

# Determinazione età e metallicità di Omega Centauri mediante l'utilizzo di dati Gaia

Elena Barausse, Lucia Emilia Saugo e Beatrice Sottoriva



## Abstract

Omega Centauri è l'ammasso globulare più luminoso osservabile dal nostro pianeta. I dati raccolti dal satellite Gaia, lanciato dall'ESA, e le isocrone generate digitalmente permettono di ricavare l'età e la metallicità di un ammasso. Attraverso la creazione di un diagramma H-R e la procedura di fitting con le isocrone, i risultati ottenuti sono un'età di 12 miliardi di anni e una metallicità di  $-1.4$ . È importante evidenziare che questi risultati non permettono una determinazione precisa di metallicità ed età complessive dell'ammasso in quanto Omega Centauri presenta una vasta popolazione di stelle originatesi in momenti diversi.





### Percorsi per le Competenze Trasversali e per l'Orientamento

I Percorsi per le Competenze Trasversali e per l'Orientamento (P.C.T.O.) hanno recentemente preso il posto dell'alternanza scuola-lavoro (A.S.L.), introdotta con la L.107/2015, nota come "Buona Scuola". Le finalità sono però rimaste sostanzialmente inalterate; l'obiettivo dichiarato è indirizzare la didattica verso un metodo di apprendimento in sintonia con le esigenze del mondo esterno. Nel fare questo coinvolge anche gli adulti, siano essi insegnanti (tutor interni) o referenti della realtà ospitante (tutor esterni).

È importante sottolineare che i partner educativi esterni non sono obbligatoriamente imprese ed aziende; possono essere, infatti, anche associazioni sportive, enti culturali e istituzionali e ordini professionali. L'obiettivo è quello di sviluppare in modo condiviso alcune esperienze coerenti alle attitudini e alle passioni degli studenti.

I percorsi realizzati durante il P.C.T.O. sono co-progettati, attuati, verificati ed opportunamente valutati sulla base di opportune convenzioni con imprese, associazioni di rappresentanza, con enti pubblici e privati, inclusi quelli del terzo settore, che siano disposti ad accogliere gli studenti per periodi di apprendimento in situazione lavorativa, che non si configurano, però, in rapporto individuale di lavoro (D.Lgs. 15/4/2005, n. 77).

### I licei

Da molti anni ormai, il mondo degli istituti tecnico-professionali si è affacciato all'esterno della scuola, investendo tempo ed energie in percorsi formativi che prevedessero collaborazioni con enti ed aziende del territorio. La novità, già presente con l'A.S.L., è l'estensione di questo tipo di formazione anche ai licei, per i quali però l'obiettivo da perseguire è anche quello di orientare gli studenti verso la prosecuzione dei loro studi. Le attività sono obbligatorie per tutti gli studenti e, nel caso dei licei, prevedono attualmente lo svolgimento di un minimo di 90 ore nell'arco del triennio.

### Chi è lo Studente RicercAttore?

È innanzitutto uno Studente che si affaccia per la prima volta nel mondo della Ricerca Scientifica e vi recita un ruolo da Attore protagonista.

Fare scienza non significa chiaramente solo studiare modelli matematici preconfezionati da altri, ma "sporcarsi le mani" raccogliendo dati ed elaborandoli al fine di ottenere delle conclusioni che confermino o smentiscano un'ipotesi preliminare di ricerca.

Come spesso accade per un ricercatore scientifico, può succedere che lo studente durante il P.C.T.O. abbia la sensazione di brancolare nel buio, faticosi a comprendere il significato dei dati in suo possesso; ma non è mai solo, lavora in equipe e collabora con altri, discute, dibatte.

Qui si innesta anche l'azione del tutor che deve riuscire a fornire una stampella in caso di necessità, senza intervenire direttamente nelle dinamiche del gruppo orientandone la ricerca; deve fornire stimoli e strumenti affinché gli studenti sviluppino durante il progetto di P.C.T.O. le necessarie competenze d'indagine, risvegliando in loro la curiosità e sostenendone la fiducia di poter capire.

Per una descrizione completa del progetto principale si prega di consultare il link:

<https://ricercatore.associazionenemesis.it/>

### Astrofisica.Mente

A partire dal 2021, però, abbiamo deciso di rinnovare il progetto, integrandolo con una sezione dedicata alla divulgazione in ambito astrofisico.

Ci sono molte ragioni che ci hanno spinto ad unificare i progetti di P.C.T.O. di stampo scientifico del nostro liceo. Una delle principali è legata al fatto che l'Associazione Nemesis, nostro partner principale, è dedicata alla memoria di Riccardo, un giovane e promettente astronomo, ex allievo del nostro liceo, prematuramente scomparso in un incidente stradale.

### In cosa consiste, in sostanza, il nostro progetto di P.C.T.O.?

Come abbiamo visto, gli studenti sono stati impegnati in un project work nel quale hanno simulato l'attività di una rivista divulgativa in ambito astronomico ed hanno scritto delle relazioni come questa, secondo un protocollo concordato assieme all'Associazione Nemesis.

### I nostri partner

Ringraziamo innanzitutto l'Associazione Nemesis, che ha tra i suoi obiettivi la diffusione della cultura scientifica nella società civile, con particolare riferimento al mondo della scuola, e che ospita nel suo sito una sezione che raccoglie i lavori preparati dagli studenti.

Un ringraziamento doveroso va alla Dottoressa Elisa Garro, dell'Università di Santiago del Cile, che ci ha guidati in questo piccolo percorso di ricerca.



## 1. Introduzione: Omega Centauri e ammassi globulari

### *1.1 Caratteristiche generali Omega Centauri*

Omega Centauri, noto anche come C 80, è l'ammasso globulare più luminoso osservabile dal nostro pianeta. Tuttavia, la sua declinazione fortemente australe di  $-47^{\circ} 29'$  non lo rende osservabile da molte regioni dell'emisfero boreale, come gran parte dell'Europa e del Nordamerica.

Si presenta come una stella di terza magnitudine, situata a nord-est della brillante costellazione della Croce del Sud e, mediante un potente telescopio amatoriale, appare come una grande macchia nebulosa, più luminosa al centro.

### *1.2 Composizione Omega Centauri*

Omega Centauri è uno degli ammassi globulari più vicini al Sistema Solare, situato ad una distanza di circa 16000 anni luce (4900 pc). È il più grande ammasso globulare conosciuto appartenente alla Via Lattea, il secondo per dimensioni dell'intero Gruppo Locale. Omega Centauri contiene milioni di stelle della Popolazione II, per una massa complessiva pari a cinque milioni di Soli. La sua magnitudine apparente è pari a circa 3,7.

La sua età stimata risulta essere di circa 12 miliardi di anni, ossia simile a quella dell'Universo stesso. Omega Centauri è l'unico ammasso globulare conosciuto che presenta una chiara dispersione nel suo contenuto di metalli e ciò confermerebbe la teoria secondo la quale Omega Centauri sarebbe il nucleo di un'antica galassia nana assorbita dalla Via Lattea.

### *1.3 Caratteristiche generali degli ammassi globulari*

Un ammasso stellare è un vasto gruppo di stelle le quali, essendo nate dalla stessa nebulosa, presentano tutte la medesima composizione chimica e sono tenute insieme da una reciproca attrazione gravitazionale. Gli ammassi stellari si dividono in due tipologie principali: gli ammassi aperti e gli ammassi globulari.

Un ammasso globulare, come Omega Centauri, è un insieme sferoidale di stelle che orbita attorno al centro di una galassia. Gli ammassi globulari sono caratterizzati al loro interno da una forte gravità, che conferisce il tipico aspetto sferico (a differenza dell'ammasso aperto che presenta una forma irregolare), e mantiene al centro una densità di stelle molto elevata.

La formazione di un ammasso globulare resta un fenomeno misterioso. Non si è ancora sicuri se le stelle appartenenti all'ammasso si siano generate in una singola generazione, o si estendano per diverse generazioni. La formazione delle stelle degli ammassi globulari avviene in regioni specifiche definite starburst.

## 2. Età e metallicità di un ammasso

### *2.1 Metallicità di un oggetto*

In astronomia, la metallicità di un oggetto è la quantità adimensionale indicante la frazione in massa di elementi di materia, diversi da idrogeno (H) o elio (He). Infatti, tutti gli elementi più pesanti dell'elio sono definiti metalli, anche se in chimica non sono definiti tali. La metallicità di un oggetto può fornire indicazioni sulla sua età. Secondo le attuali teorie cosmologiche, l'universo appena formato era costituito quasi interamente da idrogeno ed elio. All'aumentare dell'età dell'universo, avviene un arricchimento di metalli e conseguentemente ne aumenta il valore della metallicità.

Gli ammassi globulari sono normalmente costituiti da stelle con bassa metallicità, a differenza delle stelle con metallicità elevata come il Sole.

## *2.2 Età di un ammasso*

L'età di un ammasso può essere calcolata tramite l'osservazione della luminosità delle stelle più massicce dell'ammasso stesso che ancora si trovano sulla sequenza principale. Infatti, le stelle di grande massa consumano più velocemente la loro riserva di idrogeno e dunque tendono a evolversi molto rapidamente. Dunque, un ammasso che contiene molte stelle blu luminose ha un'età dell'ordine di pochi milioni di anni, mentre un ammasso caratterizzato da un elevato numero di stelle rosse è indice di un'età avanzata.

L'età di un ammasso può essere determinata anche tramite lo studio della sua velocità radiale e dalla massa complessiva delle stelle appartenenti ad esso.

## 3. La missione Gaia

Gaia è una missione del programma scientifico dell'ESA (GAIA collaboration, 2022), il cui lancio è stato effettuato il 19 dicembre 2013, che ha lo scopo di ottenere una mappa tridimensionale della nostra galassia, raccogliendo dati astrometrici di oltre un miliardo di stelle con una precisione 200 volte maggiore di quelli di Hipparcos. Grazie a questa missione, si potranno avere informazioni astrofisiche sulla luminosità nelle diverse bande spettrali che permetteranno di studiare nel dettaglio la formazione, la dinamica, la chimica e l'evoluzione della nostra galassia.

Gaia è realizzata direttamente da ESA, anche per la parte della strumentazione scientifica che consiste di due telescopi con campi di vista diversi e piano focale in comune, una serie di specchi e più di cento CCD che corrispondono a quasi un miliardo di pixel.

Il satellite scansiona costantemente tutta la galassia sfruttando i moti di rotazione e di precessione: ogni zona del cielo viene osservata circa settanta volte durante la vita operativa del satellite. La partecipazione della comunità scientifica europea alla missione prevede la responsabilità della riduzione dell'enorme mole di dati che saranno prodotti dalla missione. Tale compito viene svolto dal Data Processing and Analysis Consortium (DPAC), il consorzio di istituti di ricerca europei creato dagli scienziati europei in risposta a un Announcement of Opportunity dell'ESA.

Il contributo italiano al DPAC (13% circa) riguarda in particolare la partecipazione alla definizione e alla realizzazione delle pipeline di analisi e calibrazione dei dati e la presenza sul territorio italiano di uno dei sei Data Processing Center (DPC) previsti.

#### 4. Creazione di un diagramma H-R dell'ammasso

##### *4.1 Procedimento*

Considerata la vicinanza e le imponenti dimensioni di Omega Centauri la scelta del raggio di ricerca delle stelle appartenenti all'ammasso effettuata è 25 arcmin (Figura 1.1).

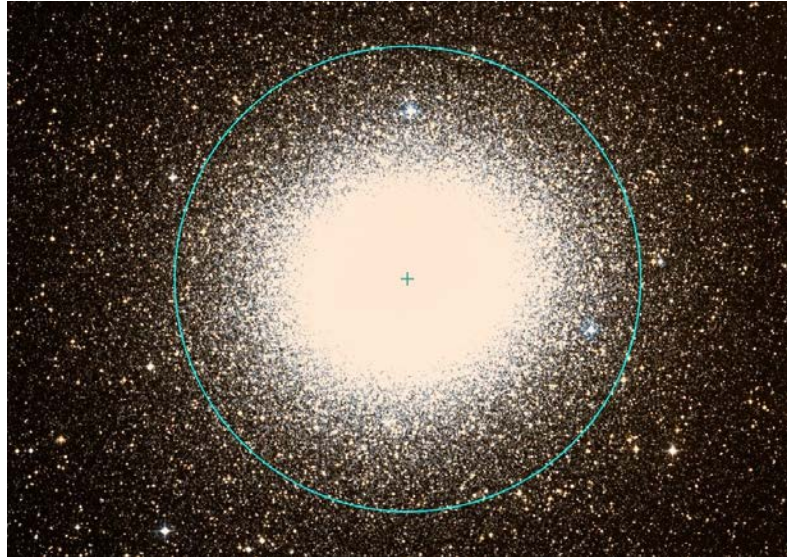


Figura 1.1 - Definizione del raggio di ricerca delle stelle appartenenti all'ammasso (da Aladin sky atlas)

Tramite il portale Gaia (Gaia Portal DR3, 2022) si ottiene un catalogo con i dati necessari alla creazione dei grafici: ascensione retta, declinazione, parallasse, moto proprio della ascensione retta, moto proprio della declinazione, magnitudine apparente in bande Gaia e sistemi fotometrici in bande Gaia.

Prima di tutto, si attua la creazione di un grafico che mostri la distribuzione delle stelle nello spazio (Figura 1.2) attraverso l'ascensione retta (ascissa) e la declinazione (ordinata). Al centro del grafico si evidenzia una zona con maggiore densità che è quella in cui si concentrano le stelle dell'ammasso.

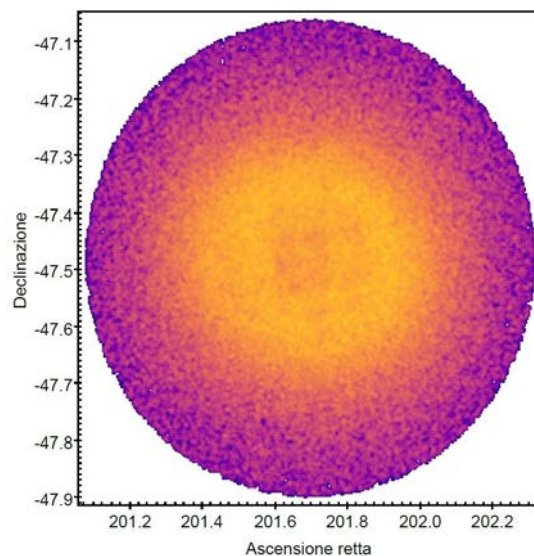


Figura 1.2 - Grafico distribuzione delle stelle nello spazio

Successivamente si crea un grafico che mostri il moto proprio delle stelle (Figura 1.3) con il moto proprio dell'ascensione retta nelle ascisse e il moto proprio della declinazione nelle ordinate (entrambi gli assi hanno come unità di misura milliarcsec/anno). Questo grafico permette di individuare quali sono le stelle che hanno un moto proprio simile e che dunque si muovono di un moto comune in quanto appartenenti allo stesso ammasso.

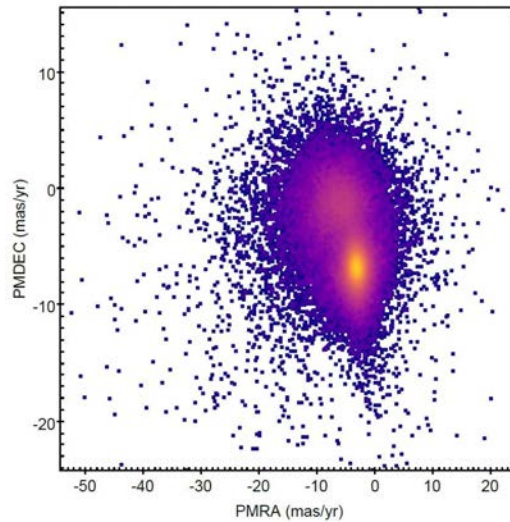


Figura 1.3 - Grafico moto proprio delle stelle

Infine, si crea il diagramma H-R (Figura 1.4) con un sistema fotometrico in bande Gaia (BP-RP) nelle ascisse e la magnitudine apparente in bande Gaia nelle ordinate. Questo grafico serve a determinare le varie sequenze delle stelle appartenenti all'ammasso e soprattutto l'età e la metallicità che verrà ricavata successivamente attraverso le isocrone.

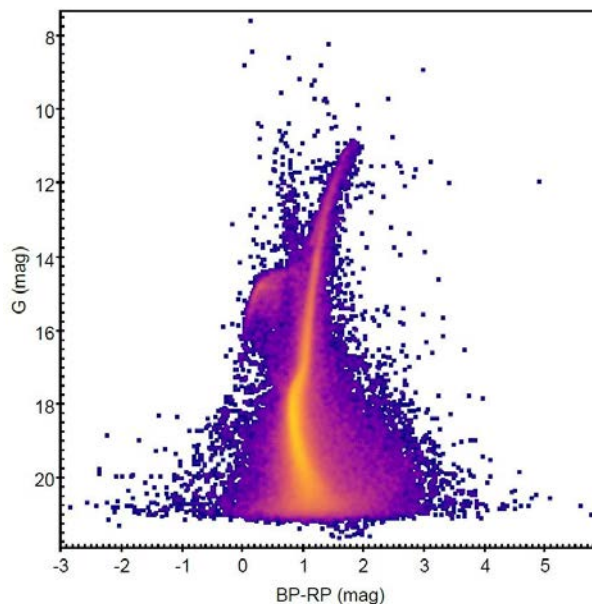


Figura 1.4 - Diagramma H-R in bande Gaia

A partire da questi grafici si attuano delle selezioni per poter lavorare principalmente sulle stelle dell'ammasso. La selezione di elementi fatta inizialmente per ottenere il catalogo include infatti anche i dati di stelle non appartenenti all'ammasso che quindi è necessario eliminare.

La prima selezione è quella per parallasse: si considerano solamente le stelle che hanno una parallasse massimo di 0.5 in modo da mantenere quelle più lontane da noi e che quindi appartengono all'ammasso.

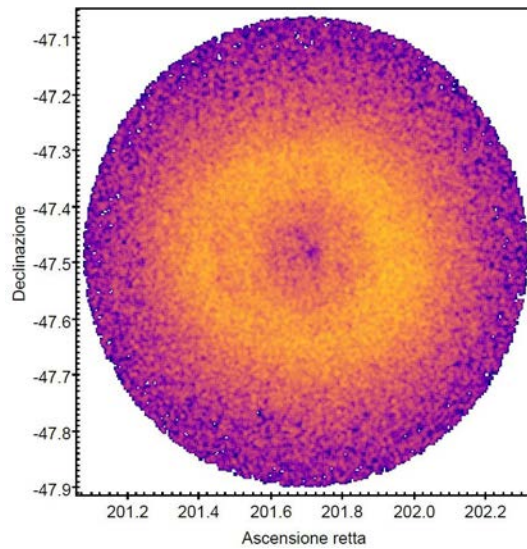


Figura 1.5 - Grafico distribuzione delle stelle nello spazio dopo la selezione della parallasse

La seconda selezione è quella per posizione. Si mantengono solo le stelle presenti nella zona con maggiore densità nel grafico di distribuzione delle stelle (Figura 1.6), che quindi sono effettivamente appartenenti all'ammasso in base alla loro posizione.

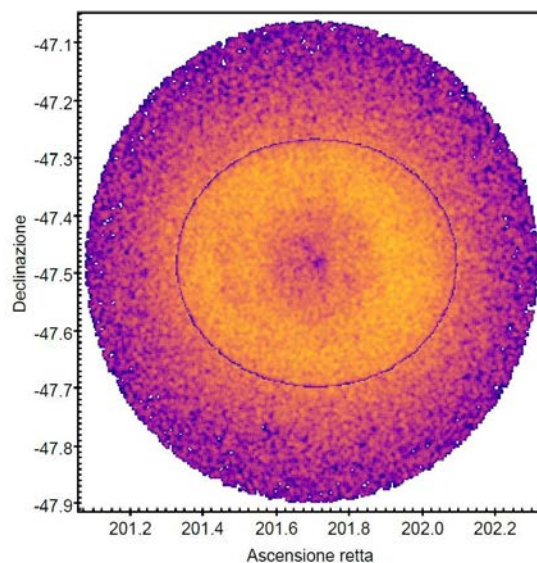


Figura 1.6 - Grafico distribuzione delle stelle nello spazio con selezione delle stelle a maggiore densità

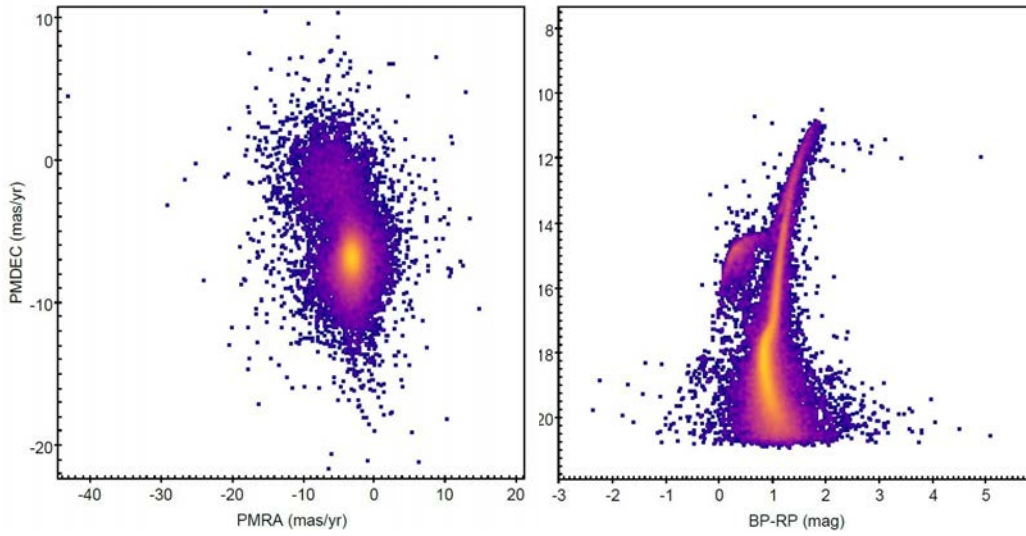


Figura 1.7 - Grafico moto proprio e diagramma H-R dopo la selezione

La terza e ultima selezione è quella del moto proprio: vengono selezionate ulteriormente solo stelle appartenenti all'ammasso in quanto aventi lo stesso vettore velocità. Per attuare questa selezione si considera la zona a maggiore densità del grafico del moto proprio.

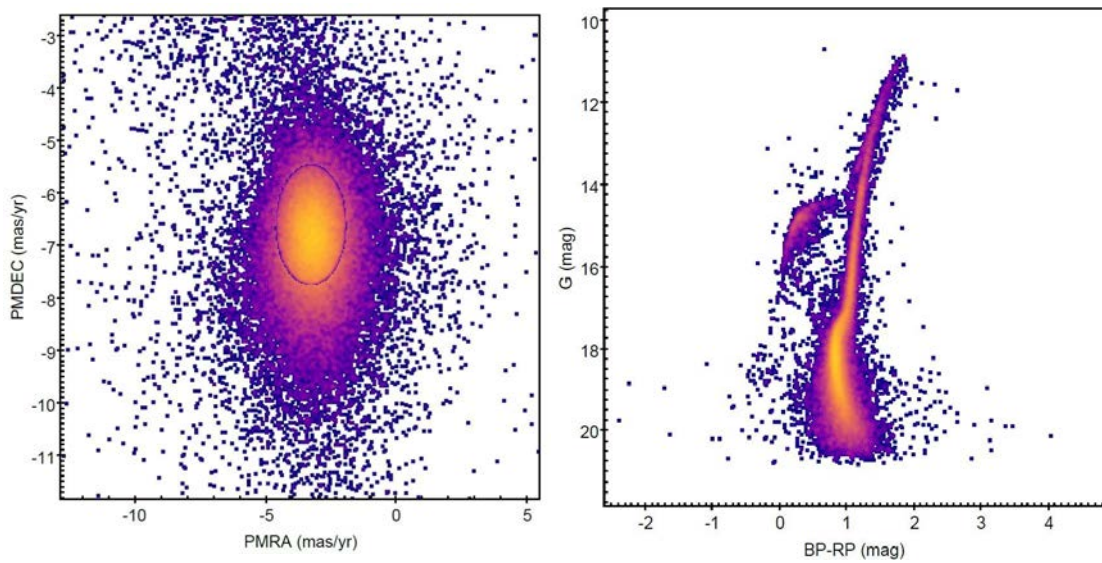


Figura 1.8 - Grafico moto proprio con selezione e diagramma H-R dopo la selezione

Successivamente si passa alla procedura di fitting dell'isocrona che richiede il calcolo di arrossamento ed estinzione. Essi sono le conseguenze della presenza di polveri tra l'oggetto osservato e l'osservatore che vanno a modificare lo spettro originale della sorgente causando un assorbimento e una dispersione della radiazione elettromagnetica che viene emessa.

L'arrossamento in bande Gaia per il sistema fotometrico BP-RP è 0,167497, mentre l'estinzione in bande Gaia è 0,33499. Sovrapponendo l'isocrona al diagramma H-R di Omega Centauri dobbiamo quindi attuare delle correzioni in quanto l'isocrona è un dato prodotto basandosi su un modello e che quindi non presenta le modificazioni che invece si presentano nella realtà. Nelle ascisse il sistema fotometrico viene corretto aggiungendo l'arrossamento in bande Gaia E(BP-RP), mentre la magnitudine apparente viene corretta aggiungendo l'estinzione in bande Gaia  $A_g$  e il modulo di distanza dell'ammasso DM.

$$A_v = 0,389 \mid E(B-V) = 0,125483 \mid A_g = 0,33499 \mid E(BP-RP) = 0,167497 \mid DM = 13,58$$

$$X: (G\_BPmag - G\_RPmag) + E(BP-RP) \rightarrow (G\_BPmag - G\_RPmag) + 0,167497$$

$$Y: G_{mag} + A_g + DM \rightarrow G_{mag} + 0,33499 + 13,58$$

#### 4.2 I risultati

L'isocrona viene generata mediante il sito 'CMD 3.6 input form' (Bressan et al, 2012), un'interfaccia web che permette di generare isocrone stellari e derivati a partire da diversi parametri tra cui età e metallicità. Dopo diverse prove, la migliore isocrona ottenuta (Figura 2.1) è quella creata con un'età di 12 miliardi di anni e una metallicità di -1.4.

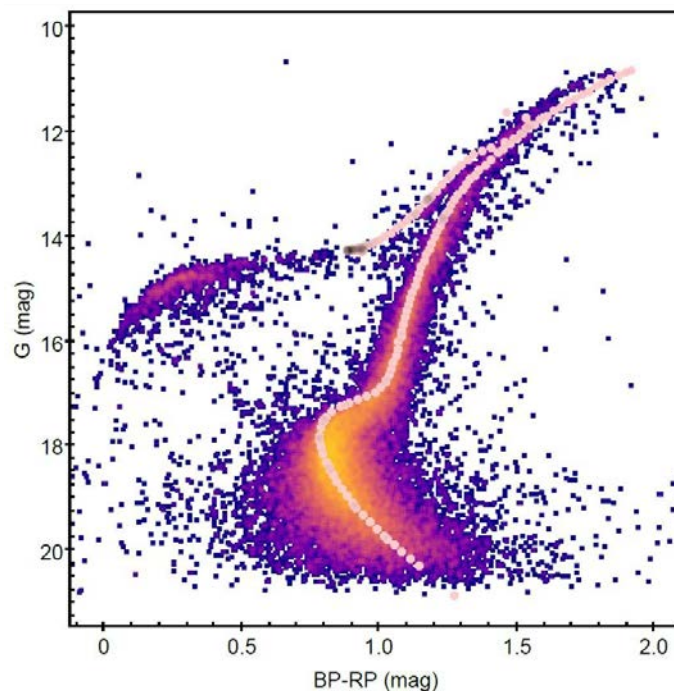


Figura 2.1 - Diagramma H-R con la migliore isocrona trovata (con modifiche di estinzione e arrossamento)

Tra le varie prove effettuate sono stati considerati come valori per generare l'isocrona anche 13 miliardi di anni d'età e metallicità -1.7 che sono i dati più diffusi riguardo all'ammasso. Nel grafico si può notare che la curva tende ad essere leggermente spostata verso l'alto rispetto alla precedente e quindi non pienamente corrispondente.

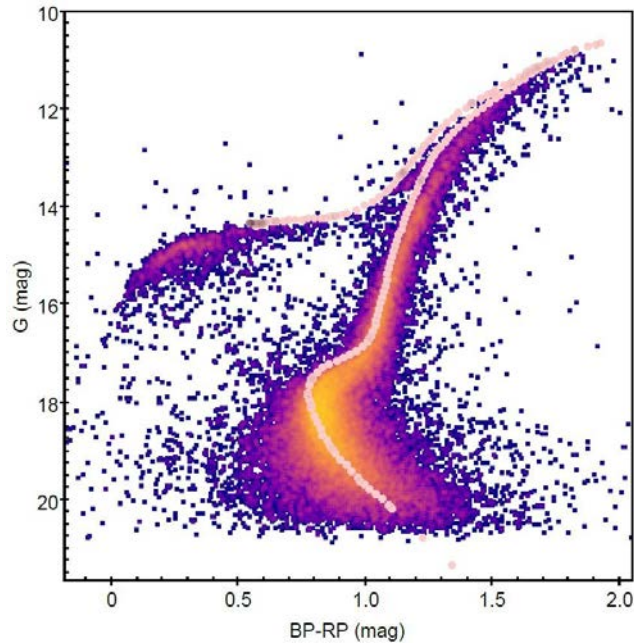


Figura 2.2 - Diagramma H-R con una delle isocrone considerate (con modifiche di estinzione e arrossamento)

Si può quindi concludere che l'età dell'ammasso si aggira attorno ai 12 miliardi di anni e la sua metallicità è -1.4. Resta comunque difficile poter definire un'età e una metallicità complessiva dell'ammasso in quanto Omega Centauri è un ammasso di dimensioni notevoli con stelle che si sono originate in momenti diversi e che presentano diverse metallicità.

### 5. Confronto con i dati presenti in letteratura

Tra le varie ricerche presenti in letteratura, il valore della metallicità di Omega Centauri misurato è  $[Fe/H] = -1.4$  nella ricerca di Arumalla B. S. Reddy, 2020. È importante considerare che, a differenza di molti altri ammassi globulari, le stelle in Omega Centauri dimostrino diverse età e metallicità quindi è difficile indicare un valore complessivo per l'ammasso.

## 6. Acknowledgements

This research has made use of "Aladin sky atlas" developed at CDS, Strasbourg Observatory, France (<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2014ASPC..485..277B/abstract>)

Gaia Collaboration, Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., et al., 2021, A&A, 694, 1

This work has made use of data from the European Space Agency (ESA) mission Gaia (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), processed by the Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). Funding for the DPAC has been provided by national institutions, in particular the institutions participating in the Gaia Multilateral Agreement.

## 7. Riferimenti bibliografici e sitografia

Harris, 1996 (2010 edition)

Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L, et al, 2012, MNRAS 427, 127.

Arumalla B. S. Reddy, 2020, MNRAS, Volume 495, Issue 1, Pages 383–401

### *Image credits*

Cover image - ESO (<https://www.eso.org/public/images/eso0844a/>)

Il logo del progetto è stato ottenuto rielaborando le seguenti immagini:

<https://pixabay.com/it/vectors/astronomo-telescopio-amatoriale-154978/>

<https://pixabay.com/it/photos/via-lattea-stelle-cielo-notturno-2695569/>



Gruppo formato da: Elena Barausse, Lucia Emilia Saugo e Beatrice Sottoriva

Tutor scolastico: Leopoldina Moro

Progetto realizzato in collaborazione con l'Associazione Nemesis

Tutor Aziendale: dott.ssa Borriero Sonia

Editing in collaborazione con l'Associazione Nemesis

