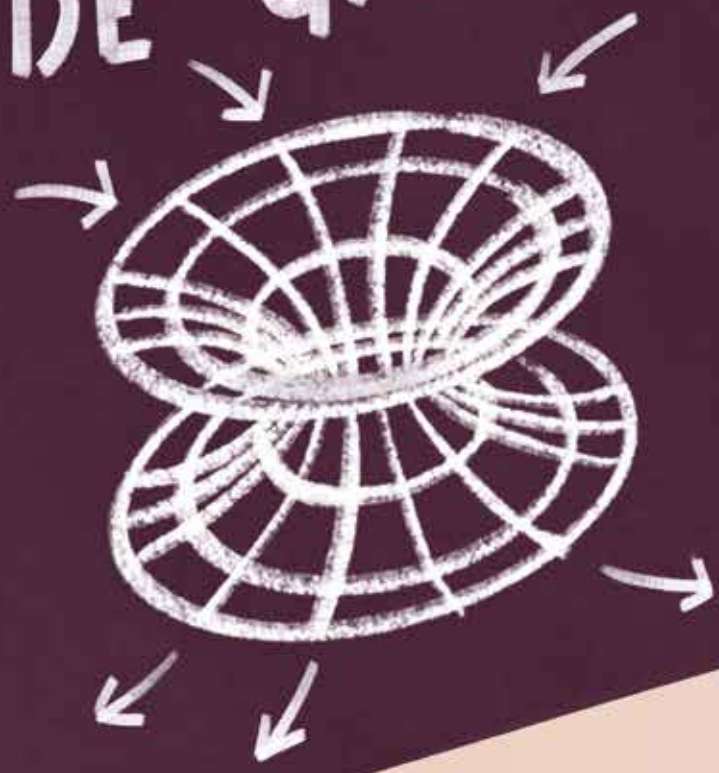


SCENA: |

# ONDE GRAVITAZIONALI

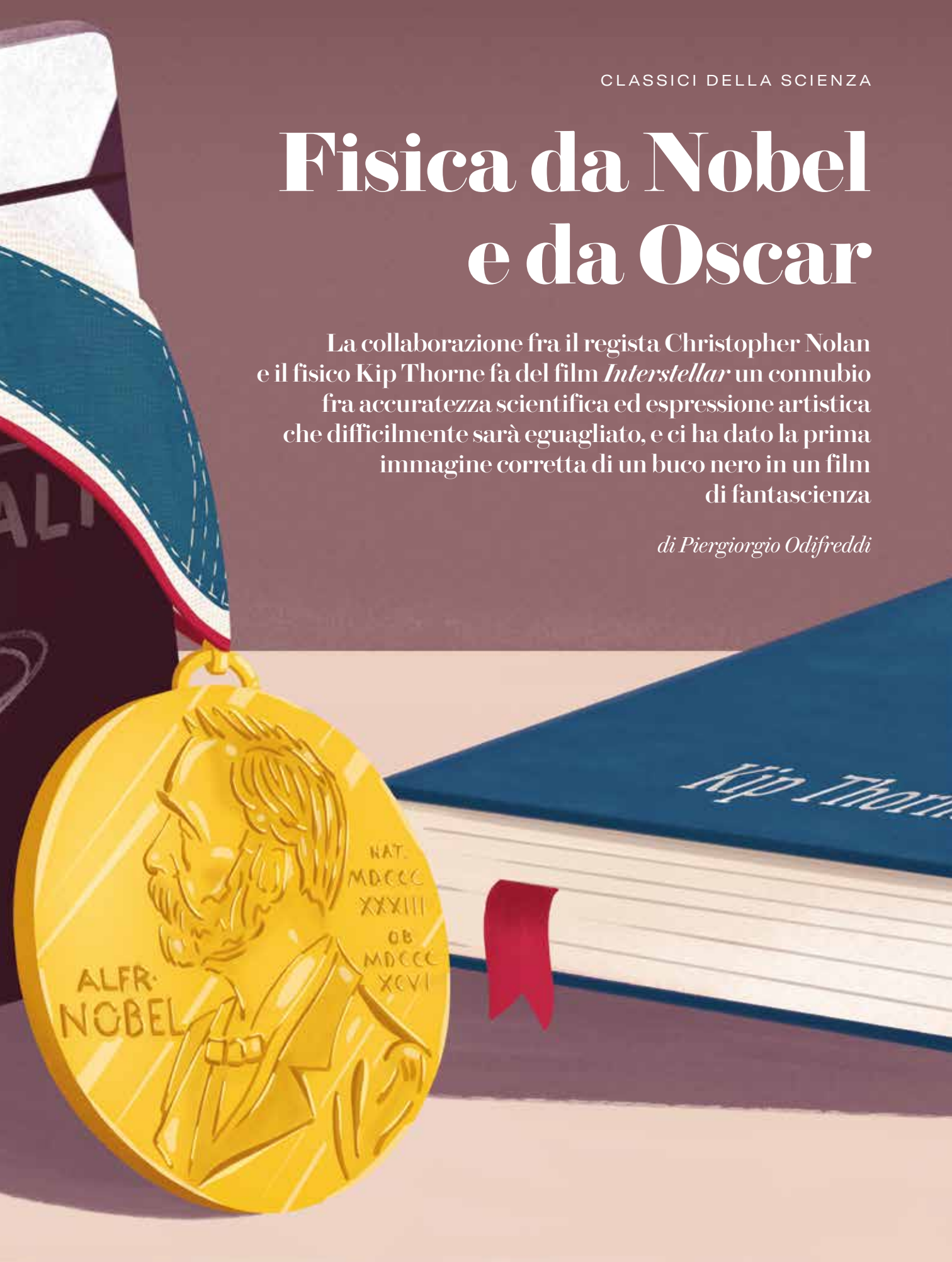


CLASSICI DELLA SCIENZA

# Fisica da Nobel e da Oscar

La collaborazione fra il regista Christopher Nolan e il fisico Kip Thorne fa del film *Interstellar* un connubio fra accuratezza scientifica ed espressione artistica che difficilmente sarà eguagliato, e ci ha dato la prima immagine corretta di un buco nero in un film di fantascienza

di Piergiorgio Odifreddi



**K**ip Thorne è uno scienziato fuori dal comune, che nel 2014 ha infuso la propria scienza nel film da Oscar *Interstellar*, di Christopher Nolan, e nel 2017 ha vinto il premio Nobel per la fisica per la scoperta delle onde gravitazionali. Le sue due anime, scientifica e artistica, sono espresse al meglio nello straordinario *Viaggiare nello spazio-tempo*: un vero classico della moderna divulgazione scientifica, per la sua capacità di illustrare la scienza con le immagini del film, e spiegare il film con le idee della scienza.

Non è la prima volta che uno scienziato collabora con un regista alla realizzazione di un film con contenuti scientifici. Due riusciti esempi erano stati *2001 Odissea nello spazio* (1968), di Stanley Kubrick, e *Contact* (1997), di Robert Zemeckis. Il primo era basato sull'omonimo libro di Arthur Clarke, il fisico-matematico inventore dei satelliti geostazionari di telecomunicazione, e autore di molti romanzi di fantascienza. Il secondo sull'omonimo libro di Carl Sagan, il planetologo che propose il progetto SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) per la ricerca della vita extraterrestre.

Thorne aveva già avuto un ruolo anche in *Contact*. Dopo aver letto nel 1985 il manoscritto di Sagan, infatti, gli suggerì di non far passare la protagonista in un buco nero, come scorciatoia per arrivare a una stella, perché secondo la scienza dell'epoca non sarebbe riuscita a sopravvivere. Gli propose invece di farla transitare in uno dei cunicoli spazio-temporali scoperti nel 1916 da Ludwig Flamm, riscoperti nel 1935 da Albert Einstein e Nathan Rosen, e oggi noti come *wormhole*, in riferimento alle piccole gallerie che animali quali i vermi, i bruchi e le tarme scavano in materiali quali la frutta o il legno. Da allora queste scorciatoie sono diventate comuni nella fantascienza, e compaiono anche in *Interstellar*.

Ma, a scanso di equivoci, bisogna dire che finora non si sono mai osservati wormhole nell'universo macroscopico, né oggetti che potrebbero diventarlo in futuro. John Wheeler, maestro di Thorne, ha però proposto negli anni cinquanta l'idea che essi possano esistere a livello microscopico e contribuire alla formazione di una schiuma quantistica in cui si sbriciola la materia ordinaria, analoga alla schiuma prodotta dalle onde che si infrangono sulle rocce o a riva.

I wormhole sono come buchi nel tessuto dello spazio-tempo, simili alle asole dei bottoni in un vestito: infilandoci un dito dentro si passa velocemente da un punto esterno della stoffa al punto interno opposto, o viceversa, mentre far scorrere il dito sul tessuto fa percorrere più spazio e impiegare più tempo. Un estremo

del wormhole di *Interstellar* è vicino a Saturno, e sarebbe dunque a portata di mano di un'astronave terrestre: per coprire la stessa distanza la sonda Cassini-Huygens ci mise sette anni, dal 1997 al 2004, mentre la navicella Endurance del film ci mette due anni, tenendo gli astronauti in ibernazione.

Quando l'equipaggio si risveglia, ormai nei pressi di Saturno, vede il pianeta esattamente come nelle straordinarie immagini scattate da Cassini-Huygens fino al 2017, che mostrano da vicino i famosi anelli, l'ombra che Saturno getta su di loro e la Terra ormai ridotta a un puntino luminoso nel cielo nero.

Quanto al *wormhole* che gli astronauti vi trovano, è largo solo un paio di chilometri e molto più corto, anche se collega due punti dell'universo distanti in realtà 10 miliardi di anni luce: essendo piccolo e debole, era difficile osservarlo dalla Terra, perché quasi non distorce la luce delle stelle, ma in compenso è facile imboccarlo e percorrerlo, perché esercita un'attrazione gravitazionale inferiore a quella del nostro pianeta.

All'altro suo estremo c'è un buco nero rotante, che sta fagocitando una stella di neutroni che gli orbita attorno. Come previsto da Einstein, questo processo genera onde gravitazionali, che nel film passano attraverso il wormhole e arrivano a perturbare il sistema solare. Con il rilevatore LIGO, progettato nel 1983 da Thorne, le onde gravitazionali possono essere rilevate sulla Terra: questo succede nel film del 2014, e conduce alla scoperta del wormhole, ma successe anche due anni dopo nella realtà, e valse appunto a Thorne il premio Nobel per la fisica del 2017.

Passando attraverso la scorciatoia del wormhole, l'Endurance arriva in breve tempo da Saturno nelle vicinanze di Gargantua, un buco nero grande come l'orbita della Terra, 100 milioni di volte più massiccio del Sole, e in rotazione su sé stesso nel tempo di un'ora terrestre, a una velocità prossima a quella della luce. Attorno al buco nero c'è un disco che intrappola il gas emesso dalle stelle che esso cattura e smembra, analogo all'anello di Satur-



- **Buchi neri, wormholes e macchine del tempo.** Al-Khalili J., Dedalo, Bari, 2003.
- **Dal big bang ai buchi neri. Breve storia del tempo.** Hawking S., Rizzoli, Milano, 1988.
- **La guerra dei buchi neri.** Susskind L., Adelphi, Milano, 2008.
- **Viaggiare nello spazio-tempo. La fisica di Interstellar.** Thorne K., Bompiani, Milano, 2018.
- **Geons, Black Holes and Quantum Foam. A life in physics.** Wheeler J.A. con Ford K.W., W.W. Norton & Company, New York, 1998.



**Interstellar**, film con regia di Christopher Nolan, con Matthew McConaughey, Anne Hathaway, Jessica Chastain, Michael Caine; Stati Uniti, 2014.

no che intrappola i detriti catturati dal pianeta: ci si può dunque aspettare che le immagini del buco nero siano simili a quelle di Saturno scattate dalla sonda Huygens.

Ora, quando la sonda si trovava in opposizione al Sole e sul piano equatoriale di Saturno, ne vedeva comunque gli anelli illuminati e distorti, benché fossero in ombra, e il pianeta appariva circondato da un alone luminoso: in entrambi i casi, si trattava di effetti ottici dovuti alla diffusione della luce del Sole nell'atmosfera del pianeta.

Anche la navicella del film, quando si trova sul piano equatoriale del buco nero, lo vede in un alone luminoso, e vede il suo disco molto distorto. In questo caso, ciò accade per gli effetti ottici dovuti alla forte gravità del buco nero, che per lo stesso motivo appare a sua volta non perfettamente sferico ma schiacciato nella direzione della sua rotazione, in quella che è stata la prima immagine corretta di un buco nero in un film di fantascienza.

Quanto alle fantastiche manovre della navicella Endurance, sono simili a quelle realmente effettuate a suo tempo dalla sonda Cassini-Huygens: entrambe sfruttano le cosiddette «fionde gravitazionali», con la differenza che nel secondo caso le fionde erano pianeti ruotanti attorno al Sole (Venere, la Terra e Giove), mentre nel primo caso sono dei piccoli buchi neri orbitanti attorno a Gargantua.

Alla fine del film la navicella entrerà in Gargantua. Il motivo per cui *Interstellar*, a differenza di *Contact*, può permettersi di farla passare indenne attraverso il buco nero è che oggi, a differenza di qualche decennio fa, sappiamo che «c'è del metodo nella follia» inscenata da un buco nero attorno a chi ci cade dentro. Precisamente, a causa del rallentamento del tempo, sopra di lui si affollano le cose che vi cadono in seguito (*infalling*), e sotto di lui quelle che vi sono cadute in precedenza (*outflying*): fino a quando chi cade non viene raggiunto dall'ondata di ciò che lo segue, o non raggiunge quella di ciò che lo precede, la sua vita è salva.

La straordinaria accuratezza del film nel rappresentare le immagini del buco nero e le manovre della navicella è dovuta al fatto che la sceneggiatura originaria è opera di Thorne stesso, che fece un patto con il regista Christopher Nolan: il film non poteva mostrare niente che andasse contro ciò che si sa dei buchi neri, e solo ciò di cui Thorne poteva dimostrare almeno la possibilità teorica.

Nel suo libro egli distingue meritoriamente tra ciò che si può sicuramente affermare sui buchi neri, ciò che si può ipotizzare in modo fondato e ciò che si può soltanto congetturare. E nelle note tecniche accenna ad alcune nozioni della matematica dei buchi neri, che risulta essere sorprendentemente

semplice, nonostante derivi dalla complicata teoria della relatività generale di Einstein.

La formula più sorprendente riguarda la massa del buco nero risultante dalla collisione e fusione di due buchi neri non rotanti. Il processo genera onde gravitazionali, e l'energia perduta nella generazione di queste onde fa sì che la massa del buco nero risultante sia inferiore alla somma delle masse dei due buchi neri originari: il valore preciso è la radice quadrata della somma dei quadrati delle loro masse, con un'inaspettata applicazione del teorema di Pitagora alla cosmologia relativistica.

Auguriamoci che anche in futuro la divulgazione miri sempre a un simile connubio tra la scienza e l'arte, anche se sarà molto difficile superare i risultati raggiunti da Thorne e Nolan. ■