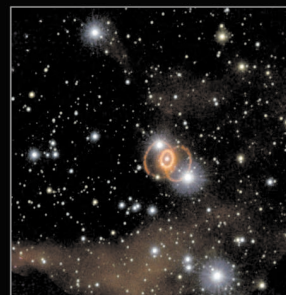


# GLI ESERCIZI DI ASTRONOMIA

Esercizi di astronomia per studenti delle scuole superiori basati su osservazioni effettuate con il telescopio spaziale Hubble NASA/ESA ed i telescopi dell'ESO

a cura di

**ESA/ESO**



Esercizio



## Misurare la Distanza della Supernova 1987A

Basato su Osservazioni realizzate con il Telescopio Spaziale Hubble NASA/ESA





# Indice

## Gli esercizi di astronomia a cura di ESA/ESO — 1

### Prefazione

- Prefazione ..... pagina 2

### Introduzione

- Le Supernovæ..... pagina 3
- La Supernova 1987A ..... pagina 4
- La distanza della Grande Nube di Magellano ..... pagina 4
- L'anello..... pagina 5

### Quesiti

- Quesito 1 ..... pagina 7
- Quesito 2 ..... pagina 7
- Quesito 3 ..... pagina 9
- Quesito 4 ..... pagina 9
- Quesito 5 ..... pagina 10
- Quesito 6 ..... pagina 12

### Altre letture

- Articoli scientifici ..... pagina 13

### Guida per l'insegnante

- Guida per l'insegnante ..... pagina 15



## Prefazione

Gli esercizi di astronomia a cura di ESA/ESO — 1

### Misurare la Distanza della Supernova 1987A

L'astronomia è considerata generalmente una scienza visuale ed accessibile, ideale quindi per scopi didattici. Nel corso degli ultimi anni, il telescopio spaziale Hubble della NASA e dell'ESA ed i telescopi dell'ESO a La Silla e Paranal in Cile hanno mostrato panorami dell'Universo sempre più profondi e spettacolari. Hubble ed i telescopi dell'ESO non hanno fornito soltanto immagini sorprendentemente nuove, ma costituiscono soprattutto strumenti preziosi per gli astronomi. I telescopi hanno un'eccellente risoluzione sia spaziale che angolare (nitidezza d'immagine) e permettono di scrutare l'Universo più a fondo di quanto sia mai stato possibile e, dunque, trovare le risposte a questioni da lungo tempo insolute. Le analisi di tali osservazioni, spesso sofisticate nel dettaglio, sono in alcuni casi sufficientemente semplici, in linea di principio, da offrire agli studenti della scuola secondaria l'opportunità di ripeterle da soli.

Questa serie di esercizi è stata prodotta dall'ESA (European Space Agency), partner europeo del progetto Hubble che ha accesso al 15% del tempo di osservazione, in collaborazione con l'ESO (European Southern Observatory).



**Figura 1: Il Telescopio Spaziale Hubble NASA/ESA**

*Il Telescopio Spaziale Hubble NASA/ESA, in orbita attorno alla Terra ci ha offerto spettacolari visioni dell'Universo.*



## Introduzione

**S**N 1987A è il nome di una famosa supernova. La prima parte del suo nome si riferisce al tipo di evento (una supernova), quindi l'anno in cui è stata osservata (1987) ed infine la lettera A indica che si tratta della prima supernova scoperta in quell'anno.

### Le Supernovæ

Una supernova è una enorme esplosione provocata dalla morte di alcuni tipi di stelle. Vi sono principalmente due tipi di supernovæ, ma qui noi tratteremo soltanto le cosiddette supernovæ di Tipo II, ovvero stelle massicce che terminano la loro vita in un modo molto spettacolare. Come per la SN 1987A, che è stata appunto l'esplosione di una stella molto massiccia.

Una stella massiccia (tipicamente più di 5 volte la massa solare) può terminare la sua esistenza in un'esplosione dopo un paio di milioni di anni. Durante l'esplosione la maggior parte del mate-

riale stellare viene espulso violentemente nello spazio. La velocità con cui viene espulso può raggiungere i  $10^7$  m/s (il 3% della velocità della luce). Il guscio di detriti che si espande rimane visibile nello spazio tra le stelle per migliaia di anni prima che si disperda nel mezzo interstellare, lasciando visibili residui noti come "resti di supernova". La parte centrale della stella, dentro la nuvola circostante, è compressa fino a diventare una stella di neutroni.

Tutte le supernovæ sono molto luminose con una luminosità equivalente a quella emessa da circa un miliardo di Soli. Si presume che siano gli oggetti più luminosi dell'intero Universo. Pertanto sono visibili anche a grandi distanze. Comunque, vi sono solo poche supernovæ: difatti il cielo non è continuamente illuminato da queste luminose e spettacolari stelle morenti. Il

#### **Figura 2: La Grande Nube di Magellano (LMC)**

La LMC è una piccola galassia irregolare, una delle galassie più vicine alla Via Lattea. Contiene molte stelle, polveri e gas ed è brulicante di stelle in formazione. La SN 1987A è apparsa nella LMC.

Questa immagine è stata ottenuta dal telescopio Schmidt dell'ESO a La Silla.





## Introduzione



**Figura 3: Nel cielo appare la SN 1987A**

Nell'immagine a sinistra si può vedere la Nebulosa Tarantola dopo l'esplosione della supernova. Una freccia indica la supernova. L'immagine a destra mostra la stessa nebulosa nella LMC prima dell'esplosione della SN 1987A avvenuta il 23 febbraio 1987.

Introduzione

tasso con il quale una supernova compare in una galassia è stimato intorno ad un paio ogni cento anni.

### Supernova 1987A

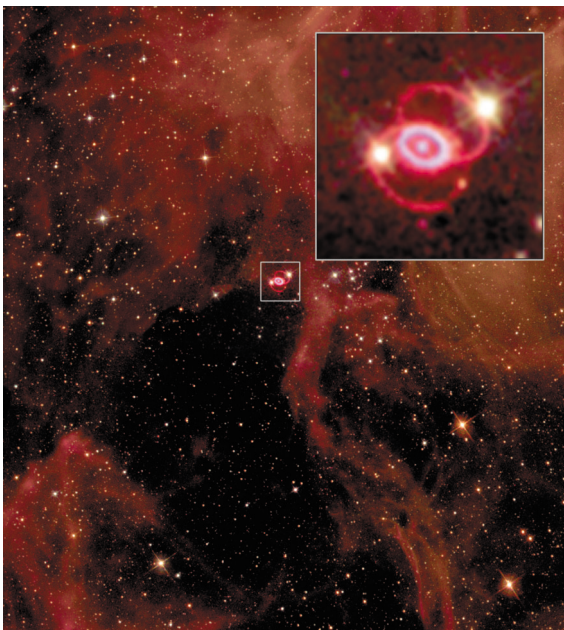
Il 23 febbraio 1987 una supernova visibile ad occhio nudo è apparsa nella Grande Nube di Ma-

gellano. Questo è stato uno dei più eccitanti eventi nella storia dell'Astronomia moderna soprattutto perché avvenuto nella Grande Nube di Magellano che è una delle galassie più vicine alla Via Lattea. SN 1987A è stata la prima supernova visibile ad occhio nudo dopo circa 400 anni.

### La distanza della Grande Nube di Magellano

Determinare le distanze degli oggetti dell'Universo è uno dei fondamentali problemi da affrontare in Astronomia. Una misura accurata della distanza della supernova 1987A, situata dentro la Grande Nube di Magellano (LMC) può essere usata per determinare la distanza della stessa LMC.

Tutte le stelle della LMC sono approssimativa-



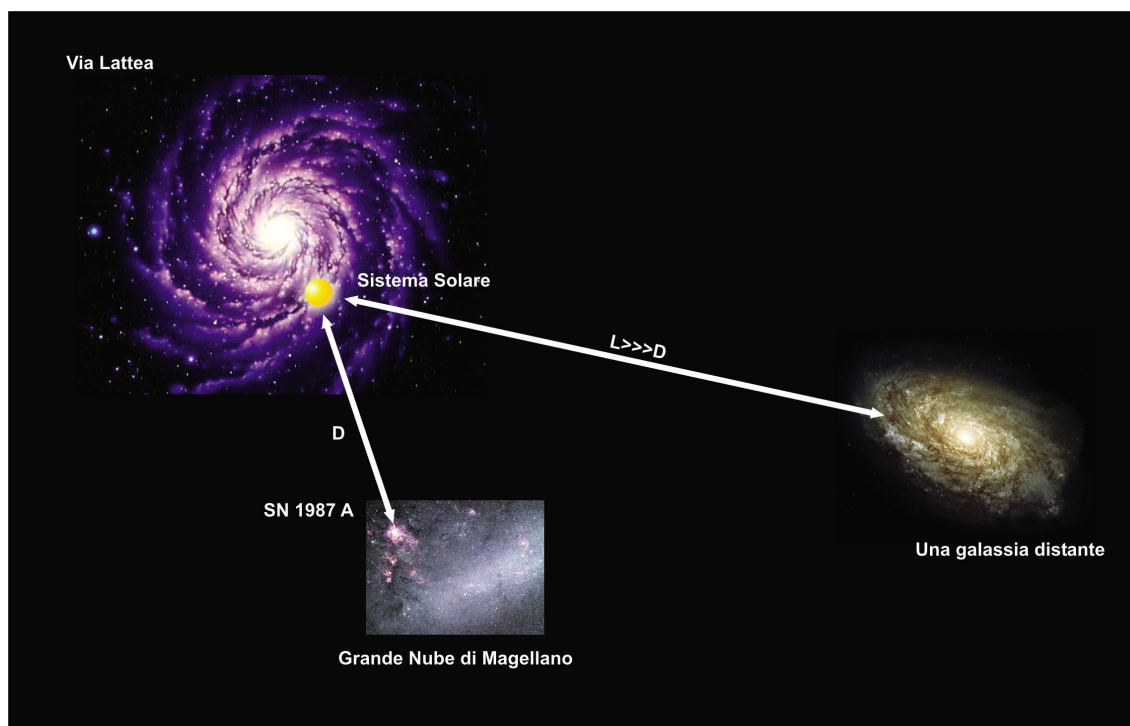
**Figura 4: La Supernova 1987A**

SN 1987A nel centro della foto (ingrandita nel riquadro) ha lasciato un residuo di tre anelli di gas incandescente nella LMC. In questo esercizio ci occuperemo dell'anello centrale per misurare la distanza della supernova e quindi della LMC.

Molte giovani stelle blu – 12 milioni di anni – sono state osservate in quest'area così come gas e polveri (in rosso scuro). Questo mostra che la regione attorno alla supernova è ancora un terreno fertile per nuove stelle.



## Introduzione



**Figura 5: Misurare la distanza tra galassie**

Riuscendo a misurare accuratamente la distanza della LMC sarà possibile misurare con maggiore precisione anche la distanza di galassie più remote.

mente alla stessa distanza da noi. Se noi misuriamo la distanza della SN 1987A,  $D$ , troviamo contemporaneamente la distanza di tutti gli altri tipi di stelle che si trovano nella LMC. Alcuni altri tipi di oggetti che si possono trovare sia nella LMC che in altre galassie più remote possono essere usati come "indicatori di distanze", quindi una misura precisa della LMC può aiutarci anche a determinare con maggiore precisione la distanza di galassie molto più distanti.

### L'anello

La prima immagine della SN 1987A raccolta dal telescopio spaziale Hubble è stata realizzata dall'ESA utilizzando una telecamera adatta per oggetti deboli (Faint Object Camera) 1278 giorni dopo l'esplosione. Il telescopio spaziale Hubble è stato collocato in orbita ed è diventato operativo nel 1990, perciò non è stato

possibile raccogliere immagini prima di allora. Oltre ad essere di straordinario interesse intrinseco, la SN 1987A ha messo alla prova la pur alta risoluzione di Hubble. Le immagini della SN 1987A mostrano tre nebulosità circolari che circondano la supernova — un anello interno e due anelli esterni.

In questo esercizio noi studieremo soltanto l'anello più interno. L'anello è troppo distante dalla supernova per essere costituito da materiale espulso nell'esplosione, quindi si presume che sia stato creato precedentemente, probabilmente come materiale espulso dalla stella morente, e poi sia stato trasportato dal vento stellare durante l'ultimo paio di migliaia di anni della sua vita. Non è chiaro come il materiale sia stato raccolto e abbia formato questo anello sottile ben visibile, ma è evidente che il materiale dell'anello, una volta formato, si sia rapidamente illuminato quando è stato



## Introduzione

investito dai raggi ultravioletti provenienti dalla SN 1987A.

È fondamentale capire che l'anello era presente prima che la stella divenisse una supernova. Presumiamo ora che sia un cerchio perfetto, inclinato di un certo angolo rispetto alla linea che congiunge noi alla supernova, in tal modo ciò che si vede dalla Terra è un'ellisse. Se l'anello si trovasse perfettamente perpendicolare alla linea di osservazione allora lo avremmo visto illuminarsi simultaneamente in tutte le sue parti non appena il lampo di luce proveniente dalla supernova avesse raggiunto la sua superficie. Comunque, poiché l'anello è inclinato, il bordo più vicino all'osservatore sembra illuminarsi prima (a causa del fatto che la velocità della luce è finita), e poi la luce sembra continuare la sua corsa attorno all'anello illuminando le parti più lontane (vedi figura 6). Nota che l'intero anello viene illuminato nello stesso istante, ma dalla Terra noi vediamo il bordo più vicino illuminarsi prima. Da quell'istante il gas continua a brillare e solo dopo che il lampo di luce lo ha investito, la luminosità tende a smorzarsi lentamente. La luce totale emessa dall'anello raggiunge così il massimo soltanto quando l'intera circonferenza è stata illuminata.

Tutto ciò può essere usato per calcolare la distanza della SN 1987A.

Le domande poste nei seguenti quesiti ti prepareranno al calcolo della distanza della supernova, usando la grandezza angolare dell'anello ed una curva di luce che mostra l'evoluzione della luminosità rispetto al tempo dopo l'esplosione.

### Figura 6: L'anello si illumina

Come mostra questa sequenza, la luce proveniente dalla SN 1987A raggiunge l'anello di materia che la circonda e lo illumina. L'anello raggiunge un massimo di luminosità circa 400 giorni dopo lo scoppio. Notiamo che, anche se la luce raggiunge contemporaneamente tutte le parti dell'anello, noi vediamo illuminarsi prima quelle più vicine (dovuto al fatto che la velocità della luce è finita). Misurando questo intervallo di tempo è possibile ricavare la distanza della SN 1987A. Queste immagini sono state catturate da una animazione realizzata dalla NASA.







## Quesiti

### Quesito 1

Il primo obiettivo è calcolare il diametro angolare dell'anello, cioè il diametro apparente dell'anello (in arcosecondi) osservato dalla Terra. Questo è l'angolo  $\alpha$ .

In questa tabella sono indicate le posizioni relative (con le loro separazioni angolari in arcsec) delle stelle 1, 2 e 3 (Figura 8, pagina 8).

- Usa questi valori, insieme a misure dirette, per determinare la scala di grandezza di questa immagine (in arcsec per millimetro sulla pagina).

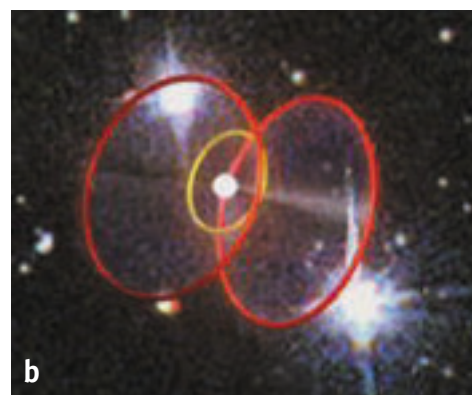
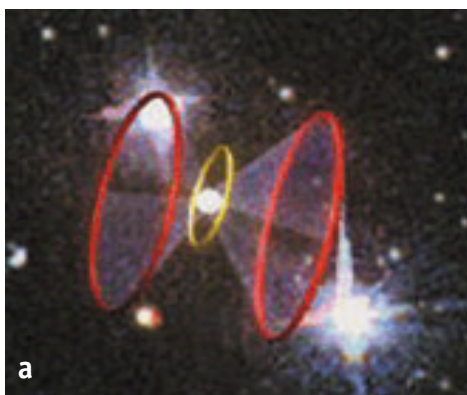
### Quesito 2

L'anello attorno alla SN 1987A è assunto come perfettamente circolare, il fatto che appaia ellittico è dovuto alla sua inclinazione (relativamente al piano del cielo — il piano che è perpendicolare alla nostra linea di osservazione della supernova)

- Puoi misurare il diametro angolare dell'anello nell'immagine senza conoscere la sua inclinazione. Troverai chi ti dirà che questa asserzione è banalmente ovvia, mentre qualcun altro ti chiederà di dimostrargli che ciò sia vero. Spiega perché l'affermazione è corretta. Guarda la figura 6 se è necessario.

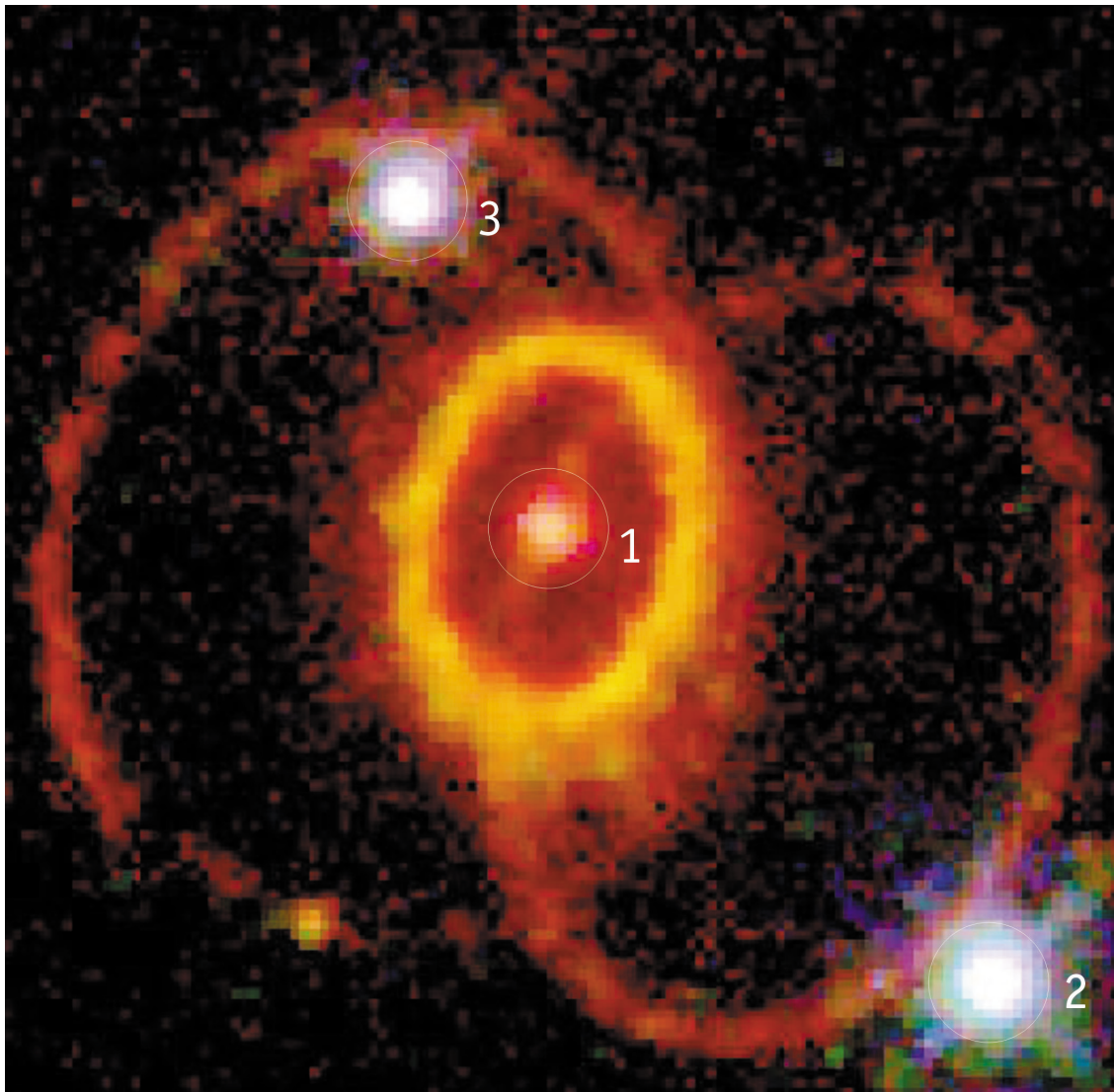
- Misura il diametro dell'anello in figura 8 e converti la risposta in radianti usando il fattore di conversione che hai trovato nel primo quesito e le informazioni presenti negli Strumenti matematici.

	Distanza (mm)	Distanza (arcsecondi)	Scala (arcsecondi/mm)
Stella 2 relativamente alla stella 1:		3,0	
Stella 3 relativamente alla stella 1:		1,4	
Stella 3 relativamente alla stella 2:		4,3	



**Figura 7: Gli anelli**

Se potessimo vedere SN 1987A da un angolo differente vedremmo tre anelli circolari con la SN 1987A al centro del più piccolo e i due più grandi su piani paralleli (Figura 7a). Comunque, dal punto di vista di Hubble i tre anelli appaiono sovrapposti sullo stesso piano (Figura 7b). (cortesia di ST ScI/NASA).



**Figura 8: Le stelle attorno alla Supernova 1987A**

Questa immagine è stata ripresa nel Febbraio del 1994 con la Macchina Fotografica Planetaria ad ampio campo (WFPC2). WFPC2 ha prodotto la maggior parte della meravigliose immagini di Hubble che sono state realizzate per la pubblica distribuzione durante gli anni. La sua risoluzione e l'eccellente qualità sono alcune delle ragioni per cui la WFPC2 è stata lo strumento più utilizzato durante i 10 anni di vita di Hubble. Il filtro usato per realizzare questa foto lascia passare la luce rossa emessa dall'idrogeno (la linea di emissione Balmer- $\alpha$ ).



## Quesiti

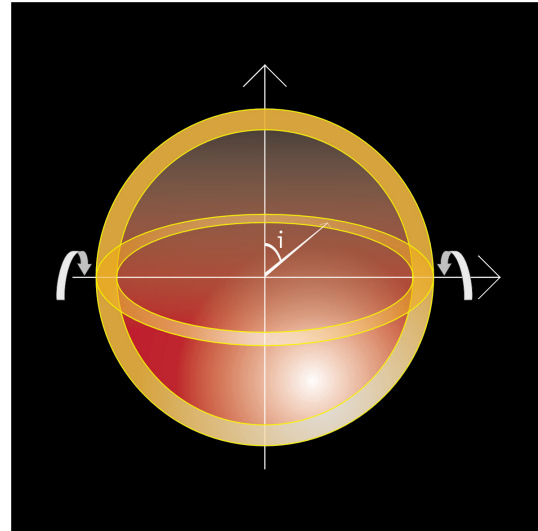
### Figura 9: L'angolo di inclinazione

Un angolo di inclinazione,  $i$ , descrive la pendenza di un oggetto, ad es. un anello, rispetto al piano del cielo.

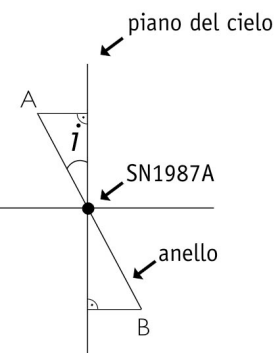
### Quesito 3

L'angolo di inclinazione è chiamato  $i$ . Se  $i = 0^\circ$  o  $i = 180^\circ$  noi vediamo un cerchio, se  $i = 90^\circ$ , vediamo una linea. Per ogni altro valore di  $i$  compreso tra  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , vediamo un'ellisse.

- ?
- Come puoi determinare  $i$  dalla misura dell'asse maggiore e minore dell'ellisse? Le figure 9 e 10 potrebbero aiutarti per ricavare questa relazione.



Osservatore



### Figura 10: Determinare l'angolo di inclinazione, $i$

Immagina di osservare il sistema lateralmente, vedrai l'anello con un angolo di inclinazione,  $i$ , rispetto al piano del cielo (questo piano è perpendicolare alla linea visuale dell'osservatore).

L'angolo di inclinazione può essere ricavato da una semplice relazione tra l'asse minore e l'asse maggiore dell'ellisse osservata. Sono indicate la parte più vicina, A, e la più lontana, B, dell'anello.

- ?
- Misura il diametro angolare maggiore e quello minore dell'ellisse e calcola l'angolo di inclinazione,  $i$ , usando la relazione appena trovata.

### Quesito 4

Fin ad ora abbiamo trovato soltanto il diametro angolare dell'anello e la sua inclinazione. Per determinare la distanza dobbiamo ancora ricavare il diametro reale nel piano del cielo,  $d$ .

La chiave per trovare il diametro reale dell'anello è la nostra conoscenza della velocità della luce.

Quando la supernova esplose, emise un luminosissimo lampo di luce. Questo lampo si espanse nello spazio circostante alla velocità della luce,  $c$ . Dopo un certo tempo,  $t$  secondi dopo l'esplosione, il lampo illuminò l'anello. Poiché abbiamo assunto che l'anello sia circolare, dovremmo anche assumere che il suo centro coincida con quello della supernova, quindi, se potessimo osservare il fenomeno dalla supernova, vedremmo tutte le parti dell'anello illuminarsi simultaneamente.

Consideriamo come questo stesso fenomeno appare dalla Terra. Benché tutte le parti dell'anello "vedono"



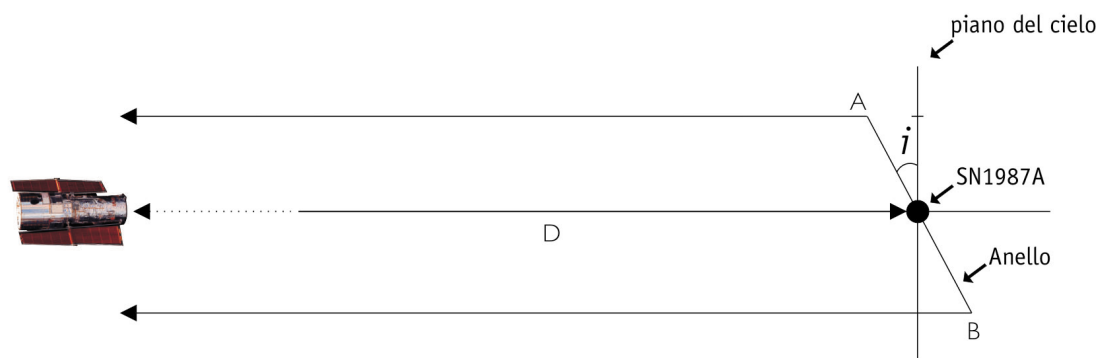
## Quesiti

il lampo della supernova allo stesso tempo, noi non vediamo l'intero anello illuminarsi contemporaneamente a causa della sua inclinazione. La parte dell'anello che è inclinata verso noi sembrerà illuminarsi prima poiché la luce da quel punto per raggiungere la Terra compirà un percorso più breve. Soltanto quando l'intero anello, visto dalla Terra, sarà illuminato allora la curva di luce avrà raggiunto il suo massimo. La distanza tra il più vicino ed il più lontano dei punti dell'anello può essere calcolata individuando questi eventi nel grafico rappresentante la curva di luce e considerando il tempo trascorso. Dunque l'intervallo di tempo è determinato a partire da quando vediamo il disco illuminarsi per la prima volta fino a quando la curva di luce avrà raggiunto il suo massimo. Questo intervallo di tempo è strettamente connesso con la distanza tra il più vicino ed il più lontano punto dell'anello. La curva di luce dell'anello della SN 1987A è mostrata in figura 12.

- ❓ Misura il tempo  $t$  dalla curva di luce dell'anello della SN 1987A.
- ❓ Se l'angolo di inclinazione fosse stato di 90 gradi, sarebbe stato più semplice legare questo tempo al diametro dell'anello — perché?

### Quesito 5

Per eseguire il prossimo calcolo abbiamo bisogno di un'altra approssimazione (vedi Figura 13a e 13b). Dobbiamo assumere che le linee che connettono la Terra ai punti A e B (il più lontano ed il più vicino



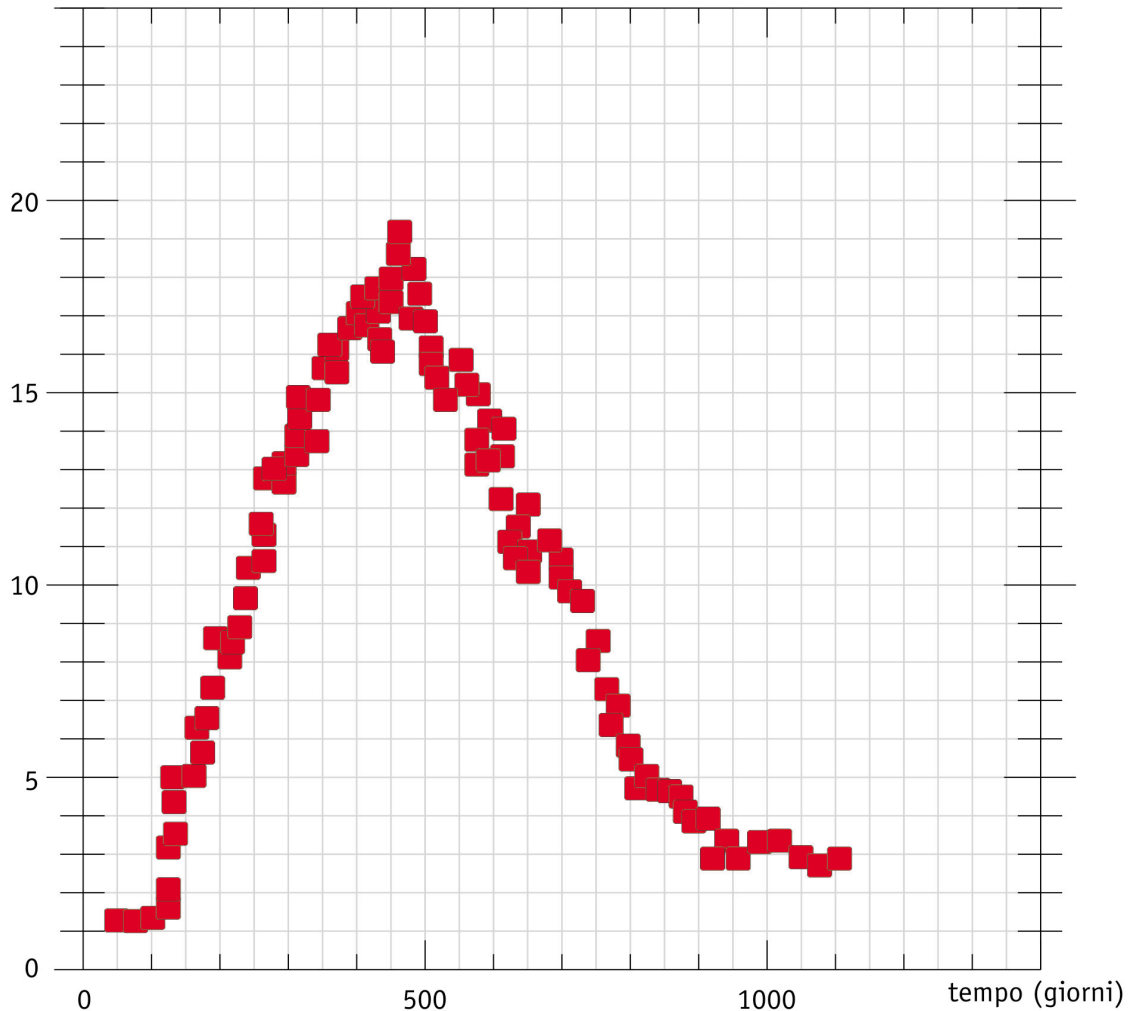
**Figura 11: Il percorso della luce**

Il lampo di luce proveniente dalla SN1987A colpisce l'intero anello allo stesso tempo. Così la parte più vicina, A, e la più lontana, B, sono illuminate contemporaneamente ed allo stesso tempo inviano i segnali luminosi all'osservatore sulla Terra. La luce emessa da B deve percorrere un cammino più lungo a causa dell'inclinazione dell'anello.



## Quesiti

Intensità (unità arbitrarie)



**Figura 12: Curva di luce per l'anello**

In questa figura vengono mostrate le misure effettuate della luce totale proveniente dall'anello rispetto al tempo trascorso dall'esplosione. L'intensità totale dell'anello inizia ad aumentare poiché inizia ad arrivarci la luce emessa dalle zone dell'anello a noi più vicine. Quando l'anello è completamente illuminato la curva di luce raggiunge il suo massimo. Queste misure sono state effettuate dall'International Ultraviolet Explorer che è un altro osservatorio spaziale.

dell'anello alla Terra) siano paralleli. Questa assunzione è valida se  $a$ , il diametro angolare dell'anello, è molto piccolo rispetto alla distanza  $D$ . In questo modo gli angoli  $i$  e  $j$  potranno essere ritenuti uguali.

? Guarda il diagramma (Figura 13) ed usalo per trovare una relazione tra:

1. La differenza tra la distanza percorsa dalla luce proveniente dal punto più vicino sull'anello, A, ed il punto più distante, B. Chiamiamo questa distanza  $d_p$ .

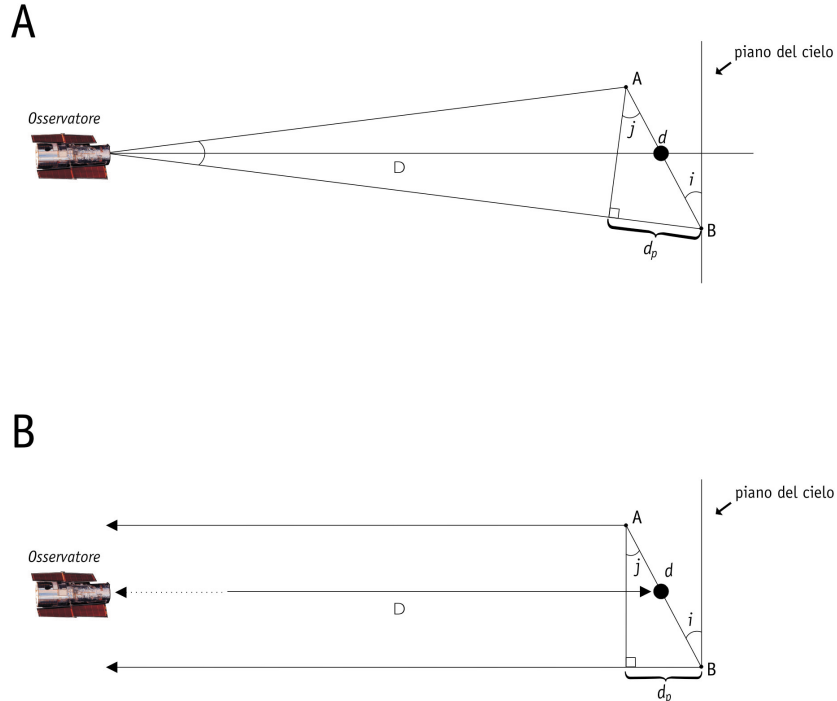
2. Il diametro dell'anello,  $d$ .

3. L'angolo di inclinazione,  $i$  (calcolato nel quesito 3)





## Quesiti



**Figura 13: La ricerca del diametro esatto**

Con l'aiuto di queste immagini ed i valori precedentemente trovati, è possibile determinare il diametro esatto,  $d$ , dell'anello. Nella fig. 13a è schematicamente mostrata la situazione reale, ma a causa della enorme distanza della LMC, si può assumere che le linee che congiungono la Terra con A e B siano parallele. Questa assunzione è mostrata in Fig. 13b.

- Ora trova una relazione tra la differenza tra le distanze,  $d_p$ , la velocità della luce,  $c$ , ed il tempo,  $t$ .
- Combina queste due espressioni per trovare un'espressione per il diametro reale dell'anello,  $d$ .
- Inserisci i valori che hai precedentemente calcolato o misurato in questa espressione e trova il diametro reale,  $d$ , dell'anello.

### Quesito 6

Sei ora pronto per il gran finale!

- Usa i valori di  $d$  (calcolato nel quesito 2) e dell'angolo  $a$  per determinare la distanza della supernova,  $D$  (usa l'approssimazione per piccoli angoli che hai trovato negli Strumenti matematici). Dai la risposta in chiloparsec usando il fattore di conversione trovato negli Strumenti Matematici.

Un modo per valutare le tue risposte...

La distanza della supernova è stata calcolata da Pagnia ed altri suoi colleghi nel 1991 usando le versioni originali di questi dati. Il valore che trovarono fu  $D = 51,2 \pm 3,1$  kpc e l'angolo di inclinazione che misurarono fu  $i = 42,8$  gradi  $\pm 2,6$  gradi.

Se le tue risposte sono entro un margine d'errore del 20%, avrai fatto misure accurate e potrai ritenerti soddisfatto del tuo lavoro.

- Puoi immaginare i motivi per cui i tuoi risultati differiscono da quelli degli scienziati?

Questo quesito non intende riferirsi agli altri due anelli.

- Quale potrebbe essere l'origine di questi altri due anelli?



## Altre letture

### Articoli scientifici

- Fransson, C., Cassatella, A., Gilmozzi, R. Kirshner, R. P., Panagia, N., Sonneborn, G., and Wamsteker, W., 1989, Ap.J., 336, 429-441: *Narrow ultraviolet emission lines from SN 1987A Evidence for CNO processing in the progenitor.*
- Gould, A., 1994, Ap.J., 425, 51-56: *The ring around supernova 1987A revisited. 1: Ellipticity of the ring.*
- Panagia, N., Gilmozzi, R., Macchetto, F., Adorf, H.M., Kirshner, R.P. 1991, Ap.J., 380, L23-L26: *Properties of the SN 1987A circumstellar ring and the distance to the Large Magellanic Cloud.*
- Jakobsen, P., Albrecht, R., Barbieri, C., Blades, J. C., Boksenberg, A., Crane, P., Deharveng, J. M., Disney, M. J., Kamperman, T. M., King, I. R., Macchetto, F., Mackay, C. D., Paresce, F., Weigelt, G., Baxter, D., Greenfield, P., Jedrzejewski, R., Nota, A., Sparks, W. B., Kirshner, R. P., Panagia, N., 1991, ApJ, 369, L63-L66: *First results from the Faint Object Camera – SN 1987A.*

Vedi anche al link:

<http://www.astroex.org/>





## Colophon



### **Gli esercizi di astronomia a cura di ESA/ESO** **Esercizio 1 : Misurare la Distanza della Supernova** **1987A**

**1ª edizione (traduzione della 2ª edizione inglese**  
**23.05.2002)**

Realizzato da:

the Hubble European Space Agency Information  
Centre and the European Southern Observatory :  
<http://www.astroex.org>  
(sono disponibili a questo indirizzo le versioni PDF  
di questo materiale ed i relativi links)

Indirizzo Postale:

European Southern Observatory  
Karl-Schwarzschild-Str. 2  
D-85748 Garching bei München  
Germania

Telefono : (49) 89 3200 63 06 (ou 3200 60)  
Fax : (49) 89 3200 64 80 (ou 320 32 62)  
E-mail : [info@astroex.org](mailto:info@astroex.org)

Idea e testi originali:

Emma Fosbury et Robert A. E. Fosbury

Testi di:

Anne Vaernholt Olesen, Lars Lindberg Christensen,  
Jean-Marc Brauer et Artraud Bacher

Grafica e layout:

Martin Kornmesser

Traduzione:

Carmelo Evoli e Angelo Meduri

Revisione:

Piero Benvenuti & Eugenio Benvenuti

Co-ordinatori:

Lars Lindberg Christensen e Richard West

Particolari ringraziamenti vanno a Karl-Heinz Lotze,  
Germania, per stimolanti discussioni riguardo al  
lavoro svolto, Nino Panagia, STScI/ESA, per aver  
gentilmente fornito i dati, e Nina Troelsgaard  
Jensen, Frederiksberg Seminarium, per i suoi utili  
commenti. Vorremmo inoltre ringraziare le persone  
che ci hanno aiutato a migliorare la seconda  
versione di questi esercizi: Lyle Lichty e Thibaut  
Plisson, USA; Nausicaa Delmotte, ESO.

Per l'edizione Italiana si ringraziano la Società  
Astronomica Italiana (SAIt), la sezione Calabria della  
SAIt e la Professoressa Angela Misiano (Liceo  
Scientifico "Leonardo da Vinci", Reggio Calabria) per  
il supporto.





## Guida per l'insegnante

### Breve sommario

Introduciamo prima la geometria dell'anello più vicino attorno alla Supernova 1987A (SN 1987A). Successivamente definiamo la scala delle immagini della supernova raccolte da Hubble, così che possa essere determinato il diametro angolare dell'anello ed anche l'inclinazione relativamente al piano del cielo.

Le osservazioni dalla Terra mostrano come la luce dalla supernova raggiunga le differenti zone dell'anello. Usando misure di intensità luminosa e la velocità della luce, possono essere determinate le dimensioni fisiche dell'anello. Una volta determinato sia la dimensione angolare che quella fisica dell'anello, possiamo calcolare la distanza della SN 1987A.

Questa guida contiene le soluzioni ai problemi insieme con i commenti e le discussioni di ogni approssimazione e semplificazione che sia stata fatta. L'obiettivo di questa guida è rendere il più utile possibile questi esercizi ed assistere l'insegnante nella preparazione della lezione.

### Quesito 1

Esempio di misure, eseguite a mano, usando un righello sulla immagine stampata con una dimensione di 149mm x 152mm (naturalmente la dimensione della stampa dipende dalla stampante):

	Distanza (mm)	Distanza (arcsecondi)	Scala (arcsecondi/mm)	Scala media (arcsecondi/mm)
Stella 2 rel. stella 1:	89 mm	3,0	0,03371	0,03111
Stella 3 rel. stella 1:	50 mm	1,4	0,02800	
Stella 3 rel. stella 2:	136 mm	4,3	0,03162	

### Quesito 2

Il diametro angolare dell'anello può essere trovato misurando la lunghezza più grande dell'ellisse che viene osservato. La proiezione di un cerchio mostrerà sempre il diametro, non importa come sia inclinato.

Il diametro apparente misurato dell'anello: 51 mm.  
Convertito in radianti:

$$a = 51 \text{ mm} \times 0,03111 \text{ arsec/mm} \times 4,848 \times 10^{-6} \text{ rad/arsec} = 7,6917 \times 10^{-6} \text{ rad}$$

### Quesito 3

Alcune persone trovano difficile riuscire ad immaginare in 3D un diagramma bi-dimensionale - ad esempio "decodificare" un diagramma che simula la prospettiva (come una proiezione isometrica) usando una visione in sezione trasversale. Poni attenzione a questo problema e commenta il diagramma se è necessario. L'approssimazione che considera i raggi di luce come paralleli quando la sorgente è molto lontana dalla Terra è generalmente nota agli studenti (è spesso usata per visualizzare i raggi luminosi che provengono dal Sole).

Ogni ellisse può essere pensata come la proiezione di un cerchio inclinato di un certo angolo,  $i$  (angolo di inclinazione), con il piano del cielo (questo piano è perpendicolare alla linea di vista). L'asse maggiore è uguale al diametro del cerchio e l'asse minore è uguale all'asse maggiore per il coseno di  $i$ .

Da ciò segue che:

$$\cos i = \text{asse minore} / \text{asse maggiore} = 37 \text{ mm} / 51 \text{ mm}$$

$$i = \cos^{-1}(37/51) = 0,7591 \text{ rad} = 43,49 \text{ gradi}$$



## Guida per l'insegnante

### Quesito 4

Sul grafico puoi misurare la distanza sull'asse del tempo tra l'inizio della luminosità dell'anello ed il massimo dell'intensità. Noi abbiamo trovato **t = 399 giorni** — è una pura coincidenza che il tempo trascorso sia così simile ad un anno.

Se l'inclinazione fosse stata di 90 gradi, l'anello sarebbe apparso come una linea. In questo caso il tempo trascorso tra quando noi vediamo la prima luce ed il momento in cui vediamo il bordo più lontano illuminarsi è uguale esattamente al diametro dell'anello diviso la velocità della luce.

### Quesito 5

$$\sin i = d_p/d \Rightarrow d = d_p/(\sin i)$$

$$d_p = c \cdot t$$

Combinato le due espressioni :

$$d = d_p/(\sin i) = (c \cdot t)/(\sin i) = (2,997 \cdot 10^8 \times 399 \times 24 \cdot 3600)/(\sin(43.49^\circ)) = \mathbf{1,5012 \times 10^{16} \text{ m}}$$

### Quesito 6

$$D = d/a = (1,5012 \times 10^{16})/(7,6917 \times 10^{-6}) = 1,9517 \times 10^{21} \text{ m} = \mathbf{63,2 \text{ kpc}}$$

La distanza calcolata da Panagia dai dati originali (usando un sistema più sofisticato di calcolo) è  $D = 51,2 \pm 3.1$  kpc. (Il valore che noi otteniamo è entro il margine di errore).

### Cause di errori

È possibile usare queste domande per familiarizzare con la teoria degli errori, chiedendo agli studenti di ripetere i calcoli usando il più piccolo ed il più grande valore possibile misurato.

Per capire come si propagano gli errori provate con i seguenti esempi:

Troppo grande il diametro angolare,  $a \Rightarrow$  troppo piccolo  $D$  (più un oggetto è vicino, più grande appare)

Troppo grande il diametro apparente  $\Rightarrow$  troppo piccolo  $D$

Troppo largo un fattore di conversione  $\Rightarrow$  troppo piccolo  $D$

Troppo piccolo  $t \Rightarrow$  troppo piccolo  $D$

Troppo grande  $i \Rightarrow$  troppo piccolo  $D$

È un buon esercizio per gli studenti elaborare da soli questi esempi.

### L'origine degli altri due anelli

La questione circa l'origine degli altri due anelli è un buon esempio di semplice problema scientifico per cui non è stata ancora trovata una chiara risposta (questo accade spesso in una scienza di frontiera come l'Astronomia). La comunità scientifica non è completamente d'accordo sulla loro origine, ma è noto che gli anelli furono espulsi dalla stella progenitrice più di 20 000 anni prima che esplodesse come supernova. Perché essi siano così ben definiti è un completo mistero. Si crede che una stella gigante rossa normalmente espella i suoi strati più esterni uniformemente in tutte le direzioni.



[www.astroex.org](http://www.astroex.org)

