

*Sezione
Alunni*

Anche le stelle vivono

L'universo come noi lo conosciamo è "nato" circa 13,7 miliardi di anni fa: infatti, all'incirca in quel periodo questo ha cominciato a espandersi. Inizialmente tutta la materia era concentrata in un punto infinitesimale e aveva una temperatura che si può considerare infinita, l'espansione ha portato alla distribuzione quasi omogenea del calore, della materia e dell'energia; attualmente l'universo è così vasto che nello spazio abbiamo una temperatura bassissima. L'espansione dell'universo continua ancora oggi, ma la dilatazione dello spazio non viene applicata ai corpi più piccoli: infatti, grazie alle equazioni di Einstein sappiamo che la dilatazione dello spazio viene applicata solo ai corpi con diametro maggiore di 10 Mpc, ovvero di un ammasso di galassie. Con l'avanzare dell'espansione dello spazio le zone più dense di materia si vanno addensando per effetto della gravità e si vengono a formare nubi di gas, stelle e galassie. I dettagli di come la formazione ed evoluzione delle galassie avvenne, dipendono dal tipo di materia dominante nell'Universo e i tre modelli in competizione sono conosciuti come materia oscura calda, materia oscura fredda e materia barionica. La materia oscura calda è formata da neutrini che non avendo né carica elettrica, né carica di calore non reagiscono alla forza nucleare forte e all'interazione elettromagnetica ed è per questo che non può essere individuata tramite la radiazione elettromagnetica; i neutrini hanno però una massa, anche se insignificante e sono quindi sensibili alla gravità. La teoria della materia oscura calda non è in grado di spiegare come le singole galassie si siano formate dal Big Bang perché la radiazione cosmica di fondo è molto omogenea e le particelle veloci (neutrini) non sono in grado di formare degli agglomerati in queste condizioni. La materia oscura fredda, anch'essa non rilevabile tramite la radiazione elettromagnetica, è formata da particelle "lente" e quindi fredde, non si sa di preciso da cosa sia formato questo tipo di materia, ma esistono due tipologie di particelle ipotetiche che potrebbero dimostrare l'esistenza di questo tipo di materia: le WISP, particelle con una grande massa e debole interazione, e MACHO, oggetti massicci e compatti dell'alone galattico. La materia oscura è stata ipotizzata poiché le galassie sviluppano una forza gravitazionale molto

maggiore di quella che dovrebbe essere sviluppata della massa rivelata. La materia barionica è, invece, la materia che conosciamo normalmente composta di protoni, elettroni e neutroni. Man mano che la materia si va addensando si vengono a creare delle nebulose interstellari, che hanno una densità molto bassa che va dalle 1000 alle 10000 particelle al centimetro cubo. In queste nubi, per eventi casuali si vengono a creare zone più dense che raggiungono una densità di 100000 particelle. Le zone più dense cominciano ad attirare sempre più materia fino a creare una nube collosa che non appena raggiunge una massa critica si contrae e si scalda fino a trasformarsi in una protostella. Le protostelle hanno una temperatura che varia da 10 a 1000 K nel nucleo e sulla superficie una temperatura molto bassa. Queste “stelle bambine” emettono una luminosità ridotta variabile ulteriormente offuscata dalla presenza di residui della nebulosa interstellare. Con il procedere della contrazione la temperatura e la pressione della protostella aumentano e con esse cresce la densità dei materiali che, trattando maggiormente la radiazione, ne riducono ulteriormente la visibilità. Con il passare del tempo il diametro della protostella si riduce a causa della forza gravitazionale che non è contrastata da una pressione di radiazione adeguata. Quando la temperatura interna della protostella supera i 10 milioni di kelvin, iniziano le reazioni di fusione termonucleare e la protostella si trasforma in una vera e propria stella. La giovane stella appena creata si stabilizza grazie all'effetto dell'energia di fusione che impedisce la variazione delle sue dimensioni; inoltre il calore liberato spazza via i residui della nube originaria rimasti attorno alla stella, diventata visibile, a causa dell'energia prodotta al suo interno che viene in parte dissipata all'esterno sotto forma di radiazioni elettromagnetiche. La fase prestellare può durare da poche centinaia di migliaia di anni ad anche 30 milioni in funzione della massa: più questa è grande più la contrazione avverrà più in fretta, le masse troppo piccole non raggiungono una temperatura tale da innescare la fusione termonucleare e quelle troppo grandi porterebbero alla creazione di più protostelle contemporaneamente.

La temperatura e la pressione delle stelle appena formate aumentano gradualmente man mano che ci si avvicina al centro della stella, sono così elevate che non sono più compatibili con i normali stati della materia. All'interno delle stelle troviamo il plasma, stato della materia in cui i nuclei e gli elettroni non sono più legati in atomi. Nel nocciolo i nuclei atomici e

gli elettroni sono dotati di un'elevatissima energia cinetica e si muovono molto rapidamente, urtandosi frequentemente in uno spazio ridotto, a causa dell'alta densità esistente. In queste condizioni i nuclei atomici vincono la loro naturale repulsione e si fondono. In questa prima fase della vita di una stella sono principalmente prodotti nuclei di elio provenienti dai nuclei d'idrogeno. Quando una stella "brucia" tutto l'idrogeno al suo interno le reazioni termonucleari si arrestano e la stella riprende a contrarsi, a questo punto il destino della stella dipende dalla sua massa. Se la stella ha una massa inferiore a 0,5 masse solari, la contrazione riscalda nuovamente la stella senza però raggiungere una temperatura abbastanza alta da innescare nuove reazioni nucleari. La contrazione procede incontrastata provocando un aumento della pressione e della densità, la stella si spegne e muore, invece, se la stella ha una massa superiore a 0,5 masse solari, la contrazione fa aumentare la temperatura del nocciolo abbastanza da far innescare nuove fusioni nucleari. Gli strati estremi della stella si raffreddano e cominciano a espandersi e assume una colorazione rossastra; la stella è chiamata gigante rossa. La successiva evoluzione della gigante rossa è di nuovo condizionata dalla sua massa. Se la gigante rossa ha una massa inferiore a 2 masse solari la stella si spegne, se invece la massa della stella è superiore a 2 masse solari questa si contrae e s'innescano nuove reazioni nucleari. Il volume della stella aumenta ancora e in questa fase è chiamata supergigante rossa. La vita delle giganti e supergiganti rosse è molto breve rispetto al tempo necessario per le trasformazioni. Quando una stella muore, è sempre la sua massa a determinarne le successive trasformazioni. Le stelle di massa superiore a 8 masse solari muoiono in modo catastrofico diventando supernove. Durante la trasformazione le supernove possono accrescere la loro luminosità anche di un miliardo di volte. Se, invece, l'astro ha una massa inferiore a 8 masse solari attraversa una fase di instabilità durante la quale espelle gli strati più esterni e il nocciolo residuo diventa visibile con un corpo di piccole dimensioni, ma con elevata densità e con temperatura superficiale di 30000 K. A questo punto, se la massa della stella degenera è minore di 1,44 masse solari l'astro diventerà una nana bianca stabile grazie alla pressione (pressione degenera) che impedisce alla stella di collassare, il calore della nana andrà diminuendo nel tempo fino a raggiungere lo stato di nana nera; a differenza delle nane bianche e delle nebulose planetarie le nane nere non sono mai state osservate perché il

tempo di raffreddamento delle nane bianche supera l'età attuale dell'universo. Se invece una stella ha una massa superiore a 1,44 (Limite di Chandrasekhar) e minore di 2,5 masse solari, la pressione degenera non riesce a impedire un collasso gravitazionale che causa la fusione di protoni e neutroni creando una stella a neutroni o pulsar. A causa della loro scarsa luminosità queste stelle sono state osservate come pulsar solo negli anni '60, anche se erano state già ipotizzate negli anni '30. Una stella di massa superiore a 2,5 masse solari si trasforma invece in buco nero; il termine buco deriva dal fatto che in questo stato la stella si comporta proprio da buco che trattiene tutto ciò che si avvicina a esso compresa la luce e i segnali elettromagnetici. Per trasformarsi in buco nero un corpo deve avere un preciso rapporto tra massa e dimensioni il cui raggio debba essere minore del raggio di Schwarzschild:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Dove:

- G e la costante di gravitazione universale di Newton
- M e massa delle stelle
- C e la velocità della luce

In teoria tutti i corpi possono trasformarsi in buchi neri, ma solo quelli con massa superiore a 2,5 masse solari sviluppano una forza gravitazionale abbastanza grande da comprimersi abbastanza da innescare la reazione che li porta a trasformarsi in buchi neri. Esiste un altro modo, oltre a quello "diretto", grazie al quale un buco nero può formarsi; in un sistema binario di stelle può accadere che una stella a neutroni "rubì" massa alla vicina e superi il limite di Chandrasekhar così da trasformarsi in buco nero. Molti scienziati sostengono che il secondo metodo di formazione di buchi neri sia più frequente. Un buco nero è un ammasso ultradenso di materia in grado di sviluppare un mostruoso campo gravitazionale cui non può sfuggire neanche la luce. Dal momento che i buchi neri assorbono qualunque cosa nelle loro vicinanze, non sono osservabili direttamente, però grazie alle perturbazioni che creano nello spazio, se ne può conoscere l'ubicazione, infatti, se un buco nero si frappone tra una stella e un punto di osservazione, la luce della stella sarà deviata, come se passasse attraverso una lente: questo fenomeno è chiamato lente gravitazionale e fa parte della teoria

della relatività generale. Dal momento che queste stelle “morte” creano un fortissimo campo gravitazionale si è ipotizzato che al centro di ogni galassia ce ne sia una enorme che è in grado di far ruotare la galassia. Che cosa c'è all'interno dei buchi neri? E cosa succede quando un'informazione fisica (come un'onda elettromagnetica o una particella) è catturata dalla forza gravitazionale di un buco nero? È stato teorizzato che all'interno di questo tipo di stella “morta” esista una sfera di raggio uguale al raggio di Schwarzschild chiamata Orizzonte degli Eventi definito come “il punto in cui lo spazio tempo perde di significato e i fenomeni fisici non sono più osservabili”. Oltre quest'orizzonte si trova una zona chiamata di singolarità all'interno della quale la forza gravitazionale è infinita. Le informazioni che “cadono” all'interno di un buco nero sono annientate dalla singolarità gravitazionale ed entrano a far parte del buco nero accrescendone la massa. Questi corpi supermassivi sono davvero dei “pozzi senza fondo” che non lasciano uscire niente? No, nel 1974 Stephen Hawking ha dimostrato che i buchi neri emettono particelle: questo fenomeno prende il nome di radiazione di Hawking. Questo tipo di radiazione ha una particolarità, mentre tutte le altre radiazioni emesse da corpi celesti trasportano informazioni su ciò che le ha create, le radiazioni emessa dai buchi neri dipendono solo da massa, momento angolare e carica senza trasportare alcuna informazione.

Se all'interno dei buchi neri spazio e tempo perdono di significato, non si potrebbe venire a creare una sorta di passaggio tra luoghi diversi dell'universo, tempi diversi dell'universo o addirittura altri universi? Questi varchi sono chiamati wormhole. Ci sono tantissime teorie che postulano la presenza di universi paralleli, tra le più accreditate ci sono: la teoria delle stringhe e la teoria dell'universo a bolla. Secondo la teoria delle stringhe, la materia è composta da minuscole corde vibranti in uno spazio a 11 dimensioni (10+1), dunque 7 in più dallo spazio a 3 a noi noto (più la dimensione temporale). Secondo questa teoria gli universi paralleli potrebbero coesistere nello stesso continuum spazio-tempo vibrando a frequenze differenti. La teoria degli universi a bolla sostiene che tutti gli universi si siano creati dalla schiuma quantistica di un “universo genitore” che ribolle a causa di fluttuazioni di energia e può creare dei passaggi (wormhole) e degli universi “figli” che hanno durata diversa a seconda di quanto forte è la fluttuazione di energia, quando la fluttuazione è fortissima (sarebbe il

caso del nostro universo) si possono formare strutture galattiche a grandissima scala.

Fin qui abbiamo analizzato com'è nato l'universo, come si è evoluto in generale e la vita delle stelle nel particolare; se consideriamo l'universo simile a un'entità biologica (come abbiamo già fatto parlando di "nascita" e "vita") dobbiamo prendere in considerazione anche la "morte" dell'universo (o degli universi). Una delle possibili ipotesi sulla fine dell'universo è quella descritta dalla teoria del Big Crunch, secondo la quale l'universo smetterà di espandersi e collasserà su se stesso creando una singolarità gravitazionale simmetrica a quella creata con il Big Bang. In verità essa non è perfettamente simmetrica perché della "nascita" dell'universo le stelle hanno emesso una grande quantità di energia (irrilevante nel sistema universo) l'unica differenza sostanziale rispetto al Big Bang potrebbe essere quella della grande quantità di buchi neri creati che raggiungerebbero dimensioni gigantesche per la materia che è mandata al loro interno. Affinché questo accada, la densità dell'universo deve essere di almeno 3 protoni al metro cubo, talché la curvatura dello spaziotempo risulti positiva come la superficie di una sfera. Recenti osservazioni, così come teorizzato dall'astronomo Edwin Hubble, hanno dimostrato che l'espansione dell'universo non è rallentata dalla gravità, bensì accelera, inoltre la densità media dell'universo è uguale alla densità critica necessaria per il Big Crunch; un grande peso su questa teoria hanno la materia oscura e l'energia oscura. Un'altra teoria sulla fine dell'universo è quella del Big Rip, che prevede che tra 20 miliardi di anni il nostro universo, se l'energia oscura, ipotetica forma di energia che sviluppa pressione negativa, nel nostro universo supera una certa soglia, tutta la materia dell'universo si disintegrerebbe (strappandosi), così da ridurre l'universo a particelle divise impossibilitate a interagire tra di loro.

CLAUDIO PUGLIA, IV L

*Foucault: un semplice uomo,
un grande scienziato*

Jean Bernard Léon Foucault nacque a Parigi nel 1819. Fin dall'infanzia si interessò all'ambito scientifico-meccanico; aiutato da un grande talento pratico, iniziò a costruire strani giocattoli. Durante l'adolescenza incominciò a studiare medicina con l'intento di diventare un chirurgo. Scoprì ben presto la sua avversione verso il sangue e le sofferenze. Tornato ad occuparsi di strumenti meccanici.

Egli fu affascinato dai nuovi processi di creazione di immagini sviluppati dal suo connazionale Louis Daguerre. In un lavoro che sfruttò con successo le sue abilità meccaniche, Foucault unì le forze con un altro ex studente di medicina, Hippolyte Fizeau, per migliorare quelli che erano noti allora come dagherrotipi, i predecessori della moderna fotografia. Foucault e Fizeau eseguirono la prima chiara fotografia del Sole nel 1845 e poi, lavorando prima insieme e poi separatamente dopo una disputa personale, nel 1850 mostrarono che la velocità della luce era maggiore in aria che in acqua, dopo di che affrontarono il tentativo di misurare la velocità assoluta della luce in aria. In seguito Foucault diede contributi importanti alla costruzione di specchi per telescopi. Fu il primo a realizzare chiare fotografie del Sole e delle stelle. Riguardo queste ultime, per riuscire a seguire una stella, lasciando quindi l'otturatore aperto per catturare più luce, egli inventò un meccanismo a orologeria controllato da un pendolo

Foucault svolse gran parte di questo lavoro in un laboratorio installato a casa sua, in rue Assas a Parigi. Un giorno mise nel suo tornio un'asticella di metallo, montandola su un mandrino che potesse ruotare liberamente, nello stesso modo in cui una ruota di uno skateboard può ruotare liberamente intorno al suo asse. Quando impartì un'oscillazione all'asticella e fece ruotare lentamente il tornio, fu sorpreso nel vedere che l'asticella continuava a vibrare avanti e indietro nello stesso piano. Incuriosito, sperimentò con un pendolo più convenzionale, un peso sferico sospeso verticalmente con filo metallico da pianoforte che potesse oscillare liberamente. Lo fissò alla montatura di un trapano a colonna e strinse il mandrino. Anche il pendolo continuò a oscillare nello stesso piano.

Più tardi riassunse in modo piuttosto elegante il suo ragionamento nel modo seguente: immaginiamo di costruire un piccolo pendolo su un disco liberamente girevole in modo uniforme. Abbiamo ora qui quello che Foucault chiamava un "petit théâtre", su cui noi stiamo per mettere in scena un'azione. Il disco girevole è come la Terra e la stanza circostante è come il resto dell'universo. Se noi mettiamo il pendolo in oscillazione in un piano - supponiamo verso la porta - e poi lentamente ruotiamo il disco, che cosa accade? Dapprima potremmo attenderci che il piano di oscillazione del pendolo ruotasse insieme col disco girevole: Erreur profonde! Il piano di oscillazione non è un oggetto materiale attaccato al disco. A causa dell'inerzia del pendolo, il suo piano di oscillazione è indipendente dal disco girevole: esso «appartiene», per così dire, allo spazio circostante più che al disco. In qualsiasi modo noi ruotiamo il disco, il pendolo continua a oscillare verso la porta.

Immaginiamo però, dice Foucault, di ingrandire a dismisura il nostro piccolo teatro e di essere sul bordo del disco girevole, assieme alla parte restante della stanza e a tutto ciò che possiamo vedere intorno a noi, eccezion fatta per il Sole, i pianeti e le stelle. Ora siamo noi immobili: ma è una sensazione. In verità è la direzione dell'oscillazione del pendolo a cambiare. Ma ancora una volta saremmo in errore. Siamo noi a ruotare, non il piano d'oscillazione del pendolo. Foucault sottolinea però un'altra complicazione. Il nostro piccolo pendolo è al centro di un disco girevole piano, cosicché nel corso di una rotazione completa del disco il piano d'oscillazione del pendolo presenterebbe una rotazione apparente di 360 gradi pari a un cerchio completo.

Un pendolo che oscilli sulla Terra è sospeso a una struttura che poggia sulla superficie di una sfera. In base alla latitudine del luogo dove si trova il pendolo, una rotazione completa della sfera farà ruotare il piano d'oscillazione del pendolo di quantità diverse, e la sfera dovrà ruotare per tempi diversi per far sì che il piano d'oscillazione del pendolo compia una rotazione completa. Foucault trovò che il numero di gradi di cui il piano d'oscillazione del pendolo si sposterebbe in ventiquattro ore sarebbe di 360 gradi moltiplicati per il seno della latitudine: spostamento che fornirebbe quindi un modo per determinare la latitudine di una persona sulla Terra.

Foucault provò a vedere se fosse possibile osservare l'effetto della rotazione terrestre usando un vero pendolo. Sospese un pendolo al soffitto

del suo scantinato mediante un filo metallico lungo circa due metri e una massa sospesa del peso di quasi cinque chilogrammi. Il venerdì 3 gennaio 1851 fece il primo tentativo. Al fine di essere sicuro che l'oscillazione del pendolo fosse costante e rettilinea, legò la massa del pendolo a un muro con un filo di cotone, aspettò che il pendolo fosse completamente immobile, quindi bruciò il filo con la fiamma di una candela. Ma durante l'esecuzione dell'esperimento sembrasse riuscito, a un certo punto il filo metallico si ruppe, causandone una brusca interruzione.

Cinque giorni dopo Foucault rimise in moto il pendolo e, in meno di mezz'ora, trovò che lo spostamento era sufficientemente grande da essere evidente all'occhio e che il pendolo ruotava nella direzione del moto diurno della sfera celeste. Egli trovò meno interessante osservare il fenomeno su grande scala e «più interessante seguire il fenomeno da più vicino, in modo da convincermi della continuità dell'effetto». Montò un indicatore sul suolo in modo che sfiorasse appena il pendolo e notò che, in meno di un minuto, esso si era spostato verso sinistra rispetto all'osservatore, cosa che significava che il piano d'oscillazione del pendolo si muoveva insieme al moto apparente del cielo.

Qualche settimana dopo, Foucault scrisse:

“Il fenomeno si svolge con calma; è inevitabile, irresistibile [...]. Vedendolo nascere e crescere, ci rendiamo conto che non è in potere dello sperimentatore accelerarlo o rallentarlo [...]. Chiunque si trovi in sua presenza [...] è indotto a riflettere e tacere per qualche secondo, e in generale ne ricava un senso più forte e intenso della nostra incessante mobilità nello spazio.”

Subito dopo il direttore dell'Osservatorio di Parigi gli chiese di ripetere l'esperimento nella “salle méridienne”, la sala centrale dell'osservatorio, situata sul meridiano. Foucault usò la stessa massa sospesa, ma con un filo metallico più lungo, di quasi undici metri.

Il 3 febbraio 1851, esattamente un mese dopo avere iniziato il suo esperimento, Foucault riferì ufficialmente i risultati delle sue ricerche all'Académie Française des Sciences.

L'accademia spedì diversi inviti che invitavano a venire a vedere ruotare la Terra, nella sala meridiana dell'Osservatorio di Parigi. Foucault disse al pubblico accorso per assistere allo storico evento che, mentre la maggior parte degli scienziati che studiavano il pendolo si erano concentrati sui

tempi delle sue oscillazioni (periodo), la sua ricerca si era orientata invece sul piano di oscillazione. Poi, mentre il pendolo oscillava, domandò ai presenti di compiere una versione dell'esperimento mentale descritto sopra: di immaginare di costruire un pendolo «il più semplice possibile» al polo Nord, di metterlo in oscillazione e di lasciarlo poi «all'azione della gravità». Poiché la Terra «ruota incessantemente da ovest verso est», il piano d'oscillazione, dal punto di vista dell'osservatore, sembra ruotare verso sinistra, come se l'oscillazione partecipasse al movimento apparente del ciclo.

L'oscillazione del pendolo sembra spostarsi, ma è in realtà la Terra che ruota e il pendolo continua ad oscillare sempre nella stessa direzione prendendo come piano di riferimento l'universo.

Nonostante le sue imprese straordinarie, i riconoscimenti tardarono a venire. La comunità scientifica non sembrava disposta ad accettarlo: secondo loro, non essendo un matematico, non avrebbe potuto affrontare i problemi della fisica.

Eppure, nonostante ciò, riuscì a trovare la legge che determina la velocità alla quale il suo pendolo si sposta dal piano di oscillazione iniziale in funzione della latitudine, scoperta che stupì gli specialisti e li mise in imbarazzo.

Gli scienziati francesi si rifiutavano di ammettere il suo genio mentre, nello stesso periodo, alcune istituzioni straniere ne riconobbero i meriti scientifici molto prima che la madrepatria gliene rendesse atto.

Quando la notizia della dimostrazione si diffuse a Parigi, Foucault fu bombardato da lettere di comuni cittadini, di altri scienziati e persino di funzionari governativi interessati. Il principe Luigi Napoleone Bonaparte — il presidente della Repubblica, che sarebbe diventato ben presto Napoleone III, imperatore dei francesi - chiese a Foucault di allestire una dimostrazione pubblica nel Pantheon di Parigi, una ex chiesa che era diventata l'ultimo luogo di riposo di molti eroi nazionali francesi. Il Pantheon, secondo Foucault, era un luogo meravigliosamente appropriato per l'esperimento, che ora poteva avere "une splendeur magnifique."

Quanto più grande, infatti, era il pendolo, quanto più lentamente e maestosamente si muoveva, tanto più efficacemente dimostrava il moto di tutte le cose circostanti. In una messa in scena affascinante, Foucault collegò un pendolo al centro dell'immensa cupola del Pantheon.

Il peso, una palla di cannone con un sottile stilo saldato alla sua parte inferiore, era sospeso a un sottile cavo metallico lungo 67 metri. Intorno alla circonferenza esterna del cerchio sopra cui la palla metallica doveva muoversi, Foucault e i suoi assistenti costruirono due semicerchi di sabbia, che lo stilo sfiorava a ogni passaggio e che definivano ogni volta l'orientamento del suo piano di oscillazione. Per scongiurare la possibilità che, in caso di rottura del cavo, il peso, cadendo, danneggiasse il mosaico del pavimento del Pantheon, Foucault lo protesse coprendolo con uno strato di legno e vari centimetri di sabbia densamente stipata. Fu una decisione saggia, poiché la prima volta che fu installato il pendolo il cavo in effetti si ruppe subito sotto la cupola, terrorizzando Foucault e i suoi assistenti quando il cavo di 67 metri sferzò l'aria reso veloce dall'energia del pendolo. Quando il cavo fu riattaccato, Foucault fece installare nella volta un paracadute per l'eventualità che il cavo si rompesse di nuovo nella sua parte alta.

Il 26 marzo 1851 un aiutante di Foucault fissò il peso del pendolo a un muro con una cordicella e aspettò che esso fosse perfettamente immobile. La cordicella fu bruciata; il pendolo si mosse lentamente, solennemente, gravemente, percorrendo poco più di sei metri a ogni oscillazione e compiendo un'oscillazione avanti e indietro ogni sedici secondi. Il suo cavo sottile, del diametro di meno di un millimetro e mezzo, era praticamente invisibile contro quello sfondo grandioso e il peso scintillante sembrava sospeso nel vuoto.

Quando la massa del pendolo raggiungeva i due semicerchi di sabbia agli estremi della sua oscillazione, lo stilo incideva un piccolo solco nella sabbia umida, ognuno di circa due millimetri a sinistra del precedente. Alla latitudine di Parigi (circa 49° N), il piano di oscillazione del pendolo si spostava relativamente al pavimento di un grado ogni cinque minuti, un po' più di undici gradi in un'ora: una velocità che gli faceva compiere un cerchio completo in circa 32 ore, sempre che il pendolo non si fosse fermato prima.

La dimostrazione del Pantheon non fu perfetta: il solco scavato dallo stilo si dilatava lentamente in una figura a otto in verità molto stretta, dovuta evidentemente a imperfezioni nel filo o nel sostegno. E la distanza coperta dalla massa a ogni oscillazione si accorciava gradualmente a causa della resistenza dell'aria, anche se il tempo richiesto per ogni oscillazione re-

stava il medesimo (in virtù dello stesso principio dell'isocronismo scoperto da Galileo, valido per tutti i pendoli che compivano oscillazioni di piccola ampiezza). Il pendolo continuava tuttavia a variare la direzione apparente del suo piano di oscillazione per circa cinque o sei ore, nel corso delle quali questa si spostava in senso orario (nell'emisfero sud si sarebbe spostata in senso antiorario) di circa 60-70 gradi sul pavimento.

Luigi Napoleone, affascinato, premiò Foucault conferendogli la posizione molto ambita di fisico all'Osservatorio di Parigi, permettendogli di abbandonare il laboratorio nel seminterrato della sua abitazione.

Solo con il decreto di Napoleone III gli furono tributati gli onori che meritava. Inoltre venne nominato fisico dell'osservatorio di Parigi, costringendo la comunità scientifica a riconoscere Foucault come un vero e proprio scienziato.

Foucault prendeva sul serio i suoi compiti; impegnava tutto se stesso nella realizzazione dei suoi macchinari e dei suoi esperimenti. Con il pendolo impiegò giorno e notte per cercare di farlo funzionare correttamente. Gli errori e i fallimenti di certo non mancarono, ma lui non abbandonava tutto anzi, lavorava con maggiore impegno per il raggiungimento dei suoi scopi.

Anche se fu un abile ingegnere, un brillante matematico e uno scienziato autodidatta, non era specializzato in qualcosa di particolare: era animato da una profonda passione per la scienza.

Purtroppo la sua mente brillante si spense a soli 49 anni, quando fu colpito da una paralisi che gli tolse l'uso delle gambe e della parola. Nonostante la malattia, non terminò il suo interesse per la scienza: paralizzato e costretto a restare in un letto, si fece posizionare lo specchio che aveva inventato e che inseguiva il moto delle stelle, in modo da vedere la volta stellata.

Morì a Parigi l'11 febbraio 1868 e fu sepolto nel cimitero di Montmartre insieme a molti illustri scienziati che, come lui, hanno lasciato qualcosa di speciale all'umanità.

LORENZO BARBARA, V L

Aspettando gli anniversari dell'indipendenza padana

È strano vedere come l'Italia, durante il corso della storia, sia sempre rimasta una terra di contraddizioni. Mentre Galileo creava il "metodo scientifico", le grandi istituzioni ribadivano con forza la tradizionale visione della natura. Mentre si unificava la penisola italiana sotto un'unica bandiera, si uccidevano i contadini del sud che chiedevano libertà. Ora, nella memoria di quella strana Unità, il divario e la voglia di secessione tra Nord e Sud aumenta. Così, in clima di festeggiamenti, una parte non insignificante dell'Italia, la cosiddetta Padania, promuove la diffusione di segni d'appartenenza ad un "altro" popolo, un popolo "migliore". Si sviluppa così l'idea della nazionale padana o dei concorsi di bellezza per Miss Padania e la collocazione di simboli religiosi e politici in qualsiasi zona o edificio delle città. E' giusto dedicare tanta attenzione o scandalizzarsi così di un "popolo" che si vuole allontanare, che vuole isolarsi con le proprie mani? Non è semplicemente un desiderio d'indipendenza, quello che stanno manifestando? Con molta probabilità è tutt'altro. Il loro scopo è, più che altro, quello di disfare l'Italia, piuttosto che fare la Padania. Il loro desiderio è quello di impedire ciò che aveva proposto Massimo d'Azeglio dopo l'Unità: «ora bisogna fare gli italiani». E' qui il cardine di tutta la politica leghista in questo clima di forte appartenenza nazionale. Quell'idea di "italiano" che si vuole realizzare da 150 anni, viene continuamente minata da ogni parola sprezzante che Bossi riferisce alla nazione, sotto gli applausi scroscianti di una folla entusiasta. L'identità di una nazione è in pericolo. La nostra identità che, nonostante gli sbagli e le contraddizioni, è stata cercata per creare un nuovo popolo, quello italiano. L'Unità d'Italia, 150 anni fa, ha avuto alti e bassi, ha visto giustizie e ingiustizie, ma li ha affrontati a suo tempo, nel passato. Da quest'esperienza noi possiamo soltanto imparare qualcosa, osservando criticamente la nostra storia. Non possiamo cambiare il passato. L'Unità d'Italia è una realtà, una realtà che va protetta, difesa e rinforzata, contro tutti gli attacchi e le calunnie che le vengono rivolte. L'Italia è piena di contraddizioni e lo è sempre stato. Ma vuole cambiare. Ora, dopo tutte le sue disavventure, l'Italia deve e vuole cambiare. Deve, adesso, considerarsi un unico popolo e festeggiare da Nord a Sud con grida di gioia il suo 150° anniversario.

GIORGIO PANTALEO , V D

*Il ruolo della Chiesa e dell'Impero nel
Medioevo e il loro tramonto a fondamento
del pensiero laico moderno*

Tutto il sistema medievale era fondato sulla supremazia i due grandi poteri: il papato e l'impero. Dall'equilibrio di questi nasceva una struttura sociale che, legata da vincoli di fedeltà all'impero, aveva una visione cristiana della vita.

I due poteri, in altre parole, esercitavano un controllo totale sulla società che trovava in essi tutte le risposte alle sue necessità.

Progressivamente la forza di questi due poteri cominciò a venir meno e la loro crisi favorì l'affermazione di nuovi soggetti sulla scena europea: uno su tutti il Comune.

Ma quali furono i motivi che portarono alla crisi di questi poteri universali che per secoli avevano controllato il mondo medievale e che sembravano, per così dire, incrollabili?

Senza dubbio i fattori che portarono alla loro crisi furono numerosi; io credo tuttavia che due furono le cause che maggiormente determinarono il tramonto di queste due istituzioni: la loro lotta che a lungo andare indebolì, non solo la parte che ne era uscita "sconfitta", ma anche quella che aveva apparentemente "vinto" e la loro incapacità di adeguarsi alle nuove esigenze della popolazione.

Mentre, infatti, in un primo momento questa trovava in tali Autorità tutto ciò di cui aveva bisogno, ora, con la ripresa della circolazione monetaria, dei commerci e con la rinascita dei centri urbani avvertiva nuovi bisogni, cercava nuovi sbocchi, che appunto quelle non erano in grado di dare.

Innanzitutto per comprendere queste due cause occorre ricordare che nel corso del Medioevo la Chiesa aveva cominciato ad aspirare non più solo ad un potere spirituale, ma anche, e soprattutto, ad un potere temporale; si era dunque alleata con regni e dinastie per rafforzare la sua presenza in Europa, per esser difesa dai pericoli e ottenere dei territori su cui esercitare un vero e proprio potere: questi verranno poi definiti "Stato della Chiesa".

Quando però gli interessi dell'Impero si scontrarono con quelli della Chiesa e, in particolare, quando la Chiesa sentì minacciato il suo control-

lo sui territori dell'Italia centrale a causa delle aspirazioni imperiali, Federico II mirava a ricongiungere le due parti del suo impero stringendo così in una sorta di tenaglia i territori papali, essa cominciò a predicare una superiorità dell'autorità papale rispetto a quella imperiale, provocando uno scontro che in taluni casi si sposterà dal piano politico a quello militare.

La tesi che ci permette di comprendere appieno la posizione della Chiesa è espressa da Innocenzo III in una lettera ai capi della lega delle città dell'Italia centrale: "Come Dio, creatore dell'universo, ha creato due grandi luci nel firmamento del cielo, la più grande per presiedere al giorno, la più piccola per presiedere alla notte, così egli ha stabilito nel firmamento della Chiesa universale [...] due grandi dignità: la maggiore a presiedere ai giorni cioè alle anime, la minore a presiedere alle notti cioè ai corpi. Esse sono l'autorità pontificia e il potere regio. Così, come la luna riceve la sua luce dal sole e per tale ragione è inferiore a lui per quantità e qualità, dimensione ed effetti, similmente il potere regio deriva dall'autorità papale lo splendore della propria dignità e quanto più è con essa a contatto." Da: *Chiesa e Stato attraverso i secoli*.

Di contro l'impero assumerà la sua posizione escludendo la Chiesa dalla politica del regno, per esempio, riconoscendo valida la nomina dell'Imperatore pur non essendo stato questo investito dall'autorità papale.

Come ho già affermato, questo scontro portò al progressivo indebolimento dei due poteri, la successiva decadenza dell'impero può però apparire come un "punto a favore" della Chiesa che in questo modo poté rafforzare la sua teocrazia.

"Tale constatazione", come affermato dallo storico Leziroli, "è tuttavia parziale, perché, se è vero che l'impero rappresenta la forza avversaria del potere spirituale, rappresenta altresì il vero punto di forza del potere spirituale medesimo." Da: *Stato e Chiesa, G. Leziroli*.

In altre parole, lo storico spiega come queste due autorità, apparentemente così diverse, in realtà fondavano le loro basi su uno stretto rapporto di collaborazione e appoggio, costituendo un binomio inscindibile alla base di tutto il sistema medievale.

Venendo a mancare una delle due autorità l'altra è destinata necessariamente a soccombere.

Citando nuovamente Leziroli: "la superiorità della Chiesa e, quindi, l'affermarsi della teocrazia costituisce infatti una vittoria temporanea, che

poté esser mantenuta e impostata fin tanto che accanto al Sacro Romano Impero non si venne lentamente a delineare una pluralità di forze politiche destinate a divenire col tempo gli Stati Nazionali.”

Tra questa “pluralità” vi erano anche i Comuni, i quali, affermatasi tra il XII – XIII secolo, rappresentavano un’istituzione completamente nuova, non solo dal punto di vista politico, ma anche da quello culturale: essi seppero fornire nuovi soggetti, mezzi di comunicazione verbale e scritta, che seppero rispondere meglio alle nuove esigenze della popolazione.

Tutto rimanda alla mia tesi: con l’affermarsi dei comuni, si determinò anche la crisi dei poteri universali, Papato e Impero, poiché queste due istituzioni erano ormai lontane dalla popolazione e non riuscivano più a rispondere alle necessità di questa.

In conclusione, alla luce degli argomenti trattati, ritengo risulti evidente il ruolo giocato da lotte e incomprensioni in un quadro ampio qual è quello medievale di un mondo in trasformazione, che determinò la crisi e il definitivo tramonto dell’Impero e della Chiesa come poteri universali.

Non bisogna tuttavia dimenticare che proprio alla luce di questo lungo contrasto si è cominciato a sviluppare un pensiero politico che nel corso dei secoli successivi ha portato al passaggio da una concezione teocratica dello Stato ad una laica, ad una distinzione tra politica e religione, etica e fede, poste a fondamento degli Stati moderni.

Allora il ruolo centrale della Chiesa e dell’Impero nella vita politica dell’Europa medievale e il loro successivo tramonto furono fondamentali poiché contribuirono alla definizione di un percorso che ci porta a vivere oggi in Stati che vedono proprio in quel periodo gli albori della loro struttura laica.

CATERINA MARIA FODALE, I C

Cause, sviluppi e conseguenze della Guerra dei cent'anni

“Anno domini 1337, il re d’Inghilterra Edoardo III ha armato un grande esercito di fanti e arcieri e si appresta a scatenare la sua ira contro il regno di Francia, reo di aver nominato sire Filippo VI e non l’illustrissimo re sopraccitato ...” così un romanziere a noi contemporaneo potrebbe iniziare il racconto della guerra dei cent’anni, desideroso di narrare le grandi imprese di tali sovrani in modo un po’ fantasioso ed epico; tuttavia io non intendo scrivere un racconto fantastico, bensì attenermi il più possibile a ciò che è realmente avvenuto ed è diventato storia.

Tutti gli eventi che vi descriverò sono avvenuti in un mondo che è il nostro, ma che al tempo stesso è molto diverso da quello che vediamo noi oggi, quindi ritengo opportuno dare un rapido sguardo allo scenario in cui è ambientata tutta la vicenda: la Terra è molto piccola per gli abitanti che prenderemo in considerazione, tutti europei che non sanno niente dell’estremo Ovest del mondo e favoleggiano sull’Oriente e l’Africa più nera, ma in compenso, l’Europa è molto confusa di per sé, figuriamoci i continenti più lontani.

A Ovest la penisola iberica è stata quasi del tutto liberata dagli invasori arabi, a Est Costantinopoli è continuamente minacciata dai Turchi e in Russia ci sono i Mongoli: nascono i comuni in Italia mentre l’Impero e il Papato escono molto ridimensionati dal loro plurisecolare conflitto. Ma ciò che è molto importante sapere è che quelle che noi oggi chiamiamo Francia e Inghilterra avevano dimensioni e cultura molto diverse da quelle di oggi. Già nei secoli precedenti la Gran Bretagna era stata conquistata da Normanni di lingua francese e, in seguito, una dinastia francese salirà al trono, quella dei Plantageneti che possedeva sul suolo francese dei grandi possedimenti, come la Guascogna, per i quali era vassalla dei re Capetingi che avevano acquisito il potere dopo la caduta degli eredi di Carlo Magno. Più volte si erano affrontati e anche in questo caso le cause furono molteplici: i Capetingi, conti di Parigi, possedevano un territorio minore di quello dei Plantageneti che quindi erano una spina nel fianco per i sovrani francesi. Inoltre, sebbene le Fiandre appartenessero a questi ultimi, a causa della produzione manifatturiera, erano legate economicamente all’Inghilterra,

grande produttrice di lana, che tuttavia doveva affrontare la Scozia, finanziata dalla Francia. Il casus belli per lo scoppio della guerra fu la morte senza eredi diretti di Filippo IV il Bello, re di Francia. Convocati gli Stati Generali, un'assemblea in cui venivano rappresentati i nobili, il clero e l'alta borghesia cittadina, venne eletto Filippo VI, figlio di un fratello del predecessore, che inaugurò la dinastia dei Valois. Edoardo III, che inizialmente accettò questa successione, poi si autoproclamò re di Francia perché figlio della figlia di Filippo il Bello secondo un'ereditarietà in linea materna non conforme alle tradizioni francesi e scese in armi contro il nemico sconfiggendolo nella battaglia di Crècy, dove la fanteria inglese, composta soprattutto da uomini dotati di arco lungo, un'arma con una lunga gittata e una grande cadenza di tiro, sbaragliò la cavalleria francese, composta esclusivamente da nobili.

Nel 1338 scoppiò una ribellione, detta delle "jacquerie", capeggiata da Etienne Marcel, preposto dei mercanti di Parigi, che avevano intenzione di deporre il re con l'aiuto di Carlo II il Malvagio, sire della Navarra, ma fu stroncata. Nel 1360 agli Inglesi fu riconosciuto, con la pace di Bretigny, il dominio senza vincoli feudali di un terzo del territorio francese e un grande riscatto in cambio della rinuncia al trono e della liberazione del re Giovanni il Buono, catturato nella battaglia di Poitiers nel 1356. Tuttavia il suo successore, Carlo V, logorò gli invasori e riconquistò tutto il territorio perduto ad eccezione di alcune piazzeforti, come Brest, Bordeaux, Cherbourg e Calais. Nel 1380 terminò la prima fase della guerra con una tregua dovuta a disordini interni di entrambi i regni. Il Parlamento inglese destituì Riccardo II Plantageneto ed elesse Enrico IV Lancaster che insieme al figlio Enrico V stroncò una jacquerie nelle campagne del Kent dovuta alla predicazione pauperistica dei lollardi, un movimento religioso che si rifiutava di pagare le decime alla chiesa e la poll-tax un "testatico", ovvero una tassa che si pagava indipendentemente dal proprio reddito, e voleva che si tornasse alla confessione pubblica delle origini. Nel frattempo in Francia era stato eletto re il dodicenne Carlo VI, alla cui corte si contrapposero gli Orleanisti o Armagnacchi (da Luigi d'Orleans e Bernardo d'Armagnac, i capi del movimento) e i Borgognoni, capeggiati dal duca di Borgogna Filippo l'Ardito che aveva ricevuto in appannaggio quel territorio e che prese il possesso della Franca Contea, dell'Artois, della Piccardia, delle Fiandre e dei Paesi Bassi. Questo ducato divenne potentissimo e il suo succes-

sore, Giovanni Senza Paura, fece riscoppiare la guerra, chiedendo l'intervento militare di Enrico V che sconfisse i Francesi ad Azincourt nel 1425, conquistò Parigi e assediò Orleans. Carlo VI, che nel frattempo aveva dato segni di squilibrio, gli diede in moglie la propria figlia e diseredò il futuro Carlo VII, il quale, grazie all'aiuto di Giovanna d'Arco che liberò Orleans, riconquistò le posizioni perdute e si fece ungero con l'olio santo (si fece, cioè, incoronare) nella cattedrale di Reims. Sebbene la pulzella d'Orleans, l'eroina vergine, fosse stata catturata dai Borgognoni, venduta dagli Inglesi e bruciata sul rogo per eresia e stregoneria, l'avanzata francese, favorita dal riappacificamento con i Borgognoni di Filippo il Buono e dai contrasti nella corte del minorenne Enrico VI, proseguì fino a Calais che rimase l'ultima roccaforte inglese sul territorio francese. La fine delle ostilità si ebbe nel 1453. Questa lunghissima guerra contribuì certamente alla crisi economica dei due paesi, evidenziata anche dalle grandi rivolte contadine e urbane che portò al fenomeno del banditismo in Francia (famosi furono gli "escorcheurs", gli scorticatori), ma anche al miglioramento delle funzioni amministrative, senza le quali non si sarebbero potuti sopportare cento anni di guerra, seppur intervallata da una lunga tregua, allo sviluppo autonomo della cultura e della lingua inglese, fino ad allora troppo condizionate da quelle francesi e, non meno importante, allo sviluppo di nuove armi e strategie militari.

ALESSANDRO D'AQUI, I B

«Giustizia mosse il mio alto fattore». Il tema della giustizia come fondamento stesso della struttura della Divina Commedia

Dante ritiene di essere stato investito da Dio della missione di indicare all'umanità la via per la salvezza, per la completa assoluzione dai peccati. La Divina Commedia si traduce, infatti, nel racconto estremamente dettagliato del viaggio da egli compiuto attraverso i tre regni dell'oltretomba.

Dante nutre una sentita fiducia nei confronti della religione ed è convinto che l'unica giustizia sia quella di Dio, nella quale confida e ripone tutte le sue forze.

Crede che l'Universo sia regolato da un piano ordinatore divino, ove ogni elemento trova un fine ed una giustificazione ed è certo che il dramma eterno della lotta fra il bene e il male si concluda con la vittoria definitiva del bene.

Il terzo canto dell'Inferno vede Dante dinanzi alla porta della città di Dite, tale porta rappresenta di fatto lo strumento concreto e simbolico di entrata in un diverso spazio della realtà.

L'Inferno stesso è stato creato da Dio, fonte di infinita giustizia, per punire i peccatori, affinché essi possano scontare le pene legate alle colpe di cui si sono macchiati durante la vita terrena; il Paradiso, invece, come massima remunerazione per i fedeli.

Per stabilire la pena dei dannati Dante si rifà alla tradizione giuridica medievale e alle consuetudini del diritto del suo tempo. Il criterio della punizione è il "contrappasso": i peccatori sono puniti con una pena che, per analogia o per opposizione, si ricollega alla colpa da loro commessa.

Nel Paradiso, invece, non tutte le anime che vi sono godono allo stesso modo della visione di Dio. Per ciascuna di esse il godimento è proporzionale ai meriti acquisiti in vita. Se questi sono stati imperfetti, minore dovrà essere anche la ricompensa.

Ma nessuno dei beati prova invidia per la condizione altrui: il sentimento della carità, che è essenziale per l'esistenza paradisiaca, induce ciascuno di essi ad amare la decisione di Dio.

Attraverso questa consapevolezza la giustizia addolcisce talmente, in coloro che possono guardare Dio meno rispetto ad altri, il desiderio di un premio maggiore che questo stesso desiderio non potrà mai deviare verso alcun sentimento perverso (come l'invidia verso chi gode di una beatitudine maggiore).

Trovandosi in un contesto socio-politico a lui estraneo, in cui vigono la corruzione, il malgoverno e la faziosità degli interessi di parte e in cui l'intera società è affetta dai tre vizi della superbia, dell'avidità e dell'invidia, Dante ha una profonda sete di giustizia, e pone questa al di sopra di ogni altro valore umano.

L'espressione "exul immeritus", per come egli si ritiene e si 'giudica', fa sì che il senso della Giustizia appaia come il grande motivo che riassume in sé tutti i valori del pensiero di Dante, non solo nella Divina commedia ma trasversalmente in tutte le sue opere.

La virtù della giustizia appare in Dante soprattutto come fedeltà alle grandi autorità (l'Impero e il suo Imperatore, la Chiesa e il suo Papa), mentre l'ingiustizia è, al contrario, ogni tradimento di queste autorità, oltre che la più inumana e odiosa delle qualità.

Dio è il sicuro punto di riferimento che conferisce certezza alla giustizia, ma sulla terra la confusione spesso presente tra il fine terreno e quello soprannaturale è la causa di gran parte dei mali della società.

Avviene così, nella "fictio" poetica, una metamorfosi dell'autore che da giudicato si trasforma egli stesso in giudice; un giudice che però, diversamente da ciò che ritiene caratterizzi la sua epoca, fa di tutto per essere un giudice 'giusto', punitore sì, ma equo ed imparziale.

Il Poeta è spinto, infatti, da questa realtà sociale che va disgregandosi giorno dopo giorno ad indagare sui comportamenti degli uomini, a giudicare le loro azioni, ad evidenziarne la tipologia e a fare chiarezza, assumendo una condotta espressamente critica, riguardo quella labile linea di confine fra ciò che è bene e ciò che è male, ciò che è giusto e ciò che è ingiusto.

In tutto il suo percorso emerge con chiara evidenza che per lui la giustizia non è soltanto un valore, ma addirittura un profondo sentimento dell'animo, un abito morale, la bussola che deve indicare all'uomo, presente nella sua mediocre quotidianità, la giusta direzione del suo agire e della sua condotta tutta.

Proprio nel senso di giustizia che permea gran parte dell'opera si può ravvisare, a mio parere, uno degli aspetti di maggiore modernità del pensiero del Poeta.

Come è stato acutamente osservato, cambiano i tempi, cambia la storia, cambiano le società, cambiano le istituzioni politiche, ma l'uomo, nel profondo della sua conformazione etico-spirituale, rimane sempre lo stesso.

In una società come quella in cui viviamo, nella quale l'ingiustizia la si incontra ad ogni angolo della nostra vita, assumendo le forme più diverse, cangianti e violente, il bisogno di giustizia non è forse più forte che ai tempi di Dante?

Quanti versi avrebbe da scrivere il Divino Poeta se ritornasse a vestire abiti mortali?!

VITTORIA PETRALIA, IV I