_2 = \ln(1 + z_3(t_2)) = 3.2273 * \ln(t_0/t_2)$$

$$M_2 = -3.2273$$

Proprietà matematiche

La costruzione a tre fasi con raccordo in $y(s) = \ln(1 + z)$ mediante Hermite cubica produce una funzione $z(t)$ canonica, univoca e numericamente stabile su tutto il dominio $t > 0$. La funzione è continua e derivabile secondo il requisito ufficiale adottato nella specifica canonica; il raccordo in variabile logaritmica garantisce coerenza ai bordi t_1 e t_2 imponendo in modo esplicito sia il valore sia la pendenza in s della variabile $y(s)$.

Derivate principali

Derivata prima nella fase 1 ($t < t_1$): $z_1(t) = t^{9.31}/(1.515e-40) - 1$, quindi $dz/dt = dz_1/dt = (9.31/(1.515e-40)) * t^{(9.31 - 1)} = (9.31/(1.515e-40)) * t^{8.31}$.

Derivata prima nella fase 3 ($t > t_2$): $z_3(t) = (t_0/t)^{3.2273} - 1$, quindi $dz/dt = dz_3/dt = -3.2273 * (t_0/t)^{3.2273} * (1/t) = -(3.2273/t) * (t_0/t)^{3.2273}$.

Relazione generale utile nella fase 2 ($t_1 \leq t \leq t_2$): in fase 2 vale $z(t) = \exp(y_2(s)) - 1$ con $s = \ln(t/1 \text{ Gyr})$, quindi $1 + z = \exp(y_2(s))$ e, usando $ds/dt = 1/t$, si ottiene $dz/dt = (1 + z) * (dy_2/ds) * (1/t) = ((1 + z)/t) * (dy_2/ds)$.

Derivata di $y_2(s)$ nella fase Hermite: ponendo $D = s_2 - s_1$ e ricordando che $du/ds = 1/D$, si ha $dy_2/ds = (1/D) * (dy_2/du)$. Scrittura esplicita operativa:

$$dy_2/ds = (1/(s_2 - s_1)) * [(6u^2 - 6u) * Y_1 + (3u^2 - 4u + 1) * (s_2 - s_1) * M_1 + (-6u^2 + 6u) * Y_2 + (3u^2 - 2u) * (s_2 - s_1) * M_2].$$

Derivata seconda di $y_2(s)$ nella fase Hermite (utile per controlli e stabilità numerica):

$$d^2y_2/ds^2 = (1/(s_2 - s_1)^2) * [(12u - 6) * Y_1 + (6u - 4) * (s_2 - s_1) * M_1 + (-12u + 6) * Y_2 + (6u - 2) * (s_2 - s_1) * M_2].$$

Relazione utile per d^2z/dt^2 in fase 2 (forma operativa chiusa, se necessaria): posto $f(t) = 1 + z(t) = \exp(y_2(s))$, vale $d^2z/dt^2 = (f/t^2) * ((dy_2/ds)^2 + d^2y_2/ds^2 - dy_2/ds)$, con tutte le quantità valutate in $s = \ln(t/1 \text{ Gyr})$ e $u = (s - s_1)/(s_2 - s_1)$.

Parametri numerici canonici

$$t_1 = 1e-5 \text{ Gyr}$$

$$t_2 = 1e-3 \text{ Gyr}$$

Esponente fase 1: 9.31

Costante fase 1: 1.515e-40 (in denominatore di $t^{9.31}$)

Esponente fase 3: 3.2273

Costante di riferimento: t_0 (epoca di normalizzazione simbolica in Gyr, da dichiarare numericamente e mantenere coerente in ogni utilizzo)

Pendenze canoniche in s : $M_1 = +9.31$, $M_2 = -3.2273$

Regole operative

Questa specifica è la versione canonica “CMDE 4.1 definitiva – agosto 2025” e deve essere usata invariata in tutte le pubblicazioni, nei manoscritti e nelle suite di validazione. Ogni modifica a qualunque parametro, esponente, costante o alla forma del raccordo (inclusi t_1 e t_2 o i vincoli Y_1 , M_1 ,

Y_2, M_2) richiede una nuova versione numerata e la dichiarazione esplicita della revisione, con tracciamento delle differenze rispetto alla presente specifica. La costante t_0 deve essere dichiarata esplicitamente come valore numerico (in Gyr) nell'assetto di pipeline, congelata per l'intera campagna di confronto e mantenuta identica tra implementazioni; si assume operativamente $t_0 > t_2$ per evitare ambiguità piecewise della condizione $z(t_0) = 0$.

Nessuna conclusione discorsiva

Fine specifica tecnica canonica.